

PHILIPS

Natuurkunde in een multidisciplinaire omgeving

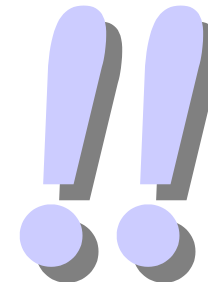
**Woudschoten Natuurkunde Didactiek Conferentie
14, 15 december 2007**

Jean Schleipen
Philips Research, Eindhoven

De slides en afbeeldingen in deze presentatie kunnen vrij gebruikt worden voor educatieve doeleinden.

Indien u afbeeldingen uit deze presentatie wenst te gebruiken voor publicatie, op papier of via internet, dient u contact op te nemen met:

Jean Schleipen, Philips Research Eindhoven.
E-mail: jean.schleipen@philips.com



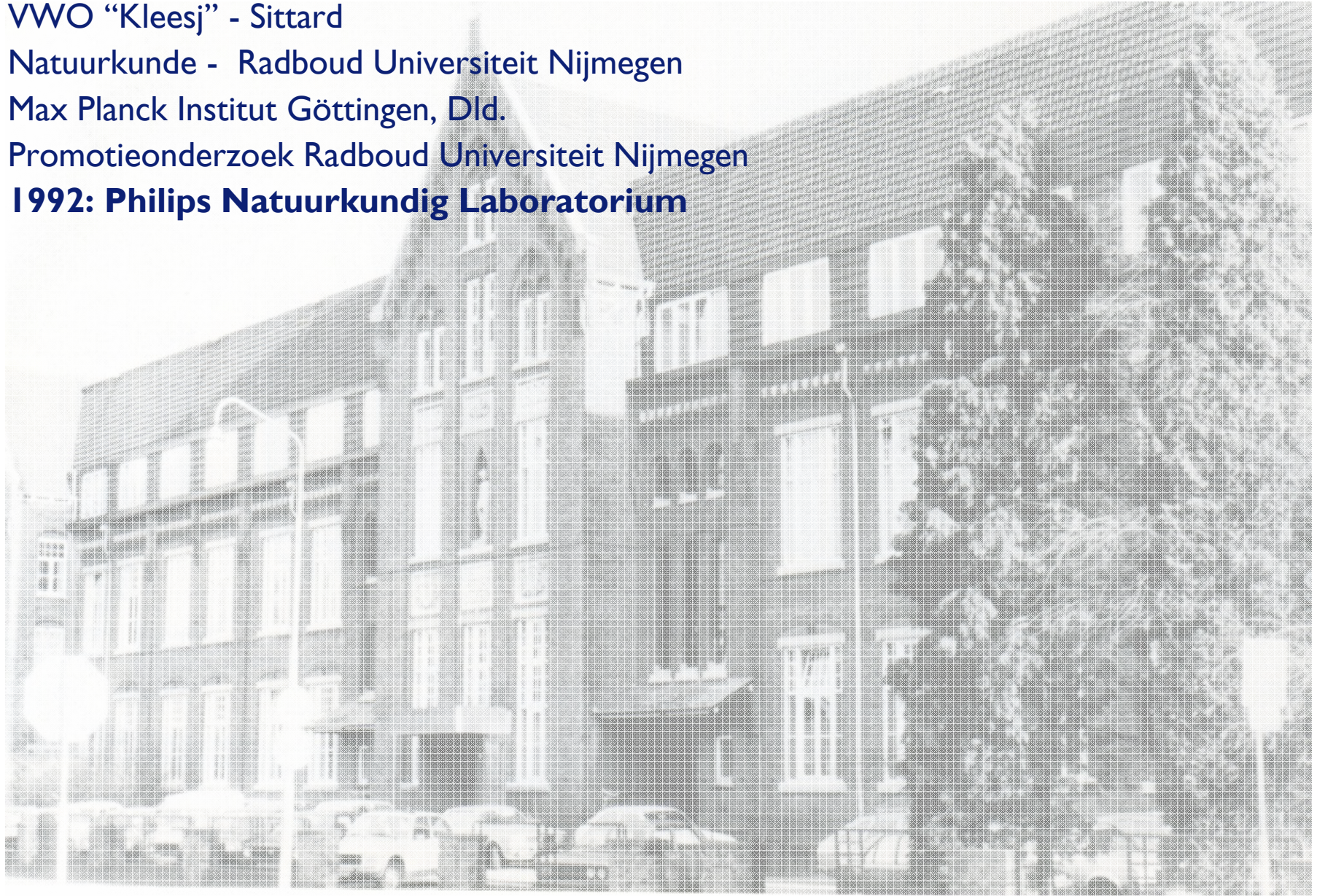
Indien u problemen ervaart met het afspelen van de animaties in deze Powerpoint presentatie, probeer dan de “hardware acceleration” van de grafische kaart uit te schakelen.

Natuurkunde in een Multidisciplinaire omgeving

Inhoud

- Werken bij Philips Research
- Optische dataopslag: **van CD naar Blu-ray Disc**
- Biosensoren: **drugs detectie met magnetische deeltjes**
- Kinesine: **het motor eiwit** (werk van VU Amsterdam)

VWO “Kleesj” - Sittard
Natuurkunde - Radboud Universiteit Nijmegen
Max Planck Institut Göttingen, Dld.
Promotieonderzoek Radboud Universiteit Nijmegen
1992: Philips Natuurkundig Laboratorium



Werken Bij Philips Research

Research

Philips - Historie



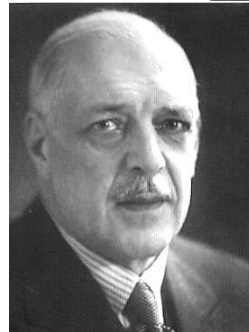
vader

Frederik Philips
1830-1900



zoon

Gerard Philips
1858-1942



zoon

Anton Philips
1874-1951



kleinzoon

Frederik "Frits" Philips
1905-2005



1891
oprichting



1895



1914
Philips Research



1918
Röntgen buis



1925
eerste radio



1939
Philishave



1963
Compact Audio
Cassette



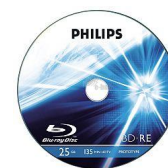
1965
eerste IC's



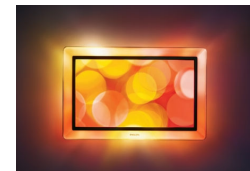
1982
Compact Disc



2003
Blu-ray Disc



2007
Aurea TV



Research

Philips - Anno 2008

3 Markt Sectoren

- **Philips Healthcare** (Philips Medical Systems)
- **Philips Lighting**
- **Philips Consumer Lifestyle**
(Philips Consumer Electronics en Philips Domestic Appliances & Personal Care)

- Philips Semiconductors is afgesplitst en overgegaan in **NXP**

Innovation & Emerging Businesses

- **Philips Research**
- Philips Intellectual Property Rights and Standards
- Philips Applied Technologies (“CFT”)
- Incubators



Research Shanghai (China)



Research Bangalore (India)



Research Redhill - Londen



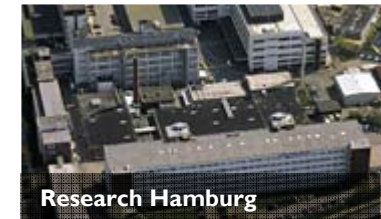
Research Eindhoven



Research Briarcliff - New York

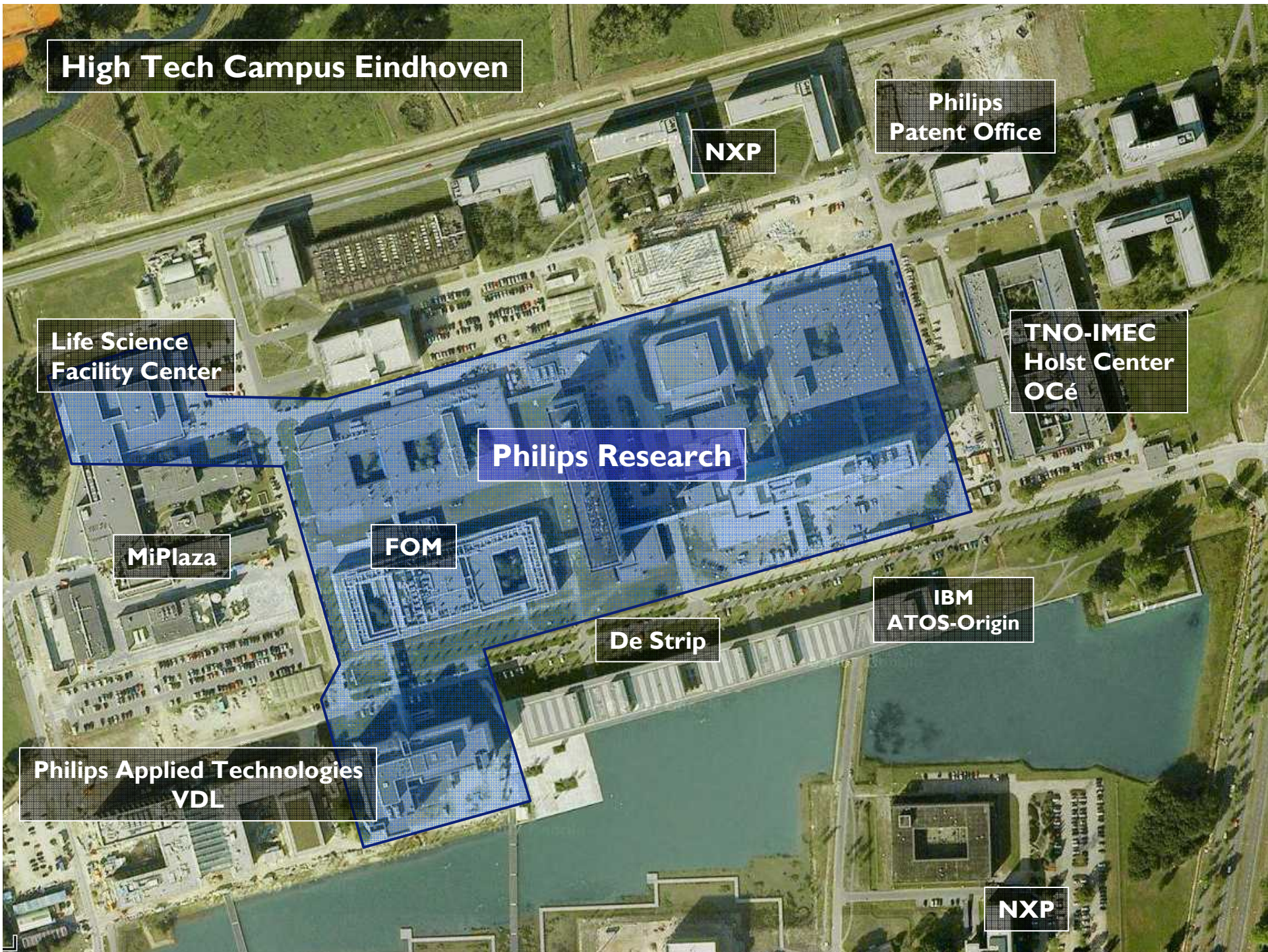


Research Aken



Research Hamburg

High Tech Campus Eindhoven



Philips
Patent Office

NXP

TNO-IMEC
Holst Center
OCé

Life Science
Facility Center

Philips Research

MiPlaza

FOM

IBM
ATOS-Origin

De Strip

Philips Applied Technologies
VDL

NXP



High Tech Campus Eindhoven

Meer dan 25 bedrijven/kennisinstututen gevestigd op de campus

Meer dan 50 nationaliteiten

Oppervlakte 1 km², 8000 m² stofvrije ruimten, 50.000 m² laboratorium, 100.000 m² kantoorruimte

40% van alle particuliere R&D-activiteiten in Nederland vinden plaats in de regio Eindhoven

PHILIPS



Philips Research – Wie zijn wij ?

- Natuurkundigen
- Electrotechnici
- Scheikundigen
- Wiskundigen
- IT-specialisten
- Werktuigbouwkundigen
- Biologen
- Biochemici

(WO en HBO)





Industrieel onderzoek

Optische data opslag



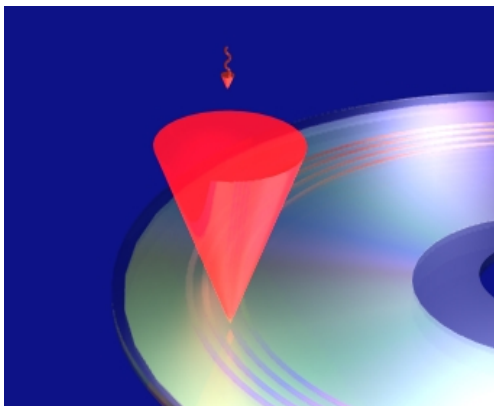
Optische Data Opslag

(1) **Optisch** : schrijven en lezen met een licht, contactloos

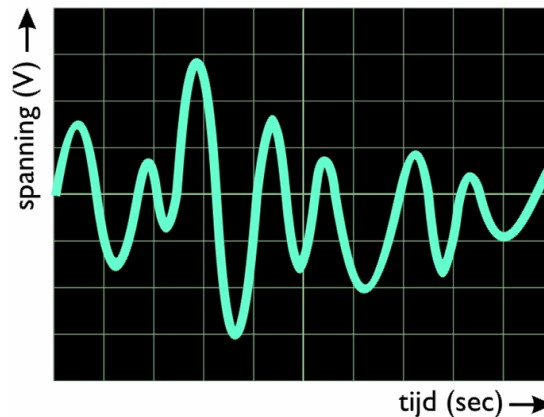
(2) **Digitaal** : data sampling, AD- en DA-conversie
 signaal codering, error correctie, data encryptie

(3) **Uitwisselbaar** : goedkope informatiedrager, distributie en archivering
 auto-focus en spoorvolging

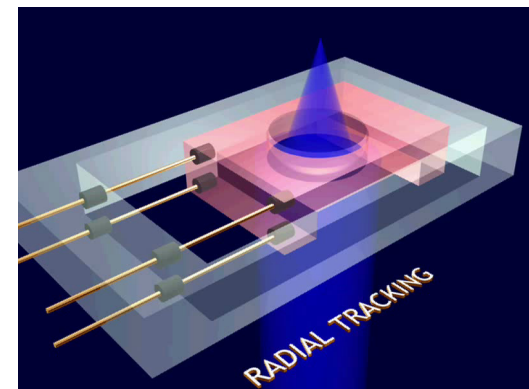
natuurkunde, scheikunde



electrotechniek, wiskunde

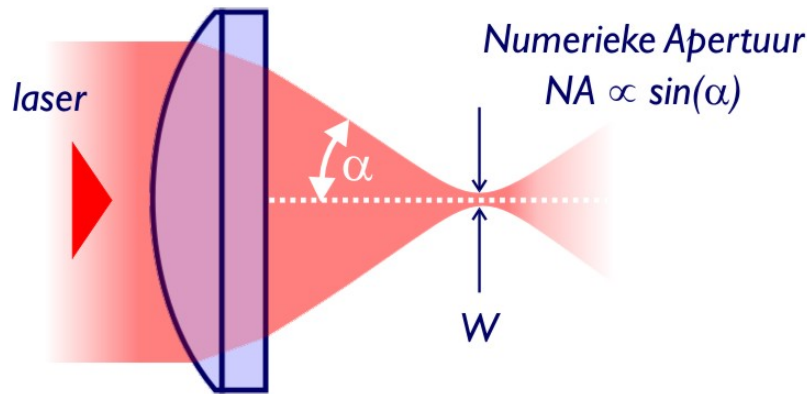


mechanica, meet- en regeltechniek



Buiging (diffractie) en opslag capaciteit

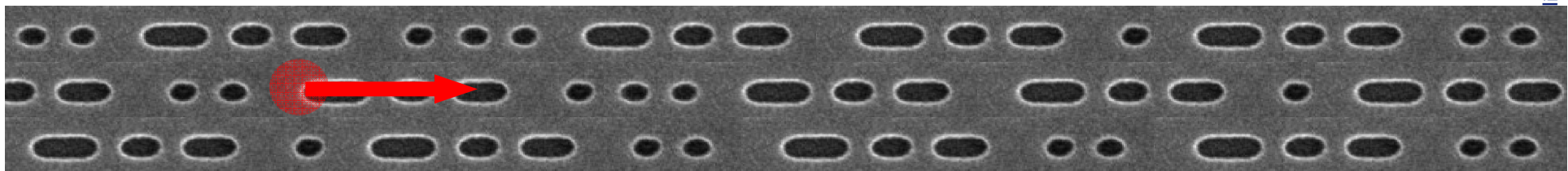
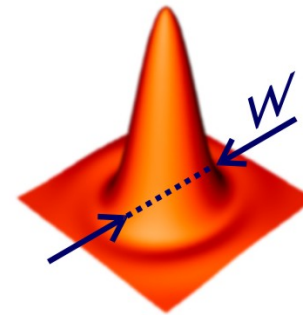
De opslagcapaciteit van een disc wordt bepaald door de grootte van de putjes
 Het kleinste uit te lezen putje wordt bepaald door de grootte van de laserspot



Buiging is het fysisch fenomeen dat ervoor zorgt dat een lichtbundel nooit tot een wiskundig klein punt kan worden gefocuseerd!

De grootte van het spotje :

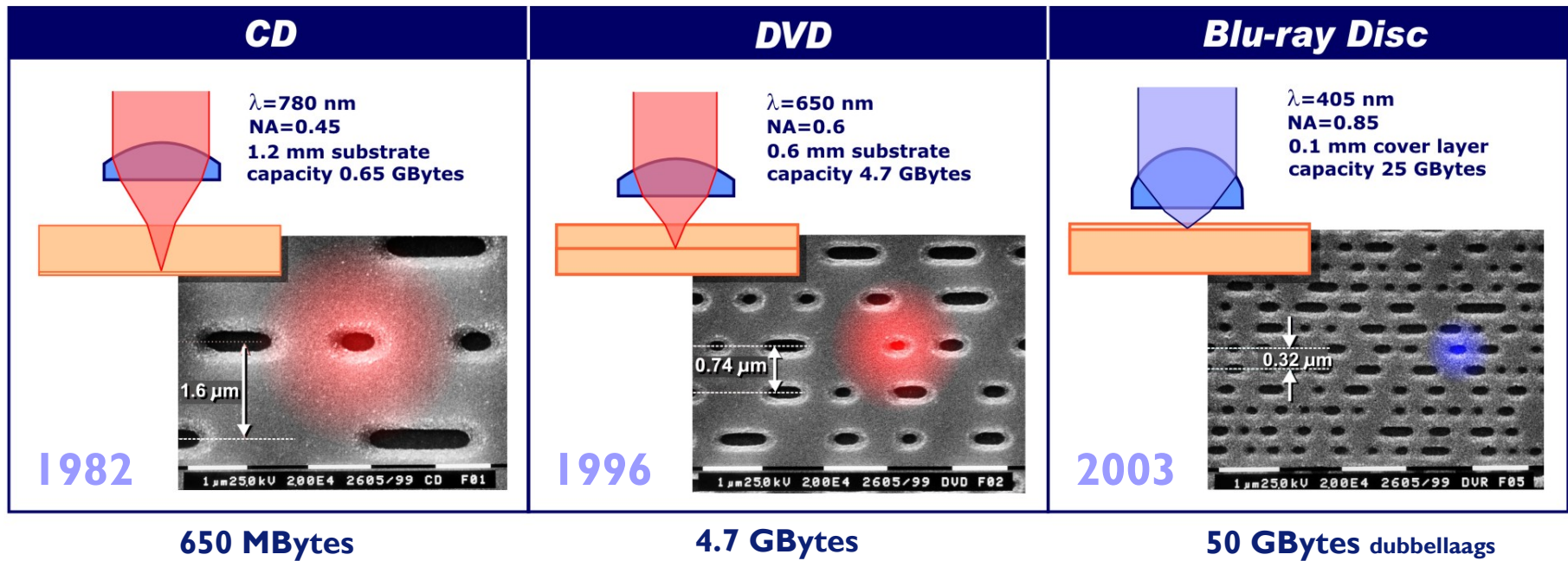
$$W = 1.22 \times \frac{\lambda}{NA}$$



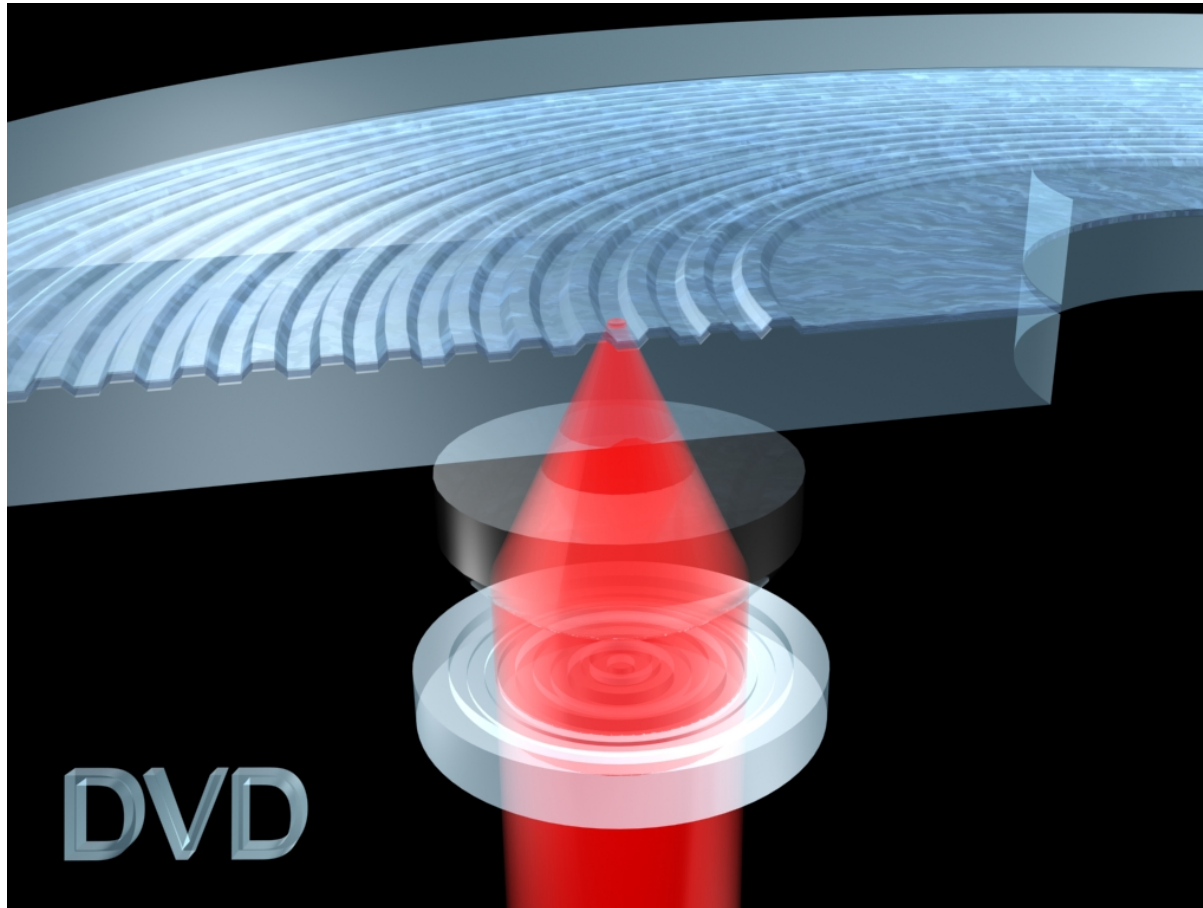
3 Generaties:

CD, DVD en Blu-ray Disc

De blauwe laser (1992)

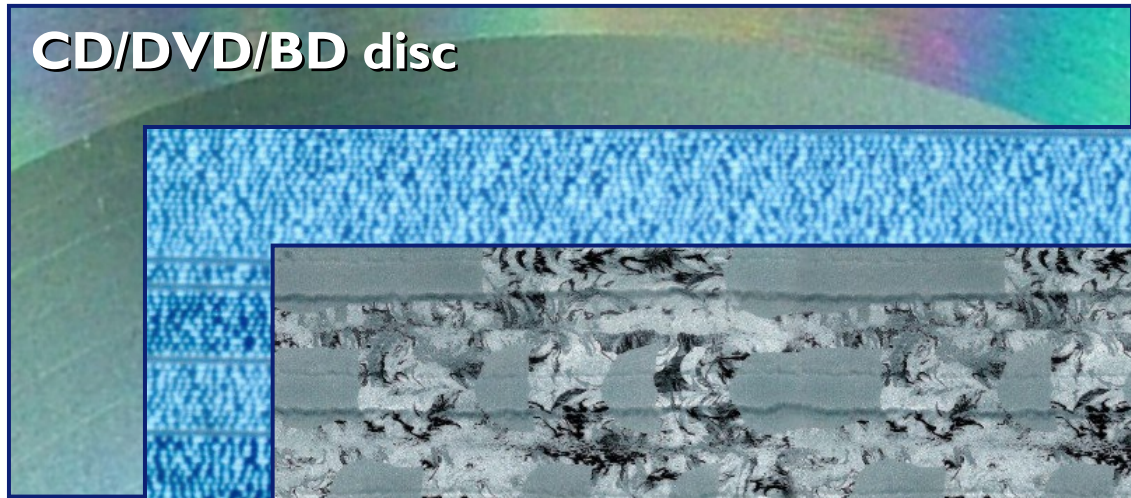


Putten en groeven

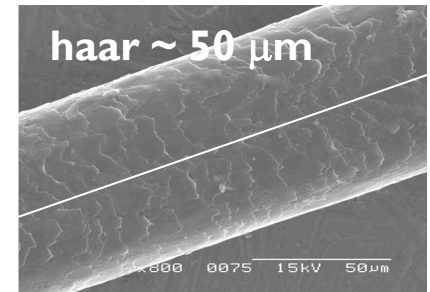


Doorsnede van een DVD disc. De putjes staan langs een spiraalvormige groefstructuur. Deze groef is nodig om de laser precies de spiraal (het *spoor*) te laten volgen.

