

OfficeComfort

D3.1

Veldexperimenten

Samenvatting

Als onderdeel van het TKI project OfficeComfort zijn veldexperimenten uitgevoerd om de verfijnde methodiek te evalueren die is ontwikkeld in WP1. De vraag die we met het veldexperiment willen beantwoorden is of het lukt om met verfijnde metingen via de meetsets een inschatting te maken van het verwachte ervaren thermisch comfort om zo tijdig comfortrisico's te kunnen signaleren.

Om dit te evalueren zijn metingen en analyses uitgevoerd. Op basis van metingen met meetsets is volgens de voorgestelde verfijnde methodiek een inschatting gemaakt van het comfort op de testverdieping. Deze is vervolgens vergeleken met de subjectieve comfortbeleving van de gebruikers die middels vragenlijsten en enquêtes is bepaald.

Met de verfijnde methode is het mogelijk om een veel gedetailleerder beeld te krijgen van discomfortrisico's dan op basis van één meting per ruimte door een GBS systeem mogelijk is. Door op meerdere plekken verspreid over een ruimte en op meerdere hoogtes de temperatuur te meten is het mogelijk om te bepalen of er kans is op discomfort doordat er plekken zijn waar de temperatuur buiten de bandbreedte van het aangehouden comfortniveau valt, er mogelijk sprake is van verschillen in temperatuur tussen werkplekken, een verticale temperatuur gradiënt of lokale fluctuaties in de tijd.

Op de testverdieping heeft deze verfijnde methode tot een gedetailleerd beeld geleid van de discomfortrisico's. De discomfortrisico's blijken in de testperiode gering te zijn en beperken zich tot korte perioden onder de 20°C op de ochtend na een koud weekend. Dit wordt bevestigd door de subjectieve metingen: de medewerkers zijn overwegend tevreden over het klimaat op hun verdieping in de testperiode. Het enige dat er gevonden is, is een lichte trend dat een deel van de werknemers het soms aan de koude kant vindt, vooral in de ochtend.

Doordat het comfortniveau op de testverdieping tijdens de testperiode behoorlijk goed was, is het slechts beperkt mogelijk om de verfijnde methode gedegen te beoordelen. Binnen die beperking, werkt de verfijnde methode goed en kunnen de discomfortrisico's beter voorspeld worden dan met GBS data. Aangeraden wordt de verfijnde methode te evalueren op een locatie waar meer klachten zijn, bijvoorbeeld op de huidige verdieping in een warme zomerperiode.

Inhoud

SAMENVATTING	2
INHOUD	3
1 INLEIDING	4
2 OPZET EVALUATIEMETHODE.....	4
2.1 INLEIDING.....	4
2.2 BESCHRIJVING TESTLOCATIE	5
2.3 DATAVERZAMELING VIA MEETSETS OP DE TESTLOCATIE	5
2.3.1 Locatie temperatuursensoren.....	5
2.3.2 Ruwe data: data kwaliteit en data correctie.....	7
2.4 DATA VERZAMELING VIA VRAGENLIJSTEN COMFORTBELEVING GEBRUIKERS.....	11
2.5 DATA VERZAMELING VIA KLACHTEN REGISTRATIE	12
3 RESULTATEN DATA ANALYSE	13
3.1 INLEIDING.....	13
3.2 DATA ANALYSE TEMPERATUURSENSOREN.....	13
3.2.1 Temperaturen buiten operationele grenzen.....	13
3.2.2 Temperatuurverschillen over de tijd.....	20
3.2.3 Temperatuurverschillen in het verticale vlak.....	20
3.2.4 Temperatuurverschillen in het horizontale vlak.....	23
3.3 DATA ANALYSE SUBJECTIEVE COMFORTBELEVING	25
3.3.1 Analyse ervaren comfort via vragenlijsten.....	25
3.3.2 Klachtenregistratie.....	28
3.4 ANALYSE VERGELIJKING GEMETEN EN ERVAREN COMFORT.....	29
4 CONCLUSIES	32
4.1 INLEIDING.....	32
4.2 CONCLUSIES.....	32
BIJLAGE 1 TESTVERDIEPING	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
BIJLAGE 2 TESTVERDIEPING	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
BIJLAGE 3 RESULTATEN SUBJECTIEF COMFORT	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
BIJLAGE 4 POSITIES REACTIES ERVAREN TEMPERATUUR.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de opzet en resultaten van het veldexperiment op de testverdieping van het TKI OfficeComfort project. Het doel van het veldexperiment is om de verfijnde methodiek, die is ontwikkeld in WP1, te evalueren. De vraag die we in dit rapport willen beantwoorden is of het lukt om met verfijnde metingen via de meetsets een inschatting te maken van het verwachte ervaren thermisch comfort om zo tijdig discomfortrisico's te kunnen signaleren.

De aanpak die we hebben gehanteerd om dit te evalueren is als volgt. Op basis van metingen met meetsets is volgens de voorgestelde verfijnde methodiek een inschatting gemaakt van het comfort op de testverdieping. Deze is vervolgens vergeleken met de subjectieve comfortbeleving van de gebruikers die middels vragenlijsten en enquêtes is bepaald.

De rapportage is als volgt opgebouwd: Hoofdstuk 2 beschrijft de opzet van de evaluatiemethode: de testlocatie wordt beschreven, evenals de opzet van de metingen. Er wordt beschreven welke sensoren zijn gebruikt voor de verfijnde methode en waar die zijn geplaatst. Tevens worden de ruwe resultaten van de data getoond. Ook wordt beschreven hoe het subjectieve comfort is gemeten. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens de analyse van de resultaten van de metingen in detail. Eerst worden de temperatuurmetingen geanalyseerd en vervolgens de subjectieve comfort metingen. Daarna worden deze naast elkaar gezet en met elkaar vergeleken: In hoeverre rapporteren medewerkers een vergelijkbaar ervaren comfort als er met de sensoren gemeten wordt? Dit leidt uiteindelijk tot conclusies in hoofdstuk 4.

2 Opzet evaluatiemethode

2.1 Inleiding

Om de verfijnde meetmethodiek die het daadwerkelijke thermisch comfort van kantoormedewerkers beter kan vaststellen te evalueren zijn verschillende soorten data verzameld op een kantoorverdieping van één van de kantoren van ING. De metingen hebben plaatsgevonden van begin januari 2019 tot begin maart 2019.

Een beschrijving van de testlocatie wordt gegeven in paragraaf 2.2. De volgende data is hier verzameld:

- Dataverzameling via meetsets: Verschillen in ervaren thermisch comfort kan het gevolg zijn van vele aspecten (zie D1.1). Enkele daarvan zijn meetbaar met temperatuursensoren: er kan sprake zijn van lokale verschillen in temperatuur tussen de werkplekken en er kan op plekken sprake zijn van een te grote temperatuur gradiënt. Om dit soort aspecten te bekijken, zijn op diverse plekken en op diverse hoogten temperatuursensoren geplaatst.
- Data verzameling comfortbeleving gebruikers via vragenlijsten: Om te weten of temperatuurverschillen en temperatuurgradiënten daadwerkelijk tot

ervaren discomfort leiden is de subjectieve comfortbeleving gemeten met interviews en digitale vragenlijsten.

- Data verzameling via klachtenregistratie: Als aanvullende informatiebron over het ervaren comfort is tevens het bestaande klachtenregistratiesysteem gebruikt.

Daarnaast is gekeken of het GBS aanvullende informatie kan leveren. Als de gemeten lokale temperaturen afwijken van de ingestelde temperatuur volgens het GBS is dat een belangrijk signaal. Het bleek echter niet mogelijk om de ingestelde temperatuur in de ruimte via het GBS te achterhalen. Dit komt doordat de thermostaten in de ruimte niet zijn aangesloten op het GBS. De thermostaten worden alleen gebruikt om de lokale naverwarming en koeling aan te sturen, zonder dat deze gegevens verder worden opgeslagen.

In de volgende paragrafen worden de verschillende methoden van dataverzameling nader toegelicht.

2.2 Beschrijving testlocatie

De metingen vonden plaats in gebouw Acanthus van ING, Bijlmerdreef 24, Amsterdam, verdieping 4, bouwdeel C. De vleugel die ons ter beschikking stond krijgt gedeeltelijk de ochtendzon en deels de middagzon (in de winter). Het betreft een ruimte op verdieping 4, bouwdeel C. De ruimte bevindt zich onder het dak. Een plattegrond en foto's van het gebouw zijn bijgevoegd in bijlage 1. De verdeling van de bureaus over de ruimte is gegeven in Figuur 1 in paragraaf 2.3.

De meeste werkplekken zijn gegroepeerd in opstellingen van 5 tot 8 plekken tegen elkaar aan, meestal haaks op het raam, één groep bureaus staat parallel aan het raam. De ruimte is heel open, maar zit aan één kant naast de kantine en aan de andere kant zit een toiletblok. Hierdoor ontstaan scheidingswanden. Verder zitten er twee vergaderzalen (glas van vloer tot plafond) en staan er enkele kastenwanden (niet tot het plafond).

De totale ruimte waar de meting plaatsvindt bevat 30 werkplekken. Het betreft flexplekken, maar de meeste werknemers zitten vaak op een vaste plek. Omdat dit niet voor iedereen geldt, zijn voor deze studie alle bureaus genummerd met behulp van een sticker. Deze wordt gebruikt om de subjectieve metingen en klachten via de klachtenregistratie te koppelen aan een locatie en daarmee een koppeling te kunnen maken met de data van de temperatuursensoren.

