

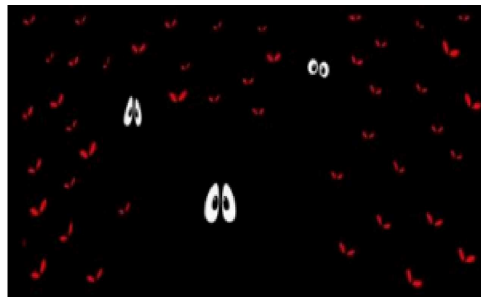


## Module 1 : De basisprincipes van de fotonica

### Hoofdstuk 1: Licht onderzoeken en begrijpen

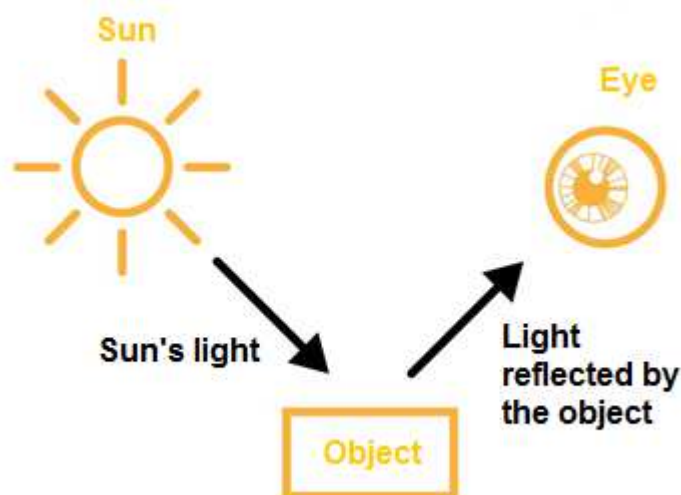
#### Waarom kunnen we objecten zien?

In het oude Griekenland dacht men dat ogen licht uitstraalden en dat we zo objecten konden zien. Net als soms in tekenfilms.



Dit klopt niet. We kunnen dingen zien omdat ze een deel van het licht weerspiegelen dat erop valt. Iets waarop geen licht valt, kunnen we niet zien, omdat het geen licht kan weerspiegelen in de richting van onze ogen. Daarom zien we slecht in het donker.

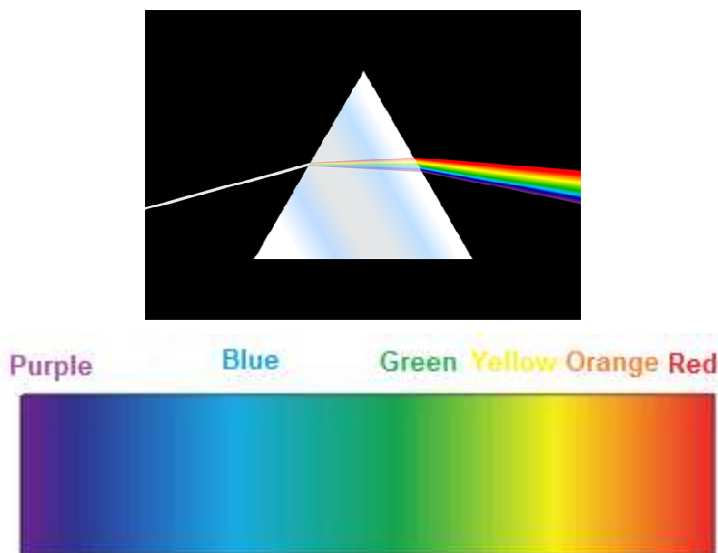
Sommige objecten zien we omdat ze zelf licht uitzenden, zoals de zon, sterren, lampen, kaarsen en vlammen: we noemen dat primaire lichtbronnen.





### Wat is licht?

Newton voerde in 1666 optische experimenten uit waarbij hij het witte zonlicht op een prisma liet vallen. Hij merkte op dat het uittredende licht verdeeld was in licht van verschillende kleuren: de kleuren van de regenboog.



Newton begreep hieruit dat het witte licht in componenten wordt verdeeld, omdat elke kleur licht door het glas van het prisma verschillend wordt afgebogen (gebroken). Zo constateerde hij bijvoorbeeld dat rood licht altijd minder wordt afgebogen dan violet (paars) licht.

Newton concludeerde dat componenten van wit licht, wanneer dit van het ene doorzichtige medium (bijvoorbeeld lucht) naar het andere gaat (bijvoorbeeld glas), eerst op basis van kleur worden afgebogen. Wanneer de componenten dan (in het voorbeeldgeval) weer in de lucht komen, worden ze opnieuw afgebogen, waardoor je lichtgevende stralen ziet in het spectrum van rood tot paars, zoals de kleuren van de regenboog.

### Waarom zien we een regenboog wanneer het regent terwijl de zon schijnt?

Wanneer zonlicht op dunne mist valt (bijvoorbeeld bij een waterval) of op lucht met kleine druppels, kun je een regenboog zien. In feite fungeren de druppeltjes als miniprisma's. Wit licht gaat de ronde druppeltjes in en wordt weerkaatst en gebroken. Het wordt als het ware 'ontleed'.

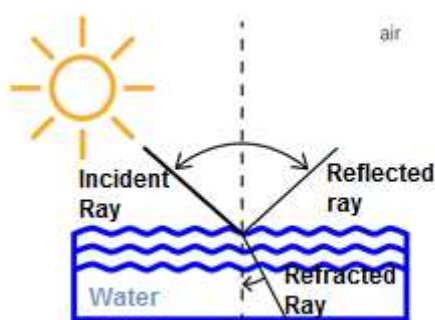




### Hoe reageert licht wanneer het op een voorwerp valt?

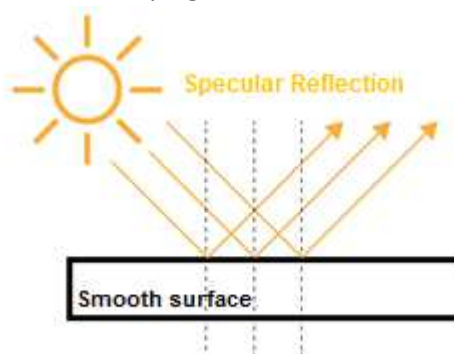
Wanneer invallend licht op het snijvlak tussen twee omgevingen valt, zoals lucht en water, zien we twee dingen:

- Een klein deel van het licht wordt weerspiegeld: dit wordt gedeeltelijke reflectie genoemd.
- Een groot deel van de straal gaat het water binnen en verandert daarbij van richting; de straal lijkt te worden ontleed. Dit verschijnsel waarbij licht van richting verandert wanneer het van het ene doorzichtige medium naar het andere gaat, wordt refractie of breking genoemd.

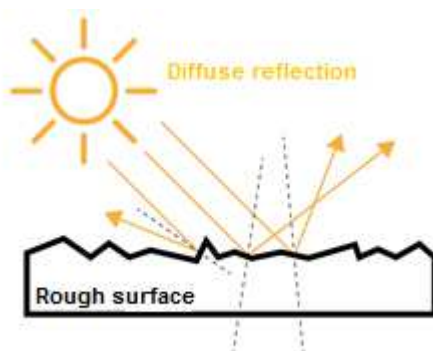


Daarnaast zijn er twee soorten reflectie:

- Het eerste soort is spiegelende reflectie, ofwel weerspiegeling. Dit treedt op wanneer de straling in één richting door het oppervlak wordt weerkaatst. Dat gebeurt alleen bij een glad oppervlak zoals een spiegel.



De stralen worden gereflecteerd onder dezelfde hoek als waaronder ze zijn ingevallen, zoals een biljartbal die tegen de band rolt.



Het tweede type is diffuse reflectie. Dit treedt op wanneer er oneffenheden in het oppervlak zitten. Door de ongelijkmatigheid wordt de straling in alle richtingen weerkaatst, al is er meestal wel een voorkeursrichting waar je de meeste reflectie waarneemt.

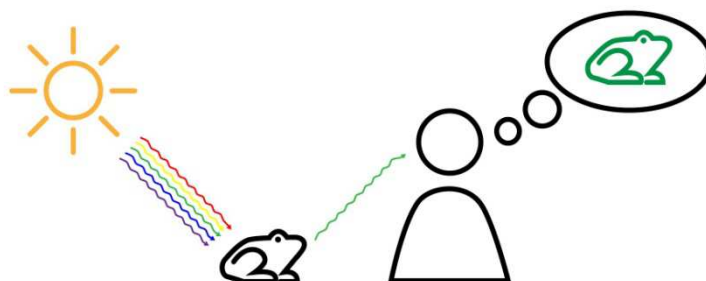
Waarom krijgt iets een bepaalde kleur wanneer het door wit licht wordt verlicht?

De kleur van objecten om ons heen hangt af van het licht dat ze weerkaatsen.

Kort gezegd betekent diffusie dat een voorwerp licht ontvangt en een deel hiervan weerkaatst in alle richtingen.

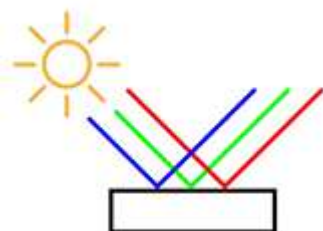
Een deel van het invallende witte licht wordt geabsorbeerd, de rest wordt weerkaatst en geeft kleur aan het object: een rood object absorbeert alle kleuren van het witte licht behalve rood, een groen object absorbeert alle kleuren van het witte licht behalve groen, enzovoorts.

Een object dat door wit licht wordt verlicht, heeft dus de kleur van het licht dat het *niet* absorbeert.



Wat gebeurt er wanneer een wit object door wit licht wordt verlicht?

Wanneer een wit oppervlak wordt verlicht, worden bijna alle lichtstralen van het witte licht gereflecteerd.

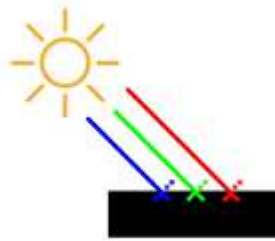


Wat gebeurt er wanneer een zwart object door wit licht wordt verlicht?



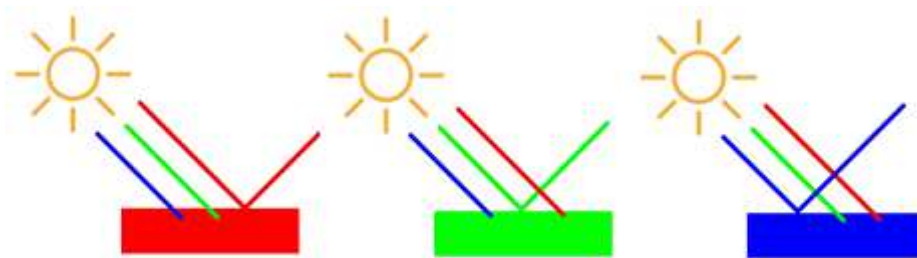


Wanneer een zwart oppervlak wordt verlicht, is er vrijwel geen gereflecteerd licht, omdat het oppervlak de straling absorbeert. De afwezigheid van licht bij het oog van de waarnemer wordt door de hersenen als een zwarte kleur geïnterpreteerd.



Wat gebeurt er wanneer een gekleurd object door wit licht wordt verlicht?

Wanneer een blauw (of ander gekleurd) oppervlak wordt verlicht, absorbeert het materiaal de andere kleuren en zet deze om in warmte. Alleen verstrooid blauw licht kan het oog van de waarnemer bereiken. Dit object lijkt dan blauw.



**Quiz voor hoofdstuk 1:**

1. We kunnen zien omdat:
  - a. Onze ogen licht uitzenden
  - b. Objecten licht uitzenden
  - c. Objecten licht reflecteren
  
2. Een object is groen omdat het:
  - a. Groen licht absorbeert
  - b. Groen licht reflecteert
  - c. Groen licht doorgeeft
  
3. Een object dat al het licht absorbeert is:
  - a. Onzichtbaar
  - b. Zwart
  - c. Wit

**Hoofdstuk 2: Licht heeft zowel een deeltjes- als een golfkarakter**





## Wat is licht?

Licht is een vorm van energie, net als elektriciteit. Het bestaat uit kleine lichtdeeltjes, 'fotonen' geheten, die bewegen in de vorm van een elektromagnetische golf.

## Waaruit bestaat licht?

Wit licht is samengesteld uit gekleurd licht: de primaire kleuren blauw, groen en rood en de secundaire kleuren zoals geel, cyaan (een soort lichtblauw) en magenta (een soort roze). De kleuren planten zich voort als verschillende golven (een per kleur).



## Wat is een golf?

Een golf is een verstoring die zich voortbeweegt en een omkeerbare verandering veroorzaakt in de fysieke eigenschappen van het medium waarin hij zich voortplant. Een golf beweegt met een bepaalde snelheid, die afhangt van de kenmerken van het medium. Een golf verplaatst energie maar transporteert geen materie.

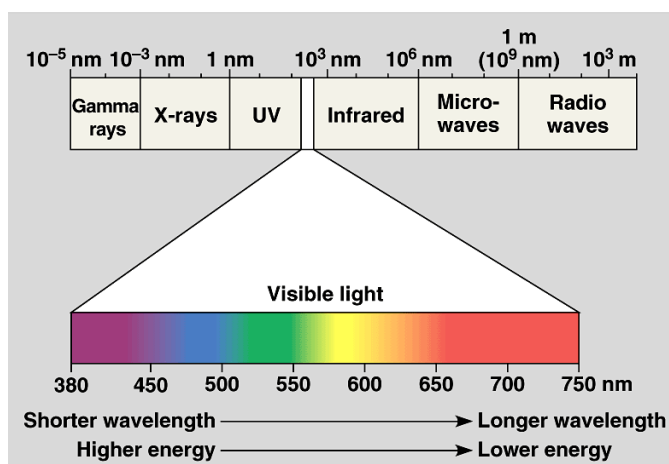


Licht is een elektromagnetische golf die gemakkelijk door de ruimte (een vacuüm) reist. In vacuüm en in de lucht bewegen lichtgolven zich voort met een snelheid van 300.000 km/s.

## Wat is het elektromagnetisch spectrum?

Het elektromagnetisch spectrum omvat alle elektromagnetische golven, ingedeeld naar golflengte of frequentie.



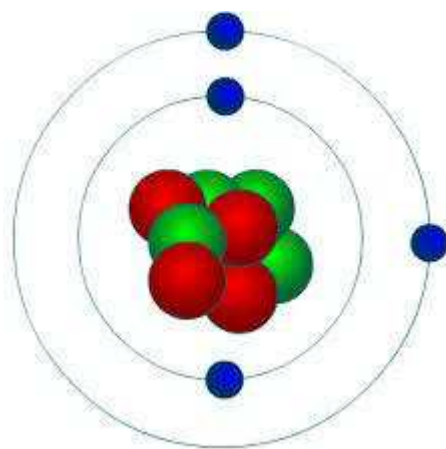


Het zichtbare spectrum ligt tussen infrarood (IR) en ultraviolet (UV) en is maar een klein gebied in het elektromagnetisch spectrum. Sommige andere dieren zien ook IR (muggen) en UV (bijen).

### Hoe ontstaat licht?

Alles om ons heen bestaat uit kleine deeltjes: de atomen.

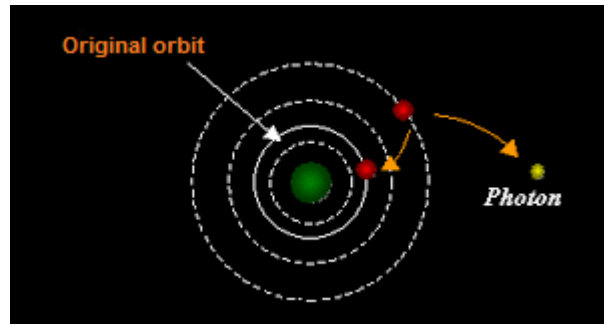
Een atoom bestaat uit een kern met daaromheen een wolk van elektronen. Een atoom wordt vaak getekend zoals ons zonnestelsel, met de zon (de kern) en daaromheen de planeten (elektronen).



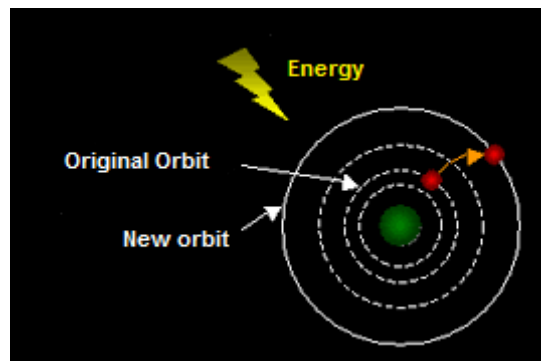
Als eenvoudig beeld kunnen we ons voorstellen dat binnen in het atoom de elektronen zich in cirkelvormige banen (de zogenaamde schillen) rondom de kern bewegen. De elektronen die in een schil dicht bij de kern liggen, hebben een lagere energie dan de elektronen in een schil verder van de kern.

Binnen in een atoom kan een elektronenbaan onder bepaalde omstandigheden veranderen. Een elektron kan bijvoorbeeld van een hoge schil naar een lage schil gaan. Hij gaat dan van een toestand met veel energie naar een toestand met minder energie. De energie die hierbij vrijkomt en die ergens moet blijven (in de natuurkunde kan energie niet 'verdwijnen'), neemt de vorm aan van een 'energiepakketje', dat 'foton' wordt genoemd.





Een lichtbron maakt op grote schaal gebruik van dit verschijnsel waarbij fotonen ontstaan.



### Quiz voor hoofdstuk 2:

1. Wat kun je zeggen over het model van licht?

- a. Licht is een deeltje.
- b. Licht is een golf.
- c. Licht is zowel een golf als een deeltje.

2. Wat gebeurt er wanneer een atoom van een hogere toestand  $n = 2$  naar de grondtoestand  $n = 1$  gaat?

- a. Het atoom komt in een toestand van hogere energie en er wordt een foton geabsorbeerd.
- b. Het atoom komt in een toestand van lagere energie en er wordt een foton uitgezonden.
- c. De energie van het atoom verandert niet en er wordt een foton uitgezonden.







## Hoofdstuk 3: Spiegels en lenzen

### Wat is een lens?

Lenzen zijn gemaakt van doorzichtig materiaal (glas of plastic). Alle lenzen hebben twee gladde kanten, waarvan er ten minste één gekromd is. Ze zijn symmetrisch ten opzichte van een as die de optische as wordt genoemd.

