

Ledverlichting voor de elektrotechnisch installateur

1/12/2017

VOLTA

Ledverlichting voor de elektrotechnisch installateur

1/12/2017

Deze brochure werd ontwikkeld in het kader van het project 'Slimme Verlichting'.

Met de steun van:



Dit is een uitgave van Volta
Marlylaan 15/08
1120 Brussel

info@volta-org.be
www.volta-org.be

© Volta 2017

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

1. Inleiding

Leds hebben in een recordtempo alle andere lichtbronnen het nakijken gelaten en zijn vandaag niet meer weg te denken uit onze sector. Een zeer groot deel van de armaturen die vandaag nieuw geplaatst worden, maken gebruik van deze technologie. Maar ook in bestaande armaturen worden de klassieke lampen steeds meer vervangen door energiezuinige leds.

De led-revolutie heeft heel wat teweeggebracht en biedt een hele reeks van technische mogelijkheden die we nooit voor mogelijk gehouden hebben. De keerzijde van die medaille is dat verlichting plots veel complexer is geworden.

Voor de elektrotechnisch installateur is verlichting maar een klein deeltje van het volledige takenpakket, waardoor het onmogelijk is om alles tot in detail te kennen. Het project "De elektrotechnisch installateur als adviseur voor slimme ledverlichting", kortweg "Slimme Verlichting" genoemd, is een samenwerking tussen Volta en het Laboratorium voor Lichttechnologie van KU Leuven waarin de elektrotechnisch installateur via verschillende kanalen ondersteund wordt in de overgang naar ledtechnologie.

In het kader van dit project werd deze brochure geschreven. De brochure omvat een breed overzicht van de verlichtingstechnologie, gaande van de basiseigenschappen van licht en leds, tot de praktische aspecten waarmee een elektrotechnisch installateur in aanraking komt.



Figuur 1: Ledvervanglampen: leds worden ingebouwd in de behuizing van een bestaand lamptype.

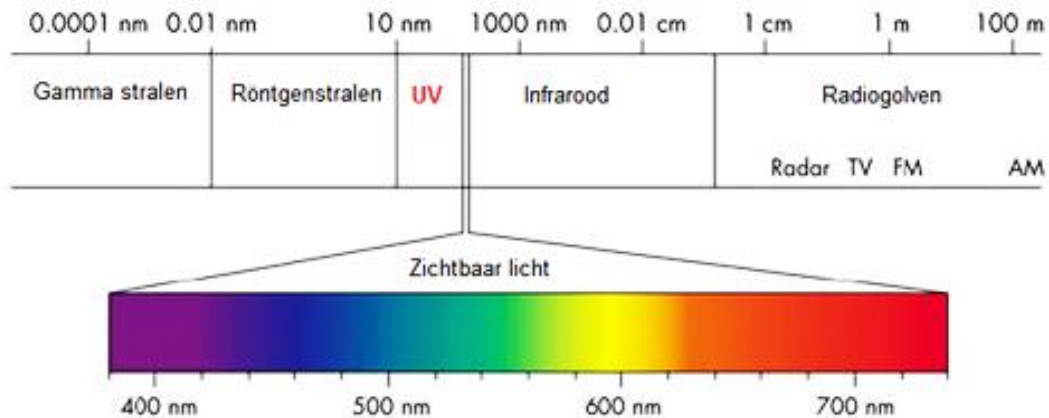


Figuur 2: Ledarmatuur: het armatuur ontwikkeld en geoptimaliseerd voor leds.

2. Basiskennis licht

Licht is overal rondom ons, maar wat is het eigenlijk?

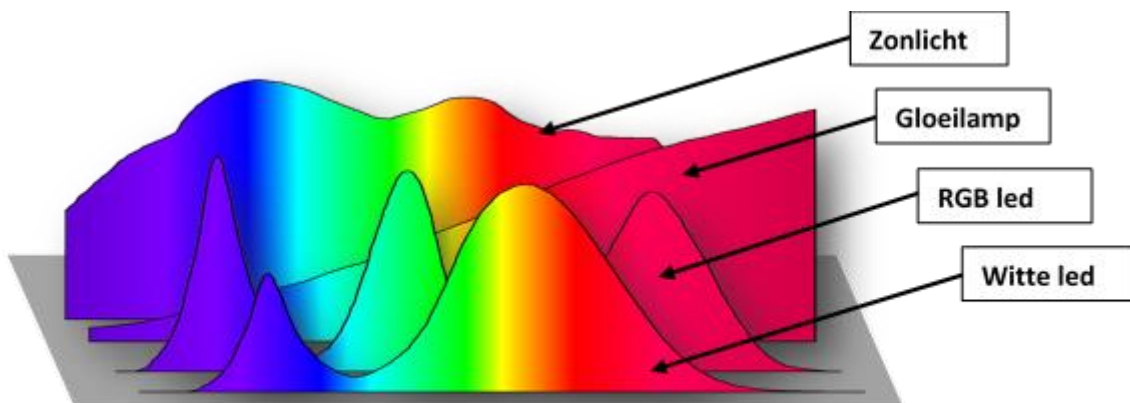
Wel ... licht is een smal stukje van het elektromagnetische spectrum, waartoe onder andere ook radiogolven, microgolven en röntgenstralen behoren. Onze ogen zijn gevoelig voor elektromagnetische straling met golflengtes van 380nm (nanometer) tot 780nm. Lagere golflengtes noemen we ultraviolet. Bij hogere golflengtes spreken we over infrarood.



Figuur 3: Licht is een klein onderdeelje van het elektromagnetische spectrum.

In het zichtbare deel van het spectrum komen we alle kleuren van de regenboog tegen, elke kleur komt overeen met een bepaalde golflengte. Merk op dat pastelkleuren en wit niet voorkomen in de regenboogkleuren, deze kleuren worden gemaakt door samenstelling van verschillende golflengtes.

Het licht van elke lichtbron bestaat uit de combinatie van verschillende golflengtes, we noemen dit het 'spectrum'. De onderlinge verhouding van de verschillende golflengtes bepaalt de kleur van het licht dat wij waarnemen, maar ook hoe de kleuren van voorwerpen die belicht worden er zullen uitzien.



Figuur 4: Enkele voorbeelden van spectra van verschillende lichtbronnen. De spectra zien er totaal anders uit, we zullen de kleuren van objecten dan ook anders waarnemen onder deze verschillende lichtbronnen.

De meeste lichtbronnen hebben een relatief breed spectrum, dat vaak ook ultraviolet en infrarood bevat. In het geval van zonlicht en het licht van een gloeilamp is het zichtbaar licht slechts een klein stukje van het volledige spectrum. **Dit verklaart al meteen waarom gloeilampen zo'n inefficiënte lichtbron zijn! Hoewel een gloeilamp 95% van haar elektriciteit omzet in elektromagnetische straling, is hiervan slechts een klein deeltje zichtbaar, bijna al de rest is infrarood.**

Een spectrum kunnen we op twee manieren analyseren ...

De oppervlakte onder de curve geeft informatie over hoeveel energie er in het spectrum zit. De studie hiervan noemen we fotometrie. De meest gekende grootheden uit de fotometrie zijn de verlichtingssterkte (in lux) en de lichtstroom (in lumen).

De samenstelling van de curve bepaalt de kleur die we waarnemen. We spreken over colorimetrie, of het meten van kleuren. De kleurtemperatuur van een lamp (bv. 2700K) is de meest gekende colorimetrische eigenschap.

3. Fotometrie, meten van licht

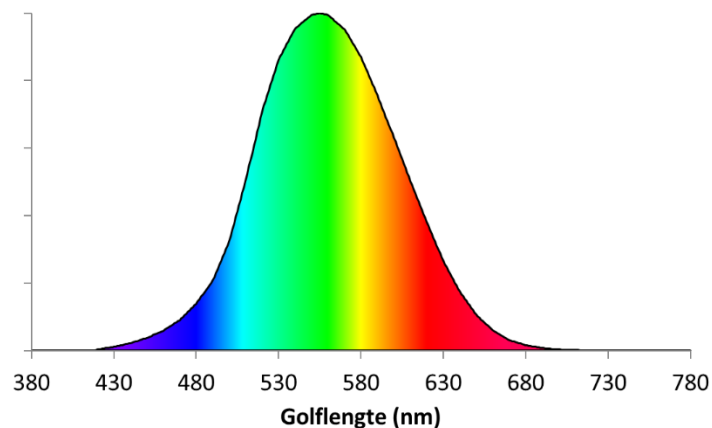
Fotometrie is het onderdeel van de optica dat zich bezighoudt met het meten van de hoeveelheid lichtenergie. Omdat we hierbij enkel geïnteresseerd zijn in zichtbaar licht, wordt in de fotometrische grootheden de gevoeligheid van het menselijk oog in rekening gebracht.

In dit hoofdstuk zullen we de fotometrische grootheden die relevant zijn voor de elektrotechnisch installateur bekijken.

3.1. Ooggevoeligheid

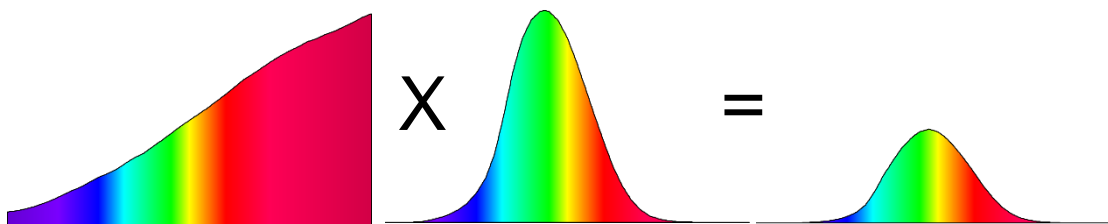
Onze ogen zijn niet even gevoelig voor alle golflengtes binnen het zichtbare spectrum. Figuur 3 toont de gemiddelde gevoeligheid van onze ogen voor verschillende golflengtes van het licht. We zien in deze grafiek dat onze ogen véél gevoeliger zijn voor groen/geel licht dan voor blauw of rood.

Als we een blauwe (450nm) en een groene (550nm) led nemen die exact evenveel optisch vermogen leveren, zal de groene led vele malen helderder lijken!



Figuur 5: V_{λ} -curve: hoe gevoelig is het menselijk oog voor de verschillende golflengtes van het zichtbaar licht.

Het is duidelijk dat het optisch vermogen (in Watt) *géén* goede maat is om licht te meten. Daarom zullen we het aandeel van elke golflengte in het spectrum vermenigvuldigen met de ooggevoeligheid voor die golflengte. De som van al deze aandelen (de integraal, zoals dat wiskundig heet) geeft een beter idee van hoe fel we het licht zullen waarnemen dan wanneer we ons enkel op het vermogen baseren.



Figuur 6: De verdeling van de energie over de verschillende golflengten (in dit voorbeeld een halogeenlamp X de ooggevoeligheid per golflengte = wat wij zien.

In de verlichting werken we met grootheden als lumen, lux, candela, ... Deze grootheden geven elk op een bepaalde manier een vermogen aan, maar hierbij rekening houdend met de gevoeligheid van onze ogen.

In de volgende paragrafen gaan we de courante grootheden in de verlichting verklaren.

3.2. Lichtstroom of Lichtflux (Lumen)

Van alle grootheden die in de fotometrie gebruikt worden, is de lichtstroom (uitgedrukt in lumen) het eenvoudigst te begrijpen.

Een lumen is simpelweg het vermogen dat een bepaald pakket licht heeft, rekening houdend met de gevoeligheid van het menselijk oog. Meestal wordt lumen gebruikt om aan te geven **hoeveel licht er uit een bepaalde lichtbron komt, zonder rekening te houden met hoe dat licht in de ruimte verdeeld wordt.**



Figuur 7: Aantal lumen: totale hoeveelheid licht die de lamp uitstraalt.

Met de conventionele lamptechnologieën was het gebruikelijk om de lampen onder te verdelen aan de hand van hun elektrisch vermogen. We spraken toen bijvoorbeeld over “een gloeilamp van 60 Watt”. Omdat elke lamp binnen dezelfde technologie nagenoeg dezelfde efficiëntie had, was dit correct.

Bij leds is het echter anders! Twee ledlampen met hetzelfde elektrische vermogen genereren niet noodzakelijk evenveel licht.

De lichtstroom (lumen) is de correcte tool om ledlampen te vergelijken.

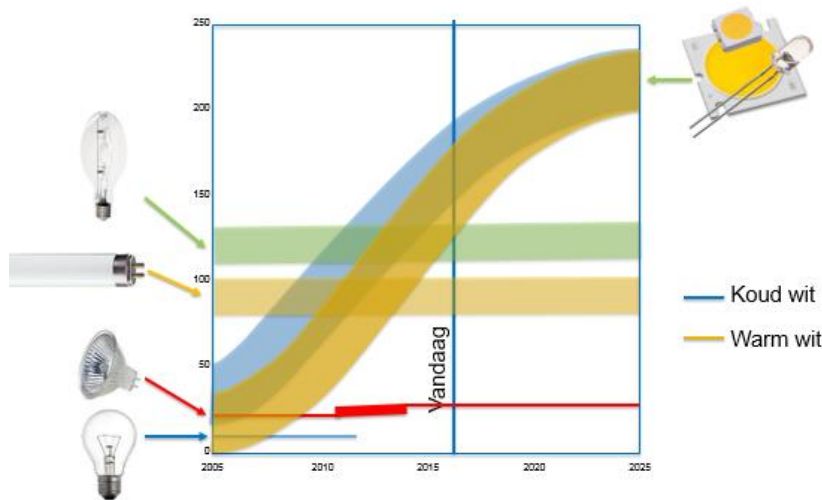


Figuur 8: Deze lamp levert 290lm. De fabrikant geeft aan dat dit ongeveer overeenkomt met een 25W gloeilamp. Het elektrisch vermogen van de ledlamp (6W) is geen goed middel om ledlampen te vergelijken.

