

LED-VERLICHTING IN DE PRAKTIJK

Toelichting op het rekenen aan
led-verlichting en borging van kwaliteit.



Woord vooraf

Dit document is opgesteld door Toine Adams in samenwerking met de specialist Openbare Verlichting van de gemeente Tilburg, meerdere leveranciers van led-verlichting voor openbare verlichting en diverse adviseurs openbare verlichting.

Het doel van dit document is om fabrikanten, ontwerpers, beheerders en uitvoerende partijen van led-verlichting in de openbare ruimte handvatten te geven voor hoe zij om kunnen gaan met led-verlichting in het ontwerp-, inkoop- en realisatieproces van openbare (led-)verlichting.

Vanwege de snelle ontwikkelingen op het gebied van led-systemen is het van groot belang om dit document 'levend' te houden en ontwikkelingen op het gebied van led-systemen te volgen. Te denken is bijvoorbeeld aan ontwikkeling van organische leds (oled) en andere technologieën in openbare verlichting, waardoor een steeds langere levensduur en hogere lichtopbrengst per led kan worden behaald.

De inhoud van dit document is op enkele punten redelijk technisch van aard. Er wordt uitgegaan van een redelijk kennisniveau op het gebied van led-verlichting in de openbare ruimte.

Het is niet gewenst dit document zomaar van toepassing te verklaren als 'standaard'-eisen. De kracht van dit document ligt met name in de mogelijkheid snel alle relevante zaken te kunnen benoemen en daardoor een bewuste keuze te kunnen maken op basis van geboden handvatten.

Uiteraard dienen gemaakte keuzes te worden opgenomen in de door de lezer op te stellen contracten en adviezen.

Dit document is opgesteld door:

Toine Adams

Senior adviseur

Inhoudsopgave

Woord vooraf		1
1	Algemeen	4
1.1	Behoudfactor	4
1.2	Technische kwaliteit led-systemen	4
2	Basisprincipe led-verlichting	5
2.1	Wat is een led	5
2.2	Productie en toepassing leds	5
2.3	Wat is een led-systeem	6
2.4	De praktijk	6
2.5	Levensduur leds	7
2.6	Levensduur led-systeem	8
3	Beoordelen led-systeem	9
3.1	Toe te passen LxFy-waarde	9
3.2	Kleurweergave	9
3.3	Kleurtemperatuur	10
3.4	Bedrijfstemperatuur	10
3.5	T_a of T_q	12
3.6	Bedrijfsstroom	13
3.7	Lichtdistributie leds	14
3.8	Multilayer en Multispot	15
3.9	Keuze toe te passen led-armatuur bij vervanging	16
4	Checklist kwaliteit led-systeem	17
5	Aan te leveren documentatie	18
6	Behoudfactor	19
6.1	Behoudfactor led-verlichting	19
6.2	Vaststellen behoudfactor	20
6.3	Uitgangspunten behoudfactor	21
6.4	Samenvatting behoudfactor	24

7	Energiebesparing met CL-functie	27
7.1	Constante Licht functie	27
7.2	Opgenomen elektrisch vermogen led-systeem	28
8	Ontwerpen in de praktijk	29
9	Checklist ontwerpeisen	31
10	Aan te leveren berekening	32

1 Algemeen

1.1 Behoudfactor

Alle openbare verlichting die wordt aangebracht in de openbare ruimte, dient te worden ontworpen en gerealiseerd op basis van een van de verlichtingsklassen, zoals opgenomen in de Richtlijn Openbare Verlichting 2011 (ROVL-2011) of NPR 13201-1. Als uitgangspunt voor elk lichttechnisch ontwerp wordt genomen dat het aangegeven lichtniveau en overige kwaliteit parameters, dienen te worden gezien als te garanderen minimale waarden tot aan einde (technische) levensduur.

In de praktijk betekent dit dat de ontwerper rekening dient te houden met in het lampsysteem aanwezige verouderingseffecten en vervuiling over deze bedrijfsperiode. Deze in te voeren correctie vindt plaats op de initiële lichtstroom (in lumen) door het invoeren van een zogeheten 'behoudfactor'.

Door gebruik te maken van deze behoudfactor in lichtberekeningen wordt voorkomen dat de minimaal te garanderen lichtkwaliteit wordt onderschreden, gedurende de technische levensduur van de lichtbron. Hierbij wordt overigens benadrukt dat het toepassen van een behoudfactor de kans op overschrijding beperkt, maar geen technische garantie is!

1.2 Technische kwaliteit led-systemen

De technische kwaliteit van led-verlichting wordt sterk bepaald door de samenbouw van alle componenten (led-systeem). De technische levensduur van elektronica wordt in belangrijke mate bepaald door de temperatuurhuishouding van de armatuur. Zelfs de beste componenten raken (snel) defect als ze verkeerd worden toegepast!

Door de kwaliteit van de toe te passen led-systemen op niveau te krijgen, wordt de kans op het niet behalen van de verwachte technische levensduur minimaal. Om deze reden is dit document uitgebreid met enkele belangrijke technische eisen die van toepassing dienen te zijn op led-armaturen die worden toegepast binnen openbare verlichting-installaties.

Tot slot wordt in dit document aandacht gegeven aan enkele praktische uitgangspunten voor het ontwerp en realisatie van (led-) verlichtings-installaties.

2 Basisprincipe led-verlichting

Onderstaande paragrafen gaan kort in op de bijzonderheden van led-verlichting. Voor verdergaande toelichting wordt geadviseerd contact op te nemen met specialisten/leveranciers van led-systemen.

2.1 Wat is een led

Een led (light emitting diode) is een elektronisch component dat onder bepaalde condities monochromatisch licht uitstraalt. Wit licht maken kan op twee manieren:

- Door het combineren van rode, groene en blauwe leds (RGB)
- Door blauwe leds te voorzien van een fluorescentiepoeder, dat het blauwe licht omzet in wit licht.

Deze laatste methode wordt voor buitenverlichting het meeste toegepast.

In onderstaande tabel worden de grootste verschillen tussen standaard lichtbronnen en leds aangegeven.

Conventionele lichtbron	Led lichtbron
Licht straalt rondom uit.	Licht straalt aan voorzijde led uit en kan heel precies worden gestuurd. Daardoor ontstaat nauwelijks strooilicht.
Warmte straalt rondom uit.	Warmte ontstaat aan achterzijde led.
Spectrale verdeling op basis van aanwezige gassen.	Monochromatisch licht eventueel omgezet door toepassing fluorescentiepoeder.

Tabel 1: Verschillen conventionele lichtbron en led lichtbron.

2.2 Productie en toepassing leds

In de praktijk blijkt dat het produceren van leds in een constant hoge kwaliteit moeilijk is, waardoor slechts een klein deel van geproduceerde leds geschikt zijn voor hoogwaardige verlichtingsarmaturen. Omdat na productie niet alle mindere leds worden vernietigd, bestaat de kans dat diverse led-armaturen worden voorzien van een wat mindere kwaliteit leds.

Elke fabrikant van led-verlichting kan dus kiezen voor dure uniforme leds of voor wat goedkopere leds, die in meer of mindere mate grotere spreiding hebben in lichtkleur, lichtstroom en doorlaatspanning.

