

*PWS 2011/12 Corderius*

# Duurzame ontwikkeling

en

# Nanotechnologie



*Een studie naar het raakvlak van twee bekende begrippen*

Menno Veen en Wilbert Buijs

# Inhoudsopgave

---

<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>Nanotechnologie</b>	<b>4</b>
<b>De werking van oleds</b>	<b>9</b>
<b>Het verbeteren van oleds</b>	<b>17</b>
<b>De fabricage van oleds</b>	<b>21</b>
<b>Experiment energiezuinigheid</b>	<b>24</b>
<b>Bronnen</b>	

# Inleiding

---

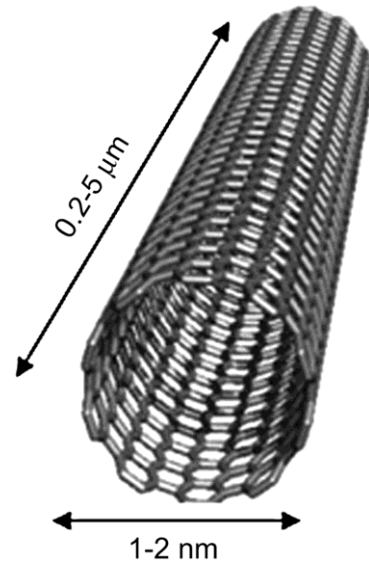
De laatste tijd is duurzaamheid een veelbesproken onderwerp. In de politiek worden er heftig over gediscussieerd in welke mate er duurzamer geleefd moet worden en er heerst zelfs een lichte maatschappelijke dwang om duurzaam verantwoord bezig te zijn. Kortom in deze maatschappij is het onmogelijk voorbij te gaan aan wat we wel mogen beschouwen als een 'hype'. Een ander fenomeen wat in deze tijd op komt zetten is nanotechnologie. Een nieuw terrein op technologisch gebied, waar naar verwachting zeer veel nieuwe toepassingen mee te creëren zijn. Al is de stempel van nanotechnologie nog niet zo groot op onze samenleving als die van duurzaamheid, toch is het zeer waarschijnlijk dat deze zaken deel zullen zijn van de belangrijkste ontwikkelingen van 21<sup>e</sup> eeuw. Nanotechnologie en duurzaamheid hebben ook gemeenschappelijke vlakken. Dit is de aanleiding van ons onderzoek, wat zijn deze zaken precies en wat hebben ze met elkaar in overeenkomst. Een goed voorbeeld van een product dat nanotechnologie en duurzaamheid combineert, is de Oled. Een lamp die zeer veel potentie heeft om de zuinigste lamp te worden. Wij hebben uitgezocht wat deze lamp is en hoe hij werkt en we hebben onderzoek gedaan naar het rendement van deze lamp ten opzichte van andere lampen.

# Nanotechnologie

---

Nanotechnologie is de verzamelnaam van de technieken die zich bezig houden met het controleren van de structuur van materie op de nanometer schaal. Dit betekent werken met deeltjes van 1 tot 100 nanometer. Nano komt uit het oud-Grieks en betekent dwerg. Één nanometer is een miljardste meter, dus het gaat hier om extreem kleine deeltjes. Één keten van 6 koolstofatomen heeft een lengte van ongeveer 1 nanometer. Ter vergelijking: een haar van een mens heeft een dikte van 80000 nanometer.

De nanotechnologie wordt wel aangeduid als het werken met deeltjes op de nanoschaal. Toch is dit niet helemaal waar. Het kan zijn dat maar 1 of 2 dimensies van het deeltje op nanoschaal zijn en de andere of anderen niet. Bijvoorbeeld bij buisjes, draden, laagjes en schijven is dit meestal het geval. Zo hebben koolstofnanobuisjes wel een diameter op de nanoschaal, maar kan de lengte ver buiten de nanoschaal rijken. Deeltjes op nanoschaal komen ook in de natuur voor. Bijvoorbeeld de rode bloedlichaampjes in je lichaam. Deze hebben een dikte van 5,5 nanometer.



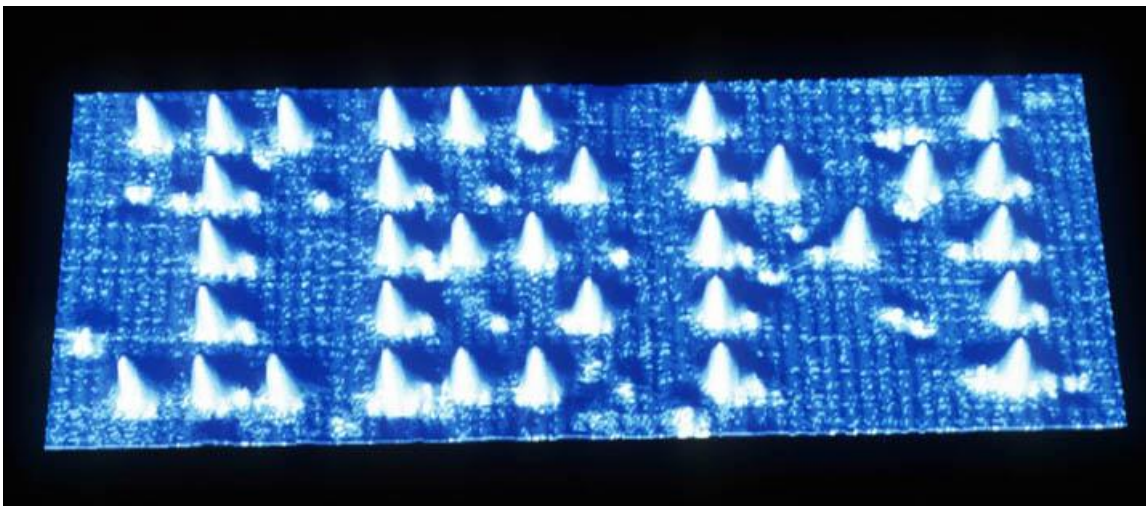
Het basisidee achter nanotechnologie is dat het mogelijk moet zijn, als de chemische samenstelling en het driedimensionale bouwplan van een stof bekend zijn om doelgericht en gecontroleerd nieuwe structuren op te bouwen uit atomaire of moleculaire bouwstenen om daarmee nieuwe specifieke functies en/of eigenschappen te bewerkstelligen. Door materie op nanoschaal in grootte of structuur te veranderen kan je stoffen sterker maken, de magnetische eigenschappen veranderen, warmte of elektriciteit beter, laten geleiden, ze kunnen chemisch reactiever worden, licht beter reflecteren of van kleur veranderen. En zo zijn er nog talloze eigenschappen die kunnen veranderen als de materie op nanoschaal wordt aangepast. Om deze materialen deze specifieke eigenschappen te kunnen geven, kun je niet zomaar wat aan de materie veranderen. Je moet precies weten wat je doet en op welke manier je het atoom of de molecuul verandert. Nanotechnologie is een nieuwe manier van wetenschap, waarin ook veel andere wetenschappen zoals scheikunde, natuurkunde, biologie en materiaalkunde worden toegepast.

## Het ontstaan van nanotechnologie

De eerste keer dat de term nanotechnologie gebruikt is, was in 1974 door professor Norio Taniguchi van de Tokyo Science University. Hij schreef het proefschrift: "On the Basic Concept of 'Nano-Technology'". In dit proefschrift schreef hij: "'Nano-technology' mainly consists of the processing of, separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or by one molecule." Hij geeft aan dat als het gaat om nanotechnologie je atomen per stuk moet manipuleren. Ook de speech "There's plenty of room at the bottom" van Richard Feynman uit 1959 kan worden gezien als het begin van de nanotechnologie. Hierin zei hij: "De beginselen van de fysica kunnen het verplaatsen en manipuleren van atomen en moleculen in principe niet tegenspreken".

Nanotechnologie werd pas in 1986 bij het grote publiek bekend door Eric Drexler. Hij heeft in 1977 Bij het MIT (Massachusetts Institute of Technology) de basis ontwikkeld van de huidige nanotechnologie. Dit deed hij naar aanleiding van een studie naar natuurlijk voorkomende moleculaire machines. Hij publiceerde in 1986 het boek *The Engines of Creation: The coming era of nanotechnology*. Hierin ging hij als eerste dieper op de mogelijkheden en problemen van nanotechnologie in. Eric Drexler introduceerde ook de moleculaire nanotechnologie. Het idee van moleculaire nanotechnologie is dat het mogelijk moet zijn, als de chemische samenstelling en het driedimensionale bouwplan van een stof bekend is, deze stof te maken, door de juiste bouwstenen op de goede plaats samen te voegen. Eric Drexler's conclusie uit het onderzoek was dat het mogelijk moest zijn nanoapparaten te kunnen bouwen met atomaire bouwstenen door deze mechanisch in de gewenste rangorde te plaatsen.

In de jaren '90 dacht men dat je via de mechanica het beste een nanomachine zou kunnen maken. In onderzoeken werden delen van een machine stuk voor stuk op nanoschaal geproduceerd om deze samen te kunnen voegen tot grotere ingewikkeldere constructies. Om op nanoschaal goed te kunnen manipuleren moet je de deeltjes kunnen zien. Om deze zeer kleine deeltjes te kunnen zien heb je een microscoop nodig. De eerste microscoop die deeltjes op nanoschaal kon zien en bewerken was "the scanning tunneling microscope" van IBM. In 1989 lukt het onderzoekers van IBM om de naam van hun bedrijf te maken, door xenonatomen op een koperen plaatje te verplaatsen.



Vanaf 2004 was er een omslagpunt in deze denkwijze. Uit onderzoek bleek dat het veel effectiever is om bestaande celstructuren van uit de natuur te bestuderen en deze na te bootsen. Deze manier van onderzoeken wierp in 2006 al zijn vruchten af. Onderzoekers van het MIT modificeerden een virus zodat het door elektrisch geleidende moleculen in zijn omgeving zich kan ombouwen tot een lithium-ion batterij.

## Toepassing van nanotechnologie

Op dit moment wordt er op veel universiteiten en onderzoekscentra onderzoek gedaan naar het controleren van structuur van materie op nanoschaal. Zo wordt er bijvoorbeeld op de RUG in Nijmegen onderzoek gedaan naar een door licht gedreven moleculaire motor<sup>3</sup> en op de universiteit Utrecht wordt de mogelijkheid onderzocht om nanocapsules geladen met een hoge dosis van het kankermedicijn cisplatin te verpakken in een bio-afbreekbare hydrogel. Ze doen onderzoek naar de eigenschappen van de nanodeeltjes om die of nieuwe eigenschappen te geven of eigenschappen aan

te passen of te optimaliseren<sup>4</sup>. Ten opzichte van 20 jaar geleden wordt er vandaag de dag veel meer toegepast onderzoek gedaan in de nanotechnologie. Op dit moment wordt er ook veel nanotechnologie echt verwerkt in producten. Zo zijn er op dit moment zijn er al meer dan 800 producten op de markt die met behulp van nanotechnologie zijn ontwikkeld<sup>1</sup>. Tegenwoordig wordt er in veel technologieën en industrie sectoren nanotechnologie toegepast. De vier sectoren waar op dit moment het meeste onderzoek en progressie in geboekt worden zijn nano-elektronica, duurzame energie met behulp van nanotechnologie, nanomaterialen en nanobiotechnologie. Deze vier worden hieronder verder toegelicht.

**Nano-elektronica:** Dit is de richting binnen de nanotechnologie waarvan de ontwikkeling het verst is gevorderd en waar op dit moment het meeste onderzoek naar wordt verricht. Nanotechnologie wordt al toegepast in veel computers en andere elektronische apparaten. De functies die de nanotechnologie heeft in de nano-elektronica zijn: het sneller maken van de elektronica, het kleiner maken van de elektronica, en het creëren van meer ruimte voor informatie. En nog vele andere toepassingen.

Voorbeelden van nano-elektronica zijn:

- Het Magnetic random access memory(MRAM), deze magnetische tunnel op nanoschaal maakt het mogelijk om, wanneer er plots wordt afgesloten of er een crash voordoet, alle informatie snel op te slaan. Wanneer het systeem hervat wordt kan er met deze informatie weer meteen worden verder gegaan, waar het systeem gebleven was. Ook kan deze toepassing worden gebruikt in zwarte dozen. Het kan veel sneller en gemakkelijker data opslaan wanneer bijvoorbeeld een vliegtuig crasht.
- OLEDs kom je in het dagelijks leven al erg vaak tegen. Dit is een toepassing van de nano-elektronica die je in hedendaagse apparatuur al wordt toegepast. Een OLED is een organische led lamp. Je komt OLEDs tegen in computerschermen, TV's, mobiele telefoons en veel andere toepassingen. Wij doen in ons onderzoek naar nanotechnologie en duurzaamheid onderzoek naar OLEDs. Deze zullen in een ander hoofdstuk nog uitgebreid worden toegelicht.

**Duurzame energie met behulp van nanotechnologie:** Dit is een richting binnen de nanotechnologie die zich bezig houdt met het zoeken naar energetisch efficiëntere toepassingen. Het is tegenwoordig erg belangrijk om zuinig met energie te zijn, omdat de voorraden fossiele brandstoffen opraken. Ook is het niet goed om het milieu te vervuilen met stoffen die moeilijk afbreekbaar zijn. Daarom houdt dit onderdeel van de nanotechnologie zich bezig met het onderzoeken en ontwikkelen van hernieuwbare energiebronnen die schoner, goedkoper en minder belastend voor het milieu zijn.

Voorbeelden hiervan zijn:

- Zonnepanelen waarin nanotechnologie wordt toegepast om zonlicht efficiënter in elektriciteit om te zetten. Deze zonnepanelen zijn goedkoper te fabriceren doordat ze geprint worden op rollen die flexibel zijn. Hierdoor zijn ze makkelijker te vervoeren en meer geschikt voor massaproductie. Op dit moment wordt er zelfs onderzoek gedaan naar overschilderbare zonnepanelen<sup>2</sup>.
- Ook bij de verwerking van fossielenbrandstoffen wordt nanotechnologie toegepast. Doormiddel van nanotechnologie worden de katalysatoren efficiënter gemaakt, zodat het

rendement uit bijvoorbeeld benzine veel groter is. Dit bespaart brandstof en zorgt voor minder vervuulende uitstoot.

- Ook in batterijen en accu's wordt tegenwoordig nanotechnologie toegepast. Zo zorgt deze technologie er voor dat de batterijen en accu's minder brandbaar, sneller oplaadbaar, lichter is en dat ze de energie langer kan vasthouden.
- Nanotubes worden in veel toepassingen gebruikt. Zo ook in de bladen van windmolens. Door de eigenschappen dat het zeer sterk is en weinig weegt kunnen die bladen langer worden gemaakt en kunnen ze een hogere windsnelheid aan. Daardoor kunnen windmolens met nanotubes veel meer energie opwekken dan windmolens zonder nanotubes.
- Ook het gebruik van waterstof als brandstof op grote schaal wordt op dit moment onderzocht. Nanotechnologie kan hierin een rol gaan spelen. Bij het vervoer van waterstof bijvoorbeeld doormiddel van een lichtgewicht waterstoftank, die veilig is voor vervoer. En ook door membranen te ontwikkelen die efficiënter werkt. Ook wordt er onderzoek gedaan naar katalysatoren die efficiënter dan de huidige generatie werken, met behulp van nanotechnologie.