Putten en groeven



CD/DVD/BD disc



haar ~ 50 μm

Mensenhaar

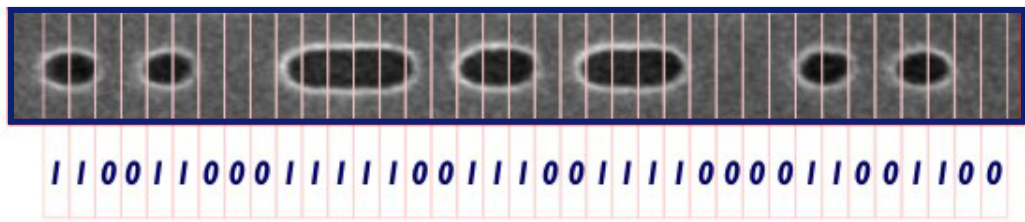


Spoorbreedte

- CD: 1.6 μm
- DVD: 0.74 μm
- BD: 0.32 μm

“Phase-change” materialen (**GeSbTe**) voor RW-discs

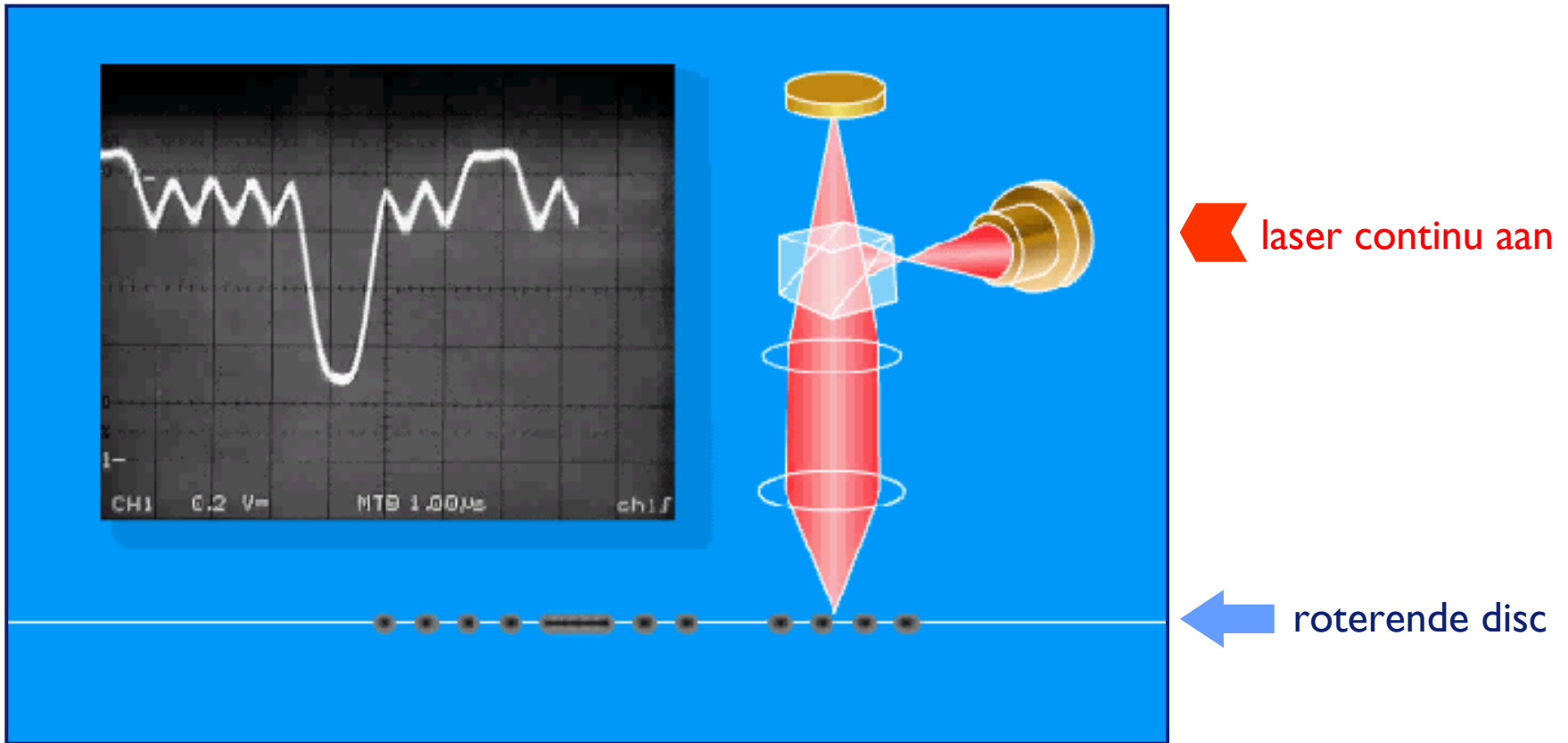
- amorf fase: lage reflectie (donkergrijs)
- kristallijne fase: hoge reflectie (kristalstructuur)



**Scheikunde
Procestechiek**

De “scanning microscope”

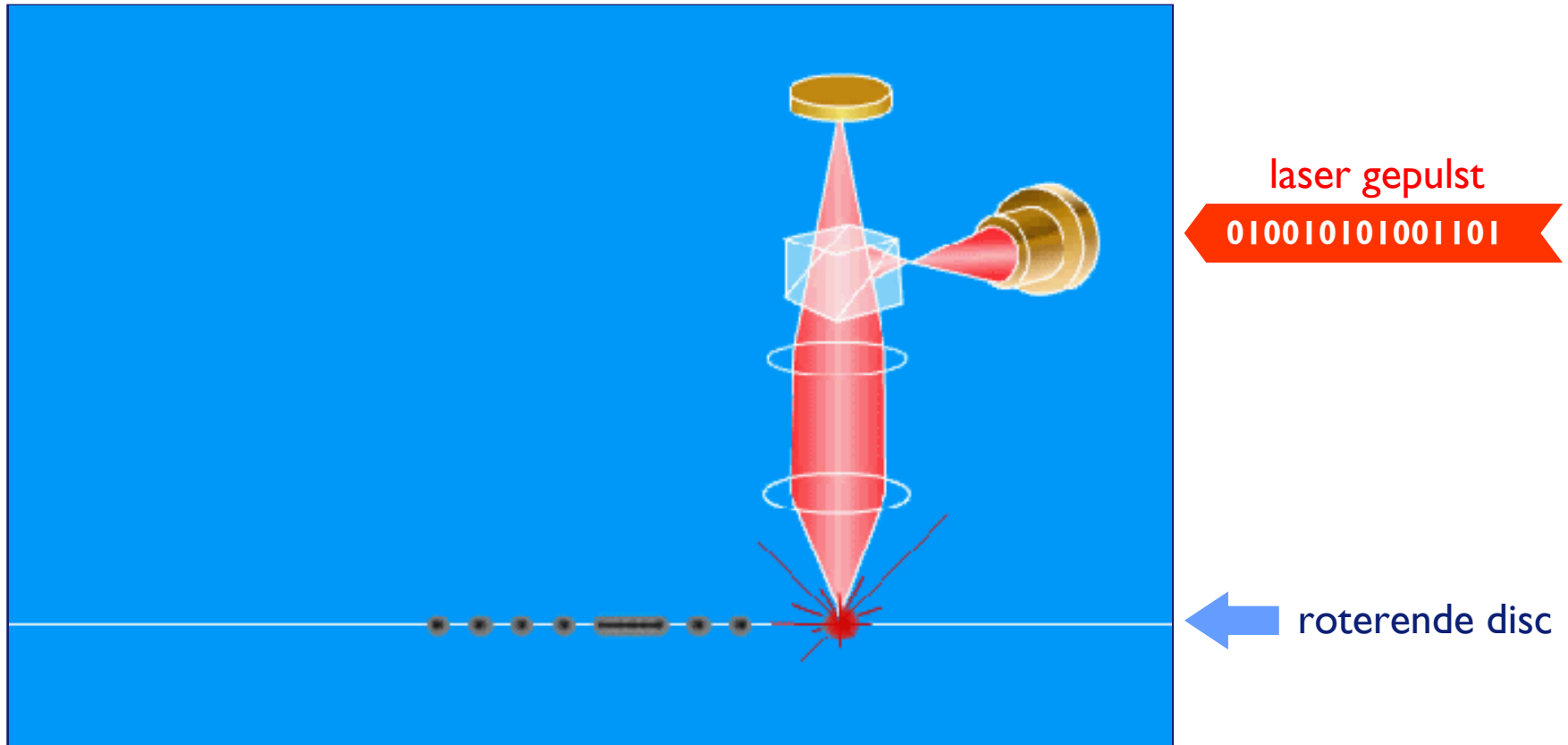
LEZEN



Lezen: de detector levert een **analoog** signaal op !
 signaalafname ten gevolge van **reflectie** verschillen en destructieve **interferentie**

De “scanning microscope”

SCHRIJVEN

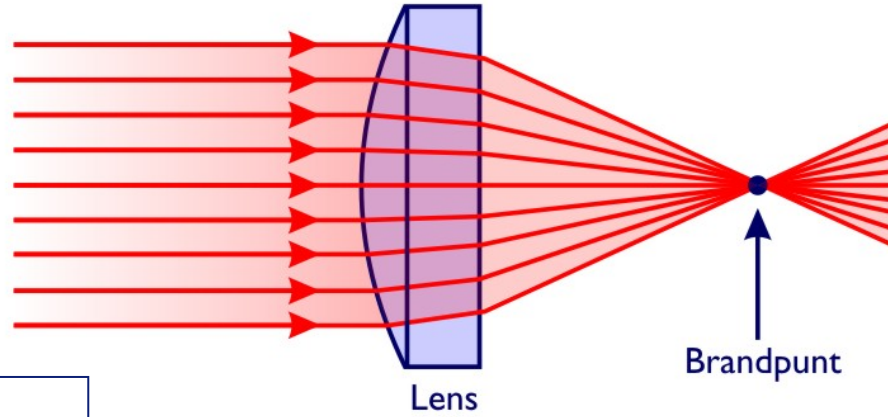


Bij een “1” datasignaal staat de laser gedurende 1 kanaalklok periode T_{kanaal} op hoog vermogen; bij een “0” op laag vermogen

Buigingsbegrense optiek, lensfouten, Snellius

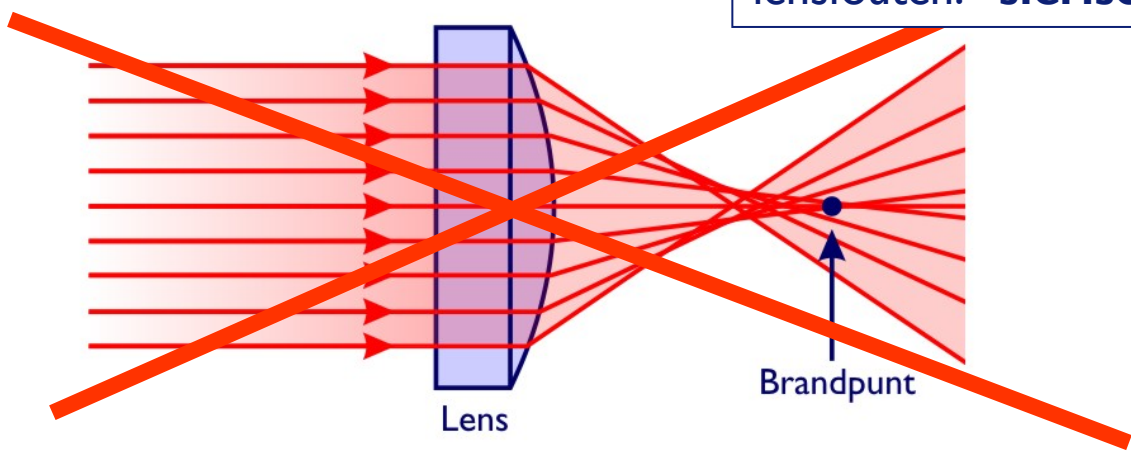
Formule van Gauss:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

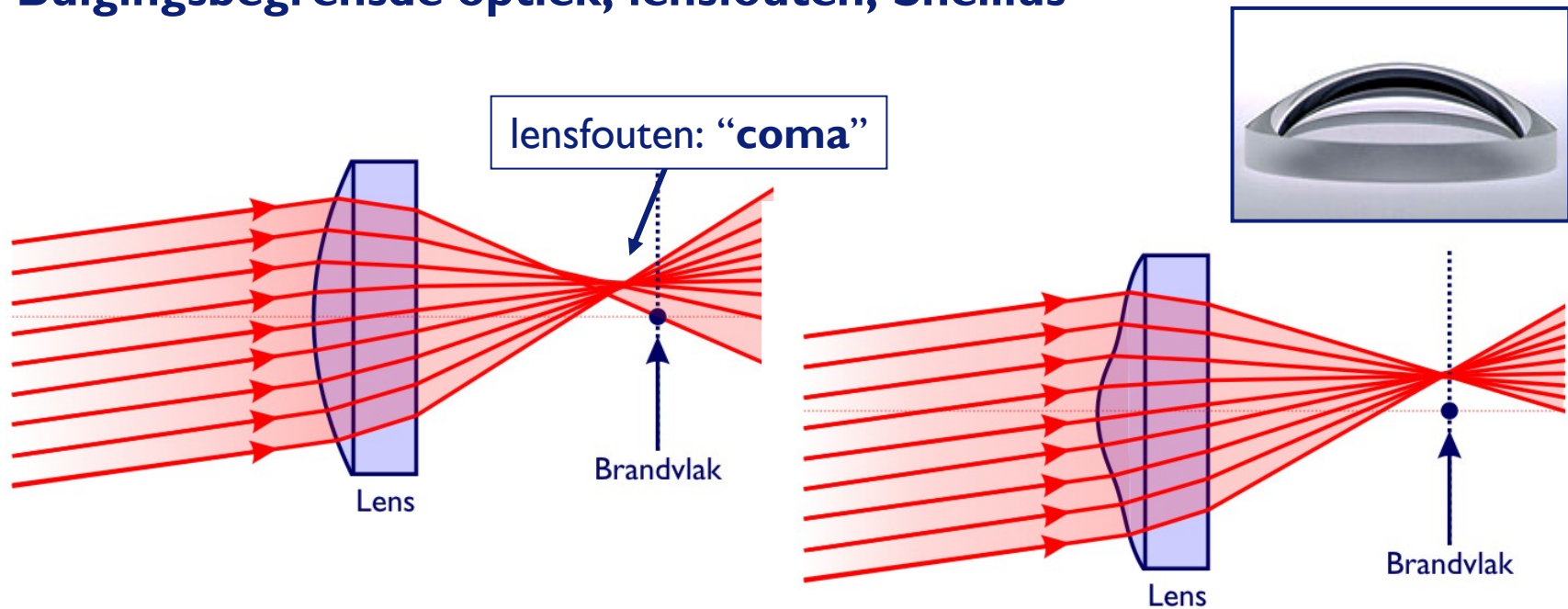


“Raytracing”:
wet van **Snellius**

lensfouten: “**sferische aberratie**”

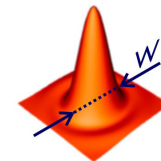


Buigingsbegrenste optiek, lensfouten, Snellius



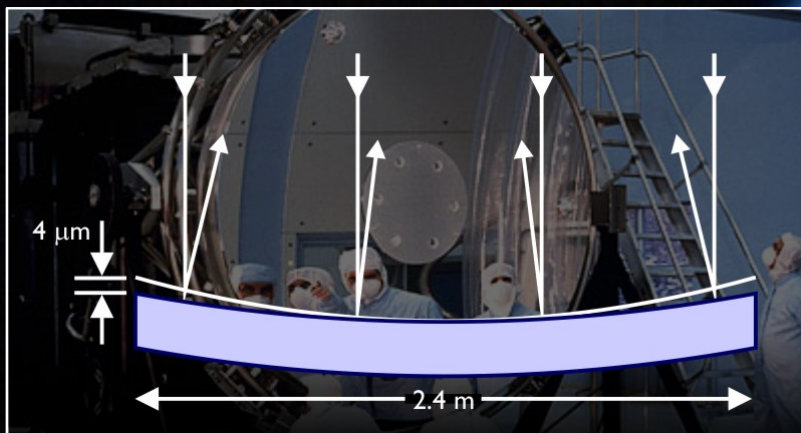
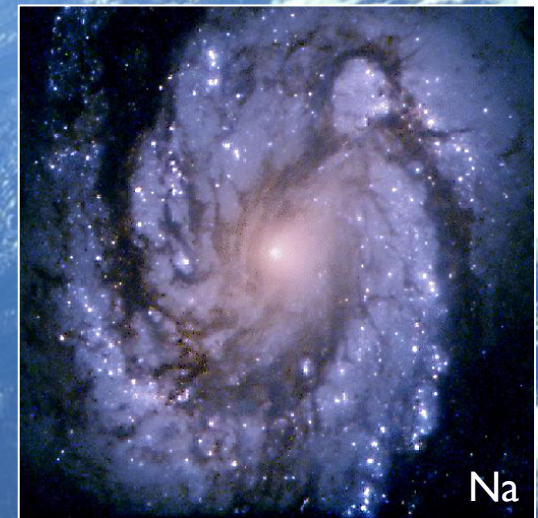
Oplossing: lensfouten (als bijv. sferische aberratie en coma) kunnen worden geminimaliseerd door het gebruik van **a-sferische optiek**

Alleen met **aberratie-vrije** optiek kan een **buigingsbegrenste spot** ($1.22 \lambda/NA$) worden verkregen !



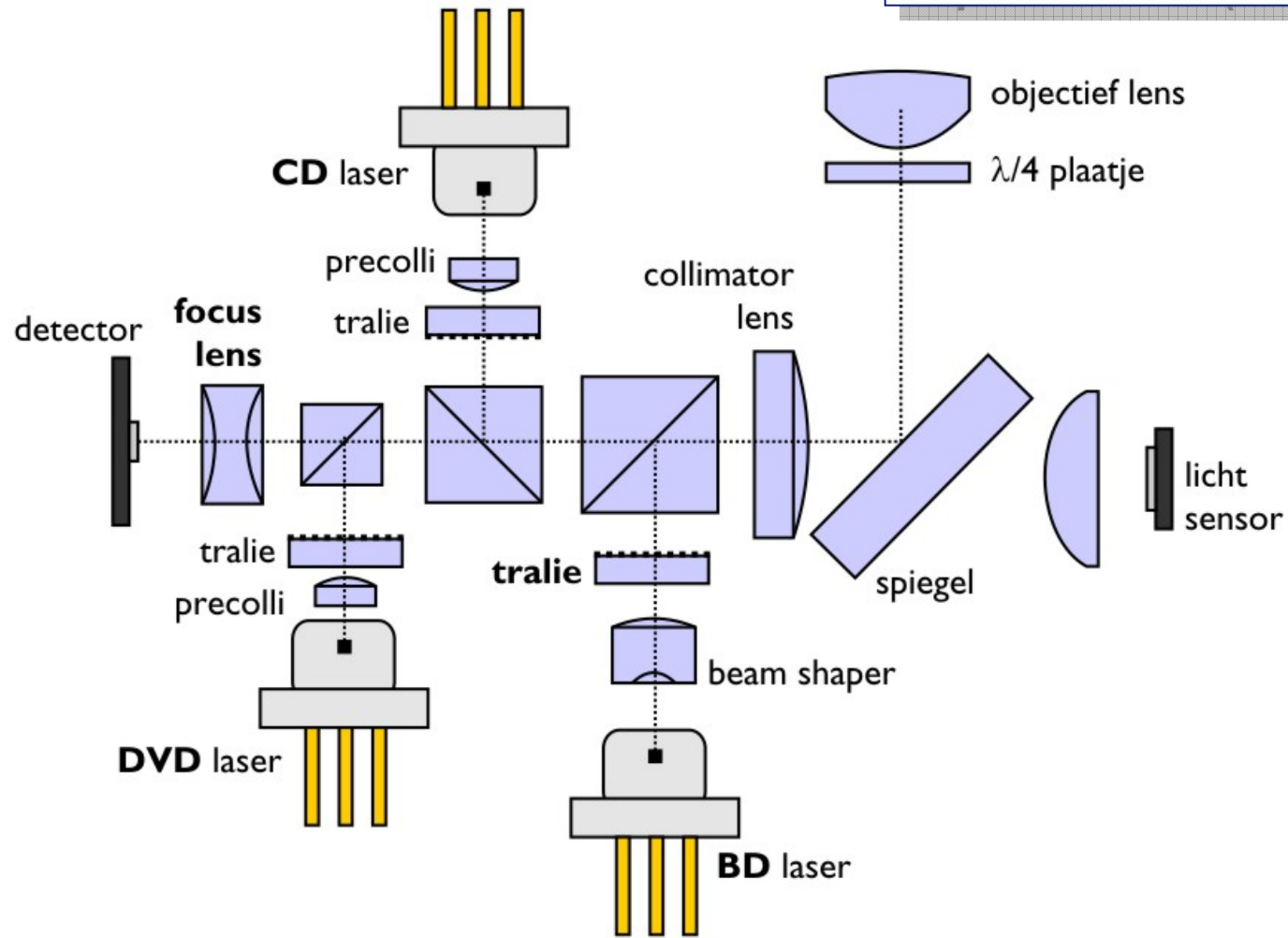
Hubble ruimte telescoop & sferische aberratie (1990)

