



Led in de openbare verlichting

November 2010

Inleiding

De wereld staat aan de vooravond van een nieuw lichttijdperk, het tijdperk van de light emitting diode, kortweg de led. Led is al een aantal jaren een veelbesproken lichttechniek omdat deze zo veelbelovend is. Veelbelovend omdat deze nieuwe vorm van verlichting energiezuinigheid combineert met lange levensduur. Veelbesproken omdat led in allerlei lichttoepassingen een serieus alternatief lijkt te worden voor bestaande lichtbronnen, zoals gloei-, halogeen- en gasontladingslampen.

Nog niet zo lang geleden was de led eigenlijk niet meer dan het aan/uit-lampje van het televisietoestel, de radio, de pc of een ander huishoudelijk apparaat. Ondertussen heeft led zich ontwikkeld tot een lichtbron die oneindige mogelijkheden kent. Zo is led al geschikt voor diverse lichttoepassingen in de huiselijke sfeer, maar ook voor professioneel gebruik. In Amsterdam komen we bijvoorbeeld led's tegen in verkeerslichten, in wachttijdvoorspellers voor fietsers en voetgangers, in sierverlichting en bij de aanlichting van bijzondere gebouwen (zoals de Hermitage). In het najaar van 2010 zijn de gloeilampjes die de Magere Brug versieren vervangen door ledverlichting. Daarnaast heeft led ook de mogelijkheid om in de nabije toekomst reclamebakken aan lichtmasten, mupi's enabri's te verlichten.

Led en openbare verlichting

Voor de openbare verlichting is led een serieus te nemen lichttechniek. De Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer (DIVV) van de gemeente Amsterdam is verantwoordelijk voor de verlichting van de openbare weg. DIVV geeft in die rol inhoud aan het duurzaamheidsbeleid van de gemeente o.a. door het inkopen van verlichtingsmaterialen volgens duurzaamheidscriteria, het toetsen van materialen op duurzaamheid bij productie en het toezien op de verwerking van het materiaal aan het einde van de levensduur. Ook wordt kritisch gekeken naar hoe de openbare weg is te verlichten, hoe lang en op welk lichtniveau.

Al in 2005 werd led in het Beleidsplan openbare verlichting 2005 - 2015 genoemd als een techniek die grote aandacht verdient met het oog op toekomstige beleidsmatige keuzes. Met dit in het achterhoofd voert DIVV diverse proeven uit met ledverlichting in straatlantaarns. Proeven, aangezien led medio 2010 nog niet kan worden beschouwd als de opvolger van of het alternatief voor de huidige lampsoorten in de openbare verlichting. Led heeft nog een aantal beperkingen. De conventionele lampen die DIVV momenteel gebruikt, kunnen de toets van energiezuinigheid, lange levensduur (en investeringskosten) tot nog toe met gemak doorstaan.

De ontwikkelingen met led gaan echter razendsnel. Daarom voorziet DIVV in een groeiende behoefte aan informatie over de huidige stand van zaken rondom de ledtechniek en de verwachtingen voor de nabije toekomst. Deze brochure gaat in op de eigenschappen van led en de technische prestaties in relatie tot de eisen die gesteld worden aan openbare verlichting. Vanzelfsprekend wordt ook aandacht besteed aan de energiezuinigheid van led en de aanschaf- en exploitatiekosten.

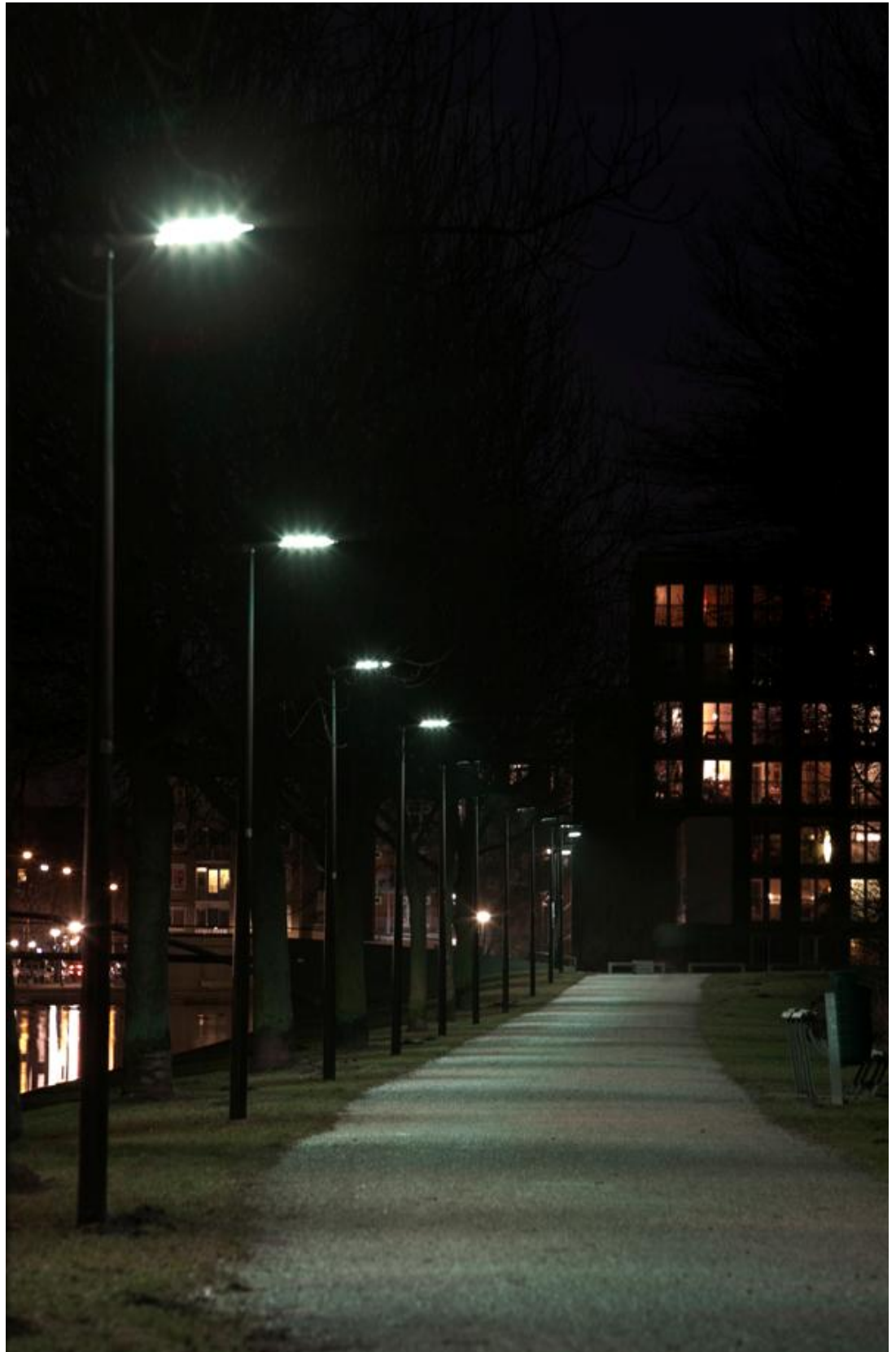
Vanwege de snelle ledontwikkelingen moet deze brochure gezien worden als een momentopname. Over een half jaar kan alweer vooruitgang zijn geboekt. Daarom actualiseert DIVV deze brochure periodiek en plaatst deze als pdf-bestand op de lichtwebsite van de gemeente Amsterdam: www.amsterdam.nl/licht.



Ledproef voor stadhuis (2008)

Inhoud

Inleiding	3
Doel van deze brochure	9
Leeswijzer	11
1 Stand van zaken	13
1.1 Werking van de led	13
2 Lichttechnische eigenschappen	15
2.1 Lichtverdeling	15
2.2 Lichthinder en –vervuiling	16
2.3 Lichtkleur en kleurweergave	17
2.4 Lichtbronnen en rendement	19
3 Onderhoud	21
3.1 Levensduur	21
3.2 Warmtehuishouding	22
3.3 Onderhoudscyclus	23
4 Milieu en energieverbruik	25
4.1 Milieu en duurzaamheid	25
4.2 Energieverbruik	26
4.3 Blindvermogen	27
5 Beleving	29
5.1 Inleiding	29
5.2 Resultaten belevingonderzoek	29
6 Kosten	31
6.1 Initiële kosten	31
6.2 Energiekosten	31
6.3 Exploitatiekosten	31
6.4 Voorbeeld berekening	32
7 Resultaten en conclusies	35
7.1 Toepassing led in de openbare verlichting	35
7.2 Overwegingen en aanbevelingen	36
Bijlage 1 Voorbeeld berekening	39
Bijlage 2 Bronvermelding	40



Ledproef in Erasmuspark (2009)

Doel van deze brochure

In de media is veel aandacht voor een nieuwe ontwikkeling in de verlichting: ledverlichting. Omdat toepassing ervan vaak genuanceerder is dan wordt gesuggereerd, is goede onafhankelijke informatie nodig om juiste keuzes te kunnen maken. De toepassing van leds is niet een doel op zichzelf, maar moet leiden tot energiebesparing en daarnaast bijdragen aan duurzame verlichting.

