

Gloeilampvervangende lampen en gezondheid

Wout van Bommel

Samenvatting

Gloeilampvervangende spaarlampen (CFLs) en LEDlampen hebben een relatief grotere blauwcomponent (koelwit licht) dan gloeilampen (warmwit licht). Ons oog bevat lichtgevoelige celletjes die in verbinding staan met onze biologische klok die op zijn beurt in verbinding staat met de pijnappelklier die een deel van onze hormoonhuishouding regelt. De gevoeligheid van die celletjes is groter voor licht met korte golflengte (blauw licht) dan voor licht met een langere golflengte (rood licht). Men vraagt zich daarom af of algemene toepassing van spaar- en LEDlampen 's avonds in huis onze natuurlijke hormoonhuishouding kan verstoren en daardoor negatieve effecten op ons natuurlijk lichaamsritme en onze gezondheid kan hebben.

Het totale niet-visuele biologische effect van licht ("biologische dosis") is op basis van het spectrum van verschillende lichtbronnen berekend uitgaande van het biologische actiespectrum. De relatieve energiespectra van de verschillende lampen zijn eerst gewogen volgens de fotopische spectrale ooggevoeligheid V_λ om tot gelijke lichtopbrengst voor de verschillende lichtbronnen te komen. Aangezien dit laatste meestal niet gebeurt in analyses beschreven in de populaire pers zien we daar vaak totaal verkeerde conclusies. Uit onze berekeningen blijkt dat een spaar- en LEDlamp van 4000K met matige kleurweergave een ca. 34% hogere biologische dosis geeft dan een gloeilamp. Een CFL en LEDlamp van ca. 2700-3000K (gloeilampkleur) en een goede kleurweergave geeft echter een 1 tot 7% lagere biologische dosis dan een gloeilamp. Vanuit gezondheidsoverwegingen is er daarom geen bezwaar tegen overschakelen van gloeilampen op deze nieuwere lichtbronnen (2700-3000K en kleurweergave groter dan 80).

Inleiding

De ontdekking in 2002 van een nieuw type lichtgevoelige cel in het oog maakt het makkelijker te begrijpen hoe niet-visuele biologische effecten van licht op de mens tot stand komen. Figuur 1 toont de spectrale gevoeligheid, B_λ , van de nieuw ontdekte cel samen met de spectrale gevoeligheid bij fotopisch zien, V_λ . De maximale gevoeligheid van het nieuw ontdekte celtype wordt verkregen bij blauw licht. Licht met een grote blauwcomponent (koelwit licht) heeft daarom biologisch een groter effect dan licht met een grote roodcomponent (warmwit licht).

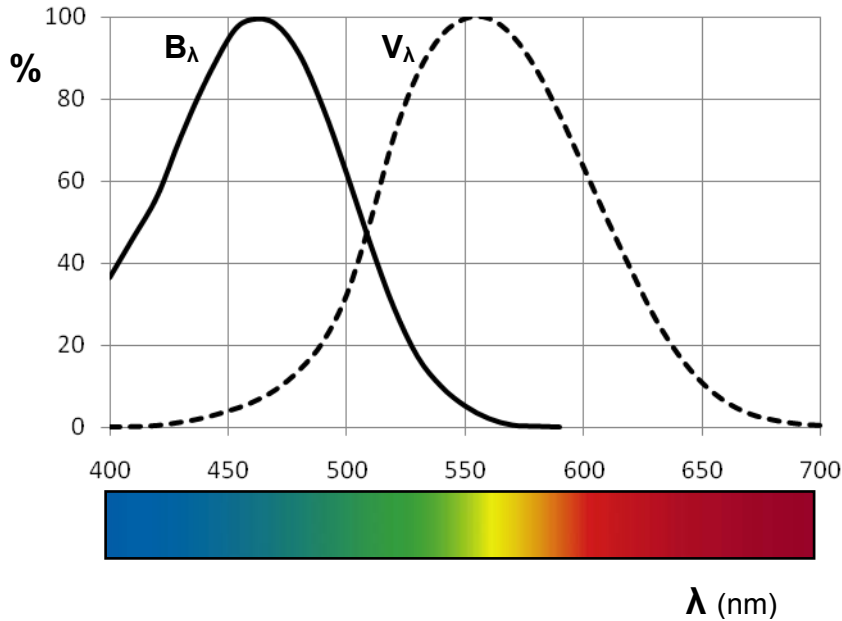


Fig.1: Relatieve spectrale gevoeligheid van het oog voor “zien”, V_{λ} , en voor niet-visuele biologische effecten, B_{λ} (biologisch actiespectrum [1])