**Nanomaterialen:** Dit is de richting binnen de nanotechnologie die zich bezig houdt met het creëren en veranderen van de structuren van materialen. De richting 'nanomaterialen' is eigenlijk een overlap tussen verschillende andere richtingen. In veel andere richtingen wordt nanomaterialen toegepast.

Voorbeelden hiervan zijn:

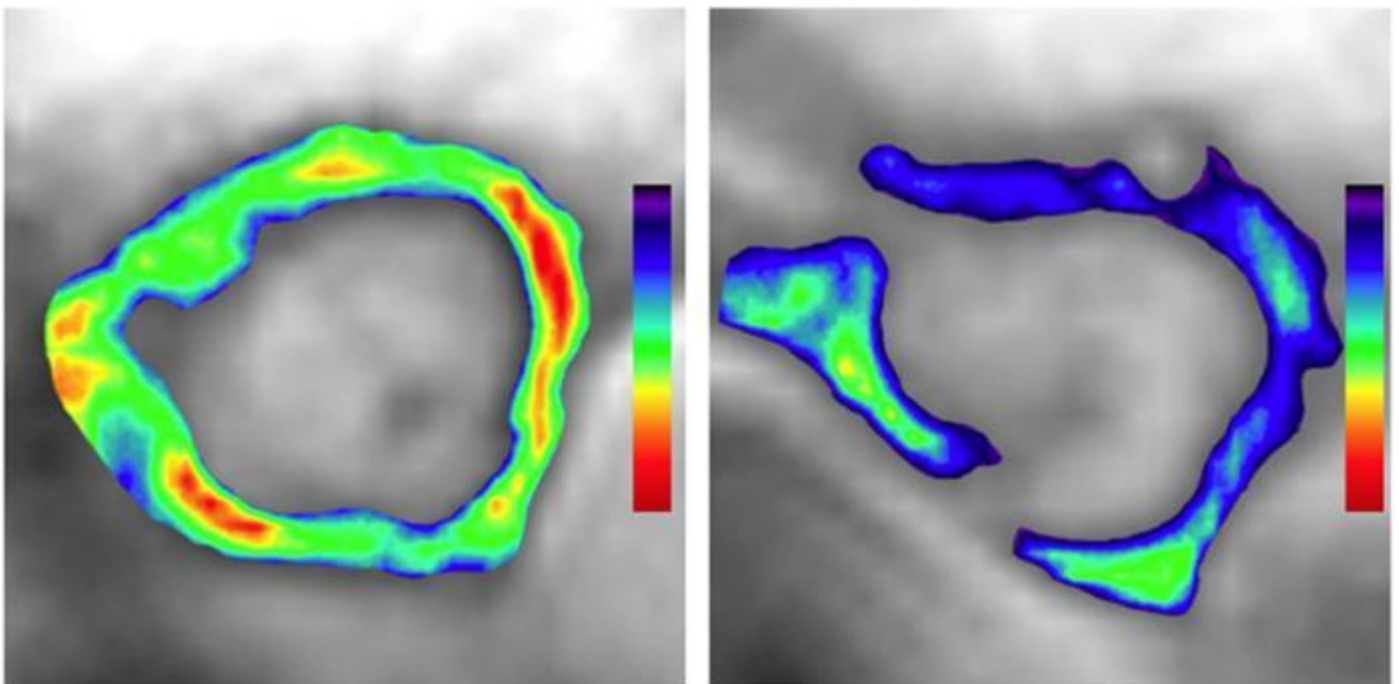
- Door op nanoschaal aanpassingen te doen aan polymeercomposiet, kan je het zowel lichter, stijver, duurzamer en veerkrachtiger maken. Dit wordt bijvoorbeeld in honkbalknuppels, tennisrackets, motorhelmen en veel andere voorwerpen toegepast.
- Door dunne films met een dikte van enkele nanometers, is het mogelijk om oppervlakten waterafstotende, antireflecterende, zelfreinigende, anti-condenserende, antimicrobiële of -krasbestendige eigenschappen te geven. Dit wordt bijvoorbeeld toegepast in: brillen, elektronicaschermen en ramen.
- Nanotechnologie wordt ook in de cosmetica-industrie veel toegepast. Zo kan het helpen rimpels en vlekken te verwijderen en de groei van bacteriën remmen. Het kan de reiniging, antioxidatie en absorptie verbeteren. Het wordt in bijna alle cosmeticacategorieën toegepast.
- Ook in de voedsel industrie wordt nanotechnologie toegepast. Bijvoorbeeld door het maken van structuren die minder lucht in- en uitlaten, zodat een afgesloten product minder aan zuurstof wordt blootgesteld. Bijvoorbeeld voedselbakken die gemaakt zijn van materiaal dat de groei van bacteriën remt. Ook worden er op dit moment nanosensoren ontwikkeld die in de plastic verpakking van voedsel worden verwerkt. Deze kunnen vroegtijdig waarschuwen wanneer het product bedorven is, er legionella of een te hoge concentratie pesticiden aanwezig is.

**Nanobiotechnologie:** Dit is het onderzoek dat de wetenschappen nanotechnologie, biologie en geneeskunde combineert. Nanotechnologie wordt in de medische industrie toegepast om zo op nanoschaal levende systemen aan te passen of om biologische stoffen op moleculaire schaal te ontwikkelen. Een levende cel kun je zien als een machine, deze is op moleculair niveau opgebouwd.

Omdat molecuulstructuren een grootte in de orde van nanometers hebben kun je met nanotechnologie deze cellen aanpassen. Zo kun je eigenschappen veranderen.

Voorbeelden hiervan zijn:

- Met nanotechnologie zijn quantum dots ontwikkeld. Dit zijn halfgeleidende nanokristallen, die wanneer je ze met ultraviolet licht belicht een breed spectrum aan felle kleuren uitzenden. Quantum dots worden gebruikt bij medische beeldvorming, waarbij ze kunnen helpen met het vinden en aantonen van specifieke cellen en biologische activiteiten. Quantum dots zijn veel effectiever dan voorgaande tracers.
- Bij de bestrijding van kanker kunnen nanodeeltjes ook een belangrijke rol gaan spelen. Op dit moment zijn er al behandelingen waar nanodeeltjes helpen bij het doden van kankercellen. Door de nanodeeltjes kan dit specifiek en doeltreffender gebeuren. Hierbij is het risico voor het omliggende gezonde weefsel ook kleiner. Ook wordt er onderzoek gedaan naar nano-robots die na injectie werkzaamheden, zoals het vernietigen van kankerweefsel, kunnen uitvoeren.
- Nanobiologie wordt ook toegepast om vroegtijdig een diagnose van arteriosclerose te kunnen stellen. Daarbij hopen vetachtige stoffen zich op in bloedvaten en veranderen later in plaque. Wetenschappers hebben een nanodeeltje gemaakt dat zich hecht aan plaque. Hierdoor is op scans duidelijk te zien waar de plaque zit en wat het effect van de behandeling is.



Dit is een afbeelding van een scan uitgevoerd bij iemand die aan arteriosclerose lijdt. Links is het bloedvat te zien in de situatie voor de behandeling en rechts na de behandeling.



# Organic Light Emitting Diode

---

## Inleiding

Nadat we de twee begrippen duurzaamheid en nanotechnologie hebben geïntroduceerd, gaan we kijken hoe deze twee gecombineerd worden. Wij willen de combinatie proberen te onderzoeken door een bestaand voorbeeld te onderzoeken op de duurzame eigenschappen. Hiervoor hebben wij een volgens ons veelbelovend device gekozen, de *oled*. De term *oled* staat voor *Organic Light Emitting Diode*, in goed Nederlands: organische licht uitzendende diode. Wat dat precies is en hoe zo'n *oled* exact werkt zullen we later in dit hoofdstuk bespreken. Eerst een korte inleiding op *oleds*; hun geschiedenis, heden en toekomst.

## Kennismaking met *oled*

De *oled*-technologie is een ongelooflijk interessante ontwikkeling. Een *oled* werkt door stroom te laten lopen door lagen van organische materialen. De elektronen die door het materiaal gaan kunnen terugvallen in zogenaamde gaten. Hierbij komt energie vrij, vooral in de vorm van licht, en in mindere mate warmte. Met deze technologie is het mogelijk om van organisch materiaal een zuinige lichtbron te vervaardigen.

De kennis voor het maken van een simpele *oled* is al enige tijd aanwezig. In 1987 hebben twee heren, Tang en VanSlyke de eerste werkende *oled* gedemonstreerd [1]. Toch wordt het product nog steeds verder ontwikkeld en verbeterd. Om een *oled* als lichtbron of display te kunnen gebruiken moeten er bepaalde standaarden gehaald worden die door bijvoorbeeld gloeilampen en *lcd*-schermen zijn gezet. Wij gaan het hier vooral of alleen maar hebben over de verlichtingsmogelijkheden van de *oled*, hoewel sommige aspecten van beide mogelijkheden overeenkomen.

De *oled* als display is sinds kort een belangrijke toepassing. De producenten van smartphones en televisies zien wel wat in het gebruik van de relatief goedkope organische stoffen. LG heeft niet heel lang geleden bekendgemaakt dat ze een groot *oled*scherm in productie gaan nemen [2]. De *oled* wordt in de verlichtingsbranche nog niet zo veel gebruikt als in de multimedia. Dit komt omdat vooral de verlichtingsmogelijkheden van de *oled* nog volop onderzocht en verbeterd worden. Philips heeft al een lijn met *oleds* op de markt gebracht en hoewel ze mooi licht geven zijn ze nog te duur voor huishoudelijk gebruik. Op de Philips Lumiblade site zijn verschillende *oleds* te koop, met prijzen variërend van €78,- (voor een *oled* van vier bij vier centimeter) tot €334,- (voor een cirkel met een diameter van zeven centimeter) [3]. Voor de normale consument zijn ze dus veel te duur. Toch laat de *oled* een grote potentie zien op het gebied van energiezuinigheid en gebruiksvriendelijkheid. Het lijkt dus een kwestie van tijd voor ze, met een redelijk prijskaartje, in de winkel liggen.



3.1 Een ronde *oled* van de lumiblade-lijn van Philips.

Ook in de relatie van nanotechnologie en duurzaamheid lijkt de oled een voorbeeldig kind. De vaak schaarse metalen en energie slurpende nanotechnologie produceert een zuinige, organische lichtbron. Wij willen graag te weten komen tot op welke hoogte dit daadwerkelijk het geval is.

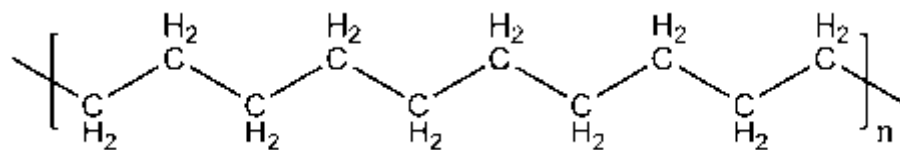
## Hoe werken oleds?

In de rest van het hoofdstuk wordt uitgelegd welke principes belangrijk zijn voor de werking van oleds. We vertellen over het organische materiaal dat wordt gebruikt en hoe dat kan geleiden. Om uit te leggen hoe organisch materiaal kan geleiden gebruiken we polymeren, later komen we op de kleine moleculen die vaker gebruikt worden in oleds. Vervolgens leggen we uit hoe licht opgewekt wordt uit deze organische materialen.

Oleds zijn organische leds, wat betekend dat ze, in tegenstelling tot gewone leds opgebouwd zijn uit koolwaterstoffen. Het zijn dus eigenlijk plastics, maar hoe kan plastic nou licht geven? Allereerst moet het elektriciteit geleiden, hoewel plastics juist tot de beste isolatoren behoren. Om dat uit te leggen gebruiken we polymeren, omdat hun geleidende eigenschappen daar het makkelijkst uit te leggen zijn.

### Polymeren

Een polymeer is een lange keten van zich herhalende identieke delen, zoals het plaatje laat zien.



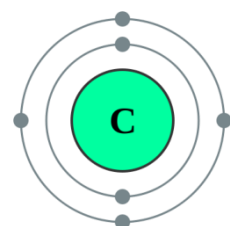
3.2 Het polymeer polyethaan

Het is een groot molecuul dat een massa kan hebben tot honderdduizenden massa-eenheden. Het kan zowel natuurlijk of synthetisch zijn, dus de naam polymeer kun je niet willekeurig verwisselen met plastics. Plastics zijn wel altijd polymeren en in een voor een oled gebruik je dus altijd plastics. Polymeren zijn eigenlijk altijd een isolator. Vaak worden plastics gebruikt rond een elektriciteits snoer om onszelf te beschermen voor kortsluiting en elektrocutie. Zo'n polymeer is slechts onder zeer bijzondere omstandigheden een halfgeleider.

### Geleiden of niet geleiden

Een atoom bestaat uit protonen en neutronen in de kern en elektronen in een elektronenwolk. Een proton heeft een positieve lading, een neutron geen en een elektron heeft een negatieve lading. Elk atoom heeft evenveel protonen als elektronen. De elektronen zijn verdeeld in schillen of orbitalen, die verschillende energieniveaus hebben. Deze orbitalen geven niet de exacte locatie van het elektron, maar een kansverdeling van de positie van het elektron. De buitenste schil kan elektronen delen met andere atomen en zo bindingen vormen of elektrische stroom geleiden. Het aantal elektronen dat dit kan doen wordt de valentie genoemd. In het plaatje hiernaast (3.3) kun je de valentie elektronen van koolstof in de buitenste schil zien. We geven een

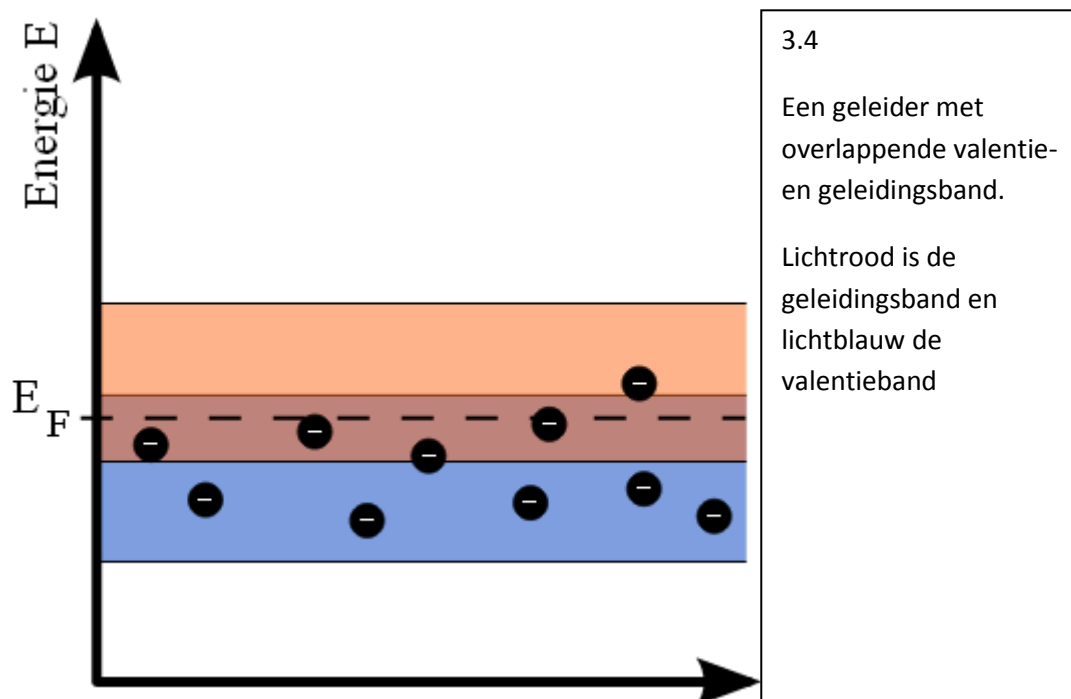
voorbeeld met de valentie van drie elementen. Zuurstof (O) kan twee, waterstof (H) één en koolstof (C) vier bindingen aangaan. Zo kunnen de moleculen H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> ontstaan, waar elk atoom alle bindingen aan gaat die het aan kan