Producenten verkopen leds die onderling gelijk zijn, maar per serie kunnen verschillen. Het mixen van led uit verschillende series is daarom een goede manier om een zo gelijk mogelijke mix te krijgen van alle leds. Dit proces wordt 'binning' genoemd. De kwaliteit van binning bepaalt de uniformiteit van de toegepaste leds.

2.3 Wat is een led-systeem

Een led maakt altijd onderdeel uit van een led-systeem, waarin alle componenten belangrijk zijn voor de prestatie van het geheel. De kwaliteit van een led-armatuur kan dan ook nooit worden beoordeeld op basis van gegevens van de individuele led.

Onder led-systeem wordt in dit document verstaan: een compleet samengebouwd led-armatuur bestaande uit behuizing, lichtbron(nen), led-driver en eventueel aanwezig controle apparatuur (bijv. dimmer, lamp-controller etc.). Simpel gezegd: zoals de armatuur als totaalproduct uit de verpakking komt.



Figuur 1: Van led-chip tot led-systeem [bron: Philips]

2.4 De praktijk

In de praktijk blijkt dat het aandeel 'goede' leds klein is in verhouding tot het totale bestand. Hierdoor is de kans dat 'mindere' leds worden toegepast in verlichtingsarmaturen groot. De vraag die moet worden gesteld, is hoe een fabrikant van led-armaturen zorg draagt voor een kwalitatieve, gelijkwaardige productie led-armaturen, waarbij verlichtingsinstallaties nu en in de toekomst kunnen worden uitgebreid en onderhouden.

Leds die nu worden geproduceerd en verkocht, zijn over enkele maanden immers niet meer te leveren. Ook dient te worden voorkomen dat bij een project led-verlichting wordt toegepast die per led-armatuur een andere kleurzweem of lichtstroom heeft.

2.5 Levensduur leds

Bij conventionele verlichting wordt de levensduur gegeven in aantal branduren (bijv. 12.000 uur) met een te verwachten uitvalspercentage (bijv. 10%). Omdat leds zeer lang mee gaan en nauwelijks uitvallen, wordt de levensduur op een andere manier gedefinieerd; men kijkt naar de lichtterugval na een aantal branduren.

Dit wordt uitgedrukt met een Lx-waarde. Bij de eerste led-armaturen hanteerde men een einde levensduur bij L70 na bijv. 50.000 branduren. Dat wil zeggen, 30% terugval over een periode van 50.000 uur.

Nu er meer testresultaten bekend zijn van leds waaruit blijkt dat de realiteit gunstiger is, worden vaak hogere L-waardes gegeven. Dit heeft ook te maken met sterk verbeterde productiemethodes van leds en verbeterde soldeertechnieken.

Er bestaat een internationaal vastgestelde methode om de levensduur van leds te bepalen: de LM-80 tests [IES 2008] i.c.m. TM-21 [IES 2011].

De eerste methode beschrijft hoe individuele leds dienen te worden getest. De tweede methode beschrijft hoe deze data dienen te worden geëxtrapoleerd om tot een voorspelling van de levensduur te komen. Let op: het gaat om testmethoden van de leds, niet het led-systeem! Het is aan de fabrikant van armaturen om deze testdata te interpreteren en tot een levensduurvoorspelling voor het led-systeem te komen.

Belangrijk hierbij is om te realiseren dat de zwakste schakel in een ketting de sterkte van de ketting bepaalt.

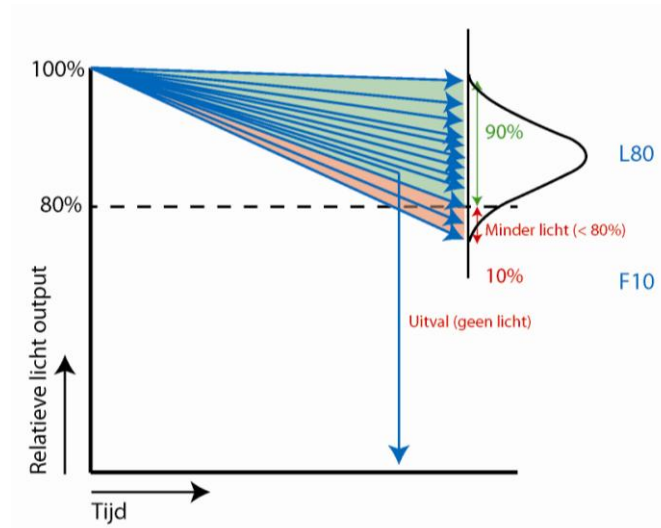
2.6 Levensduur led-systeem

De levensduur van een led-systeem wordt omschreven met een LxFy-waarde (zie IEC/PAS 62722).

Voorbeeld: L80F10 over 100.000 uur (max. 25 graden Celsius (Tq))

De codering uit het voorbeeld geeft aan dat na het aantal aangegeven branduren, 90% van de led-systemen nog minimaal 80% licht geeft ten opzichte van de initiële lichtstroom. De overige 10% geeft minder licht of is uitgevallen (geen licht). De aangegeven waarde wordt behaald als de maximale omgevingstemperatuur **niet** wordt overschreden (zie par. 3.5).

In onderstaande grafiek wordt het principe van L80F10 weergegeven. Elke pijl stelt een gemeten led-module voor.



Figuur 2: Uitwerking LxFy-waarde

3 Beoordelen led-systeem

In dit hoofdstuk worden een aantal belangrijke kenmerken van led-systemen behandeld met daaraan een richtlijn gekoppeld.

3.1 Toe te passen LxFy-waarde

Alle led-systemen die worden toegepast binnen openbare verlichting-projecten op basis van een niveau 4-systeem (zie figuur 1) dienen bij voorkeur te voldoen aan L80F10, T_q 25 °C bij een levensduur \geq 85.000 branduren (bijvoorbeeld LEDGINE en LensoFlex-concept).

De minimale levensduur van Retrofit-led en Fortimo-led-concepten dienen te voldoen aan L80F10, T_q 25 °C bij een levensduur \geq 50.000 branduren.

3.2 Kleurweergave

Kleurweergave is het vermogen van een lichtbron om nauwkeurig de kleuren van verlichte voorwerpen weer te geven.

Op dit moment is de kleurweergave-index, Color Rendering Index (CRI) de belangrijkste maat voor de kleurweergave, uitgedrukt in Ra. Deze index meet hoe getrouw een lichtbron het uiterlijk van acht gestandaardiseerde kleurmonsters weergeeft ten opzichte van een ideale lichtbron, op een schaal tot Ra 100. De referentiebron (standaard daglicht of een halogeen) heeft een maximale CRI van Ra 100. De stelling dat toegepaste CRI niet toepasbaar is voor (witte) led-verlichting, blijkt alleen van toepassing te zijn op samengesteld wit licht led-verlichting (RGB-leds). De kleurweergave van wit licht leds voorzien van een 'remote fosfor' is vergelijkbaar met fluorescentie lichtbronnen.

Richtlijn: Bij openbare led-verlichting is een Ra \geq 60 wenselijk

3.3 Kleurtemperatuur

De kleur van wit licht wordt uitgedrukt in een temperatuur op de Kelvinschaal. Daglicht is bijvoorbeeld gedefinieerd als ± 5600 graden Kelvin (5600 K). De kleurtemperatuur van een lamp geeft aan of deze een warme kleur geeft of een koele witte kleur. Mensen ervaren licht met een lage kleurtemperatuur als warmer dan licht met een hoge kleurtemperatuur.

