

# Werkverlichting: visuele en biologische effecten (1)

Ir. W.J.M van Bommel en  
Ir. G.J. van den Beld

*De twee auteurs, afgestudeerd in respectievelijk natuurkunde en elektrotechniek, werken sinds het begin van de jaren 1970 bij Philips Lighting. Zij zijn in verschillende functies betrokken geweest bij fundamenteel onderzoek van uiteenlopende verlichtingstoepassingen.*

*Wout van Bommel is president van het Comité International de l'Éclairage (CIE).*

*Gerrit van den Beld is de Nederlandse vertegenwoordiger van CIE Division 6, 'Fotobiologie en Fotochemie' en is bestuurslid van de Nederlandse Stichting Verlichting en Gezondheid, die streeft naar een bredere medisch-wetenschappelijke kennis van de invloed van licht op de mens.*



Ir. W.J.M van Bommel



Ir. G.J. van den Beld

## Een driedelige serie over werkverlichting

In dit deel komt de biologie van de visuele waarneming aan de orde. In het volgende nummer van NVVK-info is het onderwerp *Verlichting en visuele effecten*. De reeks wordt afgesloten met *Verlichting en biologische effecten*.

De ontdekking in 2002 van een nieuwe fotoreceptorcel in het oog maakt het gemakkelijker te begrijpen welke biologische effecten licht kan hebben op de mens. Gebleken is onder meer, dat blauwachtig licht biologisch een groter activerend effect heeft dan roodachtig licht.

### Nieuwe inzichten in de biologie van de visuele waarneming

De visuele effecten van verlichting worden al meer dan 500 jaar onderzocht:

- Leonardo da Vinci (1452-1519) beschreef al ideeën over 'straatverlichting';
- Christiaan Huygens (1629-1695) formuleerde de golftheorie van licht;
- Sir Isaac Newton (1642-1727) ontwikkelde de deeltjestheorie van het licht;
- Johann Wolfgang Goethe (1749-1832) analyseerde de kleureffecten en -aspecten van verlichting.

Na de introductie van gaslicht begin en midden 19<sup>e</sup> eeuw en het elektrisch licht begin 20<sup>e</sup> eeuw richt het onderzoek naar de visuele verlichtingseffecten zich meer en meer op praktische verlichtingstoepassingen.

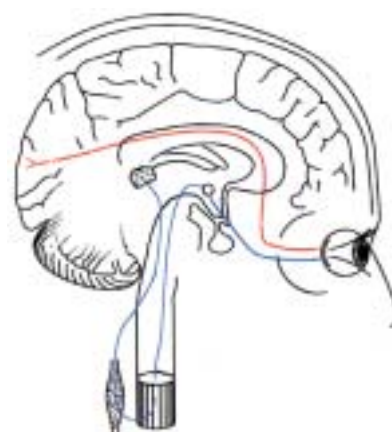
Wat het mechanisme van visuele effecten betreft, beschreef de Nederlander Antony van Leeuwenhoek al in 1722 de aanwezigheid van 'staaf- en kegelcellen' in het netvlies. Hun bestaan werd in 1834 door de Duitser Gottfried Treviranus bevestigd in de vorm van 'lichtgevoelige fotoreceptoren'. Deze ontdekking leidde tot een beter begrip van veel visuele verlichtingseffecten die al eerder beschreven waren. Een van de gevolgen daarvan was dat er concreter onderzoek kon worden gedaan naar de visuele effecten van verlichting, waardoor het mogelijk werd effectievere verlichtingsinstallaties te ontwerpen. Gedurende meer dan 150 jaar beschouwden wetenschappers de staafjes en kegels als de enige fotoreceptorcellen in het oog. Historisch gezien is het dan ook een sensatie dat David Berson et al. van de Brown University (USA) in 2002 een nieuw, derde type fotoreceptor ontdekten in het netvlies van zoogdieren. Deze nieuwe fotoreceptor blijkt de 'ontbrekende schakel' in het beschrijven van biologische effecten die bestuurd worden door licht en donker. Dat verlichting belangrijke biologische ef-

fecten heeft, bleek de afgelopen 25 jaar al uit grootschalige biologische en medisch-wetenschappelijke onderzoeken. Die hebben aangetoond dat de effecten van goede verlichting veel verder reiken dan alleen de visuele effecten zelf: in biologisch opzicht heeft goede verlichting een positieve invloed op gezondheid, welzijn, waakzaamheid en zelfs op de slaapkwaliteit. Dit alles betekent dat het dringend nodig is de parameters te herzien waarmee goede verlichting kan worden beschreven. Op basis van de drie fotoreceptoren in het oog beschrijft dit artikel de biologische effecten.

