

Microklimatisering: een comfort verhogende oplossing om energie te besparen?

Kantoorgebouwen moeten verduurzaamd worden om te voldoen aan de klimaatdoelstellingen. Om hier effectieve strategieën voor te ontwikkelen, heeft het Rijksvastgoedbedrijf enkele jaren geleden een testomgeving ingericht in Rijswijk waar innovatieve klimatiseringstechnieken onderzocht worden op effectiviteit ten aanzien van energiebesparing en gebruikerscomfort. De uitkomsten van het onderzoek geven inzicht in hoeverre de innovatie geschikt is voor verdere opschaling. Daarnaast moet het onderzoek bijdragen aan verdere optimalisatie en inzicht in de randvoorwaarden bij implementatie. In dit artikel wordt ingegaan op de uitkomsten van het onderzoek waarbij de focus ligt op de comfortaspecten van het toepassen van microklimatiseringsoplossingen. Ook wordt ingegaan op de methodologische leerpunten van het praktijkonderzoek.

Om de doelstelling van een energieneutrale gebouwde omgeving in 2050 te behalen, zullen gebouwen op een efficiënte manier geklimatiseerd en verlicht moeten worden. Het Rijksvastgoedbedrijf heeft daarom een testlocatie ingericht om de effectiviteit van enkele innovatieve klimatiseringsoplossingen in de praktijk te onderzoeken. Hierbij is zowel onderzoek gedaan naar het effect op het energiegebruik als naar de ervaringen van de gebouwgebruikers.

In het kantoor van Rijkswaterstaat (RWS) in Rijswijk waren vier verdiepingen vanaf 2018 ingericht als testomgeving (Figuur 1). Op de zesde verdieping is de TL-verlichting vervangen door biodynamische LED-verlichting (lichtverdieping). De zevende verdieping is voorzien van Phase Change Materials (PCM) (klimaatverdieping). Ten slotte is op de achtste verdieping een microklimatiseringsoplossing geïntroduceerd (comfortwerkplekken

van Ahrend), waarmee op werkplekniveau het klimaat en de verlichting aangepast konden worden (licht & klimaat verdieping). De vijfde verdieping functioneerde als referentieverdieping en op deze verdieping zijn geen aanpassingen gedaan aan de klimaatinstallatie of de verlichting. Dit artikel gaat in op de bevindingen van de microklimatiseringsverdieping.

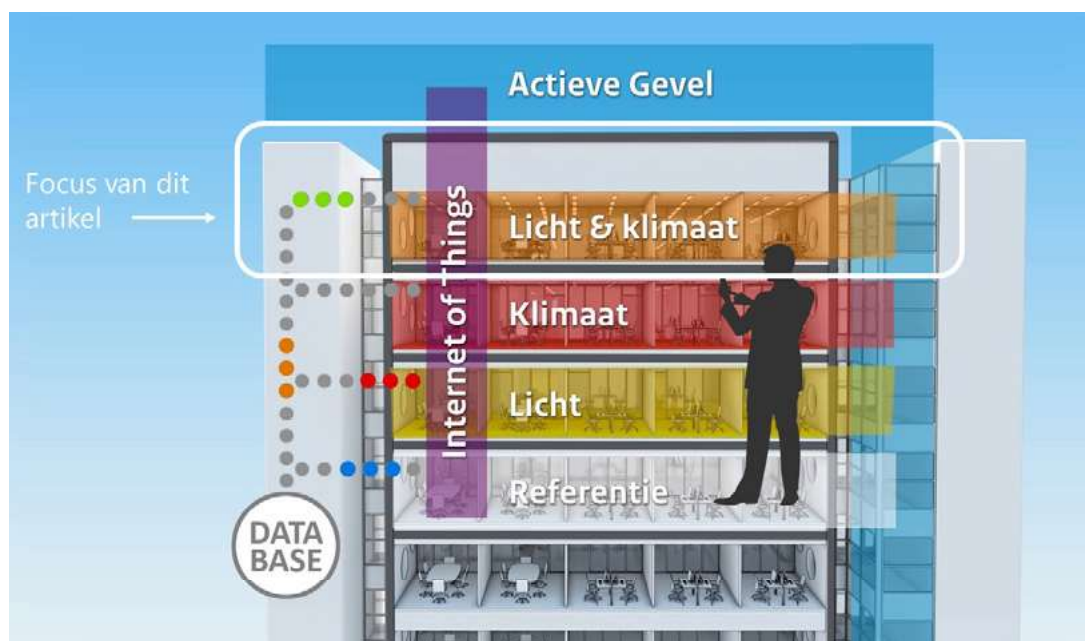
Doel van het deelonderzoek beschreven in dit artikel is:

