

HUMAN CENTRIC LIGHTING

MOGELIJKHEDEN BENUTTEN OF BANG AFWACHTEN?

Sara KINDT | Eowyn VAN DE PUTTE

Lore VANDEVIVERE

Wouter RYCKAERT

Projectuitvoerders

Howest Toegepaste Gezondheidswetenschappen

sara.kindt@howest.be, tgw@howest.be

KU Leuven Laboratorium voor Lichttechnologie

eowyn.vandeputte@gmail.com, wouter.ryckaert@kuleuven

vzw Groen Licht Vlaanderen

info@groenlichtvlaanderen.be

Met de steun van

VLAIO (projectnr. 180018: "Human Centric Lighting: mogelijkheden benutten of bang afwachten?") en met gewaardeerde financiële steun van onze partners:

Attentia | B.E.G. | Boydens Engineering | Cebeo | DeltaLIGHT | Eloya Encon | Esylux | Etap | F.E.E. | Feilo Sylvania | G.I.A. | Groen Licht Vlaanderen vzw | Helvar | IDEWE | Kreon | Liantis | LightConsult

Lign | Luxendi | Motena | Nelectra | Odid | PITS Modular | Retail Office Signify | Sint-Jozefskliniek Izegem | Techlink | Trilux | UZ Leuven VIPA | Volta-Tecnolec | Volvo Trucks | WTCB | en Zumtobel

INHOUD

WAT IS HUMAN CENTRIC LIGHTING?	5
Impact licht op biologisch functioneren	6
Impact licht op lichamelijk functioneren	7
Impact licht op cognitief functioneren	7
Impact licht op emotioneel functioneren	9
HOE TE KWANTIFICEREN: MEDI en MDER	11
Lichtgrootheden	11
Radiometrische grootheden	11
Fotometrische grootheden	13
Melanopische grootheden	15
MEDI	16
Illustratie berekening	19
Fotopische Verlichtingssterkte	19
Melanopische Verlichtingssterkte	19
MEDI	20
MDER	21
LICHTPARAMETERS HCL ONTWERP	22
Visuele parameters	22
Niet-visuele parameters	23
Hoe MEDI opmeten in praktijk?	24
Tips aanpassen MEDI	25
Hoe MEDI verhogen via lichtontwerp?	25
Hoe MEDI verhogen via interieur?	27
HOE EEN HCL-ONTWERP EVALUEREN?	28
Volwassenen	29
Slaap & circadiaans ritme	29
Cognitief functioneren	30
Emotioneel functioneren	31
Ouderen	31
Slaap & circadiaans ritme	31
Cognitief functioneren	32
Emotioneel functioneren	32
SLOTWOORD	33
BIJLAGE 1 HOE WERKEN MET MEDI IN DIALUX?	34
Hoe MEDI berekenen in DIALux?	34
Hoe MEDI laten fluctueren in DIALux?	39

BIJLAGE 2 | CIE SYSTEM FOR METROLOGY OF OPTICAL RADIATION FOR IPRGC INFLUENCED
RESPONSES TO LIGHT41

WAT IS HUMAN CENTRIC LIGHTING?

Human Centric Lighting (HCL) is het optimaliseren van verlichting rekening houdend met zowel visuele als niet-visuele welzijnseffecten van licht op de mens. Dit wordt ook wel 'biodynamisch' of 'circadiaans' licht genoemd. Door deze integrale kijk op licht heeft de CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) recent de term Integrative Lighting geïntroduceerd als officiële terminologie. Tot voor kort lag de focus enkel op het visuele belang van licht. Hierbij wordt rekening gehouden met de specifieke voorkeuren van mensen zoals welke verlichtingssterkte/luminantie, kleurtemperatuur, kleurweergave of mate van (in)direct licht als meest aangenaam ervaren wordt. Ons visueel systeem heeft vier lichtreceptoren in het oog die hierbij betrokken zijn. Staafjes zijn belangrijk om beweging te kunnen waarnemen en te kunnen zien bij zeer lage lichtniveaus, terwijl drie soorten kegeltjes belangrijk zijn voor de kleurwaarneming.

Er is begin jaren 2000 ook een vijfde soort lichtreceptor ontdekt die een cruciale rol speelt in het niet-visuele systeem van ons oog. Deze worden de "intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells" (ipRGC's) genoemd en bevatten het fotopigment melanopsine. Deze cellen staan via de oogzenuw rechtstreeks in verbinding met onze biologische klok die o.a. een cruciale rol speelt in de regulatie van ons slaap-waak ritme. Licht tijdens de dag en duisternis tijdens de avond en nacht zorgen ervoor dat onze interne biologische klok samenloopt met het omgevingsritme. Hierdoor zijn we op de juiste momenten van de dag actief of in slaap. Het is belangrijk om dagelijks tussen 6 en 11u minimaal 30 minuten blootgesteld te worden aan licht met een voldoende hoog aandeel aan korte golflengtes (via daglicht of getunedede ledlampen). Dit licht wordt in de populaire media ook wel "blauw licht" genoemd. Hierbij is de aanwezigheid van cyaan (blauwgroene) golflengtes echter niet voldoende. Om een daadwerkelijk effect te bekomen is een hoge bestralingssterkte (intensiteit) echt wel cruciaal. Zo is het veranderen van de kleurtemperatuur doorheen de dag (tunable white) niet voldoende. Blootstelling aan licht tijdens de ochtend zorgt voor de beste synchronisatie van onze biologische klok met de omgeving. Dit is extra belangrijk gezien we in onze huidige maatschappij vaak binnen zitten (90% van de tijd) in ruimtes die onvoldoende verlicht zijn. De verlichting is misschien genoeg om onze visuele taak te kunnen uitoefenen, maar voor ons biologisch functioneren is de meeste verlichting ruim onvoldoende en spreekt men soms van biologische duisternis.

Impact licht op biologisch functioneren

Mensen zijn dagdieren, dit wil zeggen dat wij (in de meeste gevallen) overdag actief zijn en 's nachts slapen. Helaas komt het ritme van onze interne biologische klok (gemiddeld 24 uur en 9 minuten) niet altijd overeen met de omgevingstijd (24 uur). Zonder blootstelling aan licht in de ochtend zou 85% van de bevolking steeds later naar bed gaan en later opstaan. Met als gevolg dat we na een week al meer dan een uur (9 minuten x 7 dagen = 63 minuten) vertraging oplopen met het school- of werkritme. Vandaar wordt dit fenomeen ook een "**sociale jetlag**" genoemd. We zouden beginnen achterlopen op de omgevingstijd omdat de productie van onze hormonen en onze lichaamsprocessen, die normaal volgens een vast patroon fluctueren doorheen de dag, verstoord geraken. Daarom hebben we externe tijdgevers nodig om onze biologische klok te synchroniseren met de omgevingsklok. Zowel licht als temperatuur zijn omgevingscues die aangeven welk tijdstip van de dag het is.

Blootstelling aan licht is het belangrijkste mechanisme om onze biologische klok terug juist te zetten met de omgevingstijd. Licht staat immers via de oogzenuw in verbinding met de nucleus suprachiasmaticus, het deel in de hersenen waar onze biologische klok zich bevindt. Het terug juist zetten van onze interne klok, "**synchronisatie**" genoemd, dient elke dag opnieuw te gebeuren om ervoor te zorgen dat de periodes waarin we wakker zijn en slapen, zo goed mogelijk overeenkomen met de periodes waarin het dag en nacht is. Een slechte synchronisatie kan leiden tot ernstige slaapproblemen en andere gezondheidsklachten. Het installeren en instellen van goede verlichting kan deze kwalen helpen voorkomen.

De impact van licht op het synchroniseren van onze biologische klok is afhankelijk van het tijdstip, de duur en de hoeveelheid van lichtblootstelling. Bij blootstelling aan licht in de ochtend (6u-11u) zorgen we ervoor dat ons slaaphormoon (melatonine) vroeger stopgezet wordt waardoor we 's morgens sneller actief zijn. Dit effect is uiteraard groter als je vroeger in de ochtend (bv. om 6u in plaats van 10u) aan hoge lichtniveaus wordt blootgesteld. Daarnaast zorgt licht in de ochtend er ook voor dat melatonine vroeger op de avond wordt aangemaakt, waardoor we in de avond sneller in slaap kunnen vallen. Indien we echter in de avond of nacht (18u-6u) aan licht worden blootgesteld dan zullen we de volgende dag nog meer beginnen achterlopen op de omgeving. Concreet betekent dit dat we later zouden gaan slapen en langer zouden uitslapen indien er geen wekker zou afgaan. Daarom is het, naast veel licht in de ochtend, ook van belang om het licht te dimmen vanaf 18u zodat de melatonineproductie in de avond sneller kan aangemaakt worden en we 's avonds gemakkelijker in slaap vallen. Dit zal eveneens de productie van cortisol in de ochtend bevorderen, het hormoon dat ons activeert. Daarnaast zal natuurlijk ook de duur en hoeveelheid lichtblootstelling een rol spelen: hoe langer de blootstelling en hoe hoger de verlichtingssterkte, hoe groter de verschuiving van onze biologische klok zal zijn. De minimum aanbevolen verlichtingssterkte voor licht in de ochtend is een MEDl (zie verder) van 200 – 240 lux op ooghoogte. Voor bv. een courante lichtbron met een kleurtemperatuur van 3500 K is dit ongeveer 400 – 500 lux.

Impact licht op lichamelijk functioneren

Verstoringen in metabolische processen en slaap aangestuurd door het circadiaans ritme kunnen op lange termijn een negatieve impact hebben op ons lichamelijk functioneren. Onaangepaste verlichting kan de kans op cardiovasculaire aandoeningen, immuunstoornissen, diabetes en kanker zelfs verhogen. Een ontregeld circadiaans ritme zorgt immers voor een verstoring van de hormonale processen en lichaamsfuncties. Onder andere fluctuaties in onze bloeddruk en hartslag worden gereguleerd door het circadiaans ritme en volgen idealiter een 24u-patroon. Indien dit ritme uit balans geraakt, kan dit het risico op cardiovasculaire aandoeningen verhogen. Daarnaast speelt het circadiaans ritme ook een rol in de aansturing van onze spijsvertering, groeihormoon en insuline. Verstoringen in deze processen kunnen bijgevolg aanleiding geven tot obesitas. Vervolgens is het hormoon melatonine niet alleen belangrijk voor onze slaap, maar ook voor onze celherstel. Dit kan op zijn beurt aanleiding geven tot verstoringen van ons immuunsysteem, waardoor het risico op kanker kan verhogen (bv. nachtverpleging).

Mensen die nacht- of shiftwerk (en zeker bij snel roterende shiften) doen, hebben vaak verstoringen in hun circadiaans ritme door onvoldoende blootstelling aan licht, waardoor de hormonale processen verstoord worden en het risico verhoogt op lichamelijke aandoeningen. Een van de effectiefste manieren om slaap te verbeteren is op een vast tijdstip slapen en op een vast tijdstip opstaan. Het is dus niet verwonderlijk dat wanneer mensen in shiften werken, het slaap-waak patroon onder druk komt te staan. Door middel van aangepaste verlichting tijdens het nachtwerk (bv. licht met lage MELI) kunnen deze negatieve gevolgen gelukkig ook gereduceerd worden.

Impact licht op cognitief functioneren

Licht heeft niet alleen een impact op onze slaap en onze lichamelijke gezondheid, maar ook op het cognitief functioneren.

WAT IS COGNITIE?

Cognitie is een complex gegeven en valt uiteen in verschillende niveaus. Eerst hebben we onze *basale alertheid*, wat iets zegt over ons energieniveau (hoe wakker of slaperig we zijn). Daarnaast hebben we een tweede, iets complexere, vorm van aandacht nodig wanneer we onze aandacht a) doelgericht op een bepaalde taak willen *richten*, b) moeten *verdelen* over meerdere taken tegelijk, of c) gedurende langere tijd willen *volhouden*. Tot slot bestaat er nog een derde complexere vorm van aandacht (executieve controle), waarbij het *coördineren* van aandachtsprocessen centraal staat: bv. gedrag afremmen, switchen tussen taken, plannen en vooruitdenken, info tijdelijk opslaan etc. Licht kan een impact hebben op alle niveaus van aandacht, al is de meest duidelijke impact op korte termijn voornamelijk aangetoond op het niveau van onze basale alertheid. Om complexere vormen van aandacht te beïnvloeden is langdurige blootstelling aan licht nodig en wordt het effect bovendien pas op langere termijn verwacht. Onderzoek ontbreekt vooralsnog.

VIA WELKE MECHANISMEN VERLOOPT DIT?