3.3. Lichtrendement (Lumen/Watt)

Het lichtrendement duidt aan hoe goed een bepaalde lichtbron zijn elektrisch vermogen omzet in licht. In plaats van "lichtrendement" wordt ook het woord "efficiëntie" gebruikt. Technisch gezien is dit niet volledig correct, maar het is wel sterk ingeburgerd.

Wat het lichtrendement betreft hebben ledlampen al een hele weg afgelegd. In het begin van de jaren 2000, toen de eerste leds op de markt kwamen, hadden leds een efficiëntie van amper 10 à 20 lumen per Watt. Net iets beter dan een gloeilamp! Het lichtrendement is in de daaropvolgende jaren exponentieel gestegen en ondertussen zijn er ledproducten beschikbaar die qua lichtrendement met kop en schouders boven alle andere conventionele lichtbronnen uitsteken.

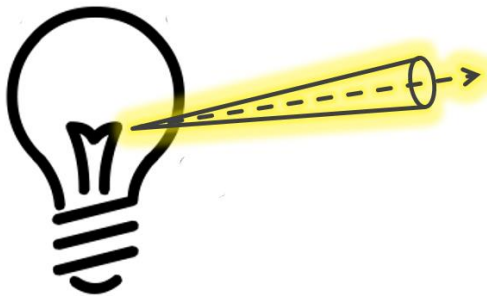


Figuur 9: De evolutie van het lichtrendement van leds ten opzicht van andere lichtbronnen.

3.4. Lichtsterkte (Candela) en Stralingspatroon

Naast de hoeveelheid licht die een lamp genereert, is het ook belangrijk om te weten hoe dat licht ruimtelijk verdeeld wordt.

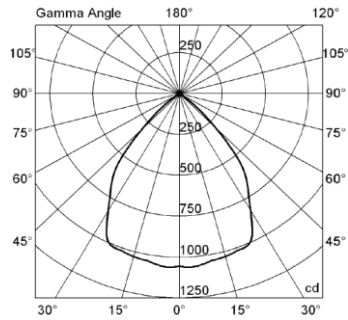
Om aan te geven hoeveel licht er in een bepaalde richting uitgestraald wordt, gebruiken we de lichtsterkte, uitgedrukt in candela (vaak afgekort tot "cd"). Deze grootheid geeft aan hoeveel licht er in één bepaalde richting uit de lamp vertrekt.



Figuur 10: Candela, hoeveel licht vertrekt er vanuit de lichtbron in een bepaalde richting.

In de verlichting zijn we vooral geïnteresseerd hoe de lichtstroom verandert met de richting. Dit noemen we het stralingspatroon.

In principe is dit een 3-dimensionale figuur, die aangeeft hoeveel licht er naar elke richting vertrekt, maar in de praktijk blijkt het stralingspatroon meestal rotatiesymmetrisch, waardoor we deze complexe figuur kunnen herleiden tot een 2-dimensionale grafiek. Als de lichtbron niet voldoende symmetrisch uitstraalt, worden 2 of 4 grafieken gegeven, telkens onder een andere hoek.



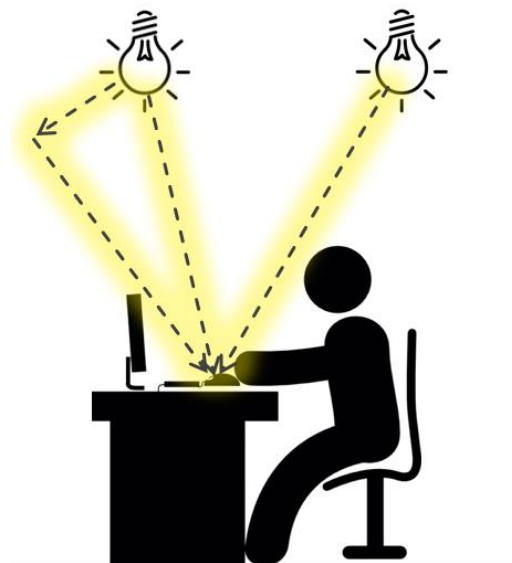
Figuur 11: Stralingspatroon van een lamp, naar voor toe wordt er het meeste uitgestraald. Hoe verder naar achter, hoe minder licht er uit de lamp komt.

Omdat we meestal niet in de absolute candela waarden geïnteresseerd zijn, maar in het verloop ervan, wordt meestal in een stralingspatroon het aantal candela's gedeeld door het totaal aantal lumen. Dit maakt het makkelijker om stralingspatronen van lampen met een verschillend aantal lumen te vergelijken.

3.5. Verlichtingssterkte (lux)

De verlichtingssterkte is de grootte waarmee de elektrotechnisch installateur het meest in contact komt. In tegenstelling tot alle vorige grootheden, kan de installateur met eenvoudige gereedschappen de verlichtingssterkte op de werf zelf opmeten.

Verlichtingssterkte (lux) geeft aan hoeveel lumen er op een bepaald oppervlak invallen of m.a.w. hoe sterk een oppervlakte verlicht is.



Figuur 12: Verlichtingssterkte, hoeveel licht valt er op een bepaald oppervlak.

De verlichtingssterkte op een bepaalde plaats in het lokaal wordt bepaald door de bijdrage van alle armaturen in het lokaal en uiteraard ook het intredend zonlicht. Ook de kleur van muren, plafond, vloer en meubilair heeft een grote invloed. Dit komt doordat veel van het licht dat op het werkoppervlak valt niet rechtstreeks van de armatuur komt, maar via reflectie. De verlichtingssterkte kan zeer sterk variëren binnen een lokaal.

Om een bepaalde taak veilig en performant te kunnen uitvoeren, worden in de norm EN12464 bepaalde minimum eisen gesteld voor de verlichtingssterkte. Hierdoor worden de uniformiteit van de verlichting in een lokaal en nog een aantal andere parameters bepaald. Afhankelijk van de toepassing gelden er andere voorwaarden: op een plek waar precisiewerk moet gebeuren, zijn de eisen vanzelfsprekend veel strenger dan in een stockageruimte.

In de ontwerpfase wordt aan de hand van computersimulaties (Dialux) de verlichtingsinstallatie gedimensioneerd zodat ze aan deze eisen voldoet. Na plaatsing wordt de verlichtingssterkte geverifieerd met een luxmeter. Meer informatie over lichtontwerp volgt later in deze brochure.

3.6. Luminantie (cd/m²)

Met de verlichtingssterkte weten we hoeveel licht er invalt op het oppervlak dat we bekijken. Het oppervlak zal afhankelijk van zijn reflectie-eigenschappen een deel van dit licht in de richting van ons oog weerkaatsen, zodat we kunnen waarnemen hoe 'helder' dit oppervlak is. We noemen dit de luminantie.



Figuur 13: Luminantie, hoeveel licht vertrekt er van het oppervlak naar ons oog.

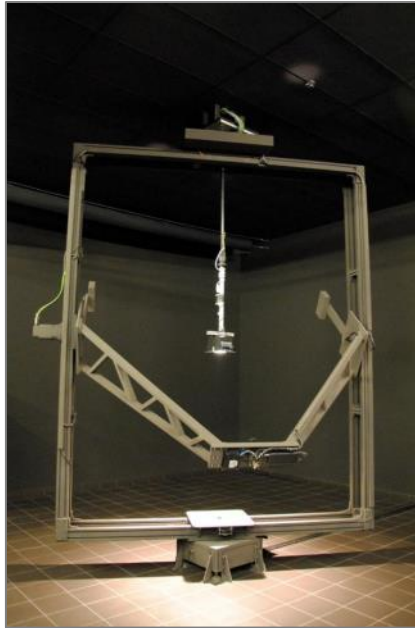
Zo zal bijvoorbeeld de luminantie van een verlichte wand in een ruimte dalen als deze wordt overschilderd in een donkerdere kleur. Dit betekent dat een lichtcel in deze ruimte een lagere luminantie zal meten. Om eenzelfde luxwaarde te bekomen zal de lichtcel mogelijk opnieuw ingesteld moeten worden.

3.7. Licht meten: Lichtstroom en lichtsterkte

Parameters als lichtstroom en het stralingspatroon zijn eigen aan een lichtbron. Het opmeten hiervan vereist gespecialiseerde apparatuur en know-how. Deze metingen worden daarom zelden op de werf uitgevoerd, maar wel in een labo.



Figuur 14: Een integrerende sfeer of bol van Ulbrich. De lamp wordt in de bol geplaatst. Een detector, die afgeschermd wordt van de lamp zelf, ziet dankzij de witte coating van de bol een gemiddelde van het licht van de lamp. Uit dit gemiddelde kan eenvoudig de lichtstroom berekend worden.



Figuur 15: Een near-field goniophotometer. Een camera draait rond de lamp. Uit de data die hieruit gemeten wordt, kan de lichtstroom en het stralingspatroon bepaald worden.

3.8. Licht meten: Verlichtingssterkte

De verlichtingssterkte is een parameter die wél in-the-field gemeten moet worden, omdat ze niet enkel afhangt van de lichtbron zelf, maar ook van de ruimte. De plaatsing van de armaturen, invallend zonlicht, kleur van de muren, geometrie van het lokaal, ... hebben een zeer belangrijke invloed op de verlichtingssterkte.

Hiervoor is dan ook gepaste meetapparatuur beschikbaar: de luxmeter.



Figuur 16: Meting met de luxmeter in een lokaal.

Werken met een luxmeter is vrij eenvoudig ... Je plaatst de detector op de vereiste plaatsen (meestal de plaatsen die de EN12464 voorschrijft voor een specifieke toepassing). De gemeten luxwaarde is onmiddellijk af te lezen op het display.

Luxmeters zijn verkrijgbaar in een grote verscheidenheid aan prijsklassen. De meetnauwkeurigheid is hier uiteraard aan gekoppeld. Er zijn twee belangrijke redenen waarom luxmeters een afwijkende waarde kunnen geven:

- **Hoekafhankelijkheid**

Een luxmeter moet lichtstralen die onder verschillende hoeken op zijn detector invallen, gelijk behandelen. In de praktijk blijken luxmeters bij grotere invalshoeken afwijkingen te vertonen.

- **Spectrum**

Een luxmeter moet de ooggevoeligheidscurve zo goed mogelijk volgen. In de praktijk blijkt dit een zeer belangrijke invloed te hebben op de kostprijs van zo'n toestel.

In de praktijk worden luxmeters geijkt met een halogeenlamp, waardoor gelijkaardige spectra (bijvoorbeeld een gloeilamp of een warmwitte ledlamp) over het algemeen vrij correct zullen gemeten worden. Hoe meer blauw in het licht (koudere kleuren), hoe groter de noodzaak voor een nauwkeuriger toestel.

De nauwkeurigheid wordt aangeduid door de parameter f_1' . Deze is in de datasheet van elk goed meetinstrument terug te vinden.

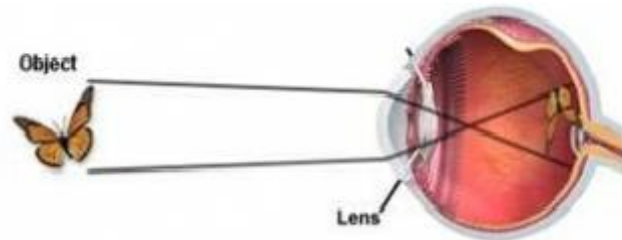
- **Staat van het toestel**

Een luxmeter zal na langdurig gebruik steeds minder juist gaan meten. Om een goede meting te garanderen wordt het toestel jaarlijks opnieuw gekalibreerd om veroudering en vervuiling te corrigeren.

4. Colorimetrie, meten van kleur

4.1. Werking van het oog

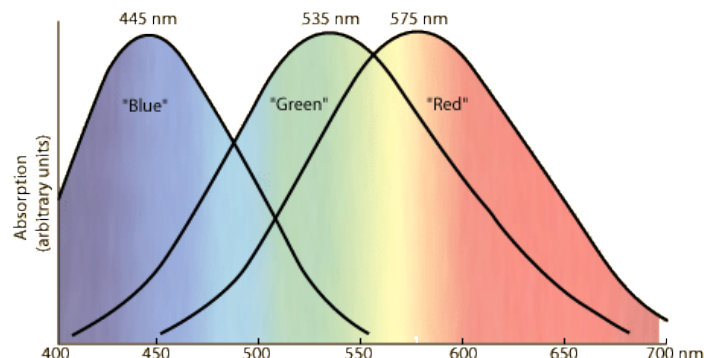
Om de kleurenleer en al haar eigenaardigheden te begrijpen, is het nuttig om een ruw idee te hebben van de werking van het oog.



Figuur 17: Beeldvorming in ons oog.

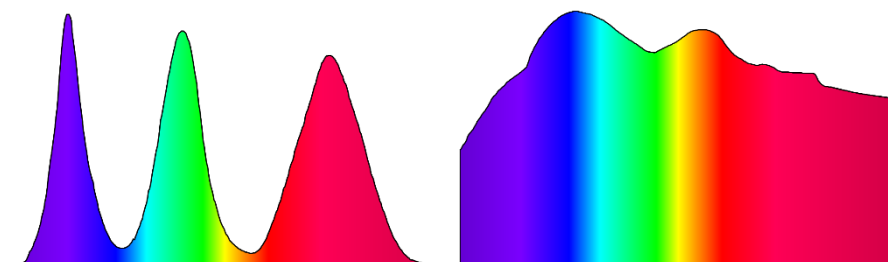
Een lichtstraal met een bepaald kleurspectrum bereikt ons oog. Via de ooglenzen zal deze geprojecteerd worden op het netvlies. Hier zitten de staafjes en de kegeltjes, dit zijn sensorjes die het licht zullen detecteren en signalen doorsturen naar onze hersenen. Je mag deze staafjes en kegeltjes gerust vergelijken met pixels van een videocamera.

Voor ons centraal zicht, overdag, gebruiken we vooral de kegeltjes. Er zijn 3 types kegeltjes: een eerste is vooral gevoelig voor het rode gebied, een tweede voor het groene gebied en een derde voor het blauwe. Door de combinatie van de informatie van 3 naast elkaar liggende kegeltjes, kunnen onze hersenen de kleur bepalen van deze 'pixel'.



Figuur 18: De gevoeligheidscurves van de 3 types kegeltjes.

