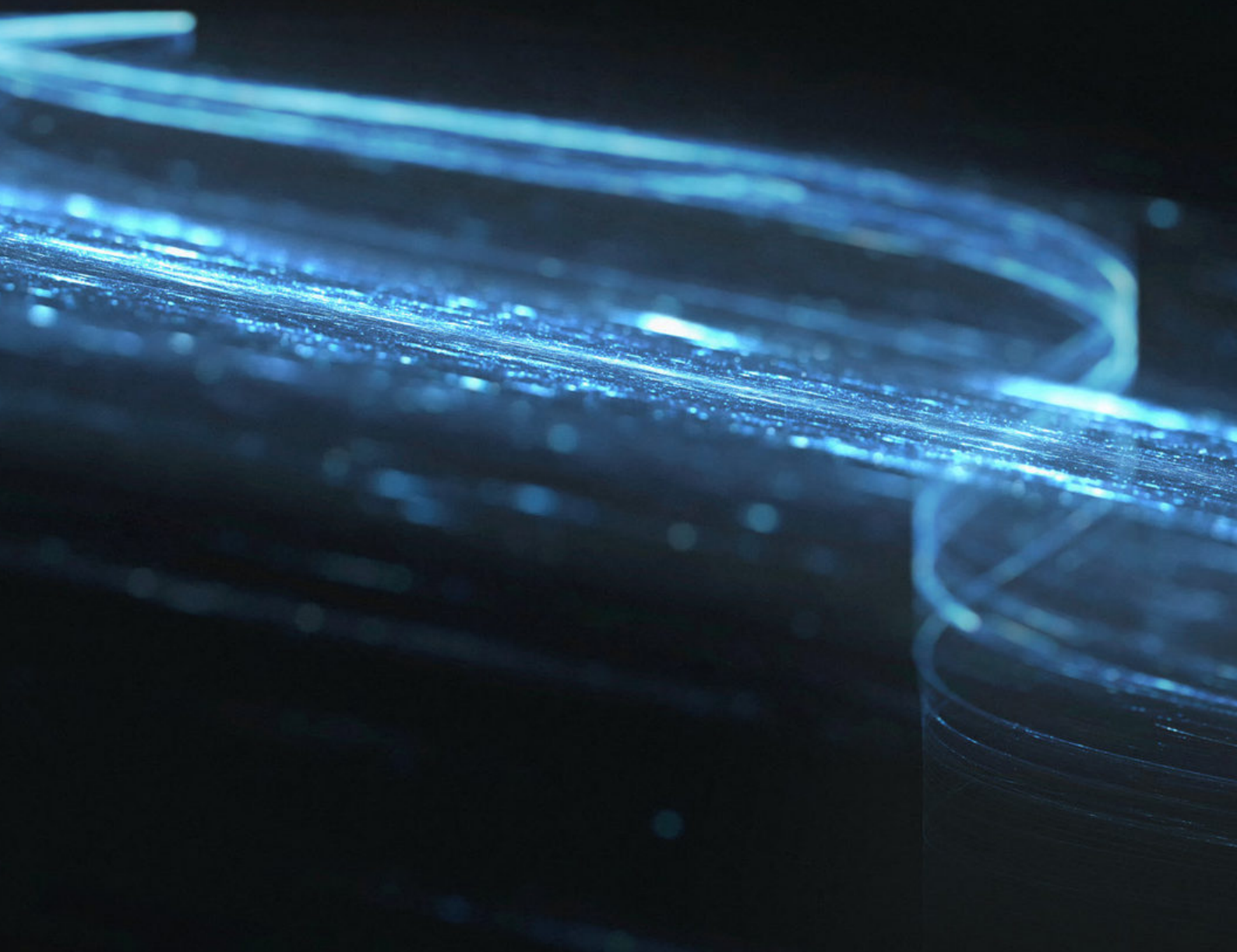




GLOBALfiber

Kurskompendie

Innføring i fiberoptikk, transceivere, CWDM og DWDM

OM DETTE HEFTET

Innføring i fiberoptikk, transceivere, CWDM og DWDM

Velkommen til kurset Innføring i Fiberoptikk! Dette kurset er utviklet av GLOBALfiber og vil gi deg en grundig innføring i de grunnleggende prinsippene og teknologiene bak fiberoptikk. Fiberoptikk er en av de mest transformativ teknologiene innen kommunikasjon og dataoverføring, og spiller en nøkkelrolle i dagens moderne nettverksinfrastruktur.

Kurset er designet for å gi både teoretisk forståelse og praktiske ferdigheter innen fiberoptikk, og er spesielt rettet mot deg som ønsker å bygge videre på eller styrke din kompetanse innen dette spennende fagområdet. Her vil du lære om alt fra grunnleggende fysikk og installasjonsteknikker, til hvordan fiberoptiske systemer fungerer i praksis, og hvordan man kan utføre påbygging og vedlikehold av fiberoptiske anlegg.

Kurset ledes av Helge Branting, en erfaren fagperson innen fiberoptikk, som har lang erfaring fra både praktisk arbeid og undervisning. Med hans veiledning vil du få innsikt i både teori og praktiske utfordringer som du kan møte i arbeidslivet.

Målet med kurset er å gi deg et solid fundament innen fiberoptikk, slik at du kan håndtere installasjon, testing og feilsøking av fiberoptiske systemer. Vi håper du vil få stor nytte av dette kurset, og at det gir deg både den kunnskapen og de ferdighetene du trenger for å lykkes i en bransje som stadig er i utvikling.

Lykke til med kurset – vi ser frem til å følge din læring og utvikling!

© 2026 GLOBALfiber AS

GLOBALfiber AS forbeholder seg rettighetene til eget opphavsrettslig beskyttet innhold og den originale sammenstillingen i dette kurskompendiet.

Kompendiet kan leses og lastes ned til egen læring. Utover bruk som er tillatt etter loven, krever viderepublisering, bearbeiding, distribusjon og bruk i eksterne kurs skriftlig tillatelse fra GLOBALfiber AS.

Lovlig sitat med kildeangivelse er tillatt. Del gjerne lenken til kurset på www.globalfiber.no.

Bilder, illustrasjoner og annet materiale fra tredjeparter tilhører de respektive rettighetshaverne og omfattes av deres bruksvilkår.

Innhold

Fiberoptikk / transceivere / CWDM / DWDM

Sidetall viser plasseringen i denne PDF-en. Klikk på et tema for å gå dit.

01 GRUNNLEGGENDE FIBEROPTIKK

Om grunnkurset	2
Optisk fiber: oppbygging og bruksområder	5
Konnektorer, APC/UPC og MPO	12
Digital kommunikasjon og øyediagram	19
Måleenheter, sendere og mottakere	23
Lys, demping og bøyningstap	27
Effektbudsjett og måling av lys	33
Begrensninger for optisk transport	37
Multimodus- og singelmodusfibertyper	39

02 OPTISKE TRANSCEIVERE

Introduksjon og læringsmål	42
Grunnprinsipp, DDM/DOM og modulidentitet	44
Formfaktorer og kompatibilitet	46
Hastigheter fra 1G til 1,6T	49
NRZ og PAM4	51
Optiske grensesnitt: SR, LR, DR, FR og flere	52
Single-lambda, WDM, paralleloptikk og breakout	55
LC, MPO, polaritet og polering	57
Ethernet og Fibre Channel	59
InfiniBand, DAC og AOC	61
CWDM- og DWDM-transceivere	63
Coherent optikk, 400ZR, 800ZR og ZR+	66
Valg av transceiver, effektbudsjett og case	68
Diagnostikk, BER/FEC og feilsøking	72
1G og 10G kobbertransceivere	75

Innhold

Fiberoptikk / transceivere / CWDM / DWDM

Sidetall viser plasseringen i denne PDF-en. Klikk på et tema for å gå dit.

03 CWDM - TEKNOLOGI OG PRAKSIS

Bølgelengdemultipleksing og hva CWDM er	77
Komponenter, fordeler og begrensninger	79
CWDM over to fibre	81
Kanaler, fargekoder og demping	84
Transceivere, porttyper og punkt til punkt	86
CWDM over én fiber og BiDi	89
Add/Drop, OADM og praktiske eksempler	93

04 DWDM - MED O-BÅND

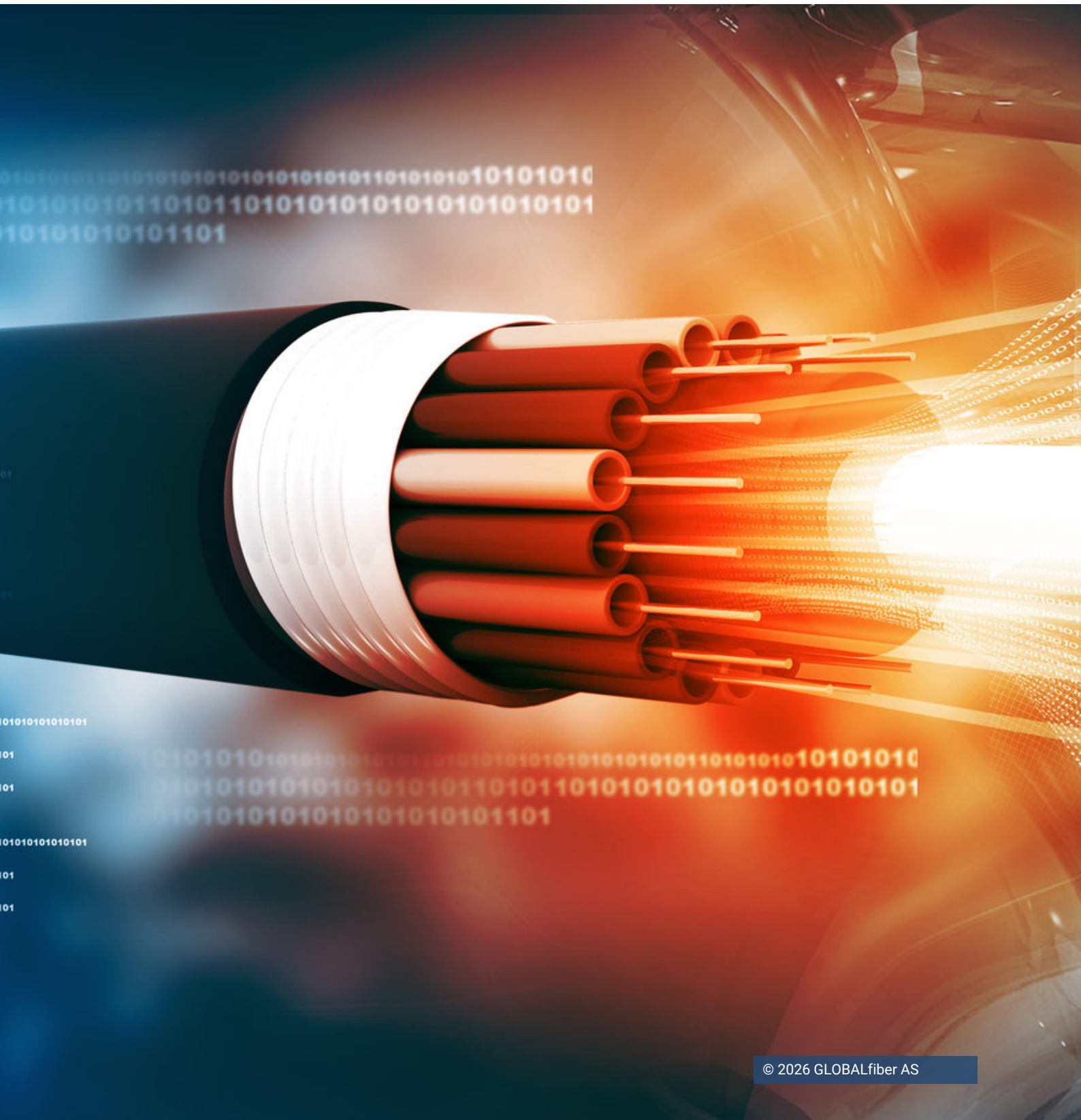
Introduksjon og læringsmål	98
DWDM-prinsipp, komponenter og bruksområder	99
C-/L-bånd og kromatisk dispersjon	103
O-bånd: egenskaper og sammenligning med C-bånd	105
O-bånd DWDM, produkt og eksakt kanalplan	107
100G-modulasjon, transceivere, FEC og rekkevidde	110
Fire tjenester over to fibre eller én fiber	113
WB1310 og kombinert C-/O-bånd: 20+2 og 20+4	115
Frekvens, bølgelengde, avstand og bredde	118
50, 75, 100 og 150 GHz	120
Flex-grid, baudrate, filterkrav og kapasitet	124
GLOBALfiber MUX og compatible kanalplaner	128
To fibre, én fiber, Add/Drop og ROADM	131
Coherent transport, forsterkning og OSNR	134
Tapsbudsjett og praktiske case	136
Testing, feilsøking og valg av løsning	139

05 FELLES ORDLISTE

Begreper fra alle kursdelene	142
Tillegg: APD, DCF, DP-QPSK, FBG, LWDM og WB1310	145

optisk fiber.

en innføring



Hva er Optisk fiber

TEKNISKE DETALJER

HVA ER FIBEROPTIKK

Fiberoptikk er en teknologi som overfører data ved hjelp av lys gjennom tynne glass- eller plastfiberkabler.

Disse kablene består av flere fibertråder, hver omtrent like tynt som et menneskehår.

Lyssignalene som sendes gjennom fibre kan overføre data over lange avstander med høy hastighet og svært liten signaltap, noe som gjør fiberoptikk til en effektiv og pålitelig teknologi for kommunikasjon. Fiberoptikk brukes ofte i internettforbindelser, telefonlinjer, kabel-TV og andre kommunikasjonsnettverk.

Det finnes to hovedtyper fiberoptiske kabler: Single-mode (SMF) og Multi-mode (MMF). Single-mode brukes ofte i lange avstander som internasjonale kabler, mens multi-mode brukes for kortere avstander som i datasentre eller bedriftsnettverk.

Glasstråd som kan brukes i stedet for kobbertråder til signaloverføring og deling av data

- Til hjemmet
- Til kontoret
- Mellom noder
- I regionale nett
- I aksessnett
- Mellom byer
- Mellom kontinenter

FORDELENE MED FIBEROPTIKK INKLUDERER:

Høy hastighet:

Fiberoptiske kabler kan overføre data ved svært høye hastigheter sammenlignet med kobberkabler.

Lang rekkevidde:

Data kan overføres over lange avstander uten behov for forsterkere.

Lav interferens:

Fiberoptiske kabler påvirkes ikke av elektromagnetisk støy.

Sikkerhet:

Det er vanskeligere å avlytte fiberoptiske kabler, noe som gir bedre datasikkerhet.



Med det blotte øye:

Oppbyggingen av en optisk fiber

En optisk fiber er en tynn, fleksibel tråd laget av glass eller plast som brukes til å overføre lys over lange avstander. Fiberoptikk er kjent for sin høye båndbredde og lave tap, og brukes ofte i telekommunikasjon, datanettverk og medisinske applikasjoner. Her er en oversikt over oppbyggingen av en typisk optisk fiber:

1. Kjerne (Core)

Den innerste delen av fiberkabelen, laget av svært rent glass eller plast.

Har en liten diameter (ofte 8–10 mikrometer for enkeltmodusfiber og 50–62,5 mikrometer for multimodusfiber).

Lys overføres gjennom kjernen ved total indre refleksjon.

2. Kappe (Cladding)

Et ytre lag som omslutter kjernen, laget av glass eller plast med en lavere brytningsindeks enn kjernen.

Fungerer som en barriere som holder lyset inne i kjernen ved å reflektere lysstråler tilbake inn i kjernen.

3. Bufferbelegg (Coating)

Et beskyttende lag laget av plast eller polymer som omgir kappen.

Gir mekanisk beskyttelse og hindrer skade på kjernen og kappen.

Beskytter også mot fuktighet og kjemiske påvirkninger.

4. Forsterkende elementer (Streightening fibers)

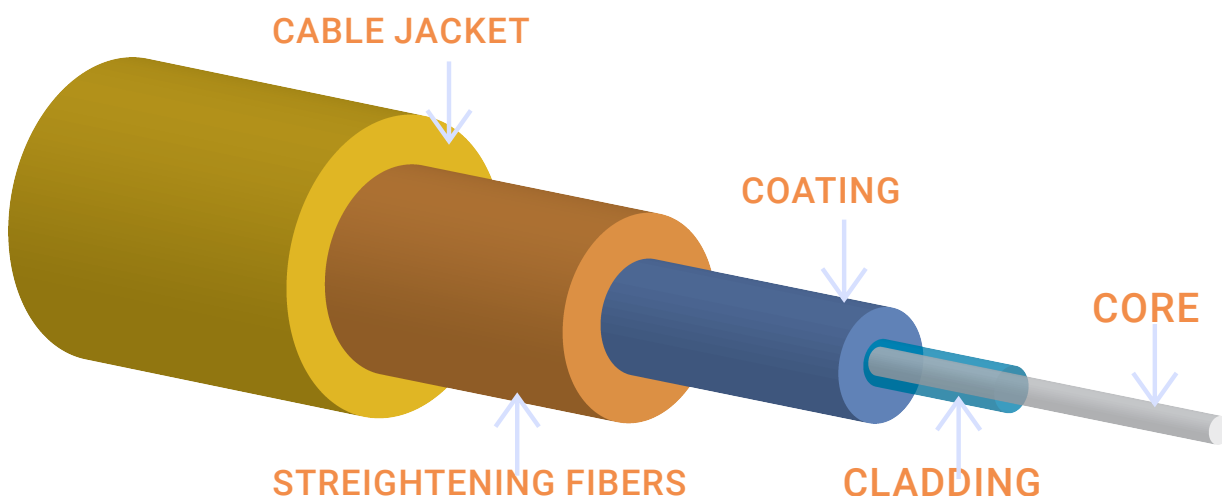
Ofte inkludert i fiberkabler for å gi ekstra styrke og beskytte fiberen mot mekanisk stress.

Kan bestå av materialer som aramidfibre (f.eks. Kevlar), metall eller plast.

5. Ytre jakke (Cable Jacket)

Det ytterste laget av fiberkabelen, vanligvis laget av PVC eller annet slitesterkt materiale.

Gir beskyttelse mot fysiske skader, som slitasje og klemming.

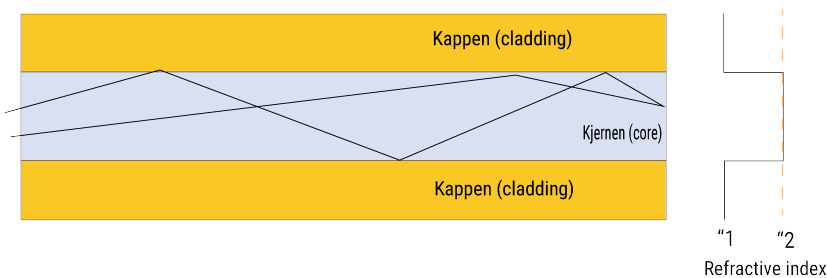


~ 2- 3 mm (= 2000 - 3000 µm)	900 µm	250 µm	125 µm	8 - 10 µm	SM
~ 2- 3 mm (= 2000 - 3000 µm)	900 µm	250 µm	125 µm	50 / 62,5 µm	MM

Under mikroskopet:

Oppbyggingen av en optisk fiber

MULTIMODUS



Multimodus: (tillater flere lysmoduser i fiberen)

Bred lysåpning:

installasjon:

Bruksområder:

Ytelse:

Fordeler:

Kostnadseffektiv for korte til mellomlange avstander med høy båndbredde. Enkel Større kjernediameter gjør den rimeligere og enklere å bruke enn singelmodusfiber.

Ideell for datasentre, bedriftsnettverk, kontorbygg og campusnettverk.

Støtter høy overføringshastighet opptil 500 meter.

Reduserer behovet for nøyaktig justering av lysstrålen, økonomisk valg for interne nettverk

SINGELMODUS



Singelmodus: (Tillater kun en lysmodus i Fiberen)

Smal lysåpning:

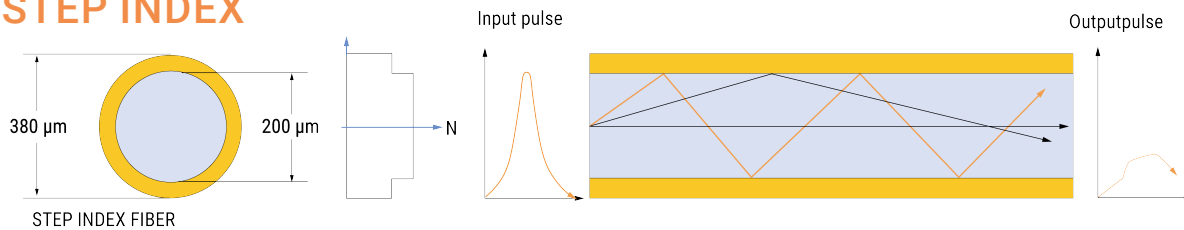
Bruksområder:

Gir effektiv langdistanse overføring og har ingen mode-dispersjon. Fungerer derfor godt opp til 160km opp til 1Gb uten forsterkning og opp til 100 km 10Gb uten forsterkning.

Stort sett til alle fibernettverk, og grunnet høyt volum er det veldig liten prisforskjell på Singelmodus og multimodus produkter i dag.

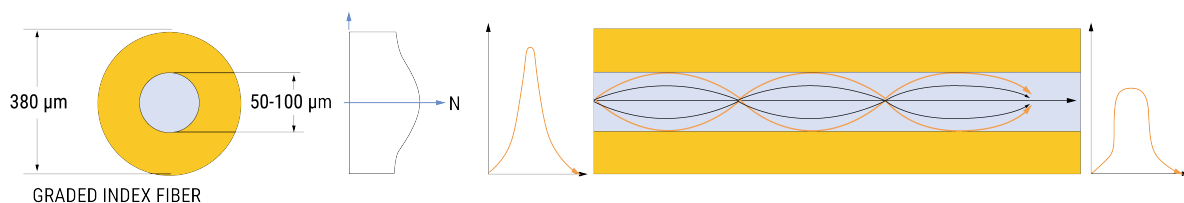
Under mikroskopet: Oppbyggingen av en optisk fiber

STEP INDEX



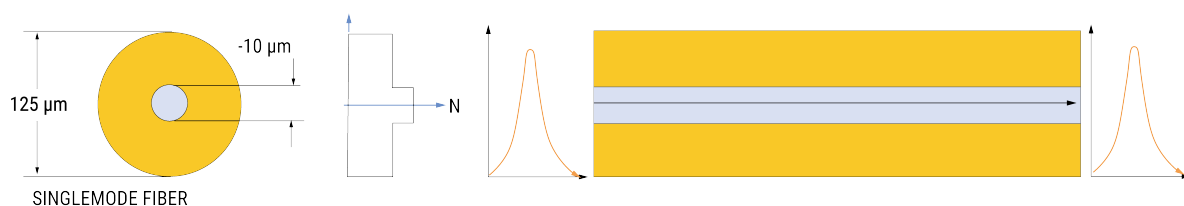
En bred lysåpning er kostnadseffektiv, men har begrenset rekkevidde. Signalet kan ødelegges raskt på grunn av betydelig forskjellig veibane avhengig av innfallsvinkelen (mode-dispersjon). Denne typen brukes ikke innen telekommunikasjon.

GRADED INDEX



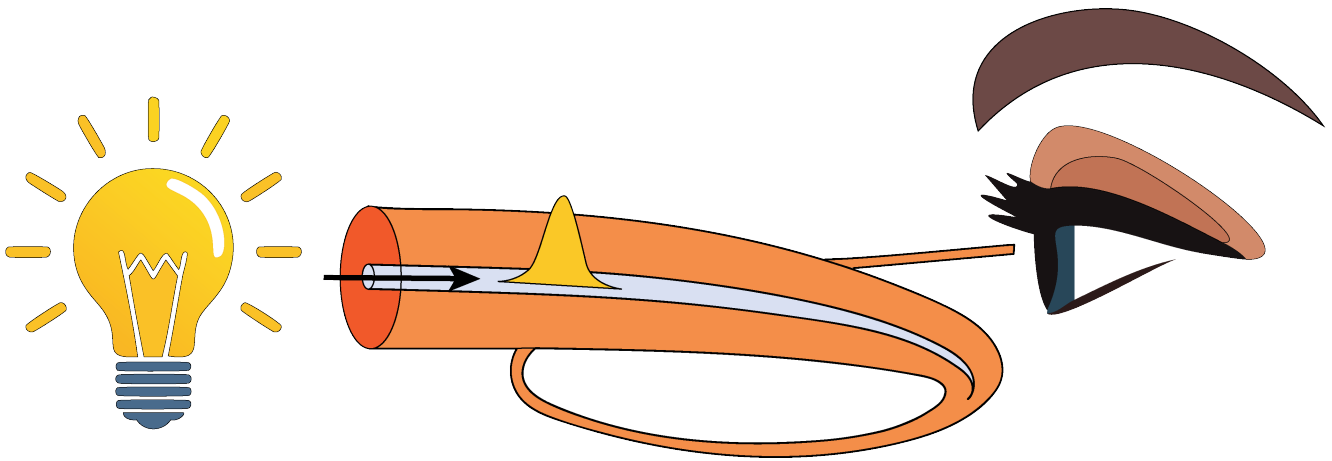
Kjent som "vanlig multimodus". Har en relativt stor lysåpning, men mode-dispersjonen er mye mindre enn i step index. Dette skyldes at lyset som reiser den lengste veien.

SINGELMODUS



Ingen mode-dispersjon gir lang rekkevidde. Liten lysåpning krever presisjon. Høy konsentrasjon av lys kan gi mange ulike støyeffekter.

Fiberbruk slik vi kjenner det



FORKLARING

En fiberoptisk kabel overfører lysbølger fra en lyskilde til en mottaker ved hjelp av total intern refleksjon.

Når lyset sendes inn i den optiske fiberen fra lyskilden, beveger det seg gjennom fiberens kjerne, som er laget av et materiale med høyere brytningsindeks enn det ytre laget (cladding). Dette får lyset til å reflekteres tilbake mot kjernen hver gang det treffer grensen mellom de to lagene, og gjør at signalet kan reise gjennom fiberen selv over lange avstander uten å miste mye styrke.

Ved enden av fiberen mottar en sensor eller detektoren signalet, som deretter kan konverteres til elektriske data for videre behandling.

Denne prosessen gjør fiberoptikk svært effektivt for å sende informasjon raskt og pålitelig over store avstander.

Fiberoptikk – mer enn bare telekommunikasjon

TEKNISKE DETALJER

MEDISIN

Fiberoptikk er viktig i medisinsk endoskopi, hvor den gjør det mulig å undersøke kroppen uten store snitt. Fleksible kabler leder lys inn i kroppen, og bilder overføres til en skjerm

Bruksområder:

Diagnostikk: Brukes til å undersøke organer som mage, tarm og lunger for sykdommer som kreft og infeksjoner.

Kirurgi: I minimal-invasiv kirurgi gir fiberoptikk kirurger klare bilder for presis fjerning av svulster eller vevsreparasjon med små snitt.

Biopsi: Muliggjør nøyaktige vevsprøver fra vanskelige områder uten å skade omkringliggende vev.

Hvordan fungerer det:

Fiberoptikk bringer lys til undersøkelsesområdet og sender bilder tilbake til en skjerm.

Kabler kan bøyes for å nå vanskelige områder, noe som gir presise og skånsomme inngrep.

Fiberoptikk brukes også i for eksempel målesystemer og i medisinsk teknologi.

- Medisin (endoskopi) innen Diagnostikk – Kirurgi - Biopsi
- Måling og deteksjon
- Fiberoptiske sensorer brukes til å måle fysiske parametere som temperatur, trykk, vibrasjon, deformasjon, og kjemiske forandringer

MÅLING OG DETEKSJON

Fiberoptikk brukes til måling og deteksjon på grunn av sin høye følsomhet og lange rekkevidde uten signaltap. Den brukes blant annet i olje- og gassindustrien, helsevesen og infrastruktur.

Bruksområder:

Sensorer: Måler temperatur, trykk, vibrasjon, deformasjon og kjemiske endringer.

Vibrasjon og akustikk: Brukes til å oppdage små vibrasjoner, for eksempel lekkasjer i rørledninger.

Temperatur: Kan måle temperaturer nøyaktig, selv under ekstreme forhold, ved hjelp av Raman- og Brillouin-spredning.

Trykk og deformasjon: Brukes i dyphavsoperasjoner og for overvåkning av strukturer som broer og bygninger.

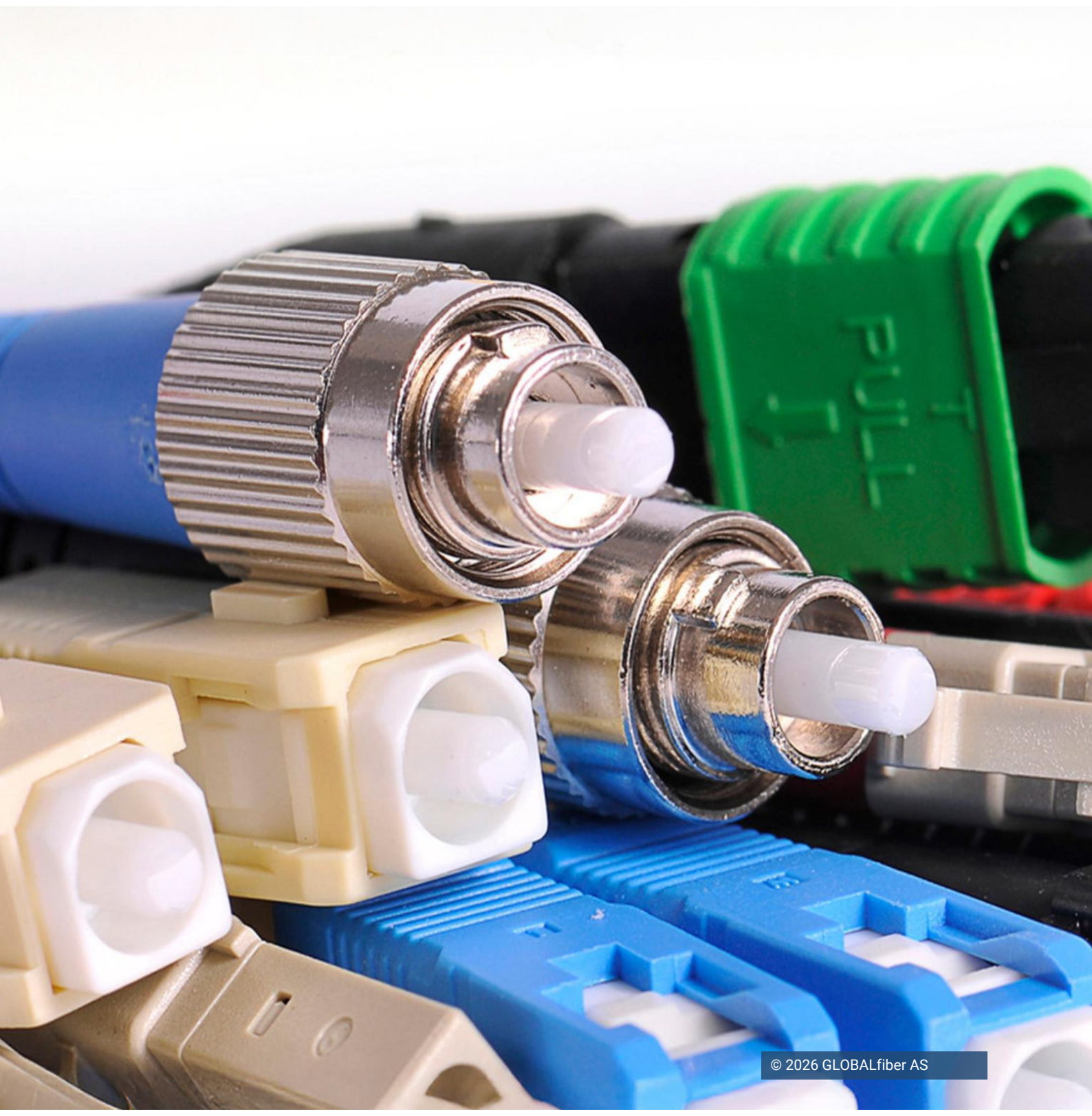
Fordeler:

Fiberoptiske systemer er immune mot elektromagnetisk støy, svært sensitive, har lang rekkevidde og kan brukes i farlige miljøer.

Eksempler på bruksområder inkluderer olje- og gassindustrien, medisinsk utstyr og infrastrukturovervåking.

konnektor.

en innføring



Konnektorer / ferruler

KONNEKTOR

En konektor i fiberoptikk er en komponent som brukes til å koble to optiske fibre sammen, slik at signaler kan overføres fra en fiber til en annen.

Konnektorer kan være av forskjellige typer avhengig av bruksområde og hvilke typer fibre som brukes. De vanligste typene konnektorer er:

SC (Standard Connector): En push-pull type, vanlig i både singelmodus og multimodus fiber.

LC (Lucent Connector): En mindre versjon av SC, som brukes når plass er begrenset.

ST (Straight Tip): Har en bayonet-lignende mekanisme, og er ofte brukt i eldre systemer.

MTP/MPO (Multi-fiber Push On/Pull Off): Brukes i systemer med flere fibre for høyhastighetsnettverk.

Konnektoren er utformet for å sikre en nøyaktig og pålitelig tilkobling mellom to fibre, med minimal signaltap.

FERRULE

En ferrule er en liten, sylinderformet del som er en integrert del av konnektoren.

Ferrulen holder og justerer den optiske fiberen på plass for å sikre at den er nøyaktig justert med den andre fiberen under tilkoblingen.

Den bidrar til å oppnå en lavt tap av signaler og stabil fiberforbindelse.

Ferrulen er laget av forskjellige materialer, men de mest vanlige er:

Keramikk: Dette materialet brukes ofte fordi det er holdbart og kan gi veldig presise hull for fiberen.

Messing eller plast: Brukes i noen typer lavere kostnad eller mindre kritiske applikasjoner.

Ferrulen sørger for at fiberen er på riktig plass i konnektoren og forhindrer at den beveger seg eller blir bøyd på en måte som kan forårsake tap eller forvrengning av signalet.

OPPSUMMERT

KORT

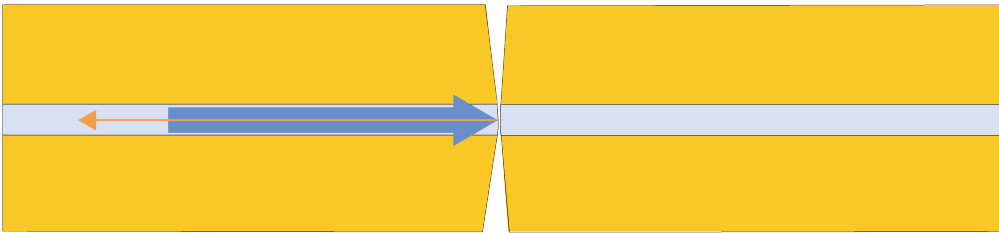
Konnektor: Brukes til å koble sammen optiske fibre.

Ferrule: En komponent i konnektoren som holder fiberen på plass og sikrer presis justering for god signaloverføring.

Under mikroskopet:

Konnektorer/ferruler

PC (PHYSICAL CONTACT) / UPC (ULTRA PHYSICAL CONTACT)



PC (Physical Contact)

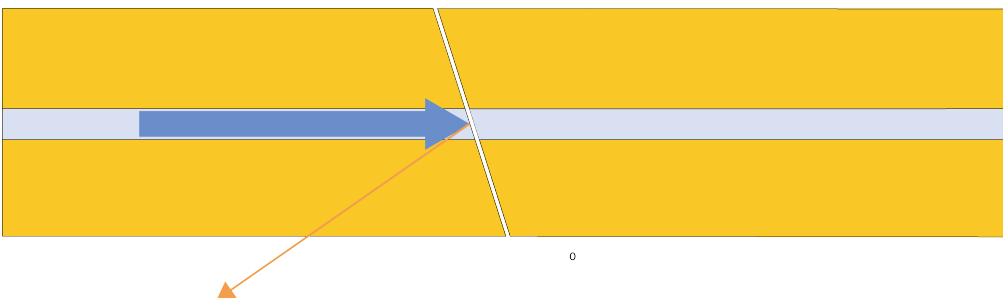
Typisk tilbakerefleksjon: $< 0,01\%$ (-40 dB)

UPC (Ultra Physical Contact)

UPC ser ut som PC men er mer nøyaktig polert og har dermed mindre tilbakerefleksjon.

Typisk tilbakerefleksjon: $< 0,001\%$ (-50 dB)

APC (ANGLED PHYSICAL CONTACT)



APC (Angled Physical Contact)

Ferrulen har en 8° vinkel som gjør at tilbakereflektert lys forlater fiberen.

Typisk tilbakerefleksjon: $< 0,0001\%$ (-60dB)

Vanlige konnektortyper

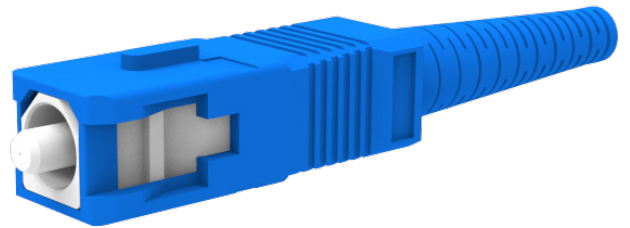


LC (vanligst i dag)

Forkortelsen LC for fiberoptiske kontakter står for Lucent Connector og betyr bokstavelig talt "gjennomsiktig/transparent kontakt".

SC

Forkortelsen SC for fiberoptiske kontakter står for Square (Fiber Optical) Connector og kalles på norsk for en "abonnentkontakt".



MPO /MTP

Forkortelsen MPO står for Multi-fiber Push-On Connector. En type fiberoptisk kontakt som brukes i telekommunikasjon og datanettverk.

Vinklede konnektorer og fiberoptisk polering: APC vs. UPC

Vinklede konnektorer, som SC/APC og delvis LC/APC, er mye brukt innen systemer som CATV (kabel-TV) og GPON (Gigabit Passive Optical Networks) på grunn av deres evne til å minimere refleksjoner. For å forstå deres ytelse og bruksområder, er det nyttig å se nærmere på forskjellen mellom APC (Angled Physical Contact) og UPC (Ultra Physical Contact) polering.

1. Kontaktflate og poleringsvinkel

-APC (Angled Physical Contact):

- Kontaktflaten er polert med en 8-graders vinkel, noe som reduserer refleksjoner ved å lede reflekterte signaler bort fra kjernen.

-UPC (Ultra Physical Contact):

- Har en flatere kontaktflate uten vinkel, med fokus på en ekstremt glatt overflate for å minimere tilbakekobling.

2. Tilbakekobling (Return Loss)

-APC:

- Typisk tilbakekobling er < -60 dB.
- Vinkelen i poleringen gir lavere refleksjoner og bedre ytelse der signalforstyrrelser er kritiske.

-UPC:

- Typisk tilbakekobling er < -55 dB.
- God ytelse, men ikke like effektiv som APC i applikasjoner med strenge krav til refleksjonskontroll

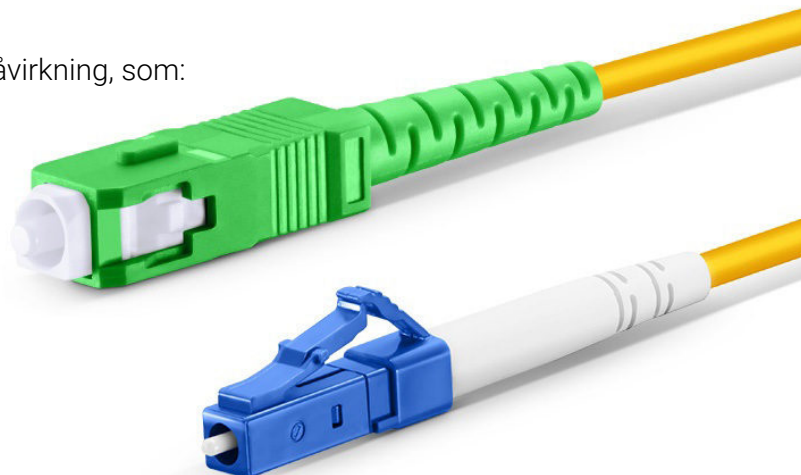
3. Bruksområder

-APC:

- Brukes i systemer der høy presisjon er nødvendig, og refleksjoner kan forstyrre signalene, som:
- Radiofrekvenssystemer (RF)
- Høyhastighets datanettverk
- FTTx-installasjoner (Fiber-to-the-x)

-UPC:

- Passer i miljøer der refleksjoner ikke har like stor påvirkning, som:
- Digital overføring
- Telekommunikasjon
- Datakommunikasjon, som LAN-nettverk.



Fiberoptiske kontakter

Typer, bruksområder og illustrativ fordeling – 2026

Kontaktvalget følger utstyrets grensesnitt, antall fibre, plassbehov og krav til refleksjon. Bruken varierer betydelig mellom FTTH/PON, telekom og datasentre.

1. Kontakttyper og bruk

LC

Kompakt kontakt, mye brukt på transceivere og i duplexforbindelser i nettverk og datasentre. LC/UPC er vanlig; LC/APC brukes der grensesnittet krever det.

SC

Push-pull-kontakt brukt i telekom og aksessnett. SC/APC er sentral i FTTH/PON. SC/UPC finnes blant annet i patchpaneler og eksisterende installasjoner.

MPO/MTP

Flerfiberkontakt for høy tetthet, fibertrunker og parallelle forbindelser, blant annet 100G, 400G og 800G. Finnes med UPC og APC. MTP er en merkevarevariant av MPO.

FC og andre

FC brukes blant annet i måleutstyr og laboratorier. ST og E2000 finnes i enkelte installasjoner. Mindre kontakttyper som CS, SN, MDC og MMC brukes for økt tetthet.

2. APC og UPC

UPC - Ultra Physical Contact

Kontaktflate uten APC-vinkling. Brukes mye i LC-baserte Ethernet- og telekomforbindelser, også i avanserte høyhastighetsnettverk.

APC - Angled Physical Contact

Vinklet kontaktflate som reduserer lysrefleksjon tilbake mot senderen. Vanlig i FTTH/PON og RF-over-fiber, samt på utvalgt høyhastighetsoptikk.

