



Eindrapportage LED oplossingen voor openbare verlichting

april 2010

www.agentschapnl.nl/openbareverlichting/ledpilots

Dit rapport van het Agentschap NL Energie & Klimaat is tot stand gekomen in het kader van een opdracht van het ministerie van VROM (programma ondersteuning task force verlichting), in samenwerking met een begeleidingscommissie, middels ondersteuning door de VNG en met bijdragen van de deelnemende gemeenten en leveranciers.

Voor dit rapport is gebruik gemaakt van resultaten van opdrachten die het Agentschap NL heeft verstrekt aan:

- ARCADIS Nederland BV
- Spectrum Advies & Design BV
- Van Swinden Laboratorium
- De Kruijter Openbare Verlichting
- Nederlandse Licht Associatie
- Ingenieursbureau Infra-Lux BV
- h3mhuijben Consultancy

en van meetresultaten van Laborelec

Dit impliceert overigens niet dat elk van deze organisaties afzonderlijk alle in dit rapport genoemde conclusies onderschrijft.

Samenvatting conclusies & aanbevelingen OVL LED stand van zaken begin 2010

In 2008 bleek dat er bij gemeenten grote behoefte ontstond aan objectieve informatie over LED-oplossingen voor openbare verlichting (OVL). Omdat het om een nieuwe technologie gaat met hoge verwachtingen t.a.v. energie-efficiëntie en levensduur die door sommige leveranciers geclaimd wordt, geeft het Agentschap NL (SenterNovem) hierover gestructureerde informatie op www.agentschapnl.nl/openbareverlichting/ledpilots.

Er zijn de afgelopen jaren vele LED-pilots in de OVL uitgevoerd waarbij verschillende typen armaturen zijn toegepast (met verschillende lichttechnische eigenschappen). In totaal zijn en worden er nu in Nederland wel 250 pilots uitgevoerd, in 150 gemeenten, betreffende meer dan 6.000 lichtpunten.

Van 35 pilots, in 2008-2009 uitgevoerd in 25 gemeenten, betreffende ca. 600 lichtpunten, is de evaluatie door Agentschap NL gecoördineerd i.s.m. de VNG. Dit vond plaats in het kader van een opdracht van VROM.

Uit deze pilots en enkele andere pilots blijkt dat bewoners en verkeersdeelnemers over het algemeen tevreden zijn met de (nieuwe) LED-verlichting. Hoewel de gelijkmatigheid van de nieuwe verlichting en de hoeveelheid strooilicht meestal minder werd, is men doorgaans redelijk tevreden over het lichtniveau en de "lichtkleur" en er wordt geen afname van de sociale veiligheid ervaren. In vergelijking met de oude situatie ervaart men LED-verlichting vaker als lichte vooruitgang dan als een verslechtering.

Hoewel er grote verschillen zijn geconstateerd in de prestaties van verschillende producten bedroeg de potentiële energiebesparing anno 2009 circa 10 à 15 % ten opzichte van de bestaande (veelal compact-fluorescentie) installaties. In sommige vervangingsprojecten kunnen anno 2010 met de meest energie-efficiënte en strooilichtarme LED-oplossingen nog hogere besparingspercentages bereikt worden. De kostenreductie door energiebesparing kan echter teniet gedaan worden door de hogere kosten voor het aanpassen van het lichtontwerp en de investeringslasten. Op basis van informatie over uitgevoerde pilots en berekeningen is de kosteneffectiviteit van OVL LED oplossingen nu nog niet of nauwelijks beter dan die van conventionele oplossingen. Door de geleidelijke daling van de prijzen van OVL LED armaturen en de verhoging van de energie-efficiëntie van de LEDs kan dit echter snel in het voordeel van OVL LED veranderen.

Verscheidene gemeenten zoals Eindhoven, Breda, Assen en Tilburg zijn zo tevreden over de pilots dat men heeft besloten om LED-verlichting op grote schaal in te voeren. Een enkele gemeente die met een leverancier zonder ervaring op OVL-gebied in zee is gegaan, heeft echter ook slechte ervaringen met LED en stopte de pilot.

LED-verlichting heeft een positief imago bij bestuurders van gemeenten. Bij hen en bij beheerders is er anderzijds ook scepsis t.a.v. de beschikbare investeringsruimte en de technisch/economische voordelen. De opkomst van de LED-technologie en -pilots leidt in sommige gemeenten tot stagnatie in de uitvoering van andere energiebesparingsoplossingen in de OVL, omdat men in de veronderstelling is dat met de LEDs in de toekomst voldoende energie bespaard wordt. Hoewel de LED-technologie steeds verbetert en grootschalige toepassing nabij komt, is het echter zowel qua kosten- als energiebesparing verkeerd beleid om reeds geplande vervangingsprojecten stop te zetten of uit te stellen omwille van het eventueel gaan toepassen van LED-verlichting. Bij nieuwbouw en vervanging van de OVL is het verstandig om ook de nieuwste energie-efficiënte conventionele verlichtingsoplossingen in ogenschouw te nemen als alternatief voor LED-verlichting.

Het aanbod van LED-verlichting op dit moment is zeer divers en de technische verschillen worden vaak nog niet eenduidig genoeg gecommuniceerd. De keuze tussen LED- en conventionele verlichting hangt per situatie samen met de juiste afwegingen op technisch, milieutechnisch en economisch gebied. Daarom is het van belang dat de beheerders en bestuurders zich goed laten informeren over de do's en don'ts van de LED-pilots, de mogelijkheden van (kwalitatief goede) LED- en conventionele verlichting en de juiste vergelijkingsgegevens.

Omdat de evaluatie gebaseerd is op LED-producten die hoofdzakelijk in 2008 en begin 2009 op de markt kwamen en de ontvangen gegevens soms niet compleet waren, is begin 2010 een aanvullend onderzoek uitgevoerd waarbij ook informatie is meegenomen van de internationale verlichtingsbeurs van Frankfurt in april "Light + Building". Hoewel het assortiment aan LED-armaturen (vormgeving en hogere vermogens) verder is toegenomen, zijn er nog geen spectaculaire doorbraken gesignaleerd m.b.t. energie-efficiencyverbeteringen en prijsdalingen.

Inhoudsopgave

Samenvatting conclusies & aanbevelingen OVL LED stand van zaken begin 2010

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 1 |
| 2 | Theorie: De werking van lichtbronnen | 2 |
| 2.1 | Principes van licht genereren | 2 |
| 2.2 | LED systemen in de OVL | 3 |
| 2.3 | Ontwikkelingen | 3 |
| 2.4 | “Lichtkleur” en ooggevoeligheid..... | 4 |
| 3 | Eigenschappen | 5 |
| 3.1 | Energieverbruik..... | 5 |
| 3.2 | Levensduur | 5 |
| 3.3 | Kleurtemperatuur | 6 |
| 3.4 | Kleurweergave..... | 6 |
| 4 | Stand van zaken begin 2010..... | 7 |
| 5 | Toepassing LED..... | 8 |
| 5.1 | Zichtbaarheid | 8 |
| 5.2 | Beleving | 9 |
| 5.3 | Beheersaspecten | 9 |
| 5.4 | Resumé..... | 10 |
| 6 | De praktijk: uitgevoerde pilots en interviews | 11 |
| 6.1 | Meetresultaten pilots en laboratoriummetingen..... | 12 |
| 6.2 | Beleving: is LED veilig, of niet? | 14 |
| 7 | Overwegingen toepasbaarheid van LED in de OVL..... | 16 |
| 8 | Conclusies t.a.v. enkele kernvragen over OVL LED | 17 |
| 8.1 | Waar is het wachten op? | 18 |
| 8.2 | Toepasbaarheid..... | 19 |
| | Bijlagen | 20 |

1 Inleiding

Hoewel de LED als concept al betrekkelijk oud is (in 1927 is er al patent op aangevraagd), en de LED al heel lang als signaallamp in gebruik is, komt de LED pas sinds kort op als witte lichtbron. Hoewel de aanschafprijs van een normale spaarlamp nog aanzienlijk lager ligt dan die van een LED-lamp zal die lamp voor de consument een goed alternatief worden voor de gloeilamp. In de professionele hoek, waar in de regel met hogere lichtniveaus, dus met “zwaardere” lampen gewerkt wordt, was de LED nog niet interessant. Sinds 2008 wordt echter de LED ook mondjesmaat toegepast in de openbare verlichting.



Achtergrond van deze rapportage

In 2008 heeft AgentschapNL¹ van het ministerie van VROM de opdracht gekregen te onderzoeken of, en zo ja op welke wijze, LED grootschalig toegepast kan worden in de openbare verlichting (OVL). Hiertoe zijn in samenwerking met de VNG en een begeleidingscommissie² in 25 + 4³ gemeenten⁴ proefprojecten op een gecoördineerde wijze geëvalueerd om LED verlichting te toetsen op bruikbaarheid. Het voorlopig resultaat werd gepubliceerd in de tussenrapportage d.d. september 2009. Inmiddels wordt er nu ook elders in Nederland veel geëxperimenteerd met OVL LED-verlichting: er zijn momenteel meer dan 250 pilots in 150 gemeenten met meer dan 6000 LED-armaturen. Deze eindrapportage geeft antwoord op vragen, die betrekking hebben op de haalbaarheid van de toepassing van LED binnen de OVL en geeft wat praktische aandachtspunten.