1.2 miljard US\$

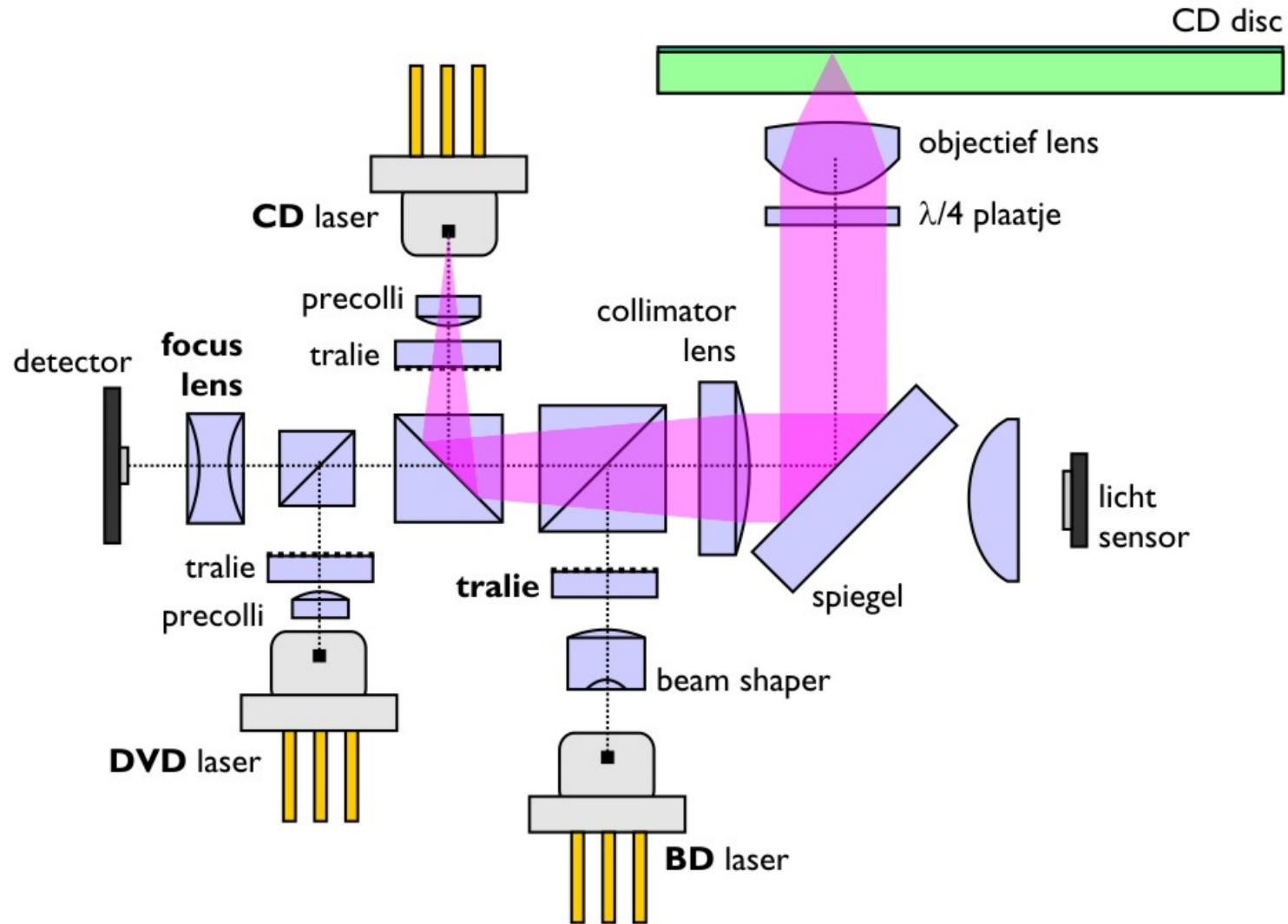


De CD, DVD en BD triple-writer

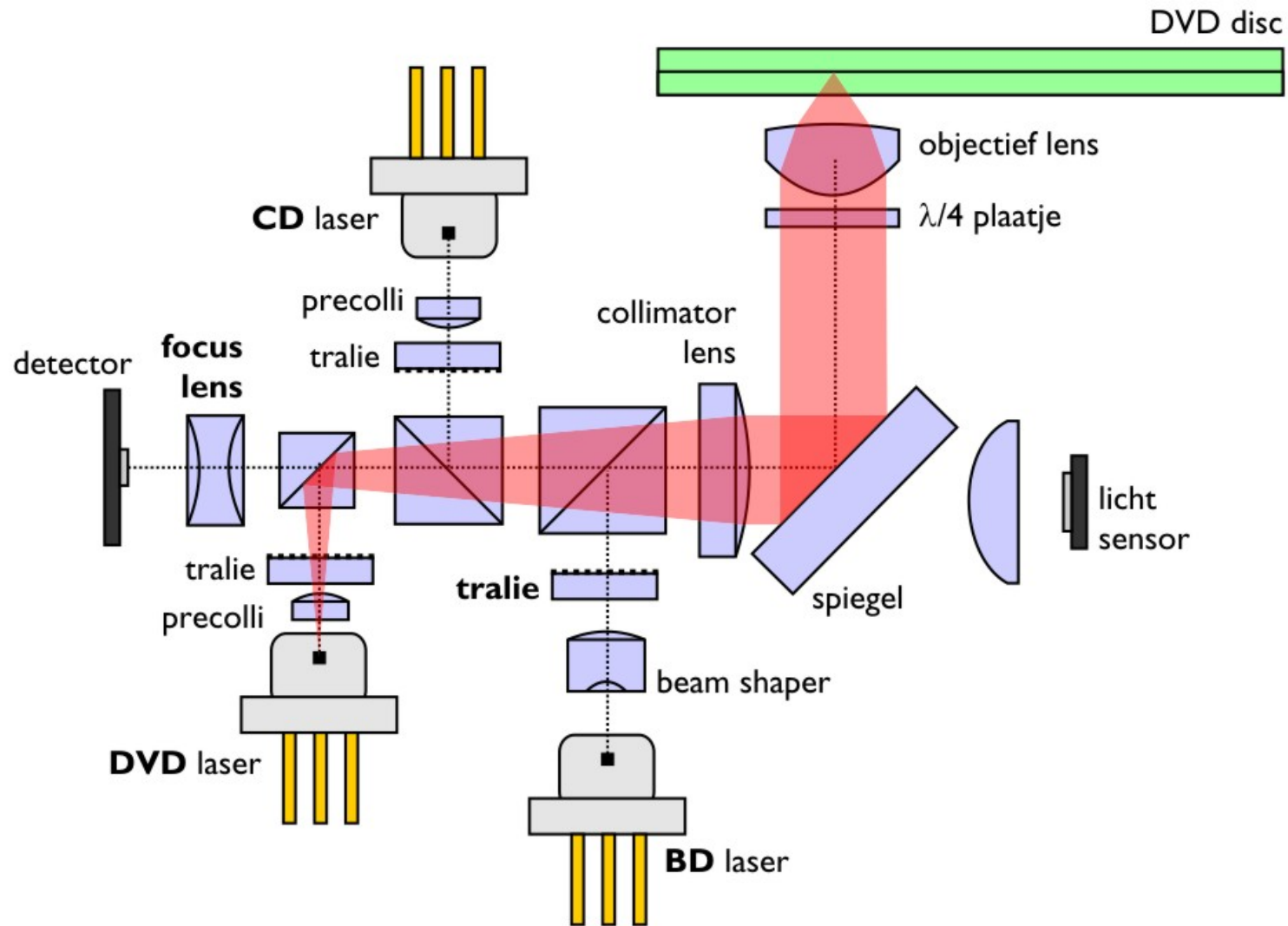
*Optisch ontwerp
Optisch meten (interferometrie)*



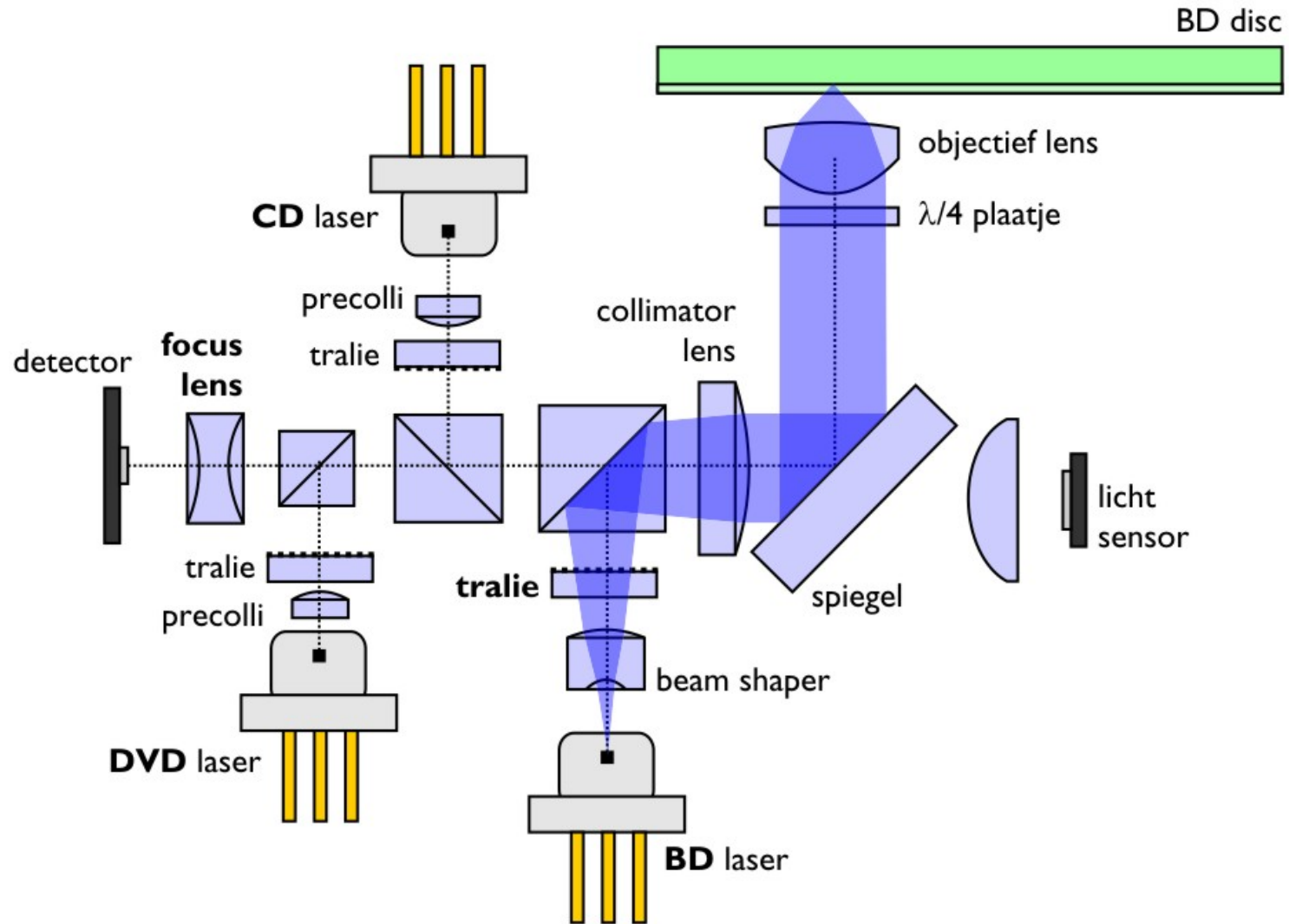
De CD, DVD en BD triple-writer



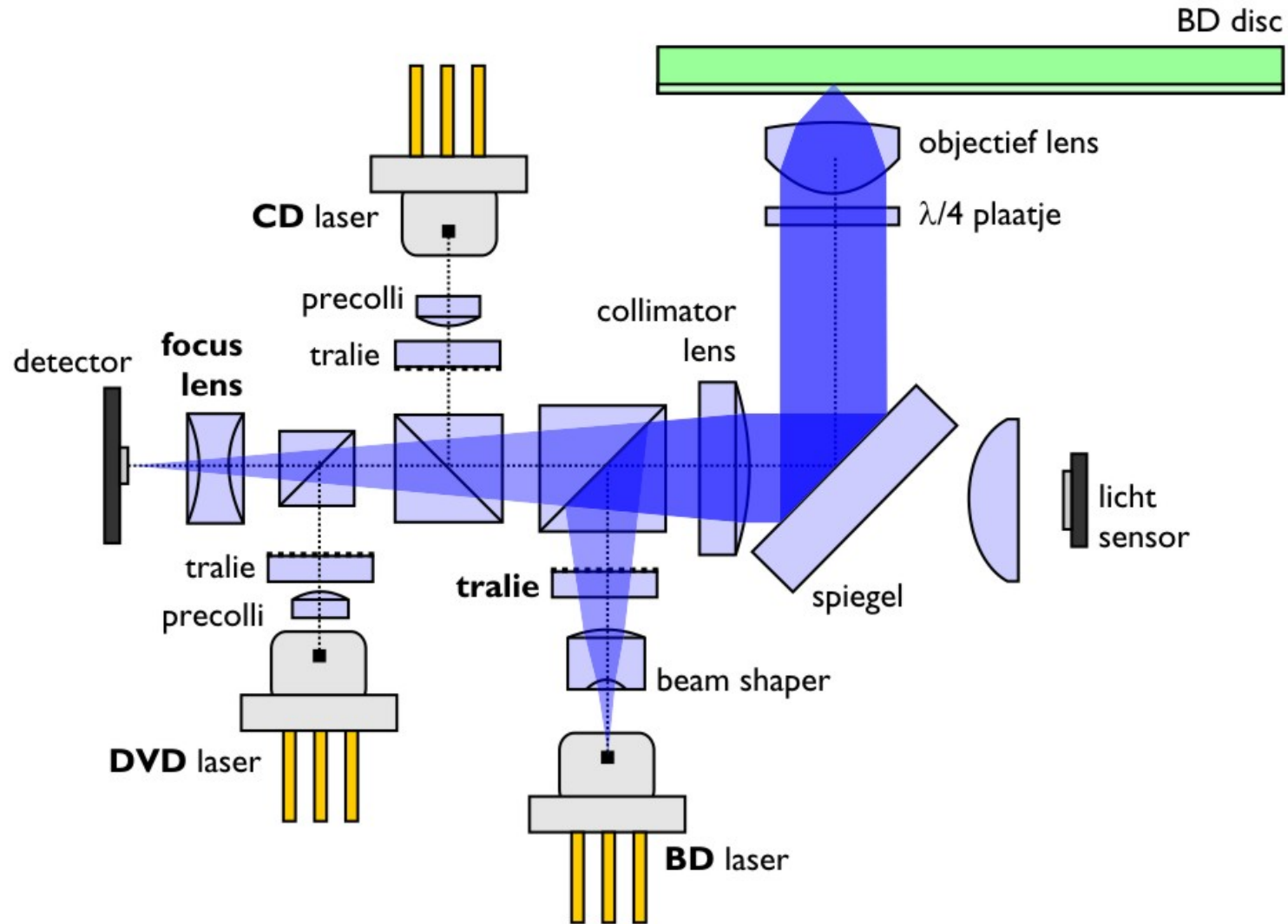
De CD, DVD en BD triple-writer



De CD, DVD en BD triple-writer

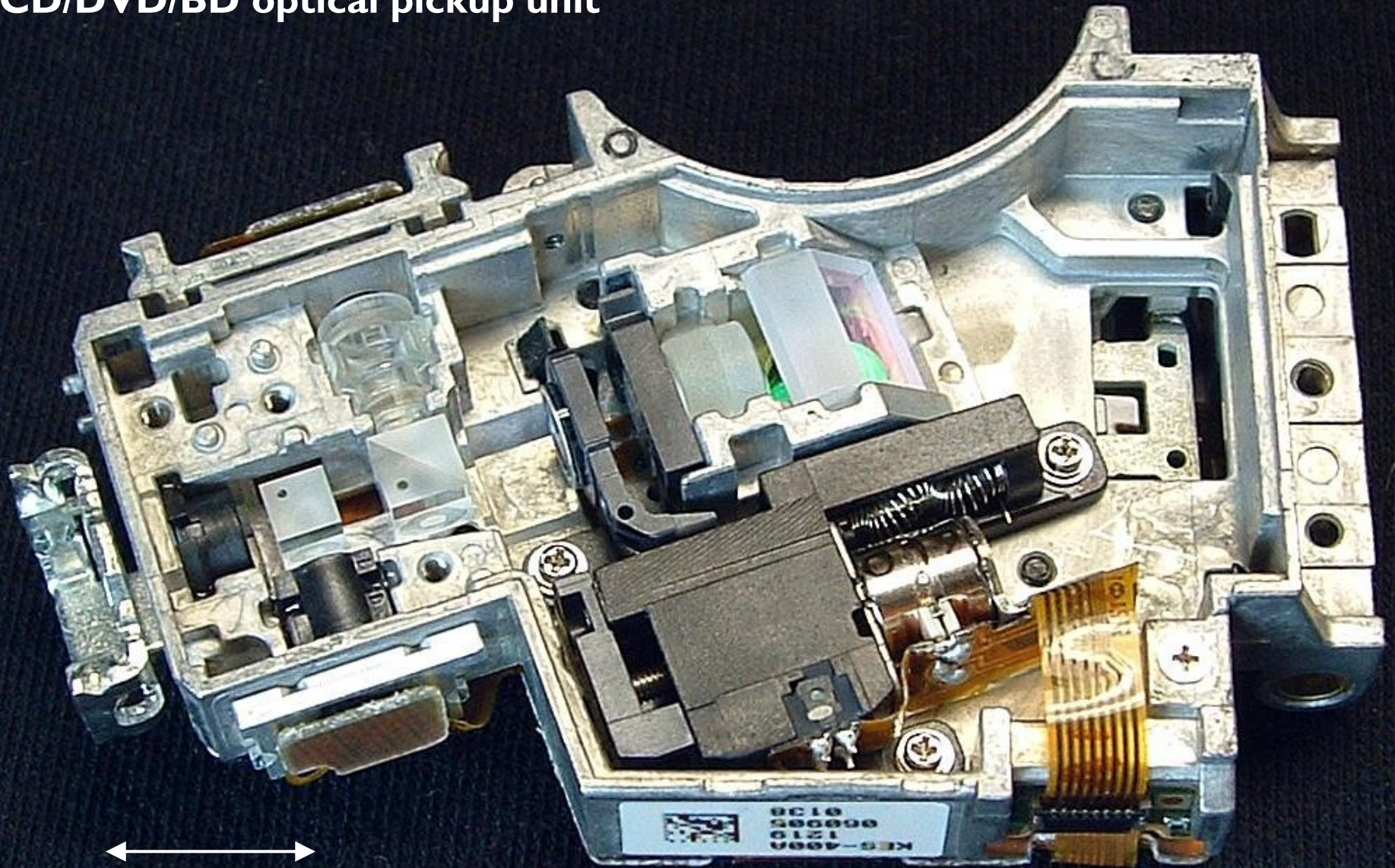


De CD, DVD en BD triple-writer



PHILIPS

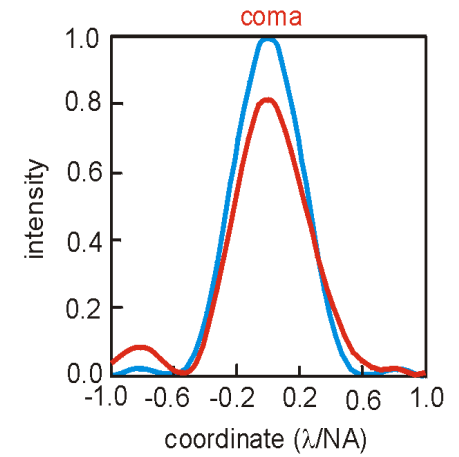
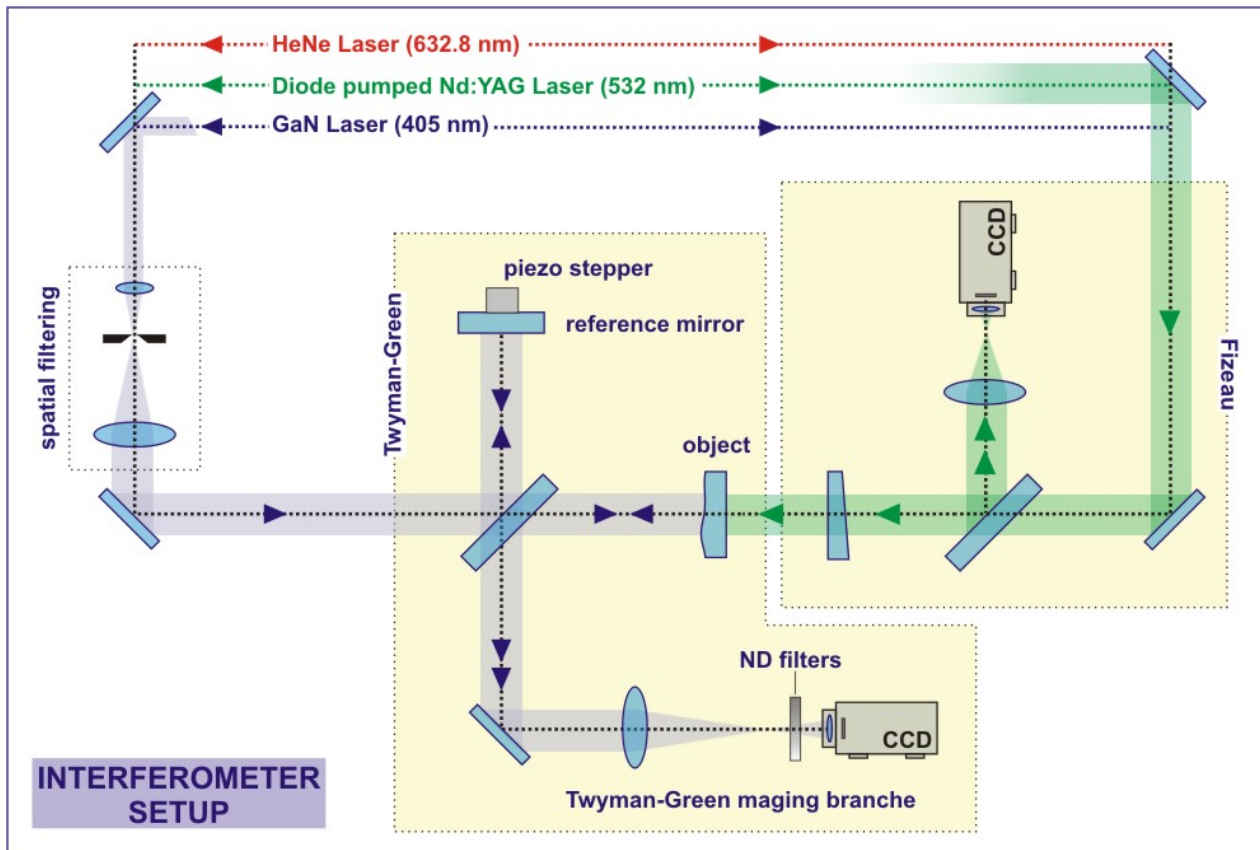
CD/DVD/BD optical pickup unit



1 cm

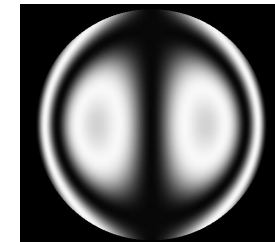
Assemblage en interferometrie

Uitlijnfouten tijdens assemblage (bijv. decentrering, tilt van optische componenten) leidt tot **aberraties** (bijv. coma en sferische aberratie)