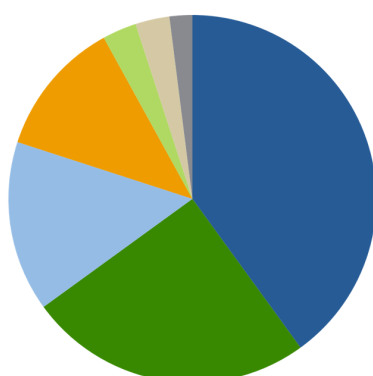
Datasentre og høyhastighetsoptikk

Både UPC og APC brukes. MPO/APC finnes på moderne 400G- og 800G-optikk, også enkelte multimodevarianter. Følg alltid modulens spesifikasjon.

Riktig mating

APC og UPC skal ikke mates direkte mot hverandre. For MPO må også fibertall, nøkkel, polaritet og hann-/hunntutførelse passe til utstyret.

3. Anslått global fordeling



■ LC/UPC	40 %
■ SC/APC	25 %
■ SC/UPC	15 %
■ MPO/MTP – APC og UPC	12 %
■ LC/APC	3 %
■ FC – alle slipetyper	3 %
■ Andre	2 %

Totalt: 100 %

Illustrativt anslag – ikke dokumentert markedsstatistikk.

Multifiber –

konnektorer - MPO

TEKNISKE DETALJER

En **multifiber-konnektor** er en fiberoptisk kontakt som kan koble flere fiberkabler i én enkelt enhet.

Den brukes ofte i høyhastighetsnettverk og datasentre der det er behov for kompakte og effektive løsninger for overføring av store datamengder.

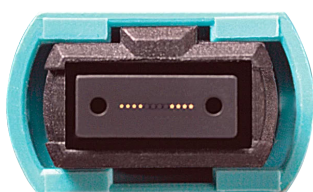


MT/RJ (Mechanical Transfer Registered Jack) er normalt kun brukt for multimodus fiber og i eldre typer utstyr.

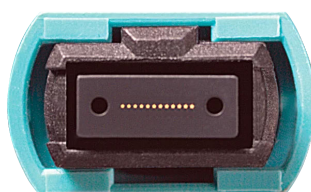
MPO (Multi-fiber Push On) er en generell standard for en familie av multifiber konnektorer. MTP er en merkevare for US Conec.

Det er mange ulike konfigurasjoner med ulike fibertyper, vinkling (singlemodus er normalt vinklet), fiberantall, kjønn og polaritet (sortering/kryssing av fiber) så det er viktig å passe på å få en totalløsning som fungerer sammen.

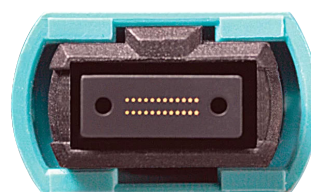
8 fiber
MPO Konnektor



12 fiber
MPO Konnektor



24 fiber
MPO Konnektor



digital kommunikasjon.

en innføring



Digital kommunikasjon

Sender og mottaker

ELEKTRISK KOMMUNIKASJON

- Én spenning er «0», en annen er «1» (For eksempel 0 V og 5 V)
- Mottaker er et voltmeter.

OPTISK KOMMUNIKASJON

- Elektriske signaler gjøres om til lyspulser i en laser/diode.
- Mottaker er en fotocelle hvor lys omgjøres til elektriske signaler igjen.

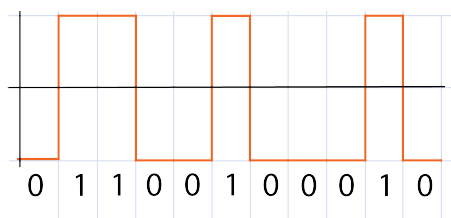


Fig 1: Rent signal før påvirkning av fysiske elementer/fiber

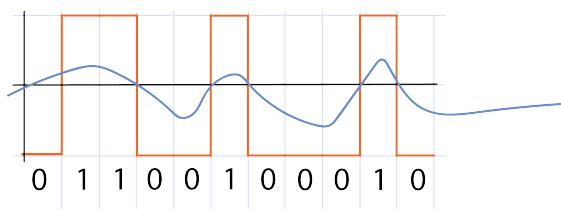


Fig 2: Rent signal etter påvirkning av fysiske elementer/fiber

- All informasjon er kodet som «0» eller «1»
- Det avgjørende for vellykket overføring av informasjon er å tolke om det som ble sendt var «0» eller «1»

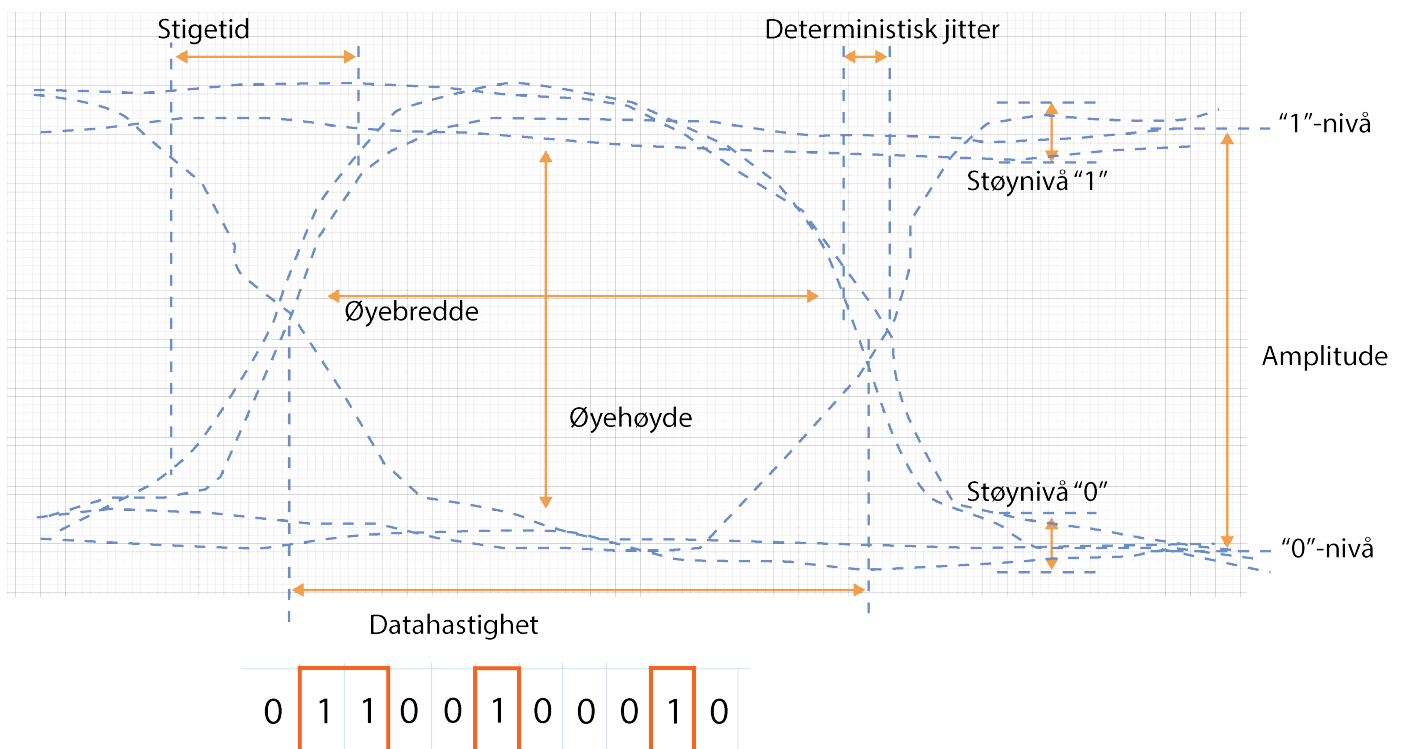
Digital kommunikasjon

ØYEDIAGRAM

Et **øyediagram** (eller eye diagram) er en grafisk representasjon som brukes i elektronikk og signalbehandling for å visualisere kvaliteten på et digitalt signal, spesielt når det sendes over et kommunikasjonskanal, som et nettverk eller et kabelsystem.

Øyediagrammet lages ved å plote flere sykluser av signalet på samme tid (overlappende), slik at det dannes et mønster som ligner på et "øyeblikk" (derav navnet "øyediagram").

Dette hjelper til med å visualisere signalets integritet og identifisere potensielle problemer som kan påvirke signalets kvalitet, som støy, jitter (variabilitet i tidsintervallene mellom signaler), og forvrengning.



Digital kommunikasjon

ØYEDIAGRAM

Forklaring på øyediagram:

1. 0-nivå

Zero Level er et mål for gjennomsnittsverdien av den logiske 0 i et øyediagram.

2. 1-nivå

One Level er et mål for gjennomsnittsverdien av den logiske 1 i et øyediagram.

3. Stigetid

Rise time er et mål for overgangstiden til dataene fra 10%-nivået til 90%-nivået på den stigende skråningen av et øyediagram.

4. Øyehøyde

Eye height er et mål for den vertikale åpningen i et øyediagram. En ideell øyeåpning ville blitt målt fra ett-nivået til null-nivået. Støy i øyet vil imidlertid få øyet til å lukkes. Eye height-målingen bestemmer øyets lukking på grunn av støy.

5. Øyebredde

Eye width er et mål for den horisontale åpningen i et øyediagram. Ideelt sett ville øyevidden blitt målt mellom kryssingspunktene i øyet. Jitter kan imidlertid vises på bølgeformen og påvirke øyeåpningen. En preferanseinnstilling bestemmer nøyaktig hvordan denne målingen gjøres.

6. Deterministisk Jitter

Deterministic jitter er avviket av en overgang fra sin ideelle tid forårsaket av refleksjoner i forhold til andre overganger.

7. Amplitude

Eye amplitude er forskjellen mellom histogramgjennomsnittsverdiene for logisk 1-nivå og logisk 0-nivå i et øyediagram.

8. Datahastighet

Bit rate (datahastighet) er den inverse av bitperioden ($1 / \text{bitperiode}$). Bitperioden er et mål for den horisontale åpningen i et øyediagram ved kryssingspunktene til øyet.

Digital kommunikasjon

Fiberoptiske måleenheter

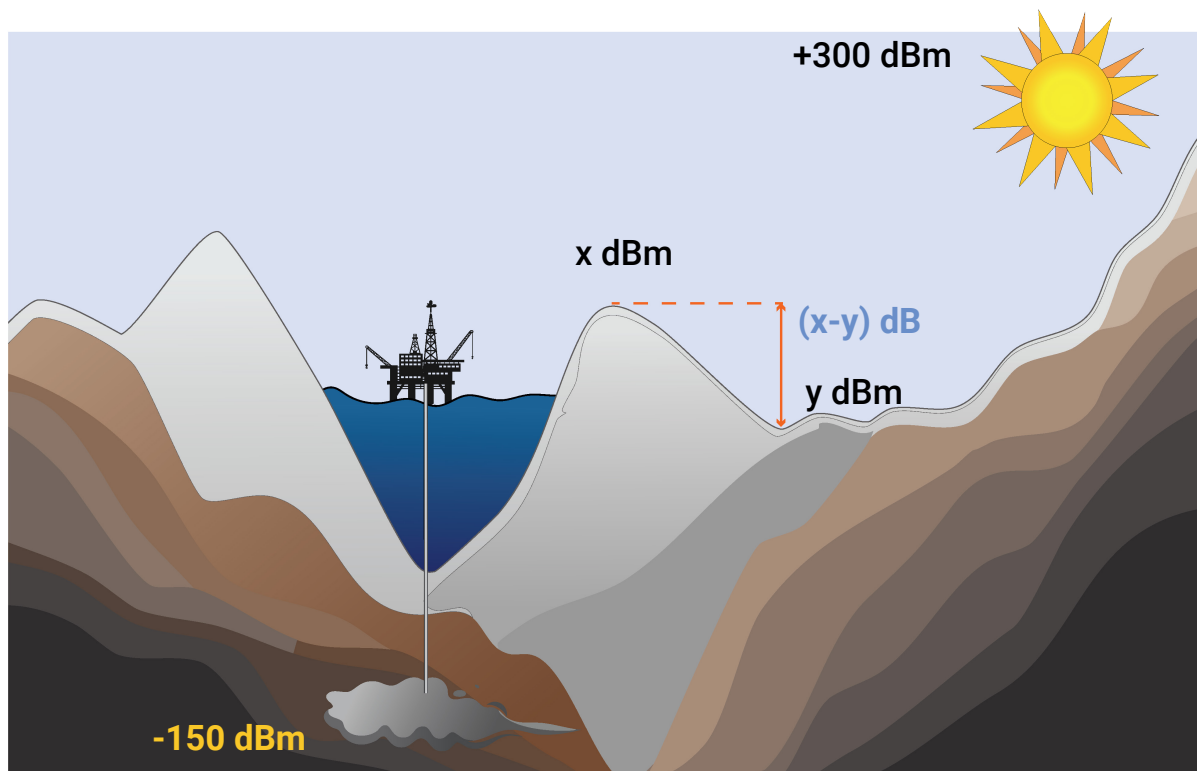
dBm Absolutte effektnivåer (en bestemt lysmengde)

dB Demping / forskjell mellom effektnivåer

dBm kan ha både positive og negative verdier. Null lys tilsvarer $-\infty$ dBm mens 0 dBm tilsvarer sterkeste laserpeker man ikke trenger tillatelse fra Statens Strålevern for å bruke.

-150 dBm er i praksis helt mørkt (ett foton per sekund) mens +75 dBm er laserkanon. Sola stråler +300 dBm, av dette treffer +200 dBm jorda.

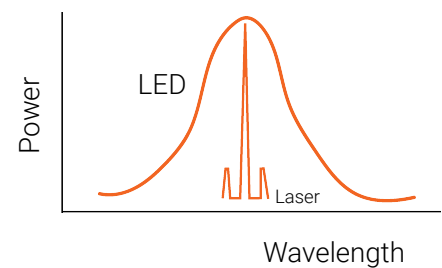
Innen fiberoptikk holder man seg vanligvis mellom -30 og + 5 dBm. I spesielle applikasjoner kan man gå ned til -70 dBm og opp til +30 dBm.



Elektriske signaler blir gjort om til lys

Ulike typer sendere

Forskjellen mellom LED og laser.



LED har en begrenset båndbredde, mens lasere generelt er mye raskere.

En annen viktig forskjell mellom LED og lasere er det spektrale mønsteret. LED avgir et veldig bredt spektrum (ofte flere titalls nanometer), noe som fører til betydelig kromatisk dispersjon i fiberoptiske systemer (mer om dette snart). Derimot har lasere et smalere spektrum, noe som resulterer i minimalt med dispersjon. Dette gjør at lasere kan håndtere lengre avstander og høyere bitrater med mye større effektivitet.

DFB-lasere (Distributed Feedback Lasers), som benyttes for lange avstander og i WDM-systemer (Wavelength Division Multiplexing), har det smaleste spekteret og gir derfor minst kromatisk dispersjon. I sin enkleste form kalles de også Directly Modulated Lasers (DML).

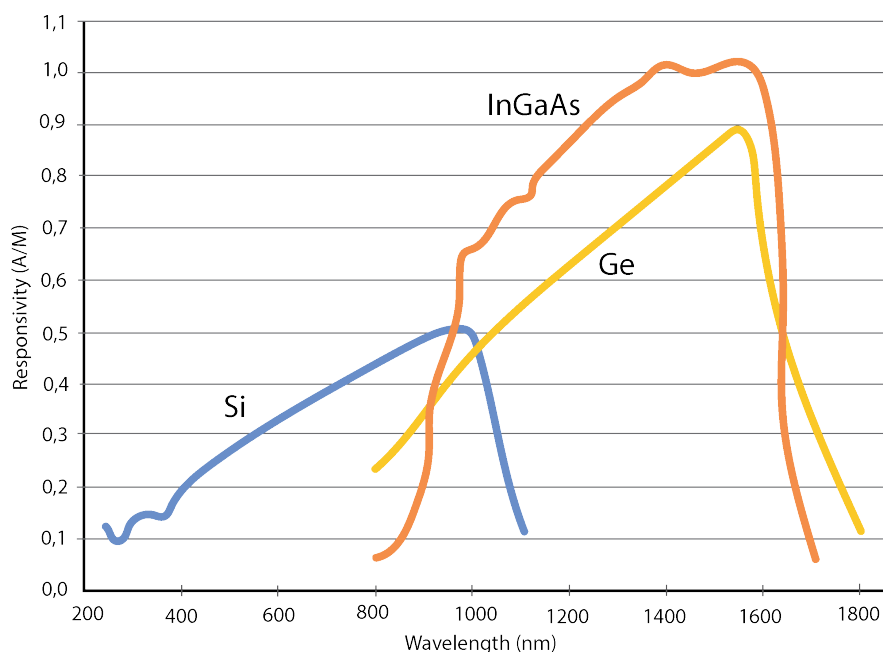
For 10G CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) og DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), kan man støte på begreper som EML (Electro-Absorption Modulated Laser) og CML (Chirp-Managed Laser). Disse teknologiene er basert på DFB-lasere, men bruker eksterne modulatorer for å oppnå den høyeste kvaliteten på utgangssignalet, noe som muliggjør lengre rekkevidde og bedre ytelse.

Device type	Wavelength (nm)	Power (dBm)	Bandwith	Fiber types
LED	850, 1300	-30 to -10	< 250 MHz	MM
VCEL	850, 1300	-10 to 0	< 10 MHz	MM
Fabry-Perot Laser	850, 1310 (1280-1330) 1550 (1480-1650)	0 to +10	< 10 MHz	MM , SM
FB laser	1550 (1480-1650)	0 to +25	< 10 MHz	S

VCSEL = vertical cavity surface-emitting laser
DFB = distributed feedback

Lys blir gjort om til elektriske signaler

Ulike typer mottakere



PIN:

Vanlig halvledermottaker.
Typisk følsomhet: -15 dBm
Typisk maxgrense: -1 dBm

APD:

Aktiv forsterket mottaker.
Typisk følsomhet: -25 dBm
Typisk maxgrense: -7 dBm

Tallene over er for en BER på 10^{-9} , bitrate 10 Gb/s og bølgelengde 1550 nm.

- For 1 Gb/s klarer man seg med 10 dB mindre lys
- For BER på 10^{-12} trenger man 1 dB mer lys.
- For 1310 nm trenger man 1,5 dB mer lys.

Evnen til et optisk fibersystem å overføre data avhenger av den optiske effekten ved mottakeren.

For mye eller for lite effekt fører til høy bitfeilrate. For mye effekt kan mette ut forsterkeren, mens for lite effekt kan føre til støy som forstyrrer signalet.

Mottakere bruker fotodioder for å konvertere optiske signaler til elektriske. Silisiumfotodioder brukes for korte bølgelengder (650 nm for plastfiber, 850 nm for glassfiber), mens InGaAs fotodioder brukes for lengre bølgelengder på grunn av lavere støy.

Ved høye hastigheter kan lavinsjefotodioder (APD) brukes for bedre ytelse, selv om de er dyrere og mer komplekse.

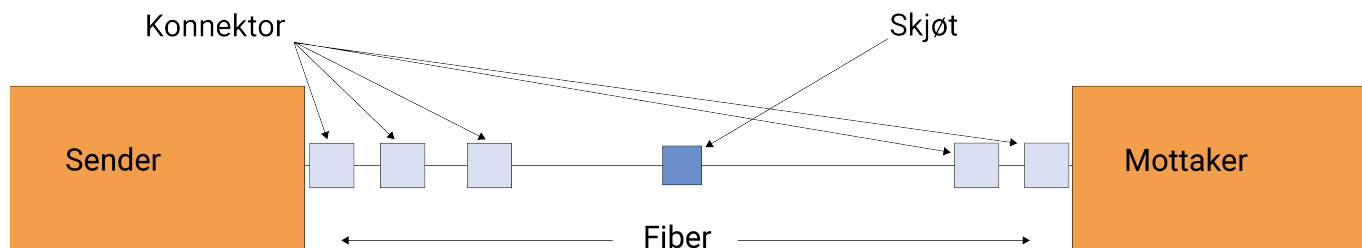
OPPSUMMERT

KORT

- En mottaker er vanligvis bredbåndet og kan detektere alle relevante bølgelengder
- Viktigste karakteristika er grensenivåer for effekt (max og min)
- Selve mottakeren er analog med gradvis økning av BER ved for høy eller lav effekt

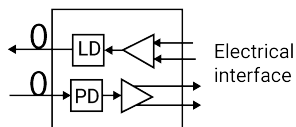
Sender + mottaker = sant

SENDER (TRANSMITTER) OG MOTTAKER (RECEIVER) ER VANLIGVIS SATT SAMMEN I ÉN MODUL, EN TRANSCEIVER:



SFP

- 📶 1Gbps
- 📶 Dual Fiber Transit & Resceiver
- 📶 Laser: Tosa Rosa

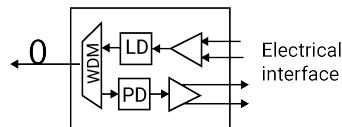


Two Port



Bidi SFP

- 📶 1Gbps
- 📶 Dual Fiber Transit & Resceiver
- 📶 Laser: Bosa



One Port



TEKNISKE DETALJER

Sender (transmitter) og mottaker (receiver) er ofte integrert i én modul kalt en transceiver. En transceiver er en enhet som både sender og mottar optiske signaler, og fungerer som en viktig komponent i fiberoptiske kommunikasjonssystemer.

lys.

en innføring



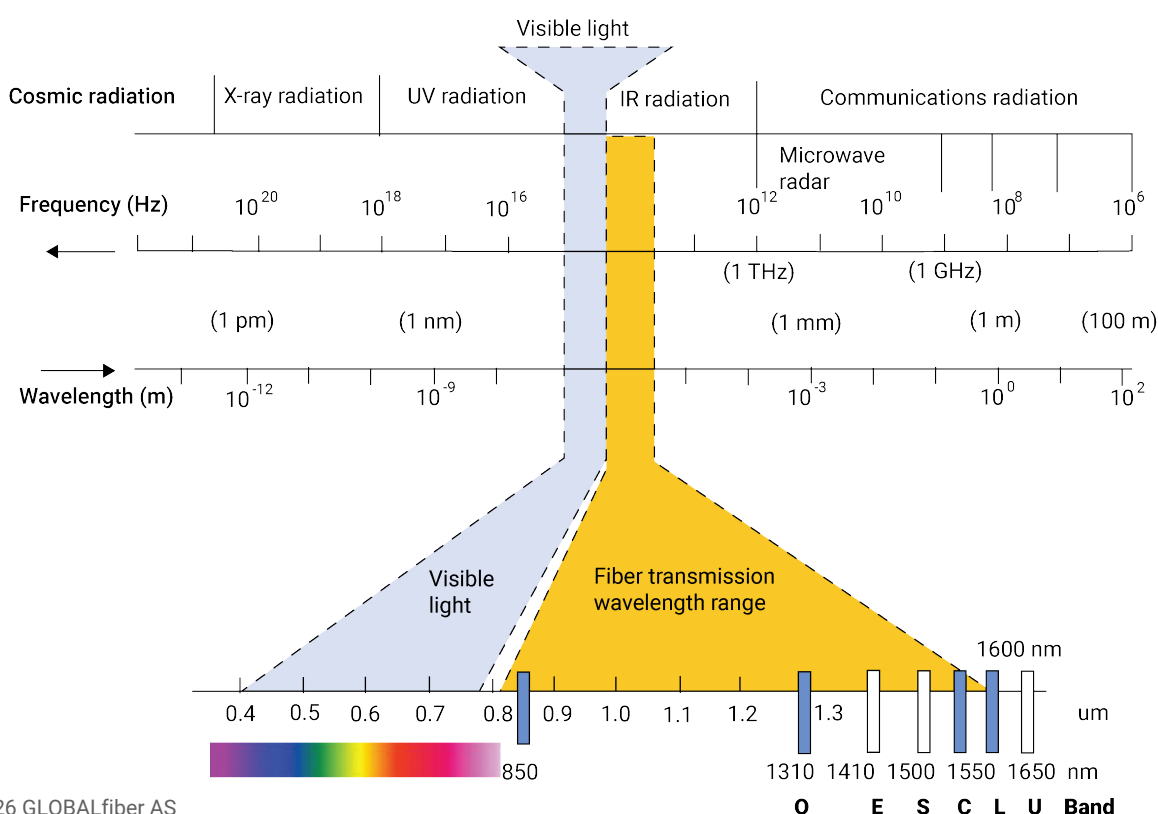
Elektromagnetisk spektrum

Det elektromagnetiske spektrum er en oversikt over alle typer elektromagnetisk stråling, organisert etter bølgelengde eller frekvens. Elektromagnetisk stråling består av elektriske og magnetiske felt som svinger i takt og beveger seg gjennom rommet som bølger. Spekteret inkluderer mange ulike typer stråling, fra lavfrekvente radiobølger til høyenergis gammastråling.

Hovedområdene i det elektromagnetiske spektrumet er:

Radiobølger:	Lavfrekvent stråling som brukes i kommunikasjon (radio, TV, mobiltelefoner).
Mikrobølger:	Brukes blant annet i mikrobølgeovner og radar.
Infrarødt lys (IR):	Oppfattes som varme, brukes i fjernkontroller og varmekameraer.
Synlig lys:	Den delen av spekteret vi kan se, med farger fra rødt (lengst bølgelengde) til fiolett (kortest bølgelengde).
Ultrafiolett lys (UV):	Høyere energi enn synlig lys, kan forårsake solbrenthet.
Røntgenstråler:	Brukes i medisinsk bildebehandling, kan trenge gjennom vev.
Gammastråler:	Den mest energirike strålingen, oppstår ofte i atomkjerner og brukes i kreftbehandling.

Det elektromagnetiske spektrumet er fundamentalt for mange teknologier og vitenskaper, fra astronomi til kommunikasjon og medisin.



Dempeeffekt i fiber

Når lys reiser gjennom en fiberoptisk kabel, mister det noe av sin styrke. Denne svekkelsen i signalstyrken kalles dempeeffekt.

Dempeeffekten i fiberoptiske kabler påvirkes hovedsakelig av fire faktorer:

- **Spredning:** Lys sprer seg på grunn av små ujevnheter i fiberen.
- **Absorpsjon:** Noe av lysets energi omdannes til varme.
- **Tilkoblingstap:** Oppstår ved skjøter og koblinger i fiberen.
- **Bøyningstap:** Lys går tapt når fiberen bøyes for skarpt.

SPREDNINGSTAP (Scattering Losses)

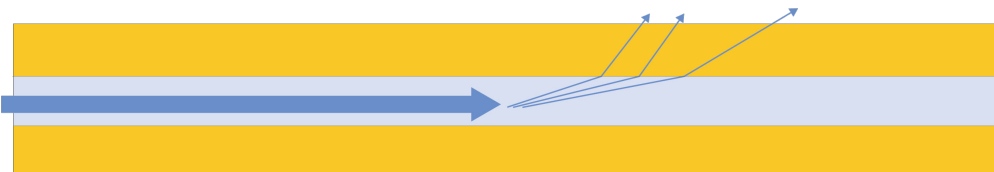
Spredning skjer på grunn av små feil i glasset, som for eksempel spor av vann. Et kjent eksempel på spredning er hvorfor himmelen ser blå ut: sollys sprer seg i atmosfæren.

Selv med perfekt fiber vil det alltid være en viss spredning, kjent som Rayleigh-spredning. Denne avtar når bølgelengden på lyset øker.

For eksempel:

- Ved $0,8\text{ }\mu\text{m}$ bølgelengde: ca. 2,9 dB/km.
- Ved $1,3\text{ }\mu\text{m}$: ca. 0,3 dB/km.
- Ved $1,55\text{ }\mu\text{m}$: ca. 0,15 dB/km.

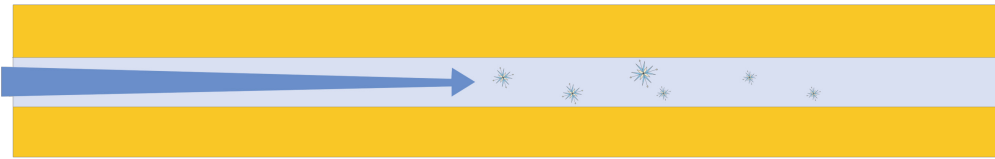
Moderne glassfiber har nesten samme lave tap som disse teoretiske grensene. Faktisk dempes lyset mindre i 6 meter fiberoptisk kabel enn i en vanlig vindusrute.



Dempeeffekt i fiber

ABSORPSJONSTAP (Absorption Losses)

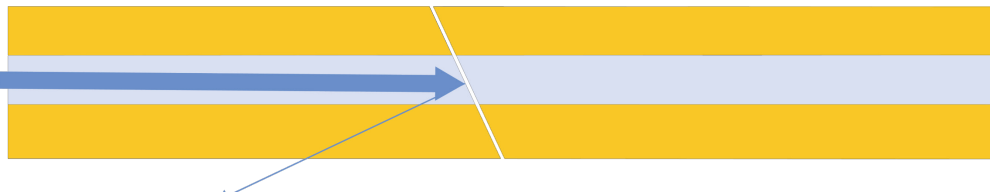
Absorpsjon oppstår når lysenergi omdannes til varme. Dette kan være nyttig, for eksempel i fiberovertrekk som hindrer lys i å slippe ut. Men absorpsjon blir et problem hvis det skyldes feil eller urenheter i selve fiberen. Fiberoptiske systemer bruker vanligvis bølgelengder som 0,8, 1,3 og 1,5 μm , hvor absorpsjonstapene er lavere.



TILKOBLINGSTAP (Connection Losses)

Tilkoblingstap er uunngåelige og utgjør en stor del av tapene i kommersielle systemer. Koblinger og skjøter må være svært nøyaktige for å minimere tap. Endene på fibrene må være justert med en feilmargin på mindre enn én grad, og kjernen må være konsentrisk med en nøyaktighet på 0,5 μm .

Mekanisk skjøting brukes ofte. Dette innebærer å feste fiberendene sammen med en klemme. Mekaniske skjøter har vanligvis et tap på ca. 0,15 dB. Alternativt brukes kontakter, der fibrene limes sammen med en spesiell epoxy. Kontakter har et tap på mellom 0,25 og 1,5 dB, men er raske og praktiske å installere.



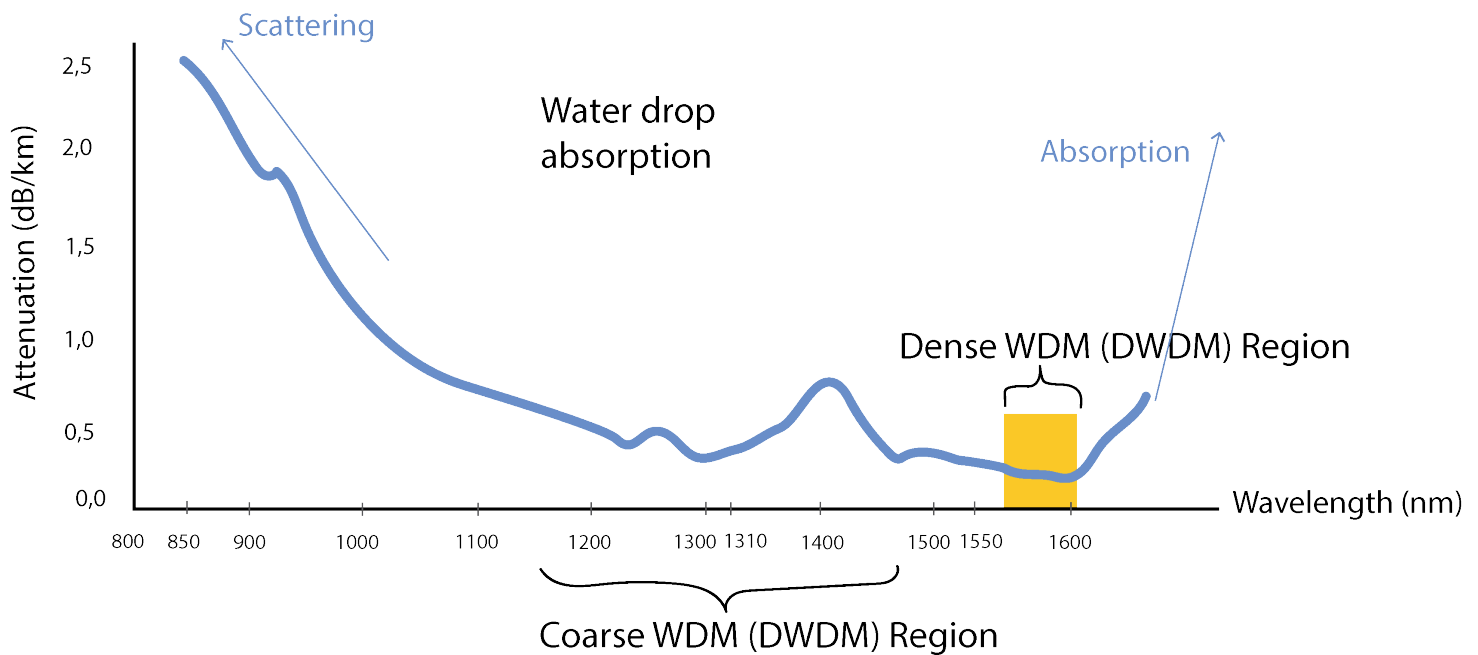
BØYNINGSTAP (Bending Losses)

Når en fiber bøyes, må lyset på yttersiden av bøyningen bevege seg raskere enn lysets hastighet i materialet – noe som ikke er mulig. Dette fører til at noe lys lekker ut av fiberen.

For kommersielle kabler med bølgelengder på 1,3 og 1,5 μm forårsaker ikke bøyning under produksjon eller installasjon merkbart tap, så lenge bøyningene ikke er for skarpe.



Demping i optisk fiber



HVORDAN REDUSERE DEMPING?

- Bruk fiberoptiske kabler av høy kvalitet med minimalt antall urenheter.
- Unngå skarpe bøyninger under installasjon.
- Bruk nøyaktige skjøte- og koblingsteknikker.
- Velg riktig bølgelengde for signaloverføring, for eksempel 1,3 eller 1,55 μm , der dempingen er lavest.

Demping er en nøkkelfaktor i designet av fiberoptiske systemer og må håndteres nøye for å sikre effektiv overføring av data over lange avstander.

Tap av lys i konnektor

Tap i konnektor refererer til signalstyrken som går tapt når to fiberoptiske kabler kobles sammen ved hjelp av en konnektor. Dette tapet oppstår fordi lyset ikke overføres perfekt fra én fiber til den neste. Selv små feil eller ujevnheter i koblingen kan føre til redusert signalstyrke.

ÅRSAKER TIL TAP I KONNEKTOR

Feiljustering

Hvis fibre ikke er nøyaktig på linje, kan bare en del av lyset overføres. Dette kan skje hvis fiberens kjerner ikke er sentrert eller om de er vinklet feil.

Refleksjon

Noe lys reflekteres tilbake i stedet for å gå videre til den andre fiberen. Dette skjer ofte hvis fiberoverflatene ikke er polert godt nok.

Ulik fiberkvalitet

Hvis de to fibre har ulike kjerner eller optiske egenskaper, kan overføringen bli mindre effektiv.

Forurensning eller skade

Støv, smuss eller riper på fiberendene kan blokkere eller spre lyset, noe som fører til tap.

TYPISK TAP I KONNEKTOR

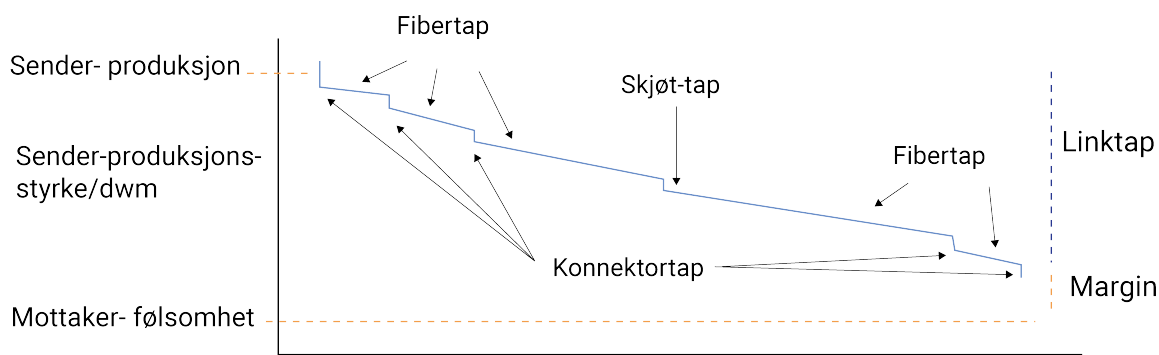
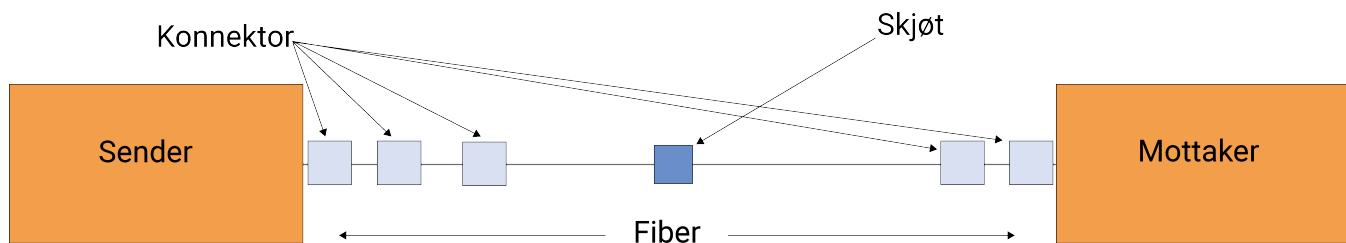
Tapet i en konnektor varierer vanligvis mellom 0,25 og 1,5 dB.

Med riktig montering, polering og vedlikehold kan tapet reduseres til 0,1–0,3 dB, som regnes som akseptabelt i moderne fiberoptiske systemer.

HVORDAN REDUSERE TAP I KONNEKTOR?

- Bruk høykvalitets konnektorer og poler fiberoverflatene nøyaktig.
- Sørg for at fibre er riktig justert ved hjelp av presisjonsverktøy.
- Hold koblingspunktet rent og fritt for støv og smuss.
- Inspeksjon og vedlikehold av konnektorer er viktig for å unngå unødvendig tap.
- Dette er kritisk for å opprettholde god signalkvalitet i fiberoptiske nettverk, spesielt over lange avstander eller i systemer med mange tilkoblinger.

Optisk link effekt-/dempingsbudsjett



Det optiske effektbudsjettet for en link bestemmes av to faktorer:

- Utgangseffekten til senderen og følsomheten til mottakeren.
- Lysmengden som senderen klarer å sende inn i fiberen utgjør utgangseffekten.

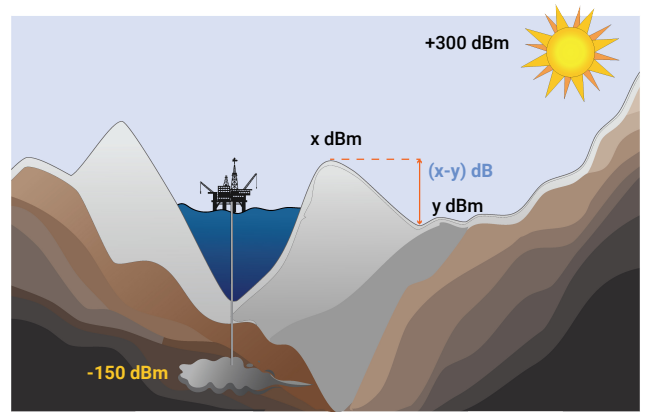
Det laveste effektnivået som gir en akseptabel bitfeilrate (BER) avgjør mottakerfølsomheten. Forskjellen mellom disse to effektnivåene gir maksimal demping eller effektbudsjettet for linken.

Type demping	Standardverdier (for plug-and-play)	Kommentar
Patchesnorer	0,50 dB per konnektor	For alle snorer fra sender til mottaker.
Margin	3 dB	Dekker aldrig, skjøtinger etter brudd, omlegginger osv.
Tap i fiber	0,25 dB/km for 1550 nm 0,35 dB/km for 1310 nm	Ny fiber kan ha under 0,2 dB/km for 1550 nm og under 0,3 dB/km for 1310 nm.

Med verdiene ovenfor bør man være trygg på at linken vil fungere i lang tid.

Standardverdiene er konservative så faktisk rekkevidde er vanligvis en del lenger. Skal man bruke offensive verdier må man ha bedre kontroll på komponenter og renslighet.

Måling av lys



Måling av lys i fiberoptiske systemer er avgjørende for å sikre at systemene fungerer optimalt. Dette innebærer å vurdere lysstyrke, tap, bølgelengder og andre parametere som påvirker overføring av data og signaler. Her er en oversikt over de vanligste metodene og verktøyene som brukes for å måle lys i fiberoptikk:

1. VIKTIGE PARAMETRE

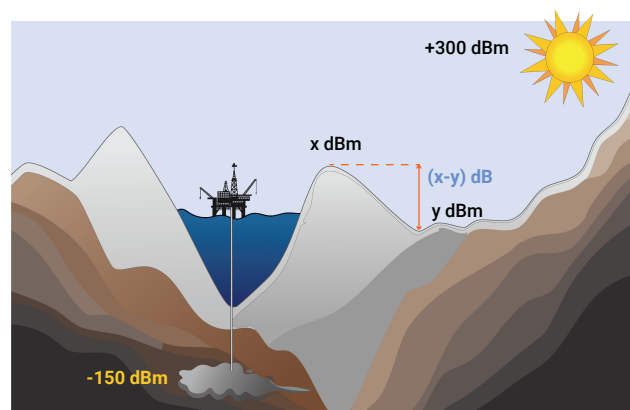
- | | |
|---------------------------------|--|
| - Optisk effekt (dBm): | Måling av lysstyrken som overføres gjennom en fiber. |
| - Innsatt tap (Insertion Loss): | Mengden lys som går tapt når signalet passerer gjennom en fiber eller en forbindelse. Måles i desibel (dB). |
| - Returtap (Return Loss): | Mengden lys som reflekteres tilbake i systemet. Også målt i desibel. |
| - Spektral analyse: | Fordelingen av lysets intensitet over ulike bølgelengder, som er viktig for WDM (Wavelength Division Multiplexing) systemer. |
| - Dempefaktor: | Måler hvor mye signalet svekkes over en gitt lengde av fiber. |

2. VERKTØY FOR MÅLING

- | | |
|---|--|
| - Optisk effektmeter (Optical Power Meter): | Måler lysstyrken (effekten) i fiberoptikken. Dette er grunnleggende for å vurdere signalstyrke. |
| - Lyskilde(Optical Light Source) : | Brukes sammen med et effektmeter for å måle tap i fiberkabelen som referanselys.. |
| - OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer): | Brukes til å identifisere feil, skjøter og demping i fiberkabler. OTDR sender et lysglimt inn i fiberen og analyserer reflektert lys for å lokalisere problemer. |
| - Spektrumanalysator: | Måler spektralfordelingen av lyset i fiberen, spesielt viktig i WDM-systemer. |

mer om

Måling av lys



3. MÅLEMETODER

Direkte effektmåling:	Kobler et effektmeter direkte til fiberen for å måle utgangseffekten.
Tapstest (Loss Testing):	Måler innsatttap mellom to punkter ved hjelp av en referanselyskilde og et effektmeter.
Reflektometri (OTDR):	Kartlegger fiberens kvalitet og identifiserer nøyaktig hvor tap eller feil oppstår.
Spektralmåling:	Analyserer signalets bølgelengder for å vurdere om det oppfyller kravene til et gitt system.