Omdat er maar 3 types kleur receptoren zijn, gaat er veel informatie over het spectrum verloren. Verschillende spectra zullen voor de kegeltjes hetzelfde resultaat opleveren en dus dezelfde kleurperceptie opleveren. Het meest duidelijke voorbeeld hiervan is een RGB-led. Door de onderlinge verhouding van rood, groen en blauw aan te passen, kunnen we de kegeltjes in onze ogen op zowat alle mogelijke manieren stimuleren en dus alle mogelijke kleuren maken. Hoewel we met RGB-leds nooit hetzelfde spectrum als bv. het zonlicht kunnen realiseren, kunnen we er wel voor zorgen dat onze ogen het licht als dezelfde kleur waarnemen.



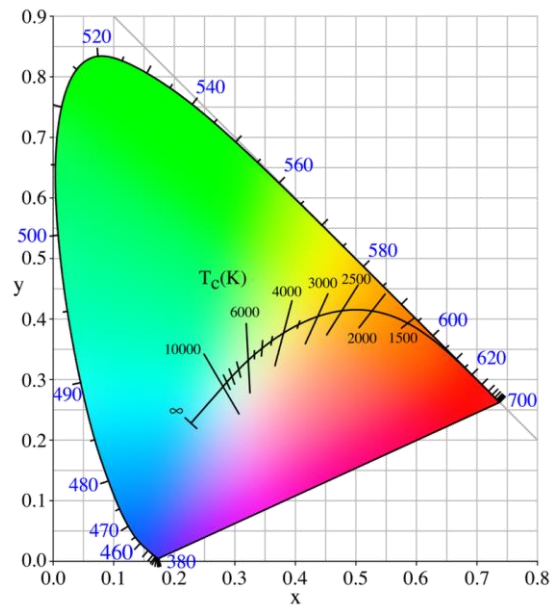
Figuur 19: Links: spectrum van een RGB-led. Rechts: spectrum van het zonlicht. 2 totaal verschillende spectra, maar voor onze ogen exact dezelfde kleur!

De staafjes zijn in veel grotere getallen aanwezig dan de kegeltjes en werken daarom ook bij zeer lage lichtomstandigheden. Er is maar één type staafje en daarom geven ze, in tegenstelling tot de kegeltjes, geen kleurinformatie. Daarom kunnen we bij schemering geen kleuren onderscheiden.

4.2. Kleuren benoemen

Elke mogelijke verhouding tussen de mate waarin de rode, groene en blauwe kegeltjes geprikkeld worden, komt overeen met een kleur die wij kunnen waarnemen.

Al deze mogelijkheden (en dus alle kleuren die onze ogen kunnen herkennen) vinden we terug in onderstaande kleurendiagram.



Figuur 20: De kleurendriehoek toont alle kleuren die we kunnen waarnemen.

Kleuren worden aangeduid door hun xy-coördinaten. Bijvoorbeeld $x=0,6$ $y=0,4$ levert ons een oranje kleur op, terwijl $x=0,2$ $y=0,7$ overeenkomt met groen.

Merk op dat je kleuren als grijs, donkergroen, bruin, ... niet terugvindt in dit diagram. Dat komt omdat het diagram geen informatie geeft over de helderheid. Technisch gezien is grijs hetzelfde als 'donkerwit' en is bruin 'donkeroranje'.

4.3. Kleur en temperatuur

We kennen verschillende tinten wit. Deze worden aangeduid met de kleurtemperatuur in Kelvin (K). Een lagere kleurtemperatuur duidt op een warmere (meer oranje of gele) tint. Een hogere kleurtemperatuur komt overeen met een koude (blauwe) kleurtint.



Figuur 21: Ledlampen met elk een andere kleurtemperatuur. Links 1.000K tot rechts 10.000K (bron foto: Suriya Kankliang).

Welke kleurtemperatuur gekozen wordt, is afhankelijk van de toepassing. Enkele voorbeelden:



Figuur 22: Voor hospitality (vb. in hotels) kiest men meestal voor warme kleurtemperaturen (2700 à 3000K).



Figuur 23: In kantoren wordt gekozen voor neutraal wit. Meestal wordt 4000K geplaatst.



Figuur 24: In ziekenhuizen kiest men voor eerder koudere tinten wit, bijvoorbeeld 5000K. Dit geeft de indruk van netheid.

4.4. Lampen met variabele kleurtemperatuur

Een steeds belangrijker wordend deel van de ledlampen laat toe om verschillende tinten wit te creëren.

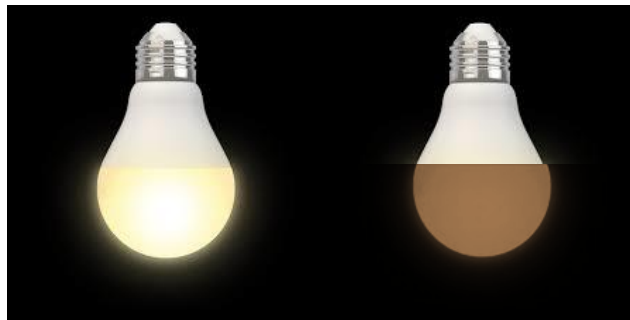
Dit kan onder verschillende vormen voorkomen.

- **Dim-to-warm**

Bij het dimmen van een led blijft de kleur constant. Gloeilampen en halogeenlampen zullen bij dimmen een warmere kleur krijgen. We zijn dit in residentiële toepassingen zo gewend geworden, dat het 'steriele' dimmen van een ledlamp zonder kleurverschuiving, onnatuurlijk kan overkomen.

Daarom worden er ledlampen op de markt gebracht die dit effect nabootsen door naast de witte leds ook amberkleurige leds te voorzien. Door ervoor te zorgen dat bij het dimmen het licht van de amberse leds steeds meer gaat overheersen, zal een gelijkaardig effect bekomen worden als bij de gloeilamp.

Het dim-to-warm principe is vooral gericht op toepassingen waar gloeilampen vervangen worden. Daarom wordt het meestal toegepast in retrofitlampen, maar er zijn ook armaturen die dit toepassen.



Figuur 25: Twee identieke dim-to-warm ledlampen: de linkse niet gedimd, de rechtse sterk gedimd. Het kleurverschil is duidelijk zichtbaar.

- **Tunable white**

Met tunable white kan de kleurtemperatuur van een armatuur binnen een bepaalde range ingesteld worden. Meestal werken deze armaturen met een combinatie van koud- en warmwitte leds, waarbij de onderlinge verhouding de kleurtemperatuur van de armatuur bepaalt.



Figuur 26: Tunable White armatuur. Verschillende tinten wit zijn realiseerbaar.

In tegenstelling tot de dim-to-warm lampen, gaat het hier om complexere sturingen, meestal op basis van DALI of een vergelijkbaar protocol.

Armaturen met tunable white worden meestal ingezet in situaties waar human centric lighting toegepast worden. Hierbij wordt het licht, en dus ook de kleur ervan, aangepast aan de momentele noden van de gebruiker.

In een later hoofdstuk van deze brochure wordt human centric lighting in meer detail besproken.

- **Volledig kleurinstelbare lampen**

Nog een stap verder zijn ledarmaturen en –lampen die naast wit licht ook andere kleuren kunnen creëren.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van minstens 3 verschillende basiskleuren, die onderling gemengd worden om zo een bepaalde kleur te verkrijgen.

Deze lampen worden eerder gebruikt voor effectverlichting dan voor algemene verlichting.

De meeste van deze lampen werken volgens het RGB-principe, maar er zijn ook andere mogelijkheden. In hoofdstuk 4.11 gaan we hier dieper op in.



Figuur 27: Door verschillende leds met elkaar te mengen, kunnen zowat alle kleuren gerealiseerd worden. Meestal worden rode, groene en blauwe leds gebruikt, soms aangevuld met witte leds.

4.5. Kleurweergave

Zoals we in de vorige paragrafen gezien hebben, kunnen verschillende kleurspectra door ons oog op dezelfde manier waargenomen worden.

In de praktijk wordt het nog iets complexer, omdat wij bijna altijd gereflecteerde spectra zien. Hierbij is niet enkel het spectrum van de lichtbron belangrijk, maar ook het reflectiespectrum van het object dat we bekijken.

Als we bijvoorbeeld een sinaasappel bekijken, die verlicht is met een RGB-lamp, zal de sinaasappel eerder een rode kleur hebben. In het RGB-licht zit namelijk zeer weinig oranje, dus kan het ook amper gereflecteerd worden!



Figuur 28: Links: fosfor witte led / Rechts: RGB-led.

Het vergelijken van een RGB-led met een gewone witte led is een extreem voorbeeld van verschillende kleurweergave. Maar ook tussen witte leds onderling zijn grote verschillen in kleurweergave te vinden.

Een goede kleurweergave is een belangrijk kwaliteitskenmerk van een lichtbron. Voor bepaalde toepassingen is kleurweergave extra belangrijk. Denk bijvoorbeeld aan een kledingwinkel: hier is het belangrijk dat de koper de kleur van het textiel correct kan waarnemen. Een matige kleurweergave kan hier roet in het eten gooien.

4.6. CRI – Kleurweergave index

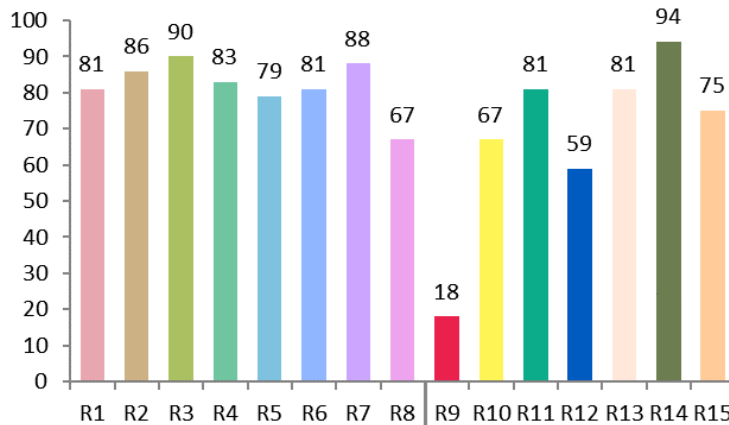
Een relatief oude, maar nog steeds veel gebruikte methode om kleurweergave in één getal te beschrijven is **CRI** en **R_a**.

Het principe is simpel: men neemt 8 of 15 vastgelegde kleurstalen en verlicht deze met de testlamp en met een referentielamp. Het kleurverschil wordt gemeten en aangeduid door een getal, waarbij het getal '100' betekent dat de kleur van het testsample onder beide lampen perfect overeenkomt. Hoe lager het getal hoe groter het kleurverschil.

Het gemiddelde van deze 15 kleurverschillen is de CRI-waarde. Als de 8 eerste kleuren gebruikt worden, spreken we over R_a.



Figuur 29: Goede CRI (links) vs matige CRI (rechts).



Figuur 30: Resultaat van een CRI meting. Van 14 samples werd het kleurverschil tussen de test- en de referentielamp bepaald en weergegeven in deze grafiek. De CRI is het gemiddelde van alle metingen en bedraagt hier 74. Ra is het gemiddelde van de eerste 8 metingen en bedraagt 82.

De spectra van de referentielichtbronnen en de kleursamples zijn perfect gekend. De enige inputparameter is het spectrum van de testlamp. Zodra deze gekend is, is het berekenen van de kleurverschillen niet meer dan een eenvoudige wiskundige taak, die een computer in een handomdraai uitvoert.

Ra / CRI	Doel
65-80	Outdoor verlichting
80-90	Standaard binnenverlichting
>90	Ruimtes waar een goede kleurweergave cruciaal is (Winkel, medisch kabinet, ...)

Figuur 31: Richtwaarden voor Ra en CRI.

4.7. CRI en LEDs – Niet altijd een geslaagde combinatie

Leds hebben vaak problemen om dieprode tinten correct weer te geven. Deze rode tinten zijn echter belangrijk om een aangename kleurweergave te verkrijgen. Dit diepe rood van een lichtbron wordt getest in het 9^{de} kleurstaal (R9), maar in het gemiddelde (de CRI) gaat deze zeer belangrijke informatie vaak verloren.

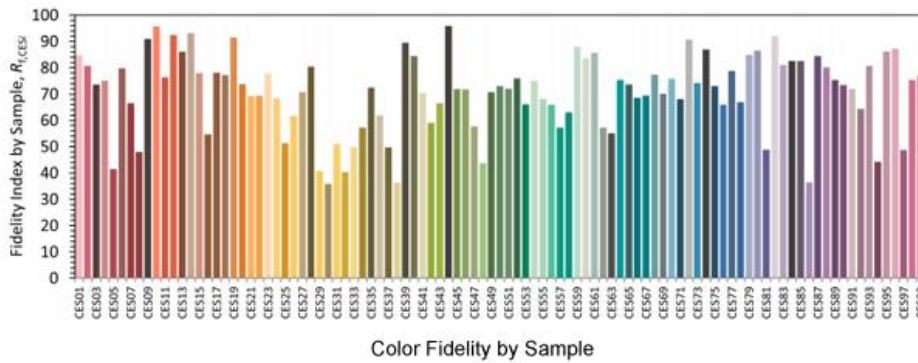
Daarom wordt in documentatie van ledlampen naast de CRI-waarde ook de R9 waarde afzonderlijk opgegeven. De combinatie van CRI en R9 geeft een correcter beeld van de kleurweergave.

4.8. TM30 – een moderner alternatief

De keuze van de samples om de CRI te bepalen, de meeste zijn niet-gesatureerde kleurtinten, is niet optimaal en zorgt ervoor dat de CRI en Ra waarden niet altijd overeenkomen met hoe wij het licht ervaren. Daarom was er nood aan een beter alternatief ...

Een internationale werkgroep heeft in 2015 dit alternatief voor CRI en Ra gelanceerd: TM30.

Men werkt nu met 99 zorgvuldig geselecteerde samples, waaronder een groot aantal gesatureerde kleuren. Dit leidt tot een veel betere overeenkomst tussen het berekende getal en onze perceptie van het licht. Het principe is verder identiek aan de berekening van CRI. Het gemiddelde van de 99 kleurafwijkingen noemt men nu R_f . De f staat voor fidelity, of waarheidsgetrouwheid van de kleur.



