

DOSSIER

LED

UITGAVE 7, MEI 2018

ETAP 
EXCELLENT LIGHTING, SAVING ENERGY

7de Uitgave, mei 2018
© 2018, ETAP NV

INHOUD

A. Wat is een led?	4
1. Hoe werken leds?.....	4
2. Soorten leds.....	5
3. Integratieniveaus.....	8
4. Oleds.....	9
B. Met leds verlichten	10
1. Levensduur.....	10
I. Nuttige levensduur.....	10
II. Depreciatie.....	10
III. Behoudfactor.....	11
IV. LLMF.....	13
2. Performantie.....	16
I. Efficiëntie.....	16
II. Warmtehuishouding.....	18
3. Kleuraspecten.....	20
I. Kleurweergave.....	20
II. Binning.....	24
III. Straling (ir/uv).....	25
4. Lichtbehandeling.....	26
I. Lichtverdeling/soorten optieken.....	26
II. Luminantie.....	28
5. Elektrische veiligheid.....	29
6. Fotobiologische veiligheid.....	30
7. Geïntegreerde lichtregeling.....	32
C. Drivers	33
1. Flicker.....	33
2. Kwaliteitscriteria.....	36
3. Soorten aansturing.....	38
4. Dimming.....	39
D. Waarop letten als gebruiker?	41
1. Objectieve kwaliteitsinformatie.....	41
2. Keuzecriteria (efficiëntie, lichtverdeling, beleving, levensduur, LLMF, comfort, kleur, omgeving).....	44
3. Ledtubes.....	48
E. Leds – wat brengt de toekomst?	50
F. Internationale standaarden	52
Terminologie	53

A. Wat is een led?

1. HOE WERKEN LEDS?

Led staat voor light emitting diode. Een led is een halfgeleider (diode) die licht uitstraalt wanneer er stroom door vloeit. De halfgeleidermaterialen waar leds gebruik van maken, zetten elektrische energie om in zichtbare elektromagnetische straling, kortom in licht.

De stimulans is dus de elektrische stroom die door de diode stroomt (meer specifiek door de junctie). De diode waar de elektrische stroom door vloeit is – zoals alle diodes – unidirectioneel: er zal enkel licht ontstaan als er een gelijkstroom in de 'juiste' richting door gaat, namelijk van de anode (positieve pool) naar de kathode (negatieve pool).

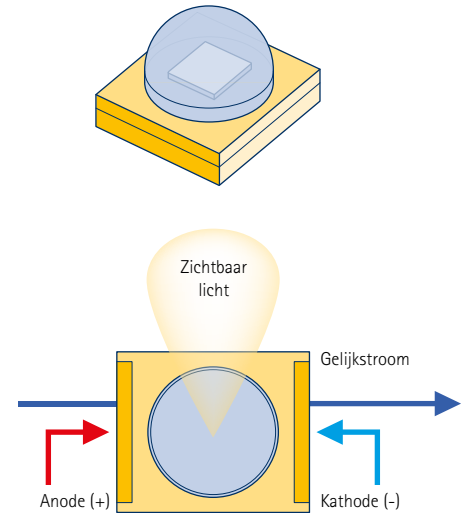


Fig. 1: Werking van een led

De hoeveelheid licht die gegenereerd wordt, is nagenoeg evenredig met de hoeveelheid stroom die door de diode gaat. Voor verlichtingsdoeleinden wordt dan ook altijd gewerkt met stroomgeregelde drivers ('constant current'), zie hoofdstuk C.3.

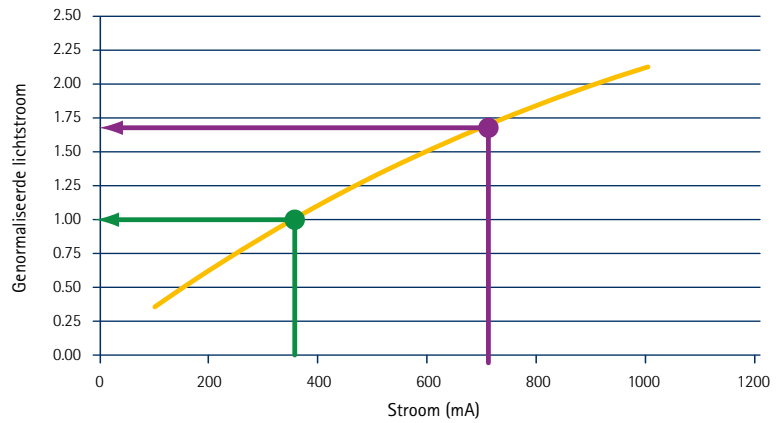


Fig. 2: Invloed van stroom op lichtstroom

De combinatie van de led (de halfgeleider), de behuizing en de primaire optiek noemen we een ledcomponent. Deze ledcomponent omvat en beschermt de led, zorgt ervoor dat de intern gegenereerde warmte ook verspreid wordt, en bevat een primair optisch systeem – een kleine lens zeg maar – om het gegenereerde licht van de led te verzamelen en uit te stralen in een gecontroleerd patroon.

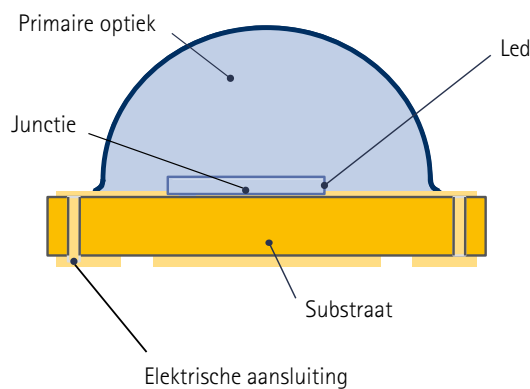


Fig. 3: Opbouw van een ledcomponent

De led straalt monochromatisch licht uit. De kleur van het licht hangt af van de materialen die tijdens de productie gebruikt worden. Dit kunnen alle verzadigde kleuren zijn uit het zichtbare spectrum, van violet en blauw over groen tot rood.

Willen we wit licht produceren, dan kan dat als volgt:

1. Bichromatisch:

- De meest voorkomende manier is een blauwe led te voorzien van een luminescent (lichtgevend) materiaal dat een deel van het blauwe licht omzet in wit (of eerder 'geel') licht. De samenstelling van het luminescente materiaal bepaalt de kleurtemperatuur van het resulterende licht (meer over de kleurtemperatuur verder in dit hoofdstuk).

2. Trichromatisch:

- Door de kleuren rood, groen en blauw (RGB) te mixen. Deze technologie wordt weinig toegepast in functionele verlichting.
- Door combinaties van witte leds volgens het eerste principe met rode of amberkleurige leds. In dit geval zijn met één module verschillende kleurtemperaturen mogelijk.

2. SOORTEN LEDS

Ledcomponenten¹ kunnen ingedeeld worden volgens verschillende criteria, zoals kleur, vermogen, constructievorm. Deze indelingen zijn niet gestandaardiseerd en kunnen in functie van technologische ontwikkelingen wijzigen of verschuiven. Bovendien overlappen de categorieën: zo verschillen highpower (HP) en lowpower (LP) leds qua vermogen, maar ook qua constructievorm.

Kleur:

- Fosforgeconverteerde leds produceren doorgaans blauw licht dat door middel van een fosforlaag wordt omgezet naar wit licht.
- Monochromatische leds hebben geen fosforlaag, maar stralen zuivere kleuren (vb. rood, groen, amber of blauw) of IR- of UV-golven uit. De kleur hangt af van het gebruikte materiaal.

Vermogen:

- low power (≤ 1 W)
- high power (1-10W)

Constructievorm:

- leadframe devices
- ledchips op substraten
- chip-scale package
- chip-on-board

Leadframe-constructies worden vooral toegepast voor laagvermogenleds. De ledchip wordt op de leadframe geplaatst, waarrond men vervolgens een kunststofbehuizing aanbrengt. Bij fosforgeconverteerde leds is de centrale caviteit opgevuld met een siliconenlaag waarin zich fosfor bevindt. Zowel leadframe als behuizing fungeren in deze constructie als reflector voor een deel van het uitgestraalde licht. Dat is meteen de reden waarom de optische eigenschappen - o.a. het reflectievermogen en de veroudering van het materiaal - bijdragen tot het lichtbehoud op lange termijn: hoe beter het materiaal zijn reflecterende eigenschappen behoudt, hoe geringer de depreciatie. De keuze van de kunststof wordt afgewogen op basis van optische eigenschappen, maar ook van kostprijs en verwerkbaarheid. De meest voorkomende materialen voor de behuizing zijn thermoplastische materialen zoals PPA en PCT, en thermoharders zoals EMC en in sommige gevallen zelfs siliconen. De lichtstroom van leds wordt steeds hoger. Bij multi-die leds (met 2 chips in één behuizing) verdubbelt de lichtstroom in de package. Dit verhoogt de belasting op de reflecterende behuizing, wat een nadelige invloed kan hebben op de degradatie en lichtkleur.

¹ Ledcomponenten betreffen – in tegenstelling tot ledchips – niet alleen het actieve materiaal, maar zijn ook voorzien van elektronische aansluitingen, en een eventuele primaire optiek en/of fosforlaag.

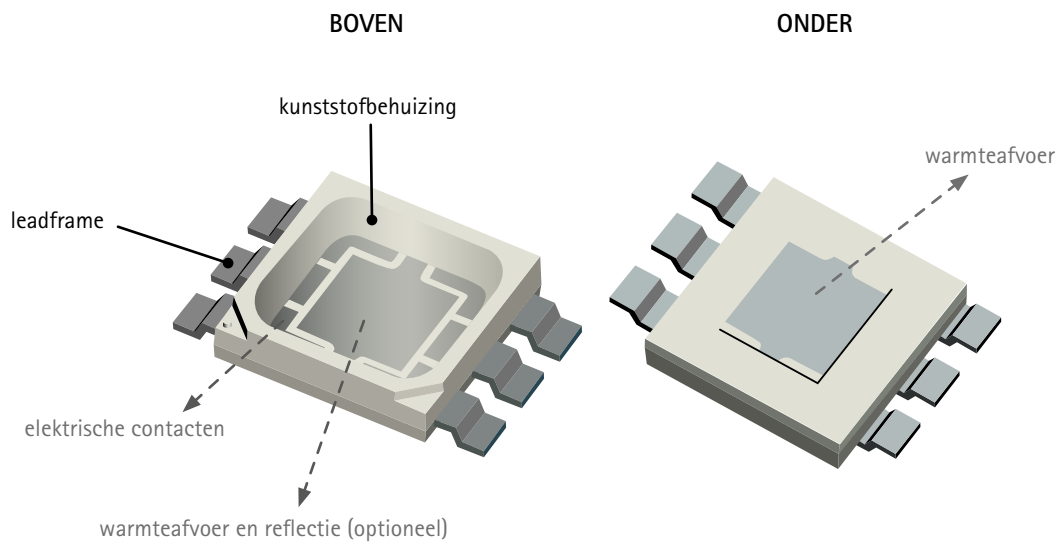


Fig. 4: Led-leadframe met kunststofbehuizing (bij laagvermogenled)

Keramische substraten worden vaak toegepast bij **hoogvermogenleds**. Op het substraat – met ledchip – plaatst men een fosforlaag en een primaire optiek, meestal uit siliconen. Deze bouwvorm vertoont de volgende eigenschappen:

- een goede warmteafvoer naar de PCB (lagere interne thermische weerstand)
- rechtstreeks uitgestraald licht en weinig reflectie
- een goede kleurstabiliteit over de volledige uitstralingshoek

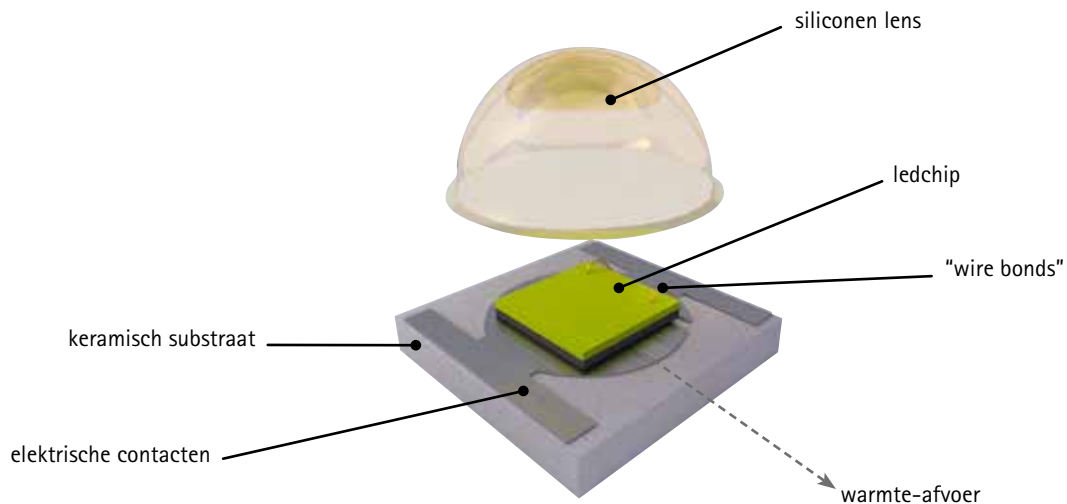


Fig. 5: Opbouw van een hoogvermogenled

De chip-scale package is een miniaturisatie van de (laag- of hoog)vermogenled. Deze led-package heeft een minimale behuizing, en is bijzonder compact (1 tot 4 mm² groot). Ondertussen zijn er ook kleinere vormen ontstaan (0,5 mm²), voor lagere vermogens. De warmte wordt rechtstreeks van de chip naar de PCB afgevoerd via de elektrische contacten. Doordat de af te leggen weg zo kort wordt gehouden, is er sprake van een zeer efficiënte warmte-afvoer.

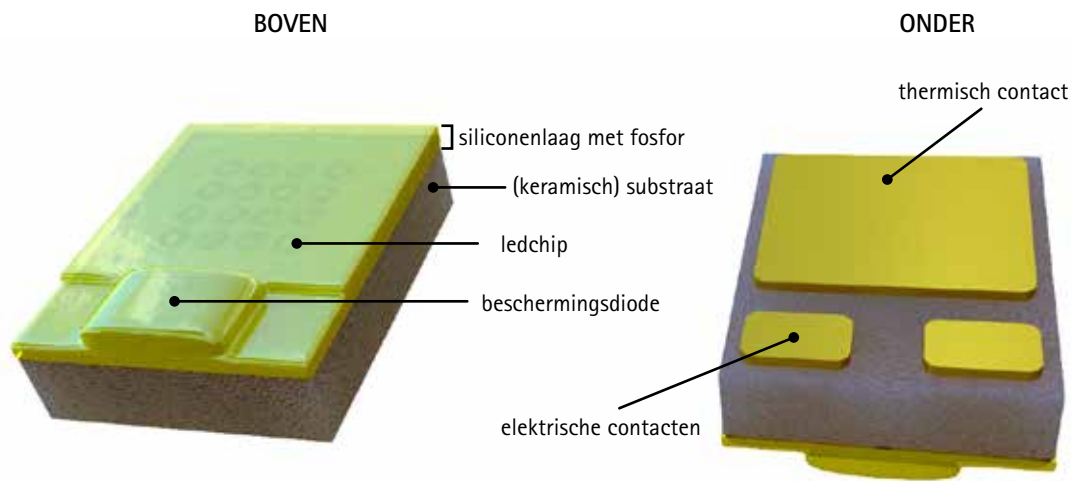


Fig. 6: Opbouw van een chip-scale package

Bij chip-on-board technologie – doorgaans toegepast voor fosforgeconverteerde leds – worden meerdere chips samen op één substraat geplaatst en onderling elektrisch verbonden. Daarop brengt men een siliconen afdeklaag met fosfor aan. Het substraat bestaat meestal uit een keramisch materiaal of een hoogreflecterend (gepolijst) aluminium.

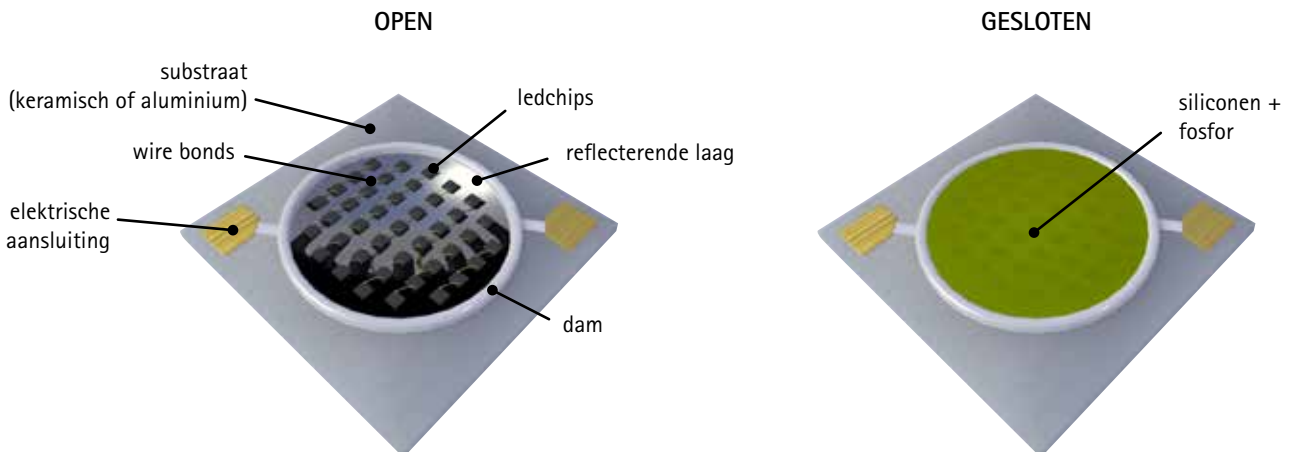


Fig. 7: Opbouw Chip-on-board technologie

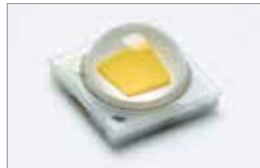
Het verloop van de optische eigenschappen in functie van de tijd onder invloed van licht en warmte hebben een grote impact op de behoudfactor van leds. De stabiliteit is optimaal voor de hoogvermogencomponenten (bv. high power en COB), en lager voor de kunststoflaagvermogenleds. Mits een uitgekiend design leveren laagvermogenleds ook een goed resultaat op.

3. INTEGRATIENIVEAUS

Er bestaan veel manieren om ledlichtbronnen toe te passen. Volgens de internationale norm IEC 62504/CIE TC 2-66 ("Terminology of LEDs and LED assemblies") onderscheiden we volgende integratieniveaus:

1. **Led-package of ledcomponent.** Dit is een eenvoudige component bestaande uit een of meerdere ledchips, mogelijk met optiek en thermische, mechanische of elektrische interfaces.

vb.



Nichia ledcomponent



Citizen-ledcomponent

2. **Ledmodule.** Een ledlichtbron die bestaat uit meerdere ledcomponenten, gemonteerd op een PCB (printplaat), al dan niet met geïntegreerde elektronica.

vb.



E4-printplaat (ETAP)

3. **Ledlamp.** Dit is hetzelfde als een ledmodule, maar dan met lampvoet ("lamp cap")

vb.



TG-buislamp



TG-spotlamp

4. **Led light engine.** Ledmodule of -lamp met driver, geschikt voor directe aansluiting op de netspanning

vb.



Osram Prevaled AC

4. OLEDS

Oled staat voor organic light emitting diode. Zoals de naam al aangeeft, gaat het om een variant van de traditionele led. Waar leds echter opgebouwd zijn op basis van kristallijn, anorganisch materiaal (vb. Gallium Nitride), maken oleds gebruik van organische macromoleculen op basis van koolwaterstofverbindingen om licht te produceren.

Het verschil tussen oled en led zit niet alleen in het materiaal, maar ook in de manier van verlichten. Waar een led een typische puntlichtbron is, worden oleds gebruikt om het licht te verspreiden over een bepaalde oppervlakte.

Concreet worden de organische lichtgevende deeltjes in een flinterdun laagje aangebracht op een plaat uit glas of een ander transparant materiaal en verbonden met een kathode en een anode. De laag licht op wanneer er spanning over de kathode en de anode gelegd wordt. Door de juiste materialen samen te stellen kunnen oleds licht in een bepaalde kleur genereren.



