

## Auteurs

Ir. S.T. (Samantha) Peeters; dr. ir. T.W. (Thijs) Krusselbrink, (voormalig) PhD kandidaten Human Technology Interaction en Building Lighting, TU/e

## Veldstudie met high-tech lichtmetingen leidt tot verrassende inzichten over invloed op de mens

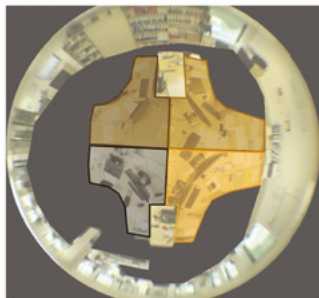
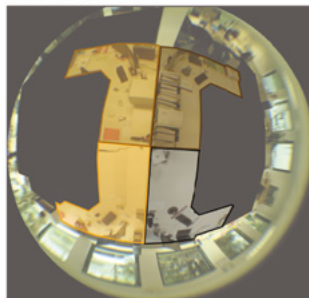
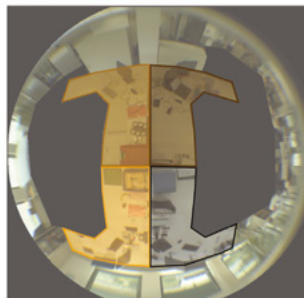
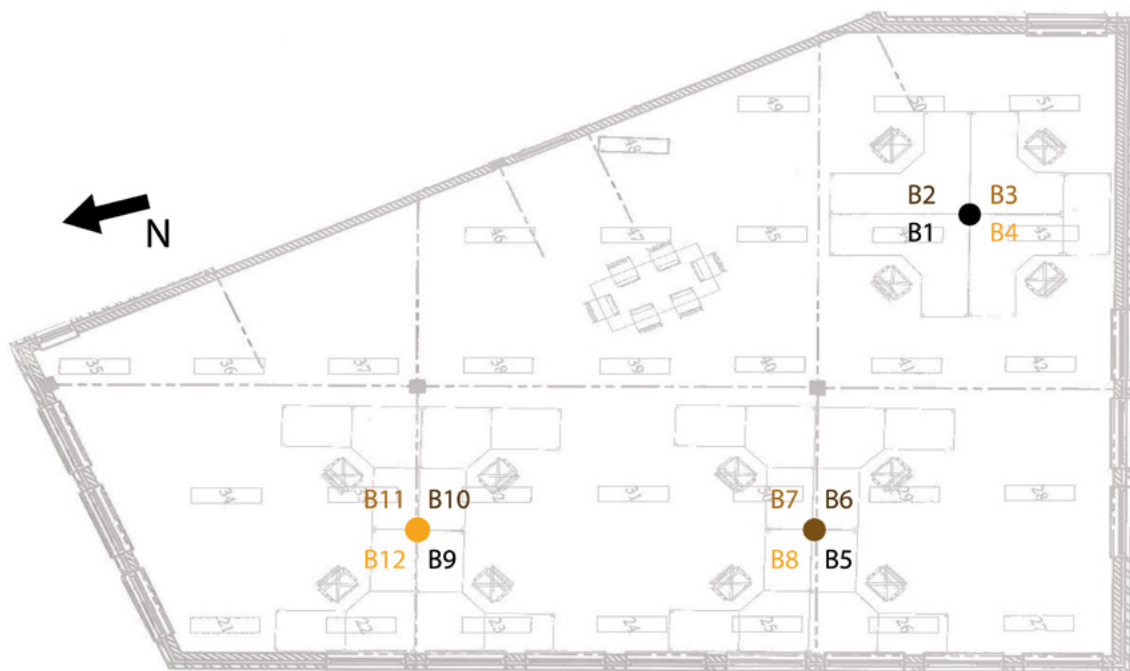
*In het Optilight project, gefinancierd door NWO (toegepaste en technische wetenschappen), wordt de invloed van licht op mensen gekwantificeerd, om uiteindelijk deze kennis te vertalen naar modellen en optimalisatie algoritmes. Met deze informatie moet het mogelijk zijn een intelligent lichtstelsel aan te sturen.*