- Het in kaart brengen van de invloed van de toepassing van comfortwerkplekken in een kantooromgeving op het comfort, de productiviteit en gezondheid van medewerkers.
- Het geven van advies met betrekking tot het implementeren van microklimatisering op de werkplek op basis van de bevindingen van dit onderzoek.
- Het in kaart brengen van mogelijke vervolgstappen van het onderzoek.
- Evalueren of de oplossing geschikt is voor opschaling naar andere kantoren.

Gebouwgebruikers werkzaam op de 5^e (referentie) en 8^e (interventie) verdieping van het gebouw zijn gevraagd om mee te doen aan het onderzoek. Vervolgens zijn de ervaringen van de gebruikers in kaart gebracht door middel van vragenlijsten. De uitkomsten uit de situatie met en de situatie zonder comfortwerkplekken zijn daarna met elkaar vergeleken om de impact van het toepassen van microklimatisering in kaart te brengen.

Evaluatie gebruikerservaringen

De ervaringen van de gebruikers zijn in kaart gebracht met behulp van vragenlijsten. Hierin zijn medewerkers gevraagd naar hun ervaringen met het binnenmilieu, ervaren gezondheid, zelf-ingeschatte productiviteit, alertheid en welzijn.



Figuur 1: Overzicht van de verdiepingen en de interventies op de verdiepingen 5 t/m 8 van het RWS-kantoor aan de Lange Kleiweg in Rijswijk (bron figuur: Rijksvastgoedbedrijf).

In winter 2018/2019 is er op de 8^e verdieping twee keer een vragenlijst onder de gebruikers uitgezet om de tevredenheid met het binnenmilieu in kaart te brengen; zowel voor als na het plaatsen van de comfortwerkplekken. Ook is in het najaar van 2019 en de winter van 2019/2020 onder alle medewerkers van de 5^e en 8^e verdieping een vragenlijst uitgezet (zie Figuur 2).

Daarnaast zijn er op beide verdiepingen duurmetingen uitgevoerd van de temperatuur. Na de winter van 2020 is het onderzoek stilgevallen vanwege de Coronapandemie. Hierdoor kon het onderzoek gepland in de zomer van 2020 niet doorgaan.

Alle medewerkers die met enige regelmaat (≥ 1 dag per week) op de achtste verdieping of de vijfde verdieping (referentie) werkzaam zijn, zijn benaderd om deel te nemen aan het onderzoek. Tijdens elke meting waren er per verdieping tussen de 17 en 29 personen die meededen aan het onderzoek. De aantallen per meting en verdieping zijn weergegeven in figuur 2