Oleds in verschillende vormen (vb. Philips Lumiblade)

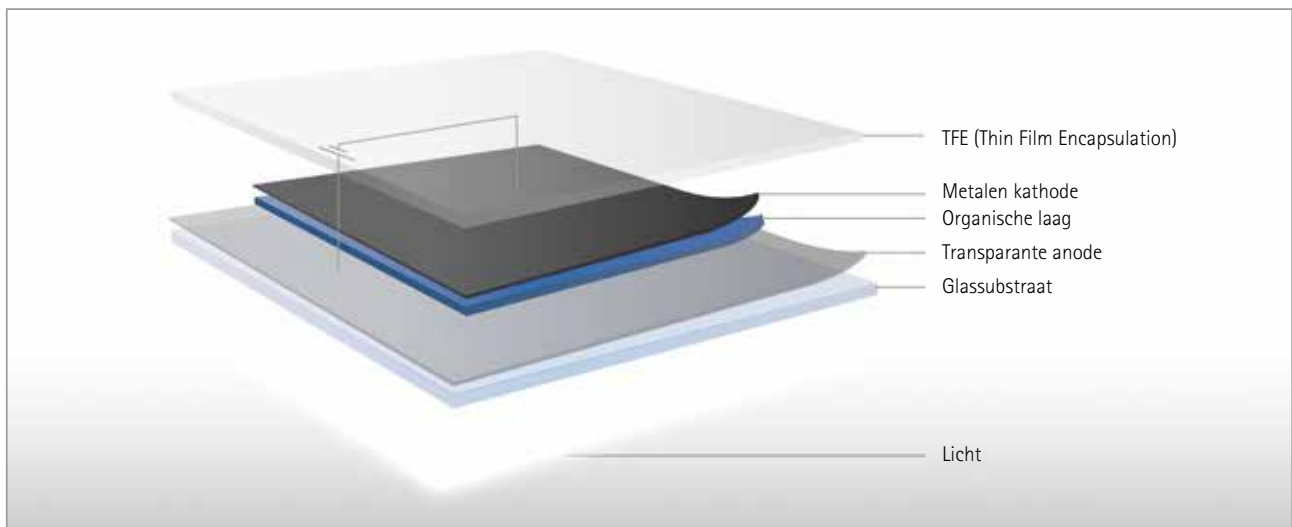


Fig. 8: Opbouw van een oled

Oled-technologie is vandaag nog volop in ontwikkeling. Qua performantie en levensduur kunnen ze vandaag zeker nog niet aan leds tippen. Zo halen oleds een lichtopbrengst van 60 lm/W tegenover 220 lm/W voor leds.

Oled Roadmap			
Jaar	2015	2016	2018
Specifieke lichtstroom	50 lm/W	60 lm/W	70 lm/W
Levensduur (L70 @ 3 000 cd/m ²)	20 000 u	30 000 u	60 000 u
Helderheid	3 000 cd/m ²	2 500 cd/m ²	5 000 cd/m ²
Lumenoutput	9 000 lm/m ²	8 000 lm/m ²	15 000 lm/m ²
Kleurweergave (CRI)	> 80	> 87	> 95
Max. afmetingen	150*150 mm	320*320 mm	400*400 mm

Fig. 9: Huidige en verwachte performantie van oleds

(bron: LG)

De aanwezigheid van organische materialen – die relatief snel verouderen en heel gevoelig zijn voor lucht en vocht – zorgt voor een relatief beperkte levensduur. Vandaag wordt uitgegaan van 20 000 branduren (bij 30% vermindering van de lichtoutput, en een continue aansturing van 3 000 cd/m²). Dit resultaat werd echter bekomen met niet-gestandaardiseerde meet- en extrapolatiemethodes.

B. Met leds verlichten

1. LEVENSDUUR

I. NUTTIGE LEVENSDUUR

Leds hebben over het algemeen een lange nuttige levensduur. Tegelijk is nuttige levensduur een complex gegeven dat steeds samenhangt met een concrete situatie of installatie, en de daaraan gekoppelde behoudfactor (zie verder). Kiest men voor een verlichtingsinstallatie met led, dient men steeds rekening te houden met de levensduur die men zelf voor ogen heeft: wil men dat de installatie 10, 15, 20... jaar meegaat? Deze info is belangrijk om een juiste berekening te maken (zie ook D.2. Keuzecriteria).

II. DEPRECIATIE

Elke lichtbron, of het nu gaat om fluorescentielampen of leds, is onderhevig aan depreciatie. Dit wil zeggen dat de lichtoutput van de lichtbron geleidelijk aan afneemt in de tijd. Bij klassieke lichtbronnen wordt deze lichtafname door iedereen op dezelfde manier in rekening gebracht aangezien er gestandaardiseerde lampen worden gebruikt met een constante depreciatie en een beperkt aantal branduren (16.000 u.).

Bij leds is dit anders: er zijn zoveel verschillende soorten leds dat de depreciatie sterk uit elkaar loopt. Bovendien wordt de lichtachteruitgang sterk beïnvloed door de kwaliteit van de leds, maar ook door de interne temperatuur en aansturing van de leds. Die hangt dan weer af van externe factoren zoals de omgevingstemperatuur en de kwaliteit van de warmte-afvoer rondom de leds. De mate waarin de lichtstroom van de lichtbron achteruitgaat wordt in rekening gebracht door de LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor). Die geeft aan hoeveel licht een lichtbron na een bepaald aantal branduren nog geeft.

In onderstaande grafiek zien we de lichtachteruitgang van een armatuur met een lichtbron LLMF 97 % na 50.000 u. (groen) tegenover een armatuur met een lichtbron LLMF van 70% na 50.000 u. Bij fluorescentielampen gaat het om een gelijkmatige depreciatie waarbij het lichtniveau telkens weer naar 100% wordt gebracht bij lampvervanging (blauwe curve). Bij ledarmaturen loopt de depreciatiecurve sterk uit elkaar.

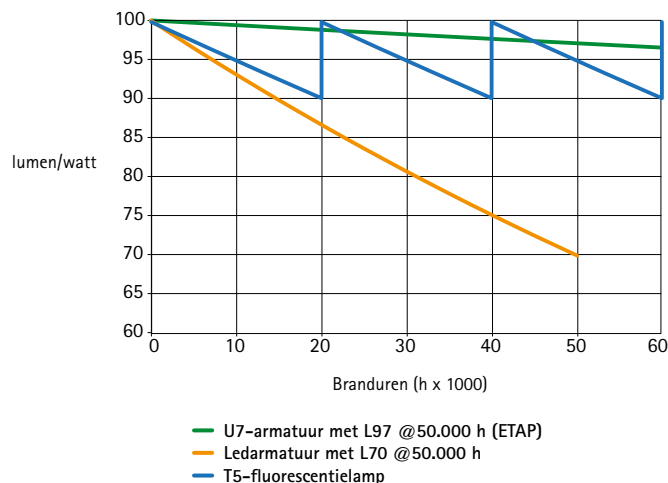


Fig. 10: LLMF van ledarmaturen in vergelijking met fluorescentieverlichting.

III. BEHOUDFACTOR

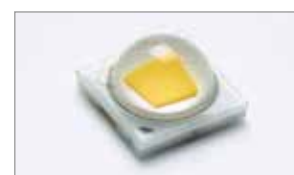
In de praktijk telt niet alleen de lichtachteruitgang van de lichtbron (LLMF), maar moeten we de lichtachteruitgang van een volledige installatie in kaart brengen: de lichtopbrengst van de lampen daalt, lampen gaan stuk en de armaturen raken vervuild door stof en ander vuil. Ook de ruimte zelf raakt vervuild – een pas geleverde muur zal het licht bijvoorbeeld beter reflecteren dan een vuile wand. Daarom wordt bij de berekening van een installatie een behoudfactor toegepast die de afname van de lichtstroom in rekening brengt (zie kaderstuk). Op die manier bent u zeker dat de installatie ook na 5 of 10 jaar blijft voldoen aan het vooropgestelde lichtniveau.

De behoudfactor (MF) wordt berekend aan de hand van vier parameters:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RMF$$

LLMF: lamp lumen behoudfactor (Lamp Lumen Maintenance Factor)

Dit is vermindering van de lichtstroom van de lichtbron.



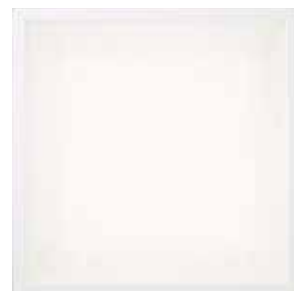
LSF: lamp overlevingsfactor (Lamp Survival Factor)

Houdt rekening met levensduur van de lamp zonder onmiddellijke vervanging.



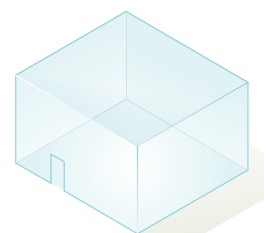
LMF: behoudfactor armatuur (Luminaire Maintenance Factor)

Vermindering van het rendement van de armaturen door vervuiling.



RMF: behoudfactor oppervlakte ruimte (Room Maintenance Factor)

Vervuiling van de ruimte.



Behoudfactor bij fluorescentieverlichting

Voor klassieke lichtbronnen zoals fluorescentielampen bestaan duidelijke regels en internationale standaarden om de behoudfactor van een installatie te berekenen. Voor fluorescentieverlichting bestaat dus een algemene consensus over de berekening van de behoudfactor. De depreciatie en de levensduur van de lampen is in de praktijk bewezen en verschilt niet of nauwelijks tussen fabrikanten onderling. Bovendien heeft het armatuurontwerp geen invloed op de depreciatie van de lamp en wordt ervan uitgegaan dat de lampen regelmatig vervangen worden, zodat er doorgaans weinig discussie bestaat over de behoudfactor van fluorescentiearmaturen.

Behoudfactor bij ledverlichting

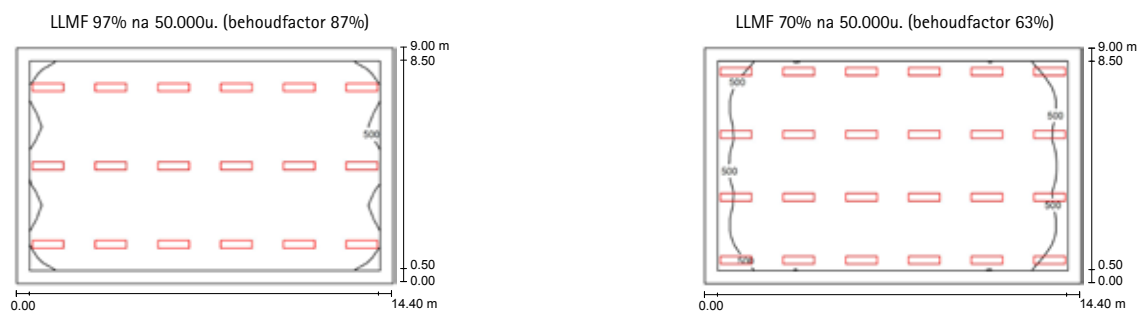
Dat is bij leds echter niet het geval. Daar is de behoudfactor afhankelijk van veel meer factoren. Het begint al bij de keuze van de leds. Er is vandaag nog een groot kwaliteitsverschil tussen fabrikanten onderling en ook het type led (laagvermogen of hoogvermogen) en de fosforsamenstelling (kleurtemperatuur en kleurweergave) is bepalend voor het behoud van de lichtstroom en de levensduur. Het gaat bovendien om een voortdurend evoluerende technologie. Bij gebrek aan kennis en informatie hanteren vandaag heel wat led- en verlichtingsfabrikanten gemakshalve een algemene LLMF van 80 % na 50 000 uren. Dat betekent dus dat ze ervan uitgaan dat de leds na 50 000 branduren nog slechts 80 % van hun initiële lichtopbrengst halen – ongeacht de kwaliteit van de leds.

Anders dan bij fluorescentieverlichting speelt ook het armatuurontwerp een grote rol voor de behoudfactor. De lichtopbrengst en de levensduur van leds is heel sterk afhankelijk van hun werkingstemperatuur. Hoe beter ze gekoeld worden, hoe kleiner de depreciatie en hoe langer ze meegaan. De warmteafvoer is dan ook cruciaal. Het armatuurontwerp wordt vandaag echter zelden in rekening gebracht bij het bepalen van de behoudfactor. In de praktijk heeft elke ledarmatuur een eigen behoudfactor, waardoor het onmogelijk is een algemeen geldig cijfer te hanteren.

Gevolgen in de praktijk

Weinig accurate berekeningen kunnen in de praktijk grote gevolgen hebben. Wanneer de behoudfactor te optimistisch wordt ingeschat, zal de installatie al na een paar jaar niet meer voldoen aan het gewenste lichtniveau. Omgekeerd zal een te pessimistische behoudfactor leiden tot een overgedimensioneerde verlichtingsinstallatie, met te veel armaturen en een overdreven hoog geïnstalleerd vermogen die de aankoop prijs en het energieverbruik de hoogte injagen.

vb. Invloed van de behoudfactor op een lichtstudie met U7-armaturen in een kantoorruimte van 9 x 14,4 m:



Volgens de lichtstudie met correct berekende behoudfactor hebben we voor deze ruimte 18 U7-armaturen en een geïnstalleerd vermogen van 0,86 W/m²/100 lx nodig (links). Het gebruik van de algemene behoudfactor (rechts) zou leiden tot een overgedimensioneerde installatie: 24 U7-armaturen en een geïnstalleerd vermogen van 1,25 W/m²/100 lx.

Behoudfactor bij ETAP

De behoudfactoren die ETAP in haar verlichtingsstudies hanteert zijn nauwkeurig berekend volgens internationale standaarden. In de praktijk stellen we vast dat de ETAP-behoudfactoren meestal veel hoger liggen dan de algemeen gehanteerde waarde. We letten namelijk op twee specifieke zaken. Ten eerste maken we in onze armaturen altijd gebruik van hoogkwalitatieve (vaak keramische) leds die afkomstig zijn van fabrikanten die concrete en verifieerbare gegevens publiceren over de lichtopbrengst en de levensduur. In de praktijk gebeurt dat op basis van de LM-80- en TM-21-standaarden, die werden gevalideerd door de Illuminating Engineering Society (IES), een internationale autoriteit op dit vlak. Dat levert ons een objectief beoordelingscriterium op voor de prestaties van de leds.

Ten tweede besteden we veel aandacht aan het thermisch en optisch ontwerp van onze ledarmaturen. We streven naar een optimale warmtehuishouding en brengen die ook in rekening. In onze labo's beschikken we over de juiste infrastructuur om de junctietemperatuur tussen de printplaat en de led te bepalen. Op die manier kennen we de werkingstemperatuur van de led en kunnen we de effectieve depreciatie en levensverwachting van de leds nauwkeuriger inschatten. Verder gebruiken we efficiënte optieken die de levensduur van de leds niet beïnvloeden. De resultaten van het armatuurontwerp nemen we dan mee op in de berekening van de behoudfactor in onze lichtstudies.

ETAP stelt een tabel ter beschikking waarin men de correcte behoudfactor voor alle ETAP-ledarmaturen terugvindt, in functie van de vooropgestelde omgeving en gebruikstermijn. Zo kunnen we een betrouwbare verlichtingsstudie aanbieden, met de zekerheid dat een installatie ook op lange termijn blijft voldoen aan de vooropgestelde lichtniveaus.

Een voorbeeld

In een verlichtingsstudie met U7 in een kantooromgeving, berekent men de behoudfactor als volgt: 99% (LLMF of behoudfactor lamp) x 1 (lampuitval bij ledarmaturen is quasi onbestaande, dus heeft geen invloed) x 0,94 (vervuiling ruimte) x 0,95 (behoudfactor gesloten armatuur) = 88%. Dit wil zeggen dat men na 25.000 uren nog 88% van de lichtstroom heeft. Na 50.000 branduren, haalt U7 nog 87% van de lichtstroom.

Type led	Ledarmatuur	LLMF		MF	
		25 kh	50 kh	25 kh	50 kh
High power	U7	99%	97%	88%	87%

Fig. 11: Extract uit tabel met behoudfactoren en LLMF bij een U7-armatuur voor 25.000 en 50.000 branduren. De weergegeven waarden zijn mediaanwaarden.


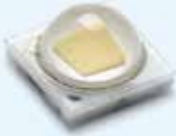





In bijlage 1 vindt u een tabel met de behoudfactoren van onze ETAP-reeksen.

IV. LLMF

Het cijfer dat de vermindering van de lichtstroom van de lichtbron weergeeft (LLMF) houdt rekening met falende leds, en met de achteruitgang van de lichtopbrengst van de leds in de tijd. Hoe bepalen we deze LLMF? We maken onderscheid tussen de levensduur van leds op componentniveau en op armatuurniveau.

Op componentniveau houden we rekening met de geleidelijke achteruitgang van de lichtstroom van de leds (parametrisch falen of B-levensduur), en met het mogelijke uitvallen van leds (catastrofaal falen of C-levensduur).

Op armatuurniveau is het volledig uitvallen van een armatuur niet relevant (zie Luminaire Survival Factor). De LLMF stemt overeen met de B-levensduur op armatuurniveau en houdt dus zowel rekening met het parametrisch als met het catastrofaal falen van de individuele leds in de armaturen.

	NIEUW	NA INGEBRUIKNAME	
		Parametrisch falen	Catastrofaal falen
COMPONENTNIVEAU			
ARMATUURNIVEAU		 OF  = LLMF	 = LSF

Om tot een nauwkeurige, betrouwbare LLMF van onze armaturen te komen, voeren we een "principal component analysis" uit:

- Het parametrisch falen op componentniveau stellen we vast volgens de objectieve normen LM-80/TM-21.
- Het catastrofaal falen kunnen we niet zelf berekenen, maar we proberen bij voorkeur samen te werken met fabrikanten die accurate gegevens ter beschikking stellen. Wanneer er geen meetgegevens voorhanden zijn, baseren we ons op betrouwbaarheidsmodellen uit de elektronica (MIL-HBK-217F).

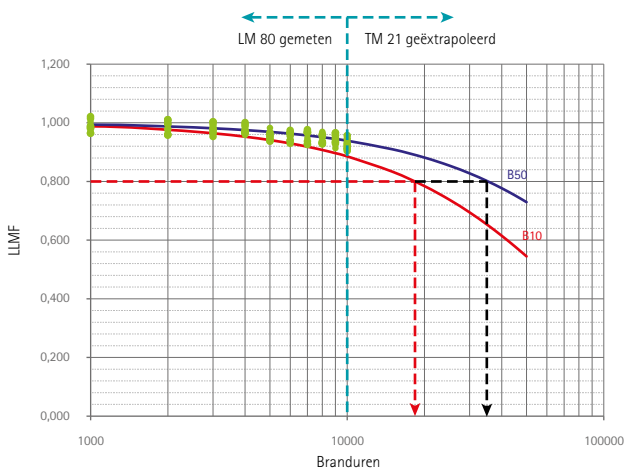


Fig. 12: LLMF wordt bepaald volgens de door IES aanbevolen LM-80/TM-21-methode

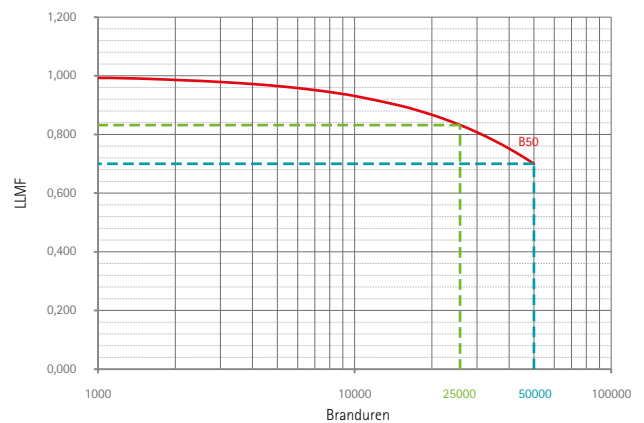


Fig. 13: ETAP geeft voor al zijn ledarmaturen de LLMF na 25.000 en na 50.000 branduren aan.

Op onze website vindt u zowel de LLMF als de behoudfactor van onze ledarmaturen. We publiceren beide waarden telkens voor twee periodes: 25.000 of 50.000 branduren. Op die manier weet u hoeveel licht uw armaturen nog zullen geven na een voor u relevante gebruiksduur.

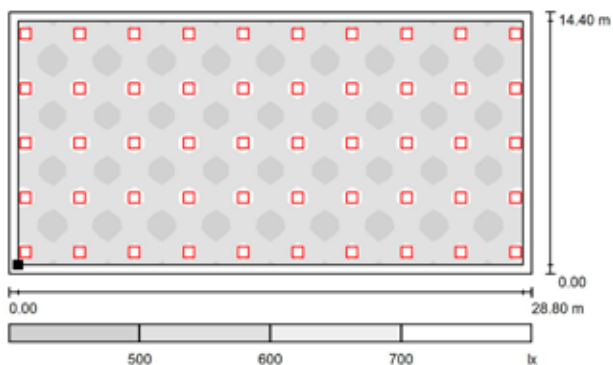


Fig. 14: Om een kantoorruimte van 29 op 14 meter te verlichten met U25-diffusoren, volstaan 50 armaturen (L98B50). Verlicht u de ruimte met armaturen met L80B50, heeft u meer dan 60 armaturen nodig.

WAT IS DE JUISTE INTERPRETATIE VAN DE FORMULE LxBy?

Voorbeeld: de levensduur van U25-armaturen wordt aangegeven als L98B50 na 50.000 branduren:

- L geeft weer hoeveel procent van de oorspronkelijke lichtstroom er op het aangegeven moment nog wordt behaald (= LLMF). De in figuur 14 aangehaalde U25-armaturen halen na 50.000 branduren nog 98% van hun oorspronkelijke lichtstroom (L98).
- B duidt op de B-levensduur op armatuurniveau. Het getal dat volgt geeft de waarschijnlijkheid weer dat de opgegeven L-waarde niet wordt behaald. Voor binnenverlichting is de consensus om B50 te hanteren.
- Standaard geeft ETAP de waarde aan na 25.000 en na 50.000 branduren, twee periodes die representatief zijn voor de levensduur van uw installatie.

2. PERFORMANTIE

I. EFFICIËNTIE

Koudwitte leds met een kleurtemperatuur van 5.000 K (kelvin) & Ra70 halen vandaag in laboratoriumomstandigheden al meer dan 240 lm/W. Leds met een lagere kleurtemperatuur van 2.700 tot 4.000 K (het meest gebruikt voor verlichtingstoepassingen in Europa) en Ra80 of hoger hebben doorgaans een lagere efficiëntie. In deze kleurtemperaturen zijn rendementen van 200 lm/W en meer commercieel beschikbaar.