Blauwe led's krijgen een warmere lichtkleur naar mate er een dikkere laag fluorescerend poeder op is aangebracht. Om die reden zijn koel witte leds energie-efficiënter dan warm witte leds.



Figuur 3: Impressie verschillende kleurtemperaturen, v.l.n.r.: 3000 K, 4000 K, 5600 K

Richtlijn: Als uitgangspunt wordt aangehouden dat zoveel mogelijk dezelfde kleurtemperatuur wordt toegepast binnen één gebied met dezelfde functie. Hierdoor worden kleurverschillen tussen diverse soorten led-verlichting binnen het gebied beperkt.

Voorbeelden	Woongebied	Randwegen
Kleurtemperatuur	3000 - 3500 K	4000 - 4500 - 5600 K

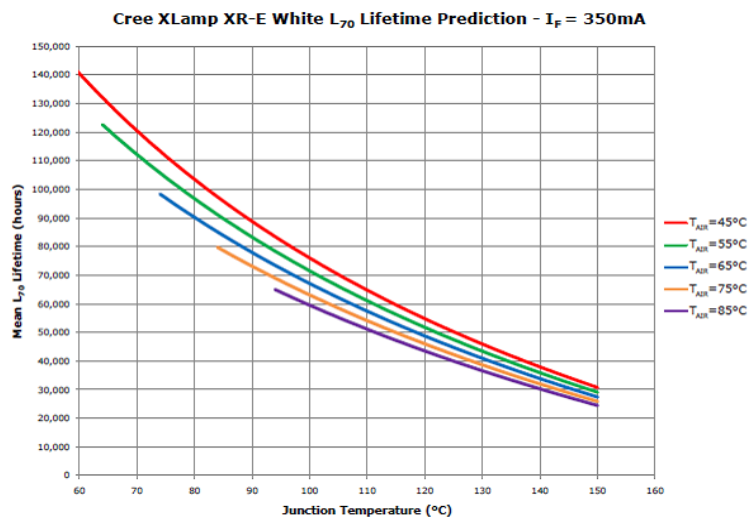
Tabel 2: Praktijkvoorbeeld toegepaste kleurtemperatuur binnen een gemeente.

3.4 Bedrijfstemperatuur

De temperatuur van electronicacomponenten, dus ook leds, heeft invloed op de levensduur van deze componenten. Ook de hoeveelheid uitgestraald licht (lichtstroom) van leds is afhankelijk van de in de led aanwezige temperatuur. Bij lagere temperaturen gaan electronicacomponenten aanzienlijk langer mee. Anderzijds zal een hogere temperatuur leiden tot een kortere levensduur.

Voorbeeld: voor de Xitanium led-driver is bij een T_c (controle temperatuur meetpunt op led-driver) van 70°C de levensduur maximaal 100.000 uur; bij $T_c = 80^\circ\text{C}$ is de levensduur nog maar 50.000 uur.

Onderstaande grafiek laat zien dat de levensduur van leds afhankelijk is van de temperatuur in de led (Junction Temperatuur).



Figuur 4: Voorbeeldgrafiek levensduur led afhankelijk van temperatuur [bron: Schreder]

De temperatuur van leds in een led-systeem wordt bepaald door drie factoren:

- De bedrijfsstroom (hoe hoger, hoe meer de leds opwarmen);
- De kwaliteit van de warmtehuishouding van het armatuur;
- De bedrijfstemperatuur van het led-systeem in zijn omgeving (T_a).

De warmte die aan de achterkant van de leds ontstaat, wordt in de praktijk in de meeste gevallen afgevoerd door middel van (koel)massa die in de armatuurbehuizing is aangebracht. Om deze reden zijn led-armaturen in veel gevallen zwaar. Ook zijn voorbeelden bekend van armaturen die koeling realiseren door middel van convectie of een ventilator.

Verder kan worden gesteld dat in een samenstelling van diverse elektronische componenten het slechtste component de kwaliteit van het gehele led-systeem bepaald. Een perfecte led in combinatie met een slechte led-driver of vice versa levert dus een slecht led-systeem. In de praktijk blijkt overigens ook dat toegepaste lenzen een aanzienlijk invloed hebben op de temperatuurhuishouding van leds.

Richtlijn: Op basis van voornoemde punten wordt gesteld dat elk led-systeem (dus het totaal uit de doos) geschikt moet zijn voor een maximale nachttemperatuur (T_q) van 25 graden Celsius en onder deze conditie zijn aangegeven levensduur, als led-systeem, dient te behalen.

3.5 T_a of T_q

In de praktijk worden meerdere temperaturen gecommuniceerd die op verschillende wijzen worden uitgelegd en toegepast. Omdat het te ver gaat om alle relevante temperaturen uit te werken in dit document, zijn alleen de T_a en T_q uitgewerkt in deze paragraaf.

Definitie T_a :

Door de fabrikant opgegeven maximale temperatuur van een led-systeem (theoretisch in testomgeving).

De T_a -waarde is primair een waarde die dient te worden gezien als een niet te overschrijden grens, om te voorkomen dat elektronische componenten vroegtijdig falen. Het niet overschrijden van deze maximale waarde betekent dat de kans op schade en uitval zeer klein is. Het niet overschrijden van deze waarde zegt dus niets over de prestatie van een led-systeem op het gebied van levensduur.

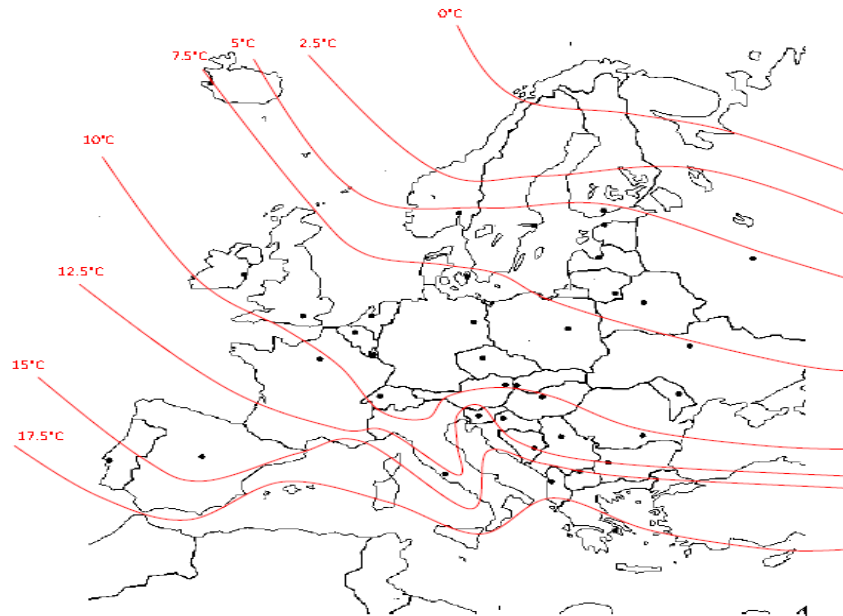
Definitie T_q :

Door de fabrikant opgegeven maximale bedrijfstemperatuur van een led-systeem in bedrijf (praktijk).