Er zijn twee soorten lenzen:

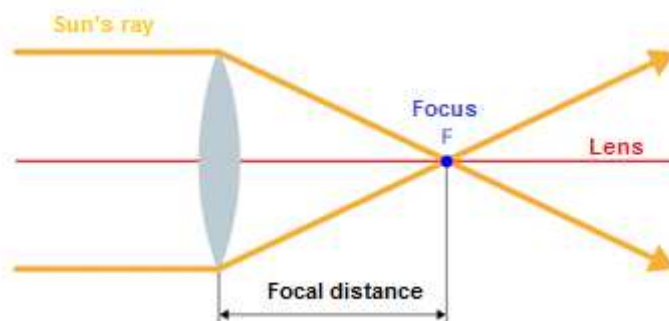
- Lenzen waarvan het midden dikker is dan de randen heten convergerende, positieve of bolle lenzen (in de tekening hieronder de drie linker lenzen).
- Zijn de randen breder dan het midden, dan spreken we van divergerende, negatieve of holle lenzen (de drie lenzen rechts).



Wanneer lichtstralen vanuit een bron worden uitgezonden en door een optisch systeem (bijvoorbeeld een lens) gaan, convergeren ze in een bepaald punt. In de optica wordt dit het brandpunt genoemd.

### Hoe werkt een convergerende lens?

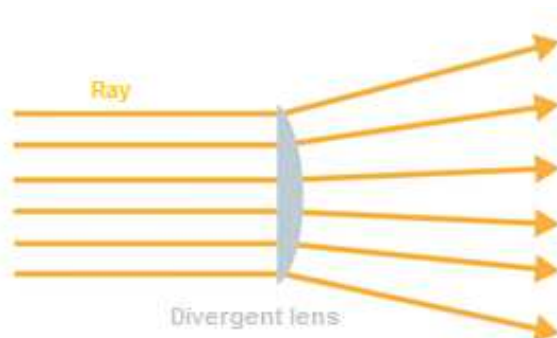
Wanneer we een convergerende lens verlichten met een parallelle lichtstraal, komt het licht achter de lens samen in een punt. Als we op dit punt een stuk papier leggen, vliegt het in brand. Dit punt is het brandpunt of de focus van de lens.





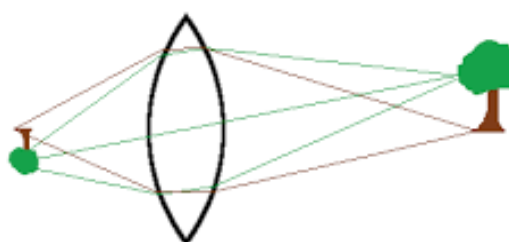
### Hoe werkt een divergerende lens?

Wanneer we een divergerende lens verlichten met een parallelle lichtstraal, zien we dat de lichtstraal wordt afgebogen na de lens.

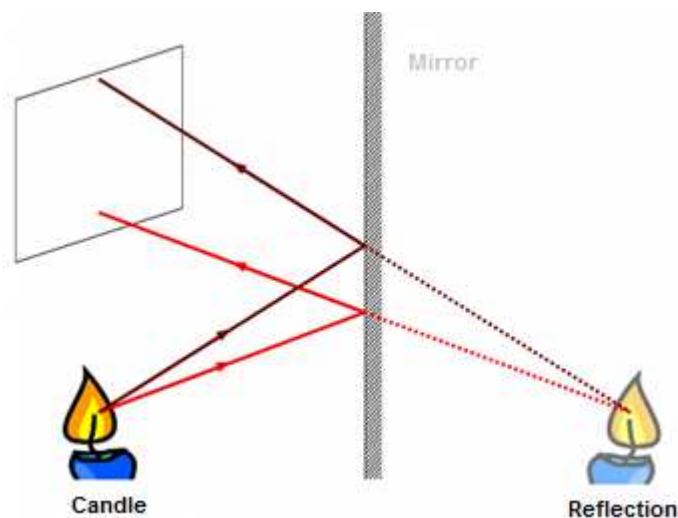


### Hoe wordt er met een lens een beeld gevormd?

Wanneer een verlicht object zich verder van de lens bevindt dan de brandpuntsafstand  $f$ , maakt de lens achter het brandpunt een omgekeerd beeld van het object; dit beeld kan op een scherm worden waargenomen.



### Wat is een spiegel?





### Quiz voor hoofdstuk 3:

1. Wat is een convergerende lens?
  - a. Een doorzichtig object waarvan de randen dunner zijn dan het midden
  - b. Een ondoorzichtig object waarvan de randen dikker zijn dan het midden
  - c. Een ondoorzichtig object waarvan de randen dunner zijn dan het midden
2. Wat is de brandpuntsafstand?
  - a. De afstand tussen het brandpunt en de lens
  - b. De afstand tussen het optisch centrum en de lens
  - c. De afstand tussen het optisch centrum en het brandpunt
3. Hoe ziet het beeld van het object dat door een spiegel wordt gevormd eruit?
  - a. Hetzelfde
  - b. Omgekeerd

## Hoofdstuk 4: Het concept van de laser

### Wat is een aangeslagen atoom?

Een atoom is zijn grondtoestand wanneer de elektronen zich in de laagste baan bevinden (het dichtst bij de kern). In dit geval bezit het atoom de minst mogelijke energie.

Als een elektron deels ontsnapt aan de aantrekking door de kern en naar een hogere baan gaat, zeggen we dat het atoom zich in een aangeslagen toestand bevindt. Het bezit dan meer energie dan in de grondtoestand.

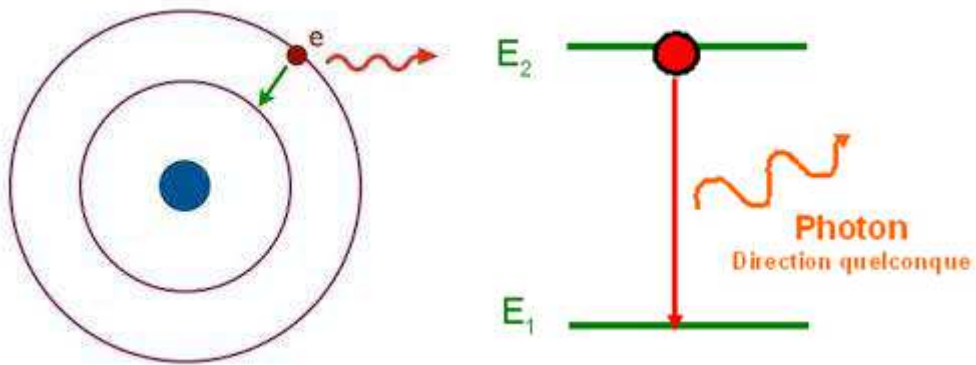
### Wat is spontane emissie?

Een aangeslagen atoom kan spontaan in een toestand met lagere energie komen wanneer het elektron uit een hogere baan naar een lagere gaat. Het raakt dan energie kwijt doordat er een foton wordt uitgezonden.



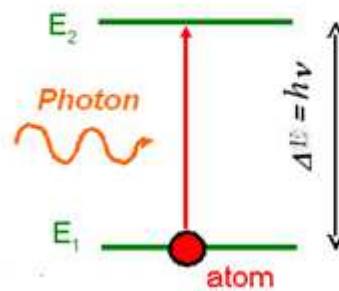


### Spontaneous emission

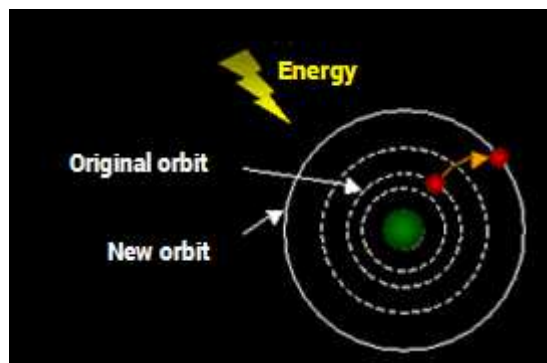


Wat is absorptie?

### absorption



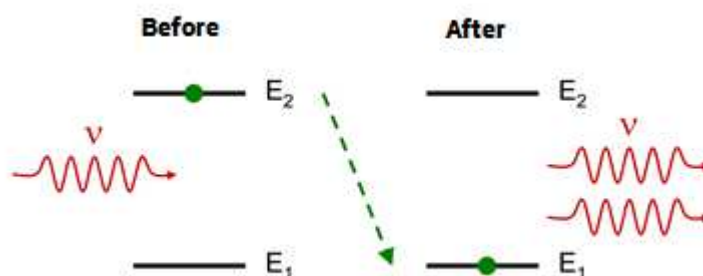
In een atoom kan een elektron ook van een lagere naar een hogere baan gaan, als het genoeg energie ontvangt.





### Wat is gestimuleerde emissie?

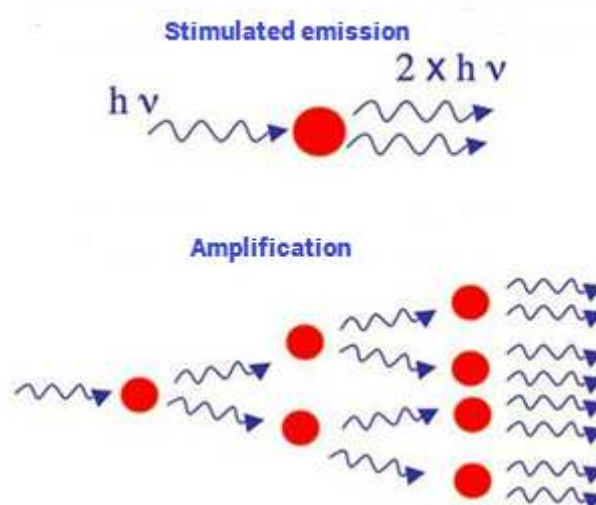
Als een atoom dat zich al in aangeslagen toestand bevindt (elektron in hogere baan), een foton met de juiste golflengte ontvangt, zendt het elektron dat door het binnenkomende foton is 'geduwd', zelf een tweede foton uit dat exact gelijk is aan het eerste, waarna het terugvalt in een toestand met lagere energie. Het aangeslagen atoom speelt dus de rol van 'fotonkopieermachine'. Er komt één foton binnen en er worden er twee uitgezonden.



### Wat is het lasereffect?

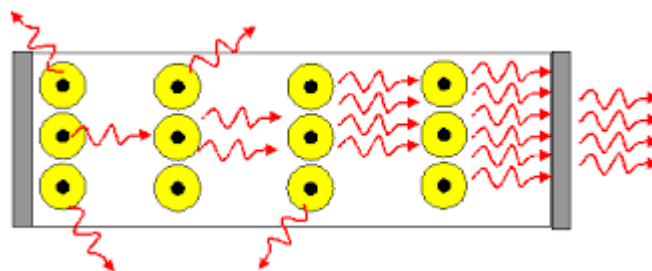
Stel je nu voor dat we de twee identieke fotonen van de gestimuleerde emissie, zoals hierboven beschreven, in contact brengen met twee andere aangeslagen atomen. We krijgen dan vier identieke fotonen. Die vier fotonen zouden dan weer vier aangeslagen atomen kunnen treffen en weer vier nieuwe fotonen genereren. Het lawine-effect dat zo ontstaat, noemen we het lasereffect.

Hierin treedt een versterking van lichtintensiteit op en alle resulterende fotonen zijn in dezelfde toestand: ze hebben dezelfde richting, frequentie, polarisatie en fase, zodat het licht heel eenvormig is. Aangezien frequentie van licht overeenkomt met een kleur (in het zichtbare spectrum), heeft de sterk gerichte straal één heel zuivere kleur. Deze hangt af van het atoom dat bij het laserproces is gebruikt, en dat wordt gekenmerkt door een bepaald energieverval tussen de twee betrokken elektronenschillen.



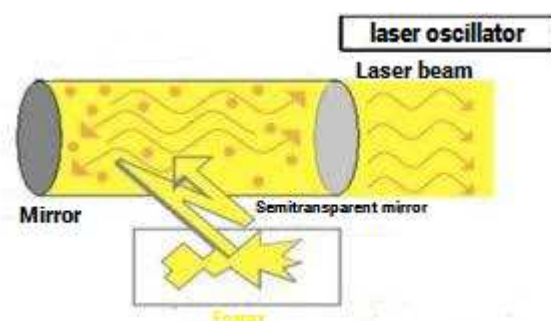


## Hoe maak je een laser?



Het lasereffect is gebaseerd op gestimuleerde emissie. Stel je een materiaal voor, het medium, waarin de atomen zich grotendeels in aangeslagen toestand bevinden. Vroeg of laat zal een atoom een foton uitzenden door spontane emissie en dit foton zorgt voor een lawine van gestimuleerde emissie: de laserstraal is geboren.

Wanneer we een emissie in een bepaalde richting willen hebben en het effect van de gestimuleerde emissie willen versterken, plaatsen we het lasermedium tussen twee spiegels, zodat het licht een aantal keer heen en weer gaat voordat het wordt uitgezonden. Hierdoor wordt de optische versterking efficiënter.



## Wat zijn de toepassingen van de laser?

Laser heeft vele toepassingen. Veel processen zijn erdoor verbeterd en tegelijkertijd minder ingrijpend geworden. Dit zijn slechts enkele toepassingen:

### Laser in de geneeskunde

Een laserstraal kan zo dun zijn dat er maar één cel door wordt bereikt. In de geneeskunde kan laser daarom worden gebruikt voor toepassingen waarbij één cel moet worden gemanipuleerd.





### *Laser in de oogheelkunde*

Een van de bekendste toepassingen van laser in de geneeskunde is de behandeling van bijziendheid. Met een snelle en pijnloze chirurgische ingreep kan de ooglens worden hersteld.



### *Laser in de dermatologie*

Laser is in de dermatologie erg nuttig voor de behandeling van hemangiomen, rosacea, levervlekken en littekens.



### *Laser in de tandheelkunde*

De laser is een belangrijk werktuig voor tandheelkundige chirurgie geworden en heeft geleid tot grotere nauwkeurigheid en veiligheid, minder bloedingen en pijn en een beter genezingsproces.



### Laser in de industrie

In de industrie worden lasertoepassingen gebruikt vanwege hun kracht en nauwkeurigheid bij graveren, lassen, boren en stralen. Een voordeel van lasers is dat ze niet slijten.

### *Lasersnijden*

Lasersnijden is een productieproces waarbij een laser wordt gebruikt om materiaal (bijvoorbeeld





metaal of hout) te snijden door een grote energie op een heel klein oppervlak te concentreren.



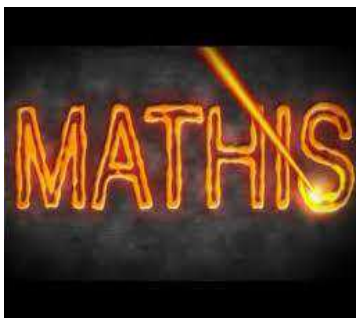
### *Laserboren*

Laserboren is snel en nauwkeurig. Er kunnen gaten van diverse vormen worden gemaakt wanneer bijvoorbeeld glas op metaal moet worden aangebracht. Ook kan er in kunststof worden geboord.



### *Laser bij graveren en markeren*

Een laserstraal waarvan de energie op een heel klein oppervlak wordt geconcentreerd, vernietigt het materiaal door het te verbranden of te doen verdampen. Het gedeelte waar het materiaal verwijderd is, vormt de gravure. Zelfs met laagenergetische lasers kan een op een heel klein gebied gerichte straal lokale vernietiging door middel van verdamping veroorzaken. Dit is een zeer nauwkeurige methode: er kunnen foto's of complexe ontwerpen in allerlei soorten materialen worden gegraveerd.



### Laser in de militaire technologie







#### *Raket (vanuit de lucht of vanaf de grond gelanceerd)*

Een laseraanwijzer is een laserlichtbron waarmee een projectiel (raket) wordt gericht. Ook bij lichte wapens kan richten worden vereenvoudigd door een laseraanwijzer.

#### Laser in de informatietechnologie

##### *Optische vezel*

Optische vezels zijn gemaakt van doorzichtig materiaal (glas of plastic), en kunnen licht geleiden, zoals water door een leiding wordt geleid. Optische vezels kunnen informatie doorgeven in computernetwerken. Ze worden steeds populairder als internetmedium omdat ze voor een hoge verbindingssnelheid zorgen.



##### *Cd en cd-rom*

Een cd wordt gelezen door middel van een infrarode laser.



#### **Quiz voor hoofdstuk 4:**





1. Wat is nodig om een laser te maken?
  - a. Spontane emissie
  - b. Absorptie
  - c. Gestimuleerde emissie
2. Hoe komt licht uit een laser?
  - a. Parallel en recht
  - b. Loodrecht op de bron
3. Wat is het lasereffect?
  - a. Een vermenging van meerdere laserstralen
  - b. Een 'lawine' van gestimuleerde emissie

## Module 2: Fotonica voor ICT

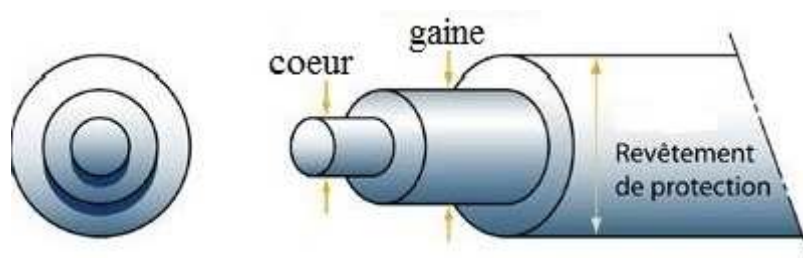
### Optische communicatie

Tegenwoordig is in elke stad een snelle internetverbinding beschikbaar. Deze technologie heeft zich dankzij de optische vezel snel ontwikkeld. Waarom wordt deze methode wereldwijd gebruikt? Hoe kan het dat we hier allemaal thuis gebruik van kunnen maken?

#### Wat is vezeloptica?

Alle informatie die via internet of televisie bij jou thuis komt, moet eerst door een aantal kabels. De snelheid van het netwerk via de huidige kabels is laag vergeleken met wat er mogelijk is met optische vezels.