Er zal met name worden beschouwd op welke wijze LED-verlichting concurrerend is ten opzichte van de gebruikelijk lichtbronnen in de OVL. In dit document wordt ingegaan op de volgende vragen:

1. Hoe verhoudt het lichtbeeld van de LED-verlichting zich tot de oude, conventionele verlichting?
2. Hoe verhouden de elektrotechnische eigenschappen van de LED zich tot de conventionele verlichting?
3. Hoe ervaren de gebruikers de nieuwe verlichting ten opzichte van de oude verlichting?
4. Is grootschalige introductie van de LED verlichting haalbaar en zinvol op korte termijn?

Tevens wordt de stand van zaken begin 2010 beschreven en een doorkijk naar de nabije toekomst.

¹ Afgekort AgNL (tot 2010 bekend als SenterNovem)

² AgNL, VNG, NLA, NSVV, IGOV, VSL m.m.v. IP Lighting, Liandyn, CityTec, Theo Mackaay en Thom Vermeulen

³ Betreft 25 door SenterNovem gecoördineerde pilots en 4 door gemeenten zelf geëvalueerde pilots

⁴ In de bijlage C is een overzicht van de pilots opgenomen

2 Theorie: De werking van lichtbronnen

2.1 Principes van licht genereren

2.1.1 De gloeilamp: verhitting van en gloeidraad

De tot nu toe gebruikelijke lichtbronnen voor consumenten geven licht doordat er een gloeidraad door middel van elektrische stroom verhit wordt. Hierbij komt veel warmte vrij, slechts circa 2% van de toegevoerde energie wordt omgezet in licht wat hier overeenkomt met een energie-efficiëntie van ca 12 lumen per Watt (lm/W). Deze inefficiënte methode van licht genereren wordt in de OVL niet meer toegepast.

2.1.2 De huidige OVL: gasontlading

Een sterke verbetering hierop is de gasontladingslamp, waarbij het rendement 5 à 10 maal hoger ligt dan dat van een gloeilamp. Licht wordt gegenereerd door elektrische stroom door een gasmengsel (met metaalionen) te leiden, waardoor, afhankelijk van de samenstelling van het gas en de gasdruk, licht met een bepaalde kleur opgewekt wordt. De meest populaire lamp in de OVL, de compactfluorescentie lamp (CFL), heeft een rendement van circa 75 lm/W. Deze lichtbron geeft wit licht, is betrouwbaar, gaat lang mee en is goedkoop. Echter, de lichtopbrengst is te beperkt om langs verkeerswegen te worden toegepast. Daar worden vaak natrium- of metaalhalogeenlampen toegepast, die naast een grotere lichtopbrengst ook een beter rendement hebben. Een nadeel van lage- en hogedruk natrium is de minder aangename "lichtkleur" (geel met geen respectievelijk een lage kleurweergave), waardoor toepassing in verblijfsgebieden niet voor de hand ligt.

Construction of a LUXEON®K2 Power LED
(Thermal Heatsink extracts heat from the LED chip)

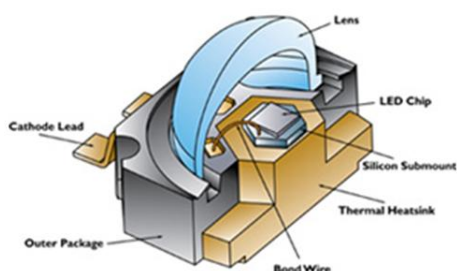


Fig 2.1 opbouw van een LED

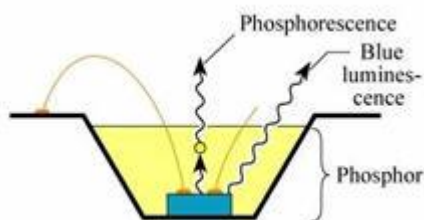


Fig 2.2 principe wit licht d.m.v.
blauwe led met gele fosfor

2.1.3 LED: de nieuwe vorm van licht genereren

Bij de LED⁵ is geen sprake van een gloeidraad of een gasgevulde buis. Een LED genereert straling, deels zichtbaar, deels onzichtbaar. Het lichtgevende deel is eenvoudig en daardoor robuust, wat tot uitdrukking komt in de levensduur. Een LED gaat zeer lang mee. In de OVL worden meestal witte LEDs toegepast. Dit zijn in de regel LEDs die blauw licht genereren. Met behulp van fluorescentiepoeders wordt dit omgezet naar wit licht. Afhankelijk van de samenstelling van de poeders wordt dit warm of koud wit licht. De tint van het licht wordt uitgedrukt in kleurtemperatuur (Kelvin).

⁵ LED: Light Emitting Diode: elektronica component, een halfgeleider met een 'PN-overgang' waarbij bij een voorwaartse stroom straling optreedt in de vorm van elektroluminiscentie.

2.2 LED systemen in de OVL

De ontwikkeling van LED-systemen voor OVL is de laatste 5 jaar stormachtig verlopen. Er zijn tot op heden drie soorten ontwikkeld die op dit moment in de markt gebruikt worden (zie onderstaande tabel).

| | kenmerk | Voordeel / eigenschap |
|--|--|---|
| <p>LED puntbronnen.</p>  | <p>LEDs zijn voorzien van optiek (lens eventueel gecombineerd met spiegel).</p> | <p>Met dit concept is het mogelijk lichtbundels heel nauwkeurig te definiëren waardoor maximale beperking van strooilicht mogelijk wordt (zie 5.1).</p> |
| <p>LEDstrips</p>  | <p>LEDs zijn niet stuk voor stuk voorzien van fluorescentie-materiaal maar worden als blauwe LED op een strip geplaatst. Deze LEDstrip is gemonteerd in een kunststof behuizing voorzien van fluorescentiemateriaal. Hierdoor ontstaat dus een soort lineaire lichtbron met compacte afmetingen.</p> | <p>Door grotere oppervlak minder verblinding. Worden als module geleverd en daardoor toepasbaar in bestaande armaturen.</p> |
| <p>LEDs in een spiegeloptiek</p>  | <p>Afzonderlijke LEDs zijn, al of niet geclusterd en geplaatst in een spiegeloptiek waarmee het licht gericht wordt.</p> | <p>Goed lichtsturing mogelijk. Door spiegel wellicht wat lager rendement dan de puntbron.</p> |

Elk van deze types heeft zijn specifieke eigenschappen. Met name de LED-strip heeft veel overeenkomst met de lamp in conventionele optieken. Fabrikanten claimen een grote mate van uitwisselbaarheid, wat de introductie zou kunnen versnellen.

2.3 Ontwikkelingen

Door de afmetingen van de LED ontstaan totaal andere oplossingen om met licht een bijdrage te leveren aan een veilige, leefbare openbare ruimte. Waar voorheen als vanzelfsprekend het licht van boven op de straat geprojecteerd werd, is het nu mogelijk de verlichting uit de weg te laten komen. Denk bijvoorbeeld aan LEDs in het wegdek zelf, dus 'lichtgevend asfalt'. De zogenoemde actieve markering is echter geen vervanging voor functionele openbare verlichting. De toekomst zal leren in hoeverre – met gebruikmaking van de specifieke eigenschappen van LEDs – de openbare ruimte anders verlicht zal worden.

2.4 “Lichtkleur” en ooggevoeligheid

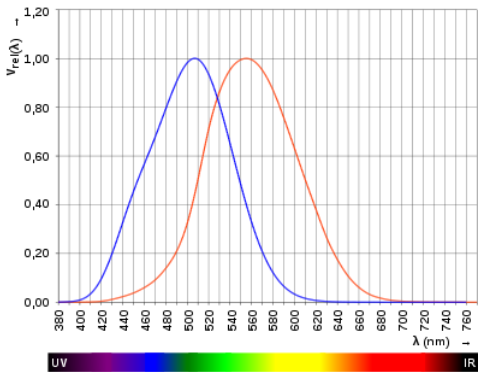


Fig. 2.3: Ooggevoeligheid van het menselijk oog
 blauw = scotopisch zicht ('s nachts),
 rood = fotopisch zicht (overdag)

Bron: wikipedia

Een betrekkelijk nieuwe ontwikkeling is het afstemmen van het kleurspectrum aan het aanwezige lichtniveau.

Reeds lang is bekend dat bij complete duisternis (“scotopisch zien”) de spectrale ooggevoeligheid hoger is dan bij het zien overdag (“fotopisch zien”). De spectrale ooggevoeligheidskromme is echter verschillend voor de verschillen situaties (zie figuur 2.3).

Om de effectiviteit van het spectrum van een lichtbron onder scotopische zichtomstandigheden te karakteriseren, maken we gebruik van de S/P-verhouding. Dit is de verhouding tussen scotopische luminantie S (volgens de $V'(\lambda)$ -kromme) en fotopische luminantie P (volgens de $V(\lambda)$ -kromme) voor het betreffende spectrum. In figuur 2.4 vindt u typische S/P-waarden voor verschillende lichtbronnen voor straatverlichting.