Figuur 32: Het resultaat van een Rf meting. 99 kleurverschillen werden berekend. Door het gemiddelde hiervan te maken, berekenen we Rf.

4.9. Kleurgamut

TM30 levert nog een andere meetwaarde: T_g . Dit geeft aan welke invloed de lichtbron heeft op de verzadiging van de kleuren.

Als T_g 100 is, blijft de verzadiging van de kleuren gemiddeld gezien gelijk.

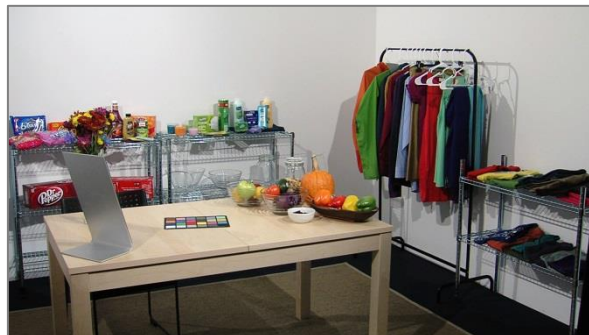
Is deze meting lager dan 100, worden kleuren minder verzadigd en dus iets meer pastel. Een ruimte zal minder kleur krijgen en daardoor grauwer lijken dan ze in werkelijkheid is. Dit soort licht wordt over het algemeen niet als aangenaam ervaren.

Als T_g hoger is dan 100, worden kleuren net meer gesatureerd en roze tinten verschuiven naar het rode toe, pastelgroen wordt eerder groen, enzovoort ... Dit ervaren wij wel als aangenaam.

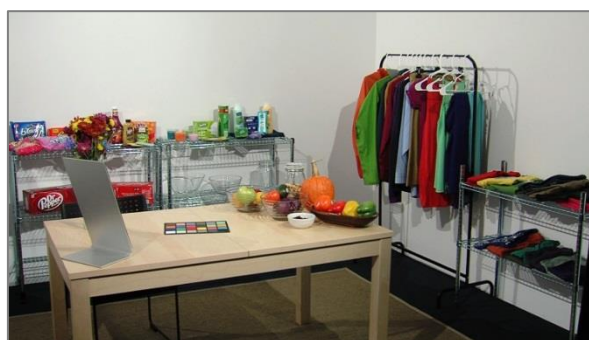
Als T_g echter té hoog wordt (>115), kan het zijn dat we té veel kleur ervaren, wat na een tijd kan gaan storen.

In winkels kan dit echter wel interessant zijn, omdat de koopwaar er zo aantrekkelijker uit zal zien.

In de foto's hieronder wordt dezelfde ruimte met verschillende lichtbronnen verlicht. De verschillen zijn opmerkelijk. (Let vooral op de rode en oranje objecten)



Figuur 33: Kleuren worden erg natuurlijk weergegeven. ($R_f = 92 / R_g = 101$)



Figuur 34: Kleuren worden sterker verzadigd. Dit kan een interessante lamp zijn voor winkelverlichting. ($R_f = 64 / R_g = 120$)



Figuur 35: Kleuren worden gedesatureerd. De ruimte ziet er grijs uit. ($R_f = 66 / R_g = 79$)

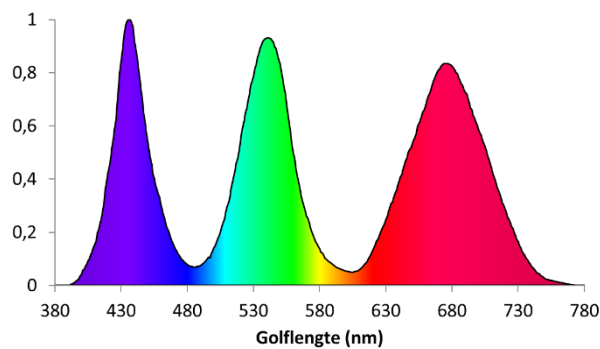
4.10. Kleurmengsystemen

Er zijn verschillende ledlampen op de markt die toelaten om hun kleur vrij in te stellen. Hiervoor worden verschillende technieken gebruikt, met elk hun voor- en nadelen. De belangrijkste zijn:

- **RGB**

Het eenvoudigste systeem bestaat uit enkel een rode, een groene en een blauwe led. De keuze voor deze kleuren is geïnspireerd op de manier waarop onze ogen kleur waarnemen. Hierdoor kunnen we met slechts 3 basiskleuren een zeer groot gamma aan kleuren creëren, inclusief witte tinten.

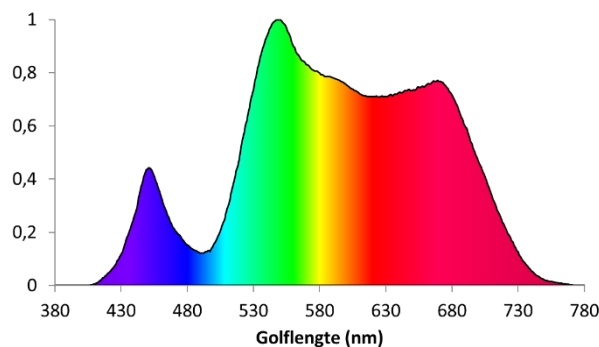
Een belangrijk nadeel van RGB is dat er grote leemtes zitten tussen de spectra van de rode, groene en blauwe leds. Hierdoor is de kleurweergave extreem laag. Deze lampen zijn daarom niet geschikt voor algemene verlichting. Om kleureffecten of –accenten te creëren, kunnen ze wel prima ingezet worden.



Figuur 36: Het spectrum van een RGB-led die wit licht genereert. Merk op dat er grote gaten zitten bij bv. geel en oranje. Een goede weergave van kleuren met dit 'witte' licht is niet mogelijk.

- **RGBW**

Door aan een RGB-mengsysteem een witte led toe te voegen, kan er wel wit gemaakt worden met een acceptabele of goede kleurweergave. Lampen die op dit systeem gebaseerd zijn, kunnen zowel ingezet worden voor kleuraccenten als voor algemene verlichting.



Figuur 37: Combinatie van RGB en een witte led (RGBW). De kleurweergave wordt voornamelijk bepaald door de kwaliteit van de witte led. De RGB-leds kunnen gebruikt worden om de kleur bij te sturen.

- **Koud wit/Warm wit**

Een koude en een warm- witte led worden samengebracht in een mengsysteem. Er kunnen alleen maar tinten wit gecreëerd worden die tussen de beide tinten wit in liggen. Tegenover deze beperking staat dat de kleurkwaliteit voor alle tinten hoger ligt dan bij de vorige mengsystemen.

4.11. Blue Light Hazard – de gevaren van blauw licht

Om een witte led te produceren vertrekt men van een blauwe ledchip. Hierdoor worden leds regelmatig geassocieerd met “Blue Light Hazard”. Dit is het gevaar dat een teveel aan blauw licht schade kan toebrengen aan de ogen.

Dit is echter niet terecht ...

Het aandeel blauw in een warm witte led ligt in dezelfde orde grootte als deze van een gloeilamp. Naarmate de kleurtemperatuur stijgt, stijgt ook het aandeel blauw licht. Deze eigenschap geldt echter niet enkel voor leds, maar voor alle lichtbronnen, inclusief het zonlicht.

Bij de beoordeling van het risico op oogschade, wordt gewerkt met risicogroepen. Gaande van RG0 (geen risico) tot RG3 (hoog risico).

Zo goed als alle (led)verlichtingsarmaturen vallen dan ook in de laagste risicogroep (RG0).

Losse leds en ledmodules kunnen wel in risicogroep RG1 vallen (laag risico) en zelfs onderaan RG2 (gemiddeld risico). In de praktijk betekent dit dat langdurig in deze leds kijken vanop korte afstand oogschade kan veroorzaken.



Figuur 38: Als producten in RG2 (gemiddeld risico) vallen, moet deze markering aangebracht worden.

In principe zullen we bij het kijken naar een RG2-lichtbron automatisch wegstappen. Als we deze reflex onderdrukken kan er wel schade ontstaan. Dit zou kunnen voorkomen tijdens het monteren van een ledmodule.

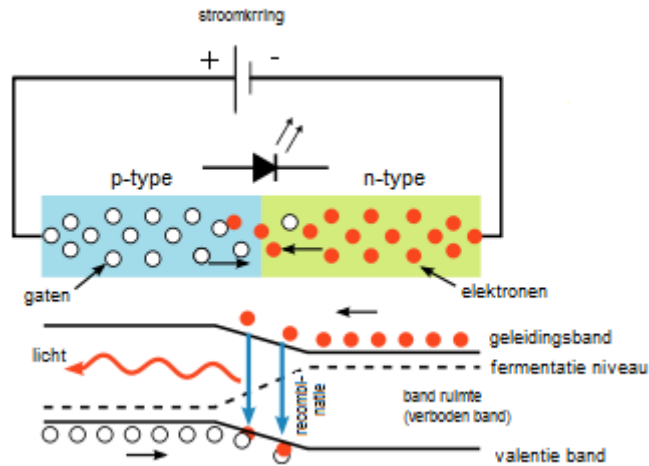
Hoewel er voor de eindgebruiker geen risico's zijn, is het als installateur toch verstandig om hier je voorzorgen te nemen en een beschermbril te dragen bij het werken aan deze modules.

5. Leds

5.1. Werking van een led

Zoals elke diode heeft ook een led een positieve en een negatieve zijde. De positieve zijde (anode) bestaat uit een kristalrooster, waarin elektronen ontbreken. Het rooster van de negatieve zijde (kathode) heeft elektronen te veel.

Als we door een diode in doorlaatzin stroom laten vloeien, lopen er elektronen van de negatieve naar de positieve zijde. Zodra een vrij elektron in een open plek in het rooster aan de positieve zijde valt (men spreekt dan van recombinatie), zal het zijn overtollige energie uitstralen als een foton (lichtdeeltje).

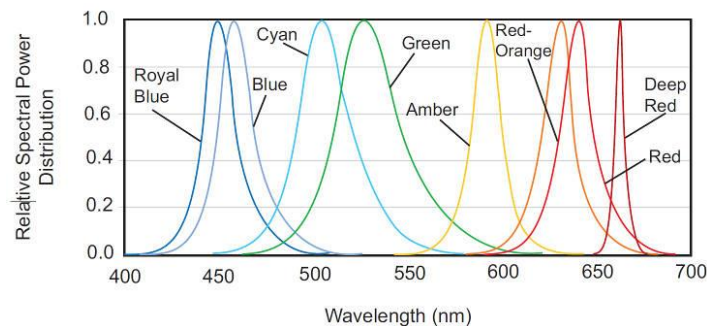


Figuur 39: Schematische voorstelling van de werking van een led.

De samenstelling van de roosters bepaalt welke golflengte dit foton zal hebben en dus ook welke kleur de led zal uitstralen.

Het verschil in energie van het elektron voor en na de recombinatie bepaalt welke golflengte er uitgestraald wordt. Omdat verschillende recombinaties binnen een rooster slechts een kleine variatie in energieverval vertonen, zal er steeds ongeveer dezelfde golflengte uitgestraald worden. Het spectrum van een led zal daarom altijd bestaan uit een smalbandige gaussverdeling (zie figuur).

Leds kunnen dus enkel gesatureerde kleuren maken (de kleuren van de regenboog). Voor onverzadigde tinten (zoals wit, roze, ...) is een veel breder spectrum nodig, wat met een led onmogelijk rechtstreeks te realiseren is.

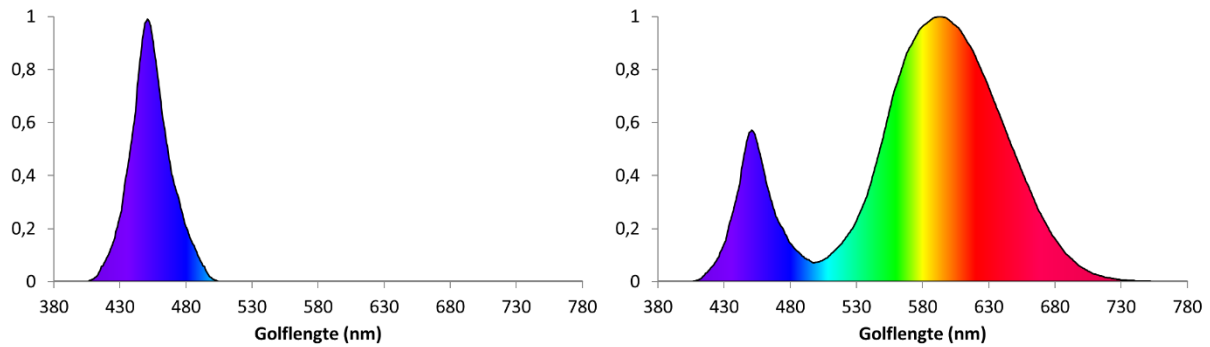


Figuur 40: Spectra van verschillende leds (bron: Philips Lumiled).

5.2. Fosforen

Voor de productie van witte leds maakt men gebruik van blauwe leds in combinatie met materialen die fluorescerende eigenschappen bezitten.

Deze materialen, fosforen genoemd, absorberen een deel van het blauwe licht en zetten dit om naar andere golflengten (groen, geel, rood, ...). De combinatie van verschillende van deze golflengten maakt blauw licht.



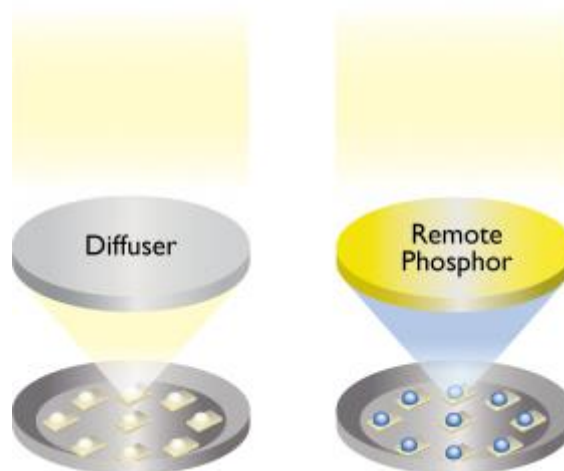
Figuur 41: Links: het spectrum van een blauwe led. Rechts: dezelfde blauwe led met een fosfor. Een deel van het blauwe licht is door de fosfor omgezet in andere kleuren. Samen vormt dit wit licht.

