

Werkverlichting: visuele en biologische effecten (3)

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

Het derde en laatste deel van een serie over werkverlichting

In het eerste deel van deze reeks werd het biologisch proces van de visuele waarneming belicht. Het tweede deel, met als onderwerp verlichting en visuele effecten, gaf inzicht in de mate waarin visuele prestaties afhankelijk zijn van de verlichting en welke kwaliteitseisen hierbij een rol spelen. Ook werd vastgesteld dat de behoefte aan licht leeftijdsafhankelijk is. In dit laatste deel komt de invloed van licht op lichamelijke processen aan de orde.

Opmerking: Deze artikelenreeks is oorspronkelijk door Philips Lighting gepubliceerd als één artikel en was voorzien van een groot aantal verwijzingen naar wetenschappelijke publicaties. Omwille van de leesbaarheid zijn de meeste hiervan door de redactie weggelaten. Wie belangstelling heeft voor deze verwijzingen kan het oorspronkelijke artikel in de vorm van een Acrobat-file bij de redactie aanvragen.

Verlichting en biologische effecten

Het heilzame effect van (dag-)licht is al van oudsher bekend; voorbeelden daarvan zijn de heliotherapie en de behandeling van kwalen door het lichaam bloot te stellen aan zonnestralen. Lichttherapie tegen gezondheidsproblemen was populair tot in de jaren dertig van de vorige eeuw. De introductie van penicilline maakte dat geneesmiddelen de leidende rol bij therapieën overnamen. Dankzij de resultaten van biologisch en medisch onderzoek is men in de laatste twintig tot dertig jaar de invloed van licht weer steeds meer gaan waarderen als belangrijk voor gezondheid en welzijn.

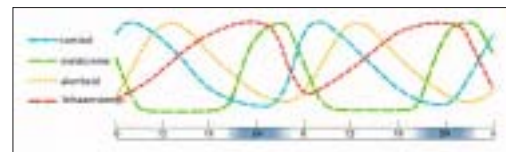
Normaal beschouwen we het oog alleen als een orgaan om mee te zien. Dankzij de recente ontdekking van de nieuwe fotoreceptorcellen in het oog en de zenuwverbindingen die zij naar de hersenen hebben, begrijpen we nu echter ook hoe het licht een groot aantal biochemische processen in het menselijk lichaam regelt en bestuurt.

De belangrijkste bevindingen hebben betrekking op de besturing van onze biologische klok en op de aanmaak van enkele belangrijke hormonen door regelmatige licht/donker-ritmes. Dit betekent dat verlichting een belangrijke invloed heeft op gezondheid, welzijn en waakzaamheid.

Licht en lichaamsritmes

Via de nieuw gevonden fotoreceptorcellen en hun afzonderlijke zenuwstelsel stuurt het licht signalen naar onze biologische klok. Op basis daarvan regelt deze de circadiaanse (dagelijkse) en circannuale (jaarlijkse, seizoensgebonden) ritmes van een grote verscheidenheid aan

lichaamsprocessen. Figuur 7 toont als voorbeeld enkele typische menselijke ritmes: lichaamstemperatuur, waakzaamheid en de aanmaak van de hormonen cortisol en melatonine.



Figuur 7. Dubbele plot (2 x 24 uur) van typische dagelijkse ritmes van lichaamstemperatuur, melatonine, cortisol en waakzaamheid in mensen voor een natuurlijke 24-uurs licht/donker-cyclus.