3.3 Koolstof met elektronenschillen

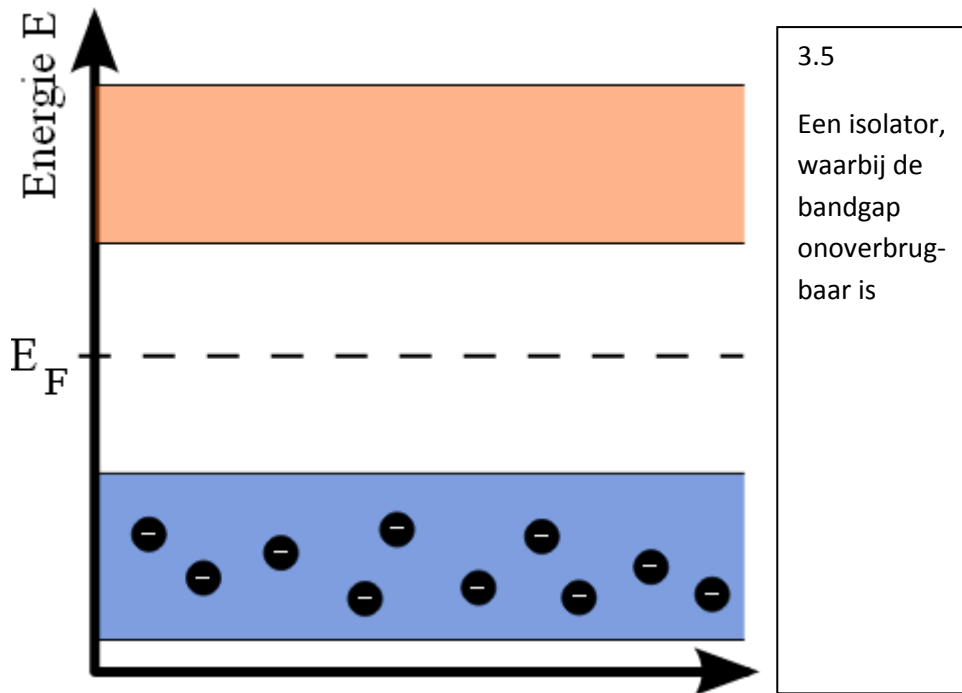
gaan. De *valentieband* is een energieniveau van een elektron, waar het elektron aan één atoom gebonden is. Hij kan dus niet door de hele stof heen bewegen. Als het elektron in een hogere energietoestand komt, komt hij in de *geleidingsband*. Hier kan hij vrij bewegen tussen verschillende elektronen en zo lading verplaatsen. Tussen de valentieband en de geleidingsband zit de zogenaamde *band gap*. Deze band gap is de ruimte tussen de energieniveaus waar het elektron zich niet kan bevinden.

Een geleider is een stof die elektrische lading kan verplaatsen, die elektrische stroom genoemd wordt. De beste geleiders zijn metalen, omdat daar sommige elektronen vrijelijk kunnen bewegen tussen de verschillende atomen in het atoomrooster van het betreffende metaal. Dit komt omdat de valentie-elektronen makkelijk van de valentieband naar de geleidingband kunnen.

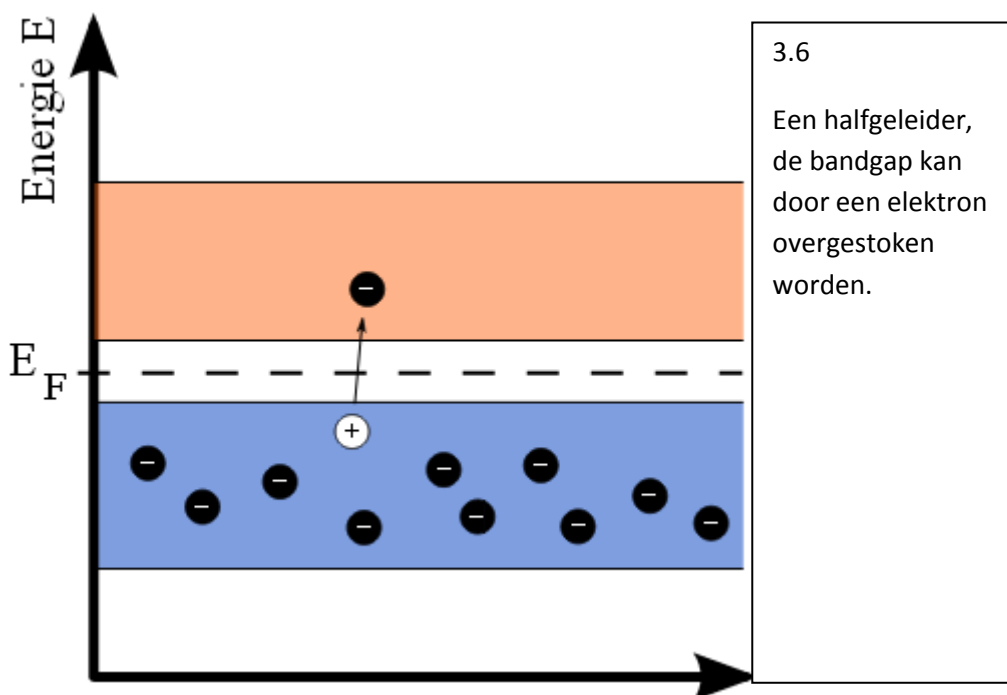


Op het plaatje kun je zien dat de band gap tussen de valentieband en de geleidingsband niet aanwezig is. De twee energieniveaus kunnen zelfs een beetje overlappen. De elektronen kunnen dus vaak makkelijk bewegen van atoom naar atoom. Dus als er een voltage wordt aangebracht over het materiaal gaan de negatieve elektronen naar de anode, de positieve kant van het spanningsveld. Van gewone geleiders neemt de weerstand toe als het materiaal warmer wordt, door de grotere beweging tussen de atomen. Dit vormt een extra hindernis voor de vrije beweging van de elektronen waardoor ze minder snel kunnen bewegen.

Het tegenovergestelde van een geleider is een isolator, die juist bijna geen lading verplaatst. Alle niet-metalen zijn isolatoren, met de uitzondering van koolstof(C). Doordat bij deze atomen geen elektronen vrij kunnen bewegen tussen de verschillende atomen, kan er ook geen lading verplaatst worden. De band gap is hier veel te groot om te kunnen overbruggen, zie ook plaatje 3.5. De elektronen blijven dus bij het atoom waar ze bij horen.

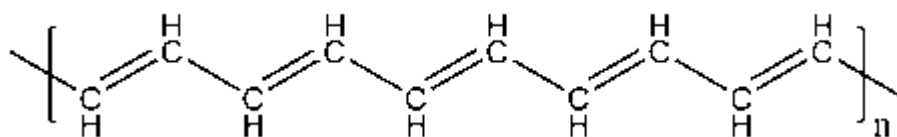


De eerder genoemde binding tussen atomen bestaat uit een elektronenpaar. In dit elektronenpaar zit een elektron van het ene atoom en een van het andere. De twee elektronen zitten in een energieniveau dat genoeg beweging toelaat voor een binding, maar niet genoeg om die binding te verbreken. Wanneer er genoeg energie toegevoegd wordt (bijvoorbeeld in de vorm van warmte) om de band gap te overbruggen kan de binding breken. Bij een halfgeleider gaat het losgeslagen elektron uit de valentieband en naar de geleidende band. In de binding waar hij zat laat hij een *gat* achter, die neutraal of zelfs een klein beetje positief geladen is. In een halfgeleider bewegen alle elektronen willekeurig naar naastgelegen gaten toe, en laten dan zelf weer gaten achter.



Eigenlijk wisselen ze dus steeds van plaats. Als je echter een spanning zet over de halfgeleider zullen de elektronen alleen wisselen met gaten die in de positieve kant van het spanningsveld zitten. Zo bewegen de gaten naar de kathode en de elektronen naar de anode. Zo kan dus lading verplaatst worden en elektrische stroom ontstaan. Als een halfgeleider warmer wordt, kunnen er meer valentiebindingen gebroken worden en komen er meer elektronen en gaten vrij. Hierdoor neemt, in tegenstelling tot de gewone geleiders, de weerstand af en geleidt het materiaal makkelijker.

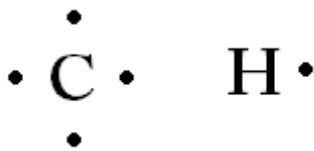
Bij organische halfgeleiders werkt het net weer even anders. De geleidingsband wordt de *HOMO* (*Highest Occupied Molecular Orbital*), en de valentieband is bij een organische halfgeleider de *LUMO* (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*). Verder is het principe hetzelfde. Een molecuul kan door energie van de LUMO-hoogte naar de HOMO-hoogte gaan en dan verplaatsen naar andere delen van de stof. Ook kan het weer terug vallen in LUMO en daarbij energie uitzenden. Een normaal polymeer, zoals illustratie 3.2, zal nooit geleiden. Maar wanneer dubbele en enkele binding elkaar



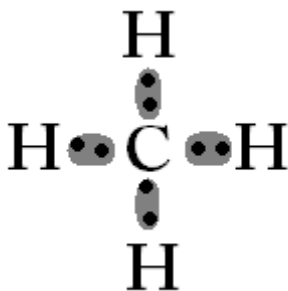
**3.7** Een polymeer met afwisselend enkele en dubbele bindingen.

afwisselen, zoals op illustratie 3.7, wordt de stof een halfgeleider. Wat er eigenlijk gebeurt is het volgende.

De vier valentie elektronen van het koolstofatoom kunnen worden voorgesteld als stippen rond de kern. Voor het overzicht laten we de andere elektronen weg en zeggen we dat ze rond de kern draaien. Het ene elektron van het waterstof atoom stellen wij ook zo voor. Zie figuur 3.8 hieronder.

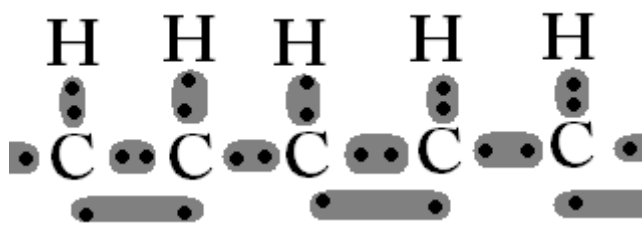


De bindingen die ze aangaan zien er dan als volgt uit. Het zijn dan zogenaamde  $\sigma$ -bindingen. Elk koolstofelektron deelt een binding met een elektron van waterstof. Deze bindingen zijn vrij sterk en kunnen niet heel gemakkelijk gebroken worden. Zie figuur 3.9 hieronder



Als de bindingen om en om enkel en dubbel zijn ziet het er zo uit. Bij dubbele bindingen is er één  $\sigma$ -binding en  $\pi$ -binding. De laatste binding bestaat uit de elektronen die geen waterstof binden. Deze

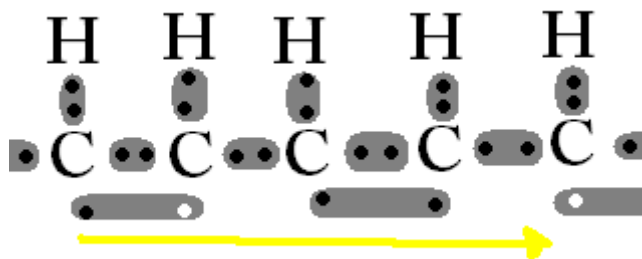
vormen met elkaar nieuwe bindingen. Deze  $\pi$ -bindingen zijn minder sterk dan  $\sigma$ -bindingen en een dubbele binding is dus ook niet twee keer zo sterk als een enkele binding.



3.10

De  $\sigma$ -bindingen zijn de lange bindingen aan de onderkant.

Als één dubbele binding in het atoom breekt en er weer een gat vrijkomt kunnen de elektronen het gat weer proberen te vullen en zelf weer een gat achterlaten. Zo ontstaat er bij de dubbele bindingen een soort elektronen- en gatensnelweg, waardoor het organische materiaal geleidt.



3.11

Wit zijn de gaten, zwart de elektronen. De gele pijl wijst de richting van de elektrische stroom en de gaten aan.

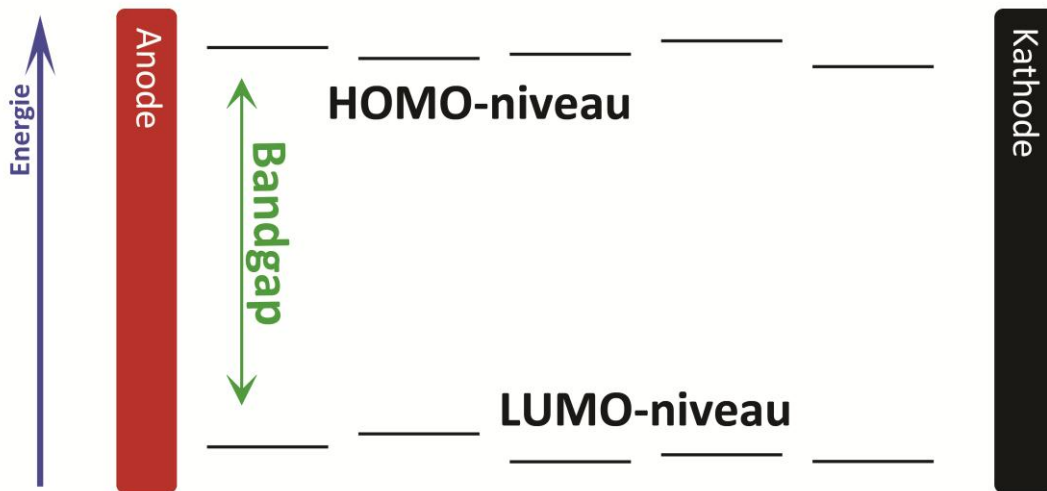
Voor kleinere moleculen, die geen polymeer zijn, is dit principe hetzelfde. Het kleine molecuul is een koolwaterstof, maar geen polymeer. Ook hier zijn de afwisselende dubbele en enkele binden wat het molecuul een halfgeleider maakt. Een elektron kan uit een binding geslagen worden door warmte en zo kan er stroom gaan lopen. Bedrijven als Philips gebruiken vooral kleine moleculen in hun oleds. In een oled zitten meerdere soorten moleculen, voor een betere prestatie. Ook voor verschillende kleuren worden verschillende atomen gebruikt. Wij gebruiken onze ervaring in het lap van Philips om het principe achter oleds uit te leggen. Wij hebben daar zelf een simpele oled gemaakt en het is perfect om het principe werkt.