Dit rapport geeft inzicht in de stand van zaken en achtergronden van ledverlichting in de openbare verlichting. Hierop kan DIVV haar beleidsvisie bepalen hoe en onder welke voorwaarden ledverlichting kan worden toegepast. De volgende onderwerpen worden behandeld:

1. Wat is de stand van zaken?

Dit geeft antwoord op de vraag wat ledverlichting is en wat zijn hierbij de “tips” en de “tops”.

2. Welke eisen en randvoorwaarden moet je hanteren?

Aan welke eisen dienen armaturen te voldoen die door verschillende leveranciers worden ontwikkeld? Er zijn normen en richtlijnen voor openbare verlichting. Ledverlichting geeft in een aantal gevallen aanleiding tot andere ontwerpinzichten.

3. Hoe komt een juiste keuze tot stand?

Er is sprake van veel aanbod van ledverlichting. Daarbij is er veel kwaliteits- en prijsverschil. Zijn deze verschillen vergelijkbaar? En zo ja, hoe komt dan de aanschaf van het juiste product tot stand?

Deze brochure is in opdracht van DIVV geschreven door Ingenieursbureau Amsterdam (IBA) in nauwe samenwerking met de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV).



Nieuwe grachtenlantaarn. Geen led, maar ook een forse energiebesparing door zuinige lampen

Leeswijzer

Deze brochure geeft inzicht in de mogelijkheden en toepasbaarheid van ledverlichting in de openbare ruimte. Hiervoor is er vanuit verschillende invalshoeken naar de techniek gekeken die voor de gemeente van belang zijn bij het toepassen van verlichting in de openbare ruimte.

In hoofdstuk 1 en 2 wordt van start gegaan met de technische specificaties van de led. Hier is het antwoord op de vraag wat led nu eigenlijk is en welke lichteigenschappen deze techniek heeft. Aansluitend wordt vanaf hoofdstuk 3 ingegaan op de levensduur en het onderhoud van ledverlichting in de openbare ruimte.

Een voorname reden van de potentie van ledtechniek is de beweerde lange levensduur in combinatie met een laag energieverbruik. Hoofdstuk 4 en verder gaat specifiek in op deze, voor de gemeente belangrijke, milieu- en duurzaamheidsaspecten. Diverse proeven in Nederland, waaronder enkele in Amsterdam, hebben een beeld gevormd van de lichtbeleving in diverse situaties (parken, woonwijken e.d.). Resultaten hiervan komen in hoofdstuk 5 aan bod.

Zeker niet onbelangrijk zijn de kosten van deze nieuwe techniek. Hoofdstuk 6 geeft een uitgebreid kostenoverzicht van bijvoorbeeld aanschaf, onderhoud van het materiaal en de winst op de elektriciteitsrekening. Samenvattend biedt hoofdstuk 7 een stand van zaken: hoe staat de gemeente Amsterdam er nu voor met grootschalige toepassing van deze verlichting in de openbare ruimte? De in dit hoofdstuk beschreven onderzoeksresultaten, conclusies en aanbevelingen bieden dit antwoord.



Een led: light emitting diode

1 Stand van zaken

1.1 Werking van de led

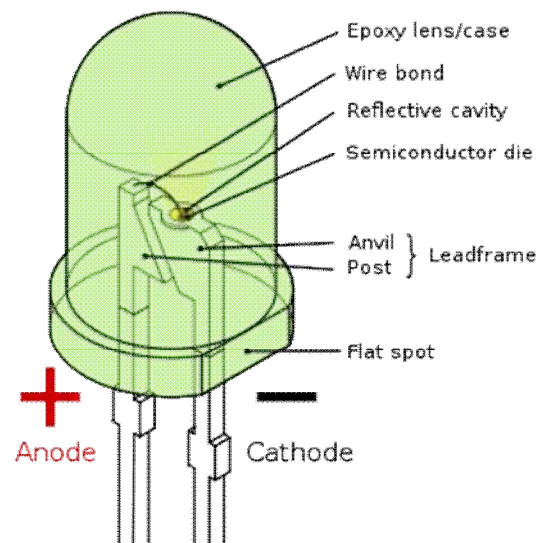
Een led (light emitting diode) is een lichtgevend element dat gemaakt is van twee soorten materiaal, waarbij het ene materiaal positief geladen is en het andere negatief. Het materiaal is gemaakt van een niet-geleidende stof (silicium) waar fosfor (-) of broom (+) aan toegevoegd wordt. Wanneer deze materialen aangesloten worden op elektriciteit, gaat er een stroom lopen. Daarbij komt energie vrij in de vorm van zichtbaar licht. Een belangrijk kenmerk dat verschilt van andere lampen is dat er geen gas of gloeidraad aan te pas komt.

Een led bestaat al vanaf begin vorige eeuw en werd eind jaren '60 van de vorige eeuw in eerste instantie alleen als rood indicatielampje in bijvoorbeeld radio's toegepast. Later zijn er de kleuren geel en groen gekomen. Sinds begin jaren '90 is ook de blauwe led beschikbaar.

De blauwe led is de basis voor het maken van wit licht door op de chip van de blauwe led (een geel filtertje) fosfor aan te brengen en dat zorgt ervoor dat het blauwe licht omgezet wordt naar wit licht. Door deze conversie zijn witte leds per definitie minder efficiënt dan bijvoorbeeld rode, groene en gele leds. Deze lichtkleuren worden namelijk direct opgewekt in de led. Wit licht is ook te realiseren door het licht van rode, groene en blauwe leds te mengen. Deze vorm wordt voor functionele verlichting zelden toegepast.

Om met witte leds een hoge lichtopbrengst te verkrijgen dient er een relatief hoge stroom (350 mA tot 1,5 A) door de chip gevoerd te worden wat de warmtehuishouding van de chip niet ten goede komt. Het is daarom van groot belang dat de led goed gekoeld wordt. De mate waarin dit gebeurt heeft grote invloed op de hoeveelheid licht en de levensduur. Daarnaast produceert de led, in tegenstelling tot lampen als rondstralende lichtbron, een meer gerichte lichtbundel omdat deze op een print is aangebracht: maximaal 170°. Dit in tegenstelling tot veel bestaande lampen die nagenoeg rondom stralen.

Veelal wordt er een lens voor de led geplaatst, afhankelijk van de toepassing. Hierdoor kan naar keuze de lichtbundel variëren van een brede lichtbundel (ca. 100°) tot zelfs een zeer nauwe lichtbundel resp. 120° tot 3°.



Een te verlichten oppervlak in de openbare ruimte dient door meerdere leds aangeliicht te worden om een voldoende hoge lichtstroom te kunnen realiseren. Op dit moment worden hierbij in het algemeen twee technieken toegepast, waarbij meerdere leds bij elkaar worden geplaatst en voorzien worden van:

- § een afzonderlijke lens (lensledtechniek) vaak direct zichtbaar als lichtpuntjes; of
- § cluster van meestal blauwe en rode leds voorzien van een diffusor cq gele lichtconverter naar wit licht (remote-fosfor techniek); uiteindelijk zichtbaar als diffuus oplichtend oppervlak.

Om de kwaliteit van de leds te bepalen dienen de volgende onderdelen getoetst te worden:

- § Kleurconstante; selectie bij productie "binning", kleurverandering bij langer gebruik.
- § Levensduur; leds in relatie met voorschakelapparaat (driver).
- § Koeling; voldoet applicatie aan specsheets leverancier van de leds.
- § Lichtstroom; lichtoutput en terugval.
- § Lichttechniek; functionaliteit in relatie met strooilicht en lichthinder.
- § Opgenomen vermogen; blindstroom, in-/afschakelgedrag, netvervuiling.
- § Uitwisselbaarheid; remplace, verkrijgbaarheid leds op termijn.



Remote-fosfor techniek
"Fortimo modules"



Lensledtechniek



Ledgine modules

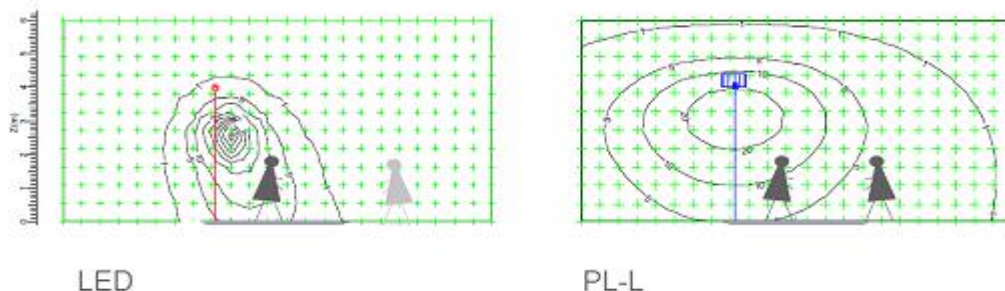
2 Lichttechnische eigenschappen

2.1 Lichtverdeling

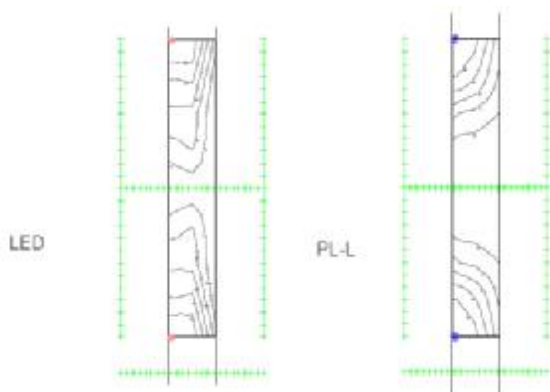
De twee genoemde lichttechnieken, de lensled- en de remote-fosfor techniek hebben in het algemeen de volgende kenmerken:

Lensleds: individuele leds voorzien van lenzen:

Lensleds nemen minder vermogen op om recht onder de lichtbron het vereiste lichtniveau te halen. Dit is met name te danken aan de optische winst door de gebruikte lenzen. Tegelijkertijd is sprake van zeer weinig strooilicht: het licht dat buiten de bundel treedt. Er ontstaat dus een beperkte lichtverdeling (lichtcirkel) op het straatoppervlak. Het is dus ook een uitdaging om lichttechnisch de vereiste gelijkmatigheid te realiseren. Onderstaande berekeningsresultaten geven het verschil aan met betrekking tot gelijkmatigheid op het straatoppervlak. Links ziet u led en rechts de conventionele compacte fluorescentie lamp (PL-L).