*Optilight is een multidisciplinair project onder leiding van J.P.M.G. Linnartz, waarin verschillende groepen samenwerken. Kropman Installatietechniek B.V. is onderdeel van de gebruikerscommissie van het Optilight project. Het bedrijf bood ons de mogelijkheid om in de vestiging in Breda onderzoek uit te voeren naar de effecten van licht in de dagelijkse werkomgeving. Daarbij hebben we objectieve metingen van het licht in de ruimte gedaan, maar ook de menselijke factoren meegenomen. Uit deze studie blijkt namelijk dat deze factoren een veel belangrijkere rol spelen bij goede verlichting in de werkomgeving dan vooraf gedacht.*

De meeste kantoormedewerkers spenderen het grootste deel van hun werkdag en dagelijkse leven in gebouwen. Om deze reden is het erg belangrijk om voor een gezonde kantooromgeving te zorgen. Verlichting is een van de manieren waarop hieraan bijgedragen kan worden. Uit eerder onderzoek, voornamelijk uitgevoerd in een labomgeving, is gebleken dat licht een positieve invloed kan hebben op onder andere alertheid, vitaliteit, slaap en algemeen welzijn [1,2]. Het is echter nog onduidelijk hoe deze effecten zich vertalen naar de dagelijkse werkomgeving. Om deze reden is het dan ook belangrijk om veldstudies te doen.



Figuur 1: Impressie kantoorruimte Kropman in Breda.

**Bureau 1 - 4****Bureau 5 - 8****Bureau 9 - 12****Figuur 2:** Plattegrond en impressie van kantoorruimte.

Door een lichtinterventie toe te passen in een echt kantoor kunnen we voor langere periodes meten terwijl de dagelijkse zaken gewoon doorgaan. Voor deze veldstudie hebben wij over een langere periode (totaal 6 weken) gemeten bij Kropman Breda. De metingen hadden betrekking op een kantoorruimte met 12 werkplekken op de eerste verdieping van het kantoorgebouw (Figuur 2). In de ruimte waren 31 armaturen geplaatst met 'tunable white' lampen (Philips PowerBalance Tunable RC464B) die individueel aangestuurd konden worden door een bussysteem ontworpen door Kropman.

De metingen zijn uitgevoerd in twee seizoenen, om te kijken welk effect licht heeft op de kantoormedewerkers. De lente studie vond plaats van 28 mei t/m 14 juni 2018 en de winter studie vond plaats van 14 januari t/m 1 februari 2019. Doordat de studie plaats vond in verschillende

seizoenen, konden we ook vergelijken wat de effecten van een lichtinterventie zijn met meer daglicht (lente) of minder daglicht (winter). Elke meetperiode duurde 3 weken met een hoge conditie (meer elektrisch licht) en een lage conditie (minder elektrisch licht). In de eerste week werd de hoge conditie (~300 lx elektrisch licht op het oog, ~900 lx elektrisch licht op het blad) aangeboden in de ochtend en de lage conditie in de middag, in de tweede week werd constant de lage conditie aangeboden (~50 lx elektrisch licht op het oog, ~120 lx elektrisch licht op het blad) en in de derde week werd de hoge conditie aangeboden in de middag en de lage conditie in de ochtend, gebruikmakende van de originele armaturen. De kleurtemperatuur was vastgesteld op een neutrale 4000K, in combinatie met daglicht leidde de hoge conditie gemiddeld tot ~500 lx op het oog (~990 lx op het blad) en in de lage conditie gemiddeld tot ~150 lx op het oog (~230 lx op het blad), waarbij de winter gemiddeld lager uitviel.