Je begint met een glazen substraat, wat de basis is voor alle andere lagen. Daaroverheen moet een doorzichtige geleider die de anode word, in het geval van oleds *ITO (Indium Tin Oxide)*. Deze laag moet heel vlak zijn, zodat hij straks de kathode niet raakt en zo kortsluiting veroorzaakt.

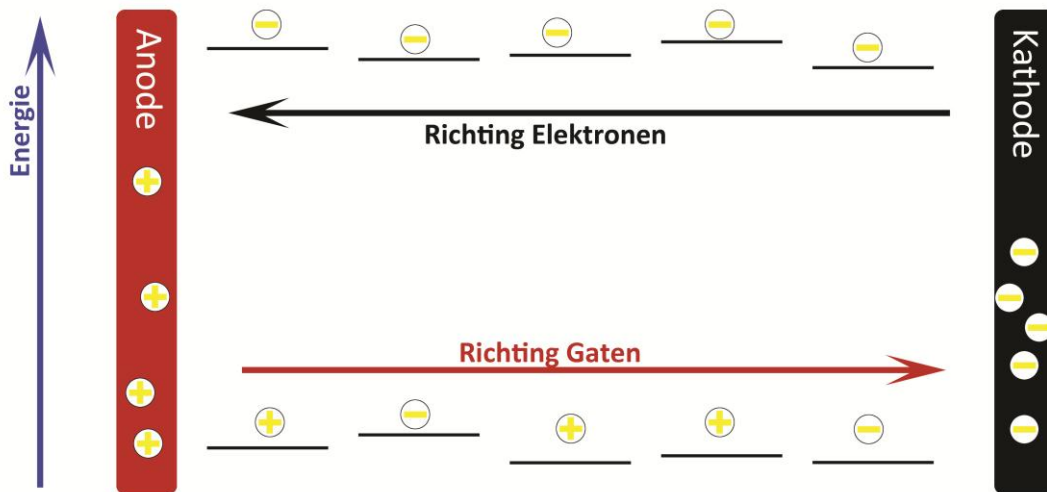
Daaroverheen gaat een laag organisch materiaal, waar straks daadwerkelijk licht vandaan komt. Dan gaat er een aluminium kathode overheen en moet hij op de juiste manier aangesloten worden op een stroomkring. Wanneer dat gedaan is, komt er een oranje gloed vanaf.

### Het uitzenden van licht

Maar hoe kan er licht uitgezonden worden door een geleidende organische stof? Als elektronen terugvallen uit een geactiveerde toestand, zenden ze energie uit in de vorm van warmte en licht. Om dit fenomeen uit te leggen gebruiken we de volgende illustratie.

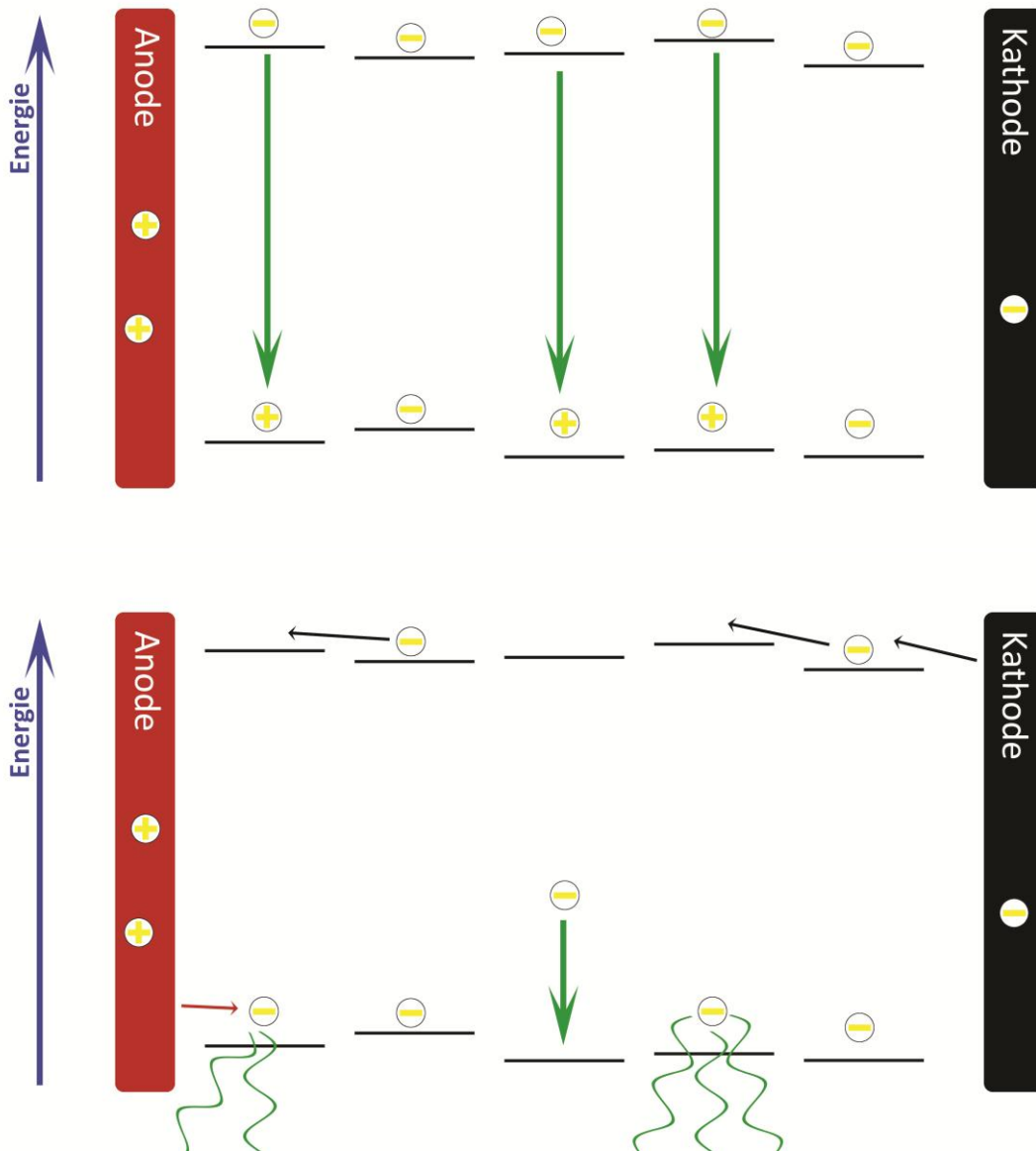


In dit plaatje(3.12) zijn de energieniveaus weergegeven die de elektronen in de oled hebben. HOMO is die met de meeste energie, LUMO is die met de minste. Daartussen zit een groot gebied waar het elektron niet kan komen, de bandgap. Niet elk elektron heeft dezelfde hoeveelheid energie, dus binnen de HOMO en LUMO zijn kleine verschillen.



De elektronen zijn weergegeven tussen twee elektrodes, waarover een spanningsveld staat. Daardoor bewegen de elektronen naar de anode. In hun binding laten ze een gat achter, die naar de kathode beweegt. Voor het gemak zeggen we dat de kathode elektronen toevoegt en dat de anode gaten injecteert.

De geïnjecteerde elektronen bewegen naar de anode en de gaten bewegen naar de kathode. Omdat de elektronen die het geheel ingepompt worden een hoge energie hebben, bewegen zij over de HOMO. De gaten, de plaatsen die dus unoccupied zijn, bewegen dus over het LUMO-niveau.



Als een elektron op een gat stuit, kan hij daarmee een *exciton* vormen. Zo'n elektron-gat paar kan vervallen en daarbij komen fotonen en warmte vrij. Afhankelijk van de stof is de band gap groter of kleiner. Als de band gap groter is komt er meer energie vrij als een elektron terugvalt in een gat. Dit heeft invloed op de kleur van het licht. Vervolgens worden er weer nieuwe gaten en elektronen het materiaal in geduwd, waardoor het proces zich herhaalt.



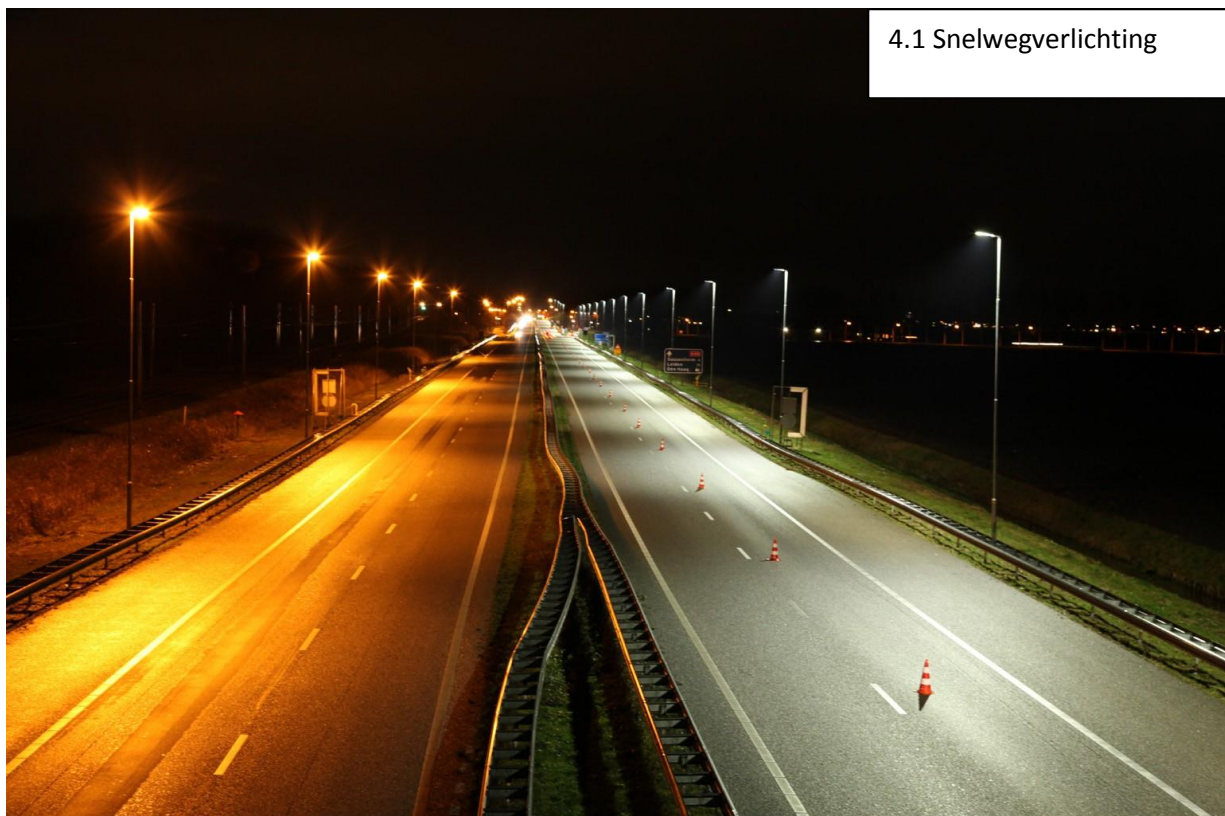
# Het verbeteren van oleds

---

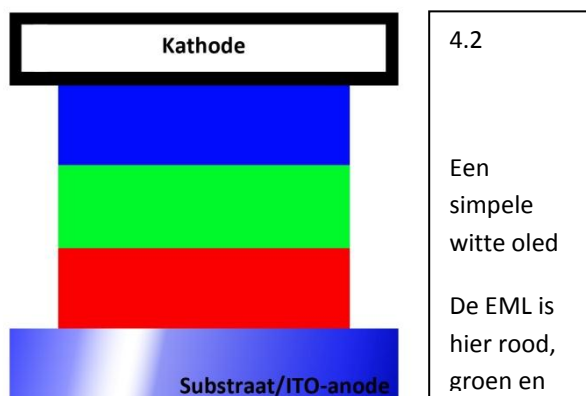
In het vorige hoofdstuk hebben we de basis van de werking van de oled besproken. Dit waren echter alleen de natuurkundige principes. Ook hebben we heel kort een simpele oled genoemd, met één actieve laag. In dit hoofdstuk laten wij zien hoe de werking van een oled verbeterd wordt op verschillende terreinen. Kleur van het licht, een lager verbruik, een goede bescherming zijn de onderwerpen die we behandelen.

De werking van een oled, zoals wij bij Philips gemaakt hebben, is nog niet optimaal. Dit komt doordat er maar één stof licht geeft. Dit betekent dat de eigenschappen van dat materiaal de werking van de oled bepalen. Alle goede eigenschappen zijn aanwezig, maar de mindere ook. Zolang de oled maar uit een laag bestaat zal je altijd mindere prestaties hebben dan bij een oled die uit meerdere lagen bestaat. Je kunt dit het beste vergelijken met een composiet. Een composiet maakt gebruik van verschillende eigenschappen van materialen, combineert dat en is dus geschikter dan de materialen apart. Het bekendste voorbeeld van een composiet is gewapend beton. Beton kan grote drukkrachten weerstaan, maar is zwak wat betreft trekkrachten. IJzer daarentegen kan juist heel goed trekkracht opnemen. Bij gewapend beton zijn de beide eigenschappen aanwezig, waardoor het veel geschikter is dan de losse materialen.

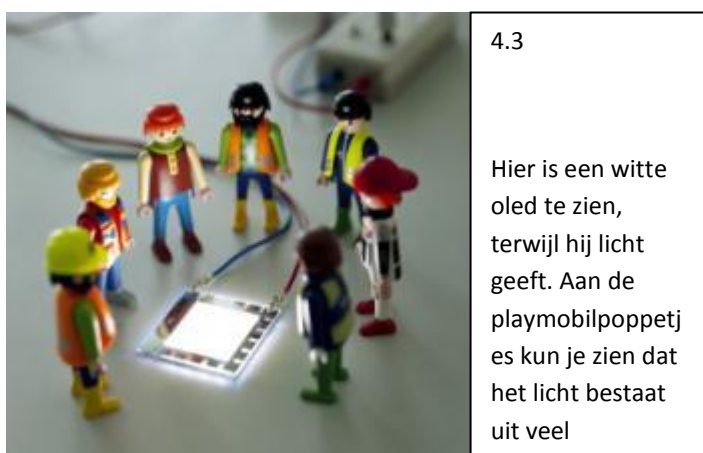
In de zelfgemaakte oled zit dus maar een actieve (lichtgevende) stof. De golflengte van het licht wat de oled geeft zal dus maar in een bepaalde spreiding vallen. Dit betekent dat er maar een kleur uitgezonden wordt door de oled. Dit komt omdat de band gap overal gelijk is. Dergelijke lampen, die maar een kleine spreiding van licht hebben, kun je niet gebruiken voor gewone verlichting. Dit plaatje van snelweglampen (4.1) laat dat duidelijk zien.