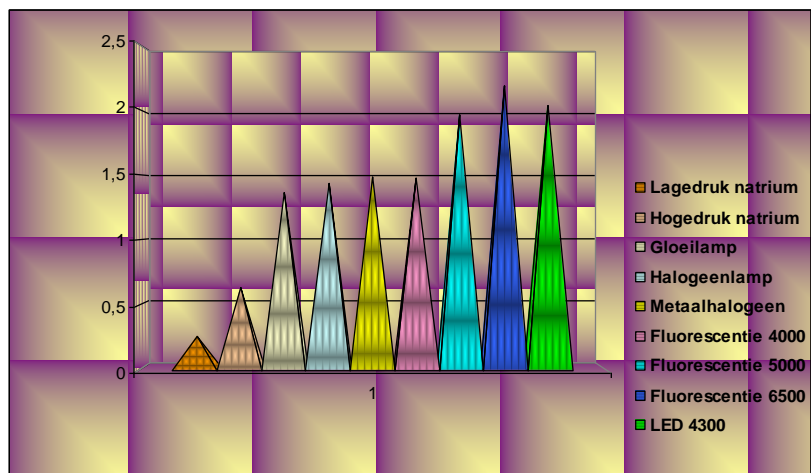


Fig. 2.4 S/P factoren van veel voorkomende lampen.

Tot op heden wordt nog algemeen aangenomen dat het ontwerpen van OVL installaties het beste kan worden gebaseerd op fotopisch zien. Echter vele OVL-applicaties bevinden zich in het overgangsgedebied (“mesopisch zien”) tussen scotopisch en fotopisch zien, dat een combinatie is van beide soorten van zien. In hoeverre in deze ontwerppraktijk verandering kan komen en dit nog consequenties kan gaan hebben voor het gebruik van bepaalde LED-oplossingen komt in hoofdstuk 4 aan de orde.

3 Eigenschappen

3.1 Energieverbruik

De meest voor de hand liggende manier om de energetische consequenties te bepalen is uit te gaan van het rendement van de LED. Er is een duidelijk verband tussen het rendement van de LED en de kleurtemperatuur. Hoe hoger de kleurtemperatuur hoe hoger het rendement.

Dit wordt veroorzaakt door de fluorescentiepoeders, voor warmwit is meer poeder nodig, dus ook meer verlies. Men vindt doorgaans lagere kleurtemperaturen aangenamer dan (zeer) hoge. De laatste doet vaak "kil" aan en geeft een onprettig gevoel.

Door de compacte afmetingen van de LED en de daarmee samenhangende verbeterde lichtsturing blijkt dat er minder lumen nodig zijn voor het realiseren van een bepaald lichtniveau dan met de gebruikelijk lichtbronnen.

Op dit moment zijn LEDs vele malen zuiniger dan gloeilampen. Echter in de OVL worden geen gloeilampen toegepast, maar CFL of andere lampen met een nog hoger rendement. Op het moment van schrijven van dit document (begin 2010) zijn LED-armaturen qua rendement vergelijkbaar of iets beter dan CFL lamp-armatuur-combinaties. Bij een optimaal ontwerp kan de potentiële besparing 10 à 15% bedragen met nog hogere uitschieters voor de meest efficiënte en strooilichtarme LEDarmaturen. De rendementswedloop is echter nog niet afgelopen. Fabrikanten verwachten besparingen die zo ver gaan dat zelfs de meest efficiënte conventionele lamp in de OVL qua energieverbruik verslagen zal worden! Onderscheid dient daarbij echter gemaakt te worden tussen het de lichtbron sec en het armatuur.

VSA wordt Driver

LEDs kunnen niet zondermeer op 230 V aangesloten worden. Daar is een voorschakelapparaat voor nodig; bij LED heet dat een driver. Deze driver stuurt een aantal LEDs aan.

Het systeem, de LED en de driver, dient aan de geldende elektrische voorschriften te voldoen voor wat betreft energieconsumptie, netvervuiling en powerfactor (zie hfd 4). Dit is voor menig leverancier nog wel een uitdaging, met name indien dimbare versies toegepast gaan worden.

3.2 Levensduur

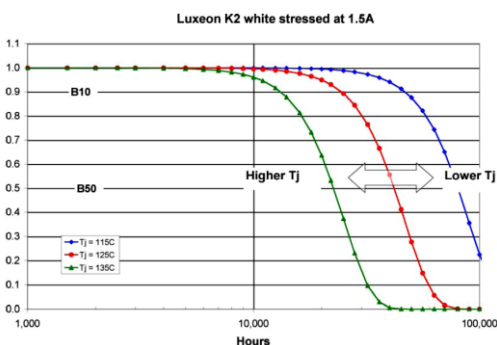


Fig. 3.1 levensduur als functie van de junction-temperatuur.

Een van de sterke punten van de LED is de levensduur. Dat is tevens ook het meest verwarrende aspect. Van belang is dat goed gedefinieerd wordt wat de levensduur is. In principe definieert de levensduur de tijd dat een onderdeel of een apparaat doet waarvoor het bedoeld is. In geval van een lichtbron houdt dat in dat het licht geeft, of beter gezegd, voldoende licht geeft. Bij de meeste lichtbronnen neemt de lichtopbrengst af met het toenemen van de leeftijd. Zo ook bij de LED. Afgezien van de stroomsterkte wordt de levensduur van de LED vrijwel niet beïnvloed door externe factoren, behalve warmte (zie fig. 3.1). Het functioneren van de LED staat en valt met een goede warmtehuishouding (koeling) van het systeem. Het beste is om bij LED te spreken over de levensduur van "het systeem".

Vaak wordt er een levensduur geclaimd van 50.000 tot 100.000 uur waarbij de lichtterugval niet meer dan 30% bedraagt. Dit wordt aangeduid met L70. (L=lifetime, 70 is resterend percentage licht) Men dient zich echter te realiseren dat deze getallen theoretische of geëxtrapoleerde waarden zijn, omdat de producten nog niet oud genoeg zijn om ze volledig getest te kunnen hebben.

Een levensduur van 50.000 uur die ook vaak genoemd wordt voor de driver impliceert dat het armatuur (of de module en/of driver) na circa 12 jaar vervangen dient te worden. Dit is sneller dan de gebruikelijk afschrijvingstermijn en speelt dus een rol bij de TCO berekening. De vervangingskosten v/d modules hangen af van het armatuurconcept.





3.3 Kleurtemperatuur

Wit is bij lichtbronnen geen eenduidige begrip. Er zijn koelwitte en warmwitte tinten. De kleurtemperatuur wordt uitgedrukt in Kelvin (K). Hoe hoger de temperatuur hoe kouder het licht. Bij lage lichtniveaus worden warme tinten meer gewaardeerd. In de OVL wordt met lage lichtniveaus gewerkt waardoor er doorgaans meer waardering is voor warmwit dan voor koelwit. Bij het beoordelen van de verlichting speelt dit een rol.

3.4 Kleurweergave

Omdat de LED, net als gasontladingslampen, geen continu spectrum heeft, maar de tinten worden gemaakt door menging van rood, groen en blauw of via blauwe LED met gele fosfor, zullen niet alle kleuren goed weergegeven worden.

De natuurgetrouwheid waarmee kleuren worden weergegeven, wordt aangegeven met de kleurweergave index (Color Rendering Index, afgekort tot CRI). Dit is een maat voor de kleurverschillen van een aantal standaard kleurobjecten wanneer ze belicht worden met de testlamp en een referentielichtbron. Hoe meer het spectrum van de testlamp afwijkt van het spectrum van de referentielichtbron, hoe lager de CRI over het algemeen zal zijn. De hiernaast afgebeelde tabel met testkleuren (Ra) is een van de tabellen die gebruikt worden om de kleurweergave index vast te stellen.

| Test colours for Ra8 | | | |
|----------------------|----------------|---|--------------------------|
| R ₁ | Old rose |  | R ₅ Turquoise |
| R ₂ | Mustard yellow |  | R ₆ Sky blue |
| R ₃ | Yellow-green |  | R ₇ Violet |
| R ₄ | Light green |  | R ₈ Lilac |

Bepaalde LED-spectra geven aanleiding tot relatief lage CRI's. Er zijn op dit ogenblik nieuwe inzichten om de kleurweergave beter te karakteriseren voor lampen met een discontinu spectrum. Het CIE, Comité International de l'Eclairage, die de testmethode voor het laatst in 1995 had aangepast, onderzoekt deze problematiek al enige jaren in een nieuw opgericht "Technical Committee" (TC 1-62).

Een goede kleurweergave in de OVL is van belang voor gezichts-herkenning wat weer bijdraagt aan de sociale veiligheid, mede in relatie tot het toenemend gebruik van cameratoezicht.