De genoemde lichtgevoelige celletjes zijn via een zenuwverbinding verbonden met de biologische klok in onze hersenen. Deze biologische klok is op zijn beurt verbonden met de pijnappelklier in onze hersenen. De niet-visuele invloed van licht en donker werkt via de controle van de biologische klok die onder andere de aanmaak en afbraak van bepaalde hormonen in de pijnappelklier tijdsafhankelijk stuurt. Het slaapbevorderende hormoon melatonine wordt onder invloed van dit mechanisme ‘s avonds en ‘s nachts aangemaakt en verdwijnt ‘s morgens weer uit ons lichaam terwijl het hormoon cortisol dat energie geeft juist vroeg in de morgen wordt aangemaakt en in de avond en nacht minimaal in ons lichaam aanwezig is. Overdag hebben we veel biologisch effectief licht nodig en ‘s avonds licht met weinig biologische effectiviteit.

Gloeilampvervangende spaar- en LEDlampen hebben een duidelijk grotere blauwcomponent dan roodcomponent. Gloeilampen hebben juist een grotere roodcomponent dan blauwcomponent. Men vraagt zich daarom af of algemene toepassing van spaar- en LEDlampen ‘s avonds in huis onze natuurlijke hormoonhuishouding kan verstoren en daardoor negatieve effecten op ons natuurlijk lichaamsritme en onze gezondheid kan hebben.

Eerst wordt een korte beschrijving van de spectrale (kleur)eigenschappen van gloeilampen, spaarlampen en van verschillende soorten gloeilampvervangende LEDlampen gegeven. De totale niet-visuele biologische werking (‘biologische dosis’) van de verschillende lichtbronnen wordt vervolgens op basis van hun spectrum berekend bij gelijke lichtopbrengst. Vervolgens worden de resultaten vergeleken met die van een normale gloeilamp. Hierbij wordt ook gekeken naar het spectrale leeftijdseffect van het oudere oog.

Spectrale eigenschappen van gloeilampen, spaarlampen en LEDlampen

Het licht van gloeilampen wordt gekenmerkt door een continue lichtspectrum waarin alle golflengtes (kleuren) voorkomen met relatief meer roodcomponenten (lange golflengtes) dan blauwcomponenten (korte golflengtes) (zie Figuur 2). Daarom geeft een gloeilamp warmwit licht (kleurtemperatuur ca. 2700K) waarbij alle kleuren van voorwerpen uitstekend kunnen worden gezien (kleurweergaveindex 100).

Spaarlampen (CFLs) geven evenals TL lampen licht op basis van een lage druk kwik gasontlading gecombineerd met het fluorescentieprincipe. Bij deze lichtbronnen wordt de in de gasontladingsbuis opgewekte UV straling door het fluorescentiepoeder op de binnenkant van de gasontladingsbuis omgezet in zichtbaar wit licht. Door de keuze van het fluorescentiepoeder (meestal fosfors genoemd) kan de lamp in verschillende tinten van wit licht geproduceerd worden: koelwit licht met hoge kleurtemperatuur van 4000 tot 6000K en in warmwit licht van ca. 2700 K (gloeilampkleur) tot 3000K (halogeenlampkleur). TL en spaarlampen hebben geen continue spectrum maar worden gekenmerkt door een aantal scherpe pieken (zie Figuur 2). Een kleurweergaveindex van 100 kan daarom niet verkregen worden. Waar in het verleden ook TL lampen met matige tot slechte kleurweergave op de markt waren produceren de grote lichtfabrikanten vandaag alleen nog maar TL en spaarlampen met goede kleurweergave (kleurweergaveindex beter dan 80).