2.3 Dataverzameling via meetsets op de testlocatie

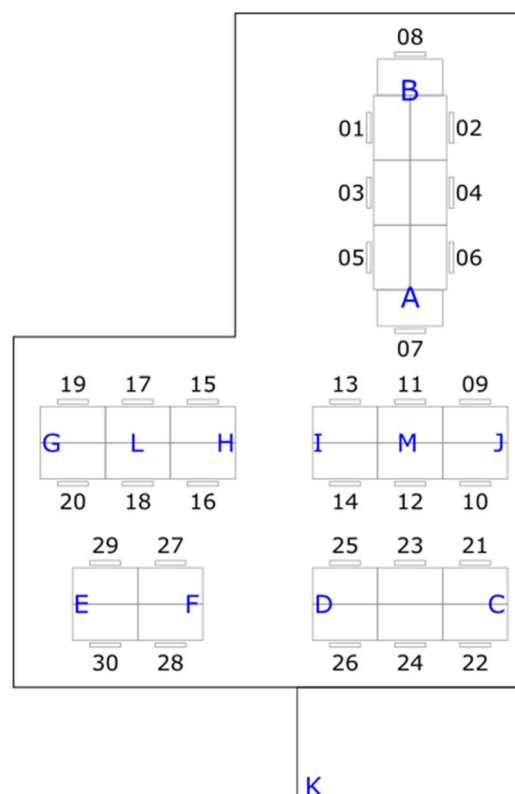
2.3.1 Locatie temperatuursensoren

Op de testlocatie zijn op verschillende plaatsen en verschillende hoogtes temperatuursensoren geplaatst die de luchttemperatuur meten. De sensoren meten naast temperatuur ook relatieve luchtvochtigheid, CO2 niveaus en VOC niveaus. De studie richt zich uitsluitend op het thermisch comfort en aangezien er geen grote schommeling in relatieve vochtigheid zijn gemeten, is in de studie

alleen de data van de temperatuur sensoren meegenomen. Deze metingen hebben als doel om het volgende te onderzoeken:

- Welke lokale verschillen in temperatuur zijn er over de ruimte en zijn er plekken waar de temperatuur (een deel van de tijd) buiten de comfortklasse valt? Temperatuurverschillen kunnen een oorzaak zijn van verschillen in ervaren comfort tussen medewerkers. Tevens kan het een reden zijn waarom het GBS systeem (dat op één locatie meet) aangeeft dat een ruimte binnen de comfortgrenzen zit, terwijl werknemers dat niet overal zo ervaren.
- Welke verticale temperatuurgradiënt is er over de ruimte? Een te grote verticale temperatuurgradiënt kan ervaren discomfort mogelijk verklaren, ondanks dat het GBS systeem aangeeft dat er niets aan de hand is.
- Welke temperatuurgradiënt is er over de tijd? Een te snelle stijging of daling van de temperatuur wordt door mensen opgemerkt.

Om dit te meten zijn in de ruimte 26 sensoren aangebracht. De sensoren zijn verdeeld over 12 verschillende locaties en 3 verschillende hoogtes: laag (10 cm boven de vloer), midden (bureauniveau) en hoog (50 cm boven het bureau). In verband met de kosten van de sensoren zijn niet op alle locaties in de ruimte 3 sensoren aangebracht. De verdeling van de sensoren over de ruimte en hoogtes is weergegeven in onderstaande figuur en tabel. Elke sensor heeft een unieke ID in de database, welke weergegeven is in dezelfde tabel.



Figuur 1: Schematische weergave van de bureaunummering en verdeling van de sensoren

(Nb. Sensor K bevindt zich buiten het meetgebied)

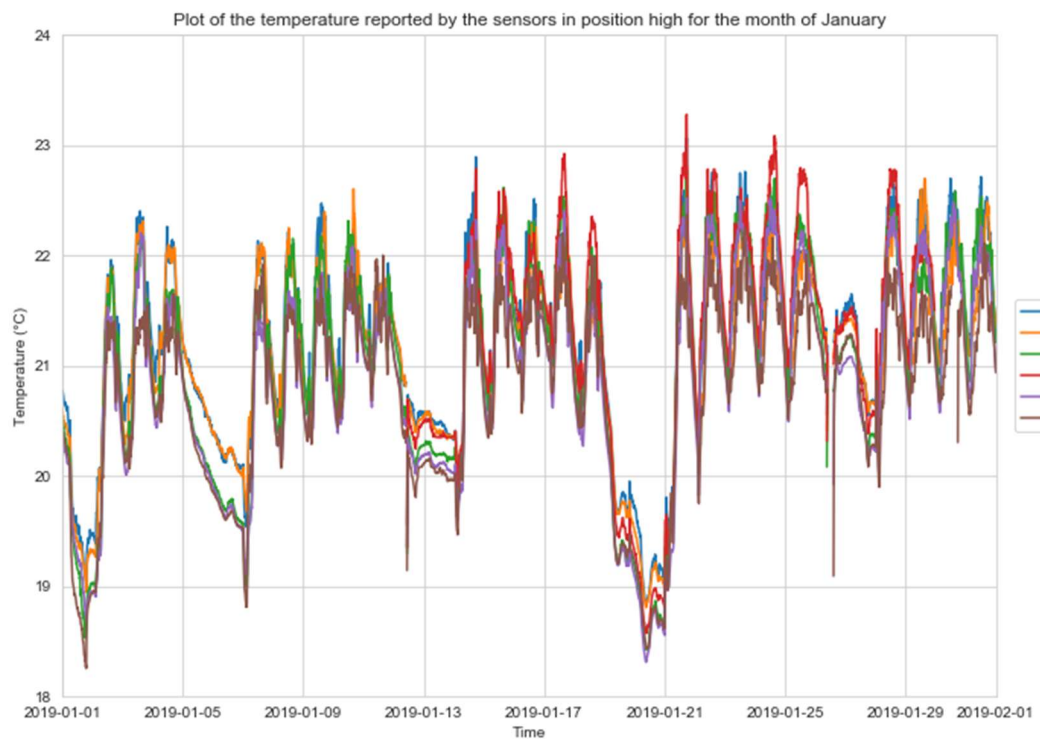
Tabel 1: Sensoren nummering

	Hoog	Midden	Laag
A	270	267	268
B	251	283	280
C	286	272	278
D	256	289	257
E		281	273
F		284	252
G		274	275
H		288	255
I		277	296
J		276	279
K	263		
L	271		
M	261		

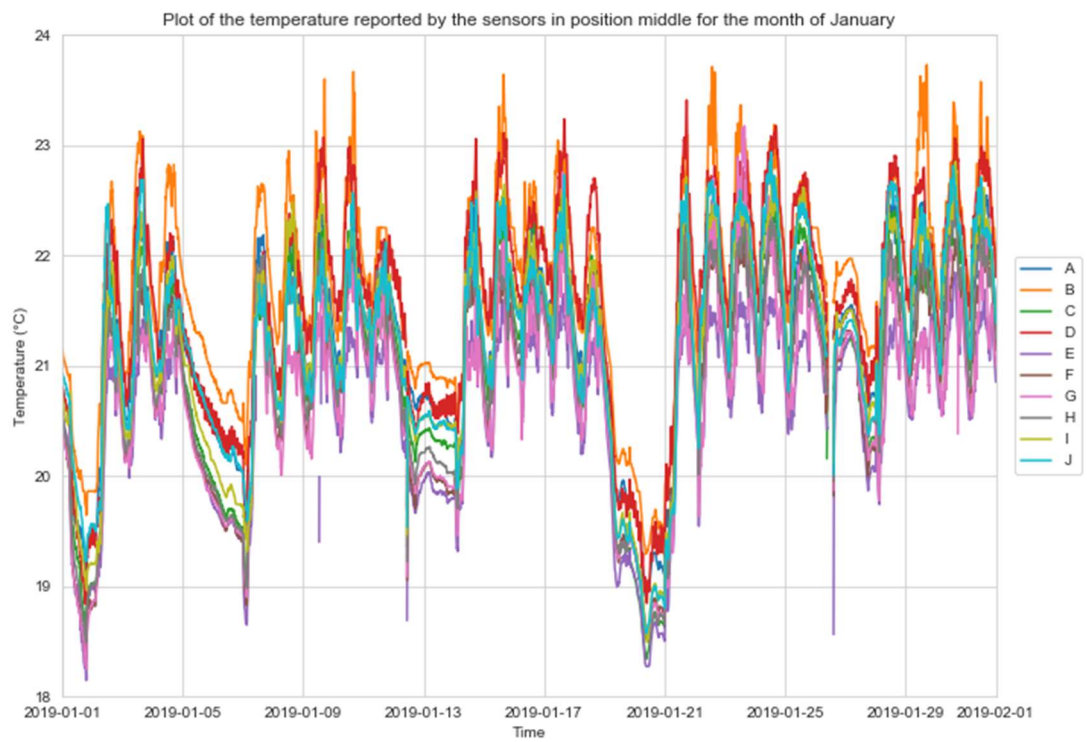
Nb. Sensor K bevindt zich buiten het meetgebied

