

# Led verlichting: gebruiksduur of levensduur?

Peter Bracke  
Catherine Lootens  
Peter Hanselaer  
Wouter Ryckaert



Revisie geschiedenis:

Rev. 0 08/12/2014

Rev. 1 07/10/2015

Referenties naar IEC 62717 en IEC 62722-2-1 toegevoegd

Paragraaf 'Praktijktoepassing: bepalen van het lichtstroombehoud bij de gewenste gebruiksduur' toegevoegd

Rev. 2 01/06/2017

'Constant light output' toegevoegd

+ enkele kleine updates: o.a. eerste paragraaf (pag 4), CALIPER retail lamps (pag 16)

# Maintenance factor, levensduur en optimale gebruiksduur van led verlichtingstoestellen.

---



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. <i>Maintenance factor</i> met fluorescentieverlichting .....	5
3. <i>Maintenance factor</i> voor led-verlichting.....	7
4. Welke tijdsduur ( $L_x$ ) gebruiken? .....	8
5. Oorzaken van lichtstroom-afname.....	10
6. Bepaling lichtstroombehoud .....	14
a. Bepaling lichtstroombehoud van led-packages .....	14
b. Bepaling lichtstroombehoud van led-verlichtingstoestellen .....	14
c. Extrapolatie t.o.v. realiteit: led-vervanglamp .....	16
7. Praktijktoeepassing: bepalen van het lichtstroombehoud bij de gewenste gebruiksduur.....	18
8. Hoe omgaan met verlichtingstoestellen met CLO (constant light/lumen output)?.....	19
CLO als standaard configuratie.....	20
CLO als optie.....	20
9. Defecten .....	23
10. Definitie levensduur .....	24
11. Besluit .....	24

# 1. Inleiding



Normen zoals NBN EN 12464-1:2011 voor werkplekverlichting vermelden verlichtingssterktes die moeten toelaten om voldoende efficiënt, accuraat en comfortabel taken te verlichten. Deze norm bepaalt niet de verlichtingsvereisten voor veiligheid en gezondheid. Het koninklijk besluit tot vaststelling van de algemene basiseisen waaraan arbeidsplaatsen moeten beantwoorden van 10/10/2012 en 14/04/2016 (deel van de Codex over het welzijn op het werk, ook de "welzijnswet" genoemd) stelt dat de werkgever die de vereisten van deze norm toepast "wordt vermoed te hebben gehandeld ten einde ongevallen door de aanwezigheid van voorwerpen of hindernissen en vermoeidheid van de ogen te voorkomen". Bijgevolg kan NBN EN 12464-1:2011 gebruikt worden, tenzij een risicoanalyse tot een strengere bepaling leidt.

De norm stelt dat "*all values of illuminances specified in this European Standard are maintained illuminances*". De opgegeven verlichtingssterktes moeten te allen tijde gegarandeerd zijn. Er treedt veroudering op van de verlichtingsinstallatie en van de lichtreflectie van de ruimtewanden. Dit betekent dat de verlichtingsinstallatie initieel moet over-gedimensioneerd zijn om aan het einde van de levensduur nog een voldoende verlichtingssterkte (*lux*) te hebben. De inrekening hiervan gebeurt volgens CIE 097:2005 met behulp van de *maintenance factor MF*, waarbij *maintenance* hierin zowel de betekenissen 'onderhoud' als 'behoud' heeft. Een juiste vertaling zou daarom zijn: 'de behouds- en onderhoudsfactor', en wordt ook vaak depreciatiefactor genoemd. De *maintenance factor* bevat 4 deelfactoren:

- **LLMF**: behoud van de lichtstroom van de lichtbronnen in de tijd (*lamp lumen maintenance factor*)
- **LSF**: uitval van een bepaald percentage van de lichtbronnen (*lamp survival factor*)
- **LMF**: vervuiling en degradatie van de armaturen (*luminaire maintenance factor*)
- **RSMF**: vervuiling van de ruimte (*room surface maintenance factor*)

De *maintenance factor* wordt berekend door vermenigvuldiging van de waarden van deze 4 parameters:  $MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF$

LSF = 1 indien een defecte lamp of defect verlichtingstoestel onmiddellijk vervangen wordt bij defect. LSF < 1 is van toepassing indien de lampvervanging slechts periodiek gebeurt, wat een optie is in toepassingen waar een oppervlak verlicht wordt door meerdere lichtbronnen en/of een goede uniformiteit niet vereist is.

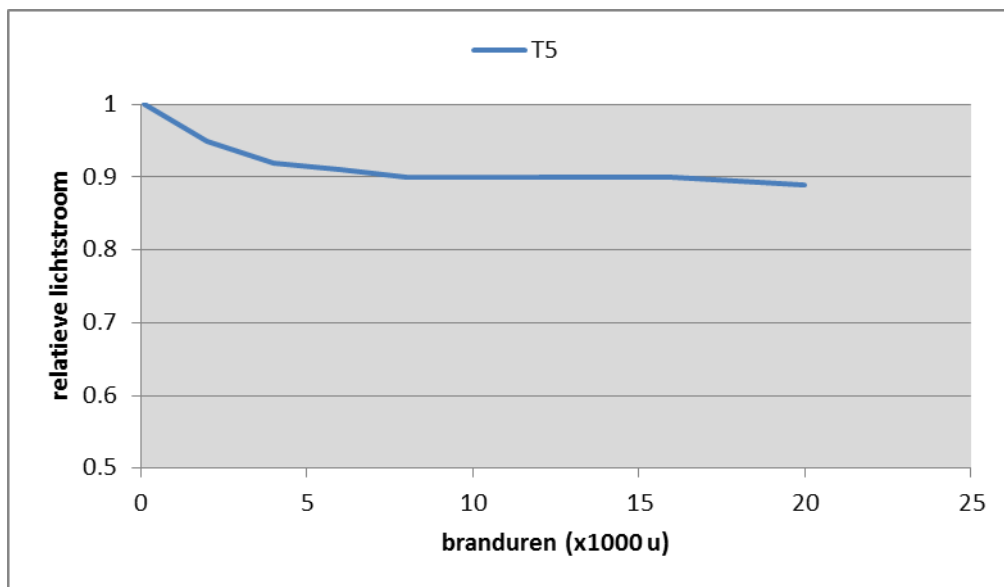
De andere componenten die defect kunnen gaan zoals ballast/voorschakelapparaat/driver, dimmer, constant lichtregeling worden niet meegenomen in de *maintenance factor*. Bij een defect waarbij de vereiste verlichtingssterkte niet meer gehaald wordt, wordt er verondersteld dat deze onmiddellijk vervangen worden.

## 2. Maintenance factor met fluorescentieverlichting



Als courante praktijk kan bij fluorescentieverlichting voor kantoren en klaslokalen een MF = 0,8 worden toegepast. Er wordt dus rekening gehouden met een afname van de verlichtingssterkte van 20% tot aan een volgende onderhoudsbeurt / renovatie. De verlichtingsinstallatie wordt daarom minstens +25% ( $1/0,8 = 1,25$ ) over-gedimensioneerd.