Lichtverdeling vertikaal dwars



Lichtberekening van de lichtverdeling op het straatoppervlak

Remote-fosfor: cluster van leds voorzien van diffusor cq lichtconverter:

In het algemeen is de lichtverdeling hierbij meer diffuus net zoals bij de conventionele lichtverdelingen. Voordeel is dat de lichtverdeling gelijkmatiger is en meer gewenst strooilicht levert voor het aanlichten van personen en gevels. Nadeel is dat er relatief meer vermogen nodig is en dus een hoger energiegebruik dan bij het gebruik van lens- leds.

2.2 Lichthinder en –vervuiling

Lichtvervuiling:

Bij lensleds is in veel gevallen nauwelijks strooilicht. Het voordeel hiervan is dat “lichtvervuiling” afneemt. De trottoirs en de rijbaan worden wel verlicht en de tuinen en gevels van woningen niet of nauwelijks. Strooilicht is verlichting op plaatsen waar het eigenlijk niet hoort, maar in de praktijk wel vaak als voordeel wordt gebruikt voor het verlichten van gevels, personen en bermen. Gebruikers hebben wel baat bij strooilicht. Zonder strooilicht kan bijvoorbeeld het sleutelgat van de voordeur niet gevonden worden of worden personen met “kwade bedoelingen” moeilijk waargenomen. Uit de praktijk blijkt dat bij lensleds men meer gevelverlichting naast de toegangsdeuren en portieken gaat aanbrengen. Hierdoor kan het voorkomen dat de energiebesparing in het totaal gezien, direct teniet gedaan wordt. Vanuit dit perspectief kan het beter zijn voor de remote-fosfortechniek te kiezen.

Lichthinder:

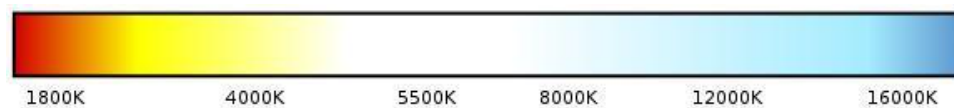
Lensleds kunnen onder bepaalde hoeken grote mate van lichthinder geven voor de weggebruiker. Om een bepaalde lichtverdeling op het straatoppervlak gerealiseerd te krijgen worden meerdere leds onder verschillende hoeken aangebracht. Hierdoor zijn bijvoorbeeld armaturen ontstaan die voorzien zijn van een onderschaal waarop tientallen individuele lensleds zijn aangebracht. Hierbij wordt met een nieuwe verlichtingstechnologie een bestaand, zo wenselijk mogelijk, lichtbeeld nagebootst. De remote-fosfortechniek is ook, net als conventionele lichtbronnen, alleen toepasbaar met speciaal daarvoor ontwikkelde spiegeloptieken. In enkele gevallen zijn de bestaande reflectoren toereikend. De leverancier heeft hiervoor speciaal een zogenaamde “retrofit” module ontwikkeld.



2.3 Lichtkleur en kleurweergave

Lichtkleur:

De kleur van het licht heeft een grote invloed op de kleurbeleving van een ruimte en dus ook de openbare ruimte. De kleurtemperatuur van de lichtbron speelt hierbij een essentiële rol. Wit licht wordt in de volksmond met koel of warm licht aangeduid. De kleurgradatie van het licht wordt vergeleken met het licht dat wordt uitgestraald door een sterk verhitte ijzeren staaf waarvan de temperatuur bekend is. Op deze manier is vastgelegd dat de lichtkleur wordt uitgedrukt door middel van een temperatuurwaarde in Kelvin (K). Daarom wordt de lichtkleur ook wel "kleurtemperatuur" genoemd.



Een lage kleurtemperatuur wijst dus op een warme lichtkleur met een groot aandeel geel en rood. Hoe hoger de kleurtemperatuur wordt, hoe koeler het licht lijkt en hoe groter het blauwaandeel is.

Meer en meer worden koelere kleuren toegepast: een neutrale kleurtemperatuur tussen 5000K en 6000K kan in een aantal gevallen wenselijk zijn en geeft een zeer goede nabootsing van de kleurtemperatuur van de middagzon. Onze ogen zijn door eeuwenlange evolutie hier ook op afgestemd waardoor we kleuren en details beter kunnen onderscheiden bij deze kleurtemperatuur. Hoe dichter de kleurtemperatuur komt bij die van het zonlicht, hoe minder moeite onze hersenen moeten doen om kleuren te corrigeren en hoe minder vermoeiend de lichtbron blijkt.

Op te merken is dat een koelere lichtkleur beter te waarderen is bij een hoog lichtniveau en een warmere lichtkleur bij een laag niveau. Denk hierbij weer aan het zonlicht: heldere middagzon respectievelijk ochtendgloren en avondrood.



kleurtemperatuur 2700K (warmwit)



kleurtemperatuur 6500K (koelwit)

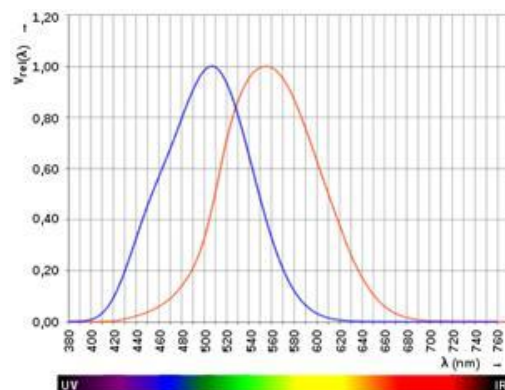
Ledverlichting is momenteel in verschillende kleurtemperaturen verkrijgbaar. Op dit moment zijn witte leds verkrijgbaar met een bereik in een kleurtemperatuur van 2700-9000K. De meest efficiënte is een led die koel licht produceert met een kleurtemperatuur van circa 5500-6500K (koel-wit). In de openbare verlichting wordt deze kleurtemperatuur niet altijd als aangenaam ervaren. De gemeente Amsterdam hanteert een kleurtemperatuur van circa 2700-3000K "warm-wit". Dit is ook vastgesteld in het Beleidsplan openbare verlichting.

Kleurweergave:

Naast de lichtkleur als maatstaf voor de kleurindruk, is het ook van belang dat de kwaliteit van de kleur van voorwerpen gewaardeerd kan worden (kleurherkenning). Deze kwaliteit is sterk afhankelijk van de samenstelling van het kleurenspectrum van een lichtbron. Als kleuren die zichtbaar moeten zijn niet worden opgewekt in een kunstmatige lichtbron zal de reflectie ervan eenvoudigweg ook niet aanwezig zijn. Temperatuurstralers, zoals lampen met een gloeidraad (gloeï- of halogeenlamp), of in de natuur: de zon, geven een zogenaamd continu-spectrum. Hierbij worden alle golflengten opgewekt en zijn dus alle kleuren nagenoeg evenredig zichtbaar. Bij onder andere gasontladingslampen, zoals fluorescentielampen, en leds worden door fluorescerende poeders verschillende delen van het zichtbare spectrum kunstmatig opgewekt. In principe geldt: hoe hoger de kleurweergave des te lager de efficiëntie. De kleurweergave index (Ra) of (CRI) geeft hiervoor de factor aan. Een lamp met een Ra 100 geeft optimale kleurweergave.

Waarnemen:

Een betrekkelijk nieuwe ontwikkeling is het afstemmen van het kleurspectrum aan het aanwezige lichtniveau in relatie met het omgevingslicht. Om de effectiviteit van het spectrum van een lichtbron onder scotopische ('s nachts) zichtomstandigheden te karakteriseren, wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde 'S/P-verhouding' tussen de verschillende zichtomstandigheden. TNO doet op dit moment onderzoek naar de effectiviteit van het zogenaamd mesopisch zien dat zich bevindt tussen het spectrale gebied van scotopisch zicht en fotopisch zicht (overdag).