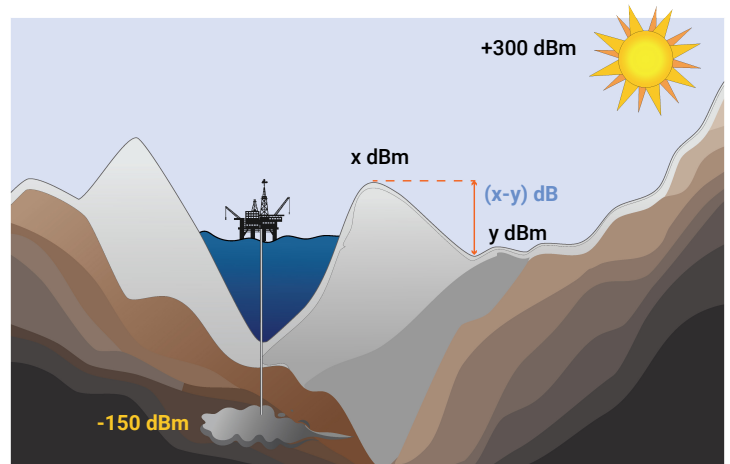
4. VANLIGE UTFORDRINGER OG LØSNINGER

Mikrobøy og makrobøy:	Små eller store bøy i fiberen kan føre til økt tap. Bruk OTDR for å identifisere og rette opp slike problemer.
Koblingsfeil:	Dårlige skjøter eller kontakter kan reflektere eller miste lys. Mål innsatttap og returtap for å evaluere.
Signalrefleksjon:	Overflatemessige ujevnheter kan forårsake refleksjoner. Returtap kan måles for å overvåke dette.

- Lysmengde kan måles i watt (W).
- Varierer voldsomt fra nanowatt til watt. (0,00032 W er vanskelig å lese.)
- demping i fiber er proporsjonal med lysmengde (ca. 5% per km)

måling av lys

Fra watt til dBm



- Definerer at 0 dBm = 1 mW
- Bruker 10 som grunntall slik at $\lg(10) = 1$
- Ganger med 10 for at en tidobling av lysmengden skal tilsvare +10 dB (gir hendigere tall å forholde seg til).

$$\text{dBm} = 10 * \lg (\text{mW})$$


$$\text{mW} = 10^{(\text{dBm}/10)}$$

0,000032 W blir da -15 dBm
5% demping per km = - 0,22 dB/km.

Overgangen fra watt til dBm gir enklere beregninger, bedre håndtering av store dynamiske områder, og en standardisert metode for å representere effektnivåer. Dette gjør det til et foretrukket valg i fiberoptikk og telekommunikasjon.

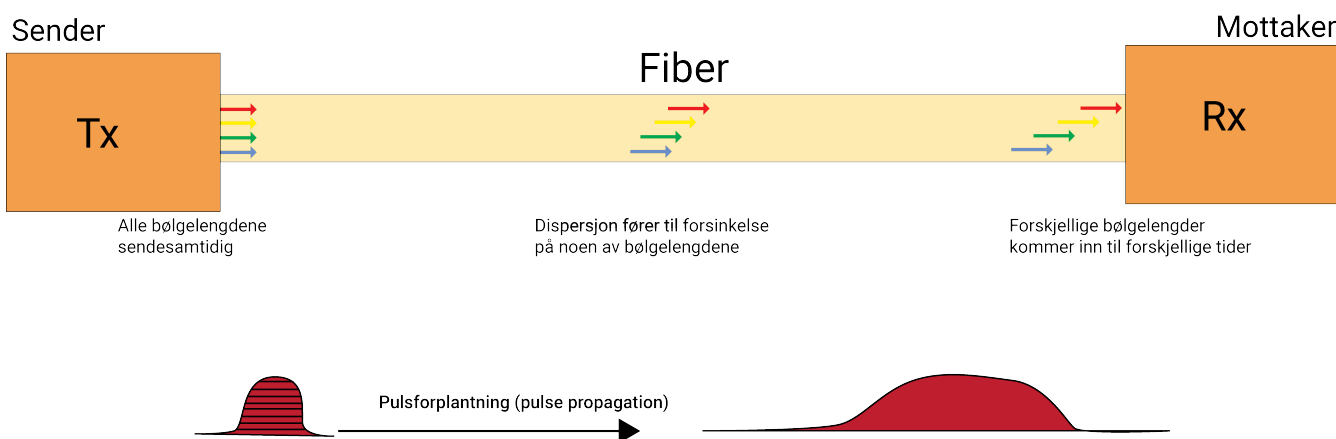
Begrensninger for optisk transport

DISPERSJON (spredning)

Kromatisk dispersjon: Ulike bølgelengder beveger seg med forskjellige hastigheter gjennom fiberen, noe som forårsaker spredning av lyspulser over tid. Dette kan føre til overlapp mellom signaler og redusert overføringskapasitet.

Modal dispersjon: I multimodusfiber tar forskjellige stråler ulike veier gjennom fiberen, noe som fører til tidsforskjeller og signalforvrengning.

Polarisasjonsmodaldispersjon (PMD): Lys med ulike polarisasjoner kan forplante seg med litt forskjellige hastigheter, noe som påvirker signalets integritet.



Måles i antall pikosekunder tidsforskjell to bølgelengder med 1 nm mellom får per kilometer fiber:

$$\text{ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$$

andre begrensninger for optisk transport

DEMPEFAKTOR

Fiberen absorberer og sprer noe av lyset, noe som reduserer signalstyrken over avstand. Dette krever bruk av forsterkere ved lengre transportdistanser.

IKKE-LINEÆRE FAKTORER

Ved høye effektnivåer kan ikke-lineære fenomener oppstå, for eksempel:

- Selvfase-modulasjon (SPM): Pulsens intensitet endrer fibermediets brytningsindeks, noe som påvirker pulsens form.
- Stimulerte Raman- og Brillouin-effekter: Forårsaker energioverføring mellom bølgelengder eller spredning av signalet.
- Kryssfase-modulasjon (XPM): Når bølgelengder påvirker hverandre i fiber, kan det føre til signalforvrengning.

TAP I SKJØTER OG KONTAKTER

Skjøter, koblinger og kontakter kan introdusere refleksjoner og tap som påvirker signalets kvalitet.

TEKNISKE LØSNINGER

Dispersion Compensation: Bruk av kompenseringsfiber eller moduler for å motvirke dispersjon.

Optiske forsterkere: Øker signalstyrken over lange avstander.

Wavelength Division Multiplexing (WDM): Utnytter flere bølgelengder for å øke kapasiteten.

Bedre fiberdesign: Enkelmodig fiber reduserer modal dispersjon, og spesialfiber kan redusere ikke-lineære effekter.

Avansert modulasjon: Teknologier som QAM (Quadrature Amplitude Modulation) kan øke datahastigheten per kanal.

fibertyper.



Ulike typer multimodus fiber

Type	Standard	Lansert	Kjerne-diameter μm	Farge	Navn
OM1	IES 60793-2-10 A1b OM1	1989	62,5	Grå (el. oransje)	Standard 62.5/125 μm
OM2	IEC 60793-2-10 A1a.1	1998	50	Oransje	Standard 50/125 μm
OM3	IEC 60793-2-10 A1a.2	2002	50	Aqua /Turkis	Laser Optimized MMF
OM4	IEC 60793-2-10 A1a.3	2009	50	Erica Violet / Magenta	Enhanced Laser Optimized MMF
OM5	IEC 60793-2-10 A1a.4	2014	50	Limegrønn	Wideband MMF

Type	Båndbredde 850 nm OFL [MHz * km]	Rekkevidde 1Gb/s (850/1300 nm) [m]	Rekkevidde 10GBase-SR [m]	Rekkevidde 40G/100G (850 nm SR4/SR10) [m]
OM1	200	275 / 550	33	N/A
OM2	500	550 / 550	82	N/A
OM3	1500	800 / 550	300	70-100
OM4	3500	1100 / 550	400-550	100-150
OM5	3500	1100 / 550	400-550	100-150

TEKNISKE DETALJER

- Multimodusfiber har en større kjernediameter enn singlemodusfiber.

• Typiske størrelser:

- 50 μm (OM2-OM5)
- 62,5 μm (eldre standard, OM1-fiber).

Lysbølgelengder:

- Vanlige bølgelengder: 850 nm og 1300 nm.
- LED- eller VCSEL-lyskilder brukes i stedet for lasere (som i singlemodusfiber).

Multimodusfiber er begrenset i avstand på grunn av modedispersjon (forskjellige lysbaner skaper signalspredning).

Fibertyper

G.652-varianter

Fibertype	MFD [μm]	Chromatic Dispersion [$\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$]	Attenuation (dB)	PMD ($\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$)	Comment
G.652.A	8.6 – 9.5	≤ 3.5 @1310 nm ≤ 18 @1550 nm	< 0.5 / 0.4 @1310 /1550 nm	< 0.5	Original standard
G.652.B	8.6 – 9.5	≤ 3.5 @1310 nm ≤ 18 @1550 nm	< 0.4 / 0.35 / 0.4 @1310 /1550 /1625 nm	< 0.2	Low PMD. Better for high bitrates.
G.652.C	8.6 – 9.5	≤ 3.5 @1310 nm ≤ 18 @1550 nm	< 0.4 from 1310 to 1625 nm, < 0.3 at 1550 nm	< 0.5	Low water peak. Better for CWDM.
G.652.D	8.6 – 9.5	≤ 3.5 @1310 nm ≤ 18 @1550 nm	< 0.4 from 1310 to 1625 nm, < 0.3 from 1530 to 1565 nm	< 0.2	Low water peak, low PMD. Covers all.

G.657-varianter

Bøyeradius	Full band 1260 – 1625 nm	Restricted 1310, 1550, 1625 nm
10 mm	A1	
7,5 mm	A2	B2
5 mm	A3*	B3

Bøyeradius i tabellen over gir rundt 1 dB demping per tårn (lavere for B3, se over).

«A»-klassene er kompatible med G.652.D.
«A3»-fiber er allerede tilgjengelig men ikke standardisert.

Multimodus-utgaver er tilgjengelig men ikke standardisert.

TEKNISKE

DETALJER

MFD (Mode Field Diameter) er i praksis lik for alle G.652-varianter.

Kromatisk dispersjon er også identisk mellom A, B, C og D.
Forskjellene ligger hovedsakelig i:

- PMD-krav
- Water Peak (1383 nm)
- Dempningskrav

Optiske transceivere

en innføring



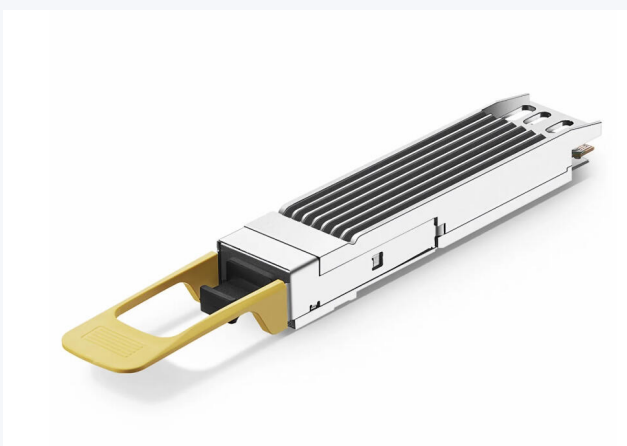
SFP



SFP-DD



QSFP112



OSFP

GLOBALfiber-produktbilder · Eksempler på fire formfaktorer

Produktbildene er ikke vist i samme målestokk.

Om denne kursdelen

Denne delen bygger videre på grunnkursets forklaring av sender, mottaker, konnektorer og bølglengdemultipleksing.

DETTE SKAL DU LÆRE

Forklare hvordan en transceiver virker, lese en optisk betegnelse og skille mellom formfaktor, protokoll og optisk grensesnitt.

Velge en egnet modul og kabel, beregne et enkelt effektbudsjett og feilsøke en link systematisk. Skille mellom optiske moduler og RJ45-kobbertransceivere.

GRUNNLAG FRA KOMPENDIET

Sender/mottaker og transceiver: PDF-side 20-26. Konnektorer: side 13-18. dB/dBm og effektbudsjett: side 23 og 33-36. CWDM og BiDi: side 43-62.

NYTT RESEARCHBASERT INNHOLD

Formfaktorer, høyere hastigheter, standardprofiler, protokoller, coherent og feilsøking er utvidelser basert på standarder og leverandørdokumentasjon. Faglige kilder er bevart i presentatørnotatene. Produktbildene er hentet fra GLOBALfibers produktsider.

TEKNISKE

DETALJER

Eksempler og regneoppgaver er laget for dette kurset. De er ikke produktløfter. Maksimal rekkevidde gjelder bare når alle krav i den aktuelle spesifikasjonen er oppfylt.

01 Transceiverens grunnprinsipp

Sender + mottaker

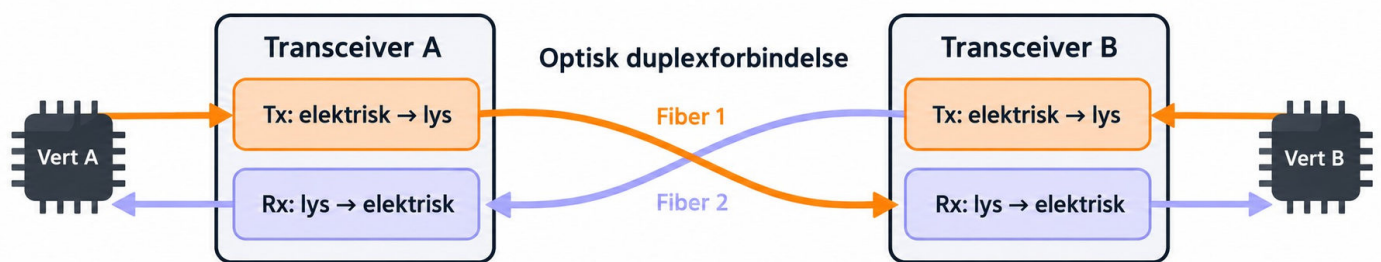
En transceiver kombinerer en sender (Tx) og en mottaker (Rx). Modulen kobler det elektriske grensesnittet i utstyret til det optiske signalet i fiberen.

SENDING OG MOTTAK

Tx omformer elektriske data til modulert lys. Rx omformer mottatt lys til elektriske signaler. På en vanlig duplexlink går Tx i ende A til Rx i ende B, og omvendt.

TO SIDER AV SAMME MODUL

Vertssiden kobles til svitsj, ruter eller nettverkskort. Fibersiden kan bruke én eller flere bølgelengder og én eller flere fibre. Disse to sidene kan ha ulikt antall signalbaner.



Elektrisk grensesnitt mot verten, optisk grensesnitt mot fiberen. Tx skal møte Rx.

TEKNISKE

DETALJER

BiDi benytter normalt to forskjellige bølgelengder for motsatte retninger på én fiber. A- og B-modulen må være et dokumentert par. Illustrasjonen over viser en vanlig duplexlink med to fibre.

01 DDM, DOM og minne

Modulens identitet

Utstyret leser informasjon fra modulens minne og styringsregistre over et elektrisk administrasjonsgrensesnitt.

EEPROM OG KODING

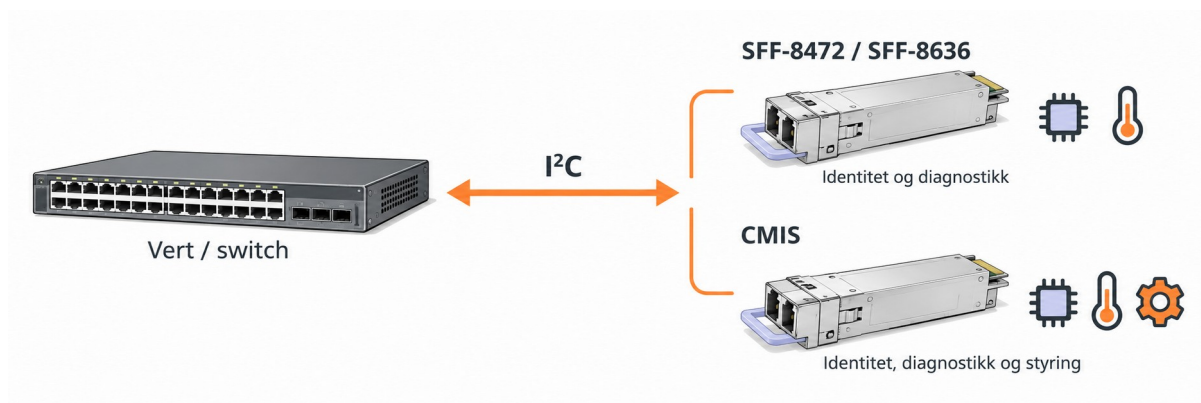
Identifikasjonen kan omfatte produsent, delenummer, serienummer og støttede grensesnitt. Leverandørkoding gjør at verten kan gjenkjenne modulen; den endrer ikke laser, lane-hastighet eller optisk standard.

DDM / DOM

Digital Diagnostic Monitoring og Digital Optical Monitoring brukes om diagnostikk som temperatur, forsyningsspenning, laserbias og Tx-/Rx-effekt. Tilgjengelige verdier og målenøyaktighet varierer med modultypen.

SFF OG CMIS

SFP-familien bruker ofte SFF-8472. Mange nyere moduler bruker CMIS, som også beskriver valg av applikasjon og oppstart av databaner. En gjenkjent modul kan fortsatt være i feil modus eller uten aktiv databane.



Administrasjon av transceiveren via et elektrisk grensesnitt

TEKNISKE

DETALJER

Kontroller tre forhold hver for seg: gjenkjenner verten modulen, støtter verten applikasjonen, og er den optiske forbindelsen kompatibel?

02 Formfaktorer

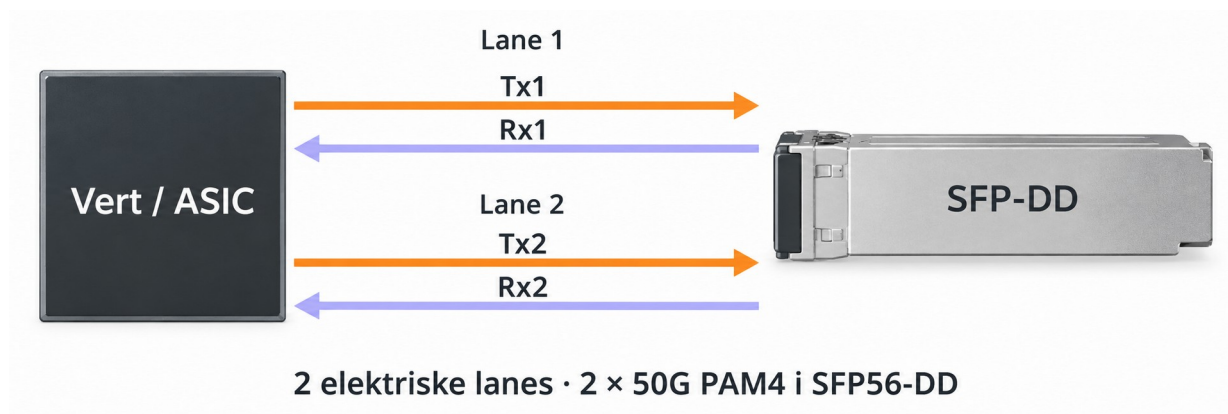
SFP-familien

Formfaktoren beskriver blant annet størrelse, kontakt og elektrisk grensesnitt. Navnet alene angir ikke fibertype, rekkevidde eller protokoll.

Formfaktor	Lanes mot vert	Typisk Ethernet
SFP	1	1G
SFP+	1	10G
SFP28	1	25G
SFP56	1	50G PAM4
SFP-DD / SFP56-DD	2	100G som 2 × 50G

HVA BETYR DD?

Double Density gir to elektriske lanes i SFP-DD. «SFP56-DD» brukes i produktnavn for 2 × 50G-klassen; SFP-DD er MSA-familiens navn. Kontroller den faktiske varianten i databladet.



Hver pil viser ett differensielt signalpar. Tx og Rx er sett fra verten.

TEKNISKE

DETALJER

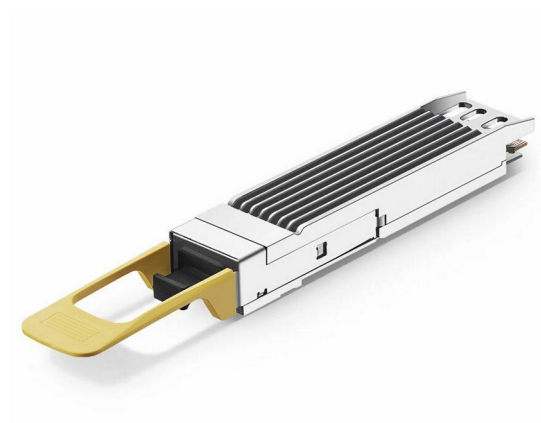
Tallene er vanlige bruksområder, ikke en garanti for alle hastigheter. En SFP56 kan støtte 25G bare når både modul, port og programvare er laget for det.

QSFP og OSFP

Formfaktor	Elektriske lanes	Vanlig kapasitet
QSFP+	4 × 10G	40G
QSFP28	4 × 25G	100G
QSFP56	4 × 50G	200G
QSFP112	4 × 100G	400G
QSFP-DD	8 lanes	400G / 800G / 1,6T*
OSFP	8 lanes	400G / 800G / 1,6T*

GENERASJONEN MÅ STEMME

QSFP-DD800 og QSFP-DD1600 er generasjoner med høyere elektrisk kapasitet. Tilsvarende må OSFP-vert og modul støtte den aktuelle lane-hastigheten. OSFP og QSFP-DD er fysisk forskjellige formfaktorer.



GLOBALfiber OSFP-400G-F-DR4 • OSFP med kjøleribber

TEKNISKE

DETALJER

*Kapasitetene bruker ulike lane-hastigheter: 8 × 50G, 8 × 100G eller 8 × 200G. Dette er avrundede klasser. Størrelse, strømforsyning og kjøling må passe den konkrete modulen.

02 Kompatibilitet

Passer den i porten?

At en modul kan settes inn fysisk, er bare første kontroll.

MEKANIKK OG ELEKTRONIKK

Sjekk cage, kontakt, elektrisk lane-antall og lane-hastighet. Bakoverkompatibilitet i en formfaktorspesifikasjon betyr ikke at enhver svitsj støtter alle eldre moduler.

PROGRAMVARE OG DRIFTSMODUS

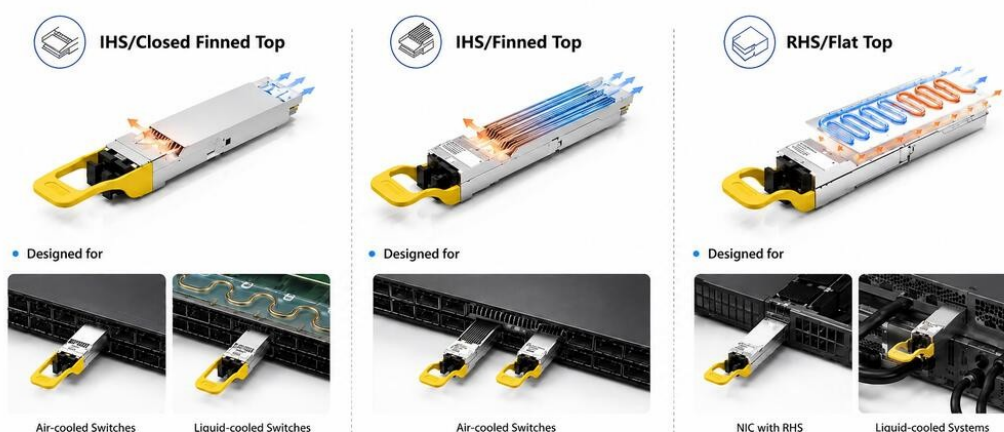
Finn kombinasjonen av plattform, port, modul og programvare i kompatibilitetsmatrisen. Kontroller portdeling, FEC og eventuell CMIS application code.

STRØM OG KJØLING

Modulen må holde seg innenfor portens effekt- og temperaturgrenser. OSFP med integrert kjøler og OSFP-RHS uten integrert kjøler krever riktig vertsløsning.

MOTPART OG OPTIKK

Modulene i hver ende kan ha ulik formfaktor hvis vertene støtter dem og de optiske grensesnittene er interoperable. Samme formfaktor i begge ender er ikke tilstrekkelig.



GLOBALfiber: Closed Finned Top, Finned Top og Flat Top

TEKNISKE

DETALJER

Eksempel: En 400G QSFP-DD og en 400G OSFP kan kommunisere over samme optiske profil. De kan ikke settes i hverandres porter.

03 Hastigheter

1G til 100G

G betyr her nominell Ethernet-hastighet i gigabit per sekund. Tabellen viser vanlige løsninger, ikke alle mulige varianter.

Hastighet	Vanlig modul	Optiske eksempler
1G	SFP	1000BASE-SX / LX
10G	SFP+	10GBASE-SR / LR / ER
25G	SFP28	25GBASE-SR / LR
40G	QSFP+	40GBASE-SR4 / LR4
50G	SFP56	50GBASE-SR / LR
100G	QSFP28; også SFP-DD	100GBASE-SR4 / DR / LR4

PORTFART OG LINJERATE

Nominell portfart er ikke alltid lik den fysiske linjeraten. Koding og feilretting legger til overhead. 1G, 10G og 25G sier heller ikke hvor mange optiske lanes som brukes.

TEKNISKE

DETALJER

Ved 100G kan fire 25G-lanes på vertssiden omformes til én 100G optisk lane. Modulens elektriske og optiske oppbygning må derfor leses hver for seg.

03 Hastigheter

200G til 1,6T

Portfart	Vanlig elektrisk oppbygning	Eksempel på optikk
200G	4 × 50G, QSFP56	200GBASE-FR4
400G	8 × 50G eller 4 × 100G	400GBASE-DR4 / FR4
800G	8 × 100G	800GBASE-DR8; også 2 × 400G-produkter
1,6T	8 × 200G-klassen	Nye moduler og P802.3dj-profiler

STANDARDSTATUS PER 06.10.2026

IEEE 802.3df-2024 er vedtatt for blant annet 800G. P802.3dj omfatter 200G-per-lane-teknologi og 1,6T; offentlige kilder viser fortsatt behandling av standardutkast i september 2026.

PRODUKT OG STANDARD

En 800G-modul kan være to selvstendige 400G-porter. 1,6T i et produktnavn dokumenterer ikke alene samsvar med en ferdig IEEE-standard.

TEKNISKE

DETALJER

1,6T = 1 600 Gb/s nominelt. Be om eksakt optisk profil, standard- eller MSA-revisjon, portmodus og dokumentert interoperabilitet før valg.

03 Hvordan data blir lys

NRZ og PAM4

En symbolhastighet forteller hvor ofte signalet kan skifte symbol. Antall bit per symbol bestemmer hvor mye informasjon symbolet kan bære.

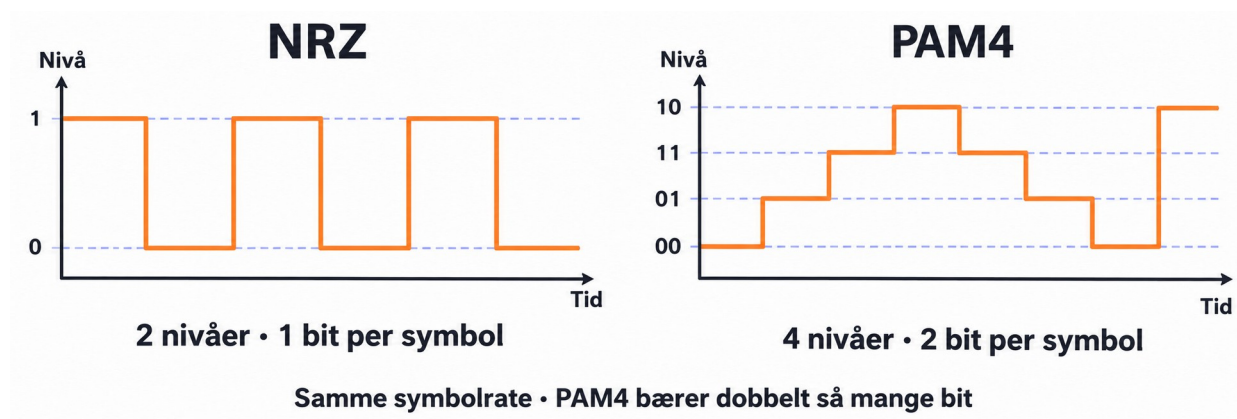
Prinsipp	Signalnivåer	Bit per symbol
NRZ	2	1
PAM4	4	2

REGNEEKSEMPEL

25 GBd med NRZ bærer 25 Gb/s rå bitstrøm. 25 GBd med PAM4 bærer 50 Gb/s rå bitstrøm. Netto nytte data blir lavere når koding og FEC tas med.

HØYERE KAPASITET, STRAMMERE KRAV

Fire nivåer ligger tettere enn to innenfor samme signalområde. PAM4 krever derfor god signalintegritet og bruker ofte FEC. Normal Rx-effekt alene beviser ikke at mottakeren skiller nivåene riktig.



Skjematiske signalforløp uten felles tidsskala. PAM4 viser et eksempel på Gray-koding.

TEKNISKE

DETALJER

En «100G-lane» er en kapasitetsklasse, ikke nødvendigvis 100 GBd. Ved PAM4 transporterer hvert symbol to bit. Den eksakte linjeraten avhenger av grensesnittet.

04 Optiske grensesnitt

SR, LR, ER og ZR

Bokstavene må alltid leses sammen med hastighet og fullstendig spesifikasjon. Tabellen viser 10G-eksempler.

Betegnelse	Fiber / lys	Typisk maks. avstand
10GBASE-SR	MMF / 850 nm	300 m OM3; 400 m OM4
10GBASE-LR	SMF / 1310 nm	10 km
10GBASE-ER	SMF / 1550 nm	40 km
10G «ZR»	SMF / 1550 nm	80 km, leverandørprofil

REKKEVIDDE ER BETINGET

Fibertype, innskuddstap, dispersjon og mottakerens effektområde må være innenfor kravene. Et lengre nominelt rekkeviddetall er ikke automatisk bedre på en kort link.

TEKNISKE

DETALJER

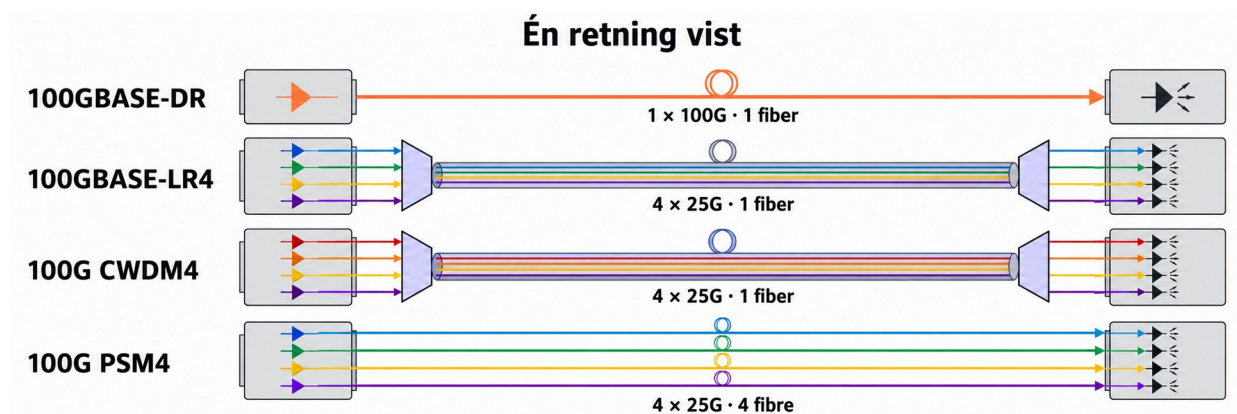
10G ZR er ikke den samme teknologien som coherent 400ZR eller 800ZR. Ikke bruk «ZR» alene som bestillingsspesifikasjon.

100G over singelmodus

Profil	Optisk oppbygning	Fiber / rekkevidde
100GBASE-DR	1 × 100G PAM4	2 SM-fibre / 500 m
100GBASE-FR1	1 × 100G PAM4	2 SM-fibre / 2 km
100GBASE-LR1	1 × 100G PAM4	2 SM-fibre / 10 km
100GBASE-LR4	4 × 25G, WDM	2 SM-fibre / 10 km
100G CWDM4 (MSA)	4 × 25G, WDM	2 SM-fibre / 2 km
100G PSM4 (MSA)	4 × 25G, parallelt	8 aktive SM-fibre / 500 m

NAVNELIKHET ER IKKE INTEROPERABILITET

LR1 og LR4 når begge 10 km, men bruker forskjellig optisk oppbygning. CWDM4 og LR4 har ulike bølgelengder. Koble etter dokumentert optisk profil, ikke bare 100G og LC.



Én retning vist. PSM4-fargene skiller fibre, ikke bølgelengder. LR4 og CWDM4 har ulike optiske profiler.

TEKNISKE

DETALJER

DR og FR brukes ofte som korte produktnavn. Les databladet: 100GBASE-DR og 100GBASE-FR1 er konkrete profiler; bokstavene alene er ikke en full spesifikasjon.

04 Flere profiler, flere kabelløsninger

400G og 800G optikk

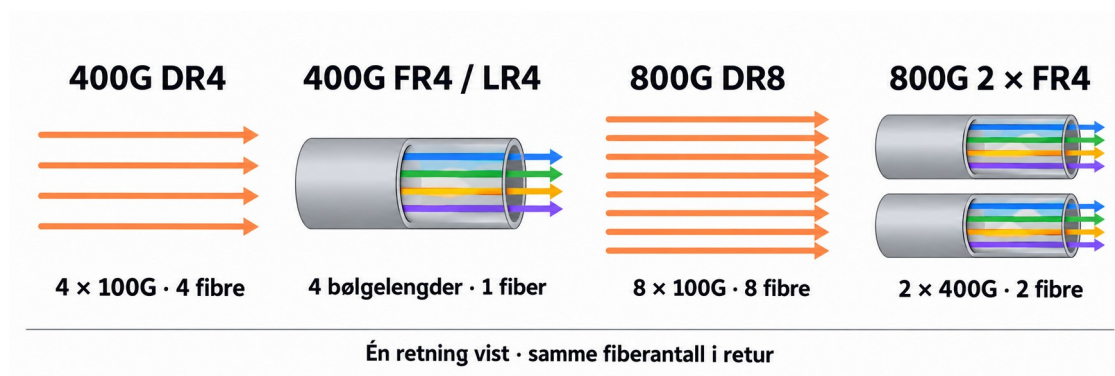
Eksempel	Optisk transport	Rekkevidde / fiber
400GBASE-DR4	4 × 100G parallelt	500 m / 8 aktive SM-fibre
400GBASE-FR4	4 bølgelengder	2 km / 2 SM-fibre
400GBASE-LR4	4 bølgelengder	Opptil 10 km* / 2 SM-fibre
800GBASE-DR8	8 × 100G parallelt	500 m / 16 aktive SM-fibre
800G «2 × FR4»	2 separate 400G FR4	2 km / 4 SM-fibre

VARIANTENE BETYR NOE

*400GBASE-LR4 brukes som produktbetegnelse for moduler med opptil 10 km rekkevidde. Kontroller den konkrete modulens datablad for optisk profil, effektbudsjett og rekkevidde. Betegnelsen alene er ikke en rekkeviddegaranti.

KONNEKTORER VED HØY TETTHET

MPO-12, MPO-16, to MPO-kontakter eller flere duplexkontakter kan forekomme. Fiberantall og portmodus må stemme med modulens faktiske oppbygning.



Én retning vist. Duplex krever også retur. FR4 og LR4 er ulike profiler.

TEKNISKE

DETALJER

To 400G-lenker i én modul er ikke automatisk én 800G Ethernet-link. Avklar om verten skal kjøre 800G, 2 × 400G eller annen portdeling.

05 Single-lambda, WDM og paralleloptikk

Én eller flere lysbaner

Single-lambda betyr én bølgelengde. Paralleloptikk fordeler signalet over flere fibre. WDM kombinerer flere bølgelengder i samme fiber.

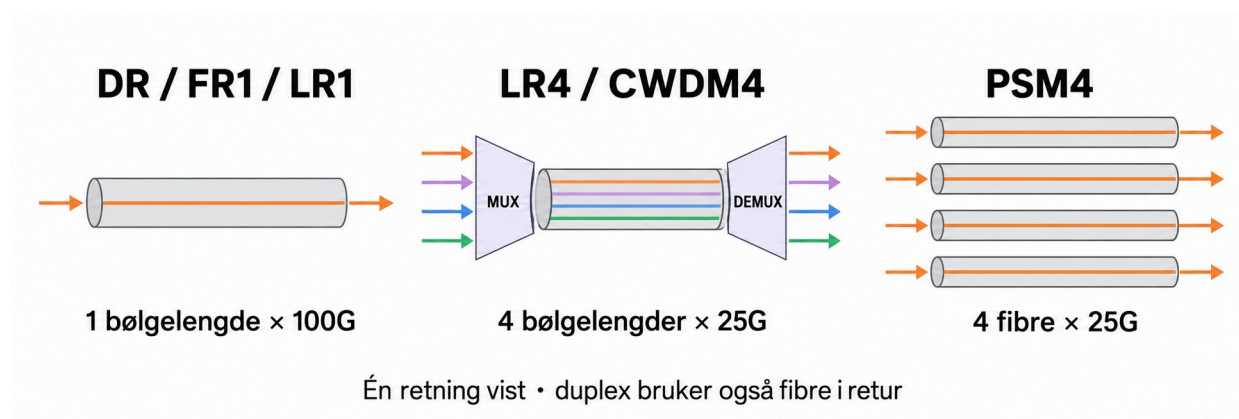
100G-eksempel	Per retning	Hva må kablen bære?
DR / FR1 / LR1	1 bølgelengde × 100G	1 fiber ut + 1 fiber inn
LR4 / CWDM4	4 bølgelengder × 25G	1 fiber ut + 1 fiber inn
PSM4	4 baner × 25G	4 fibre ut + 4 fibre inn

SAMME SUM, ULIK ARKITEKTUR

100G kan fordeles på flere måter. En intern gearbox kan endre antall elektriske og optiske lanes uten å endre portens nominelle hastighet.

IKKE DET SAMME SOM BiDi

Single-lambda betyr ikke singelfiber. En vanlig single-lambda duplexmodul bruker to fibre. BiDi må i tillegg skille motsatte retninger, ofte med ulike bølgelengder.



Én retning vist. En vanlig duplexlink har samme fiberantall i retur.

TEKNISKE

DETALJER

Spør alltid: Hvor mange elektriske lanes, hvor mange optiske lanes, hvor mange bølgelengder og hvor mange fysiske fibre?

05 Når én port kan deles

Breakout i praksis

Breakout deler en støttet høyhastighetsport i flere selvstendige porter. Kabelen alene utfører ingen protokoll- eller hastighetskonvertering.

EKSEMPEL: 400GBASE-DR4

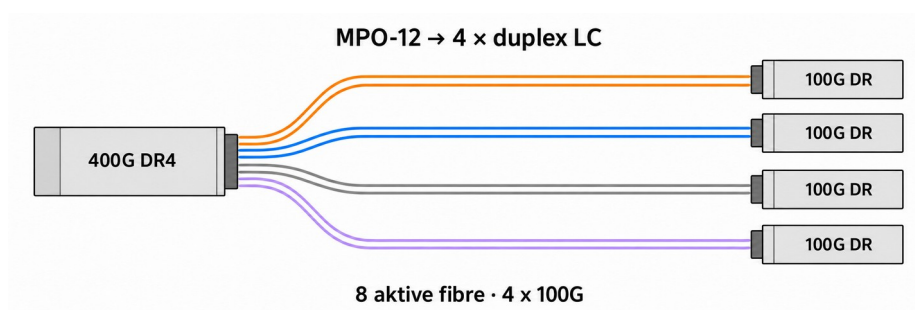
Fire optiske 100G-baner kan kobles til fire 100GBASE-DR-motparter med riktig fiberfordeling. Verten må støtte 4 × 100G, og lane-mapping og FEC må være riktige.

KONTRAST: 400GBASE-FR4

De fire optiske banene er multiplekset på samme fiber. En vanlig passiv MPO-til-LC-fanout splitter ikke bølgelengdene og gjør ikke FR4 om til fire 100GBASE-FR1-lenker.

KONTROLLER HELE KJEDEN

Portens breakout-modus, modulens applikasjon, lane-rekkefølge, kabelpolaritet og motpartenes optiske profiler må alle stemme.



GLOBALfiber Q400G-112-DR4 • QSFP112, 400G-DR4, MPO-12/APC

TEKNISKE

DETALJER

Oppgave: Du har 400G FR4 og fire 100G DR. Er et nytt kabelsett nok? Nei. Modulen eller løsningsarkitekturen må også endres til en dokumentert interoperabel løsning.

