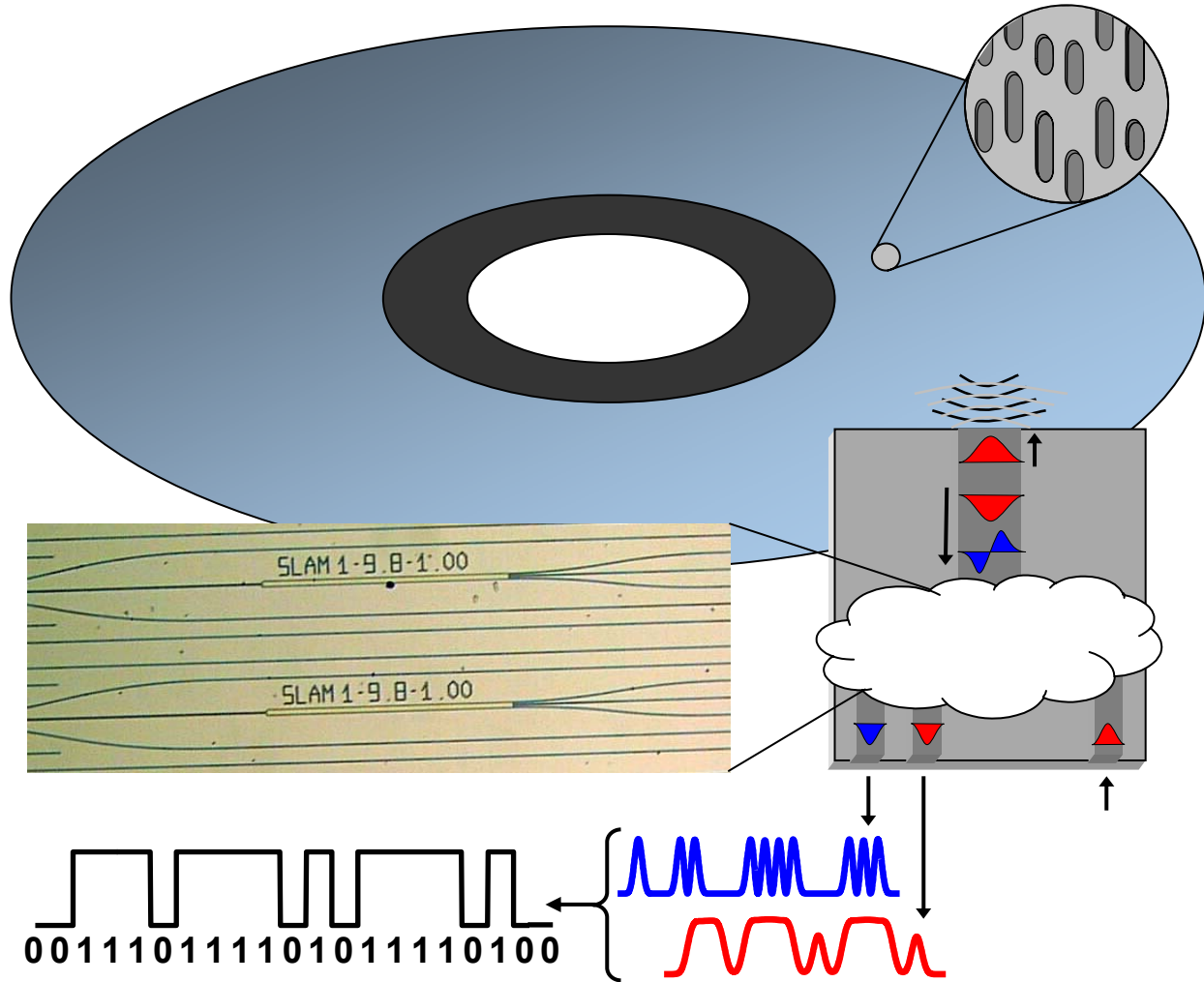




Performantie-analyse van een uitleessysteem voor optische schijven gebaseerd op een multimodale golfgeleider

Doctoraatsverdediging Frederik Fransoo
donderdag 14 april 2005



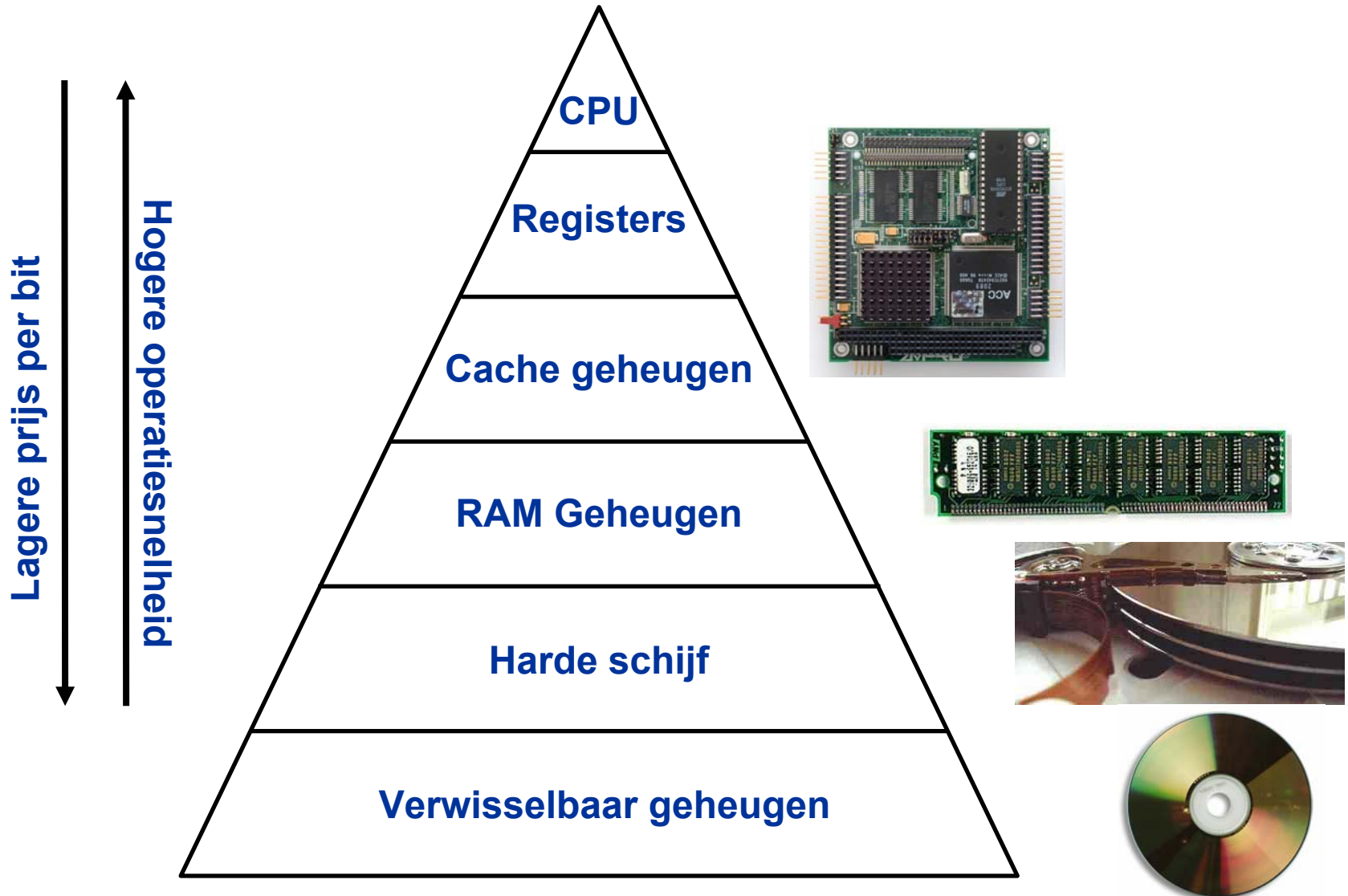


- **Gegevensopslag**
- **Golfgeleider-detectiemethode**
- **Resolutie**
- **Extractie bitpatronen**
- **Opsplitsen golfgeleidermodes**
- **Metingen**
- **Conclusies**



Gegevensopslag

Gegevensopslag



Verwisselbaar geheugen

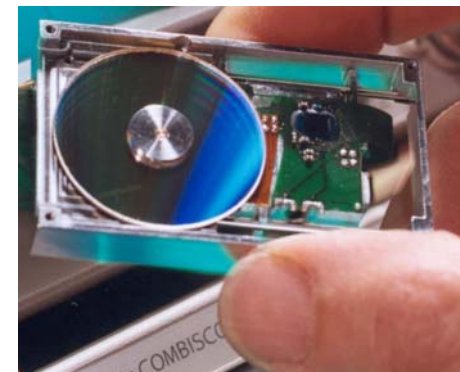
Verschillende types:

- Flash geheugen
- Magnetische geheugens
- Optische schijven



Optische schijven:

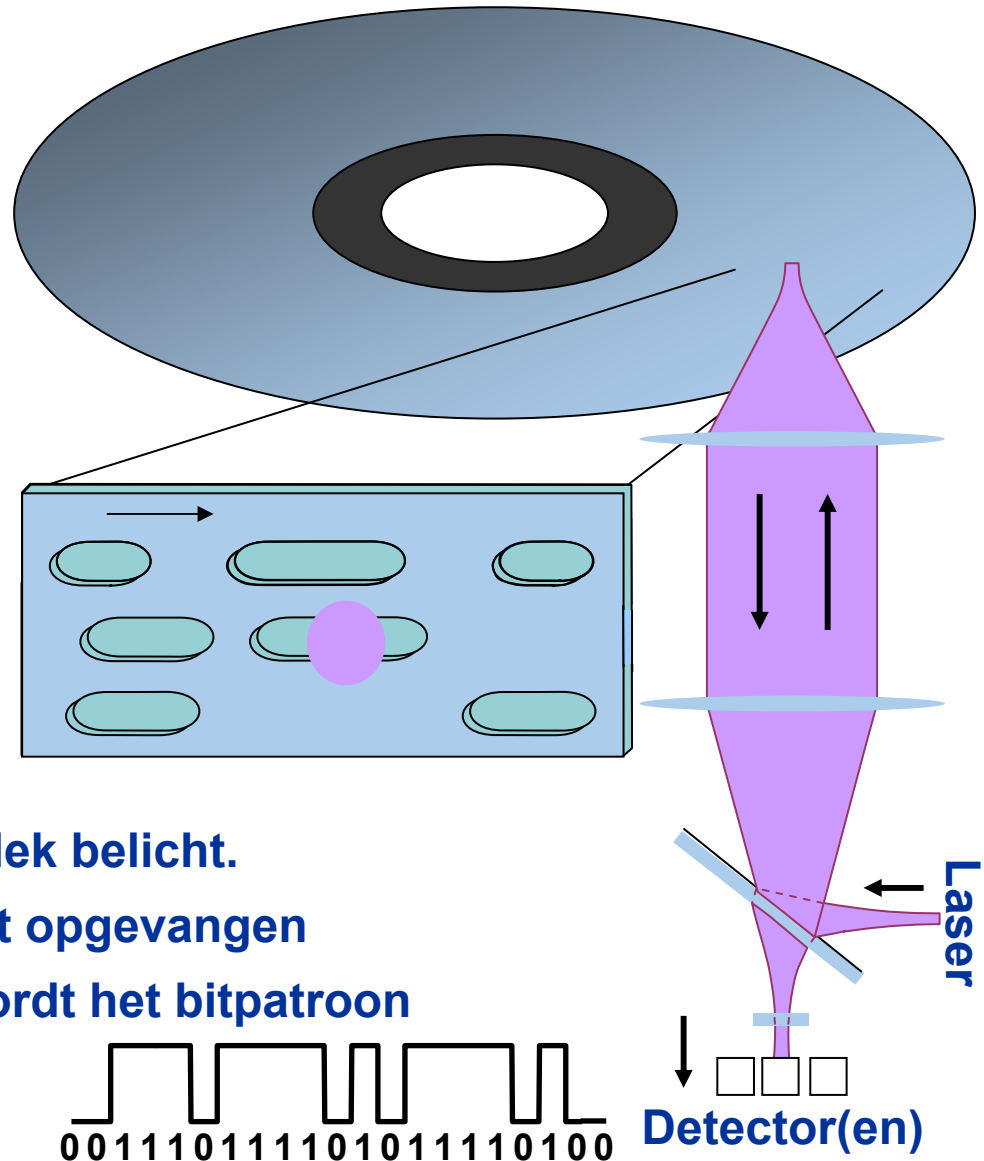
- Prijs
- 3 versies:
 - ROM – Schrijfbaar - Herschrijfbaar
- Levensduur
- Grootte
- Snelheid
- Geheugencapaciteit



Optische gegevensopslag

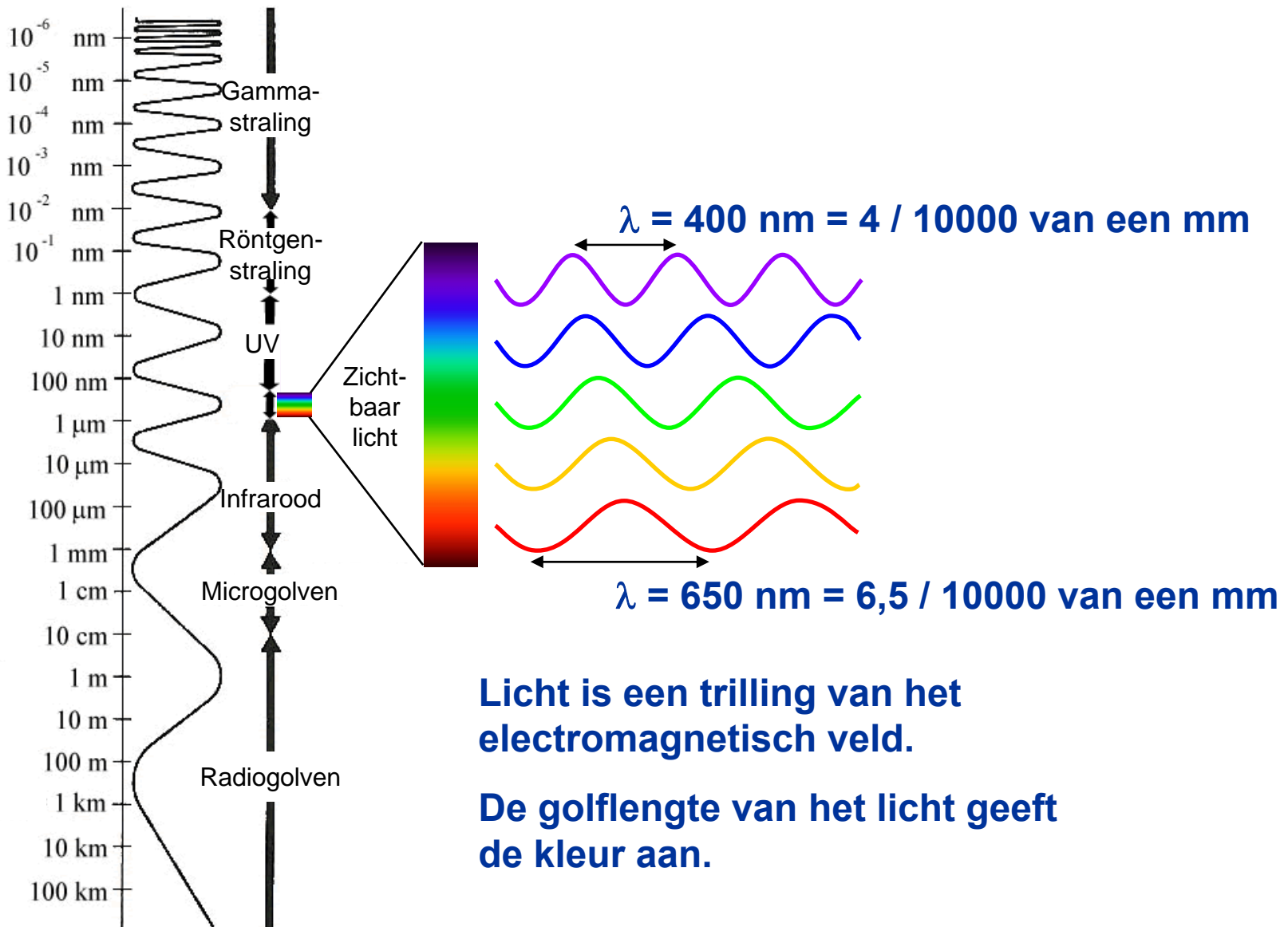
Een klassiek uitleessysteem voor optische schijven:

- De lichtbron: een laser
- Een lenzensysteem
- Detector(en)



- Op de schijf wordt een lichtvlek belicht.
- Het gereflecteerde licht wordt opgevangen
- Door de schijf te bewegen wordt het bitpatroon uitgelezen

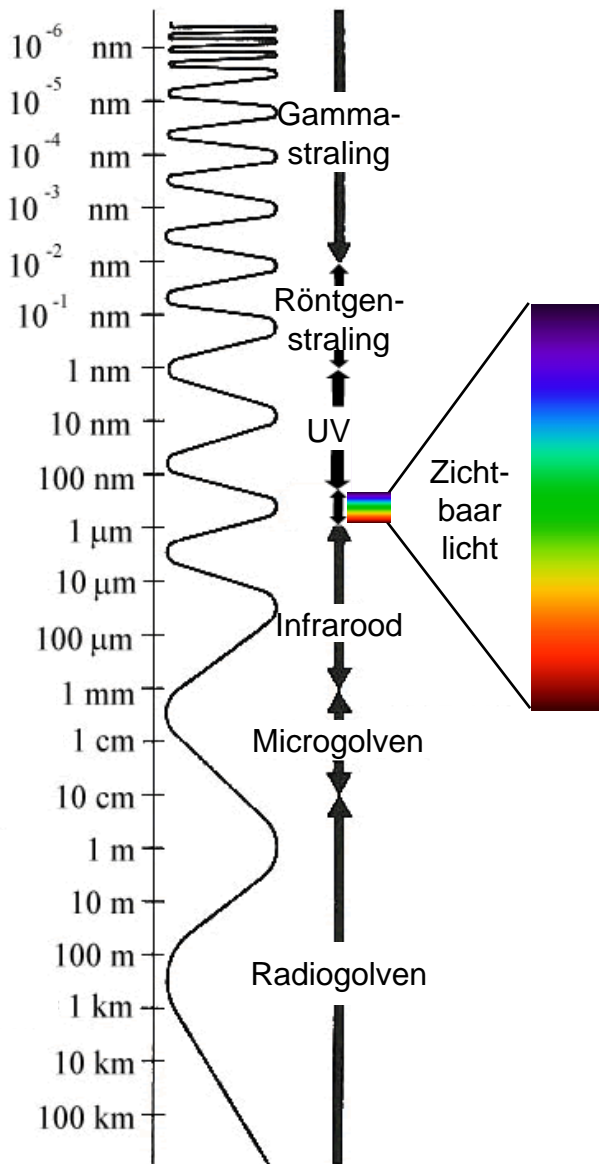
Licht: Kleur = golflengte



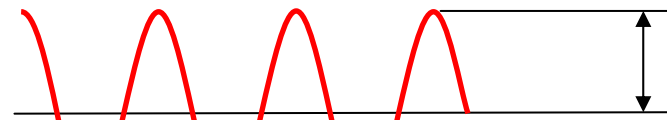
Licht is een trilling van het
electromagnetisch veld.

De golflengte van het licht geeft
de kleur aan.