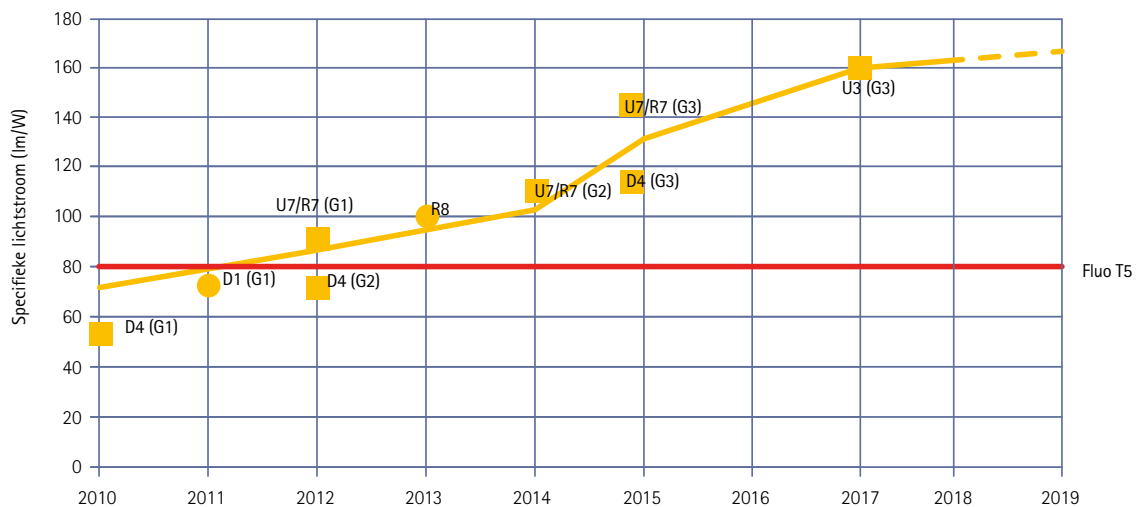


Fig. 15: Evolutie van de specifieke lichtstroom van ledarmaturen bij 3000 K, met indicatie van verschillende generaties (G1, 2, 3) voor enkele ETAP-producten, bij junctietemperatuur in normaal gebruik (hot lumens)

Deze curve is gebaseerd op de reële performanties van de leds in concrete toepassingen. Deze verschillen van de door de fabrikant gepubliceerde gegevens omwille van productspecifieke elektrische aansturing en thermisch gedrag.

Specifieke lichtstroom (lm/W)

De specifieke lichtstroom geeft de verhouding weer tussen de lichtstroom en het opgenomen vermogen. Net als bij fluo, dient men een onderscheid te maken tussen de specifieke lichtstroom van de lichtbron (ledcomponent, gemeten op 25° of 85°C junctietemperatuur en met een standaard aanstroom) en die van een armatuur, inclusief driver en optiek.

Ter illustratie een voorbeeld van U7 met led:

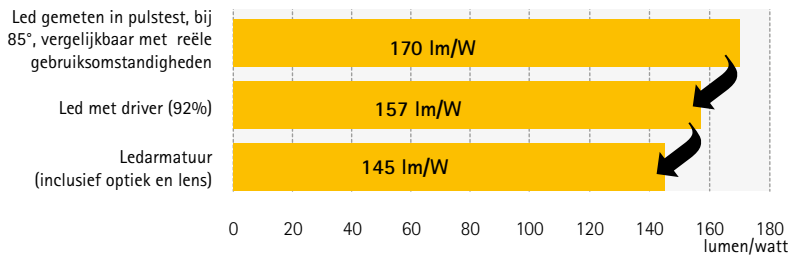


Fig. 16: U7

Ter vergelijking: een efficiënte U5-reflectorarmatuur met fluorescentielamp 1 x 32W

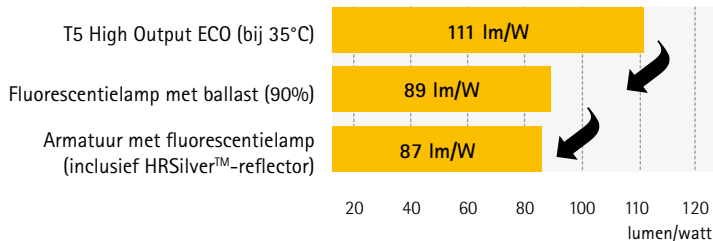


Fig. 17: U5-reflectorarmatuur

Anders dan bij fluorescentieverlichting wordt het rendement van een ledarmatuur bepaald door het totaalontwerp: stroomdensiteit, optiek en warmtehuishouding. Terwijl bij fluorescentieverlichting de lampen steeds ontworpen zijn voor een werkingstemperatuur van 35° (invloed warmtehuishouding = 1) en de aansturing steeds nominaal is (34W-lampen worden aangestuurd door 34W, dus invloed aansturing = 1), wordt het rendement bij ledverlichting wél sterk bepaald door het armatuurontwerp.

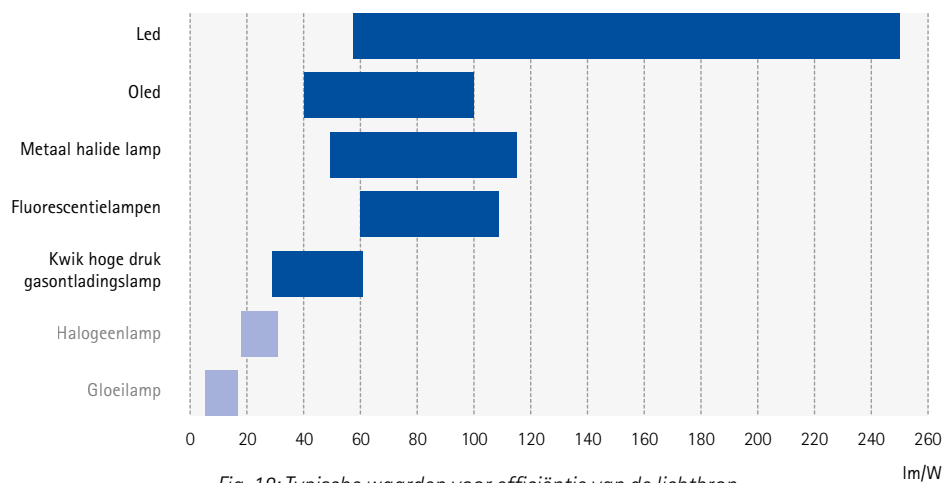


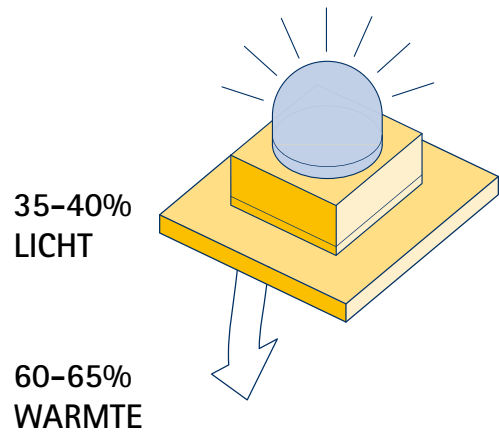
Fig. 18: Typische waarden voor efficiëntie van de lichtbron

Leds met een hoge kleurtemperatuur en dus kouder licht hebben een grotere efficiëntie dan dezelfde leds met een lagere kleurtemperatuur. Het luminescent materiaal dat wordt gebruikt om warm wit te creëren, bevat namelijk meer rood en de efficiëntie van deze rode component is lager dan die van de gele. Waardoor het globale rendement van de led daalt.

II. WARMTEHUISHOUDING

Algemeen geldt: hoe beter de warmteafvoer, hoe efficiënter de led(verlichting). Afhankelijk van de ledperformantie wordt 35-40 % van de energie omgezet in zichtbaar licht en 60-65 % in warmte binnen in de component (dissipatie). Ter vergelijking: fluorescentielampen stralen ook zo'n 25 % van het omgezette vermogen uit als zichtbaar licht. Maar het verschil is dat bij fluo ook zo'n 40 % van de energie uitgestraald wordt onder de vorm van infrarode of warmtestraling. De overige 35 % wordt omgezet in interne warmte en UV.

De lichtopbrengst van leds daalt geleidelijk in functie van een stijgende junctietemperatuur. Bij lagere temperaturen neemt de lichtopbrengst toe: leds functioneren steeds beter naarmate hun werkingstemperatuur lager is.



led = 18x Cree XP-G2 R2 4000K @ 350 mA

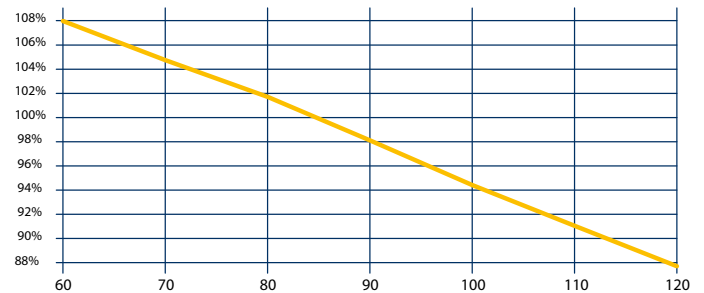


Fig. 19: Invloed van junctietemperatuur op lichtopbrengst (ref. 85°)

Maar niet enkel de lichtopbrengst is afhankelijk van de temperatuur. Ook de functionele levensduur wordt er, vanaf een kritische temperatuur, door beïnvloed.

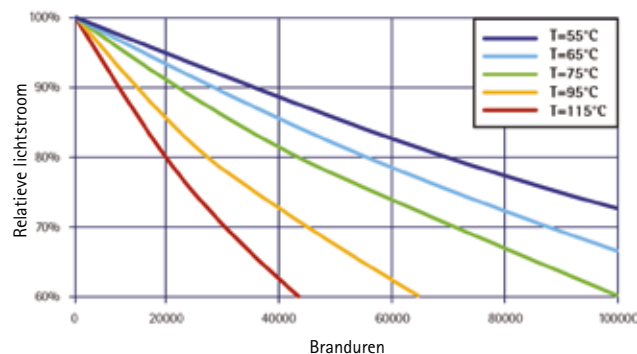


Fig. 20: Depreciatie van de lichtopbrengst in de tijd voor verschillende junctietemperaturen

Een goede temperatuurhuishouding is dus essentieel. De warmteafvoer vanuit de led naar de omgeving gebeurt in opeenvolgende stadia (via verschillende warmte-weerstand):

- De door de led gegenereerde warmte wordt via het substraat tot aan het soldeerpunt geleid (1, intern in led).
- Van daaruit wordt de warmte over de ledprintplaat verspreid (2).
- Een thermische interface (3) of TIM (Thermal Interface Material) zorgt voor een optimale warmteoverdracht tussen printplaat en heatsink (4).
- Door convectie en straling wordt de warmte naar de omgeving afgevoerd.

Vrije luchtstroming rond de armatuur is essentieel voor een goede warmteafgifte. Daarom zal het thermisch gedrag van een ledtoestel anders zijn bij opbouw dan bij inbouw, en moet er bij inbouw steeds voldoende vrije ruimte rond de armatuur zijn (zo mag er zeker geen isolatie rond!). Ook onderhoud (stofvrij houden) van de heatsink is belangrijk voor een goede temperatuurhuishouding.

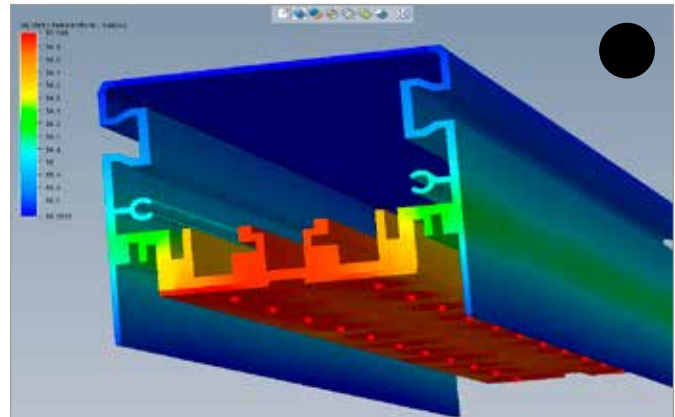
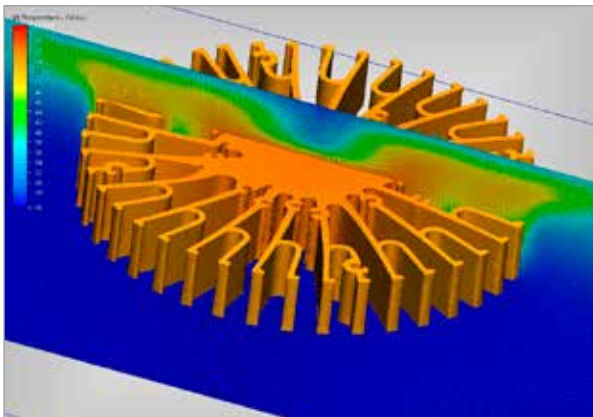
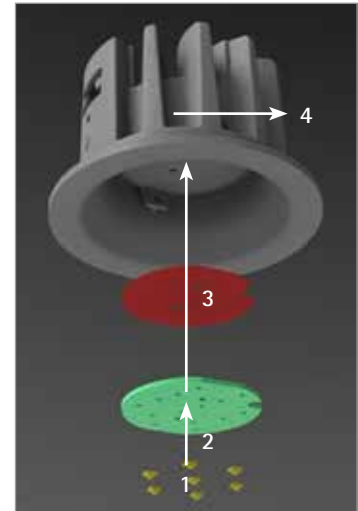


Fig. 21-22: Warmtestudies voor D9 (links) en U3 (rechts).

3. KLEURASPECTEN

I. KLEURWEERGAVE – TM-30-15

Kleurweergave in verlichting wordt sinds jaar en dag weergegeven door de Color Rendering Index (CRI). Deze Index werd in de loop van de vorige eeuw ontwikkeld. Toch heeft het systeem enkele belangrijke tekortkomingen, waardoor IES (Illuminating Electrotechnical Society) in 2015 een rapport publiceerde (TM-30-15) waarin een nieuwe meetwijze wordt voorgesteld.

Basisprincipe CRI

De kleurweergave-index van een lichtbron geeft weer hoe getrouw kleuren worden weergegeven ten opzichte van een referentiebron, wanneer een object door de lichtbron in kwestie wordt belicht. Om deze index vast te stellen, vergelijk je de reflectie van een set kleursamples wanneer deze achtereenvolgens door een testlichtbron en door een referentielichtbron wordt verlicht. Bij lage kleurtemperaturen is de referentielichtbron een zwarte straler, vanaf 5000 K vergelijken we met het daglichtspectrum.



Fig. 23: Lichtbronnen met een verschillende CRI kunnen eenzelfde object er heel anders doen uitzien.

Kritiek op oude CRI

- De oude index (CRI) is gebaseerd op een beperkt en inmiddels gedateerd kleurspectrum. De klassieke Ra-waarde is bijvoorbeeld de gemiddelde CRI over een set van 8 weinig gesatureerde pastelkleuren:



Het is mogelijk dit uit te breiden met meer gesatureerde kleuren (vb. zes kleuren R9-14), wat nog steeds een beperkte dekking geeft van onze waarneembare kleuren.



- CRI geeft beperkte informatie weer: een hoge CRI geeft aan dat de kleurbetrouwbaarheid goed is, ten opzichte van de referentie. Bij een lagere waarde weet je echter niet in welke richting je testlichtbron afwijkt tov. van je referentie (zie fig. 24), en of dit noodzakelijk slecht is. Met andere woorden, CRI is geen maat voor subjectieve voorkeur/acceptatie.
- De ledtechnologie biedt veel meer mogelijkheden qua kleurvariëteiten dan de klassieke lichtbronnen. Er bestaan vandaag vele ledcomponenten met bijvoorbeeld een bijzonder groot kleurbereik dat niet door CRI gekwantificeerd kan worden.

- De abrupte overgang tussen de twee referentielichtbronnen (lager of hoger dan 5000 K – zie boven), gaf de mogelijkheid tot subjectieve documentatie van lichtbronnen.

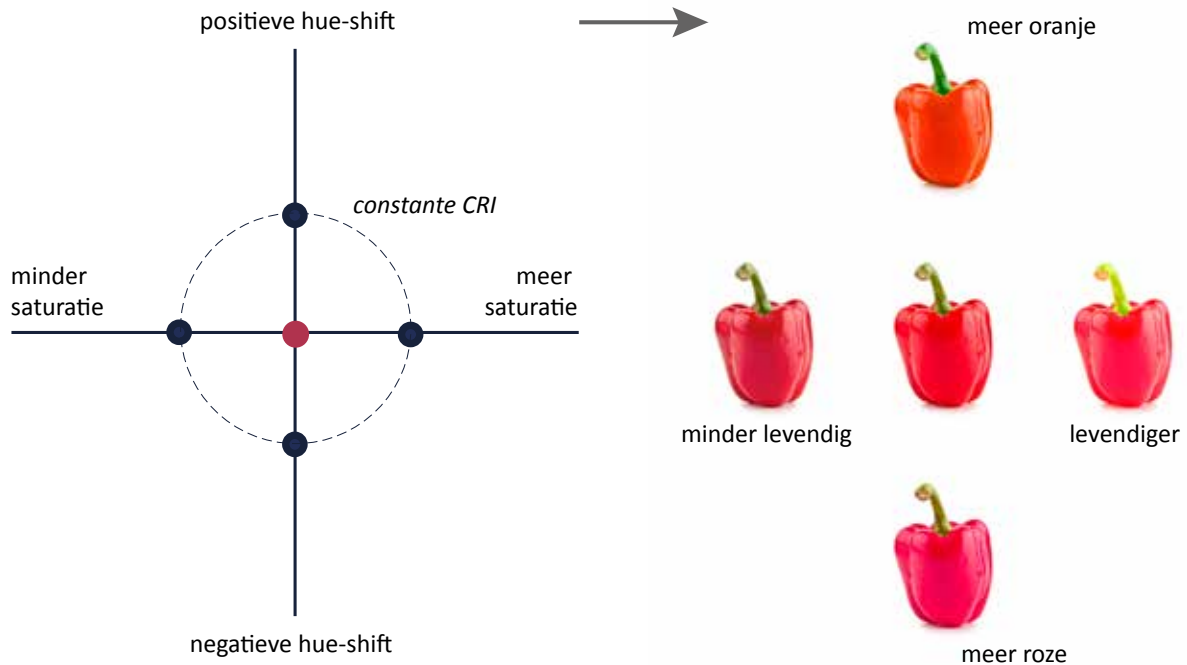


Fig. 24: de oude CRI geeft enkel informatie over de grootte van de afwijking, niet over de verschuiving in intensiteit (saturation) en kleurtint (hue).

Verbeteringsvoorstel IES

Het nieuwe meetsysteem dat IES voorstelt bestaat uit 2 principes: een verbeterde versie van de CRI-metriek, nl. Color Fidelity Index (CFI), en een bijkomende parameter, Color Gamut.

Color Fidelity Index (CFI of Rf):

CFI baseert op een veel rijkere kleurenset dan CRI, nl. 99 kleuren (Color Evaluation Samples of CES). Terwijl men dus vroeger de afwijking naging tussen de testlichtbron en de referentielichtbron voor 15 kleuren, doet men dit nu voor 99. Deze 99 kleuren vormen een synthese van een uitgebreide database > 100.000 objecten) en geven een meer uniforme afdekking van het gamut (ook gesatureerde kleuren).

Het kleurmodel dat men gebruikt voor de berekening (CIE-CAM08-UCS) staat bovendien voor een meer correcte interpretatie van kleurafstanden. Dit wil zeggen dat de verschillende kleurtinten een ongeveer even grote oppervlakte beslagten in de kleurruimte. Concreet berekent men aan de hand van dit verbeterd kleurmodel de afwijking tov. de referentielichtbron, voor 99 kleuren. De gemiddelde afwijking voor die 99 kleuren resulteert in een getal tussen 0 en 100. Dit in tegenstelling tot CRI die ook een negatieve waarde kan zijn.



Net als bij CRI vergelijkt men de testlichtbron tot 4500 K met een zwarte straler, en vanaf 5500 K met een daglichtcurve. Heeft de testlichtbron een kleurtemperatuur tussen 4.500 en 5.500 K, werk je met een mix van beiden, wat de abrupte overgang en dus de mogelijkheid tot interpretatie elimineert.

CRI vs. CFI voor bestaande lichtbronnen

- Voor lichtbronnen met continue spectra (vb. gloeilampen, metaalhalidelampen, led) bestaat er een goede correlatie tussen CFI en CRI.
- Lichtbronnen met gepiekte spectra (vb. triband-fosfor fluorescentielampen) hebben doorgaans een iets lagere CFI-waarde.

Color Gamut (Rg):

Waar de CFI iets zegt over de gemiddelde kleurshift tov. je referentielichtbron, geeft de Color Gamut bijkomende informatie over de richting waarin die verschuiving plaatsvindt, qua kleurtoon (hue) en qua verzadiging (saturation).

Concreet wordt de kleuruimte met 99 punten ingedeeld in 16 zones (bins), waarop de gemiddelde afwijking per zone grafisch wordt weergegeven. Deze punten worden met elkaar verbonden en vormen de color gamut area. Is deze area van de testlichtbron even groot als die van de referentielichtbron, bedraagt de Rg 100. Is de area groter dan die van de referentielichtbron, is $R_g > 100$, wat betekent dat de testbron een rijker kleurenpalet weergeeft dan de referentiebron. Is de oppervlakte kleiner dan die van de referentiebron, is $R_g < 100$.