06 Den fysiske tilkoblingen

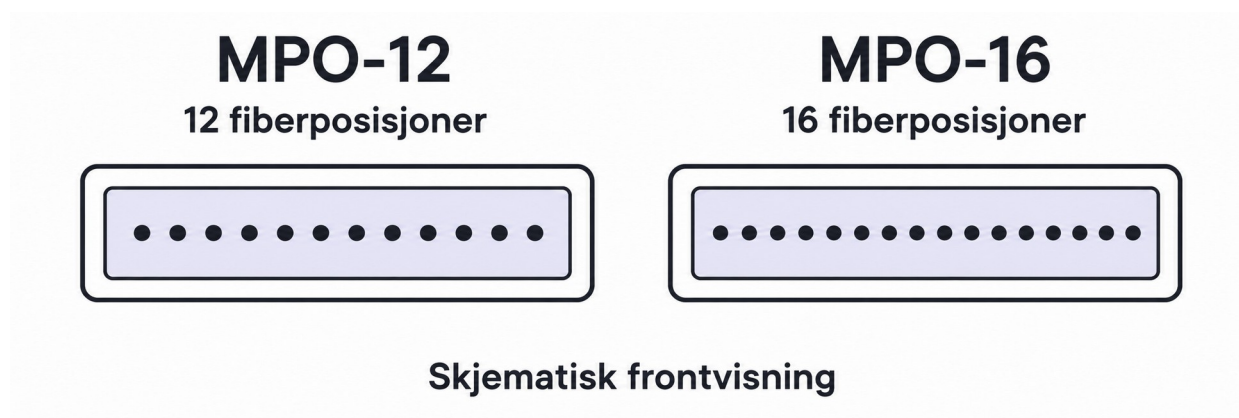
LC og MPO

Konnektoren velges ut fra optisk arkitektur, ikke direkte ut fra portfarten.

Tilkobling	Vanlig bruk	Viktig kontroll
Duplex LC	To fibre; single-lambda eller intern WDM	Tx til Rx og riktig polering
Simplex LC	BiDi på én fiber	Komplementære Tx/Rx-bølgelengder
MPO-12	Ofte 4 Tx + 4 Rx; 4 posisjoner ubrukt	Fiberposisjon, pinning, polaritet
MPO-16	Ofte 8 Tx + 8 Rx	Riktig nøkkel, mating og lane-mapping

MPO OG MTP

MPO er multifiberkontaktfamilien. MTP er et varemerke for en MPO-utførelse. Match det spesifiserte kontaktgrensesnittet, ikke bare navnet på kabelen.



Fiberposisjonene vises skjematisk. Pinning og nøkkel må også passe.

TEKNISKE

DETALJER

LC kan brukes ved høy hastighet når flere bølgelengder eller en rask single-lambda deler fiberparet. MPO er vanlig ved paralleloptikk, men høy fart betyr ikke alltid MPO.

06 Kontroller før tilkobling

Polaritet og polering

POLARITET

På duplexlinken skal Tx møte Rx. På MPO må hver Tx-lane møte riktig Rx-lane. A-, B- og C-polaritet beskriver ulike fiberforløp; riktig valg avhenger av hele kanalens oppbygning.

PINNER OG NØKKEL

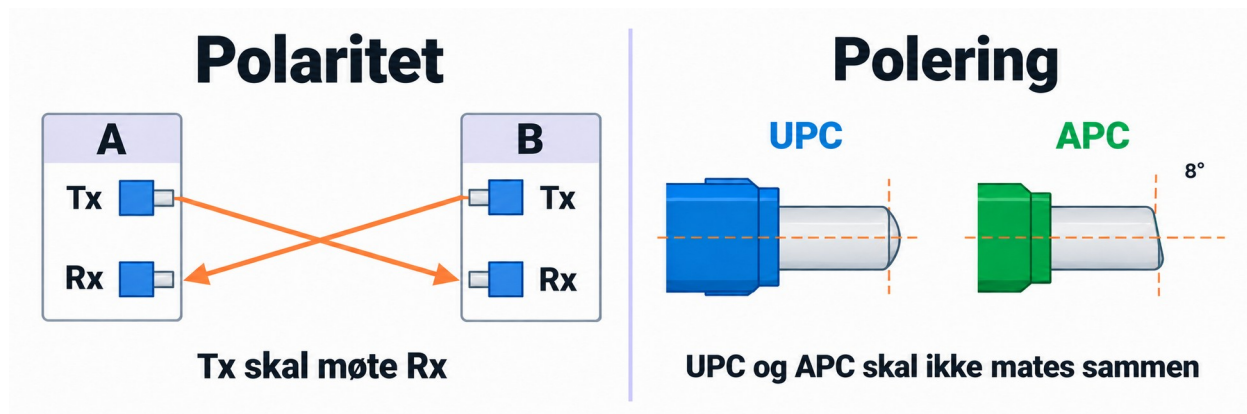
MPO-mating krever riktig kombinasjon av kontakt med og uten styrepinner. Nøkkelretning og fibernummerering må følge utstyrets kabelplan.

UPC OG APC

UPC og APC skal ikke mates direkte mot hverandre. Mange LC-transceivere bruker PC/UPC, mens enkelte parallelle SMF-moduler krever MPO/APC. Kontroller begge ender av en breakoutkabel.

REN KONTAKTFLATE

Inspiser, rengjør ved behov og inspiser igjen. Bruk egnet inspeksjonsutstyr og bekreft at forbindelsen er sikker å undersøke. Se aldri direkte inn i en aktiv fiber.



Forenklet prinsipp. MPO krever også korrekt lane-mapping, pinning og nøkkel.

TEKNISKE

DETALJER

En 400G DR4-modul kan kreve MPO/APC samtidig som 100G-motparten bruker LC/UPC. Riktig kabel kan ha ulik polering i hver ende; de to poleringene mates ikke mot hverandre.

07 Protokoll og optisk grensesnitt

Ethernet

Ethernet brukes i lokalnett, datasentre, operatørnett og datasenterforbindelser. IEEE 802.3 beskriver Ethernet og tilhørende fysiske grensesnitt.

SLIK LESER DU 100GBASE-LR4

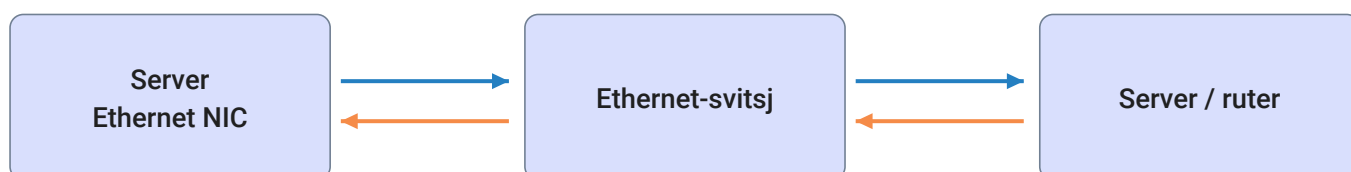
100G angir nominell hastighet. BASE viser til basebånd. LR4 identifiserer en bestemt fysisk profil med fire optiske baner. Det er hele navnet som bestemmer kravene.

STANDARD, MSA OG PRODUKT

IEEE-profiler, MSA-profiler og leverandørutvidelser kan finnes ved samme hastighet. CWDM4 og PSM4 er eksempler på MSA-profiler. En produktfamilie kan støtte flere profiler og moduser.

ET PRAKTISK VALG

For en 10G-forbindelse i et bygg kan SR over egnet multimodus være aktuelt. Mellom bygg over singelmodus kan LR være aktuelt. Valget avgjøres av installert fiber, lengde, tap og plattformstøtte.



Samme protokoll og kompatibel optisk profil i begge ender

Prinsippskisse: optikken forbinder utstyrets porter. Riktig plugg alene sikrer ikke interoperabilitet.

TEKNISKE

DETALJER

Fysisk link oppe bekrefter ikke at VLAN, IP-adressering, ruting eller applikasjon virker. Feilsøk optisk link og nettverkskonfigurasjon som separate lag.

08 Lagringsnett og SAN

Fibre Channel

Fibre Channel (FC) brukes særlig mellom servere, SAN-svitsjer og lagring. En Ethernet-modul blir ikke en FC-modul fordi kontakten og fiberparet passer.

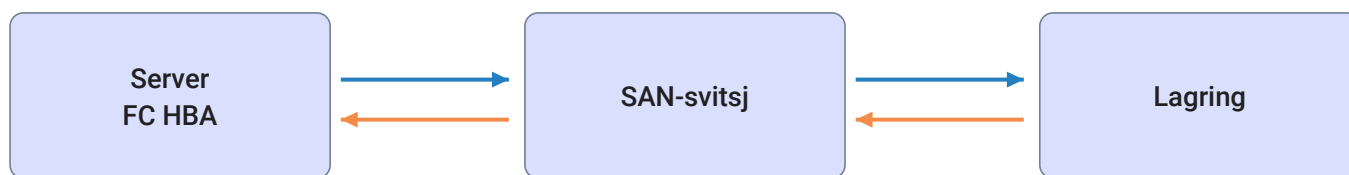
FC-generasjon	Typisk seriell signalering	Optisk eksempel
16GFC	14,025 Gb/s NRZ	SFP-familie
32GFC	28,05 Gb/s NRZ	SFP28-klasse
64GFC	57,8 Gb/s PAM4	SFP56-klasse
128GFC (seriell)	Nyere PAM4-generasjon	Kontroller aktuell FC-profil

FC-NAVNET ER EN KAPASITETSKLASSE

64GFC betyr ikke 64,000 Gb/s fysisk linjerate. FC og Ethernet har forskjellig koding og protokoll. Kontroller FC-PI-generasjon, hastighet og dokumentert multirate-støtte.

TO BRUKSMÅTER FOR 128GFC

Eldre parallell 128GFC og nyere seriell 128GFC må ikke blandes sammen. Oppgi generasjon, lane-antall og formfaktor ved bestilling.



Samme protokoll og kompatibel optisk profil i begge ender

Prinsippskisse: optikken forbinder utstyrets porter. Riktig plugg alene sikrer ikke interoperabilitet.

TEKNISKE

DETALJER

Eksempel: Broadcoms 64GFC-modul K18 støtter 64GFC, 32GFC og 16GFC. Dette er dokumentert for den modulen, ikke en generell garanti for all FC-optikk.

09 HPC og AI

InfiniBand

InfiniBand brukes blant annet i HPC- og AI-klynger med krav til høy kapasitet og effektiv kommunikasjon mellom noder.

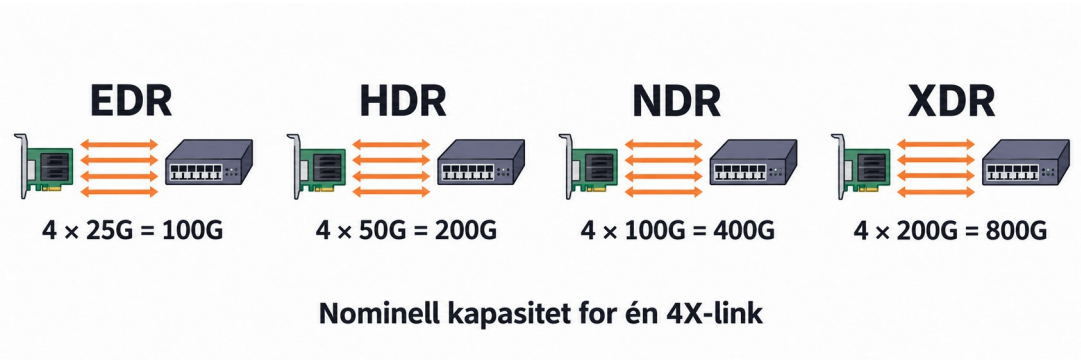
Generasjon	Nominelt per lane	Vanlig 4X-link
EDR	25G	100G
HDR	50G PAM4	200G
NDR	100G PAM4	400G
XDR	200G PAM4	800G

LINKBREDDE OG MODULKAPASITET

4X betyr fire lanes. En twin-port 800G-modul kan eksponere to 400G-porter; en XDR 800G-port er en annen applikasjon. Les port- og kabeldokumentasjonen.

KOMPATIBILITET I HELE SYSTEMET

Sjekk HCA/nettverkskort, svitsj, firmware og godkjent kabel eller transceiver. Samme OSFP-formfaktor betyr ikke at Ethernet og InfiniBand kan kobles sammen som én link.



Én 4X-link består av fire lanes. Oppgitte kapasiteter er nominelle.

TEKNISKE

DETALJER

EDR/HDR/NDR/XDR er InfiniBand-generasjoner. Det nominelle G-tallet og antall porter må oppgis sammen med protokollen.

DAC, AOC eller modul?

Løsning	Hva den består av	Når den er aktuell
DAC	Kobberkabel med faste pluggender; passiv eller aktiv	Korte forbindelser; sjekk lengde og bøyeradius
AOC	Aktiv optisk kabel med fastmontert optikk	Ferdig terminert optisk forbindelse
Transceivere + fiber	Separate moduler og utskiftbar fiberkabling	Patchpanel, lengre strekk og fleksibel service

BREAKOUT

DAC, AOC og separate optiske moduler kan finnes i breakout-varianter. Vertene må støtte riktig oppdeling og hastighet; det er ikke nok at pluggene passer.

VEDLIKEHOLD

En skadet AOC byttes normalt som en hel kabel. Separate moduler gjør det mulig å bytte optikk uten å erstatte den permanente fiberinstallasjonen.



GLOBALfiber Q400G-DAC4Q • 400G QSFP-DD til 4 × 100G QSFP56

TEKNISKE

DETALJER

Velg etter avstand, kabelvei, servicebehov, effektforbruk og dokumentert støtte. Ingen av de tre løsningene er best i alle installasjoner.

10 Flere kanaler på samme fiber

CWDM-transceivere

En farget CWDM-transceiver sender i en bestemt bølgelengdekanal. Et eksternt MUX/DEMUX-par samler og skiller flere slike kanaler.

BØLGELENGDERASTERET

ITU-T G.694.2 angir nominelle bølgelengder fra 1271 til 1611 nm i trinn på 20 nm. Det gir 18 mulige kanalposisjoner. Et konkret system kan bruke færre.

SLIK VELGES EN KANAL

Kontroller Tx-bølgelengde, mottakerområde, filterets kanal og tilgjengelig effektbudsjett. På singelfiberløsninger må sende- og returkanaler følge kanalplanen.

CWDM4 ER NOE ANNET

100G CWDM4 bruker fire bølgelengder inne i modulen for én 100G-forbindelse. Den er ikke én farget 100G-kanal som uten videre kan settes inn i en vanlig 20 nm CWDM-port.



GLOBALfiber S1G-L80-Cxx • CWDM-SFP

TEKNISKE

DETALJER

Grunnkompendiet bruker både 1270/1290-merking og 1271/1291-verdier. Her brukes ITU-rasterets nominelle 1271, 1291 osv. Kontroller faktisk passbånd og datablad ved sammenkobling.

10 Tettere kanalavstand

DWDM-transceivere

DWDM plasserer kanalene tettere enn CWDM. Kanalplanen beskrives vanligvis i frekvens, for eksempel THz og GHz, med utgangspunkt i ITU-T G.694.1.

FAST ELLER TUNBAR

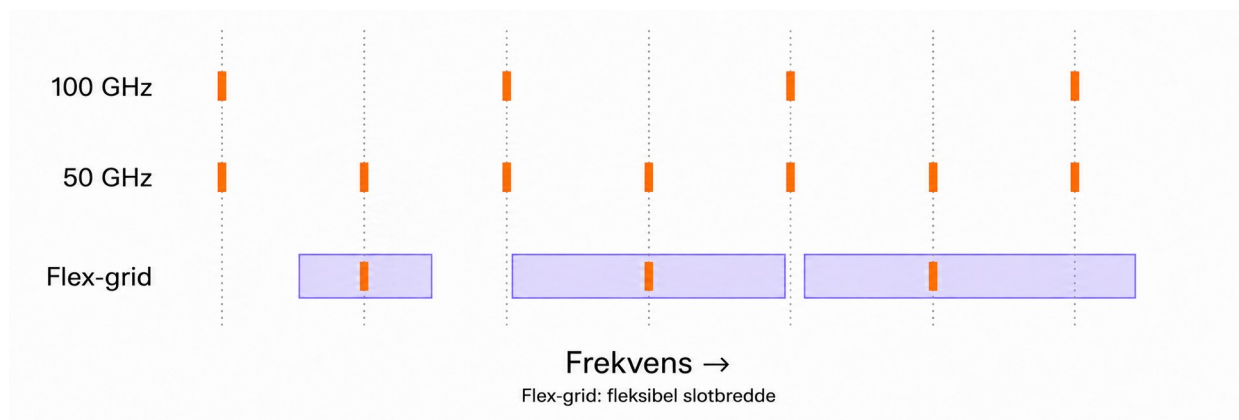
En fast modul sender på én kanal. En tunbar modul kan stilles til flere kanaler innenfor sitt spesifiserte bånd. Verten må kunne konfigurere frekvensen, og signalet må passe filterets passbånd.

KANALPLAN

100 GHz og 50 GHz er vanlige faste raster. Flex-grid bruker finere frekvensplassering og fleksibel slotbredde. Det finnes ingen universell «DWDM-kanal» som passer all optikk.

DWDM ER IKKE ALLTID COHERENT

10G DWDM SFP+ kan bruke intensitetsmodulasjon og direkte deteksjon. Moderne coherent moduler bruker en annen mottaksteknikk. Begge kan være tunbare.



Skjematisk frekvensraster. Flex-grid krever også samsvar med optikk og filtre.

TEKNISKE

DETALJER

Rekkevidden bestemmes av hele systemet: fiber, filtre, tap, dispersjon, OSNR og eventuelle forsterkere. DWDM-navnet alene gir verken et fast kanalantall eller en bestemt rekkevidde.

10 Transceiver og linjesystem

WDM i praksis

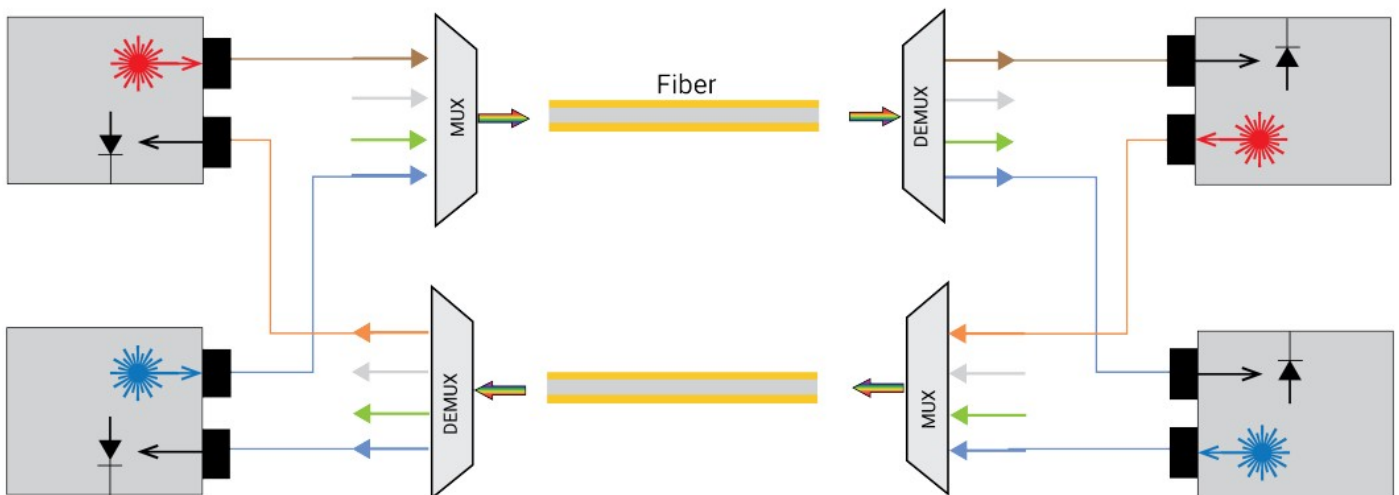
Prinsippet fra CWDM-grunnkurset gjelder fortsatt: modulene lager signalene, mens MUX/DEMUX fører hver kanal til riktig vei.

FØR IDRIFTSETTELSE

Lag en kanalplan med ende A/B, port, delenummer og Tx-frekvens eller bølglengde. Beregn tap for hver retning og inkluder både MUX og DEMUX.

PASSIVT OG AKTIVT

Passive filtre trenger normalt ikke strøm. Transceivere trenger strøm, og et aktivt DWDM-linjesystem kan også ha forsterkere og overvåking. Coherent fjerner ikke disse systemkravene.



TEKNISKE

DETALJER

Figuren er hentet fra originalkompendiet, side 51, og viser to-fiberprinsippet. Den er en prinsippskisse, ikke en ferdig DWDM-kanalplan.

11 Mer informasjon i lyset

Coherent optikk

Koherent optikk utnytter fase og ofte amplitude i to polarisasjoner. Mottakeren blander innkommende lys med en lokal laserreferanse.

MOTTAKER OG DSP

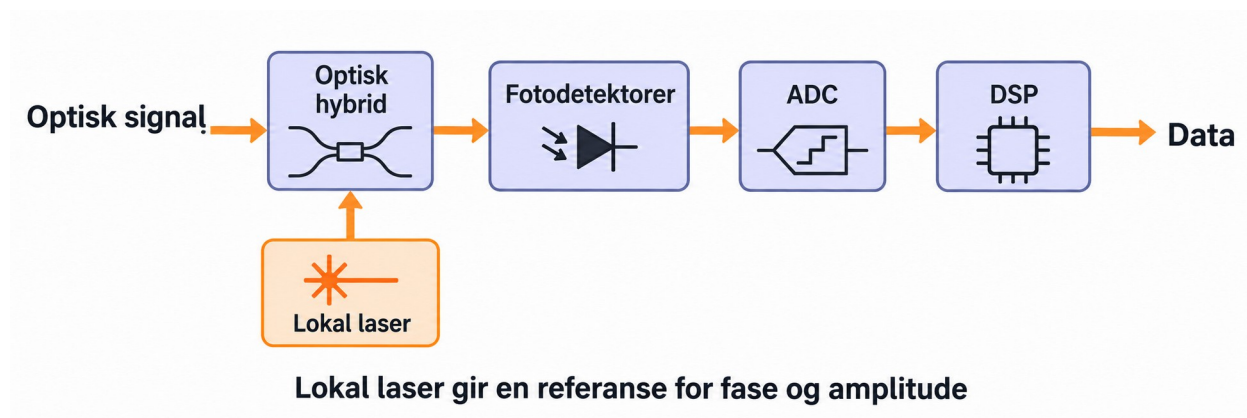
Det koherente mottaket bevarer informasjon som en enkel effektmåler ikke ser. Digital signalbehandling (DSP) rekonstruerer data og kan kompensere for kromatisk dispersjon og polarisasjonseffekter.

MODULASJON

QPSK og 16QAM er eksempler på modulasjonsformater. Høyere orden kan gi mer kapasitet per symbol, men krever bedre signalkvalitet. DP betyr at begge polarisasjoner brukes.

DCO OG TUNABLE

En Digital Coherent Optics-modul har DSP-funksjoner integrert i modulen. Tunbar frekvens gjør at modulen kan tilpasses en DWDM-kanalplan, innenfor sine støttede profiler.



Forenklet koherent mottaker. Polarisasjonsdeling er ikke vist.

TEKNISKE

DETALJER

Coherent mottakere må ha god nok signalkvalitet, ikke bare nok lys. OSNR, FEC-margin og støttet linjeprofil blir derfor sentrale driftsparametere.

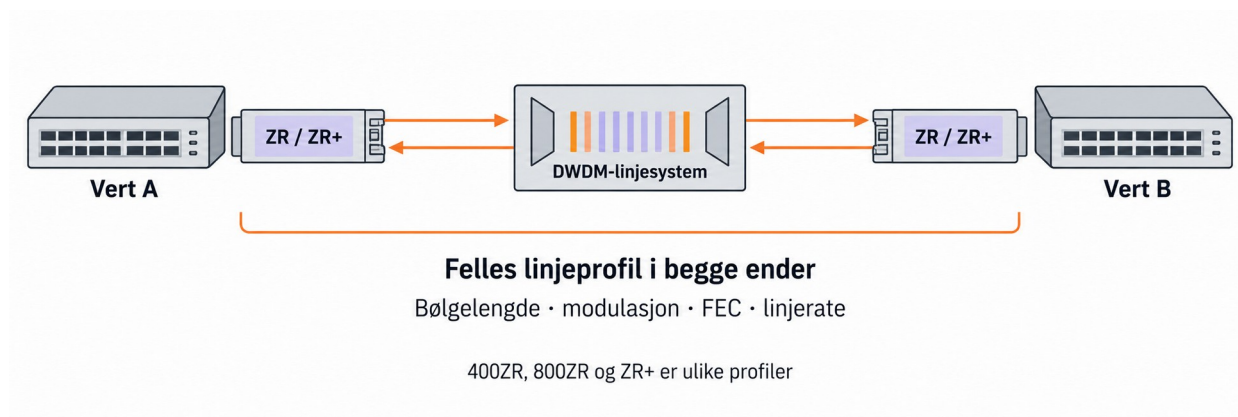
11 Profiler og interoperabilitet

400ZR, 800ZR og ZR+

Profil	Formål / egenskap	Kontroller
OIF 400ZR	400G coherent for blant annet DCI; DP-16QAM og C-FEC	Optisk profil og linjesystem
OIF 800ZR	800G coherent; dokumentert flerleverandørtesting	Raster, støttet vert og FEC
OpenZR+	Flere linjerater og modulasjoner; OFEC	Eksakt profil og felles modus
Leverandør «ZR+»	Utvidede applikasjoner og rekkevidder	Betyr ikke automatisk OpenZR+

INGEN UNIVERSELL KILOMETERGARANTI

Oppgitt rekkevidde forutsetter en bestemt linjekonfigurasjon. Forsterkning, filterbredde, kanalnivå og OSNR må prosjekteres. Ikke overfør en leverandørs rekkeviddetall til en annen løsning.



Begge ender og linjesystemet må støtte den valgte linjeprofilen.

TEKNISKE

DETALJER

Et 400G klientgrensesnitt er ikke i seg selv bevis for kompatibel 400G linjeside. Begge ender må ha en felles modulasjons-, FEC- og optisk profil.

12 En fast arbeidsrekkefølge

Velg riktig transceiver

1 PROTOKOLL OG HASTIGHET

Ethernet, Fibre Channel eller InfiniBand? Én port eller breakout? Avklar begge endepunktene.

2 PORT OG PLATTFORM

Formfaktor, elektriske lanes, programvare, koding, effekt og kjøling. Finn støtten i produsentens matrise.

3 FIBER OG OPTISK PROFIL

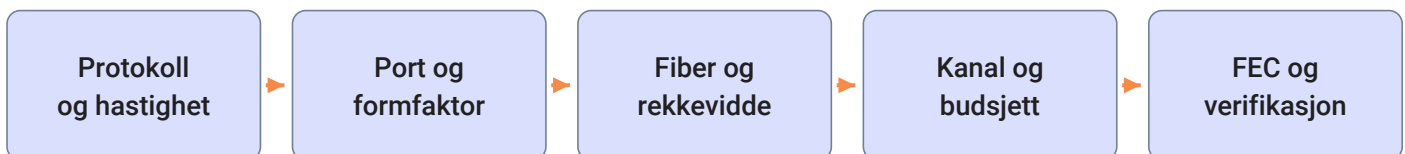
SMF eller MMF, tilgjengelige fibre, lengde, konnektor, polering og polaritet. Velg fullstendig optisk betegnelse.

4 KANAL OG BUDSJETT

Ved WDM: kanalplan og filterpassbånd. Kontroller tap, mottakergrenser og eventuelle dispersjons-/OSNR-krav.

5 MOTPART OG VERIFIKASJON

Bekreft optisk interoperabilitet, FEC og driftsmodus. Dokumenter testresultater og modulenes serienumre.



Gå gjennom hele kjeden for begge ender før du velger modul og kabel.

TEKNISKE

DETALJER

Bestillingslinje: protokoll + hastighet + plattform + formfaktor + optisk profil + fiber + avstand + konnektor/polering + kanal + temperaturklasse.

12 Regneeksempel

Et enkelt effektbudsjett

Forenklet undervisningseksempel for en direkte detektert link. Alle tall under er antakelser, ikke verdier for et bestemt produkt.

Post	Beregning	Verdi
Tilgjengelig budsjett	Tx min. -3 dBm minus Rx min. -16 dBm	13 dB
Fiber	20 km $\times$ 0,25 dB/km	5 dB
Konnektorer	4 matede par $\times$ 0,5 dB	2 dB
Skjøter	10 $\times$ 0,1 dB	1 dB
MUX + DEMUX	Samlet antatt tap	3 dB
Sum tap / restmargin	5 + 2 + 1 + 3 = 11 dB; 13 - 11	2 dB

VURDER RESULTATET

Med et planlagt reservekrav på 3 dB er 2 dB for lite. Reduser tapet eller velg en egnet løsning med større budsjett. Kontroller begge retninger.

TEKNISKE

DETALJER

Sjekk også høyeste Rx-effekt ved Tx maks. og laveste tap, slik at mottakeren ikke overstyres. Bland ikke OMA-følsomhet med gjennomsnittlig dBm-effekt. Coherent krever i tillegg egen kvalitetsanalyse.

12 Valg av transceiver

Case: 100G mellom bygg

Forutsetninger: 1,2 km singelmodus, ett tilgjengelig fiberpar og QSFP28-porter i begge ender. Tapet er målt, men må sammenholdes med valgt optisk profil.

AKTUELL LØSNING

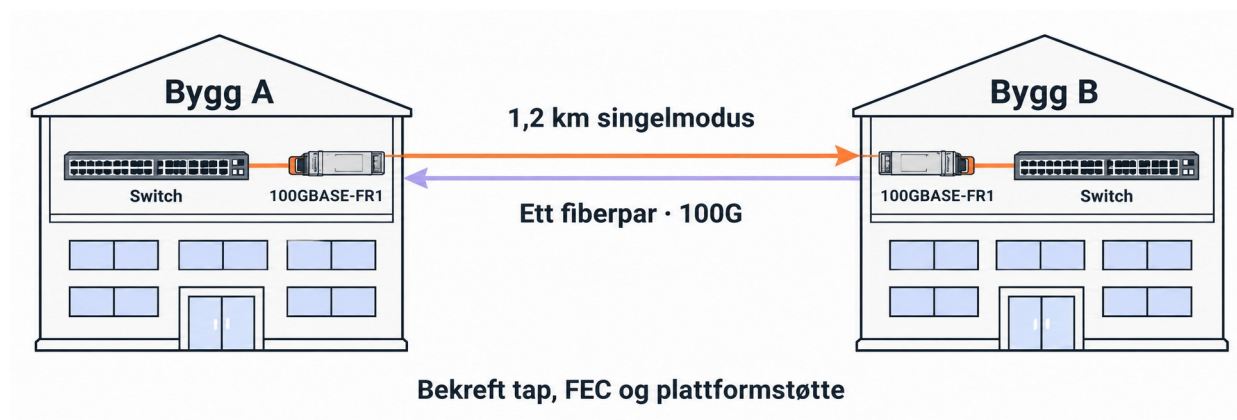
100GBASE-FR1 er en kandidat fordi profilen er laget for opptil 2 km over to SM-fibre. Velg moduler som begge plattformer støtter, og bekreft felles FEC- og portmodus.

ALTERNATIVER

100G CWDM4 kan være et alternativ hvis begge ender støtter den profilen. LR1 eller LR4 kan også være aktuelt, men må velges som et interoperabelt par.

DET SOM IKKE LØSER OPPGAVEN

DR er normalt spesifisert til 500 m. PSM4 krever flere aktive fibre og er også en 500 m-profil. En CWDM4 i én ende og LR4 i den andre er ikke et korrekt par.



Kandidatløsning: to kompatible 100GBASE-FR1-moduler og ett fiberpar.

TEKNISKE

DETALJER

Før godkjenning: bekreft målt innskuddstap, mottakerens effektgrenser, renhet, temperatur og feilrate. 1,2 km alene er ikke tilstrekkelig som akseptansekriterium.

12 400G breakout

Case: fire 100G-porter

Forutsetninger: én 400G-port skal nå fire 100G-porter over 300 m singelmodus. Vertene støtter de aktuelle modulene og portdelingen.

VALG

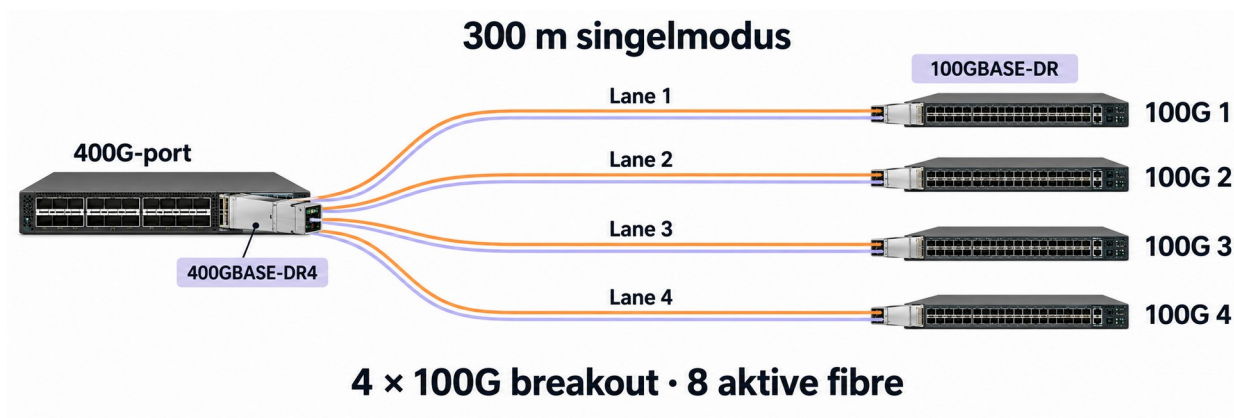
Bruk en dokumentert 400GBASE-DR4-løsning med 4 × 100G breakout og 100GBASE-DR i de fire motpartene. Bruk en korrekt spesifisert MPO-til-fire-duplex-fanout.

KABELPLAN

Merk lane 1-4 og hvilke endepunkter de går til. Kontroller MPO-pinning, polering og fiberforløp. Hver 100G-forbindelse trenger én Tx-fiber og én Rx-fiber.

VERIFIKASJON

Aktiver 4 × 100G på verten, sett støttet FEC-modus og test alle fire lenker hver for seg. En feil i én lane kan ramme ett delgrensesnitt mens de andre virker.



Hvert endepunkt får ett fiberpar. Alle fire delgrensesnitt må verifiseres.

TEKNISKE

DETALJER

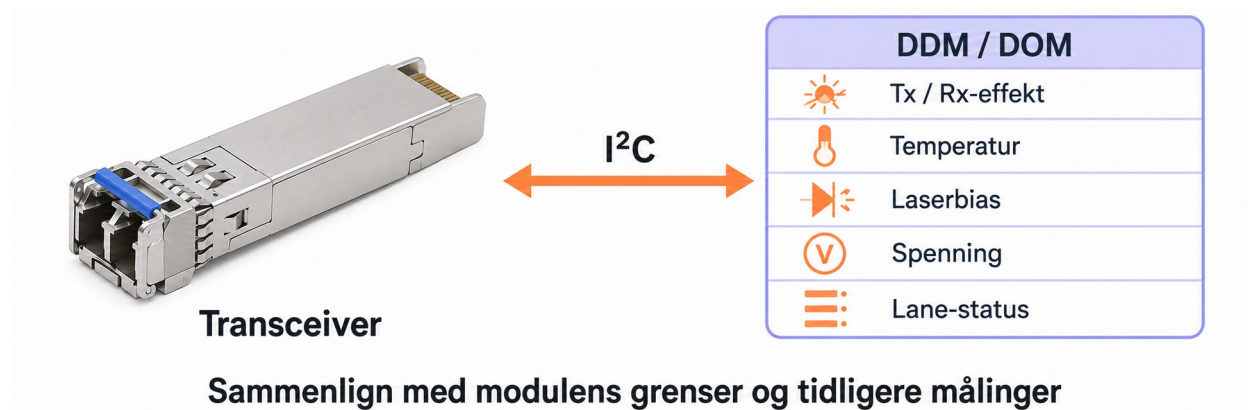
En 400G FR4-modul kan ikke erstatte DR4 i denne passive breakoutløsningen. FR4 samler bølgelengdene på ett fiberpar.

Les diagnostikken

Verdi	Hva du ser etter	Mulig neste kontroll
Tx-effekt, dBm	Endring eller alarm i lokal sender	Modul, laserstatus og vert
Rx-effekt, dBm	Lavt eller for høyt mottatt nivå	Fjern Tx, fiber, filtre, dempeledd
Temperatur, °C	Trend og modulens grenser	Luftstrøm og kjøling
Laserbias, mA	Endring mot egen normalverdi	Sammenhold med Tx og temperatur
Spenning, V	Ustabil verdi eller alarm	Vertens strømforsyning / modul
Lane-status	Avvik i én av flere baner	Lane-mapping, kabel og kontakter

BRUK GRENSEVERDIENE TIL MODULEN

DDM er driftsdiagnostikk, ikke en erstatning for kalibrert måling. Alarmer og toleranser er modulspesifikke. Noter begge ender og alle relevante lanes.



Prinsippskisse av diagnostikk. Tilgjengelige verdier avhenger av modulen.

TEKNISKE

DETALJER

En stigende biasverdi kan være et nyttig signal, men beviser ikke alene at laseren er utslitt. Temperatur og intern regulering kan påvirke verdien.

13 Lysnivå er bare én kontroll

BER og FEC

BER er andelen bitfeil. FEC (Forward Error Correction) legger til redundans slik at mottakeren kan korrigere et begrenset antall feil.

FØR OG ETTER FEILRETTING

Pre-FEC BER sier noe om kvaliteten før korrigering. Post-FEC feil og ukorrigerbare kodeord viser at feilrettingen ikke klarer å gjenopprette alle data.

TELLERE OG TRENDER

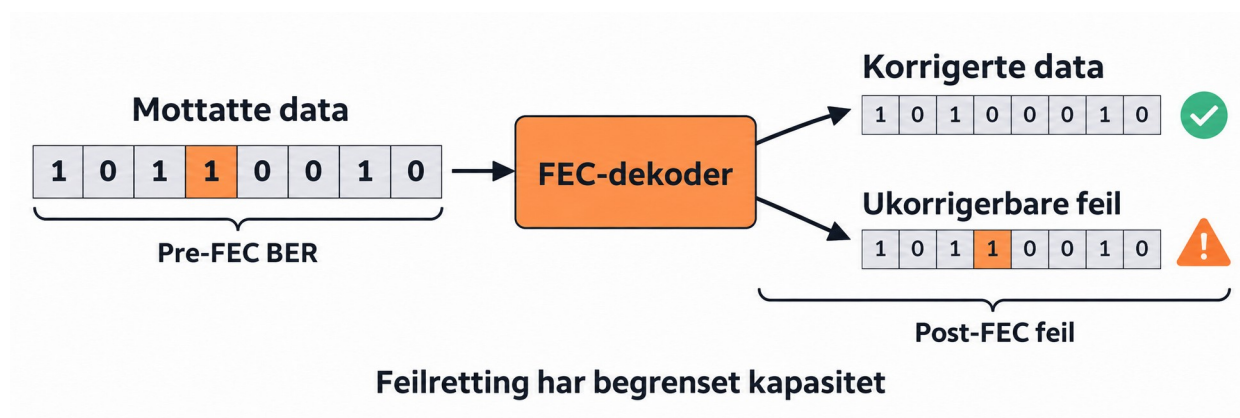
Noen korrigerte feil kan være normalt. Se på endring over tid, belastning og ukorrigerbare feil. En samlet teller uten måleperiode kan være misvisende.

FEIL MODUS KAN HINDRE LINK

FEC-modus må passe optikk, vert og motpart. Normal Tx/Rx-effekt utelukker ikke feil FEC, lane-mapping eller portmodus. Ikke slå av påkrevd FEC for å skjule symptomer.

COHERENT

Se i tillegg på støttet linjeprofil, frekvens, OSNR eller rapportert kvalitetsmargin. Tersklene må tolkes etter aktuell implementasjon.



FEC kan korrigere feil innenfor kapasiteten til den valgte koden.

TEKNISKE

DETALJER

Det finnes ingen felles pre-FEC-grense for alle transceivere. Akseptansekriterier må komme fra den aktuelle standarden, modulen og systemleverandøren.

13 Finn hvor feilen oppstår

Systematisk feilsøking

Symptom	Kontroller først	Isoler deretter
Modul ikke gjenkjent	Støtte, innsetting, koding og programvare	Godkjent modul i samme port
Ingen Rx / LOS	Fjern Tx, polaritet, brudd og feil kanal	Kabelstrekk og hver retning
God Rx, ingen link	Hastighet, optisk profil, FEC og portmodus	Kjent fungerende kompatibelt par
Feil under belastning	Pre-/post-FEC, temperatur, kontakter	Endre én komponent om gangen
For høy Rx	Mottakergrense og faktisk tap	Beregn eventuelt dempeledd

BRUK RIKTIG MÅLEMETODE

Effektmåler: nivå ved valgt bølgelengde. OLTS: innskuddstap. OTDR: hendelser og avstand på egnet frakoblet fiber. OSA: spektrum og kanaler. Trafikktest/BERT: feil og stabilitet.

TEKNISKE

DETALJER

Lagre en normalmåling ved idriftsettelse: Tx/Rx, temperatur, bias, FEC-tellere, portmodus og serienumre. Sammenlign med denne før du bytter deler.

14 Kobbertransceivere

1 G kobber med RJ45

En kobbertransceiver gjør en støttet SFP-port tilgjengelig som en elektrisk Ethernet-forbindelse med RJ45. Modulen sender og mottar elektriske signaler, uten laser eller optisk fiber.