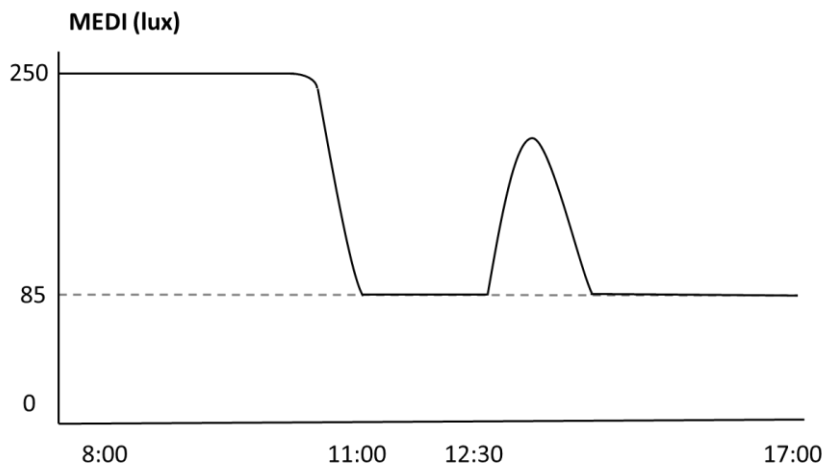
Licht in de ochtend stuurt onze biologische klok aan en beïnvloedt onze slaapkwaliteit. Aangezien we na een nachtje goed slapen overdag alerter zijn, zal blootstelling aan licht ook een impact hebben op onze alertheid de volgende dag. Door voldoende lichtblootstelling in de ochtend zal u die avond goed slapen, waardoor u de volgende dag overdag alerter zal zijn en beter zal functioneren. Dit proces betreft een indirecte impact van licht via slaap (**circadiaanse route**). Licht kan ook een direct activerend of “acuut” alertheidseffect (**fotobiologische route**) teweegbrengen zoals het drinken van een kopje koffie. Hierbij kan licht zowel in de ochtend als in de namiddag zorgen voor een acute verbetering van de alertheid. Wetenschappelijke studies hebben vooral deze tweede route kunnen aantonen, enerzijds op de subjectieve beleving van mensen (mensen voelen zich alerter) en anderzijds op objectieve parameters (reactietijden op computertaken die alertheid meten).

WAT IS DE IMPACT VAN LICHT OP ONZE PRESTATIES?

Werknemers die worden blootgesteld aan hoge MEDI-waardes (zie verder) in de ochtend voelen zich alerter en kunnen zich beter concentreren. Deze verhoogde concentratie kan en zal aanleiding geven tot een verbetering van de werkprestaties en productiviteit (bv. een daling van assemblagetijden). Ook kinderen zijn aandachtiger tijdens de les en behalen betere punten op toetsen wanneer zij in de ochtend worden blootgesteld aan hoge MEDI-waardes. Daarnaast zijn studenten ook minder slaperig bij het opstaan en zijn ze vroeger alert in de les. Dit is extra belangrijk bij avondtypes omdat ze tijdens ochtenduren nog niet functioneel zijn. Voor avondtypes kan de oplossing dus zijn om schooluren te verlaten of het circadiaans ritme te vervroegen door blootstelling aan hoge MEDI-waardes in de ochtend, waardoor ze vroeger alert zijn.

HOEVEEL LICHT HEBBEN WE NODIG OM ALERTER TE ZIJN?

Het is moeilijk om een duidelijk cutoff op te stellen vanaf wanneer er een effect is op aandacht, aangezien dit ook afhangt van de persoon, werkcontext, mate van vermoeidheid/slaapproblemen, type werk, vorige lichtblootstellingen, ... Het is dan ook nuttig om een dynamisch lichtscenario te implementeren waarbij de lichtniveaus aangepast worden aan het moment van de dag en de individuele omstandigheden (zie bv. figuur 1). 's Ochtends heeft licht het grootste effect op onze synchronisatie. De impact op onze alertheid verloopt hier dus indirect via de circadiaanse route. Vanaf 11u mag de MEDI van 250 afzakken naar 85 MEDI. Na de lunch kan er een lichtboost van 30 min op 200 MEDI ingesteld worden om de post-lunch dip tegen te gaan. Hier is dan sprake van een direct alertheidseffect (fotobiologische route). Nadien mag de MEDI terug afzakken om de productie van melatonine (slaaphormoon) niet te verstoren.



Figuur 1. Voorbeeld van een dynamisch lichtscenario in de werkcontext.

Impact licht op emotioneel functioneren

LICHTTHERAPIE

Een gekende toepassing van licht om het emotioneel functioneren te verbeteren is lichttherapie, waarbij men door middel van lichtboxen of lichtbrillen overdag (idealerweise in de ochtend) wordt blootgesteld aan zeer hoge MEDl-waarden (1800-7500 lux). Vele studies hebben dan ook aangetoond dat lichttherapie effectief is voor de behandeling van verschillende vormen van depressie. Na één à twee weken kan de positieve impact van lichttherapie op depressieve symptomen reeds worden vastgesteld. Bij seizoensgebonden depressie zorgt lichttherapie voor positieve resultaten bij zowel kinderen, jongeren als volwassenen. Dit is niet zo vreemd aangezien seizoensgebonden depressies net ontstaan door blootstelling aan te weinig ochtendlicht in de donkere wintermaanden. Ook bij individuen die last hebben van de typische winterblues blijkt licht in de ochtend het gemoed te verbeteren, de alertheid en het energieniveau te verhogen. Bij niet-seizoensgebonden depressie zijn er op korte termijn ook duidelijke effecten van licht in de ochtend, voornamelijk bij individuen die ten gevolge van de depressie een slaapttekort hebben opgebouwd.

RELIGHTING

Studies die de verlichting hebben aangepast volgens HCL-criteria tonen aan dat de aangepaste verlichting op langere termijn kan leiden tot een verbetering van de emotionele gemoedstoestand (daling in angst, depressie, negatief affect) doordat slaap en het circadiaans ritme beter in balans zijn. Daarnaast tonen studies ook aan dat de aangepaste verlichting ook een direct opbeurend en activerend effect kan hebben. Hogere MEDl-waarden kunnen stemming en vitaliteit rechtstreeks bevorderen, zoals bv. opgewekte muziek ons meteen kan opbeuren. Deze positieve effecten van licht op emotioneel welzijn zijn aangetoond in verschillende settings. Zowel in de **werkcontext** op kantoor als in een industrieomgeving bleek de aangepaste verlichting angstige en depressieve gevoelens te verminderen. Op langere termijn tonen simulaties/studies aan dat de aangepaste verlichting aanleiding kan hebben tot minder absentisme en een sterkere betrokkenheid van de werknemers door een verhoogde emotionele veerkracht.

In het **onderwijs** had de aangepaste verlichting van het klaslokaal ook een positieve invloed op de stemming van de leerlingen. Tot slot tonen studies aan dat aangepaste verlichting in de dagzaal van een woonzorgcentrum kan leiden tot een vermindering van depressieve symptomen bij bewoners met **dementie**.



Doordat licht onze mentale en lichamelijke gezondheid zo sterk beïnvloedt, is het dan ook cruciaal dat we naast visuele optimalisatie, energie-efficiënte en duurzame verlichting ook inzetten op de niet-visuele effecten van licht. De éézijdige focus om bij de berekening van terugverdientijden (ROI) enkel rekening te houden met installatie-, onderhouds- en energieverbruikskosten zorgt ervoor dat performante verlichtingssystemen te moeilijk ingeburgerd geraken. Het is daarom toe te juichen dat bijvoorbeeld het WELL-certificatiesysteem wel rekening houdt met het welzijn van personen.

HOE TE KWANTIFICEREN: MEDI EN MDER

Lichtgrootheden

Om licht te kwantificeren is het belangrijk dat er een onderscheid gemaakt wordt tussen verschillende lichtgrootheden: radiometrische grootheden (gerelateerd aan de stralingsenergie, inclusief o.a. infraroodstraling) en fotometrische grootheden (die rekening houden met de ooggevoeligheid van het menselijk oog om onze visuele waarneming te kunnen beschrijven). Daarnaast zijn recent ook melanopische HCL-grootheden ontwikkeld om de impact van licht op ons welzijn (circadiaans systeem) te kwantificeren. Om de nieuwe melanopische grootheden te verhelderen, zullen we deze vergelijken met de radiometrische en fotometrische basisgrootheden van licht.

Radiometrische grootheden

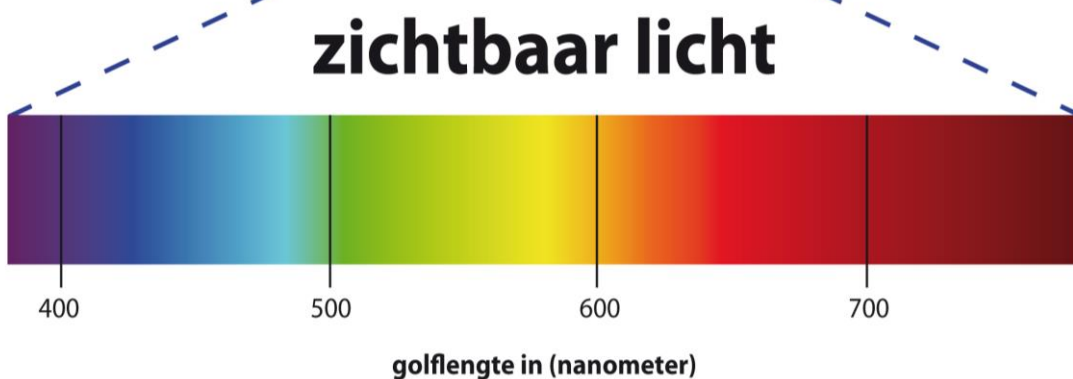
Wanneer men spreekt over het volledig elektromagnetisch spectrum (zie Figuur 2) van golflengtes (infrarood-zichtbaar-ultraviolet) uitgestraald door een lichtbron zonder rekening te houden met de ooggevoeligheid dan spreekt men over "radiometrische grootheden". De **stralingsstroom/vermogen** Φ_e is een gekende radiometrische grootheid en wordt gedefinieerd als het tempo waarmee stralingsenergie wordt overgedragen. De stralingsstroom kan worden beschouwd als het vermogen geassocieerd met de elektromagnetische golf en heeft als eenheid **Watt (W)**. De stralingsstroom Φ_e wordt berekend door de spectrale dichtheid van de lichtbron te integreren over alle golflengtes (λ):

$$\Phi_e = \int_{\text{all } \lambda} \Phi_{e,\lambda} d\lambda$$

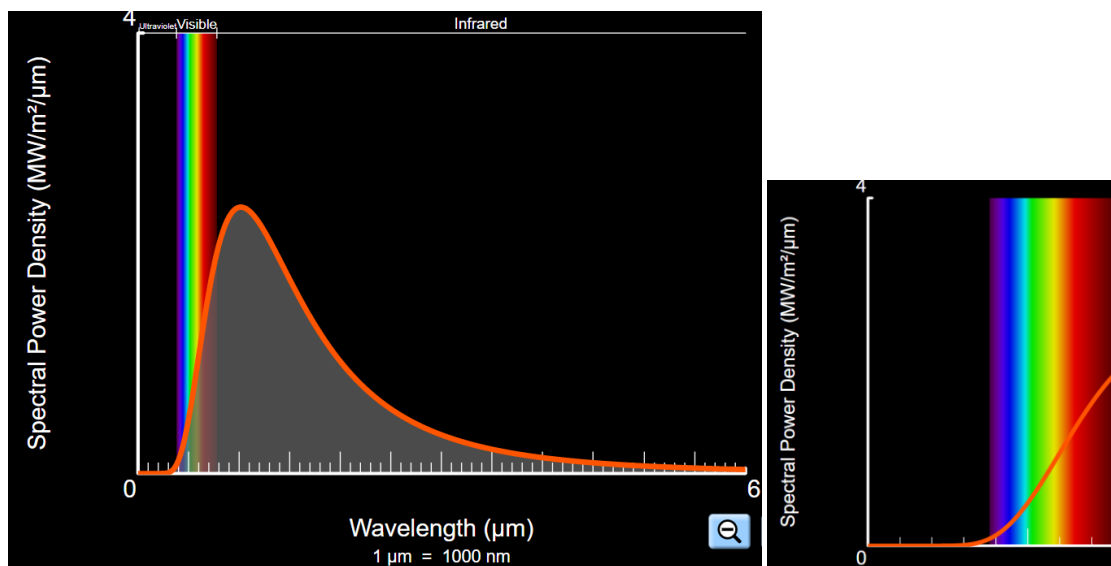
Deze formule is gemakkelijk grafisch te interpreteren. Φ_e komt overeen met de oppervlakte tussen de curve en de horizontale as (Figuur 3).

radio golven	micro golven	infrarode straling			zichtbaar licht				ultraviolet licht			rontgen straling	gamma stralen	
		ver-infrarood 0.01 - 1nm	middel-infrarood 0.01 - 0.03 nm	nabij-infrarood 780 - 10.000 nm	380 - 800 nm				UV-A 315 - 400 nm	UV-B 280 - 400 nm	UV-C 100 - 280 nm			

1 nm = 1 miljoenste milimeter



Figuur 2. Overzicht golflengtes en benamingen.