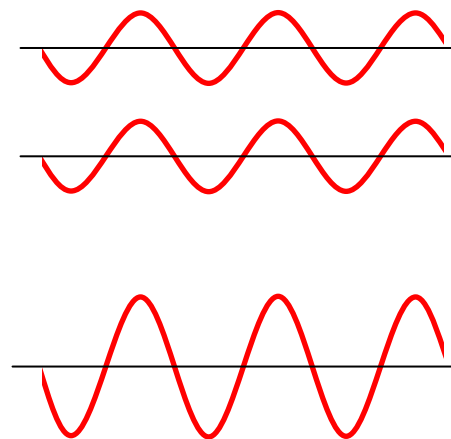
Licht: Interferentie



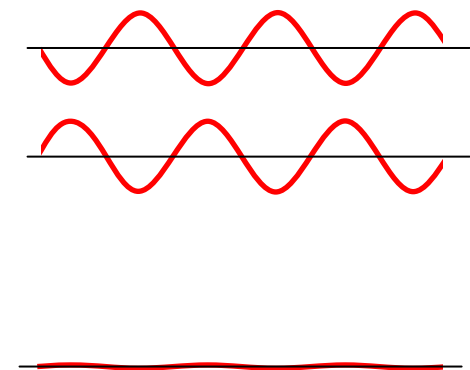
Een detector detecteert het kwadraat van de amplitude van het licht



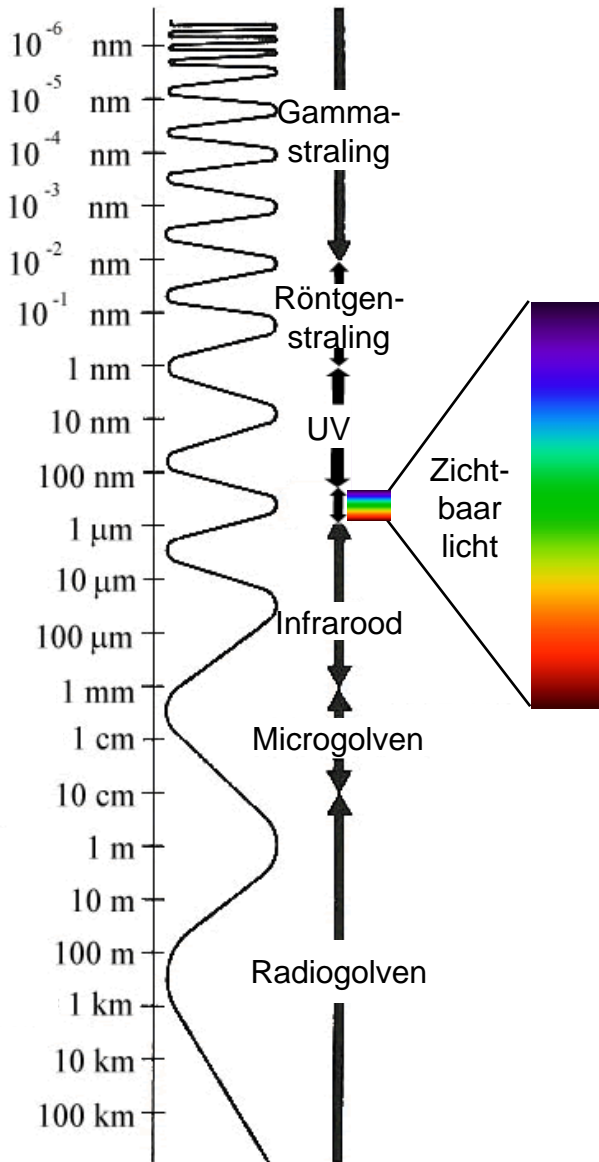
Constructieve interferentie



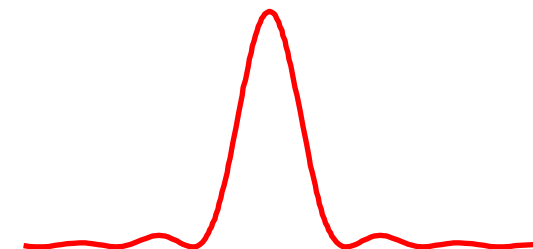
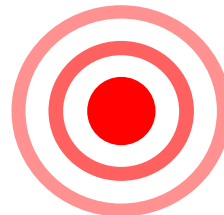
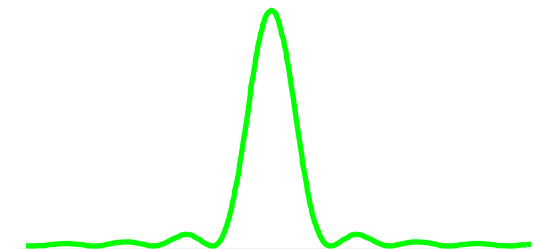
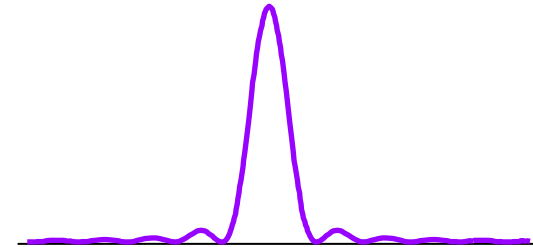
Destructieve interferentie



Licht: Resolutie



De kleinste lichtvlek die men kan vormen is ter grootte van de golflengte van het licht

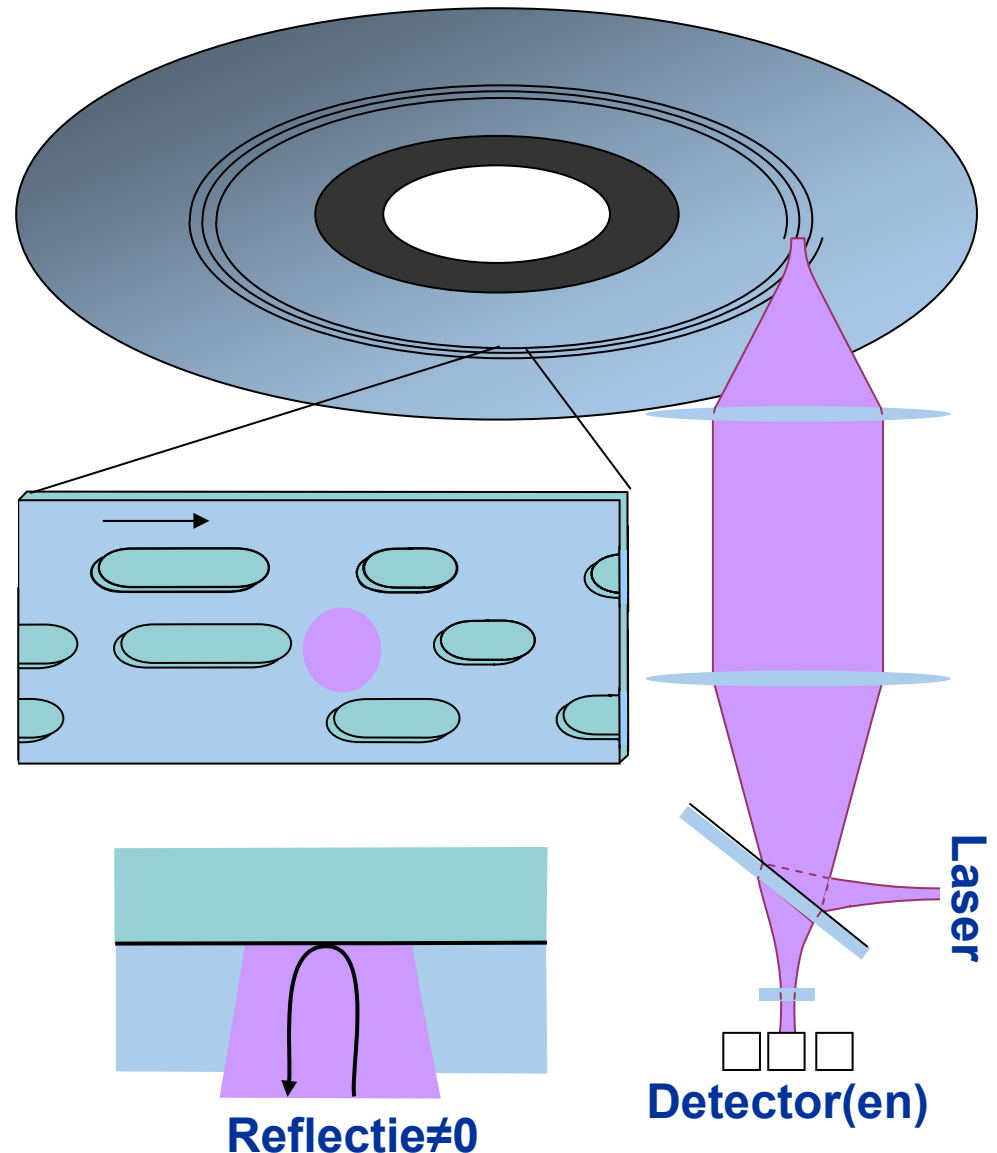


Optische gegevensopslag

De schijf is een reflecterend oppervlak met een spiraal van kleine putjes.

Als de lichtvlek van de laser naast een putje valt reflecteert de schijf het licht terug.

De detector vangt deze reflectie op als een elektrisch signaal.

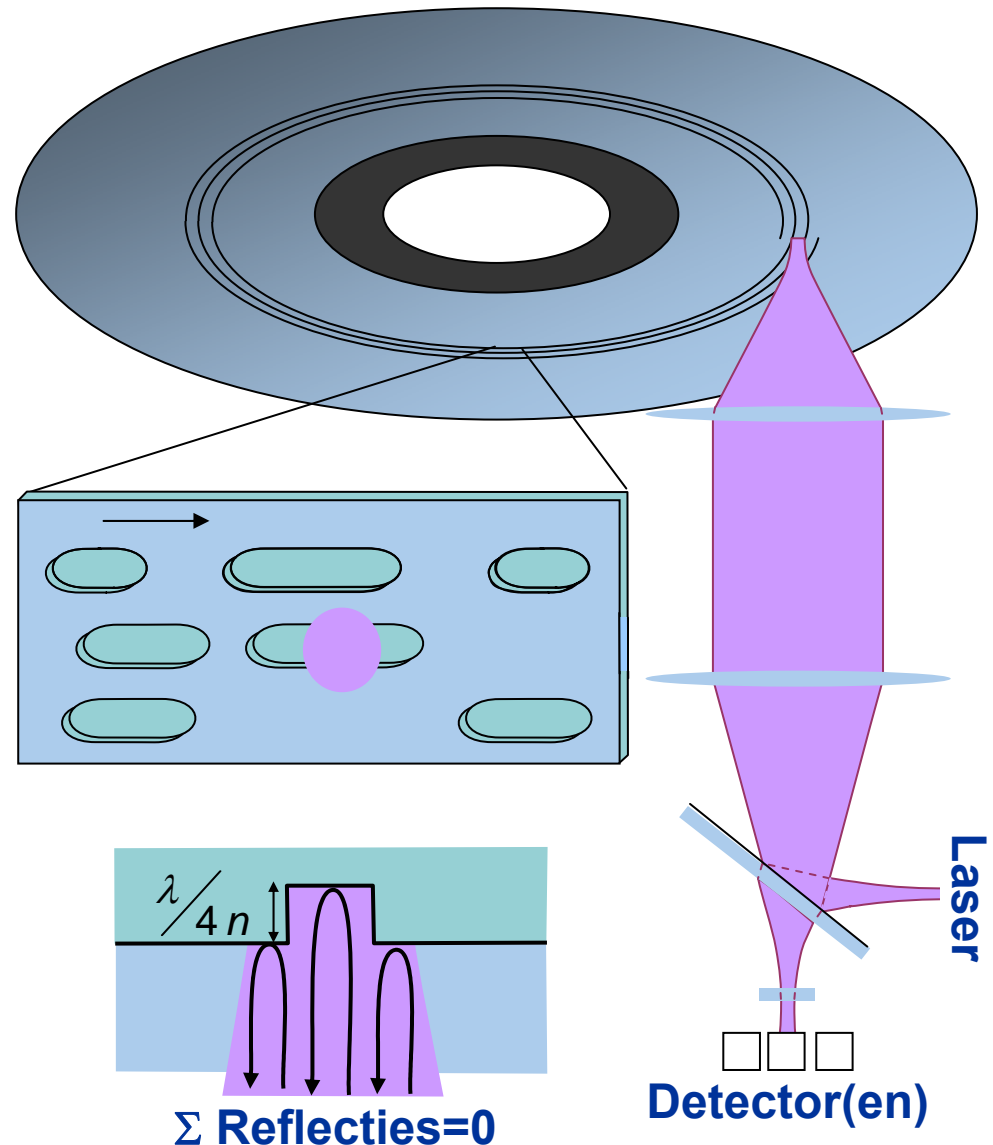


Optische gegevensopslag

De schijf draait rond en hierdoor wordt een ander deel van de schijf belicht.

Als de lichtvlek van de laser op een putje valt, dan zijn er meerdere reflecties.

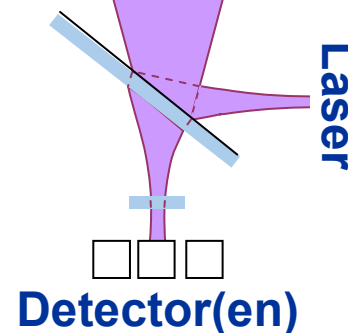
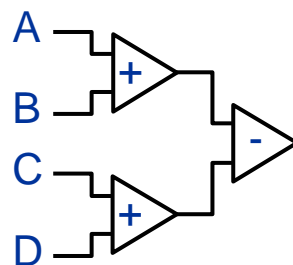
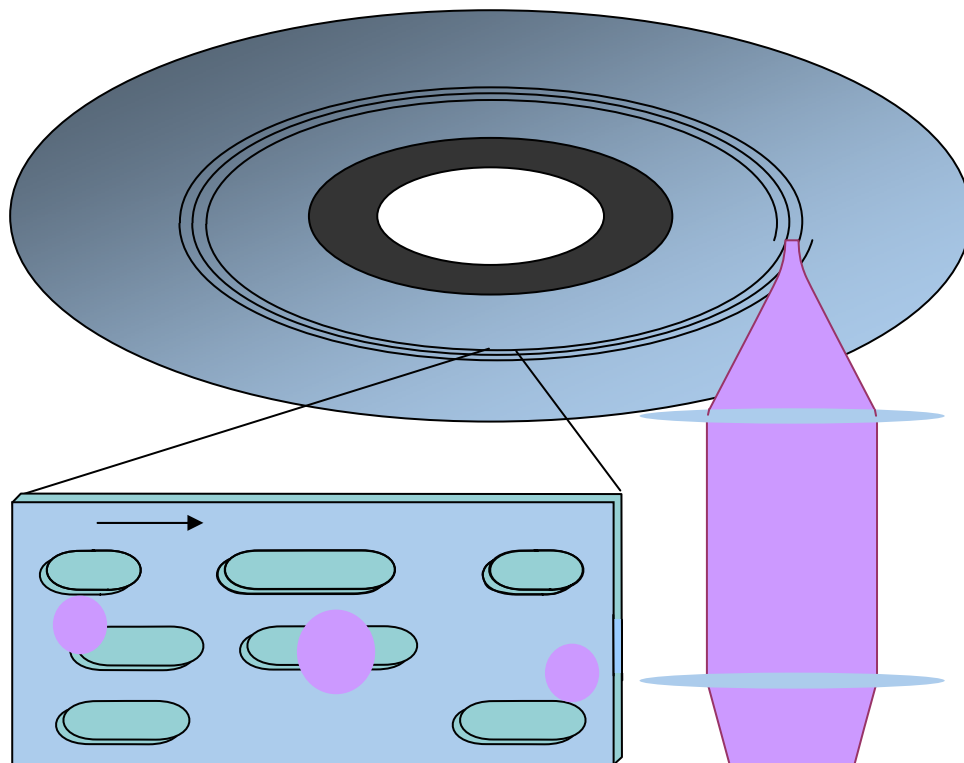
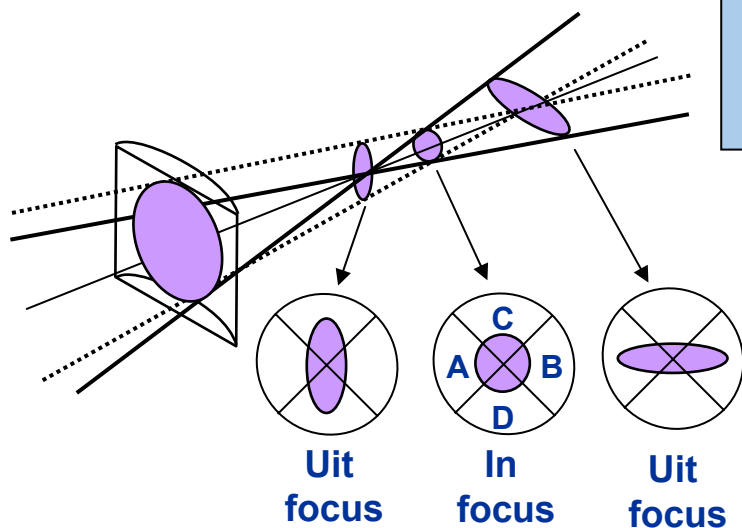
Omdat het totale weglengte verschil $\lambda/2$ is ontstaat er destructieve interferentie.



Optische gegevensopslag

Om mooi het spoor te kunnen volgen zijn er twee extra lichtpunten.

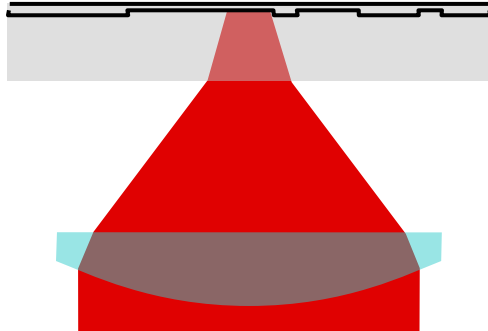
Om de lichtbundel in focus te houden wordt gebruik gemaakt van een astigmatische lens.



3 generaties optische schijven

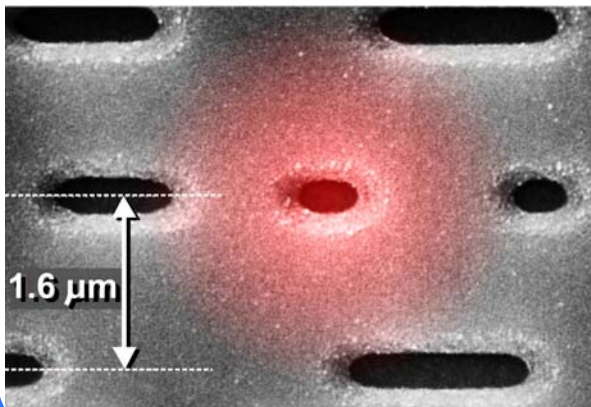
CD

Compact Disc



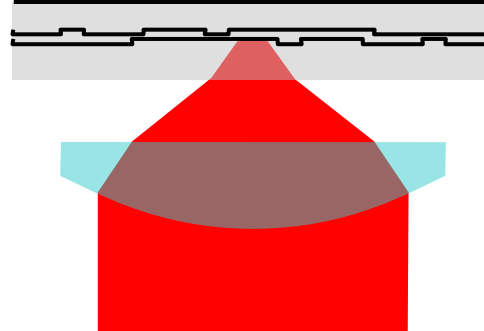
$\lambda = 780 \text{ nm}$
 $NA = 0.45$
 650 MB

Digitale audio - 1984



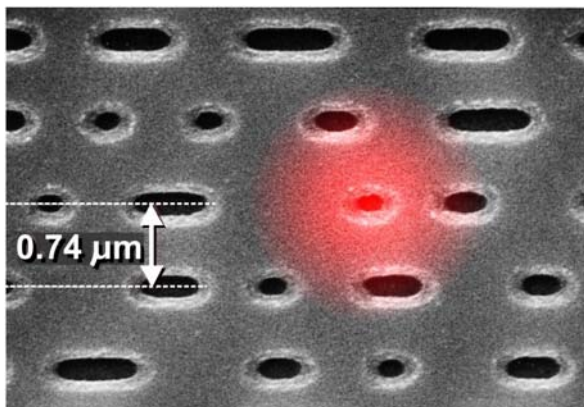
DVD

Digital Versatile Disc



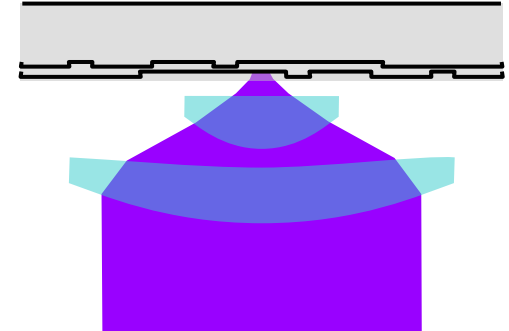
$\lambda = 650 \text{ nm}$
 $NA = 0.6$
 4,7 GB (SL-SS)

Digitale video - 1995



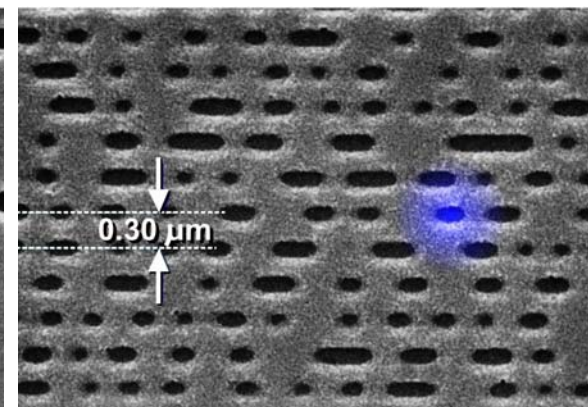
BD

Blu-Ray Disc



$\lambda = 405 \text{ nm}$
 $NA = 0,85$
 25 GB (SL-SS)

Hoge definitie video - 2003



Toekomst:

- **Verder verhogen golflengte en verkleinen numerieke apertuur**
- **Meerdere lagen**
- **Niet lineaire eigenschappen van de schijf**
- **Meer informatie halen uit het gereflecteerde licht**
 - **Licht heeft een fase en een amplitude**
 - **Extractie van bitpatronen**