Een optische vezel is een cilinder die bestaat uit een kern van silica, een mantel en een bescherm laag. Digitale informatie wordt in de kern doorgegeven doordat licht zich op een bepaalde manier voortplant volgens de brekingswetten. Op die manier wordt de straal binnen de hele optische vezel gereflecteerd.



Het bouwen van een vezel: kern (Coeur), jacket (band) en de mantel (Revêtement de protection)

Deze informatie beweegt zich dus met het licht voort, volgens de brekingswetten. De snelheid is hierdoor maar weinig lager dan de lichtsnelheid. De straal wordt dus binnen de hele optische vezel steeds gebroken.





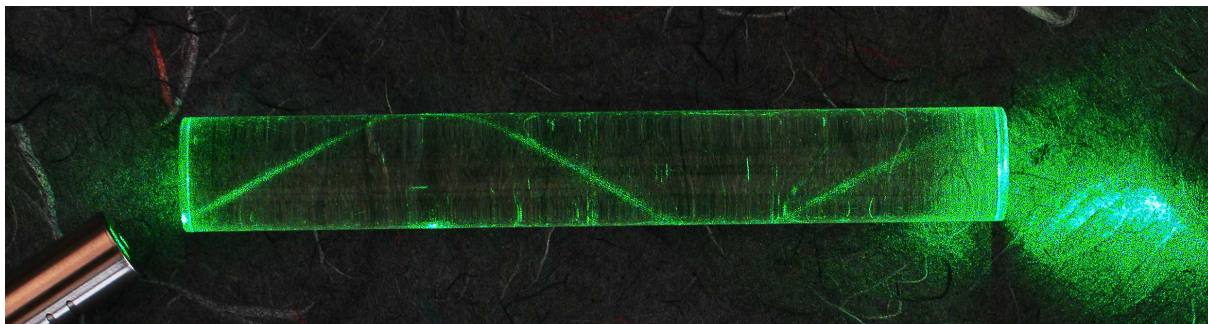
## Hoe werken optische vezels?

Gegevens kunnen op verschillende manieren worden overgebracht, bijvoorbeeld met radiogolven, elektrische systemen of wifi. Maar echt **snelle communicatie** is mogelijk wanneer we het licht gebruiken.

Voor dit soort transmissie worden **optische vezels** gebruikt: dun glas (met een diameter van op z'n hoogst een paar micrometer) waar licht snel doorheen kan reizen. De vezel heeft vaak geen uniforme brekingsindex: soms heeft de kern een hogere index en de mantel een iets lagere, soms is er sprake van een geleidelijke overgang tussen de kern en de buitenkant van de vezel.

Door de specifieke breking tussen glasvezel en lucht blijft het licht **gevangen in de vezel** en het kan een kilometerslang traject afleggen. Optische transmissie is sneller dan elektrische transmissie door koperdraad. Licht kan veel meer informatie dragen dan de elektromagnetische golven van lagere frequenties. Bovendien heeft de transmissie geen last van elektromagnetische velden, die bijvoorbeeld een rol kunnen spelen wanneer kabels in de buurt komen van grote machines en motoren, zoals gebruikt in liften en ondergrondse transportmiddelen.

Er ontstaat wel verlies door de lengte van de vezel, aangegeven in decibel per kilometer (dB/km). Het verlies hangt af van het materiaal waarmee de vezel is gemaakt. Verliezen zijn tegenwoordig meer dan tien keer zo klein als in de jaren zeventig, toen de eerste optische vezels werden ontwikkeld. Die eerste vezels werden bijvoorbeeld door de NASA gebruikt voor de camera's bij de Apollo-missie naar de maan.



Groen laserlicht in een plastic staaf illustreert de voortplanting van licht in glasvezelkabels  
Optische zender en ontvanger

Transmissie (zenden) is de actie waarbij informatie van punt A (het uitzendpunt) naar punt B (het ontvangtpunt) wordt verstuurd. Wanneer je bijvoorbeeld een internetpagina bekijkt, gaat de informatie door middel van kabels van een server (punt A) naar jouw modem (punt B).

Om gegevens door optische vezels te verzenden hebben we daarnaast nog twee apparaten nodig: een om licht uit te zenden en een om het te ontvangen.

De **uitzendfunctie** wordt meestal ofwel gerealiseerd met een **light-emitting diode (led)**, die een signaal geeft dat afdoende is voor toepassingen op korte afstand in een groot golflengtebereik (zichtbaar of infrarood), ofwel met een **laser** (of laserdiode), vooral gebruikt voor verzending over grote afstand en maar zelden in het zichtbare spectrum: de golflengtes liggen in dit geval meestal in het infraroodspectrum (IR) (1310 of 1550 nm).

Aan het andere uiteinde van de vezel wordt het **signaal ontvangen** door een **fotodiode** (of fototransistor). Deze converteert de binnenvallende fotonen naar vrije elektronen, die vervolgens een elektrische stroom vormen die gelijkvormig is aan de fotonenstroom.

Bij het ontwerp van het systeem moet de fotodiode worden gekozen in overeenstemming met de golflengte die voor de transmissie wordt gebruikt. Een fotodiode is namelijk alleen geschikt voor een nauwkeurig bepaald bereik van het spectrum.

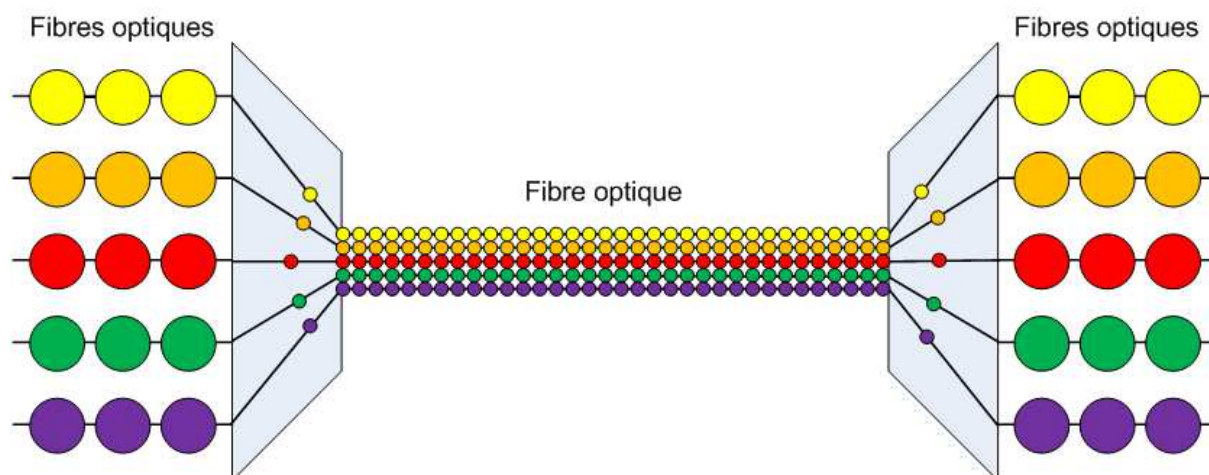




## Wat is WDM?

Met behulp van de optische vezel kunnen we informatie zeer snel verzenden. De doorvoer kan echter worden verbeterd door middel van WDM (*wavelength division multiplexing*).

Bij deze techniek wordt niet één signaal met één golflengte in de optische vezel verstuurd, maar meerdere digitale signalen met verschillende golflengtes. Daarvoor zijn meerdere zenders nodig die straling van verschillende golflengtes uitzenden. Deze stralen worden 'vermenigvuldigd' en vervolgens de optische vezel ingestuurd. Aan de ontvangstkant worden de signalen op basis van hun golflengte weer gescheiden.



Het combineren en splitsen van de vervoerder signalen van verschillende licht frequentie WDM transmissie in een optische vezel.

## Quiz voor hoofdstuk 1:

1. Wat vinden we in de kern van een optische vezel?
  - a) Een golf
  - b) Een lichtstraal
  - c) Elektriciteit
  
2. Wat is breedband?
  - a) Overdrachtssnelheid van 100 Mbps
  - b) Snelheid van 1 Gbps
  - c) Doorvoersnelheid van 10 Gbps
  
3. Optische vezels maken het volgende mogelijk:
  - a) Gegevens sneller verzenden dan via elektrische transmissie
  - b) Licht over zee verzenden
  - c) Licht verzenden binnen het menselijk lichaam

## Optische opslag





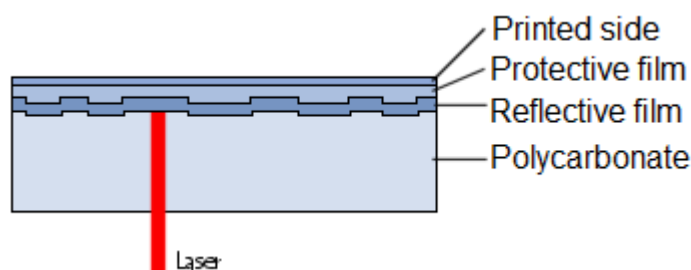
Cd's en dvd's zijn niet uit ons leven weg te denken. Hoe wordt film of muziek op een optische schijf opgeslagen? Waarom hebben dvd's een grotere capaciteit dan cd's, hoewel ze hetzelfde formaat hebben?

### Wat is een cd?

Licht en de eigenschappen ervan worden ook gebruikt bij optische opslag. Deze technologie wordt gebruikt voor cd, dvd, Blu-ray en fysieke dragers voor videogames.

De cd is in 1982 uitgevonden door Sony en Philips. Het is een 1,2 mm dik schijfje met een diameter van 12 cm. Het wordt gebruikt voor de opslag van digitale informatie: muziek, films of foto's. Een cd is op een eenvoudige manier uit vier lagen samengesteld:

- Een bedrukte kant waar gegevens op kunnen staan, bijvoorbeeld de titel van het film
- Een bescherm laag om gegevens te beschermen
- Een reflecterende laag waarop de gegevens in code zijn vastgelegd
- Een laag kunststof (polycarbonaat)



Laagstructuur Een CD

### Hoe werken cd's en dvd's?

Licht en de eigenschappen ervan worden ook gebruikt bij optische opslag. Deze technologie wordt gebruikt voor cd, dvd, Blu-ray en fysieke dragers voor videogames.

Het concept erachter is hetzelfde als bij de grammofoonplaat, alleen de manier om de schijf te lezen is anders.

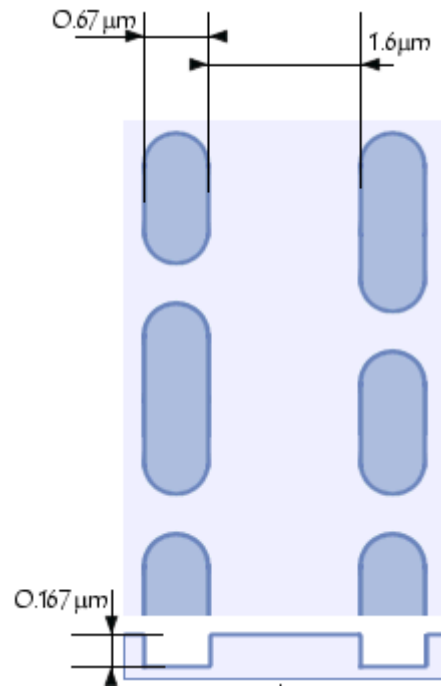
In beide systemen gaat het om schijven, van polymeer (cd) of vinyl (grammofoonplaat), waarin de gegevens zijn **gegraveerd** die nodig zijn om het geluid te reproduceren. De gegevens liggen in een spiraalvormig spoor, van binnen naar buiten (cd) of andersom (vinyl).

Bij de grammofoonplaat correspondeert het gegraveerde signaal precies met de klank die moet worden gereproduceerd. De van saffier of diamant gemaakte naald leest de gegevens en stuurt ze naar een diafragma of versterker om geluid te produceren.

### Hoe worden gegevens op een cd opgeslagen?

Om gegevens (geluid, beeld, video) op cd vast te leggen, converteren we eerst analoge signalen naar digitale signalen. Digitale signalen zijn reeksen enen en nullen (binair). Deze informatie wordt 'fysiek' gerepresenteerd door een reeks 'putjes' en 'landjes' op het oppervlak van de cd. Het is verleidelijk om een putje te zien als een 'nul' en een landje als een 'een', maar in werkelijkheid werkt het een beetje anders. In feite zijn alle putjes en landjes 'nullen', en de overgangen van putje naar landje staan voor 'enen'. Het gecodeerde patroon is in een spiraalvorm van binnen naar buiten in de schijf gegraveerd.



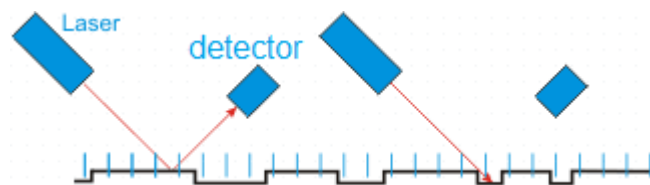


'putjes' en 'landjes'

Hoe worden de gegevens gelezen?

Om digitale media (op je computer of op een cd of dvd) af te spelen, wordt een laserdiode gebruikt. In de cd-speler worden met een laserdiode de gegevens gelezen: de straal wordt door het oppervlak van de cd gereflecteerd. De terugkerende straal interfereert met de invallende straal en de interferentie wordt geïnterpreteerd door een fotodiode.

Als het oppervlak niet verandert (dus als er twee putjes of twee landjes na elkaar komen), wordt het ontvangen signaal geïnterpreteerd als '0'. Als het oppervlak wisselt van landje naar putje of andersom, wordt dit geïnterpreteerd als '1'.



Scannen van het land (links) en putjes (rechts) met een laserbundel

Waardoor heeft een dvd een grotere opslagcapaciteit?

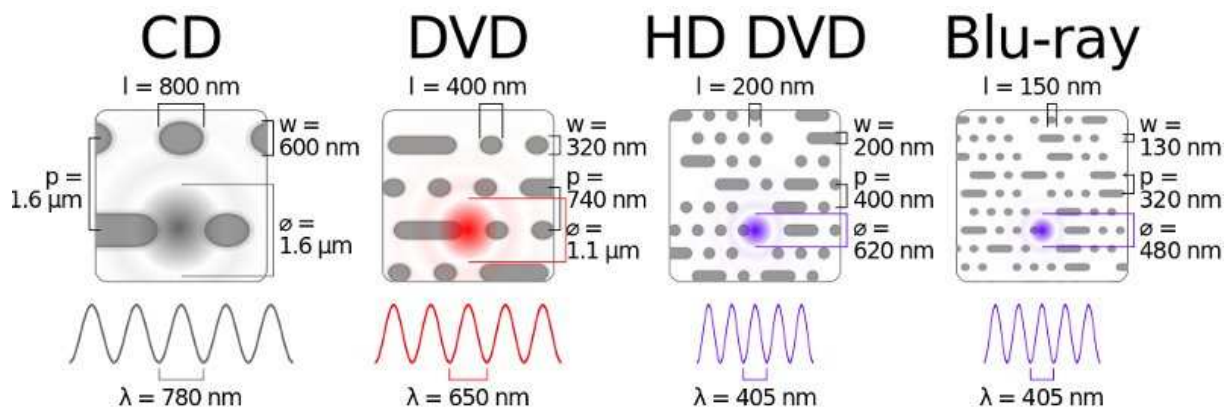
We kunnen niets veranderen aan de grootte van de schijf. Daarom moest er een andere manier worden gevonden om meer gegevens op te slaan. De oplossing werd gevonden in de putjes die we hierboven hebben beschreven.





Wanneer de golflengte van de gebruikte laser kleiner is, kunnen de punten op de schijf ook kleiner zijn. De dvd heeft alleen een grotere opslagcapaciteit dan de cd vanwege de golflengte van de laser waarmee wordt uitgelezen. De cd gebruikt een laser met een golflengte van 780 nm, de dvd een laser met een golflengte van 630 nm (20% kleiner). Dit verschil is de reden dat er meer informatie kan worden opgeslagen.

Alle optische media werken volgens hetzelfde principe, omdat alle video- of muziekgegevens kunnen worden gesampled en gedigitaliseerd. De Blu-ray kijkt wel af: zoals de naam al zegt, is de laserstraal waarmee de gegevens worden uitgelezen, niet rood, zoals bij de cd, maar blauw.



Kenmerken en uitlezen van verschillende golflengten opslagschijven

### Quiz voor hoofdstuk 2:

1. Welke golflengte wordt er gebruikt voor Blu-ray?

- a) 840 nm
- b) 405 nm
- c) 580 nm

2. Als je weet dat een cd een opslagcapaciteit van 700 MB heeft, wat is dan de opslagcapaciteit van een dvd?

- a) 4,7 GB
- b) 700 MB
- c) 25 GB

3. De putjes van een Blu-ray zijn:

- a) Dieper dan die van een cd
- b) Ondieper dan die van een cd
- c) Even diep als die van een cd





## Beeld en video

Ons hele leven is van foto's doordrongen; ze helpen ons om gebeurtenissen te herinneren. We kunnen foto's en video's maken met onze telefoon, computer en camera. Wat betekent het om met deze apparaten een foto te maken of een filmpje op te nemen? Welke verschillende sensoren worden er gebruikt?

Met een camera kunnen we ons dagelijks leven vastleggen en delen via bijvoorbeeld Instagram of Snapchat. Met camera bedoelen we hier eigenlijk 'optische sensor'. Tegenwoordig worden er twee verschillende soorten sensoren toegepast in digitale camera's: een CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) en een CCD (*Charge Coupled Device*).

Beide chips zijn van halfgeleidermaterialen gemaakt, maar het ontwerp en het gebruik is bij de twee soorten verschillend.

### CCD-sensor

De sensor van een digitale camera is gemaakt van fotonvoltaïsche cellen die lichtintensiteit en kleur meten. Deze lichtintensiteit wordt in een elektrische stroom omgezet. Elk punt van de sensor is een deel van een pixel en legt lichtintensiteit vast. Zo wordt er een beeld gevormd.

De CCD-sensor bestaat uit twee over elkaar heen gelegde onderdelen: het eerste is gemaakt van fotogevoelige cellen, het tweede is het beeldopneemelement. Elke fotogevoelige cel heeft drie filters: een rood, een blauw en een groen. Elk filter reageert op één coördinaat om een kleur op te nemen.