Figuur 3. Spectrale stralingsstroom van een halogeen lamp (illuminant A; afbeelding links). De geïntegreerde waarde is gelijk aan de stralingsstroom en correspondeert met de oppervlakte onder de curve. Je ziet dat deze lamp slechts een klein stukje van het visuele spectrum omvat (afbeelding rechts).

Een tweede radiometrische grootheid die hieraan gelinkt kan worden is de **bestralingssterkte E_e** die uitdrukt hoeveel stralingsstroom (W) er op een bepaald oppervlak (m^2) invalt. De eenheid van de

bestralingssterkte is dan ook $\mathbf{W/m^2}$. De bestralingssterkte (W/m^2) wordt bijvoorbeeld gebruikt voor het berekenen van het aantal zonnepanelen dat nodig is op een bepaalde plaats op aarde.

$$E_e = \int_{all \lambda} E_e(\lambda) d\lambda$$

Φ_e en E_e zijn dus grootheden die gerelateerd zijn aan het vermogen van de straling. Dat is de reden waarom ze 'radiometrisch' worden genoemd. De index 'e' betekent 'energetisch', verwijzend naar een puur fysische grootheid zonder enige relatie tot de visuele respons van de waarnemer. Zo heeft een infraroodlamp (IR-lamp) bijvoorbeeld een hoge stralingsstroom (waardoor er warmte vrijkomt), maar komt er weinig zichtbaar licht uit. Om het zichtbare gedeelte (van 380 nm tot 780 nm) van het lightspectrum te kwantificeren zijn bijgevolg fotometrische grootheden ontwikkeld.

Fotometrische grootheden

In de verlichting worden radiometrische grootheden echter zelden gehanteerd. In de praktijk wordt gebruik gemaakt van fotometrische lichtgrootheden die de ervaring van de waarnemer (de hoeveelheid 'licht' die invalt op het oog) en dus het zichtbare licht beschrijven. Als de straling van de lichtbron op het menselijk oog invalt, zullen de lichtgevoelige cellen in het netvlies (lichtreceptoren) reageren. Deze lichtreceptoren bevatten een uniek pigment dat bepaalt voor welke golflengtes de lichtreceptor gevoelig is. Het logische gevolg is dat het vermogen van een lichtbron geen rechtstreekse maat is voor onze visuele waarneming. Elke golflengte van de lichtbron veroorzaakt namelijk een andere visuele respons. Indien men rekening houdt met de ooggevoeligheid, en dus enkel de golflengtes van de lichtbron overblijven die binnen de visuele ooggevoeligheidscurve vallen (i.e. van 380nm-780nm, de rest 'zien' we toch niet en wordt bijgevolg vermenigvuldigd met 0), dan worden dit "fotometrische grootheden" genoemd. Concreet geeft de fotopische ooggevoeligheidscurve ($V(\lambda)$) de gemiddelde gevoeligheid van het menselijk oog weer voor verschillende golflengtes en kan deze gebruikt worden om stralingsenergie om te rekenen naar lichtgrootheden.

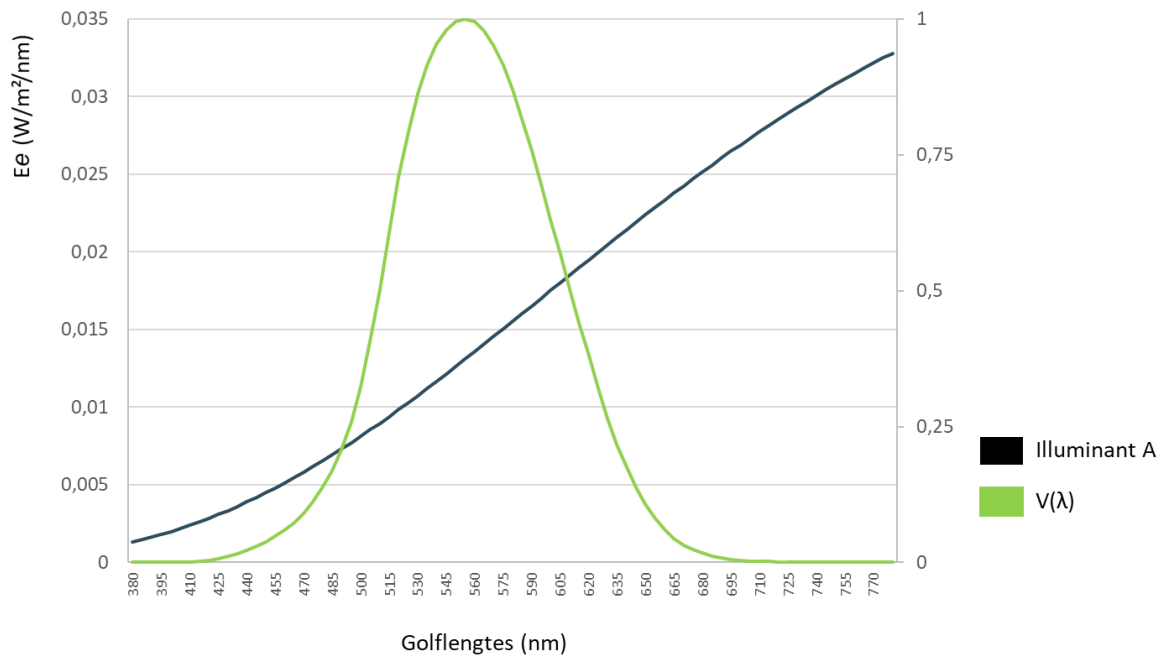
Het visuele systeem wordt voornamelijk getriggerd door de kegeltjes die gevoelig zijn voor de midden (groen) en lange golflengtes (rood). De fotopische ooggevoeligheidscurve heeft dan ook een maximale gevoeligheid voor licht met (groene/gele) golflengtes van 555 nanometer (nm). Bijna alle lichtgrootheden die worden gebruikt voor lichtontwerp en lichtonderzoek zijn afgeleid van deze fotopische ooggevoeligheidscurve, die de visuele aspecten van licht kwantificeert.

Om de fotometrische grootheid die correspondeert met de radiometrische stralingsstroom/bestralingssterkte te bekomen moet de spectrale stralingsstroom/bestralingssterkte vermenigvuldigd worden met de fotopische ooggevoeligheid, gevolgd door het optellen of integreren van alle bijdragen¹. De ooggevoeligheid kan worden beschouwd als een spectrale wegingsfactor equivalent aan een filterwerking. In Figuur 4 wordt dit grafisch geïllustreerd. Concreet zullen we de integraal nemen, waarbij we de oppervlakte onder de curve sommeren.

¹ En nog vermenigvuldigen met 683 – zie formule p.16

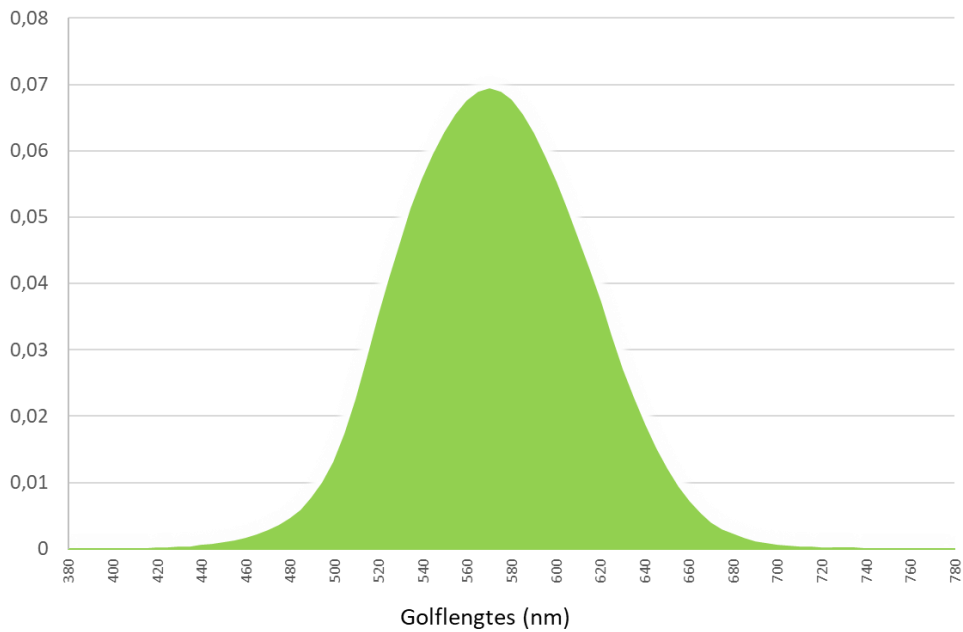
a)

Ooggevoeligheidscurve $V(\lambda)$ en spectrale bestralingssterkte van een oppervlak verlicht door een lichtbron met illuminant A spectrum (bv. halogeenlamp)



b)

Illuminant A * $V(\lambda)$



Figuur 4. (a) Ooggevoeligheidscurve en spectrale bestralingssterkte. (b) Vermenigvuldiging, integratie en het toepassen van een schaalfactor resulteren in de fotometrische grootheid lichtstroom, uitgedrukt in lux.

Dit resulteert in de **verlichtingssterkte**: E_v , uitgedrukt in **Lux (lx)** of de **lichtstroom**: Φ uitgedrukt in **lumen (lm)**. Deze grootheden kunnen dan ook worden gezien als de fotometrische equivalenten van de **bestralingssterke** E_e en het geleverde vermogen (**stralingsstroom** Φ_e). Bij de omrekening van radiometrische grootheden naar fotometrische grootheden wordt een historisch vastgelegde schaalfactor van 683 gebruikt. Zo bijvoorbeeld wordt de formule om over te gaan van spectrale stralingsstroom naar lichtstroom gegeven door:

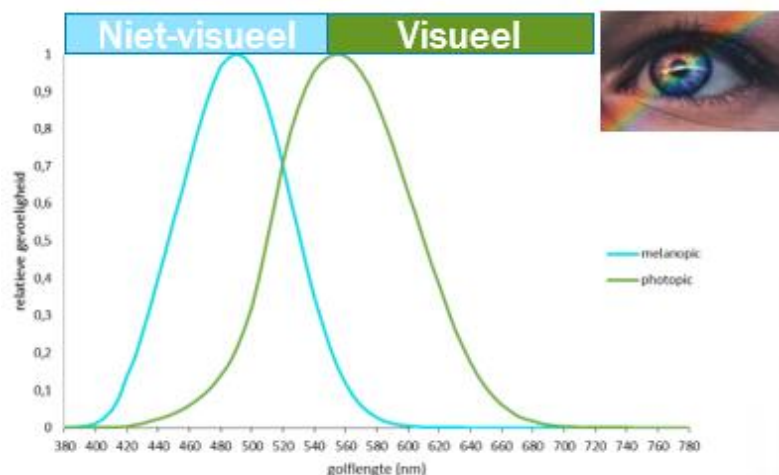
$$\Phi = 683 \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda$$

Bij fotometrische grootheden die gerelateerd zijn aan de visuele respons wordt de subindex 'e' niet gebruikt. Bij het berekenen van fotometrische grootheden worden de integratiegrenzen beperkt tot het zichtbaar spectrum (380 nm - 780 nm) omdat buiten dit golflengte-interval de ooggevoeligheid toch nul is. Zo vertegenwoordigt infraroodstraling (780nm - 1mm) weliswaar vermogen, maar zal dit niet opgemerkt worden door het menselijk oog, omdat deze straling niet binnen het fotometrisch golflengte-interval valt. De verlichtingssterkte E_v , uitgedrukt in lux, drukt uit hoeveel lichtstroom (lumen) er vanuit alle richtingen op een bepaald oppervlak (m^2) invalt en kan dus uitgedrukt worden als **lumen/m²** (zie onderstaande formule). In de praktijk wordt lumen/m² echter vervangen door **lux** als officiële eenheid voor verlichtingssterkte. Zo is in een kantooromgeving vereist dat er minimum 500 lux horizontaal invalt op het werkvlak. De globale zonnestraling (=bestralingssterkte E_e) bedraagt in ons land onder optimale omstandigheden (heldere hemel, middaguur) maximaal 1000 W/m². Meten/berekenen we de verlichtingssterktes E_v bij daglicht bekommen we waarden die zelfs 100.000 lux kunnen overschrijden.

$$E[\text{lx}] = 683 \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad [\text{lx}]$$

Melanopische grootheden

Bijna alle grootheden, zoals de verlichtingssterkte zijn afgeleid van de fotopische ooggevoeligheidscurve $V(\lambda)$, die de visuele aspecten van licht kwantificeert. Licht is echter niet alleen cruciaal om te kunnen zien, maar ook om ons circadiaans systeem te reguleren. In tegenstelling tot het visueel systeem dat geactiveerd wordt door licht dat invalt op de staafjes en de kegeltjes, wordt het niet-visueel systeem voornamelijk geactiveerd door de ipRGC's. ipRGC's bevatten het fotopigment melanopsine, wat gevoelig is voor een ander deel van het lichtspectrum (melanopische ooggevoeligheid) dan de staafjes en kegeltjes. De **melanopische ooggevoeligheidscurve** $S_{mel}(\lambda)$ heeft een piekgevoeligheid op 490 nm (=cyan, linker curve figuur 5) en is dus gevoeliger voor kortere golflengtes in vergelijking met de fotopische ooggevoeligheidscurve die een maximale gevoeligheid heeft bij 555 nm (=groen, rechter curve figuur 5). Wanneer men de invloed van licht op het biologisch systeem wil meten, moeten we gebruik maken van de melanopische ooggevoeligheidscurve $S_{mel}(\lambda)$. Daarom zijn er alternatieve melanopische grootheden gecreëerd zoals de "MEDI" en "MDER" zodat ook de niet-visuele impact van licht op welzijn gekwantificeerd kan worden.