De T_q -waarde is direct gerelateerd aan T_p , de temperatuur op het led-board (temperatuur aan de achterkant van de leds). Eerst wordt bepaald bij welke temperatuur (T_p) leds nog aan een levensduurvoorspelling voldoen, vervolgens bij welke omgevingstemperatuur de maximale T_p net niet wordt gehaald.

Het niet overschrijden van deze maximale waarde betekent dat de kans op schade en uitval zeer klein is. Daarnaast betekent het dat de aangegeven, gegarandeerde, minimale lichtstroom aan het einde van opgegeven levensduur wordt behaald.

Alleen door de T_q -waarde te gebruiken kan de prestatie van een led-systeem op het gebied van levensduur worden vastgesteld.



Figuur 5: Gemiddelde nachttemperatuur Europa (bron Schreder)

Ondanks dat op deze kaart lagere temperaturen worden aangegeven, wordt een T_q -waarde ≤ 25 graden Celsius geëist.

3.6 Bedrijfsstroom

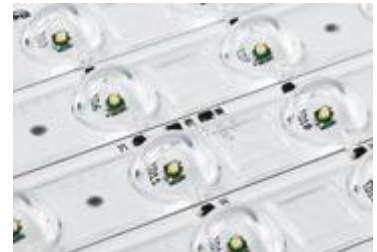
Voor het laten branden van led-verlichting dient een elektrische stroom door de led te worden gestuurd. In de praktijk wordt deze stroom geregeld door middel van een zogeheten led-driver. Bij een hogere stroomsterkte geeft de led meer licht, maar wordt de temperatuur verhoogd en daarmee de levensduur verkort.

3.7 Lichtdistributie leds

In de praktijk bestaan er drie manieren waarop het uitgestraalde licht wordt gedistribueerd. Ten eerste kan het led-licht door middel van een spiegel worden verdeeld. Ten tweede kan het led-licht door middel van een kunststof lens worden verdeeld en tot slot kan een combinatie van beiden worden toegepast. Onderstaande figuren tonen toegepaste leds, voorzien van een kunststof lens (figuur 6 en 7) en een Fortimo-module die veelal wordt toegepast als vervanger voor een fluorescentie lichtbron.



Figuur 6: Voorbeeld 1 PCB met leds en lenzen



Figuur 7: Voorbeeld 2 PCB met leds en lenzen

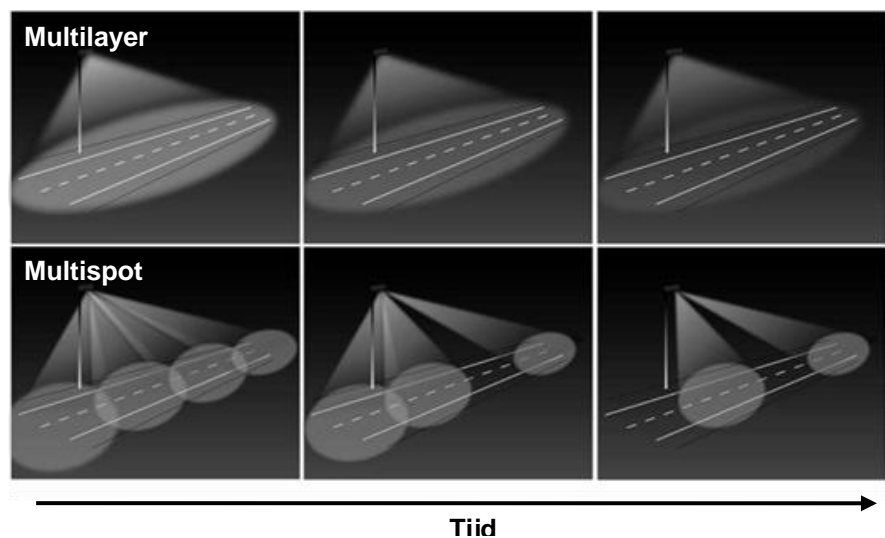


Figuur 8: Fortimo led-systeem

3.8 Multilayer en Multispot

Diverse producenten van led-armaturen richten elke led op een afzonderlijk deel van de rijbaan, om zo tot een gelijkmatige verlichting te komen. Omdat elke bundel nodig is om de minimale verlichtingskwaliteit te behalen op de rijbaan, leidt uitval van één of meerdere leds tot ongelijkmatigheid.

Het multilayer concept verspreidt het licht van elke led over het gehele wegvak. Door meerdere leds toe te passen, die allemaal voorzien zijn van dezelfde multilayer lens, wordt het geëiste verlichtingsniveau behaald. Het doven van één led of enkele leds levert een iets lager lichtniveau op, maar de verlichtingstechnische gelijkmatigheid op de rijbaan blijft gelijk.



Figuur 9: Verschil tussen Multilayer en Multispot

3.9 Keuze toe te passen led-armatuur bij vervanging

Het is van belang de toe te passen led-armaturen vast te leggen op lichtdistributie en lichtstroom (initieel), omdat een led-armatuur van nu mogelijk over zes maanden niet in dezelfde configuratie leverbaar zal zijn.

Het is van belang rekening te houden met nieuwe (led-)ontwikkelingen, lichtdistributie (lenzen en/of spiegels) en de daaruit volgende consequenties bij het bestellen van led-armaturen.

Richtlijn: Er ontstaat een afwijkend straatbeeld wanneer een led-armatuur in eerste aanleg bestond uit 120 leds en na vervanging (schade) de behuizing kleiner is en dezelfde lichtstroom uit een led-armatuur van bijvoorbeeld 80 leds (hogere bedrijfsstroom) komt. Om dit te voorkomen dient elke vervanging in bestaande situatie bij voorkeur te worden opgezet met dezelfde behuizing. Tevens dient de lichtdistributie van de leds hetzelfde te zijn. Bij een lager aantal leds dienen deze bij voorkeur gelijkmatig over het oppervlak van de armatuur te zijn verdeeld, zodat verschil in beeld wordt geminimaliseerd.

4 Checklist kwaliteit led-systeem

Van elk type led-armatuur dient op verzoek te worden aangetoond hoe aan de in dit document opgegeven uitgangspunten wordt voldaan.

Als uitgangspunt wordt genomen, dat als antwoord wordt gegeven op onderstaande vragen, de kans op de toepassing van mindere producten minimaal is.

