

Openbaar eindrapport DYNKA

DYNamisch licht en binnenklimaat voor KAntoren

Projectnummer: TEUE117001

15 Oktober 2022

Toelichting

In het openbare eindrapport worden de activiteiten en resultaten beschreven van TKI project DYNamisch licht en binnenklimaat voor Kantoren - DYNKA

De opbouw van het document is als volgt:

- Colofon
- Een algemene introductie
- Inhoudelijk eindrapport



Colofon

Projecttitel

DYNamisch licht en binnenklimaat voor KAntoren (DYNKA)

Projectnummer

TEUE117001

Penvoerder

Huygen Installatie Adviseurs B.V.
Urmonderbaan 22, Gebouw 220, 6167 RD Geleen

Contactpersoon: Loes Visser

T +31 880 322 222 | M +316 26 62 81 36 | E l.visser@huygen.net

Project deelnemers

- Huygen Installatie Adviseurs B.V.
- Maastricht University
- Technische Universiteit Eindhoven
- Signify B.V.
- Kropman Installatietechniek B.V.
- Zuyd Hogeschool
- ISSO

Projectperiode

01-01-2018 t/m 15-10-2022

Opdrachtgever

"Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."



Inhoud

| | |
|--|----|
| Introductie TKI DYNamisch licht en binnenklimaat voor KAntoren | 4 |
| Overzicht van deelnemers | 5 |
| Samenvatting van de werkpakketten..... | 5 |
| Lijst van bijlagen..... | 6 |
| Tussentijdse wijzigingen in het werkplan..... | 7 |
| Resultaten per werkpakket | 8 |
| Werkpakket 1: Gebruikersaspecten - Interactie licht en temperatuur..... | 8 |
| Taak 1.1 - Scenario-ontwikkeling | 8 |
| Taak 1.2 - Identificatie monitoringsparameters | 10 |
| Taak 1.3 - Ontwikkeling van vier basis installatieconcepten voor een dynamisch kantoor klimaat | 12 |
| Taak 1.4 - Ontwikkeling basis ICT platform voor aansturing van licht en klimatisering | 13 |
| Taak 1.5 - Ontwikkeling van een set lichtarmaturen voor een dynamisch kantoor concept | 17 |
| Werkpakket 2: Implementatie van het dynamisch klimatisering concept in Living Labs..... | 19 |
| Taak 2.1 - Validatie van scenario's in twee living lab omgevingen en ontwikkeling toolbox | 19 |
| Taak 2.2 - Inrichting living lab Atlasgebouw | 30 |
| Taak 2.3 - Uitvoeren van twee scenario's, inclusief een 'standaard' instelling (0-meting) | 33 |
| Taak 2.4 - Dataverzameling en –verwerking feedback gebruiker | 33 |
| Werkpakket 3: Toepassingspotentieel – energiebesparing en modelontwikkeling | 37 |
| Taak 3.1 - Doorontwikkeling thermisch mens model (hUMan) | 37 |
| Taak 3.2 - Doorontwikkeling lichtmodellen op basis van de experimenten | 38 |
| Taak 3.3 - Afstemming humane modellen (licht, thermo) met gebouwsimulatiemodel | 39 |
| Taak 3.4 - Vaststelling besparingspotentieel van dynamisch binnenklimaat scenario's | 40 |
| Taak 3.5 - Vaststelling besparingspotentieel van dynamisch LED licht | 41 |
| Werkpakket 4: Toepassingspotentieel – product en markt..... | 42 |
| Taak 4.1 - Het bepalen van het uiteindelijke werkelijke markt- en besparingspotentieel | 42 |
| Taak 4.2 - Het vaststellen van marges voor een dynamisch binnenklimaat | 42 |
| Taak 4.3 - Het opstellen van een scenario voor verder productontwikkeling | 43 |
| Taak 4.4 - Mogelijkheden voor verdere standaardisatie van een dynamisch kantoor klimaat | 44 |
| Samenvatting PERDYNKA..... | 45 |
| Conclusie en aanbevelingen..... | 48 |
| Geciteerde werken | 48 |

Introductie TKI DYNamisch licht en binnenklimaat voor KAntoren

Aanleiding

Gebouwen worden tijdens aanwezigheid van gebruikers op een uniform en constant temperatuurregime geklimatiseerd. Dit resulteert in een hoger energiegebruik dan noodzakelijk. Een constante temperatuur wordt in verband gebracht met een hoge comfortbeleving. Er is echter een grote individuele variatie in comfortbeleving en bovendien zijn comfort en gezondheid niet synoniem. Onderzoek van de Universiteit Maastricht laat zien dat blootstelling aan milde koude de gezondheid van mensen sterk kan verbeteren door de activatie van bruin vet en door verbetering van de suikerhuishouding. Bovendien kunnen mensen zich goed aanpassen aan een variatie in binnenklimaat. DYNKA voegt hier een nieuwe dimensie aan toe: licht, als omgevingsfactor die de gezondheid kan beïnvloeden. Lichtsterkte en lichtkleur en de omgevingstemperatuur in interactie met elkaar kunnen de fysiologie, psychologie en gezondheid beïnvloeden. Met dynamische LED-licht in een dynamisch binnenklimaat kan aldus het slaap-waak ritme, comfort en sensatie, fysiologie, gezondheid, welzijn, alertheid, en productiviteit gunstig beïnvloed worden, terwijl energiegebruik van het gebouw juist verlaagt.

Doel van het project

DYNKA richt zich op de vraag in welke mate de interactie van LED licht en omgevingstemperatuur het energiegebruik voor verwarming of koeling gunstig zal beïnvloeden en hoe dit vertaald kan worden in concrete installatieconcepten voor innovatieve dynamic office systems. De projectaanpak richt zich op twee aspecten: het verbeteren van de gezondheid en welzijn en het verminderen van het energiegebruik. Doelstelling van DYNKA is het realiseren een optimaal dynamisch binnenklimaat in kantoren door een combinatie van dynamisch licht en dynamische binnentemperatuur over de dag die zorgt voor een gezonde en productieve kantooromgeving en daarmee tevens een energiebesparing realiseert van ten minste 15 % ten opzichte van een traditioneel geklimatiseerd kantoor. DYNKA draagt bij aan Programmalijn 5a (Zelflerende) intelligente energieregelsystemen en –diensten door de ontwikkeling van een volstrekt nieuwe en innovatieve manier van dynamische kantoor klimatisering gebaseerd op de interactie van licht en temperatuur.

Korte omschrijving van de activiteiten

Dynka onderzoekt de afstemming van de dynamische licht- en temperatuurcondities op de individuele gebruiker voor praktische toepassing in een kantooromgeving. Hiertoe zullen scenario's worden ontwikkeld die leiden tot de randvoorwaarden voor een *dynamic office* omgeving.

Validatie, toetsing en implementatie van een dynamisch binnenklimaat vinden plaats in real life living lab omstandigheden. De concepten worden gevalideerd op twee locaties. Hieruit wordt een toolbox ontwikkeld voor een dynamisch office system. Vervolgens worden op grote schaal twee concepten getest in het Atlas gebouw van TU/e. Dit levert de specifieke bouwfysische en installatietechnische eisen op en hiermee wordt het besparingspotentieel in de praktijk aangetoond.

Het thermo fysiologisch model hUMAN wordt aangepast aan de dynamische binnenklimaatfactoren, en wordt afgestemd met gebouwmodellen om de potentiële besparingen te kunnen voorspellen. Uit de praktijktesten zal het besparingspotentieel worden bepaald, een scenario worden opgesteld voor productontwikkeling, en een opzet worden gemaakt voor een standaardisatie van een dynamisch kantoorklimaat.

DYNKA levert de volgende resultaten op:

- Drie scenario's (profielen) als randvoorwaarde voor een *dynamic office* omgeving
- Drie basis installatieconcepten voor kantoren om deze profielen te kunnen realiseren.
- Toetsing en validatie van het dynamische klimaatconcept in twee RLLL situaties.
- Een toolbox voor het ontwerpen van een dynamisch licht en temperatuur office system.
- Uitgebreide toetsing en monitoring van het dynamische klimaatconcept in een praktijkproject.
- Bouwfysische en installatietechnische eisen voor een optimaal gezond en productief binnenklimaat.
- Een aangepast hUMAN model voor de voorspelling van effecten van het *dynamisch* binnenklimaat Een definitieve bepaling van het besparings- en toepassingspotentieel.
- Een scenario voor verder productontwikkeling voor een dynamisch office system.
- Een opzet voor verdere standaardisatie van een dynamisch kantoorklimaat als ISSO publicatie.

Overzicht van deelnemers

| Naam deelnemer | Type organisatie | Rol in project |
|--|---|--|
| Universiteit Maastricht - UM | Onderzoeksorganisatie | Consortium leider, projectleider/onderzoeker |
| Technische Universiteit Eindhoven – TU/e | Onderzoeksorganisatie | Onderzoeker |
| Zuyd Hogeschool | Onderzoeksorganisatie | Monitoring, onderzoeker |
| Signify B.V. | Groot bedrijf | Industrieel onderzoek, scenario voor productontwikkeling |
| Kropman Installatietechnik B.V. | Groot bedrijf | Toepasser, gebruiker van de ontwikkelde concepten |
| Huygen Installatie Adviseurs - HIA | MKB | Toepasser, ontwikkeling dynamische kantoorinstallatieconcepten |
| ISSO | Kennisinstituut voor de installatiesector | Vorbereiding tot standaardisatie |

Samenvatting van de werkpakketten

| WP of Fase | Korte beschrijving | Categorie: IO/EO/dem | Uitvoerders (met namen) | Resultaat |
|------------|--|----------------------|---------------------------------------|--|
| 1 | Gebruikersaspecten - Interactie licht en temperatuur | IO | UM, TU/e, Zuyd, HIA | <ul style="list-style-type: none"> - vier scenario's voor een dynamic office omgeving - set van monitoringsparameters - vier basis installatieconcepten voor kantoren om deze profielen te kunnen realiseren |
| 2 | Implementatie van het dynamisch klimatiseringsconcept in Living Labs | IO | UM, TU/e, Zuyd, Signify, HIA, Kropman | <ul style="list-style-type: none"> - Toetsing en validatie van het dynamische klimaatconcept in twee RLLL's. - Een toolbox voor het ontwerpen van een dynamisch licht en temperatuur office system - Uitgebreide toetsing en monitoring van het dynamische klimaatconcept in een praktijkproject (Atlasgebouw TU/e) - Set van bouwfysische en installatietechnische eisen voor een optimaal gezond en acceptabel binnenklimaat |
| 3 | Toepassingspotentieel – energiebesparing en modelontwikkeling | IO | MU, TU/e, HIA | <ul style="list-style-type: none"> - het besparingspotentieel voor een dynamisch binnenklimaat en dynamisch LED licht - Thermisch dynamisch mensmodel hUMAN en dynamisch lichtmodel, geschikt voor professionele gebruikers zoals advies- en ontwerp bureaus, onderzoekers - Set van randvoorwaarden voor afstemming (communicatie) tussen licht- en thermisch model |

| | | | | |
|---|---|----|-----------------------------|--|
| 4 | Toepassingspotentieel – product en markt | IO | Signify, Kropman, HIA, ISSO | <ul style="list-style-type: none"> - een realistische berekening van de het marktpotentieel en besparingen voor verschillende gebouwfuncties - een scenario voor verdere productontwikkeling en materialisatie voor gepersonaliseerde kantoorssystemen - een voorstel voor de mogelijkheden voor verdere standaardisatie, aanbevelingen, certificering met betrekking tot het gebruiken van de resultaten in de (kantoor)werkomgeving |
| 5 | Management, coördinatie, communicatie, disseminatie | IO | UM, HIA, alle partners | <ul style="list-style-type: none"> - Projectsecretariaat - Projectwebsite - Klankbordgroep - Verslaglegging tussenresultaten en eindresultaten inclusief interne kwaliteitsbewaking - Kennisoverdracht activiteiten |

Lijst van bijlagen

Onderstaande bijlagen zijn toegevoegd aan dit vertrouwelijke eindrapport:

| | Corresponderende bijlage |
|--------|--|
| WP 1.1 | Bijlage 1.1.1 Kompier et al. (2020). A systematic literature review on the rationale for and effects of dynamic light scenarios. <i>Building and Environment</i> , 186. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107326 (Openbaar) |
| | Bijlage 1.1.2 Kompier et al. (2020). Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort. <i>Physiology & Behavior</i> , 223. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112999 (openbaar) |
| | Bijlage 1.1.3 Kompier et al. (2021). Abrupt light transitions in illuminance and correlated colour temperature result in different temporal dynamics and interindividual variability for sensation, comfort and alertness. <i>PLoS ONE</i> , 16(3), 1–24. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243259 (openbaar) |
| | Bijlage 1.1.4 Kompier et al. (2022). "Visual Comfort and Acute Alerting Effects of Diurnal Intermittent Bright Light." <i>LEUKOS</i> (2022): 1-20. (openbaar) |
| | Bijlage 1.1.5 Ivanova et al. <i>Physiology&Behavior</i> 2020 (openbaar) |
| WP 1.2 | Bijlage 1.2.1 Selectie monitoring parameters en bijbehorende sensoren/vragenlijsten (Openbaar) |
| | Bijlage 1.2.2 Overzicht monitoring parameters (Openbaar) |
| WP 1.3 | Bijlage 1.3 Ontwikkeling installatieconcepten |
| WP 2.1 | Bijlage 2.1.1 Peeters et al. 2021 Less is More (Openbaar) |
| | Bijlage 2.1.2 Peeters et al. 2020 What you set (Openbaar) |
| WP 2.3 | Bijlage 2.3.1 Kompier et al. 2022 Contrasting dynamic light scenarios in an operational office: effects on visual experience, alertness, cognitive performance, and sleep. <i>Building and Environment</i> , 212, 108844. (openbaar) |
| WP 3.2 | Bijlage 3.2.1 Kompier 2020 Windsor Conference (openbaar) |
| WP 3.4 | Bijlage 3.4.1 Rapport masterproject Raymon Wasman (Openbaar) |
| WP 4.1 | Bijlage 4.1. Markt- en besparingspotentieel |

| | |
|--------|--|
| WP 4.3 | Bijlage 4.3. Door ontwikkelen en vermarkten gekoppeld ICT-platform |
| WP 4.4 | Bijlage 4.4.1 Samenvatting ISSO-publicatie 74 (versie 2014) |

Tussentijdse wijzigingen in het werkplan

Eind 2021 hebben we als consortium een verlenging van 10 maanden aangevraagd. Door de corona pandemie is in 2020 abrupt een einde gekomen aan de living lab experimenten in Atlas. Door het verplichte thuiswerken is het daarna ook niet meer gelukt om een tweede pilot in Atlas te verzorgen. In plaats hiervan is een extra lab studie uitgevoerd (herhaalde abrupte lichttransities, bijlage 1.1.4, zie ook WP1.1) en is er meer tijd nodig geweest om het project af te ronden.

Resultaten per werkpakket

Hierna worden per werkpakket de in het projectplan genoemde deliverables beschreven, hoe daaraan is gewerkt, wat het resultaat is en indien relevant, hoe die te vermarkten. In onderstaande paragrafen wordt beschreven hoe aan de hand van de verschillende taken deze projectresultaten gerealiseerd zijn. Achtereenvolgens worden behandeld:

- Inleiding en doelstelling;
- Resultaten;
- Discussie, conclusie en aanbevelingen.

Werkpakket 1: Gebruikersaspecten - Interactie licht en temperatuur

Onderstaand zijn de taken en deliverables van werkpakket 1 te vinden.

In dit werkpakket zijn scenario's ontwikkeld op basis van kennis omtrent de interactie van licht en temperatuur op fysiologie, psychologie en gezondheid. Monitoring parameters zijn geïdentificeerd en de methodiek en protocollen voor de praktijkmetingen zijn ontwikkeld.

Resultaten WP1:

D1.1 Vier scenario's en één referentiescenario ten aanzien van licht- en temperatuur manipulaties.

D1.2 Set van geïdentificeerde monitoringsparameters voor de monitoring in living lab condities

D1.3 Vier basis installatieconcepten voor een dynamisch binnenklimaat

Taak 1.1 - Scenario-ontwikkeling

Bij deze eerste taak is op basis van literatuuronderzoek, meta analyses en beperkte aanvullende lab studies voorspellingen gedaan over geïsoleerde effecten van licht- en temperatuurmanipulaties. Het onderzoek leidde tot drie scenario's (en een referentie scenario). Deze scenario's zijn uitgewerkt in installatieconcepten (taak 1.3 en validatie in taak 2.1)

Licht

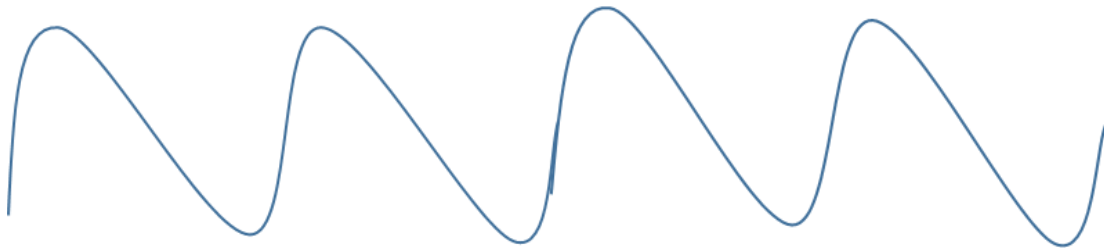
Hoewel er al veel bekend is over de effecten van constante verlichting op menselijk functioneren, was bij aanvang van het project de gepubliceerde kennis over de effecten van *dynamische* lichtpatronen nog erg schaars en nooit bijeengebracht. Daarom is eerst een systematische review uitgevoerd naar de bevindingen van studies met dynamische lichtpatronen (zie bijlage 1.1.1) zoals gerapporteerd in de literatuur. Dynamiek in verlichting kan diverse doelen dienen (alertheid, goede slaap, ondersteuning van taken) en wordt gemotiveerd vanuit verschillende mechanismen (visueel comfort, aansluiting bij natuurlijk daglicht patroon. In totaal werden veertien wetenschappelijke studies geïnccludeerd, waarvan zowel de vormgeving van licht scenario's als de gerapporteerde effecten werden bestudeerd. Scenario's liepen ver uiteen van korte pulsen tot dag-lange curves, abrupte alsook geleidelijke curves, en manipulaties van lichtsterkte en lichtspectrum die ver uiteen liepen. De resultaten gaven suggestieve aanwijzingen voor potentieel positieve effecten, met name op slaapkwaliteit en slaapduur, maar maakte vooral duidelijk dat er nog geen geconsolideerde kennis is over de effecten van dynamiek in licht. Er werd geen informatie gevonden over de effecten van dynamische lichtpatronen op thermisch comfort.

In een serie lab studies is vervolgens gekeken naar met name naar directe effecten van licht (zowel visueel als niet-visueel), op visueel en thermisch comfort en sensatie, op zelf gerapporteerde alertheid, prestaties op cognitieve taken en fysiologische parameters. In drie studies werden deze achtereenvolgens bestudeerd voor constante en abrupt veranderende scenario's in neutrale (Bijlage 1.1.2) en mild koude omstandigheden (1.1.3), en bij herhaalde, relatief abrupte licht transities (bijlage 1.1.4). Deze laatste studie is uitgevoerd ter vervanging van een extra veldstudie in Atlas die we hadden willen doen in de zomer, wat niet mogelijk was vanwege Covid (te lage kantoorbezetting). In 1.1.2 wordt gerapporteerd hoe abrupte wijziging in licht in de regel een duidelijk en vaak blijvend effect heeft op visuele perceptie (acceptatie, sensatie, alsook comfort). Effecten op thermische perceptie en thermoregulatie bleken echter zeer bescheiden of afwezig. Een uitzondering daarop is een korte sensatie van een meer warme omgeving wanneer van koel (blauw) intens licht wordt gewisseld naar warm (geel)

gedimd licht. Opvallend was dat de omgekeerde transitie in licht geen omgekeerd effect op sensatie induceerde. In 1.1.3 is de studie deels gerepliceerd, maar dit keer onder mild koele omstandigheden. In deze studie werden echter geen effecten van licht transities op thermisch comfort of thermoregulatie gevonden, ook niet na 45 minuten blootstelling. In 1.1.4 is vervolgens de herhaalbaarheid van licht transities bestudeerd. Gezamenlijk lieten de lab studies geregeld effecten van licht op subjectieve alertheid zien, met name ten gevolge van een hogere lichtintensiteit. De effecten op thermisch comfort, fysiologie en thermoregulatie (voor zover deze geschat kan worden uit huidtemperatuur en DPG) waren echter minimaal. Het kortdurende effect van warmer licht op thermisch comfort - in lijn met de hue-heat hypothese) zou wel relevant kunnen zijn voor het hoofddoel van het huidige project. Verder is relevant dat visueel en thermisch comfort steeds een correlatie laten zien, maar in de uitgevoerde studies kon de causaliteit van die relatie niet vastgesteld worden.

