

Dynamische aspecten van geavanceerde multi-sectie afstembare halfgeleiderlasers

Bart Moeyersoon

28 juni 2005

o.a. schakelen van de golflengte

Dynamische aspecten

'zeer moderne'

meerdere delen

van geavanceerde multi-sectie

afstembare halfgeleiderlasers

wijzigbare golflengte

materialen met gunstige
chemische en fysische
eigenschappen

lichtbron

- materiaalbewerking
- CD/DVD
- transport van gegevens:
optische telecommunicatie

Overzicht van de presentatie

Waar - wat - waarom

- **Optische telecommunicatie**
- **Lichtbronnen voor telecommunicatie**
- **Afstembare halfgeleiderlasers**

Uitdagingen: wat moest er nog gebeuren...

- **Degradatie van de laser opvangen**
- **Snel schakelen van de golflengte**
- **Invloed optische versterker op het gedrag van de laser**

... en hebben we ook gerealiseerd!

Overzicht van de presentatie

Waar - wat - waarom

- **Optische telecommunicatie**
- Lichtbronnen voor telecommunicatie
- Afstembare halfgeleiderlasers

Uitdagingen - wat moest er nog gebeuren

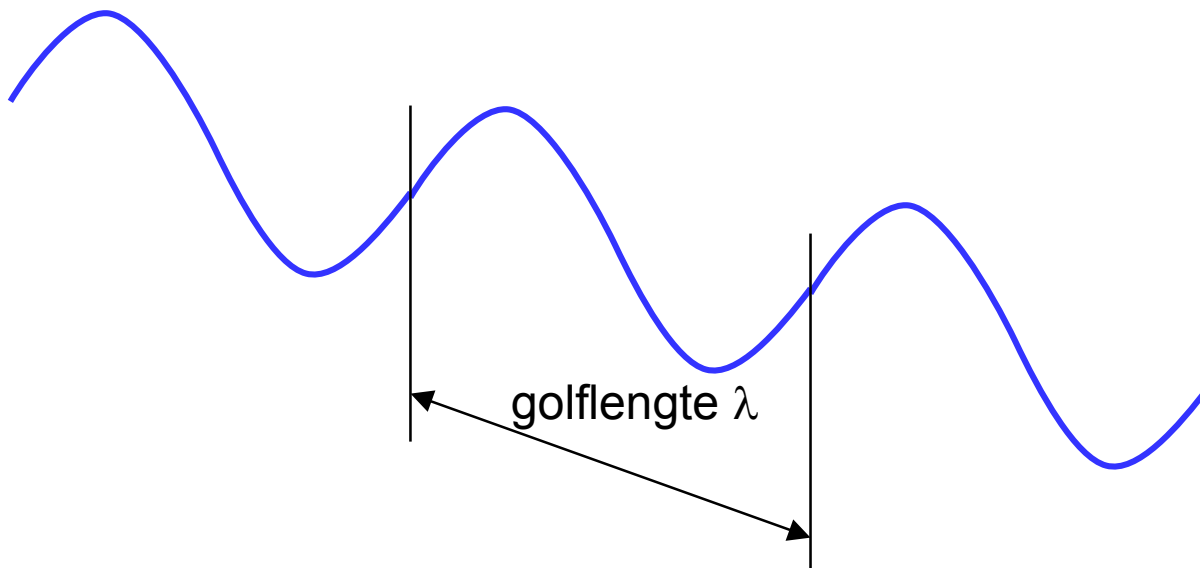
- Degradatie van de laser opvangen
- Snel schakelen van de golflengte
- Invloed optische versterker op het gedrag van de laser

... en hebben we ook gerealiseerd!

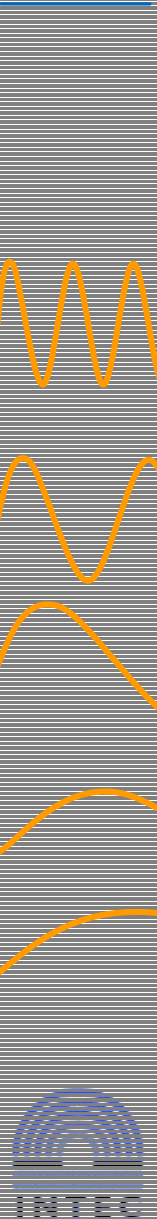
Licht

Licht:

- elektromagnetische straling
= trilling die zich voortplant met de lichtsnelheid c
- trillingsfrequentie f
- golflengte λ = afstand afgelegd tijdens 1 trillingsperiode



Elektromagnetische straling

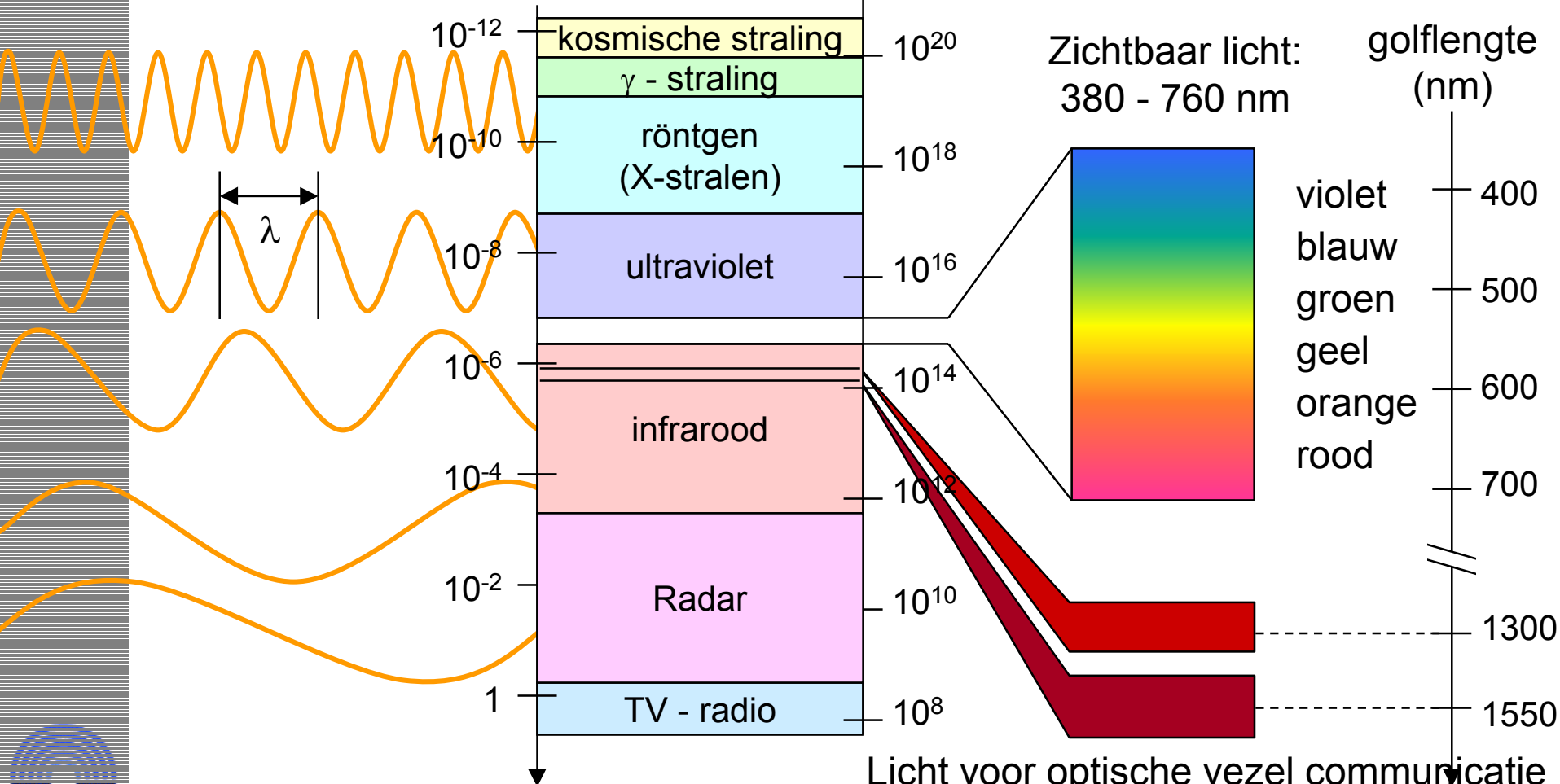


golflengte
(meter)

frequentie
(Hertz)

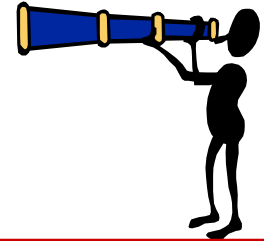
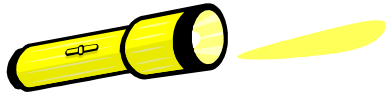
$1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$

= 1 miljardste meter



Optische telecommunicatie

Overbrengen van informatie d.m.v. lichtsignalen



In deze vorm: je kan slechts een beperkte hoeveelheid informatie versturen over een beperkte afstand

- binair: aan - uit (1 - 0)

Bruikbaar systeem ?

belgacom

telenet ☺

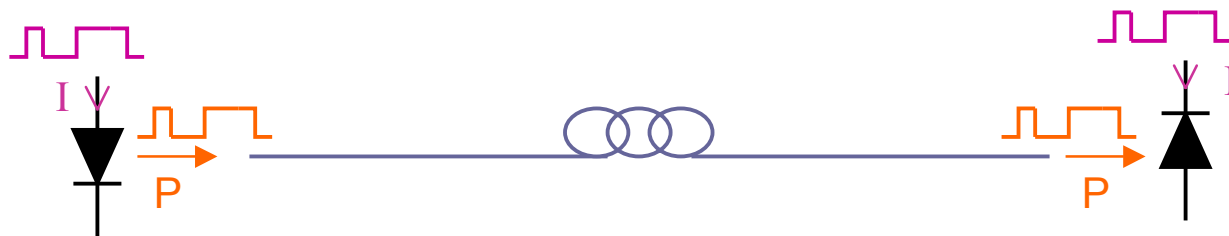
Breedband internet: 4 Mbps capaciteit

= 4 miljoen bits (1 of 0) per seconde

⇒ 4 miljoen keer per seconde zaklamp aan en uit ?