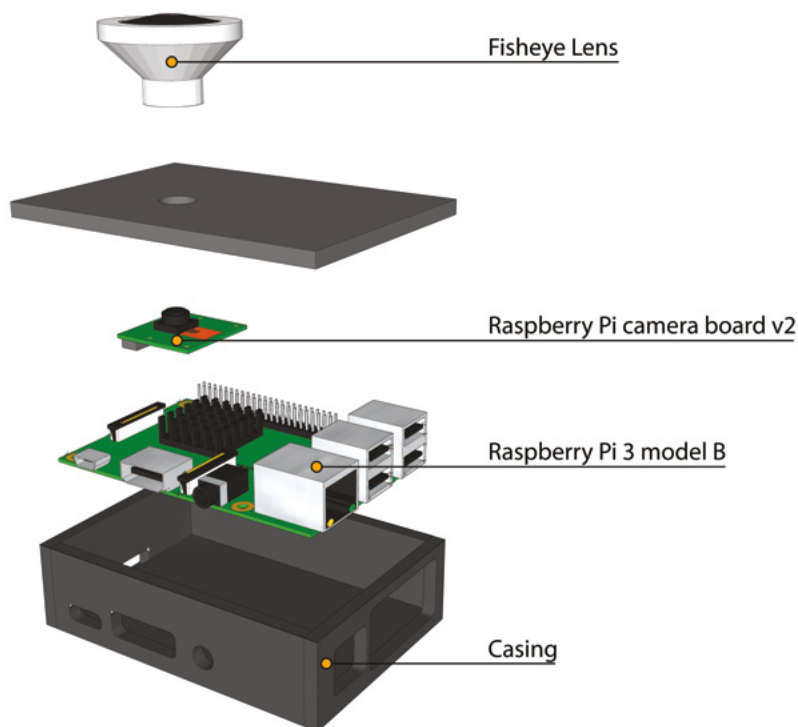
De reden voor het kiezen van dit lichtpatroon van meer licht in de ochtend of de middag is omdat eerdere studies hebben laten zien dat het meeste effect op bijvoorbeeld alertheid en vitaliteit verwacht wordt in de ochtend [3]. Voor de middag zijn de verwachtingen minder duidelijk. Daarnaast was het een van de eerste tests om de verlichte omgeving en de effecten op de mens op een praktische en non-invasieve manier in kaart te brengen.

### Methode – Lichtmetingen

Wanneer onderzoek naar de effecten van licht wordt gedaan is het essentieel dat het licht in de ruimte goed in kaart wordt gebracht, alleen de horizontaal gemeten verlichtingssterkte is vaak niet afdoende. Tijdens een veldstudie als deze is het niet eenvoudig om de verlichte omgeving goed in kaart te brengen omdat we de gebruikers van de ruimte niet willen storen, daarnaast moet het licht continu gemeten worden. Continue metingen zijn essentieel, daglicht varieert immers gedurende de dag, uur en zelfs per minuut. Daarom is in deze studie gebruikt gemaakt van drie luminantie-camera's bevestigd aan het plafond die continu (elke 10 minuten) de luminantie op het bureau monitoren. Deze luminantie-camera's, Bee-Eyes genoemd, ontwikkeld in de Building Lighting Group aan de TU/e [4], bestaan uit relatief goedkope componenten zoals een Raspberry Pi, een Raspberry Pi camera en een fish-eye lens zoals geïllustreerd in Figuur 3. Met een standaard 8-bit afbeelding hebben we slechts een bereik van 0-255, echter doormiddel van High Dynamic Range (HDR) fotografie kan de helderheid en het contrast van de werkelijkheid geëvenaard worden (8 orders van grootte).

Deze HDR afbeelding wordt gemaakt door 7 identieke opnames te maken met een sluitertijd variërend tussen de 9µs en 2s. Vervolgens worden de 7 opnames samengevoegd tot een HDR afbeelding. Gebaseerd op een lineaire combinatie van de Rood-Groen-Blauw pixel waarden van de HDR afbeelding kan de luminantie bepaald worden. Doordat een fish-eye lens is toegepast is het zichtveld 180°, hierdoor kan de luminantie verdeling van de ruimte in één keer gemeten worden in een hoge resolutie zoals afgebeeld in Figuur 5. Deze Bee-Eye luminantie camera's

Figuur 3: De componenten van de Bee-Eye luminantie camera.



zijn volledig geautomatiseerd, gebruikmakend van een Python script. Daarnaast zijn de Bee-Eyes vooraf gekalibreerd, gebruikmakend van een Konica Minolta LS-100 luminantie meter. Een luminantie camera is zeer geschikt voor het kwantificeren van de verlichte omgeving in veldstudies als deze omdat informatie beschikbaar is over de hoeveelheid, de verdeling, de verblinding, de richting en de dynamiek van het licht. Echter, in dit onderzoek zijn alleen de bureau luminantie, daglicht ratio en het contrast geëvalueerd. In dit onderzoek was contrast gedefinieerd als de verhouding tussen de bureau luminantie en de luminantie van de ramen binnen het respectievelijke zichtveld.