Vanuit de literatuurverkenning en lab studies naar lichteffecten zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd voor de gecombineerde scenario's voor dynamisch licht en klimaat die later in het project geïmplementeerd en getest zouden kunnen worden:

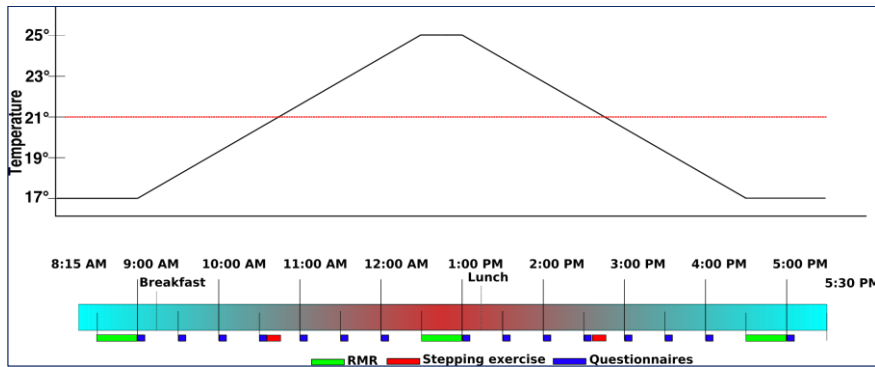
1. In mild koude condities kunnen transities van een hoge (koel blauwe) kleurtemperatuur naar een lage (warm gele) kleurtemperatuur wellicht tijdelijk een warmere sensatie geven. Omdat het effect slechts kortdurend is, zou gedacht kunnen worden aan een pulserende dynamiek, waarbij het licht snel van koel naar warm kleurt en vervolgens langzaam (nauwelijks merkbaar) van warm terug naar koel.



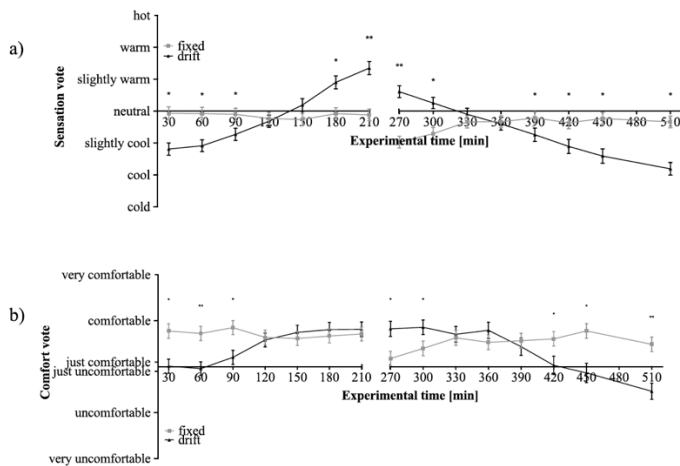
2. In neutrale condities wordt aangeraden in de eerste plaats in te zetten op visueel comfort. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de voorkeur van mensen wat betreft intensiteit grote interindividuele verschillen vertoont. Om die reden lijkt regelbaar licht de beste oplossing. Mogelijk (nog niet aangetoond) kan middels visueel comfort ook thermisch comfort zo positief beïnvloed worden.
3. In thermisch neutrale condities kan een hogere intensiteit een hogere alertheid induceren. Bovendien is bekend dat meer licht overdag in de regel een beter slaappatroon kan opleveren.

Temperatuur

Het dynamisch binnenklimaat is ook binnen het Dynka project onderzocht. Als uitgangspunt is gebruik gemaakt van een eerdere studie gedaan door Schellen et al. [Schellen et al. 2010], waarbij bleek dat een variatie van 17 tot 25 graden acceptabel bleek te zijn. In de cross-over klimaatkamer-studie van DYNKA werd bij 16 proefpersonen bij een vaste omgevingstemperatuur (21 °C) vergeleken met een dynamisch binnenklimaat (17-25 °C) (Figuur 1). Elke proefpersoon onderging telkens twee volledige kantoor dagen met één conditie per dag. De resultaten laten zien dat de energiestofwisseling van de proefpersonen 's morgens hoger was tijdens de driftsessie, wat gepaard ging met een toename van het activiteitsniveau. Het comfort niveau was afhankelijk van de tijd van de dag en de temperatuur (Figuur 2), maar bleef binnen acceptabele grenzen. Zowel drift- als vaste sessies werden over het geheel genomen als comfortabel beoordeeld. De resultaten geven aan dat een variabele omgevingstemperatuur in de praktijk kan worden toegepast en daarmee kan bijdragen aan een gezondere en duurzamere gebouwde omgeving. Deze studie is afgerond en gepubliceerd (Bijlage 1.1.5 Ivanova et al. Physiology&Behavior 2020).



Figuur 1 Protocol van de studie. Twee scenario's: in rood de vaste temperatuur en in zwart het dynamisch profiel.



Figuur 2 Gemiddelde temperatuur sensatie score (a), en de gemiddelde thermische comfort score (b) bij een vaste temperatuur en bij een dynamisch profiel.

| | |
|--------|---|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 1.1 | Bijlage 1.1.1 Kompier et al. (2020). A systematic literature review on the rationale for and effects of dynamic light scenarios. <i>Building and Environment</i> , 186. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107326 (Openbaar) |
| | Bijlage 1.1.2 Kompier et al. (2020). Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort. <i>Physiology & Behavior</i> , 223. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112999 |
| | Bijlage 1.1.3 Kompier et al. (2021). Abrupt light transitions in illuminance and correlated colour temperature result in different temporal dynamics and interindividual variability for sensation, comfort and alertness. <i>PLoS ONE</i> , 16(3), 1–24. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243259 |
| | Bijlage 1.1.4 Kompier et al. (2022). "Visual Comfort and Acute Alerting Effects of Diurnal Intermittent Bright Light." <i>LEUKOS</i> (2022): 1-20. |
| | Bijlage 1.1.5 Ivanova et al. <i>Physiology&Behavior</i> 2020 |

Taak 1.2 - Identificatie monitoringsparameters

Deze taak richtte zich op de identificatie van monitoringsparameters voor de gebruiker en het binnenklimaat. Op het gebied van de gebruiker (wearables en sensoren) en binnenklimaat.

Uit de literatuur en lab studies genoemd in 2.1.1 bleken een groot aantal monitoring parameters relevant om mee te nemen in validatiestudies. Deze vallen grofweg uiteen in controle parameters en uitkomstparameters;

bovendien onderscheiden we (subjectieve) zelfrapportage maten, prestatie maten en (objectieve) fysieke & fysiologische parameters

1. Demografische parameters en andere stabiele maten (1 maal te meten per participant)

- Geslacht
- Leeftijd
- Lichaamsgewicht
- Lengte
- Chronotype (bepaald aan de hand van de MCTQ)
- Medicatiegebruik (zelfrapportage, op basis van lijst met relevante typen medicatie (bv. bètablokkers, anticonceptie en licht gevoeligheid beïnvloedende medicatie)
- Algehele gezondheid (zelfrapportage d.m.v. General Health SF-36)

2. Variabele, en daarom herhaaldelijk te meten controle parameters

- Voedsel inname (zelfrapportage)
- Isolatie waarde kleding (zelfrapportage)
- Persoonlijke lichtblootstelling (in lx, gemeten met licht loggers)
- Fysieke activiteit (objectief gemeten met Actigraph)

3. Relevante uitkomstmaten (variabel)

- Thermische perceptie: acceptatie, sensatie en comfort (zelfrapportage)
- Visuele perceptie: acceptatie, sensatie en comfort (zelfrapportage)
- Alertheid (zelfrapportage, gemeten met de Karolinska Sleepiness Scale (KSS))
- Cognitieve taak prestatie (Hampshire Tree Taak)
- Huid temperatuur distaal/proximaal (gemeten met ibuttons op hand en onderarm)
- Slaaptiming, slaapduur, slaapkwaliteit (zelfrapportage d.m.v. Consensus Sleep Diary)
- Slaaptiming, slaapduur, slaapefficiëntie (objectief d.m.v. Axivity tracker)
- Subjectieve werk prestatie (zelfrapportage a.d.h.v. WHO Job performance Question)

De volgende 4 wearables opties zijn onderzocht om de parameters activiteit, hartslag, slaapduur en lichaamsenergiegebruik te monitoren.

- Garmin Vivo active HR
- Fitbit Charge 2/ Fitbit Alta HR
- Xiaomi Mi Band 2
- Jawbones Up3

De Fitbit Alta HR is een afgeslankte vorm van de FitCharge 2 en was in juni 2018 een recent geïntroduceerd product op de markt. Er van uit gaande dat bij type dezelfde hardware en algoritmen gebruiken voor de parameters die ze allebei meten volgt hier een korte samenvatting van de validatie die gevonden is over de Fitbit Charge 2 voor de parameters: activiteit, hartslag, calorieverbruik en slaap. In Tabel 1 worden de wearables Garmin Vivo active HR, Fitbit Charge 2, Xiaomi Mi Band 2 en Jawbones Up3 op basis van prijs en meetparameters weergegeven. Alle 4 wearables meten de 4 parameters continue, aan de toegang tot API zijn duidelijk verschillen tussen de 4 producten. De Xiaomi heeft geen API, de andere 3 hebben wel toegang tot API. De kosten bij de Garmin voor de toegang zijn hoog (Eur 5000/per jaar).

Tabel 1 Prijs, leveranciers en parameters van de type wearables Garmin Vivo active HR, Fitbit Charge 2, Xiaomi Mi Band 2 en Jawbones Up3.

| Type | Prijs (Eur) [*] | Leverancier [*] | Parameter | Schaal (eenheid) |
|------|-----------------|-----------------|-----------|------------------|
|------|-----------------|-----------------|-----------|------------------|

| | | | | |
|-----------------------|-----|--|------------------------|---------------------|
| Garmin Vivo active HR | 220 | www.coolblue.nl of www.futurumschop.nl | Activiteit | Aantal stappen |
| | | | Hartslag | Hartslag/per minuut |
| | | | Slaapduur | Uren |
| | | | Lichaamsenergiegebruik | Calorieën |
| Fitbit Charge 2 | 130 | www.belsimpel.nl | Activiteit | Aantal stappen |
| | | | Hartslag | Hartslag/per minuut |
| | | | Slaapduur | Uren |
| | | | Lichaamsenergiegebruik | Calorieën |
| Xiaomi Mi Band 2 | 37 | www.gsmpunt.nl | Activiteit | Aantal stappen |
| | | | Hartslag | Hartslag/per minuut |
| | | | Slaapduur | Uren |
| | | | Lichaamsenergiegebruik | Calorieën |
| Jawbones Up3 | 81 | www.bol.com | Activiteit | Aantal stappen |
| | | | Hartslag | Hartslag/per minuut |
| | | | Slaapduur | Uren |
| | | | Lichaamsenergiegebruik | Calorieën |

[*] Prijs en leverancier per 1 juni 2018.

Op basis van dit vergelijk is gekozen om de Fitbit Charge 2/ Fitbit Alta HR verder te onderzoeken op nauwkeurigheid ten aanzien van de activiteit, hartslag, slaapduur en lichaamsenergiegebruik. Activiteit / Calorieverbruik. De fout in de FitBIT ctiviteit is kleiner dan 10 %. (Bai, 2017) (Wahl, 2017) (Chow, 2017) (Chowdhury, 2017). De fout neemt sterk toe met de loopsnelheid: hoe langzamer de loop hoe onnauwkeuriger (Chow, 2017). De meting van stappen is wel veer nauwkeurige aan heup dan aan pols. De hartslag is met een maximale sample frequentie van 5 minuten te meten en kleinste betrouwbaar te meten verschil in hartslag is 5 slagen per minuut (Nazari, 2017.). De Fitbit Charge 2/ Fitbit Alta HR is voor het gekozen parameters een goede optie met een redelijke betrouwbaarheid en de beperkingen van de wearable zijn in kaart gebracht.

| | |
|--------|---|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 1.2 | Bijlage 1.2.1 Selectie monitoring parameters en bijbehorende sensoren/vragenlijsten (<i>Openbaar</i>) |
| | Bijlage 1.2.2 Overzicht monitoring parameters (<i>Openbaar</i>) |

Taak 1.3 - Ontwikkeling van vier basis installatieconcepten voor een dynamisch kantoor klimaat

In deze taak zijn drie basis installatieconcepten verder ontwikkeld om een dynamisch kantoor klimaat te realiseren. Dit hield o.a. in een omschrijving van de benodigde installatiecomponenten voor verlichting, verwarmen en koelen, de regelingen en de afstemming op elkaar. Tevens is aangegeven hoe bestaande, aanwezige klimatisering- en verlichtingsregelingen hierop kunnen worden aangepast of op worden uitgebreid.

Voor verlichting zijn inmiddels van diverse fabricaten lichtsystemen op de markt die in een groot spectrum aan lichtintensiteit, kleurtemperatuur en kleur instelbaar zijn. Met de DALI-regeling zijn ook dynamische programma's eenvoudig te realiseren. Een verlichtingssysteem reageert zeer (vrijwel direct) snel op gewijzigde instellingen. Er zijn voor verlichting voldoende producten op de markt.

Voor de dynamische binnentemperatuur licht dat naders. Naast de installaties zijn ook bouwfysische gebouw kenmerken relevant. In het onderstaande overzicht is een samenvatting gegeven van de regelkenmerken.

| Kenmerk | Gebouwniveau | Zoneniveau | Vertrekniveau |
|-------------------------|--------------|------------|---------------|
| Gebouwmassa: - Zwaar | Traag | Mogelijk | Traag |

| | | | |
|-----------------------|---------------|--------------------|------------|
| - Licht | Snel | Minder gemakkelijk | Snel |
| Warmte/koude-afgifte: | | | |
| - Watervoerend | Traag | Traag | Traag |
| - Luchtvoerend | Snel | Snel | Snel |
| - BKA | Snel | Snel | Snel |
| Indeelbaarheid | | | |
| - Gebouw | Toepasbaar | Toepasbaar | Toepasbaar |
| - Zone | Niet mogelijk | Toepasbaar | Toepasbaar |
| - Vertrek | Niet mogelijk | Niet mogelijk | Toepasbaar |

| | |
|--------|---|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 1.3 | Bijlage 1.3. Ontwikkeling installatieconcepten (Openbaar) |

Taak 1.4 - Ontwikkeling basis ICT platform voor aansturing van licht en klimatisering

Het basis ICT platform voor aansturing van licht en klimatisering is gedurende het project stapsgewijs opgebouwd.

Allereerst is gewerkt aan een controle systeem voor het Qeske-gebouw, waar het doel was om de aansturing van de bestaande klimaatvoorziening zodanig in te richten dat een voor het experiment ideale temperatuurcurve in het gebouw werd bereikt. De basis hiervoor is een component die de bediening van één of meerdere HVAC-modules (in dit geval airconditioners) automatiseert door vanuit algoritmes gevoede commando's aan de installatie door te geven via een API. De algoritmes op hun beurt kunnen worden gevoed door additionele temperatuursensoren in het gebouw. Dit was de eerste stap in de realisatie van de generieke DYNKA controller.

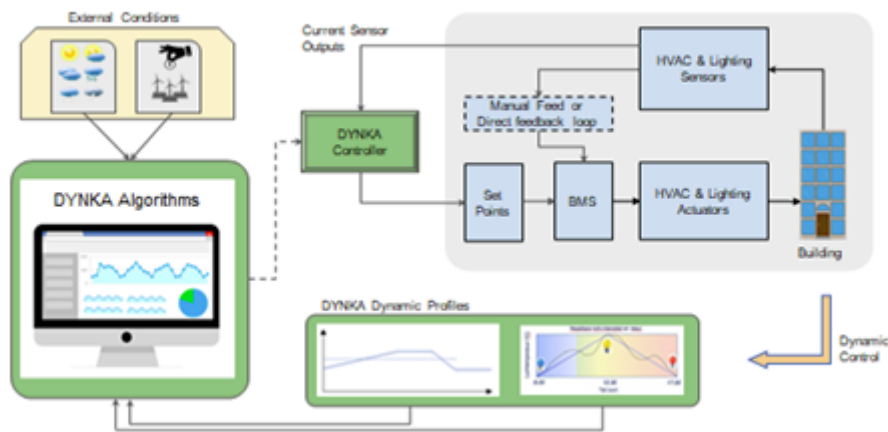
Dezelfde module is hergebruikt voor een experiment in het ATLAS-gebouw. Hier echter stond niet zozeer dynamische temperatuurregeling centraal, maar eerder dynamische lichtregeling. De bestaande generieke DYNKA controller is derhalve uitgebreid om een specifieke lichtcurve te realiseren met behulp van HUE verlichting. Het werkingsprincipe is volledig vergelijkbaar met de eerder beschreven werking rondom de temperatuurcurve.

Vervolgens is gewerkt aan een lokaal regelbaar verwarmings- en ventilatiesysteem voor de werkplek. Deze activiteit werd in samenhang met het project PERDYNKA gerealiseerd. Daarbij is gebruik gemaakt van een door Ahrend ontwikkeld bureau met opties voor de regeling van lokale verwarming en ventilatie, met daaraan toegevoegd een universeel en regelbaar voetenverwarmingssysteem. Almende heeft dit systeem uitgebreid met een monitoringsysteem, dat werkt op basis van het herkennen van gebruikersinstellingen van apparatuur door middel van het monitoren van het stroomverbruik van die apparatuur door middel van de door een dochterbedrijf van Almende ontwikkeld systeem genaamd Crownstone. Zo werd de generieke DYNKA controller uitgebreid met een softwaremodule die het mogelijk maakt om de Crownstone-technologie in te zetten voor het herkennen van de gebruikersinstellingen van apparaten voor verlichting of temperatuurregeling.

De laatste stap betrof een uitbreiding aan de DYNKA controller die gerealiseerd is ten behoeve van een experiment aan de Universiteit van Maastricht, opnieuw ook in samenhang met het project PERDYNKA. De kern hier was de realisatie van een eenvoudige controller voor eindgebruikers die hen in staat stelt om separaat verlichtingssterkte en kleurtemperatuur in te stellen. Een dergelijke controller kan beschouwd worden als een algemene "voorkeurssensor" die aan de DYNKA controller is toegevoegd. Zo kunnen algoritmes niet alleen gebruik maken van hardware temperatuur- en lichtsensoren en vastgelegde temperatuur- en lichtprofielen, maar ook van informatie over de veranderlijke wensen van eindgebruikers.

Alle bovenstaande componenten tezamen (dynamische aansturing temperatuur, dynamische aansturing licht, monitoring van gebruikersinstellingen van bestaande hardware en monitoren van voorkeuren van eindgebruikers) kunnen worden gebruikt om het DYNKA totaalconcept te realiseren, zoals aangegeven in onderstaande figuur. De DYNKA controller in dit diagram stuurt op basis van de dynamische configuratie van setpoints zowel de HVAC als de lichtmodules in het gebouw verfijnd aan, daarbij gebruik makend van algoritmes die externe temperatuur- en lichtcondities, dynamische temperatuur- en lichtprofielen alsmede HVAC- en verlichtingssensoren als input kunnen gebruiken.

Dynka Principles in New and Existing Buildings



Figuur 3 DYNKA totaalconcept en basis ICT platform

Demonstratieproject Kropman

Bij de tests in het pand van Kropman in Breda (Zuilenstraat 96, gebouwd 1993, 1.500m²) is gebruik gemaakt van het GBS InsiteSuite. Dit pand is in gebruik als normaal kantoor en wordt daarnaast gebruikt als Living Lab.



Figuur 4 Kropman Breda

De klimaatregeling van het gebouw wordt bestuurd via een Priva controller met dedicated software. Alle data wordt verzameld in het InsiteSuite GBS, dus naast alle sensoren en actuatoren van het klimaat, worden de gegevens van het PV-systeem, het accu-systeem, de verlichting en andere externe databronnen gekoppeld en ingelezen en gevisualiseerd. Sturing van alle aangesloten componenten is ook mogelijk.

Naast alle datapunten worden alle energiestromen individueel gemeten en opgeslagen voor analyse.

Het gebouw is grotendeel voorzien van LED verlichting. Ruimte 1.05 is voorzien van 30 stuks Philips Tuneable verlichtingsarmaturen PowerBalance RC464B. De verlichtingssterkte en kleurtemperatuur worden individueel middels DALI aangestuurd via een LON-DALI-gateway (Loytec). Per werkplek zijn sensoren geplaatst voor de metingen.



Figuur 5 Kropman Breda R1.05 verlichting via InsiteSuite

Het GBS InsiteSuite is uitgebreid met een softwaremodule (InsiteEngine) om naast de reguliere besturing van het gebouw, het mogelijk te maken deze besturing uit te breiden met geavanceerde algoritmes. Dit is noodzakelijk om een overkoepelende regeling te creëren voor alle aangesloten systemen in combinatie met externe databronnen en voorspellende modellen.