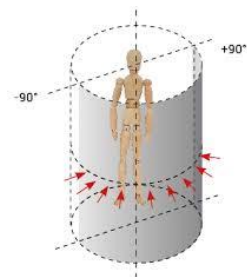
Figuur 5: Linker blauwe curve: melanopische ooggevoeligheidscurve van de ipRGC's. Rechter groene curve: fotopische ooggevoeligheidscurve

MEDI

De nieuwe lichtgrootheid die door de CIE (CIE S 026/E:2018) ontwikkeld is om het welzijnseffect van licht op de mens te kwantificeren is de melanopisch daglichtequivalente verlichtingssterkte (MEDI, *Melanopic Equivalent Daylight Illuminance*). Het symbool voor **MEDI** is $E_{v, mel}^{D65}$ en de eenheid is **lux** net zoals bij fotopische verlichtingssterkte. Dit symbool valt uiteen in verschillende elementen:

E_v

" E_v " is het symbool voor fotopisch gewogen verlichtingssterkte, eenheid lux (afgekort lx). Bij de MEDI zal het gaan over de verlichtingssterkte op een verticaal vlak (de ogen) i.p.v. op een horizontaal vlak zoals gebruikt bij de meting van de verlichtingssterkte op een bureau (500 lux horizontale verlichtingssterkte). Waar we fotopisch 500 lux als horizontale verlichtingssterkte willen om een blad papier te lezen is het voor de niet-visuele aspecten belangrijk om te kijken wat op het oog invalt, dus verticaal.



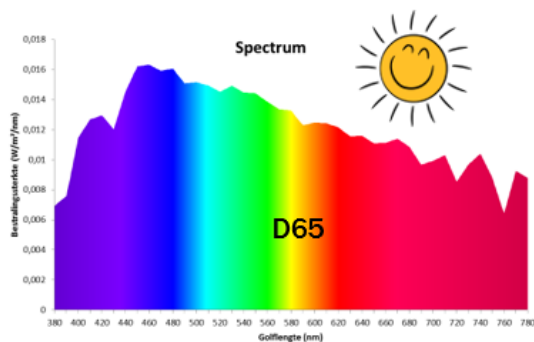
MEL

De spectrale bestralingsterkte E_e wordt door de melanopische ooggevoeligheidscurve (niet-visueel systeem) gewogen. De melanopische verlichtingssterkte wordt berekend op equivalente manier als de fotopische verlichtingssterkte, waarbij de fotopische ooggevoeligheidscurve $V(\lambda)$ vervangen wordt door de melanopische ooggevoeligheidscurve $S_{mel}(\lambda)$. Op die manier houden we enkel de bestralingsterktes over die zich binnen deze melanopische niet-visuele curve bevinden. De bestralingsterktes die zich op de piek van 490 nm bevinden, zullen dus de grootste impact hebben.

$$E_{v,mel}[lx] = 683 \int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} E_e(\lambda) S_{mel}(\lambda) d\lambda [lx]$$

Melanopische verlichtingssterkte zal echter niet de grootheid zijn waarmee het effect van licht op het melanopisch systeem wordt uitgedrukt. Hiervoor wordt de grootheid "MEDI" gebruikt, dit staat voor "Melanopic Equivalent Daylight (D65) Illuminance" of "Daglicht (D65) Equivalente Melanopische Verlichtingssterkte". Er moet dus nog een omzetting gebeuren van de melanopische verlichtingssterkte om deze nieuwe grootheid met daglicht als norm te verkrijgen.

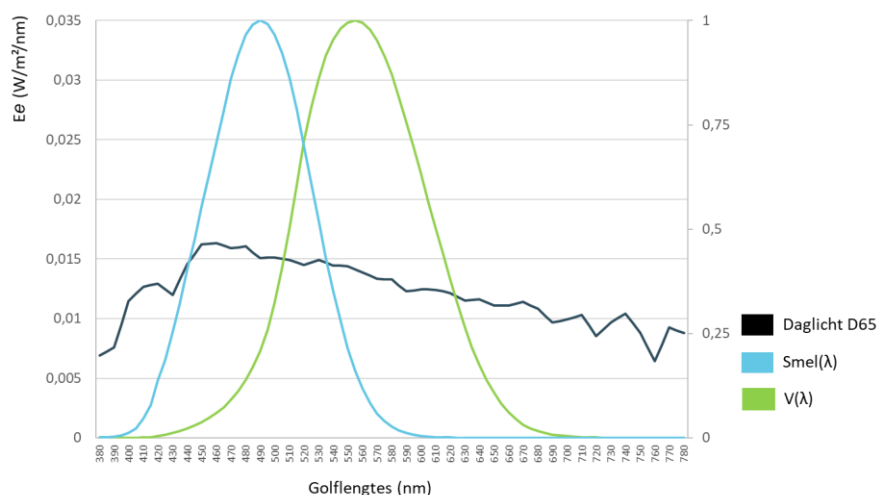
D65



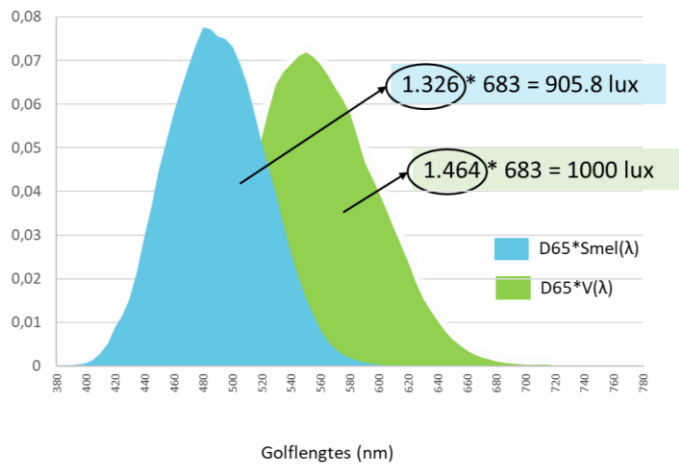
In de MEDI wordt daglicht als referentie genomen omdat daglicht vanuit onze evolutie de belangrijkste lichtbron is om ons circadiaans systeem aan te sturen (dus te bepalen wanneer we actief moeten zijn en gaan slapen). Daglicht met kleurtemperatuur 6500 K (=D65) is de gestandaardiseerde daglichtwaarde van licht aangegeven door het CIE (zie figuur 6 voor het spectrum dat hiermee overeenkomt). Dit spectrum wordt dan ook als referentiewaarde gehanteerd voor de berekening van de MEDI.

Figuur 6. Gestandaardiseerd spectrum daglicht D65 met een kleurtemperatuur van 6500K die gehanteerd wordt als referentiewaarde voor de MEDI.

Om deze omzetting beter te begrijpen zullen we een onderscheid maken tussen de fotonische verlichtingssterkte en de melanopische verlichtingssterkte die invalt op het oog door daglicht (zie figuur 7a en 7b).



a)



b)

Figuur 7 (a en b): Fotopische & melanopische weging daglicht

Door de spectrale bestralingssterkte van daglicht D65 $E_e(\lambda)$ te wegen met de fotopische ooggevoeligheidscurve $V(\lambda)$ bekomen we de **fotopische verlichtingssterkte E_v van daglicht**. In Figuur 7 was dit 1000 lux.

$$E_v [\text{lx}] = 683 \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda [\text{lx}] = 683 \times 1,4641 = 1000 \text{ lux}$$

Indien we de spectrale bestralingssterkte van daglicht D65 $E_e(\lambda)$ echter wegen met de melanopische ooggevoeligheidscurve $S_{mel}(\lambda)$ bekomen we 905,8 lux als **melanopische verlichtingssterkte**.

$$E_{v,mel} [\text{lx}] = 683 \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E_e(\lambda) S_{mel}(\lambda) d\lambda [\text{lx}] = 683 \times 1,3262 = 905,8 \text{ lux}$$

Om de MEDI (met daglicht als standaard) te bekomen moet de melanopische verlichtingssterkte van daglicht vermenigvuldigd worden met de constante 1,104 zodat de melanopische verlichtingssterkte (905,8 lux) van daglicht (D65) gelijk komt te staan aan de fotopische verlichtingssterkte (1000 lux) van daglicht (D65).

$$\frac{\text{Fotopische lux daglicht}}{\text{melanopische lux daglicht}} = \frac{1000 \text{ lux}}{905,8 \text{ lux}} = 1,104$$

1,104 is de constante schaalfactor waardoor de melanopische verlichtingssterkte van een lichtbron kan omgezet worden naar de MEDI met daglicht D65 als referentie. Om de MEDI te bekomen moeten we de melanopische verlichtingssterkte dus telkens vermenigvuldigen met 1,104 zodat met daglicht (D65) vergeleken wordt.

$$\mathbf{E}_{v,mel}^{D65} [\text{lx}] = 1,104 * E_{v,mel} [\text{lx}] = 1,104 * 683 \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E_e(\lambda) S_{mel}(\lambda) d\lambda [\text{lx}]$$



MEDI kan dus vertaald worden als de hoeveelheid fotonische lux daglicht die nodig is om dezelfde activatie te krijgen van het niet-visueel melanopisch systeem (i.e. activatie ipRGC's) als de activatie die veroorzaakt wordt door de huidige lichtbron/verlichtingsconditie.

Aangezien daglicht D65 de referentie is, zal de fotonische verlichtingssterkte bij daglicht dus nagenoeg gelijk zijn aan de MEDI.

Illustratie berekening

Om het onderscheid tussen fotometrische en melanopische grootheden verder te verduidelijken zullen we een voorbeeld geven van een lichtbron (Halogeen illuminant A). Om de verlichtingssterkte die invalt op het oog te bekomen, moeten we de spectrale bestralingssterkte die invalt op ons oog $E_e(\lambda)$ spectraal wegen met de ooggevoeligheidscurve $V(\lambda)$ van de uitkomst waarin we geïnteresseerd zijn (zie Figuur 8).

Fotonische Verlichtingssterkte

Via het vermenigvuldigen van de spectrale bestralingssterkte met de groene fotonische ooggevoeligheidscurve bekomen we 1000 lux als fotonische verlichtingssterkte:

$$E_v, [lx] = 683 \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda [lx] = 683 \times 1,464 = 1000 \text{ lux}$$

Melanopische Verlichtingssterkte

Indien we de niet-visuele welzijnseffecten op het circadiaans systeem willen bepalen zullen we de spectrale bestralingssterkte wegen met de blauwe melanopische ooggevoeligheidscurve. Zo bekomen we 449 lux als melanopische verlichtingssterkte.