De hormonen cortisol ('stresshormoon') en melatonine ('slaaphormoon') spelen een belangrijke rol in de regeling van waakzaamheid en slaap. Cortisol verhoogt onder meer de bloedsuikerspiegel om het lichaam energie te geven en versterkt het immuunsysteem. Als het cortisolniveau echter gedurende een te lange periode te hoog blijft, raakt het systeem uitgeput en inefficiënt. Het cortisolniveau neemt 's ochtends toe om het lichaam voor te bereiden voor de activiteiten van de komende dag. In de loop van een heldere dag blijft het op een voldoende hoog niveau om rond middernacht uiteindelijk terug te vallen naar een minimum. Het niveau van het slaaphormoon melatonine daalt gedurende de ochtend en dat beperkt de slaperigheid. Normaal stijgt het niveau weer als het donker wordt om een gezonde slaap mogelijk te maken (ook al doordat cortisol dan op zijn minimumniveau is). Voor een goede gezondheid is het van belang dat deze ritmes niet teveel verstoord worden. Als er wel een versto-

ring optreedt, dan kan helder licht in de ochtend helpen het normale ritme weer te herstellen.

In een natuurlijke situatie synchroniseert het licht, vooral het ochtendlicht, de interne lichaamsklok met de 24-uurs licht/donker-rotatiecyclus van de aarde. Zonder deze regelmatige lichtcyclus zou onze biologische klok een vrije looptijd hebben met een gemiddelde periode van circa 24 uur en 15 tot 30 minuten. Daardoor zouden de niveaus van onze lichaamstemperatuur, cortisol en melatonine van dag tot dag steeds verder afwijken van de niveaus die door het natuurlijke dag-nachtritme worden bepaald.

Een langdurige 'disharmonie' door de afwezigheid van een 'normaal' licht/donker-ritme veroorzaakt een verkeerd ritme van waakzaamheid en slaap. Dit kan uiteindelijk leiden tot waakzaamheid tijdens de donkere uren en slaap tijdens de heldere uren. In feite door dezelfde oorzaak vinden we dezelfde symptomen bij een jetlag na een reis door verschillende tijdzones. Ook mensen die in wisselende diensten werken, ervaren dezelfde symptomen gedurende enkele dagen na elke ploegenwisseling, opnieuw om dezelfde reden.

Verlichting, gezondheid, welzijn en waakzaamheid

Er is al veel onderzoek gedaan waarin gezondheid, welzijn en waakzaamheid worden vergeleken bij mensen die werken onder verschillende verlichtingsomstandigheden. In deze publicatie behandelen we daarvan slechts een beperkt, maar wel typerend aantal.

Küller en Wetterberg¹ bestudeerden het golfpatroon van de hersenen (EEG) bij mensen in een laboratorium dat eruit zag als een kantoor: eenmaal met een betrekkelijk hoog verlichtingsniveau (1700 lux) en eenmaal met een betrekkelijk laag verlichtingsniveau (450 lux). De

EEG's vertonen een uitgesproken verschil: het hogere verlichtingsniveau resulteert in minder deltagolven (de delta-activiteit van het EEG is een indicatie voor slaperigheid), wat betekent dat helder licht een attentieverhogende invloed heeft op het centrale zenuwstelsel (zie figuur 8).