SLIK VIRKER DEN

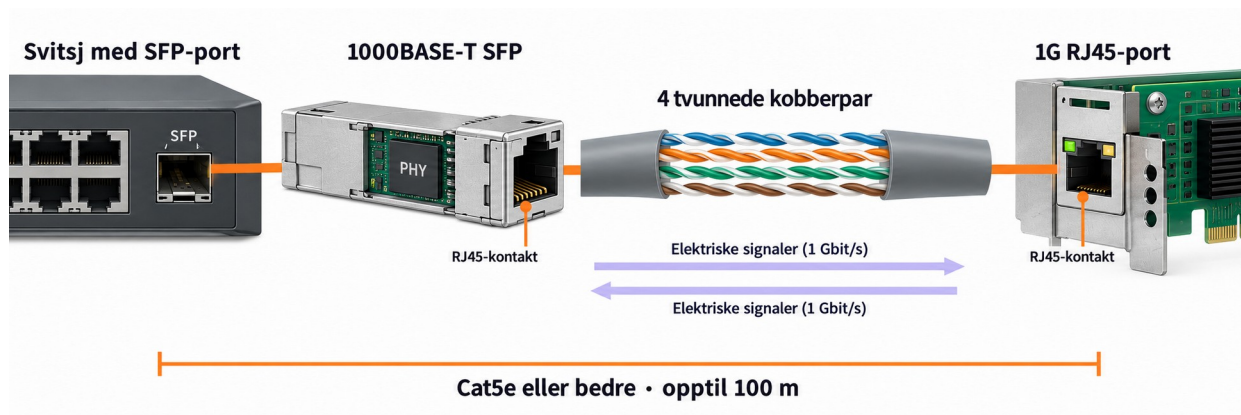
En aktiv PHY-krets i modulen tilpasser signalene mellom vertens grensesnitt og 1000BASE-T på kabelen. Alle fire tvunnede kobberpar brukes til full-dupleks kommunikasjon.

KABEL OG REKKEVIDDE

1000BASE-T kan bruke opptil 100 m korrekt installert kobberkanal. Bruk Cat5e eller bedre, inkludert egnede patchkabler og kontakter. Kontroller modulens spesifisering.

PORT OG HASTIGHET

Sjekk at svitsjen støtter den konkrete RJ45-modulen og 1G-modusen. Støtte for 10/100/1000 og auto-negotiation avhenger av modul og vert. En SFP+-port er ikke automatisk kompatibel med enhver 1G-SFP.



Prinsipp: elektrisk forbindelse via en aktiv PHY og fire tvunnede kobberpar.

TEKNISKE

DETALJER

Kobbermodulen har ingen optisk Tx/Rx-effekt i dBm. Ved feil: kontroller forhandlet hastighet, portstøtte, kabelens fire par og CRC-/linkfeil. En RJ45-kobbermodul og en DAC-kabel er ulike løsninger.

14 Kobbertransceivere

10G kobber med RJ45

En 10GBASE-T SFP+-modul kobler en støttet SFP+-port til en RJ45-port på for eksempel en server. Rekkevidde og støttede hastigheter varierer mellom modulene.

REKKEVIDDEN ER PRODUKTAVHENGIG

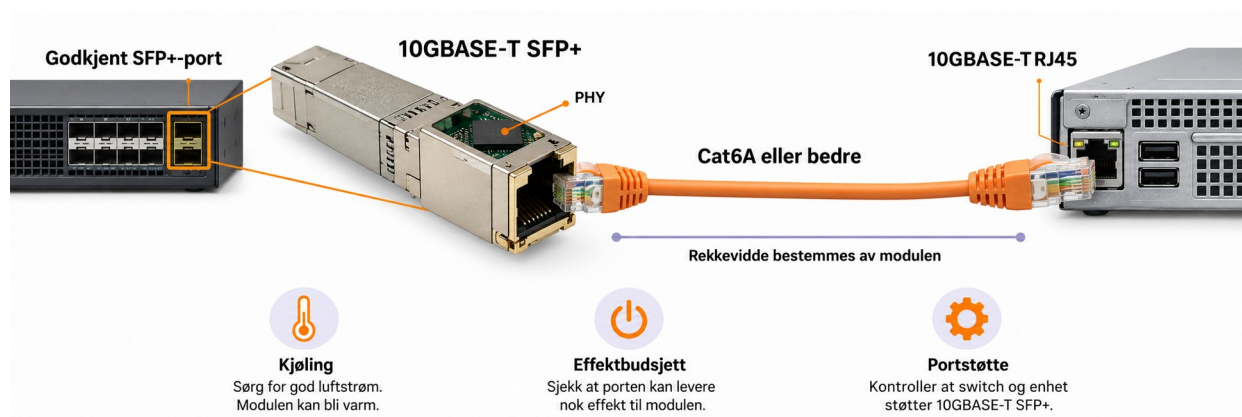
Mange 10G SFP+-kobbermoduler er spesifisert for 30 m. Andre varianter støtter 100 m. Bruk Cat6A eller bedre som utgangspunkt, og følg databladets krav til hele kabelkanalen.

VARME OG KOMPATIBILITET

Kontroller portens effektbudsjett, luftstrøm og eventuelle begrensninger for nabomoduler. Cisco SFP-10G-T-X er eksempelvis oppgitt til maks. 2,5 W ved 10G og opptil 30 m. Dette er et produkt eksempel, ikke en felles grense.

1G, 2,5G OG 5G MÅ BEKREFTES

Støtte for lavere hastigheter på RJ45-siden betyr ikke automatisk støtte i verten. Bekreft hastigheter, auto-negotiation, firmware og plattformens kompatibilitetsmatrise.



Kobbermodulen er aktiv elektronikk. Vert, kjøling og kabel må støtte løsningen.

TEKNISKE

DETALJER

GLOBALfiber-eksempler: S10G-T er oppført for 30 m, mens S10GE-T-I-100 er oppført for 100 m. Velg etter eksakt varenummer og gjeldende datablad. Test linkstabilitet og feil under belastning.

Bølgelengdemultipleksing.

Wavelength Division Multiplexing (WDM) er en kjernekomponent i moderne optiske nettverk, som muliggjør overføring av flere datastrømmer samtidig over en enkelt fiberoptisk kabel. Ved å utnytte forskjellige lysbølgelengder for hvert signal, øker WDM både kapasiteten og effektiviteten i optiske kommunikasjonsnettverk.

Dette kapitlet utforsker to hovedkategorier av WDM-teknologi: Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) og Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). CWDM gir kostnadseffektive løsninger for mellomlange avstander, mens DWDM er ideelt for høy kapasitet og lange distanser. Vi vil også se på betydningen av ulike bølgelengdeområder, med særlig fokus på O-båndet (Original Band), som brukes for å redusere dispersjon og øke signalintegriteten.

Hva er CWDM

CWDM står for Coarse Wavelength Division Multiplexing

CWDM er en fiberoptisk teknologi som utnytter prinsippet om bølgelengdemultiplikasjon for å overføre flere datastrømmer samtidig over én enkelt optisk fiber.

Dette oppnås ved å bruke forskjellige bølgelengder (farger) av lys, hvor hver bølgelengde fungerer som en separat kommunikasjonskanal.

CWDM er spesielt utviklet for korte til mellomlange overføringsdistanser og er en enklere og mer kostnadseffektiv løsning enn DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), som er designet for høy kapasitet og lange avstander.

TEKNISK PRINSIPP

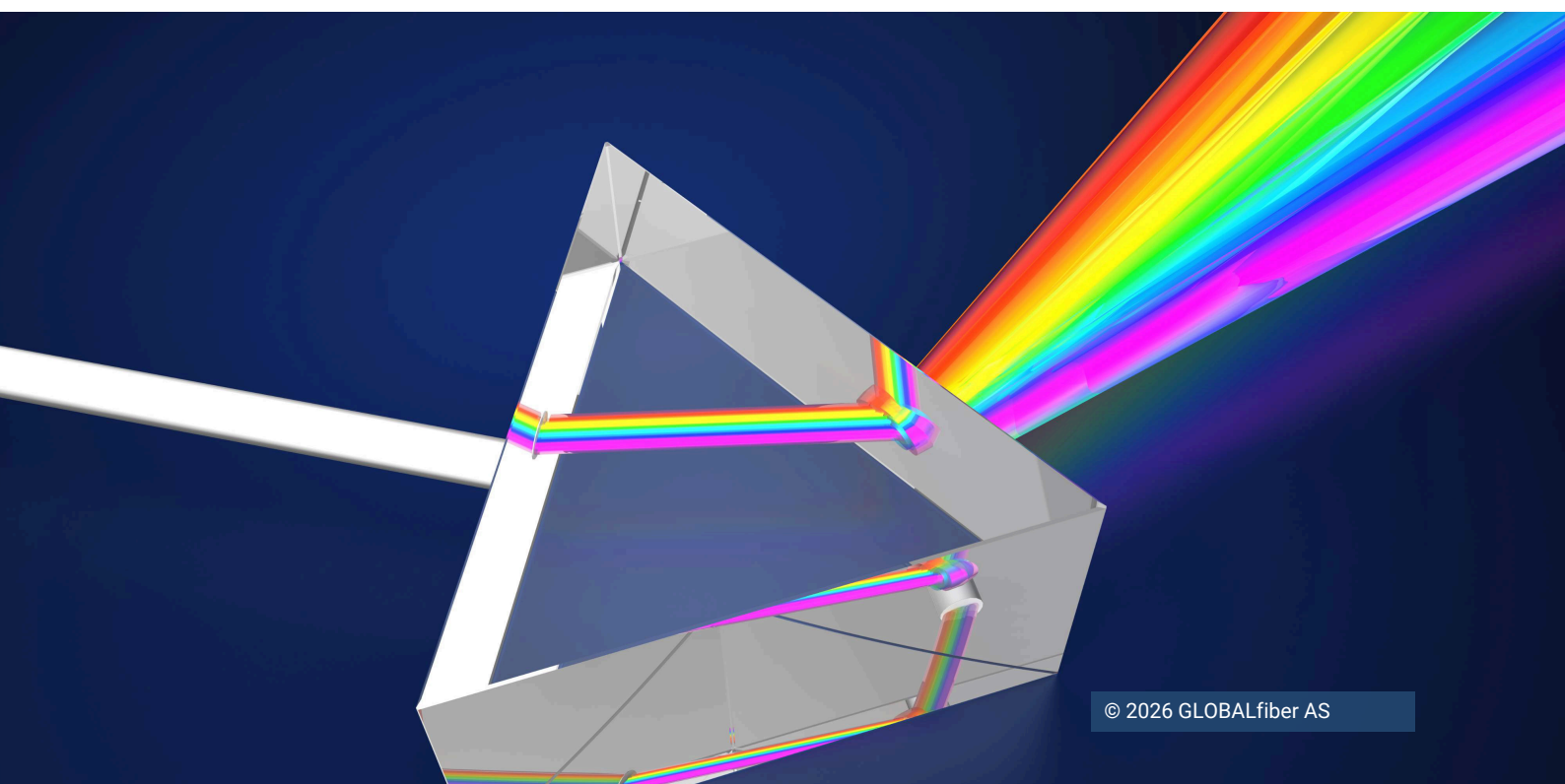
CWDM fungerer ved å bruke et spektrum av lysbølgelengder i det optiske området, typisk mellom 1270 nanometer (nm) og 1610 nm.

BØLGELENGDEAVSTAND

Kanalene i CWDM er adskilt med 20 nm mellomrom, noe som gir plass til opptil 18 bølgelengder (kanaler) over én fiber. Dette brede spekteret av bølgelengder gir mindre tetthet enn DWDM, som kan ha kanalavstander ned til 0,8 nm.

INGEN FORSTERKNING

Siden CWDM vanligvis ikke benytter optiske forsterkere (som EDFA – Erbium-Doped Fiber Amplifiers), er maksimal rekkevidde typisk begrenset til 60–80 km på grunn av tap i fiberen. Dette gjør CWDM best egnet for lokalnettet og metro-nettverk.



Hovedkomponenter i et CWDM-system

Et CWDM-system består av flere nøkkelkomponenter som sammen muliggjør overføringen:

- 1. CWDM-lasere:** Disse genererer lys på spesifikke bølgelengder. Laserne er uncooled, noe som betyr at de ikke trenger temperaturstabilisering, og de bruker mindre energi enn DWDM-lasere.
- 2. Multiplexer:** Samler lys fra flere bølgelengder og kombinerer dem til én enkelt fiber.
- 3. Demultiplexer:** Ved mottakeren splittes de ulike bølgelengdene tilbake til individuelle kanaler.
- 4. Optisk fiber:** Bærer de multiplekserte signalene over en fysisk linje.
- 5. Transceivere:** Konverterer elektriske signaler til optiske signaler (og omvendt) i hvert ende av forbindelsen.

TEKNISKE PARAMETER

Kanalavstand:	20 nm / 0,8–1,6 nm
Antall kanaler:	Opptil 18 / 40–96 eller mer
Rekkevidde:	60–80 km uten forsterkning Over 1000 km med forsterkning
Utstyrskostnad:	Lav / Høy
Typiske bruksområder:	Lokal- og bynettverk / Langdistanse og høy kapasitet

Fordeler og begrensninger i et CWDM-system

FORDELER

KOSTNADSEFFEKTIV:

CWDM-systemer krever mindre presisjon i produksjon og installasjon enn DWDM. Mangelen på kjøleutstyr reduserer både innkjøps- og driftskostnadene

ENKEL IMPLEMENTASJON:

CWDM fungerer med standard optisk fiber og krever ikke avanserte løsninger som forsterkere for korte til mellomlange avstander.

LAVERE ENERGIFORBRUK:

Laserne i CWDM krever mindre strøm siden de ikke er kjølte.

FLEKSIBILITET:

Ideelt for små til mellomstore nettverk, som by-nettverk, bedriftsnettverk eller punkt-til-punkt-forbindelser.

BEGRENSNINGER

KORTERE REKKEVIDDE:

CWDM er begrenset til avstander på opptil 80 km på grunn av manglende optisk forsterkning. Over lengre avstander kreves DWDM eller andre løsninger.

LAVERE KANALTETTHET:

Med større avstand mellom bølgelengder har CWDM færre kanaler tilgjengelig enn DWDM.

DEMPING:

Fiberens demping, særlig i spekteret rundt 1400–1500 nm, kan redusere ytelsen.

TEKNISKE PARAMETER

CWDM brukes i mange forskjellige type nettverk.

Metro-nettverk:	Kobler ulike noder i by-nettverk uten høye kostnader.
Datacenter-forbindelser:	Sikrer raske forbindelser mellom servere og lagringsenheter i datasentere.
Kabel-TV-distribusjon:	Overfører TV-signaler fra sentrale hovedkontorer til lokale stasjoner.
Bedriftsnettverk:	Gir små og mellomstore bedrifter muligheten til å oppnå høyere båndbredde uten behov for nye fiberinstallasjoner

Cwdm i praksis

med 2 fiber løsning



Hvorfor WDM?

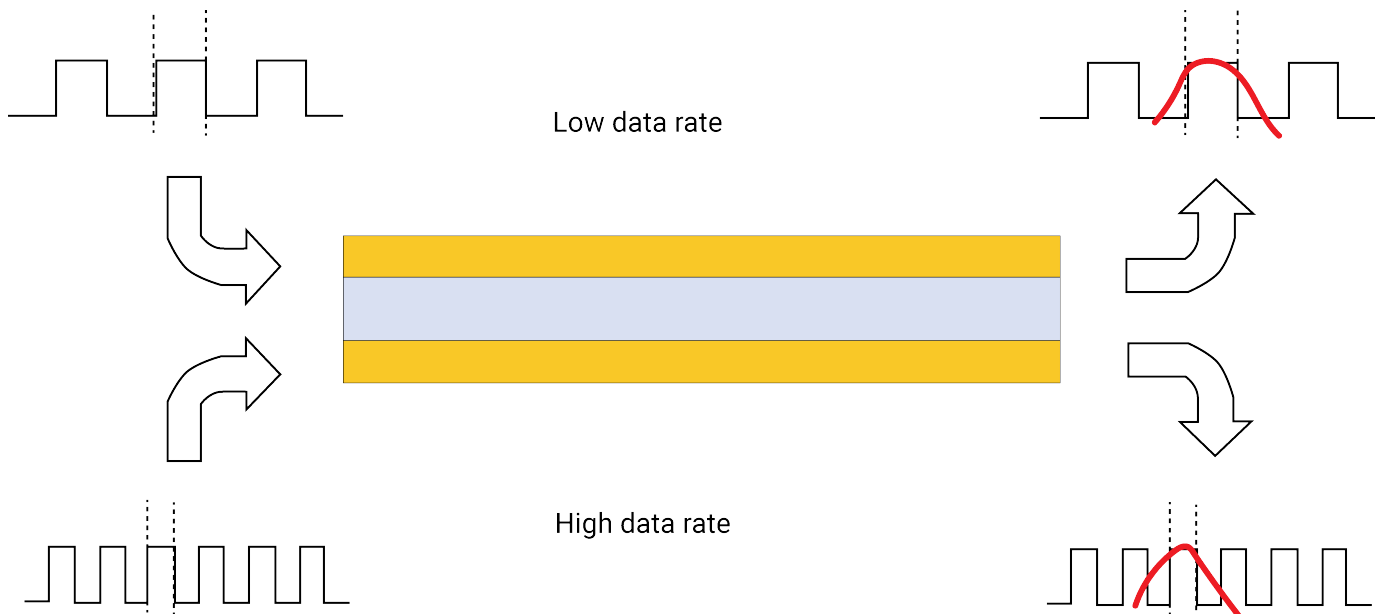
Ved å dele opp fiberen i flere bølgelengder kan ett fiberpar transportere opptil 18 separate kanaler samtidig.

Hver kanal fungerer som en egen isolert forbindelse og kan benyttes til ulike tjenester og hastigheter.

Eksempel:

- Kanal 1 – 10G Internett
- Kanal 2 – 25G Datasenter
- Kanal 3 – 100G Transportnett
- Kanal 4 – Fremtidig kapasitet

CWDM er spesielt nyttig når det allerede finnes en fiberforbindelse mellom to lokasjoner og man ønsker å øke kapasiteten uten å etablere nye fiberstrekk.



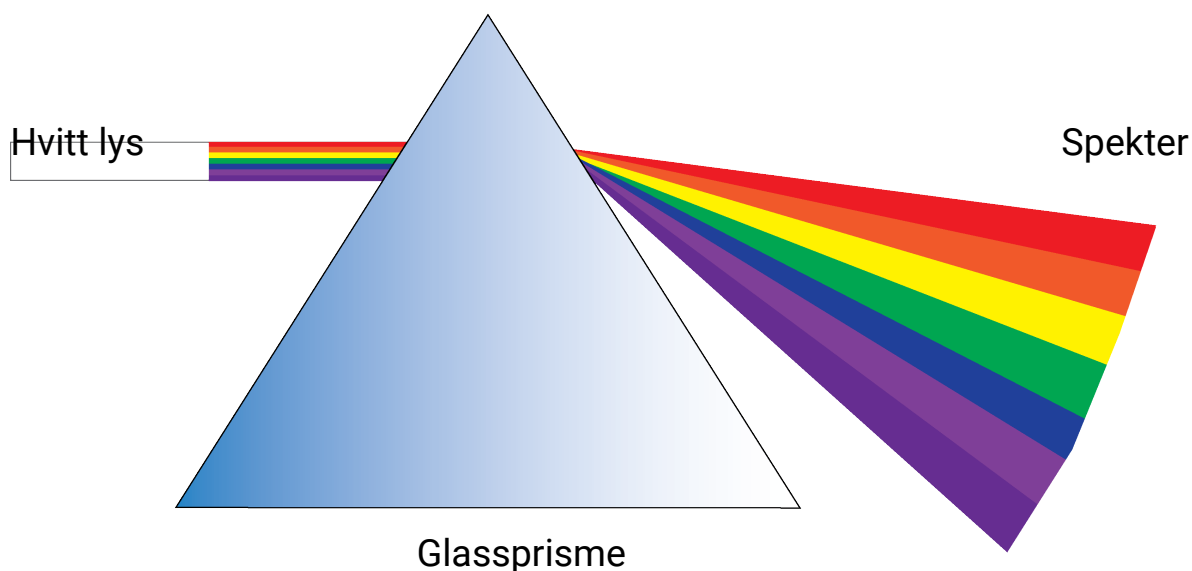
VISSTE DU AT

CWDM bruker farger av lys

Selv om vi ikke kan se dem, sendes ulike "farger" (bølgelengder) gjennom den samme fiberen samtidig uten å blande seg med hverandre.

WDM

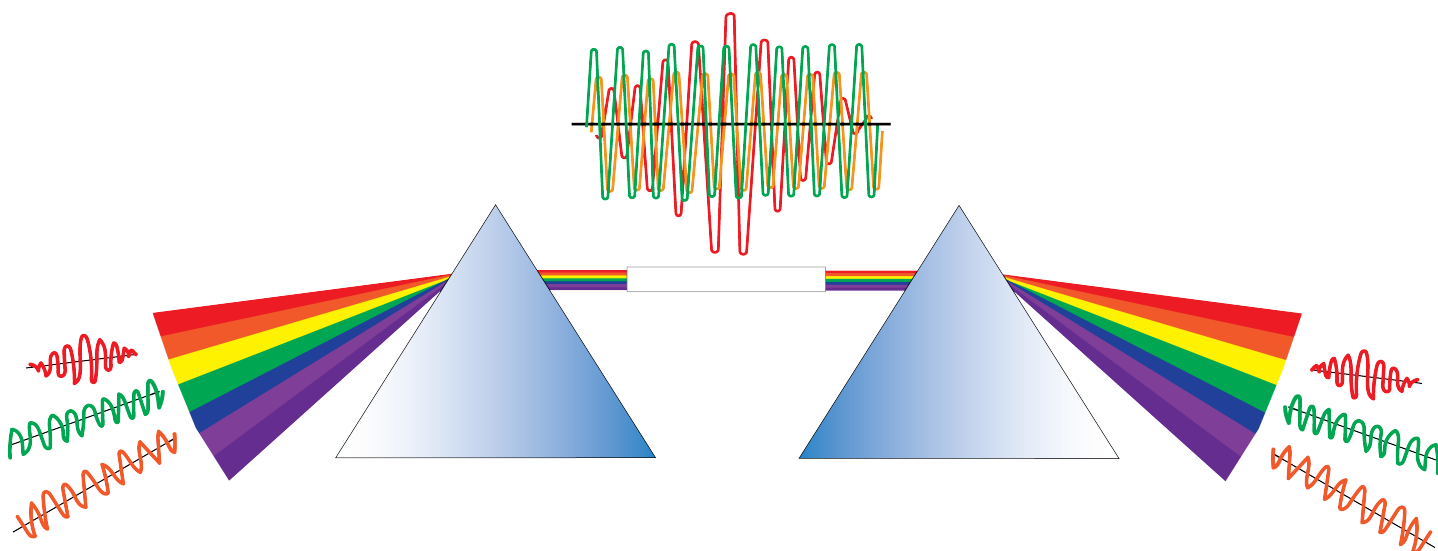
Wavelength Division Multiplexing



Som vist på illustrasjonen sendes hvitt lys, som inneholder mange ulike bølgelengder, inn i et passivt optisk filter. På samme måte som et prisme deler opp lyset i regnbuens farger, skilles de ulike bølgelengdene fra hverandre.

I et CWDM-system representerer hver bølgelengde en egen kommunikasjonskanal. Disse kanalene kan transportere uavhengige datastrømmer gjennom den samme fiberen uten å påvirke hverandre.

CWDM benytter normalt 18 bølgelengder fra 1270 nm til 1610 nm, med 20 nm avstand mellom kanalene.



CWDM

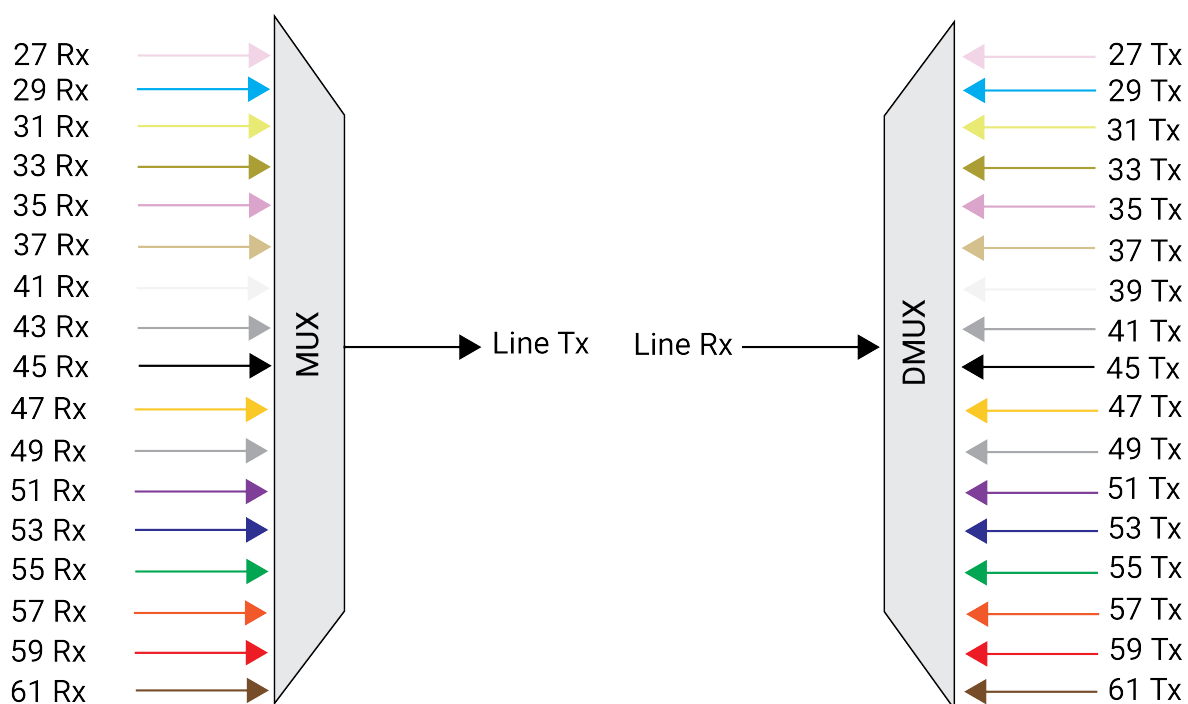
Kanaler og fargekoder

Vi benytter fargekoder etter ITU standard som presenterer riktig bølgelengde

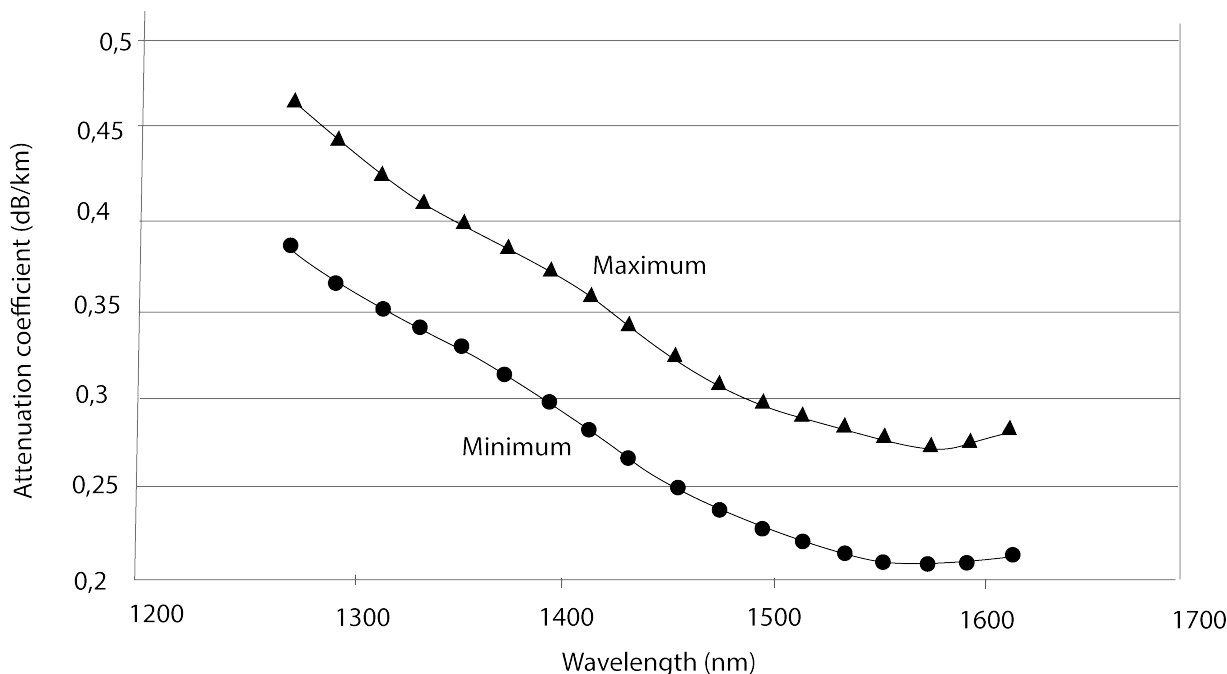
1270	light purple	
1290	sky blue	
1310	yellow green	
1330	yellow ocher	
1350	pink	
1370	beige	
1390	white	
1410	silver	
1430	black	

1450	yellow orange	
1470	gray	
1490	violet	
1510	blue	
1530	green	
1550	yellow	
1570	orange	
1590	red	
1610	brown	

Typisk CWDM-link



Demping for CWDM-bølgelengder



HVORFOR ER DEMPNING FORSKJELLIG?

Lys med ulike bølgelengder påvirkes forskjellig når det transporteres gjennom glassfiber. Fiberens materiale absorberer og sprer de ulike bølgelengdene i ulik grad, noe som gir forskjellige dempningsverdier.

Selv om to transceivere har identisk sendeeffekt, vil den mottatte effekten variere avhengig av hvilken CWDM-kanal som benyttes.

Dette er viktig å ta hensyn til ved beregning av linkbudsjett og maksimal rekkevidde.

Wavelegth [nm]	Attenuation [dB/km]	Dispersion [ps/(nm*km)]
1271	0,42	-8,5
1291	0,40	-3,9
1311	0,39	0
1331	0,37	3,3
1351	0,36	5,0
1371	0,35	6,6
1391	0,34	8,0
1411	0,32	9,1
1431	0,30	10,3
1451	0,29	11,5
1471	0,28	12,7
1491	0,27	13,9
1511	0,26	15,1
1531	0,25	16,3
1551	0,25	17,5
1571	0,25	18,7
1591	0,26	19,9
1611	0,27	21,1

TEKNISKE DETALJER

1550 nm ligger i området med lavest dempning i fiberen og er derfor en av de mest benyttede bølgelengdene for lange forbindelser

Sender + mottaker = santogså i CWDM

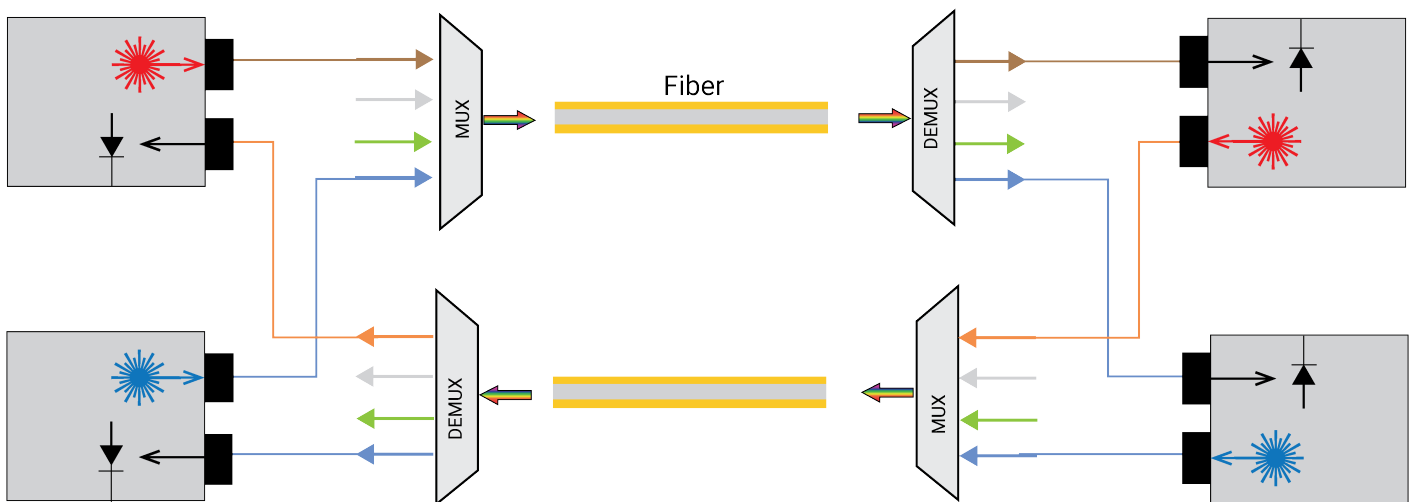
I praksis benyttes en MUX (multiplexer) til å samle flere bølgelengder inn på samme fiber, og en DEMUX (demultiplexer) til å skille dem fra hverandre igjen.

For en to-fiber CWDM-forbindelse benyttes normalt:

- 1 MUX i hver ende
- 1 DEMUX i hver ende

Totalt benyttes derfor fire passive filtre/prismer i forbindelsen.

Transceivere med ulike CWDM-bølgelengder kobles til MUX-en. Lyset kombineres på én fiber, transporteres gjennom nettet og skilles ut igjen på mottakersiden før det sendes videre til riktig mottaker.



TEKNISKE DETALJER

CWDM-utstyret trenger ikke strøm

MUX- og DEMUX-modulene er passive komponenter. De deler og samler bølgelengder ved hjelp av optiske filtre og krever normalt ingen strømforsyning.

CWDM-porttyper

TEKNISKE DETALJER

CWDM benytter 18 standardiserte bølgelengder fra 1270 nm til 1610 nm. Hver bølgelengde fungerer som en egen kommunikasjonskanal og kan transportere en separat tjeneste gjennom den samme fiberen.

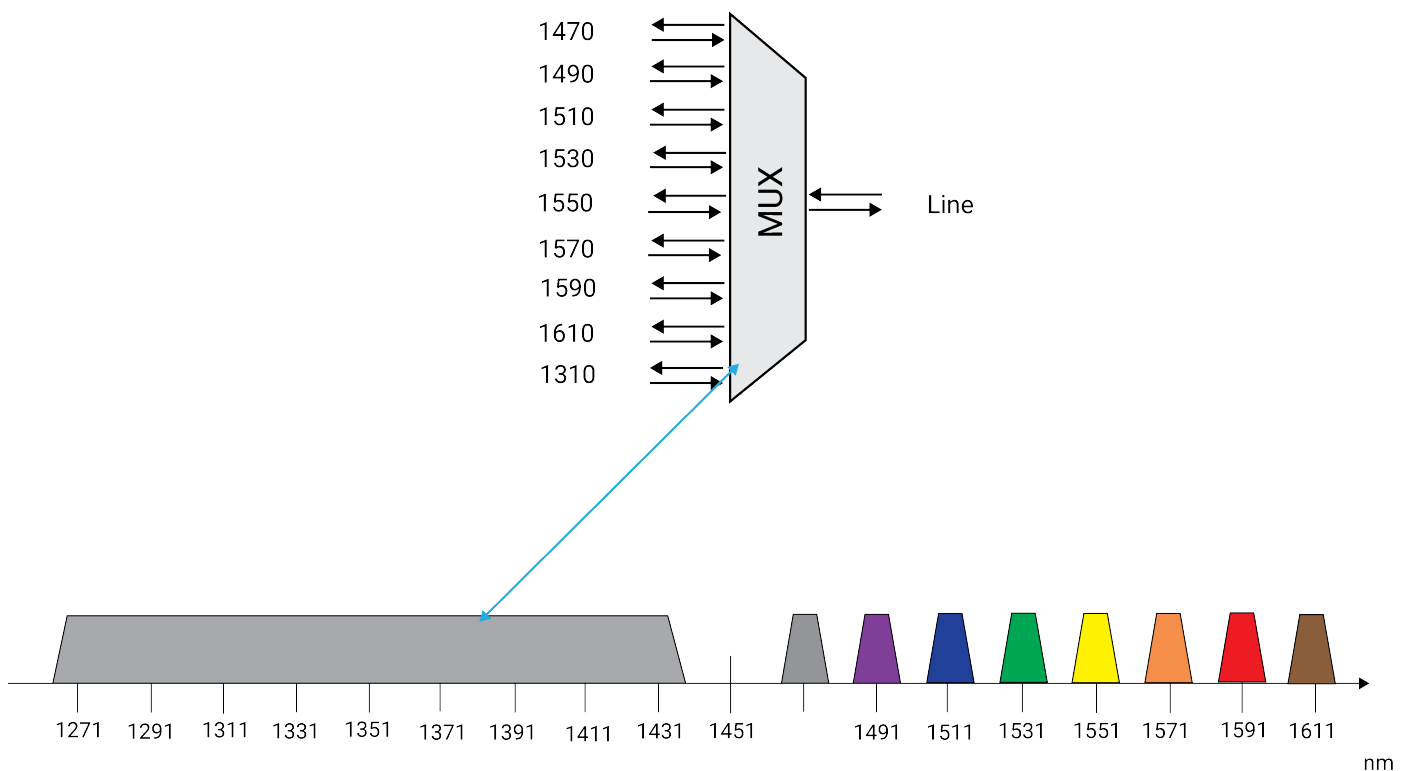
EXT = Expansion Port

EXT-porten gjør det mulig å koble til flere CWDM-moduler og utvide antall tilgjengelige kanaler uten å endre den eksisterende installasjonen.

I mange installasjoner benyttes først kanalene fra 1470 nm til 1610 nm. Disse ligger i området med lavest demping i fiberen og er derfor godt egnet for lengre forbindelser.

MUX-en samler de aktive bølgelengdene inn på én felles fiber, mens de resterende bølgelengdene føres ut gjennom en egen ekspansjonsport (EXT-port).

Dette gjør det mulig å ta i bruk flere kanaler senere uten å bytte ut eksisterende CWDM-utstyr eller etablere nye fiberforbindelser.



18 kanaler – men ofte bygges bare 8 ut i første fase

Mange CWDM-løsninger starter med kanalene 1470–1610 nm. De lavere bølgelengdene (1270–1430 nm) reserveres ofte for fremtidig utvidelse via EXT-porten.

CWDM-link

punkt til punkt-eksempel

Punkt til punkt-eksempel

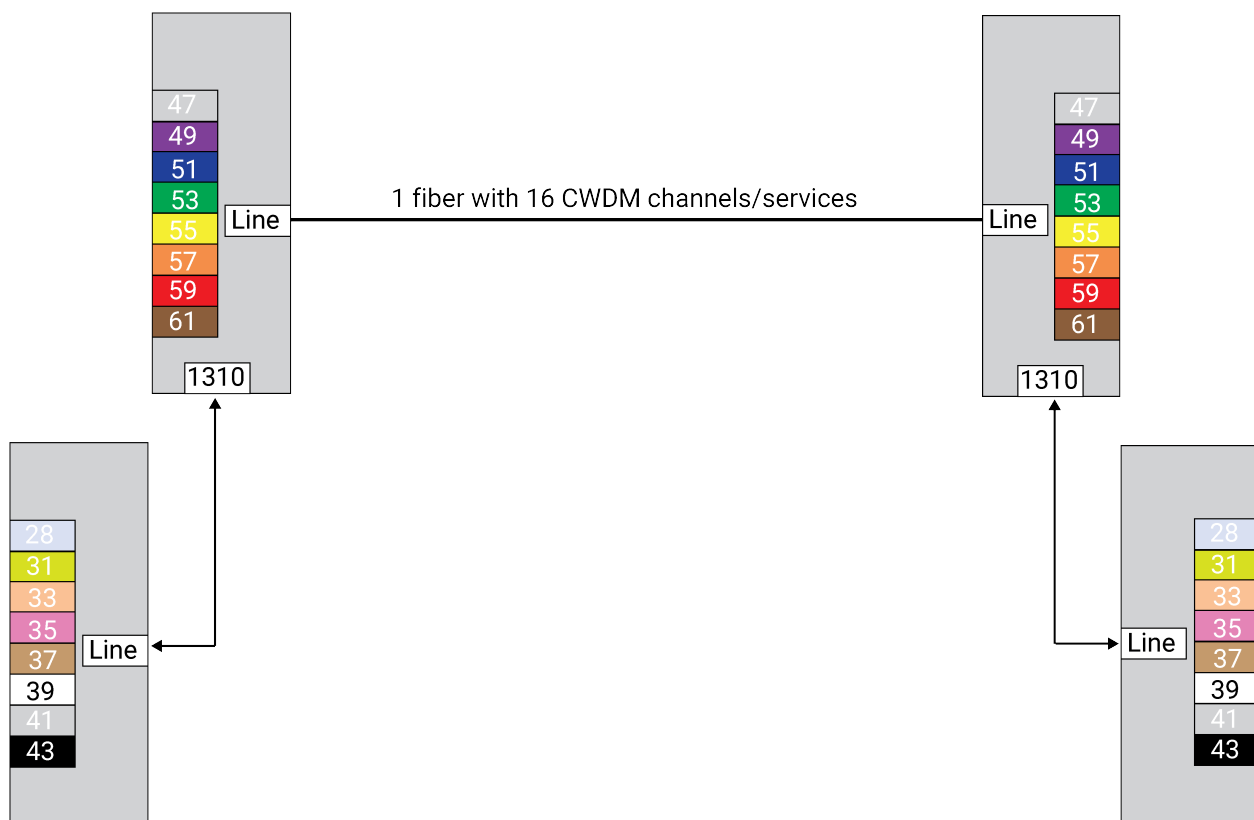
Illustrasjonen viser et typisk CWDM-oppsett mellom to lokasjoner. Flere tjenester transporteres samtidig over den samme fiberforbindelsen ved hjelp av ulike bølgelengder. Hver farge representerer en egen CWDM-kanal og fungerer som en separat forbindelse gjennom nettet. Kanalene er fullstendig isolert fra hverandre, selv om de deler den samme fiberen.

Dette gjør det mulig å transportere mange ulike tjenester samtidig, for eksempel internett, datasentertrafikk, backup eller dedikerte kundeforbindelser, uten behov for flere fiberpar.

Utbygging ved behov

I mange installasjoner tas først kanalene fra 1470 nm til 1610 nm i bruk. Dersom kapasitetsbehovet øker, kan flere bølgelengder kobles inn via EXT-porten og gi ytterligere kapasitet på den samme fiberforbindelsen.