Om in het apparaat een beeld te reconstrueren, wordt de lading getransporteerd naar een collector, die alle ladingen weer transporteert naar een omzetter. Hier wordt de door de lens en de sensor verzamelde informatie in digitale vorm omgezet. De informatie kan dan door de circuits en de processors van de digitale camera worden verwerkt en opgeslagen in het binaire geheugen van de camera.

### CMOS-sensor

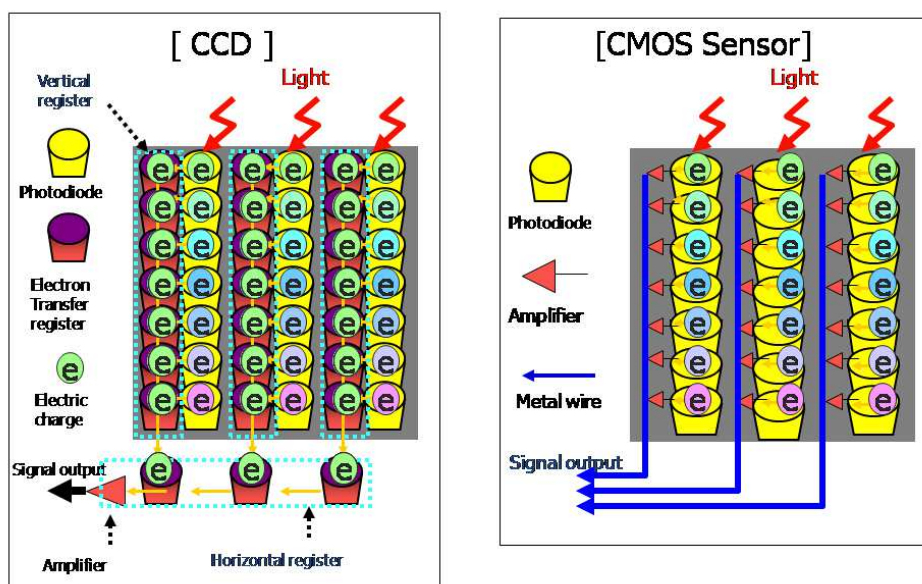
**CMOS**-sensoren bestaan uit een **matrix van fotodiodes** die gekoppeld zijn aan transistors (en elektronica). Elk punt van de CMOS-matrix (elke pixel) komt overeen met een punt van het object en de waarde van elke pixel kan onafhankelijk worden bepaald.

Dit type sensor lijkt op een CCD, maar een CMOS slaat een stap over omdat de lading direct wordt omgezet.

De CMOS-sensor werkt dus sneller en verbruikt minder energie dan een CCD-sensor en de productie is **goedkoper**.







CCD en CMOS

## Matrix- en vectorbeelden

Er zijn twee algemene categorieën van beelden:

- Vectorbeelden: Vectorbeelden zijn gemaakt met behulp van representaties van geometrische entiteiten, zoals een cirkel, een rechthoek of een segment. Deze worden voorgesteld door wiskundige formules: een rechthoek wordt gedefinieerd door twee punten, een cirkel door een middelpunt en een straal, en een kromme door enkele punten en een vergelijking. De computerprocessor ‘vertaalt’ deze vormen in informatie die door de grafische kaart kan worden geïnterpreteerd.
- Matrixbeelden: De beeldgegevens worden voorgesteld door een tweedimensionale array (dus een matrix), waarbij elke cel een pixel bevat. De pixel (afkorting van *picture element*) is de kleinste component van een digitale afbeelding.

Digitale camera’s en scanners gebruiken het matrixstelsel. Dit zullen we hierna in detail bespreken.

### Matrixbeelden

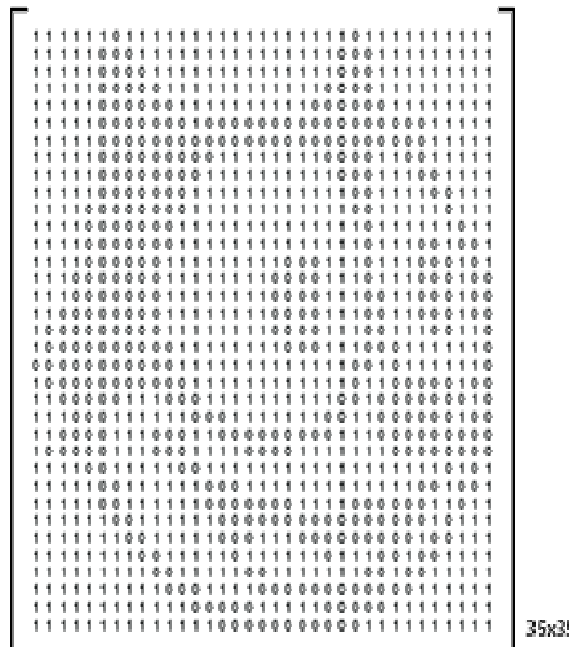
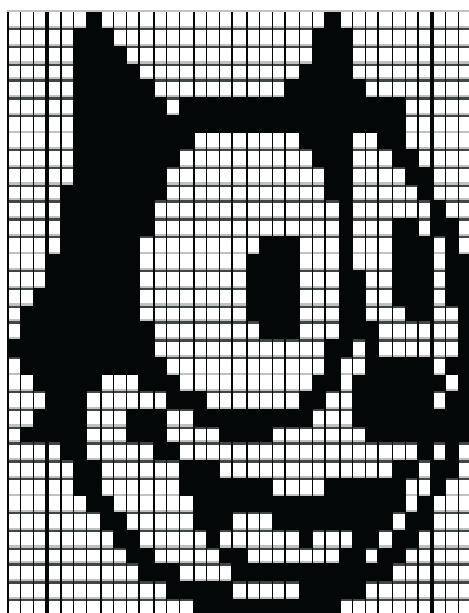
Foto’s die zijn genomen met een mobiele telefoon of een digitale camera, zijn voorbeelden van matrixbeelden.

### Zwart-witbeelden





Dit soort afbeeldingen kan door een matrix worden gerepresenteerd. Het kleine plaatje van Felix de Kat kan bijvoorbeeld worden gerepresenteerd door een 35 x 35-matrix waarvan de elementen de waarde 0 of 1 hebben. De elementen staan voor de kleur van de pixel: Een 0 is een zwarte pixel en een 1 een witte pixel (een pixel, het kleinste grafische element van een rasterafbeelding, heeft maar één kleur). Digitale beelden met maar twee kleuren worden wel binaire beelden genoemd.



Felix the Cat als een binair beeld

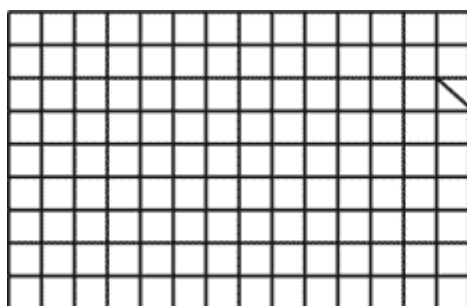
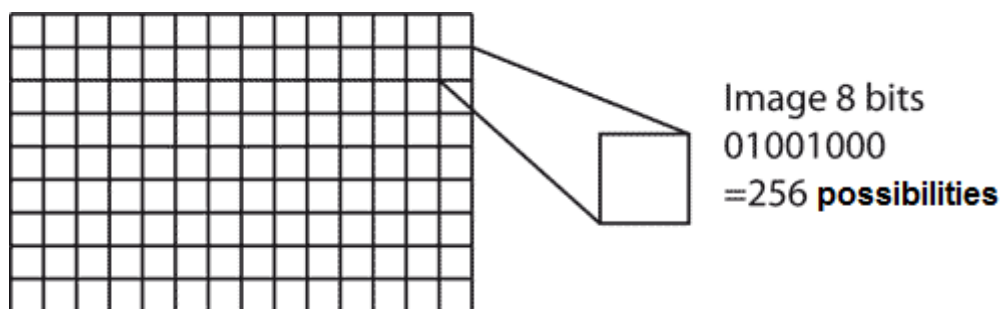


Image 1 bit  
0 ou 1  
=2 possibilities

Grijswaardebeelden

Grijswaardebeelden kunnen ook door een matrix worden gerepresenteerd. Elke element geeft dan de intensiteit van de desbetreffende pixel weer. Om praktische redenen wordt meestal gewerkt met gehele getallen tussen 0 (voor een zwarte pixel, dus met minimale kleurintensiteit) en 255 (voor een witte pixel, dus met maximale kleurintensiteit), dus met 255 verschillende grijs tinten. Dit is een acceptabel aantal voor bijvoorbeeld foto's op websites.

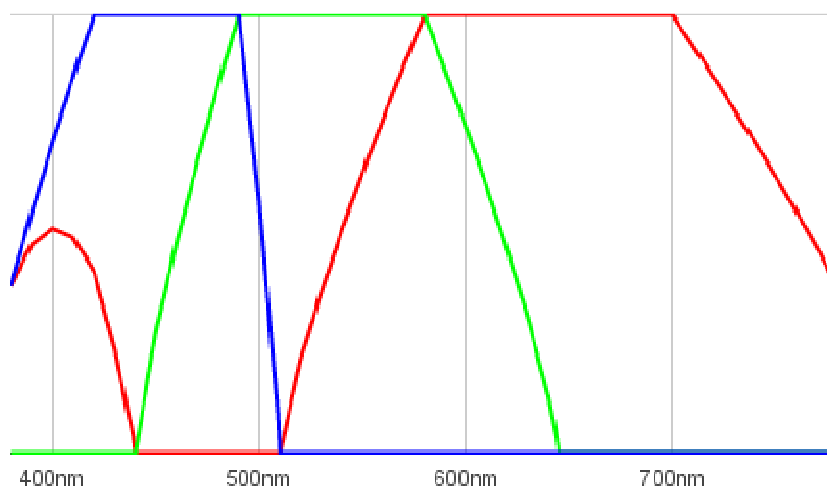




Elke pixel bestaat uit een 8-bit nummer en kunnen dus aannemen 256 verschillende waarden, van 0 = zwart tot 255 = wit.

### Kleurenbeelden

Kleurenbeelden maken gebruik van de zogeheten kegeltjes in ons oog: ontvangers in rood, groen en blauw waarmee mensen (en veel dieren) onderscheid kunnen maken tussen de kleuren. We kunnen in feite alle kleuren van het zichtbare spectrum ontleden in deze drie componenten. Op basis van deze drie primaire kleuren rood, groen en blauw kunnen de hersenen elke kleur samenstellen.



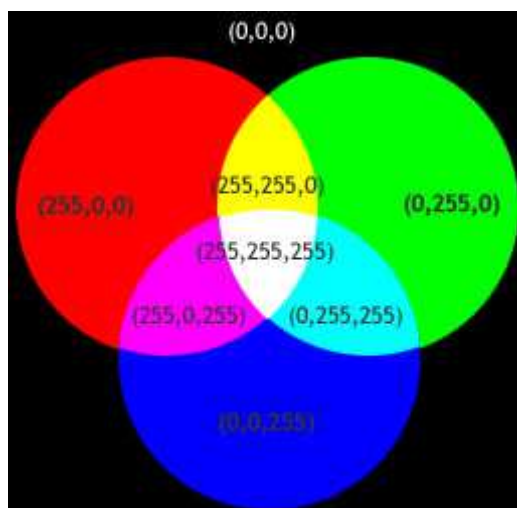
Gevoeligheid bereik van 3 kleuren kegels in het oog voor rood, groen en blauw. De rode pen heeft ook een "secundaire piek" in het blauwe gebied.

Deze drie primaire kleuren van additieve kleurmenging vormen de basis van het RGB-systeem dat bij de weergave van video op een scherm en bij beeldsoftware wordt gebruikt. Wanneer je met een vergrootglas naar het scherm van een kleurentelevisie kijkt, zie je dat elke pixel bestaat uit drie punten: een rood, een groen en een blauw. Uit de combinatie van deze drie punten ontstaat een helder punt (een pixel) met een bepaalde kleur. Het RGB-systeem is een van de manieren om kleur digitaal te representeren. {255, 255, 255} geeft wit, {255, 0, 0} zuiver rood, {100, 100, 100} grijs, etc. Het eerste getal geeft de rode component aan, het tweede de groene en het derde de blauwe component.

In het RGB-systeem kan het kleurenbeeld dus worden gerepresenteerd door drie matrices. Elke matrix geeft de hoeveelheid rood, groen en blauw weer waaruit het beeld bestaat. De elementen van de matrices zijn gehele getallen tussen 0 en 255 die de kleurintensiteit van de matrix voor de desbetreffende pixel aangeven. Met het RGB-kleurenmodel kunnen dus 16.777.216 verschillende kleuren worden gerepresenteerd.

Enkele voorbeelden van RGB-kleuren:





De primaire kleuren rood, groen en blauw en gemengde kleuren.

### De kenmerken van een matrixbeeld

Elke bitmap heeft technische kenmerken: definitie, resolutie en diepte.

#### *Definitie*

Met de definitie van een matrixbeeld bedoelen we het aantal pixels in de breedte en hoogte (bijvoorbeeld 800 x 600 pixels).

Bij een beeldverhouding van 4 : 3 correspondeert drie miljoen pixels bijvoorbeeld met een matrix van 2048 x 1536 pixels, en acht miljoen pixels met 3264 x 2448 pixels.

#### *Resolutie*

Resolutie is het aantal pixels per weergave-eenheid, meestal aangeduid als dots per inch (dpi), bijvoorbeeld 300 dpi.

### Diepte

De diepte of kleurrepresentatie is de hoeveelheid informatie die elke pixel bevat. Wanneer we 1 bit gebruiken, is elk punt van de afbeelding een bit, dus een 1 of een 0. Met 8 bits of grijswaarden wordt elke pixel gedefinieerd door één byte (8 bits), waarmee 256 verschillende grijswaarden mogelijk zijn.

Een RGB-afbeelding bestaat uit drie lagen, de drie additieve kleuren rood, groen en blauw. Drie bytes, een voor elke kleur (R, G, B), resulteren in  $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$  verschillende kleuren.

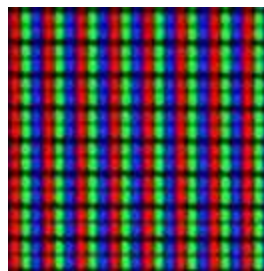
### Reflexsensoren en computerbeeldschermen

Sensoren van camera's en beeldschermen gebruiken hetzelfde principe om een kleur te maken of op te slaan. Ze mengen de drie primaire kleuren:





- **R: Rood**
- **G: Groen**
- **B: Blauw**



mengen kleur in camerasensor array en screens

Een scherm bestaat uit pixels en elke pixel bevat drie dioden (rood, groen en blauw). Door modulatie van de lichtintensiteit van elke led kan elke zichtbare kleur worden weergegeven. Dit heet additieve kleurmenging: een kleur wordt gemaakt door licht van drie kleuren te mengen.

Het aantal mogelijke niveaus voor elke component wordt gedefinieerd als het aantal dat nodig is om de waarden vast te leggen:

- 8 bits geeft 256 waarden per component, ofwel  $256 \times 256 \times 256 = 16$  miljoen kleuren.
- 12 bits geeft 4096 waarden per component, ofwel meer dan 60 miljard kleuren.

### Samenvatting

Een digitale afbeelding is een verzameling gekleurde dots (pixels).

Op een computerscherm worden meestal 1024 pixels in de breedte en 768 pixels in de hoogte weergegeven.

Kleurinformatie bij codering van pixels:

- **Zwart-wit:**  
Eén bit is voldoende om informatie te coderen, 0 voor zwart en 1 voor wit.
- **Grijswaarden:**  
8 bits worden gebruikt, die 256 mogelijke grijswaarden voor de pixel geven, van 0 (zwart) tot 255 (wit).
- **Kleur:**  
De kleur van elke pixel wordt door drie componenten gedefinieerd: Rood, groen en blauw. De intensiteit van elke component wordt gecodeerd in 8 bits, zodat elke component een waarde heeft tussen 0 (geen kleur) en 255 (maximale kleurintensiteit). Voor de kleurcodering van één pixel zijn dus 24 bits (3 octetten) nodig.

De kleur van de pixel ontstaat uit additieve kleurmenging. In het bijzonder geldt:

- Als de drie componenten 0 zijn: zwart
- Als de drie componenten gelijk zijn: grijs
- Als de drie componenten 255 zijn: wit





### Quiz voor hoofdstuk 3:

1. Een wetenschapper in een onderzoekscentrum is op zoek naar een nieuwe camerasensor. Welk soort kiest ze?
  - a) Een CMOS-sensor
  - b) Een CCD-sensor
  - c) Kan allebei
  
2. #441155 correspondeert met
  - a) Diepblauw
  - b) Roodpaars
  - c) Blauwpaars
  
3. Welke van de volgende grijstinten is het donkerst?
  - a) #AAAAAA
  - b) #AFAFAF
  - c) #FAFAFA





## Module 3: Fotonica voor gezondheid en biowetenschappen

### Microscopie

#### Lensvergroting

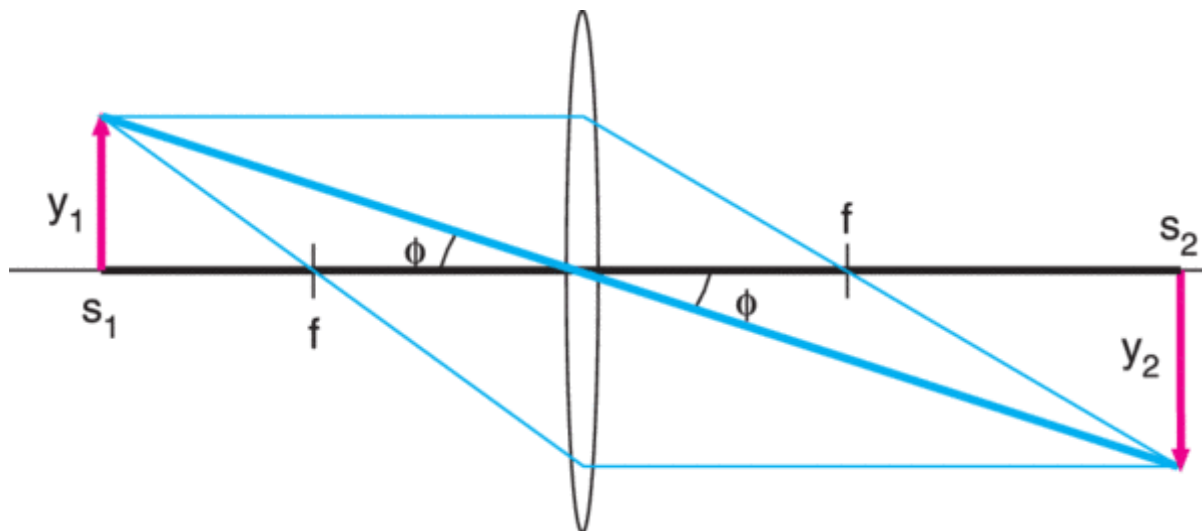
**Vergroting** is een optisch begrip. Je kunt met een vergrootglas een mier bekijken, die dan bijvoorbeeld drie keer zo groot lijkt, met andere woorden 'drie keer vergroot' wordt.