Vraag	Gewenst antwoord	Toelichting
Hoe is de levensduur van de armatuur gedefinieerd?	<ul style="list-style-type: none"> - LxFy-waarde \geq L80F10 - $T_q \geq 25$ graden Celsius - Aantal branduren ≥ 85.000 - Aantal branduren Fortimo en Retrofit led ≥ 50.000 	Minimale eisen zijn aangegeven.
Wat is Ra-waarde van toegepaste leds?	≥ 60	
Hoe wordt het licht verspreid?	Multilayer of Fortimo concept.	Afhankelijk van situatie.
Toegepast dimtechniek	Flexibel dimsysteem (CL-functie) in led-driver of extern.	Overdimensionering lichtniveau beperken.
Flikker frequentie /stroboscopisch lichtbeeld	Tot aan 30% lichtniveau (gedimd) mag geen visuele flikkering /stroboscopisch effect in het led-systeem zichtbaar zijn.	
Systeemvermogen	Op te geven systeemvermogen: <ul style="list-style-type: none"> - nieuwe installatie - einde technische levensduur - gemiddeld systeemvermogen over aangegeven technische levensduur. 	Van toepassing op led-systemen die voorzien zijn van een CL-functie.
Power factor (Cosinus Phi inclusief effect van hogere harmonischen)	Niet lager dan 0,85 (ook bij het gewenste dimniveau). Op een lager niveau dimmen leidt in bijna alle gevallen tot een overschrijding van geëiste waarde!	Een lagere waarde kan resulteren in een boete vanuit de netbeheerder en het uitvoeren van een verplichte power factor-correctie. Een en ander is afhankelijk van de combinatie tussen toegepaste led-driver en het aantal en type leds.
Optisch risico	Groep 0	In de EN-62471 is vastgelegd in welke mate uitgestraald (led-)licht schadelijk mag zijn voor ogen en huid. Dit geldt voor zowel de led, lens en samenstelling van beide in de armatuur.
Elektrische klasse	Klasse 1	Vanwege veiligheid- en functionele aarding is toepassen elektrische veiligheidsklasse I vereist.
IP classificatie led-systeem	Minimaal IP 65	Led-armaturen moeten kunnen worden 'schoongespoten'.
Keurmerk armatuur	Erkend keurmerk	Keurmerk volgens laagspanningsrichtlijn zoals KEMA of ENEC.
Inschakel verschijnselen	De inschakel verschijnselen van een led-systeem dienen beperkt te worden tot op een niveau waarbij de kans op uitschakeling van (led) verlichting groep achter een standaard elektrotechnische veiligheid (D-patroon of Installatieautomaat met een B- karakteristiek) minimaal is.	De fabrikant dient aan te kunnen geven hoe aan deze eis voldaan wordt. Gebruikelijk is het om de piekstroom aan te geven en de duur waarover de inschakelpiek plaatsvindt op 50% niveau van deze piekwaarde.

5 Aan te leveren documentatie

Van elk type led-armatuur dat toegepast wordt binnen een project, dient onderstaande informatie in de vorm van documentatie te worden aangeleverd door betreffende leverancier.

- Systeemvermogen in W (bij toepassing CL-functie: min, max en gemiddeld).*
- Initiële lichtstroom in lm (bij toepassing CL-functie: CL-flux).*
- Systeemefficiëntie in lm/W (lumen *uit de armatuur* / systeem vermogen).
- Lichtdistributie (multilayer, spot, spiegel etc.).
- Toegepast lenstype/optiek.
- Isolijnen diagram (I-tabel digitaal beschikbaar).
- Kleurtemperatuur in Kelvin.
- Kleurweergave Index in CRI.
- Levensduur led-systeem in uren in combinatie met lumendepreciatie (Lx).
- Uitval led-systeem (Fy) in relatie tot aangegeven Lx-waarde.
- Maximale bedrijfstemperatuur led-systeem ($T_q \geq 25$ graden Celsius).
- Power Factor nominaal en bij gewenst dimniveau ($> 0,85$).
- Ingestelde CL-functie (dimstand en aantal uren waarover dimcurve verloopt).
- Toegepaste dimunit inclusief geprogrammeerde diminstelling(en) om verlichting op gewenst nominaal niveau in te stellen. Genoemde diminstelling niet te verwarren met CL-functie instelling van led-driver!
- Bedrijfsstroom toegepaste leds.
- Optisch risico led-systeem (maximaal groep 0).
- Elektrische veiligheidsklasse (klasse I).
- IP-classificatie (minimaal IP 65).

Indien er twijfel bestaat over de juistheid van geleverde informatie, kan worden besloten dat een model van betreffend armatuur dient te worden geleverd voor het uitvoeren van een quick-scan. Eventueel te maken onderzoekskosten worden gemeld en op basis van 'gelijk-ongelijk' verrekend met betreffende opdrachtnemer. Als uitgangspunt hiervoor wordt genomen dat betreffend armatuur in eigendom overgaat naar de opdrachtgever en betreffend armatuur destructief kan worden onderzocht.

*) Voor toelichting CL-functie: zie hoofdstuk 7.

6 Behoudfactor

6.1 Behoudfactor led-verlichting

Om een lichttechnisch ontwerp te kunnen maken waarin een juiste behoudfactor wordt toegepast, is het van belang vast te stellen welke zaken in deze behoudfactor zijn/worden opgenomen. Als uitgangspunt wordt genomen dat alle zaken die de hoeveelheid uitgestraald licht verminderen over de bedrijfsperiode zijn opgenomen. Te denken is aan:

- Lichtterugval van de lichtbron zelf (lumendepreciatie);
- Lichtterugval door veroudering materialen;
- Lichtterugval door vervuiling uit de omgeving;
- Lichtterugval door uitval van de lichtbron / de armatuur.

In de praktijk blijkt dat het grootste effect ontstaat door de lichtterugval van leds over tijd, uitval van leds in de armatuur, optredende vervuiling van de armatuur en eventueel de veroudering van kunststof lichtkappen.

Door voornoemde zaken te combineren tot een behoudfactor wordt onderstaande formule toegepast.

De uitval van lichtbronnen is opgenomen in de Led Lumen Depreciatie (LLD). Zie voor toelichting paragraaf 6.3.

Behoudfactor (BF) = LLD * AVD of LLD * AVD * KD

Met:

LLD: Led Lumen Depreciatie

AVD: Armatuur Vervuiling Depreciatie

KD: Kunststof depreciatie

Bovengenoemde termen worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

6.2 Vaststellen behoudfactor

Er bestaat voor led-verlichting (nog) geen definitieve richtlijn voor het bepalen van de toe te passen standaard behoudfactor. Het bepalen van deze factor is lastiger dan bij conventionele lichtsystemen. De eigenschappen van elk van de individuele onderdelen in een led-systeem bepalen de prestatie van het gehele systeem.

Praktijk

In de praktijk blijkt dat veel fabrikanten en ontwerpers van led-verlichting verschillende uitgangspunten hanteren voor het maken van lichttechnische ontwerpberekeningen. Hierdoor is in veel gevallen het maken van een eerlijke vergelijking van producten niet (direct) mogelijk.

Voeg hier de snelle ontwikkeling van leds en de introductie van een Constante Lichtstroom-functie in toegepaste led-drivers (CL-functie, zie hoofdstuk 7) aan toe en de onduidelijkheid is compleet.

Doelstelling

Vooruitlopend op mogelijke nieuwe Europese of Internationale richtlijnen, biedt dit document een handvat voor het maken van lichttechnische berekeningen op basis van led-systemen. In onderstaande paragrafen worden diverse uitgangspunten beschreven.

Afwijken van voorgestelde waarde of uitgangspunt is alleen toegestaan in overleg met de opdrachtgever!

6.3 Uitgangspunten behoudfactor

Led Lumen Depreciatie (LLD) + uitval

Om onduidelijkheid en discussie te voorkomen over de levensduur verwachting en optredende LLD van led-systemen, worden onderstaande punten als uitgangspunt gehanteerd.

- 1) Aangegeven levensduur van led-systemen dient altijd aangevuld te zijn met bijbehorende LxFy-waarde en maximale T_q -waarde.
- 2) Aangegeven T_q -waarde is de maximale omgevingstemperatuur tijdens het in bedrijf zijn van het led-systeem.

Indien deze gegevens compleet zijn, wordt voor de berekening van de behoudfactor de Lx-waarde aangehouden voor de LLD.