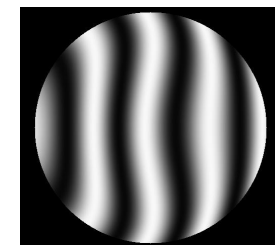


spotprofiel bij 0.05°
scheefstand objectief

interferogram

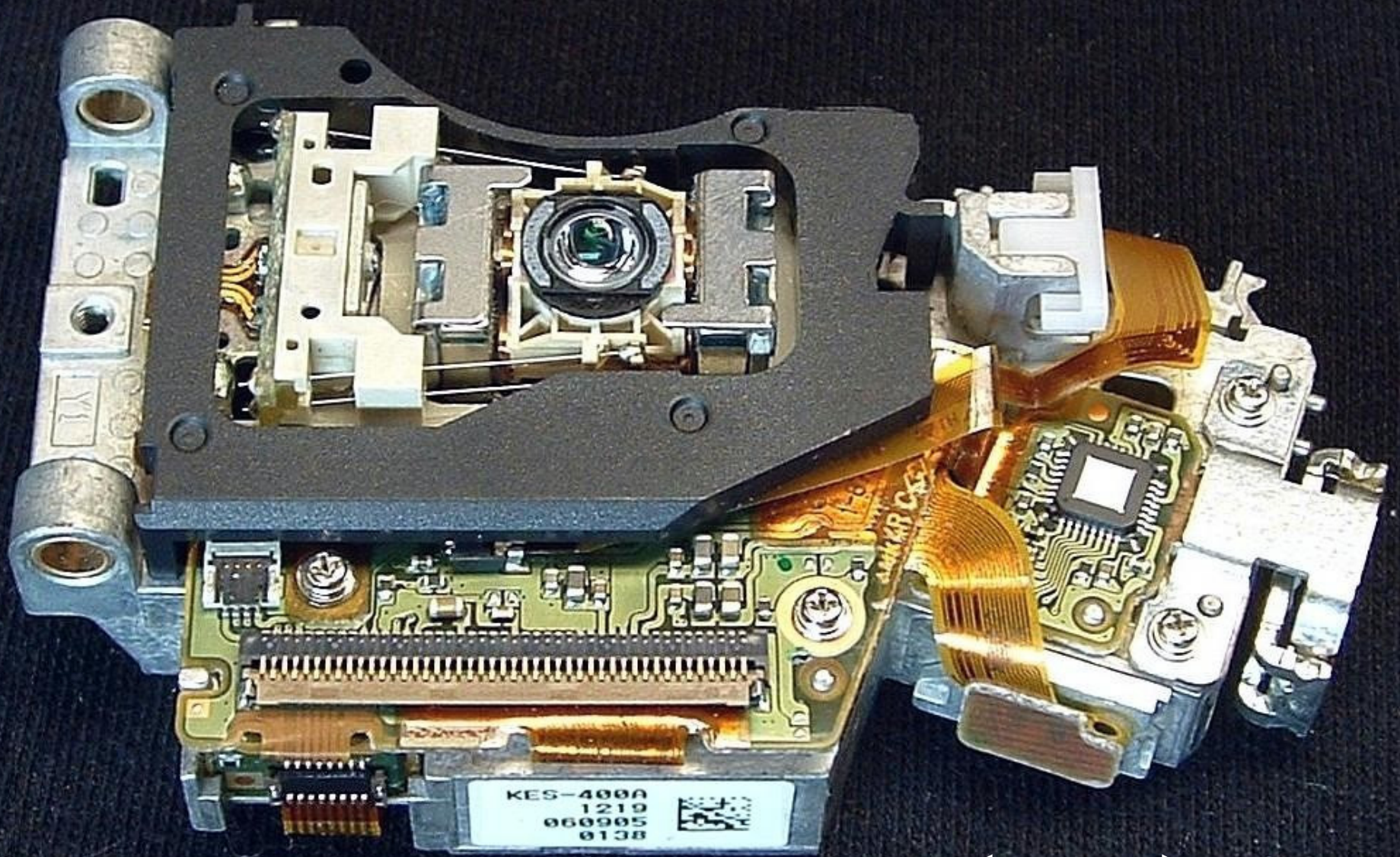


Coma $A_{31} = 1\lambda$



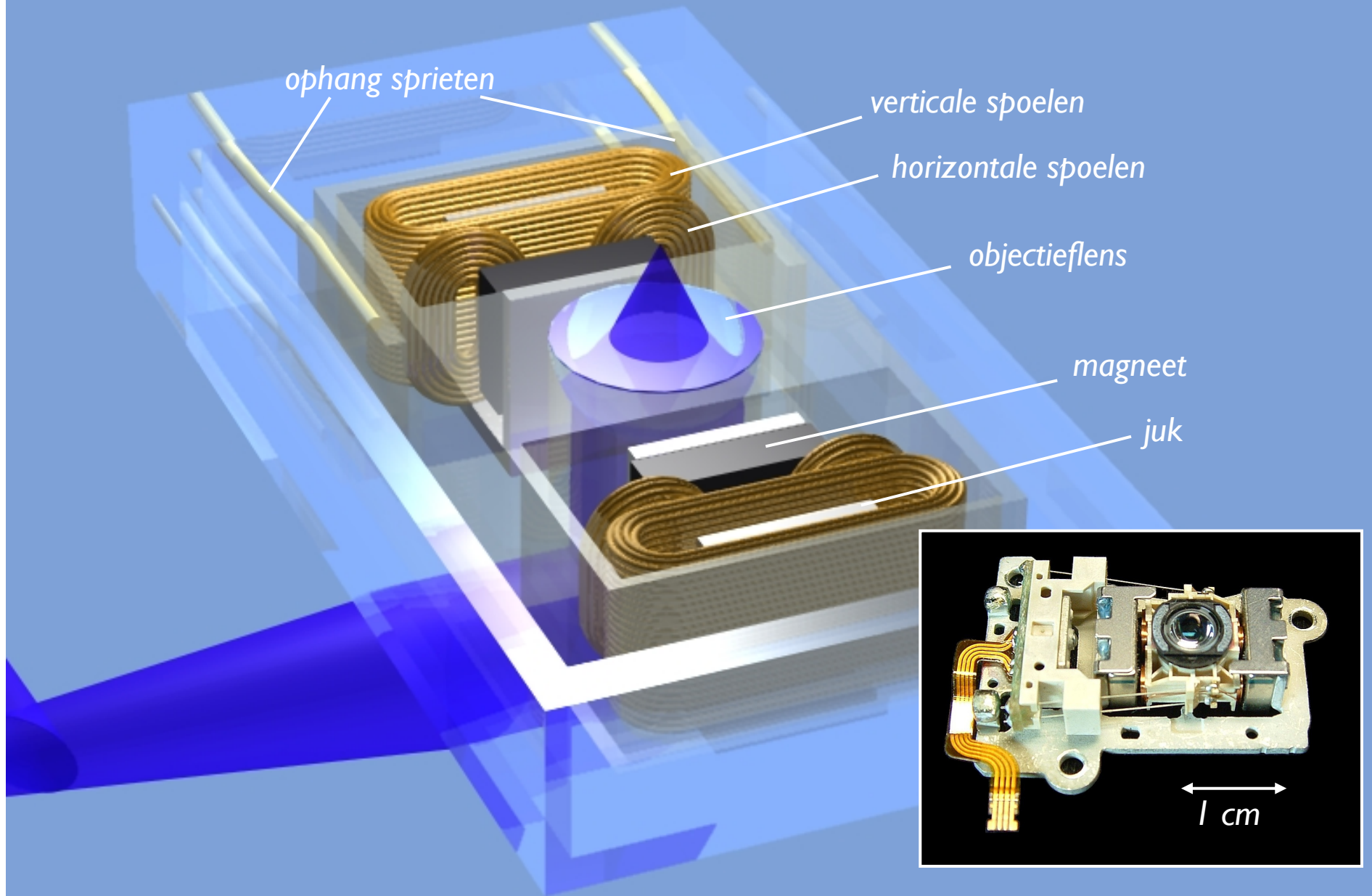
Tilt $A_{11} = 2\lambda$
Spherical $A_{40} = 0.1\lambda$

CD/DVD/BD optical pickup unit



1 cm

Focus- en spoorvolgling: 2D actuator



Focus- en spoorvolging



$v_{\text{linear}} \sim 200 \text{ km/uur !!}$

DVD standaard (1X snelheid)

bit rate $f_{\text{ch}} = 26.2 \text{ Mbit/s}$

lengte kanaalbit $d_{\text{ch}} = 133 \text{ nm}$

binnenstraal $r_1 = 24 \text{ mm}$; buitenstraal $r_2 = 58 \text{ mm}$

➡ lineaire snelheid $v_{\text{disc}} = d_{\text{ch}} \times f_{\text{ch}} = 3.5 \text{ m/s}$

➡ toerental $f_{\text{disc}} = v_{\text{disc}} / (2\pi r)$
 $= 10 \dots 28 \text{ Hz} = 600 \dots 1700 \text{ RPM}$

High speed DVD drive (20X snelheid)

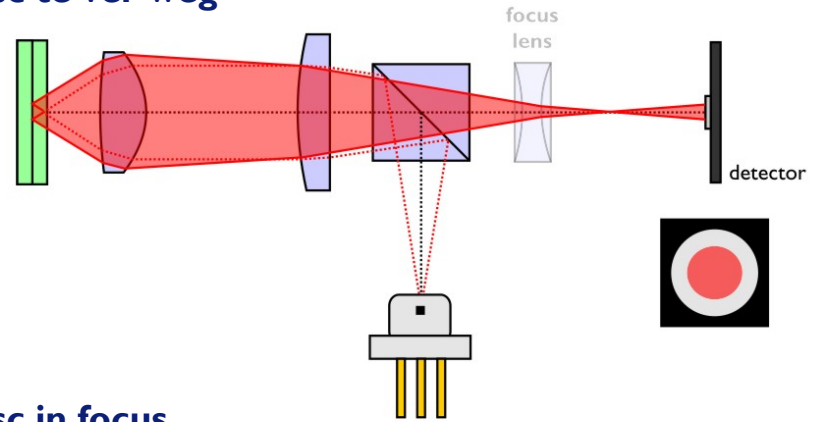
➡ lineaire snelheid $v_{\text{disc}} = d_{\text{ch}} \times f_{\text{ch}} = 70 \text{ m/s}$

➡ toerental $f_{\text{disc}} = 12000 \dots < 30000 \text{ RPM}$

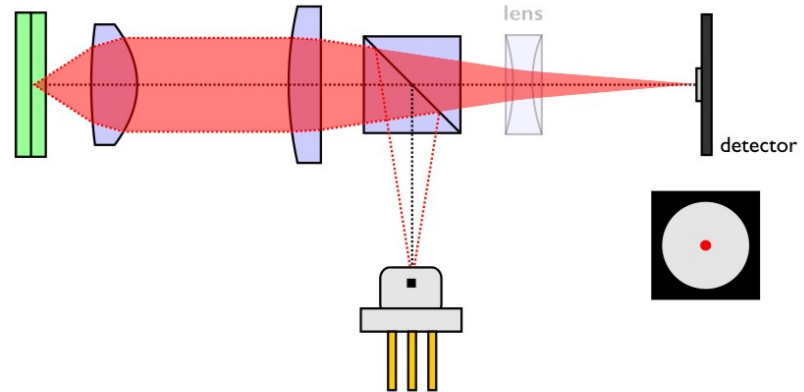
Hoge snelheid geeft aanleiding tot turbulenties, disc vibraties

Focusvolging

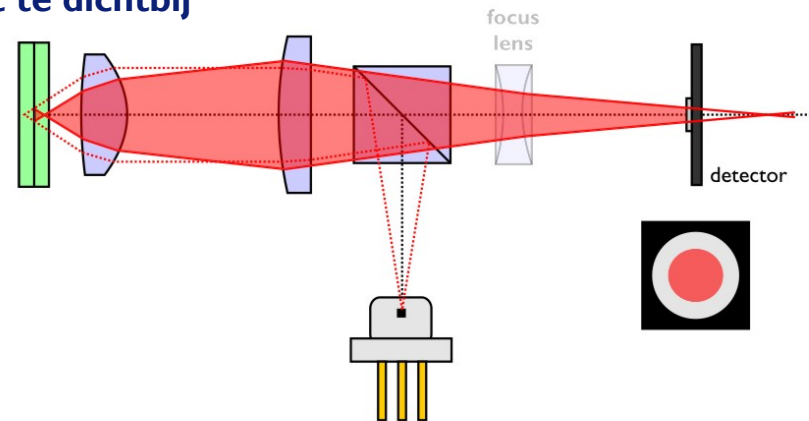
disc te ver weg



disc in focus

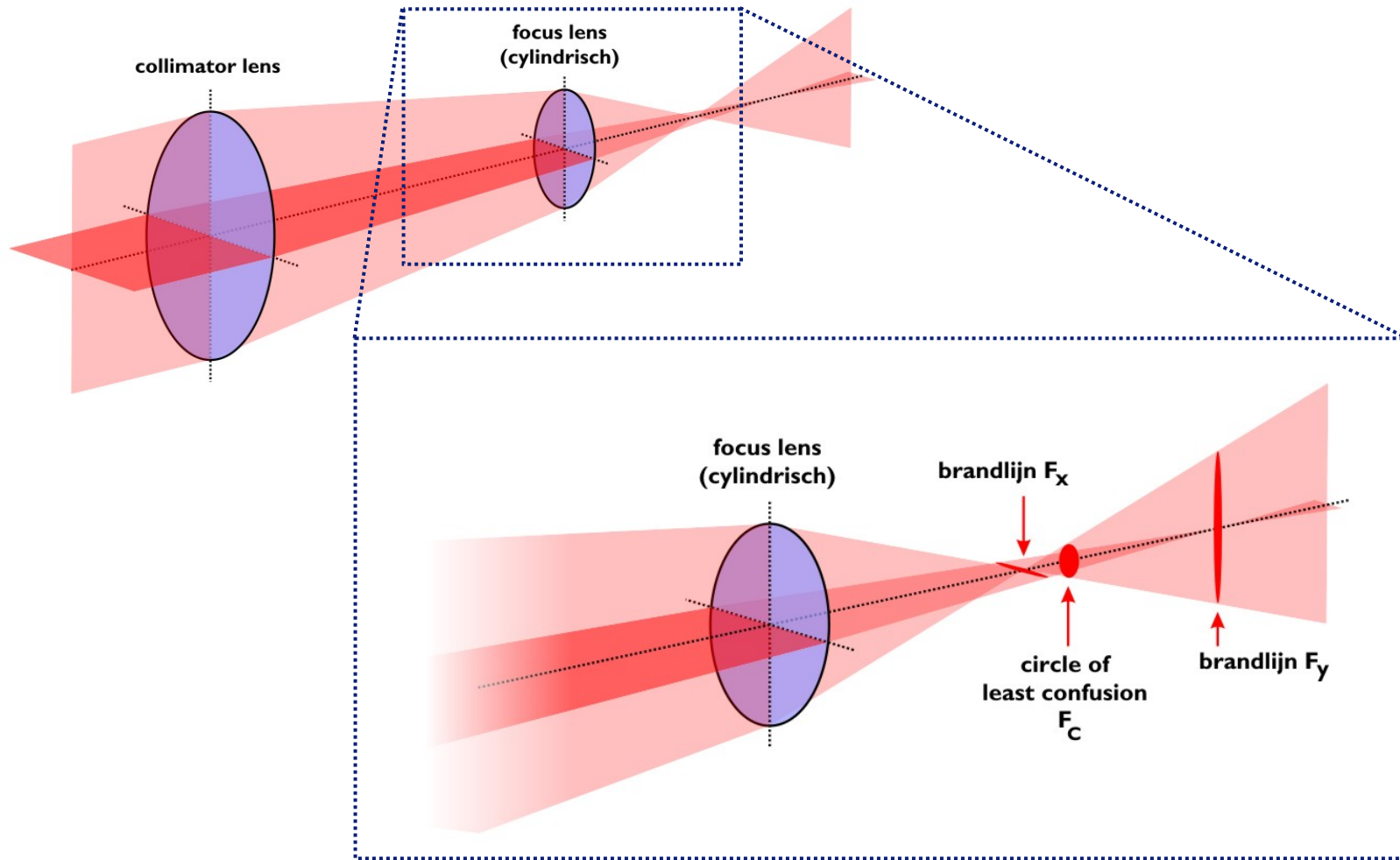


disc te dichtbij

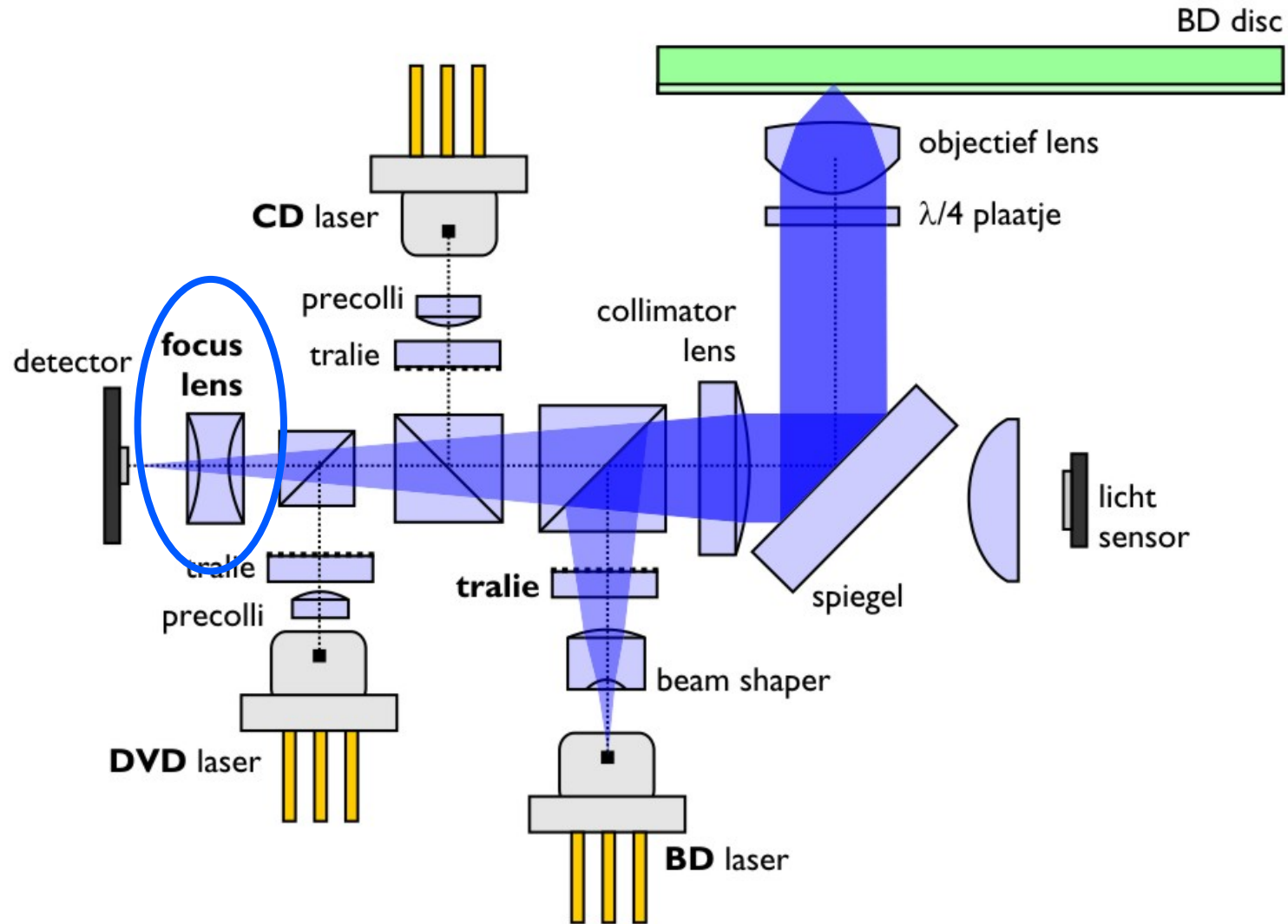


Focusvolgning

Principe van astigmatische focussering

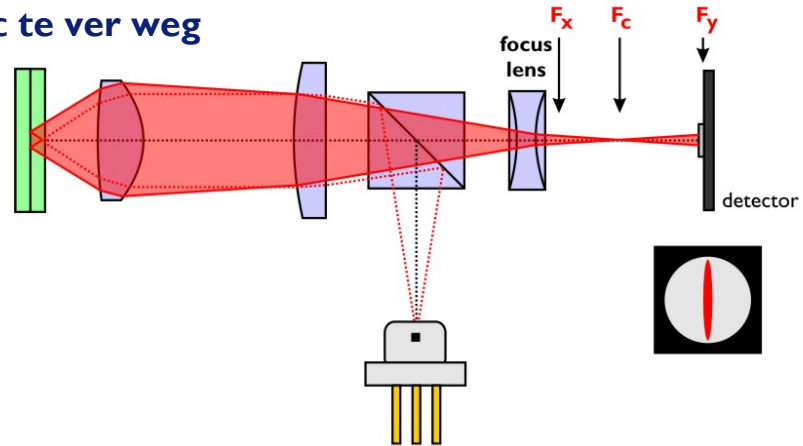


De CD, DVD en BD triple-writer

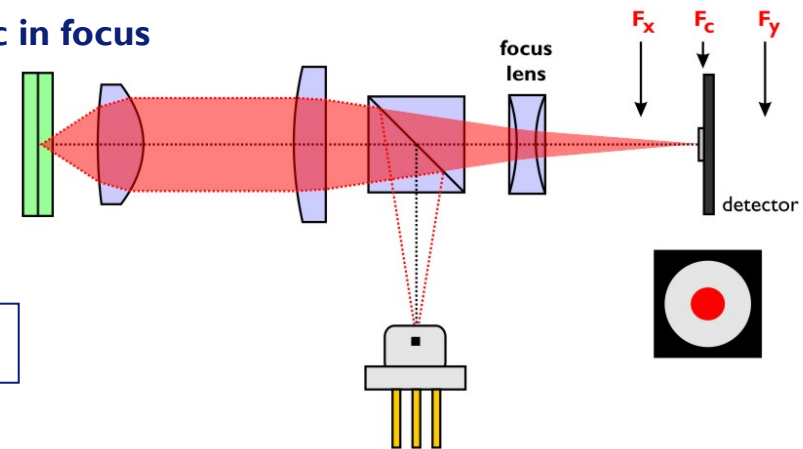


Focusvolging

disc te ver weg

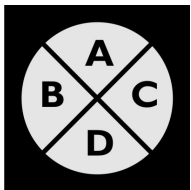


disc in focus

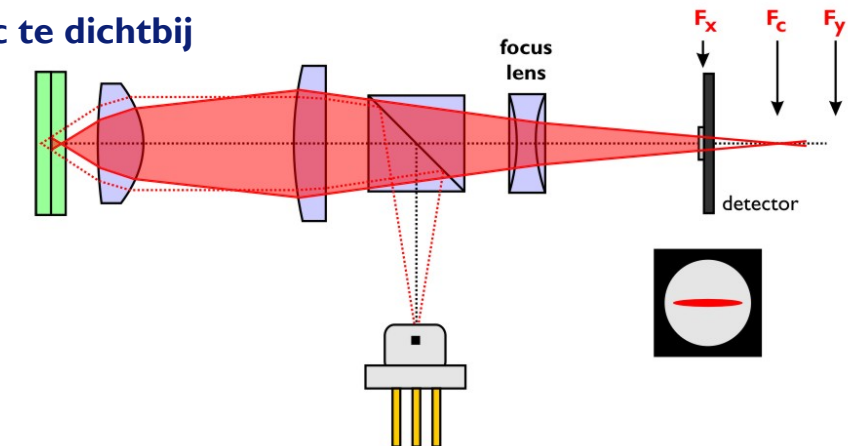


Principe van **astigmatische** focussing

4-kwadrant detector:



disc te dichtbij

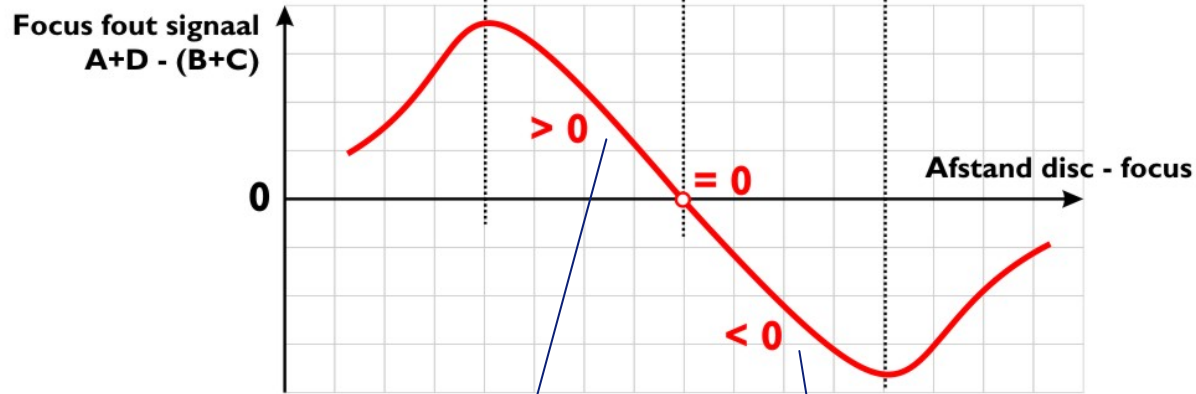
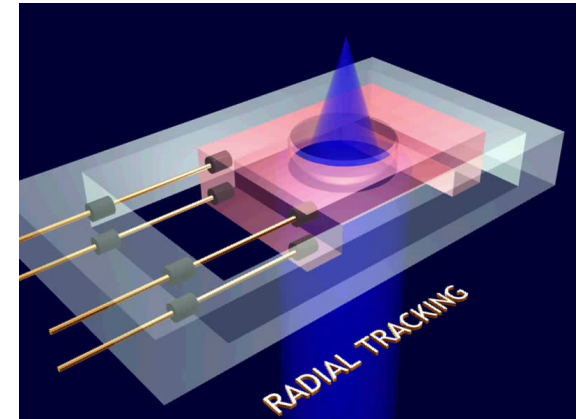
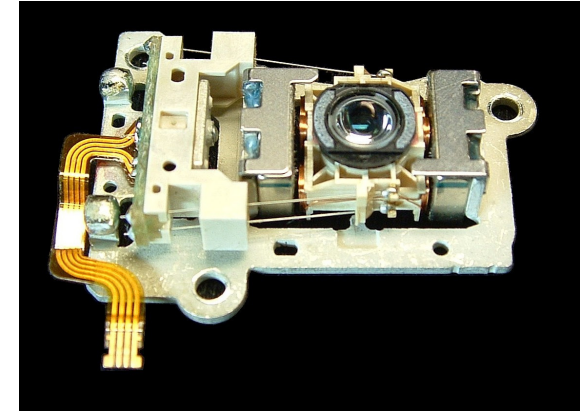