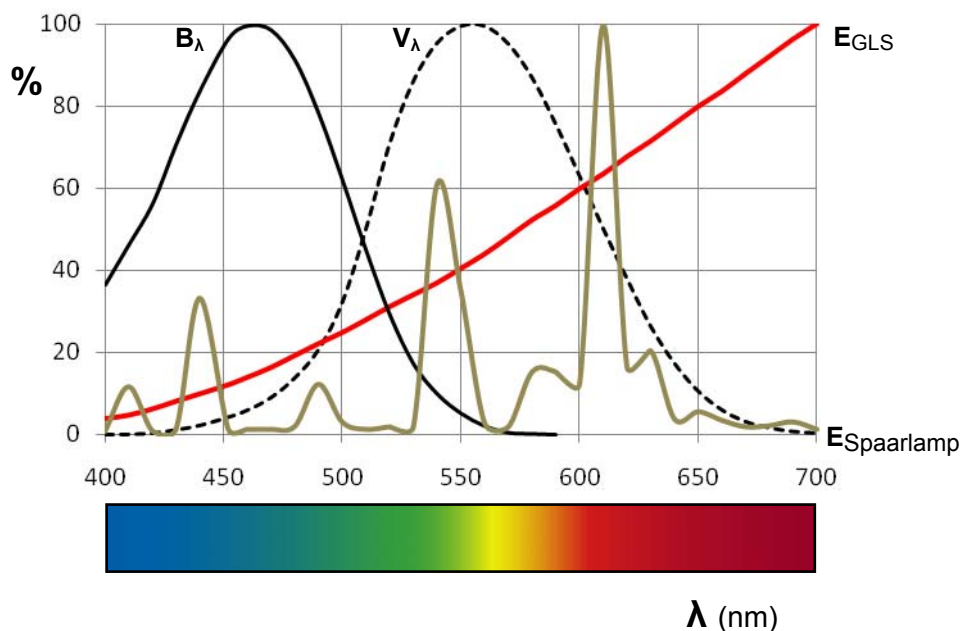


Fig.2: Relatieve spectrale energieverdeling (E) van een gloeilamp (GLS) en een typerend voorbeeld van een compacte spaarlamp met kleurtemperatuur 2700K (warmwit) samen met de relatieve spectrale gevoeligheid van het oog voor "zien", V_λ , en voor niet-visuele biologische effecten, B_λ (biologisch actiespectrum).

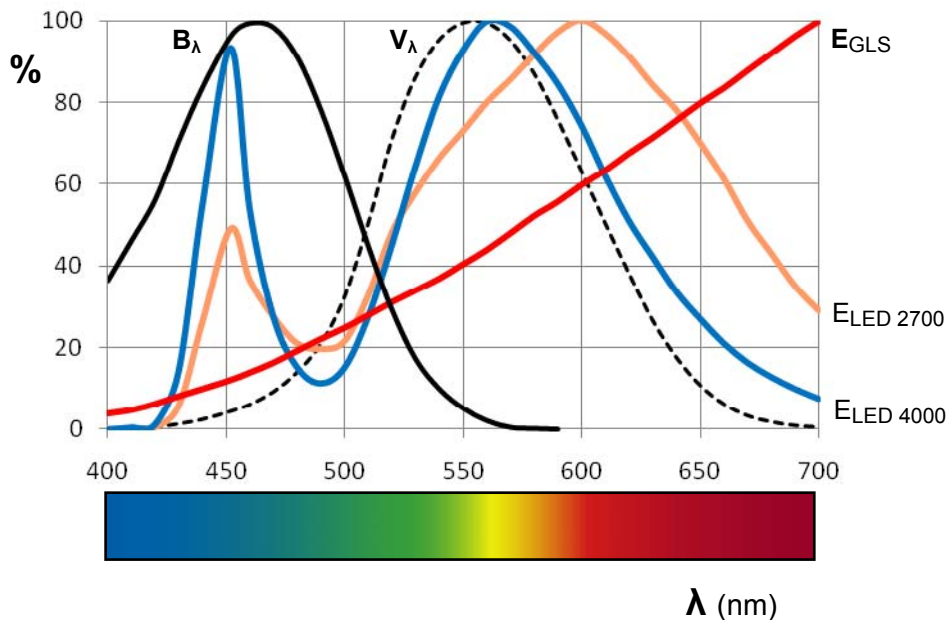


Fig.3: Relatieve spectrale energieverdeling (E) van een gloeilamp (GLS) en van typerende voorbeelden van een LEDlamp met kleurtemperatuur 2700K (warmwit) en een LEDlamp met 4000K (koelwit) samen met de relatieve spectrale gevoeligheid van het oog voor "zien", V_{λ} , en voor niet-visuele biologische effecten, B_{λ} (biologisch actiespectrum).