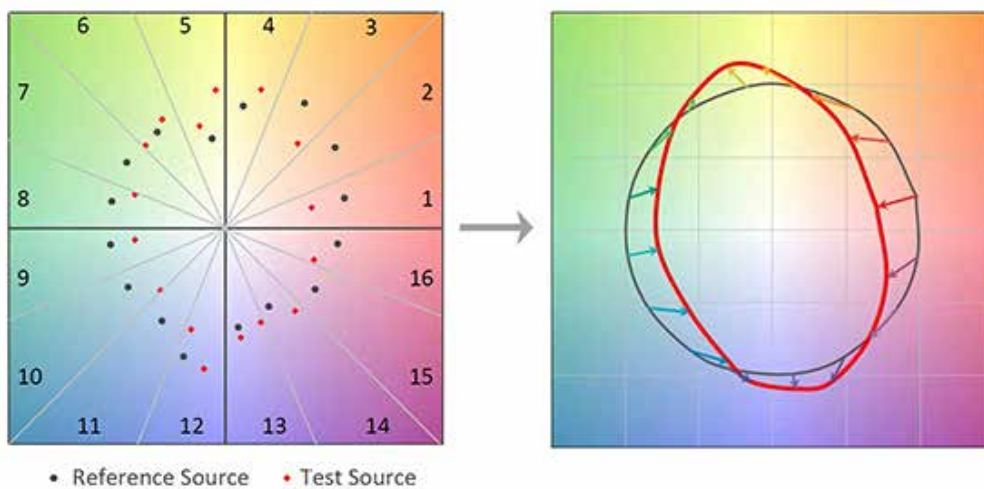


Fig. 25: De gemiddelde kleurwaarden per bin worden zowel voor de testbron (rood) als voor de referentiebron (zwart) in kaart gebracht. De verbonden punten vormen de gamut area (rechts). Die toont aan in welke mate de testbron afwijkt van de referentiebron.

Om de kwaliteit van een lichtbron weer te geven, dient men rekening te houden met beide factoren: R_f en R_g . Een lichtbron met een hoge R_f , heeft niet noodzakelijk een hoge R_g . En een lichtbron met een lage R_f kan bepaalde applicaties een meer geschikte kleurweergave hebben dankzij een hoge R_g . Enkel bij een R_f van 100, kan R_g ook 100 zijn. Wil men een R_g hoger dan 100 bekomen, dan moet R_f noodzakelijk kleiner dan 100 zijn.

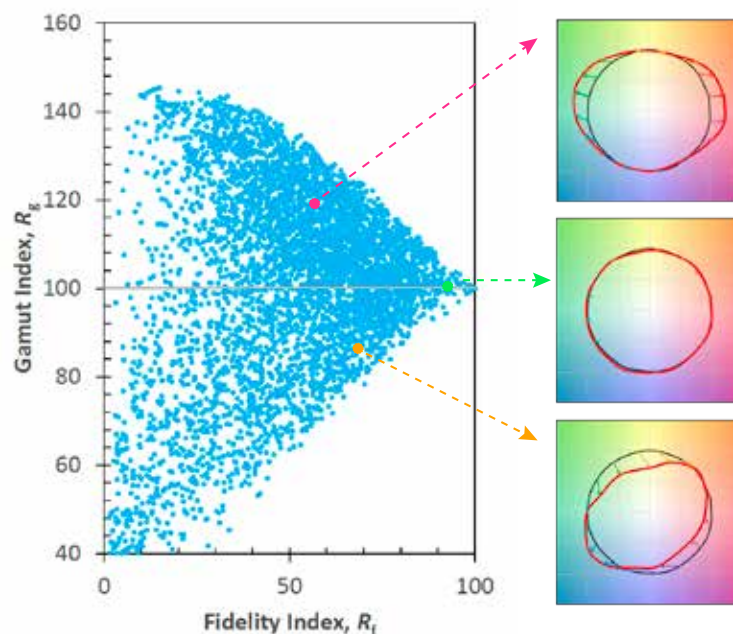


Fig. 26: Bovenstaande grafiek geeft het bereik weer van reële lichtbronnen (blauw). De eerste lichtbron (roze) heeft een relatief lage R_f -waarde, maar hoge R_g (dus meer gesatureerde kleuren dan referentielichtbron). De tweede (groen) bevindt zich ongeveer op de as van 100 R_g en ligt daarom bijzonder dicht bij de referentielichtbron. De derde (oranje) heeft weliswaar een hoge R_f -waarde, maar een lagere gamut dan de referentielichtbron.

Hoe gaan we het in toekomst doen?

Het door IES gepresenteerde voorstel wordt door het CIE overwogen. Het huidige rapport bevat enkel een voorstel voor het meten en kwantificeren van kleurweergave. In een later stadium moeten er ook applicatienormen volgen. Door het nieuwe systeem kan je namelijk ook focussen op bepaalde tinten (hues). Een goede kleurweergave van rode tinten is bijvoorbeeld belangrijk voor de verlichting van vlees, (rood) fruit of huidtinten, terwijl in een viswinkel de blauwe tinten essentieel zijn.

Kort samengevat

- Een hoge CRI is geen garantie voor de beste kleurtoepassing of -acceptatie.
- De oude index (R_a of CRI) is niet alleen gebaseerd op een gedateerd kleurenpallet, maar geeft ook te weinig informatie over intensiteit en tint. Zeker bij ledtechnologie - die meer kleurvariëteiten biedt dan klassieke lichtbronnen - geeft CRI onvoldoende informatie weer.
- De nieuwe methode die IES voorstelt (Color Fidelity Index of CFI) is niet alleen gebaseerd op een rijker en geactualiseerd kleurenpallet, maar wordt bovendien aangevuld door een bijkomende parameter (Color Gamut, R_g). De grafische weergave van R_g maakt het mogelijk om te visualiseren in welke kleuren de testlichtbron beter scoort dan de referentielichtbron.
- Dankzij de nieuwe meetmethode TM-30-15 kan je - in functie van je toepassing - de meest geschikte lichtbron kiezen.

Bronnen:

Houser, K. (2016). LumeNet Workshop for PhD Students.

Royer M., David A. & Whitehead L. (2015). A Technical Discussion of IES TM-30-15.

II. BINNING

Bij de productie vertonen de leds van één zelfde batch of serie verschillende kenmerken, bijvoorbeeld wat betreft intensiteit en kleur. Het gebruik van verschillende leds door elkaar in dezelfde armatuur zou dus onvermijdelijk tot verschillende lichtsterkteniveaus en verschillende lichtkleuren leiden. Daarom gaan we aan "binning" doen.

"Binning" is het sorteren van de leds volgens bepaalde criteria zoals:

- colour binning: het sorteren volgens kleurcoördinaten (x,y) gecentreerd rond individuele kleurtemperaturen;
- flux binning: het sorteren volgens lichtstroom, gemeten in lumen (lm);
- voltage binning: het sorteren volgens de voorwaartse spanning, gemeten in volt.

Door het selecteren van een bepaalde "kleurbin" wordt een constante kwaliteit van het licht gegarandeerd. Leds van dezelfde bin hebben dus eenzelfde waargenomen kleur. Verschillen in kleurbins vallen bijvoorbeeld sterk op bij gelijkmatige uitlichting van een egale wand.

In de studie van kleurwaarneming wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde "MacAdam-ellipsen" (zie figuur 28). Zulke ellips is een gebied in het CIE-diagram die alle kleuren omvat die het menselijk oog niet kan onderscheiden van de kleur in het centrum van die ellips. Ledfabrikanten gebruiken de maat SDCM (Standard Deviation Colour Matching), waarbij 1 SDCM overeenkomt met 1 MacAdam.

Hoe past ETAP binning toe bij verlichtingsarmaturen?

ETAP volgt de binningpolitiek van de op kwaliteit geselecteerde ledfabrikanten. Deze laten hun politiek evolueren in functie van technische vooruitgang, nieuwe procesbeheersing, logistieke aspecten, enz... Voor de eindgebruiker hebben die wijzigingen geen gevolgen: ook de gewijzigde methodes zorgen voor een uniforme kleurtemperatuur. De armaturen van ETAP (zowel met laagvermogenleds, hoogvermogenleds als chip-on-board leds) voldoen aan 3 SDCM.

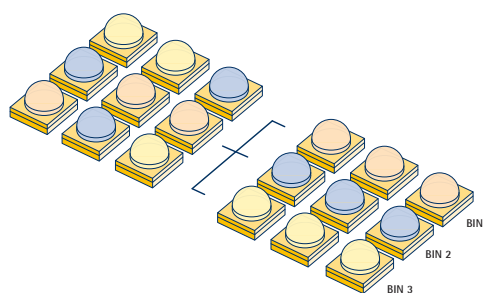


Fig. 27: Principe van binning

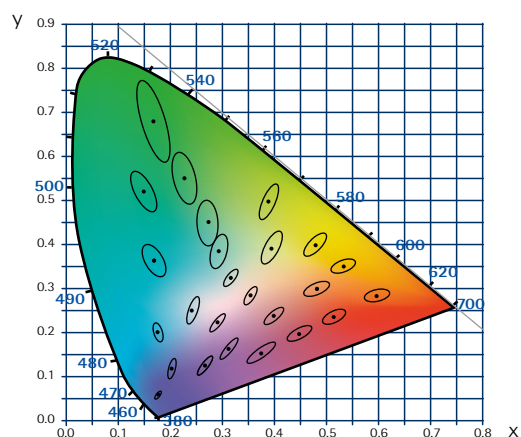


Fig. 28: Illustratie van MacAdam-ellipsen (bron: Wikipedia)

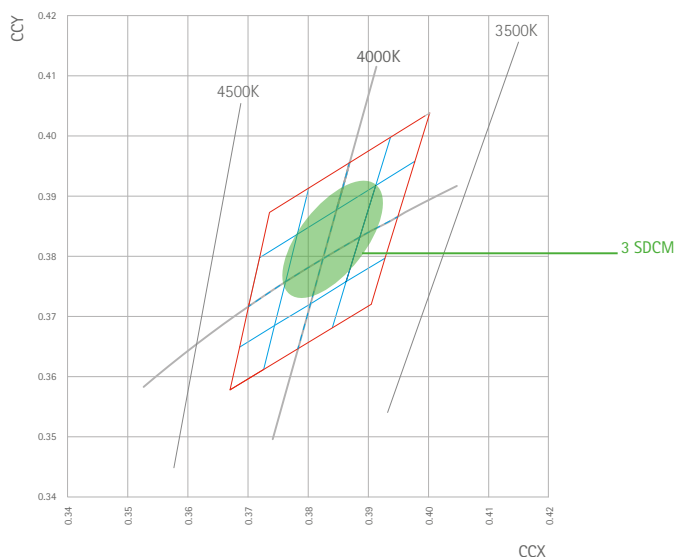


Fig. 29: Illustratie van het binningprincipe

III. STRALING (IR/UV)

Leds ontwikkelen geen ultraviolet (UV-) of infrarood (IR-) straling in de lichtbundel*. Dit maakt hen uitermate geschikt voor omgevingen waarin zulke straling vermeden dient te worden, zoals in musea, winkels met levensmiddelen of klerenwinkels.

De led zelf genereert wel warmte, maar die wordt naar achter geleid, weg van het te verlichten object (zie warmtehuishouding). Ook de uitgestraalde lichtbundel vertegenwoordigt energie die bij absorbtie wordt omgezet in warmte.

* De behuizing daarentegen genereert wel IR-straling (door warmte).

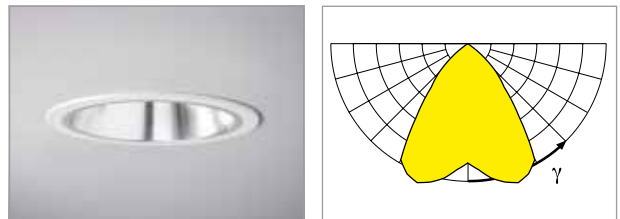
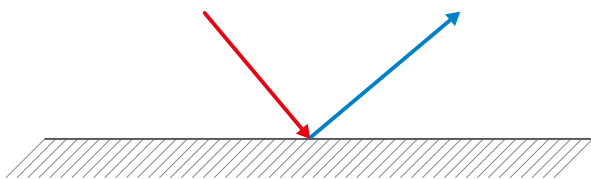
4. LICHTBEHANDELING

I. LICHTVERDELING/SOORTEN OPTIEKEN

De meeste leds hebben een brede lichtverdeling en stralen licht uit in een hoek van 80 tot 140° (volledige hoek). Met behulp van secundaire en tertiaire optieken (reflectoren, refractoren of diffusoren) kunnen we specifieke lichtverdelingen bereiken. Een gepaste lichtverdeling is belangrijk om in elke toepassing het specifiek vermogen, en daarmee ook het energieverbruik, zo laag mogelijk te houden.

a. Reflectie

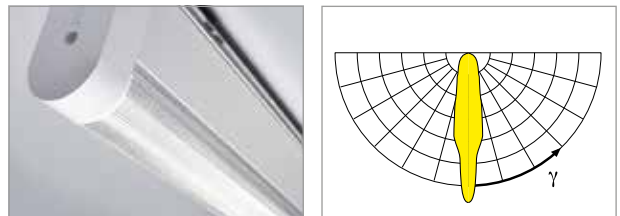
Men creëert de gewenste lichtverdeling door het licht aan een oppervlak te weerkaatsen.



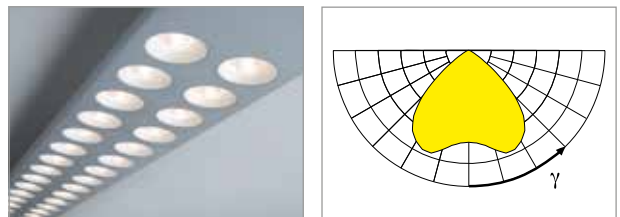
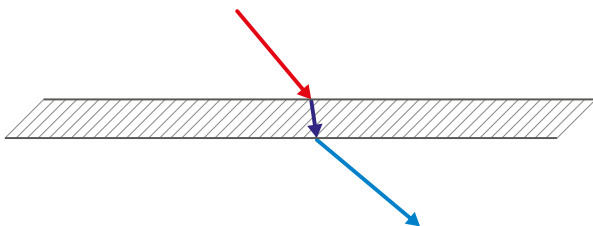
vb. D1 led

b. Refractie

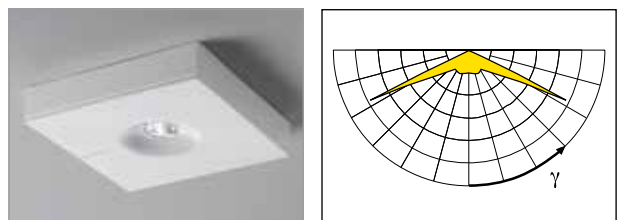
Het licht wordt door een transparant materiaal (vb. lens) gestuurd en door de optische dichtheid (brekingsindex) en de vorm van het materiaaloppervlak gebroken en vervolgens in de juiste richting gestuurd.



vb. E4 met DUAL•LENS-technologie met diepstralende lens



vb. R7 met LED+LENS™-technologie met breedstralende lenzen

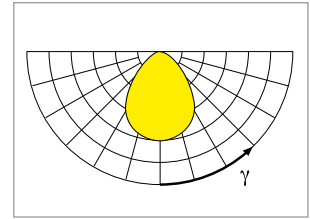
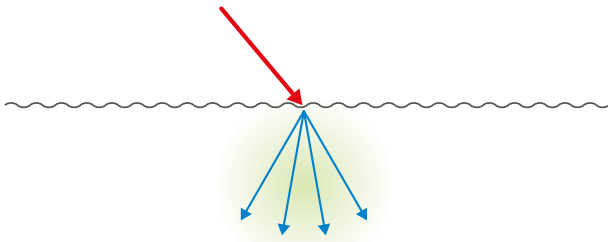


vb. K9-antipaniekverlichting met extreem breedstralende lens

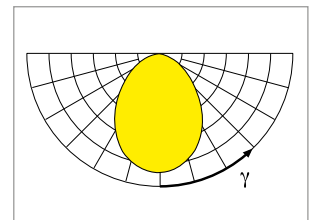
c. Verstrooiing of meervoudige afbuiging

Het licht wordt verstrooid:

A. aan een materiaaloppervlak door middel van een oppervlakte structuur.

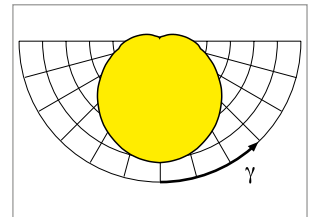
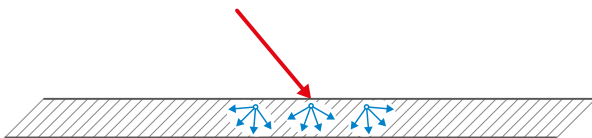


vb. U25 met MesoOptics™-folie



vb. US met microprismastructuur

B. in een materiaalvolume door middel van insluitels.



vb. R8 met HaloOptics®-diffusor

II. LUMINANTIE

Met de voortdurende toename in ledperformanties en maximale vermogens, stijgt ook de bronluminantie zeer snel. Deze luminanties kunnen al snel 10 tot 100 miljoen cd/m^2 bedragen. Want hoe kleiner het oppervlak waaruit het licht komt, hoe groter de luminantie van de lichtbron kan worden.

Enkele voorbeelden van bronluminanties:

- Lineaire fluo - T8: $14.000 \text{ cd}/\text{m}^2$
- Lineaire fluo - T5: $15.000 - 20.000 \text{ cd}/\text{m}^2$ à $17.000 \text{ cd}/\text{m}^2$ (HE) en $20.000 - 33.000 \text{ cd}/\text{m}^2$ (HO)
- Compact fluo: vb. 26 W $50.000 \text{ cd}/\text{m}^2$
- Naakte led 3 W (100 lm): $100.000.000 \text{ cd}/\text{m}^2$
- Zon: $1.000.000.000 \text{ cd}/\text{m}^2$ (=10 x led!)

Een doordacht optisch ontwerp is dan ook een absolute noodzaak om het licht van deze felle puntbronnen te spreiden, rechtstreekse inblik te vermijden en verblinding te verminderen. Hiervoor kunnen we zowel lenzen, reflectoren als diffusoren inschakelen. Enkele voorbeelden:

- D4-downlight (UGR<19, luminantie <1000 cd/m^2 bij 65°):
 - Opdeling van de lichtbron over grotere oppervlakte om luminanties te beperken.
 - Gebruik van lenzen met getextureerd oppervlak voor afvlakking van de piekluminanties per lichtbron.
- U2 met led: de lichtbron wordt gespreid over de gehele armatuur. De MesoOptics™-diffusor vlakkt de luminanties uit en zorgt voor een gecontroleerde lichtverspreiding.

Aangezien de klassieke UGR-berekeningsmethode geen rekening houdt met luminantievariëaties binnen eenzelfde armatuur of optiek, lopen er momenteel onderzoeken om het huidige UGR-model te verbeteren. Een aantal voorstellen gaan uit van zogenaamde luminantiebeelden, welke de luminantievariëaties binnen het lichtgevend oppervlakte van een armatuur gedetailleerd weergeven.

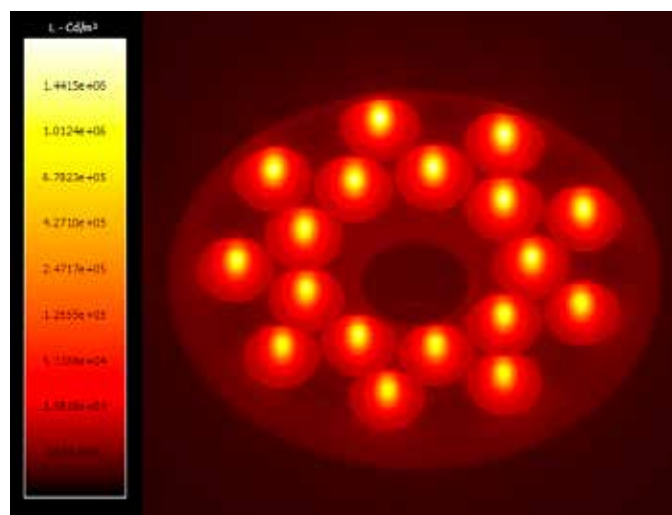


Fig. 30: Typische luminantiemap voor een D4-downlight, bij een kijkhoek van 40°

5. ELEKTRISCHE VEILIGHEID

Leds werken op laagspanning (typisch rond 3V), daarom wordt vaak gedacht dat elektrische veiligheid geen aandachtspunt is. In de huidige verlichtingsoplossingen met led kan de spanning echter oplopen tot 100V en meer. Bijgevolg moet men extra maatregelen nemen om de armaturen aanraakveilig te maken.

Leds in serie doen spanning oplopen

Leds in verlichtingsarmaturen worden bij voorkeur zoveel mogelijk in serie geschakeld. Het logisch gevolg is echter dat de spanning oploopt. Een van de voordelen van leds is dat ze op een lage spanning werken met per led een spanningsverschil van ongeveer 3V. Als men echter 30 leds binnen één armatuur in serie schakelt, heeft men toch al 90V. Er bestaan zelfs leddrivers die een uitgangsspanning boven 200V kunnen generen. Die moeten extra elektrisch worden beveiligd.