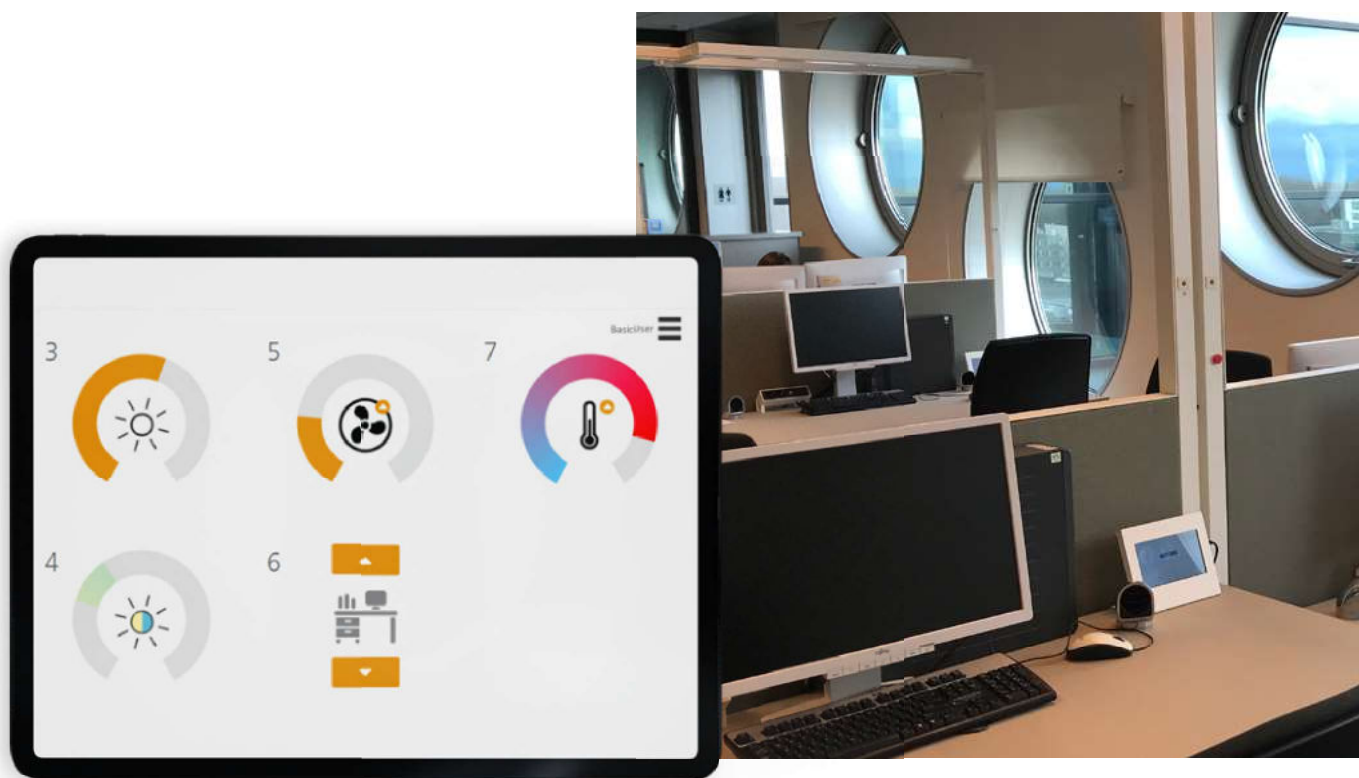
(N=totaal aantal deelnemers, daarachter de verdeling man – vrouw (m/v).

Comfortwerkplekken

De Ahrend Team_up comfortwerkplekken beschikken over een te verwarmen bureaublad, ventilatoren om de lichtsnelheid op de werkplek te regelen, verlichting met zelf in te stellen intensiteit en kleurtemperatuur en zelf instelbare bureauhoogte (om zowel staand als zittend te kunnen werken). Op het bureau staat een scherm met een interface om deze functionaliteiten te bedienen (Figuur 3). Door op het touchscreen de slider in de cirkel te draaien, kunnen de instellingen per parameter aangepast worden. De bureaus zijn voorzien van een aan/uit controlesysteem op basis van bezetting van het bureau.

	Meting 1 winter Jan '19 Maart '19		Meting 2 najaar Sept / okt '19	Meting 3 winter Feb '20
8 ^e micro-klimatisering	Vragenlijst N=27 (12/17)	Vragenlijst N=20 (7/13)	Vragenlijst N=17 (5/12)	Vragenlijst N=20 (8/12)
5 ^e referentie			Vragenlijst N=20 (7/13)	Vragenlijst N=19 (12/7)

Figuur 2: Overzicht onderzoeken uitgevoerd naar de tevredenheid over de comfortwerkplekken op de 8^e etage in de Testomgeving. Meting 1 vond geheel plaats op de 8^e etage voor en na het plaatsen van de comfortwerkplekken, tijdens meting 2 en 3 is de ervaring op de 8^e etage vergeleken met de ervaringen op de 5^e etage (standaardbureaus).



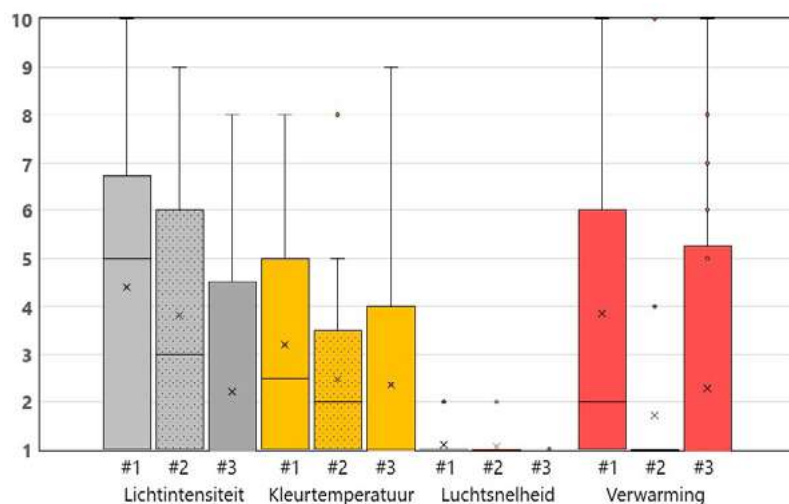
Figuur 3: Links de Interface comfortwerkplek voor het bedienen van de lichtintensiteit (3), kleurtemperatuur (4), luchtsnelheid (5), bureauhoogte (6) en bureaubladverwarming (7) en rechts een foto van de werkplekken.