### Drie soorten fotoreceptoren in het oog

De fotoreceptorcellen in het netvlies van het oog – de kegels en staafjes – regelen de visuele effecten. Als er licht valt op deze cellen, vindt er een complexe chemische reactie plaats. Daarbij wordt een chemische stof gevormd (staafjes-rood) die elektrische pulsen veroorzaakt in de zenuw die de fotoreceptorcellen verbindt met de achterzijde van de hersenen (visuele cortex). In de visuele cortex van de hersenen worden de elektrische pulsen geïnterpreteerd als 'beeld'.

Figuur 1 toont de zenuwverbinding tussen de kegels en staafjes in het oog en de visuele cortex van de hersenen.

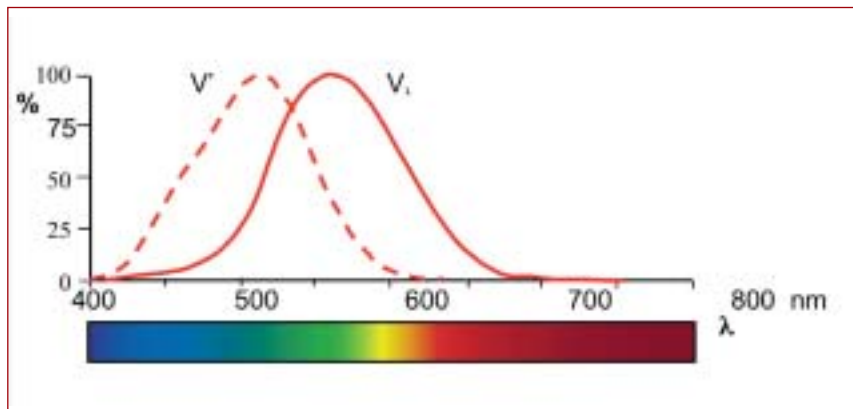


Figuur 1. Visuele en biologische banen in de hersenen. In rood de zenuwverbinding tussen de kegels en staafjes in het netvlies en de visuele cortex; in blauw de verbinding tussen de nieuw ontdekte fotoreceptorcellen in het netvlies en de suprachiasmatische kern (SNC) en de pijnappelklier.

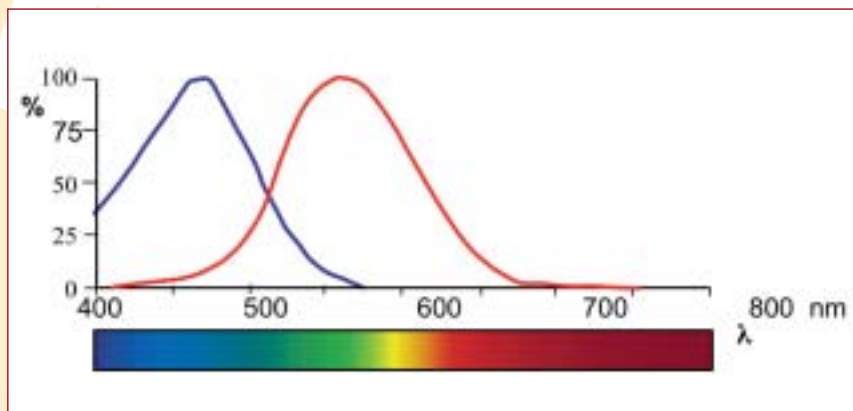
De staafjes werken in situaties met zeer weinig licht (scotopisch zicht) en laten geen waarneming van kleur toe. Het kegelsysteem is verantwoordelijk voor detailscherpte en kleurwaarneming. De kegels spelen dan ook de belangrijkste rol in situaties met binnenverlichting.