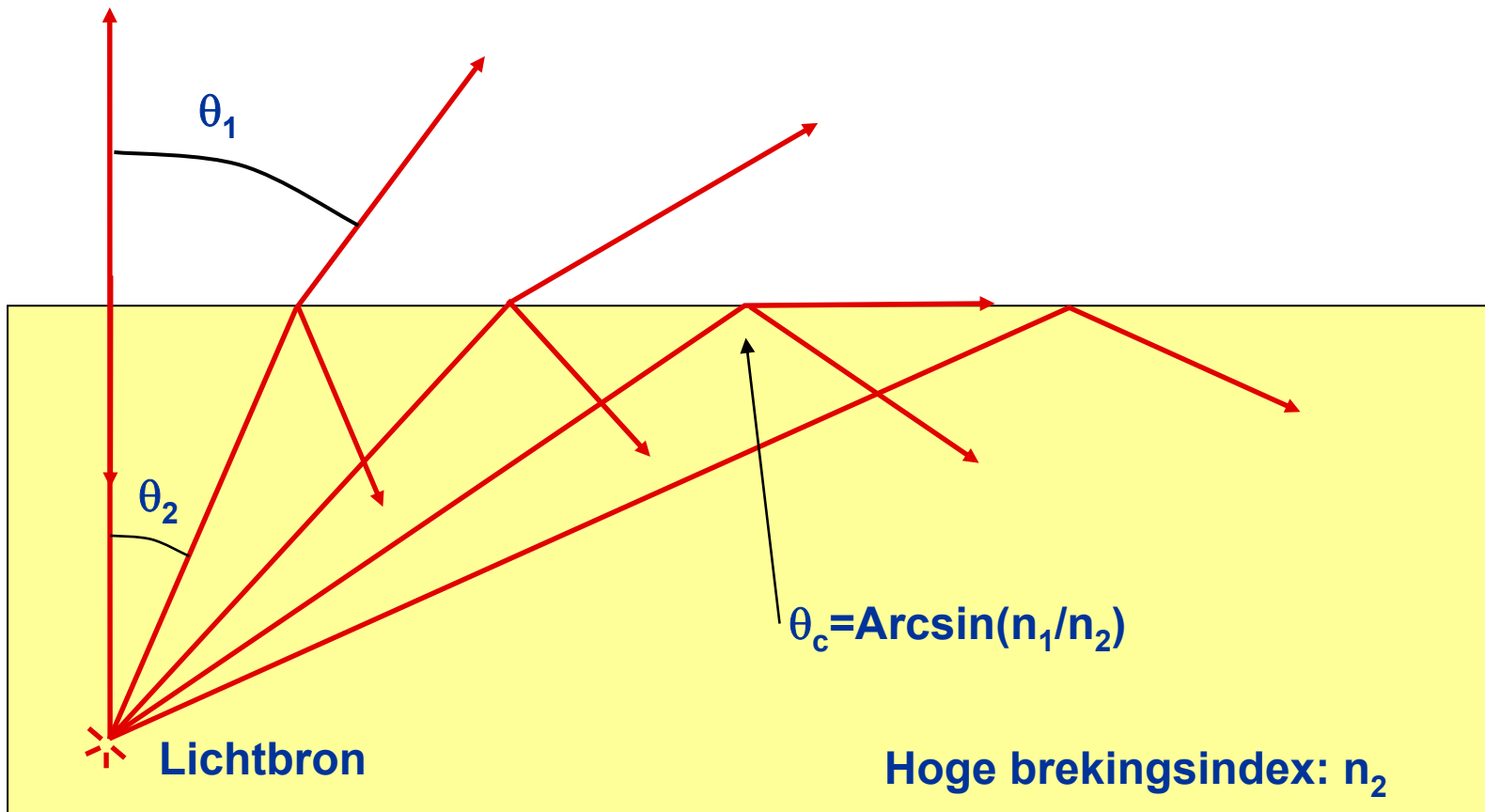


Golfgeleider- detectiemethode

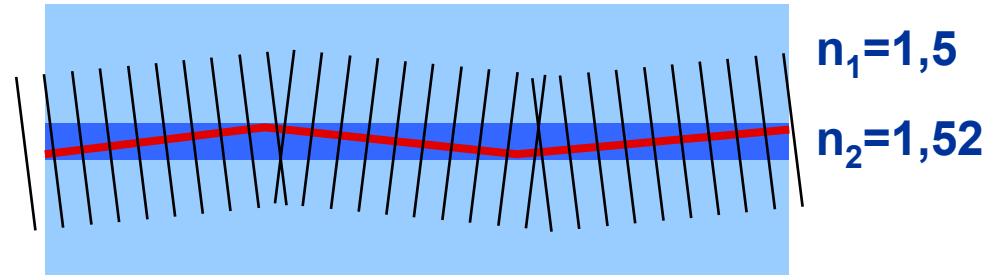
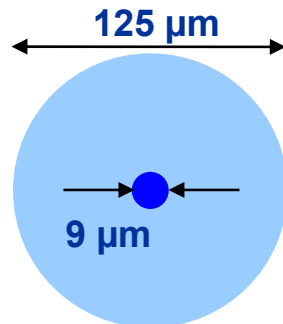
Totale interne reflectie

$$n_2 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2$$

Lage brekingsindex: n_1



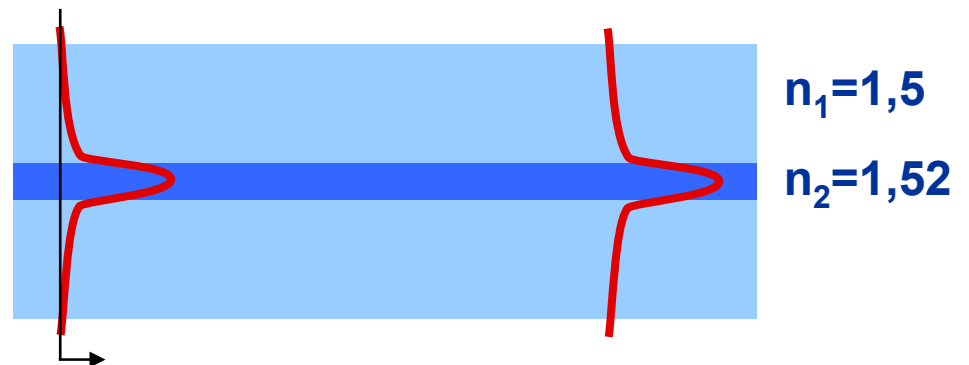
Optische glasvezel : straaltheorie



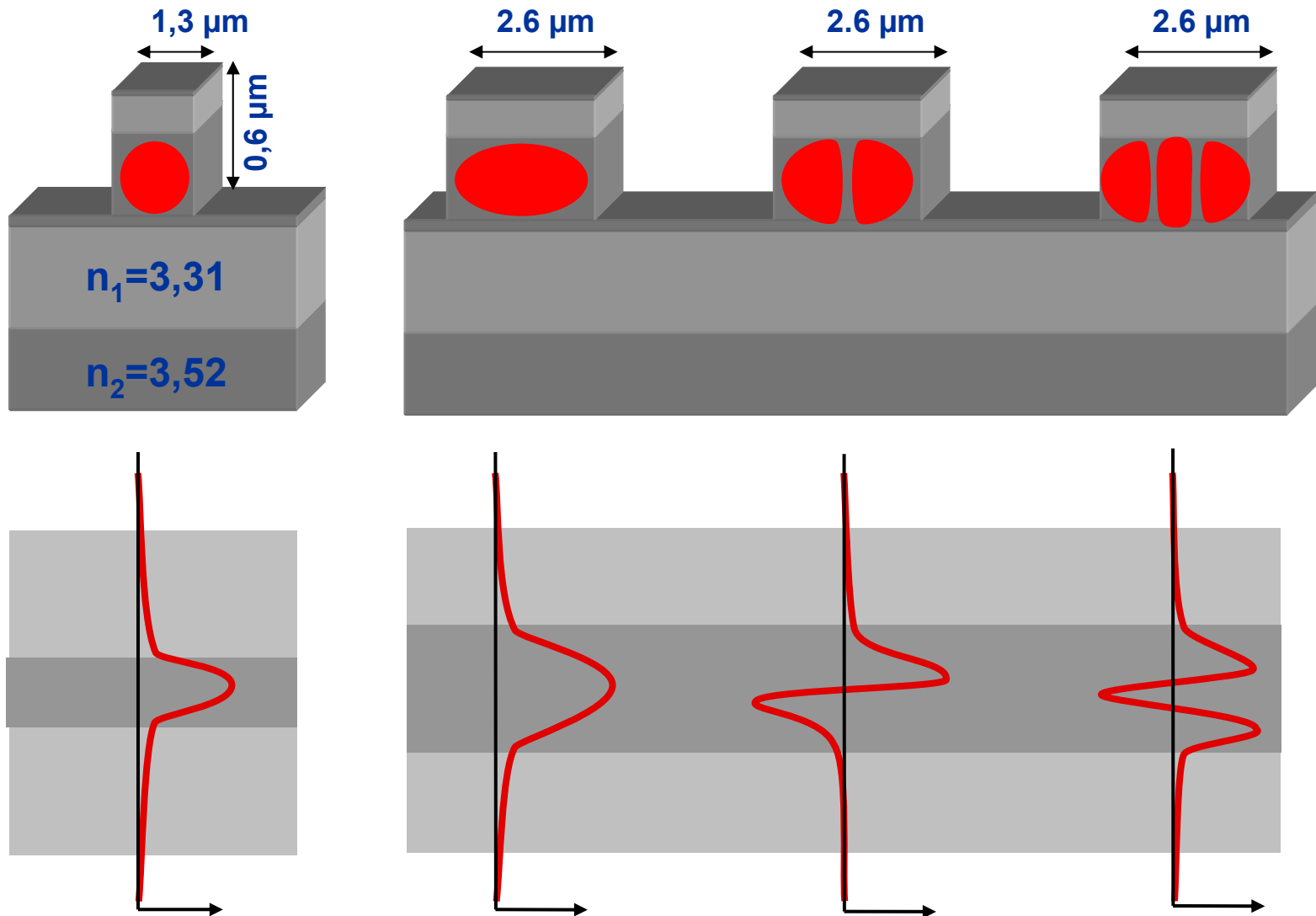
Optische glasvezel : golftheorie

1. Licht is geen straal
2. Interferentie

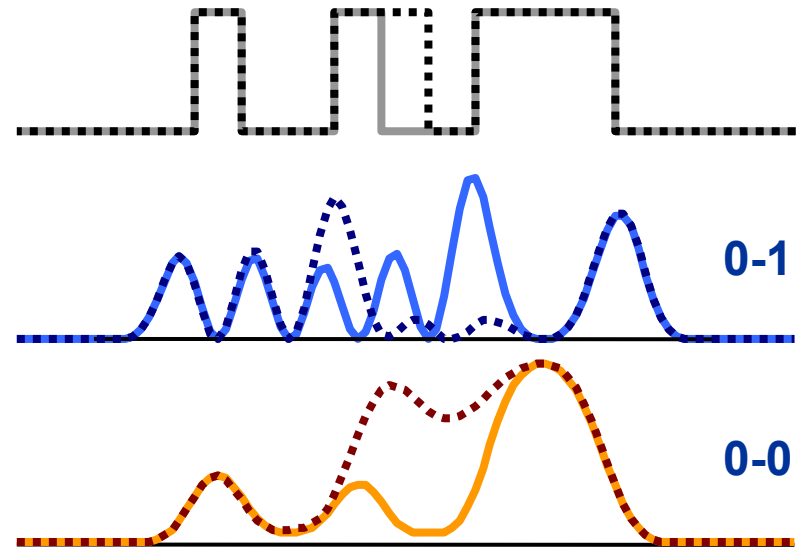
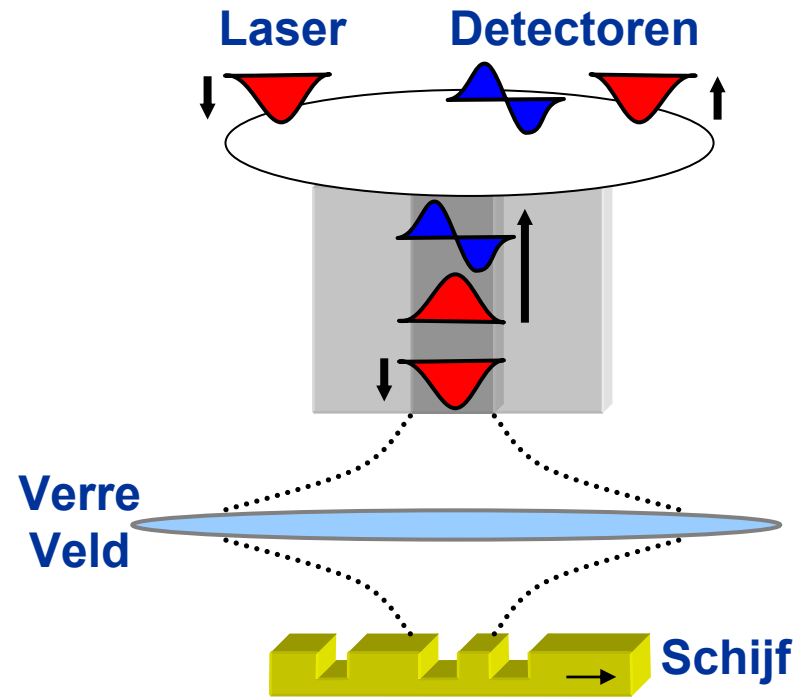
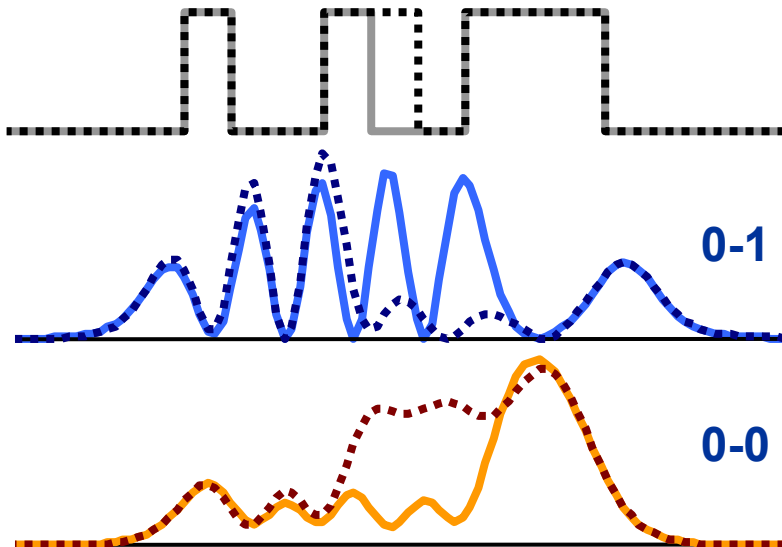
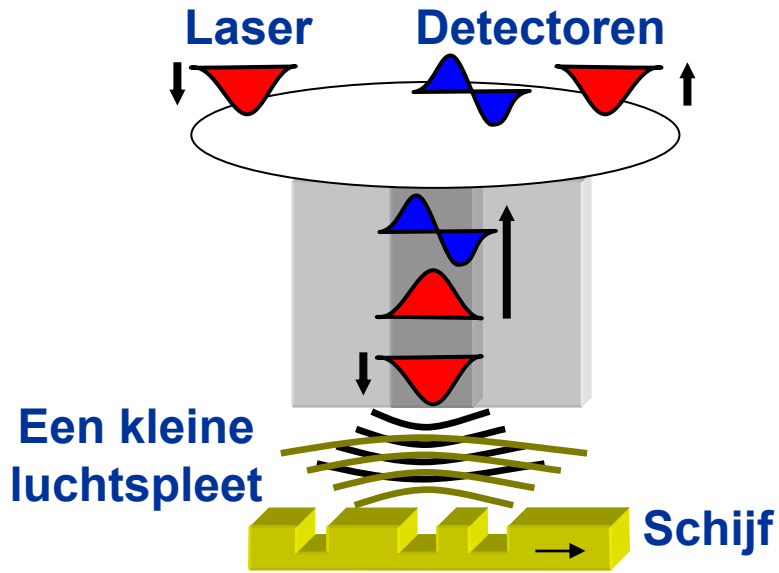
Discrete eigenmode