2.3.2 Ruwe data: data kwaliteit en data correctie

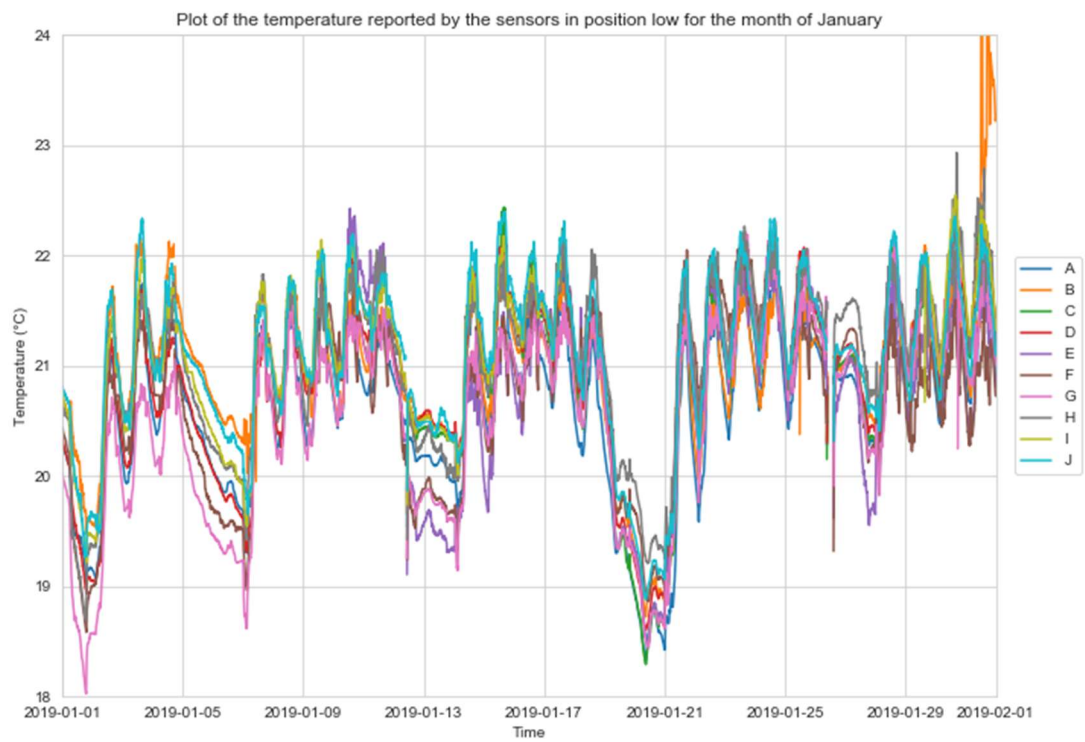
Figuren 2, 3 en 4 geven de gemeten temperaturen door de sensoren weer in de maand januari voor de verschillende posities (hoog, midden en laag). Figuur 5 geeft de gemeten temperatuur weer op één positie, namelijk positie A, op 3 hoogtes (laag, midden en hoog). Zoals te zien is rond bijvoorbeeld 26 januari als de sensoren tijdelijk geen data hebben gemeten dan hebben ze enige tijd nodig voordat ze weer correcte waarden geven. Ook is aan het eind van de maand te zien dat de lage sensor in groep B ineens hogere waarden is gaan geven dan voorheen. Dit kwam doordat deze sensor verplaatst was en incorrect was neergelegd. De data is op dit soort ongeregelde heden onderzocht, en foutieve data is uit de dataset gehaald. Daarnaast hebben we voor het bekijken van comfortcriteria alleen naar data gekeken tussen 6:00 en 20:00 op werkdagen, omdat we redelijkerwijs aan kunnen nemen dat het gebouw buiten deze tijden niet wordt gebruikt.



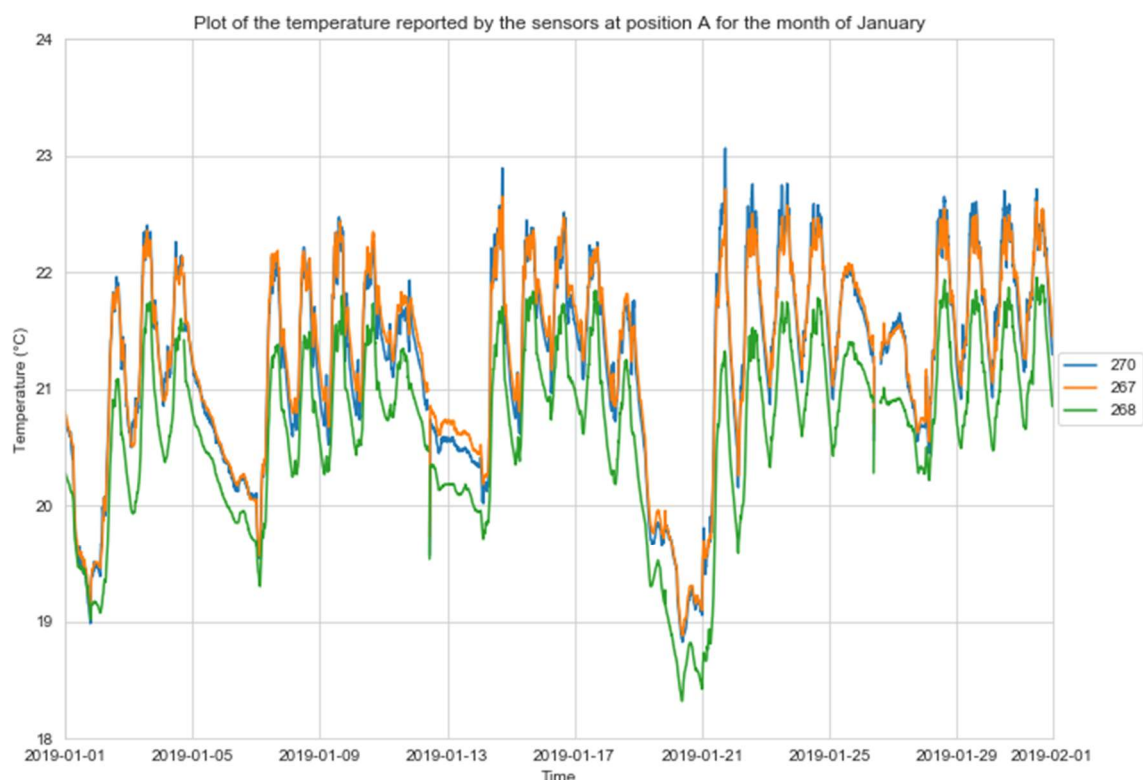
Figuur 2: Gemeten temperaturen in januari van de hoge sensoren



Figuur 3: Gemeten temperaturen in januari van de midden sensoren



Figuur 4: Gemeten temperaturen in januari van de lage sensoren



Figuur 5: Gemeten temperaturen in januari op positie A (hoge, midden en lage sensor)

2.4 Data verzameling via vragenlijsten comfortbeleving gebruikers

Om de subjectieve comfortbeleving te meten is gebruik gemaakt van interviews en digitale enquêtes. Er zijn 3 interviews afgenomen:

- Een intake (begin januari)
- Een follow-up interview (begin februari)
- Een afsluitend interview (begin maart)

De interviews werden mondeling afgenomen en namen ca 5-10 minuten tijd in beslag. De respons is door de interviewer tijdens het interview vastgelegd. De intake duurde wat langer dan de andere 2 interviews: de vragenlijst bevatte iets meer vragen en voorafgaand aan de intake hebben de werknemers deelnemers informatie ontvangen.. Het doel van het onderzoek en de verwachte actieve rol van de werknemers is toegelicht, (inclusief de mogelijkheid om eventuele klachten over het klimaat op hun werkplek in het klachtenregistratiesysteem te melden. Ook hebben de deelnemers voor de start van het eerste interview een deelnemersverklaring getekend.

Naast de interviews, hebben de deelnemers regelmatig via mail een korte digitale vragenlijst ontvangen. Deze bevatte een selectie van de vragen uit het interview.

In de periode van half januari tot begin maart zijn 12 digitale enquêtes aan de deelnemers verzonden. Om een goed beeld te krijgen van het ervaren thermisch comfort over verschillende momenten in de week, is de enquête verstuurd op verschillende dagen en op verschillende momenten van de dag. De eerste week is elke dag een enquête verstuurd, daarna is de enquête 1x per week verzonden, zie tabel 2.

Tabel 2: Overzicht verzending digitale enquête

Dag van verzending	Datum van verzending	Tijd van verzending
dinsdag	15-1-2019	11:00
woensdag	16-1-2019	16:00
donderdag	17-1-2019	14:00
vrijdag	18-1-2019	11:00
maandag	21-1-2019	09:00
dinsdag	29-1-2019	16:00
vrijdag	8-2-2019	09:00
maandag	11-2-2019	08:00
donderdag	14-2-2019	16:00
woensdag	20-2-2019	11:00
maandag	25-2-2019	14:00
dinsdag	5-3-2019	09:00

In totaal hebben 25 deelnemers aan het onderzoek meegedaan. De intake en de digitale vragenlijst zijn weergegeven in bijlage 2. De 2 andere interviews bevatten dezelfde vragen als de intake, waarbij vragen die over de tijd niet variëren zijn weggelaten (bijvoorbeeld: “Wat vindt u van de bedienbaarheid van de zonwering?”).

2.5 Data verzameling via klachten registratie

Als aanvulling op de data verzameling via vragenlijsten is ook het klachtenregistratiesysteem van de locatie ingezet om data te verzamelen. Het klachtenregistratiesysteem kon niet worden aangepast voor dit onderzoek, maar bood voldoende ruimte om comfortklachten te kunnen registreren en terug te herleiden naar de testverdieping. De werknemers op de testverdieping zijn vooraf geïnstrueerd om actief hun eventuele klachten met betrekking tot het binnenklimaat op hun werkplek te melden in het klachtenregistratie systeem. Hen is expliciet gevraagd om bij de melding het bureau nummer te vermelden dat op een stikker op hun bureau geplakt is. Op deze manier zijn de klachten naar de specifieke locatie te herleiden en te koppelen aan de andere data. Ook zijn op alle bureaugroepen informatieborden geplaatst met een korte uitleg van de experimenten die plaatsvinden en hoe klachten in het systeem kunnen worden gemeld. Op enkele momenten gedurende de meetperiode is de data uit de klachtenregistratie opgevraagd bij de gebouwbeheerder om naast de andere data te leggen.