Een mier is vergroot met een loep

De vergroting ( $M$ ) is de verhouding tussen de grootte van het beeld en de grootte van het voorwerp, en ook de verhouding tussen de beeldafstand en de voorwerpsafstand (zie afbeelding hieronder)

$$y_2/y_1 = s_2/s_1 = M.$$



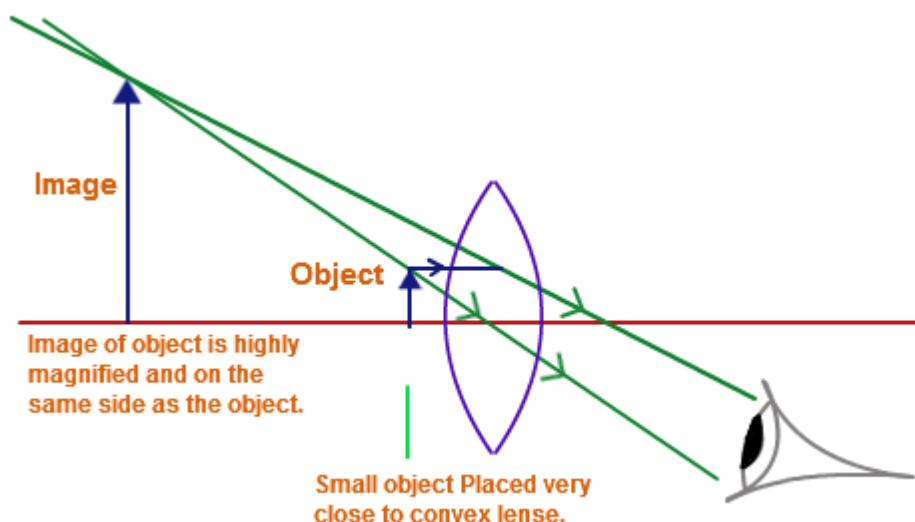
Afbeelden van een object op een scherm via de lens.





### Welk type lens heeft een vergrootglas?

Voor een vergrootglas wordt een bolle lens gebruikt, omdat deze een vergroot beeld maakt van een voorwerp dat erachter wordt geplaatst (dichterbij dan de brandpuntsafstand). In de afbeelding hieronder zie je hoe de vergroting in zijn werk gaat. Een voorwerp wordt achter een bolle lens geplaatst, dichterbij dan het brandpunt. Het beeld van het voorwerp is zichtbaar aan dezelfde kant als het voorwerp zelf, in vergrote vorm.



Er is een object (Object) Naher één bolle lens brandpuntsafstand aanpak, Ziet het er als het door de lens toeneemt (Image) passeert.

### Wat is het concept van een optische microscoop?

Een microscoop is een instrument dat wordt gebruikt om vergrote beelden van zeer kleine objecten te maken. De meest gangbare soort is een optische microscoop, die met behulp van lenzen beelden maakt met zichtbaar licht.

Een optische microscoop met één lens wordt wel enkelvoudige microscoop genoemd. Ook vergrootglazen en juweliersloepen kunnen als enkelvoudige microscopen worden opgevat. Een optische microscoop met twee lenzen wordt samengestelde microscoop genoemd.

De basisonderdelen van een samengestelde microscoop zijn het objectief, met daarin de lens bij het object, en het oculair, met de lens bij het oog van de waarnemer.

De optische microscoop vergroot een voorwerp in twee stappen (zie de afbeelding hieronder). In beide stappen worden optische systemen gebruikt die werken als convergerende lenzen:

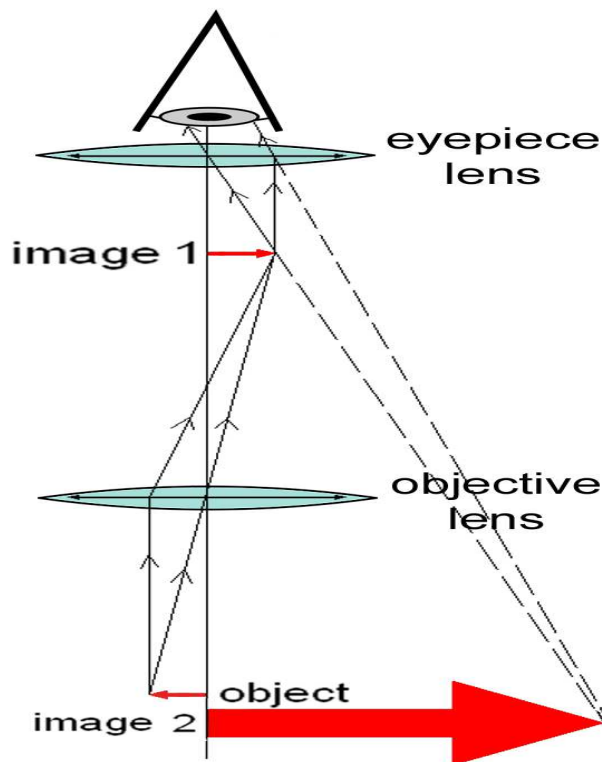
1. In de eerste stap wordt het voorwerp tussen het brandpunt en de dubbele brandpuntsafstand geplaatst. Het resultaat is een vergroot beeld. Deze microscooplenzen (in werkelijkheid een optisch systeem dat uit diverse lenzen bestaat) wordt het objectief genoemd.







2. Een tweede lens vangt dit beeld precies in zijn brandpunt. Hiermee wordt een bundel parallelle stralen gegenereerd, maar geen echt beeld. Dit optische element heet het oculair. Het menselijk oog kan van deze stralenbundel een beeld op het netvlies vormen.

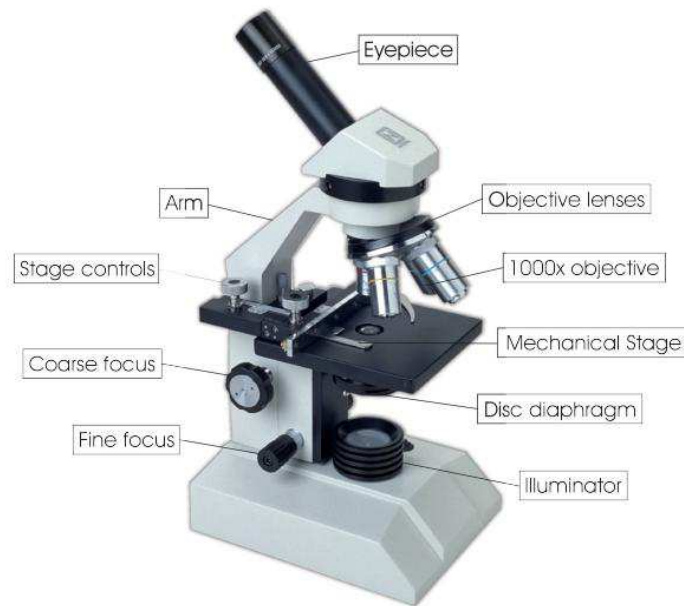


Beginsel van de microscoop.

De belangrijkste onderdelen van een optische microscoop zijn het oculair en de verschillende objectieven. Het objectief wordt gekozen op basis van het detailniveau dat moet worden waargenomen. Het monster wordt op het plaatje onder het objectief (de objecttafel) gelegd.

Ook de verlichting is een belangrijk onderdeel van een microscoop. Als deze niet goed wordt ingesteld, wordt het voorwerp minder goed waargenomen en zijn sommige details niet waarneembaar.





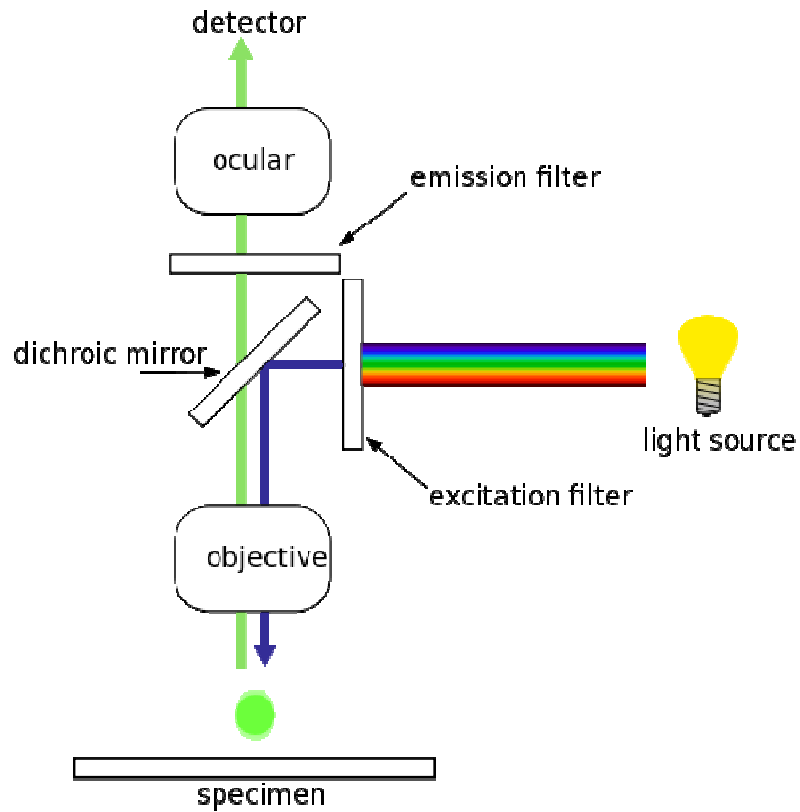
Comercial microscop

### Wat is een fluorescentiemicroscop?

We hebben gezien dat we met een microscop kleine objecten kunnen bestuderen. De kwaliteit van de waarneming is echter veel hoger met een fluorescentiemicroscop.

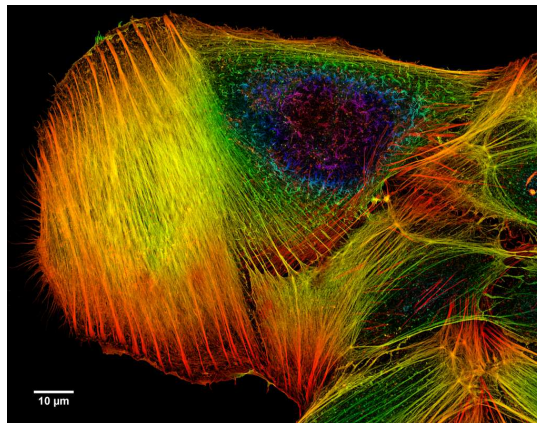
Fluorescentie is het proces waarbij een **stof licht met een bepaalde golflengte (blauw, violet) absorbeert en licht met een andere golflengte (groen, geel, rood) weer uitzendt**. Fluorescentiemicroscopen maken gebruik van dit verschijnsel om beelden te genereren. Het object wordt verlicht met een specifieke golflengte die wordt geabsorbeerd. Vervolgens zendt het licht uit met een andere golflengte, en dat wordt met filters opgevangen.





Schema van een fluorescenciemicroscoop

In de volgende afbeelding zien we een resultaat dat met deze technologie is verkregen:



Waarneming met fluorescenciemicroscoop





**Quiz:**

1. Waar in een optische microscoop wordt het waar te nemen object geplaatst?

- a) Op de arm
- b) Op het objectief
- c) Op de objecttafel

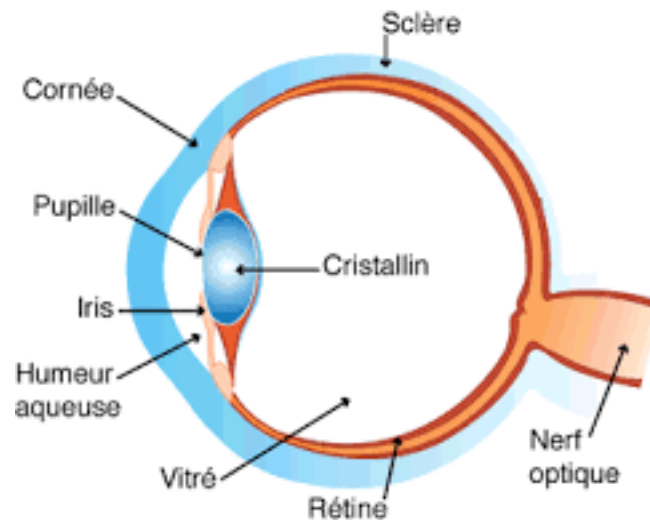
2. Op welk systeem lijkt de microscoop?

- a) Telescoop
- b) Vergrootglas
- c) Menselijk oog

**Beeldvorming**

Ons zicht is heel belangrijk in het dagelijks leven. Onze ogen blijven vanaf onze geboorte veranderen en een jaarlijks oogonderzoek wordt dan ook aanbevolen. Hoe werken onze ogen? Waarom kunnen sommige mensen niet goed zien? Wat zijn de gelijkenissen met een camera?

Wat zijn de concepten van menselijk zicht?



Schema van een menselijk oog

Het menselijk oog bestaat uit hoornvlies, de ooglens (of kristallens), het netvlies en hiertussenin het glasachtig lichaam. Elk van deze onderdelen speelt een belangrijke rol bij ons zicht. Het hoornvlies en de lens zorgen ervoor dat een scherp beeld op het netvlies wordt gevormd. De lens is essentieel omdat deze vervormbaar is en zich kan aanpassen aan de afstand van het waar te nemen object. Dit noemen we 'accommodatie'.





De iris is het gekleurde deel van het oog. Deze kan zich vernauwen of verwijden om de lichtsterkte achter in het oog te regelen.

Al het passerende licht gaat naar achter in het oog en valt op het netvlies. De lichtgevoelige cellen of fotoreceptorcellen van het netvlies zetten de lichtenergie om in elektrische energie. Dit elektrisch signaal wordt vervolgens via de oogzenuw naar de hersenen gestuurd. In de hersenen vindt dan de informatieverwerking plaats.

Het netvlies van het menselijk oog bevat kegeltjes, waarmee we verschillende kleuren kunnen zien. Deze zijn er in drie soorten. Elke soort detecteert één kleur: groen, rood of blauw. Uit de combinatie van deze kleuren wordt de waargenomen kleur samengesteld. Er zijn dieren, zoals de bidsprinkhaankreeft, die meerdere soorten kegeltjes hebben en dus ook andere kleuren kunnen zien.

### Welke oogafwijkingen en -aandoeningen zijn er?

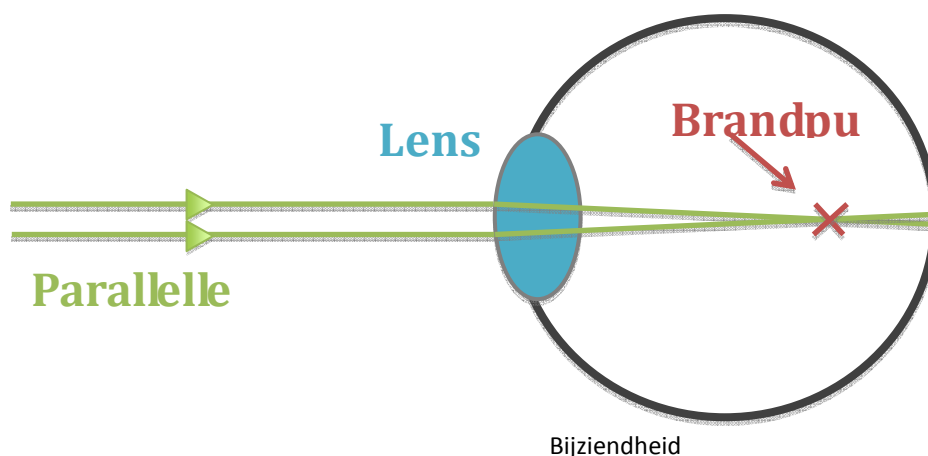
Sommige mensen kunnen door een oogafwijking niet goed zien zonder bril. Het beeld wordt bijvoorbeeld niet scherp op het netvlies overgebracht.

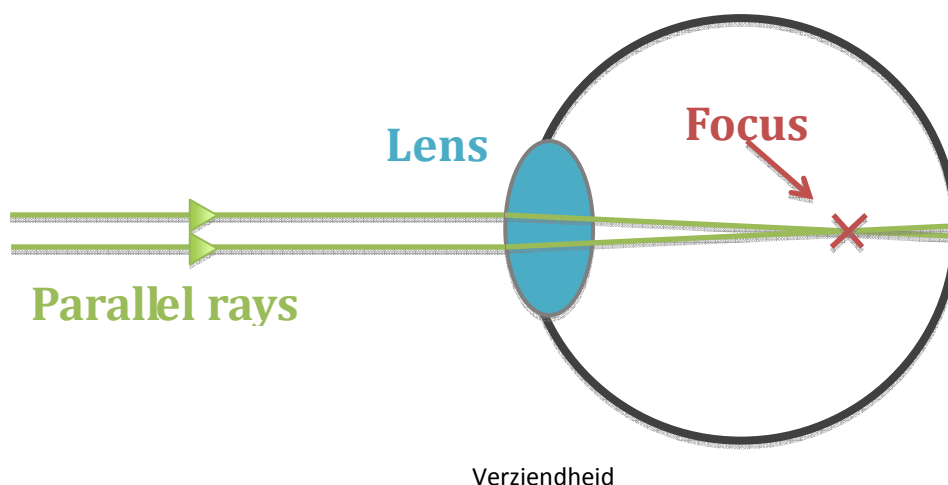
Er zijn verschillende soorten oogaandoeningen, bijvoorbeeld bijziendheid, verziendheid, astigmatisme en presbyopie en ouderdomsverziendheid.