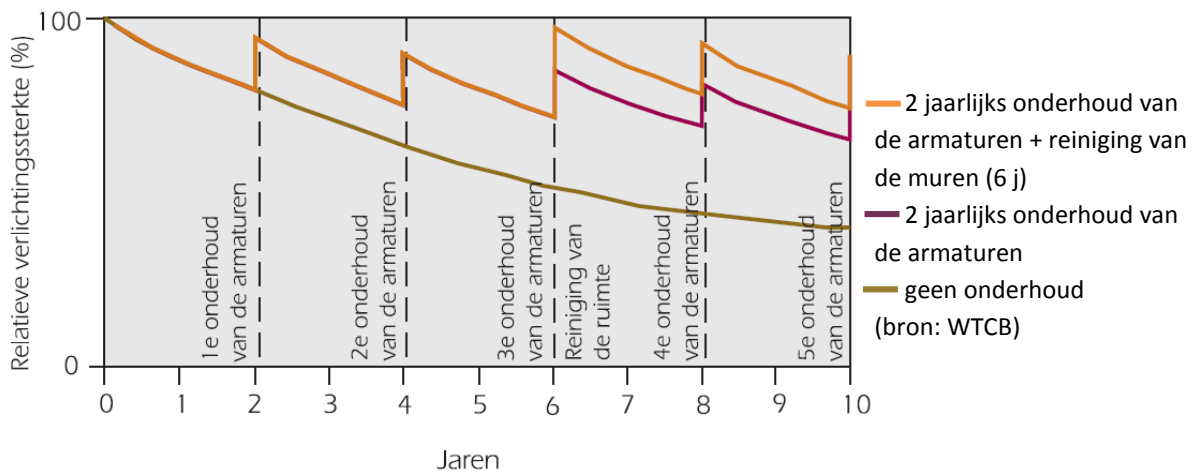
Er wordt hierbij voor LLMF van tl-lampen uitgegaan van een waarde  $\cong 0,90$ . Zoals ook blijkt uit onderstaande grafiek vindt het overgrote deel van de terugval van de lichtstroom van tl-lampen plaats in de eerste 5000 branduren van de lampen. Hierna blijft de lichtstroom uit de lamp bijna constant, rond 90%. Op het ogenblik van het gemiddelde defect ( $\cong 20.000$  u voor de meest gebruikte T5's) is de lichtstroom ongeveer 90% van de initiële lichtstroom.



Er is weinig spreiding van lamp tot lamp en ook de invloed van de gebruikte armatuur is zeer beperkt, zodat de waarde voor LLMF bij fluorescentieverlichting betrouwbaar is voor berekening van MF. Het einde van de levensduur van tl-lampen is overwegend door een defect (niet meer opstarten), en niet door een te grote terugval van de lichtstroom. Bij led-verlichting is dit net andersom (zie verder).

Voor de vervuiling van armaturen en ruimtewanden (LMF en RSMF) bestaan tabellen: CIE97:2005<sup>1</sup> en TNO 2004-GGI-R027. Onderstaande grafiek onderstreept het belang van het onderhoud van armaturen en wanden:

<sup>1</sup> [Zumtobel The Lighting Handbook](#) pag 254-255



Voor een propere ruimte (kantoor, klaslokaal) met verlichtingstoestellen met T5 fluorescentielampen blijkt uit de tabellen dat de LMF  $\cong 0,92$  bij jaarlijks onderhoud, en de RSMF  $\cong 0,94$  voor onderhoudsintervallen van 1 – 6 jaar.

Het onderhoudsinterval van de armaturen heeft een grote impact op de *maintenance factor*. Er is een belangrijk verschil tussen de tabellen van CIE 97:2005 en verordening EU 245/2009. Deze laatste vermeldt: “Armaturen hebben een armatuurbehoedsfactor (LMF) > 0,95 bij normale graad van vervuiling in kantoren met een reinigingscyclus van 4 jaar”. Daarom waren er nieuwe studies gevraagd om tot actuelere tabellen te komen, maar deze zijn voorlopig niet ingepland.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \cong 0,90 \times 1 \times 0,95 \times 0,94 = 0,90 \times 0,893 = 0,80$$

De LLMF en RSMF zijn vrij constant in deze toepassing, vandaar dat men vaak een vaste waarde neemt voor de MF.

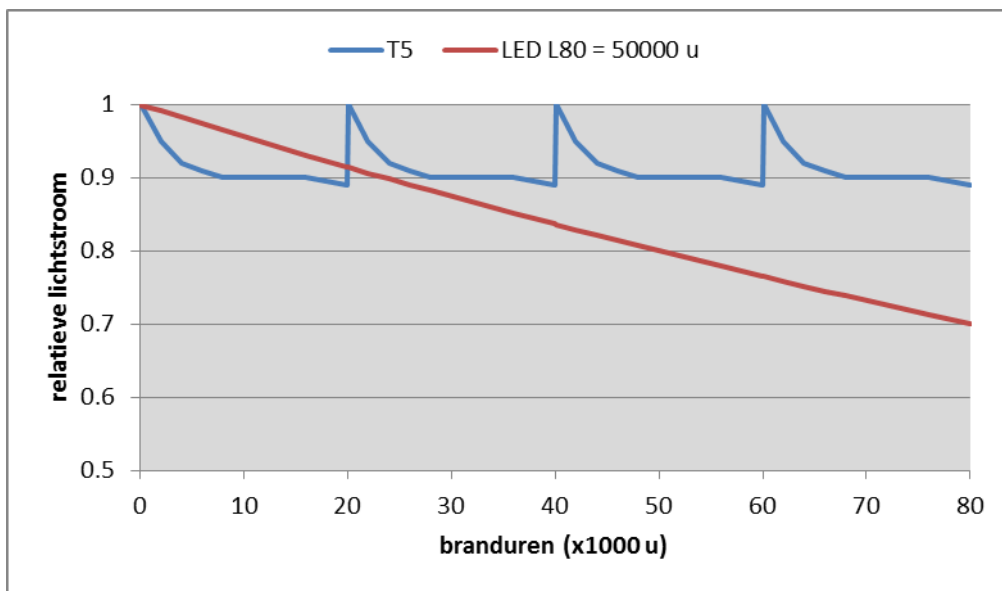
De mogelijke vergeling van kunststoffen en witte lak in de armatuur, of de delaminatie en het dof worden van spiegellende oppervlakken (na een lange gebruiksduur), moeten in principe ook in rekening gebracht in de LMF. Meestal wordt dit genegeerd.

### 3. Maintenance factor voor led-verlichting



In bovenstaand voorbeeld (kantoor, klaslokaal) kan voor led-verlichting niet meer uitgegaan worden van een standaard MF. De factor wegens de vervuiling van de ruimte RSMF is wel nog steeds dezelfde. Een led-armatuur is anders opgebouwd en de armatuurbehoudsfactor LMF zal voor direct stralende led-toestellen waarschijnlijk beter zijn dan voor tl-armaturen, omdat er zich geen vuil bovenop een lamp opstapelt. Alhoewel er nog geen tabellen zijn voor de LMF van led-verlichtingstoestellen kan de waarde 0,95 (van EU 245/2009) gebruikt worden. Voor de reinigingscyclus van het verlichtingstoestel dient ook rekening gehouden te worden met de vereisten voor koeling: periodiek stof verwijderen van de koeloppervlakken bevordert de luchtstroom en houdt de warmteweerstand laag.

De LLMF voor led verlichtingstoestellen is niet constant en wordt lager als een grotere gebruiksduur gekozen wordt.



De levensduur van de lichtbron wordt niet langer bepaald door de tijdsduur tot het gemiddelde defect, maar wel door de tijdsduur waarbij er nuttige werking is.

Het gemiddelde lichtstroombehoud van led-verlichtingstoestellen wordt courant beschreven met behulp van de  $L_x$ -waarde, die een tijdsduur aangeeft in functie van het gewenste lichtstroombehoud: 90%, 80%, 70%,  $x\%$  behoud van de initiële lichtstroom. Deze waarde is afhankelijk van de omgevingstemperatuur. De fabrikant van verlichtingstoestellen kan de verschillende  $L_x$  waarden bezorgen, vaak bij meer dan één omgevingstemperatuur. Voor de *maintenance factor* wordt voor de LLMF het lichtstroombehoud gebruikt bij de geplande gebruiksduur en omgevingstemperatuur: de LLMF is de  $x$ -waarde die overeenstemt met  $L_x =$  gebruiksduur.

De totale afname van de lichtstroom uit een led-verlichtingstoestel kan het gevolg zijn van de lichtstroomafname of van het stukgaan van individuele leds in het toestel. In de bepaling van  $L_x$  kunnen volledige defecten van led-verlichtingstoestellen al dan niet worden meegerekend; dit is een lichtstroom gelijk aan 0 lm van het toestel bijvoorbeeld door het defect gaan van de driver of door falen van een elektrische verbinding. **Voor de *maintenance factor* is een  $L_x$  waarde nodig die het gemiddelde lichtstroombehoud  $x\%$  geeft zonder volledige defecten.** Dit is het geval indien het lichtstroombehoud bepaald wordt volgens de IES normen LM-80 + TM-21 of LM-84 + TM-28.