3 Resultaten data analyse

3.1 Inleiding

Op de testlocatie zijn diverse metingen uitgevoerd en geanalyseerd om de verfijnde meetmethodiek die in dit project is ontwikkeld te evalueren. De bedoeling van de verfijnde testmethodiek is om het daadwerkelijke thermisch comfort van kantoormedewerkers beter vast te stellen. Om de methodiek te evalueren is naast de analyse van de verfijnde metingen voor de methodiek ook een analyse gemaakt van de subjectieve comfort metingen die hebben plaatsgevonden. De analyses zijn in de volgende paragrafen beschreven.

3.2 Data analyse temperatuursensoren

De verfijnde testmethode bestaat uit metingen en analyses van diverse temperatuursensoren, verspreid over de testverdieping. In deze paragraaf worden de bevindingen beschreven van de analyses op de data van deze sensoren. De sensoren zijn op verschillende plaatsen en verschillende hoogtes geplaatst (zie paragraaf 2.3).

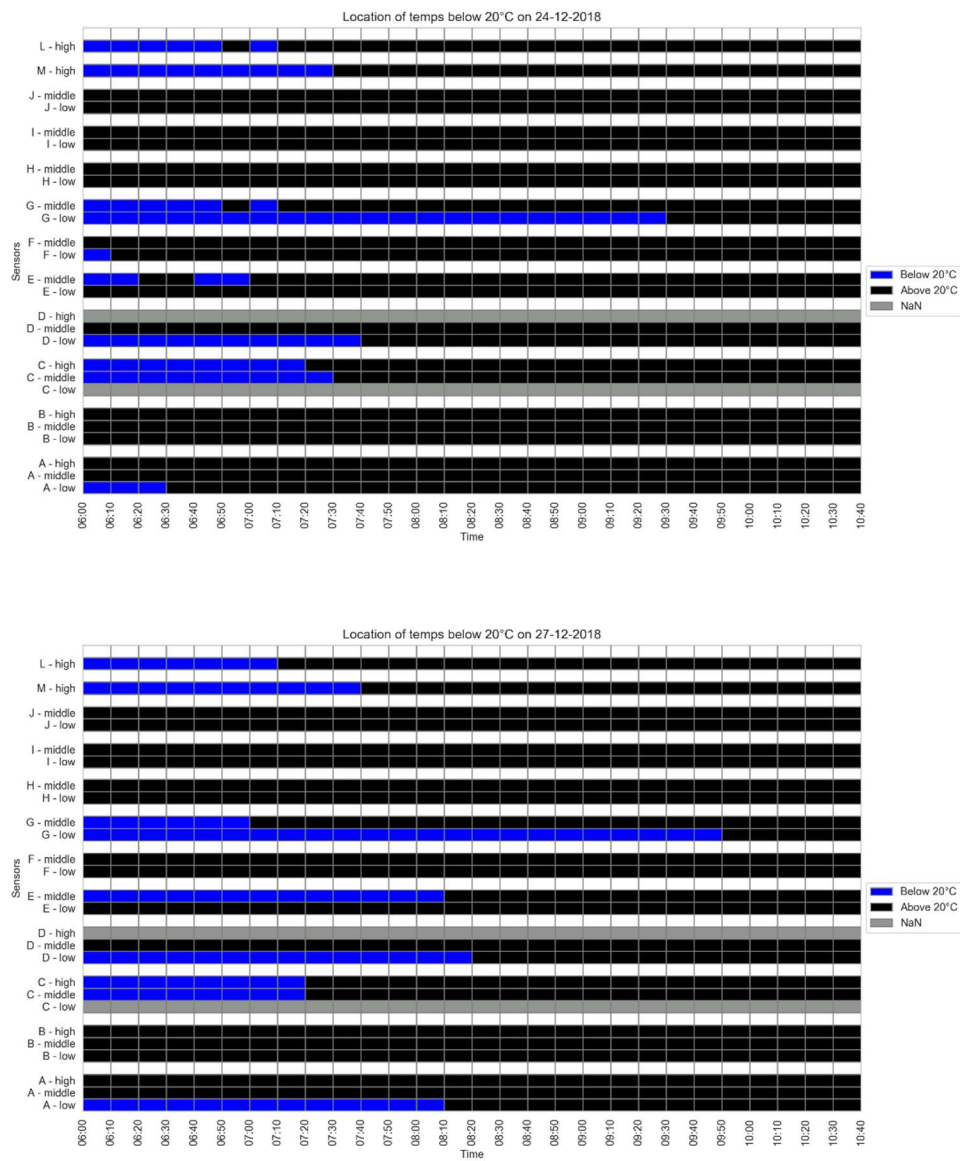
3.2.1 Temperaturen buiten operationele grenzen

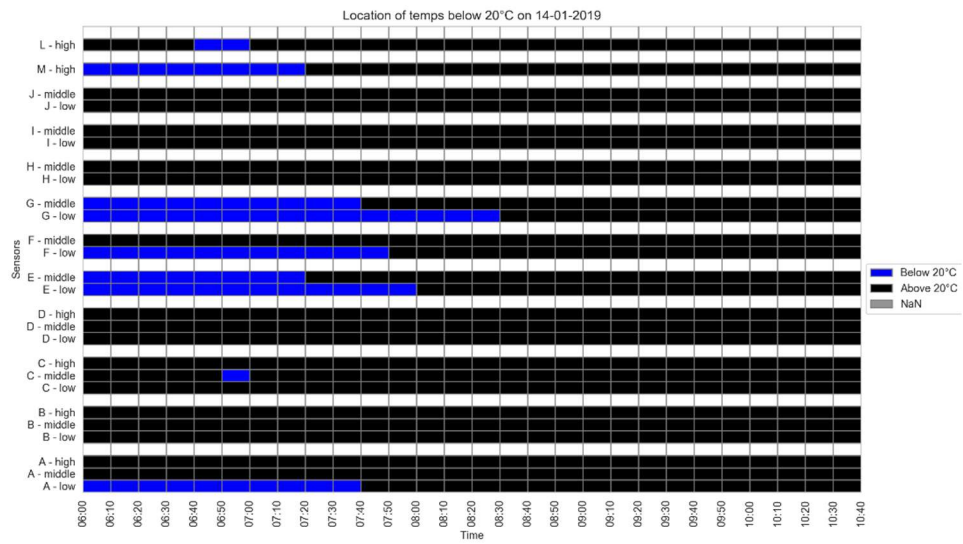
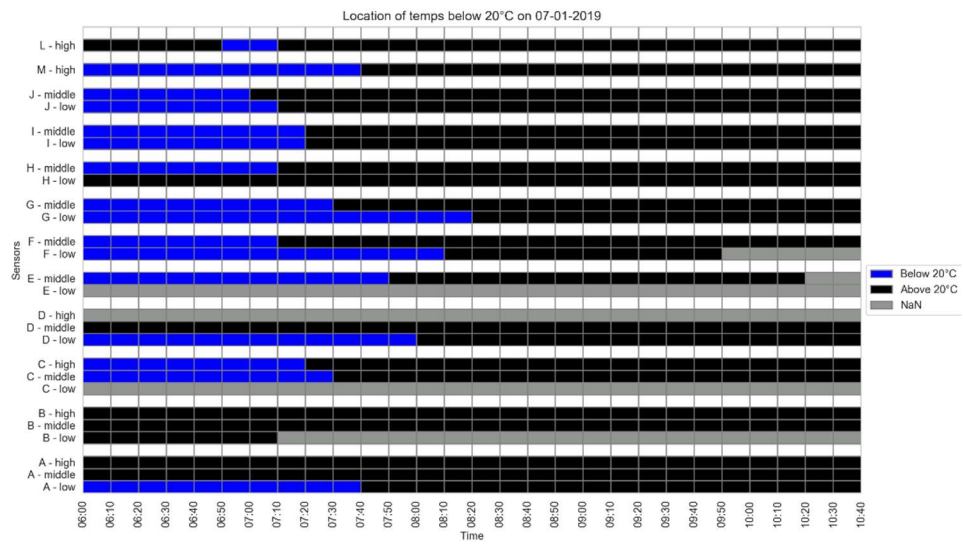
Verschillende normen schrijven voor wat de temperatuur op een werkplek mag zijn. Voor de wintermaanden (een gemiddelde buitentemperatuur tot 10°C) moet deze temperatuur liggen tussen 20°C en 24°C (comfortklasse B volgens ISSO 74 (2014) en ISO 7730 (2005)). De dataset is nagelopen om te kijken of de temperatuur tijdens kantoortijden ooit buiten deze grenzen ligt. Op een aantal momenten in de dataset valt de temperatuur van de middelste sensor op positie B boven de 24°C. Verder komt de temperatuur in de vergaderzaal (positie K) geregeld (ver) boven de 24°C uit. Bij nadere inspectie van de temperatuur rond de middelste sensor op positie B lijkt deze vaker hogere temperaturen te geven overdag dan de sensor die er boven hangt. Dit geeft ons het idee dat deze sensor door een lokale hittebron extra wordt beïnvloed en deze waarden zijn daarom buiten beschouwing gelaten.