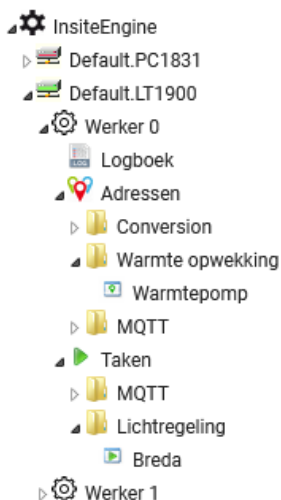
InsiteEngine

Om aan de duurzaamheidsdoelstellingen te voldoen zal een gebouw efficiënter met energie om moeten gaan. Dit kan enerzijds door energie te bufferen en anderzijds door comfort op maat aan te bieden wanneer dit nodig is: wie is waar op welk moment. Een van de mogelijkheden om dit te realiseren is door gebruik te gemaakt van dynamische anticiperende regelingen. Deze regelingen maken gebruik van:

- Voorspellingen (modellen) op basis van historische data
- Realtime data uit systemen die buiten het domein van de regeltechniek liggen (bijv. IOT)

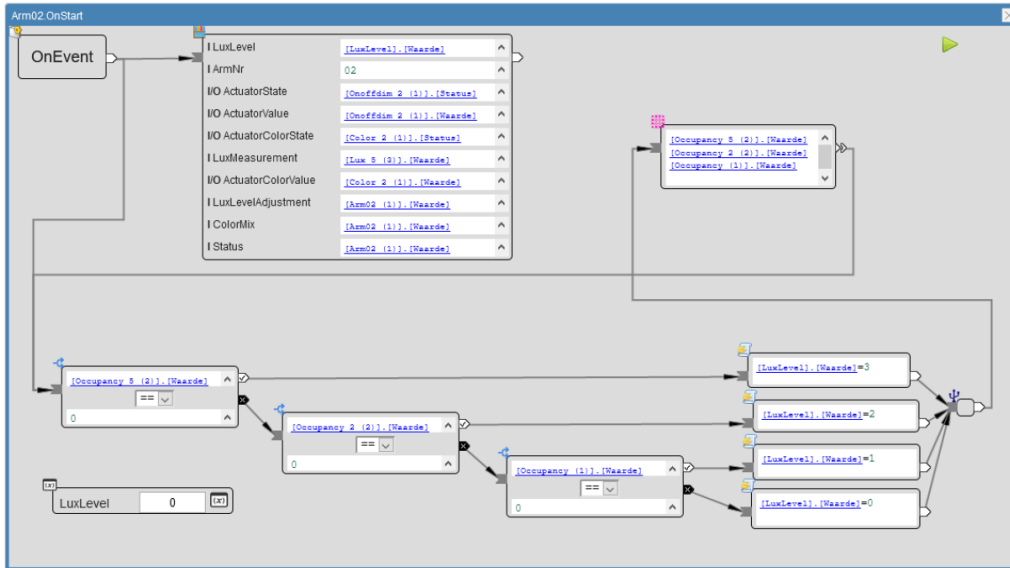
De conventionele regeltechniek is niet ingericht voor de verwerking van deze hoeveelheid en soort datastromen. Om dit toch te kunnen realiseren is een bovenliggend systeem als InsiteView nodig welke kan dienen als gebouwregisseur.

Nu is hiervoor **InsiteEngine** geïntroduceerd. Hiermee kunnen een of meerdere virtuele controllers worden aangemaakt welke draaien als applicatie op een server binnen een netwerk. Een virtuele controller biedt de mogelijkheid tot het aanmaken en hosten van softwareprogramma's.



Een van deze controllers worden gebruikt om de verlichting te regelen voor deze toepassing.

Deze InsiteEngine-module is gebruikt om de verlichting precies aan te sturen gedurende de experimenten.

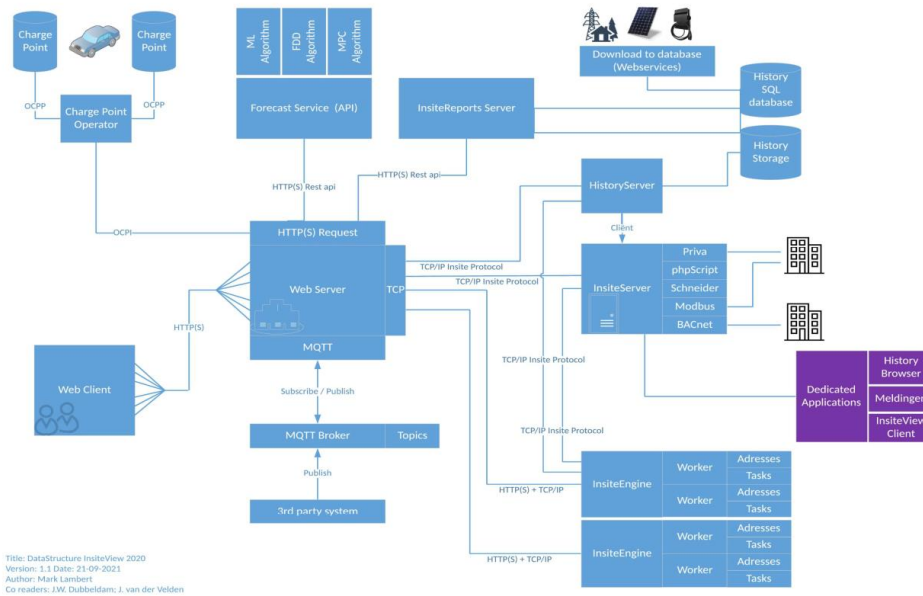


Figuur 6 Verlichtingsaansturing Kropman Breda R1.05 via InsiteEngine

Het gehele software framework van InsiteSuite is sinds de start van ontwikkeling erg gegroeid. De modulaire opbouw garandeert de flexibele toepassing binnen de grote diversiteit aan projecten voor klanten en onderzoek.

Binnen dit project is gewerkt aan de ontwikkeling, realisatie van de InsiteEngine module. Ook is de toepassing in de een praktische omgeving (Kropman Breda Living Lab) getest.

Verschillende onderzoekers hebben binnen dit project gebruik gemaakt van de data vanuit InsiteSuite.



Figuur 7 Overzicht framework/datastructuur InsiteSuite

Taak 1.5 - Ontwikkeling van een set lichtarmaturen voor een dynamisch kantoor concept

De essentie van lichtarmaturen welke het Dynka concept kunnen ondersteunen komt neer op de manier van aansturen en de geboden licht mogelijkheden.

De manier van aansturen is al genoemd in taak 1.4, waarbij er een centrale intelligentie is welke zowel de HVAC-installatie als de licht installatie kan aansturen. Signify is al geruime tijd bezig met de levering van volledig bestuurbare lichtsystemen, voor kantoren is er het Interact Office systeem welke een interface biedt voor derden om het licht te besturen. Hiermee is het mogelijk om per armatuur de verlichting behoefte af te stellen op de situatie. In het Atlas gebouw is dit systeem aanwezig en voor de Dynka test setup is er een nauwe samenwerking geweest tussen Almende, LivingLab team van de TUE en Signify Research om de interfaces in detail te implementeren en te gebruiken om de algoritmes te testen.

Wat betreft de lichtmogelijkheden is er in eerste instantie gebruik gemaakt van de aanwezige verlichting in het plafond. Om een hoog lichtniveau in het oog te krijgen is daarnaast gekozen voor een experimentele oplossing om licht vanuit een paneel achter de monitoren in de ogen van de participant te krijgen. Mogelijk leidt dit in de toekomst tot verticale verlichtingsconcepten. De perceptie van de proefpersonen was positief.

Design - Evaluatie plaatsing Bureau Aurelle armaturen in combinatie met atlas verlichting

Er is een pilot uitgevoerd om de ervaringen met de Hue Aurelle te evalueren omdat het een zeer vernieuwend ontwerp is waarbij de deelnemers licht blootstelling recht van voren krijgen. Met name de optimale hoogte van de lichtbron werd hierin onderzocht. Op basis van deze pilot hebben we ervoor gekozen de lage configuratie te gebruiken, waarbij de lichtbron achter de monitor wordt geïnstalleerd en niet erboven. De verlichting in het Atlasgebouw gedurende de veldstudie is door middel van deze armaturen en de standaard plafond armaturen gemanipuleerd.



Figuur 8 Lage versus hoge plaatsing Aurelle luminaires



Figuur 9 Diverse settings (intensiteit en kleurtemperatuur) van Aurelle luminaires

Werkpakket 2: Implementatie van het dynamisch klimatisering concept in Living Labs

In WP2 zijn de in WP1 ontwikkelde scenario's gevalideerd, getoetst en geïmplementeerd in real life living lab omgevingen. Het resultaat leverde de bouwfysische en installatietechnische eisen om te komen tot een optimaal, gezond, productief en acceptabel binnenklimaat. Tevens is het energiebesparingspotentieel in de praktijk aangetoond.

Resultaten WP2:

- D2.1 Validatie en analyse in twee living lab omgevingen
- D2.2 Een toolbox voor het ontwerpen van een dynamisch licht en temperatuur office system
- D2.3 Validatie en analyse van een dynamisch kantoorklimaat in het Atlasgebouw TUe
- D2.4 Data analyse van gebruikers feedback uit de twee living labs en het Atlasgebouw en aanbevelingen

Taak 2.1 - Validatie van scenario's in twee living lab omgevingen en ontwikkeling toolbox

De in taak 1.1 ontwikkelde scenario's zijn gevalideerd in de praktijk op twee locaties. Twee scenario's zijn geselecteerd voor de uitgebreide monitoring.

Locatie 1- Kantoor Kropman Breda

Locatie 2 - Gebouw Ondernemers community Qeske, Kerkrade

Op basis van deze monitoringsstudies is een toolbox ontwikkeld om uiteindelijk te komen tot een dynamisch office system dat algemeen inzetbaar is. Op Locatie 1 (Kropman) is de temperatuur constant gehouden en zijn effecten van dynamische lichtscenario's in de praktijk getoetst. Op locatie 2 (Qeske) gebeurde het omgekeerde: Bij constante lichtcondities werden de effecten van dynamische klimaatscenario's getest.

Effecten van dynamisch licht in de praktijk: Kropman veldstudie

In het kantoor van Kropman Breda is een veldstudie uitgevoerd in nauwe samenwerking met het Optilight project (STW, HTSM2015). Hier zijn drie verschillende licht scenario's met elkaar vergeleken. In het eerste scenario werden tien deelnemers blootgesteld aan feller licht in de ochtend (van 8:30 tot 12:30), in het andere dynamische scenario werden deelnemers juist blootgesteld aan fellere verlichting in de middag (van 13:00 tot 17:00). Tevens werd er in één week een constant scenario met relatief weinig elektrische verlichting aangeboden.

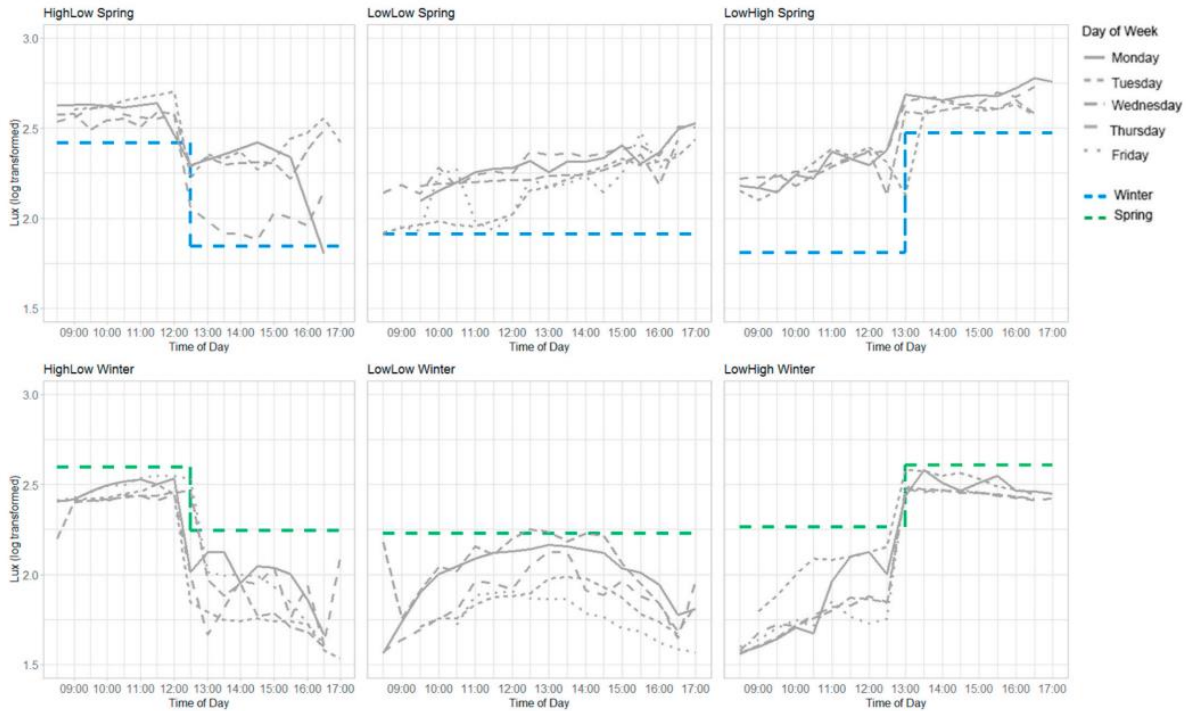
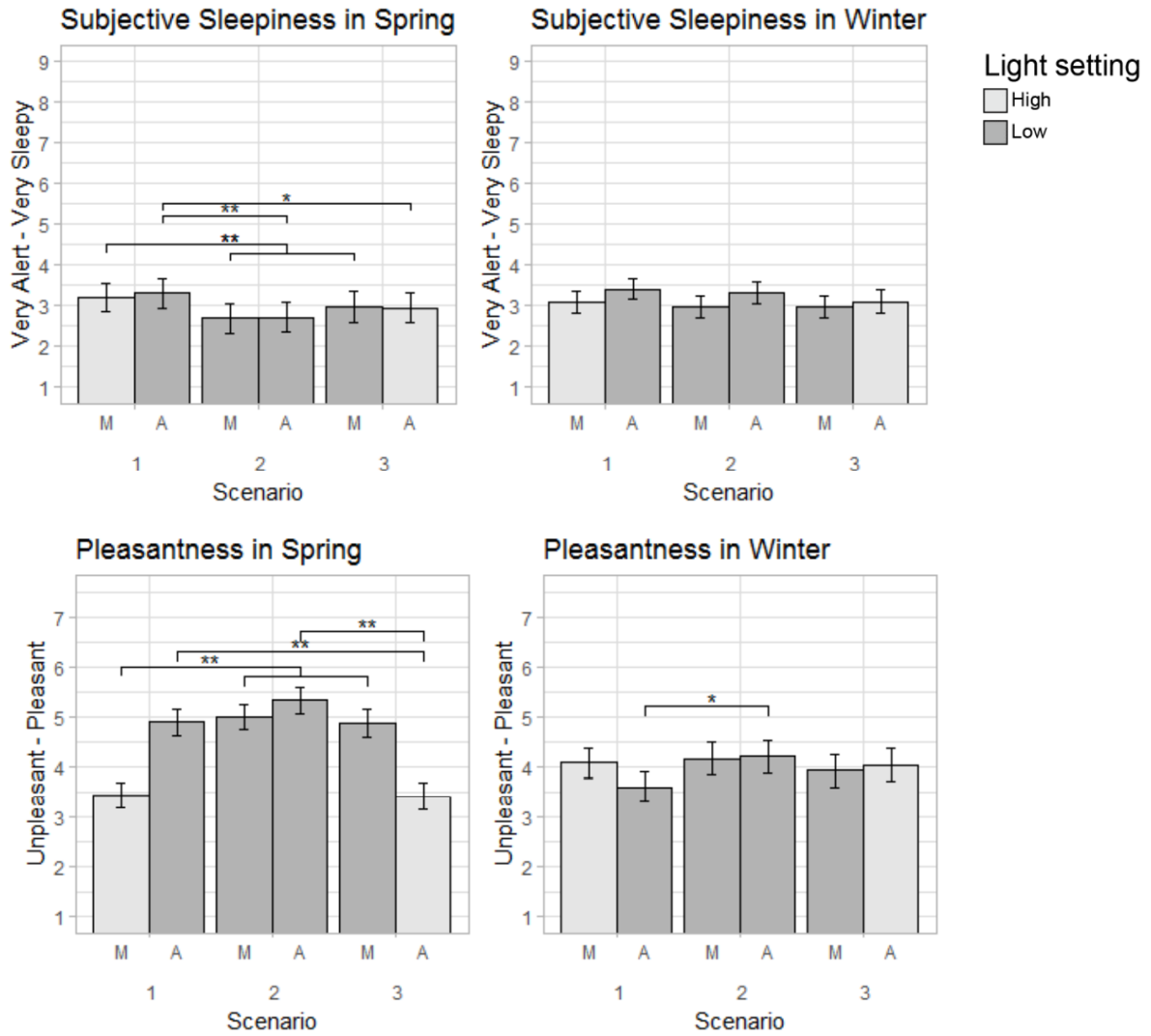


Fig. 2. Measurements performed by the spectrometer every 30 min from 08:30 until 17:00. The top is the spring data, the bottom is the winter data. Dashed colored lines represent the averages of the light settings for the full morning and afternoon of the other season.

Participanten werden aan ieder scenario twee weken blootgesteld (één week in de winter, één week in de lente). De participanten droegen verschillende sensoren waarmee hun slaapritme en licht blootstelling gemeten werd. Daarnaast kregen ze door de dag heen korte vragenlijsten op hun telefoon waarin ze hun momentane licht perceptie (acceptatie, sensatie, comfort) en ervaringen (slaperigheid, vitaliteit, stemming, vermoeidheid) beschreven. De belangrijkste resultaten betroffen de afwezigheid van acute positieve effecten op de ervaringen van de proefpersonen. Daarentegen waren er negatieve acute en vertraagde effecten van het verhogen van de licht blootstelling op slaperigheid en vitaliteit. De fellere verlichting werd in de lente ook negatiever ervaren. In de winter zorgde het fellere licht ervoor dat deelnemers later gingen slapen. Over het algemeen waren de effecten op de ervaringen en slaap beperkt, maar werden de lichtcondities wel negatief ervaren. Daarom is het belangrijk de ervaring van de lichtconditie altijd mee te nemen, ook wanneer het doel van de verandering is om de effecten van licht die niet gerelateerd zijn aan de visuele ervaring te beïnvloeden. Voor meer details zie Bijlage 2.1.1. Een mogelijke oplossing uit de praktijk om visueel comfort te behouden is om transitiezones van light setting 1 tot light setting 2 in dezelfde ruimte over een tijdsspanne van 30-60 min te programmeren. Ook wordt aangeraden om in de transitiezones van een kantoorgebouw rekening te houden met de light setting van de aanliggende ruimtes zodat de adaptatie van het oog aan nieuwe licht niveaus geleidelijk kan verlopen.



Figuur 10 Analyses om de persoonlijke licht blootstelling te vergelijken

Verder zijn er additionele analyses uitgevoerd om de persoonlijke licht blootstelling te vergelijken met de ingestelde elektrische scenario's. Op basis hiervan kunnen we concluderen dat er grote verschillen waren tussen en binnen proefpersonen, terwijl zij in dezelfde kantoornruimte werkten. De daglicht bijdrage, de positie en oriëntatie van de werkplek, de bewegingen in de ruimte en andere gedragingen van de proefpersoon hebben dermate grote invloed op de persoonlijke licht blootstelling dat een uitgesproken manipulatie van de elektrische verlichting niet per se leidt tot voorspelbare veranderingen in de persoonlijke licht blootstelling. Voor meer details zie Bijlage 2.1.2.

a. Spring



Figuur 11 Lente

b. Winter

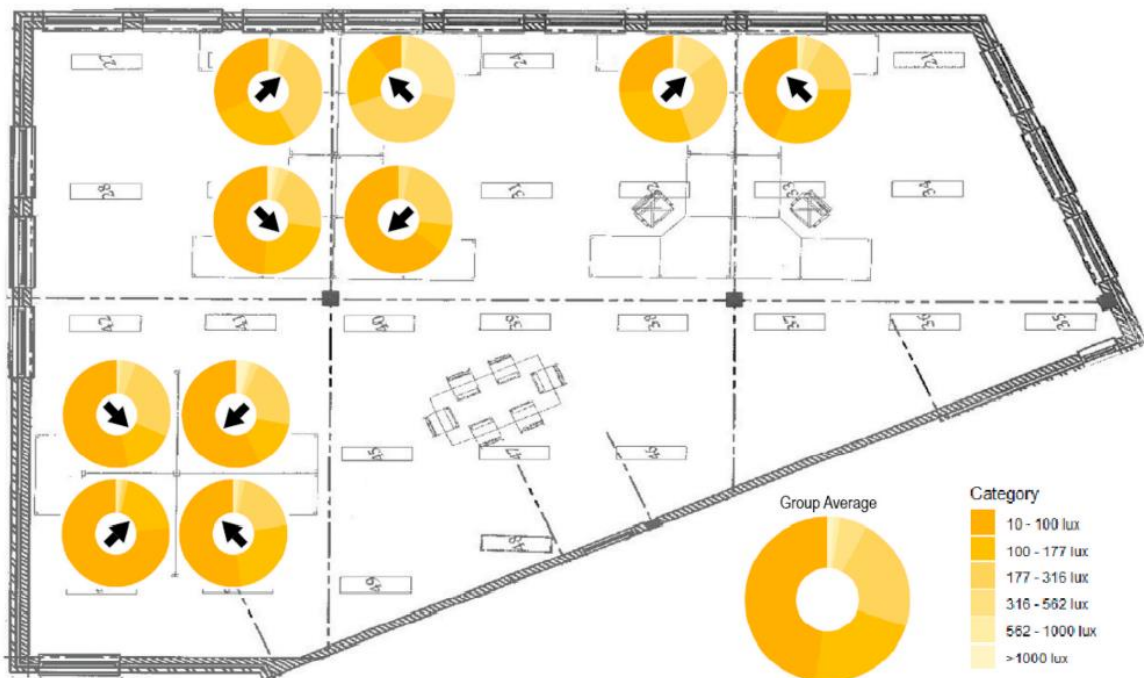


fig. 4. Average three-week light exposure as ratio to different illuminance bins per person present at his/her desk location. Arrows represent general viewing irection. Presence filter was applied.