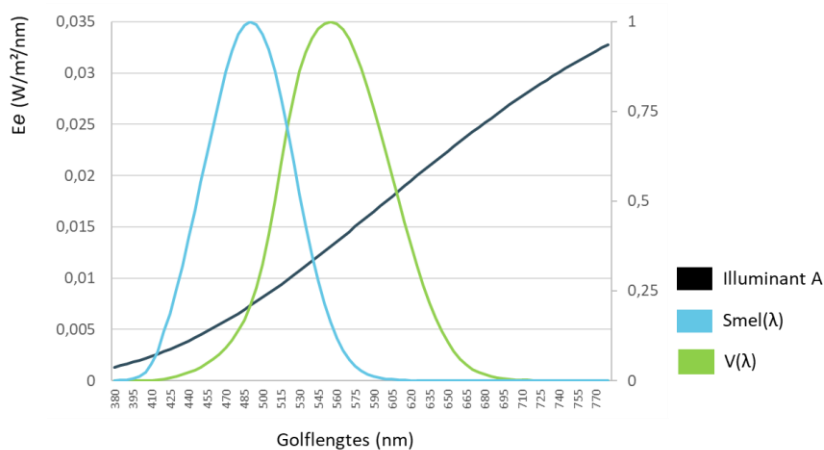
$$E_{v,mel} [lx] = 683 \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E_e(\lambda) S_{mel}(\lambda) d\lambda [lx] = 683 \times 0,657 = 449 \text{ lux}$$

MEDI

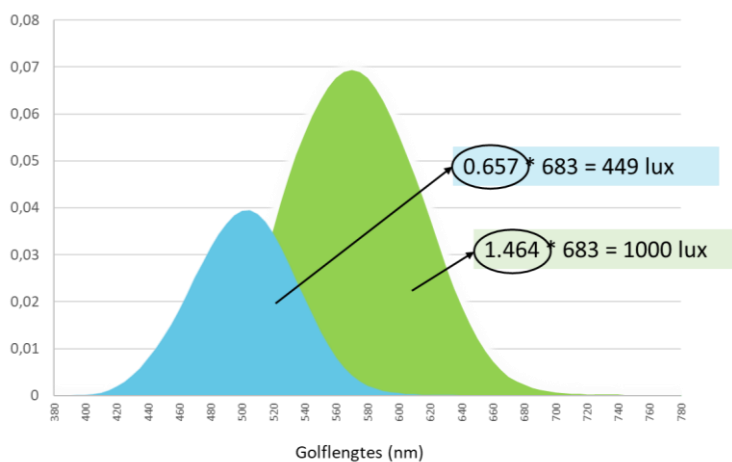
De MEDI bekomen we vervolgens door de melanopische verlichtingssterkte (449 lux) te vermenigvuldigen met de schaalfactor 1,104 van daglicht. Zo bekomen we hier 496 lux als daglicht equivalente verlichtingssterkte (=MEDI).

$$E_{v,med}^{D65} [lx] = 1,104 * E_{v,med} [lx] = 1,104 \times 449 \text{ lux} = 496 \text{ lux}$$

Waar we in ons voorbeeld met illuminant A (halogeenverlichting) 1000 lux nodig hadden is slechts 496 fotopische lux daglicht D65 nodig om diezelfde melanopische lux (= 449 lux) te bekomen (i.e. zelfde activatie van de ipRGC's / niet-visuele effecten van licht). Illuminant A wordt gekenmerkt door een relatief laag aandeel korte golflengtes (blauw-cyaan) in vergelijking met daglicht waardoor de bekomen MEDI (496 lux in ons voorbeeld) lager is dan de fotopische luxwaarde (1000 lux in ons voorbeeld).



a)



b)

Figuur 8: a) De zwarte curve geeft de spectrale bestralingssterktes (W/m²/nm) voor de verschillende golflengtes van een halogeen lamp (illuminant A) weer. De groene en blauwe curves geven de relatieve fotopische ooggevoeligheidscurve en de melanopische ooggevoeligheidscurve weer. b) Resultaat van de fotopische weging (groene curve) en de melanopische weging (blauwe curve).

MDER

Een tweede melanopische lichtgrootheid die belangrijk is om de impact van licht op het circadiaans systeem te kwantificeren is de **MDER** of "Melanopic Daylight Efficacy Ratio" (de melanopsinewerkzaamheidsfactor). Het symbool voor MDER is $\gamma_{v, mel}^{D65}$. Dit is een factor die de verhouding weergeeft van de MEDI t.o.v. de fotopische verlichtingssterkte E_v .

$$\gamma_{v, mel}^{D65} = E_{v, mel}^{D65} / E_v$$

We kunnen de MDER van lichtbronnen bepalen. De MDER geeft aan hoe effectief een lamp is in het activeren van het niet-visuele melanopische systeem in vergelijking met daglicht. Hoe hoger de MDER, hoe meer de lichtbron het niet-visuele melanopische systeem zal activeren bij dezelfde hoeveelheid fotopische lux. De MDER van de lamp in het hierboven uitgewerkte voorbeeld is 0,496 (= 496 lux MEDI/1000 lux fotopische verlichtingssterkte).

Dit betekent dat deze lamp slechts de helft (49,6%) zo effectief is in het activeren van het melanopisch systeem in vergelijking met daglicht. De fotopische verlichtingssterkte van deze lamp zou dus dubbel zoveel moeten zijn om hetzelfde welzijnseffect te hebben als daglicht (MDER van 0,496 x 2,02 = MDER van 1). Bij daglicht is de MDER nagenoeg of gelijk aan 1, aangezien daglicht D65 de referentie lichtbron is en omvat zit in de formule van de MEDI. MEDI bij daglicht D65 werd hierdoor gelijkgeschakeld aan de fotopische verlichtingssterkte. Indien de MDER van een lamp gelijk is aan 1 dan zal voor dezelfde fotopische verlichtingssterkte de melanopische verlichtingssterkte gelijk zijn aan dan deze van daglicht. Lichtbronnen met een hoge MDER (zelfs waarden hoger dan 1 zijn mogelijk) kunnen ontworpen worden door het spectrum van de lamp te gaan tunen en optimaliseren. Wanneer ingezet wordt op niet-visuele effecten van licht (welzijnsparameters meenemen i.p.v. traditionele berekening van terugverdientijden) is het aangewezen om lampen te kiezen met variabele en/of hoge MDER waarden. Je ziet dan ook lichtfabrikanten die toestellen ontwikkelen met een MDER van 0,85 met goede kleurweergave-eigenschappen. Het is ook mogelijk om toestellen te ontwikkelen die een variabele MDER hebben bij een nagenoeg constante kleurtemperatuur zodat de MEDI kan aangepast worden in functie van het tijdstip. Desalniettemin wordt dit in de praktijk nog niet veel toegepast.

LICHTPARAMETERS HCL

ONTWERP

Bij een HCL ontwerp is het belangrijk dat er rekening wordt gehouden met zowel visuele als niet-visuele welzijnseffecten van licht op de mens. In onderstaande paragraaf worden enkele criteria meegegeven die belangrijk zijn bij de evaluatie van een lichtontwerp zodat verlichting gekozen wordt die zowel het visueel comfort maximaliseert (visuele criteria) als de niet-visuele criteria meeneemt (zoals synchronisatie van het circadiaans ritme).

Visuele parameters

Hierbij vermelden we zowel de minimale wettelijke vereisten voor het visueel comfort die opgenomen zijn in de EN12464-1 (de Europese standaard voor binnenwerkplekverlichting) als de voorkeur op basis van voorgaand wetenschappelijk onderzoek. Indien mogelijk is het dus beter om de visuele voorkeur na te streven dan enkel nipt aan de wettelijke vereisten te voldoen.



Kleurtemperatuur (CCT): temperatuur van een hypothetisch zwart lichaam, wiens spectrum dezelfde kleurindruk geeft als de lichtbron. Eenheid = Kelvin (K)

- **overdag:**
3000-5500 Kelvin: (voorkeur = 4000-5000)
6000 lux bleek bovendien zelfs nog aanvaardbaar in de werkcontext
- **'s avonds:** Vanaf 17u: 2700-3500 K



EN-12464-1: Aan alle eisen van de norm EN12464-1 voldoen



Kleurweergave: De kwaliteit van de waargenomen kleur van objecten belicht door die lichtbron. Naast de kleurweergave-index Ra is het ook aangeraden om de TM30-15 in rekening te brengen:

- Maat voor kleurgetrouwheid: Fidelity index (Rf) > 75
- Maat voor saturatie: Gamut index (Rg) > 99



Verblinding vermijden²: $UGR < 19$ (voor de meeste toepassingen)



Horizontale fotopische verlichtingssterkte:

- Bv. in kantoorcontext: minimaal 500 lux (gemiddelde voorkeur = 1000 lux)



Luminantie: maat voor helderheid; de helderheid van de ruimte wordt bepaald door de luminantie van de muren, plafond, meubilair

- Lichtverdeling: voldoende licht op werkvlak en wanden, geen te donkere of te lichte wanden.
- Indien 500 lux op de werktaak invalt, is 150 lux op de muren de minimale vereiste in de nieuwe norm prEN12464-1 (2019), al ligt de voorkeur wel hoger.



Stroboscopie/Flikkering

- Flikkering: zichtbare lichtmodulatie. Eenheid = PST
 - $PST < 0.6$
- Stroboscopie: niet-zichtbare lichtmodulatie. Eenheid = SVM
 - $SVM < 1$ continu, ook bij dimming



Modelling: verhouding van cilindrische op horizontale verlichtingssterkte in een punt of punten

- 0,4 – 0,6

Niet-visuele parameters

Ondanks dat er nog geen officieel bindend wettelijk kader is, zijn de niet-visuele lichtparameters recent ook opgenomen in de WELL building standaard die zich richt op de gezondheid en het welzijn van mensen in gebouwen. In dit gebouwcertificatiesysteem staan er specifieke criteria beschreven waaraan gebouwen moeten voldoen op het vlak van lucht, water, voeding, licht, beweging, thermisch comfort, akoestiek, materialen, geest en gemeenschap. Een aantal eisen zijn minimaal om het certificaat te kunnen behalen. Volgens de WELL standaard zou de optimale MEDI-aanbeveling zijn om tijdens de dag vier uren aan 218 lux blootgesteld te worden (ten laatste startend op de middag). Op basis van voorgaande wetenschappelijke studies hebben wij het aanbevolen tijdstip aangepast. Wij zouden vroegere blootstelling aan hoge MEDI waardes aanbevelen omdat blootstelling in de

² Vermijd verblindende armaturen omdat de vereiste verlichtingssterkte altijd hoger is bij een HCL lichtontwerp:

- Verkies een grote oppervlakte die ervoor zorgt dat er minder verblinding is zodat de luminantie lager is per m²
- Voeg een microprismatische diffuser toe aan het armatuur die tegen verblinding beschermt door egalere, opaal stralingspatroon
- Gebruik indirecte verlichting (gependelde toestellen of staanlampen met een direct-indirect bijdrage), wandverlichting (wallwashers), heldere vlakken,...

ochtend het grootste effect heeft op de synchronisatie van ons circadiaans systeem. Daarnaast hebben we een MEDI range toegevoegd i.p.v. één cut off waarde omdat het effect van licht op welzijn afhangt van individuele verschillen (bv. leeftijd, pupilgrootte, ...) en de specifieke welzijnsparameters (slaap, alertheid, concentratie, stemming) die gehanteerd worden.

MEDI (Melanopic Equivalent Daylight Illuminance):



Overdag (6u -11u!):

- $E_{v,medl}^{D65} = 180-250$ lux voor volwassenen
- $E_{v,medl}^{D65} = 360-500$ lux voor ouderen (+70)



's avonds/nacht (17u-6u: minimum 2u voor het slapen gaan)

- langzame overgang naar $E_{v,medl}^{D65} < 50$ lux (opgelet moet SVM < 1)

Hoe MEDI opmeten in praktijk?

De MEDI wordt altijd verticaal op ooghoogte gemeten. MEDI wordt dus niet horizontaal gemeten! Zo wordt op het werkblad van een bureau (op 0.70m) de horizontale verlichtingssterkte (bv. 500 lux) gemeten terwijl de MEDI van de persoon die aan het werkblad werkt 'verticaal-gekanteld' (op 1.60m staand of 1.20m zittend) gemeten wordt. Idealiter wordt het meetinstrument ook 15° gekanteld ter compensatie van onze wenkbrauwen die een deel van de lichtinval tegenhouden.

OPTIE 1: OMREKENEN MET LUXMETER (EV X MDER = MEDI)

Wanneer de fotonische verlichtingssterkte vermenigvuldigd wordt met de melanopsinewerkzaamheidsfactor (MDER; Melanopic Daylight Efficacy Ratio) van de lamp wordt de MEDI bekomen. De MDER kan opgevraagd worden bij de lichtfabrikant/leverancier. Typische waarden van MDER gaan van 0.4 tot 0.95. Hoe hoger de MDER, hoe beter de lamp is in het activeren van het niet-visuele systeem. Indien de MDER = 1 dan wil dit zeggen dat de lamp even effectief is als daglicht in het stimuleren van het fotonpigment melanopsine (vb.: MDER fluolamp T8 840, 4000K = 0.59).