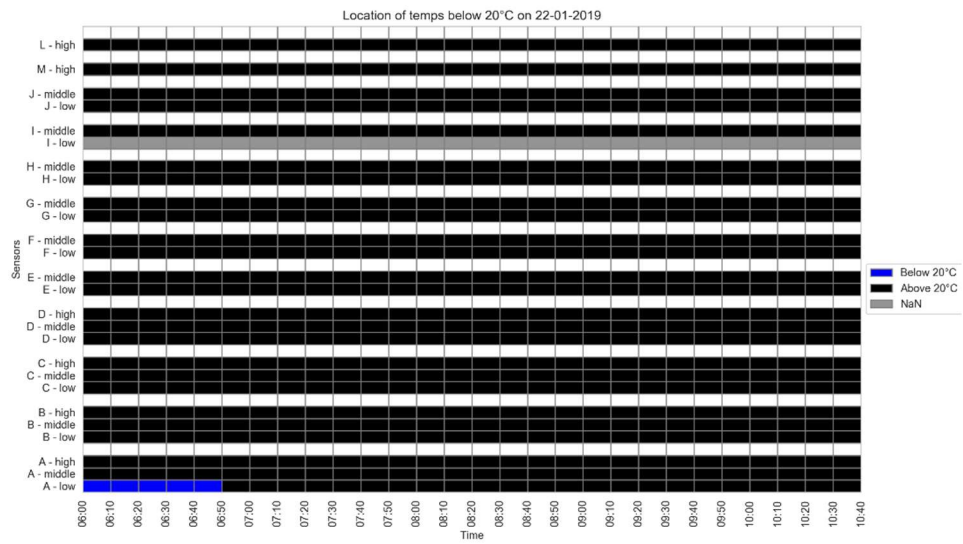
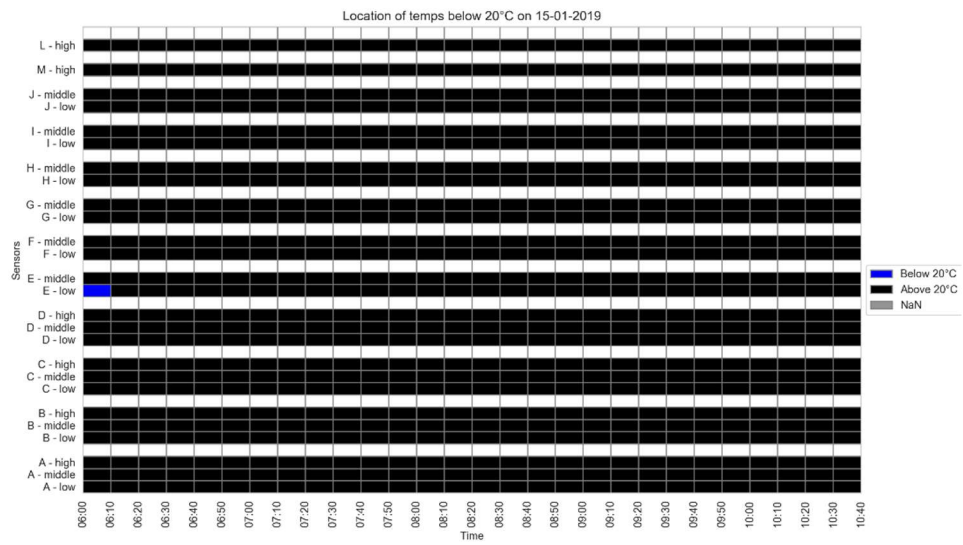
Er zijn meerdere klachten over de vergaderzaal, die vaak gebruikt wordt voor overleg met grote groepen mensen. Hier is het ventilatiesysteem in de zaal niet op gebouwd. Dat de temperatuur hier dus soms sterk oploopt is niet verrassend. Deze sensor is in verdere analyses buiten beschouwing gelaten omdat de vergaderzaal niet in het meetgebied ligt en de sensor niet in de buurt hangt van een werkplek.

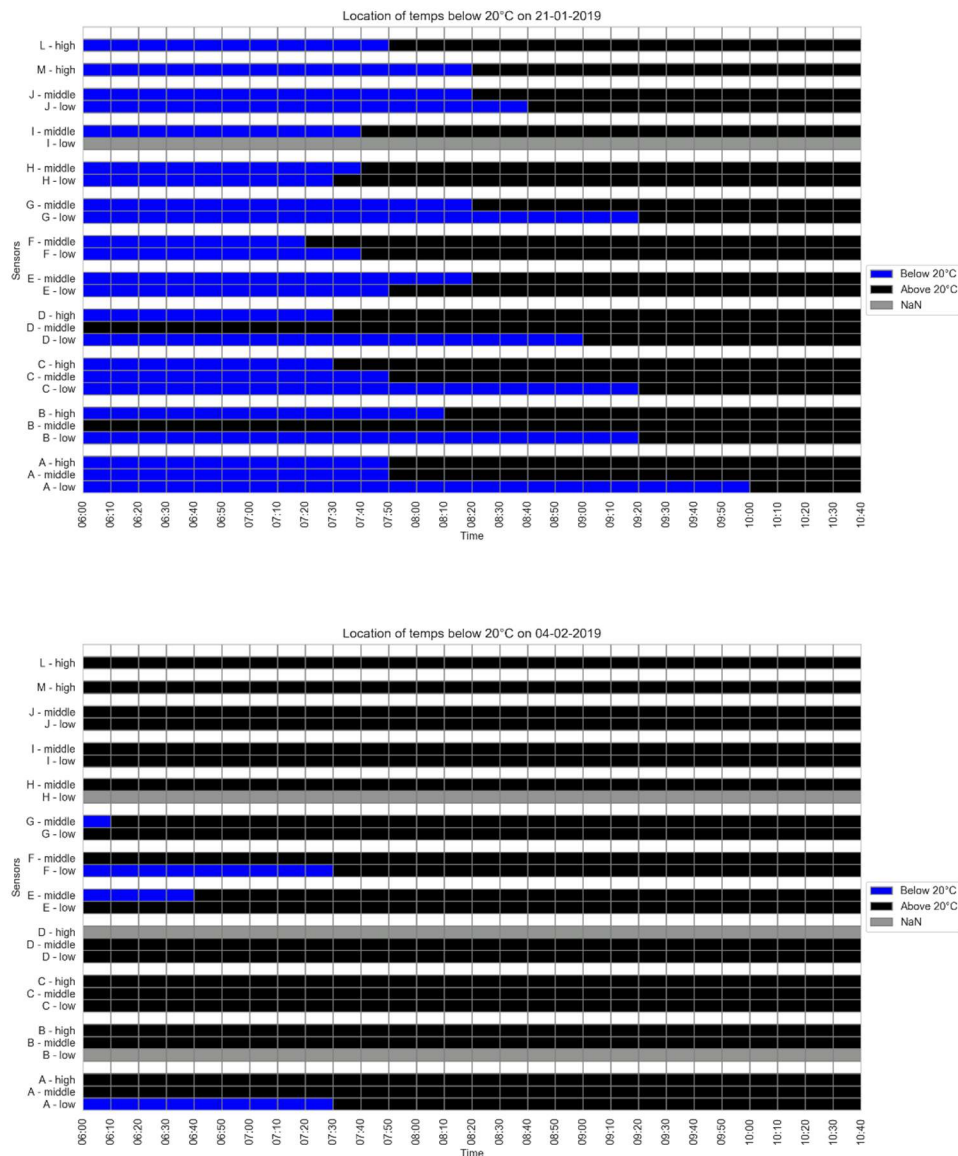
Temperaturen onder de 20°C komen voor in de ochtend na zon- en feestdagen. In figuur 6 hieronder staat voor de dagen dat de temperatuur te laag is in de ochtend aangegeven welke sensoren een te lage temperatuur aangeven gedurende welke periode. In enkele gevallen gaat het om een enkele koude plek. Specifiek vallen 2 januari en 21 januari op. Op 2 januari was het gebouw extra afgekoeld omdat het gebouw op 1 januari (dinsdag) dicht is geweest en daarvoor een weekend zat (met waarschijnlijk een zeer lage bezetting op maandag de 31e zelf). Het weekend van 19 en 20 januari was buiten zeer koud, waardoor het gebouw in het weekend extra

is afgekoeld. In de meeste gevallen lijkt de temperatuur zich vrij vroeg in de ochtend te corrigeren tot binnen de acceptabele waarden.









Figuur 6: Weergaven welke sensoren een temperatuur onder de 20°C aangeeft.

Luchttemperatuur versus operationele temperatuur

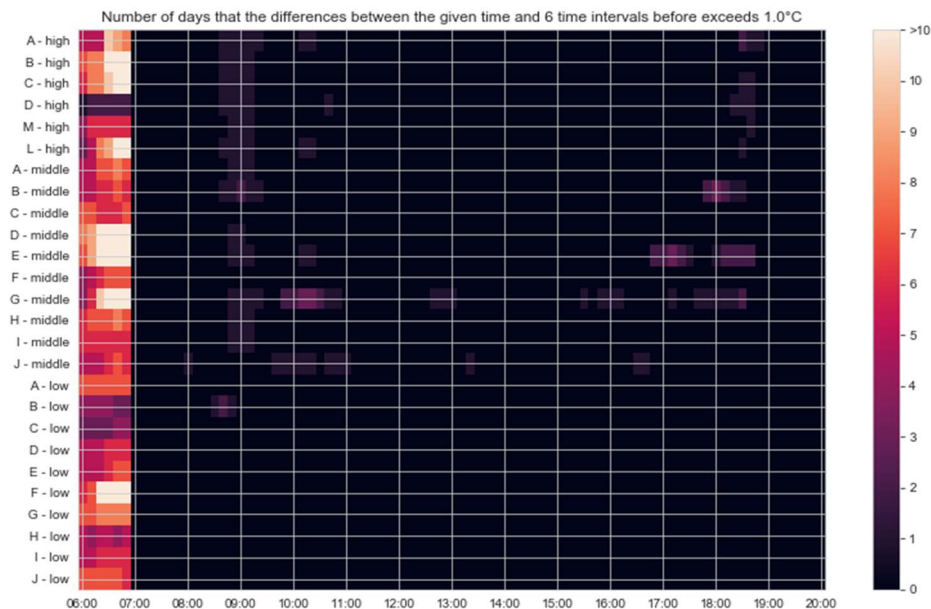
Bij het bepalen van de temperatuur is het belangrijk om onderscheid te maken tussen luchttemperatuur en operationele temperatuur. Met de sensoren die in dit project zijn gebruikt wordt de luchttemperatuur gemeten, terwijl de comfortcriteria feitelijk vastgesteld zijn op de operationele temperatuur. De operationele temperatuur is een combinatie van de luchttemperatuur en de stalingstemperatuur. De stralingstemperatuur is niet gemeten, echter er is wel een inschatting gemaakt van het verloop van de operationele temperatuur aan de hand van een model (zie D2.1). Daar zien we dat de operationele temperatuur op maandagochtend achterloopt op de luchttemperatuur omdat het gebouw in zijn geheel nog niet is opgewarmd na het koude weekend. Dit duidt aan dat er koude klachten kunnen zijn na het weekend en/of feestdagen omdat de gebouwmassa

nog niet op temperatuur is. Rekening houden met het effect dat de gebouwmassa heeft op de operationele temperatuur is voor het inschatten van mogelijke comfortrisico's daarom zeker van belang.