4 Stand van zaken begin 2010

De ontwikkelingen in LED technologie gaan zeer snel. De pilots van 2008 en 2009 zijn uitgevoerd met technieken die nu al weer deels achterhaald zijn voor wat betreft rendement maar ook qua concept. Er zijn reeds nieuwe systemen op de markt die beter zijn of anderszins voordelen bieden.

Mesopisch zien en kleurherkenning

Met diverse onderzoeken is aangetoond dat door het toepassen van wit of groen licht voordelen ontstaan in de zichtbaarheid ten opzichte van geel of rood licht.

De waarde en toepasbaarheid van deze conclusie is echter omstreden omdat de verhoogde gevoeligheid in het "mesopische gebied" optreedt in het perifere blikveld (off-line axis). Dit voordeel verdwijnt op het moment dat het oog scherpstelt op het waargenomen item (on-line-axis).

Voor het waarnemen van details blijft een redelijke hoeveelheid licht noodzakelijk.

De vraag is dus of hierdoor verlichtingsinstallaties ontworpen kunnen worden op basis van lagere verlichtingsklassen bij toepassing van wit licht met een goede kleurweergave.

Hoewel in de UK met dat laatste aspect bij die klassen al rekening wordt gehouden, zal het huidige (inter)nationale onderzoek uitsluitend moeten geven over de praktische waarde van mesopisch zien en kleur/gezichtsherkenning voor de verkeers- en sociale veiligheid.

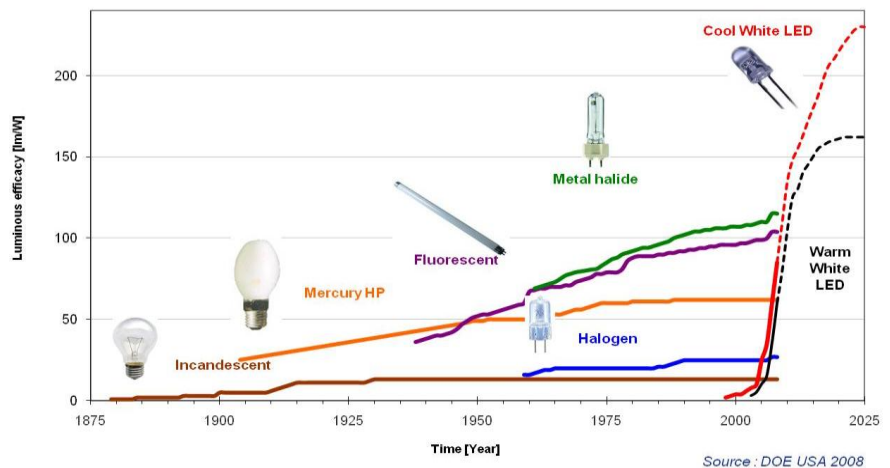


Fig. 4.1 evolutie en verwachtingen rendementen van lichtbronnen

Naar verwachting zullen het rendement en de beschikbare vermogens (hogere lumenpakketten) van de LED-armaturen verder toenemen. Hierbij zal de koelwitte LED de lagedruk natrium lamp (tot nu toe recordhouder) passeren in rendement (lumen/watt verhouding). Ook de warmwitte LED heeft nog significante verbeteringspotentieel voor de boeg (zie figuur 4.1). De internationale verlichtingsbeurs van Frankfurt "Light + Building" in april 2010 liet inderdaad zien dat het assortiment aan OVL LED-armaturen ook qua vormgeving verder is toegenomen. Een belangrijk aandachtspunt is de driver. Met name de powerfactor (een combinatie van de $\cos\phi$ en harmonische vervorming) en de aanloopstromen dienen verbeterd te worden.

Met de komst van LED-verlichtingsoplossingen, waarbij het kleurenspectrum relatief makkelijk kan worden aangepast, krijgt het "mesopisch zien" weer extra aandacht en sommige leveranciers van armaturen optimaliseren hun spectra voor het "mesopisch zien" en claimen daarmee een extra energie-efficiency winst.

Mede in het kader van het aanpassen van de praktijkrichtlijn voor openbare verlichting laat het ministerie van VROM in 2010 een onderzoek uitvoeren naar de praktische waarde van "mesopisch zien". Ook in andere landen vindt hiernaar onderzoek plaats. Een echte herziening van de NPR zal overigens pas plaats kunnen vinden na afronding van het Europese standaardisatieproces.

5 Toepassing LED

Nu de LED zo ver ontwikkeld is dat hij toepasbaar is als lichtbron, rijst de vraag of het uit energetisch oogpunt een interessant product is. Daartoe dienen naast de energetische aspecten eerst de lichttechnische aspecten gezien te worden.

Daarbij zijn de volgende aspecten van belang:

1. zichtbaarheid
2. beleving
3. beheer

5.1 Zichtbaarheid

Doordat de LED een zeer kleine lichtbron is, kan het licht ook heel efficiënt gestuurd worden. Het is mogelijk alleen het licht daar te richten waar het wenselijk is. Echter de uitdaging is te definiëren wat wenselijk inhoudt.

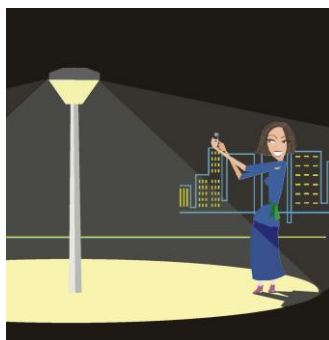


Fig. 5.1 Noodzaak van strooilicht

In de regel wordt de kwaliteit van de verlichtingsinstallatie beschreven aan de hand van hoeveel licht dat op de weg valt. Duidelijk mag zijn dat dit verlichten van de weg geen doel in zichzelf is maar als kwaliteitscriterium gebruikt wordt, een hulpmiddel om de kwaliteit van de verlichting te beschrijven. Het verlichten van de weg als zodanig heeft slechts beperkte waarde. Men kan (tijdig) loszittende tegels of hondenuitwerpselen onderscheiden, maar medeweggebruikers kunnen niet geïdentificeerd worden op basis van goed verlichte schoenen of sokken.

Conventionele apparatuur levert meestal zoveel strooilicht dat deze benadering voldoende is om een zekere mate van sociale veiligheid op te leveren. Het aangezicht van de “medeweggebruiker” wordt verlicht, waardoor men beter kan inschatten of deze misschien iets kwaads in de zin heeft. Echter, doordat het met LED-verlichting goed mogelijk is de lichtbundels heel nauwkeurig te definiëren, kan strooilicht vrijwel geheel geëlimineerd worden.

Gebrek aan strooilicht kan dus leiden tot een verminderde zichtbaarheid van medeweggebruikers. Er dient hieraan bijzondere aandacht geschonken te worden door bijvoorbeeld gebruik te maken van de zogenoemde bermfactor. Anderzijds dient er ook voor worden gewaakt dat het strooilicht niet leidt tot verblinding.

5.2 Beleving

Het sterk richten van het licht kan ook resulteren in mindere zichtbaarheid van andere verticale objecten, zoals verkeersborden, bomen en gevels. Met name deze laatste categorie geeft een beperking van de oriëntatie. Dit heeft een negatief effect op de beleving van de openbare ruimte.

Sociale veiligheid wordt gerealiseerd door aanwezigheid van derden. Verlichting moet bijdragen aan een aangename openbare ruimte. Hierdoor zal de buitenruimte meer gebruikt worden, waardoor de sociale veiligheid toeneemt. Een goed overzicht van de buitenruimte heeft een positief effect op het karakter ervan.

Kleurweergave of aangename omgeving?

Zichtbaarheid van verticale objecten draagt bij aan dat overzicht. Daarnaast zal ook de kleurtemperatuur een rol spelen. Omdat het rendement van de koelwitte LED hoger is dan de warmwitte en er geluiden zijn dat de zichtbaarheid bij hoge kleurtemperaturen beter is, worden vaak koelwitte LEDs aangeprezen. Dit kan echter een negatief effect hebben op de beleving van de OVL. Om de acceptatie van een LED-installatie te vergroten dient de kleurtemperatuur daarom m.n. in woongebieden niet te hoog te zijn. Naarmate de efficiëntie van warmwitte LEDs zal toenemen zal dit probleem zich vanzelf oplossen.

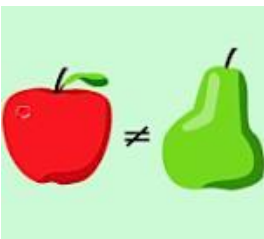
5.3 Beheersaspecten

Hoewel de overheid geacht wordt verantwoord met haar (financiële) middelen om te gaan, dient ze zich bij het bepalen van de kosten niet blind te staren op korte terugverdienperiodes van bijvoorbeeld 5 jaar. De zogenaamde TCO⁶ wordt bepaald door:

- + Aanschafkosten
- + Energiekosten
- + Onderhouds-, afvoer- en vernietigingskosten

5.3.1 Aanschaf

LED-systemen zijn vooralsnog kostbaarder in aanschaf dan conventionele systemen. Men dient echter wel de juiste zaken met elkaar te vergelijken. Vaak worden LEDs toegepast in decoratieve armaturen. Deze moeten dus niet vergeleken worden met functionele armaturen. De meerkosten van LEDs ten opzichte van conventionele armaturen dalen geleidelijk maar bedragen momenteel nog circa € 150,- en hoger⁷.