De verdieping wordt verlicht met TL-verlichting. Hiermee wordt een horizontale verlichtingssterkte behaald van 300-350 lux op werkplekniveau met een kleurtemperatuur van 4000K. Na het plaatsen van de comfortwerkplekken is de verlichting op ruimteniveau niet gewijzigd en was deze soms aan- en soms uitgeschakeld (schakelaar op de verdieping). Het ruimtesetpoint is na het plaatsen van de comfortwerkplekken bijgesteld van 22°C naar 21°C. De oorspronkelijk gekozen waarde van 19°C leidde vanwege het grote verschil met de andere verdiepingen en het voorgaande setpoint tot te veel klachten. De aanwezige ruimtethermostaten zijn geblokkeerd, waardoor de gebruiker het ruimtesetpoint niet meer kon beïnvloeden.

Gebruik van de lokale klimatiseringsmogelijkheden

Het gebruik van de comfortwerkplekken op het moment van invullen van de vragenlijst is in Figuur 4 met boxplots per aspect en per meetmoment weergegeven. Te zien is dat de verlichting (intensiteit en kleur) door de meerderheid gebruikt werd, met name in de lagere standen (tot stand 5). De bureaubladverwarming werd in de winter veel gebruikt door de respondenten (metingen #1 en #3)

en in het najaar niet (meting #2). Geen van de respondenten maakte op het moment van invullen van de vragenlijst gebruik van de mogelijkheid om de luchtsnelheid te beïnvloeden. Met name in de zomer, wanneer verkoeling gewenst is, biedt het verhogen van de luchtsnelheid de mogelijkheid om het thermisch comfort te verbeteren. De zomerperiode ontbrak in dit onderzoek.



Figuur 3: Boxplots met de ingestelde standen (1 laagste stand tot 10 hoogste stand) van de comfortwerkplekken per aspect en per meting (#1: winter 2019, #2: najaar 2019 en #3: winter 2020).



Tevredenheid temperatuur

Uit de reacties op de drie vragenlijsten blijkt dat met name in de winter het percentage tevreden over de temperatuur positief beïnvloed wordt door de comfortwerkplekken. Ook in het najaar is er een enigszins positief effect. Voordat de comfortwerkplekken op de 8^e verdieping geplaatst waren (gelijk aan de referentiesituatie), gaf slechts 39% van de respondenten in de winter van 2019 aan tevreden te zijn over de temperatuur op de werkplek (Figuur 6). Na het plaatsen van de comfortwerkplekken was dit percentage significant gestegen naar 89% ($p < 0,01$). In de referentiesituatie waren er met name veel klachten over wisselende temperaturen (38%), na het plaatsen van de comfortwerkplekken is dit gedaald tot 0%. Ook het aantal klachten over "vaak te koud" en "vaak te warm" is in de winter afgenomen na het plaatsen van de comfortwerkplekken.

In de winter van 2020 is de tevredenheid met de temperatuur (74%) hoger op de 8^e verdieping dan op de referentieverdieping (53%). In het najaar is het verschil kleiner: een tevredenheidspercentage van 40% op de referentieverdieping en 53% op de verdieping voorzien van microklimatisering.

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat het percentage van tevreden op de 5^e verdieping met 40% laag is.

Mogelijk wordt de relatieve bijdrage van de comfortwerkplekken beïnvloed wanneer de tevredenheid in de situatie voor interventie op de referentieverdieping al hoger was.