3.2.2 Temperatuurverschillen over de tijd

Een ander belangrijk criterium voor thermisch comfort is dat de temperatuur niet te veel mag fluctueren over de tijd. Hierbij kan worden uitgegaan van een maximale fluctuatie van 1°C per uur. In figuur 7 is de heatmap gegeven van het aantal dagen dat er, voor een gegeven tijd, een groter verschil zitten tussen de meetgegevens van dat moment en van een uur ervoor.

- Tussen 6:00 en 7:00 is een snelle stijging van de temperatuur te zien, omdat het gebouw dan nog aan het opwarmen is.
- Verder zijn er nauwelijks grote fluctuaties in de tijd te zien: tijdens kantoor tijden is de temperatuur redelijk stabiel en stijgt of daalt na 7:00 vrijwel nooit sneller dan 1°C per uur.

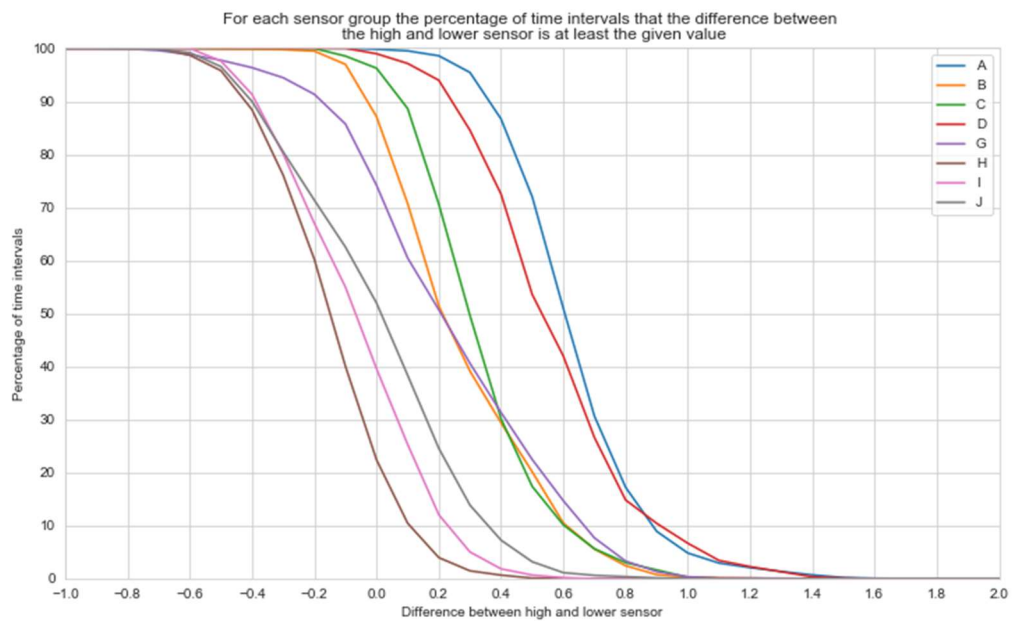
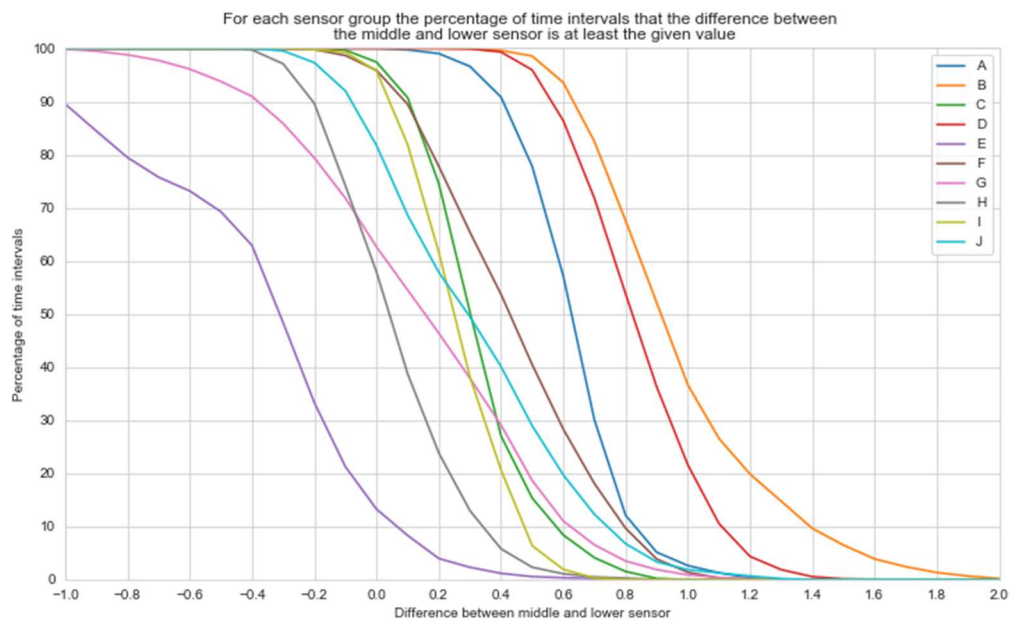


Figuur 7: Heatmap van het aantal dagen dat op het gegeven moment de temperatuurfluctuatie met voorgaande tijdsintervallen groter dan 1°C is.

3.2.3 Temperatuurverschillen in het verticale vlak

Een ander criterium is dat het temperatuurverschil in het verticale vlak niet te groot mag zijn. Hierbij kunnen we uitgaan van een grens van maximaal 2°C over 1 meter. Dus, voor onze sensoren mag het verschil tussen de sensoren dicht bij elkaar op posities midden en laag niet meer dan 2°C bedragen. In figuur 8 staan per sensorgroep en per verticaal temperatuurverschil aangegeven in hoeveel procent van de tijd het verticale verschil boven de gegeven waarde uitkomt.

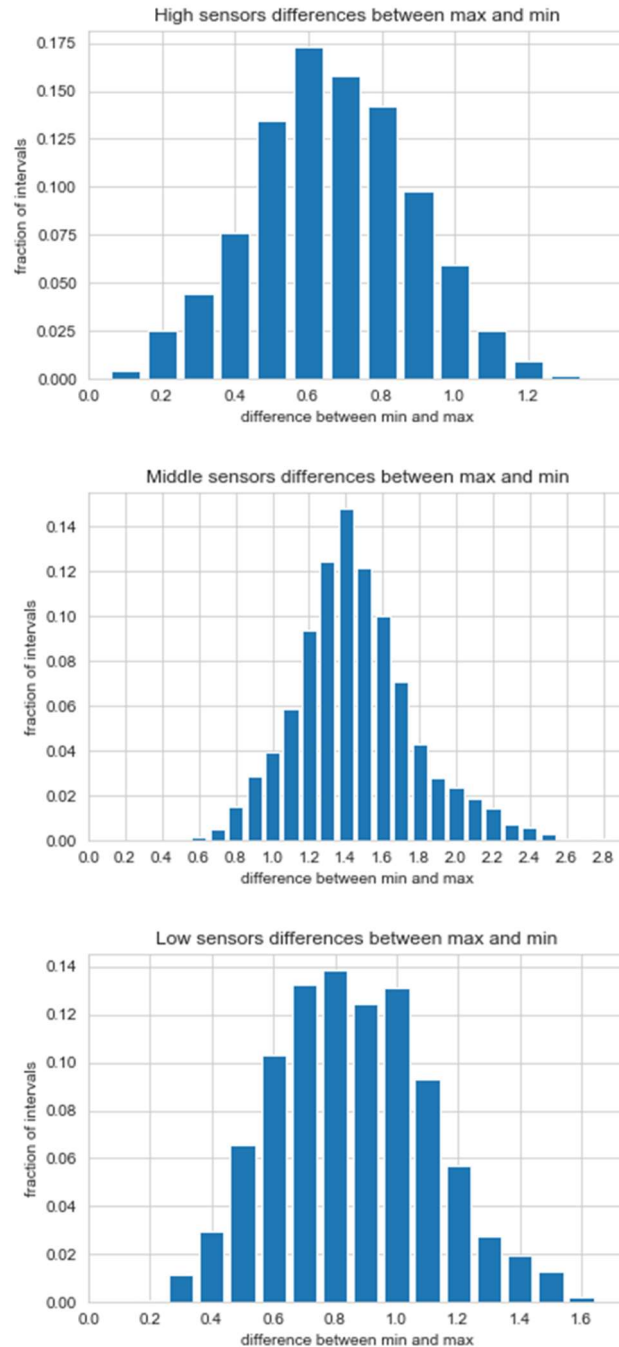
Hierbij hebben we zowel een vergelijking gemaakt tussen de middel en lage sensoren (onderste plot) en tussen de hoge en lage sensoren (bovenste plot). In de meeste gevallen geeft de sensor die hoger gepositioneerd is een hogere waarde aan dan de lager gepositioneerde sensor, zoals verwacht. In de bovenste plot vallen groepen B en E op. Weer lijkt de groep B last gehad te hebben van een lokale hittebron, zoals eerder genoemd, waardoor het verschil soms als groter wordt gemeten dan het is. Het verschil tussen de middelste sensor in groep E in vergelijking met de lage sensor valt te verklaren doordat deze sensoren vanwege ruimtegebrek niet goed boven elkaar zijn gepositioneerd. Zeker omdat de midden sensor in groep E veel dichterbij het raam staat zou dit kunnen verklaren waarom de lage sensor consistent een hogere temperatuur aangeeft. Tenslotte komt het temperatuurverschil praktisch nooit boven de 2°C en is het verschil ook nauwelijks meer dan 1°C . Een extra kanttekening is dat de verschillen tussen sensoren vanwege onnauwkeurigheid al makkelijk 0.4°C kunnen zijn.