⁶ Total Cost of Ownership: TCO

⁷ prijsniveau 2010, exclusief BTW

Men dient zich te realiseren dat, om te profiteren van de voordelen, eerst (fors) geïnvesteerd moet worden. De financiële mogelijkheden en het draagvlak daartoe moeten wel aanwezig zijn. Op de internationale verlichtingsbeurs van Frankfurt in april 2010 “Light + Building” zijn nog geen spectaculaire doorbraken gesignaleerd m.b.t. energie-efficiencyverbeteringen en prijsdalingen voor OVL LED-armaturen.

5.3.2 Energiekosten

Om een goed beeld te krijgen van de energiekosten dient niet alleen gekeken te worden naar LEDs als lichtbron maar naar het totale systeem dus inclusief de randapparatuur (drivers) die ook energie verbruiken. Men dient zich te realiseren dat indien CLO⁸ wordt toegepast het vermogen in de loop van de tijd toeneemt maar waarschijnlijk ook de energieprijzen.

5.3.3 Onderhouds-, afvoer-, en vernietigingskosten

Onderhoudskosten worden gevormd door het geregeld reinigen van armaturen, de planmatige vervangingen aan het einde van de levensduur, de tussentijdse vervangingen ten gevolge van storingen en niet-verhaalbare schades (bijv. bij vandalisme) maar ook de bijkomende kosten ten behoeve van het vervangen, zoals wegzettingen of inzet van bijzonder materieel. Bij het uitwisselen van lampen wordt in de regel ook het armatuur gereinigd. Bij LEDs zal minder sprake zijn van “lampvervanging” en zal de nodige armatuurreiniging separaat uitgevoerd moeten worden.

Ook bestaat de kans dat de driver minder lang meegaat dan de LED. Mogelijk dat tussentijds niet de lichtbron maar de driver vervangen moet worden.

Gasontladingslampen moeten aan het einde van de levensduur op verantwoorde wijze verwerkt worden. Een LED bevat minder chemisch afval en gaat in veel gevallen ook langer mee.

5.4 Resumé

In het voorgaande zijn diverse relevante aspecten ten aanzien van de LED aan bod gekomen. Van belang is dat men zich realiseert wat de verschillen zijn ten opzichte van de conventionele lichtbronnen en te bezien in hoeverre dat van belang is voor een toepassing in de OVL. In dit kader zijn toegelicht:

- ✚ Levensduur, rendement en elektrische eigenschappen
- ✚ Soorten systemen
- ✚ Fotometrie, kleurweergave en beleving

In het navolgende zullen deze aspecten vanuit het perspectief van de gebruiker beoordeeld worden.

⁸ CLO= constant light output, dat wil zeggen het constant houden van de lichtopbrengst gedurende de levensduur van de lichtbron

6 De praktijk: uitgevoerde pilots en interviews



Verlichten is geen doel in zichzelf; het heeft tot doel bij te dragen aan een veilige omgeving voor de burger. Het is daarom van belang vast te stellen hoe de burger de LED-verlichting ervaart. Daarnaast is van belang te weten of LEDs lichttechnisch gesproken doen wat van ze verwacht wordt. Dit is getoetst aan de hand van elektrische en lichttechnische metingen. Aan de hand van enquêtes is de mening van de gebruikers van de openbare ruimte gevraagd.

Verder zijn metingen uitgevoerd om te toetsen in hoeverre de theorie (lees de brochures en dergelijke) overeenkomt met de praktijk.

Procedure

In de pilots van de gecoördineerde evaluatie zijn van een 8 tal leveranciers 10 verschillende producten meegenomen. In de overige pilots waarmee informatie is uitgewisseld, zijn ook producten van nog een 8 tal andere leveranciers betrokken (zie bijlage C voor een overzicht).

Het onderzoek bij de gecoördineerde pilots bestond uit een - door de betrokken gemeente uit te voeren - belevingsonderzoek onder bewoners/verkeersdeelnemers. Door deze ongeveer een half jaar na het aanbrengen van de LED-installatie uit te voeren t.w. eind oktober 2009 werd het onderzoek niet verstoord door seizoensinvloeden of gewinningseffecten. Voor de vervangingsinstallaties werd gevraagd om ook voor de pilot een soort nulbelevingsmeting te doen. Deze onderzoeken waren gebaseerd op af te nemen uniforme enquêtes. ARCADIS was betrokken bij de ontwikkeling en facilitering van de uitvoering en gegevensverwerking. Naast de belevingsonderzoeken m.b.t. pilotinstallaties is in dit rapport ook gebruik gemaakt van andere uitgevoerde belevingsonderzoeken m.b.t. pilotinstallaties t.w. in Apeldoorn, Breda, Eindhoven, Leiden, Uithoorn en Vught.

Om een indruk te krijgen in hoeverre de pilotinstallatie technisch voldoet aan de te stellen eisen werd door AgNL/ARCADIS aan de deelnemende gemeenten via uniforme formats gevraagd welke verlichtingseisen ze aan de pilotinstallatie in de betrokken openbare ruimte stellen en wat de verlichtingsontwerpen zijn van de pilotinstallatie en - indien van toepassing - ook van de oude installatie. Omdat die ontwerpen zijn gebaseerd op informatie van de leveranciers zijn er controlemetingen uitgevoerd. M.b.t. elk van de 10 verschillende type armaturen zijn in het Van SwindenLaboratorium (VSL) elektrische en lichttechnische metingen uitgevoerd waarbij tevens is gekeken naar de gevoeligheid voor netspanning, omgevingstemperatuur en wind.

In enkele steekproeven zijn er in opdracht van de betrokken gemeenten in de pilot zelf elektrische metingen uitgevoerd. Daarnaast zijn er door ARCADIS steekproefsgewijs 10 lichttechnische praktijkmetingen in de pilots uitgevoerd.



Links: Led met alleen standaard lens
 Rechts: Led met aanvullende OV-lens



Verliezen in een ledsysteem

- 1 elektrische verliezen in driver
- 2 warmteontwikkeling led
- 3 lichtverlies in lens/afdekking met fluopoeder
- 4 lichtverlies in optische systeem (refractor of spiegel)
- 5 lichtverlies in armatuurkap

6.1 Meetresultaten pilots en laboratoriummetingen⁹

6.1.1 Techniek

Het is (was) moeilijk technische gegevens van diverse leveranciers te verkrijgen. Van slechts een enkel armatuur konden alle eigenschappen in een ontwerpsituatie getoetst worden. In de praktijk van de pilots bleken de opgegeven specificaties toch erg optimistisch te zijn t.o.v. de praktijk- en laboratoriummetingen. Laborelec (B) dat t.a.v. dat fenomeen in België specifiek onderzoek deed, heeft overigens geconstateerd dat die verschillen aanzienlijk kunnen zijn (zie bijlage A).

Van belang bij het beoordelen van de gegevens is dat de uitgangspunten identiek zijn. De lichtopbrengst van de LED, de initiële lichtstroom moet niet verward worden met de hoeveelheid licht die uit een armatuur komt. De initiële lichtstroom betreft de puur technische gegenereerde hoeveelheid licht. Hoeveel er uit een armatuur komt hangt af van het armatuurrendement. De resultaten van het Van Swinden Laboratorium (VSL) van begin 2009 m.b.t. de in de “gecoördineerde pilots” gebruikte armaturen wezen er op dat de gemeten efficiency (de lichtstroom uit het armatuur t.o.v. het systeemvermogen) voor de verschillende producten toen in werkelijkheid lag tussen de 35 en 51 lm/W met één uitschieter naar 73 lm/W.¹⁰

(Voor de resultaten: www.agentschapnl.nl/openbareverlichting/ledpilots)

Laborelec heeft eind 2009 voor een 12 tal LED-armaturen vergelijkbare metingen verricht waarbij de waarden tussen de 22 en 79 lm/W bleken te liggen.

Hoewel dit t.o.v. conventionele systemen relatief laag lijkt (voor een hoge druk natrium systeem is dit ca 70 lm/W), is voor energiebesparingsberekeningen ook het uiteindelijke lichtontwerp van belang. Daarin wordt ook rekening gehouden met de hoeveelheid nuttig licht dat op de te verlichten weg valt en daarin zijn LED-armaturen beter dan de conventionele systemen (gaat ten koste van strooilicht).

De powerfactor en inschakelpieken bleek bij de meeste armaturen goed, maar zijn bij een aantal nog voor verbetering vatbaar. Van belang is overigens om ook te weten wat de powerfactor doet als er gedimd wordt.

⁹ De wijze van aanleveren van gegevens in de pilots was niet voldoende eenduidig om daar vergaande conclusies aan te verbinden. Daarom zijn er aanvullende laboratoriummetingen aan de betrokken pilotarmaturen uitgevoerd.

¹⁰ De metingen zijn uitgevoerd in lijn met de door de CELMA voorgestelde nieuwe photometrische standaarden voor LED-armaturen waaronder de “Luminaire Lumens Efficacy”. VSL heeft evenals Laborelec daartoe de lichtopbrengsten met een goniometer gemeten.