Gloeilampvervangende LEDlampen werken op basis van lichtopwekking in halfgeleider materiaal gecombineerd met het fluorescentieprincipe. In de halfgeleider zelf wordt blauw licht opgewekt met een nauw spectrum rond 450 nm. Dit blauw licht wordt voor een deel via fluorescentiepoeder (fosfor) omgezet in licht van andere golflengtes, het resulterende spectrum vertoont veel minder pieken en dalen dan het spectrum van een spaarlamp¹. Bij koelwit licht is de blauwe piek in het spectrum bij ca. 450 nm nog geprononceerd aanwezig (zie figuur 3). Bij warmwit licht is die piek gereduceerd en neemt de roodcomponent toe. Op dit moment zijn koelwitte LEDlampen efficiënter dan warmwitte lampen. Desalniettemin wordt aangeraden om als gloeilampvervanger warmwitte LEDlampen met ongeveer eenzelfde kleurtemperatuur (ca. 2700K) als gloeilampen te gebruiken. Alleen dan zal dezelfde sfeer in huis verkregen worden als met gloeilampen. Ook deze warmwitte LEDlampen zijn nog veel efficiënter dan gloeilampen. Er zijn LEDlampen op de markt met sterk uiteenlopende kleurweergavekwaliteit. Om voor thuisgebruik kleuren voldoende goed te kunnen zien is een kleurweergave index van minimaal 80 vereist. Er zijn nu LEDlampen in deze kwaliteit beschikbaar.

Niet-visuele biologische dosis

Het totale niet-visuele biologische effect van licht ("biologische dosis") kan op basis van het spectrum van verschillende lichtbronnen berekend worden uitgaande van het biologische actiespectrum bepaald door Brainard op basis van nachtelijke melatonineonderdrukking [1].

¹ Er zijn ook witte LEDlampen die geen gebruik maken van fluorescentie maar het licht van een rode, groene en blauwe LED combineren (RGB principe). Zo kan inderdaad wit licht verkregen worden maar de kleurweergave van deze RGB-LEDs is dermate slecht dat ze niet als gloeilampvervangers gebruikt moeten worden. De laatste ontwikkelingen laten zien dat het mogelijk is om direct in de halfgeleider wit licht op te wekken zodat fluorescentiepoeder niet nodig is. Deze ontwikkeling is in de huidige analyse niet meegenomen.

Om een correcte onderlinge vergelijking te maken moeten de verschillende lichtbronnen op basis van gelijke lichtopbrengst vergeleken worden². Hiervoor is de totale lichtstroom van elke lamp berekend volgens:

$$\text{Lichtstroom (lamp)} = \sum (E_{\lambda} (\text{lamp}) \cdot V_{\lambda}).$$

Vervolgens zijn alle spectrale energiewaardes van een lamp omgerekend om gelijke lichtopbrengst te geven als een gloeilamp volgens:

$$E_{\lambda} (\text{lamp, gelijke lichtopbrengst}) = E_{\lambda} (\text{lamp}) \cdot \text{Lichtstroom (GLS)} / \text{Lichtstroom (lamp)}.$$

Figuur 4 toont de energiespectra van de gloeilamp en de twee LEDlampen op basis van gelijke fotopische lichtopbrengst. Voor de 2700K spaarlamp is eenzelfde berekening gemaakt.