Extra isolatie nodig vanaf 24V

AC	DC
$V < 25 V_{RMS} (I_{RMS} < 0,7 \text{ mA})$	$< 60 V_{DC} (I_{DC} < 2 \text{ mA})$
$25 V_{RMS} < V < 60 V_{RMS}$	$< 60 V_{DC} < V < 120 V_{DC}$
$60 V_{RMS} < V < 120 V_{RMS}$	

Fig. 31: Volgens de internationale normen IEC 61347 bestaat er tot 24V (AC) of 60V (DC) geen risico voor aanraking (groen). Bij ledarmaturen met een hogere uitgangsspanning (rood) zijn er wel bijkomende veiligheidsmaatregelen nodig.

Internationale normen (IEC 61347) schrijven voor dat er vanaf 24V² extra maatregelen nodig zijn om de armatuur aanraakveilig te maken. Leds en andere stroomvoerende onderdelen mogen van buitenaf niet aanraakbaar zijn. De oplossing moet zo worden gemaakt dat de led pas kan worden aangeraakt na openen van de armatuur met speciaal gereedschap. Bovendien moet er een goede basisisolatie zijn tussen alle aanraakbare geleidende delen van de armatuur en alle stroomvoerende delen. Concreet voorziet ETAP voldoende lucht- en kruipwegen en wordt er elektrisch isolerend materiaal gebruikt, zonder dat de thermische huishouding hieronder lijdt.

Vervangbare lichtbron of niet?

De norm EN 60598: 2014 (ed. 8) bepaalt of de lichtbron van ledarmaturen

- A. niet vervangbaar is (armatuur moet worden vernietigd om toegang tot de lichtbron te krijgen);
- B. vervangbaar is door de gebruiker (lichtbron makkelijk en op een veilige manier vervangbaar);
- C. vervangbaar is door de fabrikant (lichtbron moet beschermd zijn door een afscherming die met minstens twee onafhankelijke bevestigingen en niet zonder gereedschap kan worden gedemonteerd).



Voor armaturen binnen deze laatste categorie C. moet sinds 2017 verplicht een waarschuwing op de armaturen aangebracht worden dat zich achter de afscherming een gevaarlijke spanning bevindt.

2 Ook de isolatieklasse van de driver bepaalt of er al dan niet bijkomende veiligheidsmaatregelen nodig zijn.

6. FOTOBIOLOGISCHE VEILIGHEID

De Europese norm voor fotobiologische veiligheid EN 62471 beschrijft een classificatiesysteem dat aangeeft of een lamp of verlichtingsarmatuur risico op oog- en huidschade inhoudt. Gezien de hoge luminanties die ontstaan bij heel wat hoogvermogenleds, is het gevaar voor oogschade niet uitgesloten. Daarom is het belangrijk dat de fotobiologische veiligheid correct gemeten en duidelijk gepubliceerd wordt.

Ledlicht bevat nauwelijks licht uit het ultraviolette of infrarode spectrum en is dan ook niet gevaarlijk voor de huid. Het bevat echter wel een hoge piek in het blauwe spectrum waardoor (langdurige) inkijk in een felle lichtbron aanleiding kan geven tot onomkeerbare beschadiging van het netvlies, de zogenaamde Blue Light Hazard (BLH).

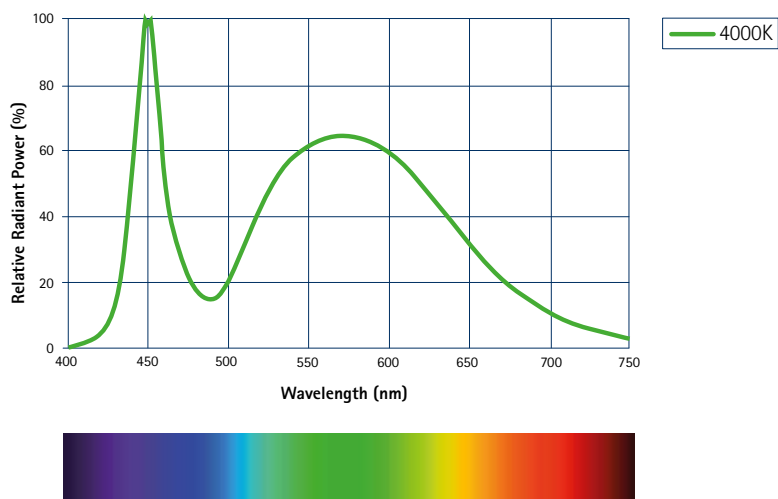


Fig. 32: Ledlicht bevat een hoge piek in het blauwe spectrum, waardoor er voldoende aandacht moet worden besteed aan beschermende maatregelen.

Vier risicogroepen

Of dat risico reëel is, hangt van meerdere factoren af: het vermogen van de led, de kleurtemperatuur, maar ook de lichtverdeling en de afstand tot de armatuur spelen een belangrijke rol.

Om gebruikers toe te laten het gevaar in te schatten, bepaalt de norm EN 62471 dat lampen en armaturen worden onderverdeeld in vier risicogroepen. Voor het risico op Blue Light Hazard zijn die groepen als volgt gedefinieerd:

- Risicogroep 0 ("exempt" groep): dit betekent dat er geen gevaar is, zelfs niet bij onbeperkt kijken naar de lichtbron.
- Risicogroep 1: het risico is beperkt, maximaal 10.000 seconden inkijk is toegestaan (iets minder dan 3 uur).
- Risicogroep 2: maximaal 100 seconden inkijk is toegestaan.
- Risicogroep 3: maximaal 0,25 seconden inkijk is toegestaan. Dit is korter dan de natuurlijke afkeerreflex van het oog.

Aangezien de norm EN 62471 een theoretische indeling betreft, gedefinieerd volgens een vaste kijkafstand, werd daarnaast ook een praktijkrichtlijn ontwikkeld (IEC/TR 62778) die de norm EN62471 sinds 2017 vervangt. Het gevaar op BLH hangt namelijk ook af van de kijkafstand (afstand tussen oog en led). Normaal kijkt men niet vanop een korte afstand in een armatuur, maar kortere kijkafstanden zijn wel reëel wanneer bijvoorbeeld een technicus onderhoud uitvoert. IEC/TR 62778 beschrijft binnen welke afstanden een verlichtingsarmatuur tot een bepaalde BLH-risicogroep behoort (zogenaamde grensafstanden).

Enkele voorbeelden:

- Diffusoren behoren tot risicogroep 0 (RG 0), vanaf welke afstand men er ook naar kijkt, vb. Kardó, R8, U2.
- Downlights en LED+LENS™-armaturen maken deel uit van RG 1, ongeacht de kijkafstand.
- Voor de lichtbron in figuur 32 geldt RG 1/RG 2 met een grensafstand x cm. Dat betekent dat de lichtbron tot RG 2 behoort bij kijkafstanden kleiner dan x cm.

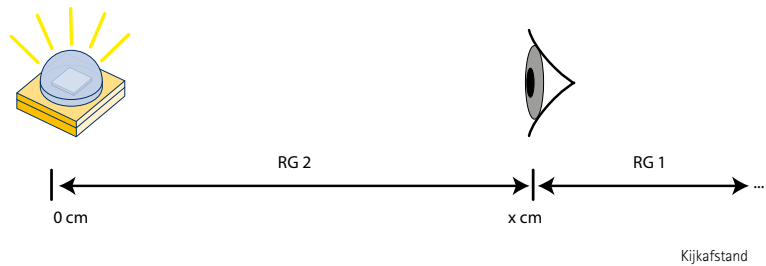


Fig. 33: Illustratie van grensafstanden

In welke mate er beschermende maatregelen nodig zijn hangt af van de toepassing. Hebben lichtbronnen een grensafstand RG 1/RG 2, moet dit verplicht aangegeven worden, net zoals de waarschuwing om niet rechtstreeks in de lichtbron te kijken.

Naakte witte leds (gebruikt in algemene verlichting) zitten vandaag in het slechtste geval in groep 2, nooit in groep 3. Bij de meeste armaturen zitten die leds achter een lens of een diffusor die het beeld van de bron optisch vergroten en zo de piekluminanties afvlakken. Daardoor zal de risicoklasse in de meeste gevallen verder afnemen.



ETAP beschikt over de juiste instrumenten om de metingen uit te voeren.

Correct meten, duidelijk publiceren

Tot welke groep een armatuur hoort, wordt vastgesteld volgens een specifieke meetprocedure, met behulp van gespecialiseerde meetinstrumenten (spectrometer). ETAP beschikt over de juiste opstelling en instrumenten om deze metingen in huis uit te voeren. Dat betekent dat ETAP alle armaturen nauwkeurig kan screenen op fotobiologische veiligheid. De uiteindelijke risicogroep van de oplossing wordt gepubliceerd op de website en in de productdocumentatie.

7. GEÏNTEGREERDE LICHTREGELING

Leds zijn niet alleen een energie-efficiënte lichtbron, ze werken ook uitstekend samen met lichtregelsystemen. Deze combinatie zorgt voor een hoog besparingspotentieel, maar creëert ook enkele bijkomende voordelen: de leds kunnen efficiënter gedimd worden dan fluorescentielampen, en hun levensduur wordt niet verkort door veelvuldig schakelen. Met daglichtafhankelijke lichtregeling kunt u ten slotte ook de depreciatie van uw ledinstallatie compenseren.

De bekendste lichtregelsystemen zijn de bewegingsafhankelijke regeling, die het licht dimt of schakelt wanneer gebruikers een ruimte binnenkomen of verlaten, en de daglichtregeling, waarbij het licht gedimd wordt in functie van de hoeveelheid daglicht die binnenvalt. Een combinatie van beide systemen kan in bepaalde situaties 55% of meer energie besparen.



U7 met daglichtafhankelijke lichtregeling (ELS)

Leds zijn minder gevoelig voor schakelen

Leds hebben een aantal specifieke eigenschappen die ze bijzonder geschikt maken voor het gebruik met lichtregelsystemen.

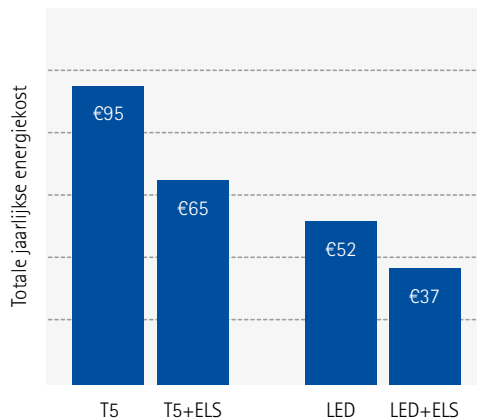
Veelvuldig schakelen en/of dimmen heeft in de meeste toepassingen weinig invloed op de levensduur van de leds*. Dit in tegenstelling tot fluorescentielampen, waar bij het aanschakelen telkens een klein deeltje van het emittermateriaal in de lamp verloren gaat. Dat zie je bijvoorbeeld aan de donkere vlekken aan de uiteinden van de lamp. In ruimtes met relatief korte aanwezigheden – denk bijvoorbeeld aan sanitaire ruimtes of gangen – zien we dan ook dat de vervangingsfrequentie voor fluorescentielampen snel oploopt.

Leds hebben dat probleem niet. Een led is immers een elektronische component, die ongevoelig is voor veelvuldig schakelen. Bovendien geven leds bij het opstarten meteen de volledige lichtstroom, wat het gebruikerscomfort verhoogt bij het binnenkomen van de ruimte.

* Uitgezonderd bij toepassingen waarbij leds aan extreme temperatuurvariaties onderhevig zijn.

Opmerking:

Het absolute besparingsvoordeel is met huidige leds gevoelig verkleind (vooral bij daglichtregeling)
Bijvoorbeeld: een klein kantoor, 500 lux, 6 armaturen, 12u/dag



C. DRIVERS

1. FLICKER

Variaties in lichtoutput worden algemeen aangeduid door de term Temporal Light Artifacts (TLA), gaande van netspanningsdips tot periodische lichtflinkeringen. Variaties van continue aard veroorzaken zichtbare lichtflinkeringen ("flicker") of stroboscopische effecten. Het verschil tussen beide laatste categorieën wordt voornamelijk bepaald door de frequentie: terwijl zichtbare flicker wordt veroorzaakt door trage fluctuaties (tot +/- 100 Hz) zorgen hoge fluctuaties (> 200 Hz) vooral voor stroboscopische effecten. Flicker zorgt niet alleen voor visuele hinder, maar kan ook de oorzaak zijn van hoofdpijn, neurologische problemen (epilepsie) of een verminderde focus. Stroboscopische effecten zorgen dan weer voor visueel foutieve beelden (denk aan schijnbaar vertraagde bewegingen van draaiende machines), wat tot gevaarlijke situaties kan leiden.

Niet iedereen is even gevoelig aan lichtvariaties. Onderzoek³ toont aan dat bijvoorbeeld 30% van alle mensen stroboscopische effecten waarneemt bij een frequentie van 300 Hz. 5% ondervindt hiervan lastige hinder.

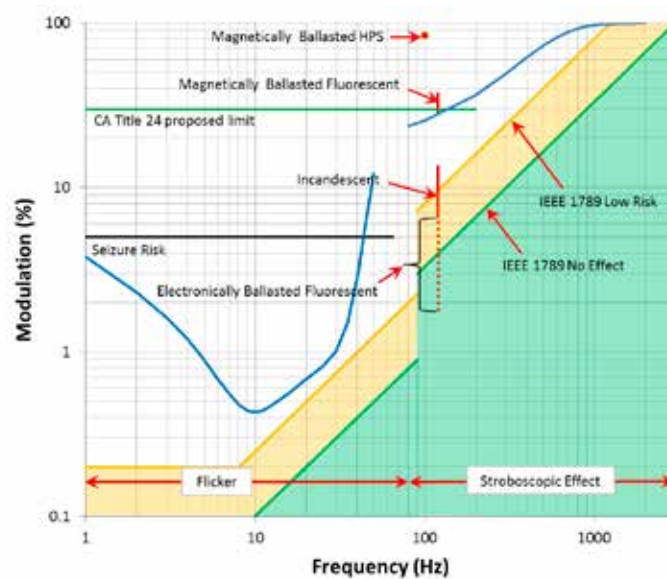


Fig. 34: de studie van Wilkins geeft o.a. weer dat de hinder door flicker afhangt van persoon tot persoon. Afhankelijk van de frequentie en de modulatie diepte, zijn verlichtingsoplossingen absoluut veilig (groen) of onveilig (wit). De gele band geeft een transitiezone weer. Deze indicatie geldt bij een signaal dat uit één frequentie bestaat.

Flicker en stroboscopische effecten vormen op zich geen nieuw fenomeen: ook bij klassieke lichtbronnen (vb. gloei- of fluorescentielampen) zijn TLA een bekend fenomeen. Bij fluorescentielampen kon dit probleem op structurele wijze worden verholpen door elektronische ballasten. Waarom is het bij ledverlichting opnieuw een grote issue? Leds reageren veel sneller. Daar waar klassieke lampen trager reageren (gloeilampen door op- en afkoelen gloeidraad, fluorescentielampen door de nagloeitijd van fosfor), reageren leds onmiddellijk bij elke variatie in aansturing, en dus ook bij elke onregelmatigheid in die aansturing. Het probleem situeert zich dus niet bij de lichtbron zelf, maar bij de driver.

Hoogwaardige ledoplossingen zijn zo ontwikkeld dat ze flicker voorkomen, door een kwalitatieve driver die de variaties in de stroom uitfiltert. Er zijn echter ook vaak oplossingen in de markt die er geen of onvoldoende aandacht aan besteden en waardoor mensen – al dan niet bewust – sterke hinder ondervinden in hun werk. Daarom was er nood aan een nieuwe norm om flicker bij ledverlichting te meten én om duidelijke acceptatiegrenzen te stellen.

3 Onderzoek door het Lighting Research Center in Detroit, bron: Last van led?, Allicht, 9e jaargang, no. 6, juni 2016

De oude norm (IEC TR 61547-1) die van toepassing was op klassieke lichtbronnen zoals fluorescentie- en gloeilampen was niet langer bruikbaar, aangezien leds complexere signalen, samengesteld uit meerdere frequenties, en een hoger frequentiegebied hebben. Bovendien dient bij ledverlichting zowel de aansturing als de lichtbron in rekening te worden gebracht, terwijl vroeger de lamp bij de meting eigenlijk buiten beschouwing werd gelaten.

Vroeger bestonden er 2 kwalificatiemetrieken:

- **flickerpercentage:** gebaseerd op het verschil tussen de minimale en maximale lampoutput, uitgedrukt in %. Voor magneetballasten ligt dit percentage typisch bij 15 à 30%. De variatie van minderwaardige ledoplossingen bevindt zich trouwens in dezelfde grootorde.

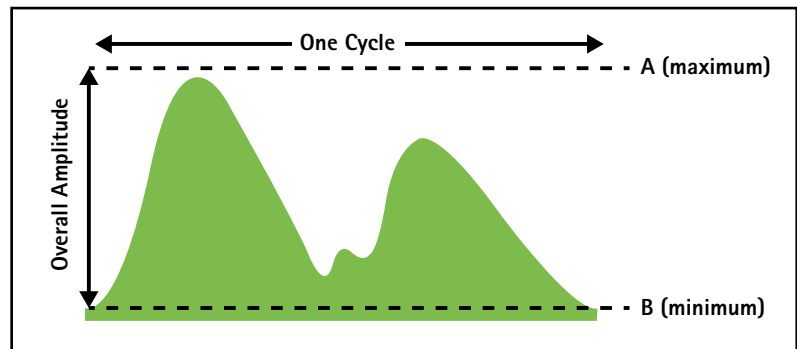


Fig. 35: Berekeningswijze flickerpercentage = $100\% \times [(A-B)/(A+B)]$

- **flickerindex:** waarbij je de oppervlakte boven het gemiddelde vergelijkt met de totale oppervlakte.

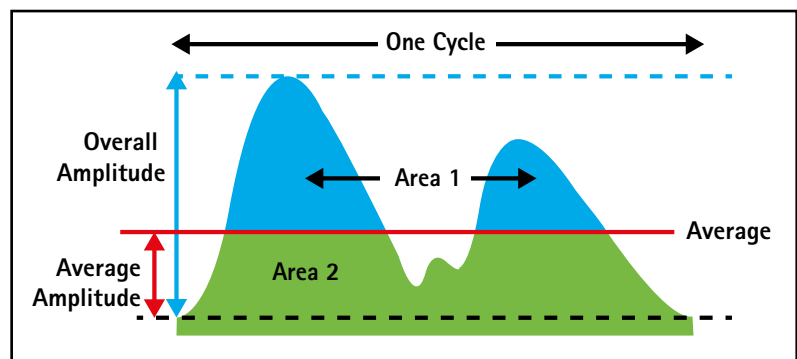


Fig. 36: berekeningswijze flickerindex = $\text{oppervlakte 1} / (\text{oppervlakte 1} + \text{oppervlakte 2})$

Deze oude metrieken houden echter geen rekening met de frequentie. Dat was ook niet nodig, aangezien de klassieke lichtbronnen hoofdzakelijk dezelfde frequentie vertonen (vb. 100 Hz bij fluorescentieverlichting). Zolang de pieken in de meetcurves dezelfde zijn, krijg je dan voor 2 verschillende frequenties hetzelfde flickerpercentage, en - index. Aangezien de aansturing van leds is opgebouwd uit verschillende signalen met een brede spectrale verdeling (frequentiegebied) en modulatie diepte, volstaan bovenstaande meetmethodes niet langer.

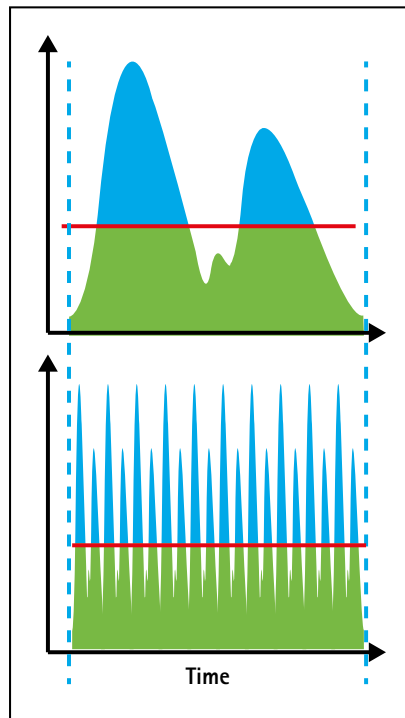


Fig. 37: Bovenstaande signalen hebben hetzelfde flickerpercentage of -index, terwijl ze in realiteit een andere frequentie en visueel resultaat hebben.

Ook een veelgebruikte dimmingtechniek bij drivers, PWM (Pulse Width Modulation), kan daarom niet op deze manier worden gemeten. Ook hier hangt het af van de frequentie, of gebruikers er hinder van ondervinden of niet. Enkel bij hoge frequentie en/of lage modulatie diepte, is PWM acceptabel.

In welke richting werden de normen gereviseerd?

Bij de nieuwe metriek gaat men de variaties in de output van de lichtbron meten met een sensor. Hierbij wordt de uitfiltering door het menselijk oog gesimuleerd. Men gaat na hoe de lichtoutput in de tijd varieert. Resultaat is een curve die de lichtstroom in de tijd weergeeft. Vervolgens voert men een signaalanalyse uit op dit meetsignaal, voor twee frequentiegebieden (< 100 Hz, > 100 Hz). Het resultaat zijn twee limietwaarden, voor flicker (Pst of short-term flicker metric) en voor stroboscopische effecten (SVM of Stroboscopic Visibility measure). Beide limieten worden ter illustratie aangegeven in de grafiek van Wilkins (blauw) voor een zuiver signaal (één frequentie), maar kunnen ook veralgemeend worden naar een complex (led)signaal (zie pagina 33, figuur 34: studie van Wilkins). De acceptatiegrenzen die op basis van deze berekeningen worden vastgesteld komen overeen met een risico van 50%, dwz er is een waarschijnlijkheid van 50% dat mensen hiervan last krijgen.