OPTIE 2: RECHTSTREEKS MET SPECTROFOTOMETER

Dit toestel meet de bestralingssterkte per golflengte en weegt deze automatisch voor de melanopische ooggevoeligheidscurve. De resultaten kunnen gewoon afgelezen worden op het toestel (zie Figuur 9).



Figuur 9. Fotospectrometer, gekanteld op 15°.

Tips aanpassen MEDI

Er zijn verschillende manieren om MEDI te verhogen. Enerzijds kunnen allerlei aanpassingen gedaan worden aan het lichtontwerp zelf. Anderzijds heeft ook de keuze van het interieur, zoals de kleuren van bepaalde grote oppervlakken (bv. muren, vloer) en meubels een grote impact.

Hoe MEDI verhogen via lichtontwerp?

De MEDI is het resultaat van de vermenigvuldiging van de fotopische verlichtingssterkte die invalt op ooghoogte met de MDER van de lamp. De MEDI zal dus recht evenredig toenemen als de MDER of de fotopische verlichtingssterkte toeneemt. Let wel op: de grootste stijging in de MEDI zal verkregen worden door toename van de verlichtingssterkte. Verlichtingstoestellen met variabele kleurtemperatuur (tunable white) zijn vaak niet toereikend wanneer de verlichtingssterkte op ooghoogte onvoldoende verhoogd kan worden.



MEDI = fotopische verlichtingssterkte x MDER toestel

TIP 1 INDIRECTE EN DIFFUSE VERLICHTING TOEVOEGEN

Indirecte of hoge diffuse verlichting met een breed oppervlak helpt om meer licht via reflecties op ons oog te doen invallen. Voorbeelden hiervan zijn:

- Zijdelingse verlichting: toestellen die wanden aanlichten (bv. wallwashers, cove verlichting, spotjes dichtbij muren)
- Verlichtingstoestellen met een regelbare opwaarts gerichte lichtuitstraling (meestal gecombineerd met een directe, neerwaarts gerichte lichtuitstraling): door de verhoogde reflectie via het plafond en de muren wordt er meer indirecte verlichting gecreëerd (bv. pendelarmaturen, staanlampen/bureaulampen)

TIP 2 MDER VERHOGEN

Kies lampen met voldoende cyaan in het spectrum (meestal gerelateerd aan een hogere kleurtemperatuur), bijvoorbeeld lampen van 5000 K. Ondanks vele lichtfabrikanten denken dat 5000 K te koud en onaangenaam aanvoelt, blijkt uit onderzoek dat 5000 K door mensen zeker nog als aanvaardbaar wordt beoordeeld in een kantoorsetting (zeker bij aanwezigheid van daglicht). Let wel op: steeds meer lichtfabrikanten ontwikkelen geoptimaliseerde LEDs waardoor ze een lagere kleurtemperatuur kunnen bekomen (bv: 4000 K) en toch veel cyaan in het spectrum aanwezig hebben. Deze lampen hebben dus een hoge MDER ondanks de lagere kleurtemperatuur. Er is veel evolutie op dat vlak.

TIP 3 FOTOPISCHE VERLICHTINGSSTERKTE VERHOGEN

Kies lampen met voldoende grote lichtstroom (bv. 1000 lumen) om de fotopische verlichtingssterkte te verhogen.

Hoe MEDI verhogen via interieur?

Naast het lichtontwerp kan de inrichting van het interieur een heel grote impact hebben op de MEDI-waardes in de ruimte. Probeer bij het ontwerpen van de ruimte de reflectiecoëfficiënten (kleur) van belangrijke grote vlakken in het gezichtsveld te verhogen.


TIP 1 GEBRUIK KLEUREN MET HOGE MELANOPISCHE REFLECTIEWAARDES (ZIE FIGUUR 10)

Kies voor lichte (wittinten) en cyaan kleuren aangezien deze veel van het gewenste licht reflecteren. Denk vooral na over belangrijke grote vlakken in het gezichtsveld: plafond, muren, grond, bureau/tafel, meubels, gordijnen, tafelkleed, ...

TIP 2 TRACHT KLEUREN MET LAGE REFLECTIEWAARDES TE VERMIJDEN (ZIE FIGUUR 10)

Neem geen zwart of donkere kleuren en ook geen rood of oranje voor grote oppervlaktes in de ruimte. Deze kleuren absorberen veel van het gewenste licht. Er is dan minder reflectie van cyaan/blauwe golflengtes.

Colour Pigment	Cyan PB15:4	Yellow PY150	Orange PO71	Green PG36/38	Red PR254	Blue PB60	Violet PV23	Magenta MK8805
Reflectie Fotopisch	21,0%	72,6%	35,4%	37,8%	18,8%	9,0%	2,0%	22,9%
Reflectie Melanopsine	57,9%	36,0%	3,8%	48,9%	1,8%	33,7%	12,3%	17,5%



Figuur 10. Voorbeelden reflectiecoëfficiënten naargelang kleur. Cyaan reflecteert 57,9% melanopsine, terwijl rood slechts 1,8%.

Ook de rol van (interieur)architecten is dus niet te onderschatten. Bij het uittekenen van een nieuwe bouw kunnen veel ramen ook zorgen voor voldoende daglicht. Zoveel mogelijk natuurlijk licht binnen krijgen in de ruimte is natuurlijk ook een goede oplossing aangezien daglicht de lichtbron bij uitstek is om onze biologische klok juist te zetten! Start een ontwerp dan ook altijd vanuit daglicht (in combinatie met een performant zonbeheersingssysteem om verblinding en oververhitting te reduceren) en vul aan met kunstlicht, indien daglicht tekort schiet.

Hoe een HCL-ontwerp evalueren?

Wanneer men beslist of overweegt om HCL verlichting te installeren, wil men graag ook weten of er een significante verbetering zal zijn voor de mensen in vergelijking met de vroegere of een andere verlichtingsinstallatie. Om hierover een uitspraak te kunnen doen is het nodig om een evaluatiestudie op te zetten, wat in de praktijk wellicht weinig zal gebeuren. Een deftige studie opzetten kost immers veel tijd en werkrachten. Bedrijven kunnen zich hierin (al dan niet betalend) ook laten adviseren door research agencies of kennisinstellingen geassocieerd aan universiteiten/hogescholen. Binnen dit project hebben wij 2 HCL-cases geëvalueerd aan de hand van een RCT-design (RCT=randomized control trial). Op basis van deze onderzoekservaringen willen wij graag een aantal richtlijnen meegeven waarmee rekening gehouden kan worden bij het opzetten van een evaluatiestudie. Om een valide uitspraak te kunnen doen over het effect van de aangepaste HCL verlichting moet er aan **een aantal basiscriteria** voldaan worden.

1

Er zijn minimaal 2 metingen nodig: 1 meting voor het aanpassen van de verlichting en 1 meting na het aanpassen van de verlichting. Op die manier kan er nagegaan worden of er veranderingen zijn in de gemeten welzijnsvariabelen.

2

Naast het bevragen van de interventiegroep die kan genieten van de HCL relighting (waarin de MEDI wordt geoptimaliseerd), is het ook noodzakelijk om een controlegroep te bevragen die geen HCL relighting heeft gehad. In de controlegroep zal de lichtinstallatie aangepast worden zodat de indruk gecreëerd wordt dat de verlichting is geoptimaliseerd zonder dat er een echte verandering optreedt in de MEDI. Op die manier kan er nagegaan worden of de (al dan niet positieve) veranderingen in welzijn echt toegeschreven kunnen worden aan de nieuwe HCL verlichting of eerder toegeschreven kunnen worden aan de positieve verwachting (bv. "er wordt gewerkt aan ons kantoor, dus het moet nu wel beter zijn"). Indien er een even groot welzijnseffect is in de controlegroep waar de MEDI niet is aangepast, dan wijst dit op de aanwezigheid van een placebo-effect. De positieve effecten op welzijn zijn dan het resultaat van een verwachtingseffect, een trainingseffect of andere

veranderingen in de werksfeer (zoals een nieuwe CEO) en niet het resultaat van de aangepaste HCL verlichting.

Om statistische analyses te kunnen uitvoeren, moet men streven naar een minimum van 30 personen per bevroegde groep. Indien dit niet mogelijk is van bij aanvang, dan kan er gekozen worden om kwalitatief onderzoek te doen. Hierbij kan men een kleiner aantal individuen uitgebreid bevragen naar hun ervaringen, suggesties en opmerkingen. Een echte evaluatie van het welzijnseffect is hiermee echter niet mogelijk.

3

Een derde factor waarmee een evaluatiestudie van licht rekening moet houden, is het tijdstip van het jaar. Aangezien daglicht ook een effect heeft op niet-visuele aspecten van licht kunnen ze afhankelijk van het tijdstip van het jaar (winter/zomer) ook een invloed hebben. Als de post-meting meer naar de winterperiode ligt t.o.v. de premeting, kan het effect van de verlichting teniet gedaan worden. Als de postmeting meer naar de zomerperiode valt t.o.v. de premeting kan het effect van de verlichting foutief vergroot worden. Probeer idealiter te streven naar een pre- en post-meting waar zonsopgang en -ondergang uren hetzelfde liggen. Bijvoorbeeld premeting in oktober, postmeting in februari.

4

Een vierde factor waarmee rekening kan gehouden worden, zijn de individuele verschillen van de bevroegde mensen. Sommige kenmerken kunnen redenen zijn om mensen te excluderen uit de studie (bv. gekende slaapstoornissen en gekende oogandoeningen, afwijkend chronotype, druggebruik, ...). Voor andere kenmerken kan gecontroleerd worden in de analyses (als covariaten) bv. pupilgrootte, leeftijd, geslacht, bepaalde medicatie etc.

Volwassenen

Voor **volwassenen** op kantoor of industrie kan onderstaand testmateriaal gebruikt worden. Dit zijn slechts enkele voorbeelden. Er bestaan nog veel andere testen en vragenlijsten die kunnen gebruikt worden om deze parameters te meten. Indien u deze taken wilt gebruiken is samenwerking met onderzoekers die gespecialiseerd zijn in het afnemen en analyseren van deze taken aanbevolen.

Slaap & circadiaans ritme



Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI): een vragenlijst die subjectieve slaapkwaliteit meet. Scores >5 wijzen op een slechte slaapkwaliteit. De vragenlijst bevat 7 onderdelen namelijk: subjectieve slaapkwaliteit, slaaplatentie, slaapduur, slaapefficiëntie, slaapverstoringen, gebruik van slaapmedicatie en dysfunctioneren overdag gedurende de afgelopen maand.



MotionWatch8: een slaaphorloge (accelerometer) die slaapkwantiteit, slaapkwaliteit (bv. slaaplatentie, slaapefficiëntie en fragmentatie) en circadiaans ritme (bv. stabiliteit over dagen heen) in kaart kan brengen. Om dit te kunnen analyseren is de MotionWare software nodig.



Slaapdagboek: een slaapdagboek is een heel nuttige aanvulling op het slaaphorloge omdat dit een meer genuanceerd beeld kan geven over de slaapkwaliteit per nacht. Zo kan bevestigd worden hoe tevreden men was over de slaap van de afgelopen nacht, hoe alert men zich voelt bij het ontwaken en hoe herstellend de slaap was. Daarnaast biedt het dagboek ook ondersteuning bij het analyseren van het slaaphorloge omdat hierin is aangegeven wanneer men gaat slapen en hoe vaak men wakker is geworden tijdens de nacht. Nachten waarin men aangeeft slaapmedicatie te hebben genomen kunnen zo ook uit de analyse van het slaaphorloge geëxcludeerd worden.

Cognitief functioneren



Karolinska Sleepiness Scale (KSS): subjectieve inschatting hoe alert of slaperig mensen zich voelen op een bepaald moment (1= heel alert en 9=heel slaperig, grote moeite om wakker te blijven, aan het vechten tegen de slaap).



D2 aandachtstaak: pen- en papiertest. Deze test zegt iets over alertheid en concentratie (aantal juiste antwoorden - het aantal foute antwoorden). Het duurt 4 minuten om deze test te maken, al zijn hier ook varianten op waardoor de moeilijkheid kan gemanipuleerd worden.



Go-nogo computertaak: computertaak die reactietijden meet. Deze reactietijden zeggen iets over alertheid, concentratie en inhibitie.