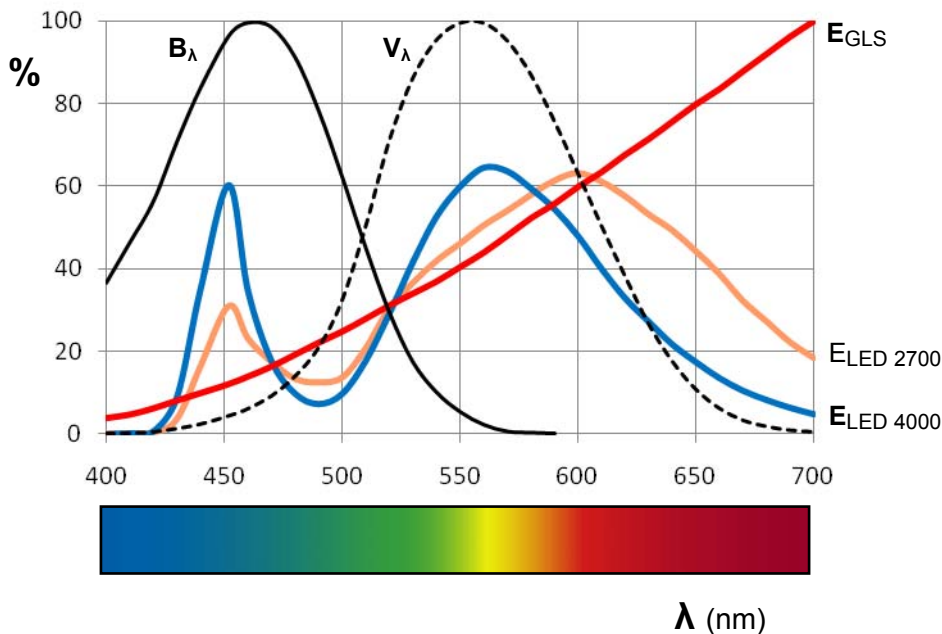


Fig.4: Relatieve spectrale energieverdeling (E), op basis van gelijke lichtopbrengst van een gloeilamp (GLS), warmwitte LEDlamp (2700K) en koelwitte LEDlamp (4000K), samen met de relatieve spectrale gevoeligheid van het oog voor “zien”, V_{λ} , en voor niet-visuele biologische effecten actiespectrum, B_{λ} (biologisch actiespectrum).

Deze “gelijke lichtopbrengst spectra” zijn vervolgens gebruikt om de totale relatieve biologische dosis te berekenen volgens:

$$\text{Biologische Dosis (lamp)} = \sum 100 \cdot (E_{\lambda} (\text{lamp}) \cdot B_{\lambda}) / \sum (E_{\lambda} (\text{GLS}) \cdot B_{\lambda})$$

Tabel 1 geeft de biologische dosiswaarden voor de verschillende lampen relatief t.o.v. de dosis van de gloeilamp.

² Aangezien dit meestal niet gebeurt in analyses beschreven in de populaire pers ziet men daar vaak totaal verkeerde conclusies alleen gebaseerd op de relatieve hoge piekwaardes rond het 450 nm gebied bij LEDlampen. Vanwege de grote roodcomponent van een gloeilamp waarvoor het oog visueel niet erg gevoelig is, is er meer straling in totaliteit nodig om tot een gelijke lichtopbrengst te komen dan bij lampen die relatief meer straling hebben in het gebied waarvoor het oog veel gevoeliger is. LEDlampen hebben nu juist een (tweede) piek in het gebied waarvoor het oog gevoelig is. Door de vereiste hogere totale straling van een gloeilamp wordt de relatief kleine blauwcomponent van die gloeilamp in totaliteit toch belangrijk.

	Visuele dosis basis V_{λ} (%)	Biologische dosis basis B_{λ} (%)	Biologische dosis basis Rea et al (%)
Gloeilamp	100	100	100
Halogeenlamp	100	130,5	122,7
LED 2700K, Ra 80	100	99,0	101,8
LED 2850K, Ra 90	100	92,9	100,0
LED 4000K, Ra 65	100	133,8	137,0
CFL Spaarlamp 2700K, Ra 80	100	99,1	104,7
CFL Spaarlamp 4000K, Ra 80	100	134,1	130,1

Tabel 1: Totale visuele dosis (lichtopbrengst) en biologische dosis (%) t.o.v. van die van een gloeilamp bij gelijke lichtopbrengst.

Uit onderzoek is bekend dat de "optelbaarheids-wet" van Abney (Abney's law of additivity), die geldig is voor visuele effecten niet volledig geldig is voor biologische effecten [2, 3, 4]. Dat betekent dat bovenstaande formule ter berekening van de biologische dosis niet volledig correct is. De verwachting is dat afwijkingen klein zijn. Rea et al [5] hebben een hypothese gepubliceerd waarin ze de non-additivity verklaren door een onderlinge wisselwerking van de staafjes en kegeltjes in het oog samen met de in 2002 ontdekte celletjes. Op diezelfde basis hebben ze een alternatief actiespectrum bepaald. Wij hebben de biologische dosis ook op basis van dit actiespectrum berekend en ook gegeven in Tabel 1. Figuur 5 toont de resultaten gegeven in Tabel 1 als grafiek.

