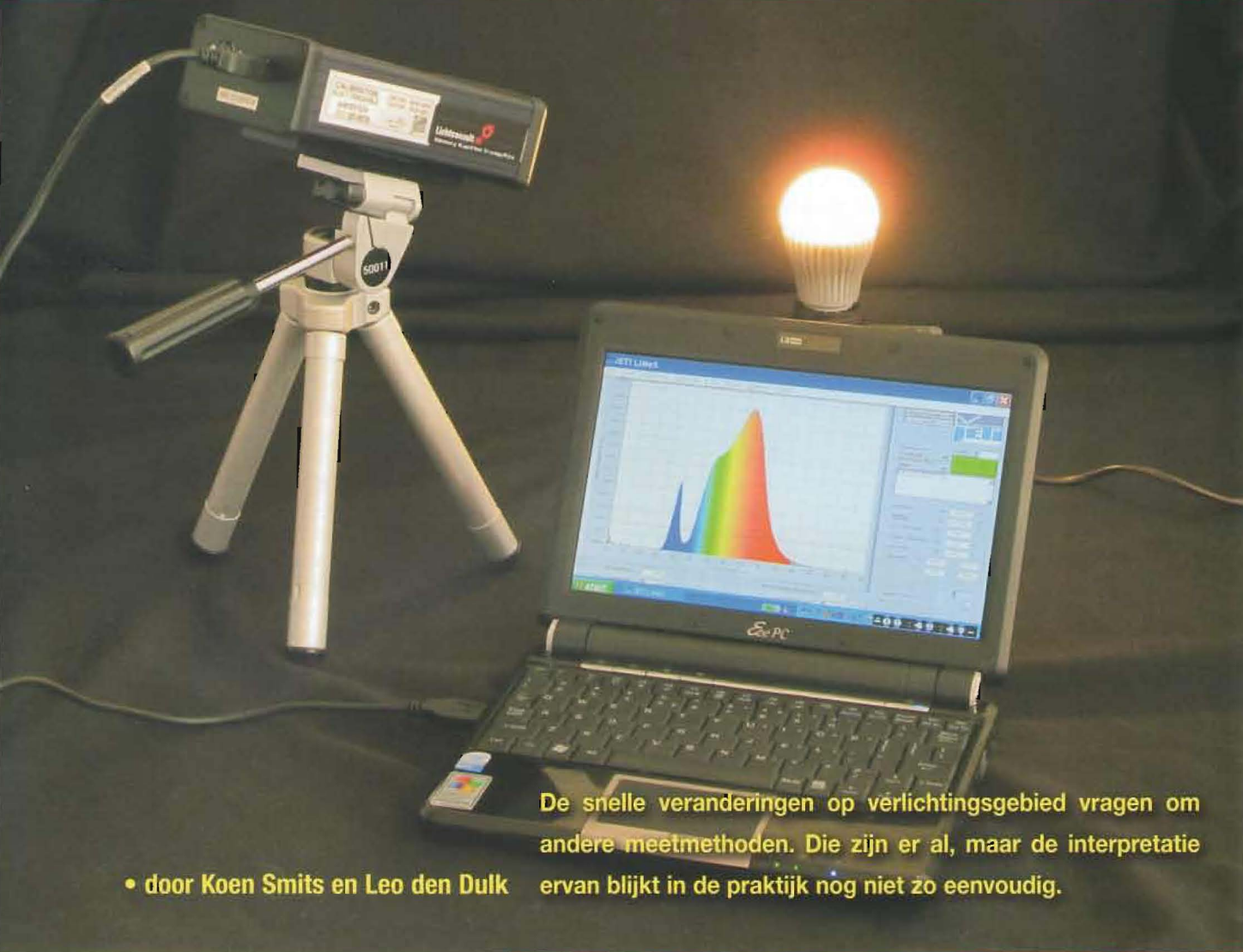


Nieuwe methoden om verlichting te meten



• door Koen Smits en Leo den Dulk

De snelle veranderingen op verlichtingsgebied vragen om andere meetmethoden. Die zijn er al, maar de interpretatie ervan blijkt in de praktijk nog niet zo eenvoudig.

Meting van het spectrum van een ledlamp.