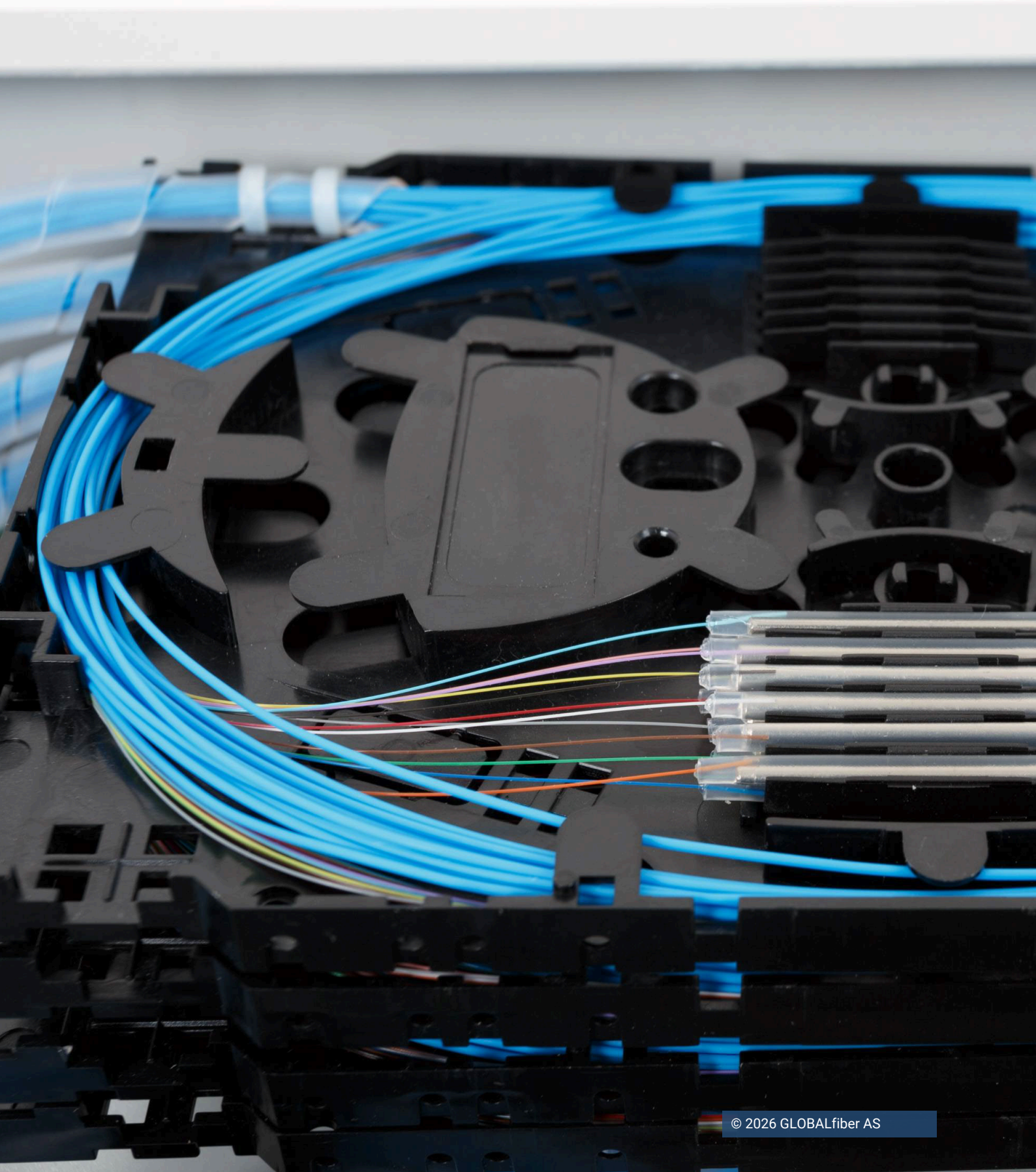
På denne måten kan nettverket bygges ut trinnvis uten å etablere nye fiberstrekk



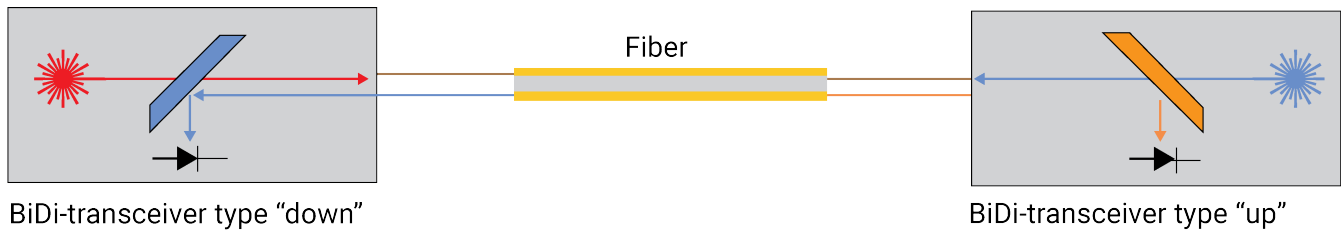
Her har vi et eksempel på punkt til punkt CWDM-link

Cwdm i praksis

med 1 fiber løsning



WDM- BiDi-transceiver



CWDM kan også benyttes på én enkelt fiber. Dette er en løsning som brukes i mange FTTH-nett (Fiber To The Home), og støttes av de fleste transceivere som benyttes i Norge.

Prinsippet er at én bølgelengde brukes til å sende data, mens en annen bølgelengde brukes til å motta data. Et vanlig eksempel er en transceiver som sender på 1310 nm og mottar på 1490 nm.

Dette fungerer fordi transceiveren inneholder optiske filtre, tilsvarende et CWDM-prisme, som skiller de ulike bølgelengdene fra hverandre. Filteret sørger for at riktig bølgelengde ledes til senderen, mens den mottatte bølgelengden ledes til mottakeren.

På denne måten kan toveis kommunikasjon foregå samtidig over én og samme fiber.



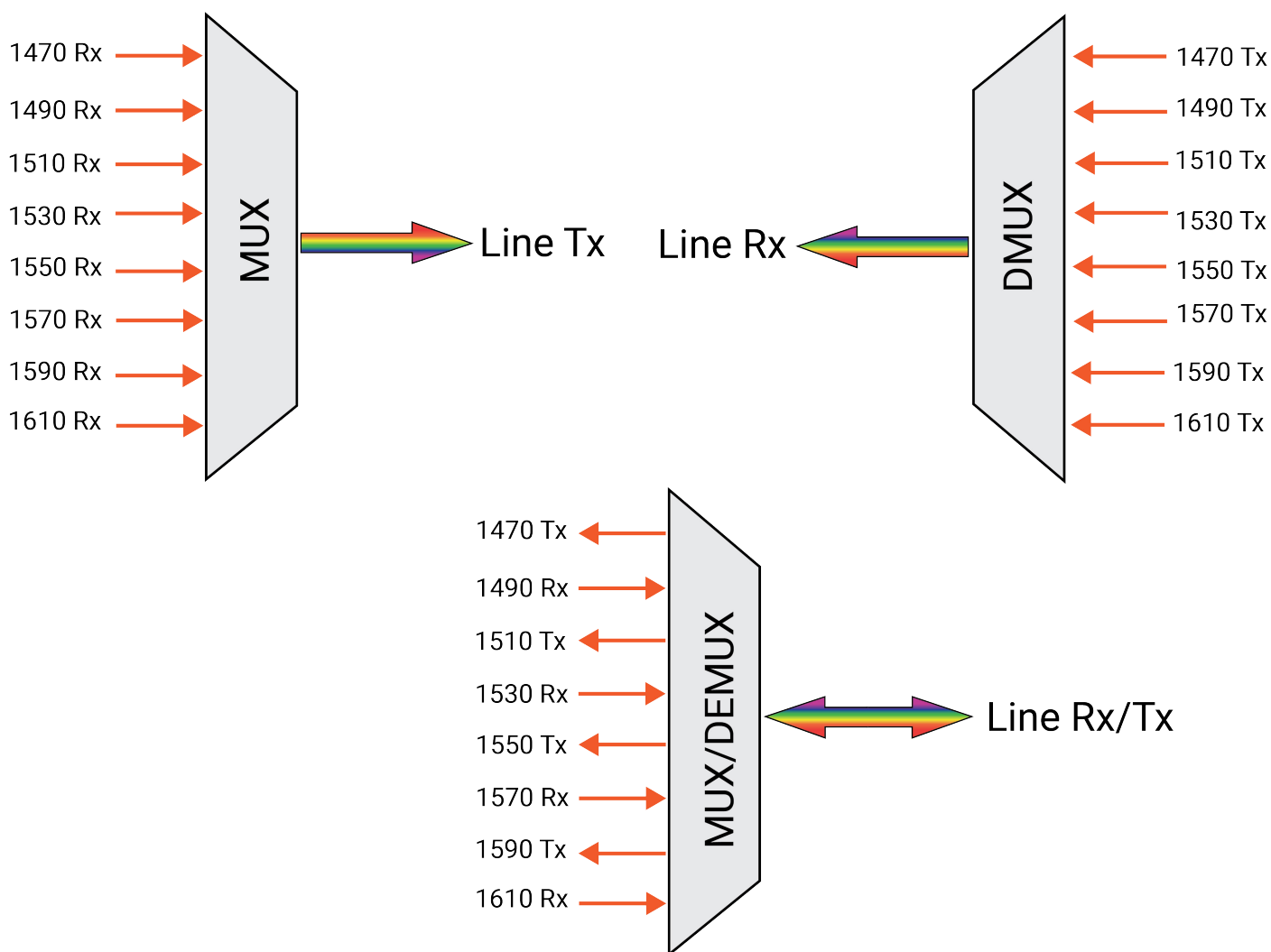
Singelfiber / BiDi-directional WDM

Kommunikasjon på én fiber

Ved hjelp av BiDi-teknologi (Bidirectional WDM) kan både sending og mottak foregå samtidig på én og samme fiber.

Dette oppnås ved å benytte forskjellige bølgelengder i hver retning. Optiske filtre i MUX-, DEMUX- eller transceivermodulen sørger for at de ulike bølgelengdene skilles fra hverandre, slik at signalene ikke forstyrrer hverandre.

Prinsippet er det samme som i CWDM-systemer, der ulike bølgelengder fungerer som separate transportkanaler gjennom fiberen.



Singelfiber / BiDi-mux

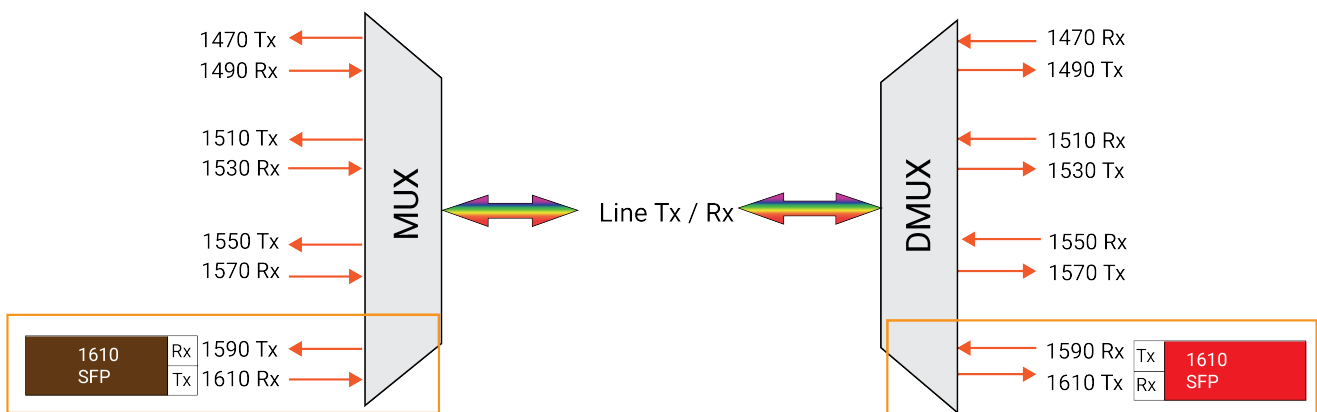
BiDi i praksis

I dette eksemplet benyttes standard CWDM-transceivere sammen med MUX/DEMUX-filtre.

Transceiveren på den ene siden sender på 1610 nm. Signalet kobles inn på 1610-porten i MUX-en, transporteres gjennom fiberen og skilles ut igjen på 1610-porten i den andre enden.

Der kobles signalet inn på mottakeren til en transceiver som sender på 1590 nm. Returtrafikken følger samme fiber, men benytter 1590 nm i motsatt retning.

Mottakerdelen i transceiveren kan motta lys innenfor et bredere bølglengdeområde, mens de optiske filterne sørger for at riktig signal ledes til riktig mottaker.

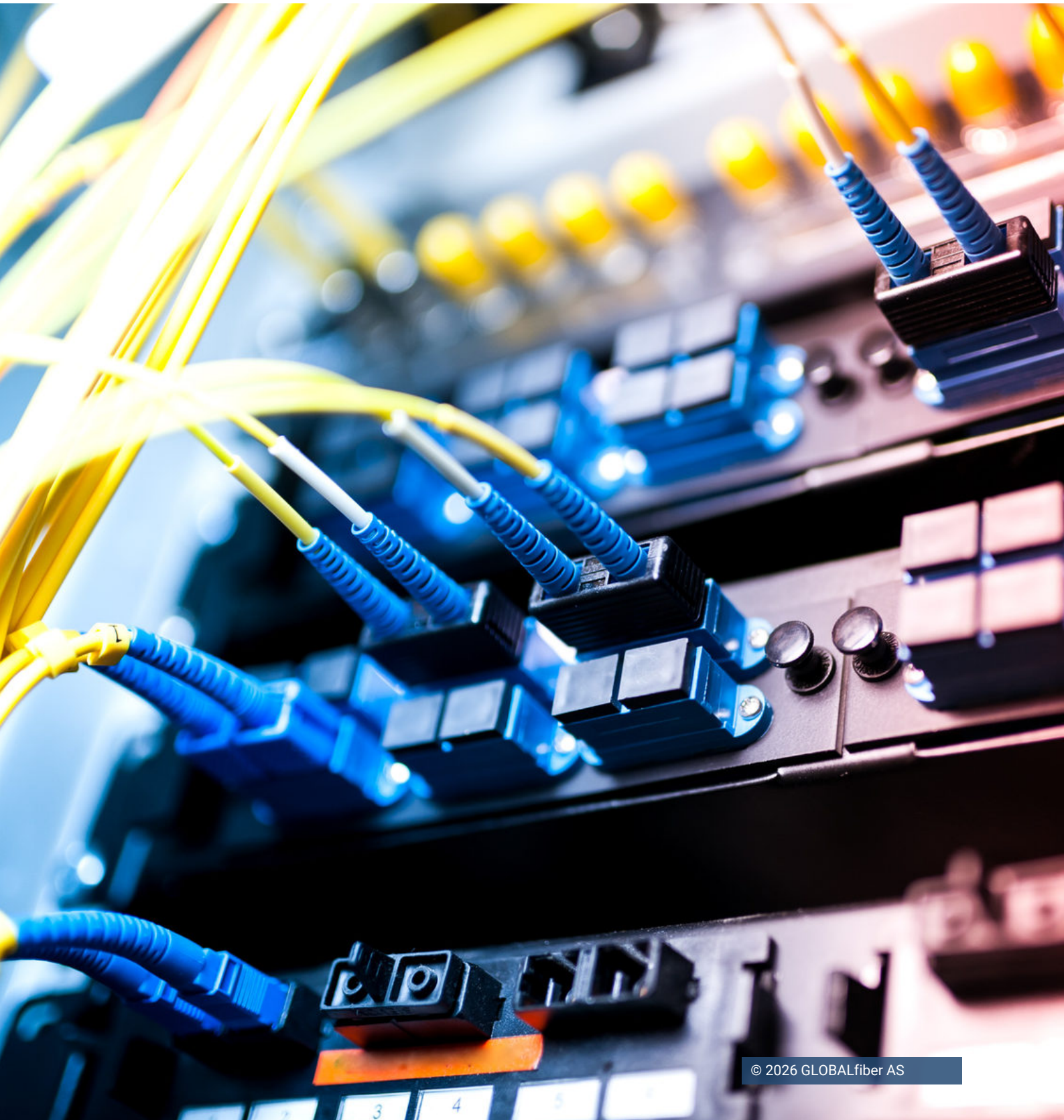


DU?

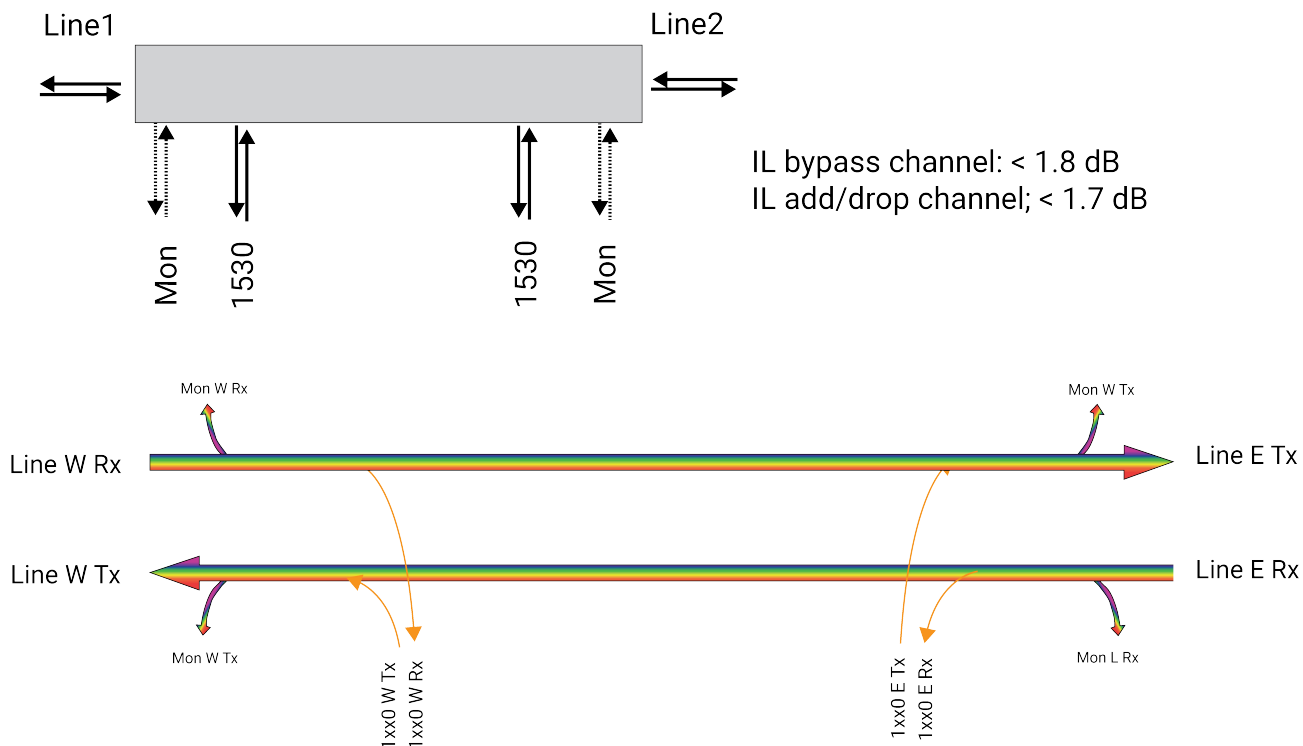
visste

1610 nm på den ene siden kobles normalt sammen med 1590 nm på den andre siden. På denne måten får hver ende sin egen sende- og mottaksbølglengde, samtidig som begge deler én fysisk fiber.

Cwdm Ad / Drop



CWDM-komponenter: OADM



Et OADM-filter (Optical Add/Drop Multiplexer) gjør det mulig å ta ut eller legge til én eller flere bestemte bølgelengder på en eksisterende CWDM-forbindelse. Dette skjer ved hjelp av passive optiske filtre som skiller ut de ønskede kanalene, mens de øvrige bølgelengdene fortsetter uforstyrret gjennom fiberen.

Ved å installere et OADM kan man hente ut eller tilføre tjenester hvor som helst langs en fiberstrekning, uten å måtte terminere eller bygge om hele forbindelsen. Dette gjør teknologien spesielt nyttig i større transportnett der flere lokasjoner skal kobles til den samme fiberinfrastrukturen.

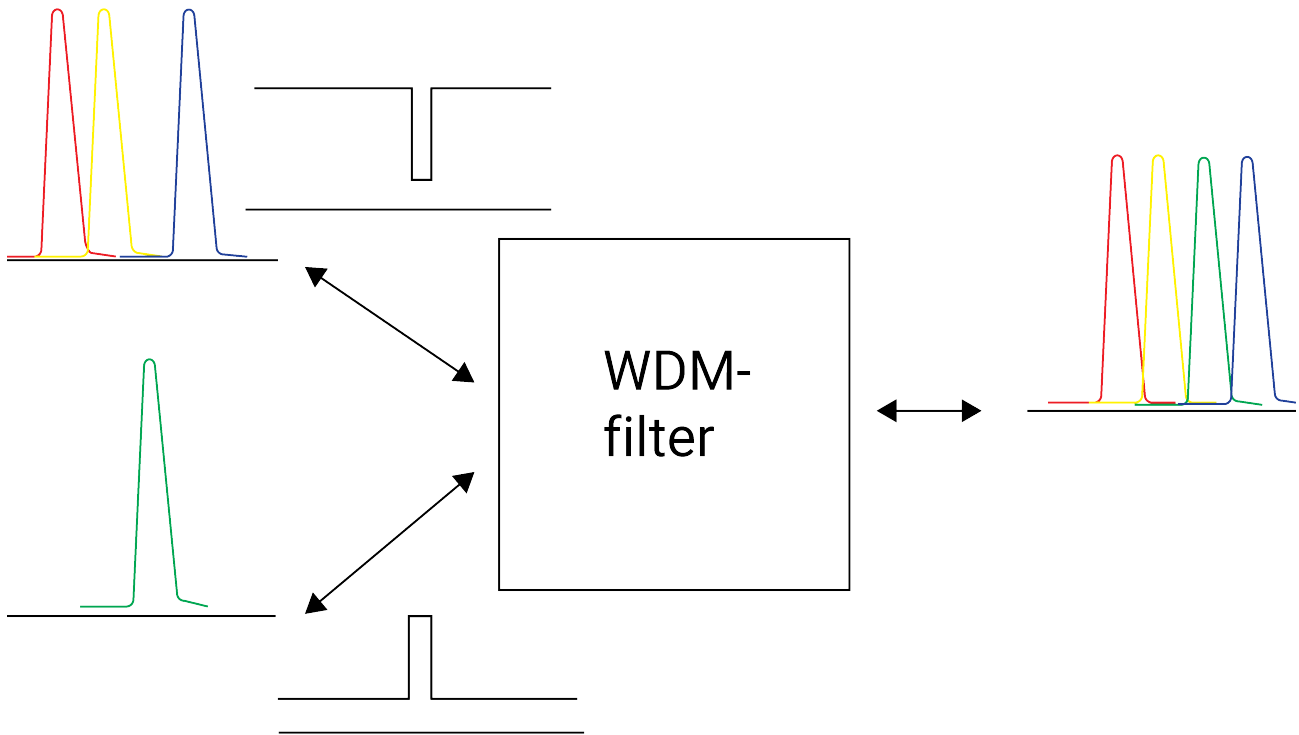
Hvorfor benytte OADM?

- Gir tilgang til utvalgte bølgelengder uten å påvirke øvrige tjenester.
- Minimerer ekstra dempning på hovedstrekningen.
- Gjør det mulig å legge til nye tjenester uten å etablere nye fiberforbindelser.
- Kan installeres hvor som helst langs en eksisterende CWDM-link.

TEKNISKE DETALJER

Et OADM er en passiv komponent og krever ingen strømforsyning. Selv om utstyr på et av de tilkoblede punktene mister strøm, vil de øvrige bølgelengdene fortsatt kunne passere gjennom forbindelsen. Dette bidrar til høy tilgjengelighet og reduserer risikoen for at én lokasjon påvirker resten av transportnettet.

Tre-ports filter



Tre-ports filter

Et tre-ports AD/Drop-filter benyttes når én eller flere bestemte bølgelengder skal tas ut eller legges til på en eksisterende CWDM-forbindelse.

Filteret består av tre porter:

- Port 1 – LINE: Hovedporten der alle tilgjengelige CWDM-bølgelengder går inn eller ut av filteret. Dette er forbindelsen videre langs transportnett.
- Port 2 – ADD/DROP: Porten for den dedikerte bølgelengden som skal tas ut eller legges inn på forbindelsen. I eksemplet på illustrasjonen er dette 1530 nm-kanalen.
- Port 3 – EXT: Her passerer alle de resterende bølgelengdene som ikke filtreres ut av AD/Drop-porten. Denne porten brukes når forbindelsen skal videreføres eller bygges ut med flere tjenester senere.

Hvordan fungerer det?

Når alle CWDM-kanalene ankommer filteret via LINE-porten, skilles den valgte bølgelengden ut og sendes til ADD/DROP-porten. De øvrige bølgelengdene fortsetter videre gjennom EXT-porten med minimal påvirkning. På samme måte kan ny trafikk på den aktuelle bølgelengden legges inn via ADD/DROP-porten og kombineres med de øvrige kanalene før signalet sendes videre på hovedforbindelsen.

CWDM-link

Add/dropp-eksempel

Add/Drop-eksempel

Ved hjelp av Add/Drop-filtre kan et CWDM-system bygges opp som et passivt transportnett der ulike lokasjoner får tilgang til bestemte bølgelengder uten å påvirke resten av trafikken.

I dette eksemplet er lokasjonene i hver ende utstyrt med et 8+1 CWDM-system som benytter bølgelengdene 1470 nm til 1610 nm. Mellom disse punktene er det plassert OADM-filtre som gjør det mulig å ta ut og legge til utvalgte kanaler underveis.

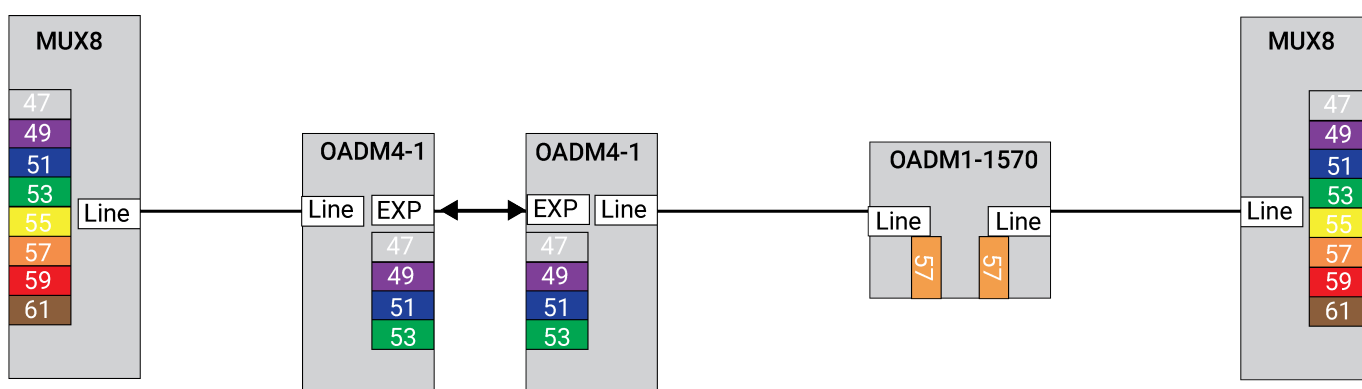
På lokasjon B benyttes et OADM4-filter som tar ut bølgelengdene 1470, 1490, 1510 og 1530 nm. Disse kanalene kan deretter brukes til lokale tjenester eller forbindelser mot både vest og øst i nettet. De resterende kanalene fortsetter videre gjennom transportforbindelsen uten å bli påvirket.

Lenger øst i nettet benyttes et OADM1-filter som tar ut og legger til 1570 nm. Denne lokasjonen får dermed tilgang til én dedikert kanal, mens øvrige bølgelengder passerer videre mot endepunktet.

Hva skjer med de andre kanalene?

Kanalene 1550, 1590 og 1610 nm blir ikke tatt ut i de mellomliggende lokasjonene og transporteres derfor direkte mellom endepunktene i nettet.

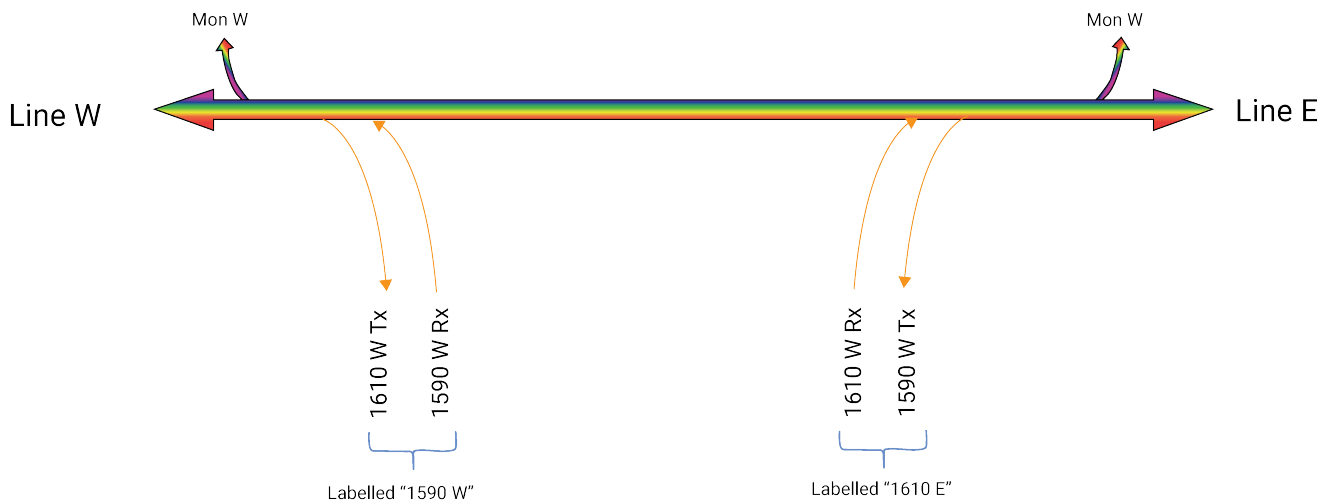
Resultatet er at hver lokasjon kun får tilgang til de bølgelengdene den trenger, samtidig som resten av kapasiteten kan brukes av andre punkter i transportnettet.



TEKNISK KURIOSITET

Et OADM kan sammenlignes med en avkjøring på en motorvei. Enkelte bølgelengder tas av ved en bestemt lokasjon, mens resten av trafikken fortsetter videre mot neste punkt uten å stoppe.

Singelfiber / BiDi OADM



som vis på bilde kan AD Drop filter leveres som ferdig panel eller som skjøtbar 3 ports filter



Om kurset

DWDM lar flere optiske signaler dele samme fiber. Denne kursdelen forklarer kanalplaner, optikk, passive filtre og aktive linjesystemer, med praktiske GLOBALfiber-eksempler.

LÆRINGSMÅL

Du skal kunne skille frekvens fra datahastighet, forklare 50, 75, 100 og 150 GHz og lese en konkret port- og kanalplan. Du skal også kunne sammenligne C-bånd og O-bånd, beregne tap og velge relevante målinger.

O-BÅND I PRAKSIS

Vi går gjennom 100G-optikk, løsninger over én og to fibre, en bred 1310 nm-port og kombinerte 20+2- og 20+4-løsninger. Kanalpar og hele signalets spektrum må passe filtrene.

FORUTSETNINGER

Kjennskap til singelmodusfiber, dB/dBm, konnektorer og Tx/Rx fra grunnkurset. Kurset passer for teknikere, prosjekterende og teknisk salg.

INNHOLDSGRUNNLAG

Denne utgaven viderefører DWDM-delen fra samlet kompendium v6 og supplerer med tekst, produktbilder og illustrasjoner fra GLOBALfiber dwdm - O-band. Teksten er faglig presisert. Oppgitte produktseksempler må kontrolleres mot gjeldende datablad.

TEKNISKE

DETALJER

GHz beskriver optisk frekvensavstand eller spektral bredde. Gbit/s beskriver datahastighet. Det finnes ingen entydig omregning mellom dem.

01 Grunnprinsipper

Hva er DWDM?

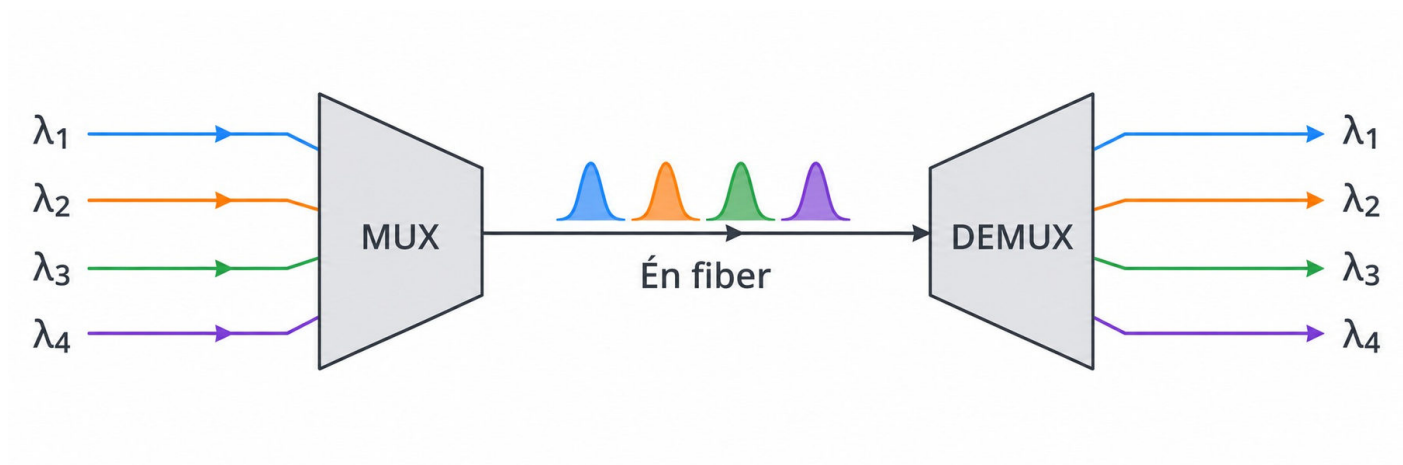
Dense Wavelength Division Multiplexing kombinerer flere optiske bæreølger på én fiber. Hver bæreølge kan transportere sin egen datastrøm.

MUX OG DEMUX

En multiplexer kombinerer kanalene. I den andre enden skiller en demultiplexer dem til riktige mottakere. Passive filtre ruter lys etter frekvens. De endrer ikke Ethernet-hastigheten.

KAPASITET I SAMME FIBER

Flere forbindelser kan dele fiberinfrastrukturen. Optikken i hver ende må bruke en frekvens og et signalformat som hele forbindelsen støtter.



Forenklet prinsipp i én retning. Fargene representerer ulike optiske frekvenser.

TEKNISKE

DETALJER

En passiv MUX trenger ikke strøm, men gir optisk tap. Et komplett DWDM-system kan i tillegg inneholde aktive transpondere, forsterkere og overvåking.

01 Grunnprinsipper

Komponentene

Et DWDM-system består av optiske signaler og en transportvei som må fungere sammen. Et passivt punkt-til-punkt-nett kan bygges uten forsterkere og ROADM.

Komponent	Funksjon
Transceiver og laser	Sender og mottar på avtalte bølgelengder. Frekvensstabilitet må passe filteret.
MUX / DEMUX	Samler kanalene i linjefiberen og skiller dem ved mottakeren.
Fiber og patching	Gir den fysiske transportveien. Tap, refleksjon og dispersjon påvirker forbindelsen.
Optisk forsterker	Brukes ved behov i et kompatibelt bånd. EDFA tilfører også optisk støy.
OADM / ROADM	Tar ut og legger til utvalgte kanaler. ROADM kan omkonfigureres.

PASSIVT ELLER AKTIVT

MUX/DEMUX-filtre kan være helt passive. Modulene og vertsutstyret trenger strøm. Forsterkning og styring legges til når den konkrete linjeløsningen krever det.

TEKNISKE

DETALJER

En EDFA regenererer ikke data og fjerner ikke tidligere støy. Forsterkning er heller ikke nødvendig i alle DWDM-forbindelser.

01 Grunnprinsipper

CWDM og DWDM

Begge teknologiene deler fiberen mellom flere bølgelengder. Forskjellen ligger blant annet i kanalplan, filterkrav og typiske systemløsninger.

Egenskap	CWDM	DWDM
Kanalplan	Typisk 20 nm avstand	Frekvensraster i GHz
Typisk bruk	Enkle, passive forbindelser	Tett kanalpaking og høy kapasitet
Optikk	Ofte fast bølgelengde	Fast eller avstembar frekvens
Linjeutstyr	Ofte uten forsterkning	Passivt eller med EDFA/ROADM

C-BÅND OG ANDRE BÅND

Mange DWDM-systemer bruker C-båndet rundt 1550 nm, der EDFA-forsterkning er vanlig. DWDM finnes også i andre bølgelengdebånd. Bånd og filter må alltid spesifiseres. O-bånd omtales på de neste sidene.



Prinsipp i én retning

Et egnet båndfilter kan føre O- og C-bånd over samme fiber. Prinsipp i én retning.

TEKNISKE

DETALJER

En vanlig 1310 nm LR-modul blir ikke en C-bånd DWDM-kanal ved å kobles til en DWDM-port. Riktig optikk eller en transponder må gi riktig linjesignal.

Bruk og avveininger

DWDM øker utnyttelsen av eksisterende fiber. Flere uavhengige tjenester kan bruke hver sin optiske kanal.

TYPISKE BRUKSOMRÅDER

Datasenterforbindelser, operatørnett, campus og metro kan samle flere tjenester på samme fiber. Regionale nett og langdistanse kan kombinere DWDM med forsterkning og coherent-optikk.

FORDELER

Nye tjenester kan legges til når det finnes ledige kanaler, tilstrekkelig effektmargin og støtte i linjesystemet. Dette kan redusere behovet for å trekke nye fibre.

BEGRENSNINGER

Tettere kanaler stiller krav til frekvensstabilitet, filterpassbånd og spektral bredde. Aktive systemer gir flere forhold å overvåke, blant annet effekt, OSNR, kjøling og FEC.

KOSTNADER OG REKKEVIDDE

Pris og strømforbruk avhenger av valgt optikk og linjeutstyr. Passive DWDM-løsninger kan være enkle. Lange forbindelser krever en samlet vurdering av tap, dispersjon, støy og eventuelle regenereringspunkter.

TEKNISKE

DETALJER

En maksimalavstand som 40, 80 eller 1000 km er ikke en generell egenskap ved DWDM. Den gjelder bare en spesifisert kombinasjon av moduler, fiber og linjeutstyr.

01 Bølgelengdebånd

C-bånd og L-bånd

C-båndet brukes mye til DWDM fordi standard singelmodusfiber har lav demping rundt 1550 nm og fordi passende optiske forsterkere er tilgjengelige.

Bånd	Bølgelengde	Omtrentlig frekvens
O-bånd	1260-1360 nm	220,4-237,9 THz
C-bånd	1530-1565 nm	191,6-195,9 THz
L-bånd	1565-1625 nm	184,5-191,6 THz

UTVIDELSE MED L-BÅND

L-bånd kan gi ekstra spektrum når systemet har støtte for det. Transceivere, filtre og forsterkere må være beregnet for de aktuelle bølgelengdene.

BÅND OG PRODUKTVINDU

Et produkt kan bruke bare en del av et bånd, eller et utvidet vindu med egne grenser. Bruk databladets frekvensområde når kanalene skal planlegges.

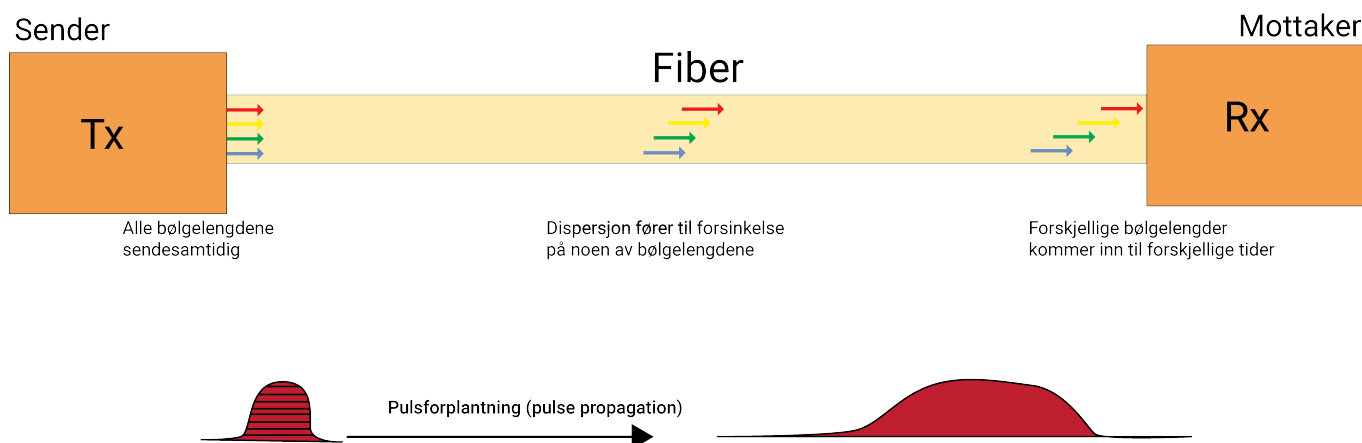
TEKNISKE

DETALJER

Frekvenstallene er beregnet fra $f = c/\lambda$ og avrundet til én desimal. Båndgrensene beskriver et område, ikke en garanti for at en bestemt EDFA eller MUX dekker hele området.

Dispersjon i C-bånd

Kromatisk dispersjon betyr at forskjellige bølgelengdekomponenter får ulik forsinkelse gjennom fiberen. Pulsen kan bli bredere og gjøre symbolene vanskeligere å skille.



Illustrasjon fra GLOBALfiber-presentasjonen: en puls blir bredere gjennom fiberen.

FIBERENS EGENSKAPER

I vanlig G.652-fiber er dispersjonen typisk rundt 17-18 ps/(nm·km) nær 1550 nm. Dette er en orienterende verdi. Beregningen må bruke fibertype, bølgelengde og tillatt dispersjon for den valgte modulen.

KOMPENSASJON

Eldre direkte detekterte systemer kan bruke dispersjonskompensasjonsfiber (DCF) eller fiber Bragg-gitter (FBG). I coherent-systemer kompenserer mottakerens DSP normalt for kromatisk dispersjon innenfor profilens grenser.