Wat betekent  $L_x B_y$  :

Een  $L_{80} B_{10}$ -waarde van 50.000 branduren betekent dat na 50.000 branduren maximaal 10% van de led-verlichtingstoestellen (B-getal) teruggevallen is tot minder dan 80% van hun initiële lichtstroom (L-getal), of anders gezegd: na 50.000 branduren stralen ten minste 90% van de led-verlichtingstoestellen nog minstens 80% van hun initiële lichtstroom uit.

Alhoewel  $L_x B_{50}$  de mediaan aangeeft i.p.v. het gemiddelde, is dit verschil vaak klein (nihil bij een normale verdeling) en kan deze waarde mogelijks gebruikt worden i.p.v. het gemiddelde. Vaak wordt de term  $L_x B_{50}$  aangegeven in een specificatieblad terwijl eigenlijk het gemiddelde lichtstroombehoud bepaald was volgens de IES normen.

In tegenstelling tot de IES gebruikt IEC 62722-2-1 een andere definitie voor  $L_x$ , namelijk  $L_x = L_x B_{50}$ . Er is geen een procedure beschreven om dit te bepalen. De  $x$  waarde van deze  $L_x$  definitie is weinig geschikt voor de *maintenance factor*.

Het is van belang om aan te geven dat deze  $L_x$ -waarden geen onvoorwaardelijk geldende waarden zijn, maar wel volgen uit een extrapolatie van meetgegevens die verzameld werden in een veel kortere tijdsperiode dan de opgegeven levensduur (zie verder). Anders zou een test over bijvoorbeeld 50.000 branduren moeten uitgevoerd worden, wat overeen zou komen met het continu branden van de led-verlichtingstoestellen gedurende meer dan 5 jaar!

Het is belangrijk om ervan bewust te zijn dat bovenstaande definities hier handelen over led-verlichtingstoestellen en niet over individuele leds in deze toestellen!

De definitie  $L_x B_y$  wordt ook gebruikt voor individuele led-chips en -packages.

#### 4. Welke tijdsduur ( $L_x$ ) gebruiken?

Het is aangeraden om met een aantal varianten van gebruiksduur te simuleren.

Een langere gebruiksduur vergt een grotere overdimensionering, met als economisch nadeel: groter energieverbruik (tenzij dit geregeld wordt door initieel terug te dimmen).

Een langere gebruiksduur heeft ook economische voordelen: lagere toestelkosten per branduur,



lagere montagekost per branduur.



Er zijn anno 2015 reeds enkele led-verlichtingstoestellen beschikbaar met een totaal rendement van > 130 lm/W: indien hier als voorbeeld zou gekozen worden voor een L<sub>65</sub> gebruiksduur dan heeft men een equivalent rendement van 85 'behouden lumen' per Watt. Dit betekent dat het energieverbruik net in de buurt komt van de beste fluorescentie-verlichting (T5 HE). Een L<sub>65</sub> waarde zal waarschijnlijk een onrealistisch lange gebruiksduur geven (> 100.000 u) en niet de beste dimensionering zijn.

Maintenance factor Vermogen voor 3000 behouden lumen	1 shift 5 dag/week 10 jaar	1 shift 5 dag/week 15 jaar	2 shift 6 dag/week 15 jaar	Continu 12 jaar
	25.800 u	38.700 u	74.400 u	105.120 u
armatuur T5 85 lm/W	0,80 43,9 W	0,80 43,9 W	0,80 43,9 W	0,80 43,9 W
led 100 lm/W L <sub>80</sub> = 50.000u	0,80 37,7 W	0,75 39,9 W	0,64 46,8 W	0,56 53,7 W
led 100 lm/W L <sub>80B10</sub> = 50.000u	0,82 36,5 W	0,79 38,1 W	0,70 42,8 W	0,63 47,3 W
led 125 lm/W L <sub>80</sub> = 50.000u	0,80 30,2 W	0,75 31,9 W	0,64 37,5 W	0,56 43,0 W
led 110 lm/W L <sub>97</sub> = 50.000u	0,88 31,0 W	0,87 31,3 W	0,85 32,0 W	0,84 32,6 W

**Tabel 1** Bovenstaande tabel geeft de maintenance factor en het geïnstalleerd vermogen per 3000 behouden lumen voor enkele varianten in initieel rendement en lichtstroombehoud en dit voor enkele gebruiksduren. De waarde bovenaan is de *maintenance factor* MF = LLMF x RSMF (0,94) x LMF (0,95). De waarde onderaan is het vermogen voor 3000 behouden lumen.

Er zijn methodes om het verbruik van de overdimensionering te minimaliseren:

- Een lichtregeling.
- Sommige drivers hebben een instelbare of programmeerbare stroom en deze zou via een onderhoudsschema kunnen aangepast worden.
- Sommige led-verlichtingstoestellen hebben een schakeling die de stroom verhoogt over tijd om de lichtstroom constant te houden.

In al deze gevallen moet het stijgende vermogen over de tijd correct meegerekend worden in de berekening van de totale energie over de gebruiksduur.

Een overdimensionering zonder regeling betekent dat de gebruiker het grootste deel van de tijd een hogere verlichtingssterkte zal hebben, wat voordelen kan meebrengen in productiviteit en alertheid. ([website SSL-erate](#) )

Om te bepalen wat meest kostenefficiënt is, is het informatiever om met een aantal varianten van L<sub>x</sub> te simuleren dan te trachten het optimum te voorspellen.

Verlichtingsinstallaties worden vervangen vóór het einde van de levensduur o.a. omdat een energie-efficiëntere nieuwe installatie goedkoper is binnen een korte gebruiksduur. De efficiëntie verbeterde

vroeger in trappen (T12→ T8→ T5→ led), maar de efficiëntie van de led-package blijft traploos toenemen en zal afvlakken rond 2020. De led-verlichtingstoestellen volgen dezelfde trend (x armatuurrendement) met ongeveer 1 tot 1,5 jaar vertraging. Ook de kostprijs zal dalen met het stijgende rendement omdat minder koeling en een driver met lager vermogen vereist is. Dit vooruitzicht bepaalt het tijdstip waarop het opnieuw interessant wordt om de verlichtingsinstallatie te vervangen en dit is een belangrijke parameter voor de correcte gebruiksduur.

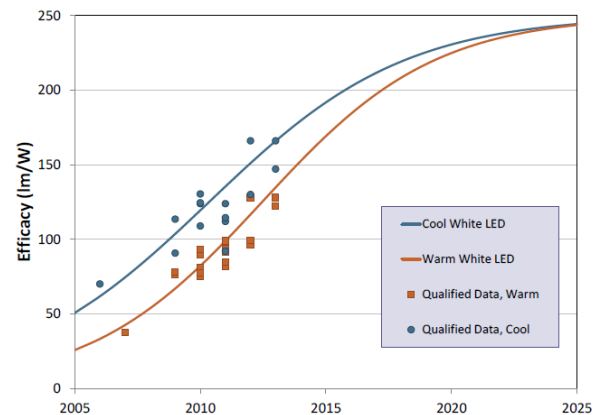
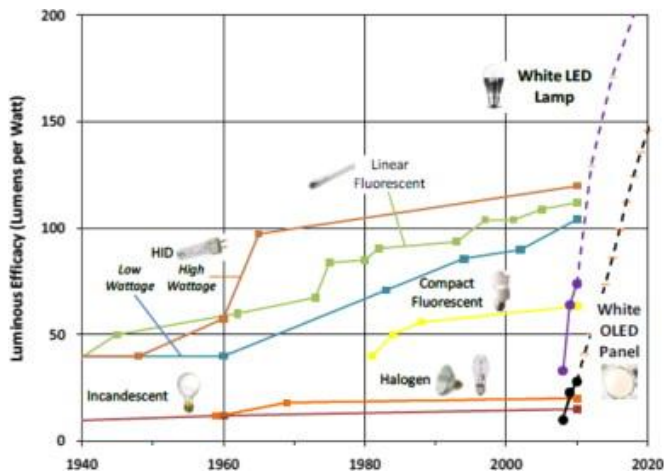


FIGURE 4.1 WHITE-LIGHT PC-LED PACKAGE EFFICACY PROJECTIONS FOR COMMERCIAL PRODUCT

(Figuren: [UCLB SSLEC James Speck](#) en [DOE SSL R&D Multi-Year Program Plan](#)). Bovenstaande figuren tonen de efficiëntie van lichtbronnen met een redelijke kleurweergave (CRI 80). Voor een goede of uitstekende kleurweergave ligt de efficiëntie lager.