Auditieve Oddball taak: Dit is een auditieve aandachtstaak die alertheid en concentratie meet. In deze taak moet men zo snel mogelijk reageren op hoge geluidstonen en lage geluidstonen negeren. Deze taak kan bovendien ook aangevuld worden met een ERP meting (Event Related Potentials) zodat we zowel op gedragsniveau (reactiesnelheid) als op neurologisch niveau (hersensactivatie als reactie op de geluidstonen) een meting hebben van het alertheidsniveau. Om de impact van licht op acute alertheid te meten kan dit een heel nuttige taak zijn omdat deze auditieve taak niet beïnvloed wordt door de visuele impact van licht.



EEG (Elektro-encefalografie): Algemene hersenactivatie (los van een bepaalde taak) kan daarnaast ook gehanteerd worden om een beeld te krijgen van het alertheidsniveau. Zo kan verminderde hersenactivatie in teta & alpha frequenties (5-9Hz) een indicatie zijn van toegenomen alertheid.

Emotioneel functioneren



Positief Affect Negatief Affect Schaal (PANAS): 20 items die bevragen naar positieve gevoelens (10 items) en negatieve gevoelens (10 items).



Burnout Assessment Tool (BAT): bevraagt verschillende onderdelen van burnout namelijk uitputting, mentale distantie, cognitieve ontregeling, emotionele ontregeling, psychische spanningsklachten en psychosomatische klachten. Er bestaan normscores voor alle onderdelen.



Depressie Angst Stress Schaal (DASS): vragenlijst met 21 (korte versie) of 42 (lange versie) items die peilt naar de mate van depressie, angst en stress symptomen.

Ouderen

Voor **ouderen**, al dan niet met dementie, of bewoners van een woonzorgcentrum kan onderstaand testmateriaal gebruikt worden. Ook hier zijn dit slechts enkele voorbeelden. Er bestaan nog andere testbatterijen die kunnen overwogen worden.

Slaap & circadiaans ritme



MotionWatch8: een slaaphorloge (accelerometer) die slaapkwantiteit, slaapkwaliteit (bv. slaaplatentie, slaapefficiëntie en fragmentatie) en circadiaans ritme (bv. stabiliteit over dagen heen) in kaart kan brengen. Hiervoor is wel speciale software (MotionWare) nodig om dit te kunnen analyseren. Let wel, voor mensen met dementie zijn aparte bandjes voorzien zodat ze deze niet zelf kunnen afdoen.



Neuropsychiatrische Inventarisatie (NPI)-subschaal nachtelijke onrust/slaapstoornis: De NPI is specifiek ontwikkeld voor patiënten met alzheimer of andere dementiesyndromen. In de subschaal nachtelijke onrust/slaapstoornis zal de slaapkwaliteit beoordeeld worden door een verzorger die de patiënt goed kent

Cognitief functioneren



Mini-Mental State Examination (MMSE): instrument voor cognitieve screening.



Addenbrooke's cognitive Examination (ACE-R): instrument voor uitgebreide cognitieve screening dat ook de MMSE omvat.



COgnitieve TESTbatterij voor Senioren (Cotess) : uitgebreid testbilan om cognitief functioneren diepgaand te testen, waardoor men een genuanceerd beeld krijgt over de beperkingen en sterktes van de afzonderlijke cognitieve functies. Dit instrument onderzoekt de aandacht, oriëntatie, anterograde geheugen (nieuwe informatie leren), retrograde geheugen (oproepen of herkennen uit het lange termijn geheugen), taal, somatognosie, praxis, logisch denken, executieve functies en gerichte woordproductie.

Emotioneel functioneren



Cornell Scale for Depression in Dementia (CSDD): bevraagt verschillende componenten van depressie. De vragen worden ingevuld door een familielid of verzorger die de persoon goed kent. Componenten die bevraagd worden zijn: stemmingsproblemen, gedragsstoornissen, lichamelijke kenmerken, cyclische functies en stoornissen in de gedachteninhoud.



Cohen-Mansfield Agitation Inventory (CMAI): bevraagt via 29 items hoe vaak agitatie voorkwam gedurende de laatste 2 weken. Familie of verzorgers kunnen deze vragenlijst invullen op basis van eigen observatie. Componenten van deze vragenlijst zijn fysieke en verbale agitatie (waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen agressieve en niet-agressieve gedragingen)

SLOTWOORD

Beste lezers,

Dit document is het eindresultaat van twee jaar praktijkgericht onderzoek, namelijk het door VLAIO gesubsidieerd TETRA-project nr. 180018 "Human Centric Lighting: Mogelijkheden benutten of bang afwachten?". Het project is mede mogelijk gemaakt door de financiële en inhoudelijke steun van volgende organisaties (in alfabetische volgorde: Attentia, B.E.G., Boydens Engineering, Cebeo, DeltaLIGHT, Eloya, Encon, Esylux, Etap, F.E.E., Feilo Sylvania, G.I.A., Groen Licht Vlaanderen vzw, Helvar, IDEWE, Kreon, Liantis, LightConsult (HDM Systems), Lign, Luxendi, Motena, Nelectra, Odid, PITS Modular, Retail Office, Signify, Sint-Jozefskliniek Izegem, Techlink, Trilux, UZ Leuven, VIPA, Volta-Tecnolec, Volvo Trucks, WTCB en Zumtobel). We danken deze organisaties om dergelijke collectieve projecten mogelijk te maken, ook ten behoeve van het onderwijs van studenten aan Howest en KU Leuven.

Bij het begin van het project voelden we veel interesse rond dit thema, maar ook nog heel wat aarzeling en vragen. Er was nood aan duidelijkere richtlijnen voor een HCL-ontwerp, alsook aan good practices om zich te inspireren. De combinatie van literatuurstudie met het uitwerken van 2 HCL-cases (industrie en woonzorgcentrum), stelde ons in staat onze kennis en ervaringen te bundelen in deze HCL-gids. We hopen dat deze info nuttig kan zijn voor jullie werking, alsook de twijfelaars kan overtuigen om toch met HCL aan de slag te gaan.

Wij kunnen alvast concluderen dat er echt wel toekomstmuziek zit in HCL, al moeten er nog een aantal obstakels overwonnen worden. Het is niet altijd evident om voldoende draagvlak te vinden bij investeerders omdat het heel moeilijk is om de welzijnseffecten van HCL in exacte cijfers uit te drukken. In onze praktijkcases hebben we telkens kunnen aantonen dat een HCL-ontwerp een meerwaarde vormt voor de mensen die ervan kunnen genieten. Simulatie studies tonen aan dat de kostprijs ten opzichte van het welzijnsvoordeel heel minimaal is. Wij zijn er van overtuigd dat na verloop van tijd een HCL-ontwerp goedkoper zal worden, doordat lichtontwerpers en fabrikanten meer kennis zullen opdoen, een groter aanbod zullen creëren en er ook bij klanten een grotere vraag zal zijn. Hierin spelen wij allemaal een rol (bedrijven, WZC, ziekenhuizen, scholen, preventieadviseurs, ergonomen, lichtfabrikanten, architecten, overheden, ...). Kortom, HCL is geen hype, op naar de toekomst!

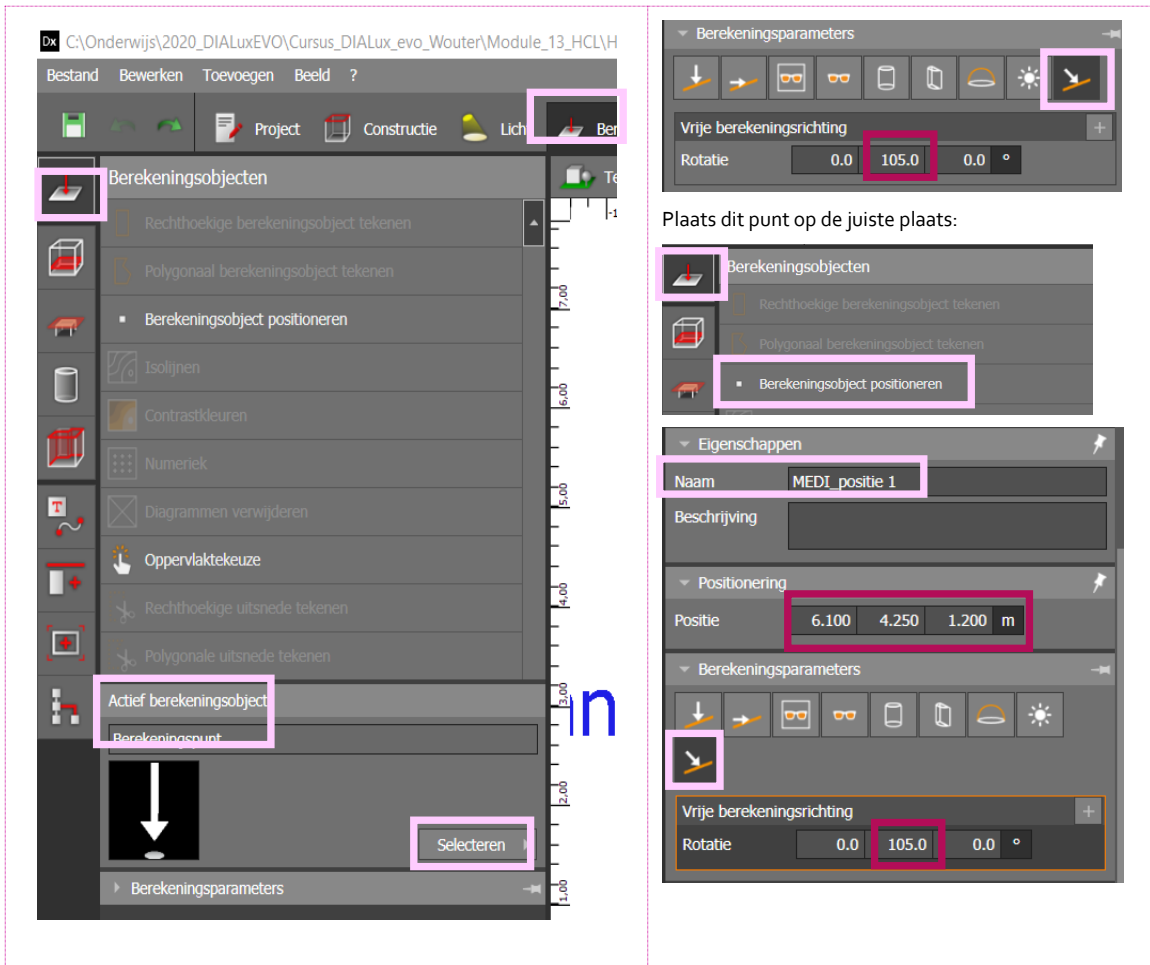
Sara Kindt, Lore Vandevivere (Howest) & Eowyn Van de Putte, Wouter Ryckaert (KU Leuven)

BIJLAGE 1 | HOE WERKEN MET MEDI IN DIALUX?

Wie verdere begeleiding wil rond werken in DIALux kan hiervoor een opleiding volgen bij Groen Licht Vlaanderen vzw. Hieronder geven wij een beknopt overzicht van een module specifiek gericht op het toepassen van HCL in DIALux.

Hoe MEDI berekenen in DIALux?

In DIALux evo is de berekening van MEDI helaas nog niet geïmplementeerd, al zal dit in de toekomst zeker nog veranderen. De MEDI moet dus berekend worden met de MDER als tussenstap, bijvoorbeeld met een **vrij berekeningspunt**. Ook in DIALux moeten we rekening houden met de wenkbrauwen die een deel van het licht tegenhouden. Daarom is het nodig om een rotatie van 105° in te voeren wat overeenkomt met een invalsricting van het licht van 75° . Om lichtinval op ooghoogte te nemen kiezen we doorgaans 1.20m en dit bv. op de locatie van een bureaustoel van een werknemer in kwestie (zie afbeelding).



Een andere manier om lichtinval op ooghoogte te bekijken is om een **cilindrisch berekeningspunt** op te vragen. Het nadeel hierbij is wel dat de kanteling van 15° niet kan worden uitgevoerd, waardoor je een overschatting zal krijgen van de verlichtingssterkte.

Een 3-D aanzicht van het vrij berekeningspunt:



Voorbeeld van resultaat:

Berekeningspunt (Vrije berekeningsrichting)			
	Is	Moet	
Totale verlichtingssterkte	60.4 lx	-	
Directe verlichtingssterkte	0.00 lx	-	
Parameters			
Hoogte	1.20 m		
Rotatie	0.0	105.0	0.0 °

Na het krijgen van de output in DIALux moeten de 'gewone' luxwaarden (=fotopische luxwaarden) nog omgerekend worden naar MEDI-waarden. Dit kan door de **fotopische verlichtingssterkte te vermenigvuldigen met de MDER** waarde.