Optische telecommunicatie

Beter systeem:



Zender:
telecomlaser

elektrisch signaal I

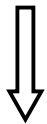
→ optisch signaal P

Kanaal:
optische vezel

Ontvanger:
fotodetector

optisch signaal P

→ elektrisch signaal I



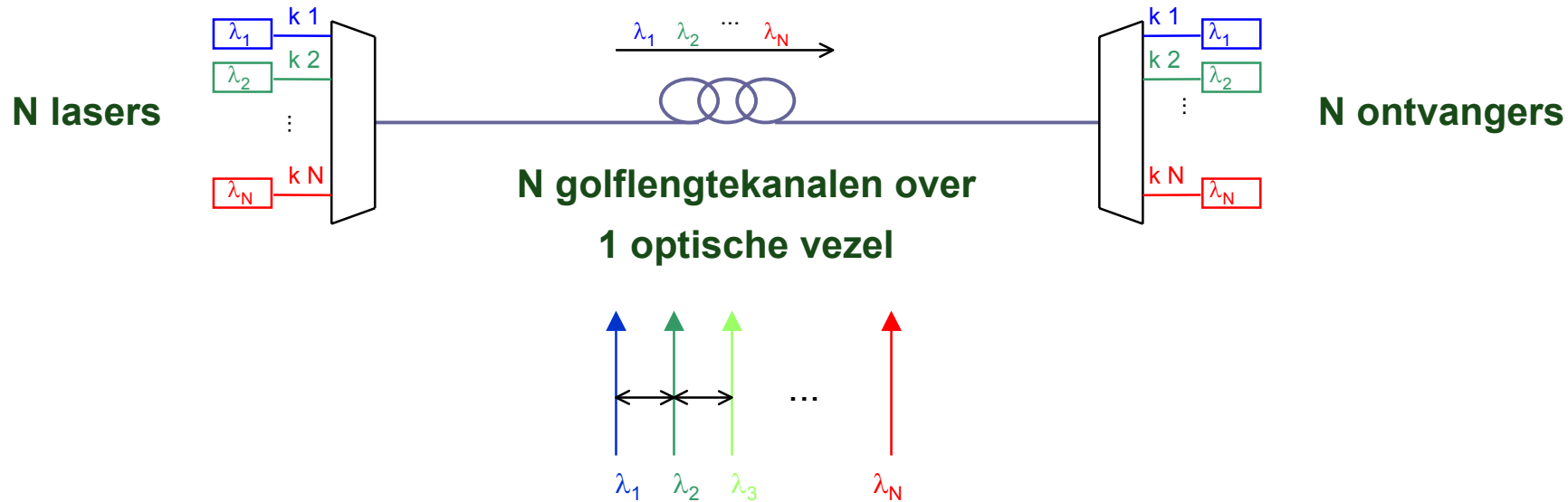
Capaciteit: 40 Gbps
= 40.000 miljoen bits/s
= 10.000 BB connecties



Capaciteit: 50 Tbps
= 50.000 miljard bits/s
= 1.200 x 40 Gbps

Optische telecommunicatie

Capaciteit optische vezel volledig benutten:



- meerdere lasersignalen tegelijk door zelfde vezel sturen
- elk signaal op een andere golflengte (= een andere kleur)
- constante (golflengte-)spatiëring tussen de kanalen

⇒ WDM-technologie ('Wavelength Division Multiplexing')

Vgl. netwerk kabel-TV (TV-kanalen ↔ golflengtes)

Optische vezel

Principe optische vezel: John Tyndall in 1854

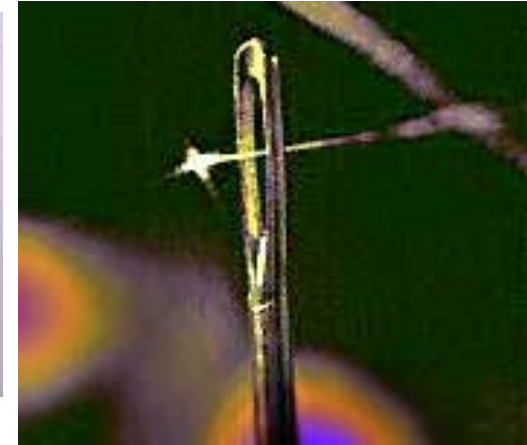
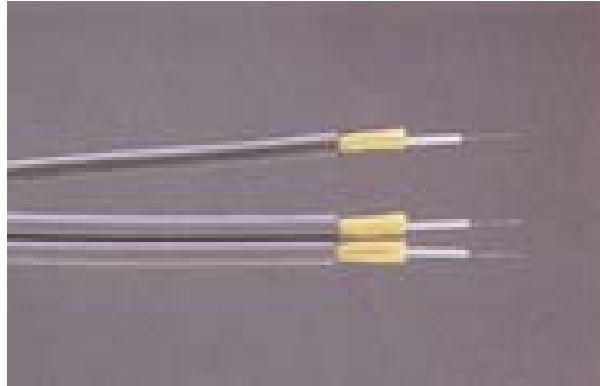


Vat met water wordt van binnenuit verlicht

**Waterstraal die uit het vat stroomt, geleidt ook het licht uit dat vat:
het licht gaat niet rechtdoor, maar volgt de waterstraal**

⇒ 'Elk transparant object kan licht geleiden, ook al is het gebogen'

Optische vezel



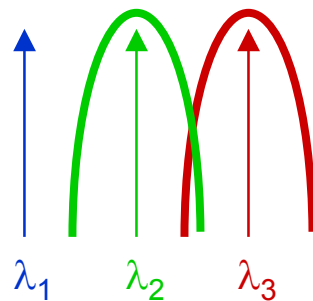
Eigenschappen:

- **heel laag verlies** voor licht met golflengte rond 1550 nm
vgl. coaxiale-kabel: 1000 keer meer verlies
- **zeer grote gegevenscapaciteit**: 50.000 miljard bits/s
- signalen bewegen zich voort aan **lichtsnelheid** (300.000 km/s)
⇒ **snelle transmissie van enorm veel gegevens over heel grote afstanden mogelijk**

Lichtbronnen voor telecommunicatie

Vereisten:

- optisch uitgangsvermogen $P = 10 - 20 \text{ mW}$ (pointer: 1 mW)
- golflengte rond 1550 nm (verlies optische vezel minimaal)
- zeer stabiele golflengte



Om een bepaald kanaal uit het netwerk te selecteren worden kanaalfilters (kleurfilters) gebruikt

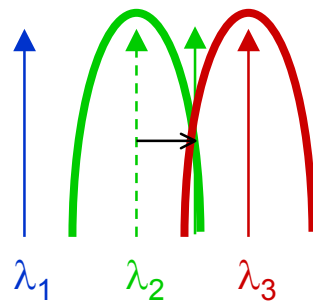
Lichtbronnen voor telecommunicatie

Vereisten:

- optisch uitgangsvermogen $P = 10 - 20 \text{ mW}$ (pointer: 1 mW)
- golflengte rond 1550 nm
- zeer stabiele golflengte

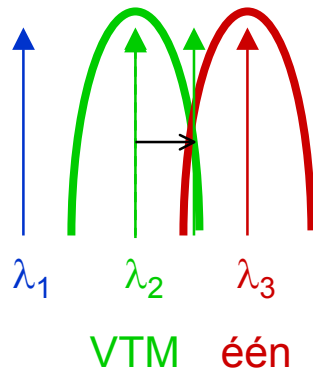
Zoniet: de golflengtekanalen komen te dicht bij elkaar

⇒ overspraak = ene kanaal stoort het andere



Lichtbronnen voor telecommunicatie

Overspraak: stel $\lambda_2 \leftrightarrow$ VTM en $\lambda_3 \leftrightarrow$ één

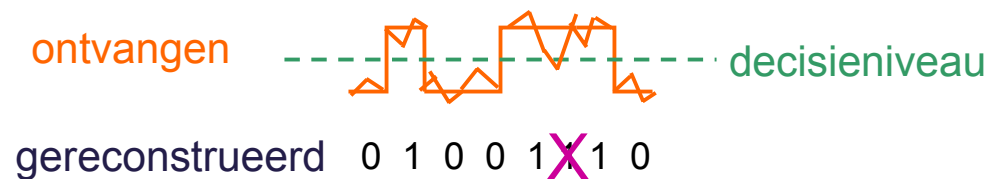


Lichtbronnen voor telecommunicatie

Vereisten:

- goede ruiseigenschappen: zo weinig mogelijk ruis in lasersignaal

Veel ruis in ontvangen signaal: meer kans op **foute detectie**



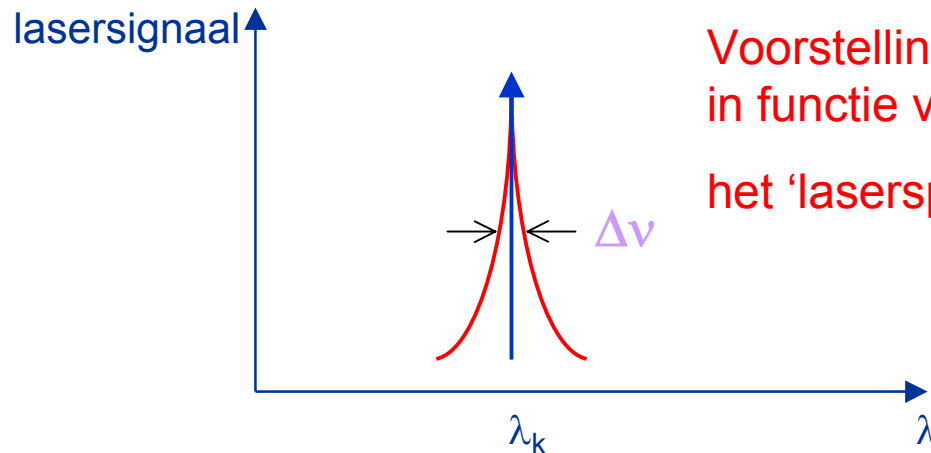
Lichtbronnen voor telecommunicatie

Ruiseigenschappen - relevante laserparameters:

→ 'RIN' (Relative Intensity Noise): ruis op de intensiteit

→ 'lijnbreedte $\Delta\nu$ ': ruis op de frequentie

⇒ laserlijn is niet oneindig smal



Voorstelling van het lasersignaal
in functie van de golflengte =
het 'laserspectrum'

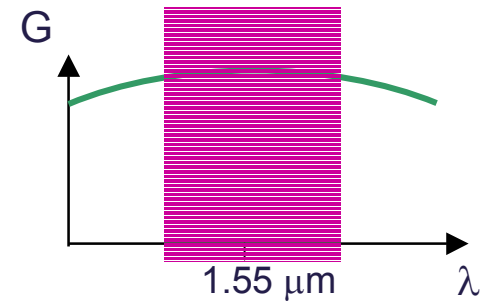
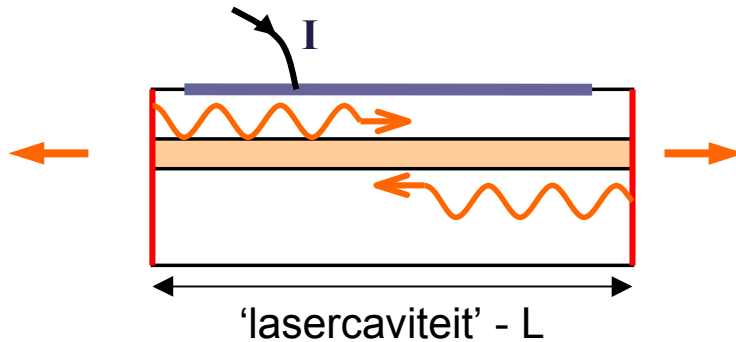
Hoe kleiner de lijnbreedte, hoe beter:

breder spectrum ⇒ kortere maximale transmissieafstand

Laserwerking

In **halfgeleidermateriaal** wordt stroom **I** omgezet naar **licht**

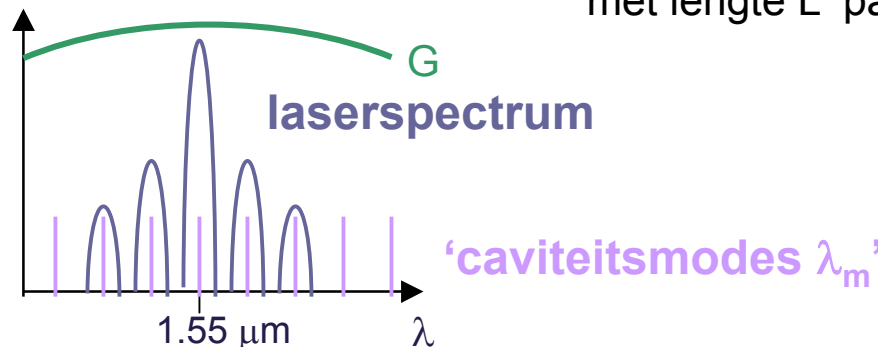
⇒ golflengte bepaald door de **winst G** van het halfgeleidermateriaal