Voorbeeld: L80F10 over 100.000 uur ($T_q \geq 25$ graden Celsius)

Als LLD wordt nu L80, dus 0.80 gehanteerd.

Lichterugval door veroudering materialen

In de praktijk worden de leds beschermd achter een afscherming in de armatuur. Vanwege de te behalen technische levensduur (20 jaar) wordt in veel gevallen gebruik gemaakt van een polycarbonaat of glazen afscherming. Hierbij is het een en ander afhankelijk van de vormgeving van de armatuur.

Omdat glas niet verouderd en er dus geen lichtdepreciatie ontstaat, wordt gesteld dat het toepassen van glas geen effect heeft op de LLD en dus op de toe te passen behoudfactor.

Kunststof Depreciatie (KD)

Bij het toepassen van kunststoffen (polycarbonaat) ontstaat een lichtdepreciatie over tijd. Kunststof materialen verouderen primair onder invloed van UV (zonlicht). De mate waarin deze veroudering bijdraagt aan de LLD en dus behoudfactor, is afhankelijk van fabrikant/materiaal en niet altijd bekend. Op basis van ervaring wordt een percentage van 5% aangehouden over aangegeven technische levensduur van toegepaste armaturen.

Indien de fabrikant de optredende KD-waarde aantoonbaar weerlegt en/of opgenomen heeft in de aangegeven LxFy-waarde kan de hiervoor opgenomen KD-waarde (5%) vervallen of aangepast worden opgenomen.

Lichtterugval door Armatuur Vervuiling Depreciatie (AVD)

De optredende vervuiling van armaturen is niet eenvoudig vast te stellen onder alle omstandigheden en is in de praktijk vaak reden tot discussie. Duidelijk is dat optredende vervuiling sterk afhankelijk is van toegepaste lichtsoort (spectrale distributie van de lichtbron), armatuurtype, montagehoogte, plaats etc. Daar waar in stedelijke gebieden meer vervuiling ontstaat door bijvoorbeeld insecten, zal langs een snelweg meer vervuiling optreden door uitstoot van verkeer. Een en ander afhankelijk van lichtpunthoogte, toegepaste lichtbron, uitvoeringsvorm van de armatuur en locatie.

Daar waar in het verleden armaturen tijdens elke lampvervanging werden schoongemaakt, omdat er toch een hoogwerker stond tijdens de replaceronde, bestaat de wens om bij led-verlichting nooit meer met een hoogwerker bij de armatuur te hoeven komen. De te behalen voordelen bij het toepassen van led-verlichting bestaan immers niet alleen uit lagere energiekosten, maar ook uit lagere beheerkosten (langere levensduur en minder preventief onderhoud).

Om deze reden wordt gesteld dat het toepassen van een onderhoudsfrequentie voor het schoonmaken van led-verlichting niet wenselijk en acceptabel is in zowel het ontwerp en beheer.

Om tot een standpunt over optredende vervuiling te komen, is als meest recente rapport 'Review of luminaire maintenance factors' gevonden, geschreven in 2008 in opdracht van 'County Surveyors Society for Transport for London, Road Network Development South'. In dit rapport wordt gesteld dat om een vervuilingsgraad vast te kunnen stellen:

- 1) Er rekening gehouden dient te worden met lokale omstandigheden.
- 2) Er een relatie is tussen montagehoogte en de omgeving waarin betreffend armatuur geplaatst is/wordt (bijvoorbeeld industriegebied of woonwijk).
- 3) Er verder onderzoek nodig is om een en ander vast te stellen.

Omdat een vervolgonderzoek nog niet is uitgevoerd, stelt de auteur van deze publicatie dat de waarden zoals opgenomen in onderstaande tabel op basis van de slechtste omstandigheden en oude (conventionele) armaturen in elk geval toepasbaar zijn voor standaard armatuur- en lamptypen die na uiterlijk 48 maanden worden schoongemaakt. Onderstaande tabel zegt dus niets over optredende vervuiling van led-armaturen en dient gezien te worden als een informatief document.

Schoonmaak frequentie		12 maanden	24 maanden	36 maanden	48 maanden
Omgeving	Montagehoogte	AVD	AVD	AVD	AVD
E1/E2	Lager of gelijk aan 6 meter	0,98	0,96	0,95	0,94
	Hoger dan 7 meter	0,98	0,96	0,95	0,94
E3/E4	Lager of gelijk aan 6 meter	0,94	0,92	0,90	0,89
	Hoger dan 7 meter	0,97	0,96	0,95	0,94

Tabel 3: Praktijkvoorbeeld toegepaste behoudfactoren in Groot-Brittannië.

Opmerking: De definitie van aangegeven omgeving 'E1 t/m E4' is niet exact vast te stellen. In beginsel wordt er van uitgegaan dat omgeving 'E1' gezien dient te worden als een natuurlijke omgeving en omgeving 'E4' als een industriële omgeving.

Op basis van een recenter onderzoek (bron Schreder: rapport niet in bezit) blijkt dat na circa twee jaar al enkele procenten aan flux verloren gaan bij led-armaturen door vervuiling (glas) en dat deze in de tijd verder toenemen. Na een jaar of acht treedt echter een stabilisatie op en blijft het effect op 7%-8% hangen. Er lijkt dus een soort evenwicht te ontstaan tussen nieuwe vervuiling en vervuiling die verdwijnt.

Er is nog onvoldoende onderbouwing en bewijs over vervuiling van de armaturen. Er dient daarom een vervuiling van 10% over de gehele levensduur (20 jaar) voor alle armatuurtypen te worden toegepast, totdat hierover meer is aangetoond en bewezen.

Vanwege de onzekerheid in deze stelling wordt geadviseerd om na 10 jaar een inspectie uit te voeren om de opgetreden vervuiling te beoordelen en eventueel correctieve maatregelen te treffen (schoonmaak).

6.4 Samenvatting behoudfactor

De toe te passen behoudfactor is primair afhankelijk van de lichtterugval van leds en optredende vervuiling en veroudering. De aan te houden lichtterugval is afhankelijk van de door de fabrikant aan te geven LxFy-curve bij een aantal op te geven bedrijfsuren (zie par. 2.6).

Behoudfactor (BF) = LLD * AVD of LLD * AVD * KD

Met:

LLD: Te bepalen door middel van LxFy-waarde

AVD: Standaard 10%

KD: Standaard 5% (tenzij anders vastgesteld)

Voorbeeld: Gegeven is een levensduur van 100.000 branduren met L80F10 en T_q 25 graden Celsius. De behoudfactor wordt nu als volgt berekend:

$BF = LLD * AVD = 0.8 * 0.9 = 0,72$ (glas afscherming)

$BF = LLD * AVD * KD = 0.8 * 0.9 * 0.95 = 0,68$ (kunststof afscherming)

Onderstaande tabel toont een verzameling van bekende led-data van bekende leveranciers. Hierbij wordt opgemerkt dat deze getallen medio december 2012 bekend zijn en (mogelijk) per kwartaal dienen te worden aangepast. Belangrijk hiervoor is dat eventueel aangeleverde data worden gecontroleerd op betrouwbaarheid en aanwezigheid van voldoende bewijs/onderbouwing!