Eén van de nieuwe methoden voor lichtmeting, het *Unified System of Photometry*, is bedoeld om de gebruikelijke waarden van dag- en kunstlicht om te rekenen naar equivalente waarden van mesopisch licht. Een ander actueel onderwerp is de invloed van verlichting op onze biologische klok, het circadiaans ritme. Via een derde receptor in het oog zijn we gevoelig voor specifieke delen in het zichtbare spectrum. Dit vereist een nieuwe manier van het beoordelen van kunstverlichting.

Fotopisch zicht

Het zien bij daglicht en kunstlicht, het fotopisch zicht, gebeurt met de kegeltjes in het netvlies van het oog. Verlichtingsinstallaties worden veelal getoetst op basis van

de meest bekende fotopische eenheden: verlichtingssterkte (lux), gelijkmatigheid (minimale verlichtingssterkte gedeeld door de gemiddelde verlichtingssterkte) en luminantie (candela per vierkante meter).

De basis van deze eenheden is lichtstroom. Lichtstroom wordt berekend op basis van de menselijke ooggevoelheidscurve $V(\lambda)$. Deze curve geeft de mate aan waarin ons oog gevoelig is voor de verschillende golflengten in het totale zichtbare spectrum.

Deze gebruikelijke benadering in de lichtmeetkunde houdt alleen verband met het fotopisch zicht. De piek van de ooggevoelheidscurve ligt rond de 555 nanometer. Dit komt overeen met het groen-gele golflengtegebied.

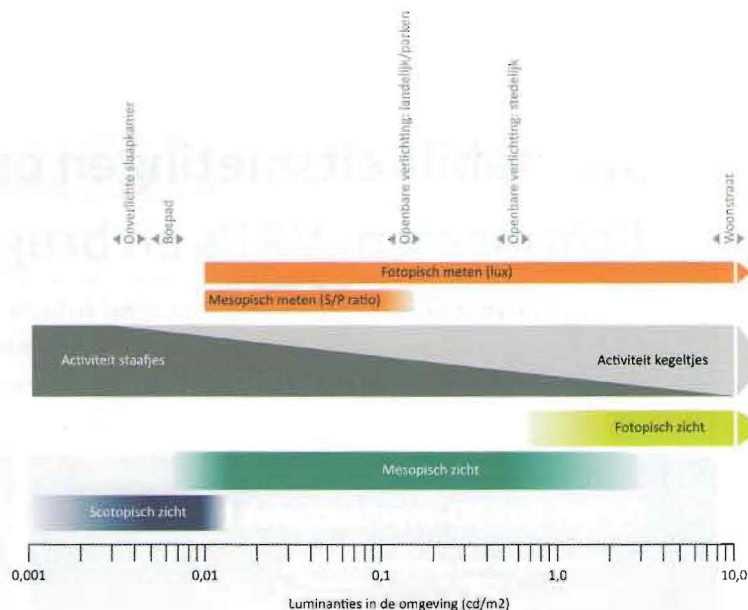
Scotopisch zicht

Het menselijk oog kan niet alleen fopisch zien, maar ook scotopisch. Dit is het nachtzicht, het zien met de staafjes in het netvlies. Het woord scotopisch is afgeleid van het Griekse *skotos*, duisternis. Wanneer het oog alleen zeer lage lichtniveaus aangeboden krijgt en er een zekere adaptieperiode is verstreken, treedt het scotopisch zicht in werking. Men gebruikt dan alleen de staafjes om helderheid waar te nemen. Kleurwaarneming blijft grotendeels achterwege, omdat staafjes geen rood waarnemen. De ooggevoeligheid is ongeveer tweeënhalf keer zo groot als bij fopisch zicht en wordt eveneens beschreven door een curve. Deze is vrijwel gelijk van vorm als die van fopisch zicht, maar is in het zichtbare spectrum verschoven richting violet. De piek van de scotopische ooggevoeligheidscurve ligt rond de 505 nanometer. Dit komt overeen met het blauw-groene golflengtegebied.