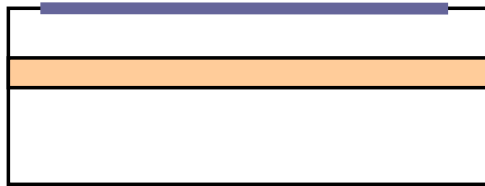
Het licht loopt heen en weer tussen **reflecterende facetten**

⇒ golflengte ook bepaald door de **'fasevoorwaarde'**: $\lambda_m = 2nL/m$

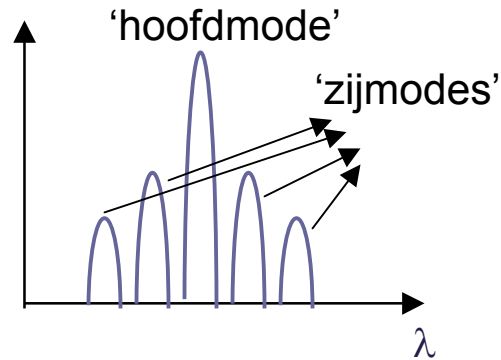
golflengte moet in de lasercaviteit met lengte L 'passen'



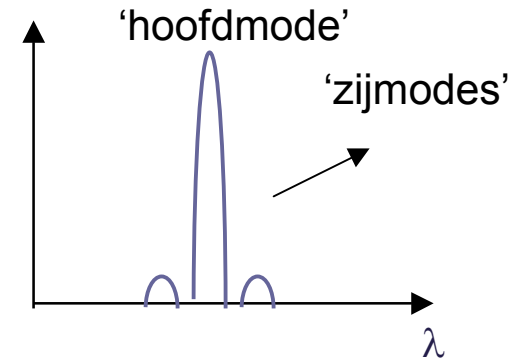
Multi-modale lasers



'Fabry-Perot laser'



'multi-modaal'



'mono-modaal'

→ **'lage zijmodeonderdrukking'** of **lage SMSR** (Side Mode Suppression Ratio)

= vermogen hoofdmode/vermogen sterkste zijmode

⇒ vermogen verdeeld over verschillende modes

toevalsproces ⇒ **extra ruis**

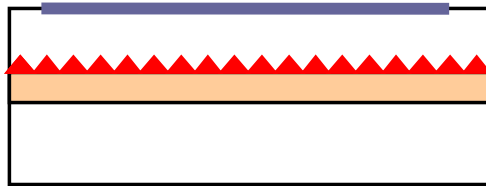
⇒ breed spectrum ⇒ **veel dispersie**

⇒ voor optische communicatie over lange afstand:

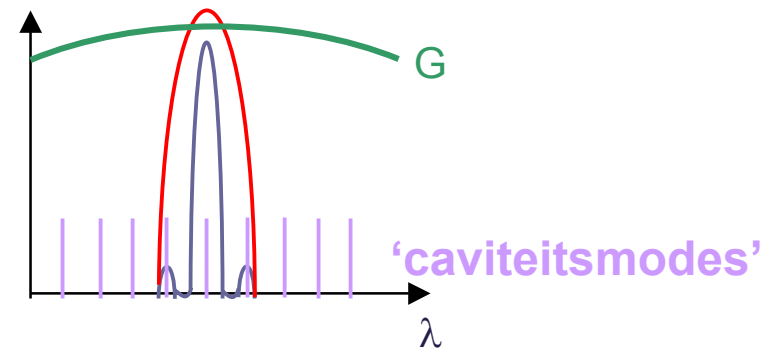
lasers met hoge SMSR - **'mono-modale lasers'**

Mono-modale lasers

⇒ zijmodes onderdrukken door **extra selectief element (een filter)** in de lasercaviteit te brengen



DFB laser



'mono-modaal'

→ momenteel meest gebruikte laser in optische netwerken

→ voldoet aan alle eisen (P, λ -stabiliteit, lage ruis, hoge SMSR)

MAAR:

vaste golflengte, slechts heel beperkt afstembaar

Overzicht van de presentatie

Waar - wat - waarom

- Optische telecommunicatie
- Lichtbronnen voor telecommunicatie
- **Afstembare halfgeleiderlasers**

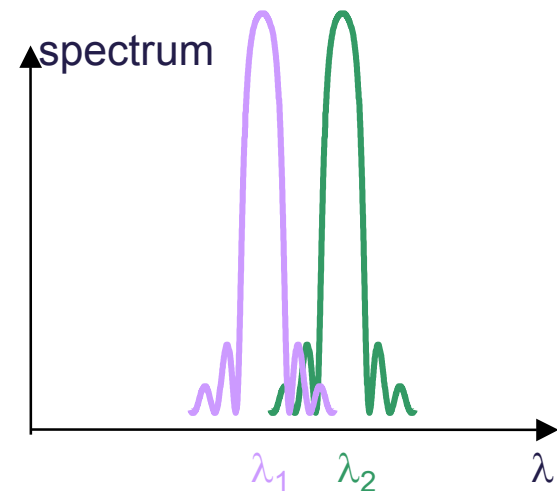
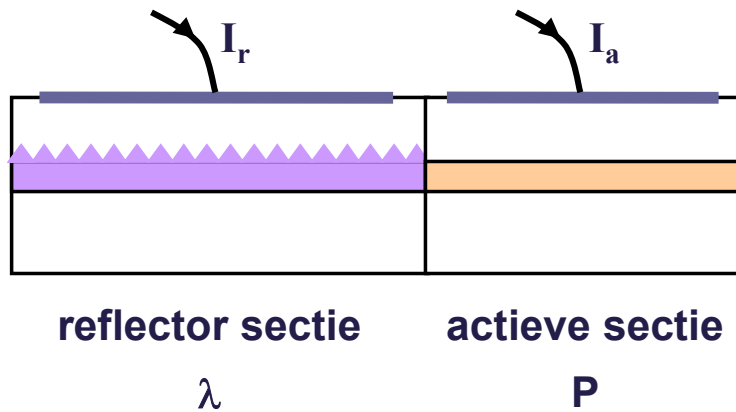
Uitdagingen - wat moest er nog gebeuren

- Degradatie van de laser opvangen
- Snel schakelen van de golflengte
- Invloed optische versterker op het gedrag van de laser

... en hebben we ook gerealiseerd!

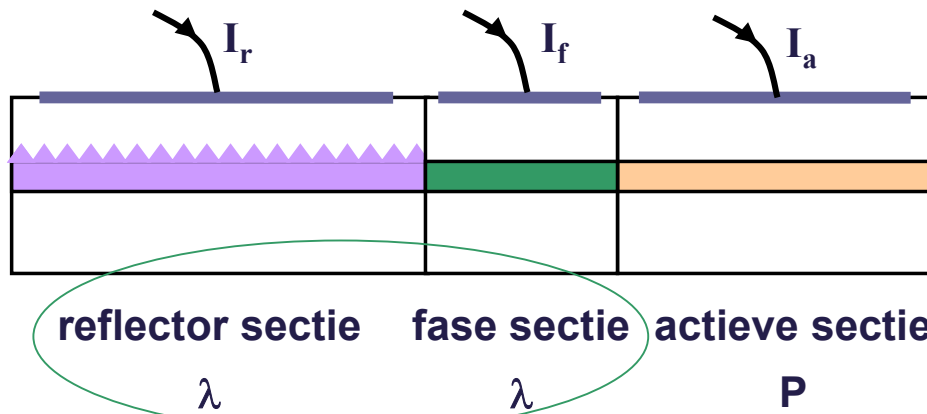
Afstembare halfgeleiderlasers

- licht uitzenden op verschillende golflengtes
- even goede eigenschappen als DFB lasers



- selectief element in aparte sectie naast actieve sectie
- positie filter is afhankelijk van I_r
- ⇒ lasergolflengte kan veranderd worden door I_r te veranderen

Afstembare halfgeleiderlasers



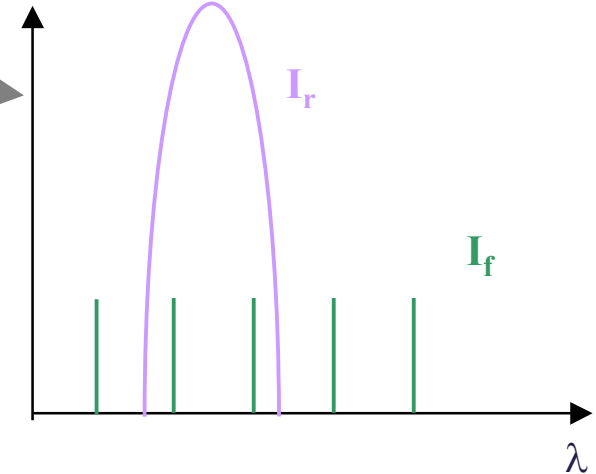
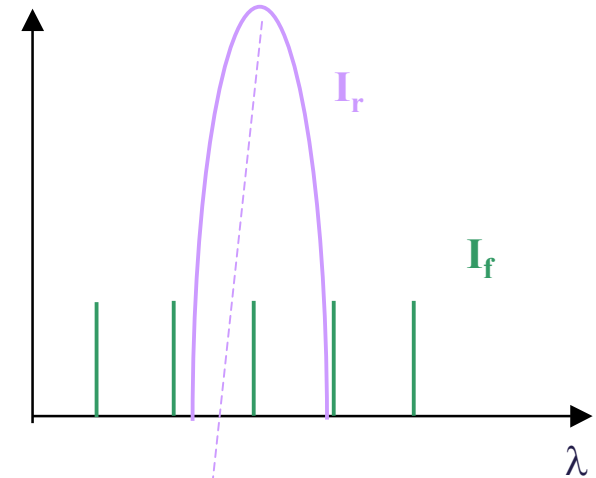
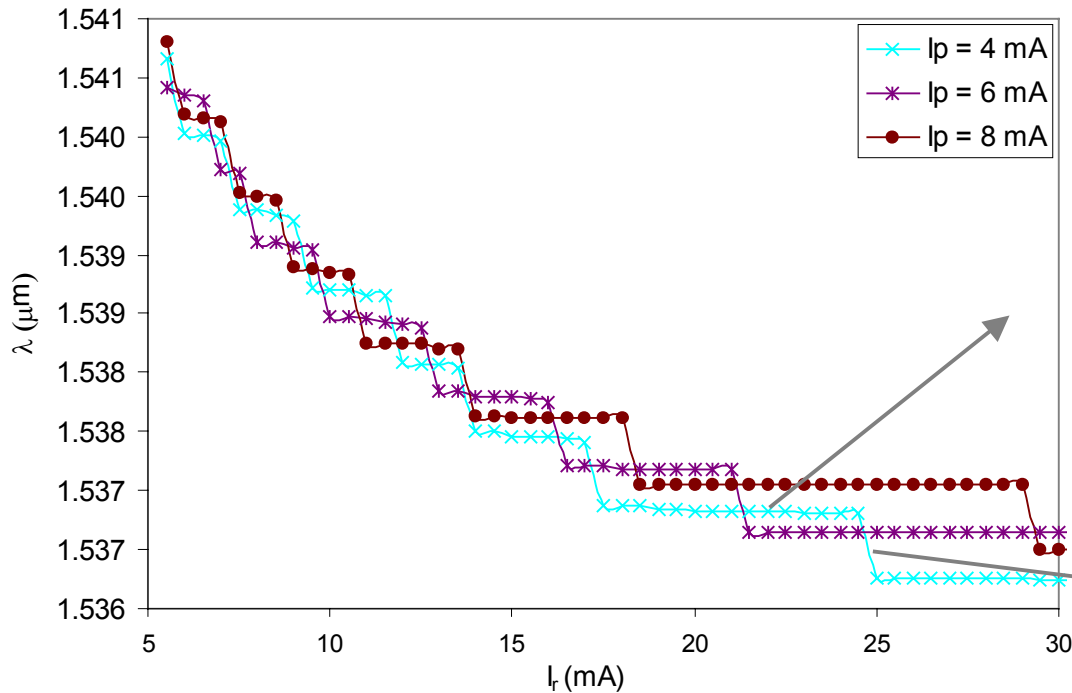
'afstemsecties' - 'passieve secties'
elektronisch afstemmen van de golflengte