Golfgeleider op een chip

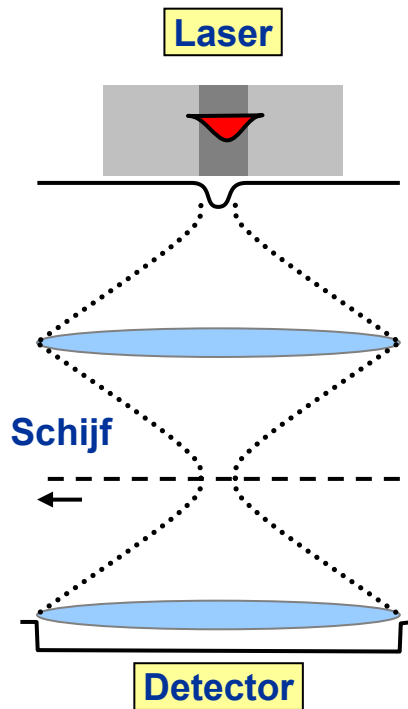


Detectiemethode

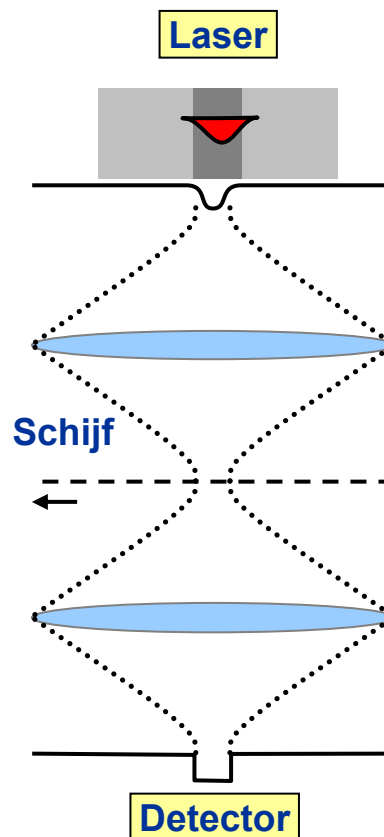


Vergelijking tussen drie systemen

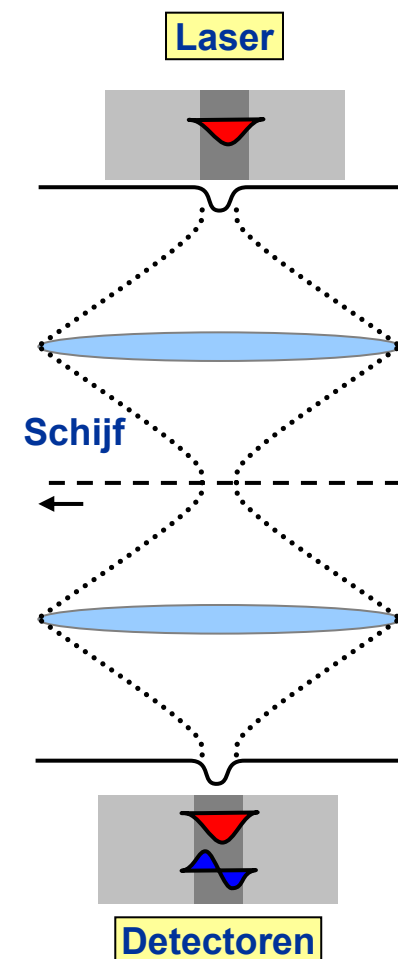
CD – DVD - BD



Confocale
microscop



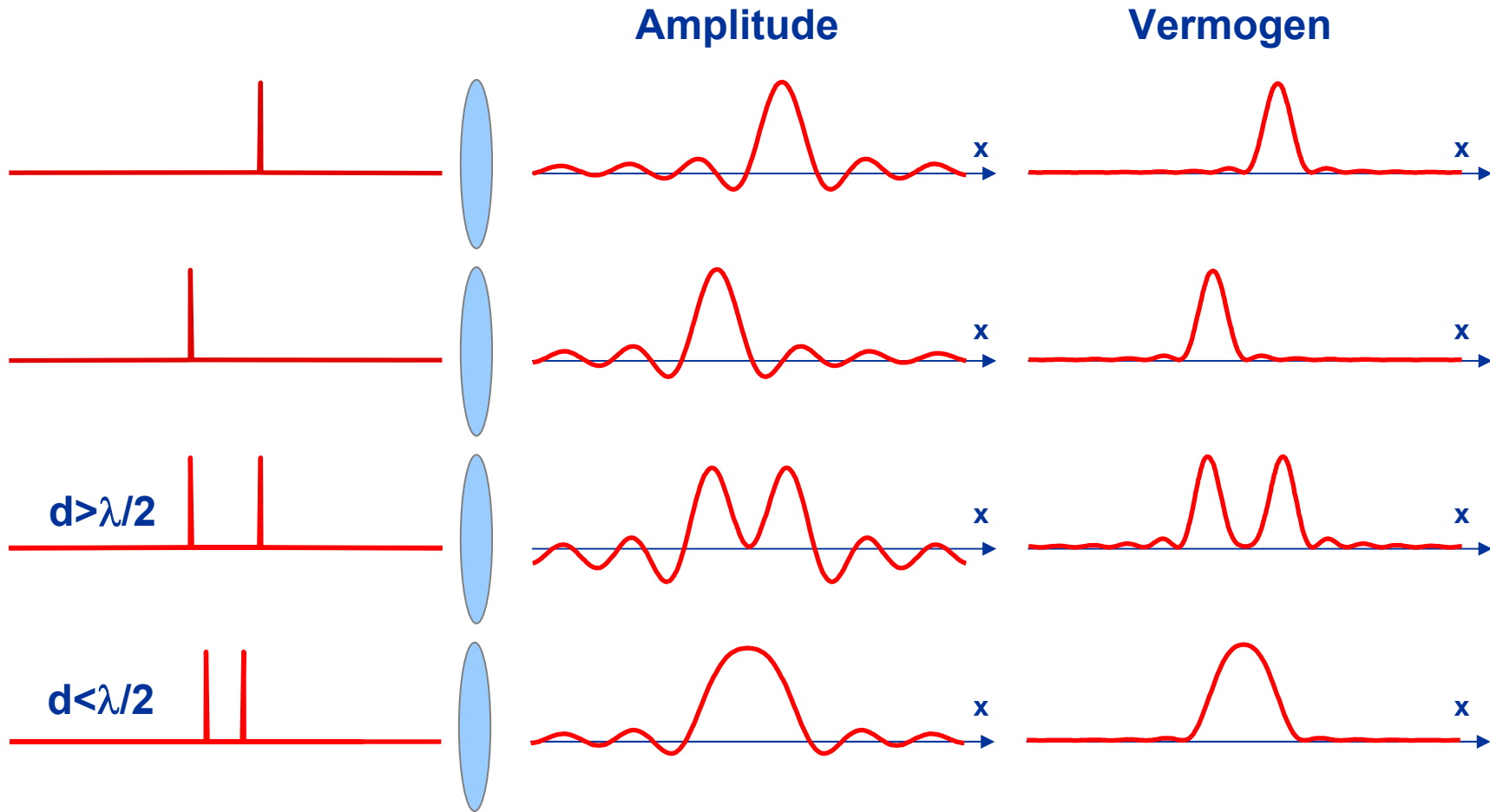
Golfgeleider-
detectiemethode





Resolutie

Puntspreidingsfunctie

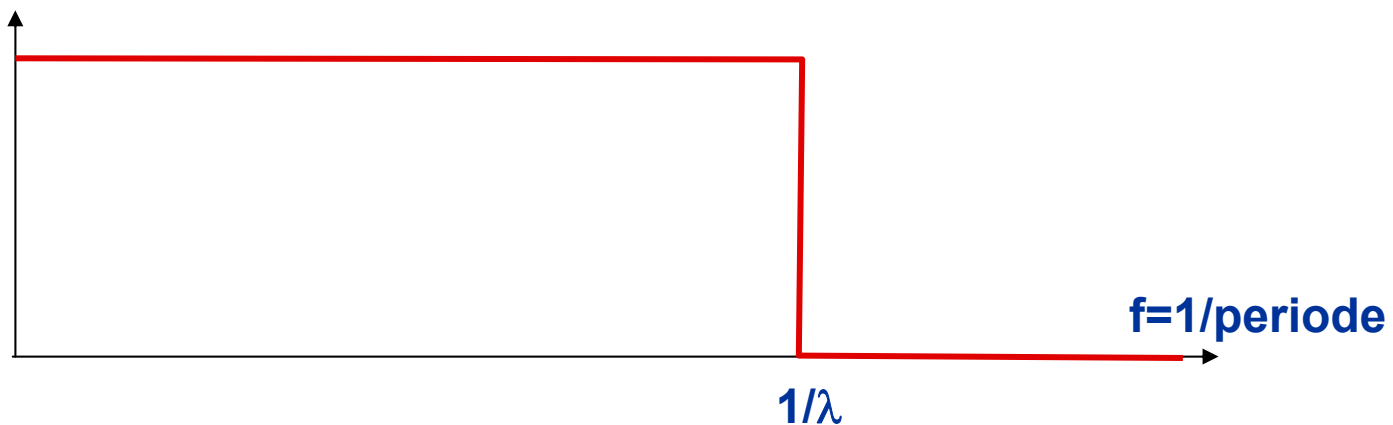
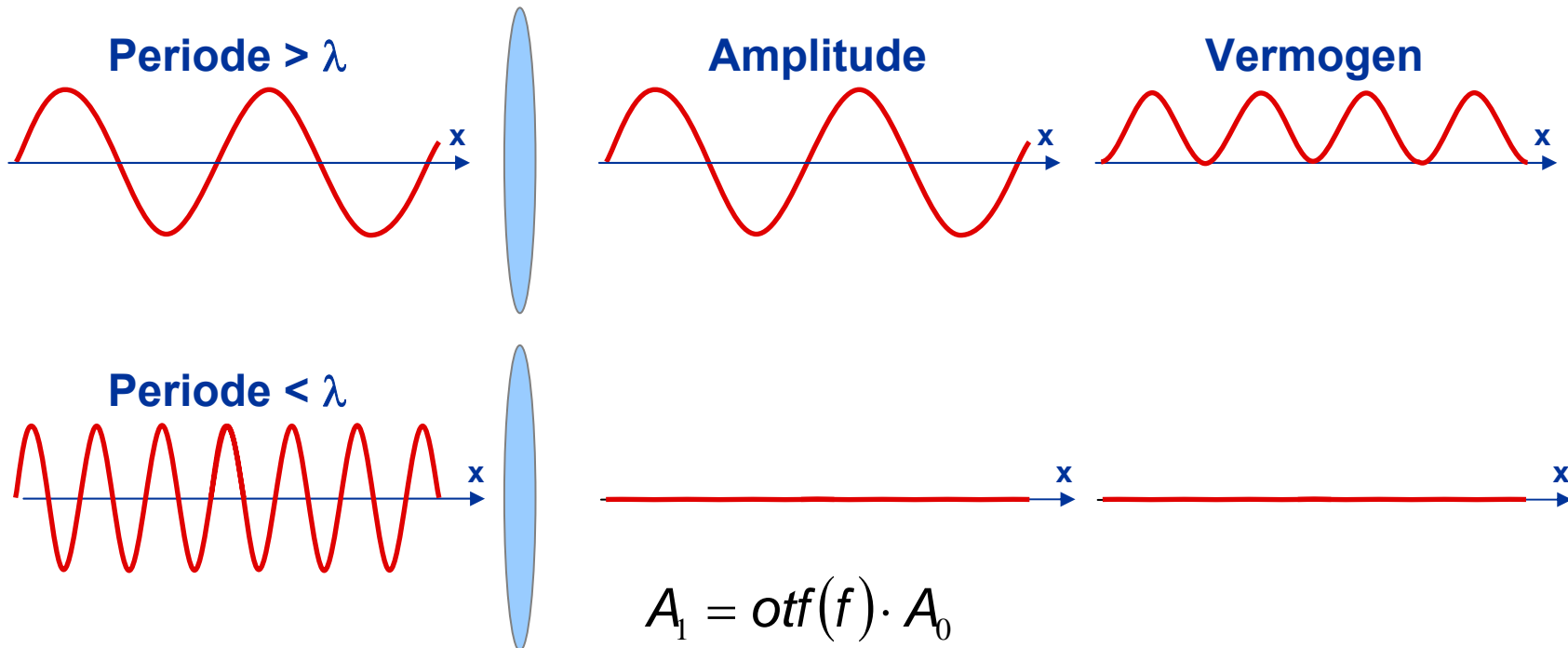


$$\psi_1 = \text{psf}_{\text{lens}} \otimes \psi_0$$

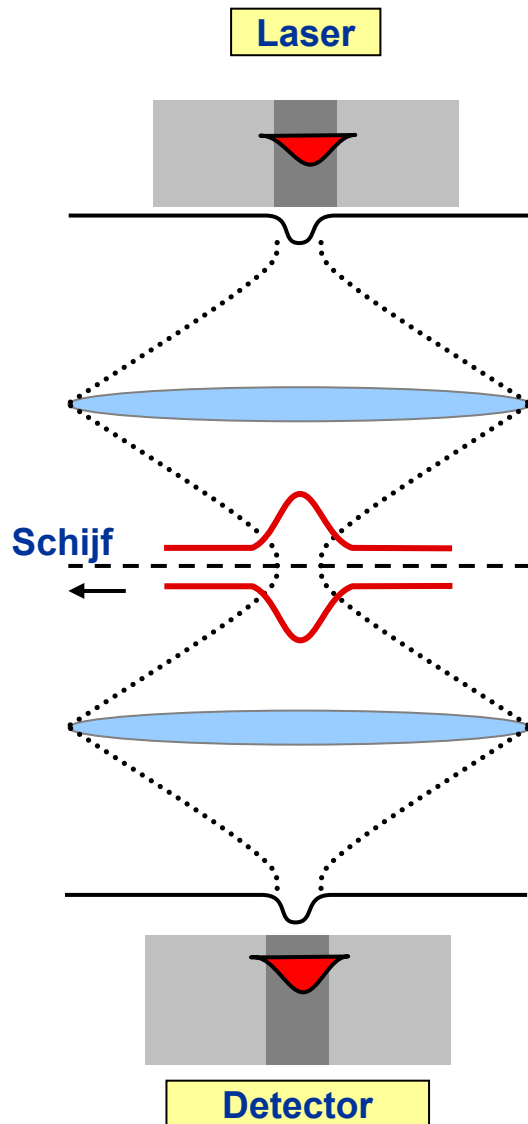
$$\psi_1(x) = \int \text{psf}_{\text{lens}}(x-u)\psi_0(u)du$$

$$P = |\text{psf}_{\text{lens}} \otimes r|^2$$

Optische overdrachtsfunctie



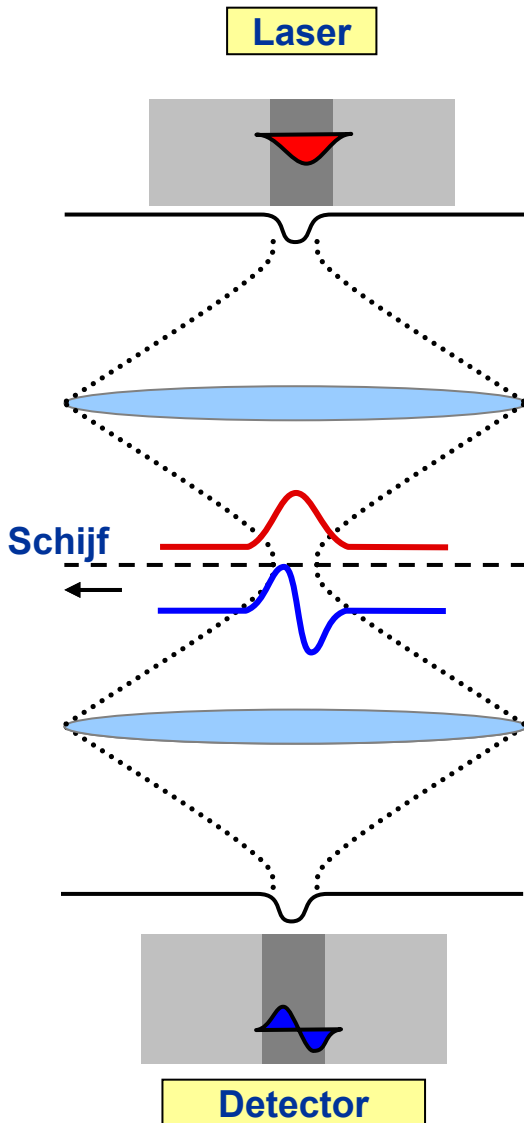
Golfgeleider-detectiemethode



- De golfgeleider-detectiemethode omvat twee lenssystemen.
- Veronderstel een klein puntje op de schijf.
- Dit wordt belicht met de psf van lens 1.
- Op dezelfde manier wordt de detectiegolfgeleidermode enkel aangeslagen door licht komende van een kleine regio op de schijf.
- De totale psf is het product van de belichting-psf en de detectie-psf.

$$\begin{aligned}
 P &= \left| \left[(psf_{in} \otimes mode_{in}) \cdot (psf_{uit} \otimes mode_{uit}) \right] \otimes r \right|^2 \\
 &= \left| psf_{totaal} \otimes r \right|^2
 \end{aligned}$$

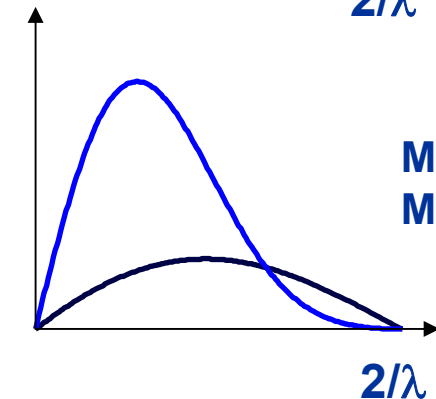
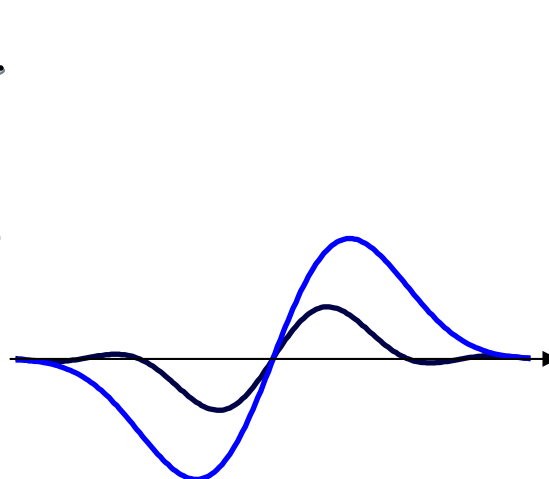
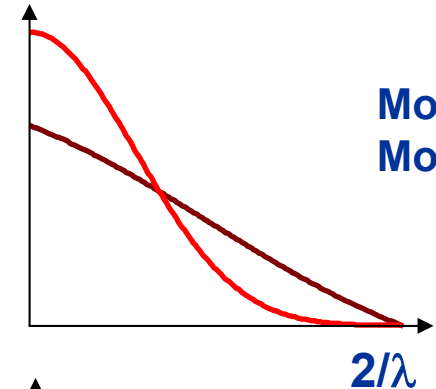
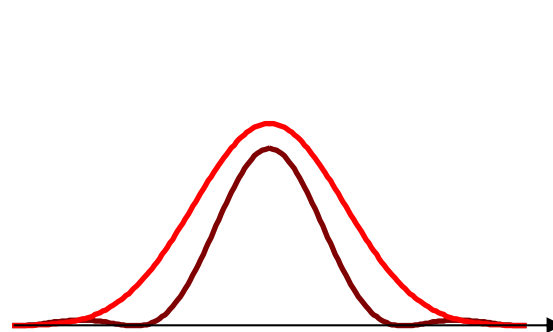
Golfgeleider-detectiemethode



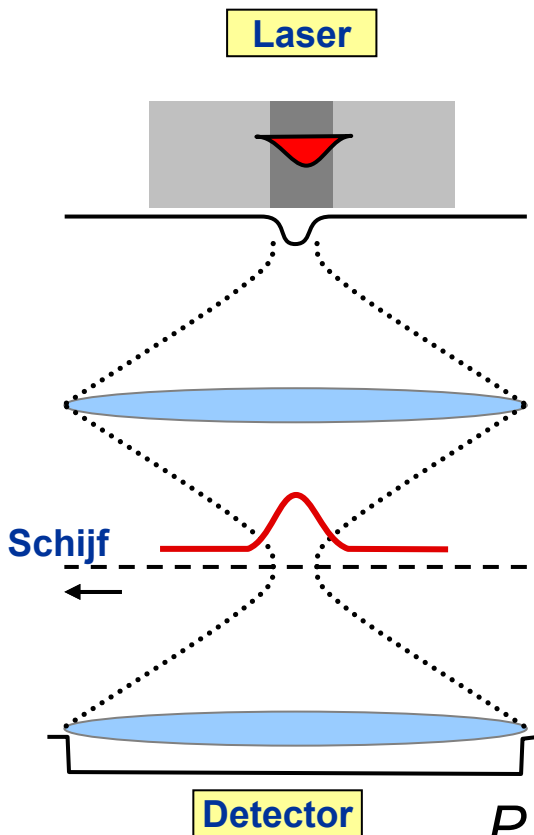
$$P = |psf_{tot} \otimes r|^2 = \left| \int otf_{tot}(f) F[r](f) e^{j2\pi x f} df \right|^2$$

psf

otf



Conventionele uitleesmethode



- De conventionele uitleesmethode heeft dezelfde belichtings-psf.
- Aan de detectiezijde is er een grote detector.
- Het resultaat is een optelling van het vermogen en niet van de amplitude.
- De eigenschappen van dit systeem kunnen niet in een eenvoudige puntspreidingsfunctie of overdrachtsfunctie worden uitgedrukt.

$$P = \int \left| \left\{ [psf_{in}(u) \otimes mode_{in}(u)] \cdot r(u-x) \right\} \otimes psf_{uit}(u) \right|^2 du$$

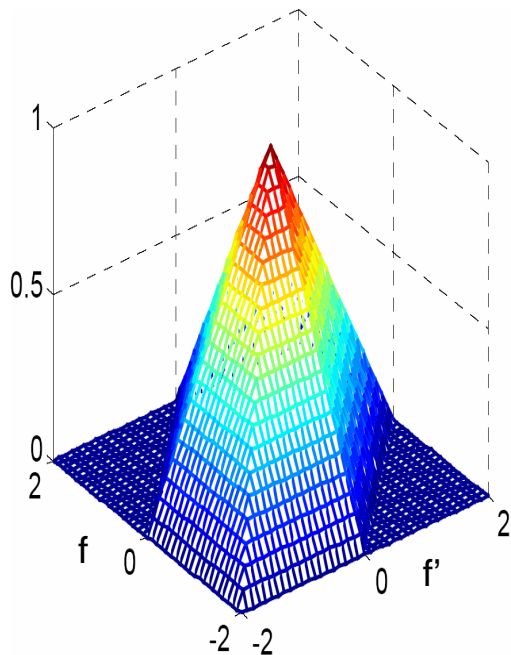
$$P = \iint psf_{tot}(u, u') \cdot r(u-x) r(u'-x) du du'$$

$$P = \left| \int psf_{coh}(u) \cdot r(u-x) du \right|^2 \quad \uparrow \quad P = \int psf_{incoh}(u) \cdot r^2(u-x) du$$

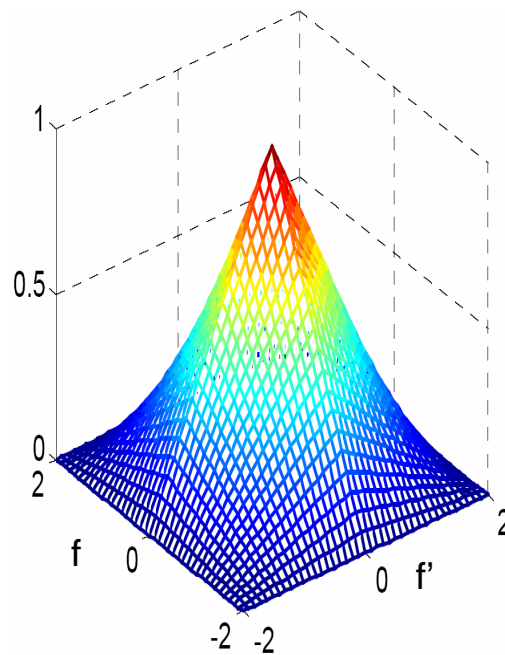
Partieel coherente overdrachtsfunctie

Analoog kan er ook een partieel coherente overdrachtsfunctie worden berekend:

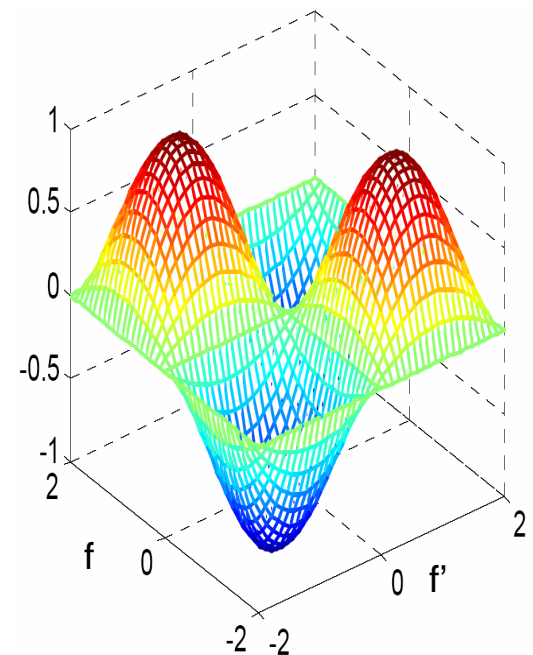
$$P(x_s) = \int OTF(f, f') F[r](f) F^*[r](f') e^{j2\pi x_s(f-f')} df df'$$



Uitgebreide detector



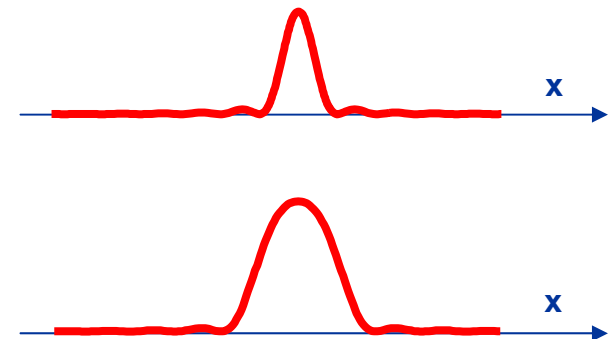
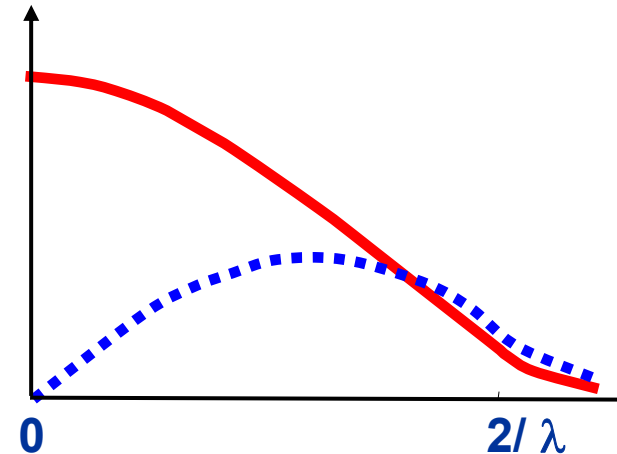
0^{de} orde mode of confocaal



1st orde mode

Grenzen resolutie

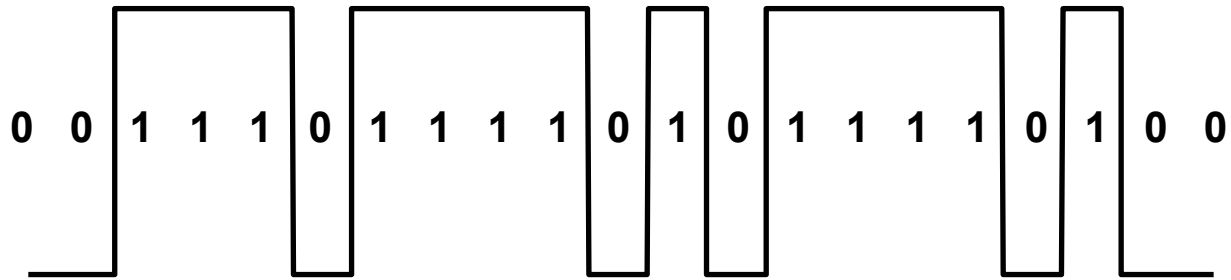
- Voor alle detectiemethodes geldt dat details met een spatiale periode kleiner dan $2/\lambda$ niet kunnen worden gedetecteerd.
- In het nabije veld is dit wél mogelijk, maar dan enkel als de luchtspleet tussen de golfgeleider kleiner is dan de golflengte.
- De werkelijke resolutie wordt bepaald door de ruis.
- Bij voorkennis van het voorwerp kan men bepaalde parameters berekenen
- Dit wordt sterk door ruis beïnvloedt