Ooggevoeligheid van het menselijk oog
blauw = scotopisch zicht ('s nachts),
Rood = fotopisch zicht (overdag)
Bron: wikipedia

Groene led:

Door nieuwe inzichten zijn momenteel landelijk op grote schaal diverse pilotprojecten gestart, waaronder in het Erasmuspark waarbij er gebruik gemaakt wordt van leds die groen licht produceren. Groen licht zou 's avonds evenveel zicht geven als wit licht. Dit komt door het "mesopisch zien". Dit houdt in dat het menselijk oog met minder oogonderdelen kijkt dan bij wit licht. Hierdoor zijn contrasten beter zichtbaar dan bij wit licht. Nadeel is dat in beperkte mate kleurherkenning mogelijk is. Het voordeel van groen licht is dat er minder energie voor nodig is dan voor het produceren van wit licht.

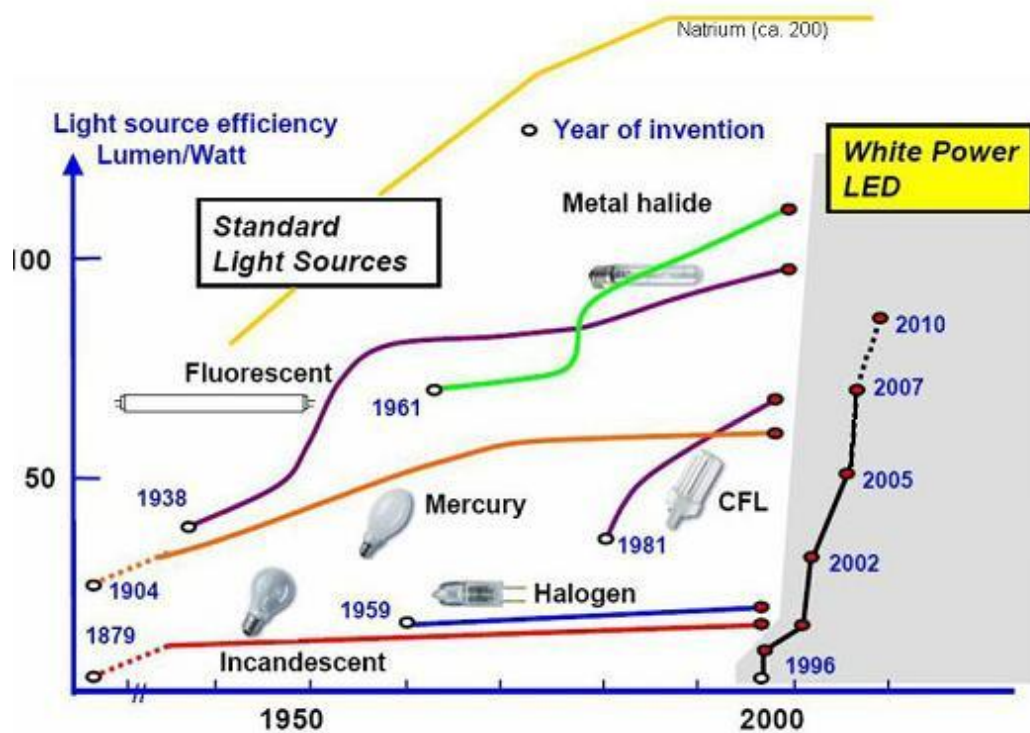
Een ander bijkomend voordeel van groen licht is dat het mogelijk een positief effect heeft op de flora en fauna. Bij huidige traditionele verlichting wordt veelal het totale zichtbare spectrum nagebootst, zoals bij daglicht. Hierdoor kunnen verstoringen ontstaan voor vogels en planten. Hoe groen licht in algemene zin wordt ervaren, is verderop omschreven.

2.4 Lichtbronnen en rendement

De ene lichtbron geeft meer of minder licht dan de andere bij hetzelfde vermogen. De voor een lichtbron benodigde hoeveelheid energie wordt uitgedrukt in watt (W) en de hoeveelheid licht ofwel de lichtstroom in lumen (lm). Het rendement van de lichtbron is de hoeveelheid licht (lumen) die de lichtbron geeft per watt toegevoerd elektrisch vermogen. Dit noemen we de specifieke lichtstroom (lm/W). Hoe hoger deze waarde, hoe hoger het rendement.

In de tabel op de volgende pagina is zichtbaar dat het rendement van de huidige generatie verkrijgbare leds in vergelijking met de meest toegepaste lampsoorten een relatief hoge specifieke lichtstroom heeft. Dit was enkele jaren geleden veel lager en toen presteerde de witte led nog onder de gloeilamp. Hieruit blijkt dat de ontwikkelingen substantieel zijn. Per individuele led is de absolute lichtstroom nog relatief laag in vergelijking met andere lichtbronnen. Door clustering wordt een lichtstroom gerealiseerd die toereikend is om functioneel te kunnen verlichten en zodoende geschikt is voor openbare verlichting. Echter, voor toepassingen waar hoge lichtniveaus vereist zijn, bijvoorbeeld het verlichten van ontsluitingswegen, zijn leds nog niet geschikt. De verkrijgbare leds hebben inmiddels een efficiëntie van meer dan 140 lm/W. Dit is in tegenstelling tot vorig jaar (100 lm/W) een aanzienlijke verbetering.

Lampsoort	lampcode	Vermogen	Lichtstroom	Specifieke lichtstroom
		(W)	(lm)	(lm/W)
Gloeilamp	A60	40	430	11
Compact Fluorescentie	A60	60	730	12
	TC-L	24	1800	75
Metaal Halogeen	TC-L	36	2900	80
	TC-L	55	4800	87
	HIT	35	3000	86
Hogedruk Natrium		70	6600	94
	HSE	150	13500	90
	HSE	70	5600	80
LED* 350m A State of the art	HSE	100	9500	95
	HSE	150	14000	93
		1,2	160	130
		3	480	130



3 Onderhoud

3.1 Levensduur

In de literatuur, in datasheets en productspecificaties wordt er veel gesproken over de levensduur van leds. Een aantal jaren geleden werd door fabrikanten nogal eens gesteld dat een led een bijna eindeloze levensduur heeft voor wat betreft het aantal branduren. Door relativerende berichten door onderzoeks- en meetinstituten werd de “levensduurclaim“ al snel naar beneden bijgesteld naar 80.000 branduren. De levensduur is sterk afhankelijk van de stroom die door de led wordt gestuurd. Bij een lage stroomvoering zal de belasting en dus de levensduur aanmerkelijk langer zijn dan bij een hogere stroomvoering.

In de huidige datasheets worden waarden genoemd van 50.000 tot 60.000 branduren. Deze levensduur wordt vaak gedefinieerd als de duur waarna de lichtbron nog 70% van de initiële waarde aan “output” geeft. Dit in andere verhoudingen tot de levensduurspecificatie van de gebruikelijke gasontladingslampen. Het onderling vergelijken van de levensduur wordt hiermee moeizaam en is een extra aandachtspunt.

Bij een ledapplicatie hoort ook een voeding en elektronische aansturing: de driver genoemd. Ten aanzien van de levensduur is de kwaliteit van de driver net zo belangrijk als de kwaliteit van de led. De elektronica zit vaak geïntegreerd in de applicatie (printplaat waarop de led en de elektronica is aangebracht), waardoor een elektrisch defect meteen uitval van de hele unit betekent. Naast de kwaliteit van de led is dus ook de elektronica mede bepalend voor de uitval van de unit. Uit verkeerslichtstudies is gebleken dat rekening gehouden moet worden met 2-5% uitval in 50.000 branduren.

Op dit moment zijn betrouwbaarheidsgegevens over de levensduur van leveranciers moeilijk te verkrijgen. Daarnaast ontbreekt het op dit moment aan heldere internationale regelgeving waarmee de technische onderlinge verschillen goed met elkaar te vergelijken zijn.

Er worden vele ledapplicaties aangeboden met specificaties die regelmatig gebrekkig zijn. Hierdoor is de kwaliteit niet of nauwelijks verifieerbaar.

Externe mechanische invloeden kunnen de levensduur van de ledunit mede beïnvloeden. Daarom dient er aandacht geschonken te worden aan de gehele applicatie; zowel de ledunit, de driver als de behuizing (lees: armatuur).

Wordt de levensduur van de leds vergeleken met de conventionele lampentypen met een verlengde levensduur, dan zijn deze (nog steeds) geduchte concurrenten van de leds. Bijvoorbeeld de compacte fluorescentie lamp van het type TC-TEL (Philips benaming: PLL Extra) heeft circa 32.000 branduren.

Op dit moment worden er al PLL-lampen met levensduur van tot wel 48.000 branduren geleverd.

Een aandachtspunt is de vermelding van de levensduur door ledfabrikanten. Er wordt uitgegaan van bijvoorbeeld 50.000 uur bij 70% lichtstroombehoud. De levensduur voor compacte fluorescentie lampen wordt genormeerd aangegeven bij 20% lichtstroomterugval bij 10% uitval.

Wanneer genuanceerd naar de specificaties van de compacte fluorescentie lamp wordt gekeken dan kan gesteld worden dat, na correctie, de levensduur van de lamp uitkomt op 60.000 branduren.