6.1.2 Lichttechnische prestaties in de praktijk.

Van de lichttechnische prestaties in de pilots zijn iets meer gegevens bekend.

Een samenvatting van die gegevens is opgenomen in bijlage B.

Conclusie uit die gegevens:

- ✚ In het ontwerpstadium was al duidelijk dat in een aantal gevallen het lichtniveau zou dalen, kennelijk waren daar overwegingen voor.
- ✚ De berekeningen geven een gunstiger beeld dan de metingen.

Het feit dat in het ontwerpstadium al gekozen is voor een andere lichtkwaliteit doet de betrouwbaarheid van de enquêtes geen goed omdat er daardoor geen sprake is van vergelijkbare situaties.

6.2 Beleving: is LED veilig, of niet?

De burger is gevraagd de verlichting te beoordelen op een aantal relevante aspecten. De mening van de respondenten uit de 25 gemeenten staat in tabel 6.1 weergegeven.

De respondenten is gevraagd de huidige (oorspronkelijke) en LED (nieuwe) situatie te vergelijken.

Echter, de LED situatie is vaker beoordeeld dan de oorspronkelijke. Er zijn minder beoordelingen beschikbaar van de oorspronkelijke situatie.

Eén op één vergelijk van beide situaties is dus feitelijk minder makkelijk. Dit blijkt ondermeer uit bijvoorbeeld het vergelijk van de overdagsituatie: Dit zouden dezelfde cijfers moeten opleveren, terwijl hier een duidelijk verschil aanwezig is.

Een dergelijk verschil kan heel goed ook in de overige cijfers te vinden zijn, echter dit is niet meer te achterhalen.

Conclusie: de cijfers dienen derhalve als indicatief en niet als absolute waarden gezien te worden.

| GECOÖRDINEERDE PILOTS | | |
|-----------------------------|------------|------------|
| Item | huidig | LED |
| 's avonds veilig | 5,5 | 8,0 |
| andere route | 8,5 | 9,0 |
| oordeel niveau | 2,0 | 6,0 |
| gezichtherkenning | 5,0 | 5,0 |
| zelf zichtbaar | 5,5 | 4,0 |
| anderen zichtbaar | 5,5 | 4,0 |
| gevels voldoende verlicht | 5,0 | 7,5 |
| GEMIDDELD VEILIGHEID | 5,3 | 6,2 |
| Overdag veilig | 7,5 | 9,5 |
| tevreden OVL | 5,5 | 7,5 |
| kleur OVL | | |
| tevreden over kleur | 6,0 | 9,0 |
| verblinding | 7,5 | 8,0 |
| last binnenshuis | 4,5 | 7,5 |
| locaties onnodig verlicht | 2,0 | 4,5 |
| kleurherkenning 's avonds | 4,5 | 7,5 |
| GEMIDDELD COMFORT | 4,3 | 6,3 |

Tabel 6.1 enquêtegegevens gecoördineerde pilots (schaal 1 – 10)

Hoewel er verschillen zaten in de beleving nieuw t.o.v. in de verschillende pilots zijn de gemiddelde resultaten opmerkelijk.

Men voelt zich redelijk veilig terwijl men zichzelf niet voldoende zichtbaar vindt, anderen niet voldoende zichtbaar zijn en het niveau als iets te laag ervaren wordt.

Kennelijk zijn er andere factoren die het veiligheidsgevoel geven dan het herkennen van anderen.

Met name de zichtbaarheid van gevels, als grens van het blikveld, lijkt het veiligheidsgevoel positief te beïnvloeden.

Omdat de referentie in sommige gevallen niet eenduidig was (zie kader) worden hieronder ook gegevens van Breda opgenomen. Hierbij zijn mensen in een wat grootschaliger project zowel voor als na de vervanging om een oordeel gevraagd. Hoewel de vraagstellingen niet geheel identiek waren met die van de bovengenoemde pilots en de tijdsspanne tussen beoordelingen ook anders was, kan wel een tendens afgeleid worden. In Breda (zie tabel 6.2) beoordeelt men de lichtkwaliteit in de nieuwe situatie als lager. Met name op het vlak van de veiligheidsaspecten (lichtniveau en algehele bevinding) is de waardering gedaald. Het gemiddelde comfort daarentegen wordt daar weer als positiever ervaren.

| breda | | |
|-----------------------------|------------|------------|
| Item | huidig | LED |
| Veiligheid | 8,5 | 6,5 |
| Verkeers veiligheid | 8,0 | 7,5 |
| Hoeveelheid licht | 6,0 | 5,0 |
| Bevinding Verlichting | 6,0 | 5,0 |
| GEMIDDELD VEILIGHEID | 7,1 | 6,0 |
| Lichtkleur | 6,0 | 4,5 |
| Lichthinder | 6,0 | 9,0 |
| Lichtvervuiling | 6,0 | 8,0 |
| GEMIDDELD COMFORT | 6,0 | 7,2 |

Tabel 6.2 enquêtegegevens Breda (schaal 1 – 10)

7 Overwegingen toepasbaarheid van LED in de OVL

In dit rapport wordt gekeken naar de toepassing van de LED als vervanging van het huidige verlichtingsconcept: "mast-armatuur-lamp".

Wellicht dat in de toekomst systemen ontwikkeld worden die verder gaan dan dit concept. Bijvoorbeeld "lichtgevend asfalt", façadeverlichting door ondersteunende luminiserende muren of alleen verticale verlichtingssterkte in plaats van horizontale, zoals dit nu met name wordt uitgevoerd.

Aangezien de toekomst wat dat betreft onduidelijk is en leveranciers om begrijpelijke redenen niet het achterste van hun tong laten zien, worden deze zaken buiten beschouwing gelaten.

Technisch gesproken zijn er geen belemmeringen LED toe te gaan passen in de OVL. De volgende kanttekeningen dienen echter te worden gemaakt waarbij opgemerkt wordt dat de situatie voor een aantal van deze aspecten op korte termijn kunnen veranderen.

- ✚ Nog niet alles rond de effecten van speciale kleurspectra voor het mesopische gebied zijn bekend. Mogelijk kan in bepaalde situaties met lagere lichtniveaus worden volstaan. Aangezien de overheid verantwoordelijk is voor de veiligheid in de buitenruimte dient niet lichtvaardig met (te) lage lichtniveaus te worden omgegaan. Dit geldt overigens ook ten aanzien van dimmen in woongebieden.
- ✚ Er is sprake van een lange verwachte levensduur. Tussentijds reinigen van de armaturen dient niet vergeten te worden. (ook niet financieel)
- ✚ Het toepassen van LED betekent vooralsnog extra investeren. Hoewel (op termijn) de meerkosten terugverdiend zullen worden, zal er budgettaire rekening met de meerkosten gehouden moeten worden.
- ✚ Met LED verlichting bestaat het gevaar dat wel aan de NPR 13201-1 voldaan wordt en er toch geen goede verlichting is. (zie bijvoorbeeld 5.1)
- ✚ LEDs met een hoge kleurtemperaturen hebben een hoger rendement maar zijn minder geschikt voor verblijfsgebieden.
- ✚ Doordat per gemeente de energietarieven kunnen verschillen zullen de terugverdientijden ook per gemeente verschillen. Op basis van informatie over uitgevoerde pilots en berekeningen is de kosteneffectiviteit van OVL LED oplossingen nu nog niet of nauwelijks beter dan die van conventionele oplossingen. Door de geleidelijke daling van de prijzen van OVL Led armaturen en de verhoging van de energie-efficiëntie van de LEDs kan dit echter snel in het voordeel van OVL LED veranderen.
- ✚ Er dient een compromis gevonden te worden tussen nu reeds beginnen met toepassen van LED en wachten op de LED met het hoogste rendement.
- ✚ De kans is aanwezig dat de lichtbron de driver overleeft in plaats van andersom. Wellicht een uitdaging voor de leveranciers om groepsremplace van drivers mogelijk te maken door een eenvoudig uitwissel-systeem te ontwikkelen.
- ✚ Standaardisatie van drivers moet nog voltooid worden.
- ✚ Men dient voorzichtig te zijn met het toepassen van armaturen die langer dan 15 jaar meegaan aangezien er nog ontwikkelingen gaande zijn.
- ✚ Armaturen die modulair zijn opgebouwd, zijn op de toekomst voorbereid en daardoor duurzamer. Deze kunnen met de snelle ontwikkelingen meegroeien.

8 Conclusies t.a.v. enkele kernvragen over OVL LED

Op grond van de resultaten van de pilots en de voorgaande overwegingen kunnen op enkele kernvragen de volgende antwoorden worden gegeven:

Ontwerpers dienen (meer) aandacht te geven aan de verticale component van de verlichting.

1. Hoe verhoudt het lichtbeeld van de LED-verlichting zich tot de conventionele verlichting?

Er is inderdaad speciale aandacht nodig voor het lichtontwerp als LED armaturen worden toegepast. Met name de toepassing van direct gerichte LEDs en de LEDs in combinatie met een spiegel kunnen resulteren in te weinig strooilicht waardoor men verticale objecten, mensen, gevels obstakels en verkeersborden, niet goed opmerkt en zich niet meer veilig voelt.