Meestal wordt de fosforlaag direct bovenop de ledchip gelegd. Dit heeft echter als nadeel dat de ledchip de fosfor sterk opwarmt, wat een belangrijke invloed heeft op de performantie.



Figuur 42: De traditionele manier om fosfor aan te brengen, direct op de ledchip. Dit zorgt voor de typische gele kleur als de led uit is.

Een interessant alternatief is om de led en de fosfor van elkaar te scheiden. Bijvoorbeeld door de fosfor aan te brengen op een plaatje dat op een zekere afstand van de led geplaatst wordt.

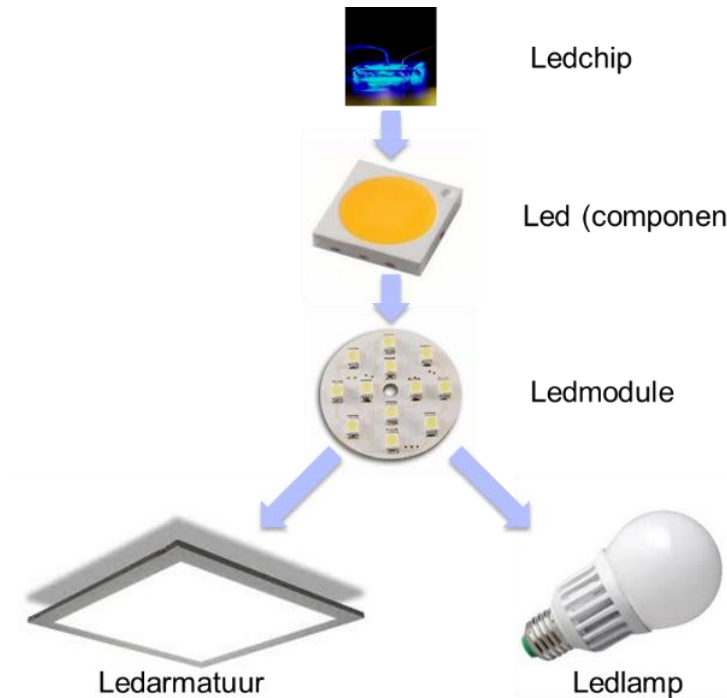


Figuur 43: Links: traditioneel ledsysteem, waarbij de fosfor op de leds zelf zit. Rechts: Remote Phosphor systeem, waarbij blauwe leds gebruikt worden. De fosfor is hier als een laag op de diffuser aangebracht.

Doordat de fosfor minder opwarmt, krijgen we ledlampen die langer meegaan, efficiënter zijn en minder kleurverschuiving zullen hebben tijdens hun levensduur.

5.3. Integratieniveau

Als we over 'leds' spreken, merken we dat mensen verschillende betekenissen geven aan dit woord. Een ledproduct kan worden opgedeeld in verschillende integratieniveau's, die allemaal weleens 'led' worden genoemd.



Figuur 44: De verschillende integratieniveau's van producten met 'leds'.

In principe komt de installateur enkel afgewerkte ledproducten tegen (armaturen en ledlampen). In bepaalde gevallen wordt ook met ledmodules gewerkt (bv. ledstrips). Ledmodules zijn geen afgewerkte producten, en bij de inbouw moet nog rekening gehouden worden met mechanische, optische en thermische aspecten. Bij ledmodules horen meestal installatierichtlijnen, die vaak over het hoofd worden gezien. Dit kan een belangrijke invloed hebben op de performantie, maar vooral ook op de levensduur van de ledmodule.

6. Leddrivers

6.1. Inleiding

Zoals we in het vorige hoofdstuk besproken hebben, worden leds aangestuurd met constante gelijkstroom, waarbij ze een relatief lage spanning nodig hebben. Om de leds in deze optimale omstandigheden te laten werken, worden leddrivers gebruikt. Bovendien kunnen leddrivers ook gebruikt worden om leds te dimmen. In dit hoofdstuk gaan we de verschillende types leddrivers bespreken en hun belangrijkste technische kenmerken.

Afhankelijk van het type ledmodule wordt een keuze gemaakt tussen een spannings- of stroomgestuurde ledvoeding.

6.2. Spanningsgestuurde leddrivers

Een **spanningsgestuurde driver** zal ervoor zorgen dat er op de uitgang een constante spanning staat. De stroom past zich aan naargelang de belasting. Wordt de belasting te groot, zal een bepaalde drempelstroom overschreden worden en zal de voeding in beveiligingsmode gaan.



Figuur 45: Deel van de opdruk van een spanningsgestuurde leddriver. Duidelijk te herkennen aan de aanduiding van spanning en vermogen.

Omdat leds altijd met een constante stroom werken, zal op de ledmodule nog een omzetting moeten gebeuren van een constante spanning naar een constante stroom. Dit kan een zeer eenvoudige weerstand zijn, maar soms worden ook relatief complexe elektronische schakelingen gebruikt, om de verliezen die ontstaan bij deze conversie beperkt te houden.



Figuur 46: Ledmodule met weerstanden om de stroom te limiteren.

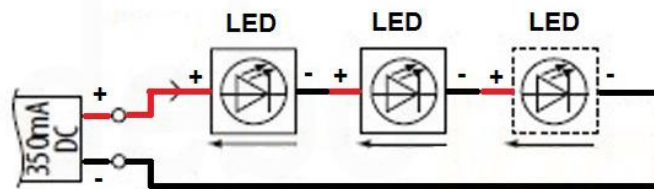


Figuur 47: Ledmodule met een meer complexe schakeling om een spanning in een constante stroom om te zetten.

6.3. Stroomgestuurde leddrivers

Een **stroomgestuurde driver** werkt net omgekeerd ... De driver tracht de stroom constant te houden, en past hiervoor de spanning aan, naargelang de belasting. Wordt die spanning te hoog, gaat de voeding in beveiliging.

Dit soort stroombronnen is in de elektriciteitswereld een totaal nieuw concept en zorgt nog altijd voor heel wat verwarring: alle leds moeten in serie geschakeld worden, wat voor de installateur niet intuïtief werkt.



Figuur 48: Ledlampen in serie.

Bovendien betekent in serie schakelen dat de totale spanning hoog wordt als er veel leds worden aangesloten. Dit kan een risico op elektrocutie opleveren. Door dit risico is het aantal modules dat we kunnen aansluiten op een stroomvoeding eerder beperkt.

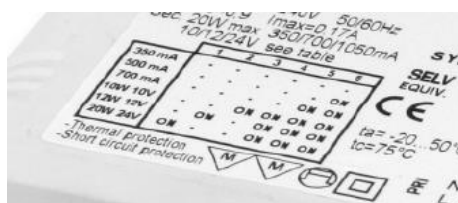


Figuur 49: Constante stroomvoeding: levert 900mA. De som van de voorwaartse spanningen van de (in serie geschakelde) leds moet tussen de 27 en de 42V liggen. De voeding zal niet correct werken als er te weinig leds worden aangesloten!

Vaak hebben stroomvoedingen niet enkel een maximale, maar ook een minimale belasting. In ons voorbeeld bedraagt dit 27V (fig. 49) . Als we te weinig leds op onze voeding aansluiten, en de minimale spanning niet gehaald wordt, kan het zijn dat de voeding ver buiten zijn spec's gaat werken. In sommige gevallen kan het gebeuren dat de stroom zeer hoog oploopt en de aangesloten ledmodules beschadigd worden.

6.4. Universele leddrivers

Er bestaan ook leddrivers waarvan de spanning of stroom die ze leveren instelbaar is. Dit principe heeft vooral logistiek zeer grote voordelen. Sommige toestellen hebben dipswitches, waarmee de instelling kan gemaakt worden. Andere types detecteren zelf het type belasting, deze werken in 2 zones: constante spanning en constante stroom.



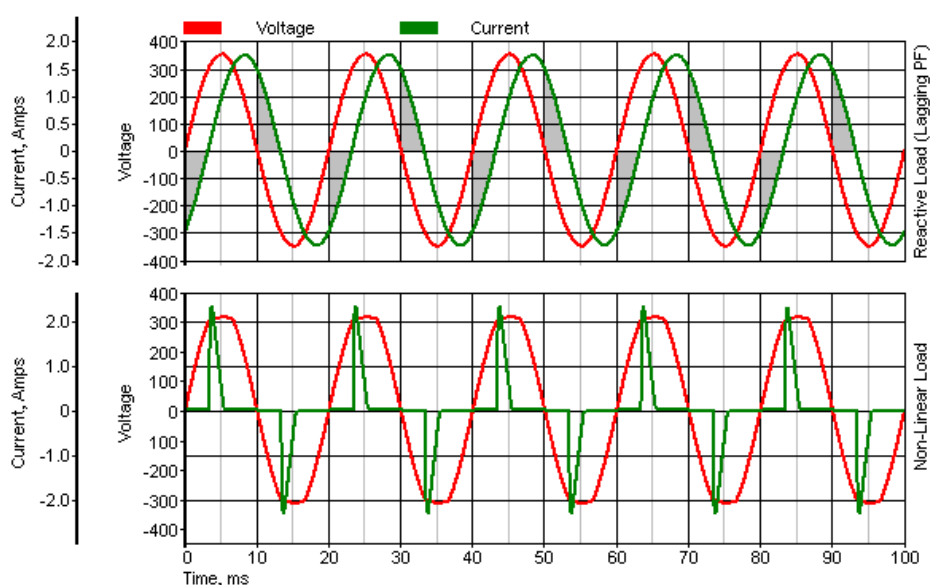
Figuur 50: Universele leddriver: kan ingesteld worden als spannings- of stroombron: 350mA, 500mA, 10V, 12V of 24V.



Figuur 51: Universele LED driver: bepaalt automatisch of constante spanning (12V) of constante stroom (350mA) nodig is voor de aangesloten leds.

6.5. Powerfactor

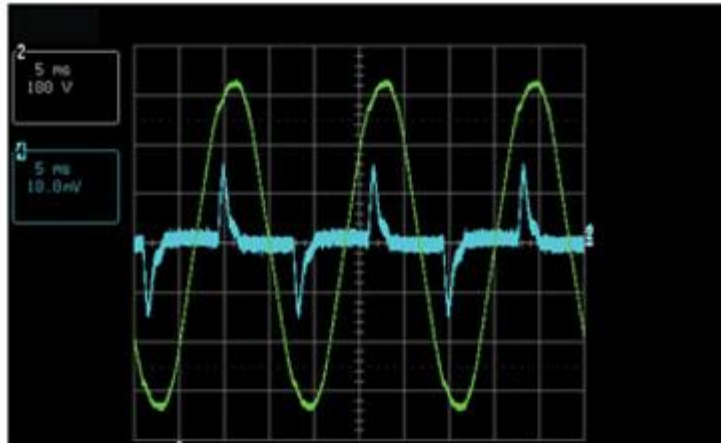
In het ideale geval (een gloeilamp is hier een mooi voorbeeld van) is de stroomvorm die een toestel uit het net vraagt perfect sinusvormig. Voor veel apparatuur is dit niet het geval ... De elektriciteit voorziet twee grootheden om dit uit te drukken: Powerfactor en cos phi. Hoewel ze veel dingen gemeen hebben, zijn het toch twee totaal andere fenomenen. De Powerfactor geeft aan hoeveel de stroom afwijkt van de ideale sinus. Cos phi duidt de faseverschuiving tussen de spanning en de stroom aan, die het gevolg is van een inductieve of capacatieve belasting.



Figuur 52: cos phi (bovenaan) vs powerfactor (onderaan).

Zowel een lage Powerfactor als een lage cos phi, heeft tot gevolg dat een toestel hogere stromen uit het elektriciteitsnet vraagt dan een beter toestel met hetzelfde vermogen. Dit heeft hogere kabelverliezen tot gevolg en dus ook meer opwarming. Vanzelfsprekend zullen ook zekeringen reageren op de hogere stromen, waardoor bij eenzelfde stroom minder vermogen uit een kring kan worden gehaald.

Voor elektronische schakelingen zoals led-drivers is het de powerfactor die roet in het eten komt gooien. De elektronica die in de driver zit, kan een stroomvorm veroorzaken die sterk afwijkt van een sinus. In extreme gevallen is die stroom zelfs bijna naaldevormig.



Figuur 53: In het blauw de stroomvorm van een kwalitatief inferieure ledbuis. In het groen de spanning.

In het voorbeeld van fig. 53 hebben we een fluolamp vervangen door een ledbuis. De originele fluolamp verbruikt, inclusief zijn VSA, 40W en heeft een $\cos \phi$ van 0,86. De ledbuis verbruikt slechts 18W en heeft een powerfactor van 0,3. Als we hieruit de stromen berekenen is dit 0,20A voor de originele lamp en 0,26A voor de ledvervanglamp.

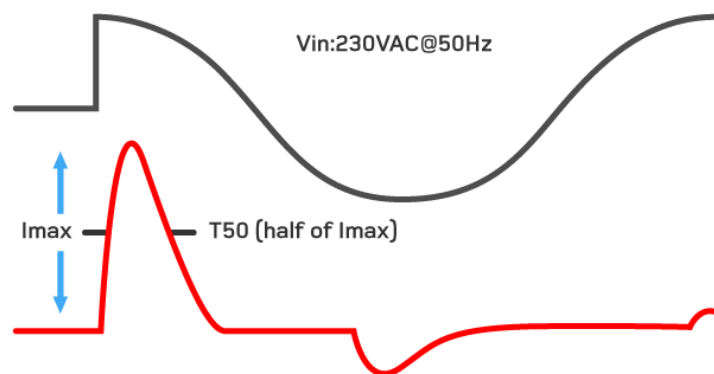
De ledvervanglamp zal dus een veel hogere stroom hebben dan de originele lamp, ondanks haar lager vermogen!