Mesopisch zicht

Mesopisch zien is een combinatie van fopisch en scotopisch zien. Of men fopisch of scotopisch ziet, hangt af van de luminanties in het blikveld. Het aandeel van elk waarnemingstype kan dus variëren, en de waarnemingstypen overlappen. De wetenschap is het nog niet eens over de exacte afbakening van het mesopisch zicht, maar in algemene zin kan men de volgende grenzen aanhouden: de werking van de staafjes is bij $0,6 \text{ cd/m}^2$ en hoger te verwaarlozen. De volwaardige waarneming met de kegeltjes begint pas bij 3 cd/m^2 .

De interesse voor mesopisch zicht groeit, omdat men door rekening te houden met deze 'nieuwe' vorm van zien de mogelijkheid heeft het energieverbruik van verlichtingsinstallaties terug te dringen. De mesopische verlichtings-



Schema van scotopisch tot fopisch zicht ten opzichte van de omgevingsluminantie. In het schema is direct zichtbaar hoe de waarnemingstypen in elkaar overlopen. Uit onderzoeken blijkt dat het onmogelijk is om een scheiding aan te brengen tussen de activiteit van de staafjes en de kegeltjes. Beide spelen een rol in de waarneming, hoe laag of hoe hoog de gebruikelijke omgevingsluminanties ook zijn.

nemen. Een snelle schakeling tussen fopisch en mesopisch zien vraagt veel inspanning en verlaagt daardoor het visuele comfort.

Vervreemding

Psychologische factoren spelen tevens een rol: een plotse verandering beeld met afwijkende lichtkleuren kan vervreemding veroorzaken. Dit kan de sociale veiligheid aanzienlijk beïnvloeden.

Soms kan er een conflict ontstaan met belangrijke richtlij-

'In het ergste geval verschaft kunstverlichting een oudere weggebruiker onvoldoende zicht en kunnen gevaarlijke situaties ontstaan'

armaturen hebben een piek in het spectrum rond de 500 tot 530 nm. Door beter gebruik te maken van de kegeltjes (fopisch zicht) en de hogere gevoeligheid van de staafjes (scotopisch zicht), zou men bij lagere (fopische) verlichtingssterktes even goed kunnen waarnemen.

Aandachtspunten bij mesopisch zicht

Beter gebruik maken van het mesopisch zicht biedt met andere woorden mogelijkheden om het energieverbruik voor verlichting te verminderen. Er zijn echter veel factoren die een invloed hebben op de effectiviteit van het mesopisch zicht. Zo moeten de luminanties in de omgeving hoog genoeg zijn om mesopisch zicht mogelijk te maken (zie tabel hieronder). Daarnaast heeft het menselijk oog tijd nodig om zich in te stellen op een andere manier van waar-

nen voor verlichting: het politiekeurmerk bijvoorbeeld stelt eisen aan de kleurweergave waaraan een mesopische verlichtingsinstallatie soms niet kan voldoen.

Het blijkt dat fopisch zicht in veel gevallen toch een onmisbare component in de visuele waarneming is: het menselijk oog gebruikt ook bij mesopisch zien vaak in eerste instantie de staafjes om de periferie waar te nemen (perifeer zien), om vervolgens met de kegeltjes het detail vast te stellen (foveaal zien). Het onbewuste samenspel van perifeer en foveaal zien bepaalt de totale waarneming.

Met de jaren minder blauw

Verouderingsverschijnselen hebben eveneens invloed op de kwaliteit van de waarneming. De lens van het menselijk oog vergeelt met de jaren, waardoor de piek in het blauw-

	Ondergrens	Bovengrens
Scotopisch zicht	–	0,003 – 0,01
Mesopisch zicht	0,01	0,6 – 3*
Fotopisch zicht	3 – 10	–