Focusvolgning

disc te ver weg

disc in focus

disc te dichtbij

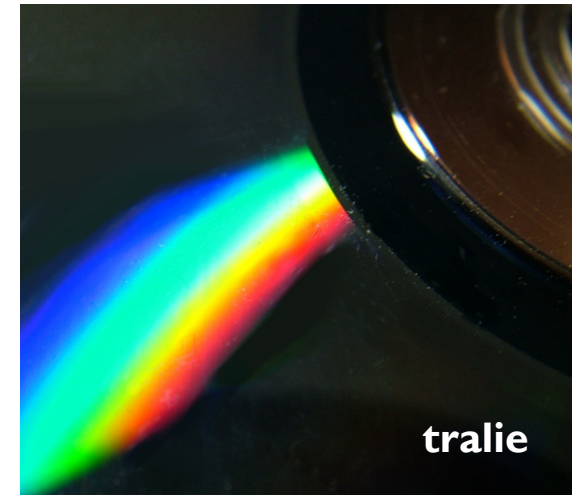
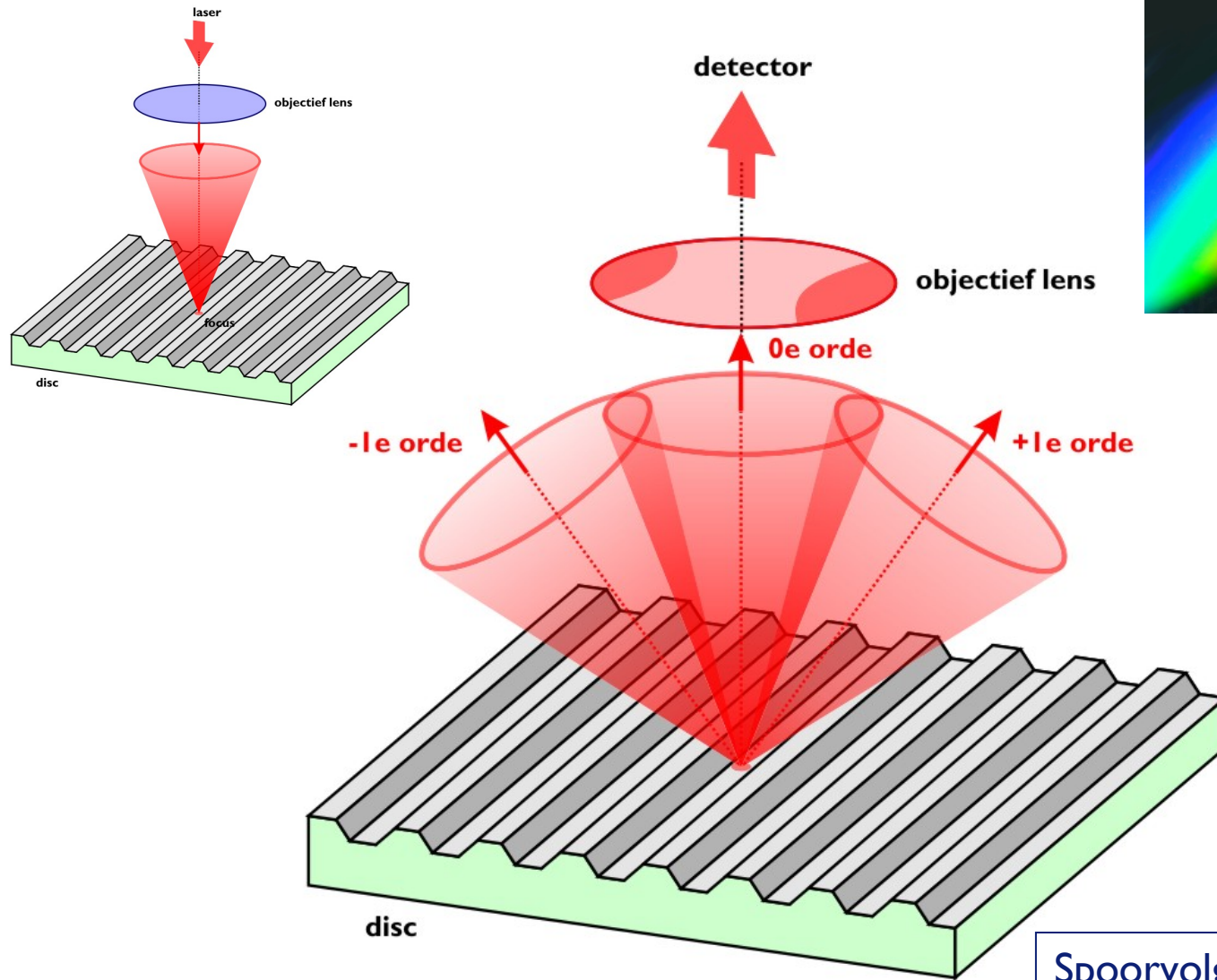


lens naar disc toe bewegen

lens van disc af bewegen

Mechanica
Miniaturisatie
Meet en regeltechniek

Spoorvolging



$$\sin(\theta_m) = m \cdot \frac{\lambda}{p}$$

Spoorvolging: buiging van licht

Spoorvolging

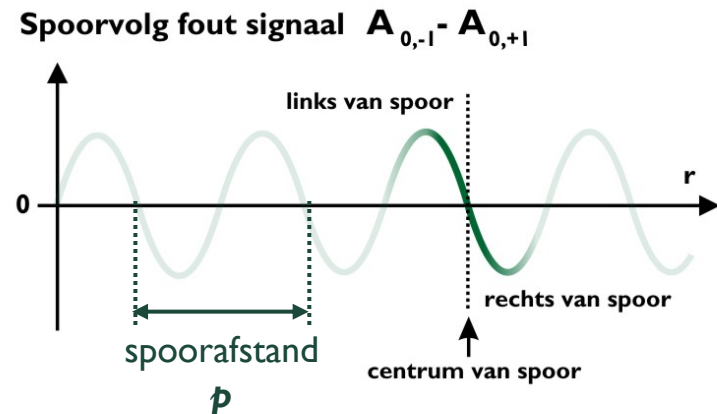
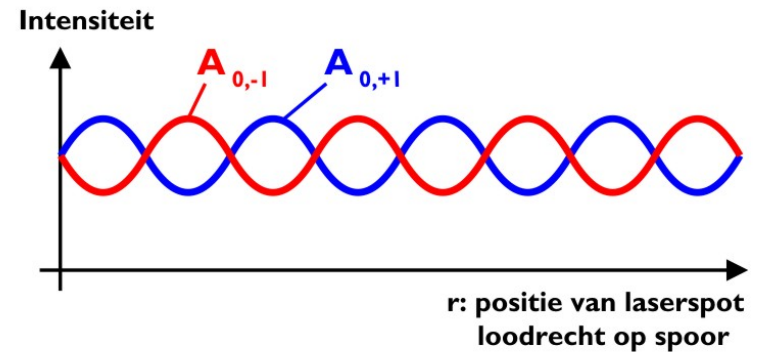
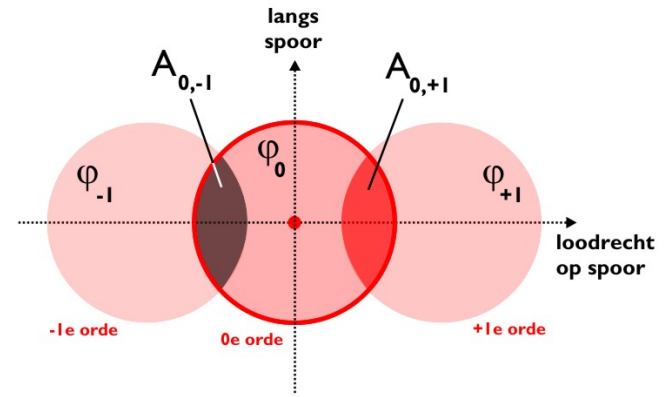
Coherentie van laserlicht:
intensiteit, golflengte en **fase**.

De verschillende buigingsordes interfereren met elkaar. Afhankelijk van het faseverschil tussen de ordes treedt **constructieve**, dan wel **destructieve** interferentie plaats.

$$\Delta\varphi_{0,+1} = +2\pi \cdot r / p$$

$$\Delta\varphi_{0,-1} = -2\pi \cdot r / p$$

r : positie van laser spot t.o.v. het centrum van het spoor;
 p : de spoorafstand



Meet- en regeltechniek

Een voorbeeld: massa-veer systeem

$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + k \cdot x(t) = 0 \quad x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\omega \equiv \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

Massa-veer systeem met drijvende kracht

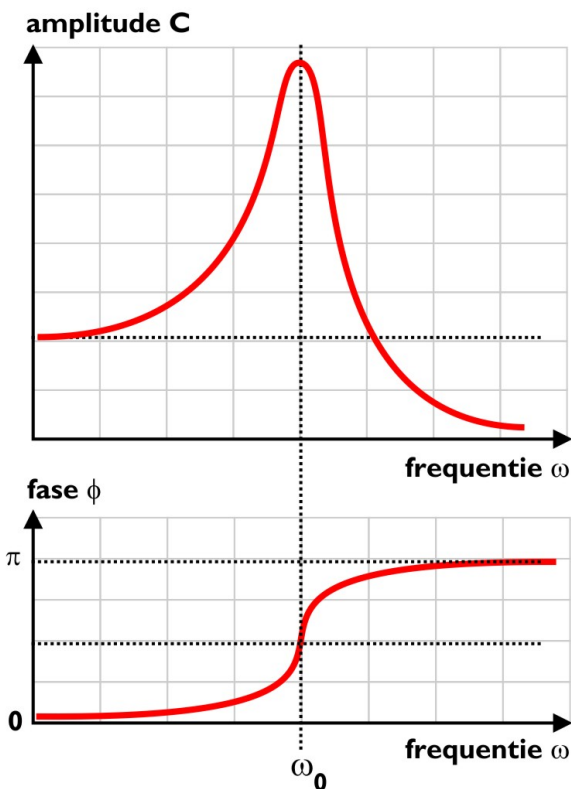
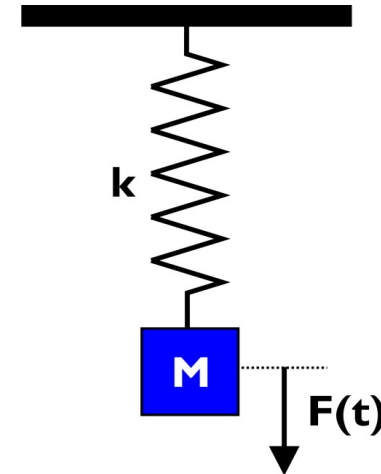
$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + k \cdot x(t) = F(\omega_e t) = F_e \cos(\omega_e t)$$

$$x(t) = C \cos(\omega_e t - \varphi)$$

$$C = \frac{F_e / M}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_e^2)^2 + (\gamma \omega_e / M)^2}}$$

$$\varphi = \arctan \left(\frac{\gamma \omega_e / M}{\omega_0^2 - \omega_e^2} \right)$$

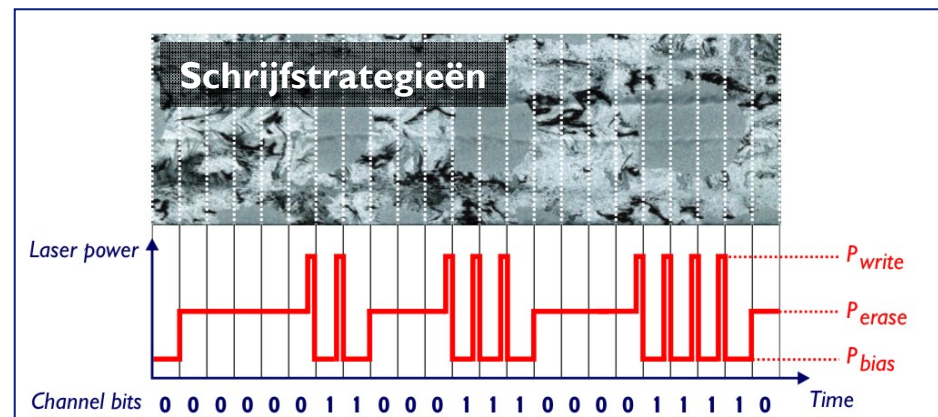
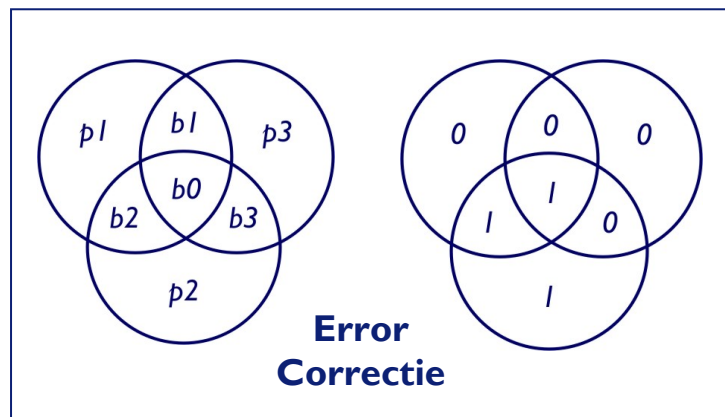
Mechanica
Dynamische systemen
Meet en regeltechniek



(Digitale) Signaal verwerking ...

Electrotechniek
Wiskunde

- Terugwinning kanaalklok: **phase locked loop**
- Versterking kleine signalen (korte effecten): **equalizer, digitale filters**
- Bit detectie: **analoog-digitaal conversie**
- Optimaliseren informatiedichtheid: **kanaal codering, informatie theorie**
- Robuustheid (stof, krasjes, vingerafdrukken): **error correctie codering (ECC)**
- Beschrijven van media: **korte laserpulsen (psec), schrijfstrategieën**



Toekomst ... ?

Industrie

- Ontwikkeling: CD, DVD, BD
- Research: BD high speed en multilaags, near field recording (NA>1), holografische data opslag

- Europa: Philips en Thomson
- VS: IBM
- Japan: Sony, Matsushita (Panasonic), NEC, Toshiba, Pioneer, TDK; lasers: Mitsubishi, Sanyo, Nichia, Rohm, ...

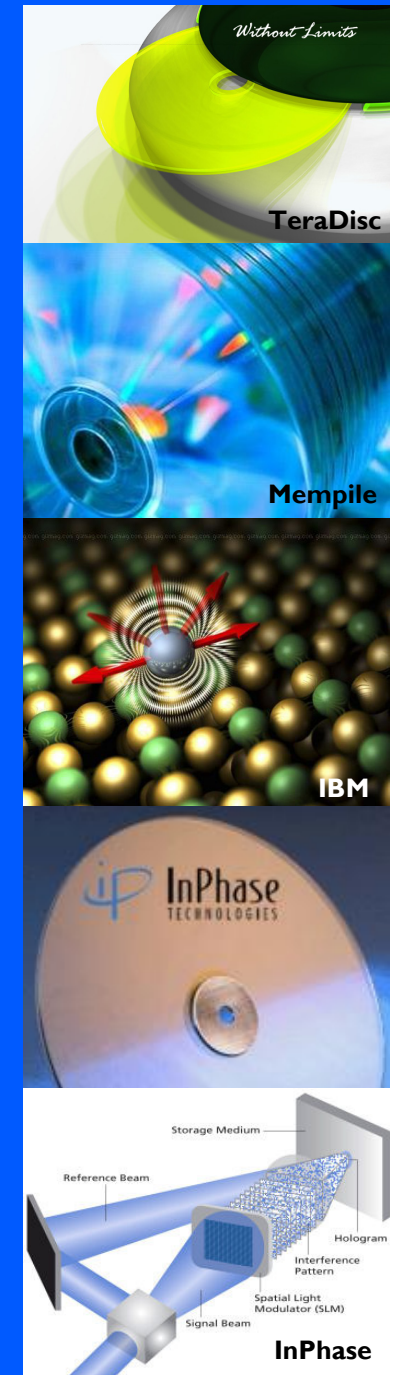
Universiteiten, Instituten

- Research: Near field recording, holografie, 3D-optische data opslag
exotica: single-atom en moleculaire (DNA, eiwitten) data opslag

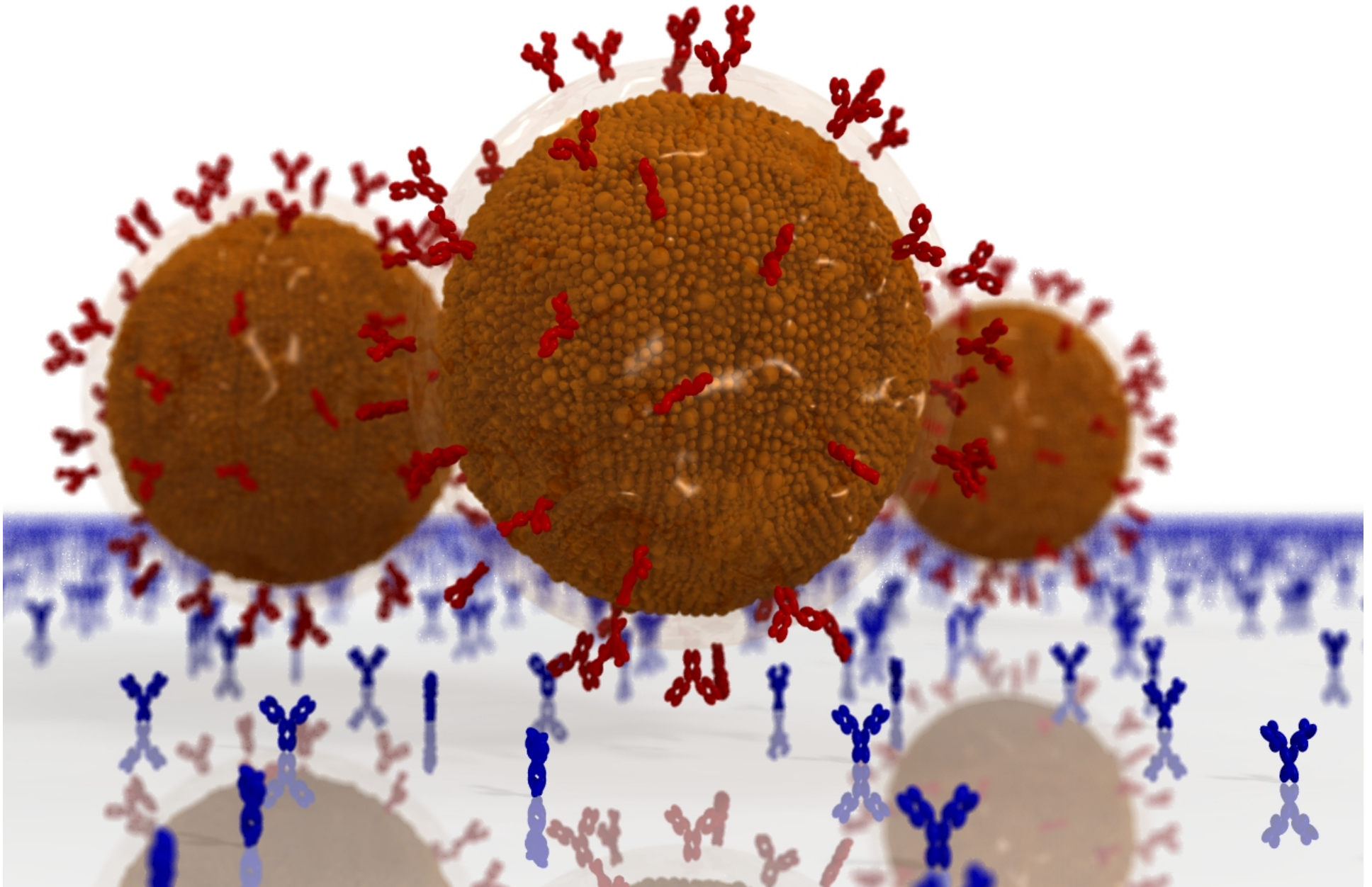
- Met name universiteiten in VS, Japan, China, Taiwan
(Europa: Duitsland, Frankrijk)