De gevoeligheid van de kegel- en staafjessystemen varieert met de golflengte van het licht, en dus met de kleur ervan. Dit is te zien in figuur 2, waarin de spectrale ooggevoeligheidskrommen voor het kegelsysteem ( $V_\lambda$ ) en voor het staafjessysteem ( $V'_\lambda$ ) zijn gegeven. Op de  $V_\lambda$ -kromme voor het kegelsysteem zijn alle verlichtings-eenheden zoals lumen, lux en candela gebaseerd. Dit wordt het fotopische systeem genoemd. In de  $V_\lambda$ -kromme is te zien dat het oog niet erg gevoelig is voor extreem blauw en extreem rood licht en dat het zijn maximale gevoeligheid heeft voor groengeel licht.

In dit verband is het goed zich te realiseren dat verschillende lichtkleuren verkregen kunnen worden door verschillende mengsels van golflengten. Ook wit licht bestaat uit zo'n mengsel. Het (visuele) rendement van een lichtbron wordt dan ook in hoge mate bepaald door de gevoeligheid van het oog voor de golflengten



Figuur 2. Spectrale ooggevoeligheidskrommen,  $V_\lambda$  voor het kegelsysteem (fotopisch zicht, getrokken lijn) en  $V'_\lambda$  voor het staafjessysteem (stippellijn).



Figuur 3. Spectrale biologische-actiekromme (gebaseerd op melatonine-onderdrukking) in blauw (bron: Brainard), en de visuele ooggevoeligheidskromme in rood.

die in het geproduceerde licht aanwezig zijn. Het nieuw ontdekte type fotoreceptorcel in het netvlies van het oog regelt de biologische effecten. Het licht dat deze cellen bereikt, veroorzaakt een complexe chemische reactie (in dit geval met het fotopigment melanopsine), waarbij eveneens elektrische pulsen ontstaan. Deze cellen hebben hun 'eigen' zenuwverbindingen naar, onder andere, de pijnappelklier en locaties in de hersenen die de suprachiasmatische kern (SNC) worden genoemd - dit is de biologische klok van de hersenen. Figuur 1 toont de zenuwverbinding tussen de nieuw ontdekte fotoreceptorcellen in het oog en deze plaatsen in de hersenen.

Een van de biologische effecten van licht is de onderdrukking van het hormoon melatonine. Tal van andere biologische factoren die ook door licht geregeld worden, hebben waarschijnlijk een actiespectrum dat vergelijkbaar is met deze melatonine-onderdrukking.

De gevoeligheid van de nieuwe fotoreceptorcel varieert vanzelfsprekend ook met de verschillende golflengten van licht, en dus met verschillende lichtkleuren. Op basis van de mate van 'melatonine-onderdrukking' slaagde Brainard er al in de spectrale 'biologische actie'-kromme te bepalen. Deze kromme is weergegeven in figuur 3, samen met de visuele ooggevoeligheidskromme van de kegels.

Een vergelijking van de twee krommen maakt onmiddellijk duidelijk dat de biologische gevoeligheid voor verschillende golflengten van licht behoorlijk afwijkt van de visuele gevoeligheid. De maximale visuele gevoeligheid ligt immers in het gebied van de geelgroene golflengte, terwijl de maximale biologische gevoeligheid in het blauwe gebied van het spectrum ligt. Deze waarneming is belangrijk voor de specificatie van gezonde verlichting.

Uit het onderzoek naar de biologische effecten van licht blijkt duidelijk dat de ontwerp-richtlijnen voor goede en gezonde verlichting in zekere mate afwijken van de conventioneel gebruikte regels. Zo blijkt het heilzaam te zijn zowel het niveau als de kleur van het licht regelbaar te maken. Niet alleen het licht op de visuele taak, maar ook het overige licht dat het oog bereikt, bepaalt de algemene kwaliteit van de verlichting. In een werkomgeving zijn de voordelen in termen van gezondheid en welzijn niet alleen belangrijk voor de medewerkers zelf, maar zij leiden ook tot hogere werkprestaties, minder fouten, betere veiligheid en minder verzuim. Zo toont een voorbeeld in een industriële omgeving aan, dat een verhoging van het lichtniveau van 300 naar 500 lux de totale productiviteit gemakkelijk met 8 procent kan verhogen.