Door het verschil in lichttechnische eigenschappen zal bij een renovatie altijd berekend moeten worden of in de nieuwe situatie een vergelijkbare kwaliteit bereikt wordt als voorheen of als gewenst. Dit kan een aanpassing van de installatie tot gevolg hebben. In verband met het vastleggen van de benodigde hoeveelheid strooilicht kan de zogenoemde “bermfactor” gebruikt worden.

2. Hoe verhouden de elektrotechnische eigenschappen van de LED zich tot de conventionele verlichting?

LEDs worden elektronisch aangestuurd. Dit brengt met zich mee dat netvervuiling, powerfactor e.d. redelijk eenvoudig binnen de perken gehouden kunnen worden. Met name als LEDs gedimd worden zal dit een aandachtspunt zijn¹¹. De verwachting is dat het energieverbruik in de komende 5 jaar nog (sterk) zal dalen.

Aandachtspunt is wel de levensduur en kwaliteit van de drivers, deze gaan mogelijk minder lang mee dan de LED.

3. Hoe ervaren de gebruikers de nieuwe verlichting ten opzichte van de oude verlichting?

Enige tijd geleden heeft Lightronics een kegelarmatuur met een ledstrip i.p.v. een gasontladinglamp op een beurs getoond. Niemand merkte iets bijzonders op.

Afhankelijk van het toegepaste type zullen de gebruikers meer of minder van de verandering merken. Met de nieuwe tendens om modulair te werken (in combinatie met de LEDstrip) blijven de fotometrische eigenschappen van armaturen als vanouds. Het is hierbij mogelijk alleen de lichtmodule te vervangen in het bestaande armatuur.

Met de directe LED is wel sprake van een ander beeld, wat door een aantal gebruikers als minder positief ervaren wordt.

¹¹ Men dient zich te realiseren dat de energieleveranciers geen eisen aan elektrische systemen onder de 25 watt stellen, dit zal de beheerder zelf moeten doen.

4. Is grootschalige invoering van de LED verlichting haalbaar en zinvol op korte termijn?

De prognoses geven aan dat de LED in de komende jaren nog verder ontwikkeld gaat worden. We staan dus nog steeds redelijk aan het begin van het LED tijdperk. Hoewel licht-, electro-, en belevings-technisch gesproken er geen belemmeringen zijn om LED toe te gaan passen in de OVL is gezien:

- + de huidige stand van de techniek (het rendement kan uiteindelijk nog met 50 – 100% verbeteren),
- + de relatief korte praktijkervaring met de betrouwbaarheid van het zich nog snel ontwikkelende aanbod (de levensduur van LED-armaturen is nog voornamelijk theoretisch bepaald),
- + er slechts beperkte ervaring is met het onderhoud aan LED armaturen, waarbij het al of niet “sealed for life” aspect ook verschil maakt
- + en de beheerconsequenties nog onvoldoende bekend zijn evenals storingspercentages,

het nog iets te vroeg om nu een grootschalige toepassing van LED te propageren. Wel is het van belang dat ervaring met OVL LED projecten opgedaan wordt, want het is een goed en veelbelovend concept.

De beschikbaarheid van juiste technische informatie over de producten en evaluatie van projecten door beheerders kan dit proces versnellen. (evaluatieformats zie: www.agentschapnl.nl/openbareverlichting/ledpilots)

Voorals als de lichtopbrengst van de LED dusdanig is (mogelijk nog in 2010) dat ook verkeerswegen voorzien kunnen worden van LED kunnen grote voordelen verkregen worden op het vlak van onderhoud. Immers verkeerswegen verlangen verkeersafzettingen bij replace-werkzaamheden en de kosten daarvan zijn onevenredig hoog.

8.1 Waar is het wachten op?

Sinds jaar en dag berichten sommige media en politiek dat de LED dé vervanger is van conventionele OVL. Vanwaar de terughoudendheid hierboven? Het antwoord ligt opgeslagen in feitelijkheden als:

- + Het verbeterde energetische rendement en de verwachte langere levensduren van OVL LED oplossingen t.o.v. conventionele oplossingen leveren (nog) niet voldoende financieel voordeel op om de meerkosten substantieel te kunnen compenseren;
- + Er zijn hogere lichtopbrengsten nodig voor verkeerswegen. Niveaus van 1 candela/m² zijn nog niet haalbaar; Met de zeer recent geïntroduceerde hogere vermogens LED-armaturen komen deze niveaus echter wel in zicht.
- + Er moet meer ervaring worden opgedaan met de betrouwbaarheid van de techniek;

Naar verwachting komt hier echter in de loop van 2010 meer informatie over beschikbaar. Dat geldt ook voor de praktische waarde van “mesopisch zien” die in een gunstig scenario een extra stimulans kan betekenen voor de aantrekkelijkheid van bepaalde LED oplossingen.

Taskforce verlichting

Op 19 december 2007 heeft de minister van VROM, Jacqueline Cramer, de Taskforce Verlichting ingesteld. Deze kreeg de opdracht mee om met voorstellen en ideeën te komen waarmee energiezuinige verlichting in Nederland gemeengoed kan worden en lichthinder kan worden beperkt. Onder energiezuinige verlichting wordt verstaan: ‘de thans of binnen enkele jaren algemeen toepasbare, meest energie-efficiënte technieken’.

De koplopergemeenten hadden als doel dat zij in 2009 een uitvoeringsplan hadden om de openbare verlichting energiezuinig te maken. In 2011 moet er ten opzichte van 2007 15% energie worden bespaard op de openbare verlichting. In 2020 moet 30% worden bespaard.

Deze doelstellingen zijn, vanwege praktische ervaringen, iets naar beneden bijgesteld.

8.2 Toepasbaarheid

Bovenstaande betekent niet dat er nu geen toepassingsmogelijkheden zijn. In onderstaande tabel is weergegeven waar en wanneer de voordelen van de LED benut kunnen worden.

Met niveau wordt het te behalen lichtniveau bedoeld. De besparing heeft betrekking op energie en materiaal. Het onderhoud geeft aan wat het effect is op met name de intensiteit waarmee onderhoud bedreven wordt¹².

| Toepassingen | 2009 | | | 2015 | | |
|---------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | niveau | besparing | onderhoud | niveau | besparing | onderhoud |
| Woongebieden | + | -/+ | + | ++ | ++ | + |
| Fietspaden | + | -/+ | + | + | ++ | + |
| Verkeerswegen | - | -- | ++ | + | + | ++ |
| Stadscentra | - | -- | - | + | + | - |
| Oriëntatie | + | - | + | + | + | + |
| Illuminatie | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |

De beoordeling is gerelateerd aan de conventionele verlichting

Verklaring:

++ = heel geschikt, heel goed, heel goed toepasbaar, heel veel profijt

+ = geschikt, goed, goed toepasbaar, veel profijt

-/+ = geen verbetering

- = minder geschikt, weinig besparing, weinig voordeel

-- = nadelig

Verscheidene gemeenten zoals Eindhoven, Breda, Assen en Tilburg zijn zo tevreden over de pilots dat men heeft besloten om LED-verlichting op grote schaal in te voeren. Een enkele gemeente die met een leverancier zonder ervaring op OVL-gebied in zee is gegaan, heeft echter ook slechte ervaringen met LED en stopte de pilot.

¹² Afhankelijk van de wijze van doorbelasting en het aantal posten die meegenomen worden in het onderhoud kan de beoordeling van de voordelen van LED t.o.v. conventionele systemen ongunstiger uitpakken dan de + en - suggereren.

Bijlagen

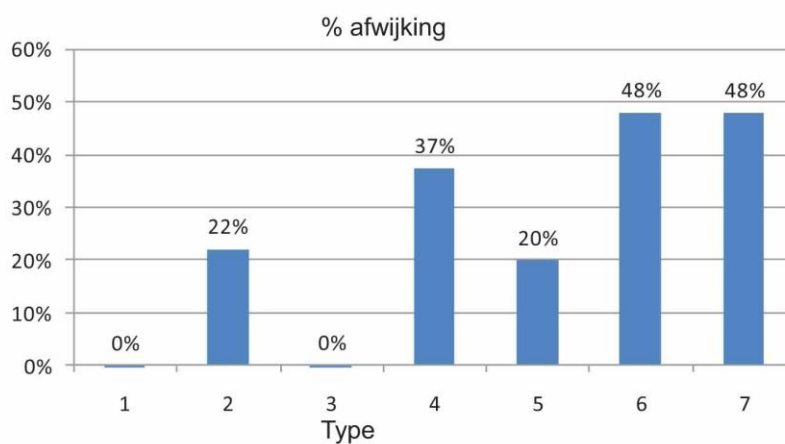
| | |
|--|---|
| Bijlage A Resultaten onderzoek laborelec 2009..... | 1 |
| Bijlage B Lichttechnische vergelijkingen..... | 2 |
| Bijlage C Overzicht deelnemende gemeenten | 3 |

Bijlage A Resultaten onderzoek Laborelec 2009

Voor een 7 tal OVL armaturen heeft Laborelec in 2009 opgegeven totale lichtstroom die uit het armatuur komt vergeleken met die van de door de betrokken leverancier opgegeven waarde. Zoals in de onderstaande grafiek te zien is, werden er bij enkele armaturen aanzienlijke verschillen geconstateerd.