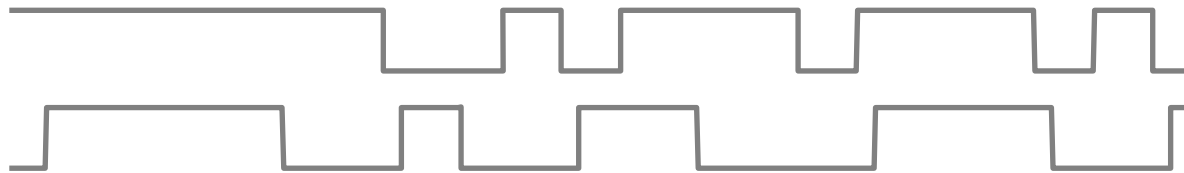


Extractie bitpatronen

Bitpatronen en detectiesignalen

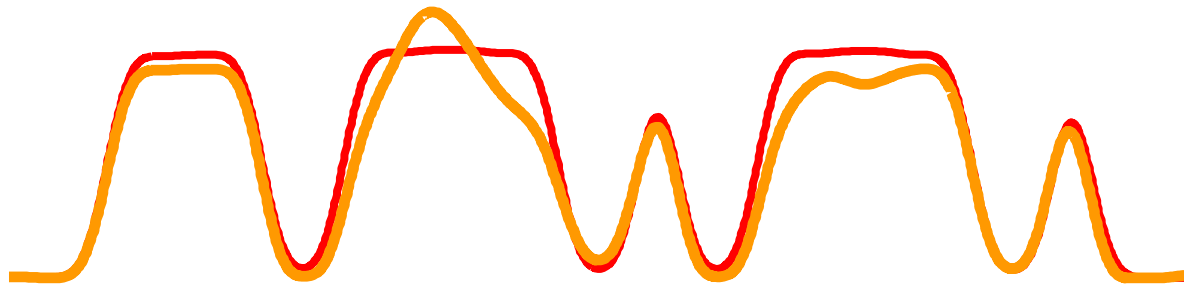


Hoofdspoor

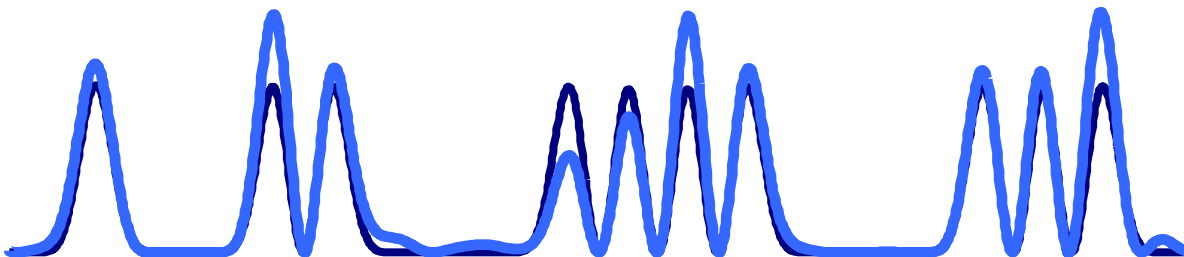


Linker zijspoor

Rechter zijspoor



0^{de} orde signaal



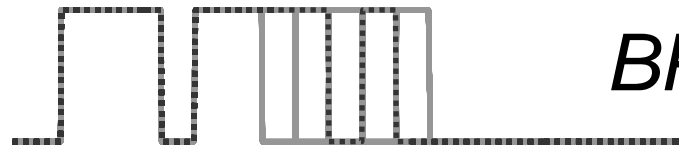
1^{ste} orde signaal

Het correcte bitpatroon vinden

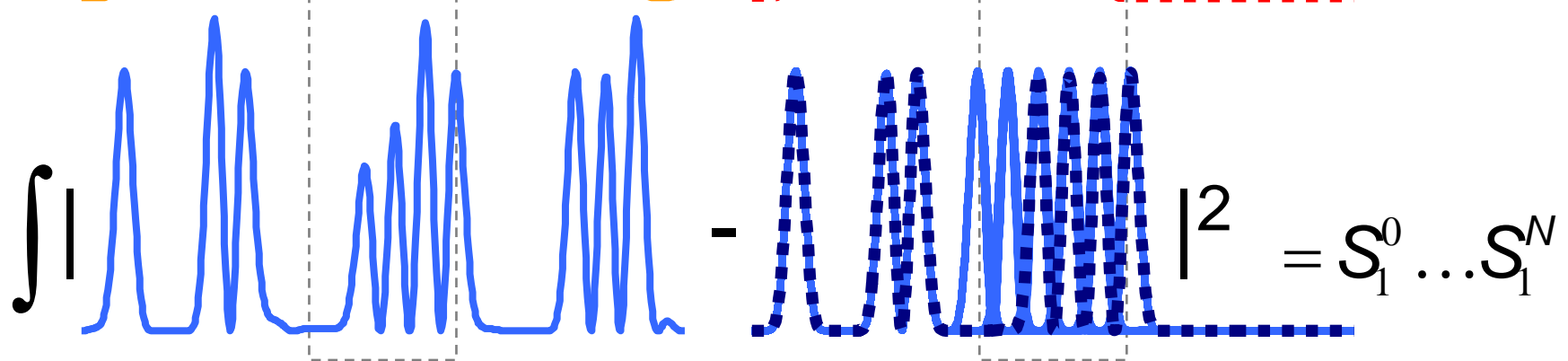
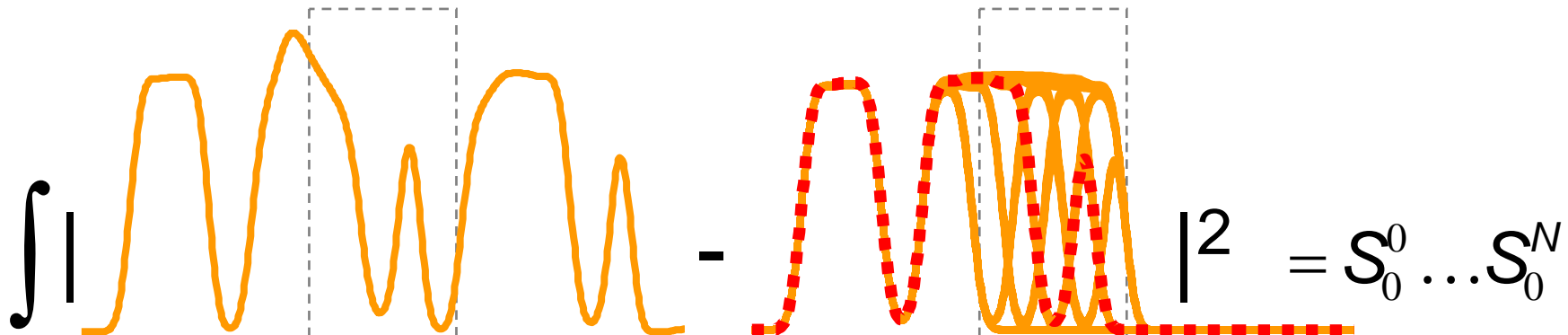
Actueel bitpatroon

2^N kandidaat bitpatronen

?



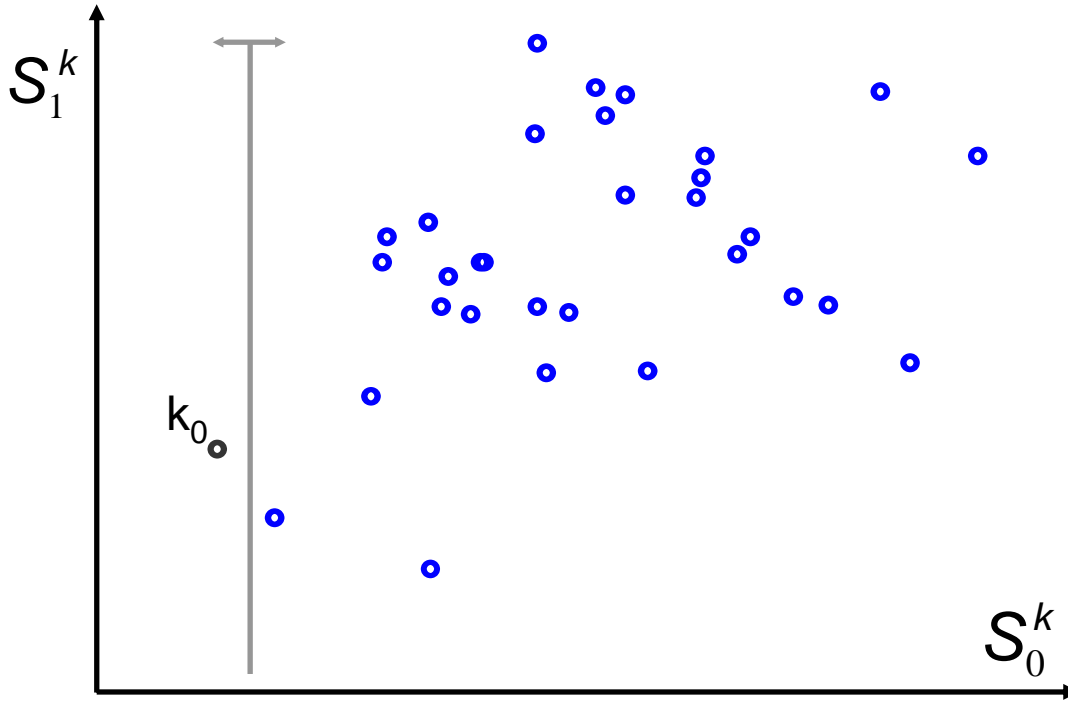
$BP_0 \dots BP_N$



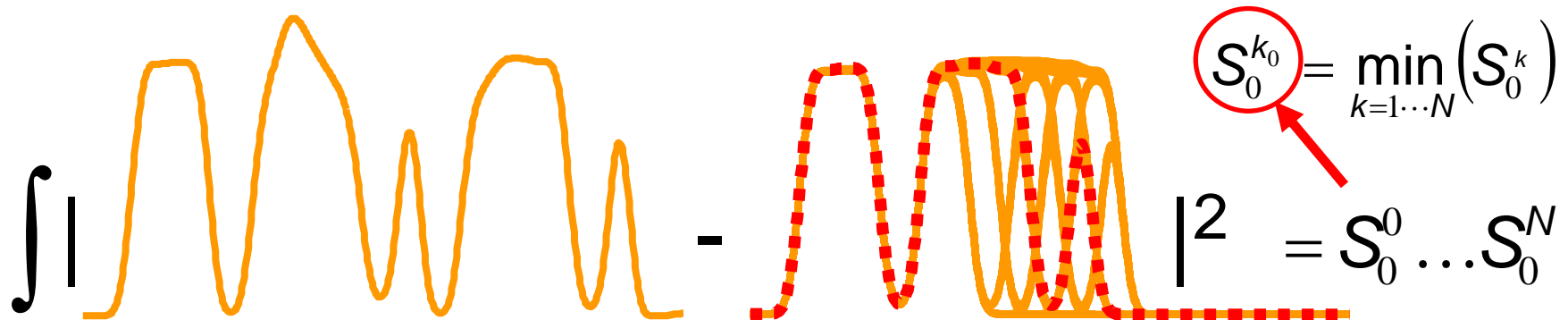
Vervormde signalen

2×2^N berekende signalen

Nulde orde mode



Koppels (S_0^k, S_1^k)
uitgezet in het vlak

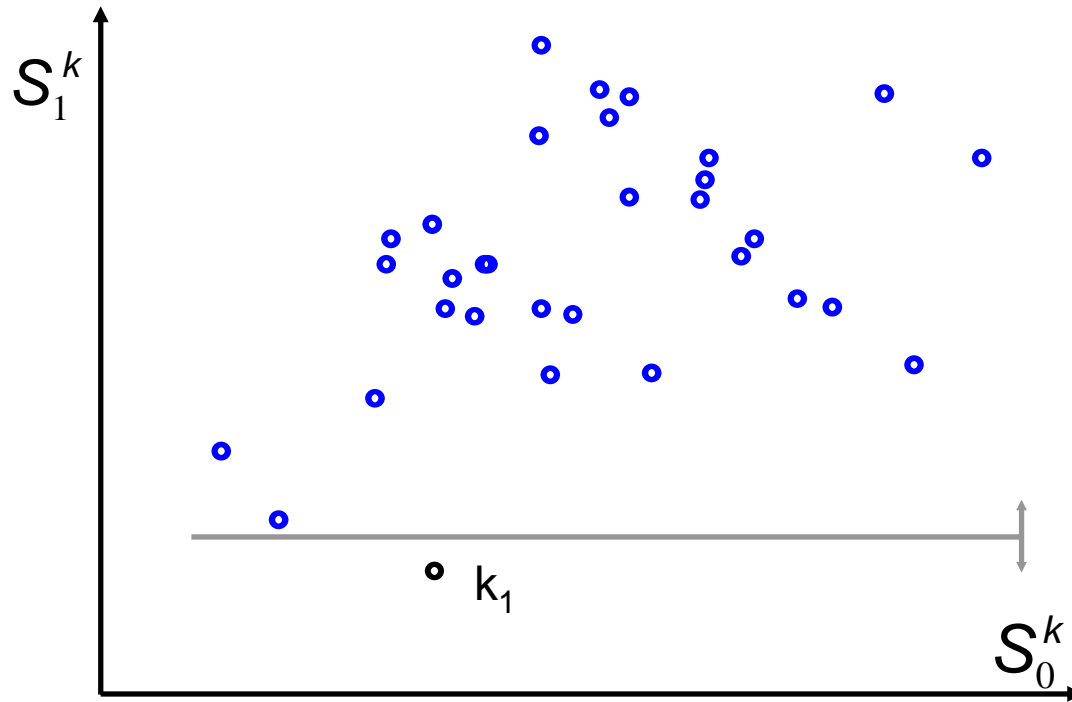


A graph showing a complex oscillating function. A red dashed line traces the path of the function, highlighting a specific minimum value. A red circle highlights the label $S_0^{k_0}$ in the equation below, with a red arrow pointing to the minimum on the graph.

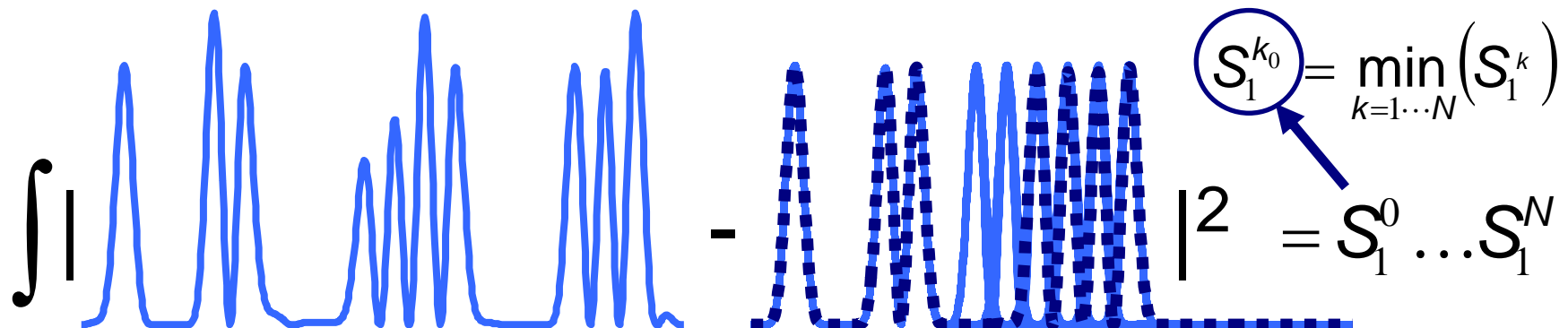
$$\int | \dots - \dots |^2 = S_0^0 \dots S_0^N$$

$S_0^{k_0} = \min_{k=1 \dots N} (S_0^k)$

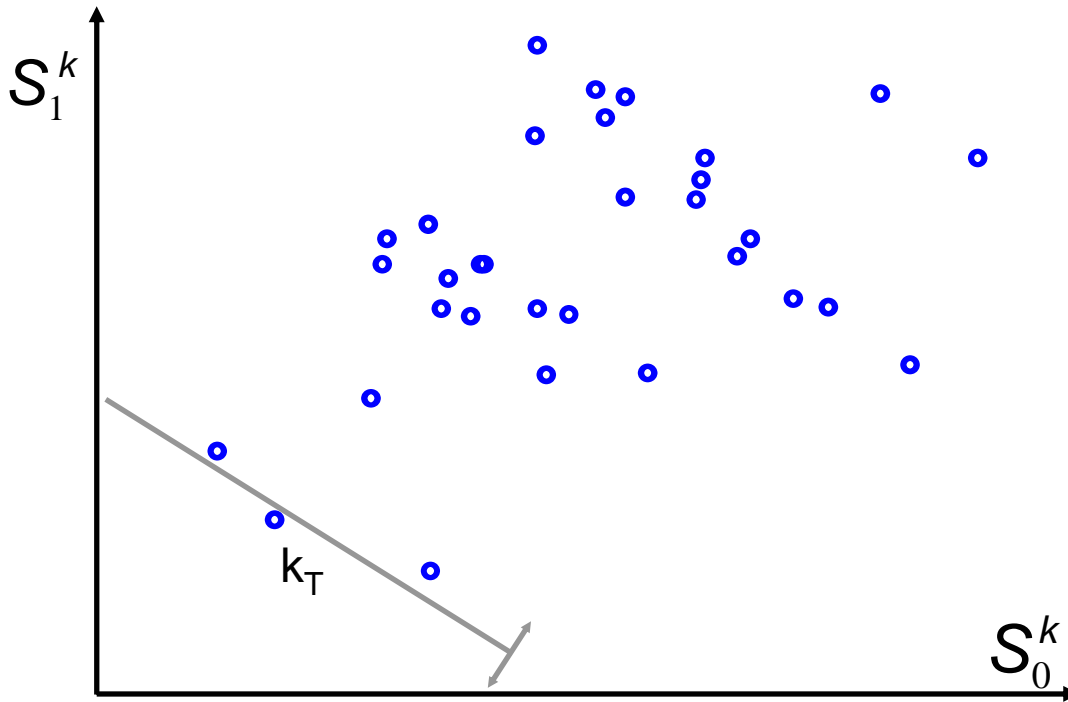
Eerste orde mode



Koppels (S_0^k, S_1^k)
uitgezet in het vlak



Eerste orde mode



Koppels (S_0^k, S_1^k)
uitgezet in het vlak

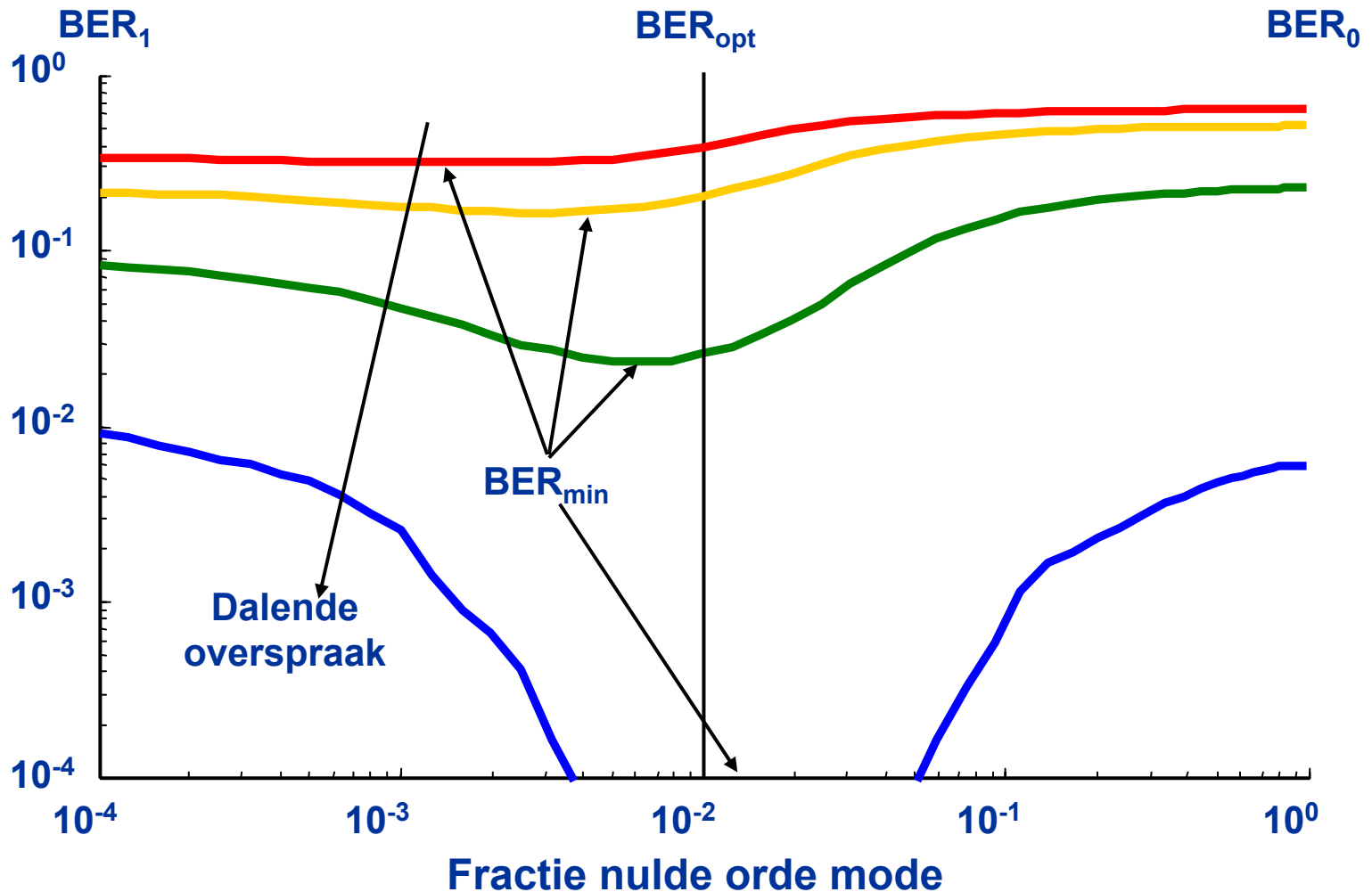
Lineaire combinatie geeft minimalisatie langs schuine rechte

$$(S_0^k, S_1^k) \rightarrow S_T^k = \beta_0 \cdot S_0^k + \beta_1 \cdot S_1^k \quad S_1^{k_0} = \min_{k=1 \dots N} (S_1^k)$$