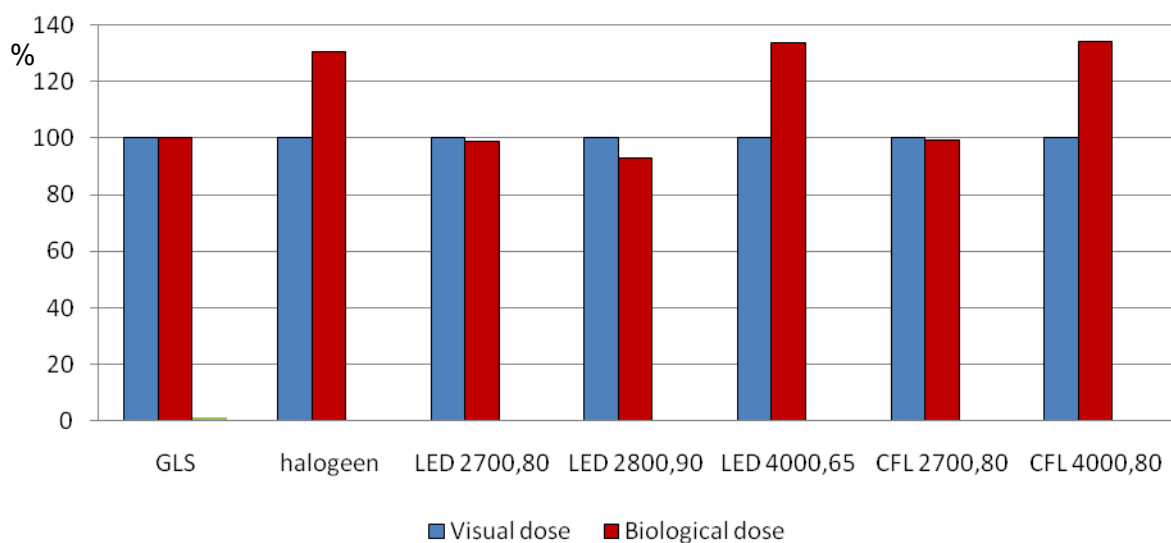


Fig.5: Totale visuele dosis (lichtopbrengst) en biologische dosis (%) t.o.v. van die van een gloeilamp bij gelijke lichtopbrengst.

Geconcludeerd kan worden dat de biologische dosis bij toepassing van warmwitte spaarlampen en LEDlampen van ca. 2700K-3000K en goede kleurweergave een iets kleinere biologische dosis geven dan gloeilampen (1 tot 7%). Koelwitte spaar- en LEDlampen van ca. 4000K met mindere kleurweergave, geven een duidelijk hogere biologische dosis dan gloeilampen. Opvallend is dat het gebruik van een halogeenlamp een hogere biologische dosis geeft dan LEDlampen van ca. 2700-3000K.

Spectrale leeftijdseffecten

De heldere lens van het oog vergeelt met de jaren. In figuur 5 is de transmissie van de ooglens voor verschillende golflengtes gegeven voor de leeftijdsgroep van 60- tot 69-jarigen in verhouding tot die van 20- tot 29-jarigen. Dit spectrale leeftijdseffect heeft invloed op zowel de visuele als de biologische dosis. Op basis van de gelijke lichtstroom lampenspectra is de teruggang voor 65 jarigen t.o.v. 25 jarigen van zowel de visuele als de niet-visuele biologische dosis berekend. Tabel 2 geeft de resultaten.

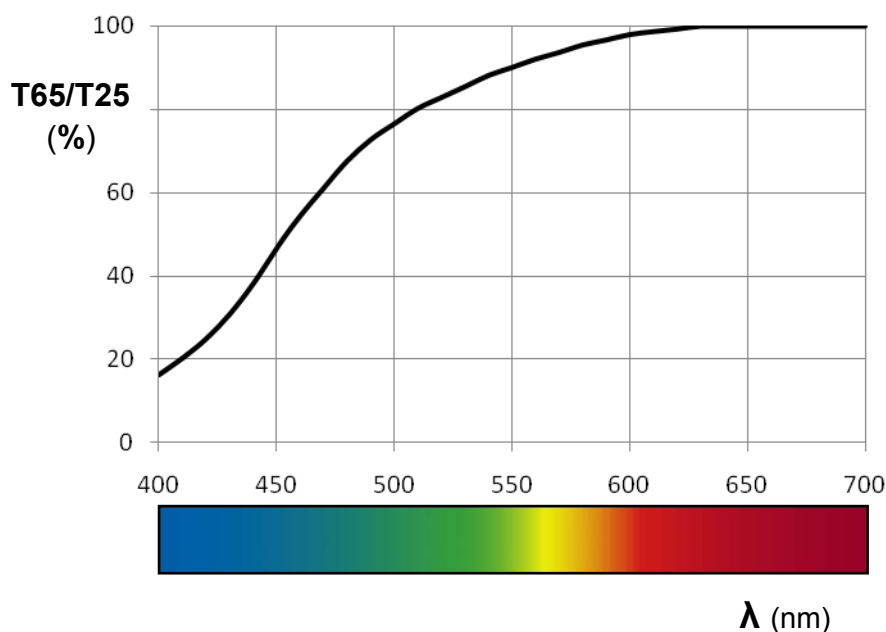


Fig.5: Transmissie van het oog van 65 jarigen relatief t.o.v. 25 jarigen, T_{65}/T_{25} , in afhankelijkheid van de golflengte van het licht [6].