*Rekenvoorbeeld* van energieverbruik en energiekost voor een kantoor met 1 shift, 5 dagen per week gedurende 25 jaar vanaf 2014.

Totale energie en energiekost per 3000 behouden lumen voor een elektriciteitsprijs van 0,10 €/kWh met 2% toename per jaar.

- |  |                    |
|--|--------------------|
| a) 25 jaar met vaste led-verlichting 100 lm/W, L80 = 50.000u:  | 2890 kWh, 370 euro |
| b) 7 jaar met led-verlichting 100 lm/W, L80 = 50.000u, daarna vervanging door 190 lm/W, L97 = 50.000u: | 1549 kWh, 192 euro |

De verwachting is dat vanaf 2020 een 3500 lumen led inbouwverlichtingstoestel grootteorde 100 euro zal kosten, ([DOE SSL R&D Multi-Year Program plan](#), pag 61 tabel 4.4). Rekening houdend met de installatiekost kan er per verlichtingspunt iets bespaard worden door onmiddellijk te vervangen na 2020, maar niet veel. In dit voorbeeld is er dus een kans dat de verlichtingsinstallatie zal vervangen worden voor het einde van de levensduur, maar het is geen zekerheid.

Indien gestart wordt met een T5 armatuur of indien er een intensiever gebruik is dan 2580 uur/jaar, dan is er een heel grote kans dat een vervanging plaats zal vinden.

Indien gestart wordt met een hoger rendement of een beter lichtstroombehoud dan wordt de kans klein.

## 5. Oorzaken van lichtstroom-afname

De meeste led-verlichtingstoestellen gebruiken meerdere blauwe leds met een fosforlaag dat een gedeelte van het blauwe licht omzet naar groen en rood licht. Er zijn varianten die violette leds

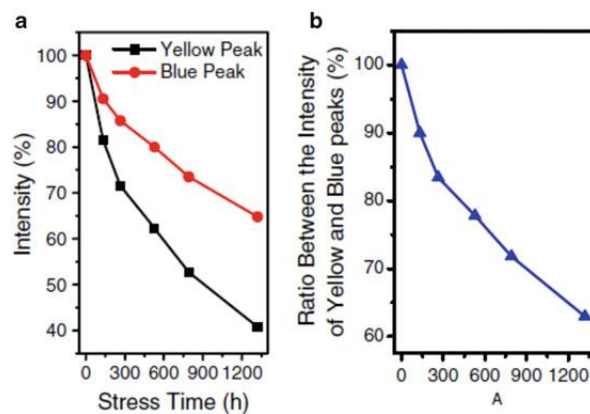
gebruiken of een deel van het rode licht via afzonderlijke rode leds genereren (voor toepassingen met variabele kleurtemperatuur). Voor de fosfor zijn er verschillende configuraties mogelijk: van sterk geconcentreerd in een dunne laag dicht bij de blauwe led-chip tot verspreid in een groter volume verder weg van de led-chip.

Belangrijkste oorzaken van lichtstroom-afname zijn:

- Diffusie van de dotering in de halfgeleider.
- Daling van de omzettingsefficiëntie van de fosfor.
- Vergeling van de epoxy inkapseling en van de optische polymeren gebruikt als lens.
- Degradatie van het thermisch interface materiaal (TIM).
- Defecten van individuele leds.

a) *Lichtstroom-afname door diffusie van de dotering en daling van de efficiëntie van de fosfor*

Dit verloopt sneller bij een hogere stroomdichtheid en hogere temperatuur. Vanwege de omzettingsverliezen warmen de fosfordeeltjes ook zelf op en daardoor is ook de thermische geleiding van de fosfordeeltjes naar de omgeving een belangrijke parameter voor de daling van de efficiëntie.



Figuur:  
[J Meneghesso, UNIPD](#)

Bovenstaande figuur toont de afname van de lichtintensiteit door blootstelling aan 140°C zonder stroom (tenzij op de meetmomenten). De rode curve is de afname door oorzaken in de blauwe led, de blauwe curve is de afname door oorzaken in de fosfor. De afname door de led-chip en fosfor zijn in dit geval gelijkaardig en tonen dat de temperatuur een heel belangrijke factor is.

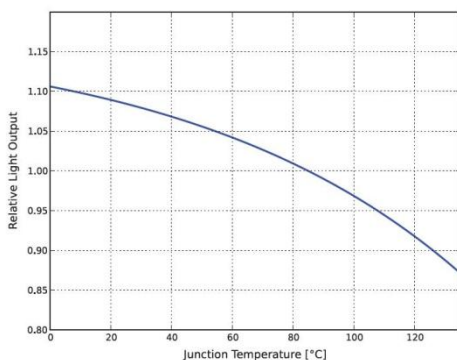
Tabel 2 Een voorbeeld van een led-package (Bron: [Cree](#)):

Case Temp. [Ts]	Drive Current [IF]	Average Lumen Maintenance at 6,000 hours	Reported TM-21 Lifetimes
55°C	333 mA (36V)	97.20%	L90(6k) = 25,500 hrs
85°C	333 mA (36V)	95.50%	L90(6k) = 15,900 hrs
105°C	333 mA (36V)	94.00%	L90(6k) = 14,300 hrs
55°C	500 mA (36V)	95.80%	L90(6k) = 23,500 hrs
85°C	500 mA (36V)	92.70%	L90(6k) = 13,200 hrs
105°C	500 mA (36V)	92.50%	L90(6k) = 11,800 hrs
105°C	700 mA (36V)	91.50%	L90(6k) = 14,000 hrs

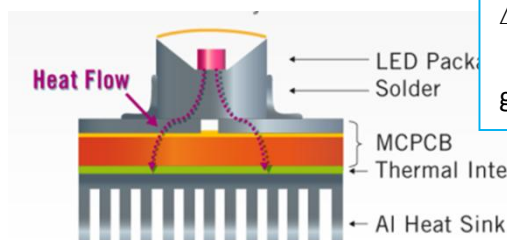
Hogere behuizingtemperatuur = hogere lichtstroom-afname  
 Hogere stuurstroom = hogere lichtstroom-afname

### b) Degradatie van het thermisch interface materiaal

De thermische weerstand van het thermisch interface materiaal kan stijgen over de gebruikstijd. De temperatuur van de led-package wordt daardoor hoger voor eenzelfde omgevingstemperatuur. De lichtstroom van een led-package is lager bij een hogere temperatuur. Een toename van de thermische weerstand resulteert daardoor in een afname van de lichtstroom.



Figuur: Lumileds



$$\Delta T = R_{th} \times P$$

= thermische weerstand x  
gedissipeerd vermogen

### c) Defecten van individuele leds

Een defecte led-chip resulteert ruwweg in een open (~10%) of kortgesloten component (~90%). In een verlichtingstoestel met n led-chips in serie, resulteert de kortgesloten component in een lichtstroom van (n-1)/n, een lichtstroom-afname van 1/n. Zonder extra maatregelen resulteert een open component in geen stroom in de kring, geen licht en is dus een defect van het

verlichtingstoestel: geen impact op de LLMF, wel op de LSF tenzij defecten onmiddellijk vervangen worden.

De spanning over een open component kan ook beperkt worden zodat er wel nog stroom vloeit in de seriekring (dit kan met een zenerdiode of specifieke componenten die voor dit doel beschikbaar zijn). In dit geval is er geen defect van het verlichtingstoestel maar wel een lichtstroomafname van  $1/n$ , met  $n$  = totaal aantal led-chips.