Rechts staan lampen die licht van een beperkte spreiding in golflengte hebben. Hier is de kleur van de lampen duidelijk oranje en lijkt ook alles wat de lampen belichten oranje. De berm en het asfalt hebben eigenlijk dezelfde kleur. Ook de belijning en het asfalt hebben dezelfde kleurtinten, de belijning is alleen wat lichter. Links staan echter lampen die een brede spreiding van licht uitzenden. Het licht is wit, dus het bestaat uit verschillende kleuren. Dat kan je ook duidelijk zien aan de omgeving. De berm is groen, het asfalt grijs, de belijning wit en het enige wat oranje is zijn de pylonen. Het is voor prettige verlichting belangrijk dat er veel verschillende soorten licht aanwezig zijn. In een witte oled zitten dus ook minstens drie verschillende kleuren licht. Er zitten dus ook minimaal drie verschillende stoffen in de oled. Deze worden in verschillende lagen boven elkaar aangebracht. Dit wordt de *EML (EMissive Layer)* genoemd. Van de anode naar de kathode zijn deze lagen rood, groen en blauw.



Op dit plaatje is de opbouw te zien van een witte oled. Deze oled zend mooi licht uit, zoals de lampen aan de rechterkant van de snelweg. Hij is dus al iets ingewikkelder dan onze oled om te maken. Om de goede verhouding van kleur te krijgen moeten de lagen namelijk precies de juiste hoogte hebben. Op plaatje 4.3 kun je zien dat dat tegenwoordig goed lukt.



Om de oled verder te verbeteren is het van belang de efficiëntie te verhogen. We denken terug aan de manier waarop de oled licht uitzendt. Als een exciton vervalt en een elektron in een gat valt, komt energie vrij. Deze energie kan vrijkomen in de vorm van licht, als het materiaal dat toelaat. Daarom is het nodig dat zoveel mogelijk excitonen gevormd worden en weer vervallen in de EML. Daar zitten

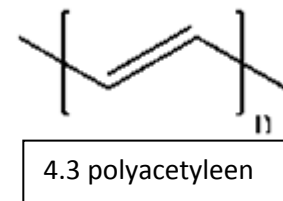
namelijk de stoffen die licht uitzenden bij verval van excitons. Dichtbij de elektroden is de efficiëntie laag, doordat de energie daar snel en onomkeerbaar terugvloeit naar de elektroden. Om hogere efficiëntie te bereiken zijn verschillende extra lagen nodig. De *electron en hole transport layers* (respectievelijk *ETL* en *HTL*) en de *electron en hole blocking layers* (respectievelijk *EBL* en *HBL*) zijn voor dit doel toegevoegd.

De elektrontransport laag en de gattransport laag vergroten de afstand tussen de elektroden en de emissive layer. Daardoor vloeit er veel minder energie terug naar de elektroden. Deze lagen moeten makkelijk elektronen en gaten transporteren, zodat er in deze lagen geen energie verloren gaat. Deze lagen verhogen de hoeveelheid licht, terwijl de verbruikte energie hetzelfde blijft.

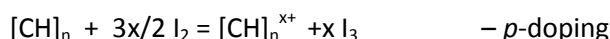
De elektron en hole blocking layers zorgen ervoor dat gaten en elektronen elkaar alleen tegen kunnen komen in de emissive layer. Hierdoor kunnen alleen daar excitons gevormd worden, en kunnen ze niet naar de transportlagen. Ook deze lagen verhogen dus de efficiëntie.

Verder worden ook injectielagen toegevoegd aan de oled. Deze zorgen voor de injectie van gaten bij de anode en elektronen bij de kathode. Deze lagen zorgen ervoor dat lading gemakkelijk van de elektroden naar de halfgeleider kunnen. Ze geven ook de benodigde ladingdragers, elektronen en gaten, af. Deze lagen kunnen dat omdat ze zijn behandeld met een speciale techniek, doping.

Doping is het vervuilen van de halfgeleider om zijn elektrische eigenschappen te veranderen [1]. Bij de organische halfgeleiders gaat dit met een proces dat halogenering heet. Halogenering is het toevoegen van een halogeen aan een organische verbinding. We nemen weer het voorbeeld van polyacetyleen (4.3).

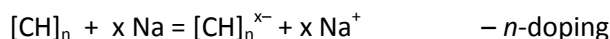


Het dopen van polyacetyleen gaat met het chemische proces van oxidatie en heet *p*-doping (*p*=positief). Dopen door reductie heet *n*-doping, en kan met een alkalimetaal. De chemische reactie die plaatsvindt bij het dopen van polyacetyleen met jood (I) is als volgt.



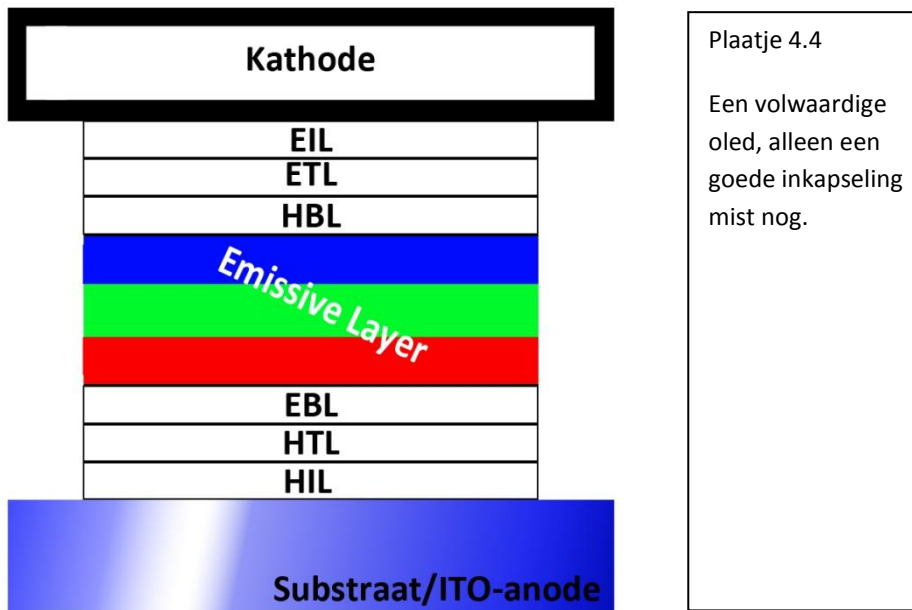
Dopen met een halogeen zorgt voor extra gaten in de organische halfgeleider, waardoor de overgang tussen anode en materiaal klein is. Het vermindert zo dus de weerstand en het verbruik van de oled.

Reductie als dopingproces kan ook, de reactievergelijking ziet er zo uit.



Als je de reactievergelijkingen bekijkt zie je dat het polymeer door doping een zout wordt. De betere geleiding komt niet door de toegevoegde ionen ( $\text{I}_3$  of  $\text{Na}^+$ ), maar van de extra elektronen en gaten in het polymeer.

We hebben nu alle lagen van de oled gehad. We hebben nu een volwaardige oled.



Plaatje 4.4  
Een volwaardige oled, alleen een goede inkapseling mist nog.

Hier (Plaatje 4.4) zien we het glazen substraat met daarover de doorzichtige anode van indiumtinoxide (ITO). Dan komt de Hole Injection Layer (HIL), die zorgt voor een soepele overgang van anode naar de rest van de oled. Daarboven is de Hole Transport Layer (HTL), voor een grotere afstand tussen de Emitting Layer (EL) en de anode. Dan zit er een Elektron Blocking Layer (EBL), die ervoor zorgt dat excitons alleen gevormd worden in de EL. Dan komt de uit drie verschillende lagen bestaande Emitting Layer (EL). De drie verschillende lagen geven rood, groen en blauw licht. Daarboven komt de Hole Blocking Layer (HBL). Dan de Electron Transport Layer (ETL) en uiteindelijk de Electron Injection Layer (EIL). Deze zorgt weer voor een soepele overgang tussen de organische lagen en de kathode.

Sommige lagen zijn gemaakt van organisch materiaal dat slecht bestand is tegen verweer. In de open lucht verwerpen deze materialen dan ook snel. Ook kan de kathode, in aanraking met water in de lucht, oxideren. Op de plaatsen waar dat gebeurt kan geen licht meer uitgezonden worden. Daarom moet de oled verpakt worden in een beschermend omhulsel. De oled blijft duurzaam als het in glas zit, of een plastic. Voor geavanceerdere toepassingen zoals buigzame en doorzichtige oleds moeten andere omhulsels gemaakt worden. Deze bestaan vaak uit zeldzame stoffen die ook niet goed zijn voor het milieu. Voor deze toepassingen van oleds zien wij dan ook voorlopig geen duurzame oplossing.

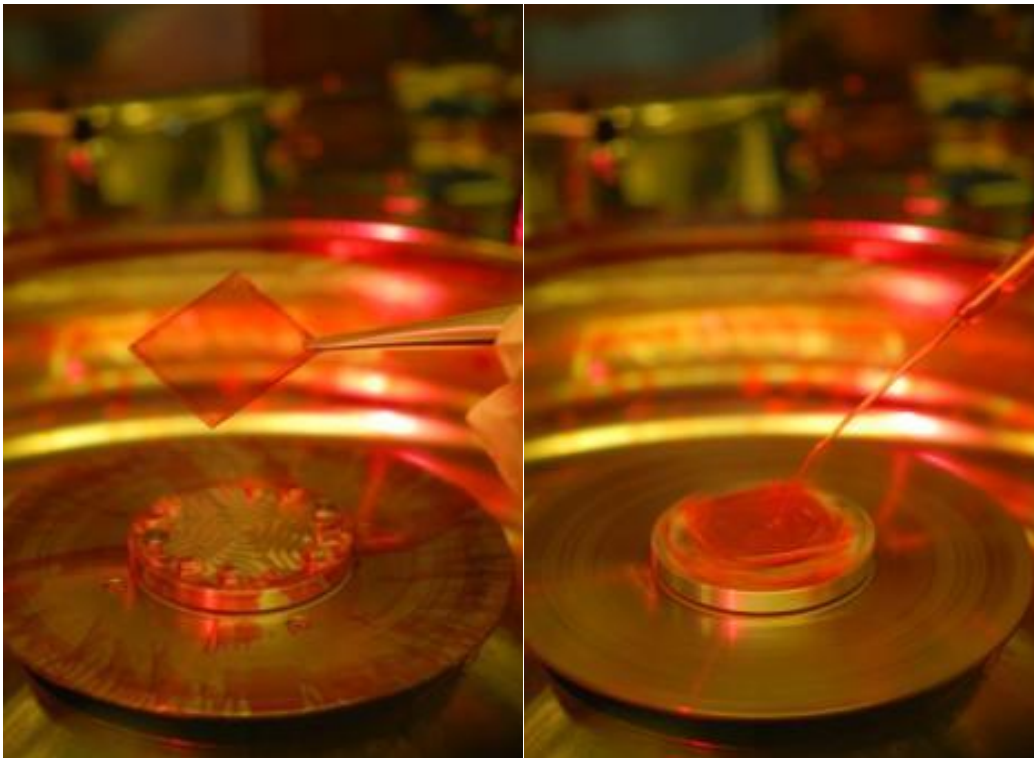
# Fabricage van oleds

---

Om oleds te fabriceren zijn er verschillende methodes. Een aantal zijn alleen geschikt voor onderzoek, anderen juist om op industriële schaal toe te passen.

**Deze drie methoden worden bij onderzoek naar oleds toegepast:**

**Spincoating:** Hierbij doe je een druppel van de vloeistof op het plaatje waarop je een laagje wilt. Door het plaatje heel hard rond te laten draaien, zal de druppel zich mooi over het plaatje verspreiden (zie 5.1). Met deze techniek kan je redelijk nauwkeurig de dikte van het aan te brengen laagje bepalen door de versnelling en snelheid en duur van het draaien goed af te stellen. Deze techniek is niet heel geschikt voor massaproductie. Spincoaten is ook niet heel duurzaam. Een deel van de vloeistof wordt door het draaien van het plaatje weggeslingerd.

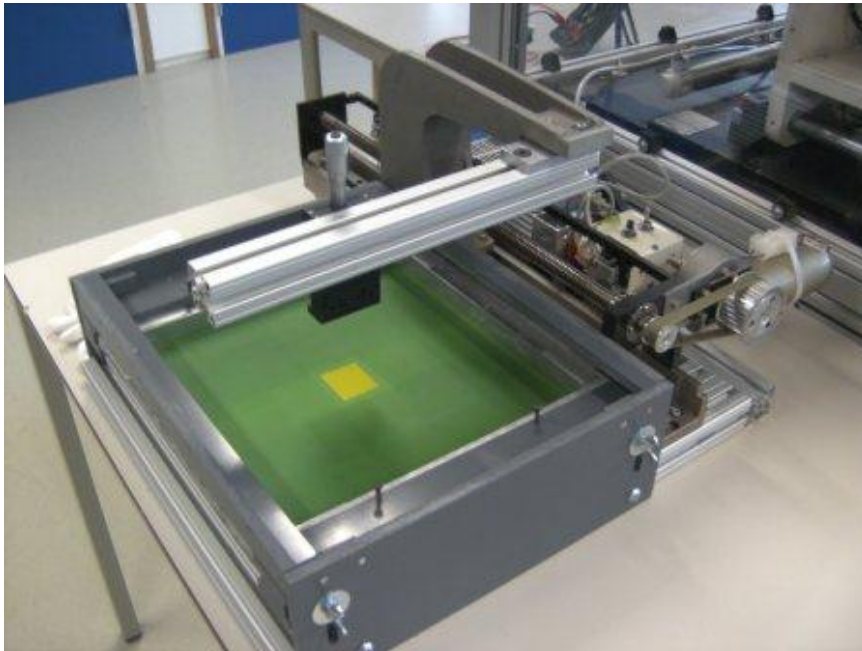


5.1 Tijdens en na spincoating

**Dipcoating:** Het dopen van een plaatje, waarop je een laagje van een vloeistof wilt aanbrengen, in een oplossing van de stof. Deze techniek is niet heel nauwkeurig. Het is lastig om een precieze dikte aan te brengen. Het is ook lastig om een egaal oppervlak aan te brengen. Deze techniek is redelijk duurzaam. Je gebruikt alleen de vloeistof die aan het plaatje hecht.

**Doctor's blade:** Op het plaatje plaats je een druppel van de stof. Daarna strijk je er met een plat voorwerp overheen. Dit wordt bijvoorbeeld met een zeefdruk machine gedaan (Zie 5.2). Door het vlakke voorwerp strakker over het plaatje te halen, kan je een dunnere laag maken. Dit is van de methoden die in de ontwikkelingsstadia van een oled wordt gebruikt, de meest gebruikte. Deze methode is namelijk de meest nauwkeurigste, wat betreft het aanbrengen van dunne laagjes van een

stof. Deze methode is niet heel duurzaam. Hoe dunner het laagje aan te brengen stof, hoe meer stof er verloren gaat. Daarnaast zal er ook altijd een deel van de stof aan de het platte voorwerp hechten.



5.2 Een zeefdruk machine

**De volgende methoden worden toegepast bij het produceren van oleds op industriële schaal:**

**Sputtering:** Je laat een warm gas, bijvoorbeeld argon, over de stof stromen die je wilt aanbrengen op het plaatje. De gasstroom zal een deel van de atomen van de stof meenemen en op het plaatje afzetten. Deze techniek is niet heel erg duurzaam, je hebt er gas voor nodig en een deel van de meegenomen deeltjes zal niet aan het plaatje hechten. Ook wordt het gesputterde oppervlak ruw en het is lastig om goed te doseren.