Wat moet u onthouden?

Een stabiele lichtoutput is – naast UGR/verblinding en kleurweergave – een belangrijk kwaliteitsaspect van ledverlichting. Daarom besteedt ETAP sinds het prille begin veel aandacht aan het gebruik van kwalitatieve led drivers om flicker en stroboscopische effecten uit te sluiten. Ook het IEC (International Electrotechnical Commission) heeft intussen een revisie van de norm IEC/TR 61547-1 (Voltage fluctuation immunity test) voorgesteld die toelaat om drivers volgens objectieve beoordelingscriteria te kwalificeren.

De relevante normen hieromtrent zijn:

- IEC 61000-3-3: Voltage fluctuations limits.
- IEC 61000-4-15 (ed. 2): Flicker meter (PST)
- IEEE 1789-2015: Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs (SVM)

2. KWALITEITSCRITERIA

De driver is één van de meest kritische componenten van ledoplossingen. De kwaliteit van ledarmaturen hangt niet alleen af van de ledlichtbron en het optisch ontwerp, maar net zo goed van de efficiëntie en betrouwbaarheid van de driver. Een goede leddriver moet aan zeven kwaliteitseisen voldoen:

Levensduur. De driver moet minstens dezelfde vooropgestelde levensduur hebben als de leds.

Efficiëntie. Een van de succesfactoren van led is energie-efficiëntie. Daarom moet ook de omzetting van netspanning in stroom zo efficiënt mogelijk gebeuren. Een goede leddriver heeft een rendement van minstens 85%.



Arbeidsfactor. De arbeidsfactor is een technische indicator van de driver die aangeeft hoe dicht de golfvorm van de stroom de referentiesinusoiden van de spanning benadert. De arbeidsfactor (λ) is samengesteld uit 2 delen: de verschuiving tussen spanning en stroom ($\cos \varphi$) en de vervorming van de stroom (harmonischen of Total Harmonic Distortion). Hoe kleiner de verschuiving en de vervorming van de golfvorm, hoe minder verliezen en vervuiling op het distributienet van de energieleverancier. Bij ETAP-leddrivers werken we uitsluitend met een arbeidsfactor van meer dan 0,9.

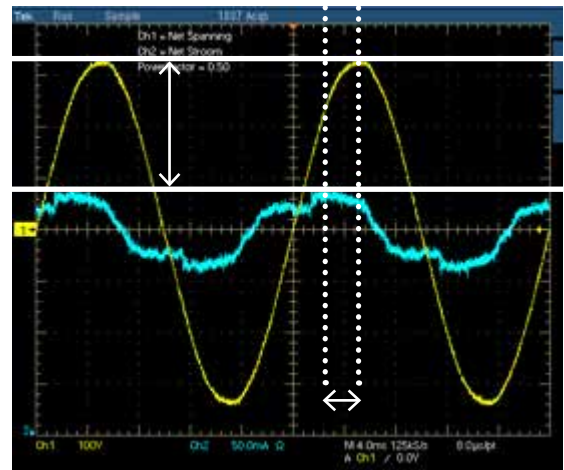
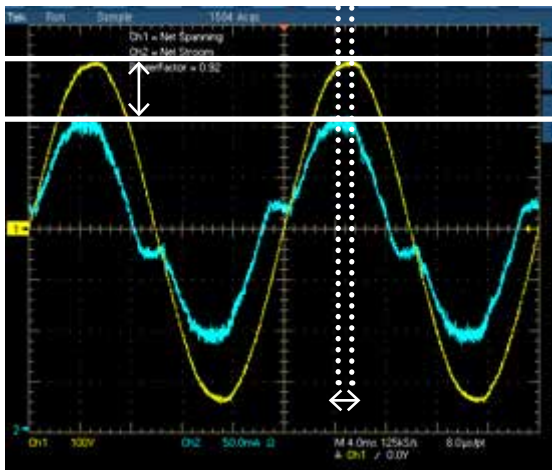


Fig. 38: Bij drivers met een hoge arbeidsfactor (links), vertoont de golfvorm van de stroom (blauw) weinig vervorming en verschuiving tov. de spanning (geel). Bij drivers met een lage arbeidsfactor (rechts) is dit wel het geval.

Elektromagnetische compatibiliteit (EMC). De driver moet zo weinig mogelijk elektromagnetische storingen veroorzaken in haar omgeving en tegelijk zelf zo weinig mogelijk beïnvloed worden door elektromagnetische storingen uit de omgeving. Een goede elektromagnetische compatibiliteit is daarom cruciaal.

Inschakelstroom (Inrush current). Wanneer een led-driver onder spanning wordt gezet, is er gedurende een korte tijd (een fractie van een milliseconde) een hoge piekstroom op het net. Dat komt omdat er in het begin condensatoren worden opgeladen. Bij drivers met lage inschakelstroom zullen, bij het tegelijkertijd onder spanning brengen van een aantal armaturen, de zekeringautomaten niet uitgeschakeld worden.

Golfstroom vorm. Een goede kwaliteit van de uitgangsstroom zorgt er voor dat er geen intensiteitsfluctuaties zijn zodat er geen flikkeringen of stroboscopische effecten ontstaan.

Filtering netspanning. Vervuiling op het elektriciteitsnet kan onder meer laagfrequente lichtflikkeringen (3 ... 50 Hz) veroorzaken. Door het snelle schakelvermogen van leds zijn deze goed zichtbaar, wat als zeer storend wordt ondervonden. Een goede led-driver zorgt ervoor dat de vervuiling van het elektriciteitsnet niet wordt doorgelaten op de uitgangsstroom zodat de lichtstroom stabiel blijft. De norm IEC/TR61 547-1 (An objective voltage fluctuation immunity test method) beschrijft de meetprocedure om lichtfluctuaties te kwantificeren.

De driver is dus een kritische component in elke led-oplossing. Kwalitatieve drivers kan men herkennen door de technische fiches bij de fabrikant op te vragen en na te kijken of aan bovenstaande kwaliteitseisen is voldaan. Bij ETAP zorgen we altijd voor kwalitatieve led-drivers, perfect aangepast aan de oplossing en zorgvuldig getest in onze labo's.

3. SOORTEN AANSTURING

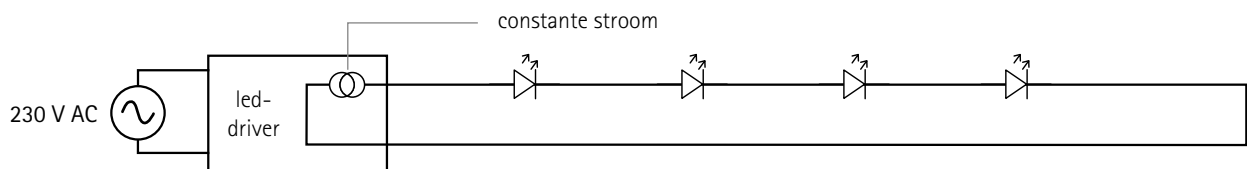
Leds zijn stroomgestuurde componenten. De stroom is rechtstreeks bepalend voor de lichtopbrengst en moet daarom nauwkeurig geregeld worden. Er zijn twee manieren van aansturen:

- **Constante stroombronnen**

Deze zetten de netspanning rechtstreeks om in een constante stroom. Deze methode geeft het hoogste rendement en is de meest kosteneffectieve methode. Nadeel is dat je modules met een constante stroombron enkel in serie kunt aansluiten – dit is lastiger qua installatie en bij hogere vermogens loopt de nodige uitgangsspanning sterk op (>100V).

Voorbeelden:

- Kantoorarmaturen: U3, U7,...
- Industriële armaturen: E5, E7,...

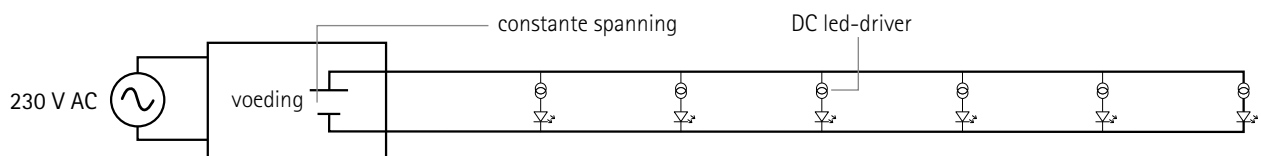


- **Constante spanningsbronnen**

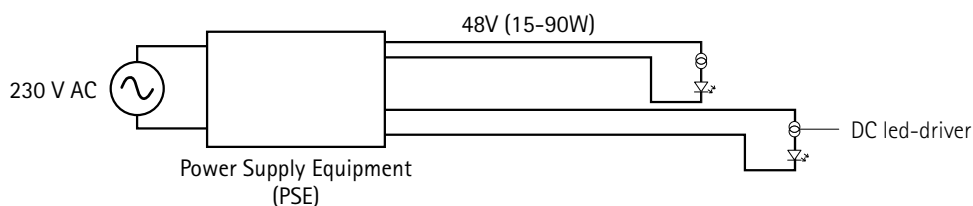
Dit zijn voedingen die de netspanning omzetten in een nauwkeurig geregelde spanning. Als zij gebruikt worden met leds of ledmodules moeten deze voedingen steeds voorzien zijn van een stroombegrenzer (bijvoorbeeld een weerstand) of een DC-leddriver die de gelijkspanning omzet in een constante stroom. Spanningsbronnen hebben als groot voordeel dat je verschillende modules op eenvoudige wijze parallel kunt aansluiten.

Voorbeeld:

- DC-bussysteem: DC-leddriver in de kabel geïntegreerd



- PoE (Power over Ethernet)



4. DIMMING

Leds kunnen op efficiënte wijze over een breed bereik worden gedimd (van quasi 0% tot 100%) of dynamisch aangestuurd. Dit kan op basis van gestandaardiseerde dim-methodes zoals DALI, 1-10 V of TouchDim, en ook rechtstreeks met bluetooth. De dimverliezen bij leds in de lagere dimbereiken zijn vergelijkbaar met de dimverliezen bij fluorescentielampen met de modernste dimballasten. Bij volledig dimmen is het residuele opgenomen vermogen praktisch verwaarloosbaar. Leds zijn dan ook uitermate geschikt om ze in geprogrammeerde, dynamische omgevingen te integreren.

In de praktijk bestaan er drie technieken om te dimmen: het stroomniveau verminderen (AM of Amplitude Modulation), de stroom omzetten in pulsen van gevarieerde aan/uit duur (PWM of Pulse Width Modulation) of hybride. Elke van deze drie toepassingen heeft voor- en nadelen. Onze specialisten helpen graag met concreet advies.

Alle bekende systemen voor dimmen zijn in principe ook toepasbaar op ledverlichting:



- DALI
- 1-10V (wordt minder toegepast bij ledverlichting)
- TouchDim
- DMX (minder toegepast voor verlichting, eerder gebruikt in theaterwereld).
- Fase aan/afsnijding (vooral residentiële markt)
- Bluetooth (Casambi, BLE, ...)

Rendement en specifieke lichtstroom dalen typisch bij lagere vermogens. Zo zijn downlights met een opgenomen vermogen lager dan 20 W algemeen minder efficiënt dan armaturen van 40 W of hoger.

Het is belangrijk dat de efficiëntie en de arbeidsfactor van een driver bij het dimmen goed blijven.

Het maximaal haalbare rendement van een driver wordt bepaald door het nominale vermogen waarvoor de driver is ontworpen (zie figuur 40). Voor drivers met een nominaal vermogen <25W zal het maximale rendement nooit hoger liggen dan 80-85%. Voor drivers met een vermogen groter dan ca. 35W zijn maximale rendementen van 90% en hoger haalbaar.

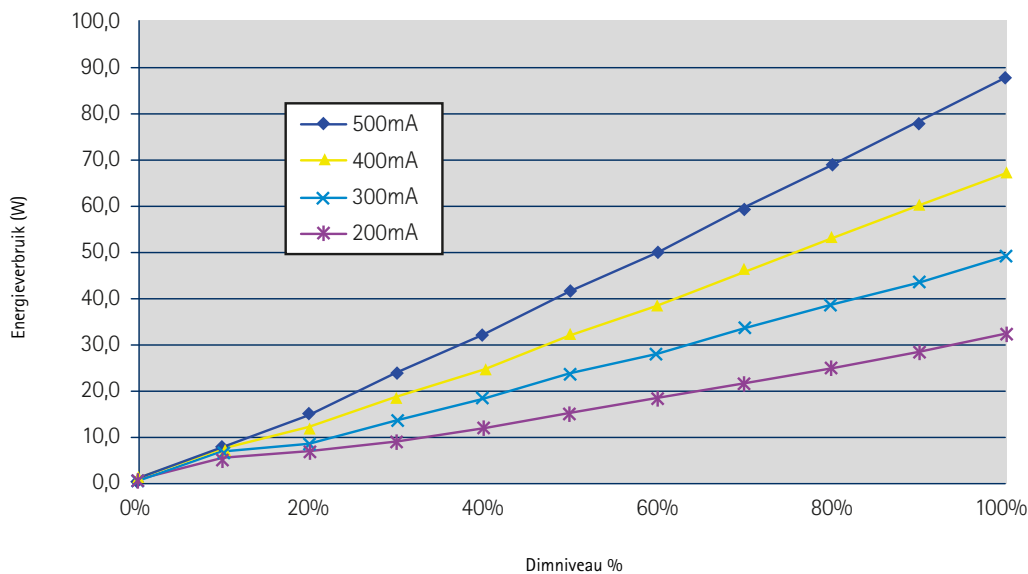


Fig. 39: Effect van dimming op het opgenomen vermogen

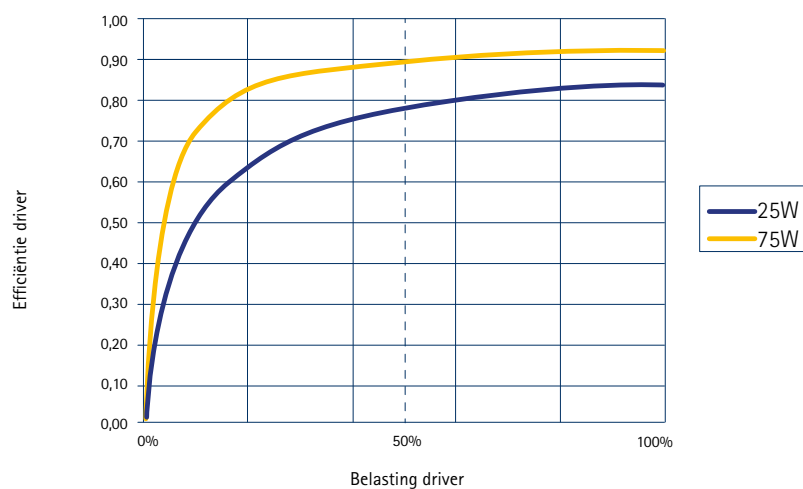


Fig. 40: Effect van driverbelasting op efficiëntie, voor een driver met laag vermogen (blauw) en hoog vermogen (geel)

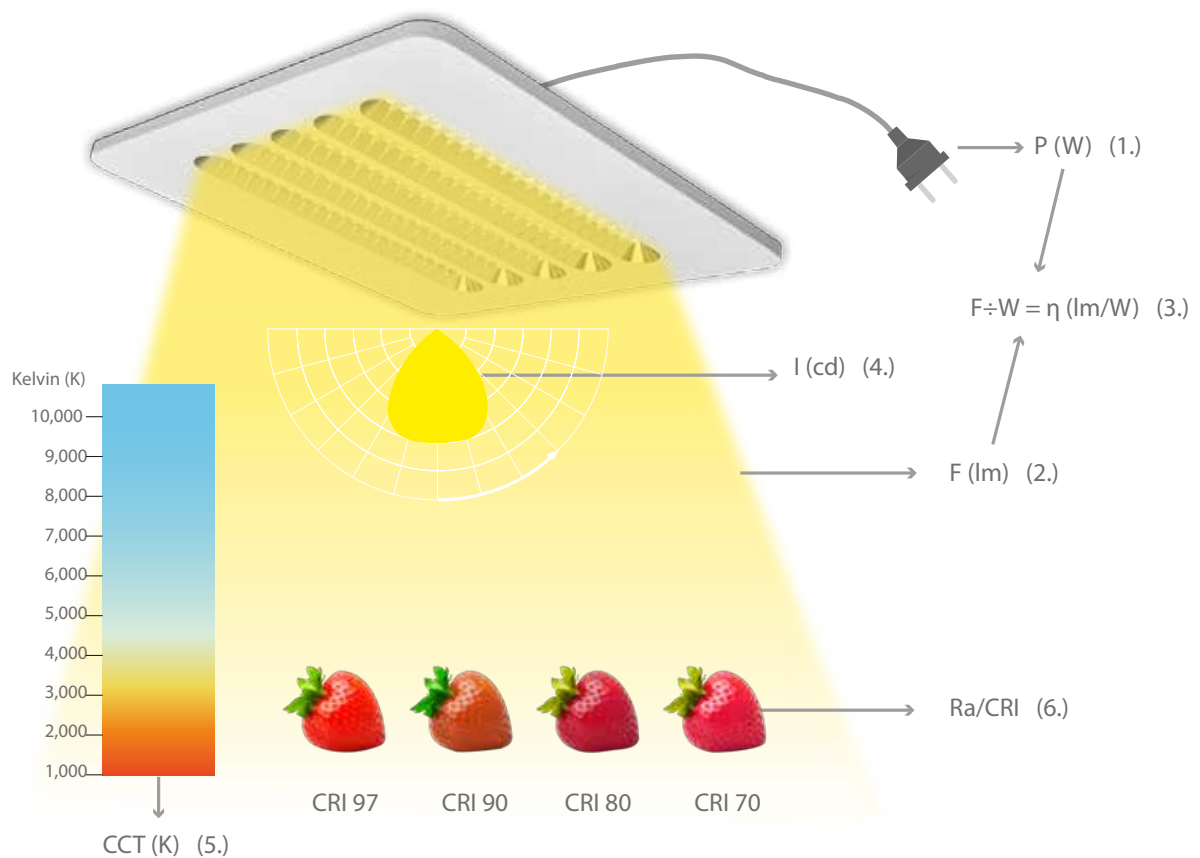
Bovenstaande grafiek toont aan dat het werkelijke rendement van een driver ook afhangt van de mate van belasting. Voor een kwalitatieve driver zal het rendement vrij constant blijven tot een minimale belasting van 50-60%. Bij nog lagere belastingen neemt het rendement sterk af. Daarom is het belangrijk ledmodule en driver goed op elkaar af te stemmen, zodat de driver steeds in zijn optimaal werkingsgebied functioneert.

D. Waarop letten als gebruiker?

1. OBJECTIEVE KWALITEITSINFORMATIE

Vroeger bestond er in Europa geen richtlijn of normatief kader rond de publicatie van kwaliteitsgegevens van ledarmaturen. Fabrikanten publiceerden wel informatie, maar die kon je als consument niet zomaar vergelijken. Bijvoorbeeld: men kon goede cijfers publiceren voor levensduur, maar niet vermelden hoe men tot die cijfers kwam. Of men publiceerde lichtopbrengst en levensduur van de ledlichtbron alleen, terwijl die toch ook sterk worden bepaald door de optiek en de armatuurconstructie. Het gebrek aan eenvormigheid was lastig voor de consument, die vaak appels met peren moest vergelijken.

Lighting Europe heeft begin 2018 een gids uitgebracht: "Evaluating performance of LED based luminaires". Dit document vat de consensus van de verlichtingsindustrie samen over de parameters die je op een datasheet van een kwalitatieve verlichtingsproducent zou moeten terugvinden.



Zes initiële parameters

Lighting Europe raadt aan om volgende parameters te vergelijken.

1. Totaal opgenomen systeem vermogen (P in Watt)
2. Netto armatuur lichtstroom (flux Φ in Lumen)
3. Efficiëntie (η in Lumen per Watt)
4. Verdeling van de lichtsterkte (in candela of candela per kilolumen)
5. Gecorreleerde kleurtemperatuur (CCT in Kelvin)
6. Kleurweergave index Ra (Colour Rendering Index)

Specifieke aandachtspunten

Let op: het gepubliceerde vermogen betreft het volledige vermogen dat opgenomen wordt door de armatuur, inclusief de driver of mogelijke externe controle-apparatuur. Al te vaak wordt enkel het vermogen van de ledmodule opgegeven en worden driver-verliezen niet meegerekend.

De lichtstroom en de efficiëntie gaan over de volledige armatuur, en mogen niet verward worden met de lichtstroom en efficiëntie van de ledmodules. Ook hier worden in de praktijk de optische verliezen in de secundaire optiek niet meegerekend. Bovendien is het belangrijk dat de lichtstroom wordt opgegeven bij de werkelijke bedrijfstemperatuur van de leds in de armatuur, en niet bij een standaard 25°C!