	visuele dosis (%)		biologische dosis (%)	
	25 jr	65 jr	25 jr	65jr
Gloeilamp	100	92,9	100	64,1
Halogeenlamp	100	79,1	130,5	105,0
LED 2700K, Ra 80	100	64,6	99,0	60,8
LED 2850K, Ra 90	100	62,2	92,9	51,3
LED 4000K, Ra 65	100	52,2	133,8	101,4
CFL Spaarlamp 2700K, Ra 80	100	55,3	99,1	51,4
CFL Spaarlamp 4000K, Ra 80	100	55,2	134,1	106,4

Tabel 2: Totale visuele dosis (lichtopbrengst) en biologische dosis (%) van 25 jarigen en 65 jarigen. t.o.v. van die van een gloeilamp bij gelijke lichtopbrengst (25 jr.).

Figure 6 geeft de gegevens van tabel 2 in grafische vorm.

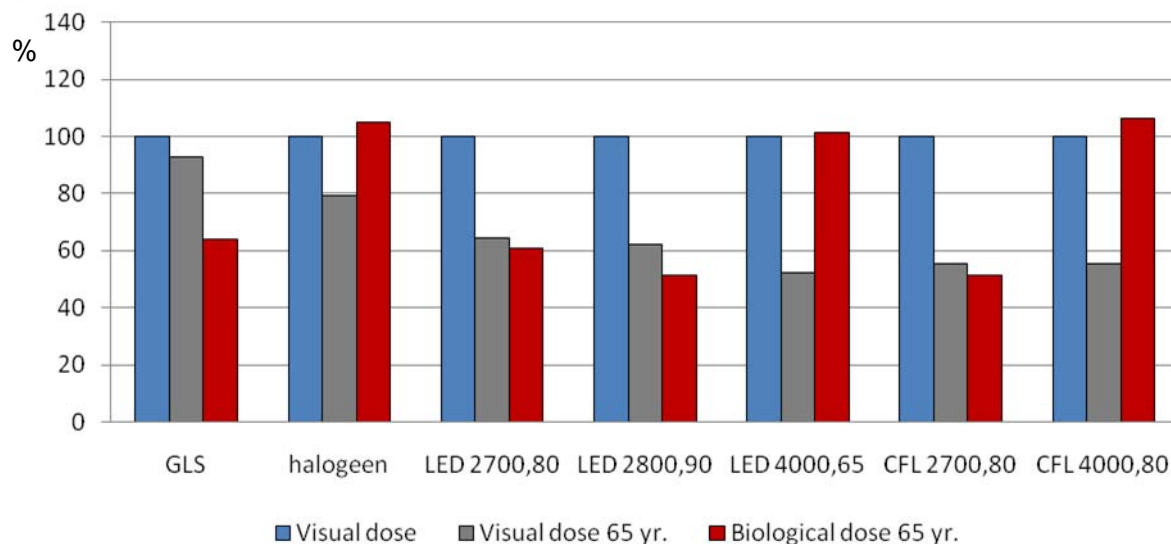


Fig.6: Totale visuele dosis (lichtopbrengst) en biologische dosis (%) van 25 jarigen en 65 jarigen. t.o.v. van die van een gloeilamp bij gelijke lichtopbrengst (25 jr.).

Het belangrijkste effect is de lagere visuele dosis voor het oudere oog bij alle lampen wat een negatieve invloed op de visuele mogelijkheden van ouderen heeft. De teruggang in visuele dosis is bij toepassing van een gloeilamp duidelijk het minst. Bij de gloeilamp en de LED- en spaarlampen van ca. 2700-3000K vermindert de biologische dosis door het spectrale leeftijdseffect sterker dan de visuele dosis. Dit betekent dat eventuele compensatie

van het verlies in visuele dosis door toepassing van een lamp met hogere lichtopbrengst geen negatieve consequenties voor het totale biologische effect heeft.