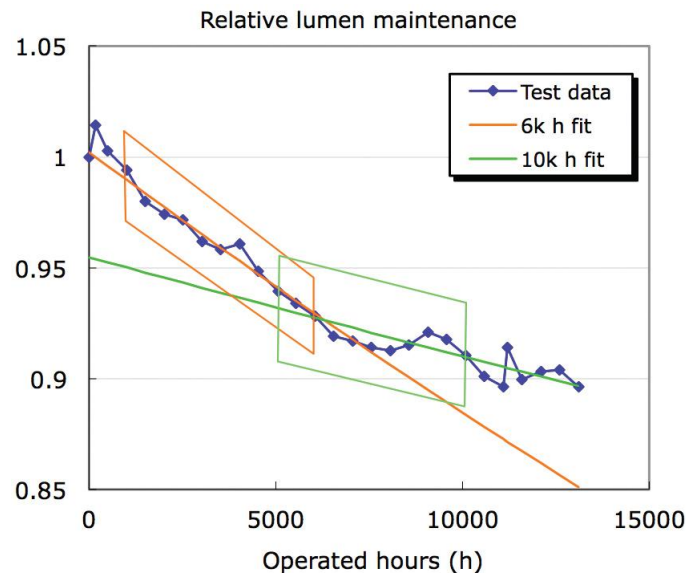
Een aantal seriekringen kunnen ook parallel geschakeld worden op dezelfde driver, en dan zorgt een defecte led voor een andere stroomverhouding in de parallelle kringen. Ook hiervoor bestaan componenten om dit in balans te houden. Een fabrikant van verlichtingstoestellen heeft dus mogelijkheden om defecten ten gevolge van een defecte led-chip te beperken mits een extra kost.

De betrouwbaarheid van individuele leds is uitstekend: 10% defect op 1.000.000 uur voor een bepaalde fabrikant. Defecten hebben een Weibull-verdeling en deze laat toe om de gemiddelde lichtstroom-afname over de tijd ten gevolge van defecten te berekenen: na 50.000 uur geeft dit 0,3% lichtstroomafname.

## 6. Bepaling lichtstroombehoud

### a. Bepaling lichtstroombehoud van led-packages

Voor de bepaling van het lichtstroombehoud van de led-lichtbron (led-package) wordt meestal de methode volgens IES LM-80-15 en TM-21-11 gebruikt.



Enkele voorwaarden en bepalingen:

- 20 samples per substraattemperatuur.
- 2 substraattemperaturen: 55°C, 85°C.
- Datapunten vanaf 1000 uur tot minimum 6000 uur, interval tussen datapunten  $\leq 1000$  uur.
- Lichtstroombehoudscurve: extrapolatie met een exponentiële functie door de gemiddelde lichtstroomdata van de laatste 5000 uur. (of laatste tijdshelft indien groter).
- Het maximum dat men mag rapporteren is 6 x de testduur. Vb.:  $L_{70}(10k) > 60.000$  uur.

Enkele van de hierboven vermelde oorzaken van lichtstroom-afname hebben een effect dat redelijk goed fit met een exponentiële functie, vandaar de keuze van een simpele exponentiële functie voor de extrapolatie. Maar er zijn meerdere oorzaken met elk hun eigen effect op de lichtstroom, en de exponentiële extrapolatie is niet per definitie de beste fit. Als er een langere testduur gekozen wordt gebeurt het vaak dat de lichtstroom minder verval blijkt te hebben.

### b. Bepaling lichtstroombehoud van led-verlichtingstoestellen

Er was nog geen standaardprocedure voor led-verlichtingstoestellen om het lichtstroombehoud op langere termijn te voorspellen uit een kortere meetduur. De fabrikant van verlichtingstoestellen bepaalt zelf deze methode.

De fabrikant gebruikt meestal de testresultaten van de led-packages zoals in de tabel op pagina 12, en bepaalt dan via een exponentiële interpolatie het lichtstroombehoud van de led-packages voor de stroom- en temperatuurcondities in zijn verlichtingstoestel. Het lichtstroombehoud over langere termijn wordt bepaald via extrapolatie (meestal IES TM-21). Daarnaast moet hij ook nog de factoren in rekening brengen buiten de led-package: thermisch interface materiaal, individuele defecten (impact van serie en parallel schakelingen), verkleuring optische componenten.

Deze inschatting van het lichtstroombehoud bevat onzekerheden zoals de exponentiele interpolatie en extrapolatie, de verhouding in de bijdrages van de verschillende oorzaken tussen testcondities en actueel gebruik. Via empirische kennis en bijkomende testen kan een nauwkeuriger voorspelling gemaakt worden.

Sinds juni 2014 is er een procedure van de IES: LM-84-14 en TM-28-14. Hierin komen 2 methodes aan bod: een *directe methode* die uitsluitend testresultaten van de verlichtingstoestellen gebruikt en een *gecombineerde methode* die zowel testresultaten van de verlichtingstoestellen als de LM-80 testresultaten van de led-packages gebruikt.

Enkele voorwaarden en bepalingen van de *directe methode*:

- Minimum 3 samples per omgevingstemperatuur.
- 1 of meer omgevingstemperaturen, vb. 25°C en 45°C (interpolatiemethode voor tussenliggende temperaturen).
- Datapunten tot minimum 6000 uur, interval tussen datapunten  $\leq 1000$  uur.
- Lichtstroombehoudscurve: extrapolatie met een exponentiele functie door de gemiddelde lichtstroomdata van de laatste 5000 uur of laatste tijdshelft indien groter (dan 5000u).
- Het maximum dat men mag rapporteren hangt af van het aantal samples: van 3 x de testduur voor 3 samples tot 6 x de testduur voor  $\geq 10$  samples. Vb.: L80(6k) > 36000 uur bij  $T_a = 25^\circ\text{C}$ .

Enkele voorwaarden en bepalingen van de *gecombineerde methode*:

- Alleen aanbevolen indien testduur < 6000 uur.
- Minimum 5 samples.
- 1 of meer omgevingstemperaturen, vb. 25°C en 45°C (interpolatiemethode voor tussenliggende temperaturen).
- Datapunten tot minimum 3000 uur (< 6000 uur), interval tussen datapunten  $\leq 500$  uur.
- Lichtstroombehoudscurve: extrapolatie met een exponentiele functie van de led-package data met de exponentiele helling en startwaarde aangepast door de testwaarden van de verlichtingstoestellen.
- Het maximum dat men mag rapporteren hangt af van het aantal samples: van 1.5 x de testduur voor 5 samples tot 6 x de testduur voor  $\geq 15$  samples. Vb.: L80(3k, 6k) > 18.000 uur bij  $T_a = 25^\circ\text{C}$ .

Aangezien de gecombineerde methode slechts een maximale rapportering van < 36000 uur toelaat, zal een fabrikant van verlichtingstoestellen uiteindelijk toch de testen moeten verderzetten om later via de directe methode een langer lichtstroombehoud te kunnen rapporteren.

### c. Extrapolatie t.o.v. realiteit: led-vervanglamp

Een led-vervanglamp heeft dezelfde onderdelen als een led-verlichtingstoestel: led-chip (een of meerdere), inkapseling, fosfor, koellichaam, driver. Wegens de beperkte afmeting zijn deze iets eenvoudiger om op te meten.

Led-vervanglampen en led-verlichtingstoestellen kunnen ontworpen worden voor een verschillend lichtstroombehoud. Vanwege de prijsdruk op vervanglampen en het feit dat deze slechts beperkt beter moeten zijn dan CFL, vind je in deze categorie de led-producten ontworpen voor een minder lange behoudsduur.