Figuur 8: Percentage tijdsintervallen dat het verticale temperatuurverschil boven een gegeven waarde uitkomt, waarbij het verschil is genomen tussen middelste sensor en de lage sensor in de bovenste plot en tussen de hoogste sensor en de laagste sensor in de onderste plot.

3.2.4 Temperatuurverschillen in het horizontale vlak

Naast verschillen in het verticale vlak hebben we ook gekeken naar temperatuurverschillen in het horizontale vlak. In figuur 9 allereerst een plot tussen de maximale verschillen tussen sensoren op posities hoog, midden en laag. Het gaat hier dus om het verschil tussen de hoogste en laagste meting voor elk tijdsinterval voor alle sensoren op positie hoog, midden en laag respectievelijk. Gezien de onderlinge afwijkingen van de sensoren zijn de waarden voor de hoge sensoren zoals te verwachten. Bij de lage sensoren zit al een iets grotere spreiding, maar nog geen zeer onverwachte verschillen. De verschillen tussen de sensoren op de midden positie zijn relatief groot. Ook hier kunnen de lokale hittebronnen op de bureaus, zoals laptops en beeldschermen die dichtbij de sensoren staan een verklaring geven.



Figuur 9: Boxplot van de maximale verschillen tussen de de sensoren op positie hoog, midden en laag respectievelijk.

Om dieper op deze verschillen in te duiken hebben we ook gekeken naar de individuele sensoren. Hiervoor hebben we gemiddelde afwijking tussen de waarde van een sensor en de andere sensoren op dezelfde hoogte positie weergegeven in tabel 3. Het grote verschil dat de middelste sensor bij groep B geeft komt waarschijnlijk weer door lokale hittebronnen. De middelste sensoren

in groepen E en G zitten vlak bij ramen. Wat wel opvalt is dat de waarden van de middelste sensoren bij groepen J en C niet zo veel afwijken van het gemiddelde.

Tabel 3: gemiddelde verschil tussen de sensorwaarde op de gegeven positie en het gemiddelde van alle sensoren op dezelfde hoogtepositie, gegeven in °C.

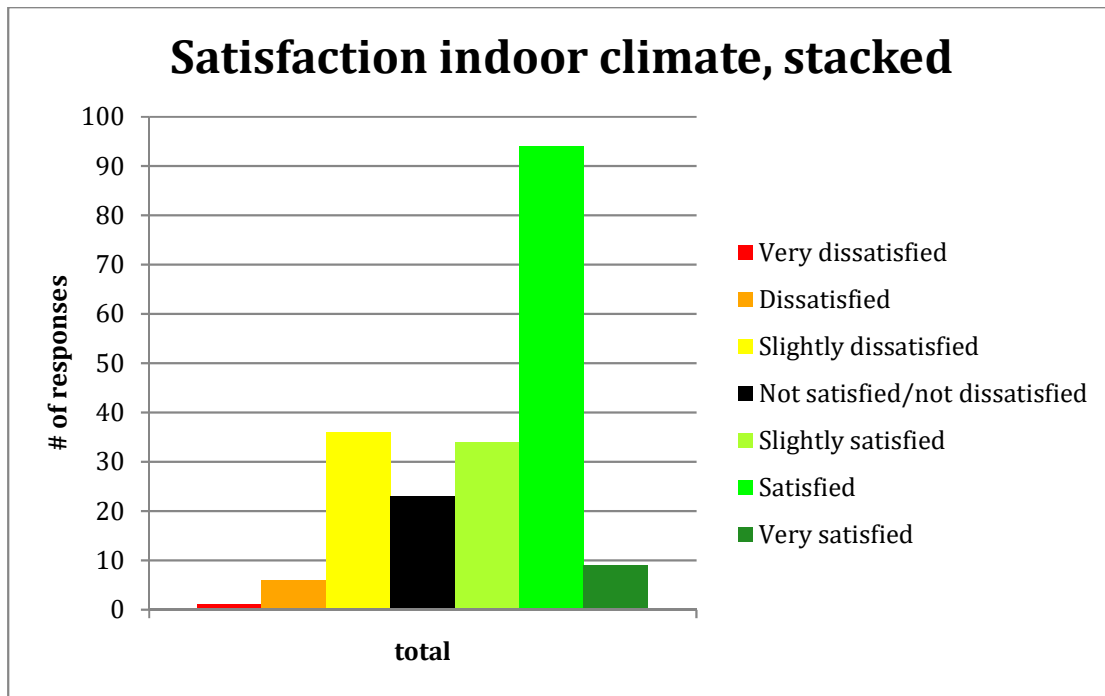
	Hoog	Midden	Laag
A	0.18	0.09	-0.17
B	0.06	0.66	0.13
C	0.11	0.02	0.12
D	0.27	0.52	0.05
E		-0.66	0.09
F		-0.24	-0.32
G		-0.54	-0.27
H		-0.20	0.09
I		0.15	0.22
J		0.17	0.21
L	-0.36		
M	-0.07		

3.3 Data analyse subjectieve comfortbeleving

3.3.1 Analyse ervaren comfort via vragenlijsten

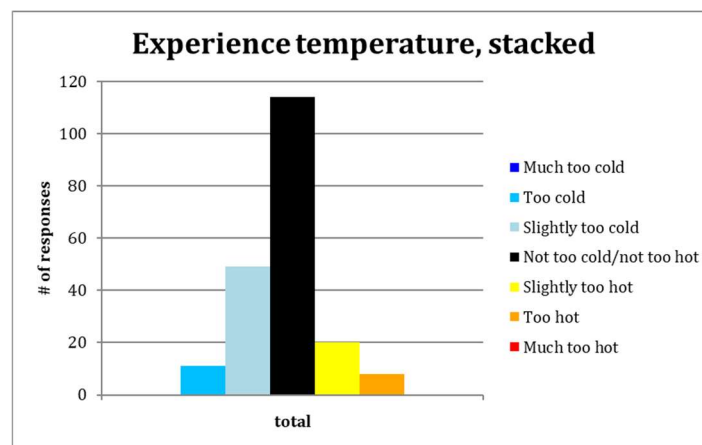
Om te bepalen hoe de medewerkers op de testverdieping het comfort ervaren zijn ze ondervraagd in interviews en kortere digitale enquêtes. De interview en enquête vragen zijn weergegeven in bijlage 2 en de resultaten worden in detail getoond in bijlage 3.

Over het algemeen kan gesteld worden dat de medewerkers tevreden zijn over hun ervaren comfort, zoals te zien is in figuur 10.



Figuur 10: Antwoorden op de vraag “Hoe tevreden bent u vandaag over het binnenklimaat op uw werkplek?” Waarbij alle antwoorden op de digitale vragenlijsten en de interviews op alle data zijn samengenomen.

Wat betreft de ervaren temperatuur zien we (zie figuur 11) een normaalverdeling, waarbij de meeste medewerkers de temperatuur niet te warm en niet te koud vinden.

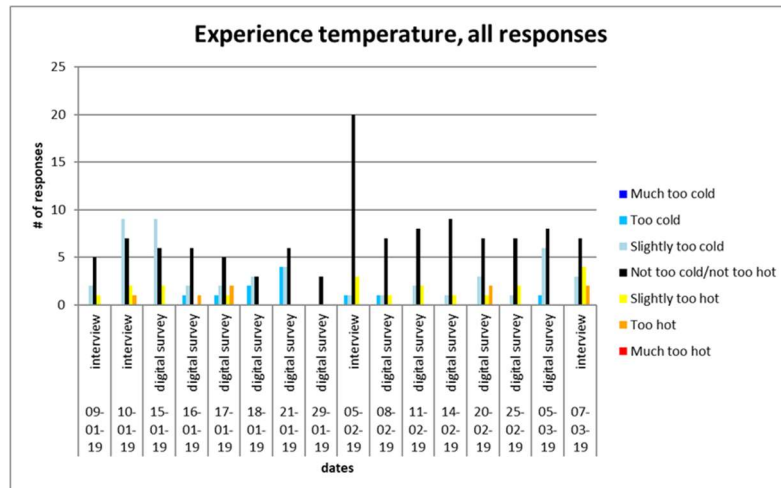


Figuur 11: Antwoorden op de vraag “Hoe ervaart u vandaag de temperatuur op uw werkplek?” Waarbij alle antwoorden op de digitale vragenlijsten en de interviews op alle data zijn samengenomen.