Zowel bij het opgenomen vermogen, de efficiëntie als de lichtstroom wordt het aanbevolen om ook expliciet de bijhorende performantietemperatuur (T_q) op te geven, zelfs al bedraagt deze 25°C (standaard). De opgegeven grootheden zijn immers allemaal afhankelijk van de specifieke omgevingstemperatuur. Bij afwijkende temperaturen kunnen de waarden van de opgegeven publicatie afwijken (denk bv. aan inbouw in een plafond met temperaturen oplopend tot 35°C).

Twee parameters mbt levensduur

Kwalitatieve ledarmaturen hebben potentieel een zeer lange levensduur. Tijdens deze periode zal de lichtstroom echter in zekere mate achteruitgaan. Om verlichtingsoplossingen objectief te kunnen vergelijken is het raadzaam om de residuele lichtstroom te vergelijken bij eenzelfde aantal branduren, in plaats van de tijdsduur tot een vooropgestelde lichtterugval te vergelijken.

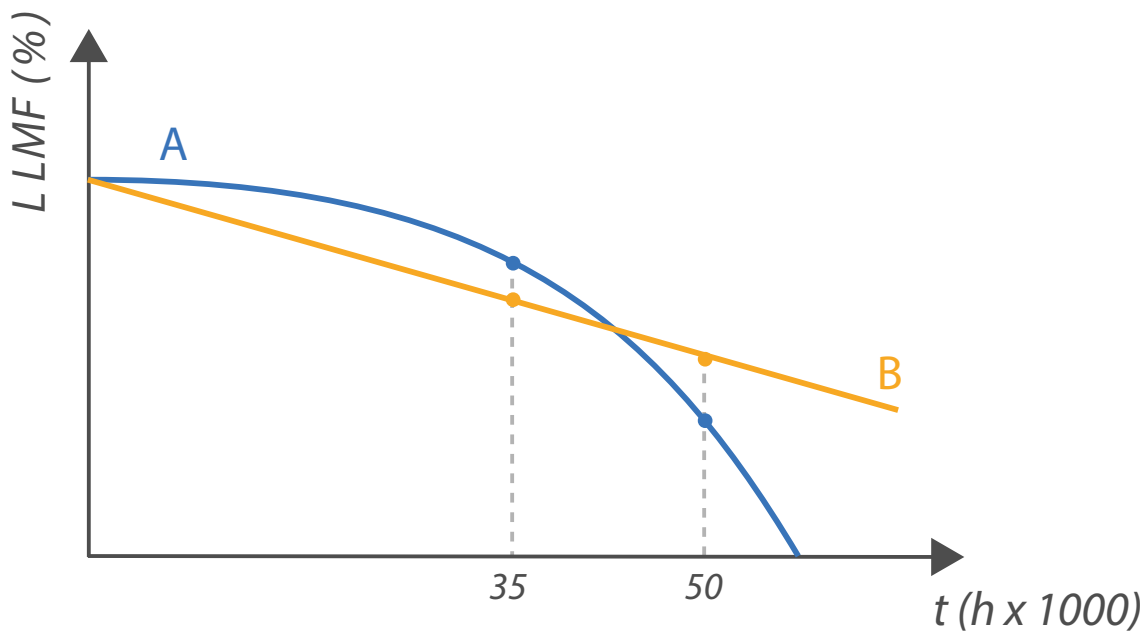
Volgende twee factoren zijn belangrijk om de nuttige levensduur te specificeren:

1. Graduele terugval van de lichtstroom. De nuttige levensduur wordt beschreven door de L_xB_y -waarde van een armatuur. Lighting Europe suggereert om enkel "B50"-waarden te hanteren - dit zijn de mediane waarden. Deze worden voldoende nauwkeurig geacht voor praktische berekeningen, en zijn bovendien de enige waarden die door genormeerde metingen kunnen gestaafd worden. Men moet daarbij B50 niet expliciet vermelden en enkel de L_x -waarde bij een vooropgesteld aantal branduren publiceren. Dit is het percentage van de initiële lichtstroom dat een armatuur nog gemiddeld levert na het opgegeven aantal branduren. ETAP geeft dit cijfer weer als de LLMF-waarde (Lamp Lumen Maintenance Factor) bij een opgegeven performantietemperatuur.
2. Abrupt falen van het toestel. Het abrupt falen van een ledarmatuur kan verschillende oorzaken hebben: driveruitval, ledmodule-uitval, slechte verbindingen, corrosie, ... Hierover zijn echter momenteel weinig reële gegevens voorhanden en ook toepasselijke normen ontbreken. Omdat in de praktijk vaak gebleken is dat voor indoor-toepassingen de driver veruit de meest kritische component is, suggereert Lighting Europe om vandaag het verwachte uitvalspercentage van de driver te hanteren, uitgedrukt als C_x waarbij x de verwachte uitval voorstelt (in %) bij de nuttige levensduur L_x .

Hoeveel branduren heeft u werkelijk nodig?

Lighting Europe raadt aan om levensduurramingen te beperken tot maximaal 100.000 branduren, tenzij dit in zeer specifieke projecten expliciet vereist is en kan worden gestaafd aan de hand van uitgebreidere testen. De betrouwbaarheid van levensduurclaims wordt sowieso snel onnauwkeurig boven 36.000 of 50.000 branduren, afhankelijk van het aantal test uren waarover de fabrikanten beschikken. Uit de praktijk blijkt trouwens dat voor de meeste indoor-toepassingen zelden een levensduur van meer dan 50.000 branduren noodzakelijk is.

Omdat de benodigde projectlevensduur en het bijhorende aantal branduren sterk per toepassing kan verschillen, suggereert Lighting Europe verder om de bovenstaande levensduur (Lx - Cx) factoren te specificeren bij verschillende branduren, bijvoorbeeld 35.000, 50.000, 75.000 en/of 100.000 uur.



Armaturen A en B kennen een verschillend degradatieverloop. Heeft u een levensduur van 35.000 branduren vooropgesteld, is armatuur A het meest interessant. Bij een levensduur van 50.000 branduren blijkt armatuur B beter geschikt.

2. KEUZECRITERIA

Waarop moet u concreet letten wanneer u ledverlichting wil laten installeren? Een goede ledverlichting moet efficiënt zijn, maar ook aspecten zoals kleurweergave en comfort worden steeds belangrijker. Enkele vragen die u kunnen helpen om de juiste ledverlichting te kiezen:

A. Wat is de efficiëntie van de ledarmaturen?

Over het algemeen geldt: hoe hoger de specifieke lichtstroom (lm/W), hoe beter de efficiëntie. Kijk echter ook naar vb. de lichtverdeling, die een grote impact kan hebben op het specifieke vermogen (W/m²/100 lux).

B. Hoe is de lichtverdeling?

Een gepaste lichtverdeling is belangrijk om in elke toepassing het specifiek vermogen, en daarmee het energieverbruik zo laag mogelijk te houden. De afmetingen van de ruimte, het gewenste verlichtingsniveau (horizontaal en verticaal) bepalen de keuze voor een zekere specifieke lichtverdeling.

In kleinere kantoren richt u met de middelbreedstralende lens het licht waar u het hebben wil. Op die manier kunt u het specifieke vermogen aanzienlijk beperken:

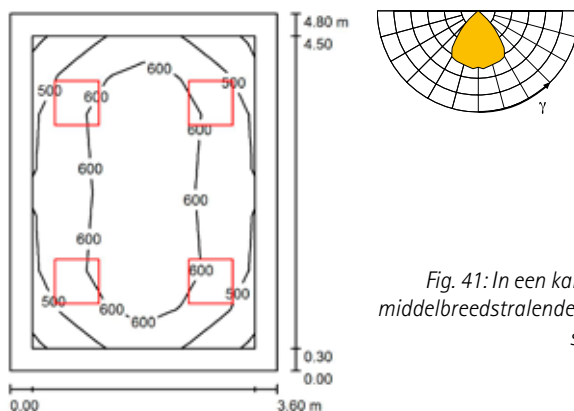


Fig. 41: In een kantoorruimte van 3,6 op 4,8 meter volstaan 4 U7-armaturen met middelbreedstralende lichtverdeling om een verlichtingsniveau van 585 lux te behalen. Het specifiek vermogen bedraagt 0,95 W/m²/100 lux

In grote kantoorruimtes kunt u met de extreem breedstralende lens de tussenafstanden maximaliseren en het aantal armaturen reduceren:

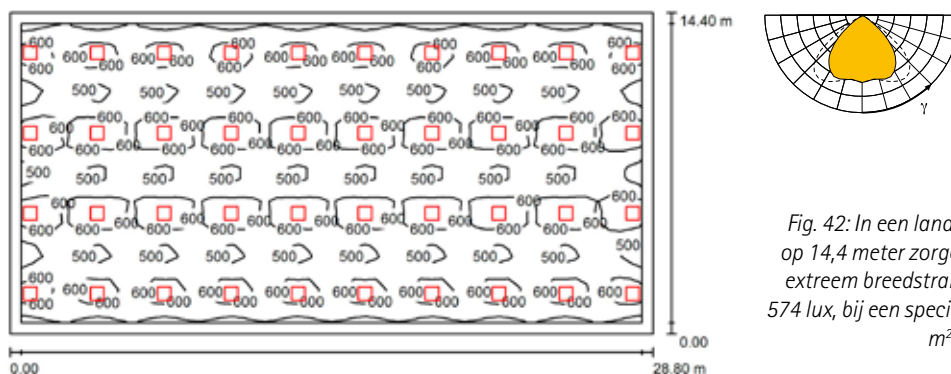


Fig. 42: In een landschapskantoor van 28,8 op 14,4 meter zorgen 40 U7-armaturen met extreem breedstralende lichtverdeling voor 574 lux, bij een specifiek vermogen van 0,78 W/m²/100 lux.

C. Hoe wil men de ruimte beleven?

Naast het energieverbruik is ook de beleving van de ruimte een belangrijke factor. Elke optiek verlicht een ruimte op een andere manier.

Om een verlichtingssterkte van 500 lux te bekomen, volstaan 4 lensarmaturen (U3). Verlicht u de ruimte met diffusorarmaturen (U23), hebt u 6 armaturen nodig. Naast een hogere verticale verlichtingssterkte en gelijkmatigheid, is de subjectieve ruimtewaarneming anders bij diffusorarmaturen dan bij reflector- of lensarmaturen. Doordat de lichtbron zichtbaar is en de optiek helder uitgelicht, lijken de ruimtes ook lichter.

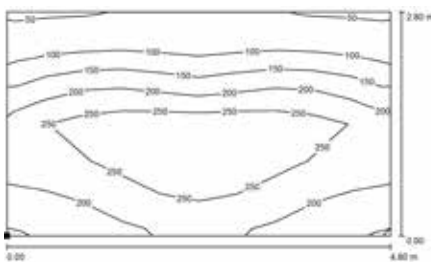
U3 (LENS)

Ruimte 4,8 x 4,8 m



armatuurtype: 4 x U3
 verlichtingsniveau: 529 lx
 specifiek vermogen: 0,89 W/m²/100 lx

Zijaanzicht



verticaal verlichtingsniveau: 195 lx
 gelijkmatigheid: 0,326

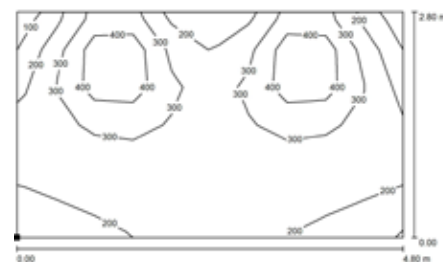
U23 (DIFFUSOR)

Ruimte 4,8 x 4,8 m



armatuurtype: 6 x U23
 verlichtingsniveau: 579 lx
 specifiek vermogen: 1,53 W/m²/100 lx

Zijaanzicht



verticaal verlichtingsniveau: 275 lx
 gelijkmatigheid: 0,506

D. Wat is de levensduur?

Om een correcte lichtberekening te laten maken is het belangrijk om te weten hoe lang de installatie moet meegaan. Hoe nauwkeuriger de inschatting, hoe minder de installatie overgedimensioneerd moet worden (en hoe lager de kosten). Misschien heeft u helemaal geen 50.000 branduren nodig, maar volstaan 25.000 branduren? Om een juiste inschatting van het aantal branduren te kennen publiceert de norm EN15193 een indicatie van de jaarlijks branduren voor specifieke binnentoepassingen.

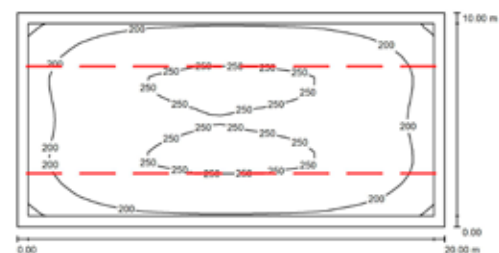
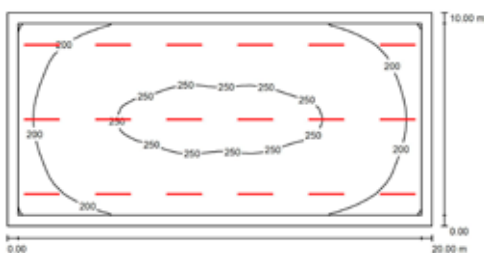


Fig. 43: Verlicht u een industriële ruimte van 10 x 20 meter met E6-verlichting, heeft u 18 armaturen nodig om na 50.000 uren nog een verlichtingsniveau van 200 lux te halen. Rekent u met een levensduur van 25.000 branduren, heeft u maar 16-armaturen nodig. Hierdoor beperkt u niet alleen de (installatie)kosten, maar ook het energieverbruik.

E. Hebben de armaturen een hoge LLMF?

Hoe hoger de LLMF, hoe minder de lichtafname. Bekijk de LLMF in functie van de vooropgestelde levensduur.

F. Hoe is het visueel comfort?

Lichtcomfort draagt in belangrijke mate bij tot goede werkomstandigheden en heeft een grote invloed op het welzijn en de productiviteit van medewerkers en andere gebruikers. Ga daarom ook verlichtingsniveaus, verblinding, de stabiliteit van de lichtoutput en de kleureigenschappen na.



Terwijl in een zorgomgeving (links) een aangename, niet verblindende verlichting bijzonder belangrijk is voor het welzijn van patiënten en personeel, primeert bij een parkeergarage (rechts) efficiëntie en verbruik.

G. Is een specifieke kleurweergave of lichtkleur vereist?

Onder andere in een commerciële omgeving kan een goede kleurweergave en een juist gekozen lichtkleur voorrang krijgen op louter efficiëntie. Ook bij specifieke taken zoals kwaliteitsinspecties, fijn werk (vb. elektronica) of in de medische sector kunnen goede kleureigenschappen belangrijk zijn.



In een restaurant (links) is een warme lichtkleur belangrijk voor een sfeervolle verlichting. In een drukkerij (rechts) is een goede kleurweergave en -herkenning essentieel.

H. In welke omgeving zullen mijn armaturen geïnstalleerd worden?

Een industriële omgeving heeft een andere vervuilingfactor dan een kantooromgeving. Ook dit is belangrijke informatie om een correcte lichtberekening te kunnen maken. Bovendien kan de omgeving ook bijkomende eisen stellen m.b.t. elektrische robuustheid, chemische resistentie en vochtbescherming waaraan de armaturen dienen te voldoen. Wordt de vervuiling van een ruimte niet correct ingeschat (RMF of Room Maintenance Factor) heeft dit een foute behoudfactor en dus een onjuiste lichtberekening tot gevolg:

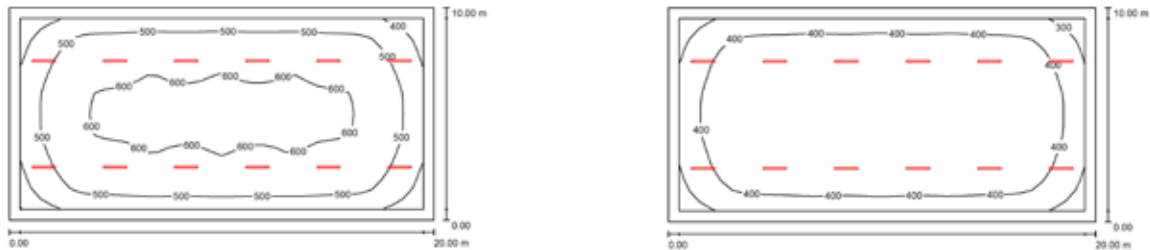


Fig. 44: Lichtberekening met te optimistische behoudfactor (links) vs. berekening met realistische behoudfactor (rechts).

De linkse studie gaat uit van een schone kantooromgeving (reflectiefactoren 70/50/20 voor resp. plafond/wanden/vloer), hoewel het gaat om een industriële ruimte. Daardoor wordt gerekend met een te optimistische behoudfactor (0,90): in een ruimte van 10 op 20 meter zou je met 12 E7-armaturen na 50.000 u. nog steeds 539 lux halen. Breng je de correcte RMF in rekening (reflectiefactoren 50/30/10), wordt de berekening gemaakt op basis van behoudfactor 0,79. Daaruit blijkt dat je in realiteit na 50.000 branduren nog maar 432 lux ipv de gewenste 500 lux behaalt.

SAMEN DE BESTE OPLOSSING UITWERKEN

Onze adviseurs zijn opgeleide verlichtingsspecialisten die samen met u op zoek gaan naar de juiste verlichtingsoplossing, op maat van uw project. Op basis van uw wensen en behoeften werkt onze studiedienst een verlichtingsplan uit dat aan uw verwachtingen beantwoordt.

3. LEDTUBES

Ledtubes zijn kant-en-klare ledoplossingen die passen in de lamphouders van fluorescentiearmaturen. Wanneer armaturen specifiek hiervoor zijn ontworpen, kunnen ledtubes tal van voordelen bieden. Wanneer je fluorescentielampen in bestaande armaturen echter zomaar vervangt door ledtubes, gaat dit ten koste van kwaliteit, comfort en soms veiligheid.

EU kijkt toe op veilige ledtubes

De Europese Unie heeft via het Rapid Alert System verschillende ledtubes van de markt laten halen (zie website van de Europese Commissie <http://ec.europa.eu>) omdat ze niet conform zijn met de laagspanningsrichtlijn 2006/95/EG en de EN 60598 norm voor verlichtingsarmaturen. Bij deze producten is er o.a. gevaar voor een elektrische schok bij het installeren want sommige uitwendige delen kunnen dan onder spanning komen te staan.



Voordelen van ledtubes

Ledtubes hebben tal van praktische voordelen: ze hebben niet alleen een laag energieverbruik en een lange levensduur, maar ze staan ook voor gemakkelijk onderhoud. Bij een defect kan de gebruiker ze zelf vervangen (zie B.5. Elektrische veiligheid), zonder spanningsgevaar. Er bestaan ook ledtubes in een volledig afgesloten behuizing, geschikt voor chemische omgevingen. Bij reflectorarmaturen laten ledtubes toe om luchtafzuiging over de reflector te voorzien zodat een zelfreinigend effect ontstaat.

Interne of externe driver?

Ledtubes kunnen een interne of een externe driver hebben. Een externe driver laat toe om de lampen te dimmen en om ze - indien nodig - eenvoudig te vervangen.

Verantwoord gebruik van ledtubes

Het is belangrijk om te weten dat je fluorescentielampen niet zomaar kan vervangen door ledtubes. Vaak moet de bedrading worden aangepast, of moeten er armatuurcomponenten worden verwisseld of overbrugd. Daarmee vervalt meteen ook de verantwoordelijkheid van de oorspronkelijke armatuurfabrikant. Ook de lichtkwaliteit kan hierdoor afnemen: elke armatuur is ontworpen voor een bepaalde lichtopbrengst en een bepaalde lichtverdeling. Door zonder meer over te schakelen naar ledtubes krijg je mogelijk lagere verlichtingsniveaus, slechtere gelijkmatigheid, verblinding, kortom comfortverlies.

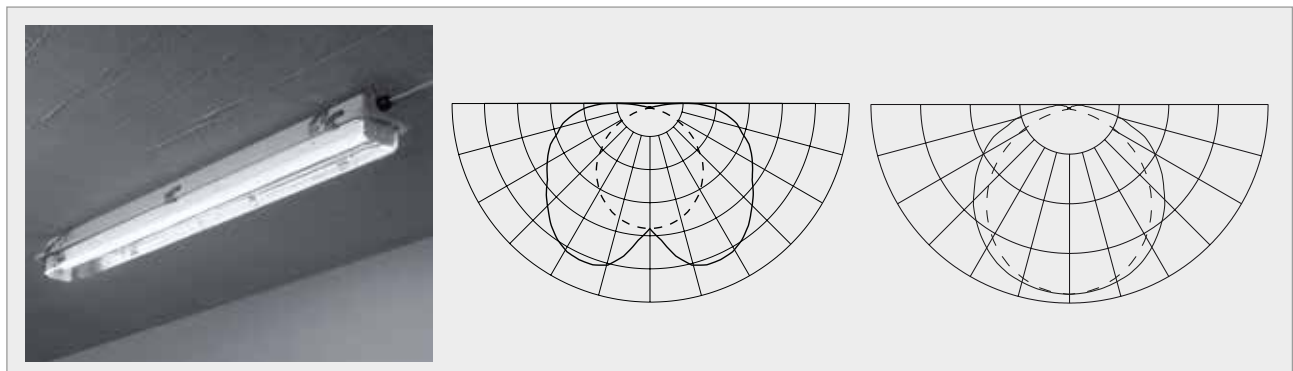


Fig. 45: Terwijl een E12/136HFW (met 1 x 36W fluorescentielamp) een nominale lichtstroom van 3350 lm en een specifieke lichtstroom van 72 lm/W haalt, bereikt hetzelfde toestel met ledtube respectievelijk slechts 1340 lm en 61 lm/W. Ook de lichtverdeling met ledtube (rechts) is anders dan met fluorescentielamp (midden).