### Methode – Menselijke factoren

Om de effecten van licht in kaart te brengen is het belangrijk om, naast het daadwerkelijke licht, de effecten van licht op de mens te meten. Omdat het niet mogelijk is in te schatten hoe iemand zich voelt of wat diegene denkt, hebben we gebruikt gemaakt van een zogeheten ESM (Experience Sampling Method) protocol. Dit hield in dat de kantoormedewerkers verschillende vragenlijsten binnen kregen op hun telefoon gedurende de dag. De notificaties voor deze vragenlijsten kwamen binnen volgens een semi-random schema, waardoor men niet wist wanneer de vragenlijsten exact zouden komen en er ook niet op kon anticiperen.

In totaal kwamen er 8 vragenlijsten per dag, waarvan 4 in de ochtend van 08:30 – 12:30 en 4 in de middag van 13:00 – 17:00. De vragenlijsten vroegen onder andere naar alertheid, vitaliteit en gemoedstoestand maar bijvoorbeeld ook naar de waardering van het licht in de ruimte (bijv. aangenaam/onaangenaam of dim/fel). Verder werden er ook context gerelateerde vragen gesteld zoals het aantal koppen koffie wat iemand gedronken had en of diegene aanwezig was op dat moment.

Naast het beantwoorden van de vragen droegen de deelnemers verschillende sensoren, waaronder een lichtlogger (Figuur 4). Deze zogeheten lichtlogger werd gedragen als een



**Figuur 4:** De lichtlogger gedragen door een participant.

broche gedurende de meetperiode. De lichtlogger heeft tijdens de gehele studie continu gemeten (meet interval was ingesteld op 200 seconden), en gaf hiermee een inschatting van de verlichtingssterkte op het oog. Door het gebruik van deze lichtlogger konden we inzicht krijgen in de persoon gerelateerde lichtblootstelling. Of iemand vlakbij een raam zit of juist niet kan veel uitmaken in dit geval en hiermee konden we deze verschillen in kaart brengen.

Naast de persoonsgerelateerde data zijn er in de ruimte ook lichtmetingen gedaan op vaste plekken, met onder andere een spectrometer en de hierboven beschreven Bee-Eyes. Met al deze data hebben we uiteindelijk statistische modellen toegepast om te zien of het extra licht inderdaad een invloed had op o.a. alertheid en vitaliteit. Uiteindelijk zijn er twee verschillende statistische modellen toegepast. Een model met het licht scenario als voorspeller en een model met de gepersonaliseerde licht data als voorspeller.

## Resultaten – Lichtmetingen

Gedurende de metingen zijn 9,551 (8.43GB) unieke luminantie-verdelingen gemeten, zoals het voorbeeld afgebeeld in Figuur 5, waarmee onder andere de gemiddelde luminantie van elk individueel bureau bepaald is. Deze metingen illustreerden dat er grote verschillen zijn in de hoeveelheid licht tussen de verschillende bureaus, in een op het oog vrij uniform verlichte ruimte. Dit verschil werd vooral veroorzaakt door het daglicht, hoewel ook niet ieder bureau gelijkwaardig uitgelijnd was ten opzichte van de elektrische verlichting. Het effect hiervan wordt duidelijk in Figuur 6: gedurende de lente periode zijn er grote verschillen in luminantie tussen de bureaus. Bureau 7 heeft een gemiddelde luminantie die minstens twee keer zo hoog is als bureau 4, het mag dus duidelijk zijn dat bureau 7 dicht bij het raam staat dan bureau 4. Figuur 5 geeft ook aan dat de oriëntatie van bureau 7 Noordwestelijk is doordat de hoogste luminantie waardes gemeten worden aan het begin van de avond.

Bovendien is in de lente de interventie, extra licht in de ochtend, nauwelijks zichtbaar omdat het daglicht dominant is. In de winter zie je juist dat de interventie maatgevend is en daglicht relatief weinig impact heeft. Deze resultaten geven aan dat het effect van daglicht sterk afhankelijk is van het weer en het seizoen. Echter, het elektrisch licht kan, ondanks de beperkte bijdrage aan de hoeveelheid licht, een grote bijdrage leveren aan het comfort van de gebruiker, daglicht wordt immers meestal geprefereerd door de mens.