TEKNISKE

DETALJER

Dispersjon og demping er forskjellige størrelser. En effektmåling alene viser ikke om signalet er tilstrekkelig lite forvrengt. Optisk kompensasjon kan dessuten gi ekstra innskuddstap.

01 O-bånd og C-bånd

Hva er O-bånd?

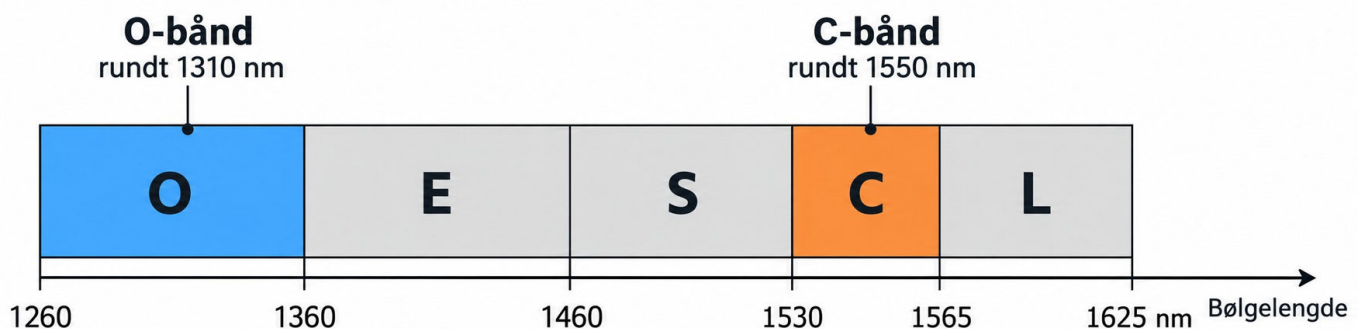
O-båndet (Original band) dekker 1260–1360 nm. Mange optiske grensesnitt arbeider rundt 1310 nm i dette området.

LAV DISPERSJON RUNDT 1310 nm

G.652-fiber har nulldispersjonsbølgelengde rundt 1310 nm. Det er gunstig for mange forbindelser med direkte deteksjon. Dispersjonen er ikke null i hele O-båndet.

FORSKJELLEN FRA C-BÅND

C-båndet ligger ved 1530–1565 nm og brukes mye i forsterkede DWDM-nett. En vanlig C-bånd EDFA forsterker ikke O-båndsignaler. O-bånd krever eventuelt egen forsterkertechnologi, for eksempel en egnet SOA.



Skjematisk oversikt over bølgelengdebånd. O-bånd og C-bånd er markert. Ikke målestokkriktig.

TEKNISKE

DETALJER

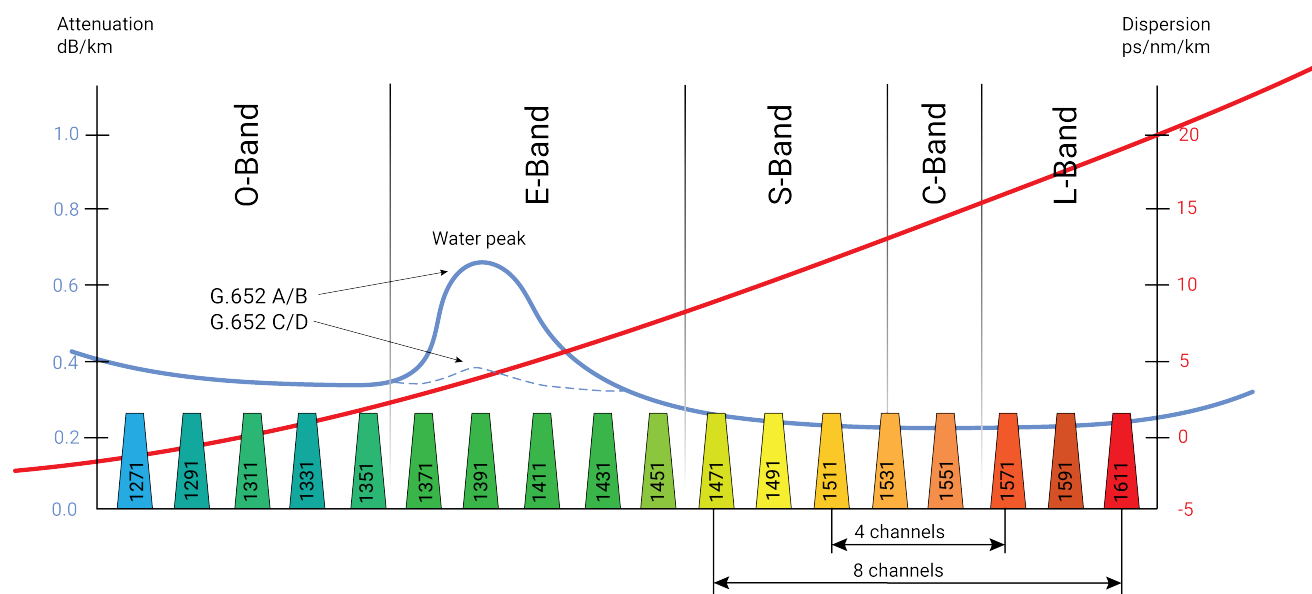
O-bånd er et bølgelengdeområde. Det fastsetter verken datahastighet, kanalavstand eller modulasjonsformat. Båndvalget må passe både transceiver og linjeutstyr.

01 O-bånd og C-bånd

O-bånd mot C-bånd

Valg av bånd handler om mer enn kanalantall. Fiberens demping, dispersjon og tilgjengelig optikk må vurderes samlet.

Egenskap	O-bånd	C-bånd
Bølgelengder	1260-1360 nm	1530-1565 nm
Dispersjon i G.652	Lav nær 1310 nm	Høyere nær 1550 nm
Fibertap i regneeksemplet	0,31 dB/km	0,22 dB/km
Vanlig C-bånd-EDFA	Kan ikke benyttes	Kan benyttes innenfor sitt vindu
Typisk valg	Egnede passive 100G-forbindelser	Passiv DWDM eller coherent transport



Prinsippskisse fra presentasjonen av demping og dispersjon over bølgelengde. Kurvene er illustrerende.

TEKNISKE

DETALJER

Null-dispersjon ligger nær én bølgelengde i O-båndet, ikke over hele båndet. Lav dispersjon betyr ikke at fiberen har null tap. Bruk målte og garanterte data i prosjektering.

01 O-bånd og C-bånd

DWDM i O-båndet

O-bånd kan ha tett plasserte kanaler, men båndnavnet fastsetter verken kanalavstand, passbånd eller datahastighet.

GHz OG nm VED 1310 nm

200 GHz tilsvarer omtrent 1,14 nm, mens 400 GHz tilsvarer omtrent 2,29 nm. 50, 75, 100 og 150 GHz tilsvarer omtrent 0,29, 0,43, 0,57 og 0,86 nm ved denne bølgelengden.

TO ULIKE OPPLYSNINGER I MATERIALET

Presentasjonen omtaler 200 GHz, men lister også åtte bølgelengder fra 1295,56 til 1311,43 nm. Disse åtte sentrene har omtrent 400 GHz avstand. De to opplysningene må ikke brukes som samme kanalplan.

LAN-WDM OG LR4

100GBASE-LR4 bruker fire interne LAN-WDM-bølgelengder rundt 1295,56, 1300,05, 1304,58 og 1309,14 nm. De frakter én samlet 100G-tjeneste. Dette er forskjellig fra fire separate 100G-moduler på eksterne WDM-kanaler.

LWDM SOM PRODUKT BETEGNELSE

LWDM brukes om løsninger rundt 1310 nm. Betegnelsen alene dokumenterer ikke en universell kanalplan. Bestill etter eksakte bølgelengder, toleranser og portkoblinger.

TEKNISKE

DETALJER

Bekreft om valgt produkt bruker 200 GHz, 400 GHz eller en annen plan. Sjekk også laserens bølgelengdetoleranse og filterets nyttige passbånd.

01 O-bånd og C-bånd

O-bånd i praksis

GLOBALfiber G-OMUX-8LB-LU er en passiv O-bånd MUX/DEMUX for åtte tjenester over et fiberpar.

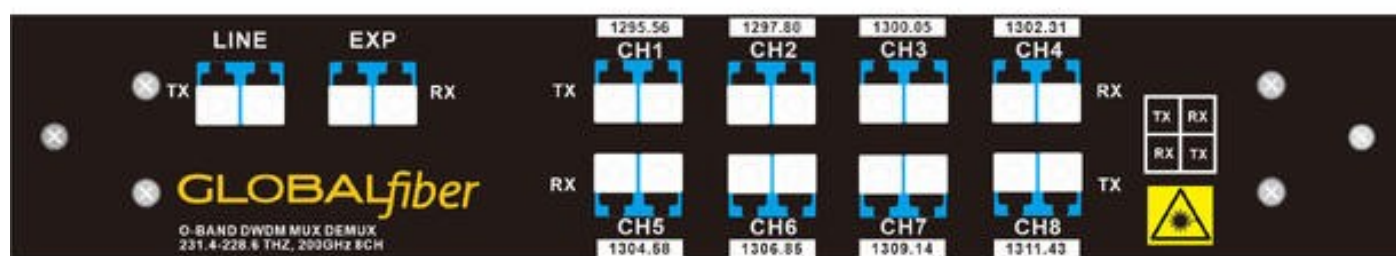
Produktopplysning	Verdi
Oppgitt kanalavstand	200 GHz, se merknaden nedenfor
Topologi / utførelse	Fiberpar, LC, LGX
Filteknologi	TFF, passive tynnfilmfiltre

BRUKSOMRÅDER

Aktuelt for å samle compatible O-båndforbindelser i for eksempel metro- og datasenternett. Fiberens tap, dispersjon, filterpassbånd og modulprofil bestemmer rekkevidden.

SAMBRUK MED C-BÅND

Et egnet båndfilter kan kombinere O- og C-bånd. Noen C-bånd MUX-er har en separat bred 1310 nm-port. Den er ikke det samme som flere smale O-båndkanaler. Hele O-båndsignalet må passe portens passbånd.



GLOBALfiber G-OMUX-8LB-LU. Produktbilde fra GLOBALfiber.

TEKNISKE

DETALJER

Databladet oppgir 200 GHz, men de listede bølgelengdene tilsvarer omtrent 400 GHz avstand. Bekreft kanalplan og garantert tap før prosjektering.

01 Kanalplan i produkt eksemplet

Åtte O-båndkanaler

Bølgelengdene under er oppgitt i presentasjonens 20+4-eksempel. Frekvensene er beregnet fra bølgelengdene og viser omtrent 400 GHz mellom nabokanalene.

Posisjon	Bølgelengde	Frekvens, omtrent
1	1295,56 nm	231,40 THz
2	1297,80 nm	231,00 THz
3	1300,05 nm	230,60 THz
4	1302,31 nm	230,20 THz
5	1304,58 nm	229,80 THz
6	1306,85 nm	229,40 THz
7	1309,14 nm	229,00 THz
8	1311,43 nm	228,60 THz

TJENESTER OG RETNINGER

På et fiberpar kan samme frekvens brukes i hver sin retning på separate fibre. På én fiber trenger løsningen i dette eksemplet to bølgelengder per toveis tjeneste.

SETERAVSTAND OG PASSBÅND

400 GHz mellom sentrene betyr ikke at hele dette området er tilgjengelig for signalet. Modulasjon, laseravvik og filterets form bestemmer hvilken optikk som passer.

TEKNISKE

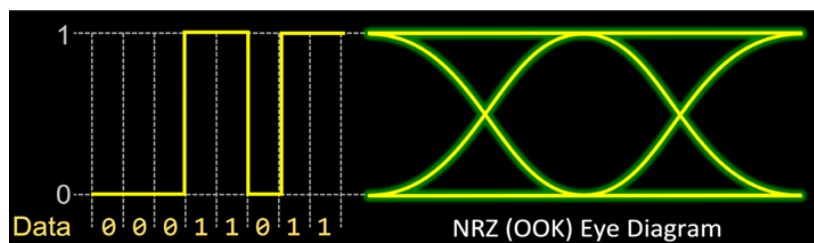
DETALJER

Tabellens posisjonsnumre er en leserekkefølge, ikke en bekreftet portmerking eller bestillingskode. Kanalplan og A-/B-ende skal fremgå av produktets koblingsskjema.

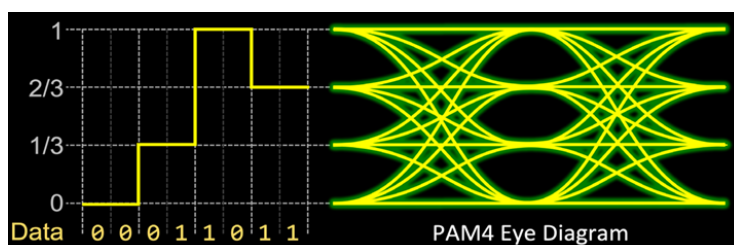
02 Teknologi for O-bånd

100G og modulasjon

PAM4 brukes i mange 100G-grensesnitt med én optisk bæreølge. Modulprofilen bestemmer hvilken signalering, linjerate og FEC som gjelder.



NRZ: to signalnivåer, én bit per symbol.



PAM4: fire signalnivåer, to bit per symbol.

SYMBOLER OG BIT

Ved 53,125 GBaud gir PAM4 en rå linjerate på 106,25 Gbit/s. Netto Ethernet-kapasitet er lavere fordi linjen også må håndtere koding og feilretting.

COHERENT OG DMT

QPSK har to bit per symbol per polarisasjon. DP-QPSK bruker to polarisasjoner og gir fire bit per symbol samlet. DMT deler signalet i flere elektriske underbærere. Ingen av disse betegnelsene gir i seg selv en bestemt O-båndrekkevidde.

TEKNISKE

DETALJER

PAM4 gir flere bit per symbol enn NRZ, men har mindre avstand mellom nivåene og stiller strengere krav til signal-støy-forhold. Sjekk alltid den konkrete optiske profilen.

02 Transceiver og FEC

100G O-båndoptikk

Presentasjonen viser Q100G-L40-DOxx som et QSFP28-produkteksempel for 100GbE, O-bånd DWDM, SM-fiber og duplex LC.



GLOBALfiber Q100G-L40-DOxx, produktbilde fra presentasjonen.

Opplysning i presentasjonen	Hva som må kontrolleres
40 km / 18 dB	Dette er produktangivelser. MUX, DEMUX, patching og reserve bruker av effektbudsjettet.
106,25 Gbit/s PAM4	Bekreft profil, FEC og støtte i switch eller ruter.
APD-mottaker og I ² C	Kontroller Rx-følsomhet, maksimal Rx-effekt og støttet diagnostikk.
Flere O-båndvarianter	DOxx må velges etter riktig kanal og toleranse.

FEC I BEGGE ENDER

FEC legger til redundans og kan rette et begrenset antall bitfeil. Begge ender må bruke kompatibel modus. Følg BER før og etter FEC samt ukorrigerbare feil.

TEKNISKE

DETALJER

FEC har overhead og kan gi ekstra forsinkelse. Den erstatter ikke et riktig tapsbudsjett og løser ikke feil bølgelengde, feil portkobling eller overstyrt mottaker.

02 Prosjektering av rekkevidde

Rekkevidde i O-bånd

Presentasjonens avstandsgrupper er nyttige som bruksområder. De må ikke leses som universelle grenser for O-bånd, PAM4 eller QSFP28.

Avstand	Typisk vurdering
Inntil 10 km	Campus og datasenter. Riktig optisk profil og alle kontakt- og filtertap må fortsatt dokumenteres.
10-40 km	Egnede O-båndprodukter kan brukes. Beregn total tap, FEC-krav og dispersjon ved hver kanal.
40-80 km	Krever en uttrykkelig spesifisert løsning. BiDi/LWDM-produkter må ikke likestilles med smalbånds DWDM-optikk.
Over 80 km	Sammenlign med coherent C-/L-bånd og aktive linjesystemer. Båndet alene gir ingen absolutt grense.

FIBER, MODUL OG MARGIN

Lavt fibertap øker tilgjengelig effektmargin. Bøyebestandighet kan redusere installasjonsrelatert tap, men gir ikke automatisk større optisk rekkevidde. Null-dispersjon er heller ikke null over hele O-båndet.

TEKNISKE

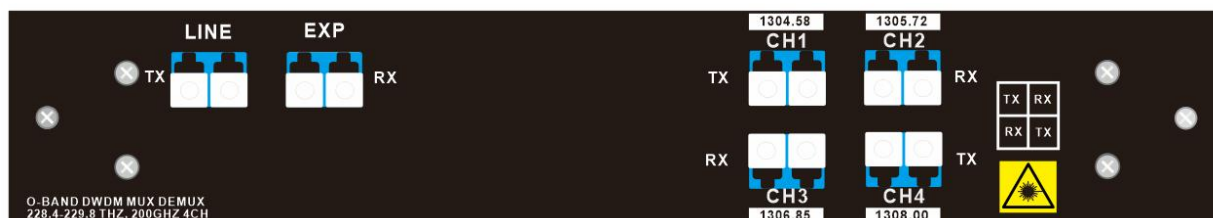
DETALJER

$40 \text{ km} \times 0,31 \text{ dB/km} = 12,4 \text{ dB}$ bare i fiber. Med 18 dB modulbudsjett gjenstår 5,6 dB til alle filtre, kontakter, skjøter og reserve. En 40 km-modul garanterer derfor ikke 40 km gjennom en MUX-løsning.

03 O-bånd i praksis

Fire tjenester, to fibre

Et fiberpar gir én transportfiber per retning. Fire separate 100G-tjenester kan dele fiberparet når modulene og MUX/DEMUX har fire compatible kanaler.



Firekanals O-båndpanel fra presentasjonens dual-fiber-eksempel.

Retning	Kobling
A til B	Tx fra de fire modulene i A går gjennom lokal MUX, første linjefiber og DEMUX i B til riktig Rx.
B til A	Tx fra modulene i B går gjennom lokal MUX, andre linjefiber og DEMUX i A til riktig Rx.
Kanalvalg	Samme sentre kan gjenbrukes i begge retninger fordi de går i hver sin fiber.

SAMLET KAPASITET

Fire 100G-tjenester gir 400 Gbit/s i hver retning. Dette er fire uavhengige tjenester, ikke nødvendigvis én logisk 400G-port.

PORTENE

Duplex LC på transceiveren kobles til riktig Tx-/Rx-par i panelet. LINE-portene knytter panelene sammen. Eventuell EXP-port har egne bånd- og tapsgrenser.

TEKNISKE

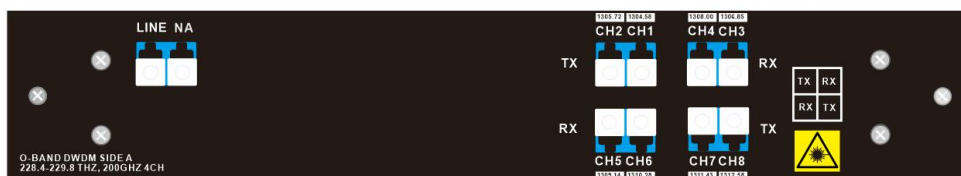
DETALJER

Bekreft kanalnummer, bølgelengde og portmerking før tilkobling. De enkelte transceiverne må støtte både vertens elektriske grensesnitt og det valgte optiske filteret.

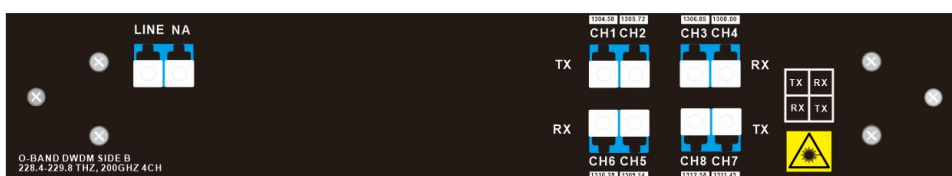
03 O-bånd i praksis

Fire tjenester, én fiber

I en enkeltfiberløsning må begge retninger dele linjefiberen. Eksemplet bruker forskjellige bølgelengder i de to retningene og et komplementært panelpar.



Panel for den ene enden i presentasjonens enkeltfiber-eksempel.



Komplementært panel for motsatt ende.

ÅTTE BØLGELENGDER FOR FIRE TJENESTER

Hver toveis 100G-tjeneste får én bølgelengde fra A til B og en annen fra B til A. Fire tjenester bruker dermed åtte optiske bærebølger på samme linjefiber.

Tx OG Rx MÅ KOBLES MOT RIKTIG PORT

En modul med duplex LC kan inngå i en enkeltfiberløsning når MUX/DEMUX kombinerer retningene. Én linjefiber betyr derfor ikke automatisk at modulen har én LC-kontakt.

KOMPLEMENTÆRE ENDER

Følg A/B-skjemaet og kontroller at senderen i A når riktig mottaker i B, og omvendt. Refleksjon, isolasjon og Rx-overstyring inngår i vurderingen.

TEKNISKE

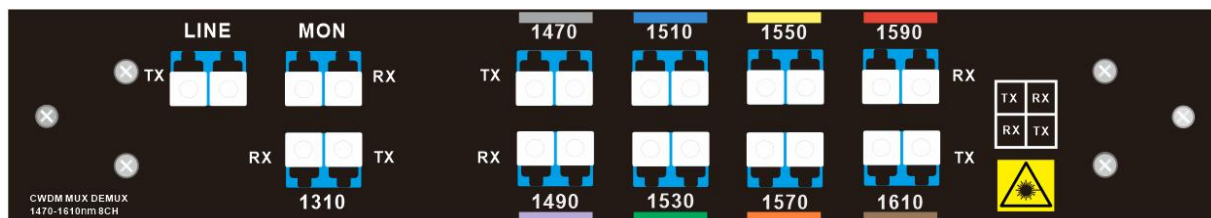
DETALJER

Produktillustrasjonene viser utførelsen. Bruk bekreftet port- og bølgelengdeplan ved bestilling. Ikke overfør kanalnumre mellom forskjellige O-båndproduktserier.

03 Sambruk av bølgelengdebånd

Den brede 1310-porten

En WB1310-port kan slippe gjennom et bredt O-båndsignal ved siden av C-båndkanalene. Hele signalets bølgelengdeområde må ligge innenfor portens spesifiserte passbånd.



MUX-panel med bred 1310 nm-port, hentet fra presentasjonen.

OPPLYSNINGER I EKSEMPEL

Presentasjonen oppgir 1260-1360 nm passbånd og høyst 0,8 dB innskuddstap i 1310-porten. Disse tallene gjelder det viste produkt eksempel og må bekreftes for valgt variant.



Komplementært 100G BiDi/LWDM-par fra presentasjonen.

EKSEMPEL MED KOMPLEMENTÆR OPTIKK

Materialet viser en 100G BiDi/LWDM-løsning med sendebånd rundt 1310 nm i én ende og rundt 1280 nm i den andre. Mottaksbåndene er motsatt. Angivelsen «L4» betyr at hele bølgelengdesettet må kontrolleres, ikke bare én nominell bølgelengde.

TEKNISKE

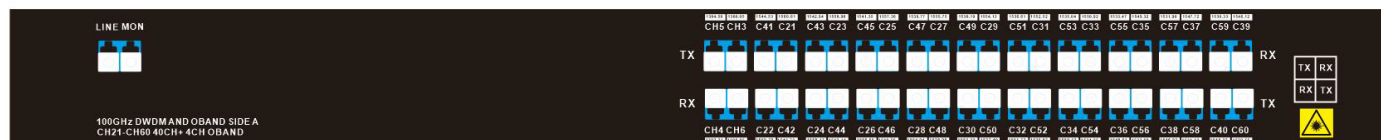
DETALJER

En oppgitt 80 km-rekkevidde for modulparet gjelder ikke automatisk etter at WB1310-filtre er lagt til. Ta med tap i begge endeporter, linjen og øvrige komponenter.

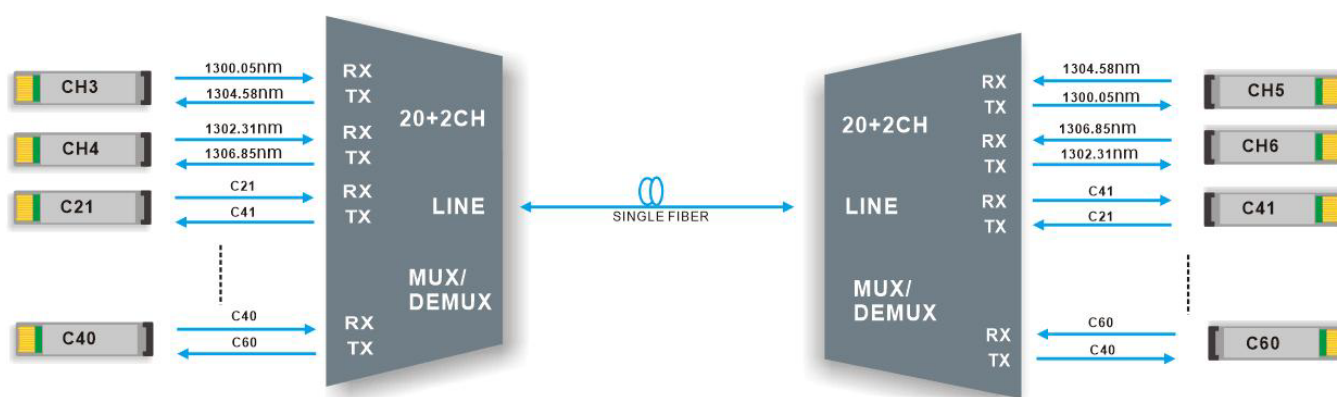
03 Kombinert C-bånd og O-bånd

20 + 2 tjenester

Løsningsforslag 1 i presentasjonen kombinerer 20 toveis tjenester i C-båndet med to toveis tjenester i O-båndet over én linjefiber.



Panelillustrasjon fra GLOBALfiber-presentasjonen.



Eksempel på paring av C-bånd- og O-båndkanaler over én fiber.

KANALPLANEN I EKSEMPEL

C21-C60 gir 40 C-båndbølgelengder, fordelt på retningene for 20 tjenester. O-båndet bruker 1300,05 / 1302,31 / 1304,58 / 1306,85 nm for to tjenester.

EKSEMPEL PÅ O-BÅNDPARING

Tjeneste 1: 1300,05 nm fra A til B og 1304,58 nm tilbake. Tjeneste 2: 1302,31 nm fra A til B og 1306,85 nm tilbake. Panelenes A-/B-utførelse bestemmer den fysiske koblingen.

TEKNISKE

DETALJER

20 + 2 beskriver antall toveis tjenester, ikke 22 bølgelengder. Løsningen bruker 40 + 4 bølgelengder. Den faktiske kapasiteten avhenger av hvilke moduler hver tjeneste bruker.

03 Kombinert C-bånd og O-bånd

20 + 4 tjenester

Løsningsforslag 2 utvider O-båndsdelen til fire toveis tjenester. Det gir 20 C-båndtjenester og fire O-båndtjenester over samme linjefiber.



Panelpar fra presentasjonen 20+4-eksempel, med monitorport og LC/UPC.

ÅTTE O-BÅNDBØLGLENGDER

1295,56 / 1297,80 / 1300,05 / 1302,31 / 1304,58 / 1306,85 / 1309,14 / 1311,43 nm. Hver toveis tjeneste bruker to av bølglengdene etter leverandørens A-/B-plan.

KAPASITET OG UTBYGGING

Med fire separate 100G O-båndtjenester blir O-båndsbidraget 400 Gbit/s per retning. C-båndets kapasitet avhenger av modulene og kan ikke utledes fra kanalantallet alene.

KONTROLL FØR BESTILLING

Bekreft hvert Tx-/Rx-par, passbånd, maksimalt innskuddstap, monitoravgrening og kontaktpolering. MUX-paret skal være komplementært. Mål linjen og beregn begge retningene.

TEKNISKE

DETALJER

De åtte oppgitte O-båndsentrene ligger omtrent 400 GHz fra hverandre. Bestill ikke ut fra betegnelsen «200 GHz» alene. En eksakt og godkjent kanalplan må følge tilbudet.

01 Grunnprinsipper

Frekvens og nm

Den samme optiske bærebølgen kan beskrives med frekvens i THz eller bølgelengde i nm. Når frekvensen øker, blir bølgelengden kortere.

SAMMENHENGEN

Bølgelengde i vakuum: $\lambda \text{ [nm]} = 299\,792,458 / f \text{ [THz]}$.
193,1 THz tilsvarer omtrent 1552,52 nm.

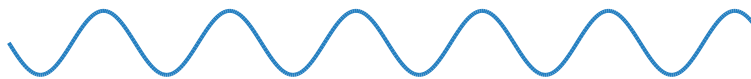
OMTRENT VED 1550 nm

50 GHz tilsvarer 0,40 nm. 75 GHz tilsvarer 0,60 nm.
100 GHz tilsvarer 0,80 nm. 150 GHz tilsvarer 1,20 nm.
Dette er lokale tilnærminger. Lik GHz-avstand gir ikke helt lik nm-avstand over hele båndet.

ENTYDIG BESTILLING

Oppgi senterfrekvens i THz og kanalplanen den tilhører. Kanalnavn som C31 eller H30 må tolkes sammen med leverandørens tabell.

1310 nm



228,85 THz

1550 nm



193,41 THz

Kortere bølgelengde gir høyere optisk frekvens

Skjematisk sammenligning i vakuum. Optisk bærefrekvens er ikke det samme som datahastighet.

TEKNISKE

DETALJER

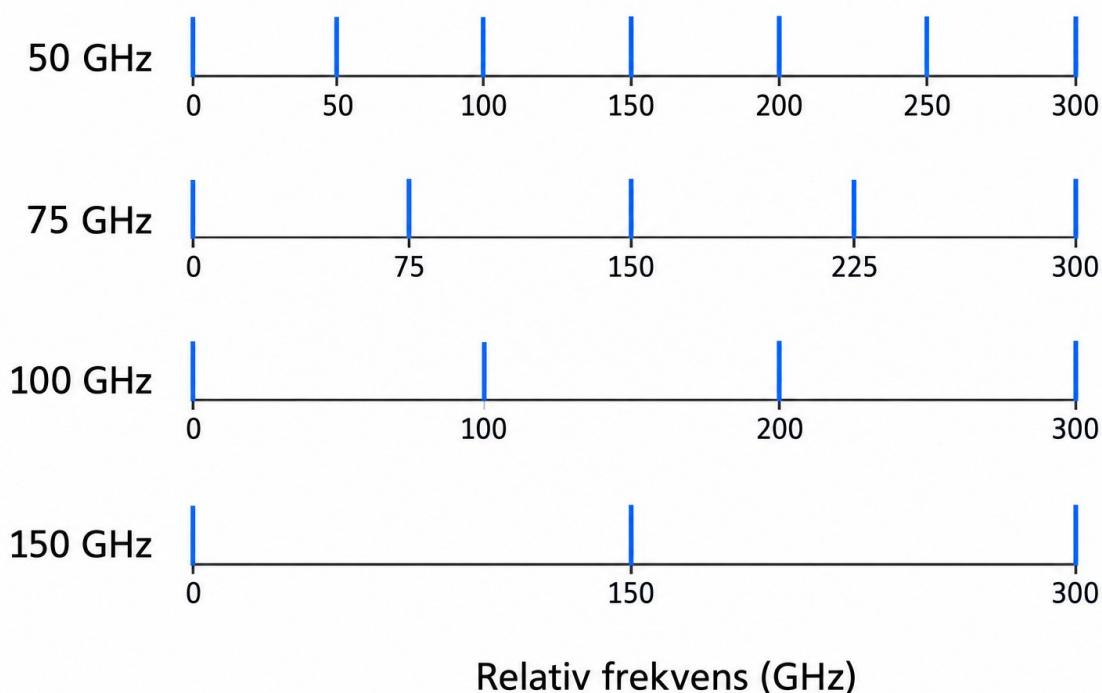
Eksempel: 193,100 og 193,200 THz ligger 100 GHz fra hverandre. Forskjellen er 0,100 THz. 100 GHz sier ingenting alene om forbindelsen er 10G, 100G eller 400G.

01 Grunnprinsipper

Avstand og bredde

Tre ulike begreper må holdes fra hverandre når vi leser et DWDM-datablad.

Begrep	Betydning
Kanalavstand	Avstand mellom senterfrekvensene til nabokanaler.
Slotbredde	Spektrum som kanalplanen reserverer for ett signal.
Filterpassbånd	Frekvensområde filteret slipper gjennom ved en angitt tapsgrense.



Samme frekvensområde i alle rader. Illustrasjonen viser senteravstand, ikke garantert passbånd.

TEKNISKE

DETALJER

100 GHz senteravstand garanterer ikke 100 GHz passbånd. Kontroller filterkurven ved angitt tapsnivå mot modulens spektrale krav.

02 Kanalvalg

50 GHz

50 GHz gir tett kanalpakking. Det passer signalprofiler som har tilstrekkelig smalt spektrum og tåler filtreringen i linjesystemet.

NÅR BRUKER VI DET?

Vanlig i etablerte DWDM-nett med mange kanaler, blant annet med 10G og egnede 100G coherent-profiler. Cisco dokumenterer for eksempel 50 GHz-drift for sin 100G ZR-modul.

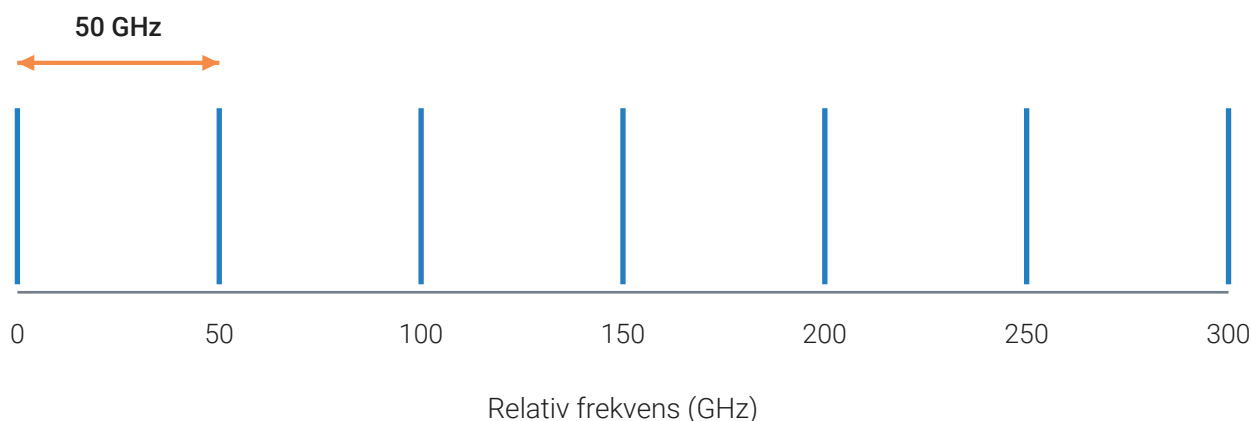
HVA MÅ KONTROLLERES?

Senterfrekvens, baudrate, spektral maske og passbånd. Flere filtre i serie kan innsnevre det effektive passbåndet ytterligere.

OPPGRADERING AV EKSISTERENDE NETT

Et 50 GHz-nett kan sette en grense for hvilke nye signalprofiler som passer. Å la en nabokanal stå tom gjør ikke automatisk et fast filter bredere.

50 GHz mellom kanalens senterfrekvenser



Strekene viser kanalsentre på samme 300 GHz skala. De viser ikke signalbredde, filterpassbånd eller datahastighet.

TEKNISKE

DETALJER

Velg 50 GHz når den konkrete optiske profilen og linjen støtter det. 50 GHz er ikke en generell anbefaling for alle 100G- eller 400G-moduler.

02 Kanalvalg

75 GHz

75 GHz brukes blant annet for 400G coherent, når modulen og linjesystemet støtter den aktuelle profilen.

NÅR BRUKER VI DET?

Aktuelt i datasenterforbindelser og metro når vi ønsker tettere pakking enn 100 GHz. OIF 400ZR versjon 3.0 har en egen 75 GHz-applikasjon. OpenZR+ beskriver også 75 GHz-bruk.

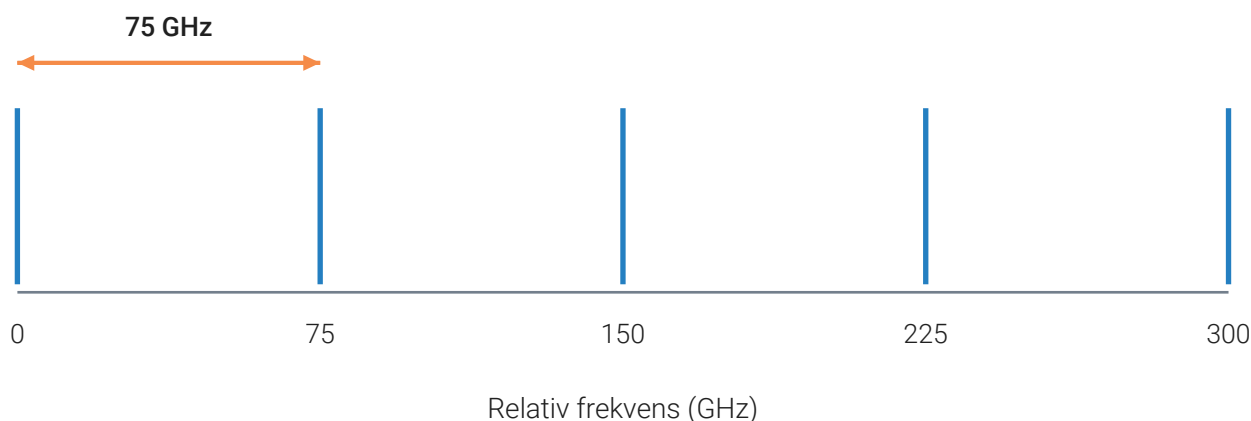
HVA VINNER VI?

Ved samme tilgjengelige spektrum kan 75 GHz gi flere kanaler enn 100 GHz. I et idealisert 4,8 THz-vindu blir det 64 mot 48 slotter.

HVA KREVER DET?

Riktig modulprofil, filterbredde og kanalplan. En modul som bare støtter en 100 GHz-applikasjon, er ikke automatisk kvalifisert for 75 GHz.

75 GHz mellom kanalens senterfrekvenser



Strekene viser kanalsentre på samme 300 GHz skala. De viser ikke signalbredde, filterpassbånd eller datahastighet.

TEKNISKE

DETALJER

75 GHz er seks slotbredde-trinn à 12,5 GHz i flex-grid. At en laser kan stilles på riktig frekvens, dokumenterer ikke alene at signalet passer i slotten.

02 Kanalvalg

100 GHz

100 GHz er et utbredt raster i passive DWDM-løsninger og i linjesystemer for coherent transport.

NÅR BRUKER VI DET?

Typisk for separate 10G DWDM-forbindelser gjennom passive filtre. 100 GHz brukes også med egnede 400ZR-profiler i linjesystemer med tilstrekkelig passbånd.

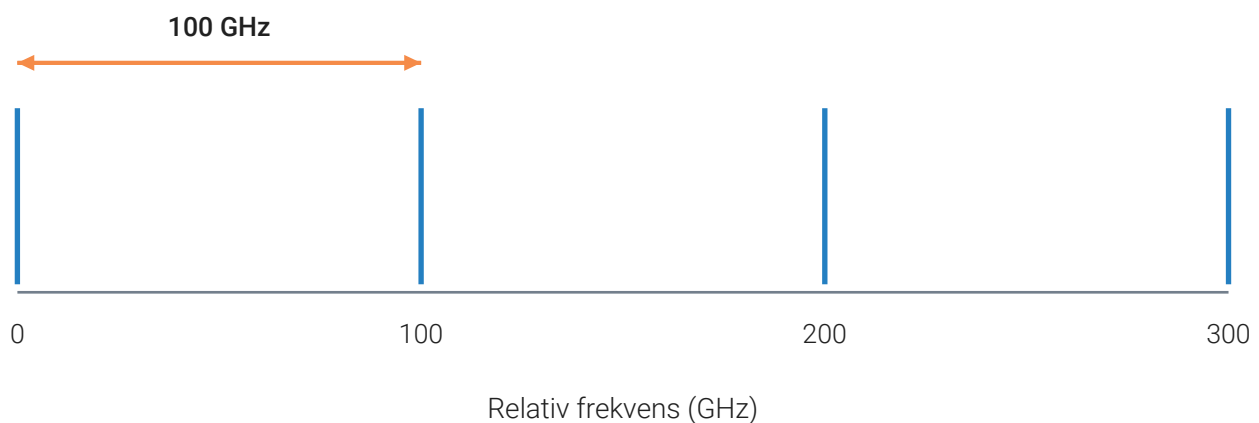
STØRRE AVSTAND GIR PLESS

Sammenlignet med 50 GHz gir 100 GHz større avstand mellom sentrene, men færre kanaler innenfor samme spektrum.

FALLGRUVEN VED GAMLE FILTRE

Et eldre 100 GHz-filter for smale signaler kan være uegnet for et bredt 400G-signal. Raster og filterbredde er to separate produktkrav.

100 GHz mellom kanalens senterfrekvenser



Strekene viser kanalsentre på samme 300 GHz skala. De viser ikke signalbredde, filterpassbånd eller datahastighet.

TEKNISKE

DETALJER

GLOBALfibers G-DMUX-40-2160-MLU oppgir 100 GHz kanalavstand, men kanalpassbånd $\pm 0,11$ nm. Produktet må derfor ikke velges til 400ZR ut fra «100 GHz» alene.

02 Kanalvalg

150 GHz

150 GHz gir rom for bredere signaler. OIFs 800ZR-profil bruker 150 GHz kanalavstand.

NÅR BRUKER VI DET?

Aktuelt for 800ZR og andre høybaud-profiler når linjeutstyret støtter signalet. Noen 400G-moduler har også moduser som bruker bredere kanaler, for eksempel for økt rekkevidde.