Fractie nulde orde mode $\beta = \beta_0 / (\beta_0 + \beta_1)$

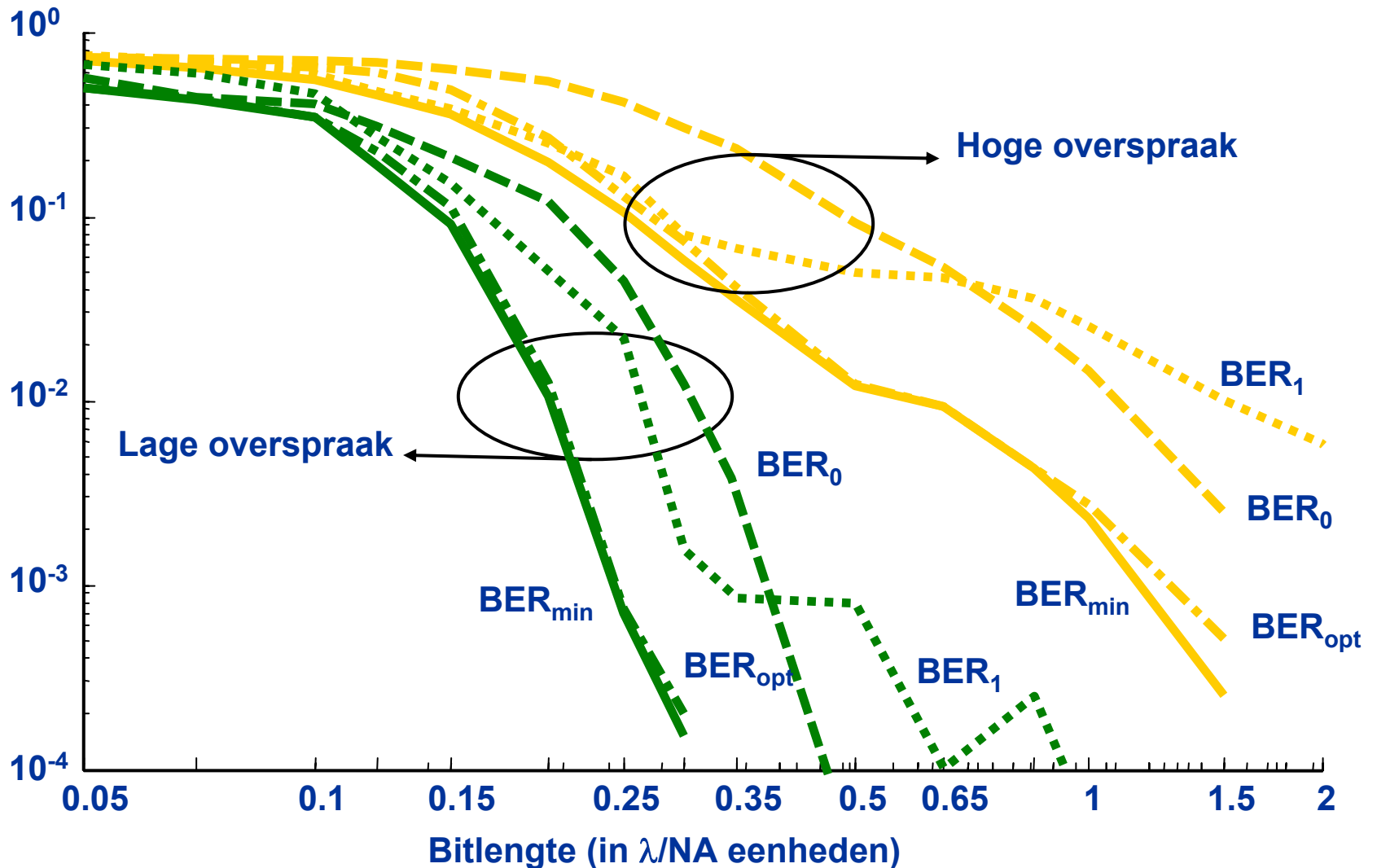
Extractie van het bitpatroon

Aantal bitfouten bij verschillende lineaire combinaties



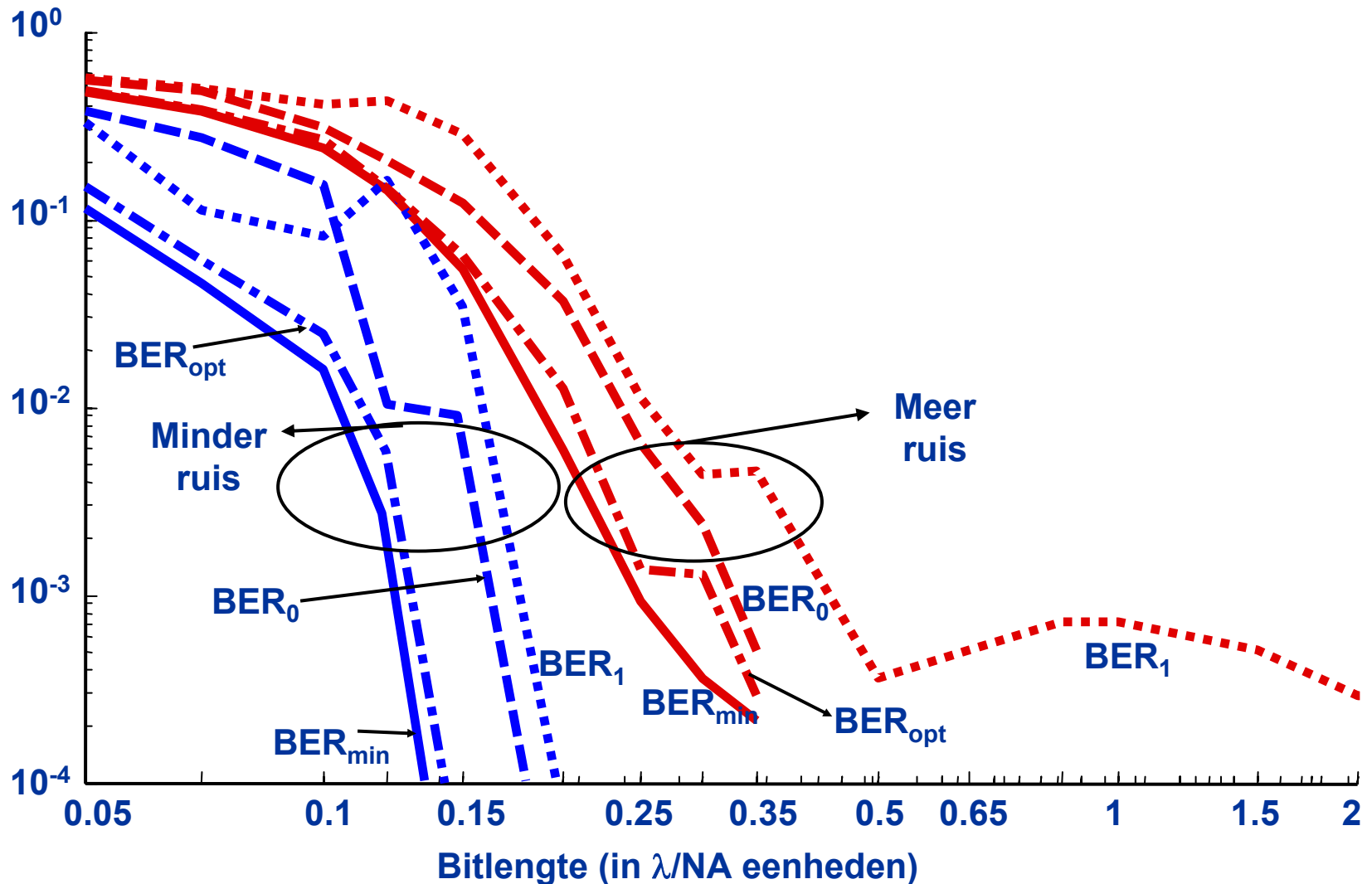
Overspraak en ISI

Aantal bitfouten bij verschillende minimale bitlengte



Opgetelde ruis

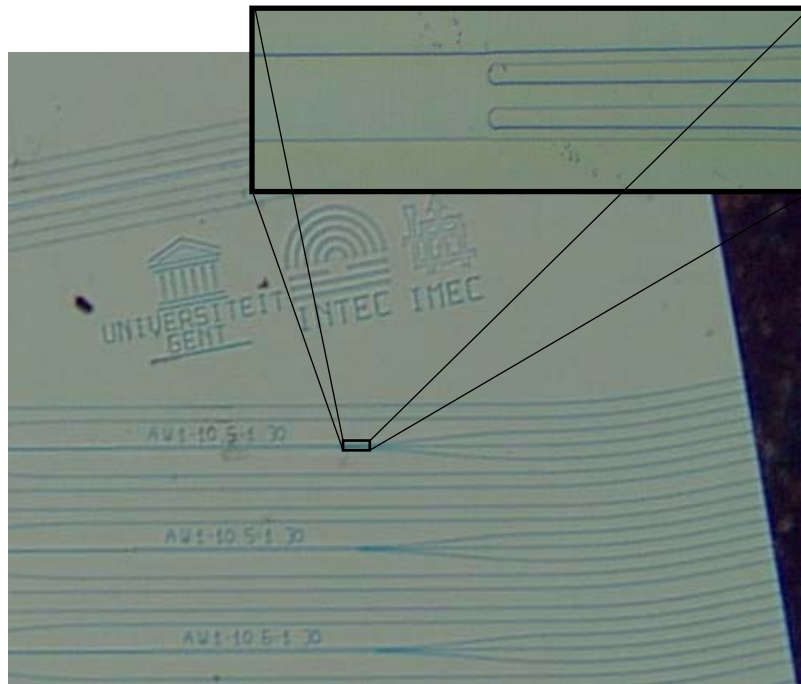
Aantal bitfouten bij verschillende minimale bitlengte





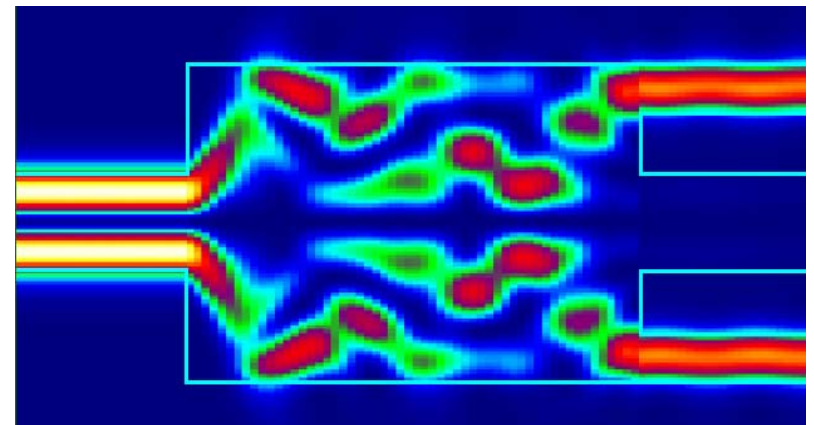
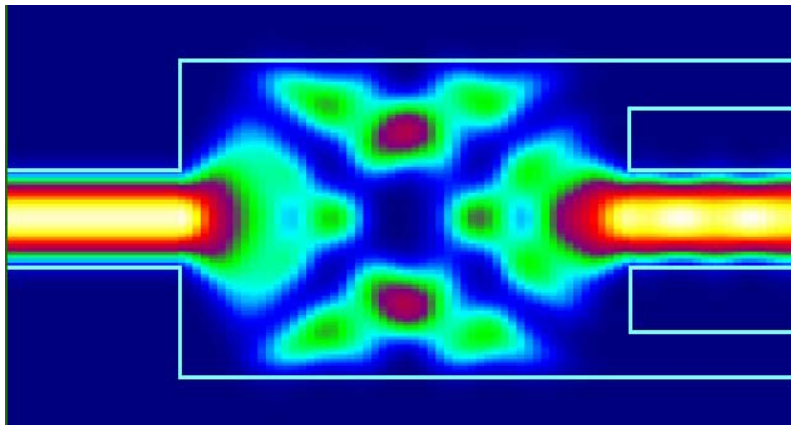
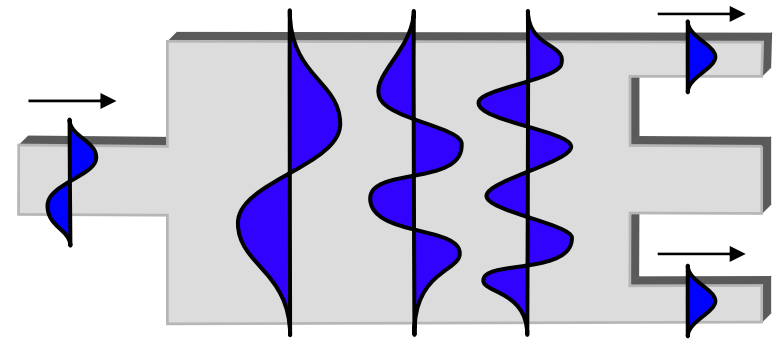
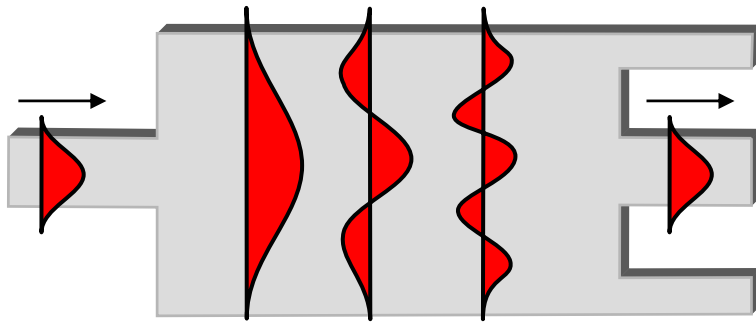
Opsplitsen Golfgeleidermodes

Photonisch geïntegreerd circuit



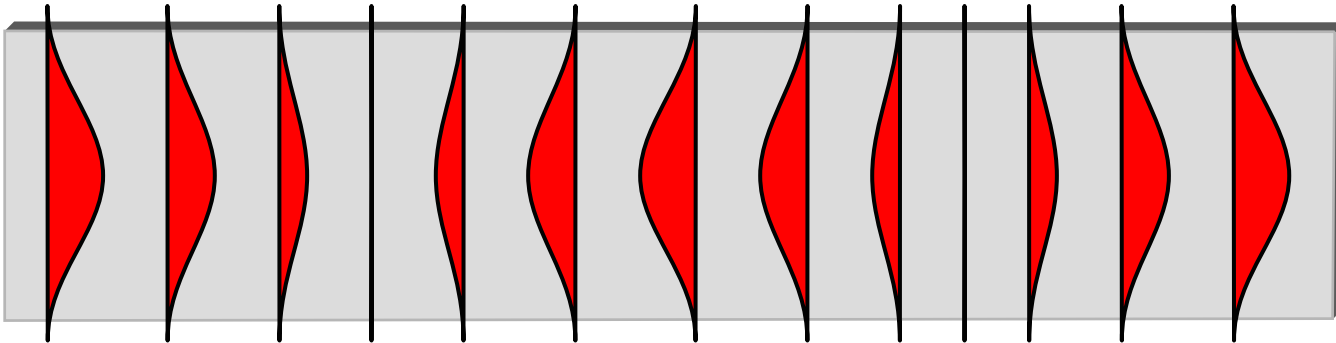
- Een gelaagde structuur van GaAs en AlGaAs
- Bovenop komt er een beschermlaag
- Doorheen een masker wordt een deel van deze beschermlaag bestraald met UV-licht en hierdoor uitgehard.
- Een deel van het materiaal komt bloot te liggen en kan worden weggeëtst.
- Uiteindelijk bekomt men een structuur met een reeks gekoppelde brede en smalle golfgeleiders.

Opsplitsen van golfgeleidermodes



Voorbeweging van een mode

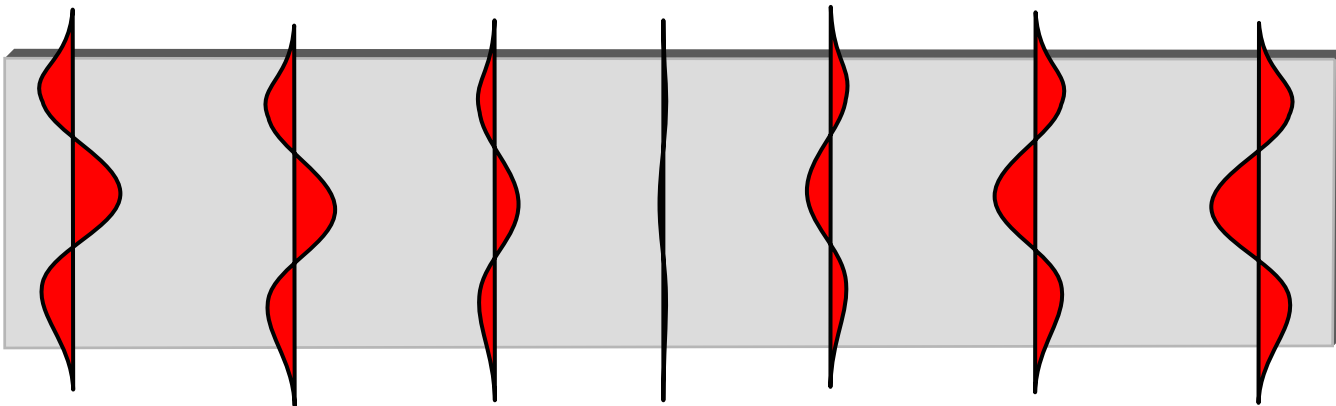
Een golfgeleidermode trilt heen en weer zoals een trommelvlies



Hoe hoger de orde van de mode hoe trager die draait

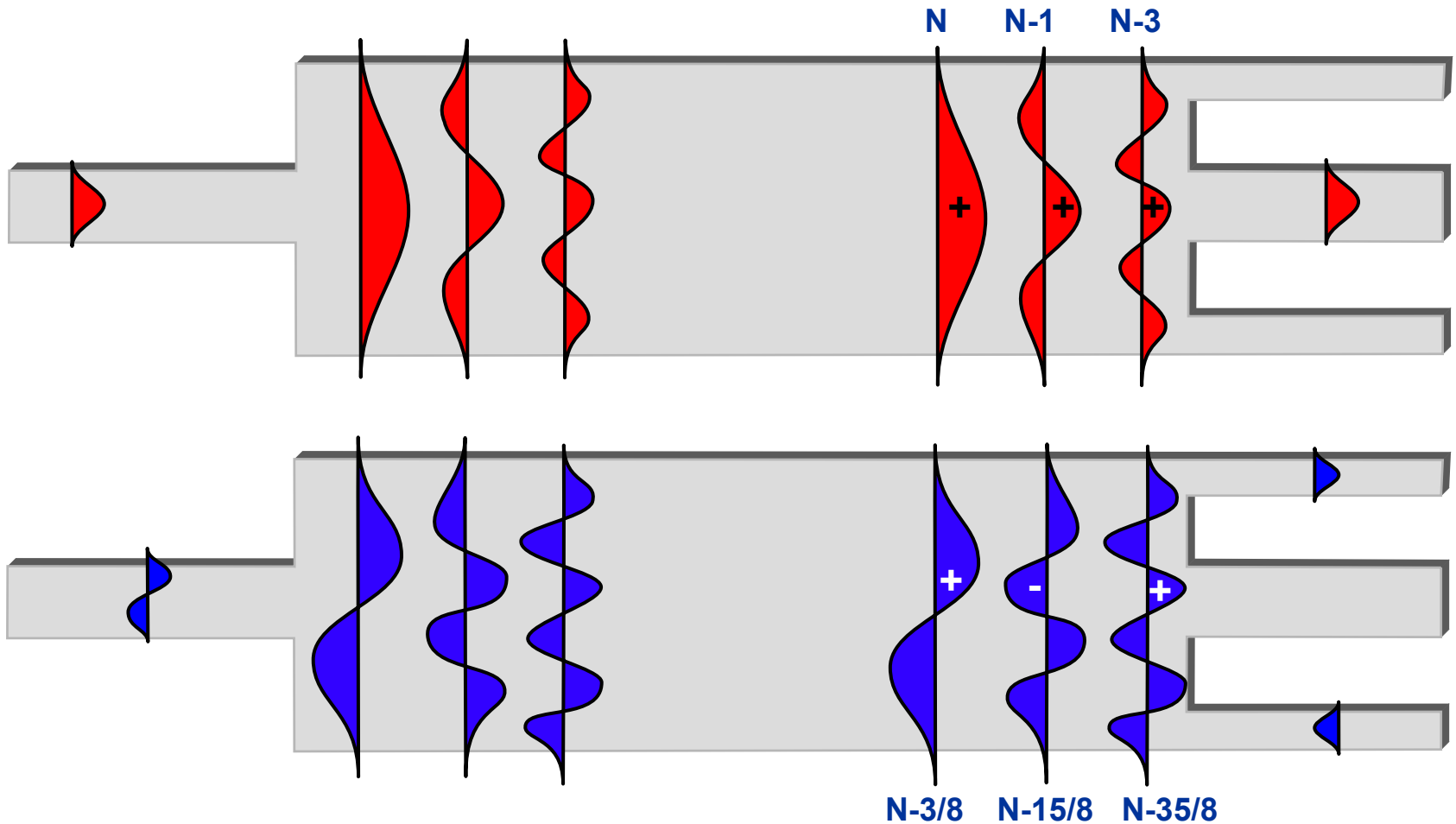
De grondmode wentelt N keer over de lengte L