6.6. Inschakelstroom

Inschakelstromen vormen een vaak erg onderschat probleem in de ledverlichting. Zoals elk elektronisch apparaat trekken ledvoedingen een zekere inschakelstroom.

Een inschakelstroom (of inrush current) is een kortstondig verschijnsel dat zich voordoet onmiddellijk nadat het apparaat op het net wordt geschakeld.

Condensatoren binnenin het toestel willen zich zo snel mogelijk opladen en trekken hiervoor een grote hoeveelheid stroom uit het elektriciteitsnet.



Figuur 54: Bovenaan: de netspanning, die plots ingeschakeld wordt. Onderaan: de stroomvorm van de ledriver.

In bovenstaande figuur wordt een inschakelpeik getoond. Bovenaan zie je hoe de netspanning plots wordt ingeschakeld en vervolgt als een sinus.

Onderaan zie je het resultaat hiervan in de stroomvorm. Onmiddellijk na het inschakelen ontstaat een piekstroom die vele malen hoger ligt dan de normale stroom van het toestel. Deze piekstroom wordt beschreven door enerzijds de hoogte van de stroom en anderzijds de duurtijd van het fenomeen.

Een elektrische installatie is voorzien om deze piekstromen op te vangen. Afhankelijk van hun zekeringscurve (B, C, D) kunnen automatische zekeringen een piekstroom verdragen die een aantal keer hun nominale stroom bedraagt. Meestal volstaat dit, maar bij ledverlichting komt het regelmatig voor dat relatief grote aantallen armaturen op exact hetzelfde moment worden ingeschakeld, waardoor de inschakelstromen van hun drivers bij elkaar opgeteld een zeer grote inschakelstroom uit het net trekken.

De grootte en duurtijd van dit inschakelfenomeen hangt af van de interne opbouw van de driver, van de impedantie van het elektriciteitsnet (afstand tot de transformator, dikte van de leidingen, ...) en tenslotte van het moment waarop geschakeld wordt. Het spreekt voor zich dat als de schakelaar gesloten wordt in de buurt van de nuldoorgang, de inschakelstroom minimaal zal zijn. Hoe dichterbij de top van de sinus inschakelen, hoe groter het risico op uitschakelen van de automaat. Dit verklaart waarom problemen met inschakelstromen niet altijd optreden en vaak pas later aan het licht komen.

Inschakelstromen kunnen nog andere problemen veroorzaken ... ze kunnen ook allerlei contacten beschadigen. Bijvoorbeeld de lichtschakelaar of een relais in een detector of in een relaismodule.

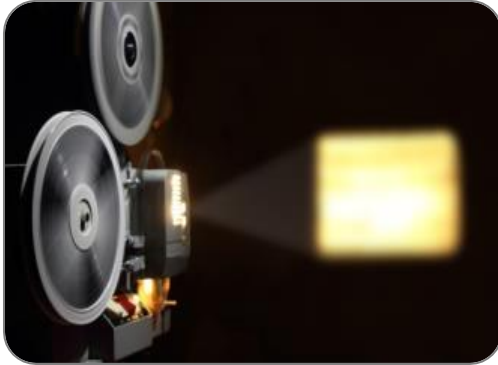
Informatie over de inschakelstromen wordt niet door elke fabrikant gegeven. Diegenen die dat wel doen geven meestal de stroom en de duurtijd op. Sommige fabrikanten geven ook rechtstreeks op hoeveel van hun toestellen er op een bepaald type automaat kunnen worden aangesloten.

7. Stroboscopisch effect

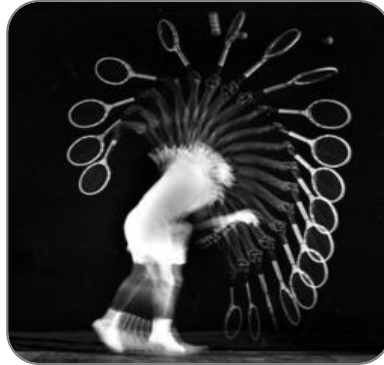
We spreken van stroboscopisch effect als de hoeveelheid licht van een lichtbron periodiek verandert.

Als deze variaties een frequentie hebben die lager is dan 80Hz (80 keer per seconde aan en uit), spreken we over “**flikkering**” van lichtbron. De gemiddelde persoon kan dit met het blote oog waarnemen.

Boven 80Hz spreken we over **stroboscopisch effect**. De variatie in het licht is niet meer rechtstreeks zichtbaar, maar bewegingen kunnen schokkend waargenomen worden.



Figuur 55: Flikkering van lichtbron.



Figuur 56: Effect van stroboscopische lichtbron.

Hoewel we het stroboscopisch effect niet onmiddellijk kunnen zien, zorgt het wel voor een extra belasting van de delen van onze hersenen die instaan voor de verwerking van ons zicht.

Hierdoor kan **hoofdpijn** en **vermoeidheid** ontstaan. Vaak worden ook **concentratieproblemen** gelinkt aan stroboscopisch effect.

Omdat leds veel sneller dan andere lichtbronnen reageren op veranderingen in de elektrische stroom, zijn ze veel gevoeliger aan stroboscopisch effect.

Het al dan niet aanwezig zijn van stroboscopisch effect wordt niet bepaald door de leds zelf, maar door de driver. Deze kan extern zijn of ingewerkt in bijvoorbeeld een retrofit ledlamp.

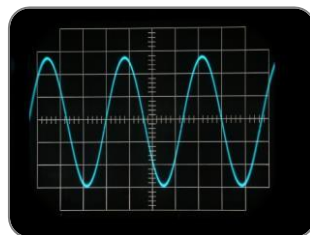
7.1. Oorzaken van stroboscopisch effect

Bij verlichtingstoestellen zijn er 2 mogelijke oorzaken van stroboscopisch effect:

- **Het elektriciteitsnet**

Stroboscopisch effect kan voorkomen als de voeding de sinus van de netspanning onvoldoende onderdrukt.

Omdat de led in de positieve en in de negatieve zijde van de sinus licht geeft, zal deze niet aan 50Hz, maar aan 100Hz flikkeren.



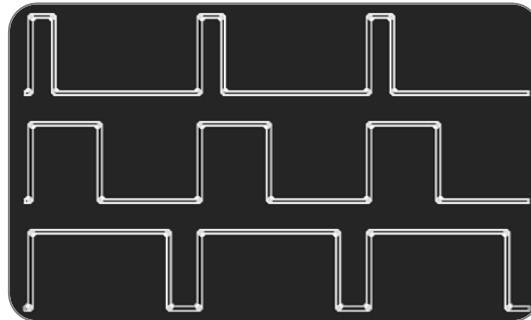
Figuur 57: de sinus van de netspanning.

Vaak is een gebrek aan plaats om voldoende filtering te voorzien in de driver een belangrijke oorzaak van stroboscopisch effect. Hoewel het kan voorkomen in alle types drivers, merken we vaak dat retrofitlampen en driverloze ledlampen het meeste last hebben van stroboscopisch effect.

- **PWM Dimming**

Afhankelijk van de keuze van PWM-frequentie kan stroboscopisch effect optreden.

Verskillende leddimmers werken met frequenties in de orde van grootte van 200 Hz. Dit is veel te laag en kan storend werken.



Figuur 58: PWM golfvormen. Bredere pulsen (onderaan) leiden tot meer licht uit de led.

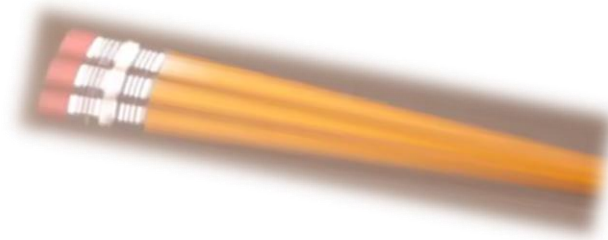
Boven 1kHz wordt het licht over het algemeen als stabiel beschouwd. Toestellen van hogere kwaliteit zullen daarom minstens op deze frequentie werken. Jammer genoeg geven de meeste fabrikanten van PWM-gedimde ledproducten de gebruikte PWM-frequentie niet op.

7.2. Stroboscopisch effect vaststellen

Tot nog toe was het meten van het stroboscopisch effect niet evident. Er bestaan enkele methodes, maar die zijn niet altijd accuraat en spreken elkaar in verschillende gevallen tegen.

Recent onderzoek heeft geleid tot een totaal nieuwe methode om de impact van het stroboscopisch effect van een lichtbron in 1 getal samen te vatten: de **SVM of Stroboscopic Visibility Measure**. Momenteel wordt deze methode nog niet vaak toegepast, maar daar zal in de loop van de komende jaren verandering in komen.

Er zijn echter enkele eenvoudige trucs om met eenvoudige middelen stroboscopisch effect vast te stellen. Door eenvoudig met een potlood te zwaaien kan stroboscopisch effect gedetecteerd worden. Als het potlood vloeiend beweegt is er met zekerheid te besluiten dat het licht stabiel is. Zodra meerdere potloden te zien zijn (zoals op de afbeelding), is er stroboscopisch effect in het licht aanwezig.



Figuur 59: Effect van stroboscopisch effect op een bewegend potlood.

8. Dimmen van leds

8.1. Inleiding

De hoeveelheid licht die leds leveren is bijna perfect evenredig met de stroom die erdoor vloeit. En als die stroom plots verandert, volgt de hoeveelheid licht binnen een fractie van een seconde.

Dit maakt dat leds de gemakkelijkste lichtbronnen zijn om te dimmen ... En toch gaat het vaak mis!

In dit hoofdstuk gaan we dieper in op deze problemen.

8.2. Rechtstreekse dimming

In het ideale geval kunnen we leds dimmen door **rechtstreekse** aanpassingen te doen aan de elektrische parameters van de led zelf. Dit levert, mits goed geïmplementeerd, een zeer nauwkeurige **dimming** op. We kunnen leds dimmen door de stroom aan te passen. In grote lijnen zijn er 2 manieren om dit te verwezenlijken:

- **Stroomdimming**

De meest fundamentele manier om leds te dimmen is door simpelweg hun hoeveelheid stroom aan te passen.

De hoeveelheid licht die een led geeft is namelijk bijna perfect evenredig met de stroom die door de led vloeit.

- **Puls breedte modulatie (PWM)**

Een andere methode om leds te dimmen, is om ze aan een hoge snelheid in- en uit te schakelen. Als dit voldoende snel gebeurt, nemen we dit waar als dimmen van de led.

Beide methodes hebben hun voor- en nadelen ...

In de praktijk is PWM het meest populair, omdat dit in een digitale omgeving zeer eenvoudig te realiseren is. Stroomdimming vereist iets meer hardware en is dus duurder.

Zoals de naam het al aangeeft, werkt stroomdimming enkel bij stroomgestuurde ledmodules. Heel veel ledproducten zijn echter spanningsgestuurd en worden in parallel geschakeld, deze kunnen enkel gedimd worden met PWM.

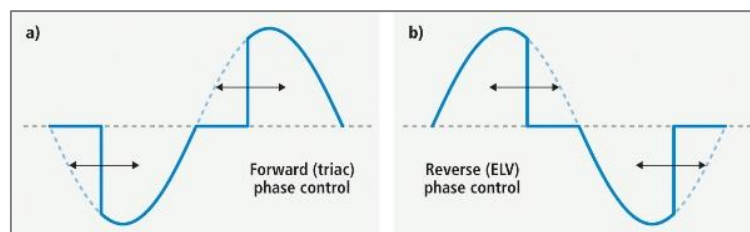
Een belangrijk minpunt van PWM is dat de stroom en de lichtoutput een blokgolf volgen. De fabrikant van de dimmer moet tijdens het ontwerp een frequentie kiezen voor de PWM. Hoe hoger deze frequentie, hoe meer storing de PWM zal veroorzaken, en hoe moeilijker het voor de fabrikant wordt om aan de normen te voldoen. Een te lage frequentie kan ervoor zorgen dat de PWM zichtbaar wordt.

8.3. Problemen bij rechtstreekse dimming

Indien goed uitgevoerd, vormt rechtstreekse dimming de garantie voor een feilloos gebruik.

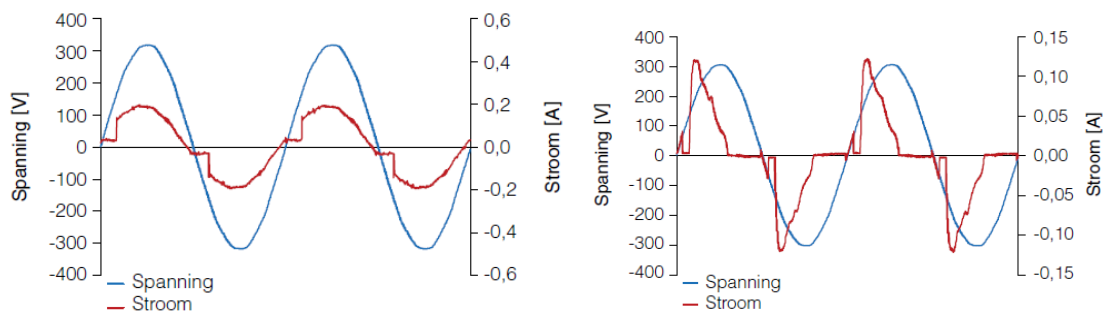
8.4. Fasedimming

Retrofitlampen echter worden meestal op 230V gevoed, waarbij de elektronica tussen de leds en de netspanning verhindert dat de we leds rechtstreeks kunnen dimmen. We spreken van **fasedimming**, waarbij een stukje van de sinus van de netspanning wordt weggelaten, waardoor er minder energie naar de lamp gestuurd wordt en deze dus dimt.



Figuur 60: Twee manieren van fasedimming. Links: fase aansnijding. Rechts: fase afsnijding.

Dit principe werkt perfect bij gloeilampen, maar bij ledlampen is dit niet gegarandeerd ...



Figuur 61: De stroomvorm van twee niet gedimde lampen. Links: gloeilamp. Rechts: ledlamp.