Praktijk:

- meerdere afstemsecties voor betere afstemming
 - b.v. fase sectie om positie caviteitsmodes te veranderen
- steeds hetzelfde principe

Afstembare halfgeleiderlasers

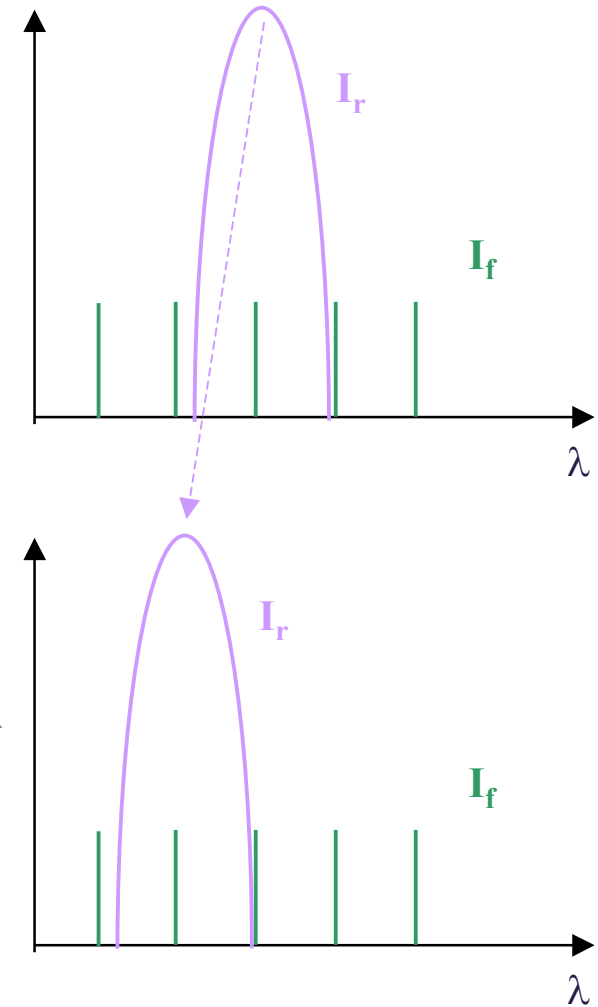
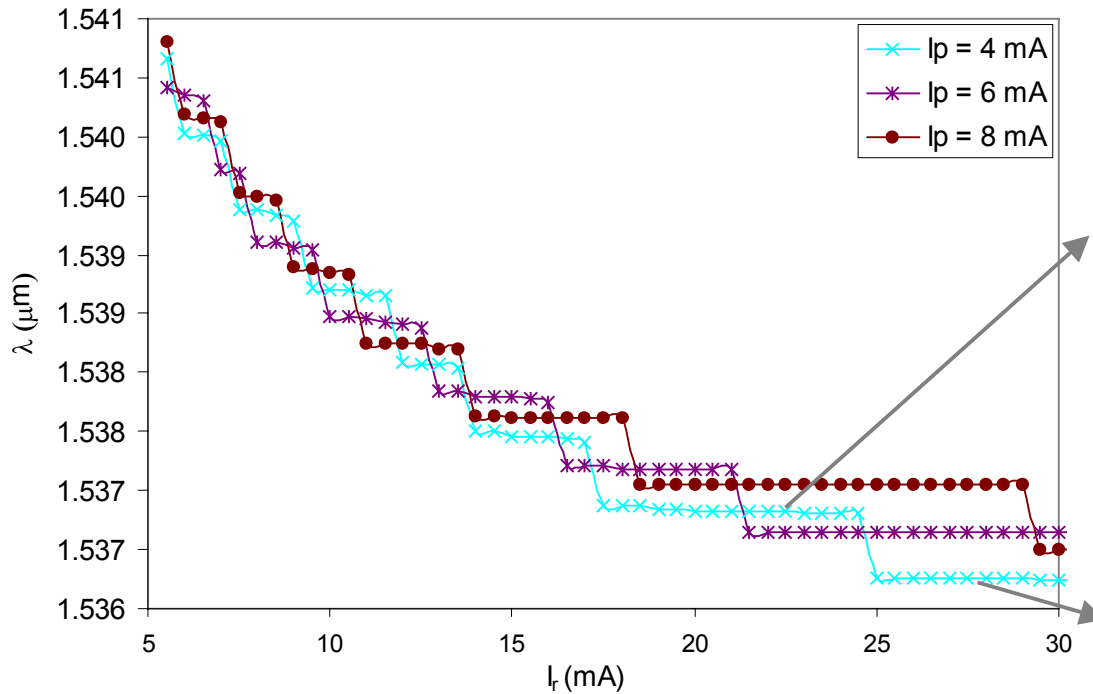
Afstemkarakteristiek = relatie golflengte-afstemstromen



Midden plateau's:
caviteitsmode gealigneerd met filterpiek

Golflengtesprongen:
andere caviteitsmode wordt laser mode

Afstembare halfgeleiderlasers

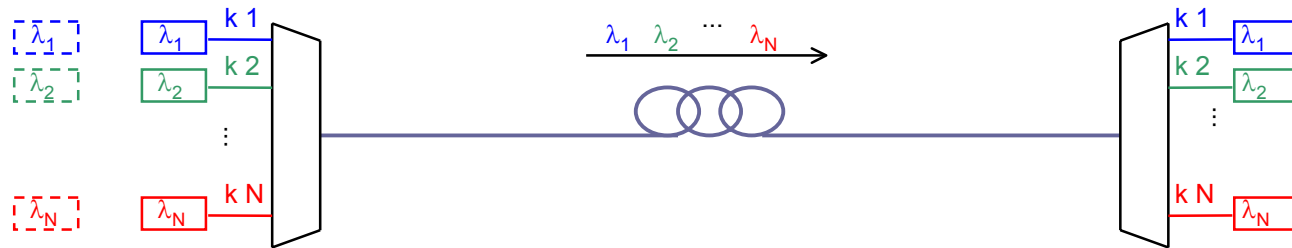


**Golflengtesprongen:
andere caviteitsmode wordt laser mode**

Voordelen afstembare lasers

Vaste golflengte lasers (DFB's)

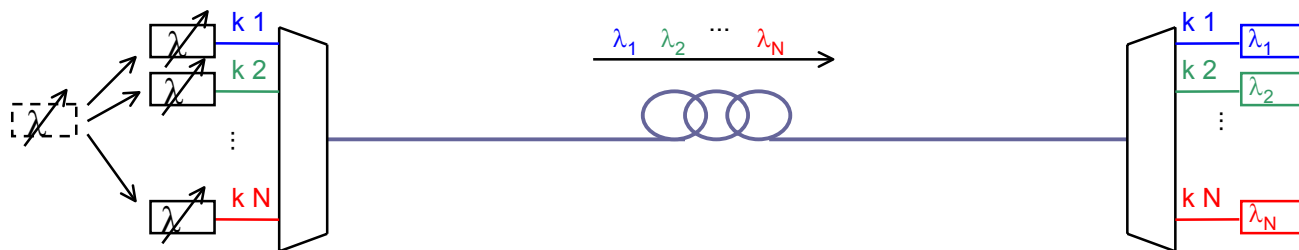
reserve



N DFB's N types DFB's

Afstembare lasers (AL)