1 TeraBytes = 1000 GBytes is reeds aangetoond (in lab.)

Research

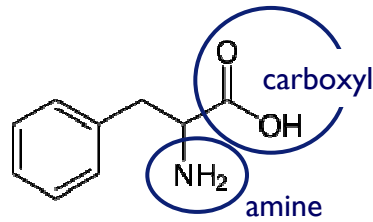


Natuurkunde en Biologie

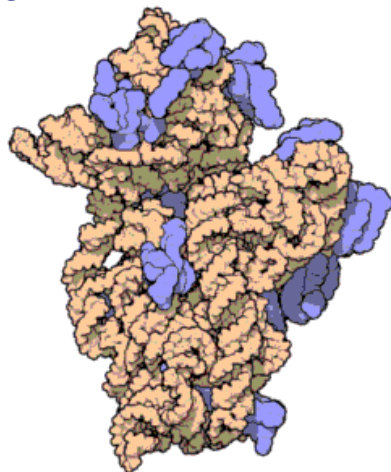


Aminozuren

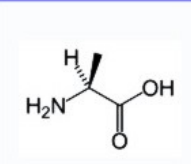
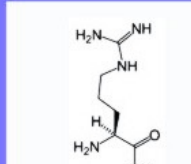
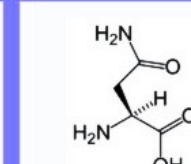
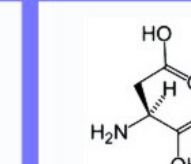
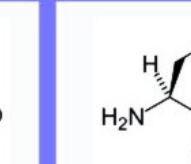
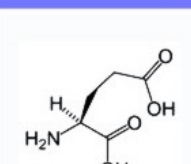
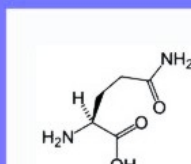
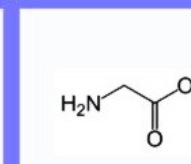
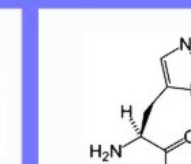
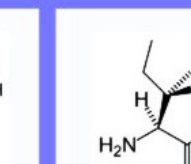
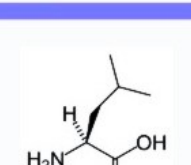
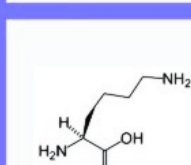
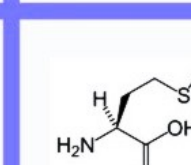
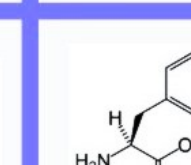
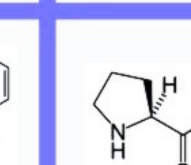
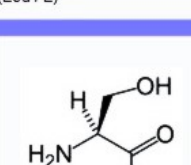
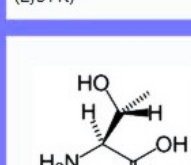
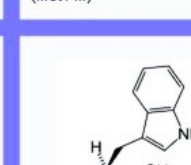
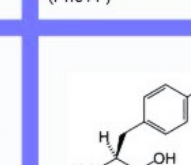
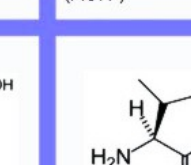
Eiwitten zijn opgebouwd uit vele **aminozuren**



De structuur van een eiwit is vastgelegd in de genetische code (mRNA): eiwit synthese vindt plaats in de cel d.m.v. de **ribosomen**



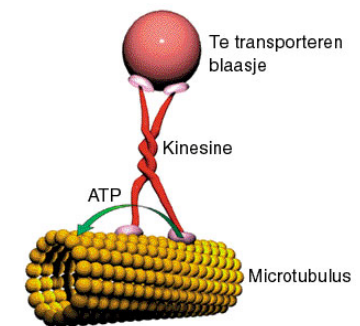
De 20 standaard aminozuren

 L-Alanine (Ala / A)	 L-Arginine (Arg / R)	 L-Asparagine (Asn / N)	 L-Aspartic acid (Asp / D)	 L-Cysteine (Cys / C)
 L-Glutamic acid (Glu / E)	 L-Glutamine (Gln / Q)	 Glycine (Gly / G)	 L-Histidine (His / H)	 L-Isoleucine (Ile / I)
 L-Leucine (Leu / L)	 L-Lysine (Lys / K)	 L-Methionine (Met / M)	 L-Phenylalanine (Phe / F)	 L-Proline (Pro / P)
 L-Serine (Ser / S)	 L-Threonine (Thr / T)	 L-Tryptophan (Trp / W)	 L-Tyrosine (Tyr / Y)	 L-Valine (Val / V)

Eiwitten

Eiwitten of *proteïnes* zijn de werkpaarden in een organisme.

- **Enzymen** zijn katalysatoren voor een chemische reactie, bijv. stofwisseling, kopiëren van DNA. Versnelling onder invloed van een enzym is gigantisch: 10^{17} sneller ! D.w.z. 100 miljoen jaar zonder enzym, 20 milliseconden met enzym !
- **Hormonen** brengen berichten over van de ene naar de andere plaats in het organisme. Bijv. **Insuline** (aangemaakt in de alvleesklier): eenmaal in de bloedbaan zorgt dit eiwit ervoor dat de bloedsuikerspiegel daalt.
- **Antilichamen** zijn onderdelen van eiwitten met als doel het binden van **antigenen**, of lichaamsvreemde stoffen, zodat deze door het **immuunsysteem** kunnen worden afgebroken.
- **Transport** eiwitten transporteren andere moleculen naar andere locaties in het organisme. Een bekend voorbeeld is het eiwit **hemoglobine** dat zuurstof bindt en transporteert van de longen naar de andere organen.
- **Structuur** eiwitten zorgen voor de rigide structuur van een cel. **Keratine** is het eiwit dat zorgt voor de opbouw van harde structuren als nagels en haren. Andere eiwitten als **kinesine** zijn in staat mechanische krachten uit te oefenen (samentrekken van spieren, intra-cellulair transport).



Industrieel onderzoek

Detectie van drugs

PHILIPS

Magnetische bio-sensor voor drugsmisbruik



1 op de 50 bestuurders wordt positief getest op gebruik van methamfetamine, ecstasy en/of cannabis. Dit is hoger dan het gemiddelde percentage van alcoholmisbruikers!
(Australië)

Drugs testen worden reeds afgenomen in verkeer in:
Engeland, Australië, Spanje, Kroatië

Nederland volgt, politiek agenda item

Artikel 8 van de Wegenverkeerswet

1. Het is een ieder verboden een voertuig te besturen of als bestuurder te doen besturen, terwijl hij verkeert onder zodanige invloed van een stof, waarvan hij weet of redelijkerwijs moet weten, dat het gebruik daarvan - al dan niet in combinatie met het gebruik van een andere stof - de rijvaardigheid kan verminderen, dat hij niet tot behoorlijk besturen in staat moet worden geacht.

2. Het is een ieder verboden een voertuig te besturen of als bestuurder te doen besturen na zodanig gebruik van alcoholhoudende drank, dat:

- a. het alcoholgehalte van zijn adem bij een onderzoek hoger blijkt te zijn dan een halve milligram alcohol per milliliter bloed;
- b. het alcoholgehalte van zijn bloed bij een onderzoek hoger blijkt te zijn dan een halve milligram alcohol per milliliter bloed.

3. In afwijking van het tweede lid is het een bestuurder van een motorrijtuig voor het besturen waarvan een rijbewijs is vereist, indien sedert de datum waarop aan hem voor de eerste maal een rijbewijs is afgegeven nog geen vijf jaren zijn verstreken en de eerste afgifte van h

Van “Centraal Lab” naar “Point of Care”

Toenemende druk op gezondheidszorg door vergrijzing en hoge kosten

Versnelling van diagnose-therapie cyclus door “point-of-care” analyse

Miniaturisatie van bio-chemische analyse apparatuur

Nieuwe meettechnieken: compact, snel, nauwkeurig en gevoelig

In-vitro bio-analyse: “van *centraal lab* naar *point-of-care*”



Draagbaar, handheld

*bioMérieux Clinical Diagnostics - miniVidas
Table-top (tafel) model*

In-vitro bio-analyse: van *centraal lab* naar *point-of-care*



Medische diagnose: bloed, urine



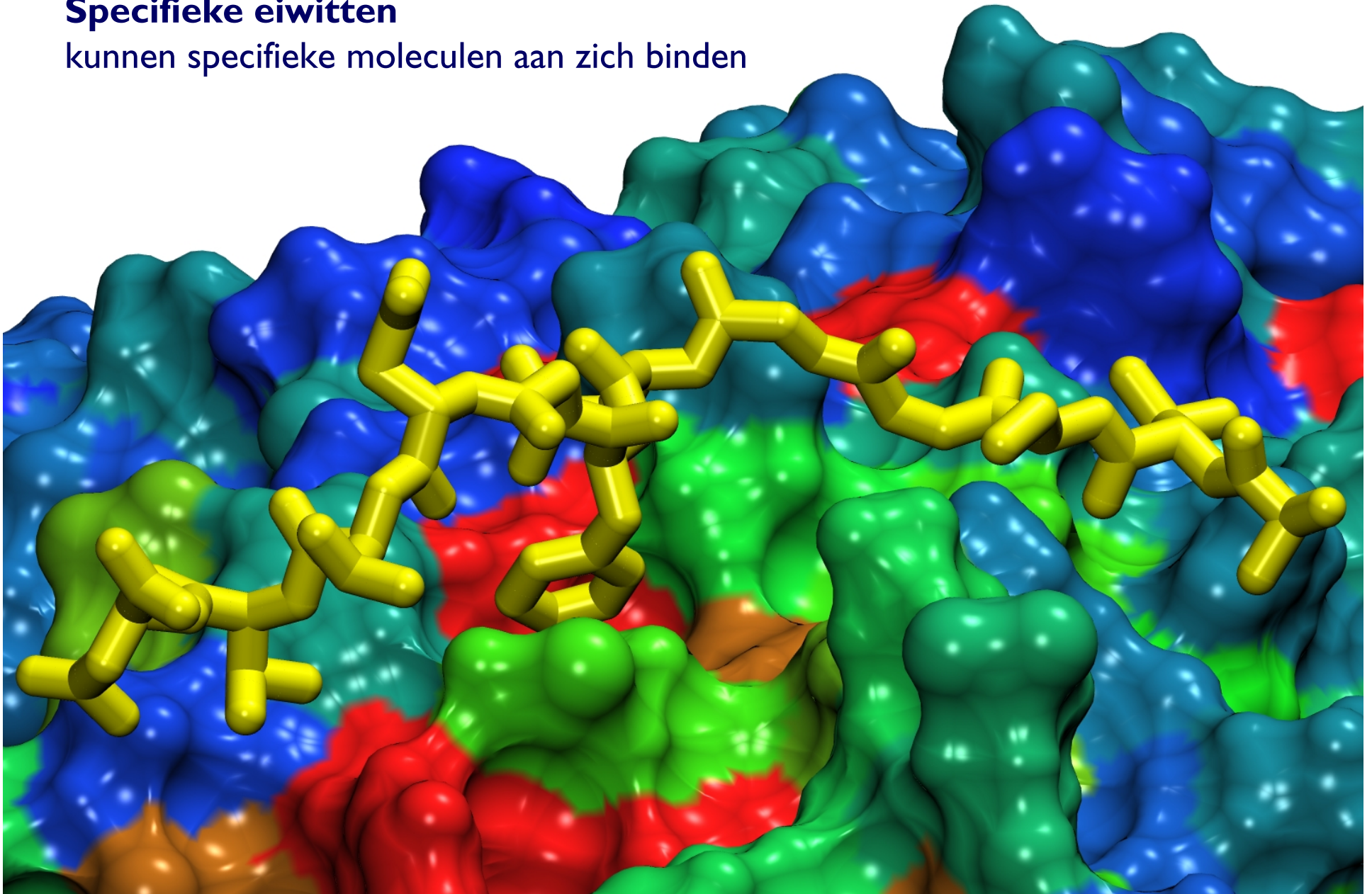
Drugs en verkeer: speeksel

Kwalitatieve en kwantitatieve meting van biomoleculen / eiwitten ?

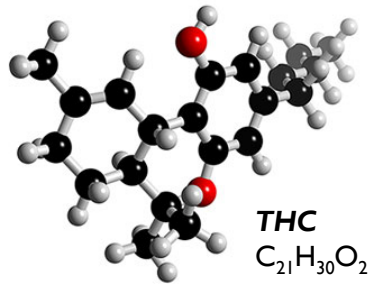


Specifieke eiwitten

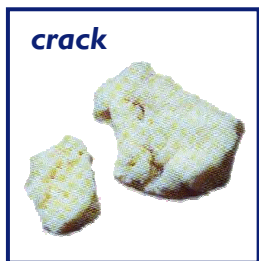
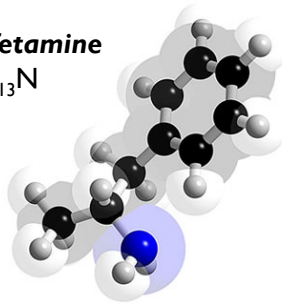
kunnen specifieke moleculen aan zich binden



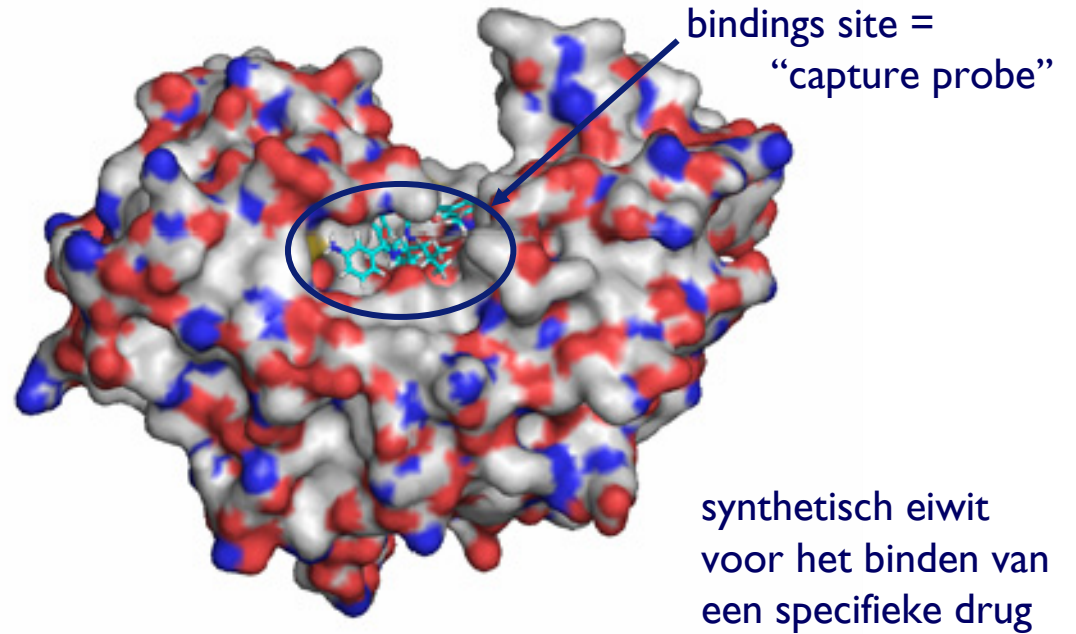
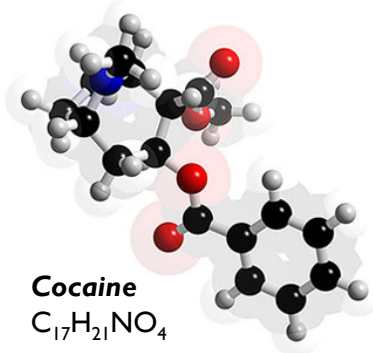
Meten van drugsgebruik



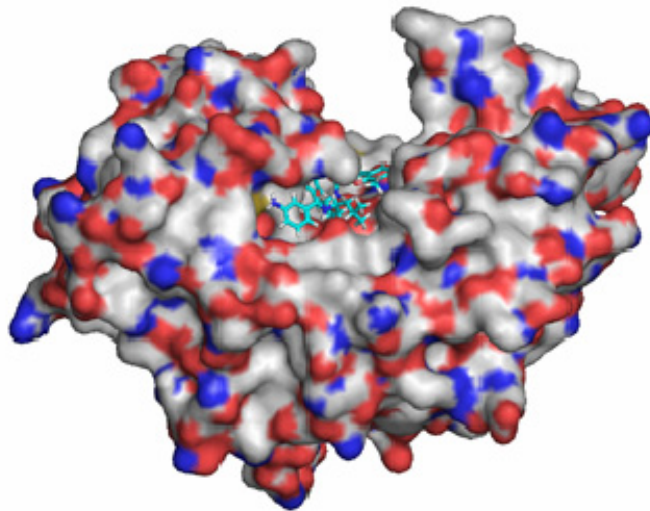
Amfetamine
 $C_9H_{13}N$



Cocaine
 $C_{17}H_{21}NO_4$



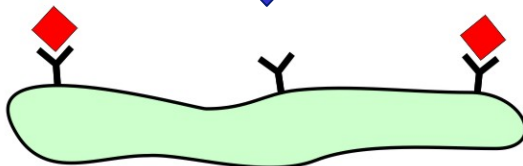
Meten van drugsgebruik



◆ drugs molecule

Y capture probe / bindings site

eiwit

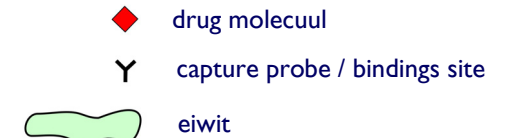
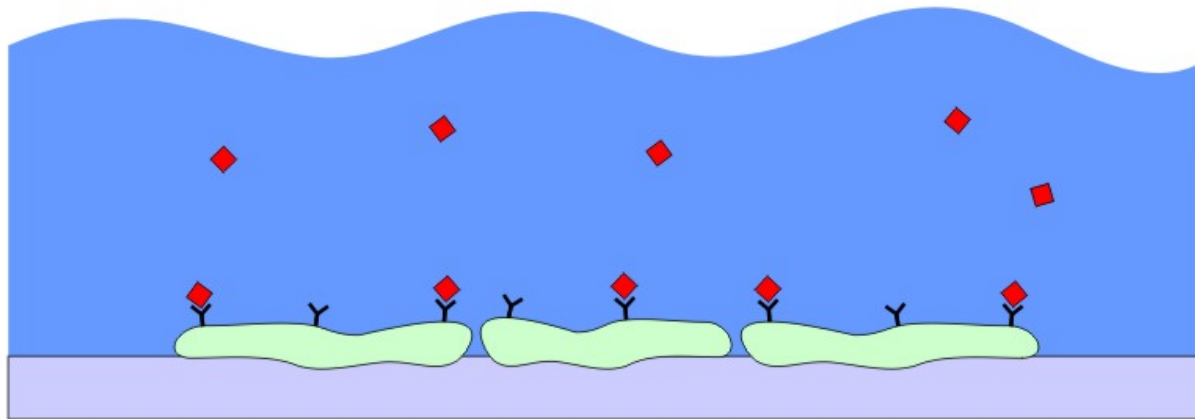
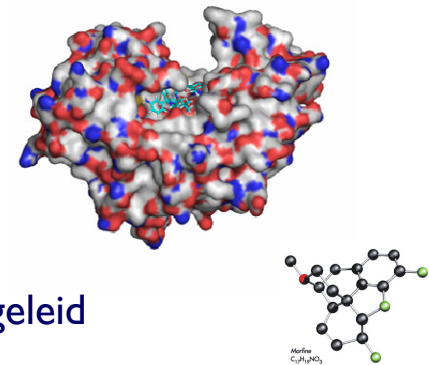


drugs gebonden aan eiwit

Metten van drugsgebruik

Een “bio-assay”:

1. Een plastic substraat wordt bedekt met een drugs-specifiek eiwit
2. Het monster (speeksel) met (of zonder) drugs wordt over het substraat geleid
3. Drugs binden aan het eiwit, en zitten vast aan het substraat



Hoge nauwkeurigheid: - drugs: 10^{-9} Mol/l
 - lichaamseigen stoffen: 10^{-12} Mol/l
 - water = 56 Mol/l

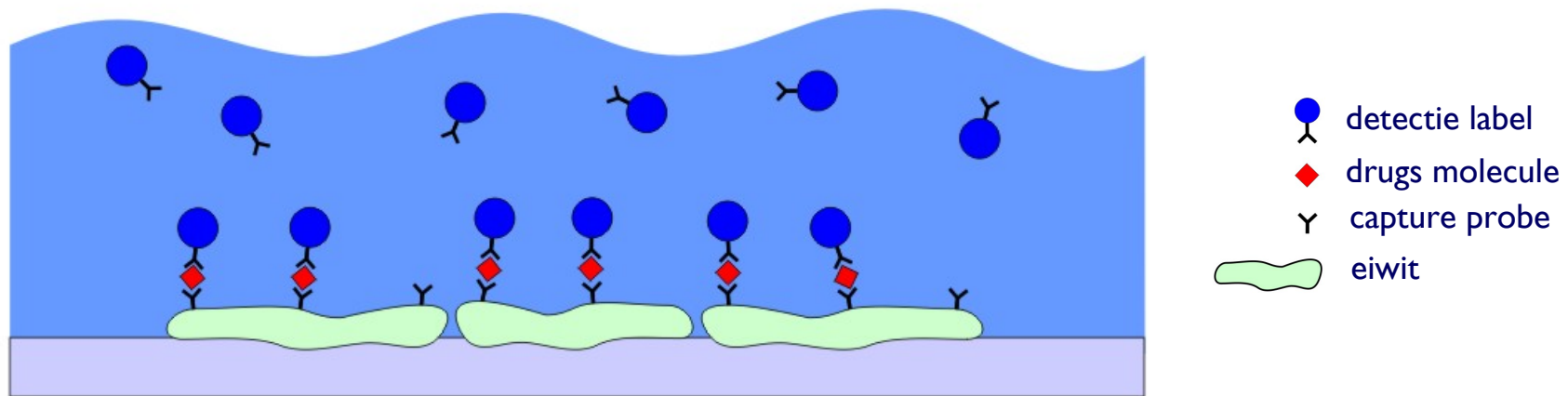
Vraag: Hoe kunnen we de drugs, liefst kwantitatief, meten?

Label technieken

Metten van drugsgebruik

Het meten van **fysische labels** :

1. Deze labels worden aan de oplossing toegevoegd
2. Drugs worden toegevoerd en labels binden aan de drugs moleculen (incubatie)
3. Drugs moleculen (en labels) binden aan eiwit



Vraag: Hoe meten we alleen die labels die zich aan het oppervlak bevinden?

Oppervlakte selectieve detectie techniek !