Tevredenheid verlichting

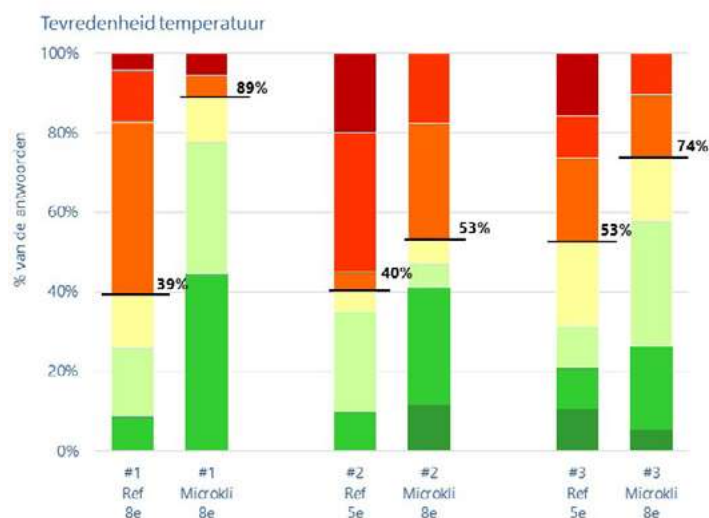
In het algemeen geven de respondenten aan tevreden te zijn over de verlichting op de werkplek. In de winter van 2019 gaf 85% aan tevreden te zijn over de verlichting op de werkplek in de situatie zonder de comfortwerkplekken. Na het plaatsen van de comfortwerkplekken met verlichting op werkplekniveau, was de tevredenheid toegenomen tot 100%, zie Figuur 6. Ook in het najaar was de tevredenheid met de verlichting hoog: zowel op de referentieverdieping met 80%, als op de interventieverdieping met 88%. In de winter van 2020 gaven alle respondenten aan neutraal tot zeer tevreden te zijn met de verlichting op de werkplek, zowel op de verdieping met comfortwerkplekken (8^e verdieping) als op de referentieverdieping (5^e verdieping).

Productiviteitseffect, gezondheid en welzijn

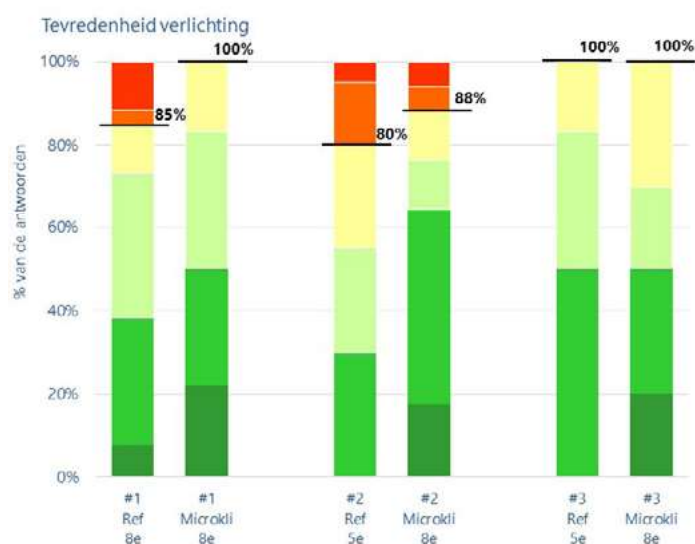
Op de vraag of men last heeft van gezondheidsklachten die verdwijnen na het verlaten van het gebouw, was er in de winter van 2019 geen verschil tussen de referentiesituatie (36% "ja") en de situatie met microklimatisering (37% "ja"). In het najaar van 2019 lijkt er een verschil (niet statistisch significant) tussen beide verdiepingen; op de referentieverdieping gaf 50% aan hier last van te hebben en op de microklimatisering-verdieping 35%. Met name klachten over droge ogen, verstopte/volle neus, droge keel, hoofdpijn en geïrriteerde ogen komen vaker voor op de referentieverdieping dan op de verdieping voorzien van de comfortwerkplekken (najaar 2019). Verontreinigingen in de lucht kunnen een oorzaak zijn voor deze gebouwgebonden gezondheidsklachten, maar ook verlichting, temperatuur en geluidsoverlast zijn van invloed.

Zowel in het najaar als in de winter van 2019 lijken de comfortwerkplekken een enigszins positief effect te hebben op de zelf-ingeschatte productiviteit van de respondenten, deze was 5% hoger ($p=0,07$). In de winter van 2020 is er géén verschil te zien tussen de zelf-ingeschatte productiviteit op de referentieverdieping en de microklimatiseringsverdieping. Ook op de vraag hoe alert men zich voelt op het moment van invullen van de vragenlijst is geen verschil zichtbaar tussen beide verdiepingen.