De eisen gesteld in EU 1194/2012 zijn:

Lichtstroombehoud bij 6000 uur:  $\geq 0,80$

De meeste fabrikanten van led-vervanglampen speciëren een levensduur (70% lichtstroombehoud) van 15000 of 25000 uur. Dit wijkt weinig af van bovenstaande eis. Het is dan ook niet te verwonderen dat in een Europese steekproef enkele led-lampen de eis van EU 1194/2012 niet gehaald hebben. (o.a. [Which?](#) 01/2014, [Stiftung Warentest](#) 10/2013)

De US DOE is een van de weinige instellingen die in hun SSL-programma onafhankelijke testen uitvoert met voldoende samples, en uitgebreide gegevens over een langere meetduur publiceert.

De levensduurtesten van 15 modellen led-lampen (800 lumen, ~ E27) zijn beschikbaar in een [rapport](#). 15 modellen led-lampen, 1 model 60W halogeenlamp en 1 model CFL-lamp zijn getest over een 7500 uur brandduur bij 45°C omgevingstemperatuur: dit is de standaard omgevingstemperatuur voor lampen in plafondarmaturen.

- 50% van de CFL-lampen waren defect na 2600 uur.
- Er waren 2 modellen led-lampen die een beduidend vluigere afname hadden van de lichtstroom dan hun levensduur specificatie suggereerde.
- 12 modellen ledlampen hadden een lichtstroombehoud dat na 7500 uur voldoende overeenstemt met het verwachte lichtstroombehoud (na 7500 u: 90% voor  $L_{70} = 25000$  u, 95% voor  $L_{70} = 50000$  u), meestal zelfs duidelijk beter.
- 1 lampmodel zat gemiddeld net onder de verwachting en had een grote spreiding.
- Deze laatste en de 2 modellen led-lampen met de vluigere afname van de lichtstroom vertoonden ook een snelle verschuiving van het witpunt:  $\Delta u'v' > 0,0066 = 6\text{-step MacAdam}$ .

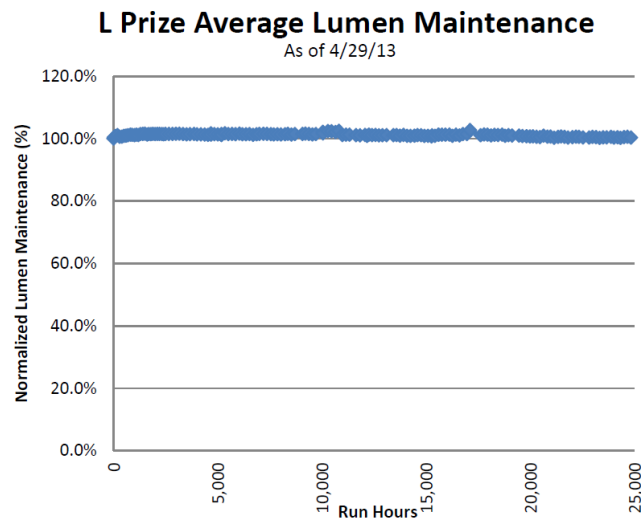
De levensduurtesten van 32 modellen ledspots (PAR38) zijn beschikbaar in een [rapport](#).

32 modellen ledspots, 5 modellen halogeenspot, 2 modellen CFL-spot en 1 model metaalhalide spot zijn getest over een 14000 uur brandduur bij 45°C omgevingstemperatuur: dit is de standaard omgevingstemperatuur voor lampen in plafondarmaturen.

- 5 modellen van de ledspots hadden een defecte in een sample tijdens de 14000 uur brandduur.
- 29 modellen ledlampen hadden na 14000 uur een lichtstroombehoud tussen 87% en 101% Dit is beter dan het verwachte lichtstroombehoud (na 14000 u: 82% voor  $L_{70} = 25000$  u, 90% voor  $L_{70} = 50000$  u), meestal zelfs duidelijk beter.
- Er waren 2 modellen led-lampen die een vluigere (resp. 4,5% en 11% lager) afname hadden van de lichtstroom dan hun levensduur specificatie suggereerde.



De Philips L-Prize lamp is niet ontworpen naar minimale kost maar naar state-of-the-art specificaties (anno 2010). Het SSL-programma van de US DOE heeft 200 van deze lampen in [langdurige test](#). Volgende resultaten tonen wat haalbaar is met led-technologie met een goed ontwerp. De extrapolatie na 7000 uur voorspelde volgende gemiddeld lichtstroombehoud: 97% na 25.000 uur. De reële waarde na 25.000 uur blijkt iets hoger te zijn: 100%.



## 7. Praktijktoeepassing: bepalen van het lichtstroombehoud bij de gewenste gebruiksduur

Het lichtstroombehoud wordt meestal opgegeven voor een beperkt aantal waarden van tijdsduur (vb. 50.000 uur). Vaak is de geplande gebruiksduur verschillend:

- In klaslokalen ligt de brandduur van verlichting rond 1.000 uur/jaar. De gebruiksduur zal hoogstwaarschijnlijk beduidend korter zijn dan 50.000 uur (50 jaar).
- Voor een productieomgeving van 24/24, 6 dagen per week komt 50.000 uur overeen met 6 jaar en 8 maand. De gewenste gebruiksduur zal hoogstwaarschijnlijk beduidend langer zijn.

Er zijn een aantal fabrikanten die het lichtstroombehoud specificeren voor een groot aantal tijdsduren en uiteraard dienen de specificaties van de fabrikant gebruikt te worden voor de bepaling van de *maintenance factor* (CIE 97:2005). Maar wat als de gegevens ontbreken voor de gewenste gebruiksduur?

Volgens IES TM-21 en TM-28 volgt het lichtstroombehoud een exponentiele curve. Als een lichtstroombehoud van  $x\%$  gespecificeerd is voor een tijdsduur  $L_x$ , dan kan dit voor een andere gebruiksduur berekend worden met volgende formule:

$$LLMF = e^{\ln\left(\frac{x}{100}\right) \frac{\text{gebruiksduur}}{L_x}}$$

Rekenvoorbeeld:

Een voorbeeld uit Tabel 1 (het vak met de groene rand).

Gegevens verlichtingstoestel:  $L_{80} = 50.000$  u. Geplande gebruiksduur kantoor is 15 jaar = 38.700 u

$$\Rightarrow LLMF = e^{\ln(0,80) \frac{38700}{50000}} = 0,841$$

Dit resulteert dan in een *maintenance factor*  $MF = LLMF \times RSMF \times LMF = 0,841 \times 0,94 \times 0,95 = 0,751$ .

LLMF	Gebruiksduur (u)					
	5.000	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000
$L_{70} = 50.000$ u	0,965	0,931	0,867	0,807	0,752	0,700
$L_{80} = 50.000$ u	0,978	0,956	0,915	0,875	0,837	0,800
$L_{90} = 50.000$ u	0,990	0,979	0,959	0,939	0,919	0,900
$L_{80} = 70.000$ u	0,984	0,969	0,938	0,909	0,880	0,853
$L_{97} = 50.000$ u	0,997	0,994	0,988	0,982	0,976	0,970