Mode k wentelt $N - k \cdot (k + 2)$ keer over dezelfde lengte L



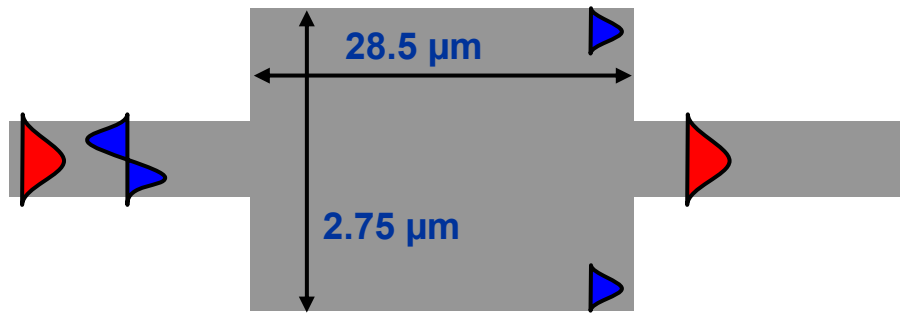
Fotonisch geïntegreerd circuit

Verskil tussen modes is een geheel aantal wentelingen

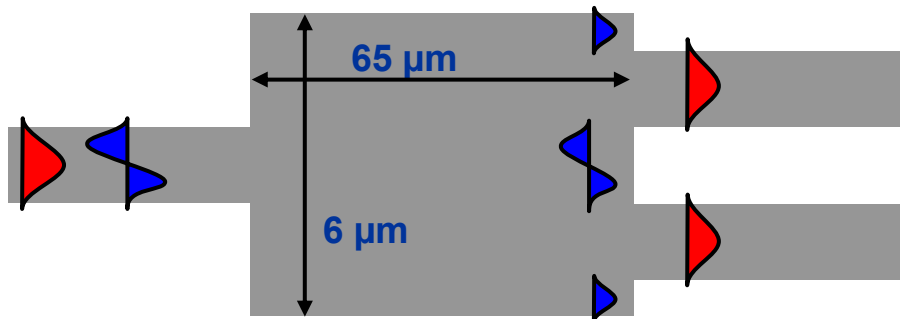


Verskil tussen modes is een half aantal wentelingen

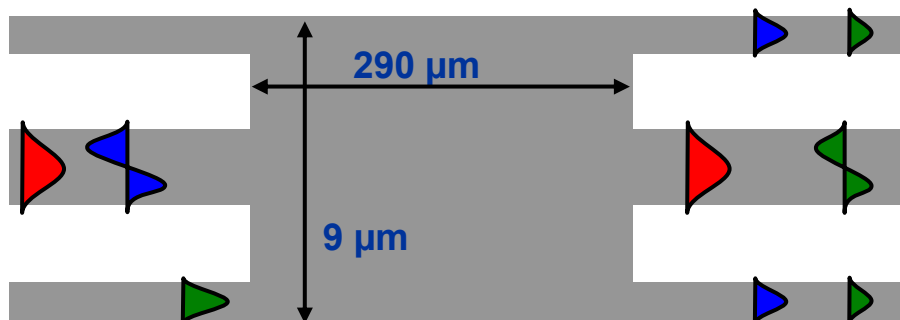
Golfgeleidercomponenten



Modestopper

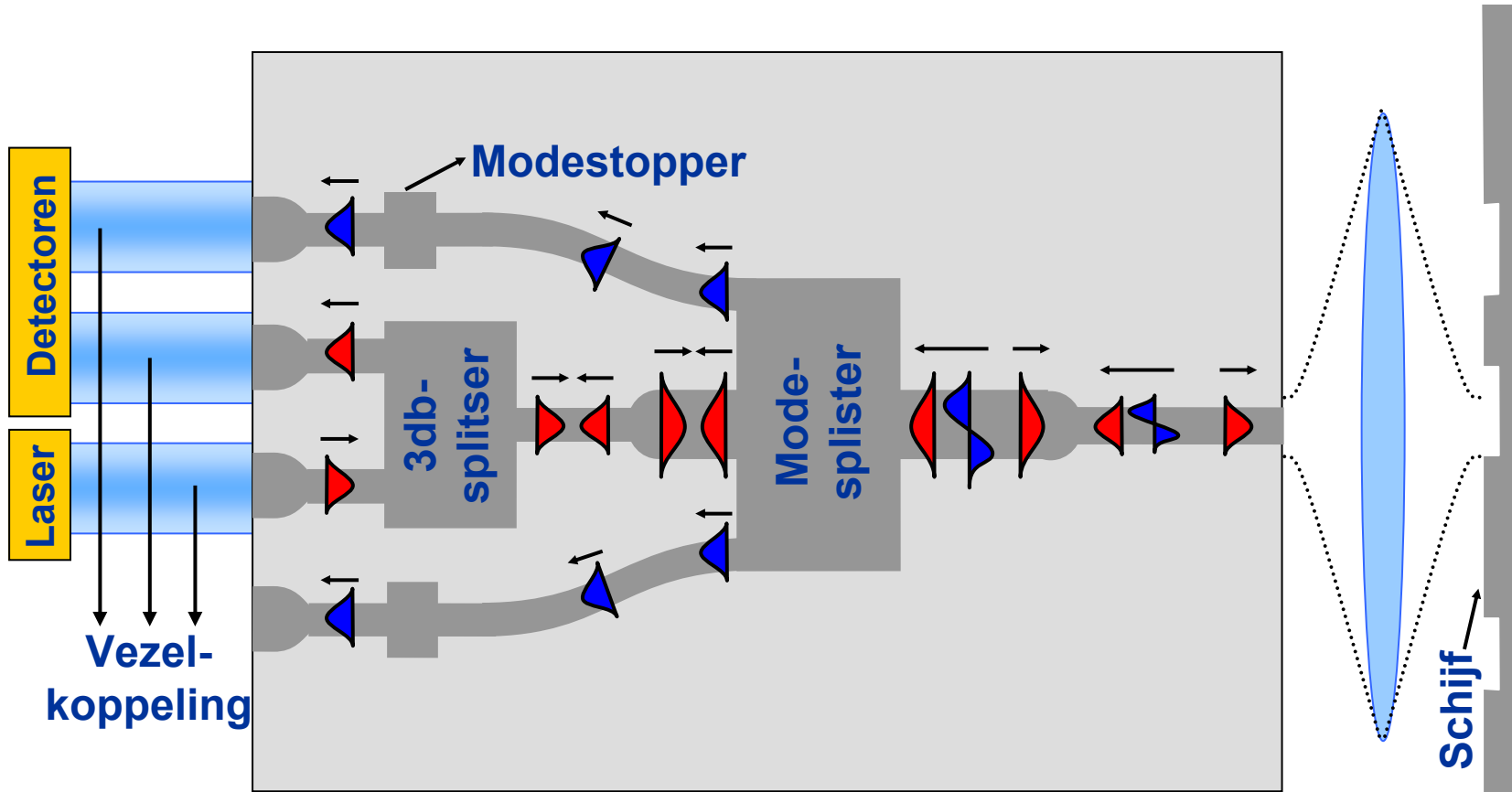


3dB-splitter

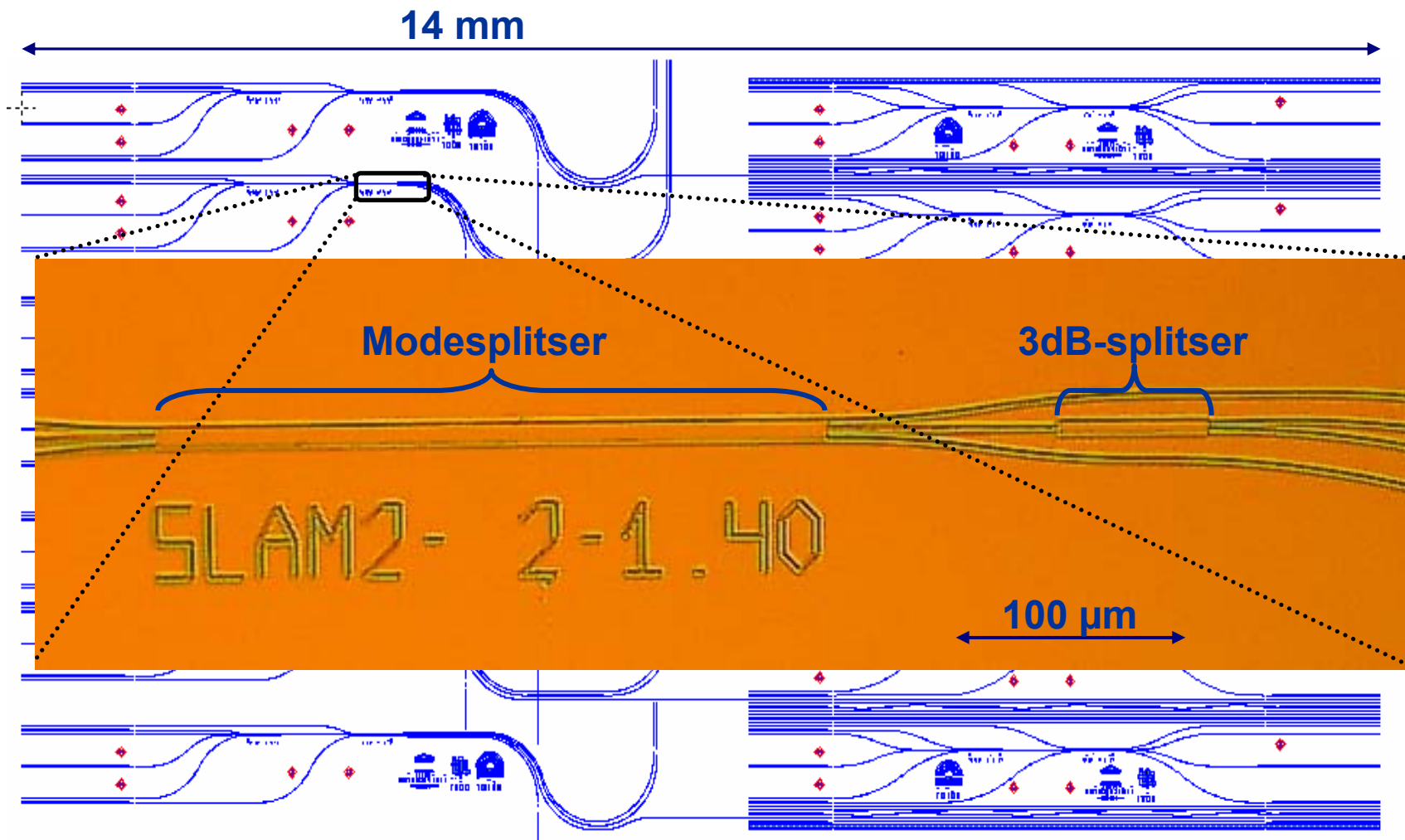


Modesplitter

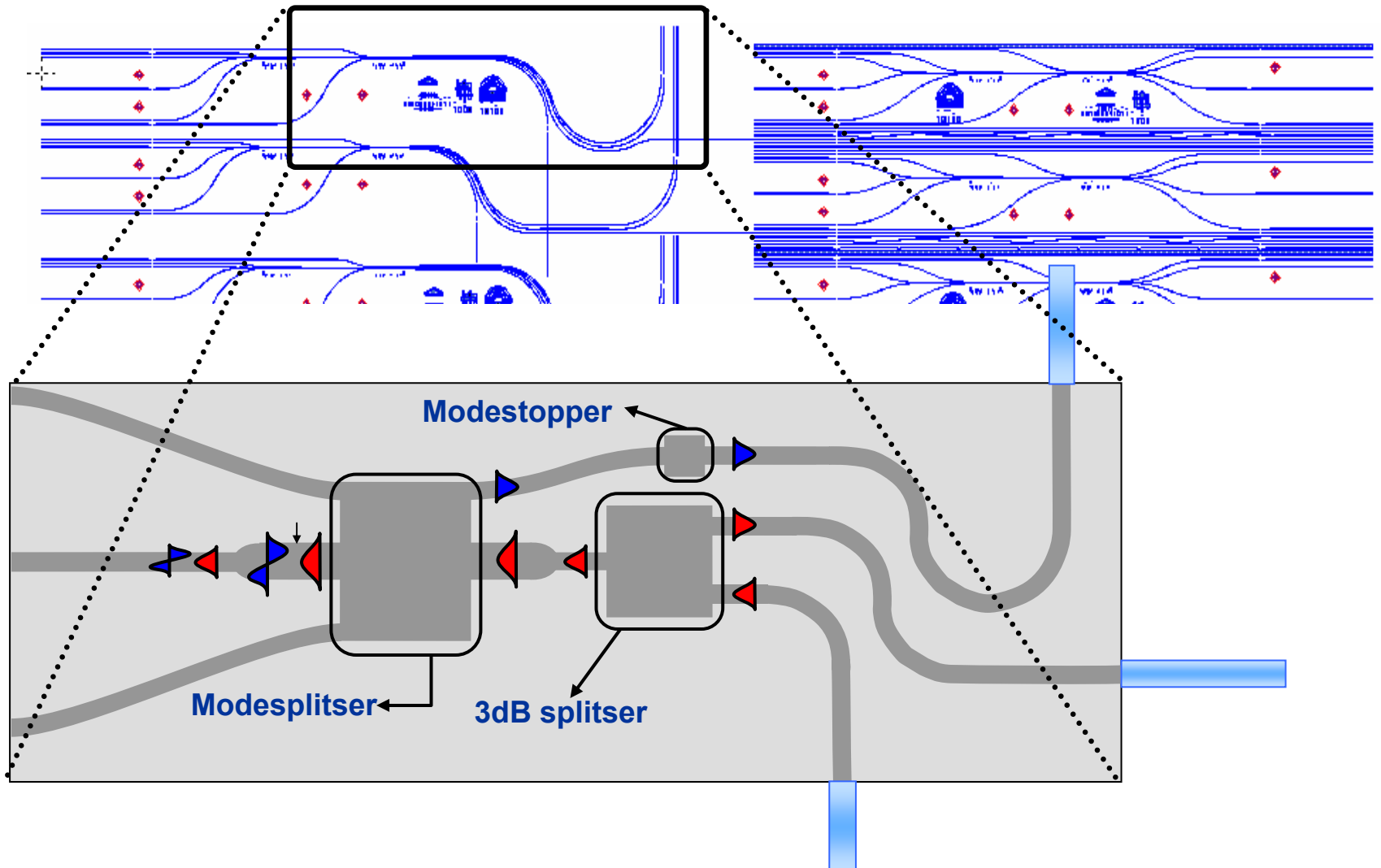
Detectie van bits op de schijf



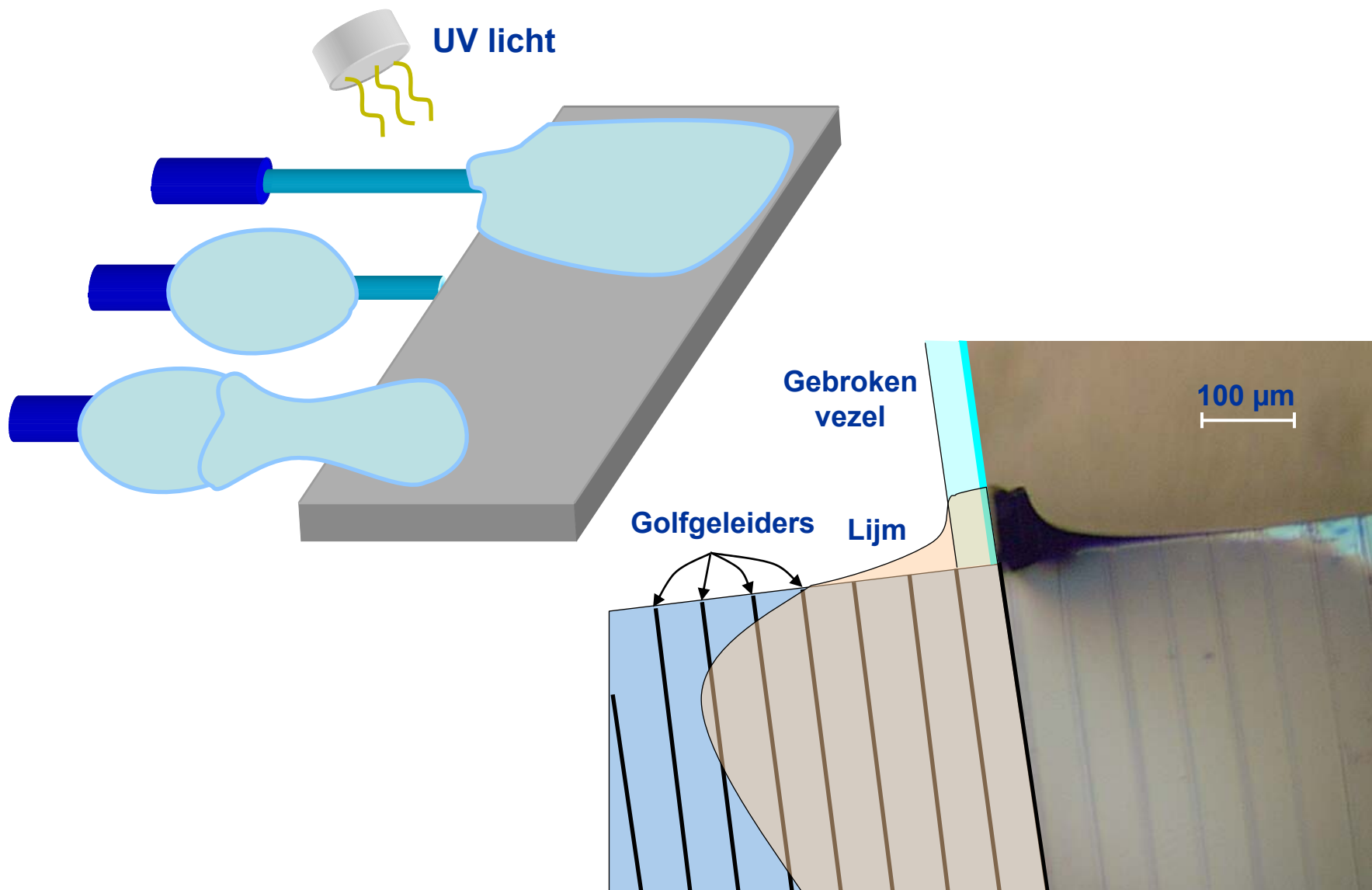
Masker



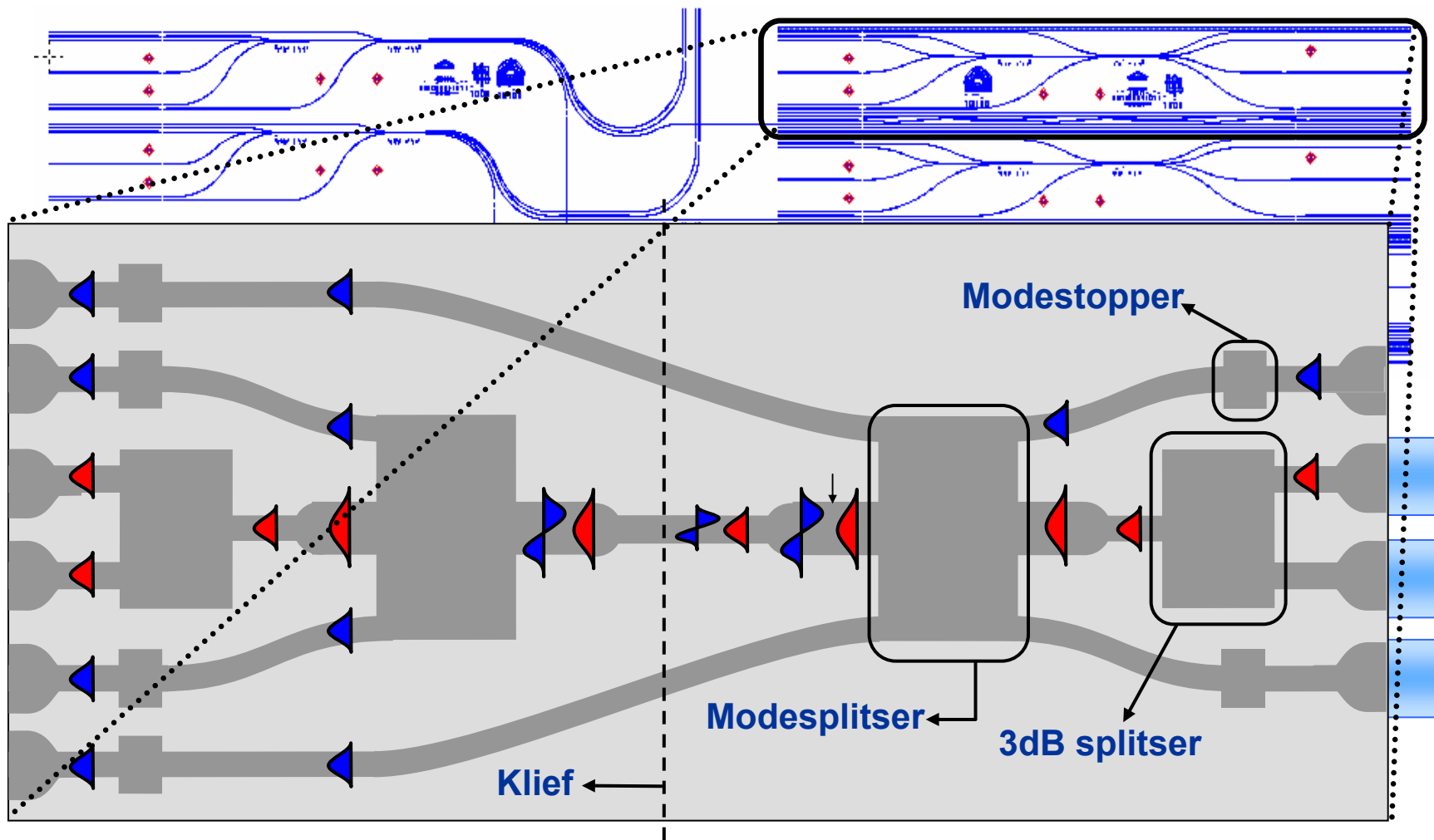
Individuele vezelkoppeling



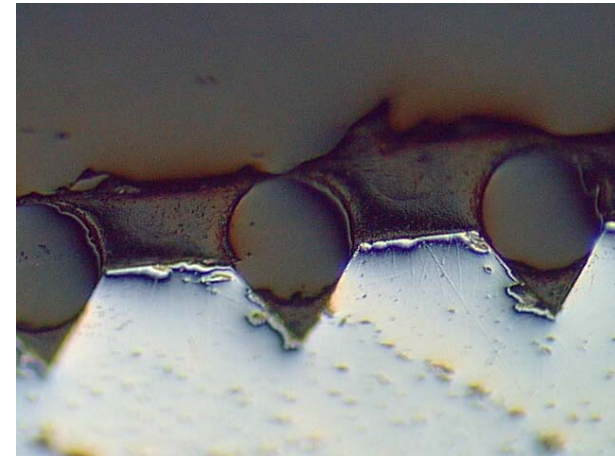
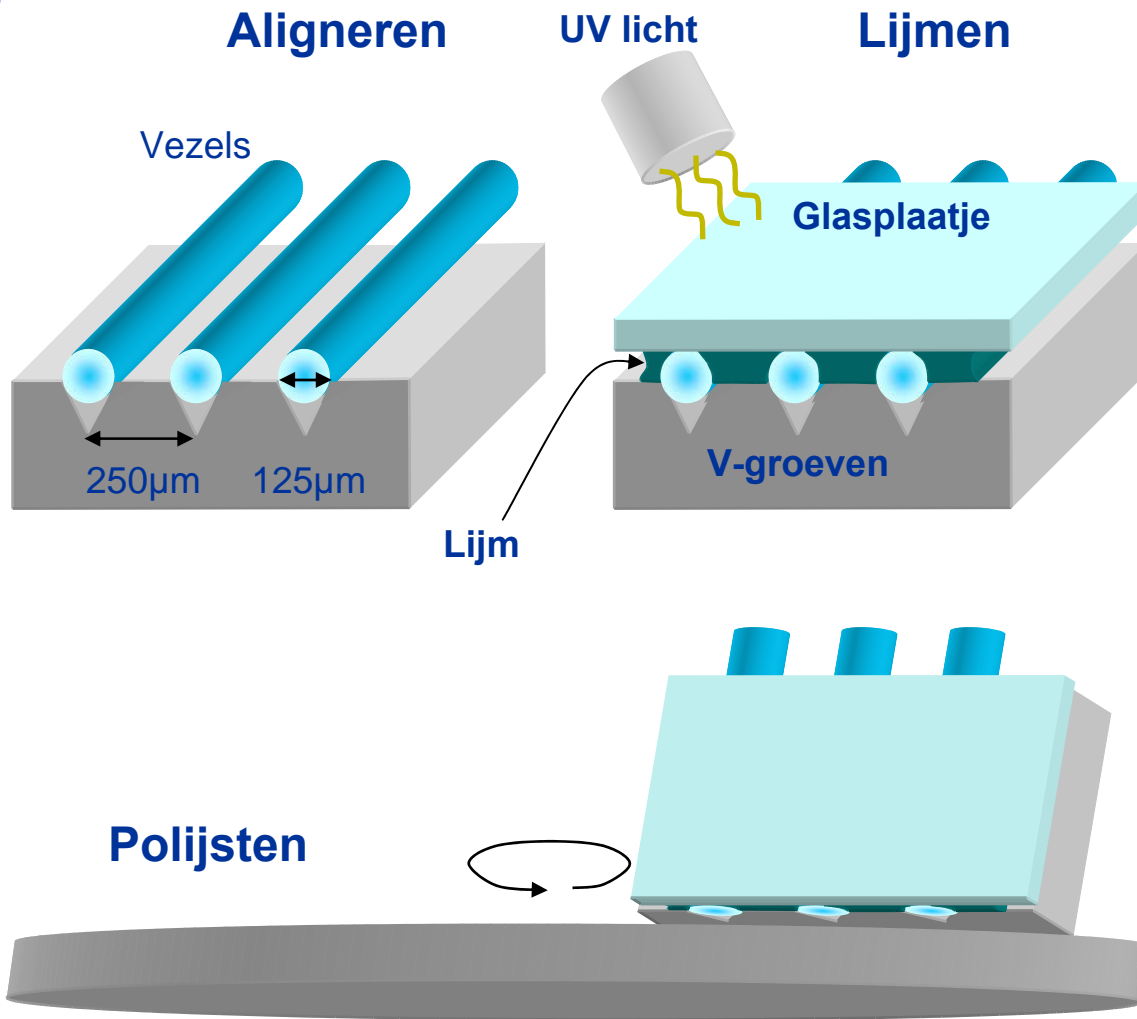
Individuele vezelkoppeling



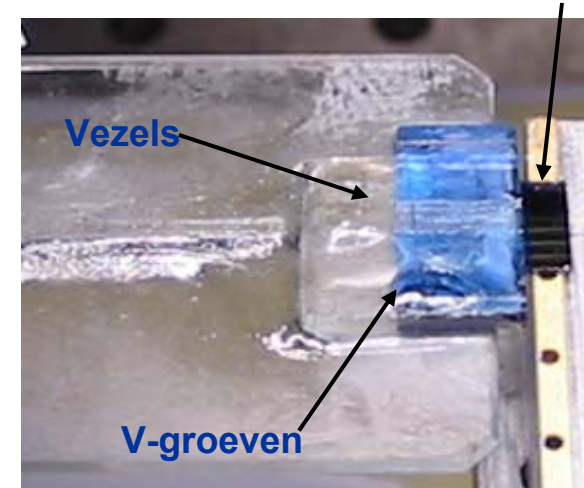
Veelrij-koppeling



Vezelrij-koppeling