Figuur 12 Winter

Naar aanleiding van de uitkomsten van bovenstaande veldstudies naar lichteffecten in zomer en winter zijn de eerder opgestelde licht scenario's nader bijgesteld. Deze nieuwe scenario's vormen de onderlegger voor de licht scenario's in de Atlas veldstudie. Bijlage 2.1.3.

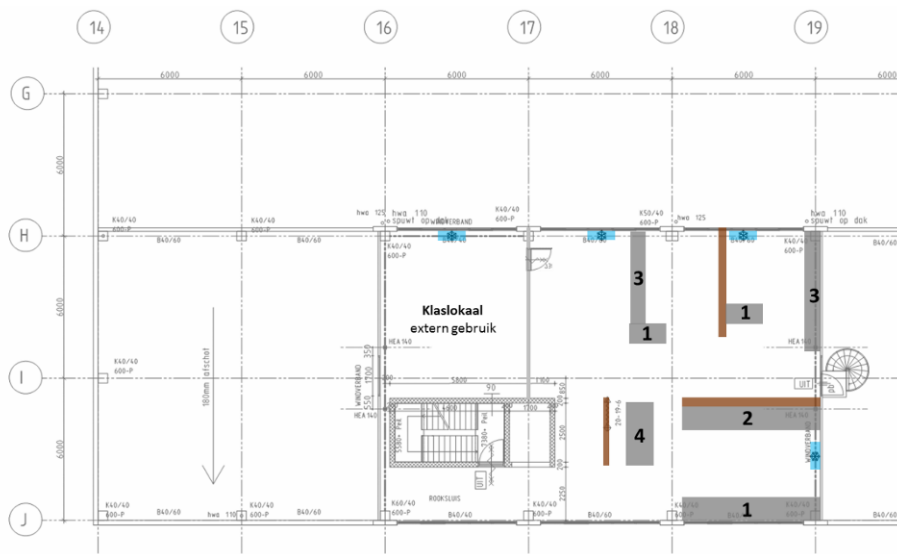
Effecten van dynamische temperatuur in de praktijk: Qeske veldstudie

Het onderzoek is uitgevoerd in de kantoorachtige omgeving van Qeske (Figuur 15) in samenwerking met het H2020-project MOBISTYLE. Tijdens deze pilot is alleen het dynamische temperatuur scenario getest. Met tuneble-white armaturen van Signify is er voor gezorgd dat er standaard kantoorverlichting aanwezig was (500lux, 3000K). de lichtcondities zijn in deze pilot gemeten om vast te stellen dat deze geen invloed hebben gehad op de temperatuur resultaten. Vanuit het MOBISYLE project is er na afloop van de experimenten aandacht besteed aan het informeren van de proefpersonen over de gezondheidsvoordelen en energiebesparing mogelijkheden van een dynamisch binnenklimaat door middel van o.a. focusgroepen en awareness campagnes.

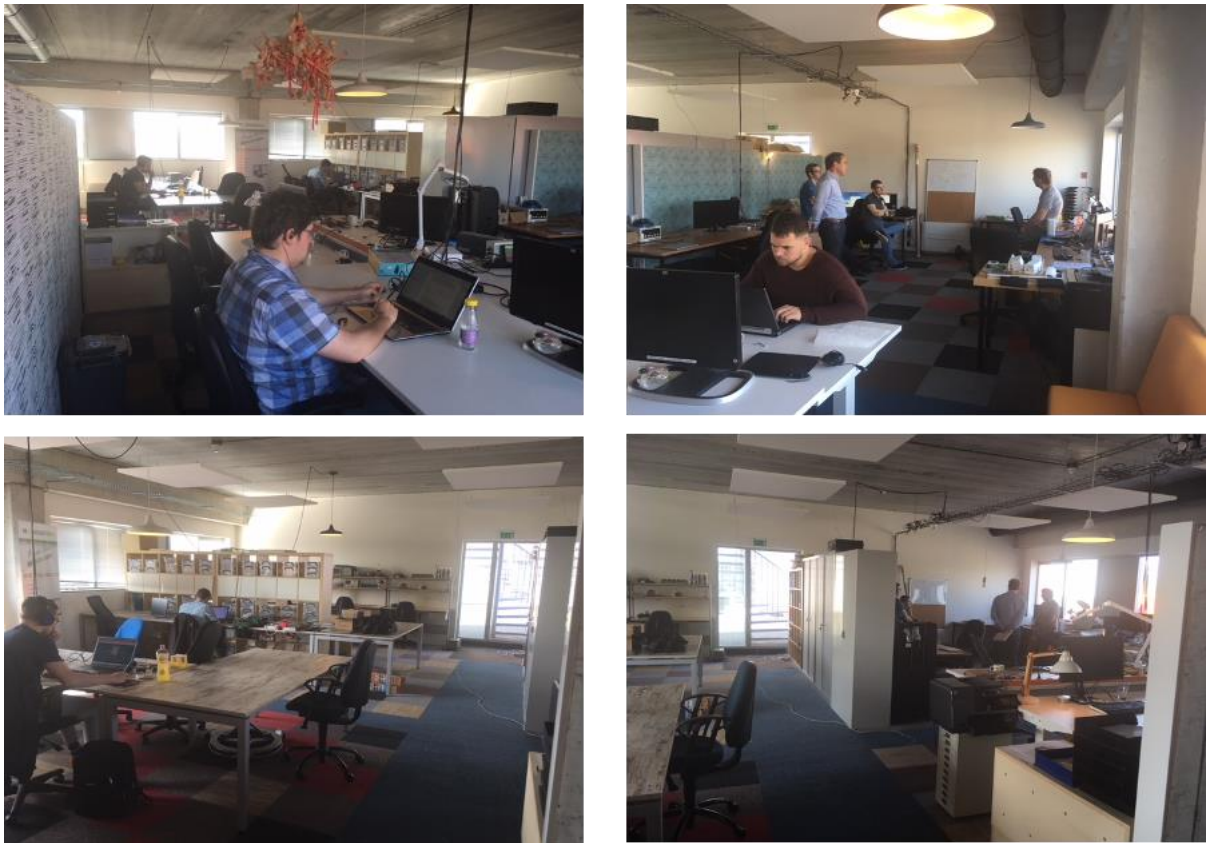
Qeske is een initiatief waarbij onderwijs, hogescholen, universiteiten en bedrijven een platform vormen. Het doel van Qeske is om jongeren te stimuleren samen te werken aan innovatieve concepten en hen bewust te maken van het feit dat zij zelf ook innovator kunnen zijn op ondernemend of wetenschappelijk gebied. De gebruikers van Qeske zijn studenten, jonge ondernemers en ervaren professionals. De deelnemers waren meestal jonge ambitieuze werknemers.



Figuur 13 Kantoor Qeske



Figuur 14 Plattegrond Qeske



Figuur 15 Het gebouw van Qeske (boven) en de plattegrond van het kantoor (midden), en een impressie van het kantoor van Qeske met werknemers (onder).

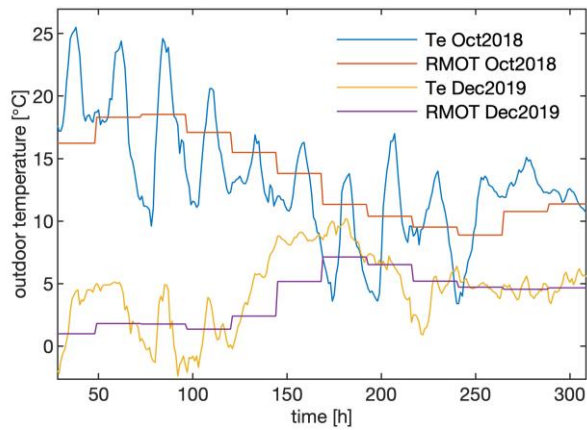
Methode

Protocol en binnenklimaat

Het onderzoek is in twee delen uitgevoerd. De eerste studie werd uitgevoerd van 15 oktober tot 26 oktober 2018, de tweede van 2 december tot 13 december 2019. In beide jaren werd in de eerste testweek een vast temperatuurprotocol getest en in de tweede testweek een dynamisch temperatuurprofiel, waarbij de laboratoriumsituatie in grote mate werd nagebootst om de thermische waardering van een dynamisch binnenklimaat te bestuderen en ook enkele fysiologische parameters te bestuderen. De buitentemperaturen (zie Figuur 16) verschilden van jaar tot jaar. Voor een betere aansluiting op de het buitenklimaat werden iets andere binnentemperaturen gekozen (zie resultaten hieronder) om rekening te houden met seizoensgebonden verschillen in de buitenklimaatomstandigheden. De vragenlijsten werden elk uur ingevuld van 9.00 uur tot 17.00 uur. De huidtemperatuur werd elke 5 minuten gemeten met iButtons en de hartslag en het activiteitsniveau werden elke minuut gemeten met Fitbits.

Voor elk uur van 9 tot 17 uur werden de metingen verdeeld over een tijdspanne van 15 minuten voor en 15 minuten na het uur. Om bijvoorbeeld de gemiddelde hartslag om 9 uur te berekenen, werden alle datapunten verzameld tussen 8:45 uur en 9:15 uur.

Het binnenklimaat werd geregeld door drie aangepaste Daikin-units (Figuur 17). Met deze units konden zowel vaste als dynamische temperatuurcondities worden gerealiseerd. Op elke unit werd een wifi-regelaar geïnstalleerd waarmee een temperatuurprofiel kon worden ingesteld. De draadloze sensoren in de hele ruimte werden gebruikt als 'thermostaat' om de binnentemperaturen binnen een aanvaardbaar bereik van de gewenste instelpunten te houden. Handmatige afstandsbedieningen werden overruled door het geautomatiseerde systeem.



Figuur 16 De buitentemperatuur nabij de RLL-locatie van Qeske en de Running Mean Outdoor Temperature (RMOT) tijdens de tests in oktober 2018 en december 2019.

Daikin unit



Daikin FVXG35K2V1B (2016)



WiFi Connector



RF afstandsbediening

Figuur 17 De daikin-unit met temperatuurregeling, die zowel vaste als dynamische omstandigheden biedt.

Participanten

In 2018 namen 6 proefpersonen deel en in 2019 7 proefpersonen (tabel 1 en 2).

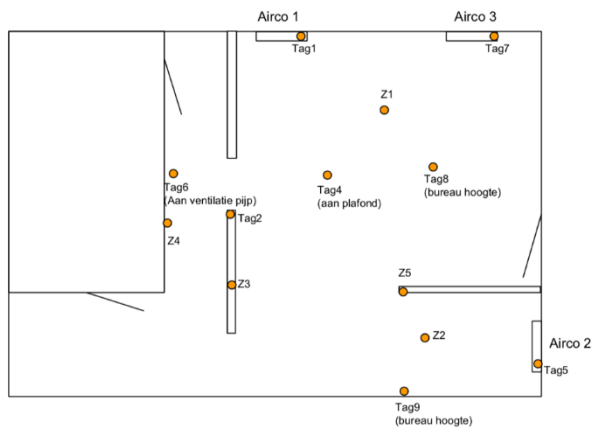
Table 1. Participant kenmerken Qeske 2018

| ID | Age [y] | L [m] | M [kg] | Gender |
|----|---------|-------|--------|--------|
| 1 | 31 | 1.7 | 65 | F |
| 2 | 22 | 1.87 | 73 | M |
| 3 | 23 | 1.8 | 90 | M |
| 4 | 22 | 1.94 | 78 | M |
| 5 | 22 | 1.79 | 66 | M |
| 6 | 23 | 1.83 | 81 | M |

Table 2. Participant kenmerken Qeske 2019

| ID | Age [y] | L [m] | M [kg] | Gender |
|----|---------|-------|--------|--------|
| 1 | 22 | 1.83 | 76 | M |
| 2 | 23 | 1.79 | 67 | M |
| 3 | 22 | 1.68 | 62 | F |
| 4 | 25 | 1.74 | 72 | M |
| 5 | 24 | 1.81 | 89 | M |
| 6 | 26 | 1.82 | 79 | M |
| 7 | 23 | 1.87 | 74 | M |

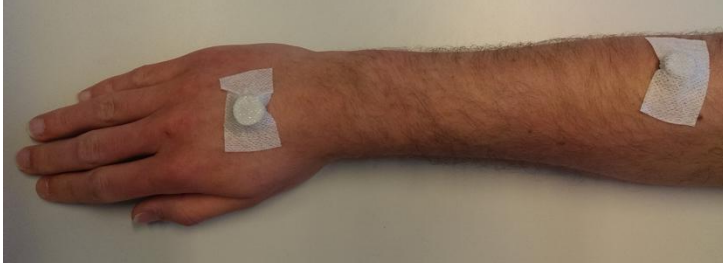
De metingen van de binnen condities bestonden uit luchttemperatuur en relatieve vochtigheid door draadloze sensoren (draadloze sensortags), luchtsnelheid en CO₂-niveaus (Figuur 18). Daarnaast werden ook externe variabelen die het binnenklimaat kunnen beïnvloeden gemeten met draadloze sensortags, zoals vloer- en plafondtemperaturen (betonstructuur), ventilatieluchttemperaturen en luchtstroomtemperaturen afkomstig van de fancoil-units.



Figuur 18 Meetposities in het open kantoor voor de binnentemperatuur. De draadloze tags (Tag1 - Tag7) werden gebruikt om de Daikin-units aan te sturen volgens de temperatuurscenario's. De sensoren met labels Z1 - Z5 werden gebruikt om de binnentemperatuur te eval

De metingen van de deelnemers waren als volgt:

- Huidtemperatuur bij hand en onderarm door draadloze sensoren (iButtons, Maxim, VS)



- Hartslag door ambulante monitor (Fitbit)
- Fysieke activiteit door accelerometrie (Fitbit)
- Vragenlijsten voor evaluatie van de perceptie van de thermische omgeving
 - o Warmtesensatie
 - o Thermisch comfort
 - o Thermische acceptatie
 - o alertheid (Karolinska slaapschaal)

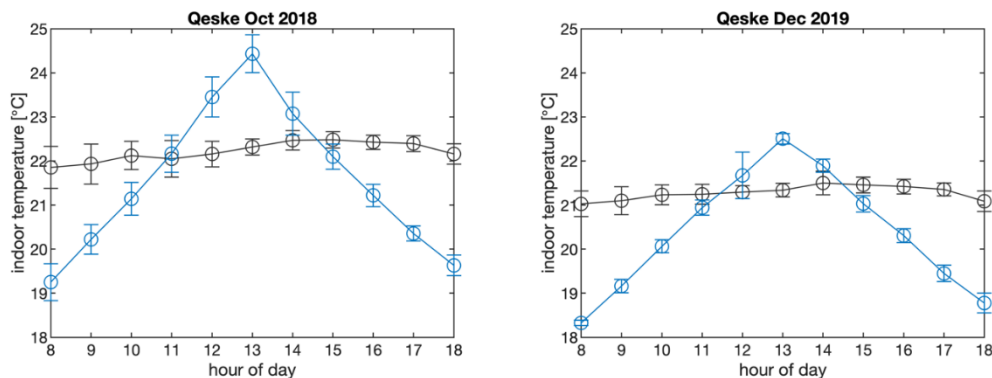
Statistische analyse

De gegevens van beide jaren werden gecombineerd. Repeated Measures ANOVA (RANOVA) werd gebruikt om de verschillen tussen de statische en dynamische binnenklimaatscenario's voor alle werkuren te beoordelen. Als de RANOVA-test statistisch significante verschillen aan het licht bracht, werd voor specifieke tijdstippen een post-hocanalyse uitgevoerd met een gepaarde t-test. P-waarden lager dan 0,05 zijn aangegeven met * en P-waarden lager dan 0,01 zijn aangegeven met **.

Resultaten

Binnenmilieuomstandigheden:

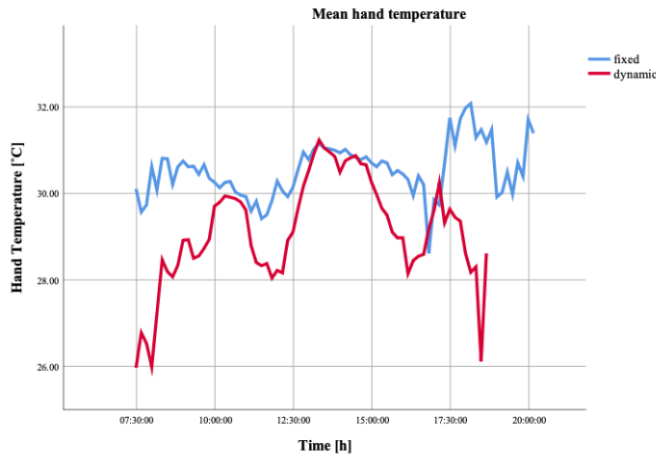
Zoals te zien is in Figuur 19 verschilden de gemiddelde dynamische temperatuurcondities in beide jaren significant van de vaste condities. In 2018 varieerden de temperaturen van 19,2-24,2 °C, terwijl de gemiddelde vaste temperatuur 22,3 °C bedroeg. In 2019 bedroeg het dynamische bereik 18,2-22,5 °C, terwijl de vaste temperatuur gemiddeld 21,3 °C bedroeg.



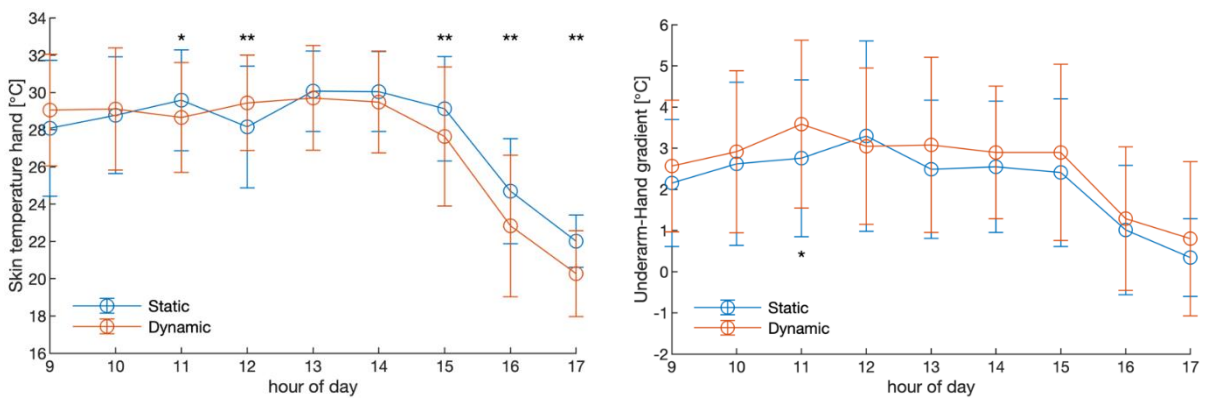
Figuur 19 De gemiddelde binnentemperaturen tijdens drift (zwarte lijn) en dynamische (blauwe lijn) omstandigheden voor oktober 2018 en december 2019.

Lichaamstemperaturen

Bij sommige individuen lijkt de huidtemperatuur het dynamische profiel te volgen en is deze stabiel tijdens het vaste protocol (figuur xx). Wanneer echter alle gegevens samen worden genomen, is er geen verschil in de ontwikkeling van de huidtemperatuur tussen dynamische en vaste omstandigheden, hoewel op sommige tijdstippen een significantieniveau wordt bereikt (Figuur 20). Tijdens de dynamische omstandigheden in de namiddag is de temperatuur lager. De temperatuurgradiënt tussen onderarm en vingertop is niet significant verschillend tussen dynamische en driftscenario's (Figuur 21).