- Lichtstroom: Afwijking tussen opgave fabrikant en werkelijke meting Laborelec:



Bijlage B Lichttechnische vergelijkingen

| | | RELATIE MET OUDE SITUATIE (berekeningen) | RELATIE MET METING | |
|---------------------|----------------------|--|--------------------|----------|
| Plaats | Straat | | E_{gem} | U_h |
| Amsterdam | Erasmuspark | BETER | SLECHTER | BETER |
| Amsterdam | Feike de Boerlaan | SLECHTER | n.v.t. | n.v.t. |
| Eindhoven | Tramstraatkwartier 1 | SLECHTER | SLECHTER | SLECHTER |
| Eindhoven | Tramstraatkwartier 2 | SLECHTER | SLECHTER | SLECHTER |
| Heerenveen | Het Meer | ? | BETER | SLECHTER |
| Heerlen | Heerlerbaan | BETER | n.v.t. | n.v.t. |
| Houten | Lobbebijk | BETER | SLECHTER | BETER |
| Noordoost polder | Ameland | ? | BETER | SLECHTER |
| Zoetemeer | Londonstraat | BETER | n.v.t. | n.v.t. |
| Zoetemeer | Parijsstraat | BETER | SLECHTER | BETER |

Opm. 1 Alleen van de bovengenoemde locaties zijn voldoende meetgegevens voorhanden om iets te kunnen zeggen.

Opm. 2 Daar waar "n.v.t." staat zijn er in opdracht van AgNL geen steekproeflichtmetingen uitgevoerd

Bijlage C Overzicht gecoördineerde* en overige gedocumenteerde OVL LED-pilots

| Pilot / gem. | lokatie | leverancier | type | verm. aand. | aantal | bele-ving | elektr. /licht. steekproef | |
|---|--|---|--|-------------|-------------|-----------|----------------------------|---|
| Amsterdam | Erasmuspark | Innolumis | Lumis-LED Ecowhite | 24 W | 45 | X | | X |
| Amsterdam | Feike de Boerlaan | Indal | Stela SQUARE 14 LED | 18,5 | 30 | | | |
| Arnhem | Dr A. Kuyperstraat | Schreder | Altra (gedimd naar 28 W) | 33 W | 4 | X → | el.+bel.(eigen)X | |
| Den Haag | Turfmarkt | Philips | Urban Line | 18 W | 8 | | | |
| Den Haag | Bosjes van Pex | Innolumis | Ecowhite | 24, 36W | 41+7 | | | |
| Eindhoven 1 | Johanna van Rochefortstr. | Philips | Urban Line | 18 W | 10 | X → | X X+be-leving (eigen) | |
| Eindhoven 2 | Johanna van Rochefortstr. | Philips | City Spirit Cone | 25 W | 10 | X → | | |
| Ermelo** | Oude Nijkerkerw. (Kolkbaanw.) | Innolumis | Lumis-LED Ecowhite | 24, 16W | 16+66 | | X | X |
| Gemert | Pastoor Attendorenstraat | Unique Lights Br. | UL90 | 38 | 17 | X | | |
| Goes | Adenauerstede | Philips | Urban Line | 33,16W | 14+4 | | | |
| Harderwijk | Westeinde | Ledprojects | SP90 HighpowerLED streetl. | 35W | 7 | X | | X |
| Harderwijk | Athlos(toegang sportcomplex) | Innolumis | Lumis-LED Ecowhite | 16 W | 9 | X | | |
| Heerenveen | Het Meer | Ixillum-iGuzzini | iTeka B79 | 24 W | 48 | X | X | |
| Heerlen | Samariastraat/Nazarethstr. | Philips | City Spirit Cone | 25 W | 15 | X | | |
| Houten | Lobbedijk (Fietspad) | Innolumis | Green Lumis-LED | 14 W | 14 | X | | X |
| Leeuwarden | Newtonspark | Indal | Stela WIDE 52 LED | 68 W | 19 | | | |
| Leeuwarden | Skutestan | Philips | Urban Line | 18 W | 18 | X | | |
| Leeuwarden | Newtonpark | Innolumis | Lumis-LED Ecowhite | 36 W | 12 | | X | |
| Leeuwarden*** | Harstastate | Heijtech-LedNed | Chrystal LED | 24 W | 20 | X | X | X |
| Maastricht | Kasteel Schaloenstraat | Philips | Urban Line | 16 W | 15 | X | | |
| Maastricht | Watermolen | Schreder | P 186 (prototype) | 140 W | 7 | X | | |
| Emmeloord | Rietstraat | Philips | City Spirit Cone | 25 W | 9 | X | X | |
| Emmeloord | Ameland | Innolumis | Lumis-LED Ecowhite | 24 W | 9 | X | | |
| Putten | Rimpelerweg | Innolumis | Lumis-LED Ecowhite | 16 W | 20 | | | |
| Roosendaal | Greeflaan | Philips | Urban Line | 16 W | 30 | | X | |
| R'dam**** | Valkhofstraat | Schreder | Altra 224 HP Akzo900g | 34 W | 5 | | | X |
| Tilburg | Ringbaan West | Philips | Urban Line | 18 W | 28 | | | |
| Uden **** | Kastanjeweg | Unique Lights Br. | Neo-Neon Platinum | 30W | 17 | X | X | X |
| Uden | Koopmanstraat | Unique Lights Br. | SP 90 High Power LED | 35W | 14 | X | | |
| Waalwijk | Baardwijk (3 aangrenzende woonstraten: v. Overschiestr./ v.Voorstr./Renesse v.Baarstr. | Indal | Stela SQUARE 10 LED | 13,5 W | 19 | X | | |
| Wijchen | De Lingert 61 ^e | Philips | Urban Line | 18 W | 13 | | | |
| Zoetermeer 1 | Parijsstraat | Indal | Stela SQUARE 18 LED | 24 W | 6 | X | | X |
| Zoetermeer 2 | Londenstraat | Indal | Stela SQUARE 18 LED | 24 W | 14 | X | | |
| | | | | | | | | |
| Overige pilots waarmee info is uitgewisseld | | | | | | | | |
| Apeldoorn**** | Omgeving Prins Hendrikplein + 12x16W Innolumis EcoWhite in Laan van Zevenhuizen | Indal, Philips, Schreder, LightInt., Matmo en J&B | Armaturen zie boven + discQ (indal), ST03 (J&B), Altrall (Schreder),BK (Matmo) | div. | tot. 42+ 12 | | X X + beleving | |
| Breda | Achtervang, Uitvang, Bijvang Verschuurstr. en Rochusstr., Zonnebeke- en Vlaanderstr | Indal,Phil.Ruud,Uni Schreder,Helderligh t Lightronics | Disq, Ecowhite en Urban Stela5600K,Urban,SpiritCon Fortimo, Altra, Helder, Lightro | div | 4+4+2 27 | | X X + beleving | |
| Leiden | G. Brautigams. Calandstr. , Roodbortsstr., Gardeniadal, P.de la Courtstr. Franchimonstr. Vrouwenw. en Handelstr. | Iguzzini, Mikana, Schreder, Indal, Disano, Phayton, Innolumis, Ruud | Platea, LLD-30W Altra-2, Stela, Ctl Poweredled, Phoenix 4000, Ecowhite, Ledway | div | 8x5 | | X X + beleving | |
| Uithoorn | Oranjeplein, Amstelstraat en Karveel | Innolumis, Indal en Philips | Ecowhite, Stela 6000 → 3000 en City Spirit Cone | div. | 9, 5 en 9 | | Beleving | |
| Utrecht | Luykstr.,Lessingl.,Rijnl.,Zuylenw. | Ruud Lighting | Ruud Led en Led PR | 20,40,60 | 4x5 | | X | X |
| Vught (kort-durend) | Koestraat Voorstraat (Cromvoirt) | Indal(beide straten) Philips(beide straten) | City Sprit Cone Stela | | 6 6 | | Belevings-onderzoek | |

* Bij deze pilots zijn/worden belevingsonderzoeken en electr./lichtmetingen uitgevoerd en lichteisen & ontwerpen geëvalueerd (van deze pilots is van een of meer onderzoeken informatie ontvangen). Heerhugowaard, Hilversum en Borsele zijn om uiteenlopende redenen afgefallen. Boarnsterhim heeft geen gegevens aangeleverd.

** Mede i.v.m. de combinatie met actieve wegmarkering is hiervan een apart downloadbaar rapport gemaakt

** Tijdens de energiemeting bleek dat bij enkele armaturen de verkeerde driver was geleverd.

*** Bij deze pilots is de installatie (voortijdig) ontmanteld

**** Zie www.ledverlichting-apeldoorn.nl