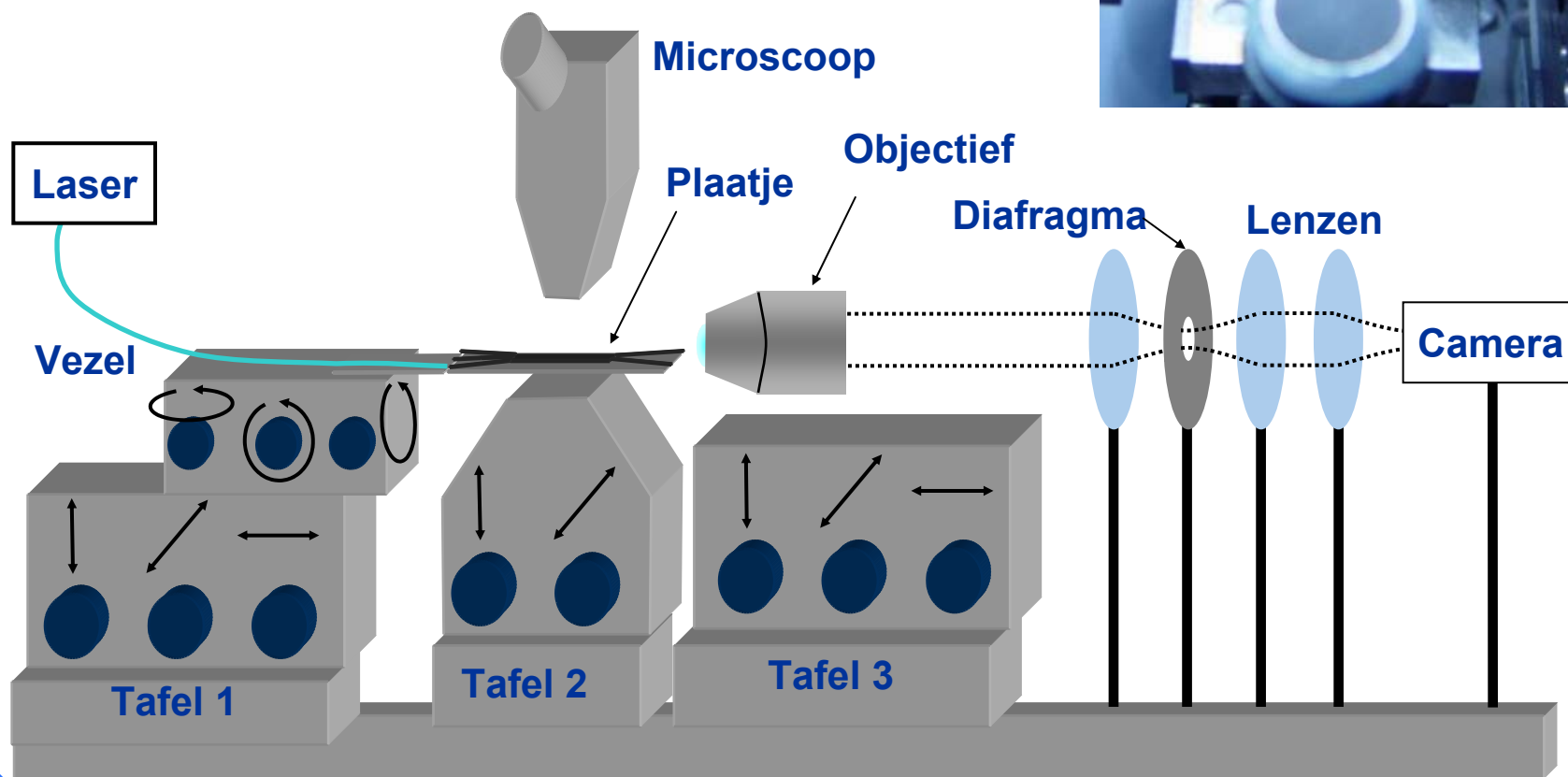
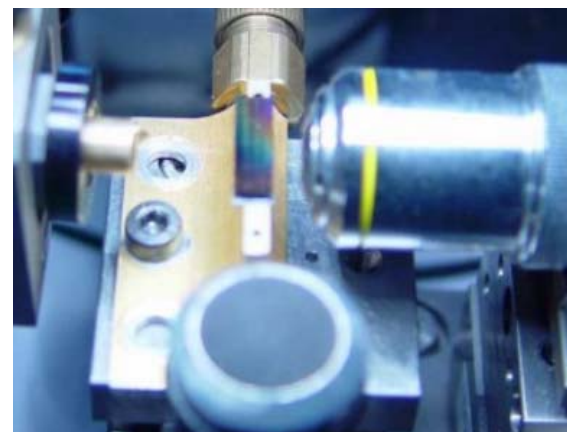
Golfgeleiders



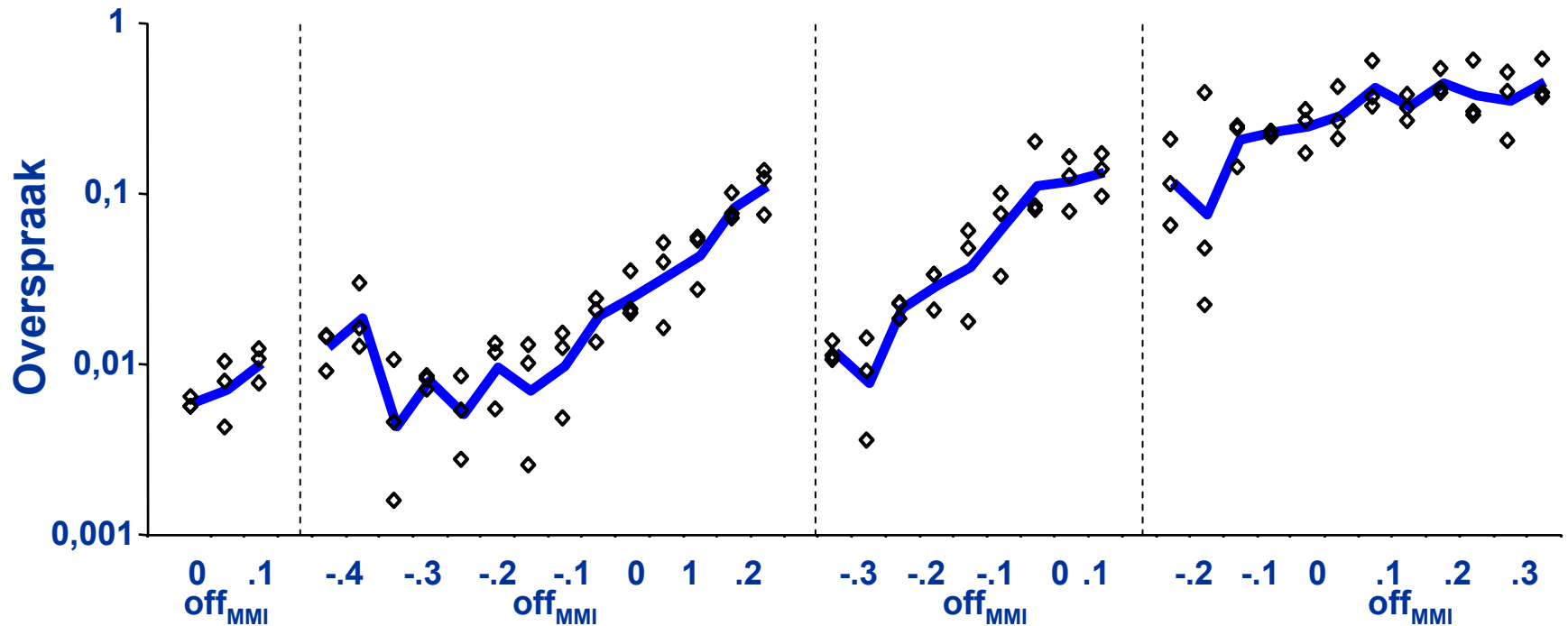
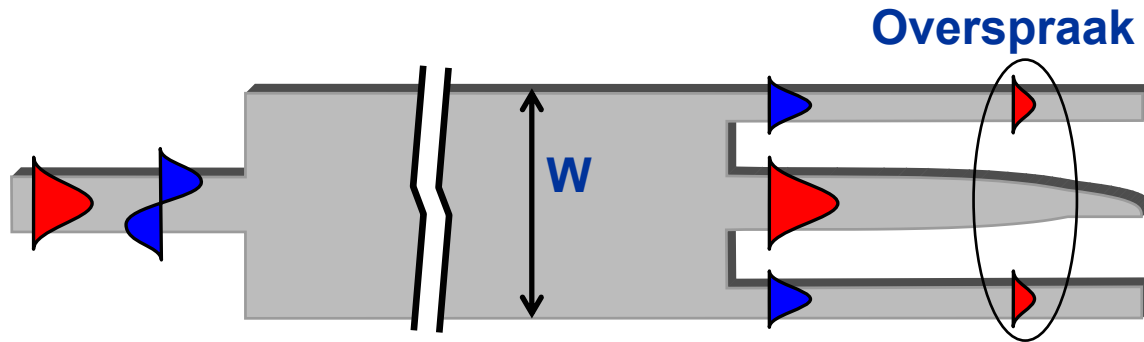


Metingen

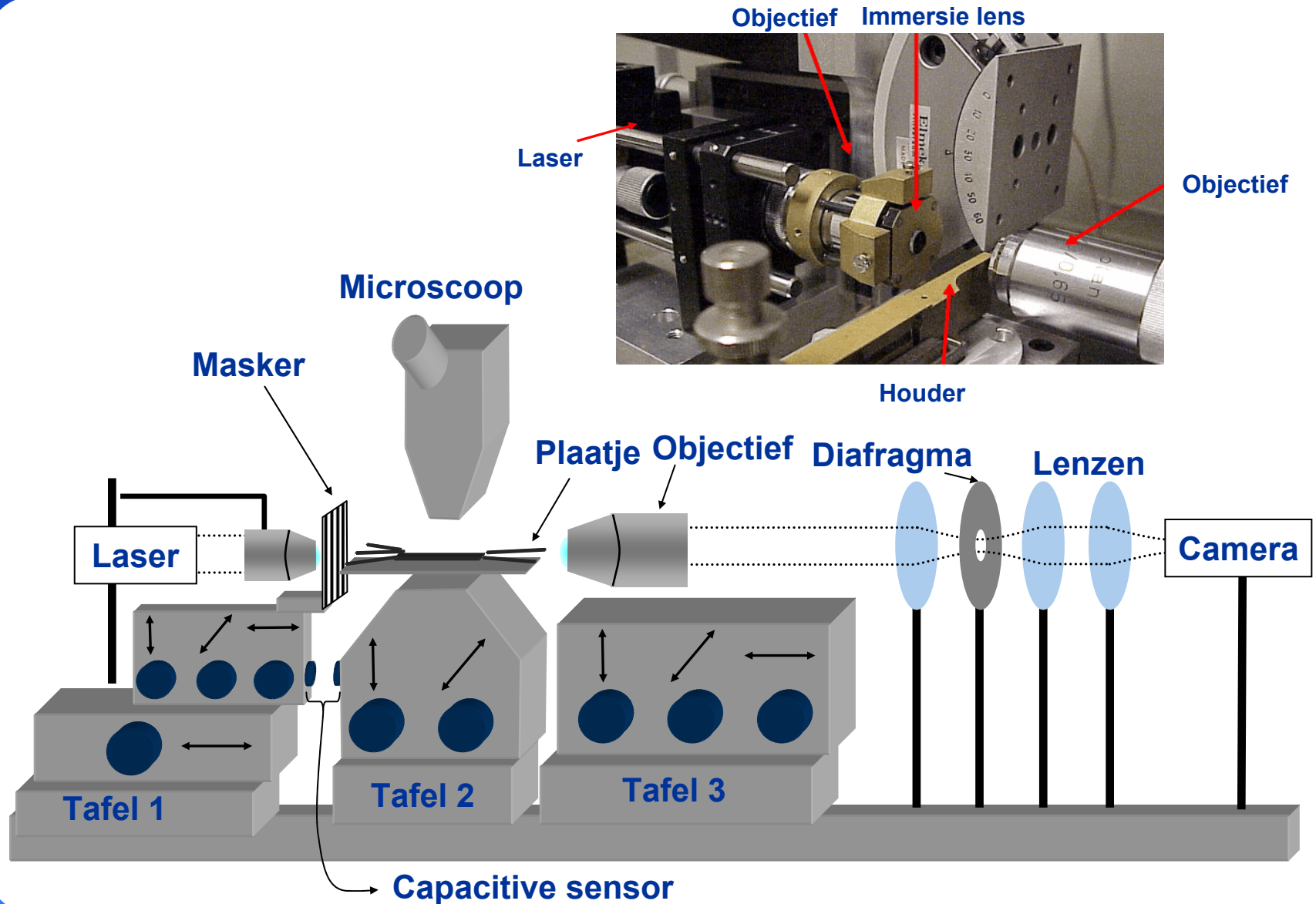
Meetopstelling Gent



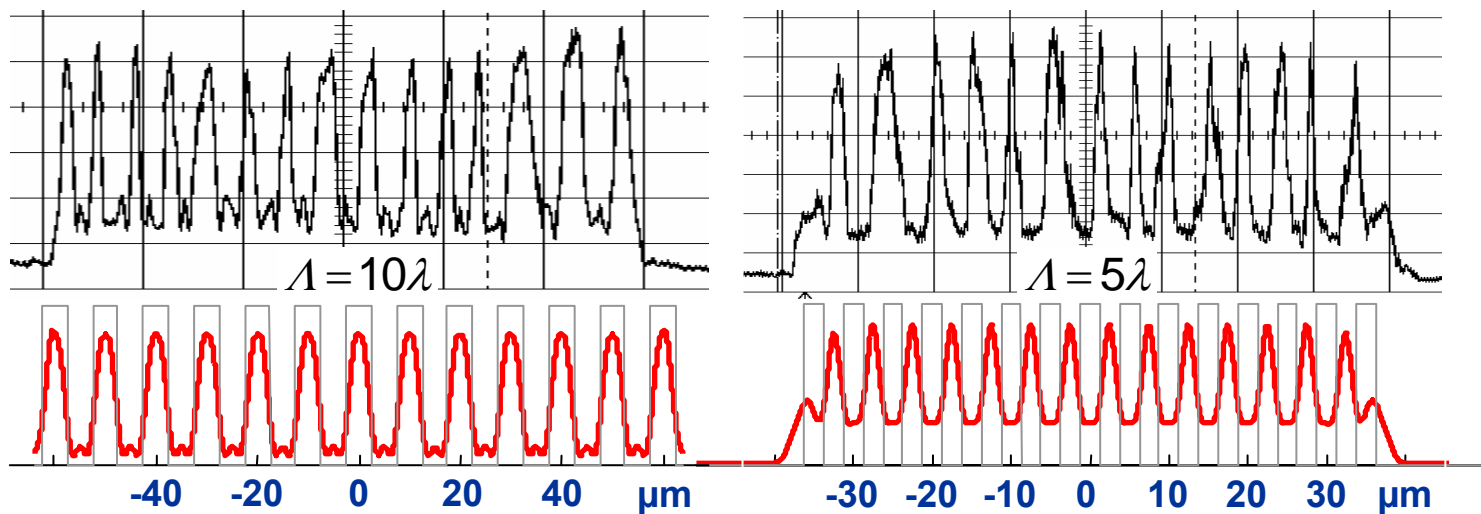
Geïsoleerde chip



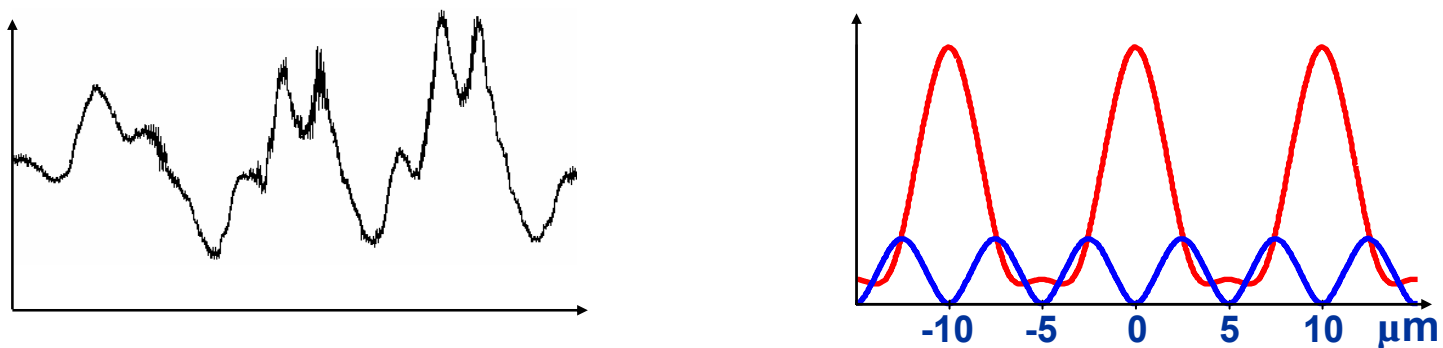
Meetopstelling Delft



Nulde orde mode



Eerste orde mode





Conclusies

Conclusies

- **Door een gecombineerde detectie met de nulde en de eerste orde mode kunnen kleinere bits geresolveerd worden.**
- **De winst is echter kleiner dan verwacht, bovendien blijft het intrinsiek zwakke signaal een handicap.**
- **Meetresultaten minder succesvol, gedeeltelijk wegens inherent laag vermogen van eerste orde signaal.**
- **De methode heeft een intrinsiek potentieel voor verdere integratie en miniaturisatie.**