De lichtstroomterugval van leds blijkt in de praktijk regelmatig in de eerste paar duizend branduren tot soms wel 20% terug te vallen. Bij conventionele lampen is deze terugval vaak veel later. Dit is een aandachtspunt tijdens het ontwerp als er sprake is van een kritische prestatie-eis voor de hoeveelheid licht gedurende een bepaalde periode.

3.2 Warmtehuishouding

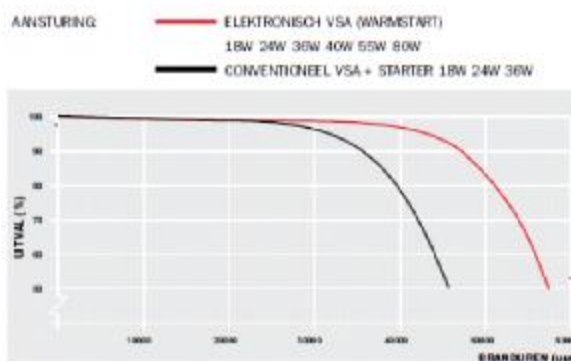
In tegenstelling tot datasheets en specificaties, zetten leds net zoals andere lichtbronnen slechts een deel van de elektrische energie om in zichtbaar licht (gloeilampen ca. 5% en leds tot ca. 40%). Het grootste aandeel wordt ook bij leds omgezet in warmte. Deze warmte moet afgevoerd worden door de ledbehuizing, printplaat en armatuur. Hier moet specifiek rekening mee worden gehouden tijdens het ontwerp van het betreffende armatuur. Daarbij geldt dat hoe hoger de gewenste lichtintensiteit bij hetzelfde type led, hoe meer warmte er geproduceerd wordt.

Het zonder meer toepassen van een uitwisselbare ledunit in een bestaande behuizing (retrofit) is om deze reden niet wenselijk. Vooraf moet worden bepaald wat in dit kader de consequenties zijn.

Een duidelijke trend ten aanzien van de warmtehuishouding is dat de behuizing (lees: armatuur) gebruikt wordt voor het afvoeren van de ontstane warmte. De behuizing fungeert dus tevens als koelelement. Aandachtspunt hierbij is dat verschillende leveranciers armaturen met leds aanbieden, waarbij aan de bovenzijde van de behuizing

LEVENSDUUR	SCHAKELCYCLUS	CONVENTIONEEL VSA +STARTER	ELEKTRONISCH VSA (WARMSTART)
	3 uur 80% lichtstroom	30.000 uur	42.000 uur
12 uur 10% uitval	36.000 uur	48.000 uur	

Levensduur Aura UNIQUE-L en UNIQUE-L COOL
12 uur-schakelcyclus (11 uur aan, 1 uur uit)



koelribben zijn aangebracht. Deze koelribben kunnen een bron van vervuiling zijn waardoor de koelcapaciteit drastisch afneemt en daarmee de prestaties van de leds. Aandachtspunt is dat als de ledverlichting brandt tijdens warme zonneschijn in de zomermaanden dit vernietigend is voor leds. Er moet dus rekening gehouden worden met een zeer goede thermische beveiliging.

3.3 Onderhoudscyclus

Een groot voordeel ten gevolge van de lange levensduur van leds is dat de onderhoudsfrequentie van de verlichting gunstig aangepast kan worden, doordat er in een aantal gevallen minder lampreplace uitgevoerd hoeft te worden. Echter, gelijktijdig met lampreplace wordt het armatuur gereinigd en wordt een visuele inspectie van het object uitgevoerd. Het verdient aanbeveling deze onderhoudstaken wel op te nemen in de onderhoudscyclus van het verlichtingsobject. Als leds aan het eind van hun levensduur gekomen zijn, kost dit substantieel meer geld: een belangrijk punt om mee te wegen in het onderhoudsmanagement ten aanzien van budgettering.

Leds gaan bijna niet stuk, maar geven op den duur minder licht. Regelmatig moet worden gecontroleerd of de verlichting nog binnen de ontwerp- of garantiewaarde valt. Dit is een aspect die bij bestaande verlichting niet of nauwelijks aan de orde is en deze inspectie vraagt derhalve extra tijd, kennis en financiële middelen.

4 Milieu en energieverbruik

4.1 Milieu en duurzaamheid

Bij het produceren van leds en overige benodigde elektronica wordt gebruik gemaakt van zeer giftige stoffen. Ammoniak, arsenicum, stikstof en fosforgas worden gebruikt bij het productieproces en opgeslagen in bulkhoeveelheden op productieterreinen. Bij het zagen of breken van de chips komt stof vrij dat giftig of potentieel giftig kan zijn. Hieraan worden de productiemedewerkers niet zomaar blootgesteld. Deze processen vinden plaats in zogenaamde clean rooms, vergelijkbaar met de overige productie van halfgeleidermateriaal. De chipfabricage is energie-intensief, net zoals de processen om aan de grondstoffen voor ledchips te komen, zoals gallium en indium en de zeldzame aardmetalen die als fosforen worden gebruikt tijdens de productie van witte leds. In tegenstelling tot de meeste gasontladingslampen bevatten leds geen kwik.

Bij de productie van de elektronica wordt tegenwoordig voornamelijk loodvrij gesoldeerd. Bij het reinigen en/of voorbereiden worden wel regelmatig schadelijke oplosmiddelen gebruikt.

Een systeem met geïntegreerde componenten wordt in zijn geheel verwijderd op het moment van bijvoorbeeld disfunctioneren. Het is onduidelijk wat de combinatie van verschillende metalen en kunststoffen betekent voor het milieu en de mogelijkheden van recyclebaarheid van ledunits.

Beschikbaarheid van de grondstoffen

Nieuwe technologieën, waaronder de ledtechniek, zullen op lange termijn in belangrijke mate de wereldwijde vraag naar hightech materialen bepalen. De verwachting is dat in het jaar 2030 de wereldwijde behoefte aan grondstoffen, zoals pallium voor de productie van leds, zesmaal groter zal zijn dan de totale wereldproductie. De ledindustrie kan hierdoor kwetsbaar zijn vanwege lastig verkrijgbare grondstoffen.

Deze grondstoffen zijn tevens slechts beschikbaar in een beperkt aantal landen, waaronder China. Het is onbekend hoe wordt omgegaan met de regelgeving en naleving ten aanzien van milieu- en gezondheidsaspecten en in hoeverre hierin objectief externe controle mogelijk is (denk aan de huidige productiemethode, milieuvervuiling en kinderarbeid).

Voor de CO₂ uitstoot is het duidelijk dat vervanging van minder presterende lichtbronnen door efficiëntere lichtbronnen een enorme winst kan opleveren. Dit geldt nu al voor de bestaande lichtbronnen. Op dit moment zijn door het vervangen van verouderde lichtbronnen voor efficiënte lichtoplossingen jaarlijks (gebaseerd op conventionele technieken) enige tientallen tonnen CO₂ uitstoot bespaard bij de openbare verlichting in Amsterdam.

4.2 Energieverbruik

In het kader van het terugdringen van het energieverbruik worden gangbare inefficiënte lampen vanaf 2009 steeds verder uitgefaseerd en mogen deze niet meer geproduceerd worden voor de Europese markt. Doordat er geen CE-keurmerk aan deze producten wordt toegekend, kunnen deze daarom niet meer in de handel worden gebracht. Een vervanger voor inefficiënte lampen is onder andere inmiddels de led.

De huidige generatie leds kenmerkt zich inmiddels door een relatief laag energiegebruik. Dit wordt bereikt door een nauwkeurig ontwerp. Indien er vergelijkbaar strooilicht wenselijk is dan is ledverlichting net zo efficiënt als compacte fluorescentielampen. De trend naar efficiëntere leds zet zich in een enorm tempo door. De verwachting is dat binnen enkele jaren de efficiëntie twee maal hoger is dan de bestaande compacte fluorescentielamp.

Over het algemeen worden er meerdere leds - gegroepeerd op een printplaat - in een armatuur aangebracht, om zo een gelijkmatige lichtverdeling te verkrijgen zo als bij de conventionele lichtbronnen. Veel armaturen bevatten daardoor tientallen high-power leds die een bepaalde lichtverdeling realiseren. Dit wordt gedaan door een directe methode met lensleds. De remote-fosfortechniek zorgt voor meer strooilicht en is daardoor minder efficiënt (zie paragraaf 4.2). De verwachting is dat binnen nu en vijf jaar de efficiëntie in de ledarmaturen twee maal hoger is dan de bestaande fluorescentielamp. Het totale opgenomen vermogen van een ledarmatuur is op dit moment ongeveer gelijk aan eenzelfde armatuur voorzien van een efficiënte conventionele lichtbron.



Op de volgende pagina is een tabel weergegeven van een leverancier waarbij het opgenomen vermogen van een ledarmatuur wordt vergeleken met een armatuur voorzien van een conventionele lichtbron. Wat in de tabel opvalt, is dat armaturen met led als lichtbron per definitie minder energie verbruiken, maar dat het verschil met de huidige lichtoplossing gering is. Dit komt vooral door de optische winst. Het verdient aanbeveling om tijdens de ontwerpfase de energiebesparing goed te analyseren.