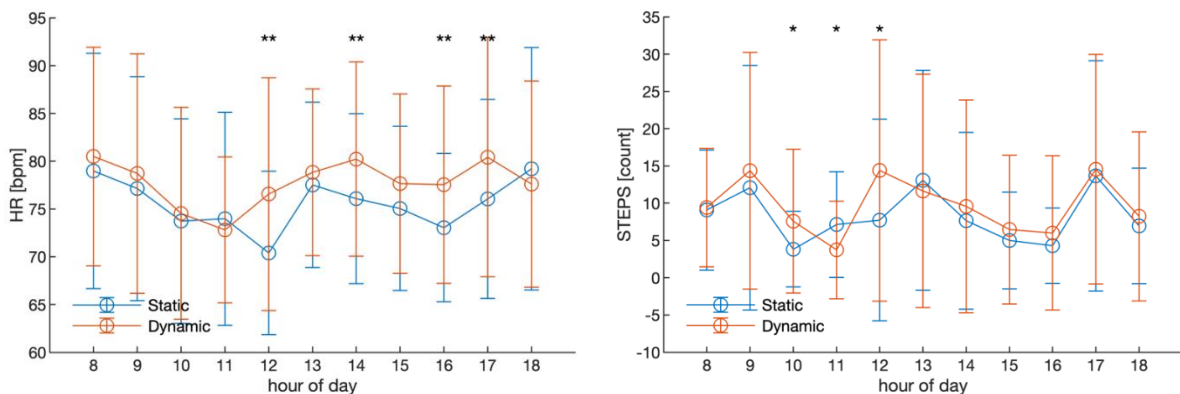
Figuur 20 Voorbeeld van de handhuidtemperatuur van één proefpersoon tijdens vaste en dynamische prollen in 2018.



Figuur 21 Temperatuur van de handhuid (links) en temperatuurgadiënt onderarm-vingertop (rechts). Gemiddelde ±SD.

Hartslag en activiteitsniveau

De gemiddelde hartslagtrends zijn vergelijkbaar tussen de dynamische en de driftscenario's, hoewel de hartslag 's middags op bepaalde tijdstippen iets, maar significant hoger is tijdens het dynamische profiel (Figuur 22). Ook de fysieke activiteit van de proefpersonen is vergelijkbaar tussen beide condities, hoewel er 's morgens enkele significante verschillen zijn, maar die zijn niet consistent.

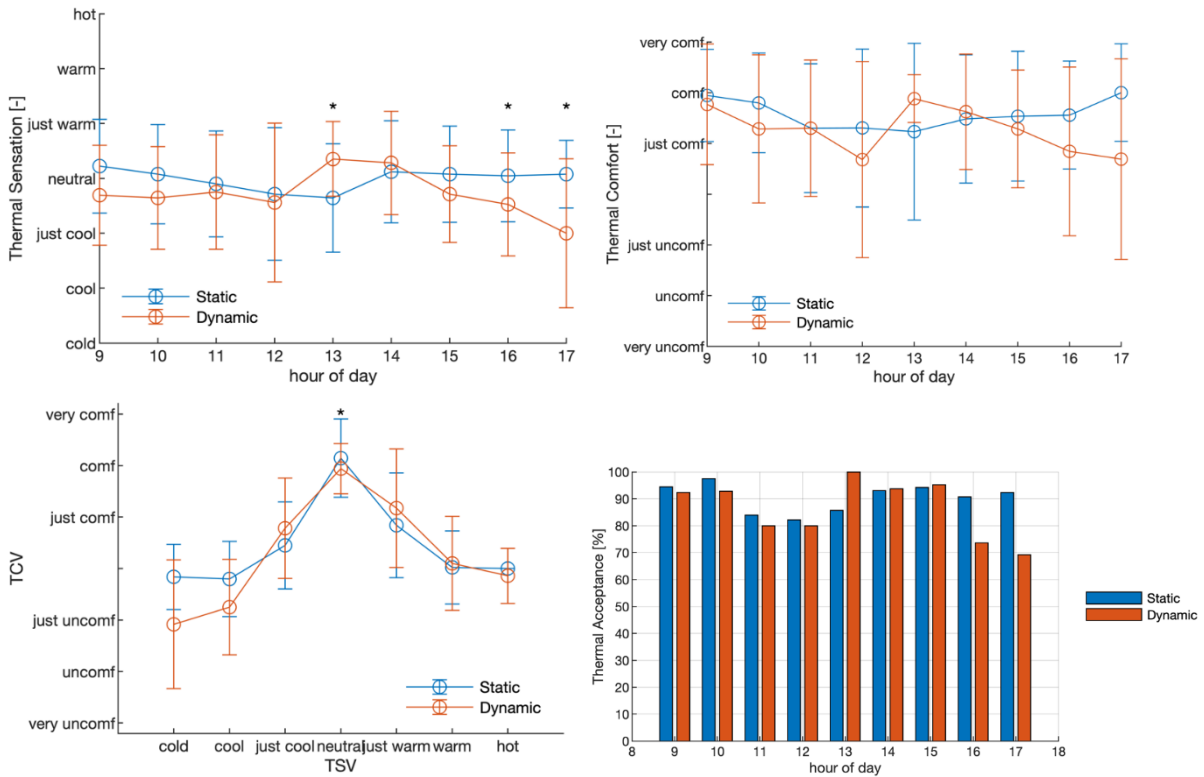


Figuur 22 Hartslag (links) en activiteitsniveau (in aantal stappen) (rechts).

Thermische gewaarwording

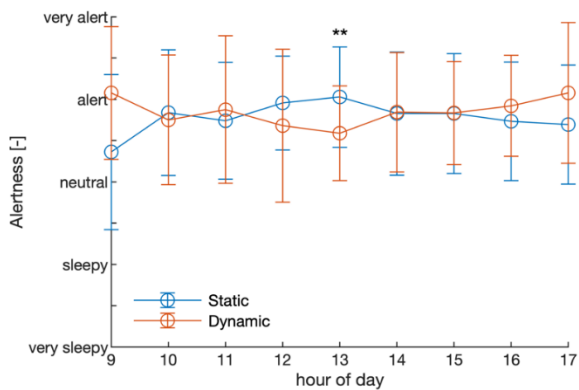
De thermische gewaarwording in de ochtend verschilt niet significant tussen de omstandigheden, is significant hoger tijdens de middag in het dynamische scenario en significant lager tegen het einde van de dag in de

dynamische conditie in vergelijking met het vaste scenario (Figuur 23 links). Gemiddeld voelden de proefpersonen zich tijdens beide scenario's comfortabel, hoewel één persoon zich tijdens het dynamische scenario ongemakkelijk voelde. Er was geen significant verschil in de relatie tussen comfort en gevoel. De thermische acceptatie was hoog met een iets kleiner bereik tijdens het vaste scenario (82-98%) in vergelijking met de dynamische conditie (70-100%) (Figuur 23).



Figuur 23 Thermische gewaarwording en thermisch comfort in de loop van de dag, en de relatie tussen thermisch comfort en thermische gewaarwording. Thermische aanvaarding.

Ten slotte werd de alertheid in beide omstandigheden gelijk beoordeeld, hoewel er om 13.00 uur een klein significant verschil was (Figuur 24).



Figuur 24 Alertheid gedurende de dag.

Conclusie

De belangrijkste conclusie van deze real-life proeftuinstudie is dat het dynamische temperatuurprofiel zoals gebruikt in Qeske een comfortabele conditie liet zien, die niet significant verschilde van de comfortniveaus van het vaste scenario. Dit komt overeen met de laboratoriumstudie, hoewel het gebruikte temperatuurbereik kleiner was dan in de laboratoriumtest. Dit kan de reden zijn dat de andere parameters tussen de twee scenario's niet verschilden zoals in de laboratoriumconditie. Zo was er in de ochtend geen significantie tussen de thermische gewaarwording in dynamische en vaste toestand. Een andere reden kan zijn dat de vrijwilligers veel meer vrijheid

hadden om te bewegen en hun gedrag aan te passen. Dit komt overeen met situaties uit het echte leven, maar maakt vergelijkingen moeilijker dan in een laboratoriumomgeving.

Zo volgde de distale huidtemperatuur niet duidelijk de omgevingstemperatuur, wat deels kan worden veroorzaakt door de minder dynamische conditie, maar ook door het gedrag van de proefpersonen. Zij waren in dit opzicht veel minder beperkt dan tijdens de laboratoriumproeven. Zij konden zich omkleden en ook wisselen tussen staan, lopen en zitten. Ook mochten zij zich tijdens korte pauzes naar andere ruimten begeven of naar buiten gaan.

Andere fysiologische parameters verschilden niet significant tussen de protocollen, hoewel de hartslag 's middags tijdens het dynamische profiel meestal hoger was. Het verschil is zeer klein en heeft wellicht geen fysiologische betekenis, hoewel effecten op lange termijn niet kunnen worden uitgesloten (zie algemene discussie hieronder).

Al met al leidt het toegepaste dynamische profiel tot een hoge acceptatie en thermisch comfortabele omstandigheden.

| | |
|--------|--|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 2.1 | Bijlage 2.1.1 Peeters et al. 2021 Less is More (<i>Openbaar</i>) |
| | Bijlage 2.1.2 Peeters et al. 2020 What you set (<i>Openbaar</i>) |

Taak 2.2 - Inrichting living lab Atlasgebouw

Deze taak betreft de concrete voorbereiding van de grootschalige veldtest (demo). Hieronder vielen het (1) opstellen onderzoeks- en communicatieprotocollen, (2) verkrijgen goedkeuring ATLAS ethische commissie, (3) voorbereiden inregelen scenario's met technische en facilitaire dienst en (4) selectie van vloeren, in- en exclusiecriteria en rekrutering van participanten.

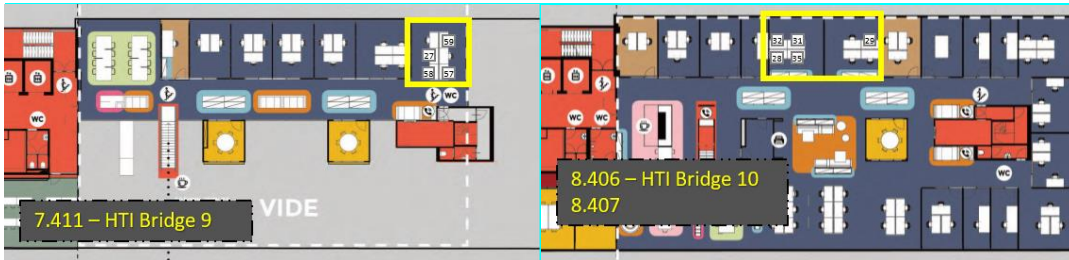
In de veldstudie in Atlas, gepland in de winter, dus het koude seizoen, kwamen de inzichten betreffende de afzonderlijke dynamische regeling van licht (Kropman studie) en klimaat (Qeske studie) samen. Het betrof een grootschalige studie (N=30, 6 weken lang) naar de interactie van dynamische licht en temperatuurregeling.

Voor de studie werden 3 scenario's uitgewerkt.

1. Controle scenario. In het controle scenario worden temperatuur en lichtcondities constant gehouden op waarden zoals wij deze standaard in kantoren treffen: 21 graden en 4000K, 500 lx op het werkblad.
2. Alertheid verhogen. In het tweede scenario wordt een temperatuurgradiënt geïntroduceerd in de ochtend, van 19 naar 23 graden en in de middag wordt de temperatuur constant gehouden op 23 graden. In de ochtend zijn de lichtcondities zoals in het controle scenario, maar in het begin van de middag wordt de intensiteit van het licht verdubbeld, om de alertheid van kantoormedewerkers in deze mild warme conditie te stimuleren. Aan het eind van de middag gaat deze weer terug naar de baseline.
3. Thermisch comfort en alertheid verhogen. In een derde scenario wordt opnieuw de temperatuurgradiënt geïntroduceerd zoals hierboven beschreven en wordt het licht ook opnieuw geïntensiveerd in de middag. Echter gebeurt dit nu juist in de tweede helft van de middag. Daarbij wordt nu in de ochtend een subtiel pulserende licht van een warme kleur gegeven om de relatieve koelte van het temperatuur scenario te compenseren.

Voor dit scenario moesten dus in het Atlasgebouw lokaal (alleen in de ruimten waar participanten werkten) zowel temperatuur als licht dynamisch geregeld worden.

Participanten bevonden zich op verschillende locaties in het gebouw (zie Figuur 25)



Figuur 25 Plattegronden met een aantal meetlocaties in het Atlas gebouw

In totaal werden 6 locaties in het gebouw bezet door 3 groepen participanten, die ieder de scenario's in verschillende volgorde zouden beleven. Omdat de bestaande plafond armaturen onvoldoende mogelijkheden boden om de gewenste scenario's uit te voeren werden op alle bureaus van deelnemers extra luminaires geplaatst (Hue Aurelle, zie Figuur 26) welke middels bridges dynamisch aanstuurbaar zijn zowel wat betreft intensiteit als lichtkleur. De plafondarmaturen werden ook betrokken in de dynamiek, maar alleen in de tragere dynamiek (niet het pulserende licht) en hiervan is het witte licht niet veranderbaar in kleurtemperatuur.

Voor de dynamiek van de temperatuur moest het Atlas klimaatsysteem direct worden aangestuurd.

API temperatuur & licht

Dat bleek geen eenvoudige opgave. Uiteindelijk is in overleg met partner Almede besloten om de focus te leggen op dynamische verlichting, waarbij gebruik kon worden gemaakt van de reeds bestaande generieke DYNKA controller voor het realiseren van dynamische temperatuurprofielen zoals deze in het experiment bij Qeske is toegepast. Deze werd voor het Atlas-experiment uitgebreid om een specifieke lichtcurve te realiseren met behulp van HUE verlichting. Zie verder ook de beschrijving onder Taak 1.4.



Figuur 26 Hue Aurelle armaturen zoals gebruikt in de Atlas veldstudie

Meetinstrumentarium

Naast de hardware en software die werden ingezet om de scenario's te realiseren werd ook instrumentarium ingezet om de gerealiseerde condities te meten (onafhankelijk hiervan). Dit betrof gebouwgebonden metingen van temperatuur en lichtcondities (lichtpalen voor het meten van lichtsterkte en lightspectrum, klimaatpalen voor het meten van luchttemperatuur en snelheid, luchtvochtigheid en bol temperatuur) alsook persoonsgebonden metingen (licht loggers voor persoonlijke licht blootstelling en ibuttons voor omgevingstemperatuur en huidtemperatuur).

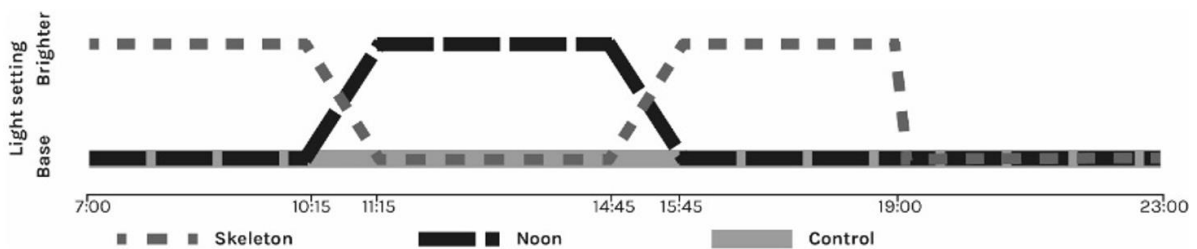
Reflectie en revisie

Een veldstudie opzetten in een operationeel kantoor is geen eenvoudig zaak: dit brengt meer technische en ethische uitdagingen met zich mee dan studies in een onderzoeksruimte. In beide categorieën uitdagingen is veel energie en tijd besteed.

Allereerst zijn er voor een dergelijke studie talloze uitgebreide documenten met goedkeuring van diverse instanties vereist, waaronder een Data management plan voor de Living Lab beheerders, een Privacy Impact Plan voor de TU/e privacy officer en, een onderzoeksplan, informatiebrief en informed consent voor de ethische toetsingscommissie. Het opstellen en goedkeuren van deze documenten kosten talloze iteraties tussen de diverse partijen en nam maanden in beslag.

Daarnaast waren er de technische uitdagingen wat betreft de regeling van dynamisch klimaat en licht, alsook de meting van de gerealiseerde condities. In de maanden voorafgaande aan de veldstudie werd ons verzekerd dat binnen het bestaande systeem er een marge van 4 graden zou zijn waarbinnen wij - gegeven die hierboven beschreven aansturing - de temperatuur real-time zouden kunnen regelen. Na maanden papierwerk om de hierboven beschreven goedkeuringen te verkrijgen konden wij in november beginnen met de eerste tests en metingen van de licht en temperatuur interventies. Die verliepen prima wat betreft de lichtregeling. Echter liepen tests met de temperatuurregeling uit op zeer tegenvallende resultaten. Ook daarop volgden diverse gesprekken met alle betrokken installateurs en beheerders van licht-, klimaatsystemen en privacy officers. Uiteindelijk bleek echter in januari dat de commando's van onze aansturing weliswaar prima binnenkwamen en verwerkt werden in het systeem, maar dat deze tot nauwelijks tot geen effect leidden omdat de toegezegde +/-2 graden regeling effectief uitwerkte tot max -0.5 graden door een te beperkte koelcapaciteit van de plafonds en een vaste bovenwaarde van 23 graden met daarbij een 1 graad regel bandbreedte. Na vele maanden meten, programmeren en onderhandelen bleek het living lab slechts een constante binnentemperatuur van 21 te kunnen leveren. Overigens was dit een feit wat geen van de partijen (eigenaars, beheerders, noch installateurs) zich tot dan toe gerealiseerd hadden.

In januari is daarop besloten het roer radicaal om te gooien en door te gaan met alleen een dynamisch aangestuurd lichtscenario, waarbij de temperatuur de vrije loop kreeg (lucht snelheid = 0.08 ± 0.06 m/s, relatieve luchtvochtigheid = 32.3 ± 5.4 %, lucht temperatuur = 22.0 ± 0.7 °C and bol temperatuur = 22.0 ± 0.9 °C) (overigens waren de participanten in de veronderstelling dat deze wel werd aangestuurd). Omdat er nu geen temperatuurgradiënt geïntroduceerd kon worden is gekozen voor een heel ander scenario (zie Figuur 27). Naast een constant, relatief standaard controle scenario (500-600 lx op het blad, 300 lx op het oog) betrof dat een scenario dat in sterkte een piek (800-900 lx op het blad, 475 op het oog) gaf rondom het middaguur (noon scenario) en een tegengesteld scenario dat juist aan het begin en eind van de werkdag eenzelfde piek in de verlichtingssterkte gaf. Voor meer details verwijzen we naar bijlage Bijlage 2.3.1 Kompier 2022_Contrasting Dynamic Light in Offices.

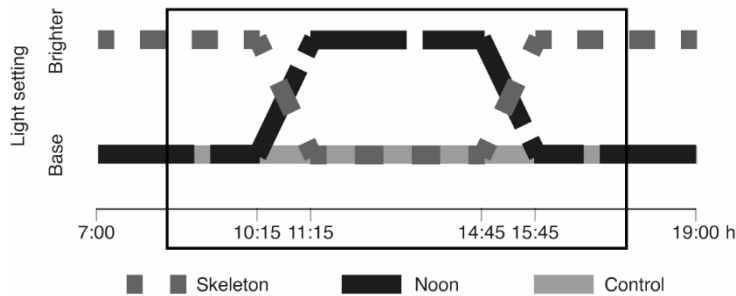


Figuur 27 Licht scenario's zoals uiteindelijk geïmplementeerd in de Atlas veldstudie bij constante omgevingstemperatuur.

Taak 2.3 - Uitvoeren van twee scenario's, inclusief een 'standaard' instelling (0-meting)

In deze taak zijn twee scenario's uitgevoerd, tezamen met een baseline periode met een duur van tenminste 3-4 weken per conditie en in zijn geheel uitgevoerd eenmaal in de winter. Een zelfde studie zou opnieuw gedraaid worden in de warme zomermaanden, De pandemie trok helaas een streep door dit plan.

In het hoofdgebouw in Atlas zijn twee verschillende dynamische licht scenario's getest tegen een controle scenario. De scenario's werden vergeleken met elkaar en met een constant lichtscenario. In het ene dynamische scenario (Noon) werden de deelnemers blootgesteld aan feller licht tijdens het middaguur (tussen 11:15 en 14:45) en in het andere scenario werden de deelnemers blootgesteld aan eenzelfde duur van het feller licht verspreid over twee dagdelen: in de ochtend (voor 10:15) en in de namiddag (na 15:45).