De scores voor zelf ingeschat welzijn [1] waren vergelijkbaar op beide verdiepingen, zowel in de winter van 2019 als in het najaar. Ook de scores voor zelf ingeschatte slaapkwaliteit [2] verschilden niet significant tussen de interventieverdieping en referentiesituatie.



Figuur 5: Overzicht percentage tevreden met de temperatuur tijdens de drie momenten voor de referentie en de microklimatisering.



Figuur 6: Overzicht percentage tevreden met de verlichting tijdens de drie momenten voor de referentie en de microklimatisering.

Energiebesparing

In het huidige onderzoek bleek de invloed van warmteverlies door het dak een te grote verstoring factor ten opzichte van de referentieverdieping om een inschatting te maken van de energiebesparing [3]. Door de toegenomen mate van flexwerken en de campagne "Zet de knop om" is microklimatisering een interessante oplossing om het comfort van de gebruikers op een energie-efficiënte manier te

verhogen. Het besparingspotentieel in het stookseizoen is namelijk het grootst bij een lage of wisselende bezetting omdat er dan minder klimaatbureaus nodig zijn die energie gebruiken.

Conclusie

In de onderzoeksperiode (winter en najaar) maakten de respondenten gebruik van de mogelijkheden om de verlichting naar wens in te stellen en de verwarming van het bureaublad in te schakelen. Deze mogelijkheden hadden in het onderzoek een positieve invloed op de tevredenheid van de gebruikers over de temperatuur en het licht op de werkplek. De uitkomsten van dit onderzoek sluiten aan bij een eerdere veldstudie waar vergelijkbare bureaus geplaatst waren. Ook daar had de interventie een positieve invloed op de tevredenheid van de gebruikers.[4]

Door het ontbreken van een onderzoek naar de tevredenheid van de gebruikers in de zomerperiode, kon niet worden vastgesteld wat de invloed is van het toepassen van microklimatisering op thermisch comfort in het zomerseizoen. Gebruikers waren over het algemeen tevreden over het lokaal regelen van de verlichting. Wel is het van belang dat het achtergrondlichtniveau voldoende hoog is om donkere zones te voorkomen.

Aandachtspunten bij implementatie:

Uit het onderzoek komt naar voren dat de volgende randvoorwaarden van toepassing zijn:

- Uit het oogpunt van energiebesparing dient het setpoint van de ruimtetemperatuur bijgesteld te worden. In de winter kan het setpoint (minimaal 1°C tot 2°C) naar beneden worden bijgesteld en in de zomer naar boven om de energiebehoefte voor koelen en verwarmen op ruimteniveau te verminderen. Daarnaast is per werkplek een grote variantie in temperatuur gedurende de dag mogelijk [5].
- Het dient technisch mogelijk te zijn om de verlichting traploos te dimmen (in plaats van enkel een aan-of-uitschakeling) om te voorkomen dat de zones zonder of met een lage bezetting niet worden verlicht. Bij voorkeur is het ook mogelijk om de lichtintensiteit per zone in te stellen om locaties zonder bureaus voldoende te verlichten; bijvoorbeeld overlegruimten waar niet in lokale klimatisering is voorzien.
- Het energetische voordeel hangt sterk af van de mate waarin de condities op ruimteniveau bijgesteld worden: de mate waarin de ruimtetemperatuur in de winter verlaagd en in

de zomer verhoogd kan worden. Daarnaast zal het energetische voordeel groter zijn in gebouwen met een relatief lage bezetting en in slecht geïsoleerde gebouwen waar klimatiseren op ruimteniveau relatief veel energie kost.

Vervolgonderzoek

Om ook de energetische winst te vergroten en verdere opschaling mogelijk te maken dient vervolgonderzoek zich te richten op de vraag in hoeverre het temperatuurssetpoint mee kan bewegen met de buitentemperatuur, zonder dat de tevredenheid over de temperatuur negatief beïnvloed wordt. Ook voor de verlichting zal gekeken moeten worden wat in de specifieke situatie de beste combinatie is van basisniveau en individuele speelruimte.