Bijziendheid wordt veroorzaakt doordat de oogbal te lang is; het beeld wordt daardoor scherp geprojecteerd vóór het netvlies in plaats van erop. Wie bijziend is, kan ver weg niet scherp zien.

Verziendheid is het omgekeerde: de oogbal is te kort en het beeld wordt scherp geprojecteerd achter het netvlies. Daardoor is het zicht wazig voor objecten die dichtbij zijn.

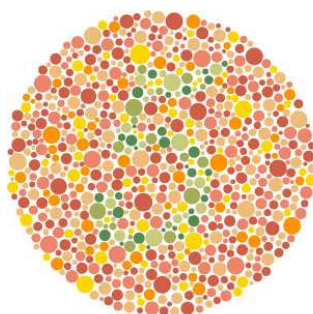
Wie aan astigmatisme lijdt, ziet wazig in sommige richtingen, doordat de oogbal vervormd is. En presbyopie ten slotte is verlies aan elasticiteit van de lens. Dit komt vaak voor bij oudere mensen.





Om mensen met deze afwijkingen toch goed te laten zien, **schrijven oogartsen vaak brillen of lenzen voor**. Deze helpen om het beeld toch goed op het netvlies te projecteren.

En dan zijn er ook nog mensen die **kleurenblind** zijn. Met behulp van de volgende afbeelding kan worden vastgesteld of iemand last heeft van deze aandoening. Wie het getal niet kan lezen, is kleurenblind.



Test voor kleurenblindheid

### Wat is het concept van de camera?

We hebben gezien dat onze hersenen beelden kunnen verwerken dankzij een mechanisme in het oog. Dit systeem hebben wetenschappers nagebootst toen ze camera's maakten.

Een **camera werkt net als een oog**: we kunnen oog en camera per onderdeel met elkaar vergelijken.

### Lens (objectief)

Een camera en een menselijk oog hebben allebei een lens die met licht een omgekeerd beeld maakt. Een groot verschil is echter dat een cameralens zich naar een object of juist ervandaan beweegt om het scherp te krijgen, terwijl de lens van het menselijk oog op zijn plaats blijft. Om een object scherp op het netvlies te projecteren, reageren spiertjes in het oog op instructies van de hersenen: ze veranderen de vorm van de lens om het beeld scherp te stellen.





### Netvlies (film of sensor)

Het netvlies is als een camerafilm of een sensor waarop het licht wordt geworpen. In het oog passeert licht de lens en valt op het netvlies, waar het ontvangen beeld door staafjes en kegeltjes wordt omgezet in elektrische impulsen die via de oogzenuw naar de hersenen worden gestuurd. Zowel het netvlies als een film of sensor is zeer lichtgevoelig, maar het oog wint hier ruimschoots. Het functioneert veel beter in het donker, ook zonder flits.

### Iris (lensopening)

Zowel oog als camera heeft een opening die kan worden afgesteld om de juiste hoeveelheid licht door te laten. Bij het oog wordt deze functie vervuld door de iris, in samenwerking met de pupil, die zich net als de lensopening van een camera vernauwt of verwijdt op basis van het omgevingslicht. Zo valt de juiste hoeveelheid licht op het netvlies of op de film of sensor voor een helder, goed onderscheidbaar beeld.

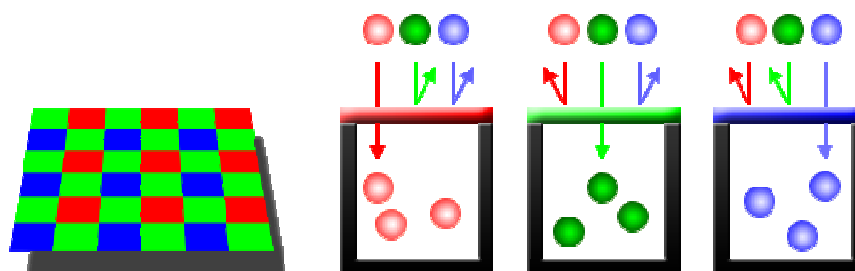
### Hoe werken CCD-sensoren?

Voor de camera is er een sensor ontwikkeld die lijkt op het netvlies, de menselijke sensor. Dit is de CCD-sensor (*charge coupled device*), die relatief eenvoudig te produceren is en al bestaat sinds 1970.

In wezen is een CCD-sensor een geïntegreerd circuit dat op een siliciumoppervlak is gegraveerd en lichtgevoelige elementen (pixels) vormt. Deze zetten de ontvangen hoeveelheid licht om in een bijpassend aantal elektronen. Hoe sterker het licht, hoe meer elektronen er worden opgewekt. De elektronen worden omgezet in elektrische spanning en vervolgens door een analoog-digitaalomzetter omgezet in getallen. Het zo verkregen digitale signaal wordt verwerkt door elektronische circuits in de camera.

CCD-sensoren registreren de hoeveelheid licht, van licht tot donker, maar zonder informatie over kleur. Je zou kunnen zeggen dat CCD-beeldsensoren 'kleurenblind' zijn. Om toch kleur vast te kunnen leggen met een camera, plaatsen we een filter, een zogenoemde 'kleurfilterarray' (CFA), voor de sensor om primaire kleuren te onderscheiden. De gebruikelijkste methode om kleuren te registreren is RGB (Rood, Groen en Blauw). Rood, groen en blauw zijn de primaire kleuren die in alle mogelijke combinaties kunnen worden vermengd tot de kleuren die zichtbaar zijn voor het menselijk oog.

Het gangbaarste en succesvolste CFA is het [Bayerfilter](#), dat een patroon van afwisselende rijen rood-groene en groen-blauwe filters gebruikt:



Links: Bayer patroon, rechts: de werking van de afzonderlijke filters





**Quiz:**

1. Wat is het gevolg van een te korte oogbal?

- a) Bijziendheid
- b) Verziendheid
- c) Astigmatisme

2. Welk onderdeel van het oog kan worden vergeleken met het objectief van een camera?

- a) Netvlies
- b) Lens en hoornvlies
- c) Iris

3. Waar moet voor goed zicht het beeld terechtkomen?

- a) Op de lens
- b) Op het hoornvlies
- c) Op het netvlies

## Lasertherapie

Lasers zijn ontwikkeld in de jaren 1960. Ze worden op allerlei terreinen gebruikt: in de industrie, bij natuurkundige toepassingen en ook in de geneeskunde. Hoe helpt een dergelijke lichtbron de chirurgen vandaag de dag? Wat zijn de effecten van laser op mensen?

Welke biologische interacties vinden plaats onder invloed van laser?

Je kent lasers wel, je hebt er misschien wel mee geëxperimenteerd bij natuurkunde op school. Maar je weet misschien niet welke effecten laser heeft op ons lichaam bij medische toepassingen.

Biologische interacties tussen laserlicht en menselijk weefsel hangen af van de golflengte en kracht van de laserstraal en van de tijd die het weefsel eraan wordt blootgesteld. Er zijn verschillende effecten mogelijk: elektromechanisch, fotoablatief, thermisch en fotochemisch.

Bij fotodynamische therapie worden laserstralen via een vezel toegediend om kanker te behandelen.







Lasergeneeskunde

#### Wat is het elektromechanische effect?

Voor het verwijderen van een tatoeage kan een laserbehandeling worden toegepast.

Hierbij wordt het elektromechanische effect gebruikt, dat optreedt wanneer heel sterke en korte laserpulsen op het weefsel worden gericht. Door deze straling ontstaan sterke elektrische velden. Het ongewenste weefsel wordt afgebroken en er wordt bloedplasma gevormd.

#### Wat is het fotoablatieve effect?

Eerder hebben we al gesproken over behandeling van oogafwijkingen. Bijziendheid en verziendheid kunnen met laserlicht worden behandeld. Daarbij wordt de kromming van het hoornvlies veranderd. Oftalmologische (oogheekundige) lasers worden gebruikt vanwege hun nauwkeurigheid en om contact met het weefsel te vermijden.

Deze methode wordt in de geneeskunde gebruikt om operaties te 'automatiseren'. We spreken van het fotoablatieve effect. De fotonen van de laser hebben een grotere energie dan de energie die de moleculen bijeen houdt. De molecuulbindingen worden daarom verbroken wanneer ze aan de laser worden blootgesteld. Op die manier kan weefsel worden afgebroken.





### Wat is het thermische effect?

Soms moet bloed van patiënten worden gestold om hun leven te redden. Hiertoe kan soms met laser een thermisch effect worden opgewekt.

Dit effect wordt tegenwoordig op grote schaal gebruikt. Het proces vindt in drie stadia plaats: omzetting van licht in warmte, overdracht van warmte naar de huid en reactie van het weefsel op de temperatuur.

Dit effect kan hyperthermie (verhoogde temperatuur, zoals bij een zonnesteek), vervluchtiging en bloeding van weefsels (necrose) veroorzaken. Dit zijn schadelijke gevolgen, maar het thermisch effect wordt ook op een positieve manier gebruikt in de geneeskunde: in de oogheelkunde, in de chirurgie en in de dermatologie bij de behandeling van huidbeschadigingen.

### Wat is het fotochemische effect?

De behandeling van kanker is erg ingewikkeld. Om kankercellen in een specifiek deel van het lichaam te kunnen vernietigen, heb je heel efficiënte methoden nodig. Soms wordt hierbij een fotochemisch effect van laserlicht toegepast.

In de geneeskunde worden fotochemische effecten in twee stappen toegepast:

- Fotosensibilisator wordt aangebracht op de te behandelen plek.
- Deze plek wordt verlicht met licht van lage intensiteit.

Hierdoor worden chemische reacties gestimuleerd die de kankercellen doden.

### Quiz:

1. Welk effect wordt gebruikt om oogafwijkingen te behandelen?

- a) Het fotochemische effect
- b) Het elektromechanische effect
- c) Het fotoablatieve effect





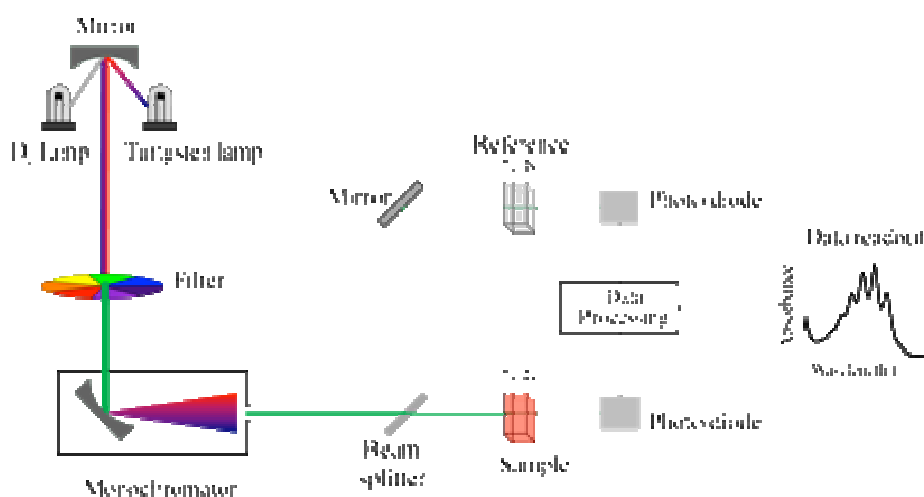
## Spectroscopie

Sterren en planeten kunnen we niet zomaar onderzoeken. Dat geldt ook voor sommige chemicaliën, die in heel kleine hoeveelheden voorkomen of giftig of radioactief zijn.

Gelukkig reageren dergelijke objecten zodanig op licht dat we er informatie over kunnen krijgen door dat licht te onderzoeken.

Spectroscopie houdt in dat de 'spectrale samenstelling' van licht wordt onderzocht, simpel gezegd: de verschillende kleuren waar het licht uit bestaat. Dit licht kan afkomstig zijn van bijvoorbeeld de zon, de maan of een chemische stof. Het onderzoek gebeurt met een zogenoemde spectrometer; zie de afbeelding hieronder.

### Wat is een spectrofotometer?



Spectrofotometer

In de afbeelding hieronder zie je een spectrometer die wordt gebruikt om een monster met een onbekende chemische stof te onderzoeken. Het principe is eenvoudig: Je neemt licht met een bepaalde golflengte (kleur), laat het op het monster schijnen en kijkt hoeveel licht passeert en hoeveel wordt verstrooid. Dan neem je licht van een andere golflengte en doe je hetzelfde. Wanneer je dit voor een aantal golflengtes hebt gedaan, kun je de verkregen gegevens vergelijken met een database met gegevens over transmissie en verstrooiing voor allerlei groepen chemische stoffen. Wanneer je een match vindt in de database, weet je welke stof er in jouw monster zit.





In de praktijk voert een spectroscopie deze tijdrovende metingen automatisch uit. Je hebt een of twee lichtbronnen die een straal geven met licht in het gewenste golflengtebereik. Verder gebruik je filters en een monochromator om één golflengte te selecteren. Dan splits je de stralenbundel. Het ene deel gaat door het monster met de onbekende stof, het andere door een 'referentiemonster', dat nodig is om nauwkeurige resultaten te krijgen. Fotodiodes achter het te onderzoeken monster en het referentiemonster meten de intensiteit van het licht dat erop valt. Een computer verzamelt de gegevens voor de verschillende golflengtes, tekent een grafiek en vergelijkt deze met de database.

Wat is de theorie van spectroscopie in het IR-(infrarood)domein?

We hebben gezien hoe een basisspectroscopie werkt, maar er bestaat ook een spectroscopie die met infrarood licht werkt.

Bij infraroodspectroscopie wordt dezelfde opstelling gebruikt als bij een spectrofotometer, maar het monster wordt verlicht met licht uit een **breed infraroodspectrum**. Atomen en moleculen bezitten specifieke resonantiefrequenties waar ze het best licht absorberen. Wanneer je weet welke IR-frequenties zijn geabsorbeerd, kan je vaststellen met welke chemische groep je te maken hebt.

De OH-groep bijvoorbeeld, waartoe alcohol en water behoren, komt overeen met absorptie bij 3650–3590 cm<sup>-1</sup>.

Major Functional Group	Absorption Frequency Region			
O-H	3650-3590			
N-H	3500-3300	1650-1590	900-650	
=CH-H	3100-3070	1420-1410	900-880	
=C-H	3100-3000	2000-1600		
C-H	2900-2700	1440-1320		
=-CH <sub>3</sub>	2880-2860	2970-2950	1380-1370	1470-1430
O-H	2700-2500	1320-1210	950-900	
C≡C	2140-2100			
C=O	1750-1700			
C=C	1600-1500			
C-N	1340-1250			
C-O-C	1200-1180			
-C-H	770-730			

Handboek infraroodspectroscopie





### Quiz:

- 1) Welk type straling wordt het sterkst geabsorbeerd door een rode oplossing?
  - a) Rood licht
  - b) Geel licht
  - c) Groen licht

## Module 4: Fotonica voor energie, verlichting en beeldschermen

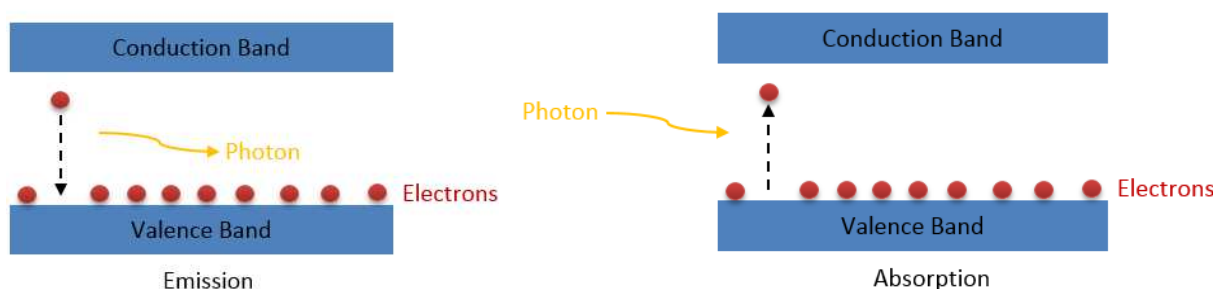
### Verlichting

#### Halfgeleiders

Toen Thomas Edison de gloeilamp had uitgevonden, konden er vele technologieën worden ontwikkeld, zoals elektrisch licht. Voor kleinere en efficiëntere apparaten was echter nieuwe technologie nodig.

Vanaf 1930 werden steeds vaker **halfgeleiders** bestudeerd, materialen met interessante eigenschappen.

Alle atomen bestaan uit een kern van protonen en neutronen en een wolk van **elektronen** die in schillen van verschillende energieniveaus hieromheen liggen. Halfgeleiders hebben echter een zodanige structuur (zie de afbeelding) dat fotonen kunnen worden geabsorbeerd of uitgezonden. Niet-aangeslagen elektronen in de **valentieband** kunnen naar de geleidingsband gaan wanneer ze energie ontvangen, dus wanneer ze een foton absorberen. Zo ontstaat in de valentieband een positief **gat**. En aangeslagen elektronen in de **geleidingsband** kunnen naar de valentieband gaan door een foton uit te zenden. Het gat wordt dan weer 'opgevuld'.



Afbeelding 1: Structuur van een halfgeleider





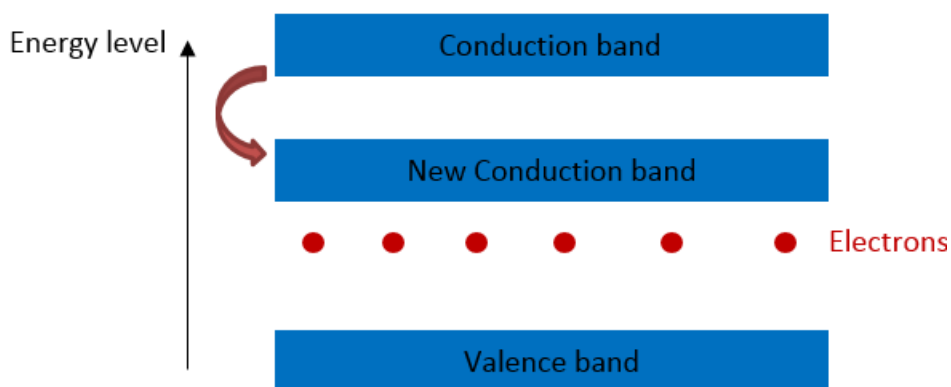
Halfgeleiders hebben meestal een kristalstructuur. De meest gebruikte is silicium. Met dat materiaal is ook een schijf met vredesboodschappen uit vele landen gemaakt, die in 1969 op de maan is achtergelaten.