Licht
(fluorescentie)

Chemisch
(energie overdracht)

Magnetisme

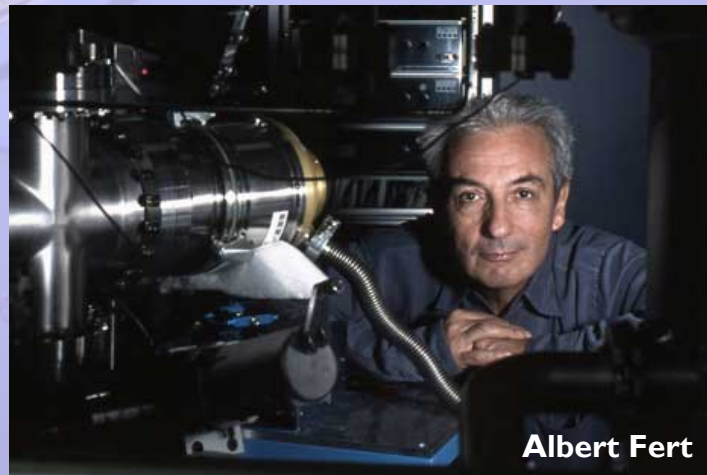
Nobelprijs Natuurkunde 2007

Giant Magneto-Resistance (GMR) effect

Ontdekt in 1988 door
Albert Fert (Université Paris-Sud, Frankrijk), en
Peter Grünberg (Forschungscentrum Jülich, Duitsland)



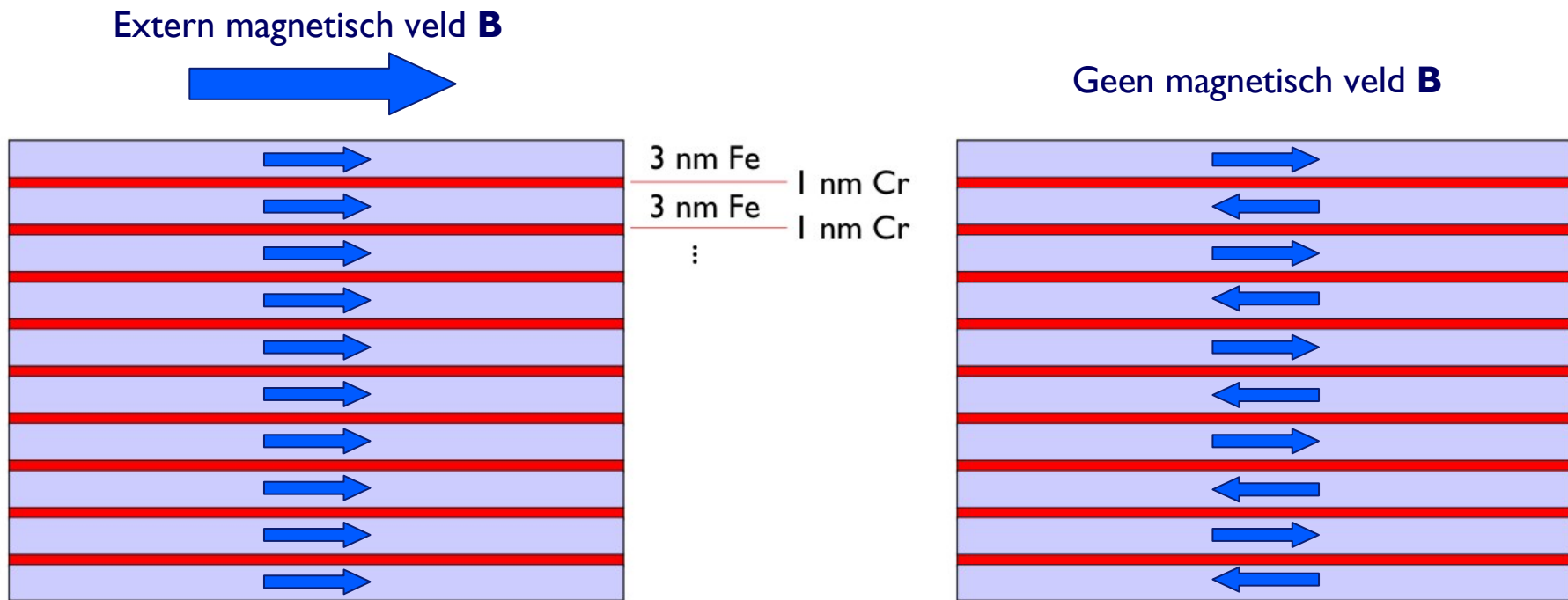
Peter Grünberg



Albert Fert

Giant Magnetoresistance Effect (GMR)

Multilaag pakket van ijzer (Fe, **ferromagnetisch**) en chroom (Cr, niet-magnetisch)

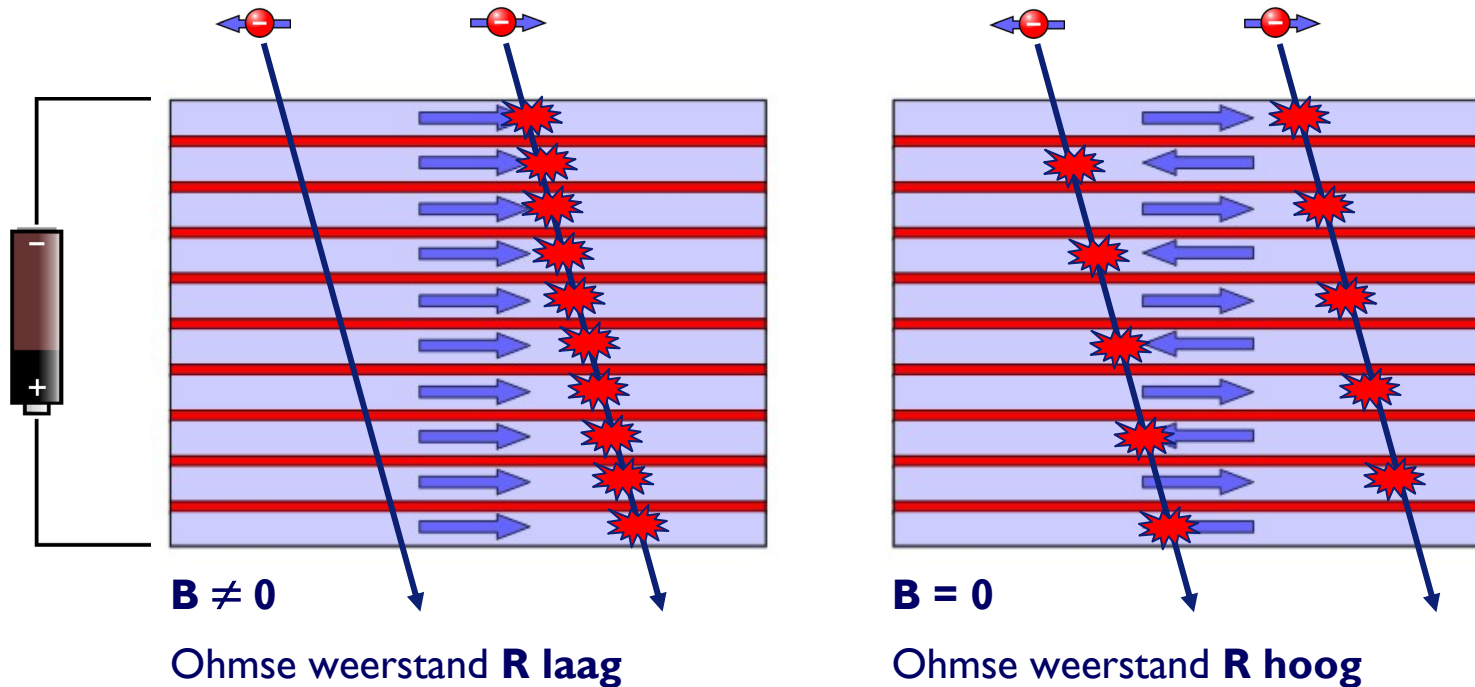


Bij geen of een laag extern magnetisch veld koppelen de Fe-lagen **anti-ferromagnetisch**

Giant Magnetoresistance Effect (GMR)

Electronen hebben **electronenspin**: langs het magnetisch veld (*up*) of tegengesteld daaraan (*down*).

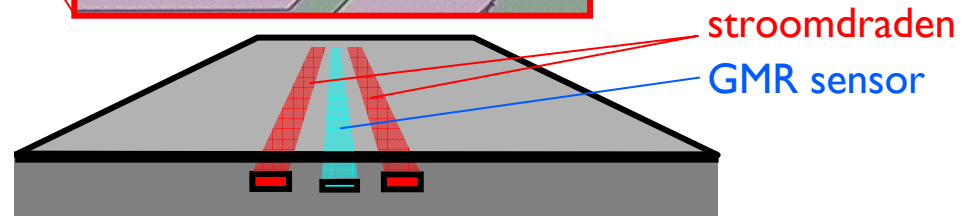
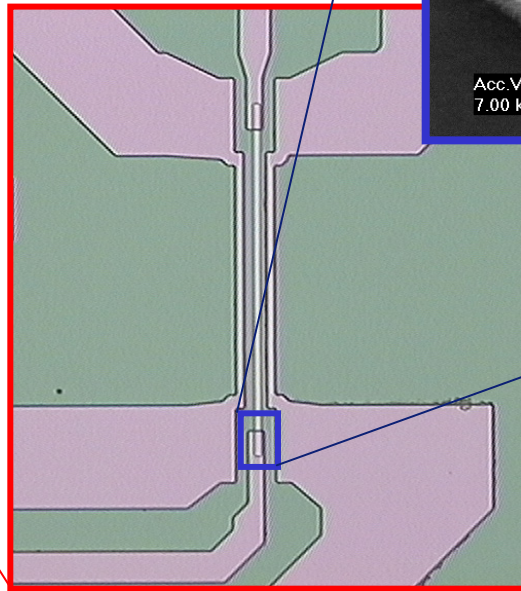
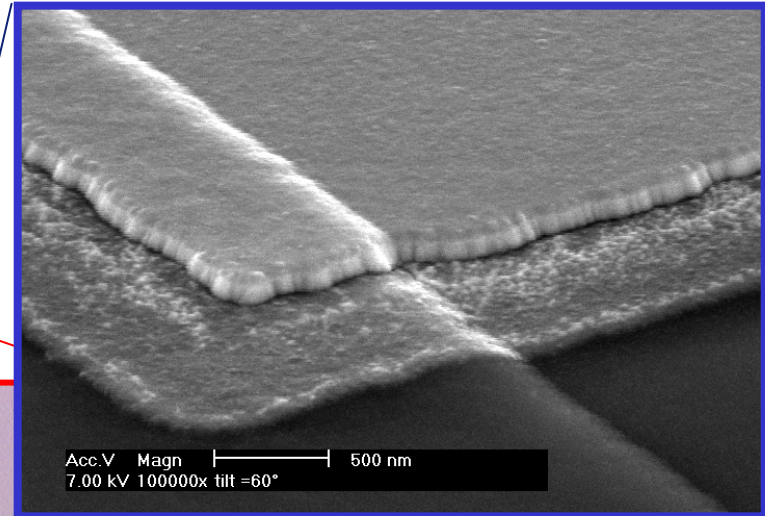
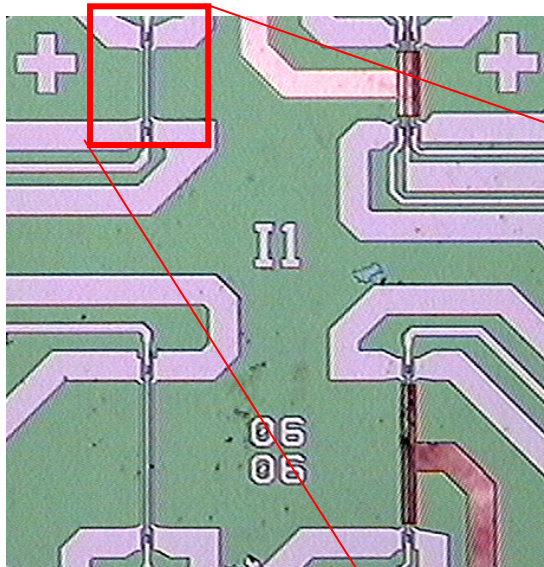
Een electron zal alleen **verstrooid** worden wanneer zijn spin **evenwijdig** is aan de lokale magnetisatie van de Fe-lagen. We hebben te maken met evenveel *spin-up* als *spin-down* electronen.



Toepassing: **bio-sensoren** (gevoeligheid), **harde schijven** (opslagcapaciteit $100 \text{ bits}/\mu\text{m}^2$)

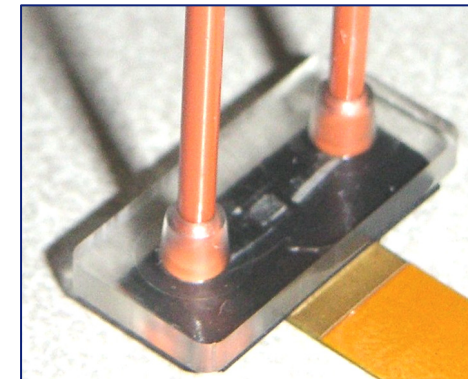
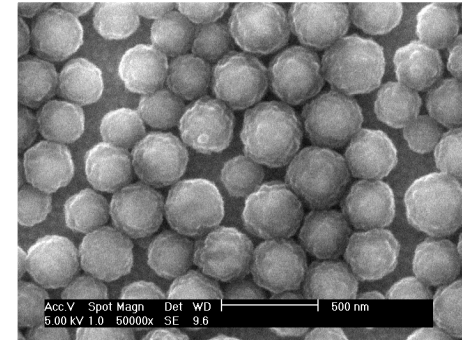
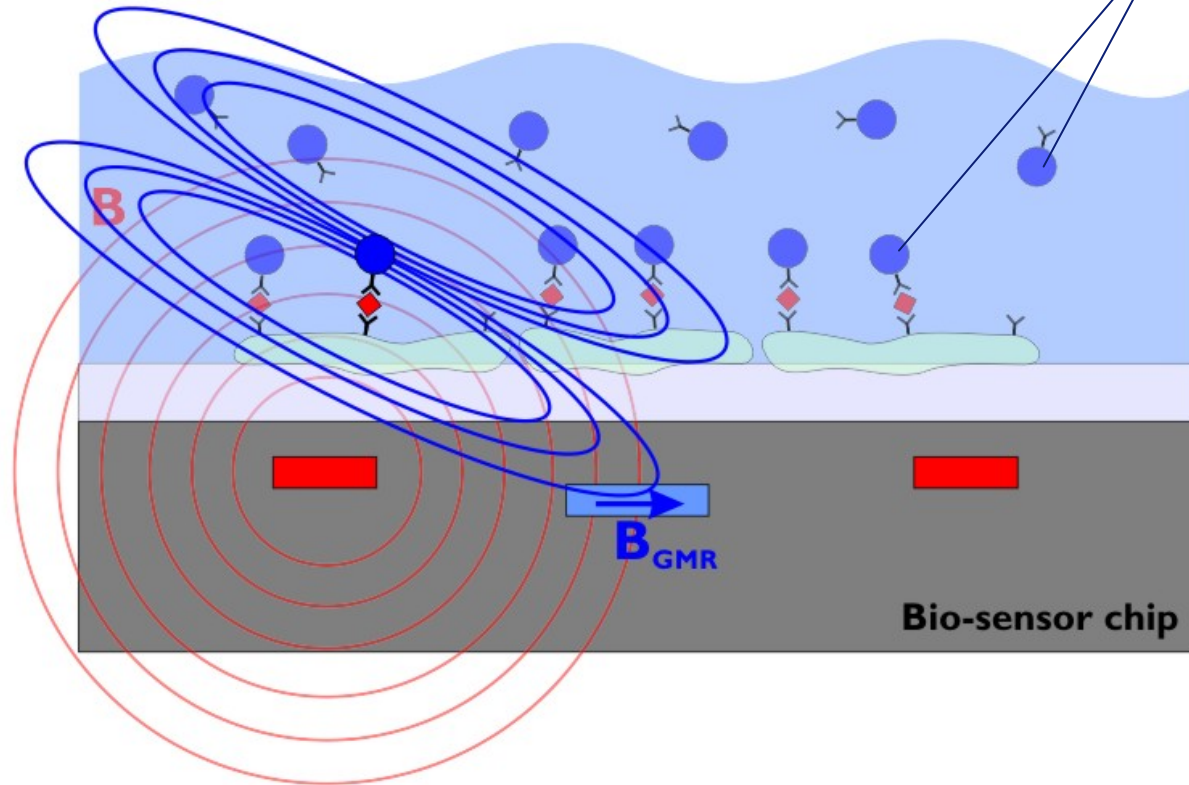


GMR bio-sensor chip



GMR bio-sensor principe

Labels:
paramagnetische bolletjes
(Fe_2O_3 in polystyreen matrix)

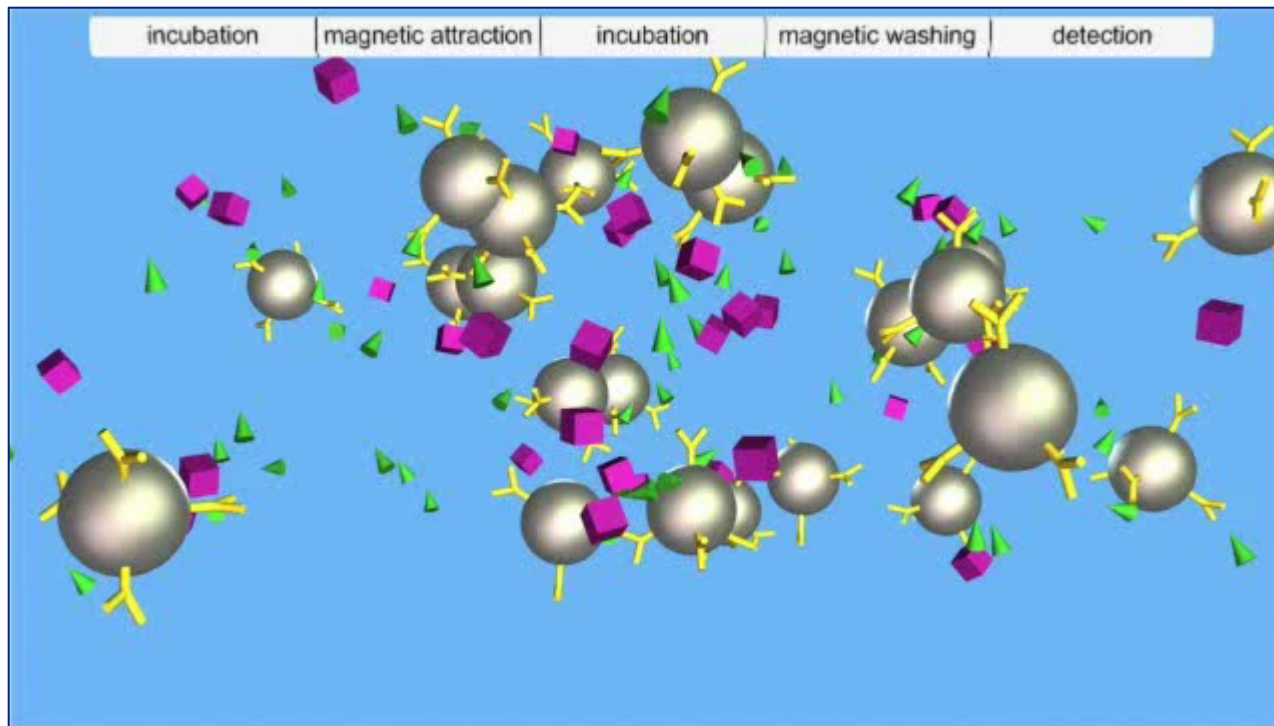


Philips GMR bio-sensor

Toepassingen:

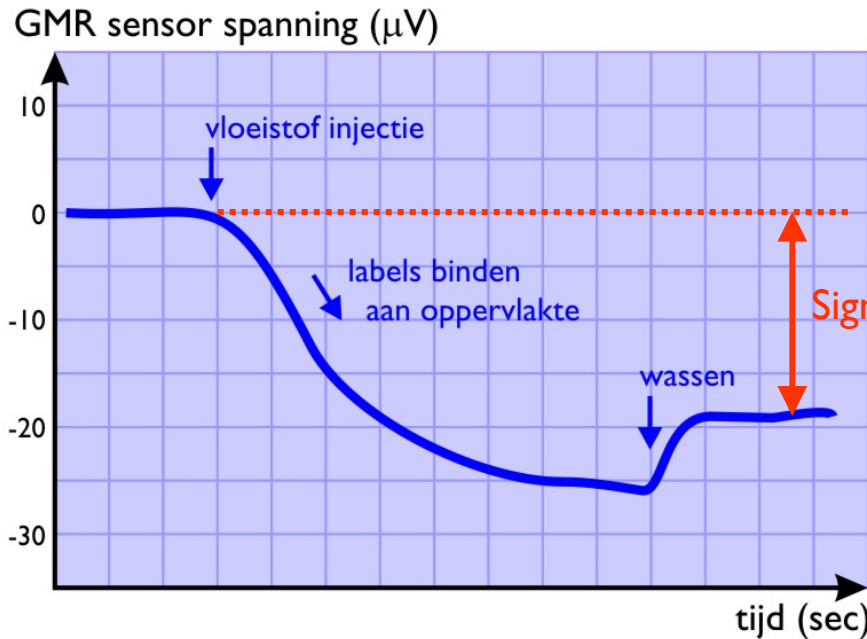
- Drugs test (politie, overheid)
- Eiwitten, lichaamsspecifieke stoffen (huisarts, ziekenhuis)

Magnetische bio-sensor voor detectie van drugs



- **Injecteren** sample
- **Incubatie:** binding van drugs aan labels
- **Binding** aan eiwitten op oppervlak van sensor
- **Verwijderen** (wassen) van ongebonden labels
- **Detectie** van gebonden labels

Magnetische bio-sensor voor drugsmisbruik



Signaal is een maat voor de hoeveelheid drugs

1M = 1Molair = 1mol/L



Water = 56 M

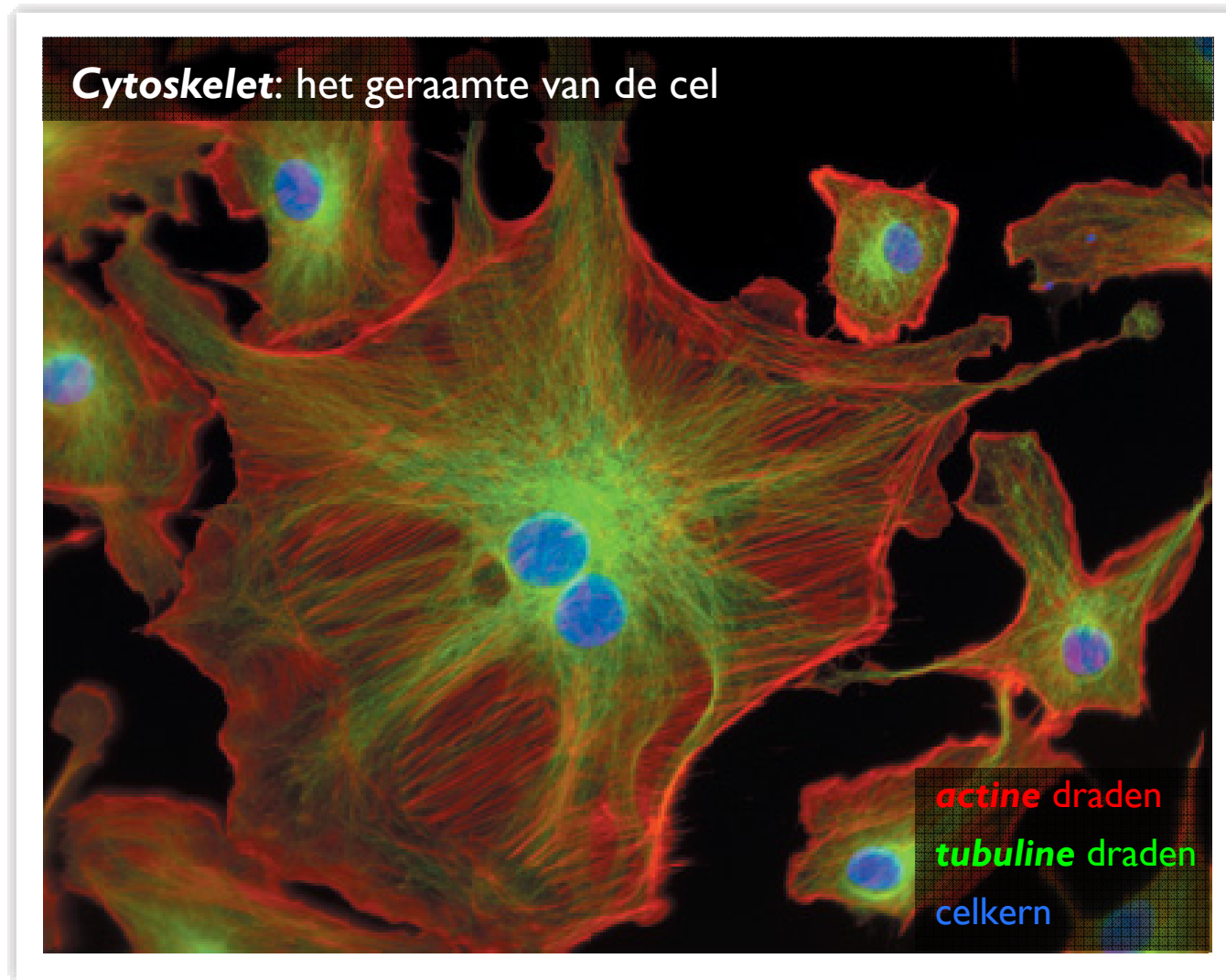
Detectiegevoeligheid drugs: 1 op de 10^{10}
Detectiegevoeligheid eiwitten: 1 op de 10^{13} !!