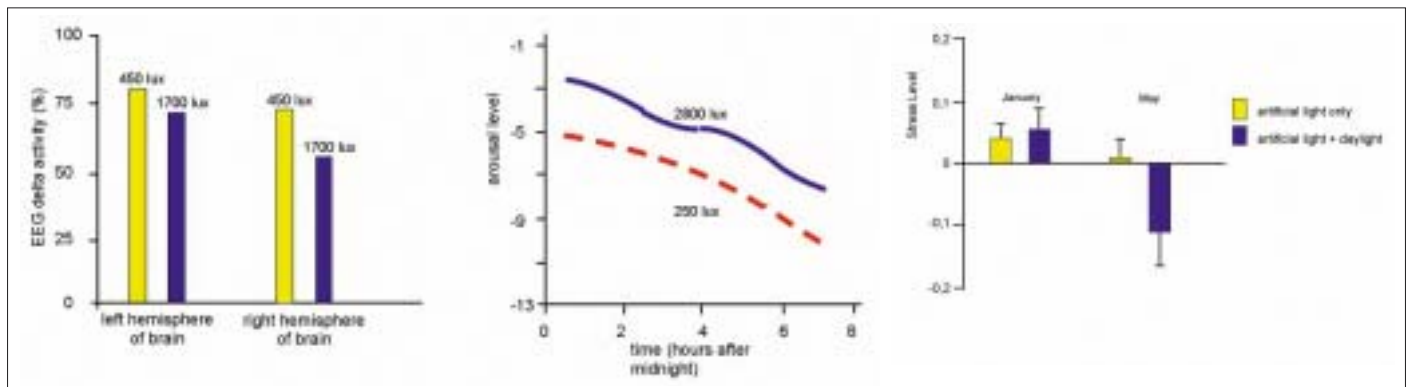
Tal van onderzoeken naar de effecten van licht op waakzaamheid en stemming zijn uitgevoerd onder nachtploegomstandigheden, omdat daar de sterkste effecten verwacht werden. Figuur 9 toont het effect van twee verlichtingsregimes op de waakzaamheid van ploegenwerkers als functie van de gewerkte tijd. Bij beide regimes neemt de waakzaamheid gedurende de nacht af. Het regime met veel licht resulteert altijd in een significant hoger prikkelniveau en dus een betere waakzaamheid en stemming.

Andere studies tonen aan dat het gebruik van hogere verlichtingsniveaus ter bestrijding van vermoeidheid erin resulteert dat de proefpersonen inderdaad langer alert blijven.

Studies van stressniveaus en klachten bij mensen die binnen werken, zijn uitgevoerd door een groep mensen die enkel onder kunstlicht werken te vergelijken met een groep die werkt onder een combinatie van kunstlicht en daglicht. In januari, als de daglichttoetreding onvoldoende is om een wezenlijke bijdrage te leveren aan het verlichtingsniveau, is nauwelijks enig verschil tussen de twee groepen (figuur 10). In mei, als het daglicht werkelijk een bijdrage levert, heeft de groep die van het daglicht profiteert, aanzienlijk minder stressklachten. Een andere studie toont aan dat helder kunstlicht in interieurs in de winter een positief effect heeft op stemming en vitaliteit.

Sommige mensen – maar niet veel – krijgen hoofdpijn van de flikkering in het licht dat

1 R. Küller, L. Wetterberg, 'Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities', in: *Lighting Research and Technology*, 1993.



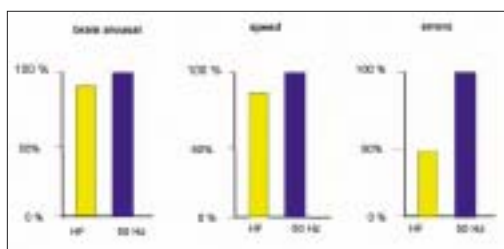
Figuur 8. Delta-activiteit in het EEG van kantoorwerkers onder verlichtingsniveaus van 450 lux en 1700 lux (bron: Küller en Wetterberg).

Figuur 9. Waakzaamheid en stemming uitgedrukt als prikkelniveau voor verlichtingsniveaus van 250 lux en 2800 lux, als functie van gewerkte uren na middernacht (bron: Boyce et al.).

Figuur 10. Niveaus van stressklachten (met statistische spreiding) in een groep mensen die werken ofwel onder enkel kunstlicht of onder een combinatie van kunstlicht en daglicht (bron: Kerkhof).