STELA	Energie verbruik (systeem) **	Bestaande oplossing	Energie verbruik (systeem)	Energie besparing 20 jaar ***		CO ₂ reductie 20 jaar ***
				kWh	%	
SQUARE						
10 LED	14W	PL-L24W	26W	800	38	370 kg
14 LED	22W	PL-L36W	37W	1280	43	590 kg
18 LED *	26W	PL-L36W	37W	880	30	405 kg
WIDE						
36 LED	52W	SON-T50W	60W	640	13	295 kg
52 LED	70W	SON-T70W	84W	1120	17	515 kg

* 18 LED uitvoering is met name ook geschikt voor lichtpunthoogte van 6m
 ** opgegeven vermogen bij gebruikstemperatuur van 10°C (tolerantie +/- 7%)
 *** bij 1000 branduren per jaar



Vergelijking led en conventionele lichtbronnen (bron: Indal)

4.3 Blindvermogen

Blindvermogen is vermogen dat niet door de kWh-meter wordt geregistreerd, maar wel in de energiecentrale moet worden opgewekt en getransporteerd. Blindvermogen ontstaat door elektronische apparatuur die zorgt dat de spanning en de stroom niet meer gelijktijdig worden getransporteerd (faseverschuiving). Het energiebedrijf stelt eisen aan de mate waarin dit gebeurt bij afnemers. Dit omdat het energiebedrijf in dikkere (koperen) transportleidingen moet voorzien zonder dat dit effect heeft voor het gebruik van apparatuur.

Door gebruik van elektronische apparatuur is er naast de eerder genoemde faseverschuiving ook sprake van netvervuiling, zogenaamde 'hogere harmonische' genoemd. Aangezien leds worden aangestuurd door elektronische apparatuur (drivers) is het wenselijk om na te gaan wat de effecten hiervan zijn. Drivers onderling blijken in de praktijk nogal eens te verschillen in belasting van het elektriciteitsnet. De negatieve effecten hiervan hebben, zeker bij grote aantallen, een negatieve invloed hebben op het elektriciteitsnet.

In de norm IEC 61000-3-2 worden eisen gesteld aan netharmonische eigenschappen van verlichtingsarmaturen met een opgenomen vermogen groter dan 25VA. In de praktijk blijkt dat de meeste ledapplicaties een opgenomen vermogen hebben dat lager is dan 25VA. Daardoor hoeven deze niet te voldoen aan de gestelde norm. Het blindvermogen ($\cos \varphi$) van sommige drivers blijkt minder te zijn dan 0,1. Dat wil zeggen dat slechts 10% van het totale vermogen wordt omgezet in bruikbaar vermogen. Toegestaan is een $\cos \varphi$ die groter of gelijk is dan 0,85.

Er wordt op dit moment gewerkt aan internationale regelgeving die ledapplicaties onder de 25VA ook gaat normeren, waardoor de kwaliteit in dit opzicht aanzienlijk toeneemt.

5 Beleving

5.1 Inleiding

Het Ministerie van VROM heeft SenterNovem (inmiddels AgentschapNL) in 2008 opdracht gegeven om in samenwerking met de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) in 2008/2009 een gecoördineerde evaluatie uit te voeren bij circa 35 pilotprojecten in 25 gemeenten voor openbare verlichting met ledarmaturen. Tevens zou daarbij informatie uitgewisseld worden met enkele andere gemeenten waaronder: Apeldoorn, Breda, Leiden en Utrecht die ook dergelijke pilotprojecten zelfstandig uitvoeren.

De bedoeling van de evaluatie is om aan de hand van metingen en praktijkervaringen vast te stellen of ledverlichting in de openbare verlichting op korte termijn grootschalig kan worden ingevoerd als een kansrijke energiebesparingstechniek. Daarbij zijn naast de technische prestaties ook de beleving van de oude situatie vergeleken met die van de nieuwe, zowel voor bewoners als voor verkeerdeelnemers.

5.2 Resultaten belevingonderzoek

Van de 35 pilotprojecten, waarvan 2 projecten binnen de gemeente Amsterdam, is van 32 projecten respons ontvangen.

- § Van 24 pilotprojecten is volgens berekeningen en/of lichtmetingen bekend dat het huidige verlichtingsniveau voldoet aan de NPR-13201 aanbevelingen.
- § Van de meeste ledinstallaties die volgens berekeningen en/of lichtmetingen niet blijken te voldoen, blijkt met name de gelijkmatigheid (sterk) onder de maat.
- § Bij een klein aantal installaties wordt aanvullend het gemiddeld gewenste lichtniveau niet gehaald. Vermoedelijk zijn de tekortkomingen het gevolg van een één op één vervanging van het armatuur, waardoor er geen optimaal lichtontwerp ontstaat. Verder blijkt dat nieuwe aanbieders van ledarmaturen vaak nog te weinig ervaring hebben met de markt van openbare verlichting en daardoor niet in staat zijn om betrouwbare lichtontwerpen en de vereiste lichtberekeningen te maken.

Bij de pilotprojecten in Apeldoorn, Breda, Leiden en Utrecht, waarmee lichttechnische meetgegevens zijn uitgewisseld, is het beeld wisselend: van zeer slecht tot goed. Ook hier blijkt dat gemiddeld ongeveer de helft van de ledinstallaties slechts voldoet aan de eisen.

Ten aanzien van de beleving van bewoners en verkeersdeelnemers van de nieuwe situatie kan op dit moment alleen worden afgegaan op de ervaringen van omwonenden in de pilotprojecten.

Dit levert het volgende beeld op:

- § **Apeldoorn:** De beleving wordt in het algemeen niet als slechter ervaren dan de huidige verlichting.
- § **Breda:** De perceptie van hoeveelheid licht en sociale veiligheid door ledverlichting is minder. In de vervolgproef waar de installatie lichttechnisch goed voldoet, scoort de beleving ook goed.
- § **Eindhoven:** In een woonwijk waar warm-witte verlichting aanwezig was en door de bewoners als positief werd ervaren, is een ledinstallatie aangebracht voorzien van koel-witte verlichting met sterk gebundeld licht. De bewoners ervaren deze nieuwe installatie als kil en er werd ook geklaagd over verblinding.
- § **Leiden:** Op de vraag “wat is beter, nieuw of oud?” is het resultaat: 70% van de respondenten vindt de oude installatie beter en 17% vindt de nieuwe beter en 13% vindt het gelijkwaardig. Met name daar waar de gelijkmatigheid van de nieuwe installatie slechter is, beoordelen de respondenten de beleving minder goed.
- § **Uithoorn:** De bewoners die aan (compact)fluorescentieverlichting gewend waren zijn redelijk tevreden over de nieuwe installatie. Echter groene verlichting wordt minder goed gewaardeerd. Dit geldt ook voor ledverlichting met een hoge kleurtemperatuur.
- § **Vught:** Men vond de ledinstallatie te fel. Uit de rapportage bleek dat er onvoldoende strooilicht aanwezig was om de gevels nog in voldoende mate te kunnen waarnemen.

Aanvullend heeft de gemeente Rotterdam een pilot uitgevoerd met ledverlichting voorzien van groen licht. Naar aanleiding van de evaluatie zijn de volgende conclusies getrokken:

- 1 In een woonwijk in Rotterdam is het essentieel dat er voldoende kleur- en gezichtsherkenning mogelijk is. Deze herkenning draagt bij aan het gevoel van sociale veiligheid. Dit wordt onvoldoende door groen licht bereikt en het is in stedelijk gebied daarom beoordeeld als geen goede straatverlichting.
- 2 De Prinses Julianalaan ligt in een stedelijke woonwijk waar veel overgangen zijn van wit licht uit de woningen naar de groene openbare verlichting. De overgangen maken dat de ogen zich vaak moeten aanpassen omdat het om twee verschillende soorten licht en zicht gaat. De optimale aanpassingstijd van de ogen (adaptatie) is circa 5 minuten en maakt dat er een periode van mogelijke desoriëntatie ontstaat. Groen licht in deze straat wordt als niet geoorloofd beoordeeld.
- 3 Aanbevolen wordt onderzoek te doen met verbeterde ledarmaturen met groen licht in Rotterdam in gebieden waar:
 - § Kleurherkenning vanwege de sociale veiligheid, geen belangrijke vereiste is;
 - § Het verbeteren van de oriëntatie van vogels speciale aandacht vraagt;
 - § Weinig overgangen naar wit licht zijn, of waar weinig achtergrondlicht aanwezig is, bijvoorbeeld in groengebieden en aan de kust;

Samengevat:

Men voelt zich redelijk veilig terwijl men zichzelf niet voldoende zichtbaar vindt en anderen niet voldoende zichtbaar zijn. Het lichtniveau wordt als iets te laag ervaren. Kennelijk zijn er ook andere factoren die het veiligheidsgevoel beïnvloeden dan het herkennen van andere personen. Met name de zichtbaarheid van gevels, als grens van het blikveld, lijkt het veiligheidsgevoel positief te beïnvloeden.

6 Kosten

De gemeente wordt geacht verantwoord met haar (financiële) middelen om te gaan. De gemeente dient zich bij het bepalen van de kosten niet blind te staren op korte terugverdien-periodes van bijvoorbeeld 5 jaar.