### Junctiediode

Natuurkundigen gebruikten hun kennis van deze materialen om halfgeleiders in kleine hoeveelheden met andere materialen te mengen om de mobiliteit van de elektronen (en van de 'gaten', het andere type ladingdragers in een halfgeleider) te vergroten. Verontreinigingen toevoegen aan halfgeleiders wordt **doperen** genoemd. Hierdoor ontstaan twee categorieën halfgeleiders: **n-type en p-type**.

Het energieverval tussen de valentie- en de geleidingsband heet met een Engels woord **band gap** (in het Nederlands ook wel 'bandkloof' of 'verboden zone'). Deze bepaalt hoeveel energie nodig is om fotonen uit te zenden of te absorberen: hoe groter de band gap, hoe meer energie het foton nodig heeft om te worden geabsorbeerd.

N-type-materialen geven meer elektronen, waardoor het energieniveau van de geleidingsband kunstmatig wordt verlaagd en de band gap verkleind.

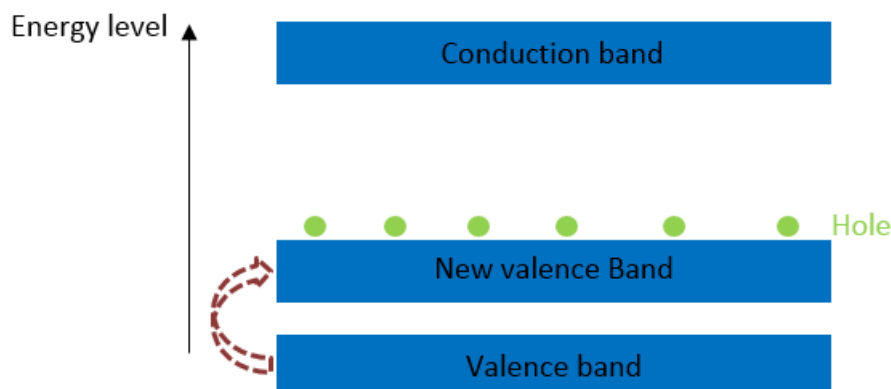


Afbeelding 2: N-type-effect





P-type-materialen 'stelen' de elektronen van de halfgeleider, waardoor gaten in de valentieband ontstaan. Ze verhogen kunstmatig het energieniveau van de band en verkleinen zo de band gap.



Afbeelding 3: P-type-effect

Deze twee soorten dotering worden vaak gecombineerd en vormen dan een **pn-overgang** (Engels: *p-n junction*). De grens tussen p- en n-types is een bepaalde zone waar elektronen en gaten naar de andere band stromen, zodat er een bijna niet-geleidend gebied ontstaat. Deze eigenschap kan worden veranderd door de elektrische spanning van de overgang te veranderen. Een **junctiondiode** is bijvoorbeeld een pn-overgang waar de stroom wel in de ene richting kan stromen (doorlaatspanning) maar niet in de andere (sperspanning).

Tegenwoordig zijn pn-overgangen basisonderdelen van de meeste geïntegreerde circuits, transistors en leds, die weinig elektriciteit gebruiken en kleine en goedkope lichtbronnen vormen. Nieuwe pn-overgangen van organische materialen worden tegenwoordig ook gebruikt om oleds (organische leds), organische fotodiodes en organische zonnecellen te maken. Deze zijn bijna even efficiënt en kosten even veel in het gebruik als silicium, maar de productie is goedkoper en gemakkelijker en ze zijn vaak biologisch afbreekbaar.

### Quiz voor hoofdstuk 1

- 1) Vergeleken met silicium zijn organische materialen:
  1. Efficiënter en vervuilender
  2. Minder efficiënt en schoner
  3. Vervuilender maar goedkoper





## Energie

### Fotovoltaïsch effect

In het hoofdstuk 'Verlichting' hebben we gezien dat als we licht op een halfgeleider laten schijnen, er vrije (d.w.z. vrij bewegende) elektronen en gaten ontstaan. De **bewegende elektronen** genereren een elektrische stroom. Dit heet het **fotovoltaïsche effect**. De stroom kan worden verbeterd met gedoteerde halfgeleiders en een pn-overgang om het aantal bewegende elektronen te vergroten.

De keuze van de te gebruiken halfgeleider is heel belangrijk voor de uiteindelijke productkenmerken:

- Materialen die gevoelig zijn voor weinig licht worden gebruikt om fotodiodes mee te maken (zie module 5).
- Materialen die minder gevoelig zijn maar een grotere elektrische stroom opleveren, worden gebruikt voor **zonnepanelen**.

Zonnepanelen zijn een heel interessante technologie als alternatief voor kerncentrales, maar maken ook het gebruik van elektrische apparaten op afgelegen plekken mogelijk, en zelfs in de ruimte. Philae, de robot die in november 2014 op komeet Tsjerjoemov landde, heeft bijvoorbeeld batterijen die door zonnepanelen worden gevoed.

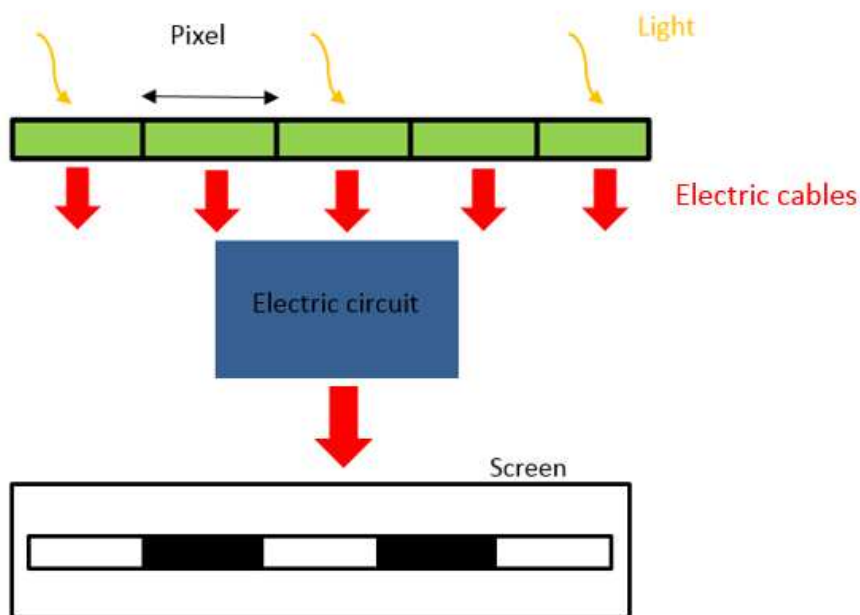
### Beeldscherm

#### Pixels

Alle camera's en andere apparaten waarmee beelden worden gemaakt, hebben als basisonderdeel een **array van pixels**. Een pixel is een gebiedje van een halfgeleidermateriaal dat licht detecteert dat wordt uitgezonden door een object. Een elektrisch circuit leest de informatie van alle pixels uit en stelt deze samen tot een beeld.



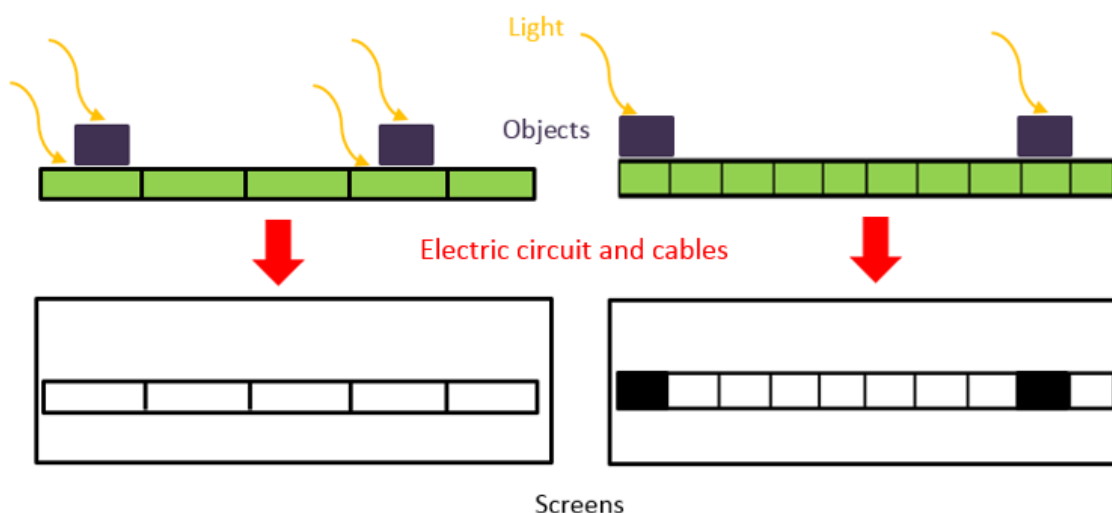




Afbeelding 5: Werking van pixelarray

In afbeelding 5 is te zien dat **verlichte pixels** wit op het scherm verschijnen, terwijl **niet-verlichte pixels** zwart zijn. In een echte sensor hangt de kleur op het scherm af van de intensiteit die door de pixel wordt gecreëerd. Zwart-witbeelden kunnen bijvoorbeeld 65.535 grijsstinten hebben, of nog meer bij andere systemen.

Ook het formaat van de pixels is belangrijk. Een object kan niet worden waargenomen als het kleiner is dan de pixel.



Afbeelding 6: Twee verschillende maten pixel

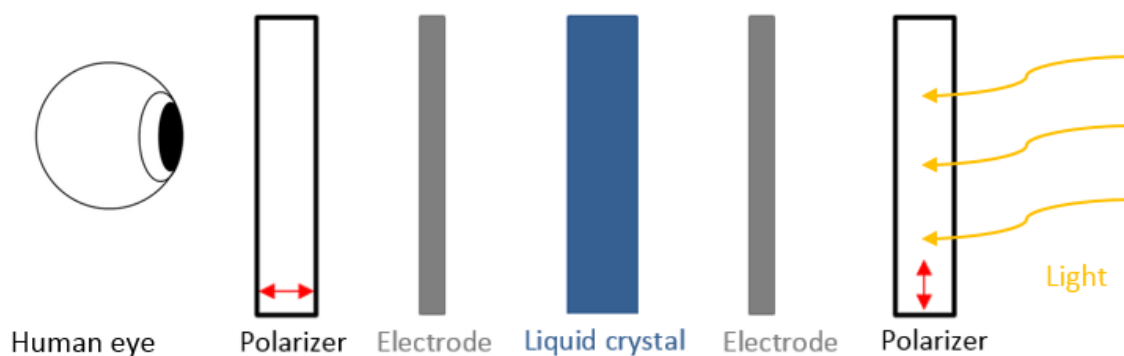




In afbeelding 6 is te zien dat pixels kleinere objecten niet detecteren, omdat licht de pixels toch kan bereiken en deze dus op het scherm wit worden. Als het object groter is dan de pixel, valt er geen licht op en is hij zwart op het scherm. Het kleinste formaat dat door een array kan worden gedetecteerd, wordt bepaald door de **resolutie** van het systeem.

### Lcd-scherm

We hebben gezien dat pixels kunnen worden gebruikt om een beeld te 'vangen', maar ze worden ook gebruikt om een beeld te vormen op het scherm van bijvoorbeeld een computer of een smartphone. Tegenwoordig zijn de meeste beeldschermen **lcd-schermen** (*Liquid Crystal Display*). Deze schermen zijn gemaakt van pixels in meerdere lagen:

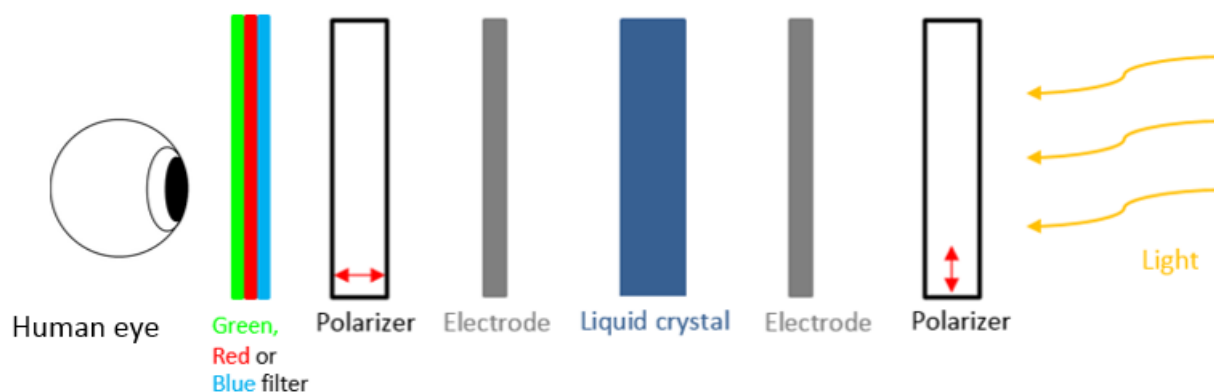


Afbeelding 7: Lagen van een lcd-scherm pixel

In module 1 hebben we al gezien dat licht een elektrisch veld met een bepaalde richting heeft. **Polarisatiefilters** zijn filters die alleen licht met bepaalde richtingen doorlaten. In de afbeelding laten de polarisatiefilters geen licht door omdat hun polarisatierichtingen loodrecht op elkaar staan. Wanneer echter de spanning op het vloeibare kristal met de transparante elektroden verandert, veranderen de fysieke kenmerken: het wordt een polarisatiefilter. Op deze manier kan enig licht de pixel passeren. Wanneer de spanning verandert, verandert de richting van de polarisatie van de kristallen en daarmee de hoeveelheid licht die de gebruiker kan zien. Op deze manier kunnen er zwart-witbeelden worden gemaakt.

Voor **gekleurde beelden** moeten er rode, blauwe en groene filters worden toegevoegd aan **groepen van drie pixels**.





Afbeelding 8: Lagen van een lcd-kleurenscherm pixel

Lcd-schermen zijn dun en maken kleine apparaten zoals smartphones mogelijk. De technologie wordt nu op grote schaal gebruikt, en het is dus nogal verrassend dat lcd-schermen in de meeste landen pas aan het begin van deze eeuw voor het eerst werden verkocht.

## Module 5: Fotonica voor beveiliging, metrologie en sensoren

### Metrologie en sensoren

#### Sensoren

Sensorlampen en beveiligingssysteem moeten hun omgeving kunnen 'zien'. Daarvoor zijn sensoren nodig. Een sensor is een apparaat dat een **verandering kan detecteren** van een parameter in een bepaalde situatie. Afhankelijk van de situatie kunnen er veel parameters worden bekeken en kunnen er verschillende sensoren worden gebruikt. Met behulp van fotonica kunnen veel verschillende parameters worden gedetecteerd.

Een chemische reactie kan tot een **kleurverandering** leiden. De pH van een oplossing kan bijvoorbeeld worden gemeten met pH-papier, waarvan de kleur zich aanpast aan de pH. Op die manier kan worden bepaald om wat voor soort oplossing het gaat.

De stroom die door een weerstand wordt geleverd, verandert met de temperatuur, dus om de temperatuur af te leiden kan de stroom worden gemeten. **Thermische camera's** zijn bijvoorbeeld van kleine weerstandjes gemaakt, die als pixels dienen. Het gevormde beeld laat de verschillende temperaturen zien.





Afbeelding 9: Mens gezien met een thermische camera

Thermische camera's kunnen worden gebruikt in medische toepassingen, voor isolatie in de bouw of voor beveiliging (preventie van brand of explosies).

Andere materialen kunnen **drukverandering** detecteren. Ze kunnen bijvoorbeeld als aan/uitknop worden gebruikt, of in een nieuwe muur worden geplaatst om te controleren of deze beweegt.

En **fotodiodes** worden vaak gebruikt als **bewegingssensor**. Deze detecteren veranderingen van het licht. De plaats met minder licht is meestal de plaats waar de persoon zich bevindt. Automatische lampen (sensorlampen) zenden bijvoorbeeld infraroodlicht uit, dat niet zichtbaar is voor het menselijk oog, en meten de reflectie. Wanneer de reflectie verandert omdat er een mens in de buurt van de lamp loopt, wordt het zichtbare licht geactiveerd.

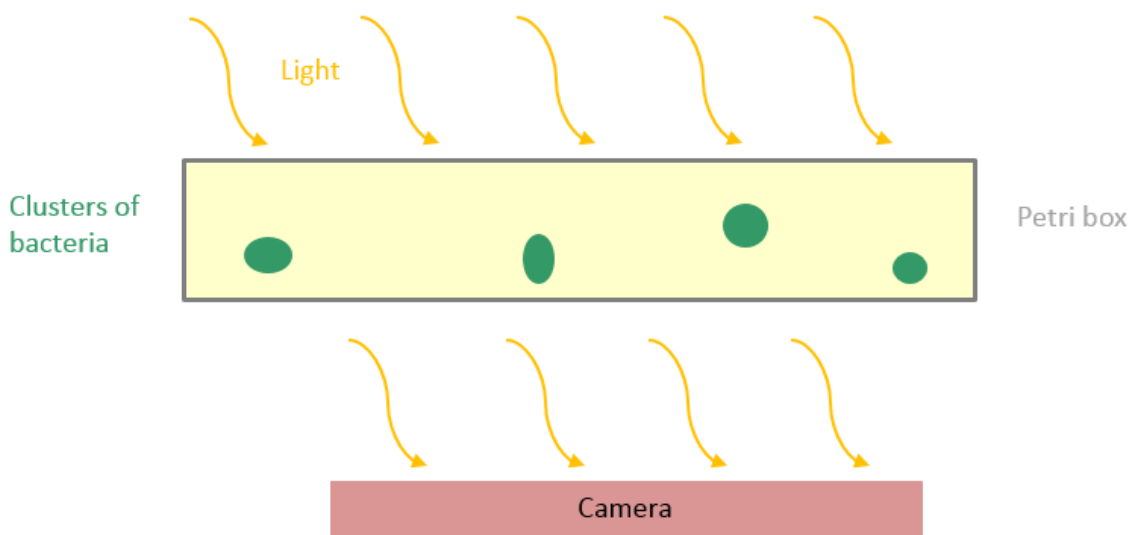
## Beveiliging en veiligheid

### Voedselinspectie

Veiligheidsvoorschriften bij kwaliteitscontroles en beveiligingstoepassingen vragen om **snelle en nauwkeurige sensoren** voor betrouwbare resultaten.