Figuur 28 Licht scenario's

De 30 participanten werden blootgesteld aan alle scenario's, met twee weken per scenario. Gedurende de gehele meetperiode (6 weken), waren er in totaal 12 meetdagen (2 per week). Tijdens een meetdag droegen deelnemers sensoren om hun activiteit, lichtblootstelling en huidtemperatuur te meten. Daarnaast vulden ze in de ochtend van een meetdag een slaapdagboek in over de duur, timing en kwaliteit van de slaap in de voorbije nacht. Gedurende de meetdag ontvingen ze verspreid over de dag (gerandomiseerd, tussen 9:00 en 17:00, met minimaal 30 minuten ertussen) vragenlijsten waarin ze hun momentane ervaringen met de verlichting, temperatuur en hun eigen slaperigheid rapporteerden. Ook vulden ze hier in wat ze in het voorbije half uur hadden gegeten en gedronken en of ze op hun werkplek met de lichtarmatuur hadden gezeten. Daarnaast voltooiden ze twee maal per dag een taak (Hampshire Tree Task, om 10:30 en om 15:00) om taakprestatie te meten. Aan het eind van de dag was er tenslotte nog een vragenlijst om wat algemene informatie over de dag te verzamelen (kleding, werktijden, werkprestatie). Gedetailleerde informatie over de deelnemers, de vragen, de taak en de sensoren zijn te vinden in Bijlage 2.3.1.

| | |
|--------|---|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 2.3 | Bijlage 2.3.1 Kompier 2022 Contrasting Dynamic Licht in Offices (<i>Openbaar</i>) |

Taak 2.4 - Dataverzameling en –verwerking feedback gebruiker

Lichtbeleving en slaap

De belangrijkste uitkomstparameters in de ATLAS living lab studiewaren de visuele sensatie van de intensiteit en de kleur van het licht, het visuele comfort, de subjectieve slaperigheid, de taakprestatie, de slaapduur, slaapstart en de slaapefficiëntie. Met behulp van hiërarchische modellen die voor de structuur van de data kunnen corrigeren hebben we getest hoe de verschillende scenario's en de gemeten daadwerkelijke lichtblootstelling op het oog deze parameters hebben beïnvloed. In deze modellen werden daarnaast nog enkele covarianties toegevoegd. De volledige specificatie van de modellen is te vinden in Bijlage 2.3.1.

De visuele sensatie van het licht kwam overeen met de ingestelde scenario's. Dat willen zeggen dat de momenten waarop de felle verlichting was ingesteld ook daadwerkelijk feller ervaren werden. Daarentegen hingen de op de persoon gemeten lichtblootstellingen (gemiddelde van het afgelopen half uur) niet direct samen met de ervaren lichtintensiteit. De ervaren kleur van de verlichting werd niet door de scenario's of de persoonlijke lichtblootstelling beïnvloed. Het visuele comfort was ook afhankelijk van het scenario. De verschillen waren niet groot en alle scenario's werden tussen *net comfortabel* en *comfortabel* geëvalueerd, maar de dynamische scenario's werden net iets minder comfortabel ervaren dan het constante scenario.

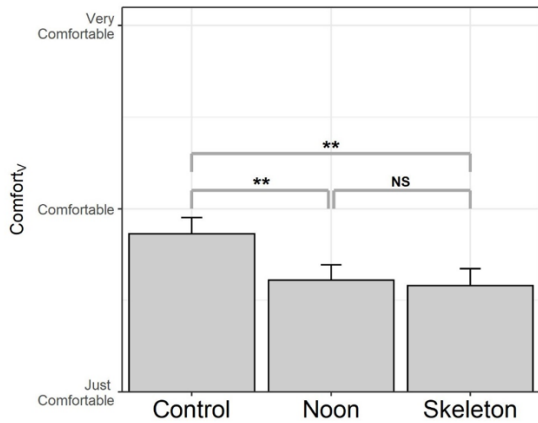


Figure 6. Estimated marginal means (EMMs) of visual comfort per condition. The error bars represent the standard error. ** indicates $p < .01$ and NS: $p > .05$

Figuur 29 subjectieve momentane slaperigheid en taakprestatie

Wat betreft subjectieve momentane slaperigheid en taakprestatie zagen we hoofdeffecten van scenario, tijd van de dag en van cafeïne. Er was een significant verschil in slaperigheid tussen het Noon en Skeleton scenario, maar deze beiden verschilden niet significant van het slaperigheidsniveau in de constante scenario. De slaperigheid nam in zijn geheel toe over de dag, en na een cafeïne houdende drank was de subjectieve slaperigheid iets lager dan wanneer er geen cafeïne genuttigd was.

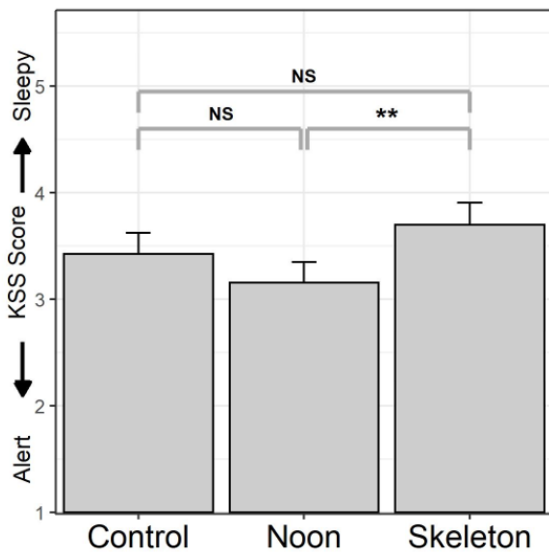


Figure 7. Estimated marginal means (EMMs) of sleepiness (assessed using the KSS) per scenario. The error bars represent the standard error (SE). ** indicates $p < .01$, NS: $p > .05$

Figuur 30 subjectieve momentane slaperigheid en taakprestatie

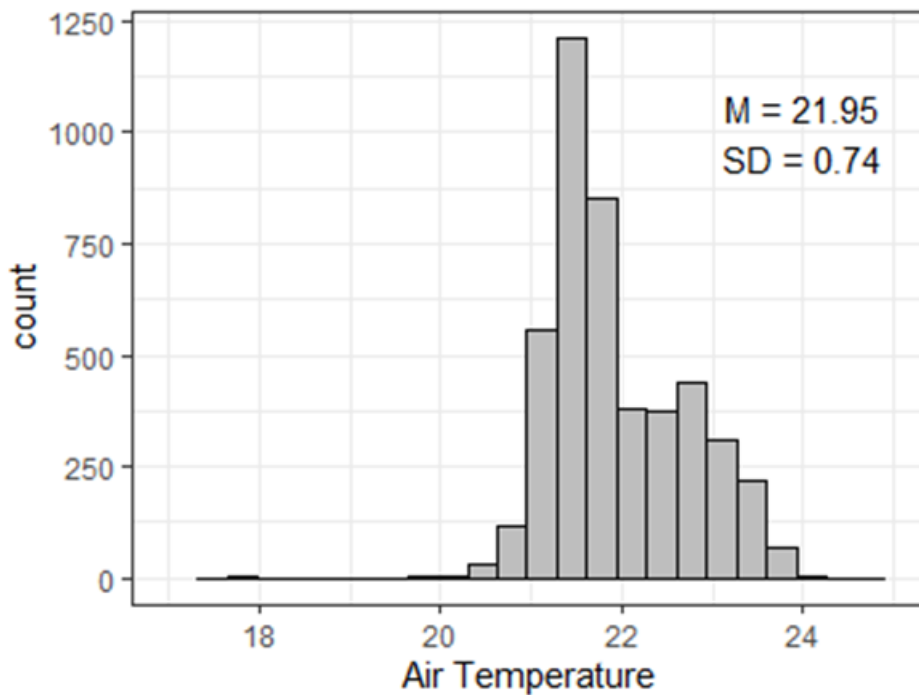
Taakprestatie werd niet beïnvloed door de verlichting, maar vooral door het aantal keer dat de taak al uitgevoerd was, oftewel een leereffect. Daarnaast was de prestatie hoger in de ochtend vergeleken met in de middag.

Voor de slaapparameters hebben we het licht gekwantificeerd door het berekenen van de totale tijd boven de grens van 100 lux gemeten op de borst, dus dicht bij het oog, de timing van deze lichtblootstelling en de variabiliteit in de lichtblootstelling. Slaapefficiëntie werd door geen van de meegenomen parameters beïnvloed. Slaapstart en -duur waren niet significant gerelateerd aan de scenario's, maar wel aan de variabiliteit en de timing van de lichtblootstelling. Meer variabiliteit en een latere timing van het licht waren gerelateerd aan een eerdere slaapstart en langere slaapduur.

Alle teststatistieken en figuren zijn te vinden in Bijlage 2.3.1.

Temperatuurbeleving

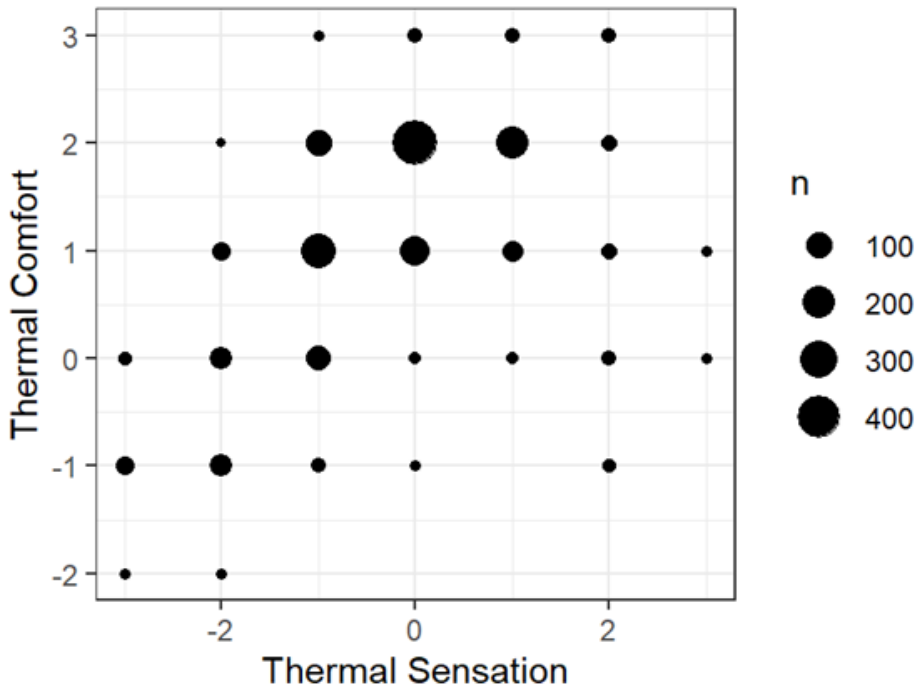
De omgevingstemperatuur in Atlas schommelde licht, als functie van locatie in het gebouw (57%), als functie van dag (15%) en als functie van weer en andere omstandigheden binnen de dag (28%), zie Figuur 31.



Figuur 31 Luchttemperatuur in het Atlasgebouw gedurende de studie.

In totaal hebben participanten 1628 vragenlijsten ingevuld mbt hun thermische sensatie en comfort. Figuur 32 toont de verdelingen van deze twee variabelen gedurende de studie. Zo'n 10% van de variantie in thermische sensatie bestond tussen participanten, 21% variantie bestond, per persoon, tussen dagen en terwijl 69% van de variantie kwam vanuit momentane schommelingen. Het beeld voor thermisch comfort was behoorlijk vergelijkbaar, al waren daar schommelingen wat meer toe te schrijven aan personen, met percentages variantie tussen deelnemers, dagen en momenten van respectievelijk 25%, 16%, en 59%.

Interessant is het om te zien dat thermische sensatie een vrij goede, maar geen volledige voorspeller is van thermisch comfort door de dag heen: Wanneer we sensatie als een parabolische functie invoegden in de analyse, werd zo'n 46% van comfort voorspeld (zie ook Figuur 32).



Figuur 32 Scatterplot van gerapporteerde thermische sensatie en gereporteerde comfort (N=1628)

Vervolgens zijn meer gedetailleerde analyses gedaan, waarin sensatie en comfort voorspeld werden door temperaturen van de hand, de arm, de dpg, de lucht, en de verschillen in temperatuur van de hand, arm, dpg en lucht, lichamelijke activiteit en visuele percepties, gemeten 10, 20 en 60 minuten voordat de vragenlijst werd ingevuld.

Veel van deze variabelen bleken enigszins gerelateerd, maar de beste voorspellers voor thermische sensatie waren de temperatuur van de hand kort (10 minuten) tevoren en de fysieke activiteit in het uur voorafgaand aan de vragenlijst. Samen voorspelden deze twee variabelen echter slechts 7% extra bovenop het onconditionele model (totaal 39%). Opvallend is dat voor thermisch comfort, naast deze twee variabelen ook het visuele comfort een voorspeller bleek. Wanneer we bovendien de thermische sensatie als voorspeller toevoegden was de voorspelling op basis van deze set 54% marginaal, en totaal 68% nauwkeurig. De data verzameld in deze studie zijn uniek en kunnen nieuwe inzichten genereren in hoe thermisch comfort te optimaliseren voor gebouwgebruikers.

Werkpakket 3: Toepassingspotentieel – energiebesparing en modelontwikkeling

Onderstaand de deliverables en beknopt de taken hoe die deliverables zijn gerealiseerd

In wp3 is een eerste inschatting gemaakt van het energiebesparingspotentieel voor een dynamisch kantoor klimatisering concept. De resultaten van WP 1 en 2 dienden als input voor het specifiek door ontwikkelen van het thermische fysiologische model (hUMan) en het visueel model. WP 3 geeft inzicht in:

- het besparingspotentieel voor een dynamisch binnenklimaat en dynamisch LED licht
- geïntegreerd humaan model (licht en thermofysiologie)
- afstemming geïntegreerd humaan model met gebouwsimulatiemodel

Resultaten WP3:

D3.1 Thermisch Mens Model, geschikt voor professionele gebruikers (advies- en ontwerpbureaus)

D3.2 Doorontwikkeld lichtmodel, geschikt voor professionele gebruikers (advies- en ontwerpbureaus)

D3.3 Set van randvoorwaarden voor afstemming (communicatie) tussen licht- en thermisch model

D3.4 Specifiek besparingspotentieel voor dynamische kantooromgevingen

Taak 3.1 - Doorontwikkeling thermisch mens model (hUMan)

Binnen deze taak zou het hUMan thermisch mens model doorontwikkeld worden voor toepassing onder dynamische omstandigheden, inclusief lichtaspecten.

Uit de labstudies uitgevoerd in WP1 is naar voren gekomen dat de directe interactie tussen licht(perceptie) en temperatuur(perceptie) beperkt is. Dit is de primaire reden waarom bewust gekozen is om het hUMan model niet verder te ontwikkelen in het kader van het DYNKA-project dat zich vooral richt op de interactie licht-temperatuur. Secundair is het zo dat het hUMan model een onderzoek gericht *expliciet* model is, d.w.z., de inputwaarden (omgevings- en persoonsgebonden factoren) dienen expliciet opgegeven te worden en dat maakt het model minder geschikt voor toepassing in de gebouwde omgeving. Daarbij is het lastig met een expliciet model om een concrete bijdrage van het model te ontwikkelen in bijvoorbeeld de dynamische gebouwregeling (WP 4).

Daarentegen is dat wel mogelijk met een *impliciet* comfortmodel zoals het Adaptieve Grenswaarden model. Hierin zijn factoren zoals seizoen aanpassingen van bijv. kleding impliciet meegenomen. Het Adaptief Comfort Model is inmiddels in verschillende standaarden geconcretiseerd o.b.v. internationale meetdata in honderden gebouwen. In het DYNKA-project hebben we gekozen om voort te borduren op het adaptieve model zoals opgenomen in de standaard NEN-EN 16798-1:2019 en - Energieprestatie van gebouwen, Deel 1: Invoergegevens voor het binnenklimaat voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen met betrekking tot binnenluchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat, verlichting en akoestiek - Module M1-6. Hierin zijn verschillende klimaatklassen (I-IV) opgenomen voor gebouwen met klimaatinstallaties (HVAC-buildings). Tabel B.1 relateert de klassen aan Verwacht Percentage Ontevreden (PPD) en Voorspelde Gemiddelde Thermische Sensatie (PMV). Tabel B.5 toont de bijbehorende grenswaarden voor de (operatieve) binnentemperatuur. Concrete waarden zijn gegeven voor het winter- en zomerseizoen, maar ontbreken voor de transitie seizoenen (lente en herfst). Hiervoor is een lineaire interpolatie toegepast waarbij de temperatuur grenzen voor de transitie seizoenen zijn bepaald als functie van de Running Mean Outdoor Temperature (RMOT, de meerdaags-gewogen buitentemperatuur). Zo is het gedachtegoed van het Adaptieve Grenswaarden model uitgebreid naar zogeheten HVAC-gebouwen, i.e. gebouwen met klimaatinstallaties, om een goede basis te leggen voor dynamische klimaatregelingen.

Opvallend is dat de grenswaarden voor Categorie IV voor kantoren in het verwarmingsseizoen (winter) overeenkomen met de gehanteerde temperatuurprofielen in de labstudie (WP 1), namelijk 17°C tot 25°C.

Table B.1 — Default categories for design of mechanical heated and cooled buildings

| Category | Thermal state of the body as a whole | |
|----------|--|----------------------------|
| | Predicted Percentage of Dissatisfied PPD % | Predicted Mean Vote PMV |
| I | < 6 | -0,2 < PMV < + 0,2 |
| II | < 10 | -0,5 < PMV < + 0,5 |
| III | < 15 | -0,7 < PMV < + 0,7 |
| IV | < 25 | -1,0 < PMV < + 1,0 |

Table B.5 — Temperature ranges for hourly calculation of cooling and heating energy in four categories of indoor environment

| Type of building or space | Category | Temperature range for heating seasons, °C Clothing approximately 1,0 clo | Temperature range for cooling seasons, °C Clothing approximately 0,5 clo |
|--|----------|---|---|
| Residential buildings, living spaces (bed room's, kitchens, living rooms etc.) Sedentary activity ~1,2 met | I | 21,0 – 25,0 | 23,5 - 25,5 |
| | II | 20,0–25,0 | 23,0 - 26,0 |
| | III | 18,0- 25,0 | 22,0 - 27,0 |
| | IV | 17,0–25,0 | 21,0 – 28,0 |
| Residential buildings, other spaces (utility rooms, storages etc.) Standing-walking activity ~1,5 met | I | 18,0–25,0 | |
| | II | 16,0–25,0 | |
| | III | 14,0–25,0 | |
| Offices and spaces with similar activity (single offices, open plan offices, conference rooms, auditoria, cafeteria, restaurants, class rooms) Sedentary activity ~1,2 met | I | 21,0 – 23,0 | 23,5 - 25,5 |
| | II | 20,0 – 24,0 | 23,0 - 26,0 |
| | III | 19,0 – 25,0 | 22,0 - 27,0 |
| | IV | 17,0–25,0 | 21,0 – 28,0 |
| During the between heating and cooling seasons (with θ_{rm} between 10 and 15) temperature limits that lie in between the winter and summer values may be used. Air velocity is assumed < 0,1 m/s and RH~40 % for heating season and 60 % for cooling season. | | | |

| | |
|--------|--------------------------|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 3.1 | Zie Bijlage 3.4.1 |

Taak 3.2 - Doorontwikkeling lichtmodellen op basis van de experimenten

Het lichtmodel voor het bepalen van de invloed van de regelalgoritmen op het energiegebruik voor de verlichting is vastgesteld op basis van recente onderzoeksresultaten en resultaten uit WP2. De resultaten zijn gebruikt als aanbevelingen voor de standaardisering (taak 4.4) met als doel het gebruik van de ontwikkelde methodologieën te bevorderen en het wegnemen van belemmeringen voor een bredere markt voor geavanceerde verlichtingssystemen.