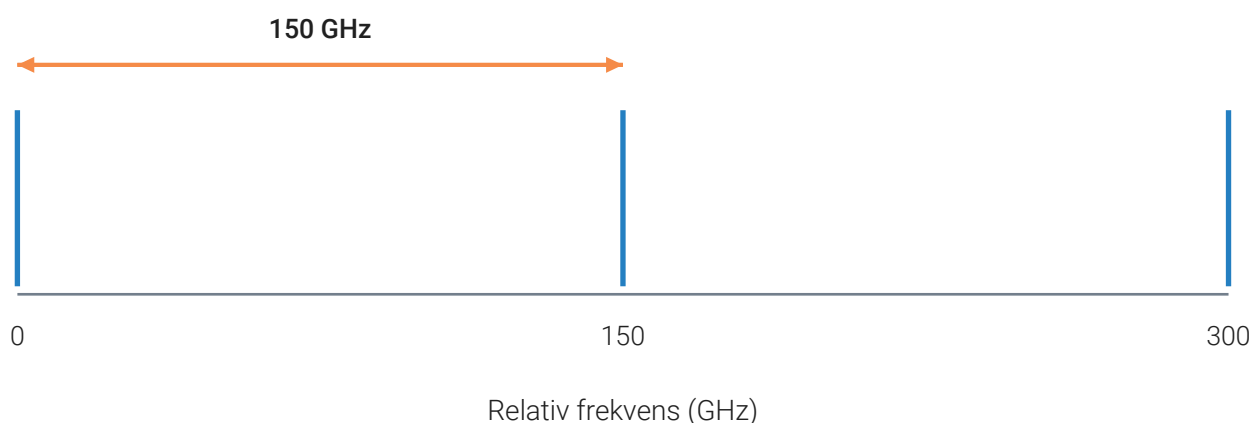
AVVEININGEN

En bredere kanal bruker mer spektrum. Samtidig kan den transportere mer data eller gi rom for en annen signalprofil. Resultatet avhenger av baudrate, modulasjon og linjekvalitet.

GLOBALfiber-EKSEMPEL

32-kanals AAWG og 8-kanals LGX-produkter finnes med 150 GHz avstand. De viser at 150 GHz også kan bygges med faste passive filtre.

150 GHz mellom kanalens senterfrekvenser



Strekene viser kanalsentre på samme 300 GHz skala. De viser ikke signalbredde, filterpassbånd eller datahastighet.

TEKNISKE

DETALJER

150 GHz betyr ikke automatisk flex-grid. Et passivt 150 GHz-filter har faste senterfrekvenser. Kontroller disse mot optikken, i tillegg til passbånd og tap.

02 Kanalvalg

Flex-grid

Flex-grid skiller plasseringen av senterfrekvensen fra bredden på frekvensslotten.

PLASSERING OG BREDDE

ITU-T G.694.1 bruker 6,25 GHz trinn for senterfrekvens og 12,5 GHz trinn for slotbredde. 50, 75, 100 og 150 GHz tilsvarer henholdsvis 4, 6, 8 og 12 bredde-trinn.

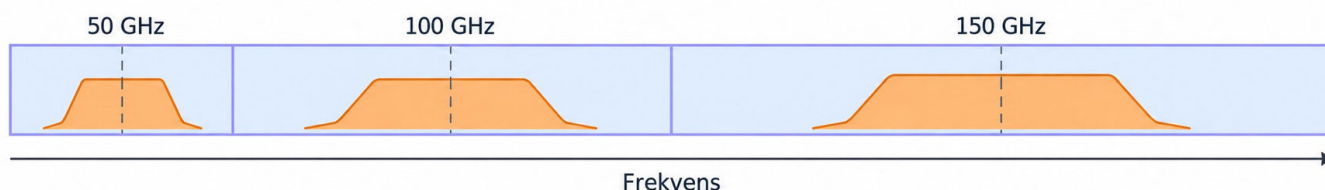
ULIKE SIGNALER PÅ SAMME LINJE

Et kompatibelt WSS/ROADM-system kan sette av ulik bredde til ulike profiler. Hver enhet i signalveien må støtte den valgte frekvensen og bredden.

Like slotbredder



Ulike slotbredder



Eksempel med 300 GHz samlet spektrum. Nederste rad fordeler plassen ulikt mellom signalene.

TEKNISKE

DETALJER

Slotter må ikke overlappe. Valgbare trinn, minimumsbredde og støttede bånd kan være mer begrenset i produktet enn i standardens generelle modell.

02 Kanalvalg

Baud og Gbit/s

Baudrate beskriver antall symboler per sekund. Hvert symbol kan bære flere databiter, avhengig av modulasjonen.

HVORFOR BREDDEBEHOVET VARIERER

Høyere baudrate krever vanligvis større optisk båndbredde. Pulsforming og spektral maske påvirker den faktiske bredden. Mer informasjon per symbol kan gi høyere datahastighet ved samme baudrate, men stiller andre krav til signalkvaliteten.

FORENKLET COHERENT-EKSEMPEL

DP-QPSK bærer 4 råbiter per symbol over to polarisasjoner. DP-16QAM bærer 8. Ved 64 GBd blir råhastigheten henholdsvis 256 og 512 Gbit/s før FEC og annen overhead.

PROFILEN BESTEMMER

Vi velger ikke GHz-bredde ved å dele Ethernet-hastigheten på et fast tall. Bruk kravene for den konkrete optiske driftsmodusen.

25 GBd	×	1 bit/symbol · NRZ	=	25 Gb/s
25 GBd	×	2 bit/symbol · PAM4	=	50 Gb/s

Samme symbolrate kan gi ulik rå bitrate. FEC og annen koding påvirker nyttig datahastighet.

TEKNISKE

DETALJER

Samme 400G-kapasitet kan ha ulike baudrater og spektrumkrav. Bredere slot kan derfor være relevant også uten økt Ethernet-hastighet.

Filter og signal

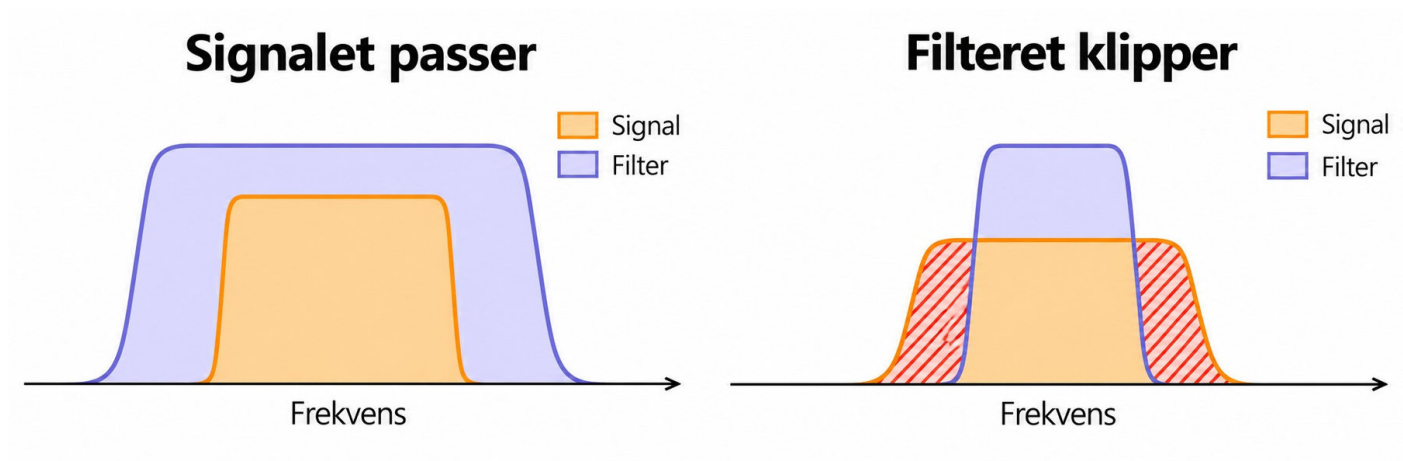
Signalet må passere gjennom alle filtre med akseptabel demping og forvrengning.

PASSBÅND OG FILTERFORM

Et flat-top-filter har et relativt flatt område rundt sentrum. Et Gaussian-filter demper mer gradvis utover fra sentrum. Navnet alene dokumenterer ikke at signalprofilen passer.

FLERE FILTRE I SERIE

MUX, DEMUX og eventuelle OADM/ROADM-filtre virker sammen. Små avvik i senterfrekvens og filterform kan redusere marginen.



Prinsippskisse. Til høyre går deler av signalet utenfor filterets nyttige passbånd.

TEKNISKE

DETALJER

Vurder spesifisert passbånd, maksimal innsettingsdemping, isolasjon og filtreringsstraff. Kontroller signalet i den komplette ruten, ikke bare mot ett enkelt filter.

02 Kanalvalg

Kapasitet i båndet

Dette regneeksemplet bruker et idealisert, sammenhengende spektrum på 4,8 THz = 4800 GHz. Vi ser bort fra kantmarginer og andre reserver.

Slotbredde	Antall slotter	Eksempel per slot	Samlet kapasitet
50 GHz	96	100 Gbit/s	9,6 Tbit/s
75 GHz	64	400 Gbit/s	25,6 Tbit/s
100 GHz	48	400 Gbit/s	19,2 Tbit/s
150 GHz	32	800 Gbit/s	25,6 Tbit/s

SLIK REGNER VI

Antall = 4800 GHz / slotbredde. Kapasitet = antall × datahastighet. Hastighetene er valgte illustrasjonseksempler, ikke grenser for rasteret.

SLIK BRUKER VI RESULTATET

Sammenlign reelle profiler ved ønsket avstand og margin. Fiberbånd, forsterkere, filterporter og kanalplan begrenser det faktiske antallet.

TEKNISKE

DETALJER

Et produkt med 40 porter har 40 kanaler selv om et idealisert regnestykke viser 48 slotter. Flere slotter gir heller ikke nødvendigvis høyest samlet kapasitet.

03 GLOBALfiber-produkter

100 GHz MUX

G-DMUX-40-2160-MLU er et passivt produkt for 40 kanaler på et fiberpar.

Databladets opplysning	Verdi
Kanalplan	C21–C60, 100 GHz
Utførelse	19 tommer, 1U, LC/UPC
Ekstra porter	1310 nm og monitor
Filtertype	AAWG, Gaussian
Innsettsdemping	Inntil 3,5 dB per bølgelengdeport



GLOBALfiber G-DMUX-40-2160-MLU. Produktfoto fra GLOBALfiber.

TEKNISKE

DETALJER

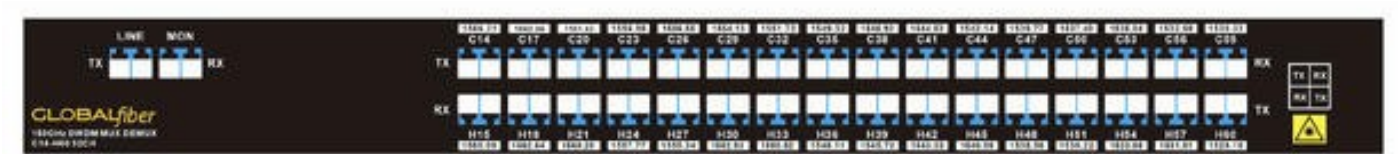
Ta med begge endefiltrene i tapsbudsjettet. Den separate 1310 nm-porten har egne egenskaper og er ikke en ekstra C-bånd DWDM-kanal.

03 GLOBALfiber-produkter

150 GHz MUX

G-DMUX32-C14H60-MLU er et passivt 32-kanals produkt med 150 GHz senteravstand.

Databladets opplysning	Verdi
Kanalplan	C14–H60, 191,400–196,050 THz
Utførelse	19 tommer, 1U, LC/UPC
Filtertype	AAWG, flat-top
Innsettingsdemping	Inntil 6 dB per bølgelengdeport
Oppgitt båndbredde	Minst 90 GHz ved –0,5 dB Minst 150 GHz ved –3 dB



GLOBALfiber G-DMUX32-C14H60-MLU. Produktfoto fra GLOBALfiber.

TEKNISKE

DETALJER

Databladet omtaler 800G som bruksområde. En konkret 800G-løsning krever likevel samsvar i senterfrekvens, passbånd, optisk profil og linjemargin.

03 Kompatibilitet

Samme GHz, ulik plan

To kanalplaner kan ha 150 GHz avstand og likevel ha ulike senterfrekvenser. Dette må avklares før valg av transceiver.

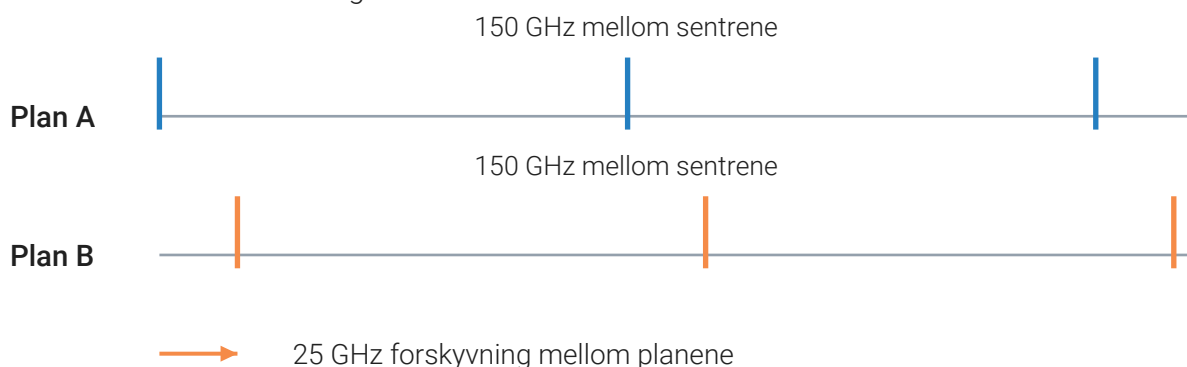
Plan	Første sentre i stigende rekkefølge
GLOBALfiber C14–H60	191,400 / 191,550 / 191,700 THz
OIF 800ZR, tabell 30	191,375 / 191,525 / 191,675 THz
Forskjell	25 GHz mellom tilsvarende sentre

KONSEKVENSEN

Standardens 800ZR-plan og dette GLOBALfiber-filteret er ikke sentrert likt. En avstembar modul kan eventuelt settes på filterets frekvenser, men dette må være støttet og kvalifisert for valgt driftsmodus.

DET SOM MÅ BEKREFTES

Eksakt frekvenstabell, tilgjengelige modulinnstillinger, spektral maske og ende-til-ende filtreringsstraff. Riktig raster alene er utilstrekkelig.



Plan A = OIF 800ZR. Plan B = GLOBALfiber. Kanalavstanden er lik, men senterfrekvensene er forskjøvet 25 GHz.

TEKNISKE

DETALJER

Dette er en kontroll av kanalplaner, ikke en konklusjon om at produktet er uegnet. Leverandøren må dokumentere kombinasjonen av modul, profil og filter.

DWDM over to fibre

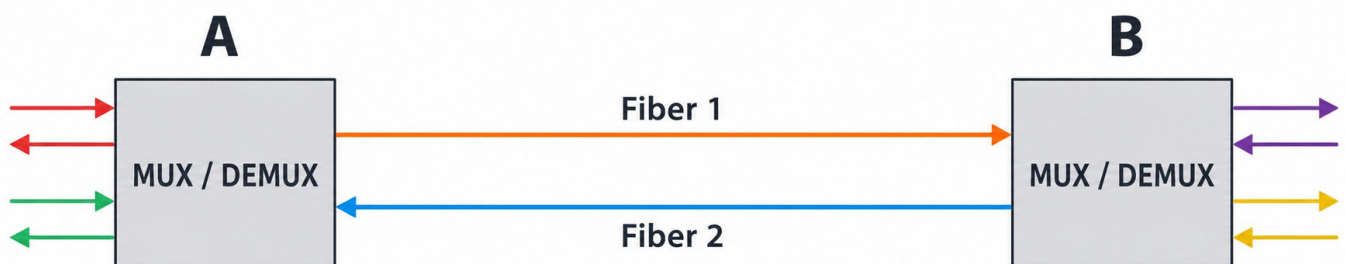
Et fiberpar bruker normalt én fiber per retning. Begge retninger kan gjenbruke den samme frekvensplanen.

A TIL B

Senderne på A går til MUX, videre på fiber 1 og gjennom DEMUX til mottakerne på B.

B TIL A

Returtrafikken bruker fiber 2. For hver tjeneste må Tx i den ene enden nå riktig Rx i den andre enden. Portmerking og patching må dokumenteres.



Pilene viser retning på fiberparet. Fargene i denne figuren angir ikke bølgelengder.

TEKNISKE

DETALJER

MUX/DEMUX kan være samlet i ett chassis. «Dual fiber» beskriver fiberforbindelsen. Det sier ikke alene hvor mange klientporter eller tjenester produktet har.

DWDM over én fiber

En enkeltfiberløsning fører begge retninger på samme fiber. Kanalplanen må skille retningene i den valgte arkitekturen.

A-SIDE OG B-SIDE

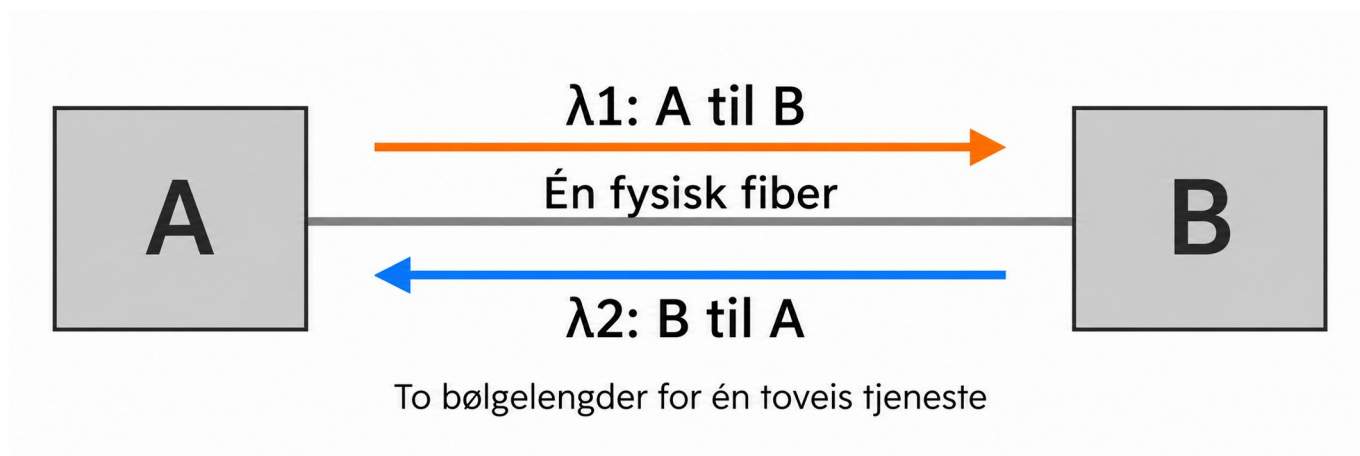
En vanlig passiv løsning bruker ulike bølgelengder i hver retning. MUX/DEMUX i A og B har komplementære portplaner.

TJENESTER OG BØLGELENGDER

GLOBALfiber viser for eksempel en løsning merket 4CH / 8 Waves. Fire toveis tjenester kan bruke åtte bølgelengder når hver retning får sin egen.

PROSJEKTERING

Dokumenter Tx-frekvens, Rx-frekvens, A/B-side og fiberport. Vurder returtap, refleksjoner og eventuell forsterkning særskilt for enkeltfiberarkitekturen.



Pilene viser to retninger på samme fysiske fiber. Retningene bruker ulike bølgelengder.

TEKNISKE

DETALJER

Kanalantall kan bety bølgelengder eller toveis tjenester i forskjellige produktbeskrivelser. Les portplanen før antall tjenester beregnes.

Add/Drop og ROADM

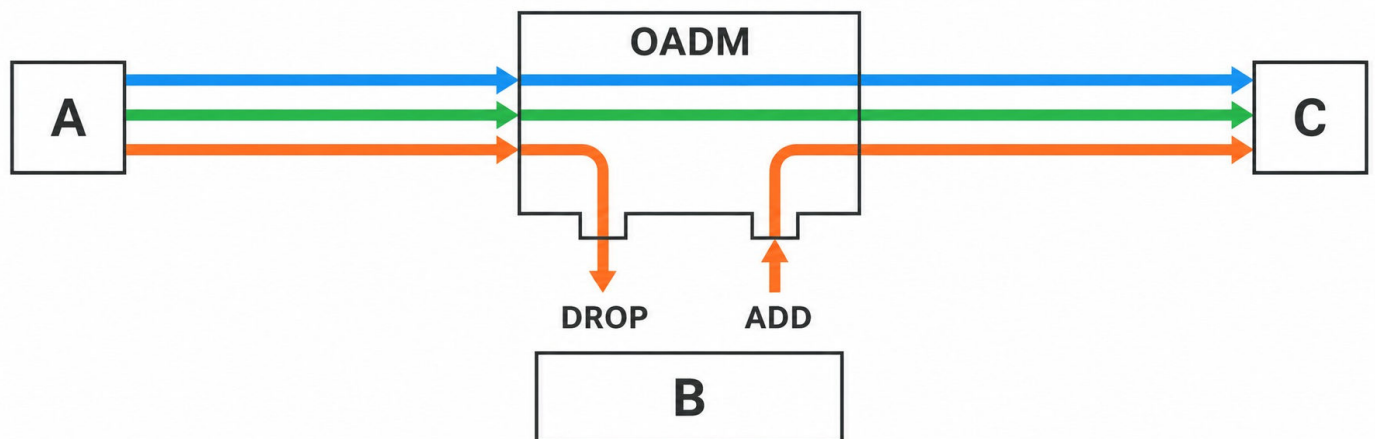
Et mellompunkt kan hente ut utvalgte kanaler og legge inn nye, mens andre kanaler passerer videre.

FAST OADM

Et passivt OADM har bestemte kanaler for Add og Drop. Gjennomgangskanaler og lokale kanaler får ulike tap som må inngå i budsjettet.

ROADM

En ROADM bruker blant annet en bølgelengdestyrt svitsj (WSS) til å styre kanalene. Et flex-grid-produkt kan støtte ulike slotbredder innenfor sine grenser.



Prinsipp i én retning. Den oransje kanalen termineres og kan legges inn på nytt ved B.

TEKNISKE

DETALJER

Passiv Add/Drop og ROADM er ulike løsninger. En ring eller alternativ rute krever egen beskyttelses- og kanalplan. Topologien alene gir ikke automatisk beskyttelse.

Coherent transport

En coherent-mottaker bruker en lokal laser som referanse og digital signalbehandling til å tolke det mottatte lyset.

MODUL, TRANSPONDER OG MUXPONDER

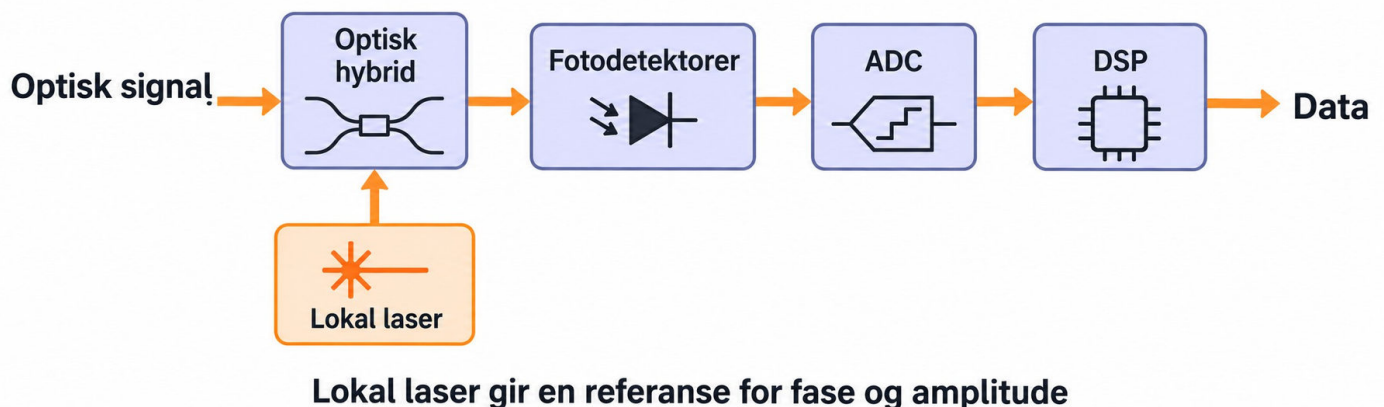
Coherent-optikk kan sitte direkte i en ruter eller i transportutstyr. En transponder tilpasser en klientforbindelse til linjesignalet. En muxponder kan samle flere klienter på én linjeprofil.

SIGNALBEHANDLING

DSP kan kompensere for kromatisk dispersjon og polarisasjonseffekter innenfor sine grenser. FEC korrigerer feil, men krever tilstrekkelig signalkvalitet.

INTEROPERABILITET

400ZR, OpenZR+ og leverandørprofiler kan ha ulike krav. Begge ender må samsvare i frekvens, modulasjon, FEC og linjeformat.



Forenklet illustrasjon av coherent-mottak og digital signalbehandling.

TEKNISKE

DETALJER

En avstembar laser løser frekvensvalg. Den løser ikke automatisk forskjeller i linjeformat, FEC eller filterkrav.

Forsterkning og OSNR

En EDFA øker optisk effekt i sitt bølgelengdebånd. Den tilfører også støy fra spontan emisjon, kalt ASE.

EFFEKT OG SIGNALKVALITET

Riktig Rx-effekt er nødvendig, men ikke tilstrekkelig. OSNR sammenligner signal og optisk støy i en angitt referansebandbredde.

HVOR FORSTERKEREN STÅR

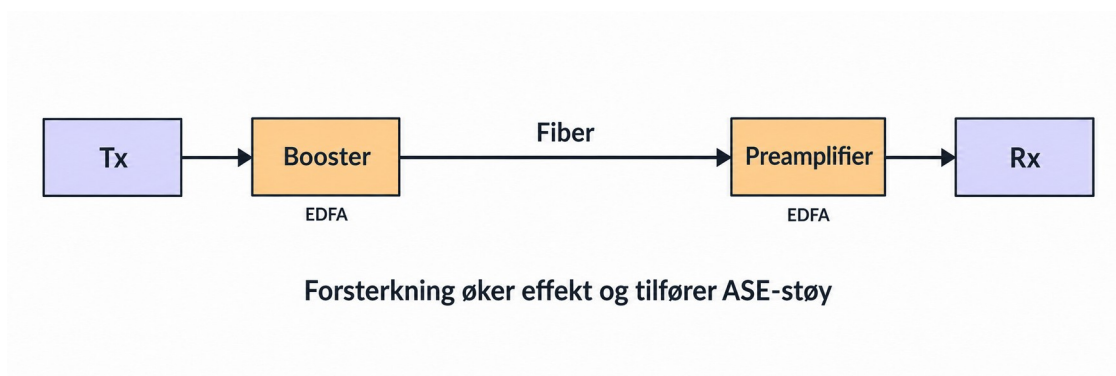
En booster plasseres etter senderenden, en preamplifier før mottakerenden. Lengre systemer kan ha linjeforsterkere mellom fiberspenn.

SAMLET EFFEKT

Ved N like sterke kanaler er total effekt $P_{\text{total}} = P_{\text{kanal}} + 10 \log_{10}(N)$. 32 kanaler med 0 dBm hver gir omtrent 15,1 dBm samlet effekt.

MARGIN OG IKKE-LINEARITET

For mye innsendt effekt kan gi ikke-lineære forvrengninger. Optimal effekt må bestemmes for hele linjen og kanalbelastningen.



Eksempel med booster og preamplifier. Antall og plassering av forsterkere avhenger av linjen.

TEKNISKE

DETALJER

En forsterker nullstiller ikke støyen. Kanalbalanse, OSNR/GSNR og FEC-margin må kontrolleres sammen med total effekt og mottakerens grenser.

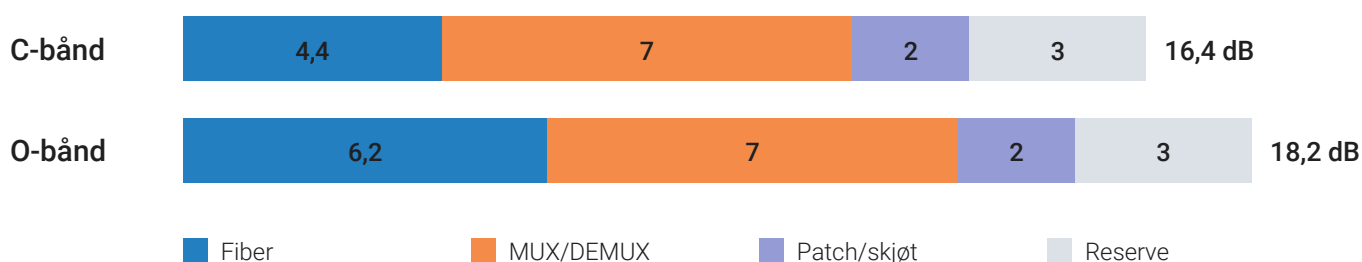
Tapsbudsjett

Regneeksempel for en passiv forbindelse på 20 km. C-bånd og O-bånd sammenlignes med ulike forutsatte fibertap. Tallene må erstattes med garanterte produktdata og målte tap.

Del	C-bånd	O-bånd
20 km fiber	$20 \times 0,22 \text{ dB/km}$ = 4,4 dB	$20 \times 0,31 \text{ dB/km}$ = 6,2 dB
MUX + DEMUX, 3,5 dB hver	7,0 dB	7,0 dB
Patchinger og skjøter	2,0 dB	2,0 dB
Forventet samlet tap	13,4 dB	15,2 dB
Planlagt reserve	3,0 dB	3,0 dB
Nødvendig effektbudsjett	16,4 dB	18,2 dB

BEREGNING MED Tx OG Rx

Minimum Tx = 0 dBm og Rx-følsomhet = -18 dBm gir 18 dB effektbudsjett. C-bånd: 1,6 dB utover planlagt reserve. O-bånd: 2,8 dB restmargin før reserve, altså 0,2 dB mindre enn reservekravet på 3 dB.



TEKNISKE

DETALJER

MUX/DEMUX-tap på 3,5 dB per enhet er kun en felles regneforutsetning. Kontroller faktiske tap for valgt bånd og produkt. Vurder også maksimal Rx-effekt, dispersjon, refleksjoner og eventuelle OSNR-/FEC-krav.

05 Praktisk eksempel

Case: 8 × 10G

To lokasjoner trenger åtte separate 10G-forbindelser over et eksisterende fiberpar på 20 km.

FORSLAG TIL ARKITEKTUR

Velg åtte dokumenterte 10G DWDM-modulpar og en kompatibel 100 GHz MUX/DEMUX i hver ende. Hver forbindelse får en egen senterfrekvens.

KANALPLAN

Eksempel: C21–C28, dersom filteret og modulene støtter denne tabellen. Samme kanal kan brukes i begge retninger på hver sin fiber.

KONTROLL FØR LEVERANSE

Kontroller portstøtte, optisk profil, passbånd og tapsbudsjett. Mål fiberen og beregn hver retning. Ikke overfør databladets direkte fiberrekkevidde til en filtrert forbindelse uten kontroll.

AKSEPTANSE

Dokumenter frekvens, Tx/Rx, demping og trafikktest for alle åtte tjenester. Ta vare på måleverdiene som referanse for drift.



Åtte kanaler per retning deler fiberparet. Tjenestepilene viser A til B; motsatt retning bruker den andre fiberen.

TEKNISKE

DETALJER

8 × 10 Gbit/s gir 80 Gbit/s i hver retning fordelt på åtte tjenester. Eksemplet beskriver ikke én 80G Ethernet-port.

05 Praktisk eksempel

Case: 400G og 800G

En ny datasenterforbindelse skal starte med 400G og kunne utvides med 800G. Anta 60 km fiber. Den konkrete linjen må prosjekteres.

Valg	Vurdering
400G på 75 GHz	God spektrumutnyttelse når profil og linje er kvalifisert.
400G på 100 GHz	Aktuelt med støttet 100 GHz-profil og riktig passbånd.
800ZR på 150 GHz	Krever korrekt 800ZR-kanalplan og tilstrekkelig linjemargin.

PLAN FOR UTVIDELSE

Vurder et flex-grid-linjesystem hvis ulike slotbredder skal blandes. Et fast 150 GHz-filter kan være et alternativ når den valgte optikken støtter akkurat dets frekvenser og filterkurver.

PRODUKTEKSEMPEL

GLOBALfiber G-DEMUX8-C14H24-MLU viser en kompakt 8-kanals 150 GHz-løsning. Den endelige kombinasjonen må kvalifiseres.



GLOBALfiber G-DEMUX8-C14H24-MLU. Produktfoto fra GLOBALfiber.

TEKNISKE

DETALJER

60 km avgjør ikke alene om EDFA er nødvendig. Tap, OSNR, Tx-effekt, mottakergrenser og valgt profil avgjør løsningen.

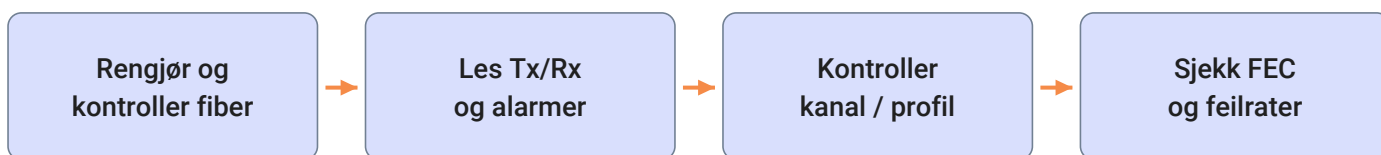
Testing og feilsøking

Feilsøking bør skille mellom feil frekvens, effektproblem, filtrering og utilstrekkelig signalkvalitet.

Kontroll	Hva den avklarar
Inspeksjon og rengjøring	Smuss, skader og feil kontaktpolering.
Effektmåling / DDM	Tx/Rx-nivå, temperatur og alarmer.
Optisk spektrumanalysator	Senterfrekvens, kanalnivåer og spektrum.
OSNR / coherent-telemetry	Støy, estimert SNR og margin for valgt profil.
BER / FEC / trafikktest	Feil før og etter korreksjon og faktisk tjenestekvalitet.

NÅR EFFEKTEN SER RIKTIG UT

Feil frekvens, smalt filter eller feil FEC kan gi linkproblemer selv med akseptabel Rx-effekt. Sammenlign med en kjent fungerende profil og undersøk hele lysveien.



Mål systematisk og isoler én feilårsak om gangen. Normalt lysnivå alene bekrefter ikke en fungerende link.

TEKNISKE

DETALJER

Vanlig OSNR-måling mellom kanalene passer ikke alle coherent- og ROADM-signaler. Bruk en egnet målemetode og profilens akseptansegrenser.

05 Oppsummering

Valg av løsning

Kanalplan, optisk profil og linjeutstyr må passe sammen langs hele ruten.

Valg	Typisk bruk	Avgjørende kontroll
50 GHz	Tett kanalpakking	Smalt spektrum og filtrering
75 GHz	Egnede 400G-profiler	Modulprofil og linjestøtte
100 GHz	Passiv DWDM og coherent	Passbånd og senterfrekvenser
150 GHz	800ZR og brede profiler	Spektral maske og senterplan
O-bånd WDM	Egnede passive 100G-linker	Eksakte sentre, tapsbudsjett og FEC
C- og O-bånd sammen	Flere tjenester på samme fiber	Båndfiltre og A-/B-portplan

BESTILLINGSGRUNNLAG

Oppgi tjenester, kapasitet, fiberpar eller enkeltfiber, målt tap, bølgelengder og slotbredde. Ta med modulprofil, vertsutstyr, FEC, kontaktpolering og planlagt utvidelse.

DOKUMENTASJON

Be om en kvalifisert kombinasjon av optikk og linjeutstyr. Avtal akseptansegrenser og hvilke målinger som skal følge leveransen.

TEKNISKE

DETALJER

Lik datahastighet, GHz-avstand eller formfaktor dokumenterer ikke kompatibilitet alene. Kontroller også maksimalt Rx-nivå, dispersjon, refleksjoner og eventuelle OSNR-krav.

A long-exposure photograph of the Aurora Borealis (Northern Lights) in shades of green and yellow, dancing across a dark, starry night sky. The lights appear as flowing ribbons of light. In the bottom right corner, a small, dark silhouette of a rock or island is visible on the horizon.

Lys er mer enn bare lys.

Det er grunnlaget for verdens moderne kommunikasjon.

GLOBALfiber

Kunnskap • Produkter • Kompetanse

© 2026 GLOBALfiber AS

Felles ordliste

Fiberoptikk / transceivere / CWDM / DWDM

APC / UPC - DDM / DOM

Begrep	Forklaring
APC / UPC	Vinklet / rett polering av kontaktens endeflate. Poleringen påvirker refleksjon og kompatibilitet.
ASE	Spontan emisjonsstøy som blant annet tilføres av optiske forsterkere.
BER	Bit Error Ratio: andelen mottatte bit som er feil.
BiDi	Toveis kommunikasjon på samme fiber, vanligvis med ulike bølgelengder i hver retning.
Breakout	Oppdeling av en støttet høyhastighetsport i flere selvstendige porter.
Bølgelengde / lambda	Avstanden mellom bølgetopper. For optikk oppgis bølgelengden ofte i nanometer (nm).
C-bånd	Bølgelengdeområdet 1530-1565 nm.
CMIS	Common Management Interface Specification: spesifikasjon for administrasjon og diagnostikk i moduler.
Coherent optikk	Mottak som bruker en lokal laserreferanse og signalbehandling til å lese blant annet fase i lyset.
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing: flere bølgelengdekanaler på samme fiber, med 20 nm kanalavstand.
DAC / AOC	Direct Attach Copper / Active Optical Cable: kabel med faste modulender, basert på kobber / optisk fiber.
dB / dBm	dB uttrykker et effektforhold, som tap eller forsterkning. dBm uttrykker absolutt effekt relativt til 1 mW.
DCI	Data Center Interconnect: forbindelse mellom datasentre.
DCO	Digital Coherent Optics: coherent optikk med digital signalbehandling i modulen.
DDM / DOM	Digital Diagnostic Monitoring / Digital Optical Monitoring: avlesning av blant annet temperatur og optiske effektnivåer.

Felles ordliste

Fiberoptikk / transceivere / CWDM / DWDM

DEMUX - LC / MPO

Begrep	Forklaring
DEMUX	Demultiplekser: skiller bølgelengdekanalene fra en felles fiber til separate porter.
Dispersjon	Spredning av lyspulser i tid. Kan begrense signaloverføringen.
DSP	Digital signalprosessor. Brukes blant annet til signalbehandling i coherent optikk.
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing: flere tett plasserte optiske bærebølger på samme fiber.
EDFA	Erbium-dopet fiberforsterker. Forsterker optiske signaler i sitt spesifiserte bølgelengdebånd.
Effektbudsjett	Forskjellen mellom senderens utgangseffekt og mottakerens følsomhet; må dekke tap og nødvendige marginer.
FEC	Forward Error Correction: tilført redundans som lar mottakeren korrigere et begrenset antall feil.
Flex-grid	Fleksibelt frekvensraster som skiller plassering av senterfrekvens fra reservert slotbredde.
Formfaktor	Modulens mekaniske og elektriske utførelse, for eksempel SFP, QSFP eller OSFP.
GBd / Gb/s	Milliarder symboler per sekund / milliarder bit per sekund. Symbolrate og bitrate er ulike størrelser.
GHz / THz	Frekvensenheter. 1 THz = 1000 GHz. Kanalavstand i GHz er ikke det samme som datahastighet.
HCA	Host Channel Adapter: vertsadapter, blant annet brukt for tilkobling til InfiniBand.
Kanalavstand	Avstanden mellom senterfrekvensene til nabokanaler.
Lane	Signalbane. Elektriske og optiske lanes kan ha ulik oppbygning i samme transceiver.
LC / MPO	Konnektortyper. LC brukes ofte som duplexpar; MPO samler flere fibre i én kontakt.

Felles ordliste

Fiberoptikk / transceivere / CWDM / DWDM

MSA - WSS

Begrep	Forklaring
MSA	Multi-Source Agreement: industrispesifikasjon som flere leverandører følger.
MUX	Multiplekser: samler flere bølgelengdekanaler på en felles fiber.
NRZ / PAM4	Signalformater med henholdsvis to og fire signalnivåer. PAM4 bærer to bit per symbol.
OADM / ROADM	Fast / rekonfigurerbar optisk Add/Drop: henter ut og legger til kanaler i en forbindelse.
O-bånd	Bølgelengdeområdet 1260-1360 nm. Mange optiske grensesnitt arbeider rundt 1310 nm.
OSNR	Optisk signal-til-støy-forhold, målt i en angitt referansebåndbredde.
Passbånd	Filterets gjennomslippsområde ved et spesifisert tapsnivå.
SAN	Storage Area Network: lagringsnett mellom blant annet servere og lagringssystemer.
Slotbredde	Frekvensområdet som reserveres for ett optisk signal.
SMF / MMF	Single-Mode Fiber / Multi-Mode Fiber: singelmodusfiber / multimodusfiber.
Transceiver	Modul som kombinerer sender og mottaker.
Tunable	Avstembar: laseren kan velge mellom støttede frekvenser.
Tx / Rx	Transmitter / Receiver: sender / mottaker.
WDM	Wavelength Division Multiplexing: flere bølgelengder deler samme fiber. Omfatter blant annet CWDM og DWDM.
WSS	Wavelength Selective Switch: styrer optiske bølgelengdekanaler, blant annet i ROADM-systemer.

Felles ordliste

Tillegg fra fordypningen i DWDM og O-bånd.

Begrep	Forklaring
APD	Avalanche Photodiode. En fotodiode med intern forsterkning, brukt i enkelte optiske mottakere.
DCF	Dispersion-Compensating Fiber. Fiber som kan kompensere kromatisk dispersjon, men også tilfører tap.
DP-QPSK	QPSK på to polarisasjoner. Fire bit per symbol samlet, før overhead.
FBG	Fiber Bragg Grating. Et gitter i fiber som kan inngå i filtre og dispersjonskompensatorer.
LAN-WDM / LWDM	Betegnelser for WDM rundt 1310 nm. Full standard- eller produktplan må spesifisere bølgelengdene.
Raman-forsterkning	Optisk forsterkning ved stimulert Raman-spredning, ofte med linjefiberen som forsterkningsmedium.
WB1310	Wideband 1310. En bred port for et spesifisert bølgelengdeområde rundt 1310 nm.
A-/B-panel	Komplementære MUX/DEMUX-ender med en avtalt fordeling av sende- og mottakskanaler.