wordt veroorzaakt door de 50 Hz-voeding van fluorescentielampen met magnetische voorschakelapparaten. Fluorescentielampen die werken met moderne hoogfrequente elektronische voorschakelapparaten, werken op een frequentie van circa 30 kHz en daarvan is geen helderheidrimpel zichtbaar. Een vergelijking toonde aan dat er inderdaad significant minder hoofdpijn optreedt bij toepassing van elektronische voorschakelapparaten. Küller en Laike hebben de EEG's gemeten van personen die werkten in een kantooromgeving onder laagfrequente (50 Hz) en hoogfrequente fluorescentieverlichting. Tegelijk hebben ze ook de snelheid en het aantal fouten gemeten tijdens het corrigeren van een drukproef. Figuur 11 laat zien dat de reciproque waarde van de alfa-activiteit van het EEG en daardoor van de hersenprikkel ('stress'), hoger is bij 50 Hz-verlichting. De werksnelheid is enigszins hoger, maar het aantal fouten is dramatisch hoger (meer dan verdubbeld). Dit gecombineerde effect betekent dat het voor zowel welzijn als productiviteit verstandig is de hersenprikkel of stress te verminderen door gebruik te maken van hoogfrequente fluorescentieverlichting in plaats van fluorescentieverlichting op 50 Hz.

Figuur 11. Hersenprikkel gemeten als de reciproque waarde van de alfa-activiteit van EEG's van personen in kantoren onder 50 Hz en onder hoogfrequente HF (30 kHz) fluorescentieverlichting. De werksnelheid en fouten bij het corrigeren van een drukproef zijn ook weergegeven. Doelgroep: hoge gevoeligheid voor knipperend licht.



Gezondheidsgerelateerde kwaliteitsaspecten van verlichtingsinstallaties

Om te kunnen komen tot werkelijk 'goede en gezonde' verlichtingsinstallaties, moeten de in deel 2 besproken visuele kwaliteitsaspecten van verlichtingsinstallaties worden verfijnd en uitgebreid. Het gaat om aspecten als verlichtingsniveau, ruimtelijke verdeling van licht en kleurweergave.

Het biologische effect van licht wordt niet direct bepaald door de verlichtingssterkte op het werkvlak, maar door het licht dat het oog bereikt. Er wordt nu onderzoek gedaan om vast te stellen hoe we rekening kunnen houden met dit verschil tussen 'visueel verlichtingsniveau op de taak' en 'biologische verlichtingsniveaus' (zie ook kader 'Ruimtelijke lichtverdeling'). We hebben eerder aangetoond dat het verlichtingsniveau regelbaar moet zijn, vooral vanwege de effecten op ouder wordende ogen. Daglicht heeft door zijn natuur een dynamische intensiteit. Er bestaan aanwijzingen dat variabele verlichtingsomstandigheden een positief effect hebben op het activeringsniveau van mensen in een kantooromgeving. Als het onvolledig mogelijk is te profiteren van de dynamiek van de daglichtintensiteit kan dynamisch kunstlicht voordelen bieden.

Twee volledig nieuwe aspecten hebben betrekking op tijdstip en tijdsduur van de verlichting. Visueel gezien is licht vanzelfsprekend alleen vereist als en zolang men 'kijkt'. Biologisch gezien is ook het tijdstip waarop het licht (of de duisternis) wordt ontvangen van essentieel belang (ritmefrafiek van figuur 7).

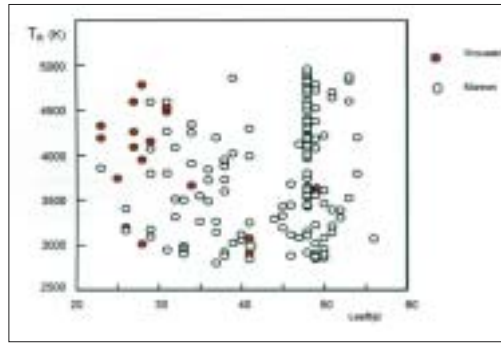
We hebben ons altijd gerealiseerd dat de kleur van licht zelf een emotionele betekenis heeft en dus belangrijk is voor de sfeer van een ruimte. Nu begrijpen we dat het spectrum en dus de kleur van licht ook een belangrijke biologische betekenis heeft. Zoals is aangetoond in het hoofdstuk over de nieuwe fotoreceptorcel, heeft blauwachtig, koel licht een groter biologisch effect dan warmer gekleurd roodachtig licht. De daglichtsituaties van de foto's in figuur 12 roepen niet alleen een verschillend emotioneel gevoel op, maar hebben biologisch ook een verschillend effect.