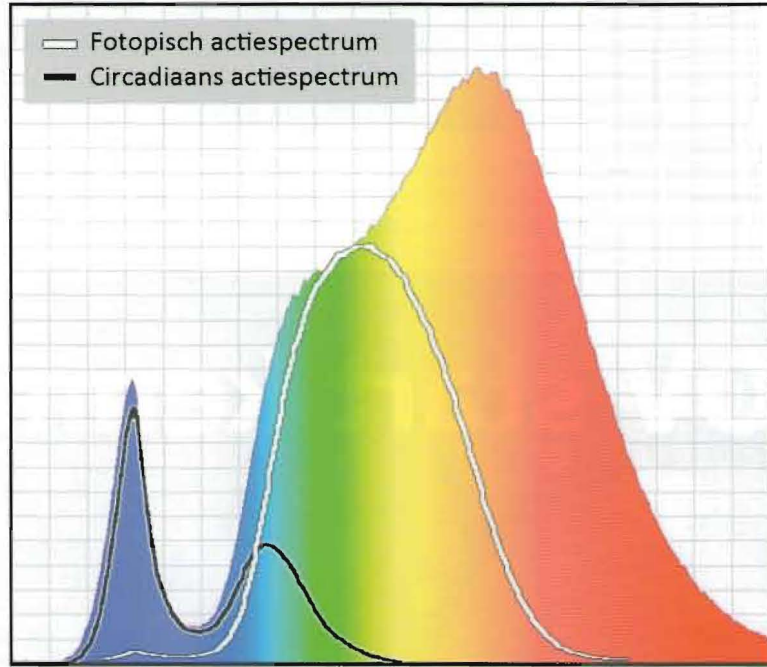
Fotopische grenswaarden, luminantie in cd/m^2 .

groene spectrum in mindere mate wordt doorgelaten. Daarmee vermindert het mesopisch zien aanzienlijk of verdwijnt zelfs helemaal. In het ergste geval verschaft de kunstverlichting een oudere weggebruiker niet voldoende zicht en kunnen gevaarlijke situaties ontstaan.

Circadiaans ritme

Een ander onderwerp is de invloed van verlichting op onze biologische klok, het circadiaanse ritme. Via een derde soort lichtgevoelige cellen in het oog naast de staafjes en kegeltjes zijn we gevoelig voor specifieke delen in het zichtbare spectrum.

Deze biologische waarneming vertoont meettechnisch een samenhang met de mesopische waarneming. In beide gevallen wordt er immers een waarneming gedaan op basis van een ander golflengtegebied in het spectrum dan die van de fotonische ooggevoeligheidscurve. De invloed van licht op ons circadiaanse ritme wordt beschreven door de circadiaanse curve. Deze geeft aan voor welke delen van het spectrum de derde receptor gevoelig is.



De spectrale verdeling van de warmwitte ledlamp. De witte lijn toont de fotonische ooggevoeligheidscurve $V(\lambda)$ en de zwarte lijn toont de circadiaanse actiecurve $C(\lambda)$. Het gebied onder deze lijnen vertegenwoordigt het relevante actiespectrum. Saillant detail: alles wat buiten de witte curve valt, kan als verlies worden aangemerkt bij de fotonische waarneming.

Lichtbron	Warmwitte ledlamp
Kenmerk	Groot aandeel groen-geel-rood
Fotopisch actiespectrum	1,77 W/m ² (komt overeen met ca. 1206 lux)
Circadiaans actiespectrum	0,53 W/m ²

Meetresultaten van het fotopisch en circadiaans actiespectrum. Deze resultaten stemmen overeen met de figuur hierboven.

De mens leeft vandaag de dag grotendeels onder kunstlicht. De invloed van kunstverlichting op ons circadiaans ritme is dus een nieuw, maar belangrijk aandachtsgebied.

Circadiaans effect ledlamp

Hoe dit in de praktijk werkt, blijkt uit het volgende voorbeeld, waarin de spectrale verdeling van een warmwitte ledlamp gemeten wordt. Vervolgens toetsen we het energyspectrum aan de

fotopische ooggevoeligheidscurve $V(\lambda)$ en de circadiaanse curve $C(\lambda)$. De laatste meetwaarde, het circadiaans actiespectrum, vertelt ons welk aandeel van het spectrum dat door een lichtbron wordt uitgezonden van invloed is op het circadiaans ritme. Dit getal is een absolute energiewaarde (in watt per vierkante meter of steradiaal, afhankelijk van de meetwijze) en kan direct vergeleken worden met die van een andere lichtbron of

verlichtingsarmatuur. Een andere lichtbron die een circadiaans actiespectrum heeft van bijvoorbeeld 0,4 W/m² zal daardoor minder invloed uitoefenen op de biologische klok dan de warmwitte ledlamp uit dit voorbeeld.

www.lichtconsult.nl