Methodologische leerpunten

Naast de inhoudelijke uitkomsten, zijn er tijdens het onderzoek leerpunten opgedaan over het uitvoeren van een dergelijk praktijkonderzoek. Hieronder staan aspecten beschreven die in het huidige onderzoek van invloed waren en welke consequenties deze hadden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er in een praktijkonderzoek (bijna) altijd concessies gedaan zullen moeten worden ten opzichte van de optimale situatie. Wel is het zinvol om, waar mogelijk, van tevoren in kaart te brengen wat de knelpunten zijn, zodat het onderzoek daarop aangepast kan worden om de uitkomsten goed te kunnen interpreteren en in de juiste context te kunnen plaatsen.

De manier waarop het gebouw gebruikt wordt, heeft een belangrijke invloed op het onderzoek. Allereerst was het kantoor in dit onderzoek ingericht met flexwerkplekken. De respondenten werken dan ook niet altijd op dezelfde verdieping; bijvoorbeeld omdat ze ergens anders in het gebouw een vergadering of overleg hebben. Ook zijn niet alle medewerkers gedurende de werkweek in hetzelfde gebouw werkzaam, waardoor de invloed van de blootstelling minder sterk beïnvloed wordt door de condities op het kantoor (dit is met name van belang voor de niet acute uitkomstparameters, zoals gezondheidsparameters en slaapkwaliteit). Hierdoor treedt er minder gewenning op (adaptie) aan de heersende omgevingscondities in vergelijking met medewerkers die wel een volledige werkweek op één van de verdiepingen werken. Naast de invloed van flexwerken op de blootstellingsduur is het ook lastiger om gebruikers te committeren om mee te werken aan het onderzoek, omdat zij op verschillende locaties werken.

Het evalueren van ervaringen van gebruikers tijdens de werkdag heeft als voordeel dat de reacties en prestaties in een representatieve omgeving in kaart gebracht worden. Het nadeel dat onderzoeken die

de momentane ervaring evalueren, lastig uit te voeren zijn omdat ze moeten passen in de agenda van de participanten.

Het binnenmilieu heeft een belangrijke invloed op productiviteit en gezondheidsparameters. Echter verschillen deze uitkomstmaten sterk tussen personen en zijn daarnaast afhankelijk van externe factoren. De verwachte effectgrootte in combinatie met de verwachte variatie, behoeft dan ook een grote onderzoeksgroep om effecten in kaart te brengen en statistisch te kunnen onderbouwen.

Ten tijde van de gebouwselectie dient de onderzoeksopzet dan ook al voldoende uitgewerkt te zijn om na te kunnen gaan of het gebouw aan alle (technische-) randvoorwaarden voldoet. Indien dit niet het geval is, kan gekozen worden om het onderzoek in een ander gebouw uit te voeren of de onderzoeksopzet aan te passen.

Verantwoording

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Rijksvastgoedbedrijf. Voor meer informatie over duurzame innovaties bij het Rijksvastgoedbedrijf kijk op: <https://www.rijksvastgoedbedrijf.nl/onderwerpen/duurzame-innovaties>. De auteurs van dit artikel zijn werkzaam bij bba binnenmilieu en hebben onderzoek gedaan naar de comfortaspecten van deze innovaties. Adviesbureau van Beek heeft het energiegebruik onderzocht.



Dr. ir. M. (Marije) te Kulve



Dr. ir. A.C. (Atze) Boerstra

Referenties

1. Topp et al, 2015 The WHO-5 Well-Being Index: A Systematic Review of the Literature *Psychother Psychosom* 2015;84:167–176
2. Mulder Hajonides van der Meulen WREH, Wijnberg JR, Hollander JJ, De Diana IPF, and van den Hoofdakker RH (1980) Measurement of subjective sleep quality. *European Sleep Research Society Abstracts*, 5, 98
3. Vanbeek adviseurs, Rapportage opschaling innovaties PGI Kantoor Rijswijk, Deel 1, dec 2022
4. TU Delft, 2019 IMPEKT-werkplek Gebruikerservaring en energiebesparing, Onderzoek uitgevoerd in het kader van TKI-project Implementatie Persoonlijk Klimaat (IMPEKT)
5. Luo, W., Kramer, R. P., de Kort, Y. A., Rense, P., & van Marken Lichtenbelt, W. (2021). The effects of a novel personal comfort system on thermal comfort, physiology and perceived indoor environmental quality, health implications: Stimulating human thermoregulation without compromising thermal comfort. *Indoor Air*, 20(X).