Bijvoorbeeld: $60.4 \text{ lux (output DIALux)} * 0.6 \text{ (fictieve MDER-waarde)} = 36 \text{ lux MEDI op ooghoogte}$

Noot: 36 lux MEDI is veel te laag in een bureaucontext. Overdag en zeker's morgens streven we op bureau naar waarden van 250 lux MEDI. 's Avonds zou deze waarde wel goed zijn, want dan streven we naar 50 lux MEDI of lager.

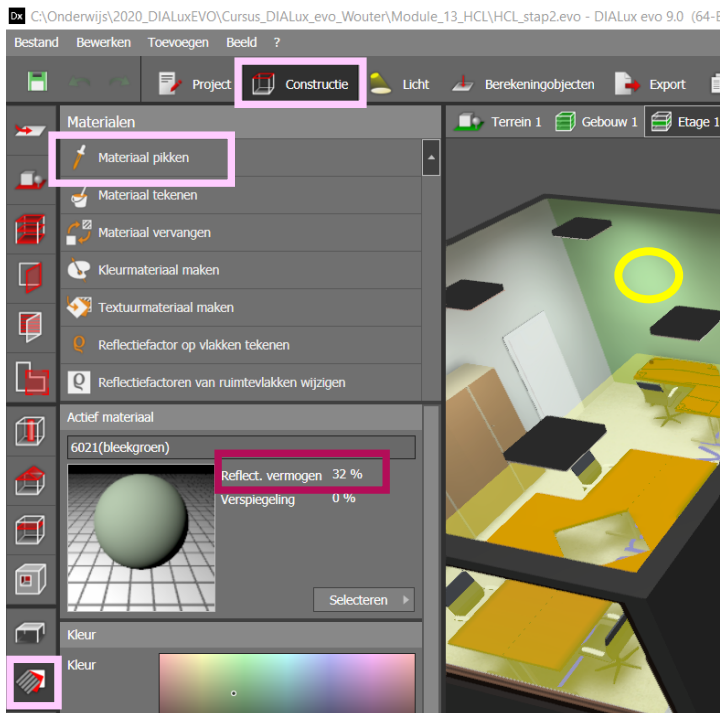
Koud wit licht heeft een hogere MDER dan warm wit. Op deze manier kan men beter en fijner gaan 'tunen' door in de ochtend kouder licht te selecteren om de MDER te verhogen en naar de avond toe warmer licht te selecteren om de MDER te verlagen.

Reflecties spelen een belangrijke rol om meer licht op de ogen te ontvangen. Volgende zaken kunnen daarom helpen om hogere MEDI waardes te bekomen:

- A. Reflectiecoëfficiënt van muur aanpassen
- B. Wallwashers toevoegen
- C. Reflectiecoëfficiënt van werkvlak aanpassen
- D. Staanlamp toevoegen

A. REFLECTIECOËFFICIËNT VAN MUUR AANPASSEN

Via 'Materiaal pikken' kan je de kleur bekijken van de muren in DIALux. De reflectiecoëfficiënt bedraagt in dit voorbeeld 32%. Dit is relatief laag terwijl het toch een belangrijk vlak is in het gezichtsveld van personen in deze ruimte. Aangezien de melanopische gevoeligheid iets meer is opgeschoven naar het blauwe gebied in vergelijking met de bekende fotopische gevoeligheid, is het beter om neutrale kleuren (wit) of lichte kleuren met een blauwe tint te nemen zodat het melanopische spectrum meer wordt teruggekaatst naar de ogen.



Via de kleurencatalogus in DIALux en vervolgens 'Materiaal tekenen' kan de kleur van de muur veranderd worden (bv. van 'groen – 32%' naar 'RAL 9010 (zuiver wit) – 86%').

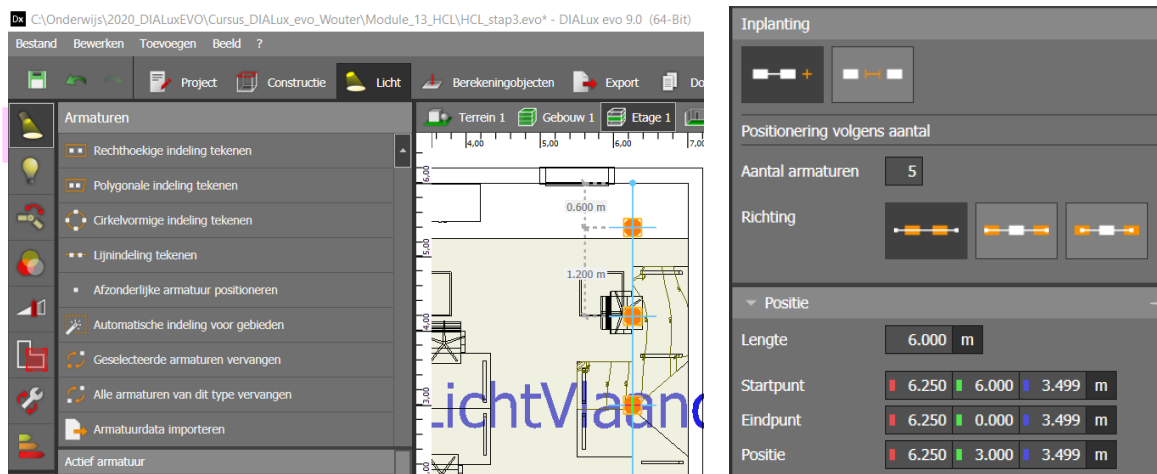


Resultaat aanpassen kleur muur:

$148 \text{ lux (output DIALux)} * 0.6 \text{ (fictieve MDER-waarde)} = 89 \text{ lux MEDI op ooghoogte}$

B. WALLWASHERS TOEVOEGEN

Een tweede manier om reflecties te verhogen is om wallwashers toe te voegen in het DIALux ontwerp. Bij lichtbron kan men kiezen voor 'Wallwasher' en nadien kiezen voor 'lijnindeling'. Het is belangrijk om te controleren of de lampen zeker naar de muur gericht zijn (zie afbeelding).





Resultaat toevoegen wallwasher:

$260 \text{ lux (output DIALux)} * 0.6 \text{ (fictieve MDER-waarde)} = 156 \text{ lux MEDI op ooghoogte}$

C. REFLECTIECOËFFICIËNT VAN WERKVLAK AANPASSEN

Analoog met het aanpassen van de kleur van de muur, kan ook de kleur (en dus de reflectiecoëfficiënt) van het werkvlak aangepast worden. Dit kan via de 'materialencatalogus' (bv. van 'Kers roodbruin – 7% reflectie' naar 'Berk gelakt – 70%').



Resultaat aanpassen kleur werkvlak (met wallwasher):

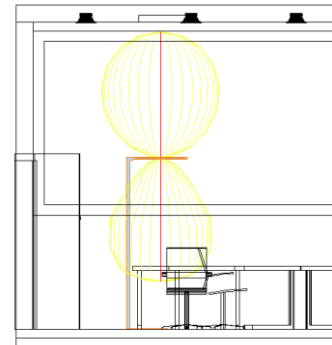
$459 \text{ lux (output DIALux)} * 0.6 \text{ (fictieve MDER-waarde)} = 275 \text{ lux MEDI op ooghoogte}$

Resultaat aanpassen kleur werkvlak (zonder wallwasher):

$255 \text{ lux (output DIALux)} * 0.6 \text{ (fictieve MDER-waarde)} = 153 \text{ lux MEDI op ooghoogte}$

D. STAANLAMP TOEVOEGEN

Een vierde manier om reflecties op ooghoogte (en dus MEDI waardes) te verhogen is om staanlampen toe te voegen. Naast staanlampen kunnen uiteraard ook pendelarmaturen toegevoegd worden aan het ontwerp omdat deze armaturen eveneens kunnen zorgen voor meer indirecte verlichting door de verhoogde reflectie via het plafond en de muren. De keuze hangt ondermeer af van de hoogte van de ruimte.



Resultaat toevoegen staande lamp:

$1076 \text{ lux (output DIALux)} * 0.6 \text{ (fictieve MDER-waarde)} = 634 \text{ lux MEDI op ooghoogte}$

OPMERKINGEN BIJ HET GEBRUIKTE VOORBEELD

Met daglicht is geen rekening gehouden in dit ontwerpvoorbeeld. Desondanks is daglicht heel belangrijk: wij prefereren als mens het daglicht. De intensiteit is ook dermate hoog dat de vereiste MEDI-waarden makkelijk bekomen worden. Het is daarom belangrijk om daglicht zo ver mogelijk in het lokaal te brengen en een goede keuze te maken van de zonbeheersing (geen verduistering maar wel licht doorlaten en de warmte zo veel als mogelijk buiten houden).

Hoe MEDI laten fluctueren in DIALux?

Zoals beschreven bij lichtparameters (cf. HCL-gids "3. Lichtparameters HCL ontwerp"), is het ook van belang om naar de avond toe MEDI waardes te laten dalen. Voor mensen die in een normaal ritme zitten (dus bv. geen shift- of nachtwerk) mag de MEDI overdag 250 lux zijn en 's avonds vanaf 17u langzaam overgaan naar MEDI < 50 lux.

Via lichtregeling kunnen verschillende situaties (lichtscènes) worden ingesteld zodat het gewenste MEDI niveau kan aangepast worden aan de verschillende vereisten in de ochtend (>250) en in de avond (<50). Enkele voorbeelden:

Voorbeeld 1: enkel ledtegels

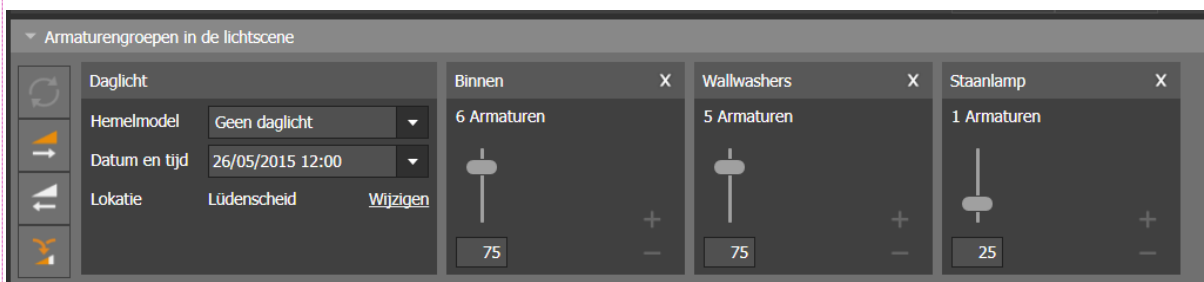


Kantoor_GroenLichtVlaanderen			
Berekeningen			
	522 lx	0.00	
Bureautafel positie 1			
	107 cd/m ²	0.59	
	493 lx	0.59	
MEDI_positie 1			
	223 lx	-	

Conclusie:

- verlichtingssterkte niet voldoende.
- $MEDI = 223 \text{ lux} \cdot 0.6 \text{ (MDER)} = 134 \text{ lx}$ is te laag voor overdag.

Voorbeeld 2: lichtregeling geoptimaliseerd voor overdag



Kantoor_GroenLichtVlaanderen			
Berekeningen			
	512 lx	0.045	
Bureautafel positie 1			
	175 cd/m ²	0.76	
	802 lx	0.76	
MEDI_positie 1			
	469 lx	-	

Conclusie:

- verlichtingssterkte voldoende
- $MEDI = 469 \text{ lx} \cdot 0.6 \text{ (MDER)} = 280 \text{ lx}$ (>250 lx dus ok)
- 800 lx op bureau, andere tafels gemiddeld 512 lx

Voorbeeld 3: lichtregeling geoptimaliseerd voor 's avonds

▼ Armaturengroepen in de lichtscene

Daglicht	Binnen	Wallwashers	Staanlamp
Hemelmodel: Geen daglicht	6 Armaturen	5 Armaturen	1 Armaturen
Datum en tijd: 26/05/2015 12:00	100	10	0
Lokatie: Lüdenscheid Wijzigen			

Kantoor_GroenLichtVlaanderen			
Berekeningen			
	535 lx	0.00	
Bureautafel positie 1			
	116 cd/m ²	0.60	
	532 lx	0.60	
MEDI_positie 1			
	241 lx	-	

Conclusie:

- verlichtingssterkte voldoende
- $MEDI = 241 \text{ lx} \cdot 0.6 \text{ (MDER)} = 145 \text{ lx}$. Voor nachtwerk is dit aan de hoge kant.

BIJLAGE 2 | CIE SYSTEM FOR METROLOGY OF OPTICAL RADIATION FOR IPRGC INFLUENCED RESPONSES TO LIGHT

Raadpleegbaar via de [website van CIE](#).