reserve



1 AL 1 type AL

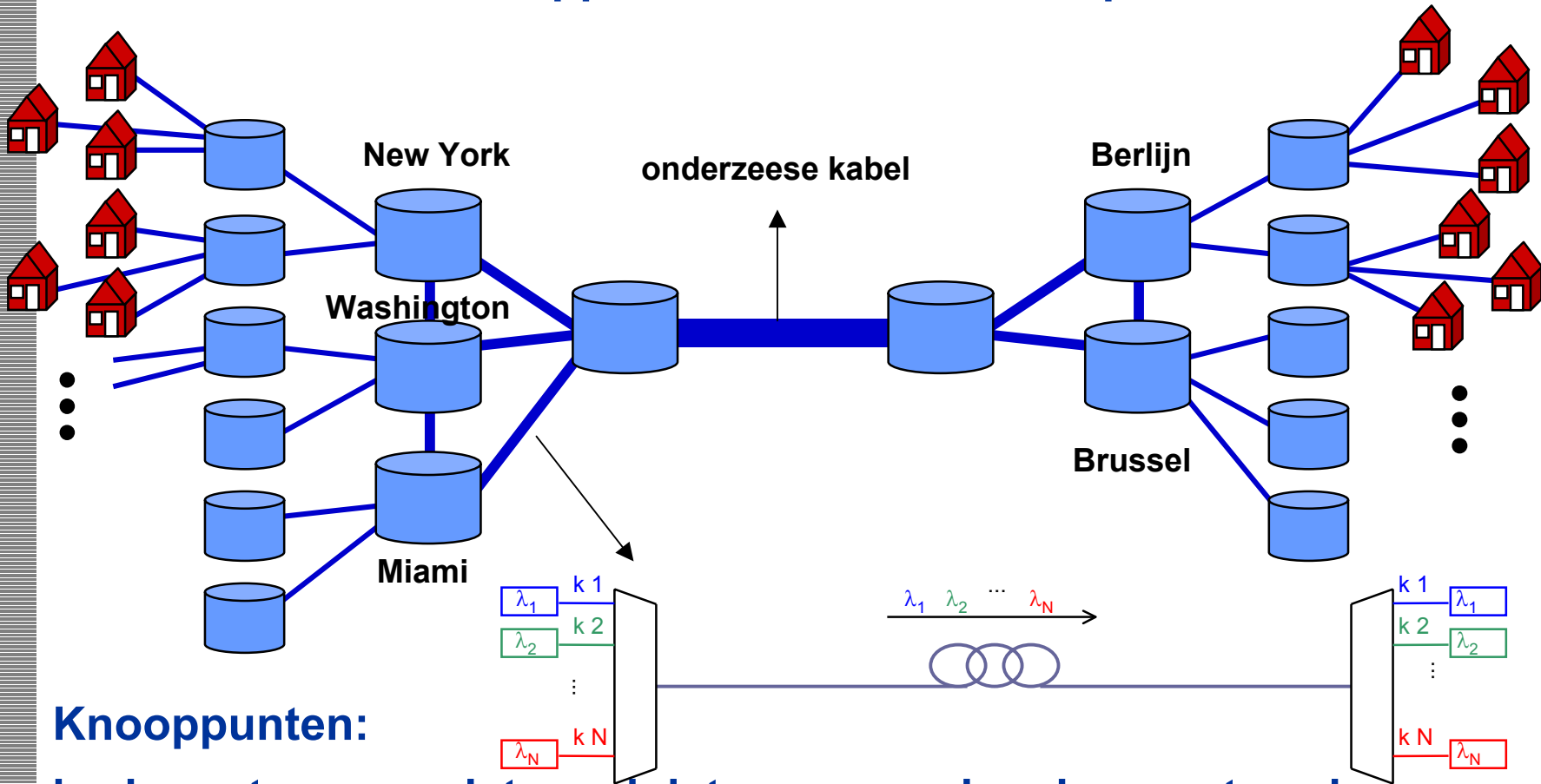
⇒ slechts 1 type laser nodig

⇒ minder lasers nodig

Voordelen afstembare lasers

Telecommunicatienetwerk:

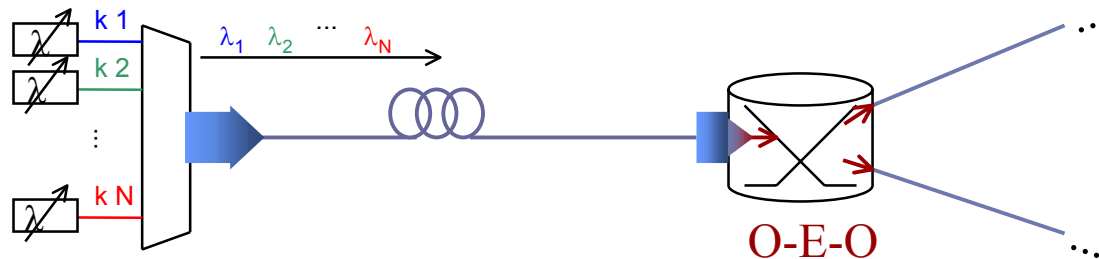
meerdere knooppunten verbonden via optische vezels



Knooppunten:

kruispunten waar data op juiste weg worden doorgestuurd

Voordelen afstembare lasers



Momenteel: verwerking in knooppunten **elektronisch**

⇒ omzetting optisch → elektrisch en terug

= omslachtig en traag

In de toekomst: **optisch schakelen**

= efficiënter en flexibeler

Hiervoor moet de golflengte heel snel kunnen

veranderd worden (50 ns = 50 miljardste seconden)

- **Optische vezel + halfgeleider laser: enorme gegevenscapaciteit**
- **WDM: meerdere golflengtes over zelfde vezel**
- **Lichtbronnen voor telecommunicatie: strenge vereisten**
- **Afstembare lasers + voordelen :**
 - kleiner aantal lasers nodig (= besparing)
 - efficiënter en flexibeler netwerk

Belangrijkste uitdagingen – doel van dit werk:

1. ook bij degradatie van de laser moet aan de vereisten voldaan worden
2. snel schakelen tussen golflengtes
3. invloed optische versterker op laserkarakteristieken

Overzicht van de presentatie

Waar - wat - waarom

- Optische telecommunicatie
- Lichtbronnen voor telecommunicatie
- Afstembare halfgeleiderlasers

Uitdagingen - wat moest er nog gebeuren

- **Degradatie van de laser opvangen**
- Snel schakelen van de golflengte
- Invloed optische versterker op het gedrag van de laser

... en hebben we ook gerealiseerd!

Degradatie

Commerciële afstembare laser

→ volledig gekarakteriseerd door fabrikant

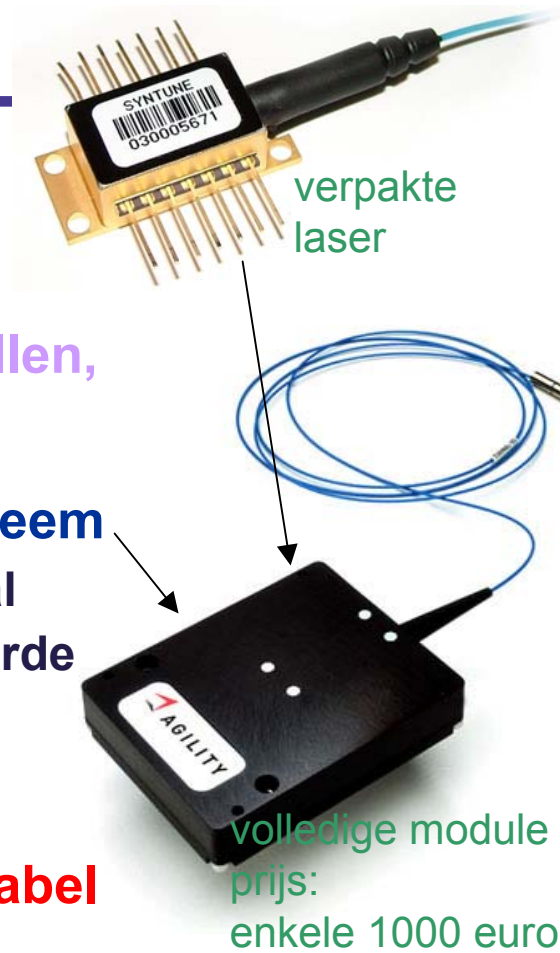
⇒ gebruiker moet stromen niet zelf instellen,
hij moet enkel een kanaal kiezen

→ voorzien van een elektronisch controlesysteem

- stelt de juiste stromen in voor het gekozen kanaal
- houdt de golflengte en de SMSR op de juiste waarde

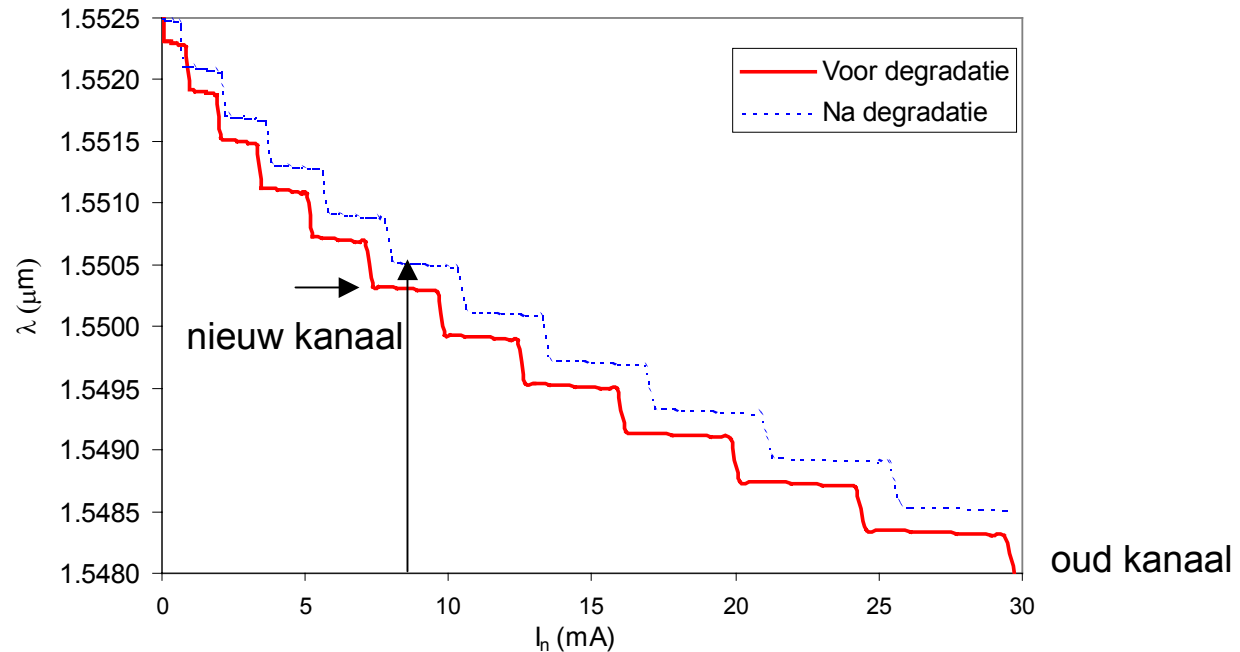
Onmisbaar voor de juiste werking: **de afstemtabel**

- bevat voor elke golflengte de juiste stroomwaarden
- door de fabrikant meegeleverd in het geheugen van het controlesysteem
- is het resultaat van een moeilijke karakterisatie



Degradatie

Degradatie → verandering afstemkarakteristieken



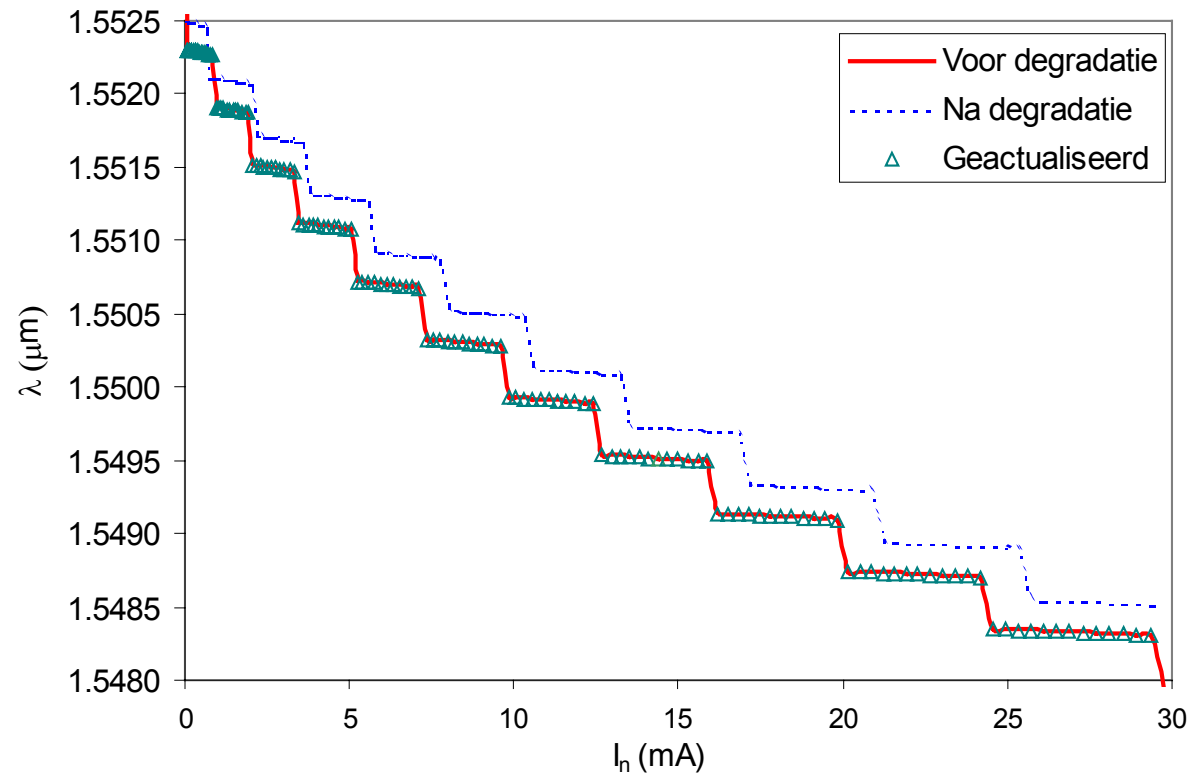
Dus: afstemtabel is niet langer correct!