Bij **voedselinspectie** moet worden vastgesteld of voedingsmiddelen bijvoorbeeld eetbaar, giftig of rot zijn. Meestal wordt dit getest door monsters te nemen, deze te verdunnen in water en druppels en op een petrischaal te leggen. Zo kan men de ontwikkeling van **bacteriën observeren**. Biologen kunnen de kwaliteit van het voedsel afleiden van de soort en grootte van de bacteriën die worden waargenomen. Het kost een bioloog echter te veel tijd om zelf alle monsters te controleren en de bacteriënclusters te tellen. Dit moet met een apparaat voor automatische detectie worden gedaan. De eerste mogelijke oplossing is een camera.

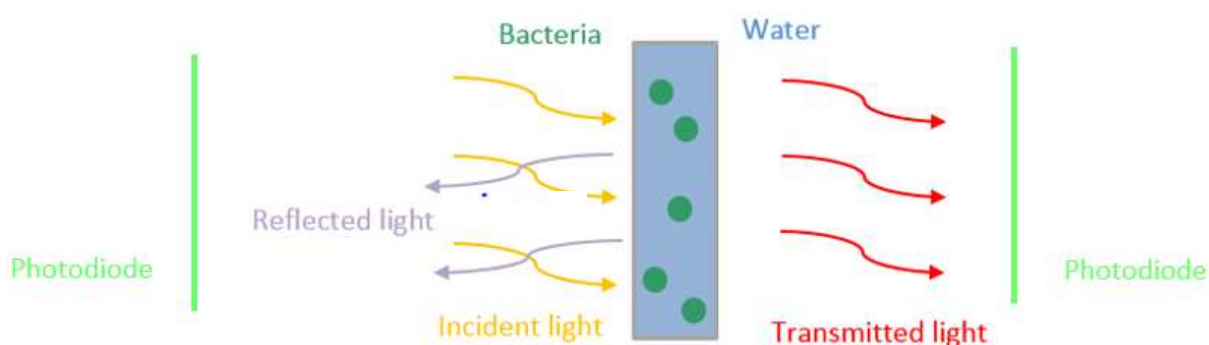




Afbeelding 10: Detectie van bacteriën met een camera

Licht gaat door de lege ruimte, maar bacteriën reflecteren of absorberen het. De camera ziet dus zwarte plekken op de plaats van de clusters. De clusters worden vervolgens gedetecteerd, gemeten en geteld door speciale software. Deze methode is snel en efficiënt maar voor dit soort detectie is vaak een dun apparaat nodig met een groot blikveld. Dat is echter lastig met een camera: er is een breedte van ten minste enkele centimeters nodig om de hele schaal te zien. En de kosten kunnen hoog zijn.

Een andere methode is om de bacteriën in water te doen.



Afbeelding 11: Analyse in water



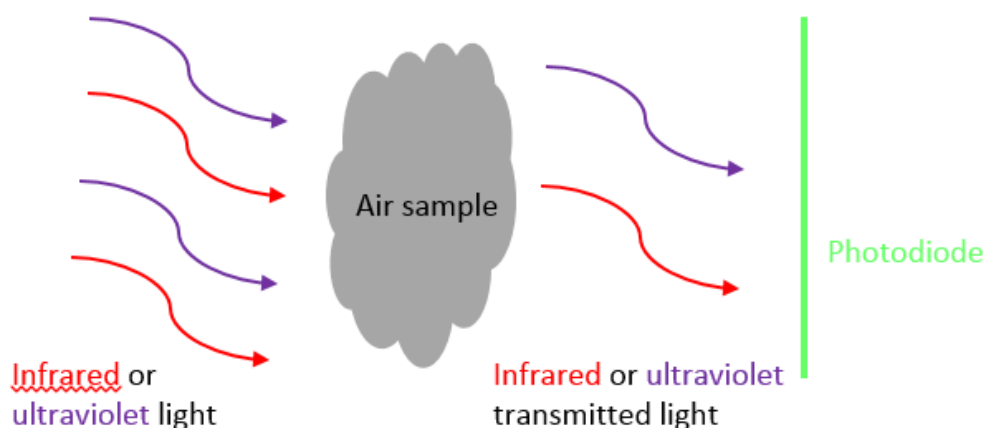


Licht wordt in het water geïnjecteerd en fotodiodes meten gereflecteerd en doorgelaten licht. Uit de meetwaarden volgen optische eigenschappen van de bacteriën en biologen kunnen hier gemakkelijk uit afleiden om welke soort bacteriën het gaat. Een soortgelijke methode is de toevoeging van een polarisator om de optische rotatie te meten, dat wil zeggen de draaihoek van de stof waarbij gepolariseerd licht ontstaat. Deze methode van wateranalyse is vaak goedkoper dan het gebruik van een camera, maar het kan lastig zijn om verschillende bacteriën te onderscheiden.

Dankzij deze detectiemethoden en de nieuwe kennis over ziekten is het aantal gevallen van voedselvergiftiging in de afgelopen eeuw sterk gedaald.

### Bewaking van luchtkwaliteit

Luchtvervuiling is een van de belangrijkste problemen van onze eeuw. Zij brengt het milieu grote schade toe en is ook schadelijk voor mensen. **De luchtkwaliteit moet dus worden bewaakt** om grote problemen en epidemieën te voorkomen. Over de hele wereld worden luchtmonsters genomen en getest om de aanwezigheid van moleculen zoals koolmonoxide, ozon of zwaveldioxide te meten. Bij de detectie wordt fotonica gebruikt.



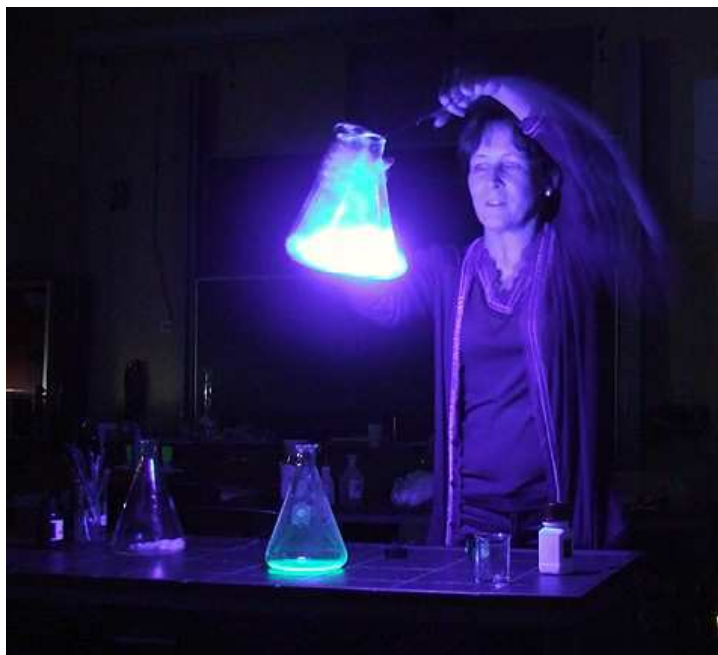
Afbeelding 12: Bewaking van luchtkwaliteit

Luchtmonsters worden verlicht met infrarood (IR) of ultraviolet (UV) licht en het doorgelaten licht wordt gemeten om de absorptie van het monster vast te stellen.

- De hoeveelheid koolmonoxide wordt vastgesteld door middel van IR-absorptie.
- De hoeveelheid ozon wordt vastgesteld door middel van UV-absorptie.
- Zwaveldioxide zendt zichtbaar licht uit wanneer het wordt verlicht met UV-licht, dus een meting van het zichtbare licht geeft informatie over de hoeveelheid zwaveldioxide.

Een andere test die vaak wordt gedaan is de luminoltest: stikstofoxide reageert met luminol, waardoor licht ontstaat dat wordt gedetecteerd door de fotodiode.



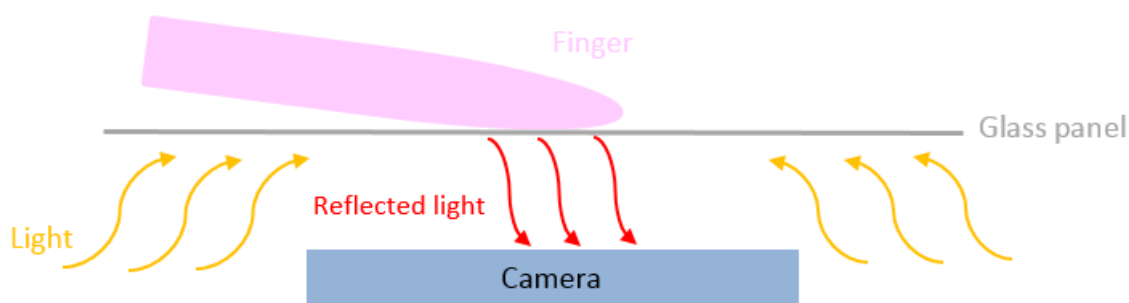


Afbeelding 13: Chemiluminescente reactie

### Biometrie

Voor een betere ingangscntrole en andere beveiligingssytemen zijn nieuwe manieren van **persoonlijke identificatie** nodig. Het menselijk lichaam kan informatie geven, want alle lichamen zijn anders en sommige gegevens zijn moeilijk te vervalsen. We noemen deze informatie **biometrische gegevens**.

De **vingerafdruk** is het bekendste biometrische kenmerk. De politie gebruikt dit kenmerk al meer dan honderd jaar. In het begin werd er inkt gebruikt en vergeleken politiemensen zelf de vingerafdrukken van verdachten. De kwaliteit van de afdrukken was laag en het was een tijdrovend proces. Inkt wordt nog steeds gebruikt, maar de meeste afbeeldingen van de vingerafdrukken (bijvoorbeeld in een paspoort) worden met camera's gemaakt.



Afbeelding 14: Vingerafdruk fotograferen





De vinger wordt op een glazen plaat gelegd en licht reflecteert van de vingertop naar de camera. Bij voldoende resolutie geeft dat een helder beeld.

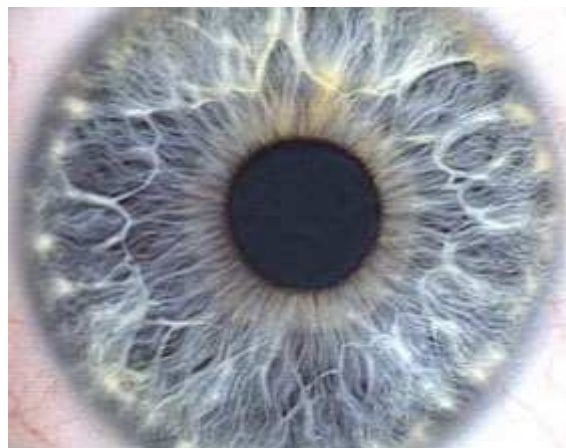


Afbeelding 15: Afbeelding van een vingerafdruk

Vingerafdrukken zijn gemakkelijk te lezen en systemen hiervoor kunnen in kleine apparaten worden geïntegreerd. Dit kenmerk is echter te bekend en mensen laten overal vingerafdrukken achter. Criminelen kunnen deze vinden en er zijn manieren om vingerafdrukken te vervalsen. Verder is de hygiëne een probleem met een sensor waar iedereen zijn vinger op legt. Daarom worden er ook andere biometrische kenmerken bestudeerd.

Ogen bevatten ook interessante patronen die voor identificatie kunnen worden gebruikt.

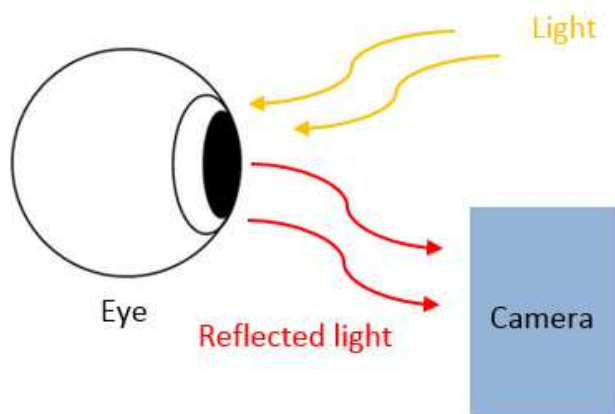
Om te beginnen het **patroon van de iris**:



Afbeelding 16: Irispatroon uit 'Iris recognition' van dr. J. Daugman.



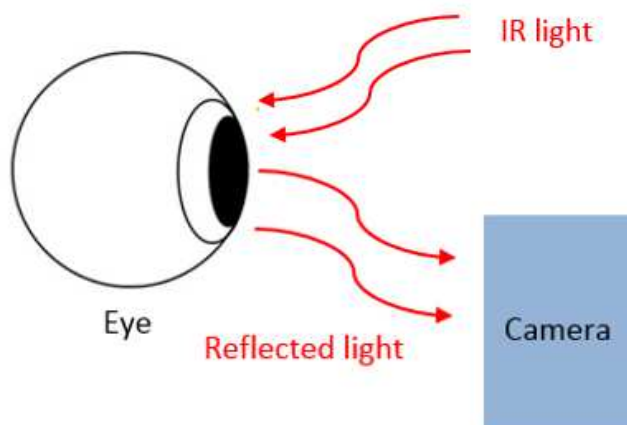




Afbeelding 17: Vastleggen van irispatroon

In afbeelding 16 is het patroon te zien dat wordt gebruikt om mensen te herkennen. In afbeelding 17 zien we hoe licht naar het oog wordt gestuurd en hoe het gereflecteerde licht wordt vastgelegd in een beeld. Met een computer wordt het patroon eruit gedestilleerd zodat het kan worden vergeleken met een databank.

Ook kan er een **netvliesscan** worden gedaan om het patroon van de adertjes te gebruiken.



Afbeelding 18: Netvliesscan

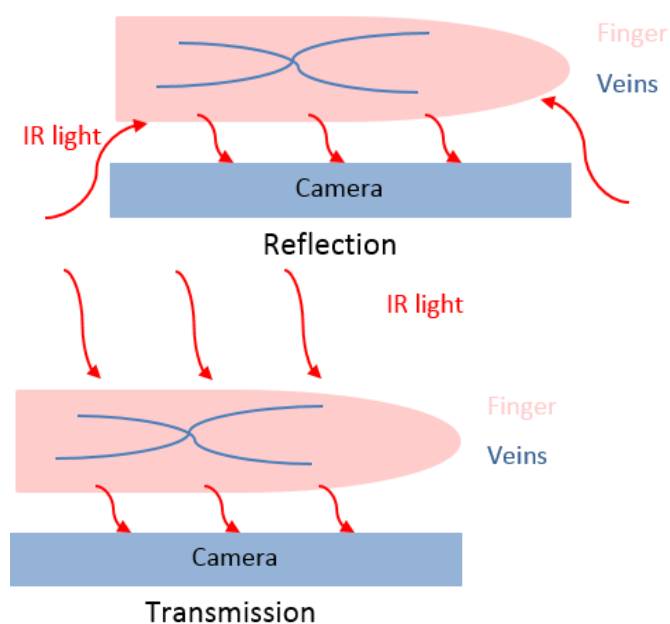
Een netvliesscan werkt in principe hetzelfde als een irisscan, maar in dit geval wordt IR-licht gebruikt om door het oog heen op de aderen te worden gereflecteerd. De afbeelding van het **aderenpatroon** wordt op dezelfde manier verwerkt voor vergelijking met een databank.





Beide technieken zijn snel en fysiek contact is niet nodig. Belangrijk is wel dat de persoon niet beweegt en niet met zijn ogen knippert. Verder is er een behoorlijk veeleisend beeldverwerkingsproces nodig. Voor apparaten op een vaste plek zijn deze technieken heel geschikt, maar draagbare apparaten moeten licht zijn en minder elektriciteit verbruiken.

Ten slotte kan ook het **aderenpatroon van vingers** worden geobserveerd. Er is aangetoond dat zelfs eeneiige tweelingen verschillende patronen hebben, dus dit kan als biometrisch kenmerk worden gebruikt. Deze methode is nog nieuw en er bestaan nog maar een paar apparaten die ermee werken. Grofweg zijn er twee ontwerpen mogelijk.



Afbeelding 19: Detectie van aderen in de vingers

In beide gevallen wordt infraroodlicht gebruikt, dat door het vlees en de botten gaat (slechts 40% wordt gereflecteerd) maar dat wordt geabsorbeerd en gereflecteerd door de aderen. Daardoor verschijnen de aderen in het beeld donkerder dan het vlees. Het ontwerp met reflectie is nuttig om het apparaat zo dun mogelijk te houden, maar ook transmissie kan worden gebruikt. Er is in dat geval wel meer invallend licht nodig, want de hele vinger laat minder dan 10% van het licht door. Het beeld wordt verwerkt en vergeleken met een databank. De textuur en kleur van de huid moet ook in aanmerking worden genomen, want optische eigenschappen kunnen hierdoor per persoon anders zijn.

Het is een nieuwe biometrische techniek en zij kan pas echt worden toegepast na meer onderzoek, bijvoorbeeld naar de invloed van de textuur en kleur van de huid, zoals hierboven genoemd. Maar het is een niet-invasieve methode om mensen te identificeren, en een methode die praktischer is dan die waarbij het oog wordt gelezen.





**Quiz:**

Verschillende objecten kunnen met licht worden onderscheiden omdat:

1. Ze verschillende optische eigenschappen hebben
2. Ze niet even groot zijn
3. Ze niet even dicht bij de sensor zijn

Infraroodlicht kan worden gebruikt voor de opname van:

1. Vingerafdrukken
2. Irispatroon
3. Aderen

Wanneer het aantal bacteriën in een wateranalyse toeneemt:

1. Neemt de lichttransmissie toe
2. Neemt de lichttransmissie af
3. Verandert er niets