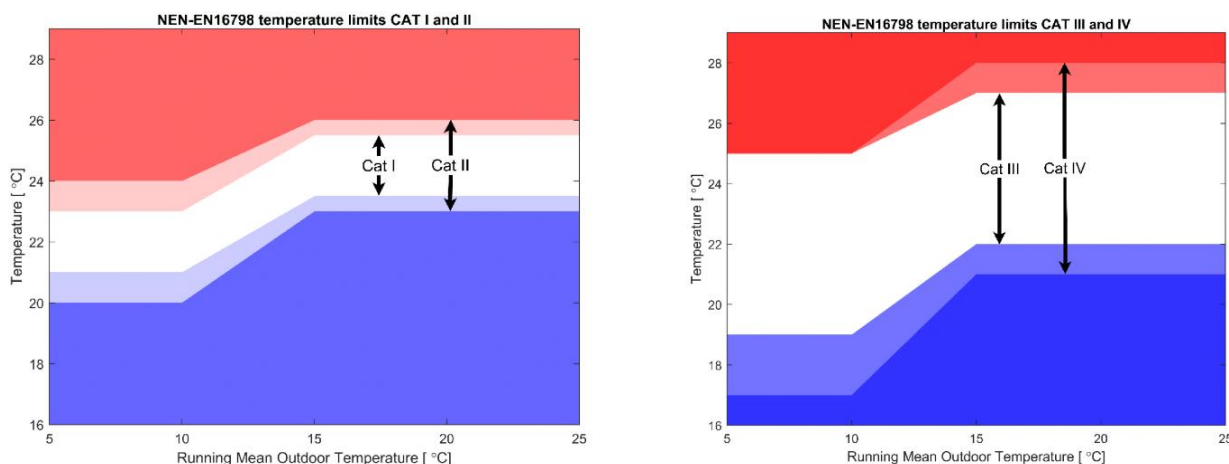
In de literatuur wordt nogal eens gewag gemaakt van de zogenaamde Hue-Heat hypothese, die voorspelt dat door crossmodale associaties tussen kleur (zicht) en warmte (temperatuurzin) objecten en ruimtes met een rood/gele "warme" kleur als warmer worden ervaren dan objecten en ruimtes met een blauwachtige "koele" kleur. De bevindingen hierop zijn inconsistent, maar mochten wij ze vinden dan zou dit mogelijkheden scheppen om comfort te verhogen door in warme ruimtes koeler licht toe te passen en in koude ruimtes warmer licht. Een tweede mogelijkheid voor interacties tussen licht en temperatuur herkennen we in de correlaties tussen visueel en thermisch comfort die vaak worden gerapporteerd. In de studies die zijn uitgevoerd binnen DYNKA zijn inderdaad die correlaties ook steeds gevonden. We hebben echter geen causale relatie van visueel naar thermisch comfort – dit laatste is direct getoetst in het gerelateerde PERDYNKA project, zie beneden. Bovendien

waren geen van de bevindingen rondom lichtinterventies (met name labstudies Kompier 2020 (bijlage 1.1.2) en Kompier et al 2021 (1.1.3) in lijn met de hue heat hypothese. Sterker nog, er leek in de studie in milde kou (bijlage 1.1.3) eerder een niet-significante trend voor het omgekeerde (zie Kompier 2020 Windsor Conference, bijlage 3.2.1): het thermisch comfort was (niet significant) hoger in de koele lichtcondities dan in de warme lichtcondities. Heel interessant is het om te melden dat in de tweede labserie binnen PERDYNKA opnieuw een kleurtemperatuurinterventie is toegepast (Luo et al (under review)), die – ditmaal wel significant – opnieuw in tegengestelde richting aan de hue-heat hypothese werkte. We vermoeden dat blauwer licht, via niet-beeldvormende effecten toch effecten kan hebben op thermisch comfort, maar niet de thermische sensatie. Er bestaat een geavanceerd model voor de circadiane effecten van licht op de biologische klok via het niet-beeldvormende pad (Kronauer, 1982), (Forger, 1999). De DYNKA studies geven geen aanleiding deze aan te passen. Voor de acute, alertheid verhogende effecten bestaat zo'n model niet en omdat in de DYNKA studies slechts zeer mondjesmaat effecten werden gevonden op alertheid worden de inzichten hierop ook niet verrijkt. In zijn algemeenheid wordt met het oog op de biologische klok momenteel door het veld aangeraden om overdag melanopische daglicht equivalente verlichtingsniveaus op het oog > 250 lux te houden, in de avond <10 lx en in de nacht <1 lx. Modellen zoals deze voorhanden waren rondom thermisch comfort zijn er niet voor visueel comfort. De DYNKA studies hebben ons wat dit betreft wel relevante inzichten gegeven, zeker waar het dynamisch licht betreft. De meest algemene regel is dat we erg voorzichtig moeten zijn met veranderingen in kunstlichtcondities, omdat deze in de regel niet als comfortabel of prettig worden ervaren, zeker wanneer het licht intenser of koeler wordt. Dergelijke transitie zouden dan ook, indien wenselijk vanwege niet beeldvormende effecten, zeer geleidelijk moeten worden toegepast. Belangrijker nog zijn de bevindingen in diverse studies, maar met name geanalyseerd in Kompier 2021 (bijlage 1.1.3) met betrekking tot de grote verschillen in persoonlijke voorkeur voor licht, zowel wat betreft kleur als intensiteit. Tot doorontwikkeling of zelfs ontwikkeling van nieuwe lichtmodellen geven de bevindingen in DYNKA nog onvoldoende aanleiding, al kan de gevonden invloed van licht op fysiologische activiteit en thermisch comfort in de meest recente PERDYNKA labserie wel aanleiding zijn voor verdere studie.

| | |
|--------|--|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 3.2 | Bijlage 3.2.1 Kompier 2020 Windsor Conference (openbaar) |

Taak 3.3 - Afstemming humane modellen (licht, thermo) met gebouwsimulatiemodel

De modellen en inzichten ontwikkeld in 3.1 en 3.2 moeten flexibel van opzet zijn in verband met uitbreiding en aanpassingen en koppeling met gebouwsimulatie modellen. Er is onderzocht hoe verschillende modellen op elkaar afgestemd kunnen worden. Door de beperkte interactie tussen licht- en temperatuur zoals gevonden in de labstudies (WP 1), zijn de licht- en thermische modellen separaat gehouden. Zoals uitgelegd in 3.1 hebben we bewust gekozen voor het gebruik van het Adaptieve Comfort Model, omdat dit impliciete model meer potentie biedt in het vervolg (WP 4) richting productontwikkeling. Voor het bepalen van het energiebesparingspotentieel (3.4) is het Adaptieve Comfort Model namelijk direct te integreren in het gebouwmodel. De standaard NEN-EN 16798-1 presenteert verschillende klimaatklassen voor temperatuur. Lineaire interpolatie is toegepast voor de temperatuurgrenzen in de transitie seizoenen. Het resultaat is weergegeven in Figuur 33.



Figuur 33 Adaptieve Grenswaarden zoals gebruikt voor de klimaatregeling in de gebouwsimulatie.

De setpoints voor verwarming en koeling zijn dynamisch gemaakt op basis van de Adaptieve Temperatuur Grenswaarden ± een veiligheidsmarge. Deze marge is nodig om de uiteindelijk resulterende operationele temperatuur binnen de grenzen te laten vallen, omdat de klimaatregeling op luchttemperatuur stuurt. Door de verwarming en koeling met een marge te sturen op de dynamische grenzen in plaats van op vaste setpoints kan de gebouwvraag substantieel gereduceerd worden. De grenzen zijn bepaald aan de hand van een lopend gemiddelde van de buitentemperatuur over de afgelopen 7 dagen, de zogeheten Running Mean Outdoor Temperature (RMOT), berekend conform:

$$RMOT = \frac{\theta_{ed-1} + 0.8 * \theta_{ed-2} + 0.6 * \theta_{ed-3} + 0.5 * \theta_{ed-4} + 0.4 * \theta_{ed-5} + 0.3 * \theta_{ed-6} + 0.2 * \theta_{ed-7}}{3.8}$$

waarin de gemiddelde temperaturen van de afgelopen dag tot zeven dagen terug in de tijd gewogen worden.

| | |
|--------|--------------------------|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 3.3 | Zie Bijlage 3.4.1 |

Taak 3.4 - Vaststelling besparingspotentieel van dynamisch binnenklimaat scenario's

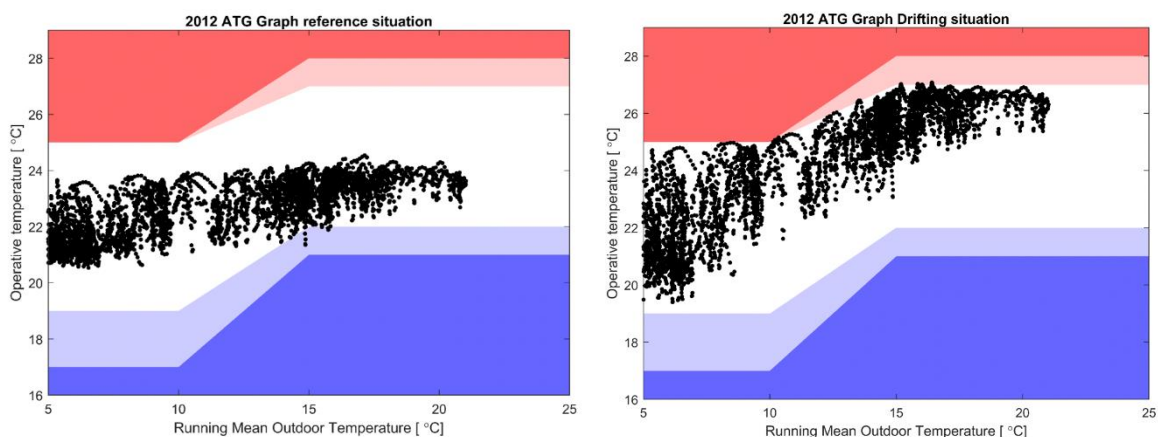
Op basis van dynamische gebouwssimulaties is het energie besparingspotentieel inzichtelijk gemaakt door de jaarlijkse benodigde energie voor de huidige manier van klimaatbeheersing te vergelijken met de benodigde energie voor de DYNKA dynamische klimaatbeheersing.

Hiervoor zijn benchmark simulatiemodellen voor kantoren gebruikt met typische bouwfysische eigenschappen voor drie verschillende bouwjaren: 1970, 1990 en 2012. De gebouwen hebben exact dezelfde geometrie (3 verdiepingen van elk 1660 m²) en alle drie hebben gelijke systemen inclusief een all-air luchtbehandeling. Buitenklimate data van Amsterdam zijn gebruikt (Technical Reference Year).

Drie scenario's zijn gesimuleerd voor het verloop van het binnenklimaat:

- Referentie: 21°C als setpoint voor verwarmen en 23°C voor koelen
- NEN-EN 16798-1 Cat III
- NEN-EN 16798-1 Cat IV

Als voorbeeld is in Figuur 34 de gesimuleerde operationele binnentemperatuur getoond voor het gebouw uit bouwjaar 2012 met temperatuurregeling conform de Referentie (Links) en de dynamische regeling conform NEN-EN 16798-1 Categorie III (Rechts). Dezelfde figuren voor de bouwjaren 1970 en 1990 zijn te raadplegen via de corresponderende bijlage.



Figuur 34 De operationele binnentemperatuur conform Referentie (Links) en NEN-EN 16798-1 Categorie III (Rechts) voor het gebouw uit bouwjaar 2012.

De gesimuleerde besparingen van de dynamische temperatuurregeling ten opzichte van de referentie voor de verschillende bouwjaren en categorieën zijn samengevat in Figuur 35



Figuur 35 Besparingen door dynamische grenswaarden gebaseerd op NEN-EN 16798-1 Categorie III en IV ten opzichte van de Referentie (21°C-23°C) voor bouwjaren 1970, 1990 en 2012.

| | |
|--------|--|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 3.4 | Bijlage 3.4.1 Rapport masterproject Raymon Wasman (Openbaar) |

Taak 3.5 - Vaststelling besparingspotentieel van dynamisch LED licht

DYNKA maakt de eerste stappen naar aanbevelingen voor het opnemen van dynamische lichtcontrole scenario's (beschreven door smart control algorithms) in methodologieën voor het bepalen van het energiegebruik voor verlichting in gebouwen. De resultaten van wp 1 en 2 hebben hierbij gediend als input voor het specifiek door ontwikkelen van het thermische fysiologische model (hUMan) en het visueel model waarmee inzicht verkregen kan worden in de effecten van het dynamisch binnenklimaat op de fysiologie van de individuele gebruiker.

Het onderzoek binnen DYNKA heeft geen noemenswaardige relatie tussen lichtkleur en thermisch comfort kunnen bevestigen. Het besparingspotentieel op basis van de koppeling van licht en omgevingstemperatuur vervalt daarmee.

Zoals eerder aangegeven is de literatuur rijk aan studies die de toegevoegde waarde van voldoende daglicht gedurende de hele dag op algemene gezondheid van kantoormedewerkers heeft. Aanbevolen wordt om tenminste een melanopische illuminantie van 250 lx op het oog aan te bieden (Brown, 2022). De praktijk leert dat deze aanbeveling het energieverbruik van de verlichtingsinstallatie sterk en onwenselijk verhoogt. Dynamische lichtprofielen met helder licht gedurende 2 tot 4 uur in combinatie met aanwezigheidssensoren zijn daardoor wenselijk in het praktijk omdat dit de CO₂ emissies van het gebouw beperkt houden en toch tot gezonde werkomgevingen kan leiden. Meer onderzoek per applicatie (ouderen, patiënten, 24/7, kantoren etc.) is nodig om tot het optimale profiel te komen. Duidelijk is dat persoonlijke voorkeuren omtrent licht sterk uiteenlopen, waardoor oplossingen met persoonlijke controle sterk aanbevolen worden.

Werkpakket 4: Toepassingspotentieel – product en markt

Onderstaand de deliverables en beknopt de taken hoe die deliverables zijn gerealiseerd

In WP4 is op basis van de resultaten van de experimenten in het Atlas gebouw en de doorontwikkelde modellen:

- een realistische berekening van de energiebesparing voor een verdere markttoepassing gemaakt;
- een scenario opgesteld voor verdere productontwikkeling en materialisatie voor het realiseren gepersonaliseerde kantoorssystemen opgesteld;
- een voorstel opgesteld voor de mogelijkheden voor verdere standaardisatie van de resultaten.

Resultaten WP4:

D4.1 Inzicht in het uiteindelijke markt- en besparingspotentieel van een dynamisch binnenklimaat voor verschillende gebouwfuncties

D4.2 Scenario voor verdere concrete productontwikkeling

D4.3 Opzet voor een verdere standaardisatie van een dynamisch kantoor klimaat

Taak 4.1 - Het bepalen van het uiteindelijke werkelijke markt- en besparingspotentieel

Vanuit de resultaten van taak 3.4 waarbij het exacte besparingspotentieel voor de onderzochte living lab situaties is onderzocht is een extrapolatie gemaakt naar kantoren in het algemeen (met een onderscheid naar het type kantoor omgeving). Ook is een extrapolatie gedaan naar het besparingspotentieel en toepassingsmogelijkheden in andere typen gebouwen. Hierbij is gekeken naar zorggebouwen, scholen en woningen.

Er is een analyse uitgevoerd naar de bestaande voorraad van m2 BVO aan utiliteitsgebouwen. Deze voorraad bedraagt ca. 90 mio m2 BVO. Uit een analyse van de energie labels en bouwjaren volgt met de resultaten van taak 4.3 dat de gemiddelde besparing op warmtevraag en koude vraag ca. 40% bedraagt.

Hieruit volgt een potentieel aan reductie van CO2-uitstoot van:

Aardgas: 728.000.000 m3 aardgas --> 1,3 Mton CO2

Elektriciteit: 837.000.00 kWh --> 0,5 Mton CO2

Op de uitstoot van CO2 in de gebouwde omgeving is dit een reductie van 15%.

Door de eenvoud van de implementatie van het dynamische binnenklimaat en de positieve gezondheidseffecten beschouwen we deze reductie als substantieel.

| | |
|--------|---|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 4.1 | Bijlage 4.1. Markt- en besparingspotentieel (<i>Openbaar</i>) |

Taak 4.2 - Het vaststellen van marges voor een dynamisch binnenklimaat

De tweede set aan meetdata geeft inzicht in de acceptatiegrens van werknemers tav het werken binnen in een van de 2 scenario's. Deze zijn afgezet t.o.v. de mentale en lichamelijke performance zoals gemeten bij de scenario's. De resultaten zijn voorgelegd aan de participanten om zo tot finale randvoorwaarden te komen voor optimalisatie van inrichting licht en temperatuur.

In de labstudies zijn in eerste instantie proeven uitgevoerd met een tempratuur drift van 17°C tot 25°C. De tempratuur liep daarna op van 9:00 uur tot 12:30 uur, waarna de temperatuur weer afnam tot 17°C om 16:30. Uit de praktijkproeven is gebleken dat de afname in de middag niet praktisch is en juist extra energie voor koeling kost. Daarom is bij de personal control testen gekozen voor een opwaartse drift in de morgen en stabiele temperatuur in de middag. Deze tempratuurdrift van 17-25 °C is realistisch en kan praktisch worden toegepast in de winter en in de overgangsseizoenen. In de zomer dient nog te worden onderzocht hoe veel hoger een tempratuurdrift kan worden ingesteld.

Recente data van het Adaptief Comfort Model laten een grote range van acceptabele temperaturen zien en temperaturen van om en nabij de 30°C zijn niet onrealistisch. Dit dient echter nader te worden onderzocht.

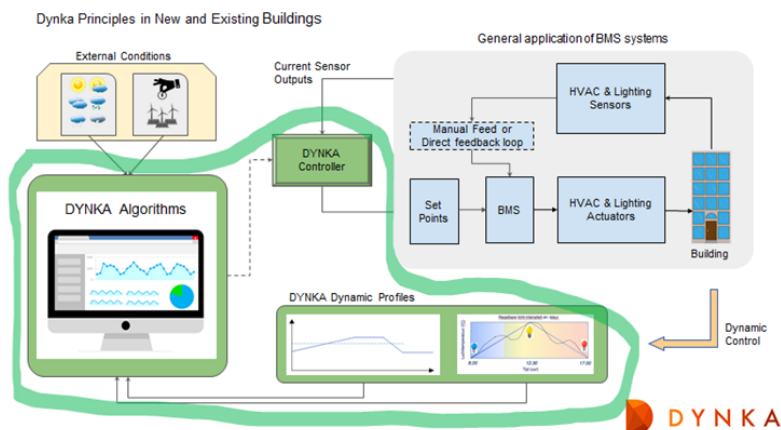
Uit de simulatiestudie is gebleken dat de besparingen zeer hoog kunnen zijn voor oudere en nieuwere gebouwen door de klimaatregeling af te stemmen op dynamische setpoints. De werkwijze zoals aangehouden met het simulatiemodel is toe te passen in de praktijk wanneer het gebouwbeheersysteem 'gevoed wordt' met dynamische setpoints in plaats van vast ingestelde waarden. Deze setpoints kunnen direct gebaseerd worden op de adaptieve grenswaarden zoals opgenomen in verschillende standaarden, bijvoorbeeld de vigerende ISSO-publicatie 74 (2014) of standaard NEN-EN 16798-1 (2019). Daarbij is het wel belangrijk dat een veiligheidsmarge aangehouden wordt ten opzichte van de adaptieve temperatuur grenswaarden, omdat de ATG-grenzen gebaseerd zijn op de operationele temperatuur, terwijl de temperatuurregeling meestal regelt op de luchttemperatuur. Hoe ouder het gebouw, hoe belangrijker deze marge. De huidige gebouwbeheersystemen zijn vaak niet geschikt om variërende setpoints te implementeren. Daardoor is het voor praktische toepassing noodzakelijk ofwel met een slimme plug-in te werken of een additionele controller te implementeren.

Uit alle studies die zijn uitgevoerd blijkt telkens weer de grote individuele variatie in fysiologische respons en beoordeling op de verschillende binnenklimaatinstellingen. Je kan, zelfs onder dynamische condities niet iedereen tevreden stemmen. Binnen PERDYNKA zijn daarom diverse personal control studies uitgevoerd. Het meest veelbelovend zijn de mogelijkheden tot het zelf instellen de temperatuur van het bureaublad voor het verwarmen van de handen en een vloermat voor het verwarmen van de voeten. Voor individuele koeling volstaat kleine ventilatoren voor de koeling van het hoofd. Op deze manier kan het dynamisch (drifting) temperatuurprofiel voor de ruimte gehandhaafd blijven met de gezonde fysiologische prikkels van de temperatuurvariatie op het lichaam, terwijl op individueel niveau meer comfort en betere acceptatie worden gerealiseerd.

Taak 4.3 - Het opstellen van een scenario voor verder productontwikkeling

De resultaten uit WP1 en WP2 zijn door Signify, Kropman en HIA vertaald in een scenario voor verdere concrete productontwikkeling voor een personalized dynamisch kantoorstelsel. Een van de elementen hierbij is de mogelijkheid van directe terugkoppeling van informatie t.a.v. energie, welzijn en gezondheid naar de eindgebruiker. Hierbij wordt o.a. gebruik gemaakt van de methodiek die ontwikkeld is in H2020 MOBISTYLE (www.mobistyle-project.eu; partner HIA is coördinator en MU participant) om 'big data' op een begrijpelijke manier aan eindgebruikers te presenteren.

Het realiseren van een dynamisch binnenklimaat zal door de regeltechniek ondersteund moeten worden. Gangbare GBS-systemen en slimme thermostaten kennen onvoldoende functionaliteit. Er is daarom behoefte aan een aanvullende module als controller van het dynamische binnenklimaat en verlichting. Voor deze DYNKA-controller is het GBS wel het uitgangspunt om op door te bouwen. Tenslotte wordt kort ingegaan op het verzamelen van feedback van gebruikers, de gebruiker als sensor. Onderstaande figuur geeft een voorstel hoe de DYNKA-controller opgebouwd kan zijn.