⇒ als ander kanaal gekozen wordt: verkeerde λ en lage SMSR

⇒ afstemtabel moet geactualiseerd worden, zonder dat een volledige nieuwe karakterisatie van de laser nodig is

Actualisatie afstemtabel

Procedure ontwikkeld om de afstemstomen te corrigeren, zonder de werking van de laser te moeten onderbreken en zonder een nieuwe karakterisatie te doen



De golflengtes berekend met de nieuwe stroomwaarden komen overeen met de oorspronkelijke golflengtes: hoera!

Overzicht van de presentatie

Waar - wat - waarom

- Optische telecommunicatie
- Lichtbronnen voor telecommunicatie
- Afstembare halfgeleiderlasers

Uitdagingen - wat moest er nog gebeuren

- Degradatie van de laser opvangen
- **Snel schakelen van de golflengte**
- Invloed optische versterker op het gedrag van de laser

... en hebben we ook gerealiseerd!

Golflengteschakelen

Afstemstromen snel veranderen

⇒ golflengte springt van λ_1 naar λ_2 in enkele nanoseconden

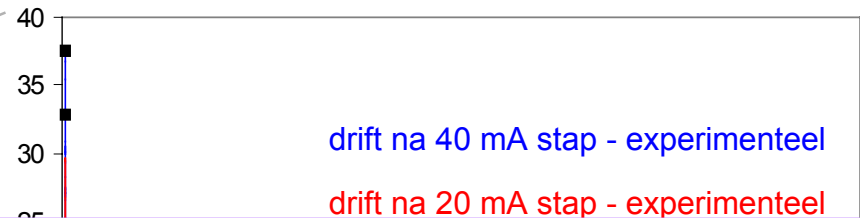
MAAR: verandering stroom $I \Rightarrow$ verandering temperatuur T

→ T trager dan I (b.v. gloeilamp)

→ T beïnvloedt ook de golflengte

⇒ golflengte vertoont drift:

→ af en gaat traag naar eindwaarde (ms ipv ns: 100.000 keer trager)

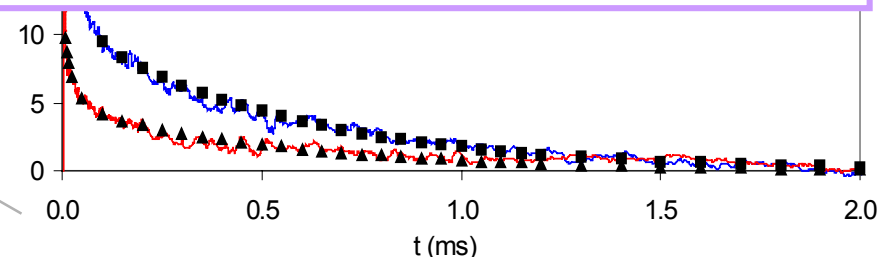


Onthouden: thermische drift vertraagt schakelen van de golflengte onaanvaardbaar lang



ms

tijd

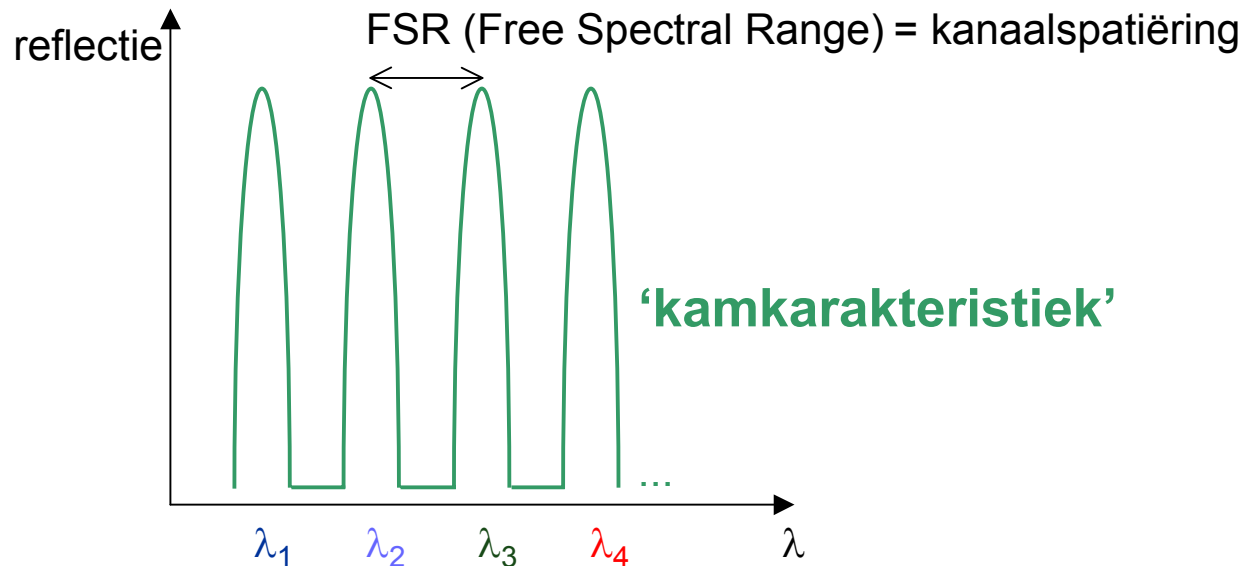


Golflengteschakelen

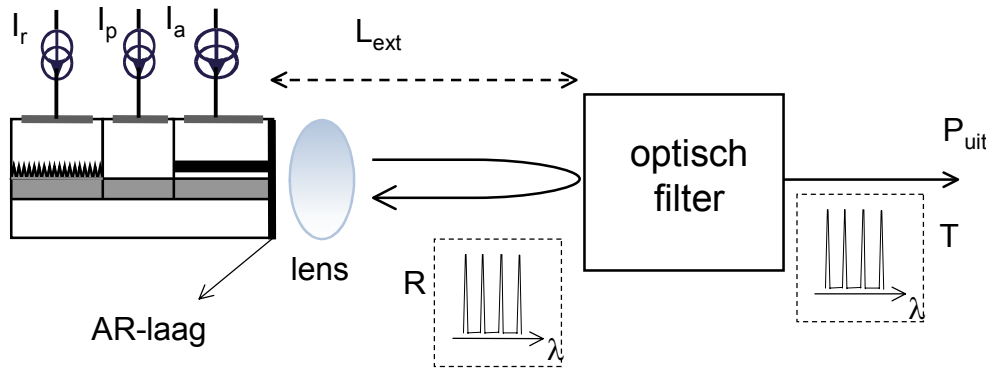
Oplossing: referentie voor de laser-golflengte voorzien

- onafhankelijk van laser-temperatuur
- voor elke golflengte in netwerk
- gekoppeld met de laser

⇒ optisch filter met periodieke reflectiekenarakteristiek, gekoppeld met de laser via optische feedback



Golflengteschakelen



voldoende P_{uit}

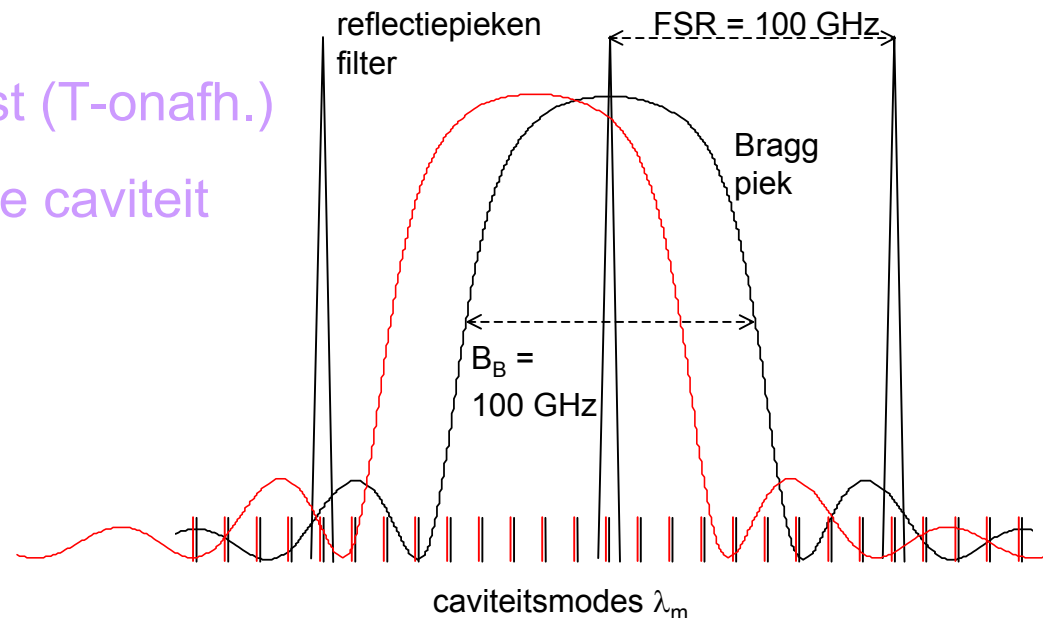
⇒ T ook kamkarakteristiek

stabiele terugkoppeling

⇒ anti-reflectie laag

⇒ L_{ext} kort (orde cm)

- filterpieken = referentie winst (T-onafh.)
- drift λ_m : beperkt door externe caviteit