Conclusies

Zoals aangegeven dateert de ontdekking van het nieuwe type lichtgevoelige celletje dat zo belangrijk is voor de niet-visuele biologische effecten pas uit 2002. Details van het mechanisme van niet-visuele biologische effecten worden nog onderzocht. Zo is hier bijvoorbeeld aangegeven dat het waarschijnlijk is dat er een onderlinge wisselwerking is tussen dit type cel en de kegeltjes en staafjes. Zoals aangegeven is zo'n wisselwerking op zijn beurt van invloed op de wijze van toepassing van het biologische actiespectrum. Nieuwe kennis over deze wisselwerking en over andere details van het mechanisme zouden tot nuanceringen in de conclusies die we hieronder geven kunnen leiden.

Effecten op lichaamsritme en gezondheid

s' Avonds moeten we biologisch ineffectief en visueel effectief licht gebruiken. Op basis van gelijke lichtopbrengst tonen onze berekeningen aan dat de biologische dosis bij toepassing van warmwitte spaarlampen (CFLs) en LEDlampen van ca. 2700K-3000K en goede kleurweergave eenzelfde of lagere biologische dosis geven dan gloeilampen. Overschakeling van gloeilampen op deze energiezuiniger alternatieven heeft geen extra verstrend effect op ons natuurlijk lichaamsritme en als zodanig ook niet op onze gezondheid.

Koelwitte LED- en spaarlampen van ca. 4000K geven wel een hogere biologische dosis, namelijk ca. 34%. Ook halogeenlampen resulteren in een hogere biologische dosis (ca. 30 %).

Leeftijdseffect

Het spectrale leeftijdseffect reduceert de visuele dosis voor ouderen wat een negatief effect heeft op hun visuele mogelijkheden. Waar deze reductie bij een gloeilamp ca. 7% en bij een halogeenlamp ca. 21% is, is de reductie bij toepassing van LEDlampen van 2700K-3000K ca. 35 tot 38%. Bij gebruik van een spaarlamp (2700K en 4000K) en de LEDlamp van 4000K is de reductie het sterkst, tot 48%. Ook de biologische dosis reduceert vanwege het spectrale leeftijdseffect, in het geval van gloeilamp, LED- en spaarlamp van 2700K-3000K, sterker dan de reductie in visuele dosis. Bij compensatie van het visuele verlies door toepassing van een hogere lichtstroom blijft de biologische dosis bij gebruik van deze lampen daarom onder de oorspronkelijke 100% (basis: gloeilamp, jonge mensen). Ook voor het oudere oog kan het gebruik van spaar- of LEDlampen van ca. 2700K-3000K niet schadelijker geacht worden dan gloeilampverlichting.

Onbekend is nog in hoeverre het netvlies, de fotoreceptoren en de hersenen zelf zich misschien voor een deel aanpassen aan de veranderde spectrale transmissie van het oudere oog.

Dankwoord

De auteur dankt Prof. Dr. Domien Beersma (Rijksuniversiteit Groningen) en Dr. Luc Schlangen (voorzitter Stichting Onderzoek Licht en Gezondheid, SOLG) voor het doorlezen van het manuscript en het geven van waardevol commentaar.

Referenties

- [1] Brainard, G.C.; "Photoreception for regulation of melatonin and the circadian system in humans", fifth International LRO Lighting research symposium, Orlando, 2002.
- [2] Rea, M.S.; Bullough, J.D; Figueiro; M.G.; Bierman, A.; "Spectral opponency in human circadian phototransduction: implications for lighting practice", Proceedings of CIE Symposium Lighting & Health, Vienna, 111-115, 2004.
- [3] Mure, L.S.; Rieux, C.; Hattar, S.; Cooper, H.M. ; "Melanopsin-dependent nonvisual responses : evidence for photopigment bistability in vivo", Journal of biological rhythms, Vol. 5, 411-424, 2007.
- [4] van Gelder, R.N.; Mawad, K.; "Illuminating the mysteries of melanopsin and circadian photoreception", Journal of biological rhythms, Vol. 5, 394-395, 2007.
- [5] Rea, M.S.; Figueiro; M.G.; Bullough, J.D.; Bierman, A. ; "A model of phototransduction by the human circadian system", Brain Research Reviews, Vol. 50, 213-218, 2005.
- [6] *CIE Publication, 158*. Ocular lighting effects on human physiology and behavior. Vienna, 2004.

Prof. Ir. Wout van Bommel
Van Bommel Lighting Consultant
www.woutvanbommel.eu
5 februari 2010