Tabel 3

## 8. Hoe omgaan met verlichtingstoestellen met CLO (constant light/lumen output)?

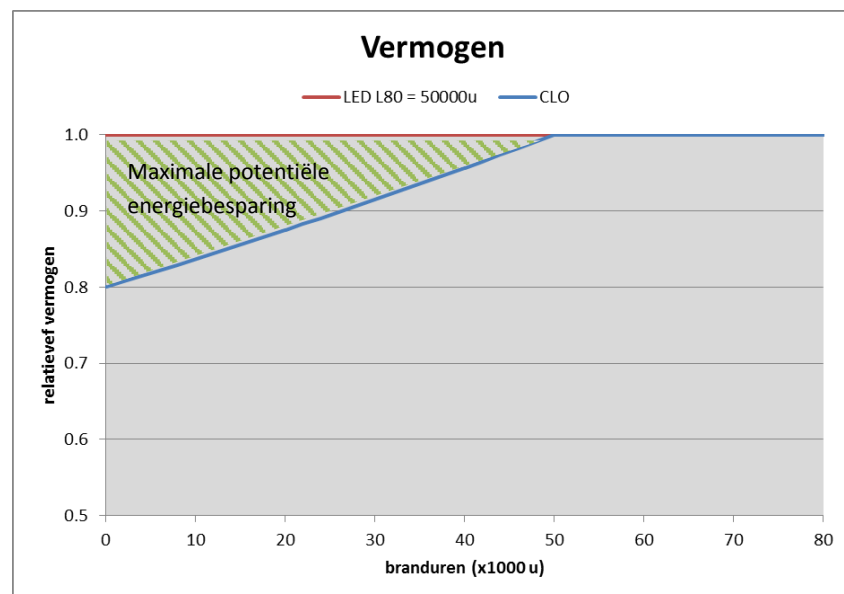
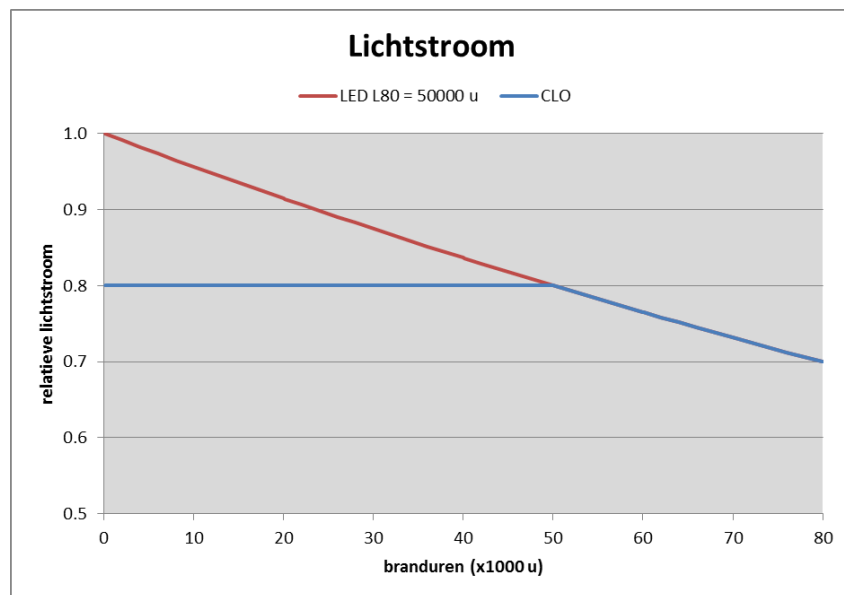
De verwachte lichtstroom-afname van de leds kan gecompenseerd worden door de aanstroom te verhogen in functie van de branduren. De aanstroom wordt bv. zo ingesteld dat de lichtstroom gelijk is aan de verwachte lichtstroom op de gespecificeerde levensduur.

### Voorbeeld:

Specificatie van verlichtingstoestel: levensduur = 50.000 u,  $L_{80}$  = 50.000 u zonder CLO.

De geplande gebruiksduur kan gelijk zijn aan de levensduur specificatie maar kan hiervan ook afwijken.

Met CLO: lichtstroom = 80% van de initiële waarde zonder CLO.



Voordeel:

- Er is een *initiële* procentuele besparing in het elektriciteitsverbruik die ongeveer gelijk is aan de verwachte procentuele lichtstroomafname: voor bovenstaand voorbeeld is dit 20%.

- De *gemiddelde procentuele besparing* in het elektriciteitsverbruik komt ongeveer overeen met de helft van de verwachte procentuele lichtstroomafname: voor bovenstaand voorbeeld is dit 10%.

Indien de gebruiksduur verschillend is van de levensduur dan zijn de besparingen lager dan de hierboven vermelde waardes.

## CLO als standaard configuratie

De verlichtingstoestellen die standaard voorzien zijn van CLO hebben in principe fotometrische gegevensbestanden (\*.ldt, \*.ies, \*.uld, \*.rolf) waarin de begincondities aanwezig zijn. Dit is dus de constante lichtstroom en het initiële vermogen.

Voorbeeld:

Een verlichtingstoestel heeft bij de nominale driverstroom: een initiële lichtstroom van 4000 lumen, een initieel rendement van 110 lm/W en een lichtstroombehoud van 80% na 50.000u. Het vermogen is 36,4 W. Zonder CLO zou in de fotometrische gegevensbestanden een lichtstroom van 4000 lumen en een vermogen van 36,4 W opgegeven zijn.

Met CLO is de initiële driverstroom 80% van de nominale en zal de lichtstroom constant zijn: 3200 lumen. Het initiële rendement blijft 110 lm/W en het initiële vermogen zal 29,1 W zijn.

Met de standaard CLO zal in de fotometrische gegevensbestanden een lichtstroom van 3200 lumen en een vermogen van 29,1 W opgegeven zijn.

Voor een berekening van de behouden verlichtingssterkte wordt een *maintenance factor* gebruikt waarbij  $LLMF = 1$ .

De *maintenance factor* is dan  $MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \cong 1 \times 1 \times 0,97 \times 0,94 \cong 0,91$ .

Het totale vermogen dat volgt uit de lichtberekening zal echter het initiële vermogen zijn. Voor een correcte TCO moet de toename van het vermogen over tijd nog extra in rekening gebracht worden.

## CLO als optie

Er zijn verlichtingstoestellen waarbij CLO wordt aangeboden als optie. Er kan meestal een CLO curve naar keuze geprogrammeerd worden in de driver. Daarom hebben deze verlichtingstoestellen meestal alleen fotometrische gegevensbestanden voor de situatie zonder CLO.

Aangezien de lichtstroom met CLO lager zal zijn dan in de fotometrische gegevensbestanden is er een correctiefactor nodig voor de lichtstroom bij de berekening van de behouden verlichtingssterkte. Dit kan het eenvoudigst door de correctiefactor in te geven op de plaats van de LLMF in de *maintenance factor*.

Bijvoorbeeld in DIALux evo:

Bestand Bewerken Toevoegen Beeld ?

Constructie Licht Bereken

Onderhoudsfactoren

Resultaat

Lichtopbrengst 1

Ruimte

Ruimte-onderhoudsfactor RMF 0,94

Omgevingsomstandigheden Schoon

Reinigingsinterval 6.0 Jaar

Bereik Kantoor

Armatuur

Armatuurtype

Reinigingsinterval 4.0 Jaar

Armatuur-onderhoudsfactor LMF 0,97

Lampen

Lamptype

Bedrijfsuren per jaar 2750

Vervangingsinterval 1.0 Jaar

Defecte lampen  onmiddellijk vervan...

Lamplichtstroom-onderhoudsfactor LLMF 0,84

Lampenlevensduurfactor LSF 1,00

Resultaat

Behoudfactor MF 0,77

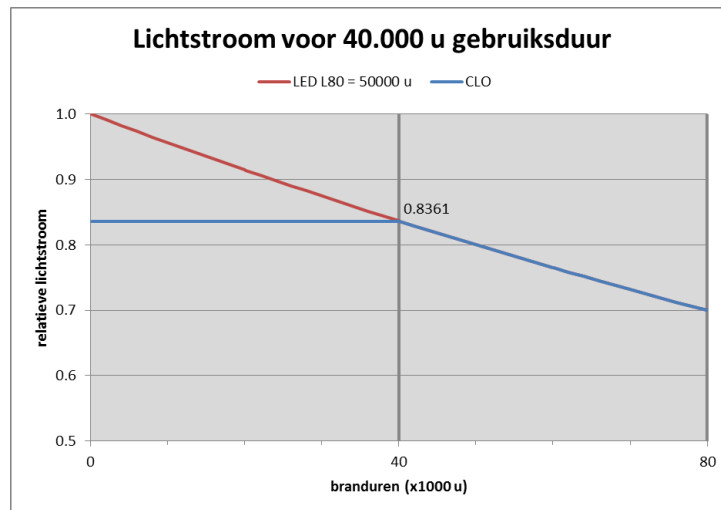
Opmerking

Hier ingeven

a) De CLO optie van de driver wordt geprogrammeerd zodat de lichtstroom constant is voor de gewenste gebruiksduur.

De berekening is dan hetzelfde als voor de situatie zonder CLO.