**Opdampen:** In een vacuümkamer (zie 5.3) zet je een bakje van wolfram met het materiaal dat je op wilt dampen. Boven het bakje zit een shutter, die het bakje afsluit. Dan laat je een stroom door het bakje lopen. Hierdoor zal het bakje met inhoud opwarmen. Het materiaal zal na verloop van tijd verdampen. Als je de shutter wegdraait, zal de verdampte stof zich over de ruimte verspreiden en op het substraat neerslaan. Deze methode wordt op dit moment het meeste toegepast bij het fabriceren van oleds. Door een trillende diamant in de kast te hangen kun je ongeveer zien hoe dik de laag is die je hebt opgedampt. Doordat de verdampte stof namelijk ook op de diamant neerslaat zal hij in een andere frequentie gaan trillen. Deze methode is niet heel duurzaam, doordat je namelijk niet altijd de gehele oled met een bepaalde stof wilt bedekken, zal er bij gebruik van een masker veel stof verloren gaan. Ook zal een groot deel van de verdampte stof verloren gaan omdat het niet op het substraat neerslaat.



5.3 Vacuümkamer



5.4 Inktjet printer voor OLED's

**Printen:** De laagjes van de OLED worden geprint met OLED inkt.(zie 5.4)

Deze methode is erg handig omdat je laagje over laagje kan printen. Ook is het mogelijk patronen te printen. Een ander groot voordeel is dat het proces digitaal wordt bestuurd, daarom is deze techniek op industriële schaal ook erg toepasbaar. Nadeel is dat niet alle materialen even makkelijk geprint kunnen worden. Dit kan door de smelttemperatuur, stroperigheid en oplosbaarheid komen. Ook kan het oplosmiddel dat je in de inkt van een laag gebruikt de volgende laag oplossen. Waar duurzaamheid betreft is dit de beste methode. Je print precies waar je de inkt nodig hebt en er gaat niets verloren. Deze techniek is nu nog in ontwikkeling, maar in de toekomst zal deze zeker gebruikt worden.

### Verduurzamen van de fabricage

Een andere manier om de fabricage van OLEDs duurzamer te maken in de toekomst is het gebruik van bioplastic. Bioplastic wordt gemaakt uit natuurlijke producten. Voorbeelden hiervan zijn: algen, aardappels en mais. Hierdoor maak je kunstmatige biopolymeren. Wij verwachten dat je doormiddel van chemische processen koolwaterstoffen kunt maken. Deze worden gebruikt in de laagjes die op de OLED worden afgezet. Door gebruik te maken van bioplastic ben je duurzaam bezig. Je gebruikt in plaats van olie plantaardige materialen.

# Experiment energiezuinigheid

---

Om te kijken hoe duurzaam een oled in gebruik is hebben wij een experiment uitgevoerd. We meten van de oled de lichtintensiteit met het bijbehorende wattage. Hierdoor kan je precies berekenen hoeveel licht de lamp uitzendt per watt die je in de lamp stopt. Ditzelfde doen we ook bij een LED lamp, een gloeilamp en een spaarlamp. Zo kunnen we vergelijken hoe duurzaam een OLED is in vergelijking met deze lampen. We hebben de LED lamp de gloeilamp en de spaarlamp gekozen omdat deze lampen op dit moment het meest gebruikt worden voor verlichting.

De gloeilamp, omdat dit de bekendste en meest gebruikte lamp is. Hoewel er vanaf september 2012 in de E.U geen gloeilampen verkocht mogen worden, vinden wij het toch verstandig deze wel mee te nemen in onze meting. Dit omdat er in veel huishoudens nog wel gloeilampen aanwezig zijn. De spaarlamp, omdat deze wordt bestempeld als een duurzame lamp. Een LED lamp, hoewel deze het minste van deze drie voorkomt als verlichting willen wij deze toch meenemen, vanwege het zuinige karakter van de lamp. De LED lamp, wordt wel steeds vaker gebruikt doordat het een erg zuinige lamp is.

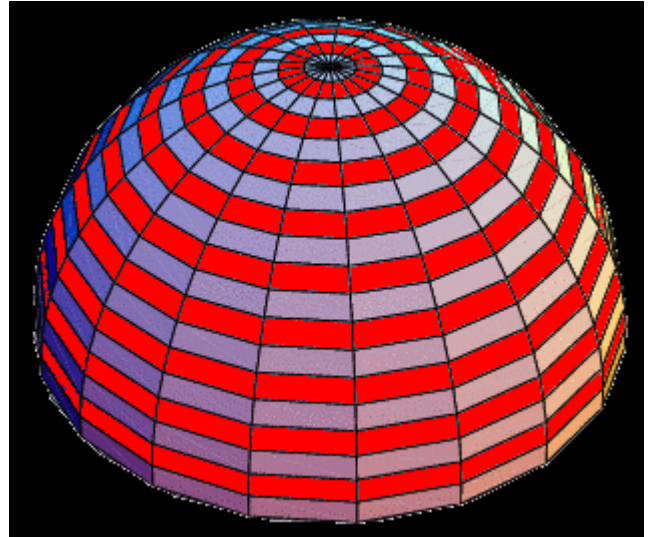
De opzet van de proef is om van elke lamp de lichtintensiteit en het wattage, wat op dat moment verbruikt wordt, te meten. De meeste lampen hebben een bolvorm. Daarom zenden deze lampen dus over de gehele bol licht uit. Als je al het licht wat de bol uitzendt wilt meten, moet je dus om de lamp heen meten. Dat lukt niet met een vlak waarin je het licht opvangt. Om de lichtintensiteit van een niet vlakke lichtbron te kunnen meten, moet je een bol hebben die vanbinnen het licht, wat de lamp uitzendt, opmeet. Door de holle vorm van het meetinstrument, zal hij al het licht opvangen dat de lamp uitzendt. Zo'n bol heet een integrerende bol.



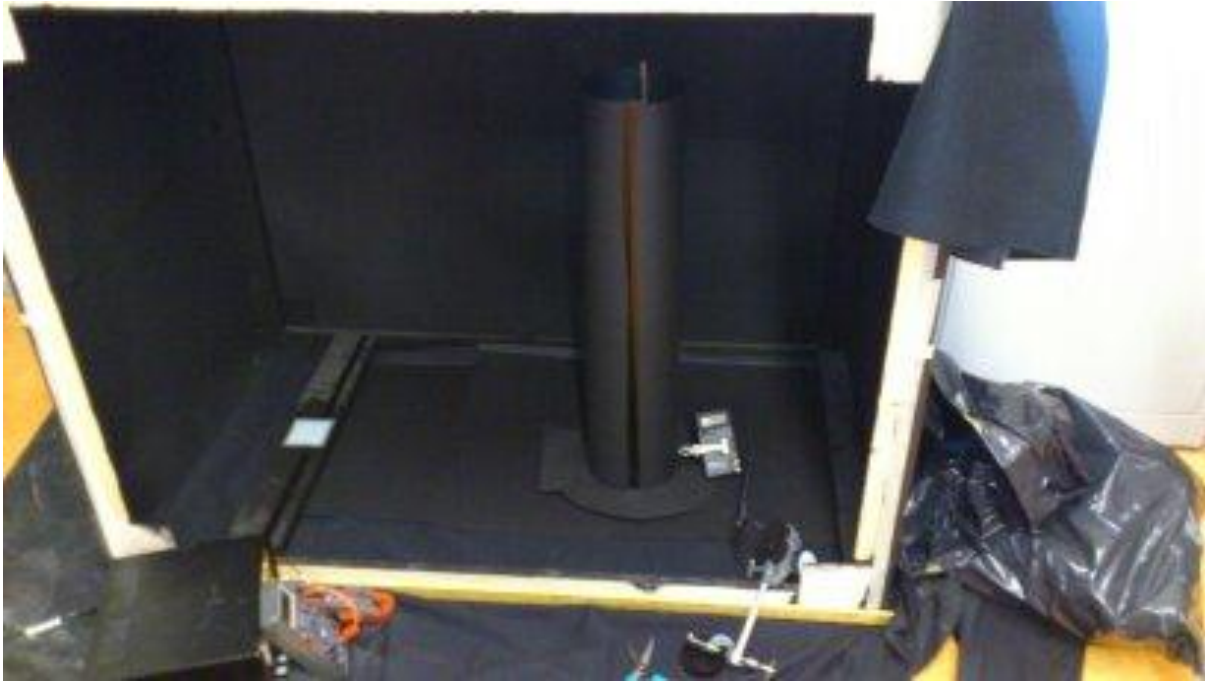


Wij hebben daarom besloten om de lampen over bepaalde hoeken over een vaste afstand te meten. Wat je dan als het ware doet, is een bol nabootsen. Als je oneindig veel hoeken zou meten krijg je uiteindelijk een cirkel. Als je de bovenkant van de lamp als  $+90^\circ$  te beschouwt en daarna in een verticaal vlak met stappen van  $10^\circ$  tot  $-90^\circ$  meet, weet je van 19 punten op die lijn de waarde van de lichtintensiteit. Op deze manier krijg je een ruime indicatie van de lichtintensiteit over deze lijn. Om toch een bol na te bootsen, gaan we er vanuit dat de lamp in horizontaal vlak op dezelfde hoek ook dezelfde lichtintensiteit heeft. We hebben bij het uitkiezen van de lampen, de meest egale lampen gekozen. Daarnaast meten we de gloeilamp ook haaks, vanwege de gloeidraad. Deze is namelijk niet volkomen in het centrum van de lamp en zorgt er daardoor voor dat het licht niet egaal verdeeld wordt.

Als je er vanuit gaat dat er dus in een horizontale baan om de lamp overal dezelfde lichtintensiteit is, heb je 19 cirkels rondom de bol met een lichtintensiteit. De bol kan je opdelen in 18 schijven. Als je per schijf de oppervlakte weet kan je de licht opbrengst van de hele bol berekenen.



Om de lichtintensiteit van de verschillende hoeken te meten gebruiken wij een luxmeter. Deze meet het aantal lux dat een lamp uitzendt. Om een eerlijke meting uit te voeren, moet er in een volstrekt duistere ruimte gewerkt worden en dat er mag geen reflectie zijn. De duistere ruimte is vereist, omdat je geen ander licht, dan dat van de lamp wilt meten. Geen reflectie is vereist, omdat je anders ook licht opvangt, dat in een andere hoek, dan die je op dat moment aan het meten bent is uitgezonden. Als je wel reflectie hebt, meet je ook licht uit de andere hoeken, wat voor een te hoge en onjuiste waarde zou zorgen. Om aan deze eisen te voldoen hebben wij een zwarte ruimte gemaakt. De basis van deze ruimte is een houten frame, dat mat zwart geverfd is. Het frame was ongeveer 2m bij 1m bij 1m. Het frame hebben wij aan de zijkanten en de bovenkant bedekt met zwart karton. Op de bodem hebben we een zwarte doek gelegd. Alleen de voorkant van de ruimte hebben we open gelaten. Aan de bovenkant van de proefopstelling hebben we een verduisterd doek bevestigd dat over de voorkant heen kan. Zodat we gemakkelijk de meetopstelling aan kunnen passen en de lux meter van plaats kunnen veranderen om in hoeken te kunnen variëren. De gehele opstelling hebben we in een ruimte opgesteld die zelf zeer sterk te verduisteren is. Daarnaast is de opstelling vanbinnen zelf ook bijna compleet te verduisteren. Tijdens het meten verduisterden we de gehele ruimte. Als de ruimte waarin de proefopstelling stond verduisterd was gaf de luxmeter, in de proefopstelling, ook daadwerkelijk een waarde van 0,0 aan. Ook zijn we bezig geweest de reflectie te verminderen. Helaas is het zorgen voor totaal geen reflectie is haast onmogelijk. Zelfs het matzwarte karton dat wij gebruikten reflecteerde. Wij hebben wel geprobeerd, de reflectie zo veel mogelijk te beperken. Zo hebben wij om de standaard waaraan de luxmeter bevestigd zit hebben wij een koker van karton gemaakt, die de stalen staaf afdekt.



Wij hebben de proefopstelling als volgt ingericht: Aan de linkerkant zitten aan de onderkant 2 balken waaraan een klem kan worden bevestigd. Hieraan wordt de fitting bevestigd. Verder staat er nog een statief, waaraan de luxmeter met een klem vast zit. Deze is aan het statief omhoog en omlaag te bewegen. Daarnaast is de klem nog te draaien zodat de lamp in de goede hoek gezet kan worden. Net buiten de proefopstelling hadden wij een verlengsnoer met meerdere stopcontacten liggen. In een van de stopcontacten stopten wij een multimeter waarmee we het voltage maten. In een ander stopcontact dat aan het verlengsnoer zat hebben wij de draden van de fitting ingestopt. Om een van deze draden hebben wij een ampèretang gezet. Zo konden we nauwkeurig het voltage en amperage wat de lamp gebruikte meten.

Voor de OLED gebruikten wij een andere opstelling. Hier gebruikten wij een regelbare gelijkspanningbron. Hierop sloten wij de OLED aan. Over de OLED heen maten we met een multimeter het voltage. Zo konden we zorgen dat we aan het begin van de meting precies op 4,2V begonnen. Over een van de draden van de OLED naar de regelbare gelijkspanningbron zetten we de ampèretang. Omdat een OLED een vlak is dat licht geeft hebben we besloten om de OLED maar over 90° te meten. In de berekening over de bol hebben we wel 180° nodig, maar dan gaan we uit dat de negatieve hoeken een waarden van 0 hebben.



Omdat de lamp

al op een verhoging gezet werd, en we niet een statief van precies een meter konden vinden, hebben wij op een afstand van 65,0cm gemeten. Om de hoeken te bepalen gebruikten wij 2 geodriehoeken. Deze waren met elkaar verbonden door een nylon touw. Dit touw hadden wij op een lengte van 65,0cm afgeknipt. Bij de ene geodriehoek hebben wij de draad op de 90 graden lijn vast gemaakt. Bij de andere geodriehoek variëren we van hoeken van 0° tot 90°. Dan hield een van ons de geodriehoek, waarmee we van hoeken varieerden, horizontaal naast het midden van de lamp. Dan hield de ander de andere geodriehoek zo, dat het touwtje strak en recht stond. Zo staat de geodriekhoek van 90° op de plaats en in de hoek, waar de lamp moet staan. Daarna was het noodzaak om de het statief te verplaatsen en de lamp op de juiste hoogte en in de juiste richting te plaatsen. Doordat het touw de juiste lengte heeft en wij de hoeken met de geodriehoek juist hebben gemeten. Kunnen we stellen dat wij hiermee de hoeken vrij nauwkeurig afmaten.