De zogenaamde LCA analyse (totale beheerkosten van “wieg tot graf”) wordt bepaald door drie aspecten:

- § initiële kosten (aanschafkosten)
- § energiekosten
- § exploitatiekosten (onderhoud, vervanging, recycling)

6.1 Initiële kosten

Ledsystemen zijn vooralsnog kostbaarder in aanschaf dan de conventionele systemen. De meerkosten van leds ten opzichte van conventionele armaturen dalen geleidelijk, maar bedragen momenteel nog circa 25% of hoger. Om te profiteren van de voordelen, moet er eerst (fors) geïnvesteerd worden. De financiële mogelijkheden en het draagvlak daartoe moet dan wel aanwezig zijn. Marktinformatie en de verlichtingsbeurs “Light and Building” in Frankfurt (april 2010) geven een signaal af van spectaculaire doorbraken in de prijsstelling voor ledtoepassingen in de openbare verlichting. Naar verwachting zullen de prijzen de komende twee jaar met ca. 30% dalen bij gelijkblijvende prestatie.

6.2 Energiekosten

Om een goed beeld te krijgen van de energiekosten dient niet alleen gekeken te worden naar leds als lichtbron, maar ook naar het totale systeem, dus inclusief de randapparatuur (drivers) die ook energie verbruiken. Net als de voorschakelapparatuur van conventionele verlichtings-toestellen. Om de lichtopbrengst constant te houden gedurende de levensduur, zal meer stroom door de leds gevoerd moeten worden, wat leidt tot een hogere opgenomen vermogen. En dus hogere energiekosten. Daarnaast zal de energieprijis stijgen.

6.3 Exploitatiekosten

Exploitatiekosten worden gevormd door preventief onderhoud, zoals het periodiek reinigen van de armaturen en het planmatig vervangen van materialen ten gevolge van einde levensduur van objectonderdelen: lichtbron, armatuur en voorschakelapparatuur. Daarnaast bestaan de exploitatiekosten uit correctief onderhoud, zoals het verhelpen van storingen en schades. Extra kosten die meegenomen moeten worden zijn kosten voor de inzet van materieel en wegafzettingen om preventief en correctief onderhoud te kunnen uitvoeren.

Bij het remplacieren van lampen wordt meestal ook het armatuur gereinigd. Bij leds zal minder sprake zijn van “groepsgewijs replace” en zal de nodige reiniging van de armaturen toch nog gescheiden uitgevoerd moeten worden. Ook bestaat de kans dat de leds als lichtbron langer mee gaan dan de drivers (elektronica)

6.4 Voorbeeld berekening

Ter vergelijking is op de volgende pagina een berekening van de totale kosten (Life Cycle Cost analyse) weergegeven van een mastarmatuur in combinatie met een:

§ Conventionele lichtbron: compacte fluorescentielamp type PLL36W

§ Led: remote-fosfortechniek van het type Philips Fortimo LED 30W.

Om een volledig beeld te geven van alle kosten (initiële kosten + exploitatiekosten + energiekosten) is in de bijlage de onderhoudsactiviteiten in een onderhoudsschema weergegeven. In het onderhoudsschema is een tijdsbalk gedurende de gehele levensduur van een lichtmast uitgewerkt.

	Uitgangspunten berekeningen:		
	Lichtmast 4 mtr met paaltoparmatuur en lamp PLL36W.	Lichtmast 4 mtr met paaltoparmatuur en lamp PLL36W Extra <i>*Opmerking: wordt toegepast bij vervanging en nieuwbouw. Daarbij wordt een PLL lamp toegepast met langere levensduur.</i>	Lichtmast 4 mtr met paaltoparmatuur en Fortimo LED 30W
Levensduur mast:	40 jaar	40 jaar	40 jaar
Levensduur armatuur:	20 jaar	20 jaar	26 jaar*
Branduren lichtbron:	16.000 uur	48.000 uur	50.000 uur
Brandschema OV:	4100 uur per jaar	4100 uur per jaar	4100 uur per jaar
Levensduur lichtbron:	4 jaar	10 jaar	13 jaar
Opgenomen vermogen:	38W	38W	32W
Schilderfrequentie mast:	10 jaar	10 jaar	10 jaar
Schoonmaakfreq. mast:	5 jaar na schilderactie	5 jaar na schilderactie	5 jaar na schilderactie
			<i>*opmerking:afweging om de technische levensduur v/h armatuur te verlengen van 20 jaar naar 26 jaar (optimaal gebruik levensduur v/d led). Hierdoor is de levensduur armatuur 2xlichtbron. Door het verlengen van de levensduur van het armatuur is er een verhoogde kans tot storingen/defecten.</i>

Berekeningsresultaten:		
TCO lichtmast 4 mtr met Paaltoparmatuur en lamp PLL36W		
initiële kosten:	Levering materiaal en uitvoeringswerkzaamheden	€505,67
Exploitatie kosten:	preventief onderhoud:	€436,48
Energie kosten:		€236,44
		€1.178,59

Berekeningsresultaten:		
TCO lichtmast 4 mtr met Paaltoparmatuur en Lamp PLL36W Extra		
initiële kosten:	Levering materiaal en uitvoeringswerkzaamheden	€507,95
Exploitatie kosten:	preventief onderhoud:	€381,45
Energie kosten:		€236,44
		€1.125,84

Berekeningsresultaten:		
TCO lichtmast 4 mtr met Paaltoparmatuur en lichtbron Fortimo LED 30W		
initiële kosten:	Levering materiaal en uitvoeringswerkzaamheden	€653,45
Exploitatie kosten:	preventief onderhoud:	€682,42
Energie kosten:		€199,11
		€1.534,98

Een gedetailleerde berekening van de boven vermelde berekeningsresultaten is in de bijlage nader uitgewerkt.

Samengevat:

De toepassing van led als lichtbron in een paaltoparmatuur leidt nog niet tot terugverdienen van de extra investeringskosten. Dit is gelegen aan het feit dat de aanschafprijs van leds als lichtbron nog te hoog is.

Er wordt weliswaar energie bespaard (32W ten opzicht van 38W opgenomen systeemvermogen), en er hoeft minder preventief onderhoud gepleegd te worden door lampvervanging. Het verdient wel aanbeveling om periodiek het armatuur te reinigen.

Opmerking: Deze vergelijking geldt voor de gemeente Amsterdam. Doordat de energiekosten laag zijn is de terugverdientijd relatief lang. Voor een andere gemeente die een hogere energieprijis betalen zal het resultaat gunstiger zijn.

7 Resultaten en conclusies

7.1 Toepassing led in de openbare verlichting

De led als lichtbron voor de openbare verlichting is in volle ontwikkeling en is technisch gesproken al toepasbaar. Met daarbij de volgende opmerkingen en aandachtspunten:

- § Er worden op dit moment twee ledtechnologieën toegepast: Lensleds en remote-fosfor. Lensleds produceren nu nog een beperkte lichtverdeling op het straatoppervlak.
- § Remote-fosfortechniek geeft in het algemeen een geringere besparing maar een betere gelijkmatigheid en beter visueel comfort dan lensleds.
- § Lensleds geven minder strooilicht, waardoor in het algemeen lichtvervuiling afneemt. Aandachtspunt hierbij is dat burgers wel baat hebben bij strooilicht. Strooilicht geeft een betere verticale verlichting en draagt bij aan herkenbaarheid van personen en daardoor aan het gevoel van sociale veiligheid. De optische efficiëntie zowel als de energie-efficiëntie is hoger dan bij remote-fosfortechniek.
- § Op dit moment is het de vraag in hoeverre de gelijkmatigheid en de verlichtingssterkte in een stedelijk gebied voldoende toereikend zijn. Zodat geen donkere plekken tussen de masten ontstaan en er meer masten nodig zijn om een goed verlicht oppervlak te verkrijgen. Anders is er geen sprake van energie- en kostenbesparing.
- § De effecten van een ander kleurenspectrum (bijvoorbeeld groen licht) zijn nog niet geheel bekend. Het kijken in het 'mesopisch gebied' door toepassen van groene leds kan mogelijk wel bij lage lichtniveaus volstaan, echter de gemeente is voor de veiligheid van de buitenruimte verantwoordelijk. Een lager verlichtingsniveau is een beleidsmatige afweging. TNO doet op dit moment onderzoek hoe en in welke mate mesopisch licht effect heeft op de waarneming. De resultaten hiervan worden eind 2010 verwacht.
- § Uit de ledpilot van AgentschapNL is gebleken dat kijken in het 'mesopisch gebied' niet direct bijdraagt aan het gevoel van een betere sociale veiligheid. Kleur- en gezichtsherkenning worden onvoldoende bereikt.
- § Bij de productie van leds en bijbehorende elektronica wordt er gebruikgemaakt van zeer giftige stoffen. Onder andere ammoniak, arsenicum, stikstof en fosforgas worden gebruikt bij het productieproces van leds.
- § De grondstoffen, benodigd voor de productie van leds, zijn slechts in een beperkt aantal landen beschikbaar, waaronder China. Een aandachtspunt daarbij is hoe er wordt omgegaan met de regelgeving en naleving ten aanzien van milieu- en gezondheidsaspecten en in hoeverre hierin objectief externe controle mogelijk is (denk aan huidige productiemethodes, milieuvervuiling en kinderarbeid).
- § Leds met een hoge kleurtemperatuur hebben een hoger rendement (lm/W) dan andere lichtbronnen maar blijken als toepassing nog minder geschikt voor verblijfsgebieden.
- § De initiële kosten (aanschafkosten) zijn nog ca. 25% of hoger dan conventionele verlichting en de vervangingskosten van leds als lichtbron, zijn eveneens (nog) te hoog, waardoor de extra investeringen niet of nauwelijks kunnen worden

terugverdiend. De verwachting is dat binnen nu en enkele jaren de initiële kosten van leds met ca. 30% dalen bij gelijkblijvende performance.