Gedurende de metingen is de luminantieverhouding, tussen het bureaublad en de ramen, binnen de perken gebleven aldus de specificatie in NEN 3087. In de winter, was een maximale verhouding van 1:8 gemeten, terwijl in de zomer een maximale verhouding van 1:23 was gemeten. Ruim 99% van de luminantieverhouding was lager dan 1:10, wat een onrustige indruk van de ruimte moet voorkomen [5].

Naast luminatiewaardes zijn de Bee-Eyes ook gebruikt om het gebruik van de manuele zonnewering te analyseren. We hebben immers ook de luminantieverdeling op de ramen. Gebaseerd op deze metingen vonden we dat als de zonnewering gebruikt wordt het vervolgens tot de volgende dag of zelfs volgende week duurt voordat de zonnewering weer omhoog gedaan wordt. Echter was het niet mogelijk om te bepalen waarom, bijvoorbeeld een zekere verblindingsfactor, de zonnewering gebruikt

wordt door de grote hoeveelheid ruis onder andere veroorzaakt door wolken die voor de zon bewegen. Desalniettemin geeft dit de veelzijdigheid aan van luminantie camera's. De Bee-Eyes zouden eventueel ook gebruikt kunnen worden als aanwezigheidsdetectie of beveiligingscamera.

#### Resultaten – Menselijke factoren

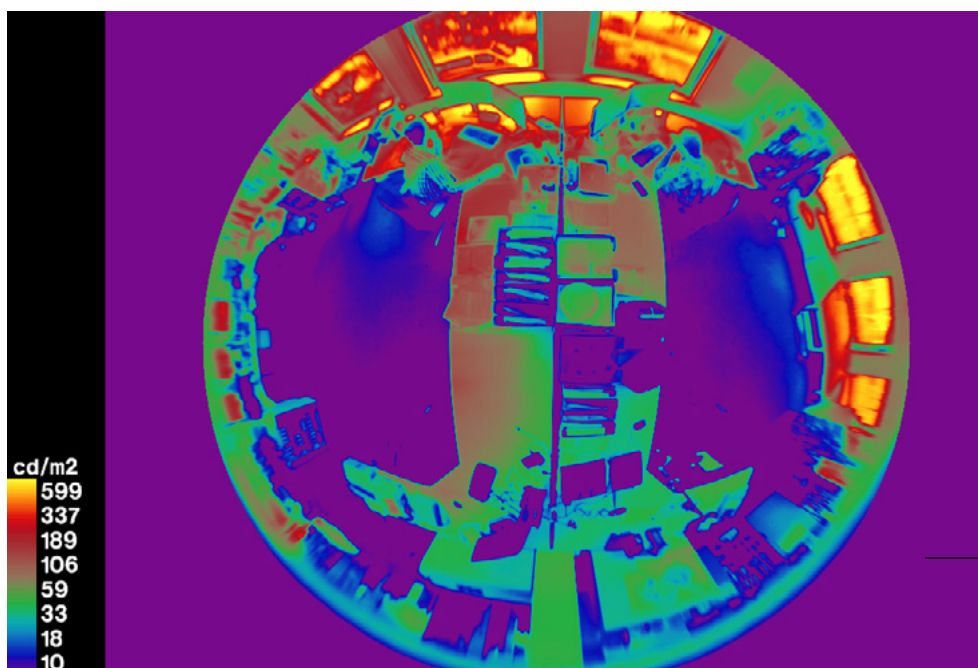
In eerste instantie hadden we verwacht dat het extra licht, met name in de ochtend, een positieve invloed zou hebben op onder andere alertheid en vitaliteit van de medewerkers. Maar de resultaten (op basis van het model met licht scenario als een voorspeller) laten een ietwat ander resultaat zien; namelijk dat het extra licht in de ochtend een negatief effect heeft op alertheid en vitaliteit. Terwijl vaak aangenomen wordt, in 'dynamic lighting' applicaties, dat dit een positief effect heeft. Deze negatieve trend lijkt zich ook door te zetten in de middag, na het extra licht in de ochtend. Belangrijk om hier te benoemen is dat het statistisch significante maar subtiele effecten betrof.