Universitair onderzoek

Kinesine: het motor eiwit



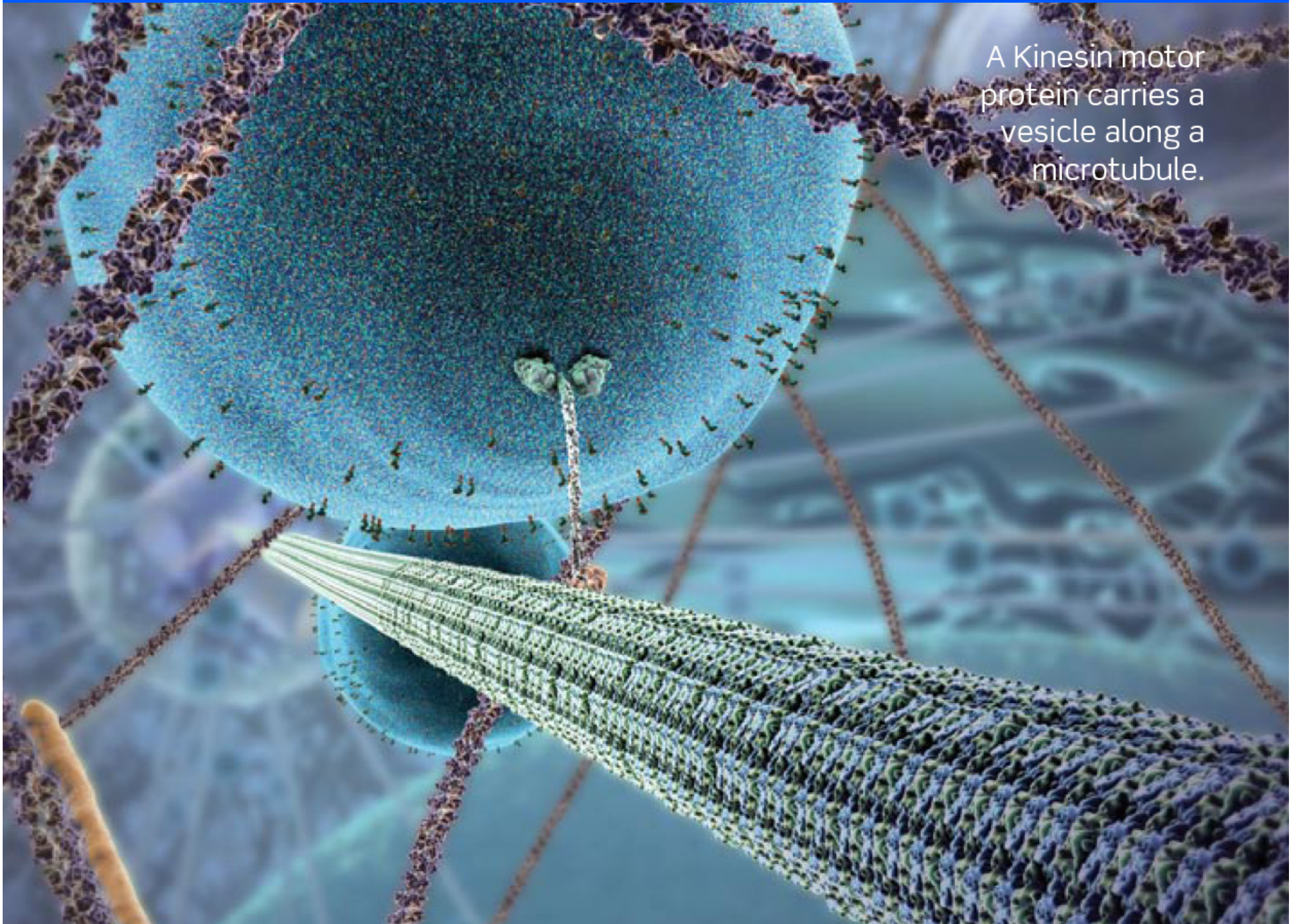
Kinesine: *het motor eiwit*



Tubuline draden:

- Structuur van de cel
- Transport (“snelweg”)

A Kinesin motor protein carries a vesicle along a microtubule.

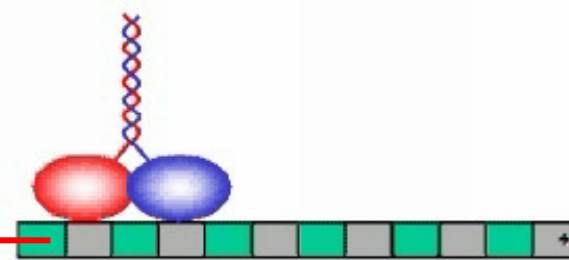
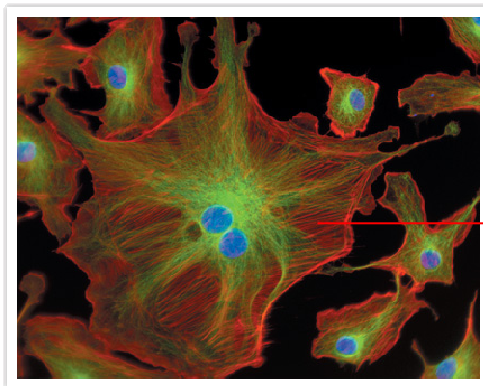


“The Inner Life of the Cell”



Ref: dr. Robert Lue, Howard Hughes Medical Institute, Washington, VS; <http://multimedia.mcb.harvard.edu/>

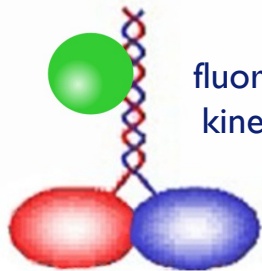
Kinesine: *het motor eiwit*



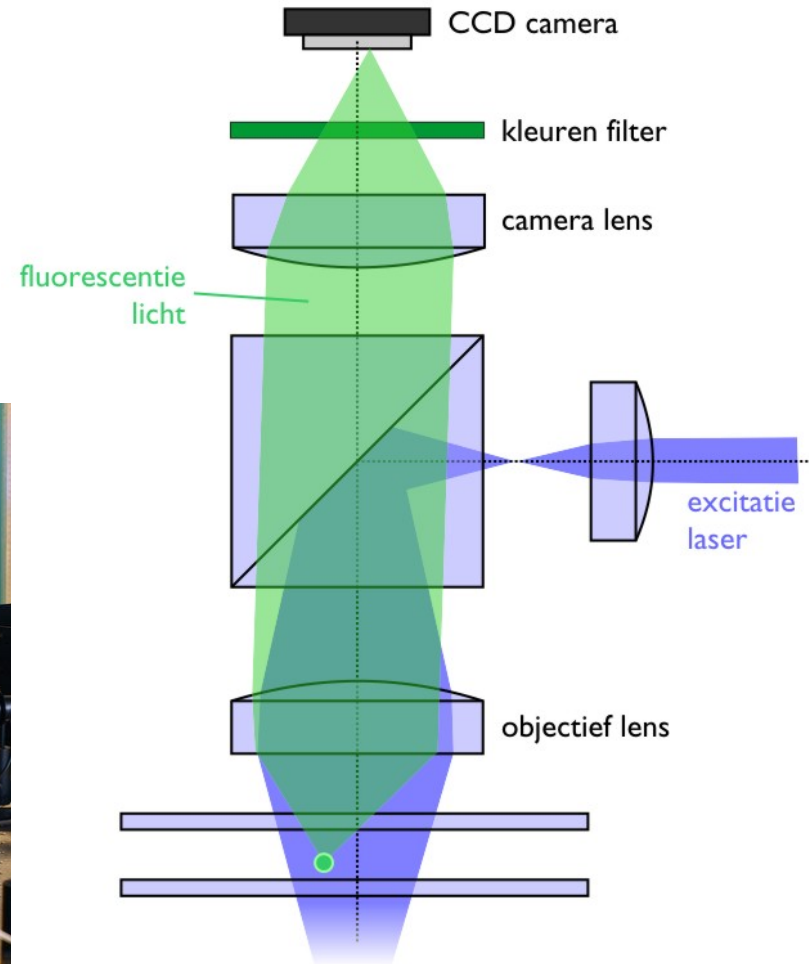
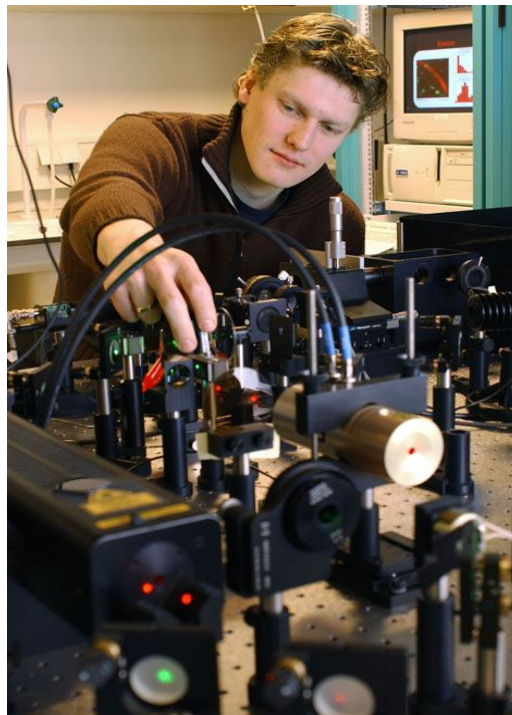
Microtubulus:
gepolymeriseerde keten van het eiwit *tubuline*

Kinesine: *het motor eiwit*

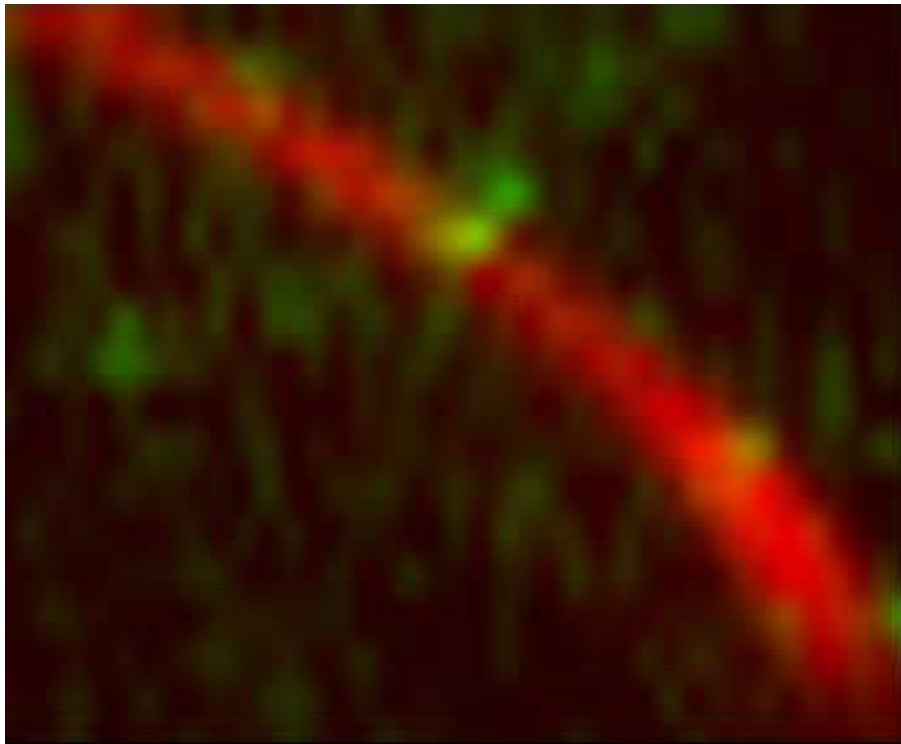
Fluorescentie microscopie



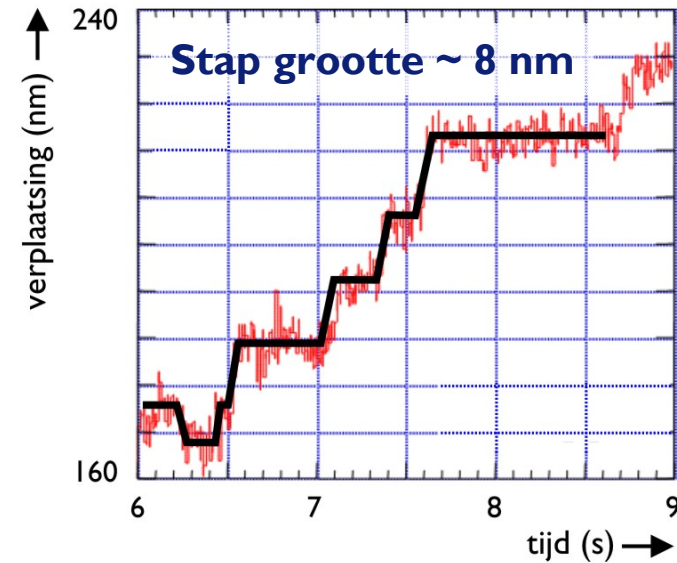
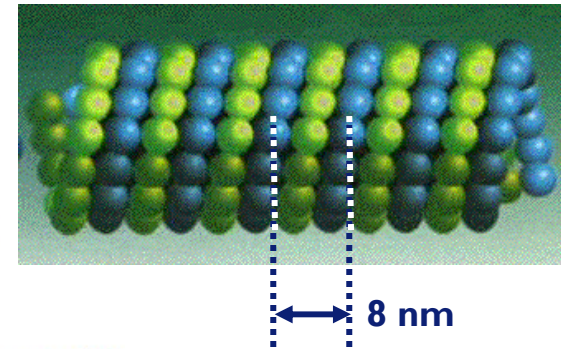
fluorescerend label wordt aan kinesine molecuul vastgeplakt



Kinesine: *het motor eiwit*

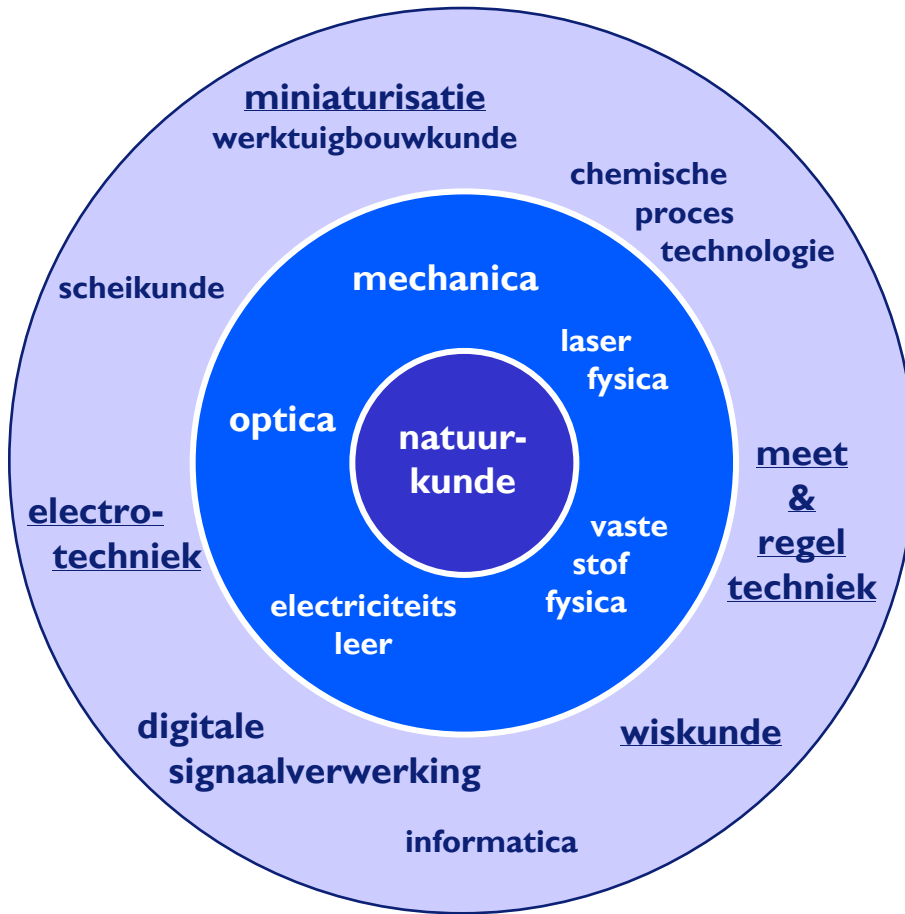


Het fluorescentie gelabelde **kinesine** eiwit **verplaatst** zich langs de **microtubulus**



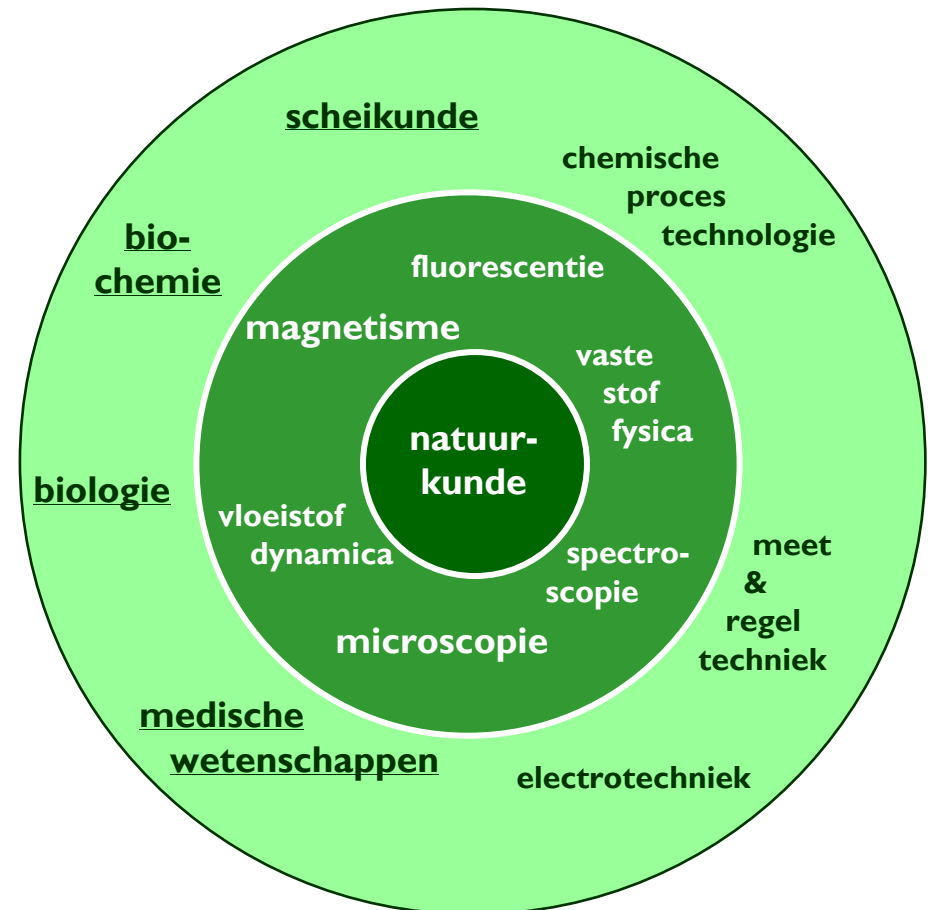
Met behulp van een zgn. **optisch pincet (tweezer)** is men in staat om het kinesine eiwit “vast te pakken” en nauwkeurig krachten en **verplaatsing** te meten

Natuurkunde in een multi-disciplinaire omgeving



Optische data opslag

Bio-sensoren

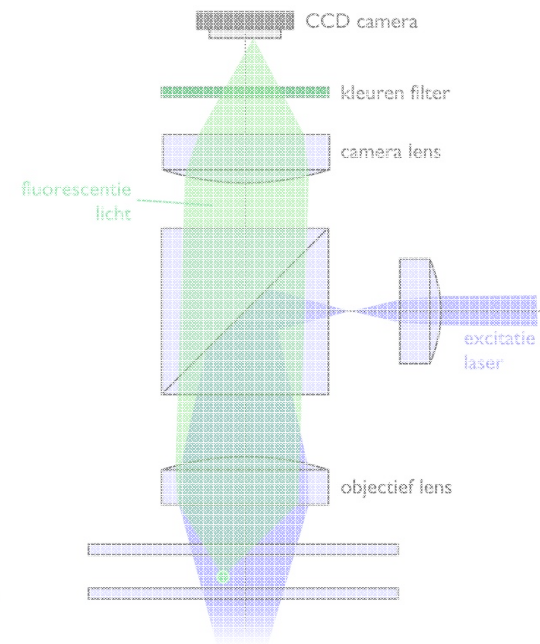
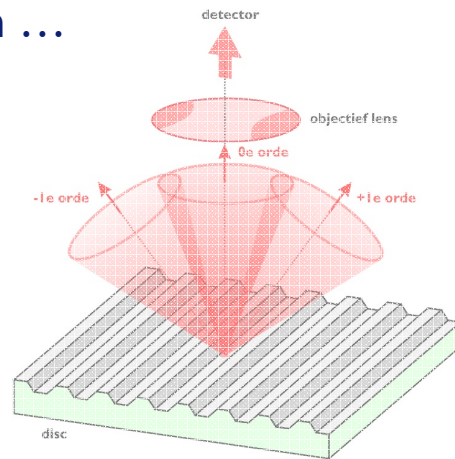
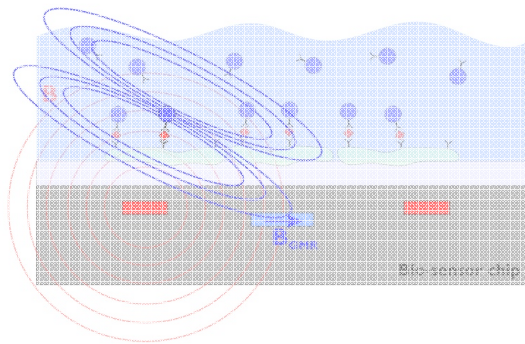


Natuurkunde in een multi-disciplinaire omgeving

Zijn **abstractie vermogen** stelt de natuurkundige in staat een probleem in stukken te hakken en concreet te maken (“helicopter view”) ...

De natuurkundige bedenkt **nieuwe technieken** en theorieën om nieuwe problemen te doorgronden en op te lossen ...

De natuurkundige werkt hierbij vaak samen met andere disciplines om samen tot een oplossing te komen. Vaak leidt dit tot onverwachte leuke, **nieuwe inzichten** en vindingen ...



WALT DISNEY'S

Donald Duck

EEN VROLIJK WEEKBLAD



De natuurkundige

bezit

Fantasie
& Abstractie vermogen

Creativiteit
& Inventiviteit

En af en toe
een beetje **geluk ...**



Dank voor uw aandacht ...