- § Leds hebben weliswaar een laag energieverbruik, maar ten gevolge van de lichttechnische eigenschappen dienen er meerdere gegroepeerd toegepast te worden om een straatoppervlak voldoende te verlichten. Hierdoor wordt er nog slechts in beperkte mate energie bespaard. Deze energiebesparing kan zo gering zijn dat de investeringen niet of nauwelijks terugverdiend zullen worden voor de gemeente Amsterdam. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat DIVV tegen een laag tarief energie inkoopt.
- § Leds hebben een relatief langere levensduur. Dit leidt tot een ander onderhoudsprogramma, waarbij er blijvend aandacht geschonken moet worden aan het periodiek reinigen van de armaturen.
- § Een led gaat afhankelijk van de koeling en stroomvoering gemiddeld 50.000 branduren mee. Hiermee wordt bedoeld dat na deze termijn de hoeveelheid licht ca. 30% lager is dan de initiële waarde. Een led gaat bijna niet defect. Dit houdt in dat pas na 12 á 13 jaar de lichtbron vervangen moet worden. Afhankelijk van het systeem en de prijsontwikkeling van de leds moet rekening gehouden worden met relatief hoge vervangingskosten.
- § De kans bestaat dat de led als lichtbron de driver overleeft in plaats van andersom. In slechts een aantal gevallen is op dit moment mogelijk de driver separaat uit te wisselen. In de toekomst moet het standaard mogelijk zijn om drivers uit te kunnen wisselen. Daarnaast is het van belang dat als de leds aan het eind van hun levensduur zijn, deze relatief eenvoudig uit te wisselen zijn voor eventueel een nieuwere en betere generatie.
- § Er bestaan op de markt conventionele lampen met een verlengde levensduur. Fabrikant Philips bijvoorbeeld, levert aan DIVV compacte fluorescentie lampen met een verlengde levensduur van 32.000 branduren. Hierdoor zijn deze lampen in dit opzicht nog steeds een geduchte concurrent van de leds. Zeker als de levensduur evenredig wordt gewogen.
- § De burger voelt zich redelijk veilig met leds als lichtbron in de openbare ruimte. De verticale verlichting wordt als te gering ervaren en men vindt zichzelf en anderen onvoldoende zichtbaar en het verlichtingsniveau in algemene zin wordt als iets te laag ervaren. De zichtbaarheid van gevels en groenstroken, als grens van het blikveld, lijkt hierbij het veiligheidsgevoel te beïnvloeden.
- § Een nieuwe tendens is het gebruik van zogenaamde 'retrofit' elementen. Dit biedt de mogelijkheid om de bestaande conventionele lichtbronnen te vervangen door leds in hetzelfde armatuur. Indien goed toegepast blijven de fotometrische eigenschappen van een armatuur nagenoeg identiek.

7.2 Overwegingen en aanbevelingen

- § Het verdient de aanbeveling nog meer aandacht te schenken aan het lichtontwerp wanneer leds als lichtbron worden toegepast. Met name de toepassing van direct gerichte lensleds kan resulteren in te weinig strooilicht, waardoor verticale objecten zoals gevels, groenstroken, mensen en obstakels niet goed verlicht en dus niet goed waargenomen kunnen worden. In verband met het nodige strooilicht kan er gebruikgemaakt worden van de 'bermfactor'. De nieuwe generatie lensleds geeft hierin zichtbare verbeteringen. Leds in combinatie met een (spiegel)optiek en/of een

microprisma hebben dit probleem in mindere mate. Deze technieken worden op dit moment als nieuwe ontwikkeling ingezet. Het is raadzaam de ontwikkelingen op dit gebied nauwlettend te blijven volgen.

- § Tijdens het lichtontwerp zal minder aandacht moeten uitgaan naar alleen techniek, maar meer naar de gewenste beleving, lichtopbrengst, lichtkleur kleurweergave, levensduur en onderhoud. Dit maakt het ontwerpproces complexer en vraagt dus meer kennis, tijd en dus financiële middelen.
- § Door het verschil in lichttechnische eigenschappen zal bij vervanging van de bestaande (conventionele) verlichting altijd berekend moeten worden of in de nieuwe situatie een tenminste vergelijkbare kwaliteit van de verlichting bereikt wordt als in de oude situatie.
- § Zoals uit de resultaten is gebleken kunnen leds nu al toegepast worden in gebieden waar lage verlichtingsniveaus vereist zijn. Hierbij valt te denken aan verblijfsgebieden met een verlichtingsklasse van S5: horizontale verlichtingssterkte van gemiddeld 3 lux en een gelijkmatigheid van tenminste 0,2, of een verlichtingsklasse van S6: horizontale verlichtingssterkte van gemiddeld 2 lux en een gelijkmatigheid van tenminste 0,3, waarbij het wegprofiel niet te breed is. Te denken valt aan fietspaden met een breedte van circa 3 meter of aan smalle woonstraten. Een kanttekening daarbij is wel om de (huidige) mastafstanden in ogenschouw te nemen tijdens de ontwerpfase van de verlichting.
- § Het is in een aantal gevallen aan te bevelen te werken met 'retrofit' voorzien van remote-fosfortechnologie. Het biedt de mogelijkheid om de bestaande lichtbronnen te vervangen door leds als lichtbronnen. Hierdoor blijven de fotometrische eigenschappen van een armatuur nagenoeg als vanouds. Bij armaturen met directe lensleds kan er bij retrofit sprake van een duidelijk andere (onwenselijke) lichtverdeling.
- § Het staat vrijwel zeker vast dat de led de komende jaren nog een flinke ontwikkeling doormaakt en dat we op dit moment aan het begin staan van een nieuw lichttijdperk. Amerikaans onderzoek wijst uit dat de wereldwijde groei van leds de komende vijf jaar verdrievoudigd met een totale omzet van \$15 miljard. Dit houdt in dat een groot deel van de conventionele verlichting vervangen gaat worden. De prijzen dalen komend jaar met 30% als de voorraden stabiel blijven (gemiddeld 12 weken leveren na order intake) bij dezelfde prestaties. Door de genoemde resultaten in dit rapport is te concluderen dat het nog te vroeg is om leds op grote schaal toe te passen. Daarnaast is het gezien de ontwikkelingen essentieel de markt goed te blijven volgen.
- § Recent heeft fabrikant Philips 'retrofit' toepassingen ontwikkeld (Fortimo en LEDgine), waarbij bestaande lichtbronnen vervangen kunnen worden door ledmodules met een relatief hoge lichtstroom van circa 3000 tot 4500 lumen en een kleurtemperatuur tussen 3000 en 4000K. Dit biedt de mogelijkheid om hogere lichtniveau's op het straatoppervlak te realiseren. Hierdoor is het binnenkort ook mogelijk worden om op beperkte schaal ontsluitingswegen met leds te verlichten.
- § De verwachting is dat de komende jaren de efficiëntie (lm/W) van leds enorm verbeterd is. Een laboratoriumopstelling bij ledproducent Cree geeft in mei 2010 een resultaat van 208 lm/W, bij 25°C omgevingstemperatuur, lichtkleur 4579 K. Vanaf april 2010 verkrijgbaar: 160 lm/W.(Bron: Cree)
- § Gezien de zeer snelle ontwikkelingen is het van belang om de komende periode veel ervaringen op te doen met het toepassen van leds in de openbare verlichting.

Bijlage 2 Bronvermelding

De volgende bronnen zijn geraadpleegd voor deze rapportage:

- § Ledarmaturen toetsingskader woonomgeving, IGOV
- § Rapport: Evaluatie groene leds gemeente Rotterdam
- § Rapport: Lichtmetingen pilotproject Breda, Lichtconsult.nl
- § Artikel: Belevingstudie ledpilotproject, Arcadis
- § GOV toetsingskader, Innolumis Lumis-ledarmatuur
- § Korte notitie over "stand van zaken van de techniek van ledverlichting", AgentschapNL
- § Rapport: Pilot Openbare Verlichting, AgentschapNL.
- § Inzichten ledcommissie NSVV

Colofon:

Deze brochure is in opdracht van DIVV geschreven door Ingenieursbureau Amsterdam (IBA) in nauwe samenwerking met de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV).

Uitgave door de gemeente Amsterdam, Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer, november 2010. Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen zonder bronvermelding.

Oplage: 300

Vormgeving: DIVV, Stadsdrukkerij Amsterdam

Met dank aan:

Marco Bakker (Ingenieursbureau Amsterdam, IBA)

Robert Jan Vos (Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, NSVV)

Hans Akkerman (Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer, DIVV)

Vincy de Kok (Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer, DIVV)

Gertjan Bennink (Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer, DIVV)

www.amsterdam.nl/licht