Wat verder opvalt in de data is dat de deelnemers het extra licht bestempelden als fel, en dat dit vooral in de lente werd ervaren als onaangenaam, terwijl juist hier daglicht maatgevend was.

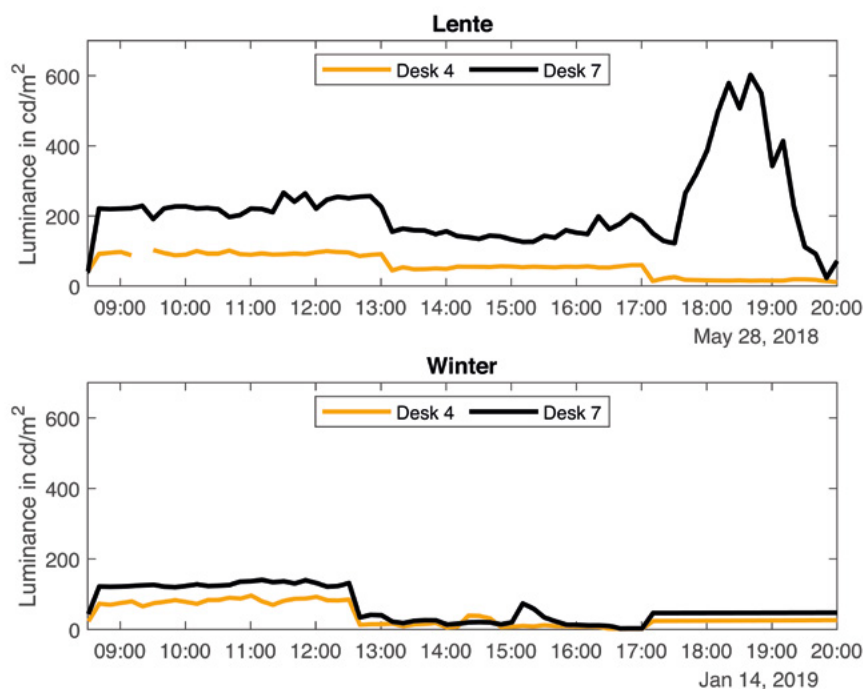
Een mogelijke verklaring voor deze resultaten kan zijn dat de negatieve mening over de verlichting mogelijk de potentiële positieve effecten op alertheid en vitaliteit verhinderden. Het model met de data van de lichtlogger als voorspeller, gaf ook onverwachte resultaten. Hierbij zagen wij geen effect op maten zoals alertheid, vitaliteit of gemoedstoestand. We zagen hier vooral terug dat de kantoormedewerkers meer licht bestempelden als fel. Mogelijk kan het zijn dat door de grote invloed van daglicht de effecten van extra elektrisch licht aanbieden minder duidelijk naar voren kwam op de lichtlogger en meer ruis introduceerde.

#### Interdisciplinair

Zoals eerder genoemd, is het op dit moment niet mogelijk om erachter te komen wat iemand van het licht vindt zonder dit te vragen. Door de huidige data te combineren, hebben we geanalyseerd of we de ervaringen over de verlichting mogelijk kunnen voorspellen. Dit hebben we gedaan door het exacte moment waarop een vragenlijst werd ingevuld te linken aan de luminantie verdeling die op dat moment gemeten werd. Vervolgens hebben we aan de hand van statistische modellen bekeken welke lichtaspecten het beste de lichtervaring voorspelden. Wat de eerste exploraties toonden is dat de ervaren helderheid goed voorspeld kan worden aan de hand van luminantie en daglicht ratio's gemeten door de Bee-Eye. Dit correspondeert met het feit dat de luminantie gecorreleerd is aan de helderheid, in tegenstelling tot de verlichtingssterkte. Het voorspellen van aangenaamheid van het licht gaf een relatie aan die veel minder sterk gecorreleerd was. Mogelijk is deze relatie gecompliceerder en niet lineair, het kan bijvoorbeeld zo zijn dat meer licht als aangener wordt ervaren, tot op zekere hoogte, waarna de ervaring vervolgens weer negatiever wordt. Daarnaast, is het de verwachting dat meerdere licht aspecten benodigd zijn dan alleen de gemiddelde bureau luminantie om een goede voorspelling te maken van de aangenaamheid, bijvoorbeeld verblinding, richting en de dynamiek van het licht.