Vb.: Indien de geplande gebruiksduur 40.000u is, dan is de LLMF = 0,84 voor het verlichtingstoestel met  $L_{80} = 50.000$ . De correctiefactor is dan ook = 0,84 indien deze correct geprogrammeerd is. De *maintenance factor* =  $LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \cong 0,84 \times 1 \times 0,97 \times 0,94 \cong 0,77$ .

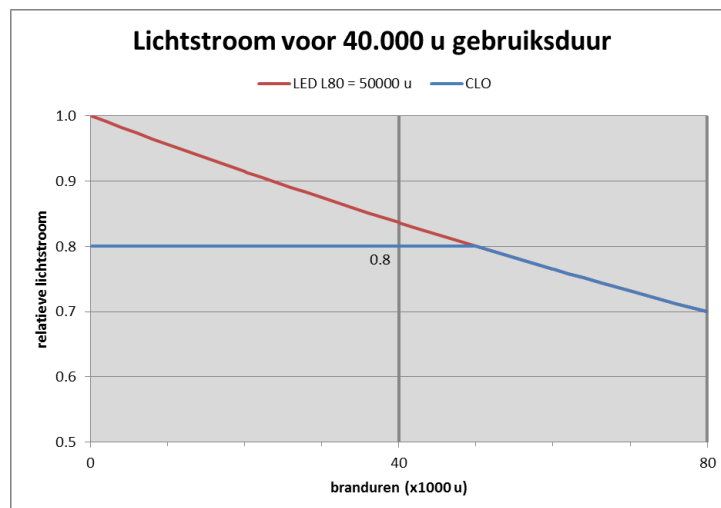


Het totale vermogen dat volgt uit de lichtberekening zal echter het vermogen zijn bij 100% driverstroom. Voor een correcte TCO moet het veranderende vermogen (dat initieel lager is en stijgt over tijd) in rekening gebracht worden, anders wordt het gemiddelde elektriciteitsverbruik overschat. (Dit is ongeveer 8% lager in voorgaand voorbeeld)

*b) De CLO optie van de driver wordt geprogrammeerd zodat de lichtstroom constant is voor een langere tijdsduur dan de gewenste gebruiksduur.*

Er zal dan een lagere constante lichtstroom geprogrammeerd zijn.

Vb.: Indien de geplande gebruiksduur 40.000u is, dan is de LLMF = 0,84 voor het verlichtingstoestel met  $L_{80} = 50.000$ . Indien de CLO optie van de driver geprogrammeerd is voor 50.000u dan is de correctiefactor toch 0,80. Voor de berekening gebruikt men dan een *maintenance factor*  $MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \cong 0,80 \times 1 \times 0,97 \times 0,94 \cong 0,73$ .

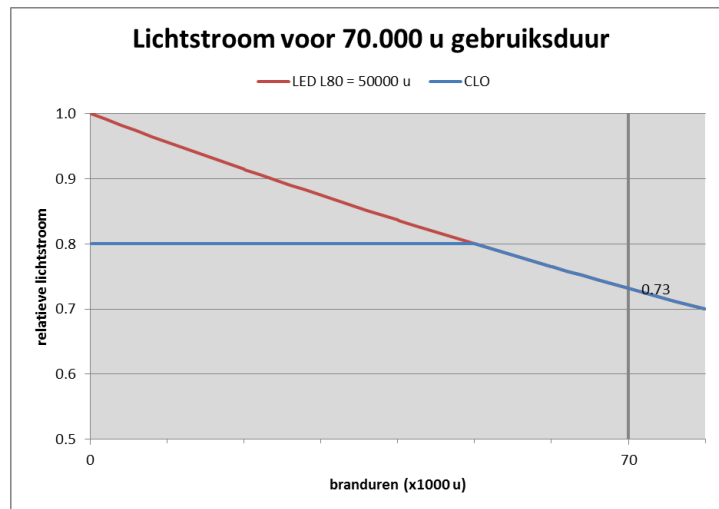


Het totale vermogen dat volgt uit de lichtberekening zal echter het vermogen zijn bij 100% driverstroom. Voor een correcte TCO moet het veranderende vermogen (dat initieel lager is en stijgt over tijd) in rekening gebracht worden, anders wordt het gemiddelde elektriciteitsverbruik overschat. (Dit is ongeveer 8% lager in voorgaand voorbeeld)

*c) De CLO optie van de driver wordt geprogrammeerd zodat de lichtstroom constant is voor een kortere tijdsduur dan de gewenste gebruiksduur.*

Indien de geplande gebruiksduur langer is dan de geprogrammeerde tijdsduur van de CLO, dan is de lichtstroom na de geprogrammeerde tijdsduur hetzelfde als de situatie zonder CLO. De berekening is dan hetzelfde als voor de situatie zonder CLO.

Vb.: Indien de geplande gebruiksduur 70.000u is, dan is de LLMF = 0,73 voor het verlichtingstoestel met  $L_{80} = 50.000$ . De *maintenance factor* =  $LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \cong 0,73 \times 1 \times 0,97 \times 0,94 \cong 0,67$ .



Het totale vermogen dat volgt uit de lichtberekening zal echter het vermogen zijn bij 100% driverstroom. Voor een correcte TCO moet het veranderende vermogen (dat initieel lager is en stijgt over tijd) in rekening gebracht worden, anders wordt het gemiddelde elektriciteitsverbruik overschat. (Dit is ongeveer 7% lager in voorgaand voorbeeld)

## 9. Defecten

Defecten led-package: 10% op 1.000.000 uur

Defecten led-driver (EVSA): 10% op 50.000 uur

Voor de bepaling van de *maintenance factor* wordt verondersteld dat bij een volledig defect van het verlichtingstoestel het defect onmiddellijk vervangen wordt. Daarom is het interessant dat een component zoals een driver gemakkelijk vervangen kan worden i.p.v. het volledige verlichtingstoestel.

Het percentage defecte led-verlichtingstoestellen over tijd is echter relevant voor de TCO en de gebruiker, en daarvoor werd ook een specificatie gedefinieerd voor het led-verlichtingstoestel.

Volgens IEC 62722-2-1:

Een  $C_{10}$ -waarde van 60.000 branduren betekent dat na 60.000 branduren maximaal 10% van de led-verlichtingstoestellen (C-getal) defect zijn gegaan. C staat voor *catastrophic*.

Merk op dat de  $L_x(B_y)$  tijdsduur en de  $C_z$  tijdsduur voor een bepaald led-verlichtingstoestel verschillende tijdsduren kunnen zijn. De specificatie van het percentage defecte verlichtingstoestellen bij de  $L_x$  tijdsduur is AFV (*abrupt failure value*).

## 10. Definitie levensduur

De definitie van levensduur is: de nuttige gebruiksduur.

Er zijn een aantal parameters die de nuttige gebruiksduur bepalen:

- Lichtstroombehoud  $L_x$ : vb. 90%, 80%, 70%, ...
- Aantal defecten: vb. 5%, 10%, 50%
- Kleurafwijking: vb.  $\Delta_{uv}$  0.003, 0.004
- Efficiëntie behoud (lm/W): vb. 90%

Om verlichtingstoestellen met elkaar te kunnen vergelijken, is het nuttig om eenzelfde definitie te hebben voor 'levensduur' voor alle fabrikanten, zelfs al wijkt deze af van de nuttige gebruiksduur. Er is hiervoor nog geen standaard voor led-verlichtingstoestellen.

Voor led-lampen is de definitie van levensduur volgens EU 1194/2012:

Gemiddeld lumenbehoud: 70%

Aantal defecten: 50%

De vermelde levensduur is dus de  $L_{70}$  waarde met AFV (*absolute failure value*)  $\leq 50$ .

## 11. Besluit

De nuttige gebruiksduur van led-verlichtingstoestellen is niet de facto de levensduur die de specificatie vermeldt. De optimale gebruiksduur hangt af van het lichtstroombehoud, het initiële rendement, de gebruiksuren per jaar en de technologische evolutie. Een goede keuze van de gebruiksduur is een belangrijke parameter voor led-verlichting. De berekening van een aantal varianten leidt tot betere resultaten dan simpele vuistregels.