Bovenstaande figuur toont de stroomvorm van een gloeilamp (links) en een ledlamp (rechts). Waar de stroom door de gloeilamp een bijna perfecte sinus is, heeft die van de ledlamp een erg grillig patroon. Het is duidelijk te zien dat ledlampen zich elektrisch totaal anders gedragen dan gloeilampen.

Een standaard leddriver is niet dimbaar met fase-dimming. Eén van de taken van zo'n leddriver is net om de stroom door de led constant te houden, ook als de netspanning verandert. Door dit principe zal de leddriver de invloed van het dimmen proberen tegen te werken en zal de driver meer stroom uit het net trekken om de dimming te compenseren.

Met speciaal hiervoor ontwikkelde elektronische schakelingen kan ervoor gezorgd worden dat de ledlamp gedimd wordt door de fasedimmer. Het type dimmer dat gebruikt wordt, de instellingen ervan, het aantal lampen in een circuit, de bekabeling, het elektriciteitsnet, ... zijn allemaal factoren die de ontwerper van de elektronica niet in de hand heeft, maar die mee de goede werking van het systeem bepalen. Het is duidelijk dat het ontwerpen van een ledlamp die consequent in alle omstandigheden gelijk reageert zeer moeilijk is.



Figuur 62: Geopende ledlamp. In de lampvoet zit de dimbare leddriver.

8.4.1. Problemen bij fase dimming

Fabrikanten van dimmers en lampen publiceren tabellen die aangeven welke lamp/dimmer-combinaties goed werken. Deze tabellen zijn een goede richtlijn, maar leveren in de praktijk niet altijd een garantie op een perfecte compatibiliteit. Zelf testen is zeer aan te bevelen, maar waar moet je zoal op letten?

De meeste tekortkomingen in de compatibiliteit zijn eenvoudig te detecteren, hier hoeven we niet veel over te vertellen. Het spreekt voor zich dat de leds vlot moeten dimmen, niet mogen knipperen of zoemen.

Maar andere mogelijke problemen vallen vaak niet op het eerste zicht op en komen meestal pas later aan het licht. Dikwijls gaat het om ogenschijnlijk kleine mankementen die de gebruiker, na verloop van tijd, meer en meer als storend zal ervaren.

Bij sommige lamp/dimmercombinaties kan het voorkomen dat, bij herinschakelen op de laagste dimstand, de ledlamp niet opstart en pas reageert als het dimniveau terug verhoogd wordt. Hierdoor kan de gebruiker onterecht concluderen dat er een defect is.

Let er ook op of alle lampen synchroon dimmen. Vooral bij het inschakelen kan het voorkomen dat de verschillende lampen met een fractie van een seconde verschil reageren, wat storend kan overkomen.

Tijdens de installatie moet je er rekening mee houden dat de omstandigheden vaak anders zijn dan tijdens het gebruik. Geluiden op de werf kunnen maken dat zoemen niet opgemerkt worden. Ook invallend daglicht kan het flikkeren van de leds op lage dimstand maskeren.

8.5. Universele fasedimmers

De meeste fabrikanten van dimmers hebben universele fasedimmers voor leds in hun gamma. Het werkingsprincipe hiervan berust nog altijd op het originele principe van fasedimming, maar dankzij de lagere minimumbelasting en de aangepaste dimalgoritmes zijn deze dimmers compatibel met een groter gamma ledlampen. Sommige van deze dimmers laten de installateur toe om uit de verschillende algoritmes zelf de meest optimale te kiezen. Het overgrote deel van deze dimmers is enkel beschikbaar in een 3-draads versie (dus met aansluiting van de nulleider). Tegenwoordig zijn er ook al enkele 2-draads oplossingen beschikbaar, specifiek voor renovaties waar geen nulleider aanwezig is op het schakelpunt.

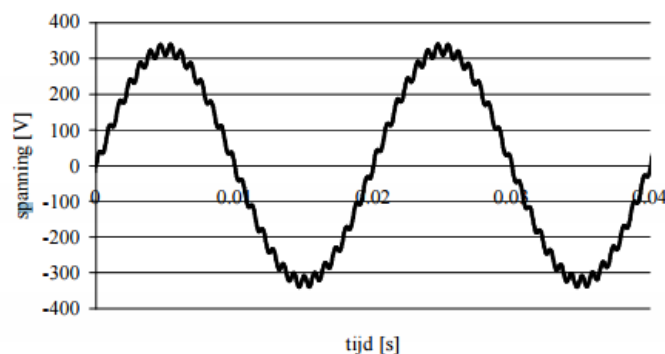
Tips:

- Controleer of de lamp inderdaad een dimbaar model is.
- Koop lampen (en dimmers) van de gekende merken. De kans is groter dat hun compatibiliteit getest is.
- Kies voor fase-afsnijdingsdimmers. Bestaande installaties bevatten vaak fase-aansnijdingsdimmers die zelden voldoende compatibel zijn met dimbare leds.
- Gebruik geen verschillende types lampen door elkaar op een dimmer.
- Let, zeker bij oudere dimmers, op de minimumbelasting van de dimmer.

8.6. Toonfrequent signalen

Een klacht die vaak terugkomt is dat de ledlampen op bepaalde momenten een tijdje knipperen. Soms gebeurt dit heel subtiel en valt het bijna niet op, maar in bepaalde gevallen kan het erg storende proporties aannemen.

De oorzaak hiervoor is meestal te vinden bij toonfrequent signalen, ook CAB-signalen genoemd. Dit zijn signalen die de netbeheerders bovenop de 50Hz van het netspanning plaatsen om zo, vanop afstand, componenten in hun net te kunnen schakelen, bv. dag/nachttellers of straatverlichting.



Figuur 63: CAB signaal van 1350Hz bovenop de 50Hz netspanning.

CAB-signalen zijn slechts enkele malen per dag gedurende een 10-tal seconden per keer op het net. Op deze momenten horen we een zoemend geluid uit zekeringskasten, transformatoren, ... Maar ook de drivers voor ledverlichting kunnen problemen ondervinden met CAB-signalen. Vooral als ze gebruikt worden in combinatie met fasedimmers kan het voorkomen dat de leds flikkeren.

De mate waarin CAB-signalen problemen opleveren is erg regiogebonden. De frequentie van de CAB-signalen in combinatie met de sterkte van het signaal, zijn bepalend.

Er zijn al vele jaren dimmers op de markt die CAB-filters aan boord hebben, maar meestal werken die niet goed in combinatie met leds. Enkele recentere modellen hebben nieuwe software algoritmes aan boord die in veel gevallen wel de storingen als gevolg van CAB-signalen kunnen wegfilteren.

Een andere optie is om te werken met spierfilters voor TF-signalen. Deze zorgen dat de TF-signalen niet tot bij de verlichtingsinstallatie komt. Deze toestellen bieden een prima oplossing, maar zijn relatief duur voor de residentiële toepassingen, waar het merendeel van de fasedimmers gebruikt wordt.

8.7. Dimming protocols

In de professionele verlichting wordt fasedimming amper gebruikt. In plaats hiervan wordt de dim-informatie via een aparte databus aan het armatuur bezorgd. Hierdoor worden de leds veel nauwkeuriger gedimd, maar bovendien biedt dit nog tal van extra mogelijkheden.

Er zijn verschillende systemen op de markt om leds te dimmen. Hieronder geven we een kort overzicht:

1-10V

Dit is de meest eenvoudige bus om een of meerdere armaturen te verbinden met een bediening. Alle armaturen binnen een verbinding zullen allemaal synchroon reageren. Om de verlichting in verschillende groepen te kunnen bedienen, moeten verschillende 1-10V bussen gebruikt worden.

In principe kan de 1-10V bus de lamp niet volledig uitschakelen, hiervoor wordt een apart aangestuurd relais gebruikt die de voedingsspanning van de armatuur onderbreekt. De voornaamste reden om dit zo te doen was het hoge standby-verbruik dat TL-ballasten 20 jaar geleden hadden. Bij moderne ledvoedingen is dit probleem echter opgelost. Fabrikanten kiezen ervoor om toch de leds uit te schakelen als de spanning op de 1-10V bus onder de 1V komt.

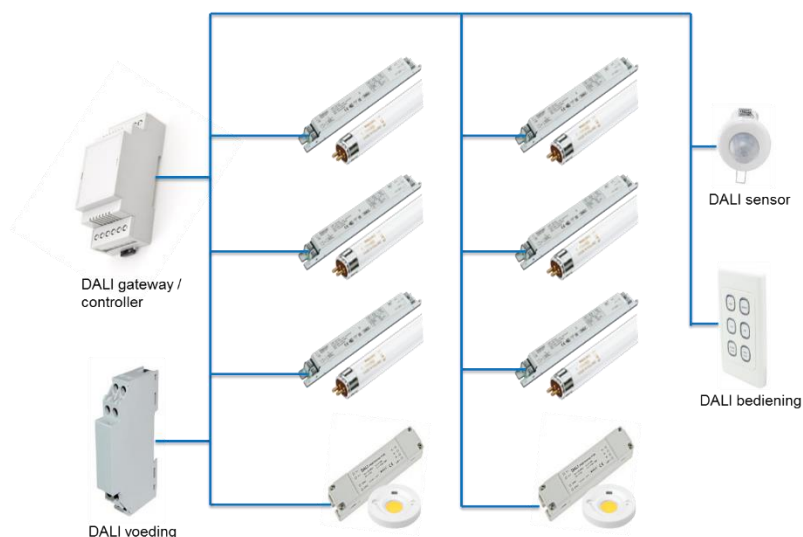
DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

Deze digitale bus kan tot 64 armaturen individueel of in groepen bedienen. DALI kan toegepast worden in verschillende schalen. Het kan toegepast worden in zeer kleine systemen waar één sensor communiceert met één voorschakelapparaat, maar ook in grote installaties waarbij een of meerdere DALI-systemen geïntegreerd worden in een gebouwbeheersysteem.

DALI stelt zeer lage eisen aan de bekabeling: zowel de volgorde van de verschillende componenten als de topologie speelt geen enkele rol. Enkel de lengte van de bekabeling hangt af van de gebruikte kabelsectie (bv. 300m bij 1,5mm²).

Elk armatuur dat zich op de DALI-bus bevindt, krijgt een bepaald adres en kan toegewezen worden aan bepaalde groepen. Deze adressering gebeurt tijdens de indienststelling en moet gedeeltelijk herhaald worden in het geval er een defecte component in het systeem vervangen wordt.

DALI laat ook toe om te werken met broadcasts. Hierbij wordt geen adressering gedaan en luisteren alle ballasten naar elk commando dat ze ontvangen. Een groot aantal voordelen van DALI vervalt, maar daar staat tegenover dat de indienststelling eenvoudiger is.



Figuur 64: Typische DALI installatie met verschillende bedieningen en ballasten.

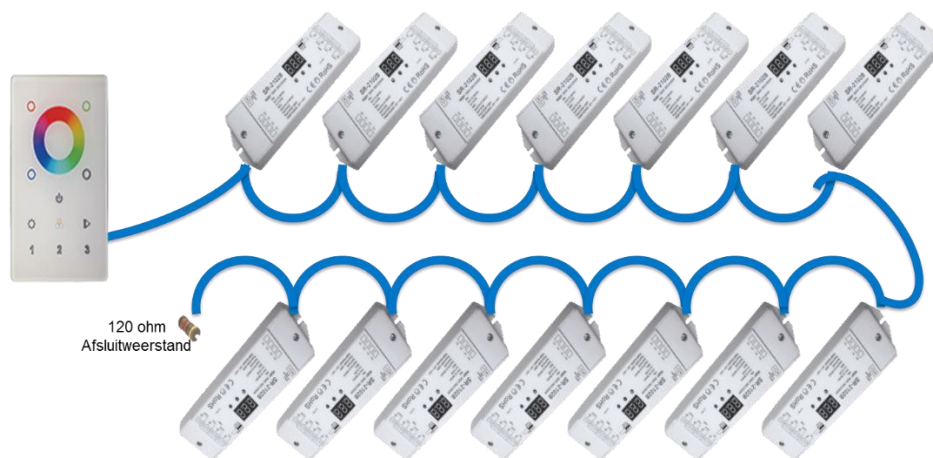
DMX

... is een protocol dat afkomstig is uit de entertainmentsector en dus helemaal niet ontwikkeld werd met algemene verlichting in het achterhoofd.

De werking van DALI en DMX zijn totaal verschillend. Bij DMX zit alle intelligentie centraal in de bediening, deze laat het niveau van elke lamp 10-tallen keren per seconde door via de bus. Deze manier van werken zorgt ervoor dat alle lampen gegarandeerd synchroon werken en dat communicatiefouten amper opvallen. Een nadeel van deze gecentraliseerde aanpak, is dat er slechts één bediening in een DMX-systeem kan zijn.

DMX is dan ook vooral geschikt voor toepassingen in de algemene verlichting, waar zeer snelle licht- en kleureffecten nodig zijn, waarbij verschillende lampen absoluut synchroon moeten werken. Voor de meeste andere toepassingen in de algemene verlichting, zal eerder voor DALI gekozen worden.

De DMX-bekabeling is kritischer dan die voor een DALI-systeem. Bij DMX moet in een rechte lijn van toestel tot toestel bekabeld worden en zijn splitsingen niet toegelaten. Per kring zijn 32 toestellen toegelaten, als er meer nodig zijn, wordt er gewerkt met DMX-splitters of –repeaters.



Figuur 65: DMX installatie. Eén bediening, meerdere ballasten in lijn aangesloten en 120 ohm afsluitweerstand.

8.8. Draadloze dimming protocols

Draadloze protocols hebben heel wat voordelen ... Zeker bij renovatie, waar de buskabels ontbreken om bedrade protocols toe te passen, bieden ze een mooi alternatief voor fase-dimming.

Een nadeel is dat er een wildgroei is ontstaan aan verschillende standaarden. Elke fabrikant gebruikt zijn eigen systeem. Sommige fabrikanten hebben systemen die gebaseerd zijn op een gestandaardiseerd systeem zoals Zigbee of Bluetooth 4.0. In sommige gevallen zorgt dit ervoor dat producten van verschillende merken toch compatibel zijn, maar transparantie is hier ver zoek.