Maar het kan ook anders: vervang je het volledige binnenwerk (lamp + reflector) door een aangepaste optiek, kan je met bestaande fluorescentieverlichting alsnog makkelijk overschakelen naar led. Zo kan je bijvoorbeeld in de E1-armaturen voor hoge beschermingsgraad de lamp en reflector makkelijk vervangen door een renovatiemodule, met ledtube, en je oude armaturen verdergebruiken. Het resultaat: hogere efficiëntie, beduidend minder (of geen) lampvervanging en onveranderd hoog comfort.

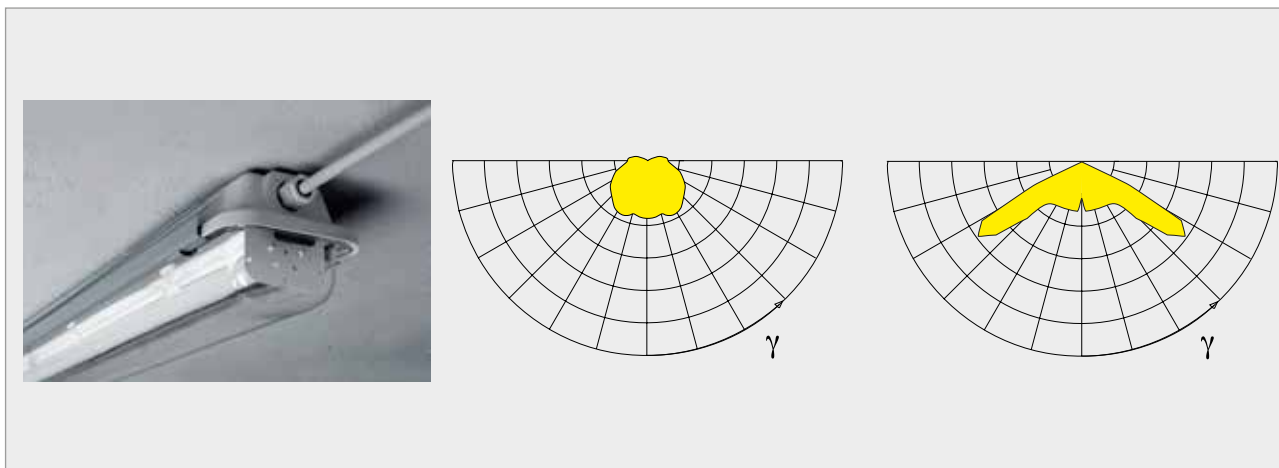


Fig. 46: Wanneer men de verlichtingsmodule (lampen en reflector) van een breedstralende E1 met 2 x 58W-lampen, vervangt door een ledmodule met aangepaste reflector en ledtubes, haal je nagenoeg dezelfde armatuurlichtstroom (6740 ipv 6700 lm), terwijl de efficiëntie van 90 lm/W naar 120 lm/W stijgt. Ook de lichtverdeling van de leduitvoering (rechts) is meer uitgesproken dan bij de fluoversie (midden).

E. Leds – wat brengt de toekomst?

Een nieuwe dimensie in verlichting

Leds hebben de afgelopen jaren definitief hun plaats veroverd op de verlichtingsmarkt en zijn goed op weg om de klassieke lichtbronnen zoals fluorescentie en halogeen volledig te vervangen. Maar intussen staat de technologische evolutie niet stil. Waar ontwerpers zich tot nu toe vooral focusten op het verbeteren van rendement en levensduur, ontdekken ze stilaan de vele nieuwe mogelijkheden die leds bieden.

Meer dan een vervanger voor fluo

Dat leds definitief de plaats innemen van klassieke lichtbronnen zoals fluorescentie of halogeen is niet meer dan logisch, gezien hun hogere efficiëntie en hun langere levensduur. De laatste jaren werd bovendien flink gesleuteld aan de initiële nadelen van ledverlichting. Een nieuwe generatie van meer stabiele drivers hielp het probleem van het flicker-effect de wereld uit en beter aangepaste optieken gaan verblinding door het felle licht tegen. Ook de kleurkwaliteit is enorm toegenomen omdat leds doorgaans een beter verdeeld breedbandig spectrum hebben dan het smalbandige spectrum van fluorescentieverlichting. Tegenwoordig zijn er leds verkrijgbaar met een kleurweergave van Ra > 90 tot Ra 100. Dankzij die betere kleurweergave kan eenzelfde visueel comfort vaak gerealiseerd worden bij lagere verlichtingssterktes.

Spelen met licht en kleur

Vandaag ontdekken ontwerpers echter dat leds veel meer kunnen zijn dan een efficiëntere variant van de traditionele lichtbronnen. Als elektronische lichtbron bieden leds immers oneindig veel mogelijkheden om verlichting beter af te stemmen op specifieke toepassingen. Ontwerpers spelen bijvoorbeeld met kleureigenschappen om verlichting te ontwikkelen die textiel of voeding beter tot hun recht laten komen. Dankzij een rijk gevuld spectrum komen leds steeds dichterbij het effect van echt zonlicht, wat de plantengroei in de tuinbouw bevordert. Voor de nachtverlichting in bv. ziekenhuizen en buitentoepassingen zijn rodere tinten (zonder blauw) voordelig omdat deze gunstiger zijn voor het bioritme van mens en dier.



Door te spelen met het rijke kleurspectrum kan men vb. textielkleuren beter laten uitkomen (links) of daglicht imiteren (rechts).

Voor elke setting

Heel wat mensen ervaren ledverlichting aanvankelijk nog als 'hard' of 'koel'. Maar dankzij de nieuwe ontwikkelingen worden leds ook steeds beter geschikt voor settings die sfeervol en gezellig licht vragen. Voor horeca- en residentiële toepassingen werd bijvoorbeeld het dim-to-warm effect ontwikkeld. Bij het dimmen wordt daarbij niet alleen de sterkte van het licht gereduceerd, maar ook de kleurtemperatuur. Daardoor neigt de lichtkleur meer naar oranje-rood, zoals dat bij het dimmen van gloei- en halogeenlampen vroeger ook het geval was.



Het dim-to-warm effect zorgt voor warme, sfeervolle ledverlichting.

Gepersonaliseerd licht

Door te spelen met kleur en sterkte kunnen we het licht afstemmen op elke situatie en omgeving of zelfs laten evolueren naargelang het tijdstip van de dag. Energiek en rijk licht 's morgens, sfeervol en rustgevend 's avonds. Ook de weg naar een volledig gepersonaliseerde verlichting ligt open. Want niet iedereen ervaart licht op dezelfde manier. Leeftijd en geslacht spelen een rol, net als lichtgevoeligheid. Autofabrikanten experimenteren in productie-omgevingen al met verlichting die aangepast wordt aan de voorkeuren van de medewerker die op dat moment aan de slag is.

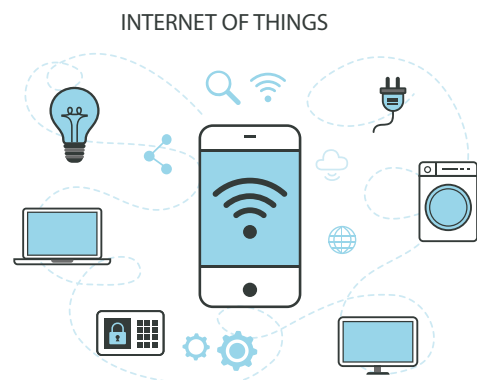


In de automobielsector wordt geëxperimenteerd met gepersonaliseerd licht, op maat van de medewerker.

Verlichting wordt compact en slim

Intussen staat de ledtechnologie zelf ook niet stil. Leds op basis van laserlicht maken het bijvoorbeeld al mogelijk om coherente lichtbundels te realiseren die over grote afstanden reiken, een interessante toepassing voor de koplampen van auto's. We zien ook een trend naar miniaturisatie, waarbij minuscule ledjes heel dicht bij elkaar geplaatst worden, die met elk hun eigen optiek apart gestuurd kunnen worden. Nanotube-leds zijn dan weer leds in de vorm van buisjes die zowel licht kunnen geven als detecteren.

Tot slot wordt ook geëxperimenteerd met het toevoegen van bijkomende functionaliteiten door systeemintegratie op chipniveau. Drivers, sensoren of stroomregeling worden mee in de led-lichtbron geïntegreerd, waardoor armaturen compacter kunnen worden. Deze evolutie opent meteen ook de weg naar smart lighting en Internet of Things-toepassingen, waarbij de verlichtingspunten – die zowat in elke ruimte aanwezig zijn – communiceren met andere toepassingen.



De integratie van extra functionaliteiten op chipniveau opent de weg naar smart lighting en Internet of Things (illustratie: freepik.com)

De nieuwe mogelijkheden die leds bieden, gaan veel verder dan louter een efficiëntieverhoging. Ze geven verlichting een nieuwe dimensie, die de markt in de komende jaren volledig zal veranderen. Daardoor wordt het voor verlichtingsfabrikanten ook steeds belangrijker om goed naar klanten te luisteren, en hen te helpen om de juiste keuze te maken in het ruime aanbod en een oplossing samen te stellen op maat van hun behoeften.

F. Internationale standaarden

Op www.lightingeurope.org vind je de laatste richtlijnen terug over ledstandaarden: "LightingEurope Guide for the application of the Commission Regulation (EU) No. 1194/2012 setting ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment".

Overeenkomstig de richtlijnen van Lighting Industry Liaison Group, zijn dit de internationale normen mbt ledverlichting:

Producttype	Veiligheidseisen	Prestatie-eisen
Elektronisch besturings systeem voor ledmodules	IEC 61347-2-13 IEC 61347-1	IEC 62717
Ledlampen met geïntegreerd voorschakelapparaat voor algemene verlichting met spanning > 50 V	IEC 62560	IEC 62612
Ledtubes (met dubbele lampvoet)	IEC 62776-1	IEC 62612
Ledmodules voor algemene verlichting	IEC 62031	IEC/PAS 62717
Ledarmaturen	IEC 60598	80 IEC/PAS 62722-2-1 Ed. 1 Part 2-1
Fotobiologische veiligheid van lampen en lichtbronnen	(IEC 62471) IEC/TR 62778:2012	
Leds en ledmodules	IEC 62504 Begrippen en definities voor leds en ledmodules in algemene verlichting	
CIE Technische Comit�es	TC2-46 CIE/ISO standaarden op metingen van ledintensiteit	
	TC2-50 Meting van de optische eigenschappen van ledclusters en -stralen	
	TC2-58 Meting van ledstraling en -helderheid	
	TC2-63 Optische meting van high power leds	
	TC2-64 Testmethodes met hoge snelheid voor leds	
Flicker	IEC 61000-4-15	
	IEC 61000-3-3	
Color Rendition	CIE Pub. 13.3 / IES TM-30-15	

Terminologie

Behoudfactor:	Factor waardoor men vervuiling, veroudering en lichtafname van lichtbronnen in rekening brengt bij lichtberekeningen.
Binning:	Het sorteren/classificeren van (in dit geval) leds in groepen met gelijkaardige karakteristieken, bv. op het gebied van kleurcoördinaten.
BLH (Blue Light Hazard):	Risico op onomkeerbare beschadiging van het netvlies door te hoge blootstelling aan zichtbaar (voornamelijk blauw) licht.
Bxx Levensduur:	Levensduur waarbij een bepaald percentage 'xx' van een groep componenten onder een vooropgesteld performantiecriterium terugvalt.
Chromaticiteit:	Kleurcoördinaten.
CIE:	Commission Internationale de l'Éclairage / International Commission on Illumination.
COB (chip-on-board):	Constructievorm met meerdere onderling elektrisch verbonden ledchips op één substraat, bedekt door een siliconen fosforlaag.
CRI (Color Rendering Index):	Kleurweergave van een lichtbron tov een standaard referentie bron (oud systeem).
Cold Lumens:	De lichtstroom gemeten bij 25°C junctietemperatuur.
CSP (chip-scale-package):	Bijzonder compacte uitvoering van de (laag- of hoog) vermogenled, waarbij de traditionele behuizing volledig achterwege gelaten wordt.
Diode:	Halfgeleider die elektrische stroom in één richting zeer goed geleidt, maar in de andere richting praktisch niet.
Gamma (γ) of uitstralingshoek:	Hoek ten opzichte van de verticale as in een polair diagram.
Hot Lumens:	De lichtstroom gemeten bij junctietemperatuur dicht bij praktische gebruikstemperatuur (typisch 85°C).
IEC:	International Electrotechnical Commission
IES:	Illuminating Engineering Society: internationaal erkende autoriteit op het gebied van verlichting.
Junctie:	Het actieve gebied in het halfgeleide materiaal waar het licht gegenereerd wordt.
Junctietemperatuur:	Dit is de interne temperatuur in het halfgeleidermateriaal (aan de junctie – zie hierboven).
Leadframe:	Basiselement van een laagvermogenled, metalen kader dat zorgt voor externe elektrische verbindingen, warmtespreiding en lichtreflectie.
Led:	Afkorting van Light Emitting Diode.
Ledchip:	Lichtgenererende halfgeleidercomponent.
Ledcomponent:	De combinatie van de led, de behuizing en de primaire optiek.
Ledmodule:	Het ledequivalent van een traditionele lamp, maar dan in leduitvoering. Volgens ETAP's terminologie komt dit overeen met level 3 (zie hoofdstuk 1).

LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor):	Brengt de lichtterugval van een lichtbron in rekening.
LMF (Lamp Maintenance Factor):	Brengt de lichtterugval van een armatuur in rekening ten gevolge van armatuurvervuiling.
LM-80:	Door IES goedgekeurde Amerikaanse methode om het lumenbehoud van ledcomponenten te meten ("Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources").
LM-84:	Door IES goedgekeurde Amerikaanse methode om het lumenbehoud van ledarmaturen te meten ("Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires").
Luminiscentie:	Proces waarbij een lichtdeeltje (foton) wordt gegenereerd wanneer een atoom van hogere naar een lagere energietoestand terugvalt.
LSF (Lamp Survival Factor):	Brengt het lichtverlies in rekening ten gevolge van defecte lampen, waarbij deze niet onmiddellijk worden vervangen.
MF (Maintenance Factor):	zie behoudfactor
Nuttige levensduur:	De economische levensduur relevant voor de specifieke toepassing. Deze ligt lager dan de gemiddelde levensduur.
Oled:	Organic light emitting diode
Onderhemisferisch licht	Het aandeel van de totale lichtstroom dat naar beneden wordt gestuurd (bij een horizontaal opgehangen lichtbron).
PCB	Printed Circuit Board: printplaat.
Ra of CRI:	Geeft de kleurweergave van een lichtbron weer ten opzichte van een standaard referentiebron.
Remote fosfor:	Technologie waarbij de fosfor voor het genereren van wit licht niet direct op de blauwe led wordt aangebracht maar in of op een (glazen of kunststof) drager op enige afstand van de led. Hierdoor functioneert de fosfor op een lagere temperatuur en kan in bepaalde gevallen een efficiëntiewinst en levensduurverbetering worden gerealiseerd.
Rf of CFI:	Verbeterde versie van de CRI-metriek
Rg of Color Gamut:	Geeft - naast CFI - bijkomende info over kleurtoonbereik en saturatie.
RMF (Room Maintenance Factor):	brengt de vervuiling van een ruimte in rekening bij een lichtberekening.
SDCM (Standard Deviation Colour Matching):	De maat voor waarneembare afwijkingen in lichtkleur.
Stroomdensiteit:	De verhouding tussen de stroom die door een component vloeit en zijn doorsnede.
Substraat:	Dragermateriaal waarop de led samen met interne reflector bevestigd wordt.
TLA:	"Temporal Light Artifacts", of Tijdelijke variaties in de lumenoutput.
TM-21:	Door IES aanbevolen methode om de bruikbare levensduur van ledcomponenten te berekenen ("Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources"), op basis van LM80 meetgegevens.

TM-28:	Door IES aanbevolen method om de bruikbare levensduur van ledarmaturen te berekenen ("Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaires") op basis van LM-84-metgegevens.
TM-30:	door IES voorgestelde verbeterde methode om de kleurweergave van lichtbronnen te meten.
UGR:	Unified Glare Rating - dit is een benaderend model dat de kans op verblinding uitdrukt. De normwaarden gaan van UGR 16 (weinig kans op verblinding) tot UGR 28.
Wire bonding:	Verbinding - meestal in goud - tussen halfgeleiders onderling of tussen halfgeleider en leadframe of externe elektrische contacten.

Bijlage 1: behoudfactor van ledproducten

Typische waarden voor behoudfactor % (Maintenance Factor, MF)

TYPE ARMATUUR	TOEPASSING	UITVOERING	25.000 u.	50.000 u.
D1 / D2 / D3	KANTOOR	-	88%	85%
D42	KANTOOR	-	88%	88%
D9	KANTOOR	-	87%	86%
E1	INDUSTRIE	-	83%	81%
E1 renovatie	INDUSTRIE	-		68%
E2	INDUSTRIE	-	83%	81%
E4	INDUSTRIE	E4.0./	84%	83%
		E4.1./	83%	80%
E5M	INDUSTRIE	-	78%	69%
E6	INDUSTRIE	-	78%	72%
E7	INDUSTRIE	E7.1./ (1 RIJ LEDS)	83%	81%
		E7.2./ (2 RIJEN LEDS)	82%	79%
E8	INDUSTRIE	-	81%	78%
FLARE	KANTOOR	-	87%	85%
R2	KANTOOR	-	88%	88%
R7	KANTOOR	zonder uplight	88%	88%
		met uplight	88%	86%
		mini	87%	84%
R8	KANTOOR	-	85%	82%
U2	KANTOOR	U23.		80%
		U25.	88%	88%
U3	KANTOOR	-	88%	88%
U7	KANTOOR	standaard modulaties	88%	87%
		mini	87%	84%
US	KANTOOR	US./LED.25 - /LED.30 (vierkant)	87%	84%
		US./LED.35 - /LED.40 (vierkant)	84%	79%
		US21.0/LED.25 (langwerpig)	88%	88%
		US21.0/LED.40 (langwerpig)	87%	85%
V2M11	KANTOOR	-	88%	88%
V2M17	KANTOOR	-	86%	84%
V2M1F / J	KANTOOR	-	88%	85%
W1	KANTOOR	-		71%

- Alle prestatiecijfers voor omgevingstemperatuur Tomg = 25°C
- Bovenstaande MF is een indicatieve waarde: verandert bij verschillende graden van stofpollutie of verschillende schoonmaakintervallen.
- $MF = LLMF * LSF * LMF * RMF$
(CIE97: publicatie voor binnenverlichting)
LLMF: lamp lumen behoudfactor (Lamp Lumen Maintenance Factor)
LSF: lamp overlevingsfactor (Lamp Survival Factor)
LMF: behoudfactor armatuur (Luminaire Maintenance Factor)
RMF: behoudfactor ruimte (Room Maintenance Factor)
- Bovenstaande berekening van de behoudfactor is gebaseerd op volgende gegevens:
LSF = 1 ("spot replacement": bij totale leduitval wordt defecte driver of armatuur vervangen)
LMF = 0,95 voor schone kantooromgevingen; 0,89 voor normale industriële omgevingen
RMF = 0,94 voor schone kantooromgevingen (reflectiefactor 70/50/20) of 0,95 voor normale industriële omgevingen (reflectiefactor 50/30/20), mits driejaarlijkse reiniging. Volgens CIE 97 2005.
- LLMF op basis van LM80⁽¹⁾/TM21⁽²⁾
- Voor accurate LLMF per armatuurcode, consulteer onze website www.etaplighting.com

LLMF (%)			
TYPE ARMATUUR	UITVOERING	25.000 u.	50.000 u.
D1 / D2 / D3	-	98%	96%
D42	-	99%	98%
D9	-	98%	96%
E1	-	98%	96%
E1 renovatie	-		80%
E2	-	98%	96%
E4	E4.0./	99%	98%
	E4.1./	98%	95%
E5M	-	91%	82%
E6	-	92%	85%
E7	E7.1./ (1 rij leds)	98%	96%
	E7.2./ (2 rijen leds)	97%	94%
E8	-	96%	92%
FLARE	-	97%	95%
R2	-	99%	98%
	zonder uplight	99%	98%
R7	met uplight	98%	96%
	mini	97%	94%
R8	-	96%	92%
U2	U23.		90%
	U25.	99%	98%
U3	-	99%	98%
U7	standaard modulaties	99%	97%
	mini	97%	94%
	US,/LED.25 - /LED.30 (vierkant)	97%	94%
	US,/LED.35 - /LED.40 (vierkant)	94%	89%
US	US21.0/LED.25 (langwerpig)	99%	98%
	US21.0/LED.40 (langwerpig)	97%	95%
V2M11	-	99%	99%
V2M17	-	96%	94%
V2M1F / J	-	98%	95%
W1	-		80%

(1) IES LM-80-08: goedgekeurde testmethode voor lumenbehoud van led-lichtbronnen
(2) IES TM-21-11: langetermijnplan voor lumenbehoud van led-lichtbronnen

ETAP NV ■ Antwerpsesteenweg 130 ■ 2390 Malle ■ BELGIË
Tel. +32 (0)3 310 02 11 ■ Fax +32 (0)3 311 61 42 ■ e-mail: info.be@etaplighting.com

www.etaplighting.com