Resultaten proeven:

Gloeilamp Normaal	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Meting Nr. 1	218	211	197,7	205	190,2	181,9	185,4	179,7	183,2	187,6
Meting Nr. 2	219	208	196,9	205	189,8	181,9	184,7	179,5	184,6	186,5
Meting Nr. 3	219	209	197	205	190	181,1	185,5	179,8	184,4	187,5
Meting Nr. 4	219	209	198	205	190,2	181,6	185,1	180	182,8	187,3
Meting Nr. 5	219	210	197,9	204	190,1	181,8	185,2	179,2	183,1	186,8
Meting Nr. 6	219	210	198	204	190,1	181,6	185,5	179,1	183,6	187,7
Meting Nr. 7	218	210	197,5	204	190	181,2	185,6	178,9	183,4	186,4
Meting Nr. 8	219	211	196,8	205	189,8	181,3	185,2	178,7	183,7	187,5
Meting Nr. 9	220	210	197,2	205	189,9	181,9	185,8	178,2	183,5	186,6
Meting Nr. 10	219	209	197	206	190,2	182	186,1	178,2	183,3	186,4
	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	
Meting Nr. 1	29,9	48,1	108,7	187,1	179,8	220	204	206	198,4	
Meting Nr. 2	29,9	48,1	108,8	185,3	180,7	218	205	207	198,3	
Meting Nr. 3	29,8	48,2	108,8	186,7	180,3	219	206	208	198,5	
Meting Nr. 4	29,8	48,2	108,6	187,5	180,7	218	206	209	198,6	
Meting Nr. 5	29,9	47,9	108,5	177,7	180,5	217	205	208	199,2	
Meting Nr. 6	30,1	48,1	108,2	187,7	180,3	219	205	208	197,6	
Meting Nr. 7	30	47,8	108,5	183,2	178,8	218	204	209	197,2	
Meting Nr. 8	30	47,8	108,9	188,9	178	219	205	209	196,6	
Meting Nr. 9	30	48,2	109,9	189,1	178,2	217	204	209	196,6	
Meting Nr. 10	30	48,1	109,6	188,9	178,1	216	205	210	196,8	

Voltage&Amperage	wattage
226/0.29	65,54
227/0.29	65,83
226/0,29	65,54
225/0,30	67,5
225/0,29	65,25
225/0,29	65,25
226/0,30	67,8
227/0,30	68,1
226/0,30	67,8
226/0,30	67,8
Gemiddelde wattage	66,64



Gloeilamp Haaks										
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Meting Nr. 1	165,2	172	178,1	175,6	182,4	175,8	176,9	189,5	189,5	208
Meting Nr. 2	166,2	173,1	177,7	176,1	182,8	175	176,4	190,4	189,6	208
Meting Nr. 3	166,2	172,8	177,8	176,4	183,6	174,7	178,4	190,3	189,6	208
Meting Nr. 4	166,8	171,7	177,9	176,7	182,5	174,8	178	190,2	189,6	207
Meting Nr. 5	166,8	171,4	178,4	176,3	182,7	176,7	178	189,9	189,6	207
Meting Nr. 6	167,8	171,4	177,8	176,6	182,4	176,6	178,1	189,7	189,2	209
Meting Nr. 7	167,6	171,6	177,4	176,6	181,2	176,3	178,3	189,9	189,6	207
Meting Nr. 8	167,6	171,7	177,7	177,1	180,6	177	177,4	190,2	189,6	208
Meting Nr. 9	168	171,2	177,9	176,9	181	176,6	177,3	189,8	189,5	208
Meting Nr. 10	167,9	171,5	176	177,7	181,1	176,9	177,1	190,4	189,2	207
	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	
Meting Nr. 1	175,5	174,1	190,5	199,1	190,1	206	213	226	218	
Meting Nr. 2	175,7	174,5	190,3	197,7	190,4	208	212	226	219	
Meting Nr. 3	176	174,4	189,5	198,4	190,2	207	213	226	218	
Meting Nr. 4	176,3	174,7	190	197,4	190,5	207	213	226	217	
Meting Nr. 5	167,7	175,1	190,4	198,1	190,2	207	213	226	218	
Meting Nr. 6	177,2	175,3	190,2	198,9	191,1	208	213	227	218	
Meting Nr. 7	177,6	175,1	189,3	198,9	191,1	208	212	227	219	
Meting Nr. 8	177,2	175,4	190,9	198,8	190,9	207	212	228	217	
Meting Nr. 9	177,4	175,4	190,7	198,4	190,9	206	213	227	216	
Meting Nr. 10	176,8	175,7	191	198,6	189,9	207	214	227	217	

Voltage&Amperage	wattage
226/0.29	65,54

227/0,29	65,83
226/0,29	65,54
225/0,30	67,5
225/0,29	65,25
225/0,29	65,25
226/0,30	67,8
227/0,30	68,1
226/0,30	67,8
226/0,30	67,8
Gemiddelde wattage	66,64

LED lamp	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Meting Nr. 1	10,7	10,5	9,8	10,1	10					5,4
Meting Nr. 2	10,7	10,5	9,9	10	10,1					5,3
Meting Nr. 3	10,7	10,5	9,8	10	10,1					5,3
Meting Nr. 4	10,7	10,5	9,8	10,1	10,1					5,3
Meting Nr. 5	10,7	10,4	9,8	10,1	10,1					5,3
Meting Nr. 6	10,7	10,5	9,7	10,1	10,1					5,3
Meting Nr. 7	10,7	10,4	9,8	10,1	10,1					5,3
Meting Nr. 8	10,7	10,5	9,8	10	10,1					5,3
Meting Nr. 9	10,7	10,4	9,9	10	10					5,3
Meting Nr. 10	10,7	10,4	9,7	10	10					5,4
	-90	-80	-70	-60	-50					
Meting Nr. 1	1,1	1,5	2,1	2,9	3,2	3,6	4,1	4,4	5,4	
Meting Nr. 2	1,1	1,5	2,1	2,9	3,1	3,6	4,2	4,6	5,3	
Meting Nr. 3	1,1	1,5	2,1	2,9	3,2	3,6	4,1	4,5	5,5	
Meting Nr. 4	1,1	1,6	2,2	2,9	3,2	3,5	4,1	4,6	5,4	
Meting Nr. 5	1	1,5	2,1	2,9	3,2	3,6	4,1	4,6	5,3	
Meting Nr. 6	1,1	1,5	2,1	3	3,1	3,6	4,2	4,6	5,3	
Meting Nr. 7	1,1	1,5	2,1	2,9	3,2	3,5	4,1	4,6	5,5	
Meting Nr. 8	1,1	1,5	2,1	2,9	3,2	3,6	4,1	4,6	5,4	
Meting Nr. 9	1,1	1,5	2,1	3	3,2	3,6	4,1	4,5	5,4	
Meting Nr. 10	1	1,6	2,1	2,9	3,1	3,6	4,1	4,5	5,4	



Voltage&Amperage	wattage
228/0,0207	4,72
225/0,0203	4,57
225/0,0205	4,61



227/0,0204	4,63
225/0,0204	4,59
225/0,0202	4,55
227/0,0203	4,61
226/0,0200	4,52
225/0,0202	4,55
225/0,0203	4,57
Gemiddelde wattage	
	4,59

Spaarlamp	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Meting Nr. 1	182,4	172,1	178,6	191,5	196	197,8	221	210	227	233
Meting Nr. 2	182,5	172,1	181,2	190,7	196	197,5	221	210	227	232
Meting Nr. 3	182,3	172	180,5	191	195,8	198,4	221	210	226	231
Meting Nr. 4	182,2	171,9	180,5	190,2	197,6	198,8	221	207	227	233
Meting Nr. 5	182,4	172,4	180,3	191	196,8	198,6	221	209	227	233
Meting Nr. 6	182,7	172,1	180,6	190,4	196,8	198,6	223	209	227	233
Meting Nr. 7	182,9	172	180,4	190,1	196	197,9	223	210	227	234
Meting Nr. 8	182,8	172,2	180,5	190,3	195,8	197,8	221	210	226	234
Meting Nr. 9	182,6	171,6	180	191,4	196	197,7	221	210	226	233
Meting Nr. 10	182,3	171,2	178,1	190,2	195,8	198	221	210	227	233
	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	
Meting Nr. 1	32,1	47,4	88	107,5	162	172,3	176,4	183,7	212	
Meting Nr. 2	32,1	47,4	88,1	107,5	162,3	172,5	175,5	183,8	214	
Meting Nr. 3	32	47,5	87,9	107,5	165,3	172,1	175,6	183,5	213	
Meting Nr. 4	32	47,4	87,8	107,4	165,7	172,1	176	184,2	212	
Meting Nr. 5	32,1	47,7	87,8	107,5	165,4	172,1	175,9	183,4	213	
Meting Nr. 6	32	47,8	87,9	107,6	165,2	172	175,9	183,4	211	
Meting Nr. 7	32	47,8	87,9	108	165,2	171,9	175,6	184,4	213	
Meting Nr. 8	32	47,9	88	107,5	165,2	172,7	175,5	184,1	212	
Meting Nr. 9	32,2	47,8	87,8	107,6	165,9	172,8	175,5	184,3	213	
Meting Nr. 10	32,1	47,8	87,9	107,2	166	172,8	175,6	183,5	213	

Voltage&Amperage	wattage
224/0,089	19,94
227/0,0884	20,07

227/0,0892	20,25
228/0,0886	20,2
228/0,0881	20,09
224/0,0894	20,03
229/0,0923	21,14
228/0,0924	21,07
229/0,0924	21,16
228/0,0923	21,04
Gemiddelde wattage	
	20,5



OLED	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Meting Nr. 1	20	18,2	18,2	17,9	14,9	12,1	10,3	8,3	3,5	0,3
Meting Nr. 2	20	18,5	18,2	18	15,5	12,4	10,4	8,3	3,5	0,3
Meting Nr. 3	19,8	18,4	18,2	18,2	14,8	12,5	10,5	8,4	3,6	0,2
Meting Nr. 4	20,1	18,5	18,3	18,1	14,9	12,6	10,6	8,3	3,5	0,2
Meting Nr. 5	20,2	18,5	18,2	18,1	14,9	12,5	10,5	8,1	3,5	0,3
Meting Nr. 6	20,2	18,7	18,2	18	14,9	12,6	10,7	8	3,7	0,3
Meting Nr. 7	20,2	18,7	18,4	18	15,2	12,5	10,6	8,2	3,5	0,3
Meting Nr. 8	20,2	18,7	18,4	18,1	15,2	12,6	10,7	8,2	3,3	0,3
Meting Nr. 9	19,9	18,6	18,4	18,3	15,3	12,6	10,4	8,1	3,4	0,3
Meting Nr. 10	19,9	18,7	18,3	18,2	15,2	12,5	10,5	8,2	3,5	0,3

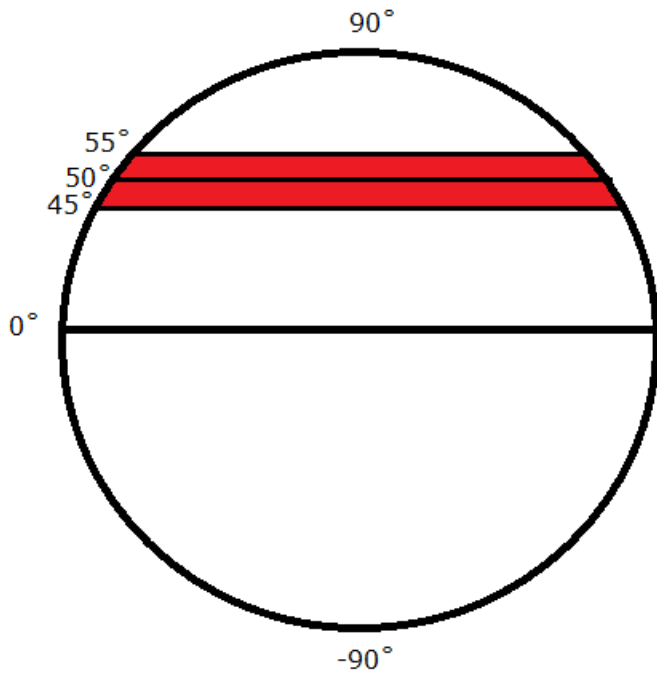
Voltage&Amperage	Wattage
4,2/0,0802	0,337
4,2/0,0798	0,335
4,2/0,0688	0,289
4,2/0,0800	0,336
4,2/0,0802	0,337
4,2/0,0727	0,305
4,19/0,0723	0,303
4,2/0,0805	0,338
4,19/0,0736	0,308
4,2/0,0763	0,32
gemiddeld wattage	0,321

De tien metingen die we per hoek uithebben gevoerd, hebben we bij elke lamp gemiddeld. De tabel hieronder geeft dus de gemiddeldes per lamp weer:

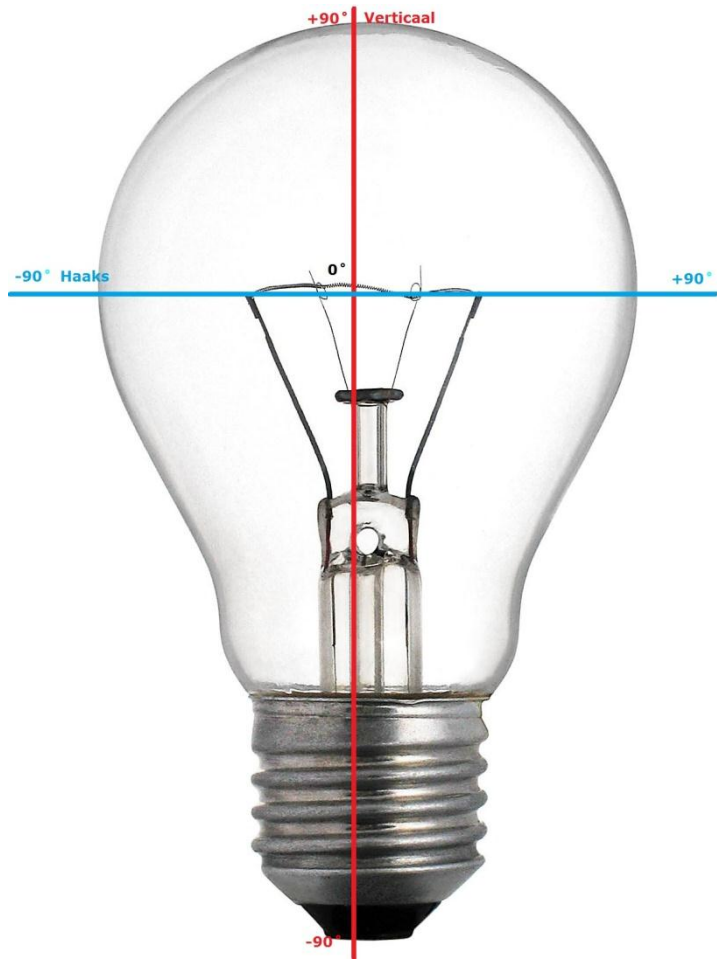
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
spaarlamp	182,51	171,96	180,07	190,68	196,26	172,33	221,4	209,5	226,7	232,9
gloeilamp haaks	167,01	171,84	177,67	176,6	182,03	176,04	177,59	190,03	189,5	207,7
gloeilamp recht	182,51	209,7	197,4	204,8	190,03	181,63	185,41	179,13	183,56	187,03
LED lamp	10,7	10,46	9,8	10,05	10,07	8,12	8,49	6,92	6,62	5,32
OLED	20,05	18,55	18,28	18,09	15,08	12,49	10,52	8,21	3,5	0,28

	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10
spaarlamp	32,06	47,65	87,91	107,53	164,82	172,33	175,75	183,83	212,6
gloeilamp haaks	175,74	174,97	190,28	198,43	190,53	207,1	212,8	226,6	217,7
gloeilamp recht	29,94	48,05	108,85	186,21	179,54	218,1	204,9	208,3	197,78
LED lamp	1,08	1,52	2,11	2,92	3,17	3,58	4,12	4,55	5,39

Nu hebben we alleen nog maar het gemiddeld aantal lux per hoek. Dit willen we gaan integreren naar een bol. De bol delen wel op in schijven van 10° om de hoeken heen die we gemeten hebben. Zo hoort dus bij de gemeten hoek 50° de schijf van 45° tot 55°. Als je dit doet zul je bij de boven en onderkant van de bol twee schijven overhouden van 5°. De waarden van de hoeken van +90° en -90° zullen dus alleen voor het gebied van 85° tot 90° gelden.