De meeste draadloze protocols gebruiken een Mesh-netwerk. Dit betekent dat de onderdelen van het netwerk (lampen, schakelaars, ...) de signalen onderling doorsturen. Het netwerk organiseert zich zodat de signalen op een zo betrouwbaar mogelijke manier op elk punt van het netwerk aankomen. Indien er zich bijvoorbeeld op het pad tussen 2 lampen een storingsbron zou bevinden, zal het netwerk zich herorganiseren, zodat het signaal via een ander pad aankomt.

9. Lichtplanning

De introductie van led-verlichting heeft een grote invloed gehad op het lichtontwerp. De compacte afmetingen van de lichtbron geeft de armatuurfabrikant een grotere vrijheid om te variëren in licht en vorm dan bij traditionele lichtbronnen. Maar ook de elektrotechnisch installateur kan dankzij flexibele led-oplossingen voor meer variatie in zijn projecten zorgen. Dit hoofdstuk wil je daarbij helpen.

Een succesvol lichtplan realiseren is niet moeilijk. De sleutel tot succes is om niet overhaast te werk te gaan. Je kan namelijk niet aan de slag zonder de juiste informatie over het project. Aarzel daarom niet om contact te nemen met de opdrachtgever. Vaak zal je vanuit deze gesprekken al een aanzet vinden om een passend voorstel te bedenken. Daarbij kan je met rekenprogramma's je voorstel bijwerken tot een perfect plan.

9.1. Eisenbundel

Of je gevraagd wordt voor een lichtplan voor een woonhuis, kantoor of magazijn, er zijn tal van mogelijkheden om deze te verlichten. Het lijkt vanzelfsprekend om na te gaan hoe te voldoen aan noodzakelijke normeringen bij een geringe investering. Helaas wordt weleens vergeten rekening te houden met de inrichting, architectuur of het energieverbruik. Soms zijn ook specifieke wensen van de opdrachtgever of de gebruiker belangrijk.

Je wil bij aanvang weten welke de te verlichten ruimtes zijn en waar ze voor worden gebruikt. Het lichtplan voor een gelijkvormige ruimte van een te renoveren magazijn of een nieuwbouw sporthal is bijvoorbeeld verschillend. Soms is zelfs een flexibele oplossing nodig om aan verschillende toepassingen te voldoen.

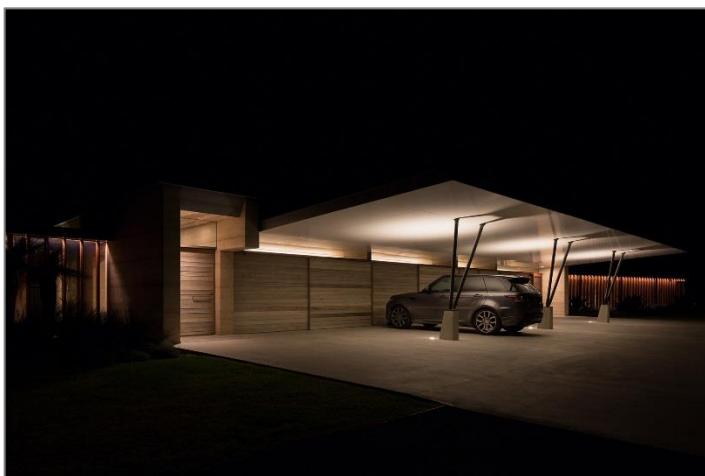
Voor de lichtstudie heb je allereerst een plan op schaal nodig. Bij voorkeur is die ook vervolledigd met het inrichtingsplan. Bedenk daarbij dat verlichting van gekende werkplekken minder duur zal zijn dan de verlichting van de volledige ruimte. Markeer hierop ook bijzonderheden zoals afwijkende kleuren, belangrijke objecten of bijzonderheden in de architectuur (kolommen, vensterpartijen, ...).

Normeringen en wetgeving stellen minimale eisen voor een productieve en veilige werkomgeving. Via de website van bijvoorbeeld het WTCB kan je nagaan welke algemene normen en wetten er van toepassing zijn. Controleer met de opdrachtgever of er specifieke regels gelden, bijvoorbeeld voor energiezuinigheid zoals BREEAM of betreffende veiligheid (stof, vocht, explosiegevaar, ...). Natuurlijk mag noodverlichting niet over het hoofd gezien worden.

Vraag de opdrachtgever of hij een bepaalde uitstraling of sfeer wenst. We weten dat de verlichting in een kledingwinkel mee de indruk wekt van een discount met de beste koopjes of een exclusieve designerwinkel. Dit is echter ook van toepassing op andere projecten, zelfs voor kantoren of magazijnen. Vaak wil een zaakvoerder zich profileren ten opzichte van een concurrent.

9.2. Lichtontwerp

Als alle informatie verzameld is kan je starten met ontwerpen. Als dit je niet vertrouwd is, start je met alle ideeën uit de eisenbundel op een lijstje te noteren. Vul de lijst verder aan met ideeën die je eerder hebt gebruikt of hebt gezien.



Figuur 67: verrassende positionering van armaturen.
Bron: IALD
Copyright: Rohan Venn



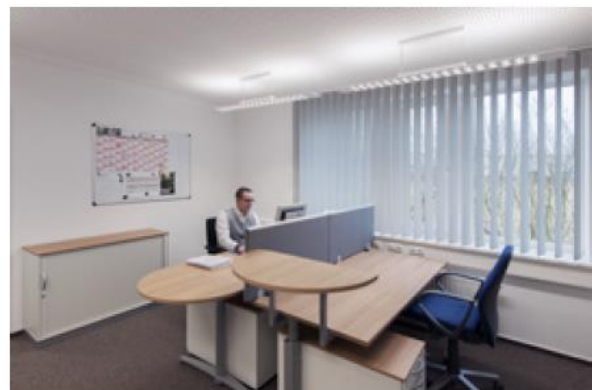
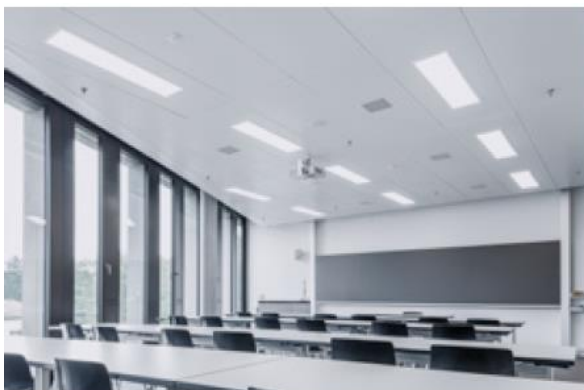
Figuur 66: elegant accent met OLED.
Bron: IALD,
Copyright: Naomi Castillo Photography

Sommige fabrikanten of verdelers van verlichtingsarmaturen presenteren inspirerende ideeën op websites als Pinterest.

Nieuwe ideeën kan je opdoen door je in te beelden hoe de ruimte eruit zal zien en gebruikt zal worden. Een tip is om aan te duiden wat de gebruiker zal zien. In tegenstelling tot de vloer of de werktafel, komen verticale vlakken zoals wanden, kolommen of objecten meer in beeld, en zullen ze sterk bijdragen tot het lichtbeeld.

Ga na wat je opties zijn voor algemene verlichting. Dit voor enerzijds oriëntatie en anderzijds de taak. Wil je daarbovenop nog enkele specifieke elementen in de ruimte benadrukken? Dat kan met een mooi decoratief armatuur, een patroon van licht en schaduw, of een verrassende lichtinval. Weet dat een goede verhouding tussen algemene en accentverlichting de sfeer in de ruimte zal bepalen.

De positie van de armaturen zal mee de indruk van de ruimte bepalen. Verlichting is mogelijk op vloer, wand of plafond. Bij plafondmontage zijn er naast inbouw- of opbouw- ook pendelarmaturen mogelijk. Met directe verlichting wordt het licht rechtstreeks naar het werkvlak gestuurd, wat vaak een energie-efficiënte aanpak is. Het gebruik van indirecte verlichting kan bijdragen aan een betere ruimtelijke ervaring. Als laatste kan je ook met het plaatsingsrooster variëren.



Figuur 68: Links: directe verlichting ; Rechts: deels directe/deels indirecte verlichting.

Kies vervolgens uit het lijstje met ideeën welke je voorkeur geniet. Het maken van deze keuze vergt wel enige kennis van verlichting, waarbij deze brochure enige houvast kan bieden. In sommige situaties hou je zelfs ook rekening met (hinderlijke) verblinding, schaduwen of reflecties. Vul je lichtplan aan met enkele geschikte armaturen uit het grote aanbod. Vraag eventueel na bij de verdeler wat mogelijk is binnen het budget.

9.3. Controleberekeningen

Het is noodzakelijk om je voorstel af te toetsen of het voldoet aan de gestelde eisen. Behaal je de gevraagde verlichtingssterktes waar dat nodig is? Is de lichtverdeling op de wanden zoals je gedacht had? Controleberekeningen zijn uitermate geschikt om gemaakte inschattingen over het aantal armaturen en het benodigd vermogen te controleren. Om weinig tijd te verliezen met deze berekeningen start je best met een schetsje op papier, vooraleer je de software opstart.

Gratis te verkrijgen software zoals Dialux en Relux bieden de mogelijkheid om een ruimte te ontwerpen met een specifieke vorm en kleur, en hierin een configuratie van armaturen te plaatsen. De armatuurbestanden worden ingeladen uit de catalogi die door de verlichtingsfabrikanten zelf voorzien worden. Zo kan er voor een specifiek model met het gewenste vermogen gekozen worden. De berekeningen kunnen hierbij dienen om bijvoorbeeld de normen te toetsen. De nauwkeurigheid van de berekeningen is voor een groot deel afhankelijk van hoe goed je de software beheerst. Als je de verkeerde input geeft zal het resultaat niet betrouwbaar zijn.

Een belangrijke parameter hierbij is de waarde voor de *onderhoudsfactor* (ook wel depreciatie of behoudsfactor genoemd). Als je de verlichtingssterkte in een ruimte zou meten, dan zal deze na een aantal jaar lager zijn dan bij de installatie. De ruimte en de armaturen worden namelijk vuiler en gaan het licht minder goed weerkaatsen. Misschien zijn er ook al enkele armaturen defect en niet vervangen. Ook de led als lichtbron zelf zal beetje bij beetje minder licht opwekken, voornamelijk onder invloed van warmte. Om bijvoorbeeld 500 lux te garanderen op een bureautafel, zal bij oplevering misschien 600 lux nodig zijn. De onderhoudsfactor wordt bepaald door de verhouding van het behouden en het initieel licht. De keuze van de onderhoudsfactor bepaalt mee hoe vaak het lokaal en de armaturen worden opgefrist.

De lange levensduur van de led maakt de keuze van de onderhoudsfactor wat moeilijker. Mogelijk gaat het led-armatuur langer mee dan eigenlijk nodig is. We willen dan weten hoeveel licht er behouden wordt op het einde van de gebruiksduur van de ruimte. Voor een klaslokaal zal dit misschien 20.000 uur zijn, voor een magazijn 75.000 uur. De lichtterugval wordt voorspeld met de “L_x” waarde van de led, bijvoorbeeld L80:50.000u. Zo'n aanduiding dient om aan te geven dat de helft van de led's na 50.000 branduren nog 80% van hun oorspronkelijke lichtstroom behouden. Voor hetzelfde led-armatuur zou in het voorbeeld van het klaslokaal een onderhoudsfactor 0.82 voorgesteld kunnen worden terwijl voor het magazijn 0.64 een betere keuze is. Bijkomende info vind je in het artikel “Ledverlichting: gebruiksduur of levensduur?” op www.lichttechnologie.be.

Het softwarepakket kan helpen bij het opstellen van het dossier met je lichtontwerp. Je kan bij het afdrukken van de resultaten ervoor kiezen om alle belangrijke informatie te bundelen:

- Samenvatting van de lichtstudie met resultaten voor verlichtingssterktes, uniformiteit en verblinding.
- Keuze van het onderhoudsschema en de armaturen (afbeelding, stralingspatroon, elektrisch vermogen, lichtstroom, kleurtemperatuur).
- Positie van de armaturen in een plan op schaal.
- Simulaties hoe de ruimte er verlicht kan uitzien.

Om de resultaten te toetsen wordt er voor arbeidsplaatsen verwezen naar de normeringen zoals 12464-1. Deze norm duidt aan hoeveel licht er wenselijk is op de werkplek om er optimaal te kunnen werken. Hiervoor wordt de behouden gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit opgegeven van zowel het taakoppervlak én zijn omgeving. Voor de omgeving worden de directe omgeving, de achtergrond, de wanden en het plafond geëvalueerd. Deze aanpak draagt bij aan een productieve, veilige en aangename werkplek. Aanvullend wordt er ook aandacht besteed aan gezichtsherkenning, verblinding door de armaturen, de lichtkleur en kleurweergave. Om te voldoen aan de norm is er dus meer te controleren dan enkel de verlichtingssterkte op een tafel.



Figuur 69: rendering van een kantoorontwerp in DIALux EVO.

9.4. Opvolging

Overleg de berekeningsresultaten met de opdrachtgever. Licht daarbij de gemaakte veronderstellingen, zoals het onderhoudsplan of gebruikte kleuren even toe. De berekeningsresultaten uit de software vul je eventueel verder aan met een conceptschets, stappenplan, visualisatie en datasheets van de gebruikte producten. Toelichtingen op het energiegebruik en voorstellen voor dimstanden zijn steeds vaker relevant. Enkele beelden uit je portfolio met gelijkaardige voorstellen zorgen misschien voor de doorslag. Dit overleg is ook een uitstekend moment om enkele voorstellen te formuleren omtrent het onderhoud of het afstellen van de verlichting na de plaatsing.



VOLTA
Marlylaan 15/8 Avenue du Marly
Brussel, 1120, Bruxelles

T 02 476 16 76

info@volta-org.be
www.volta-org.be