Afscherming	Op gegeven levensduur	Aan te houden levensduur	LLD	AVD	KD	BF
Glas	50.000 / L80F10	50.000	0,80	0,90	1,00	0,72
Kunststof	50.000 / L80F10	50.000	0,80	0,90	0,95	0,68
Glas	100.000 / L80F10	100.000	0,80	0,90	1,00	0,72
Kunststof	100.000 / L80F10	100.000	0,80	0,90	0,95	0,68

Tabel 4: Aan te houden BF-waarden.

Omdat niet in elk ontwerp wordt gerekend met een levensduur van 100.000 uur is het toegestaan een aangepaste LLD uit te rekenen op basis van onderstaande formule.

LLD =

$1 - ((\text{aan te houden levensduur} / \text{opgegeven levensduur}) * \text{Lichtterugval waarde led-systeem})$

Voor L80F10 bij 85.000 uur geldt in dit geval dan:

$$\text{LLD} = 1 - ((85.000 / 100.000) * (20 / 100)) = 0.83$$

In onderstaande tabel is teruggerekend naar 85.000 branduren, uitgaande van een lineair verloop van de depreciatie:

Afscherming	Opgegeven levensduur	Aan te houden levensduur (20 jr)	LLD*	AVD	KD	BF
Glas	100.000 / L80F10	85.000	0,83	0,90	1,00	0,78
Kunststof	100.000 / L80F10	85.000	0,83	0,90	0.95	0,74

Tabel 5: Voorbeeld aan te houden op levensduur gecorrigeerde BF-waarden.

Opmerking:

In de tabel zijn bekende producten opgenomen. De aangegeven waarden zijn vastgesteld en bevestigd door betreffende leveranciers. Na verloop van tijd zal deze tabel worden bijgewerkt en uitgebreid met andere producten die dezelfde procedure doorlopen als de reeds opgenomen led-systemen.

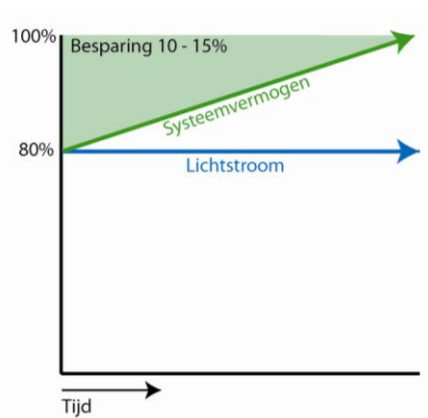
Per definitie wordt gesteld dat elke toepassing van een bekend led-systeem in een andere armatuurbehuizing of applicatie niet per definitie betekent dat dezelfde behoudfactor kan worden toegepast. Een en ander dient per project/applicatie te worden beoordeeld.

7 Energiebesparing met CL-functie

7.1 Constante Licht functie

Door het toepassen van de behoudfactor (BF) ontstaat initiële overdimensionering. De Constante Licht-functie (CL-functie) bespaart energie door deze overdimensionering weg te laten dimmen na installatie. De leds worden aan het begin van de levensduur gedimd tot aan het aangegeven dimniveau (Lx-waarde) en over het aangegeven aantal bedrijfsuren opgedimd tot aan 100%. Hierdoor wordt gegarandeerd dat de lichtopbrengst gedurende de gehele levensduur exact voldoet aan geëiste waarde (ontwerpuitgangspunt verlichtingsklasse volgens ROVL-2011).

Omdat de levensduur van leds tot aan 100.000 uur loopt, kan de besparing behoorlijk oplopen en leveren veel fabrikanten een CL-functie in standaard producten!



Figuur 10: Grafische weergave CL-functie. Lichtniveau is constant en het opgenomen systeemvermogen (Watt) loopt van 80% naar 100% [bron: Philip].

Hoe exact de CL-functie wordt toegepast in producten van verschillende fabrikanten is niet altijd duidelijk. Om inzicht te krijgen in de ingestelde CL-functie is het van belang in alle gevallen duidelijk te krijgen en vast te leggen hoe de CL-functie is ingesteld in toegepaste led-drivers binnen een project en/of levering.

Om de verschillen duidelijk te maken:

- Bij Philips led-armaturen is de CL-functie standaard bij levering ingesteld op 100.000 uur of 70.000 uur, afhankelijk de bedrijfsstroom van toegepaste leds bij initieel 20% dimmen.
- Bij Schreder-armaturen is de CL-functie ingesteld op 60.000 uur bij initieel 10% dimmen. Op aanvraag zijn andere instellingen mogelijk.
- Bij Philips/Indal-armaturen (Luma) kan per project door middel van de L-Tune-applicatie de configuratie en CL-functie worden bepaald.

Al met al hierdoor een aandachtspunt binnen elk led-project.

Rekenen met CL-functie

Omdat elke I-tabel van een armatuur bestaat uit vastgestelde data en per definitie voorzien is van initiële lichtstroom, dient altijd met deze initiële lichtstroom te worden gerekend. Het toepassen van een handmatig aangepaste lichtstroom op basis van een CL-functie is **niet** toegestaan! Verder is het van belang vast te stellen dat de toepassing van een CL functie **niet** resulteert in een aanpassing van de behoudfactor in de berekening.

7.2 Opgenomen elektrisch vermogen led-systeem

Omdat het led-systeem initieel wordt gedimd, zal het opgenomen elektrisch vermogen (Watt) initieel lager zijn (bijv. $P=80\%$) dan aan het einde van opgegeven levensduur ($P=100\%$). In de praktijk wordt om deze reden in veel gevallen een 'gemiddeld' vermogen aangegeven in documentatie.

Het is van belang rekening te houden met het maximaal opgenomen systeemvermogen tijdens het ontwerp van een kabelnet.

Het gebruiken van een gemiddeld opgenomen systeemvermogen is alleen toegestaan als de uitgangspunten voor bijvoorbeeld een Total Cost of Ownership (TCO)berekening.

8 Ontwerpen in de praktijk

Over het algemeen zijn ontwerpberekeningen snel te maken en is het aantonen van een behaalde verlichtingskwaliteit redelijk eenvoudig mogelijk. In de praktijk blijkt echter dat het realiseren van een goede (led)verlichting lastig kan zijn door de aanwezigheid van parkeervakken, bomen, kabelleidingtracés, etc..

Ook blijkt dat na introductie van led-armaturen in de openbare ruimte de mogelijkheid om 'kleine' onvolkomenheden weg te nemen tijdens realisatie steeds minder aanwezig is.

Dit omdat het geïnstalleerd lichtvermogen in het verleden in meeste gevallen hoger was dan vereist en er altijd in meer of mindere mate strooilicht in het gebied aanwezig was.

Doordat in het ontwerp het aantal leds per armatuur wordt vastgesteld en dus de overdimensionering wordt geminimaliseerd, zal in de praktijk een aanpassing van geplande mastpositie mogelijk snel leiden tot discussie over gerealiseerde lichtkwaliteit en veranderde beleving van verlichting. Deze verandering wordt versterkt door het steeds vaker ontbreken van strooilicht.

Om voornoemde effecten te beperken is het van belang rekening te houden met onderstaande zaken:

1) Mastafstand

Berekende mastafstanden dienen niet per definitie tot het uiterste te worden toegepast. Er dient in een nieuw lichttechnisch ontwerp (herinrichting) altijd rekening te worden gehouden met het kunnen verschuiven van masten binnen een straal van één meter rondom de gewenste mastlocatie.