Zoals eerder beschreven hebben wij er voor gekozen om de gloeilamp op twee manieren te meten. In de lengte en haaks op de  $0^\circ$  van de meting van de lengte. Dit hebben wij gedaan omdat een gloeilamp licht geeft doormiddel van een gloeidraad. Deze gloeidraad zit niet precies in het midden van de lamp. Zo zal de lamp niet aan elke kan even veel licht geven. Wanneer je een willekeurig punt op de lamp neemt, Waarover je de verticale meting doet, weet je niets over de waarde van de hele lamp. Het kan zijn dat er op dit punt juist veel licht is, maar ook heel weinig ten opzichte van het gemiddelde. Daarom hebben wij de lamp ook haaks gemeten over 180 graden. Omdat de gloeidraad aan de andere kant van de lamp gespiegeld is, geldt dat je niet de hele lamp rond hoeft te meten, maar dat een meting over  $180^\circ$  volstaat. De 19 gemeten waarden hebben we gemiddeld. Dit is dus het gemiddelde aantal lux dat de lamp op  $0^\circ$  produceert. Omdat wij bij de meting in verticaal vlak ook op  $0^\circ$  hebben gemeten, kunnen we deze waarde vergelijken met het gemiddeld van de haakse metingen op  $0^\circ$ . De gemiddelde waarde van de haakse metingen kun je dan delen door de waarde van de verticale meting. Dan krijg je een factor die een goede indicatie geeft van hoeveel keer meer licht het gemiddelde is dan wat wij gemeten hebben. Deze factor moet je dan keer alle waarden doen die wel verticaal hebben gemeten. Door dit te doen, maak je de gemeten verticale waarden gelijk met de gemiddelde waarde over een verticale as.



Het gemiddelde van alle haakse metingen is 190,0084. De waarde die wij bij de verticale meting op 0° hadden gemeten was 187,03. Nu moeten we 190,0084 delen door de 187,03. Hieruit komt de factor 1.015924718. Alle gemiddelde waarden van verticale meting vermenigvuldigen we met deze factor.

aantal graden	aantal lux origineel	aantal lux met factor
90	182,51	185,42
80	209,7	213,04
70	197,4	200,54
60	204,8	207,25
50	190,03	193,06
40	181,63	184,52
30	185,41	188,36
20	179,13	181,98
10	183,56	186,48
0	187,03	190,01
-10	197,78	200,93
-20	208,3	211,62
-30	204,9	208,16
-40	218,1	221,57
-50	179,54	182,4
-60	186,21	189,16
-70	108,85	110,58
-80	48,05	48,82
-90	29,94	30,42

De metingen die wij hebben verricht, zijn in lux gedaan. Een lux staat voor 1 lumen per meter. Om onze waarden om te schrijven naar lumen moeten we dus het aantal lux keer de oppervlakte van

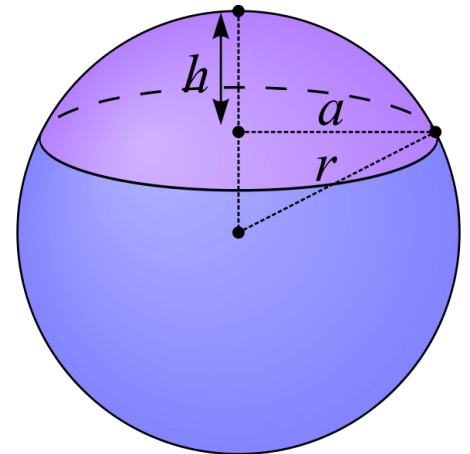


schijf van de bol in meters doen. Als we daarna van alle schijven het aantal lumen optellen krijgen we het totaal aantal lumen wat de lichtbron uitzendt.

Een bolkap is een stuk van een bol dat wordt gesneden door een vlak.  
De formule voor het oppervlak van een bolkap is:

$$A = 2\pi r^2(1 - \cos \alpha)$$

Waarin A de oppervlakte is,  $\alpha$  de hoek tussen  $r$  en  $h$  en  $r$  de straal. Als we de gegevens van onze bol invullen krijgen we dus:



$$A = 2\pi 0.65^2(1 - \cos \alpha)$$

Omdat onze metingen om de  $10^\circ$  gedaan zijn, nemen aan dat voor de  $5^\circ$  daaromheen dezelfde waarden gelden. Daarom krijgen we steeds een gebied van  $10^\circ$ , waarvan we de laagste waarde aftrekken van  $90^\circ$ . De uitkomst vullen we in de formule in. Om voor elke band van  $10^\circ$  de oppervlakte te weten halen we de nieuwe uitkomst van de oude af. Voorbeeld met de band van  $85^\circ / 75^\circ$ .

$$A = 0.0905 - 0.0101 = 0.0804 \text{ m}^2$$

Dit zorgt voor de volgende tabel:

Graad	Band	Vergelijking	Uitkomst	Oppervlakte
$90^\circ$	$90^\circ / 85^\circ$	$A = 2\pi 0.65^2(1 - (\cos 5^\circ))$	$A = 0.0101 \text{ m}^2$	$A = 0.0101 \text{ m}^2$
$80^\circ$	$85^\circ / 75^\circ$	$A = 2\pi 0.65^2(1 - (\cos 15^\circ))$	$A = 0.0905 \text{ m}^2$	$A = 0.0804 \text{ m}^2$
$70^\circ$	$75^\circ / 65^\circ$	$A = 2\pi 0.65^2(1 - (\cos 25^\circ))$	$A = 0.2487 \text{ m}^2$	$A = 0.1582 \text{ m}^2$
$60^\circ$	$65^\circ / 55^\circ$	$A = 2\pi 0.65^2(1 - (\cos 35^\circ))$	$A = 0.4801 \text{ m}^2$	$A = 0.2314 \text{ m}^2$
$50^\circ$	$55^\circ / 45^\circ$	$A = 2\pi 0.65^2(1 - (\cos 45^\circ))$	$A = 0.7775 \text{ m}^2$	$A = 0.2974 \text{ m}^2$
$40^\circ$	$45^\circ / 35^\circ$	$A = 2\pi 0.65^2(1 - (\cos 55^\circ))$	$A = 1.1320 \text{ m}^2$	$A = 0.3545 \text{ m}^2$
$30^\circ$	$35^\circ / 25^\circ$	$A = 2\pi 0.65^2(1 - (\cos 65^\circ))$	$A = 1.5327 \text{ m}^2$	$A = 0.4007 \text{ m}^2$

20°	25° / 15°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 75^\circ))$	$A = 1.9675 \text{ m}^2$	$A = 0.4348 \text{ m}^2$
10°	15° / 5°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 85^\circ))$	$A = 2.4233 \text{ m}^2$	$A = 0.4558 \text{ m}^2$
0°	5° / -5°	$2A = 4\pi 0.65^2 (1 - (\cos 90^\circ))$	$2A = 2.6546 \text{ m}^2$	$A = 0.4626 \text{ m}^2$
-10°	-5° / -15°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 85^\circ))$	$A = 2.4233 \text{ m}^2$	$A = 0.4558 \text{ m}^2$
-20°	-15° / -25°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 75^\circ))$	$A = 1.9675 \text{ m}^2$	$A = 0.4348 \text{ m}^2$
-30°	-25° / -35°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 65^\circ))$	$A = 1.5327 \text{ m}^2$	$A = 0.4007 \text{ m}^2$
-40°	-35° / -45°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 55^\circ))$	$A = 1.1320 \text{ m}^2$	$A = 0.3545 \text{ m}^2$
-50°	-45° / -55°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 45^\circ))$	$A = 0.7775 \text{ m}^2$	$A = 0.2974 \text{ m}^2$
-60°	-55° / -65°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 35^\circ))$	$A = 0.4801 \text{ m}^2$	$A = 0.2314 \text{ m}^2$
-70°	-65° / -75°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 25^\circ))$	$A = 0.2487 \text{ m}^2$	$A = 0.1582 \text{ m}^2$
-80°	-75° / -85°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 15^\circ))$	$A = 0.0905 \text{ m}^2$	$A = 0.0804 \text{ m}^2$
-90°	-85° / -90°	$A = 2\pi 0.65^2 (1 - (\cos 5^\circ))$	$A = 0.0101 \text{ m}^2$	$A = 0.0101 \text{ m}^2$

Nu hebben we van elke lamp op de 19 gemeten hoeken de gemiddelden.

Deze kunnen we nu met de bijbehorende vlak van de schijf vermenigvuldigen om zo van lux naar

Aantal graden		spaarlamp		gloeilamp		LED lamp		OLED	
90	0,0101	182,51	1,843	185,42	1,873	10,7	0,108	20,05	0,203
80	0,0804	171,96	13,826	213,04	17,13	10,46	0,841	18,55	1,491
70	0,1582	180,07	28,487	200,54	31,725	9,8	1,55	18,28	2,891
60	0,2314	190,68	44,123	207,25	47,958	10,05	2,326	18,09	4,186
50	0,2974	196,26	58,368	193,06	57,416	10,07	2,995	15,08	4,485
40	0,3545	198,11	70,23	184,52	65,412	8,12	2,879	12,49	4,428
30	0,4007	221,4	88,715	188,36	75,476	8,49	3,402	10,52	4,215
20	0,4348	209,5	91,091	181,98	79,125	6,92	3,009	8,21	3,57
10	0,4558	226,7	103,33	186,48	84,998	6,62	3,017	3,5	1,595
0	0,4626	232,9	107,74	190,01	87,899	5,32	2,461	0,28	0,13
-10	0,4558	212,6	96,903	200,93	91,584	1,08	0,492		
-20	0,4348	183,83	79,929	211,62	92,012	1,52	0,661		
-30	0,4007	175,75	70,423	208,16	83,41	2,11	0,845		
-40	0,3545	172,33	61,091	221,57	78,547	2,92	1,035		
-50	0,2974	164,82	49,017	182,4	54,246	3,17	0,943		
-60	0,2314	107,53	24,882	189,16	43,772	3,58	0,828		
-70	0,1582	87,91	13,907	110,58	17,494	4,12	0,652		
-80	0,0804	47,65	3,831	48,82	3,925	4,55	0,366		
-90	0,0101	32,06	0,324	30,42	0,307	5,39	0,054		

lumen te gaan.

Nu kun je het aantal lumen van alle verschillende schijven bij elkaar optellen. Alle schijven bij elkaar vormen een hele bol. Als je van elke schijf het aantal lumen optelt, krijg je het aantal lumen van een hele bol.

Totaal aantal lumen:			
Gloeilamp	spaarlamp	OLED	LED lamp
<b>1008,06</b>	<b>1014,31</b>	<b>27,194</b>	<b>28,47</b>

Omdat we ook het wattage per lamp weten, kunnen we het aantal lumen per watt berekenen. Wat ook wel Luminous efficacy wordt genoemd. Met deze waarden kunnen we de lampen op een eerlijke manier vergelijken.

	Gloeilamp	spaarlamp	OLED	LED lamp
Wattage	66,64	20,5	0,321	4,59
totaal aantal lumen	1014,31	1008,06	27,194	28,47
Lumen per watt	<b>15,22</b>	<b>49,17</b>	<b>84,72</b>	<b>6,2</b>

Onze waarden kunnen we vergelijken met die uit een rapport van Philips.

Technology	Luminous efficacy(lm/W)	Onze waarden(lm/W)
Incandescent	12	15,22
Compact fluorescent	54	49,17
Inorganic LED's	70-120	6,2
Organic LED's	64	84,72

Uit dit vergelijkingsmateriaal blijkt dat onze meting in redelijke mate overeen komen met de waarden van Philips. Alleen de waarde die uit de LED lamp gekomen is, wijkt zeer sterk af van gemeten waarde door onderzoekers van Philips. De op de LED lamp stond dat het verbruik 1W en 35 lumen. Uit onze metingen kwam dat het verbruik 4,6 W was en het totale aantal lumen 28. Vooral het wattage kwam helemaal niet overeen. Als het wattage en het aantal lumen wel geklopt zou hebben zou de lamp 35 lm/W produceren. Dit zou nog steeds ver onder de waarde gemeten door Philips zijn.

## Bronnen Nanotechnologie:

- [1] <http://www.express.be/sectors/nl/chemicals/reeds-meer-dan-800-nanoprodukten-in-de-handel/104861.htm>
- [2] <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>
- [3] [http://www.rug.nl/kennisdebat/onderwerpen/nano/nano\\_onderzoek/index](http://www.rug.nl/kennisdebat/onderwerpen/nano/nano_onderzoek/index)
- [4] <http://www.uu.nl/faculty/science/NL/actueel/nieuwsfaculteit/Pages/50000eurovoorUtrechtsnano-onderzoeknaarkankerbestrijding.aspx>
- [5] <http://www.rathenau.nl/web-specials/nanodialoog/over-nanotechnologie/wat-is-nanotechnologie.html>
- [6] <http://www.scholieren.com/werkstukken/38590>
- [8] <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/working-nanoscale>
- [9] <http://www.neoweb.nl/infopages/nanotechnologie.html>
- [10] <http://nl.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie>

## Afbeeldingen

- [1.1] <http://jnm.snmjournals.org/content/48/7/1039/F1.large.jpg>
- [1.2] <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/working-nanoscale>
- [1.3] <http://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>

## Bronnen Duurzame ontwikkeling

UN rapport Our Common Future <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

## Bronnen Hoe werken oleds?:

- [1] Scriptie Maarten de Vries
- [2] <http://tweakers.net/nieuws/79077/lg-kondigt-55-inch-oled-tv-officieel-aan.html> 2januarie2012
- [3] Philips Lumiblade Shop
- [4] Het hele verhaal over de werking van oleds uit het gesprek met Philips.

**PLAATJE 3.1** Philips Lumiblade site

**PLAATJE 3.2** Powerpoint Philips

**PLAATJE 3.3** [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electron\\_shell\\_006\\_Carbon\\_-\\_no\\_label.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electron_shell_006_Carbon_-_no_label.svg)

**PLAATJE 3.4/5/6**

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Energy\\_band\\_model\\_%28DE%29\\_.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Energy_band_model_%28DE%29_.svg)

**PLAATJE 3.7** Powerpoint Philips

**PLAATJE 3.8 TOT 3.15** Zelfgemaakt

## **Bronnen Het verbeteren van oleds:**

[1] [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2000/advanced-chemistryprize2000.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/advanced-chemistryprize2000.pdf)

[2] Verhaal Philips

**Plaatje snelweg:** <http://www.grotescheur.nl/wp6/wp-content/uploads/2011/02/weetjes-xxx-ledverlichting-snelweg.jpg> 10 jan. 12

**Polyacyteelen & oled+playmobil** powerpoint Philips

**Lagen van de oled** zelfgemaakt

## **Bronnen Fabricage van oleds**

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Bioplactic>

<http://www.fontys.nl/lectoraten/functionelepolymeren/dunnelaag.technologie.244515.htm>

PowerPoint Philips

Gesprek Philips