Feedback van de gebouw gebruikers kan via schermen worden verzameld. Hierbij beschouwd het systeem de gebruiker als een sensor, en wordt de data door het algoritme meegenomen in de analyse en verwerking.



De ontwikkeling kunnen we samenvatten in de volgende stappen:

Stap 1: ontwikkelen van algoritmes op basis van gewenste dynamische profielen voor licht en binnentemperatuur. Deze software stelt eisen aan de hardware die de controller moet bezitten om deze algoritmes te kunnen draaien, welke datakoppelingen er moeten worden gelegd met in- en externe databronnen.

Stap 2: Ontwikkelen hardware t.b.v. de datacontroller

Stap 3: En tenslotte hoe de koppeling met het GBS wordt gelegd om de daadwerkelijke aansturing te doen volgens de vereiste communicatie-protocollen.

Stap 4. Het vermarkten van de controller in combinatie met advisering over een dynamisch binnenklimaat. Vanuit de GBS-producenten zien we ook ontwikkelingen waarbij deze controllers een rol krijgen bij de koppeling met energiemarkten. Daarbij is een periodieke (bijv. per 15 min) aansturing van assets die elektriciteit gebruiken (warmtepompen, koelmachines, boilers, verlichting e.d.). Zij kunnen DYNKA-profielen dan ook in analogie opnemen in hun aansturing.

| | |
|--------|---|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 4.3 | Bijlage 4.3.1 Door ontwikkelen en vermarkten gekoppeld ICT-platform (<i>Openbaar</i>) |

Taak 4.4 - Mogelijkheden voor verdere standaardisatie van een dynamisch kantoor klimaat

De projectresultaten kunnen uiteindelijk door ISSO gebruikt worden om een opzet te maken voor de mogelijkheden van een verdere standaardisatie, als alternatief voor de huidige klimaatklassen A, B, C met als basis de NEN-EN-ISO 7730: Klimaatomstandigheden - Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekeningen van de PMV en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid uit het jaar 2005.

Daarnaast zijn, met ondersteuning van het TKI-project "Brains for buildings", inmiddels ook de 1^e resultaten gepresenteerd bij de evaluatie van klimaatklasse A bij kantoren in de praktijk. Hieruit volgt dat er behoefte is aan verdere uitwerkingsniveaus (temperatuurverstelling, reactiesnelheid) voor de gebruikers.

De resultaten uit de TKI-projecten laten zien dat aanpassing en uitbreiding van de vigerende ISSO-publicatie 74 Thermische behaaglijkheid (2014) wenselijk is. In het kader van DYNKA is het gewenst naast vaste setpoints ook dynamisch geregelde setpoints uit te werken in ISSO-74 door te werken met een bandbreedte van de klimaatklassen. De limieten zijn er dan alleen voor evaluatie en niet voor de regeling. Als een gebouw goed geïsoleerd is en goed zijn temperatuur kan handhaven, dan kan de temperatuur vrij bewegen binnen de bandbreedtes. In het kort: Zolang de operationele temperatuur binnen de adaptieve grenswaarden blijft, is men vrij om te kiezen hoe dit behaald wordt (bijv. d.m.v. passieve maatregelen, dynamische setpoints, direct op operationele temperatuur regelen).

Het betekent dat in de illustraties van de ATG klassen de vaste setpoints aangepast c.q. uitgebreid dienen te worden zodat niet op vaste maar vrije setpoints binnen de bandbreedte geregeld kan worden.

| | |
|--------|--|
| | Corresponderende bijlage |
| WP 4.4 | Bijlage 4.4.1 Samenvatting ISSO-publicatie 74 (versie 2014) (Openbaar) |

Samenvatting PERDYNKA

PERsoonlijk DYNamisch licht en binnenklimaat voor Kantoren

Eerder is het TKI Toeslag project PERDYNKA afgerond. De looptijd van PERDYNKA en DYNKA waren niet gelijk, waardoor er na afronding van het PERDYNKA project nog activiteiten uit dit toeslag project zijn uitgevoerd binnen DYNKA.

Doel van het project

PERDYNKA richt zich op de vraag in welke mate een beperkte lokale individuele aansturing van LED-licht en omgevingstemperatuur een dynamisch binnenklimaat, waarmee het energiegebruik nodig voor verwarming of koeling significant verlaagd kan worden, beter acceptabel maakt op individueel niveau. Tevens beoogt PERDYNKA in samenhang met DYNKA hoe dit vertaald kan worden in concrete installatieconcepten en innovatieve 'personal dynamic workplace systems'. Bovendien wordt het concept onderzocht op de positieve effecten op tevredenheid met de werkplek, motivatie en vigilantie en indirect op productiviteit.

De projectaanpak richt zich dus op twee aspecten: het verbeteren van de gezondheid en welzijn én het verminderen van het energiegebruik van gebouwen.

PERDYNKA maakt aldus de energiebesparingen van een dynamisch binnenklimaat beter haalbaar door een grotere acceptatie van de binnenklimaatomstandigheden.

Korte omschrijving van de uitgevoerde activiteiten

Hieronder volgt een overzicht van de uitgevoerde activiteiten binnen PERDYNKA en de link met het DYNKA project. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar het eindrapport van PERDYNKA uit 2020 [PERDYNKA eindrapportage 2020].

Over het geheel genomen is PERDYNKA voorspoedig verlopen. Vertragingen zijn opgetreden vanwege de tijd die nodig was om de onderzoeker (promovendus) te rekruteren en vanwege een stop op het doen van onderzoek door COVID-19 in het voorjaar en de zomer van 2020. Bovendien was thuis werken sinds maart 2020 lang de regel, wat onderzoek naar implementatie in realistische werkomgevingen verhindert. Gezien de korte duur van het project hebben deze vertragingen invloed gehad op het resultaat binnen de termijn die ervoor stond. Gelukkig zijn er belangrijke stappen gezet en uiteindelijk in combinatie met het project DYNKA en hebben zijn de voornaamste doelen binnen looptijd van de projecten PERDYNKA en DYNKA (www.dynka.nl) samen verwezenlijkt.

Allereerst heeft een uitgebreid literatuuronderzoek plaatsgevonden naar de individuele temperatuurregeling. Het heeft geresulteerd in een artikel dat gepubliceerd is in het internationale wetenschappelijk tijdschrift *Energy and Buildings* [Luo et al. *Energy and Buildings* 2022 Bijlage 5.1].

Voor wat betreft het ontwikkelen van een ICT-platform voor individuele aansturing van licht en klimaatbeheersing is een individuele kantoorregeling ontworpen in samenwerking met Ahrend.

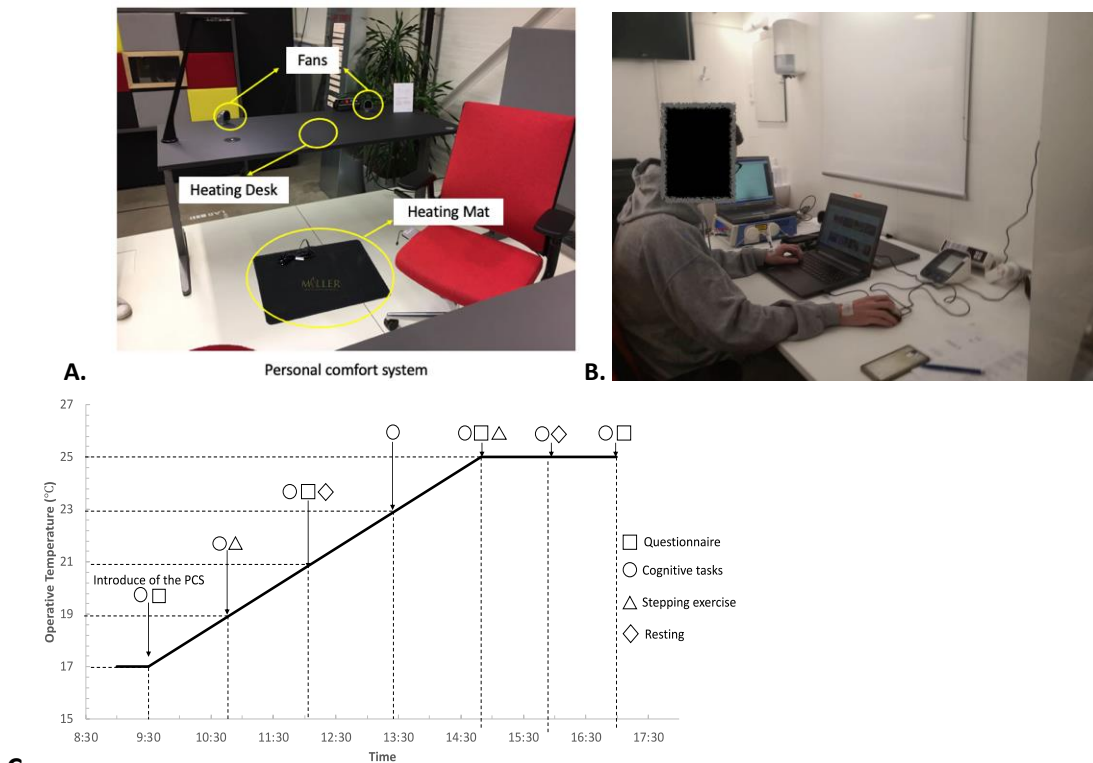
De temperatuur-persoonlijke controle systeem bestond globaal uit een lokale tafelblad-verwarming en ventilatie. Daaraan is toegevoegd een universeel en regelbare voeten-verwarming. Het systeem is vervolgens uitgerust met een monitoringsysteem dat is ontwikkeld samen met de consortiumpartner Almende. Hiermee is de bovengenoemde cross-over studie naar het gebruik van het temperatuur PCS uitgevoerd.

Dit systeem is vervolgens uitgerust met een monitoringsysteem dat is ontwikkeld met de consortiumpartner Almende. Hiermee is een uitgebreide cross-over studie naar het gebruik van het Persoonlijk Comfort Systeem (PCS) uitgevoerd onder laboratoriumomstandigheden in Maastricht.

Voor het persoonlijke controle systeem voor licht is binnen het DYNKA project door Signify een regelmodule voor de kantooromgeving ontwikkeld op basis van LED-licht en getest onder real-life living lab condities in het TUE-gebouw Atlas. Voor PERDYNKA is dit systeem verder doorontwikkeld met implementatie voor individuele lichtaansturing voor gebruik in de respiratiekamers van de Universiteit Maastricht met zicht op toepassing in kantoren. Tevens is een regelmodule ontwikkeld en geïnstalleerd voor gecontroleerde achtergrondverlichting in de respiratiekamers. Een aantal testprotocollen voor individuele lichtcontrole in een dynamisch binnenklimaat zijn succesvol uitgevoerd.

Twee uitgebreide studies naar individuele controle van temperatuur en van licht zijn uitgevoerd.

De eerste studie betrof een cross-over studie uitgevoerd met 18 proefpersonen die werden blootgesteld eenmaal aan een kantoor met dynamische omgevingstemperatuur zonder en eenmaal met temperatuur-PCS. De variatie in temperatuur was van 17 tot 25 °C (Figuur 36). Dit temperatuurtraject is gekozen op basis van eerder ontwikkeld protocol in de DYNKA lab studie ([ref: Ivanova]) Gemeten werden thermo-fysiologische parameters, subjectieve perceptie, cognitieve prestaties en het controlegedrag.

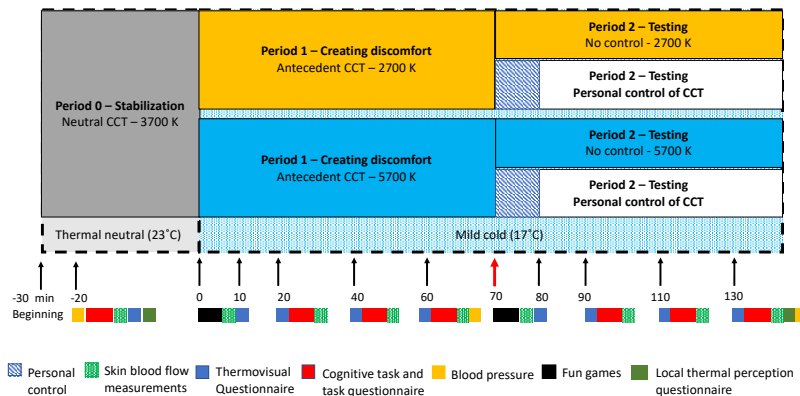


Figuur 36 A. Het gebruikte PCS. B. Meting in de respiratie/klimaatkamer. C. Het protocol voor de opgelegde dynamische omgevingstemperatuur.

Ondanks de stop op de metingen door COVID19 zijn toch alle metingen volgens oorspronkelijk plan afgerond. De studie heeft twee artikelen opgeleverd (Luo et al. Indoor air, 32(1), e12951, Bijlage 5.2; Luo et al. 2023 Bijlage 5.3) De resultaten beschreven in het eerste artikel over de effecten van PCS op comfort en fysiologie laten zien dat het PCS het thermisch comfort in dynamische condities van 17-25 °C, significant verbetert (Figuur 3A). Interessant is dat de effectiviteit van de dynamische temperatuurcondities op de temperatuurverdeling van het lichaam niet verandert. PCS verbetert dus het comfort terwijl de gezonde stimulus van het dynamisch binnenklimaat op de gezondheid gehandhaafd blijft.

Het tweede deel van de resultaten richtte met name de invloed van PCS op cognitieve prestatie. De belangrijkste uitkomsten zijn dat de effecten van de PCS op cognitieve prestaties afhankelijk waren van het soort taak dat werd uitgevoerd. Met name koelen van het hoofd bij warmte speelt een positieve rol bij complexe cognitieve prestaties. Daarnaast bleek dat bij lokale verwarming in een koele omgeving (19°C) de reactietijd werd verhoogd. Tenslotte bleek dat over het gehele temperatuur traject van 17-25°C men zich beter voelde presteren.

De tweede proefserie betrof persoonlijke controle op de lichtconditie. Hiervoor is een uitgebreide studie in 16 proefpersonen onder laboratorium condities uitgevoerd onder milde kou omstandigheden voor een relatief lange duur van 140 minuten in het totaal (Figuur 37). Daarbij werden zowel de variatie in lichtkleur (correlated colour temperature – CCT) als de persoonlijke controle (PCS) van de lichtkleur bestudeerd. Dit heeft geresulteerd in een uitgebreide dataset waarmee twee analyses zijn uitgevoerd resulterend in twee artikelen (Luo et al. in review Bijlage 5.5; Luo et al. in prep.)



Figuur 37 Protocol voor de studie naar effecten van licht en de controle van licht. Persoonlijke controle van licht werd gecombineerd met twee CCT's (2700 K, 5700 K), resulterend in vier scenario's. De verlichtingssterkte werd constant gehouden op 500 lux voor het oog. De rode pijl geeft het begin aan van de persoonlijke controlefase van 10 minuten

In de eerste analyse werden twee lichtkleurcondities vergeleken (roodachtig licht 2700K en blauwachtig licht 5700 K) met dezelfde lichtsterkte. Een algemeen verbreid idee is dat warmer, meer roodachtig licht een meer warm gevoel geeft, zeker in koele omstandigheden. Dat is de z.g. Hue Heat hypothesis. De resultaten laten zien dat thermisch comfort was gerelateerd aan visueel comfort. Maar de CCT had geen effect op thermische sensatie. Licht van 5700 K verbeterde wel het thermisch comfort (tegengesteld aan de voorspelling van de Hue Heat hypothese). Verder had CCT geen effect op visueel comfort, maar 5700 K verbeterde de cognitieve functie. Al met al werd de Hue Heat hypothese niet ondersteund door deze studie. Wel laat de data zien dat meer blauwachtig licht thermisch comfort, alertheid, en cognitieve functie verbetert. Uit de resultaten blijkt dat niet zozeer het visuele systeem hiervoor verantwoordelijk is, maar het niet-visuele systeem. Daarbij spelen met name specifieke fotoreceptoren, de intrinsiek fotoreceptieve retinale ganglion cellen (ipRGSs) en daaraan gekoppeld neurale systeem een rol.

De tweede analyse betrof met name de effecten van persoonlijke controle van CCT, wederom gedurende milde kou omstandigheden. Daarbij was de vraag of PCS niet alleen visueel comfort verbeteren maar ook thermisch comfort en cognitieve performance. Zoals te verwachten viel verbeterde PC-CCT visueel comfort en ook de ervaring betreffende oog-gerelateerde symptomen. Het thermisch comfort werd echter niet significant beïnvloed. Echter, PC-CCT na blootstelling aan 5700 K verbeterde alertheid, planning en bepaalde cognitieve prestaties. Tenslotte bleek dat het hebben van controle (waargenomen en uitgeoefende controle), de psychologie van het hebben van controle, een positief effect lijkt te hebben op visueel comfort, oog-gerelateerde symptomen, ervaren taakprestatie, plezier, en alertheid.

Al met al heeft persoonlijke controle over CCT bij milde kou afhankelijk van de lichtconditie specifieke gunstige effecten betreffende comfort en prestatie. Belangrijk verklarend mechanisme in deze zijn naar alle waarschijnlijkheid de grote interindividuele verschillen tussen mensen wat betreft voorkeur voor lichtkleur en intensiteit.

Al met al is belangrijk inzicht verworven over de effecten en de mogelijkheden van individuele controle van temperatuur en licht in een dynamisch en koel binnenklimaat.

Het doorrekenen van het besparingspotentieel en het opstellen van een scenario voor productontwikkeling en standaardisatie is uitgevoerd in samenhang met het project DYNKA (zie rapport).

Conclusie en aanbevelingen

De resultaten van dit project voldoen aan de doelstelling. Het project kende de volgende werkzaamheden:

- Dynka onderzocht de afstemming van de dynamische licht- en temperatuurcondities op de gebruiker voor praktische toepassing in een kantooromgeving. Hiertoe zijn scenario's ontwikkeld die leiden tot de randvoorwaarden voor een *dynamic office* omgeving, individuele verschillen zijn onderwerp van PERDYNKA geweest
- Validatie, toetsing en implementatie van een dynamisch binnenklimaat hebben plaats gevonden in real life living lab omstandigheden. De dynamische concepten zijn ook in twee realistische omgevingen geïmplementeerd en getoetst. Hieruit is een toolbox ontwikkeld voor een dynamisch office system. Vervolgens zijn op grote schaal twee concepten getest in het Atlas gebouw van TU/e. : Het besparingspotentieel is bepaald aan de hand van dynamische simulaties van benchmark modellen van kantoren. De gesimuleerde besparingen zijn tussen de 40% en 62% afhankelijk van bouwjaar en temperatuureisen.
- Het besparingspotentieel is bepaald aan de hand van dynamische simulaties van benchmark modellen van kantoren.
- Het adaptieve comfort model voor gebouwen met klimaatinstallaties is gebruikt als onderlegger voor de dynamische binnenklimaat scenarios, en is afgestemd met gebouwmodellen om de potentiële besparingen te simuleren. Door middel van simulaties is het besparingspotentieel bepaald, een scenario is opgesteld voor productontwikkeling, en een opzet is gemaakt voor een standaardisatie van een dynamisch kantoor klimaat.
- Data ontsluiting en aansturing van systemen binnen gebouwen blijkt erg lastig te zijn. De aanwezige leveranciers-specifieke systemen zijn veelal niet open waardoor data niet beschikbaar komt en externe aansturing niet mogelijk is.
- De huidige GBS systemen blijken niet geschikt voor dynamische profielen. Een uitbreiding (software, applicatie) hierop is veelal noodzakelijk.

Geciteerde werken

- Bai, Y. e. (2017). Comparative evaluation of heart rate-based monitors: Apple Watch vs Fitbit Charge HR. *J Sports Sci*, 1-8.
- Brown, T. M. (2022). Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in he. *PLoS biology*, 20(3), e3001571.
- Chow, J. e. (2017). Accuracy of step count measured by physical activity monitors: The effect of gait speed and anatomical placement site. . *Gait Posture*, 199-203.
- Chowdhury, E. e. (2017). Assessment of laboratory and daily energy expenditure estimates from consumer multi-sensor physical activity monitors. *PLoS One*, e0171720.
- Forger, D. B. (1999). A simpler model of the human circadian pacemaker. . *Journal of biological rhythms*, 533-538.
- Kronauer, R. E.-E. (1982). Mathematical model of the human circadian system with two interacting oscillators. . *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiolo*, R3-R17.
- Nazari, G. a. (2017.). Minimal Detectable Change Thresholds and Responsiveness of Zephyr Bioharness & Fitbit Charge Devices. *J Strength Cond Res*, .
- Wahl, Y. e. (2017). Criterion-Validity of Commercially Available Physical Activity Tracker to Estimate Step Count, Covered Distance and Energy Expenditure during Sports Conditions. . *Front Physiol*, 725.