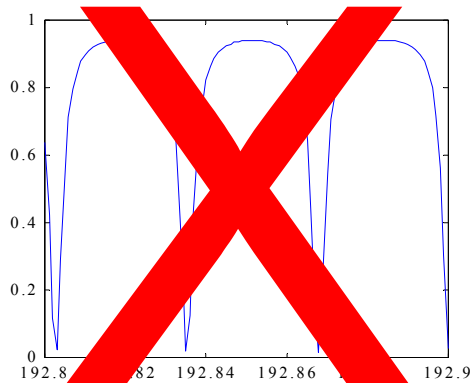


Golflengteschakelen - filter

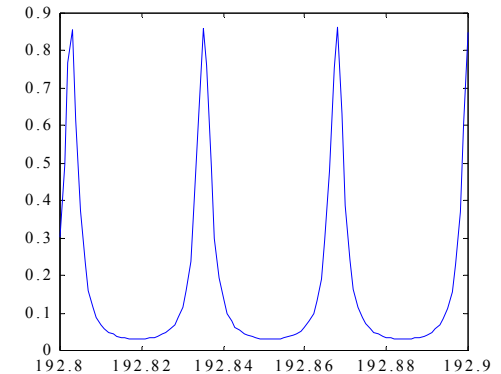
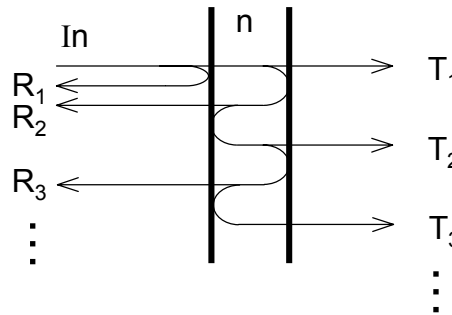
Filter met kamkarakteristiek in reflectie en transmissie bestond niet

⇒ zelf maken

Principe:



Fabry Perot etalon

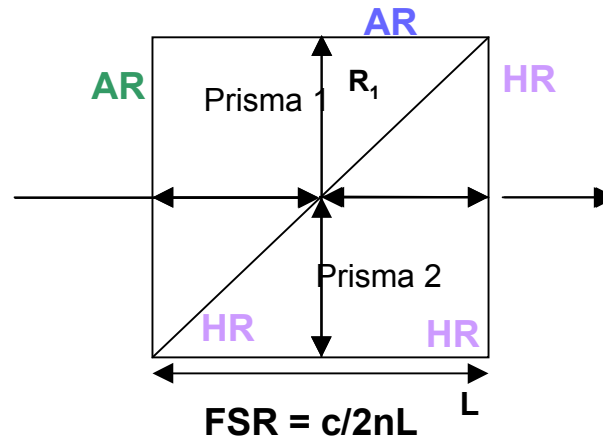


Combinatie R_1 en volgende reflectie geeft omgekeerde kamkarakteristiek

⇒ R_1 verwijderen om ook in reflectie kamkarakteristiek te krijgen

Golflengteschakelen - filter

Ons ontwerp: 2 rechthoekige prisma's op elkaar gekleefd

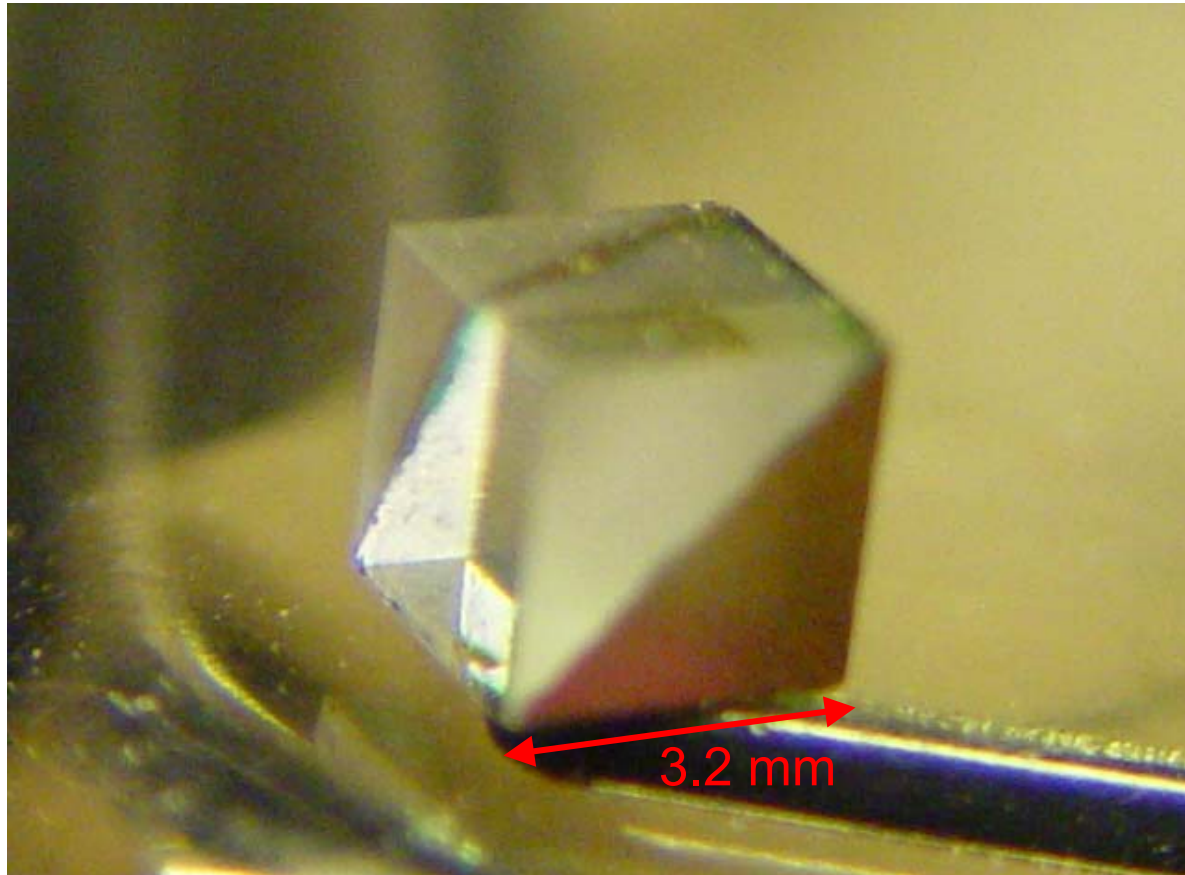


Geen reflectie op voorkant \Rightarrow anti-reflectie laag (AR)

R_1 mag niet terugkeren door reflectie op bovenkant \Rightarrow anti-reflectie laag

Scherpe pieken \leftrightarrow hoog-reflectieve lagen (HR) op onderste prisma

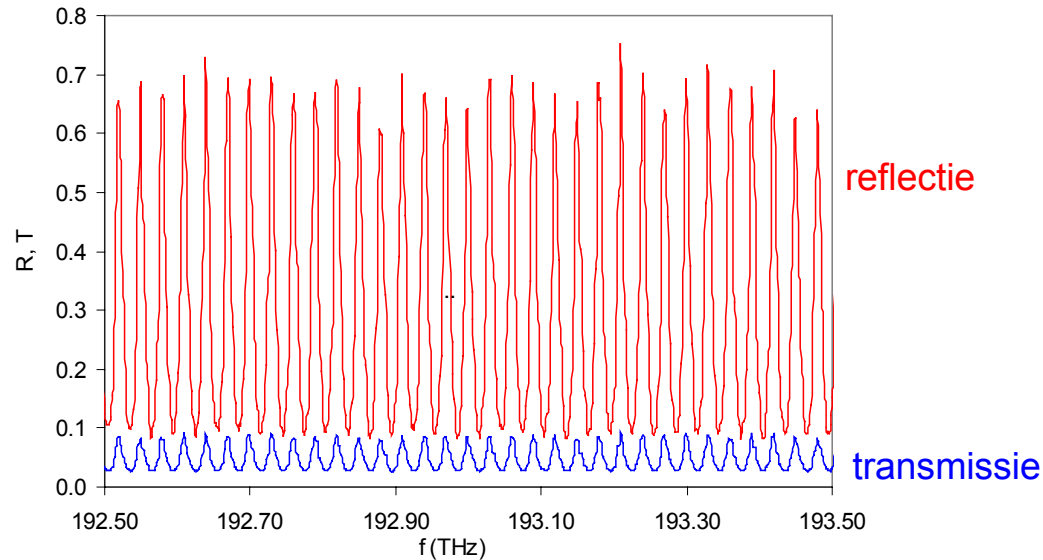
Golflengteschakelen - filter



- gefabriceerd binnen INTEC
- kamkarakteristiek in reflectie en transmissie

Golflengteschakelen - filter

Experimenteel bepaalde filterkarakteristieken



⇒ zelf ontworpen filter gedraagt zich zoals gewenst !!!

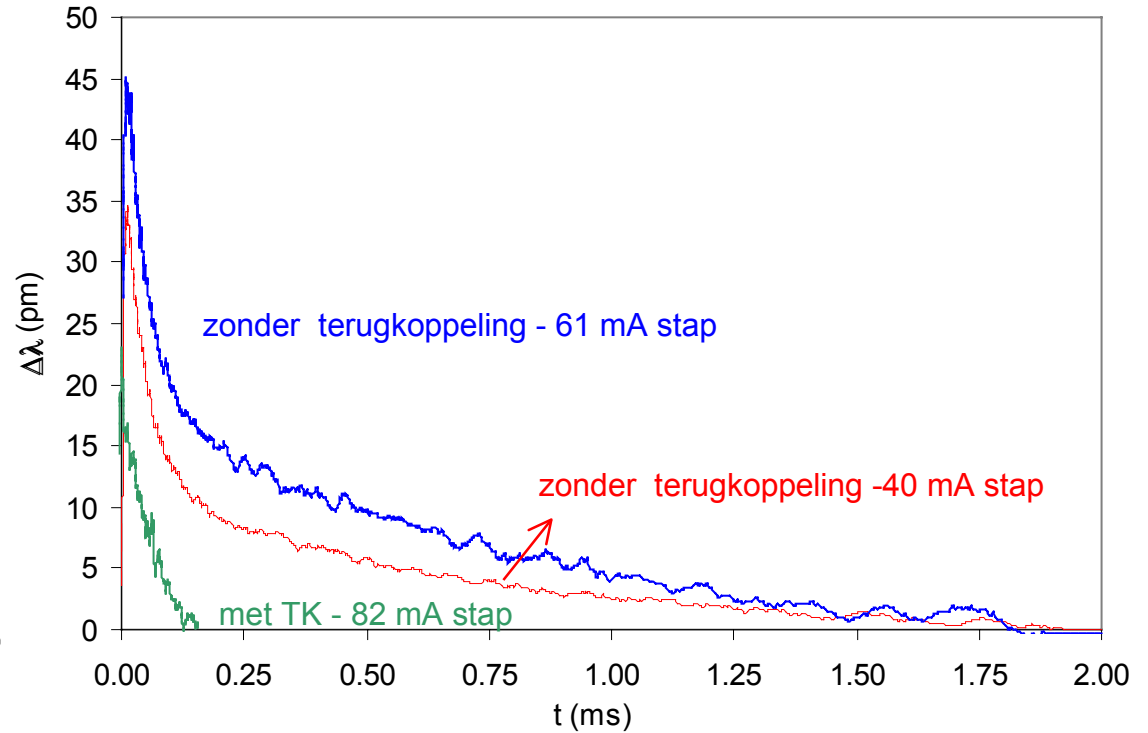
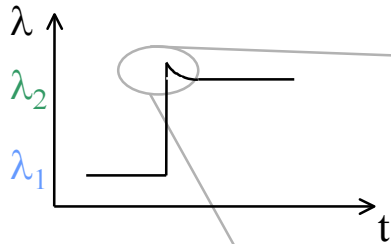
Golflengteschakelen

Koppeling laser-filter: nauwkeurigheid beter dan duizendste mm

= NIET GEMAKKELIJK!



Golflengteschakelen



Het werkt !!!