Het blauwachtige ochtendlicht heeft biologisch een activerend (opwekkend) effect, terwijl de rode lucht in de vroege avond een ontspannend effect heeft. In een werkomgeving zijn zowel activerende als ontspannende momenten



Figuur 12. Omgevingskleur vroeg in de ochtend en vroeg in de avond in Parijs.

Figuur 13. Kleurvoorkeur van kunstlicht in een kantoor met (daglicht) vensters, uitgedrukt als gecorreleerde kleurtemperatuur van het licht T_k voor verschillende leeftijden en voor mannen en vrouwen.



nodig. De kleur en het verlichtingsniveau van de kunstmatige verlichting kunnen samen bijdragen aan het scheppen van deze momenten. Onderzoeken naar de voorkeurskleur van licht in een kantooromgeving hebben aangetoond dat er in dit opzicht geen vast patroon bestaat in de voorkeur van individuen: iedereen heeft zijn eigen persoonlijke voorkeur (figuur 13).

Aspecten van verlichtingskwaliteit:

Zichtgerelateerd	Gezondheidsgerelateerd
(regelbaar) verlichtingsniveau op de taak	(regelbaar) verlichtingsniveau in het oog
ruimtelijke verdeling	ruimtelijke verdeling
kleurweergave	(regelbare) kleurimpressie
tijdstip	tijdsduur

Tabel 4 Zicht- en gezondheidsgerelateerde kwaliteitsaspecten van verlichtingsinstallaties

Verbetering van verlichtingsniveau	Productiviteitstoename
Van 300 tot 500 lux	8%
Van 300 tot 2000 lux	20%

Tabel 5. Productiviteitstoename in de metaalverwerkende industrie met een gemiddeld moeilijke visuele taak als gecombineerd effect van toegenomen werkprestaties, beperking van fouten/uitval en afname van ongevallen.

Tabel 4 geeft een samenvatting van de zicht- (uit tabel 1) en gezondheidsgerelateerde aspecten van verlichtingskwaliteit die samen bepalend zijn voor 'goede en gezonde' verlichting.

Conclusie

Dankzij de recente ontdekking van een nieuwe fotoreceptor in het oog begrijpen we nu veel beter waarom goede werkverlichting, rekening houdend met zowel de visuele als de biologische effecten (d.w.z. gezondheid, welzijn en waakzaamheid), zulke belangrijke voordelen biedt. Naast een betere gezondheid en welzijn van de medewerkers leidt goede verlichting ook tot betere werkprestaties (snelheid), minder fouten en uitval, betere veiligheid, minder ongevallen en minder verzuim. Het totale effect van dit alles is: hogere productiviteit. Voor een industriële omgeving (gemiddeld moeilijke visuele taak) onderzochten we hoeveel de productiviteit mogelijk in totaal zou kunnen toenemen door een beter verlichtingsniveau.

Om deze resultaten te bevestigen voeren we nu in praktijksituaties productiviteitsonderzoeken uit in een aantal industriële omgevingen waar de verlichting onlangs is gerenoveerd. We realiseren ons goed dat de biologische component bijdraagt aan de productiviteitstoename en geloven dan ook dat soortgelijke toenamecijfers ook mogelijk zijn in een kantooromgeving. Wij geloven dat deze productiviteitsvoordelen nog indrukwekkender zullen worden als ons advies voor flexibele en regelbare verlichtingsniveaus en kleuren in praktijk wordt gebracht.

Ruimtelijke lichtverdeling

Zeer recent onderzoek toont aan dat licht op het bovenste en onderste deel van het netvlies een verschillend belang heeft voor zover het betrekking heeft op het biologische effect. Dit wekt de indruk dat ook de ruimtelijke verdeling van licht belangrijk is gezien vanuit het oogpunt van 'gezondheid'.