**Figuur 5:** Luminantie verdeling zoals gemeten bij Kropman.



**Figuur 6:** Verschil in gemiddelde bureau luminantie tussen twee bureaus.

### Conclusie

De relatie tussen licht en effecten op alertheid en vitaliteit lijkt een stuk complexer te zijn als in eerste instantie verwacht. Deze studie laat ook het belang zien van het uitvoeren van een veldstudie, en dat we niet zomaar resultaten uit een labstudie klakkeloos kunnen vertalen naar een echte kantooromgeving. Bovendien zijn er meerdere factoren die hierbij een rol kunnen spelen. Simpelweg extra licht aanbieden lijkt niet direct de oplossing te zijn voor een alertere en vitalere werkomgeving. Het lijkt er zelfs op dat het extra licht vooral als negatief ervaren wordt. Binnen deze studie zien we ook, ondanks dat het elektrische licht hetzelfde werd ingesteld in een relatief kleine ruimte, dat de verschillen alsnog erg groot kunnen zijn tussen verschillende werkplekken. Het is dus van groot belang om in dit soort studies de verlichting door de gehele ruimte te meten. Bovendien laat dit ook zien hoe belangrijk het is om op een interdisciplinaire manier naar dit soort vraagstukken te kijken.

Naast de objectieve metingen van het licht in de ruimte, is het ook belangrijk deze te relateren aan de mens, wat kan leiden tot waardevolle inzichten.

Voor toekomstige studies is het dan ook belangrijk om te kijken naar hoe inzichten vertaald kunnen worden naar de werkomgeving en het belang van er op een interdisciplinaire manier naar te kijken. Op basis van deze veldstudie zijn er ook diverse wetenschappelijke artikelen in de maak en ook al gepubliceerd. Door op deze interdisciplinaire manier te werken komen we ook weer een aantal stappen dichterbij een intelligent verlichtingssysteem, dat in staat is om een hoge lichtkwaliteit aan te bieden zonder overlast of irritatie te veroorzaken.

### Verantwoording

Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van het Optilight project gefinancierd door NWO (toegepaste en technische wetenschappen). Optilight is een multidisciplinair project onder leiding van J.P.M.G. Linnartz, waarin verschillende groepen samenwerken. Onder het overkoepelende Intelligent Lighting Institute (ILI) zijn de volgende groepen hierbij betrokken: Human Technology Interaction (IE&IS), onder leiding van Y.A.W. de Kort; Building Lighting (BE), onder leiding van E.J. van Loenen; SPS (EE), onder leiding van J.P.M.G. Linnartz; Security W&I (M&CS), onder leiding van T. Ozcelebi.

### Referenties

1. J.L. Souman, A.M. Tinga, S.F. te Pas, R. van Ee, B.N.S. Vlaskamp, Acute alerting effects of light: A systematic literature review, *Behav. Brain Res.* 337 (2018) 228–239. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.09.016>.
2. R. Lok, K.C.H.J. Smolders, D.G.M. Beersma, Y.A.W. de Kort, Light, Alertness, and Alerting Effects of White Light: A Literature Overview, *J. Biol. Rhythms.* 33 (2018) 589–601. <https://doi.org/10.1177/0748730418796443>.
3. K.C.H.J. Smolders, Y.A.W. De Kort, S.M. Van den Berg, Daytime light exposure and feelings of vitality: Results of a field study during regular weekdays, *J. Environ. Psychol.* 36 (2013) 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.09.004>.
4. T.W. Kruisselbrink, M.B.C. Aries, A.L.P. Rosemann, A Practical Device for Measuring the Luminance Distribution, *Int. J. Sustain. Light.* 19 (2017) 75–90. <https://doi.org/10.26607/ijsl.v19i1.76>.
5. NEN, NEN 3087 - Ergonomie - Visuele ergonomie: achtergronden, principes en toepassingen, 2011.