In de praktijk wordt in bijna alle gevallen de bestaande lichtmastpositie en mast op dezelfde plaats aangehouden. Om deze reden zal in veel gevallen het verlichtingsontwerp niet worden geoptimaliseerd.

2) Bepalen lichtniveau tijdens ombouw op bestaande masten

Led-verlichting wordt ingekocht op een gewenste lichtstroom (in lumen), wat wordt vertaald naar een aantal leds. Hierdoor kan een ontwerper het lichtniveau-ontwerp vrij nauwkeurig afregelen op het aangegeven minimale niveau (bijvoorbeeld 3 lux bij 0,3 gelijkmatigheid). In de praktijk kan dit leiden tot een situatie waar de nieuwe verlichting aanzienlijk minder licht geeft dan de bestaande verwijderde verlichtingsinstallatie.

Om te voorkomen dat gebruikers worden geconfronteerd met een te groot initieel verschil in lichtniveau voor en na de ombouw kan worden besloten om het nieuwe lichtniveau-ontwerp te laten voldoen aan één hogere verlichtingsklasse volgens de ROVL-2011 of NPR 13201-1 dan aangegeven.

Om dit mogelijk te maken dient per project (rekengebied) te worden vastgesteld wat het bestaande lichtniveau is. Tevens geeft deze berekening inzicht in de aanwezige verlichtingskwaliteit voor wat betreft de gelijkmatigheid van bestaande verlichting.

3) Beperking toe te passen type led-systemen (varianten)

Omdat binnen projecten per armatuur kan worden vastgesteld hoeveel leds en lenstypen dienen te worden toegepast, bestaat de kans dat het beheerbestand sterk in omvang toeneemt en leidt tot een onbeheersbare, onwenselijke situatie. Om deze reden is het aantal toe te passen led-configuraties binnen projecten beperkt. In overleg met de opdrachtgever dient te worden vastgesteld welke configuraties toegepast dienen te worden in het project/ontwerp. Als uitgangspunt wordt genomen dat het aantal verschillende (led)armaturen binnen een project en beheergebied minimaal is op basis van armatuurtype en lichtpunthoogte.

4) Beperking overdimensionering

Het berekende lichtniveau dient in beginsel te worden gerealiseerd door het toepassen van een exact aantal leds. Als dit niet mogelijk is, dient door middel van een flexibel dimsysteem de overdimensionering te worden weggedimd. Bijkomend voordeel is dat na verloop van tijd verder kan worden gedimd, als blijkt dat dit mogelijk/wenselijk is na gewinning. Als uitgangspunt wordt genomen dat een overdimensionering niet groter dient te zijn dan 10% van het aangegeven lichtniveau. In de praktijk is het toepassen van een CL-functie in toegepaste led-driver de beste optie.

9 Checklist ontwerpeisen

Onderstaande lijst dient te worden gezien als een hulpmiddel voor het opstellen van verlichtingtechnische ontwerp opdrachten.

Deze lijst dient in enkele gevallen te worden aangevuld en/of aangepast afhankelijk van afwijkende zijnde projecteisen. Alle in kolom 'verplicht' aangegeven onderwerpen zijn standaard van toepassing.

Onderwerp	Uitgangspunt	Verplicht
Berekening		
Toe te passen behoudfactor in berekening	Zie hoofdstuk 6	X
CL-functie in berekening	Geen correctie uitvoeren op lichtstroom, rendement e.d. (in I-tabel)	X
Berekening	Zie hoofdstuk 10	X
Ontwerp in praktijk	Zie hoofdstuk 8	X
Algemeen		
Standaard LxFy-waarde	$\geq L80F10$ bij $T_q \geq 25$ graden Celsius	X
LxFy-waarde omgerekend	Dient altijd onderbouwd te zijn!	X
Kleurtemperatuur (voorbeeld)	Woongebieden: 3000 - 3500 K Verkeerswegen: 4000 – 4500 - 5600 K	X
Ra-waarde	≥ 60	X
CL-functie instelling (voorkeur)	Toe te passen, aan te geven hoe instelling wordt gedaan!	X
Power factor	$> 0,85$ (ook bij gewenst dimniveau)	X
Optisch risico	Groep 0	X
Aan te leveren documentatie	Zie hoofdstuk 5	X
Aan te leveren model	Productiemodel zoals voorgesteld	

Tabel 6: Checklijst ontwerpeisen.

10 Aan te leveren berekening

Om in de praktijk te kunnen toetsen of een lichttechnisch ontwerp voldoet aan vigerend beleid en mogelijke problemen tijdens realisatie te voorkomen, dient elk lichttechnisch ontwerp te worden doorgerekend op basis van een zogeheten profiel- en/of gebiedberekening per maatgevend wegprofiel of inrichting.

In complexe ontwerpen kan worden besloten om een plattegrond als onderlegger te gebruiken en per relevant rekengebied een en ander door te rekenen.

Voor het doorrekenen van verlichtingsinstallaties op basis van luminantie kan in beginsel worden volstaan met het opzetten van standaard basisschema-berekeningen (rijbaanberekening).

Alle rekenresultaten dienen aan opdrachtgever ter controle aangeboden te worden en minimaal te bestaan uit:

- 1) Voorblad voorzien van samenvatting uitgangspunten berekeningen.
Te denken is aan:
 - Uitgangspunt lichtberekening
 - Informatie over toegepaste LxFy-waarde, Tq en levensduur led-systeem
 - toegepast BF-factor inclusief korte onderbouwing
 - Informatie over ontwerper
- 2) Informatie gebruikte armaturen.
- 3) Informatie toegepaste rekengebieden.
- 4) Informatie toegepaste rekenrasters (volgens EN-13201-3).
- 5) Inplanting toegepaste armaturen.
- 6) Rekenresultaat per rekengebied (volgens verlichtingsklasse uit ROVL-2011 en vastgesteld in overleg met opdrachtgever).
- 7) In te stellen dimwaarde om nominaal lichtniveau in te stellen (zie hoofdstuk 10).
- 8) Opgenomen hoeveelheid elektrische energie (systeemvermogen nieuw, einde levensduur en gemiddeld over levensduur).

De opdrachtgever heeft te allen tijde het recht om het aantal rekengebieden uit te laten breiden of af te wijken van de in de opdracht aangegeven toe te passen ontwerp uitgangspunten (verlichtingsklasse volgens ROVL-2011).



Nawoord

Voor inhoudelijke vragen en opmerkingen over dit document kunt u contact opnemen met diverse specialistisch adviseurs 'openbare verlichting' waaronder Spectrum en diverse fabrikanten van (led)armaturen voor openbare verlichting.

Ik ga er van uit dat dit document bij elke significante ontwikkeling van leds, leddrivers en ledsystemen verder uitgroeit om zo de status te bereiken van 'het naslagwerk' op het gebied van ledverlichting in de openbare ruimte.

Verder bedank ik iedereen die actief bijgedragen heeft tijdens het gehele proces van inhoudelijk overleg, het schrijven, het leveren van bronmateriaal en tot slot het opmaken van dit naslagwerk. Zonder hen was deze publicatie niet geschreven in deze vorm en in dit tijdsbestek.

Toine Adams

De inhoud van dit naslagwerk mag vrij gebruikt worden, op voorwaarde dat de bron vermeld wordt.