Overzicht van de presentatie

Waar - wat - waarom

- Optische telecommunicatie
- Lichtbronnen voor telecommunicatie
- Afstembare halfgeleiderlasers

Uitdagingen - wat moest er nog gebeuren

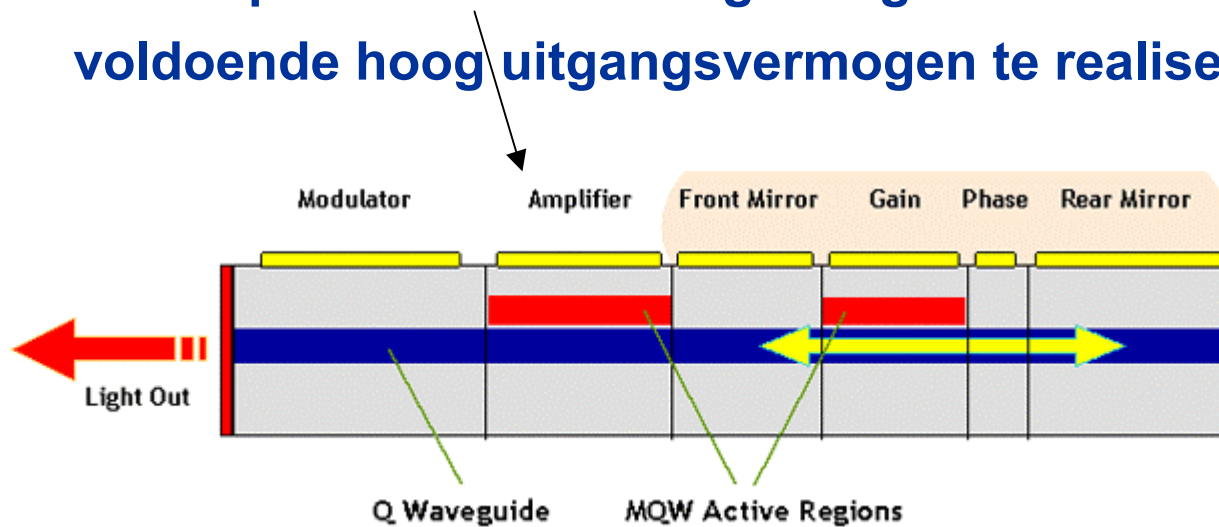
- Degradatie van de laser opvangen
- Snel schakelen van de golflengte
- **Invloed optische versterker op het gedrag van de laser**

... en hebben we ook gerealiseerd!

Invloed optische versterker

Bij veel geavanceerde telecomlasers:

extra optische versterker geïntegreerd met de laser om voldoende hoog uitgangsvermogen te realiseren.



De versterker genereert ruis die de laser zal beïnvloeden.

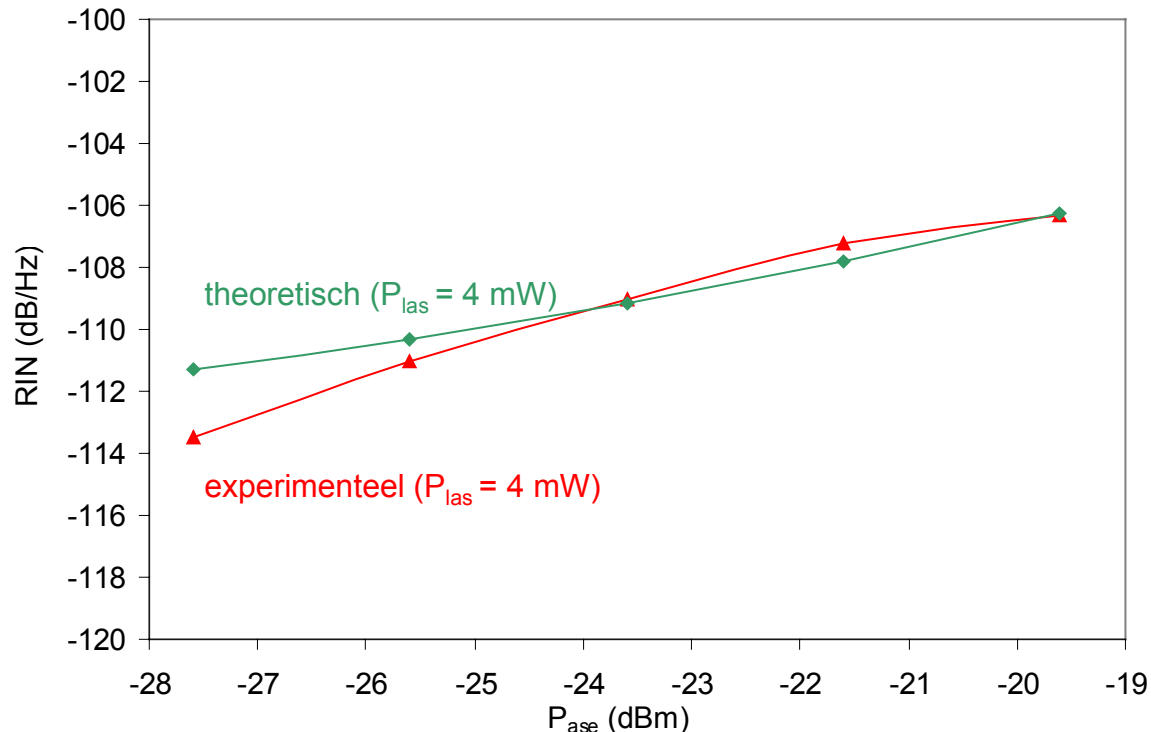
⇒ dit moest nog nauwkeurig onderzocht worden

Invloed optische versterker

Theoretisch model en computersimulaties: voorspellen een toename van de RIN en de lijnbreedte en een afname van de SMSR.

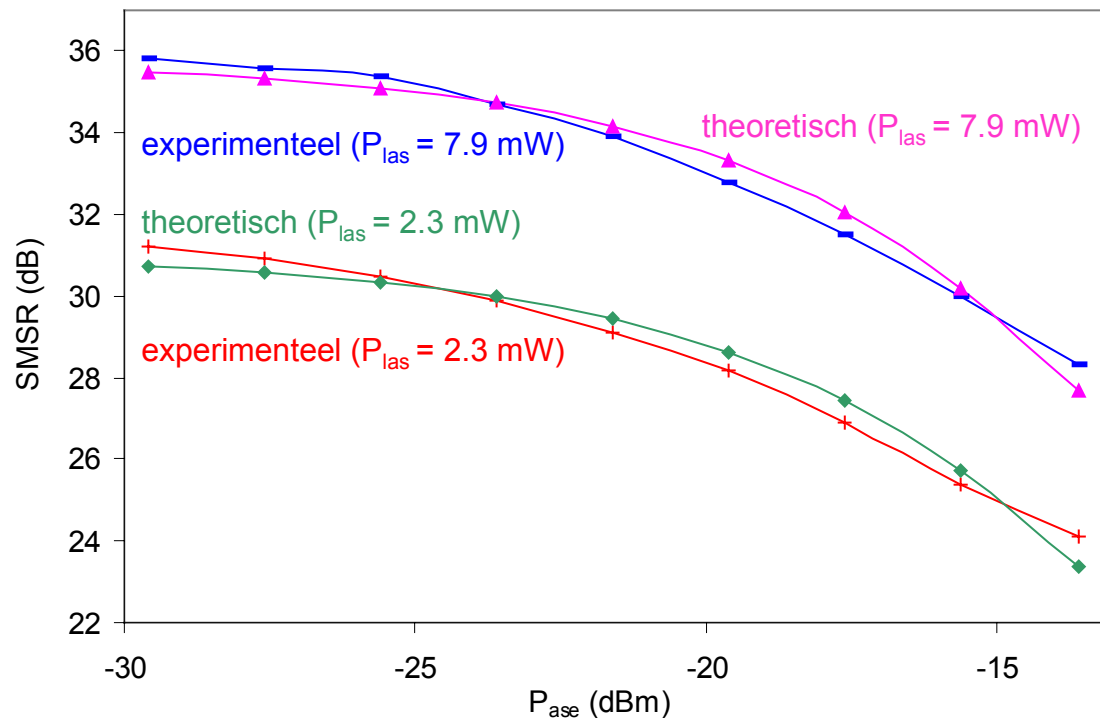
Theorie:
$$\frac{RIN^{las+SOA}}{RIN^{las}} = \frac{\Delta\nu^{las+SOA}}{\Delta\nu^{las}} = \frac{SMSR^{las}}{SMSR^{las+SOA}} = 1 + c \frac{A-1}{\ln(A)} \quad (A: \text{versterking})$$

Dit wordt tevens bevestigd door een groot aantal experimentele gegevens.



Invloed optische versterker

Theorie:
$$\frac{RIN^{las+SOA}}{RIN^{las}} = \frac{\Delta v^{las+SOA}}{\Delta v^{las}} = \frac{SMSR^{las}}{SMSR^{las+SOA}} = 1 + c \frac{A - 1}{\ln(A)} \quad (A: \text{versterking})$$



Besluit - Realisaties

1. Degradatie opgevangen

- actualisatieprocedure voor de afstemtabel opgesteld
- geen nieuwe moeilijke karakterisatie nodig
- werking laser niet onderbroken

2. Snel golflengteschakelen

- theoretisch en experimenteel onderzocht
- verbeterd door optische terugkoppeling via innovatief filter
 - kamkarakteristiek in reflectie en transmissie
 - fabricatie binnen INTEC

3. Uitgebreide karakterisatie laser + optische versterker

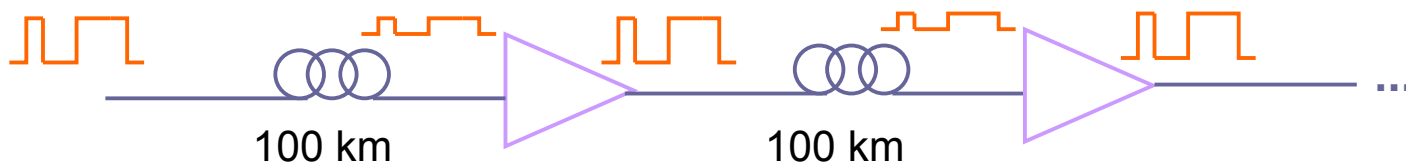
- degradatie ruis eigenschappen en SMSR aangetoond
- theoretisch model opgesteld en computersimulaties uitgevoerd
- uitgebreide experimentele gegevens (+ verificatie van de theorie)

Optische vezel

Transmissieafstand beperkt door:

- verzwakking signalen bij propagatie

⇒ optische versterkers na bepaalde afstand



Optische vezel

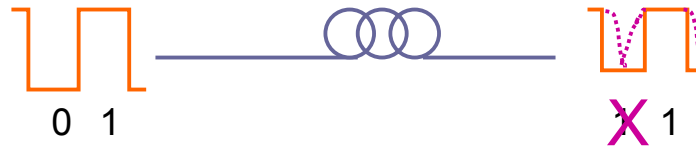
Transmissieafstand beperkt door:

- dispersie:

⇒ verbreding van de ontvangen pulsen

⇒ bits lopen in elkaar over

⇒ foute detectie



⇒ maatregelen om de dispersie te beperken zijn nodig