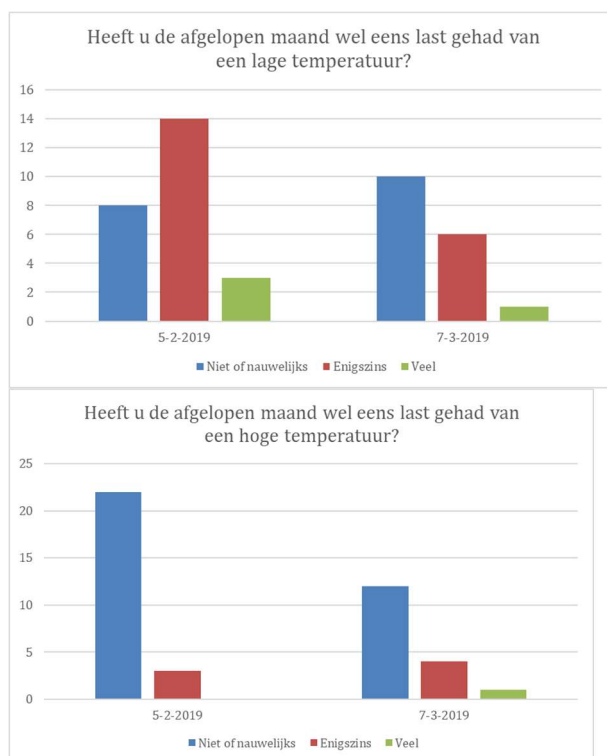
Als we naar de reactie van medewerkers op de ervaren temperatuur op afzonderlijke dagen kijken dan lijkt de balans soms naar ‘een beetje te koud’ door te slaan, zie figuur 12, al is dit niet heel overtuigend. Dit zien we echter ook terug als we de medewerkers vragen naar hun ervaringen van de afgelopen maand. In figuur 13 zien we naast elkaar hoe de medewerkers antwoorden op de vraag of ze het de afgelopen maand wel eens te koud (links) of te warm (rechts) hadden.

Vooraf in februari zien we een trend dat meer mensen het de maand ervoor (januari) soms wat te koud dan te warm vonden. Als we doorvragen (figuur 14) blijken mensen die het soms te koud vinden, dat vooral vroeg in de ochtend te vinden.

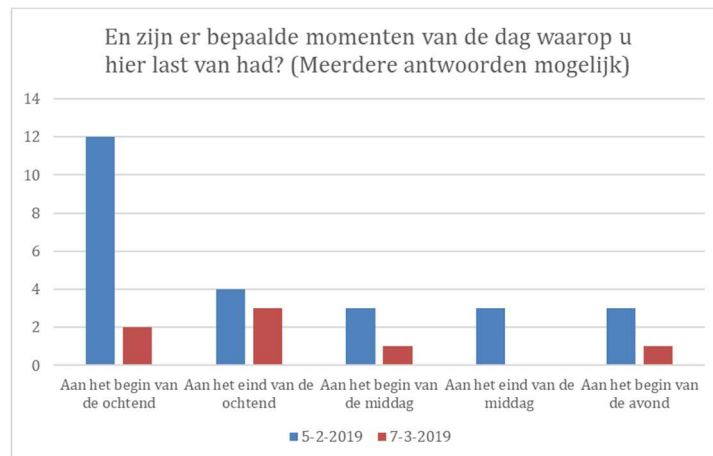
Tot slot toont figuur 15 de mate waarin medewerkers ervaren controle te hebben over de temperatuur, ventilatie en zonwering. Ondanks dat er op verschillende plekken thermostaten op de muur zitten, hebben verreweg de meeste medewerkers niet het idee dat ze hier invloed op kunnen uitoefenen.



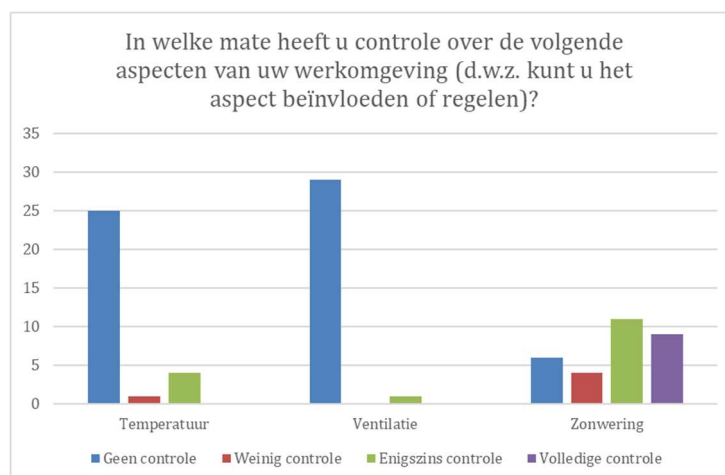
Figuur 12: Antwoorden op de vraag “Hoe ervaart u vandaag de temperatuur op uw werkplek?” Waarbij alle antwoorden op de digitale vragenlijsten en de interviews zijn uitgesplitst naar datum van antwoorden.



Figuur 13: Antwoorden op de vraag “Heeft u de afgelopen maand wel eens last gehad van een lage temperatuur?” (links) en “Heeft u de afgelopen maand wel eens last gehad van een hoge temperatuur?” (rechts) Deze vraag is uitsluitend tijdens de 2 laatste interviews gesteld. De resultaten zijn uitgesplitst naar de datum van antwoorden.



Figuur 14: Antwoorden op de vraag “Zijn er bepaalde momenten van de dag waarop u last van een lage temperatuur had? (Meerdere antwoorden mogelijk)” Deze vraag is uitsluitend tijdens de 2 laatste interviews gesteld. De resultaten zijn uitgesplitst naar de datum van antwoorden.



Figuur 15: Antwoorden op de vraag “In welke mate heeft u controle over de volgende aspecten van uw werkomgeving (d.w.z. kunt u het aspect beïnvloeden of regelen): temperatuur, ventilatie, zonwering?” Deze vraag is uitsluitend tijdens de intake gesteld.

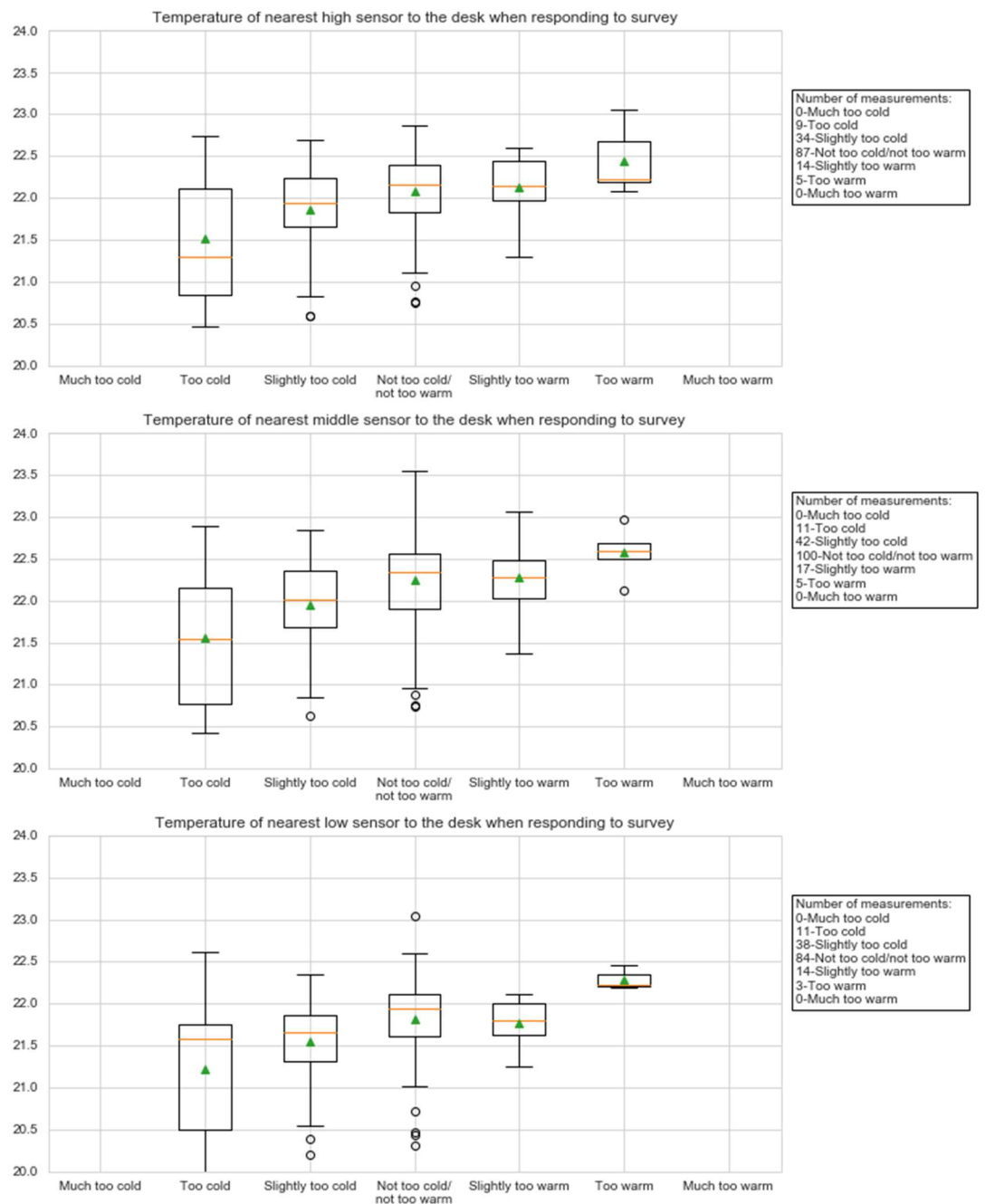
3.3.2 Klachtenregistratie

In de meetperiode van begin januari tot begin maart 2019 zijn er geen klachten over het binnenklimaat op de testverdieping in het klachtensysteem geregistreerd. De klachtenregistratie heeft hierdoor geen bruikbare informatie voor het onderzoek opgeleverd, behalve dan dat er waarschijnlijk geen sprake was van ernstige klachten. Dat komt overeen met de bevindingen uit de temperatuurmetingen en de interviews en enquêtes.

3.4 Analyse vergelijking gemeten en ervaren comfort

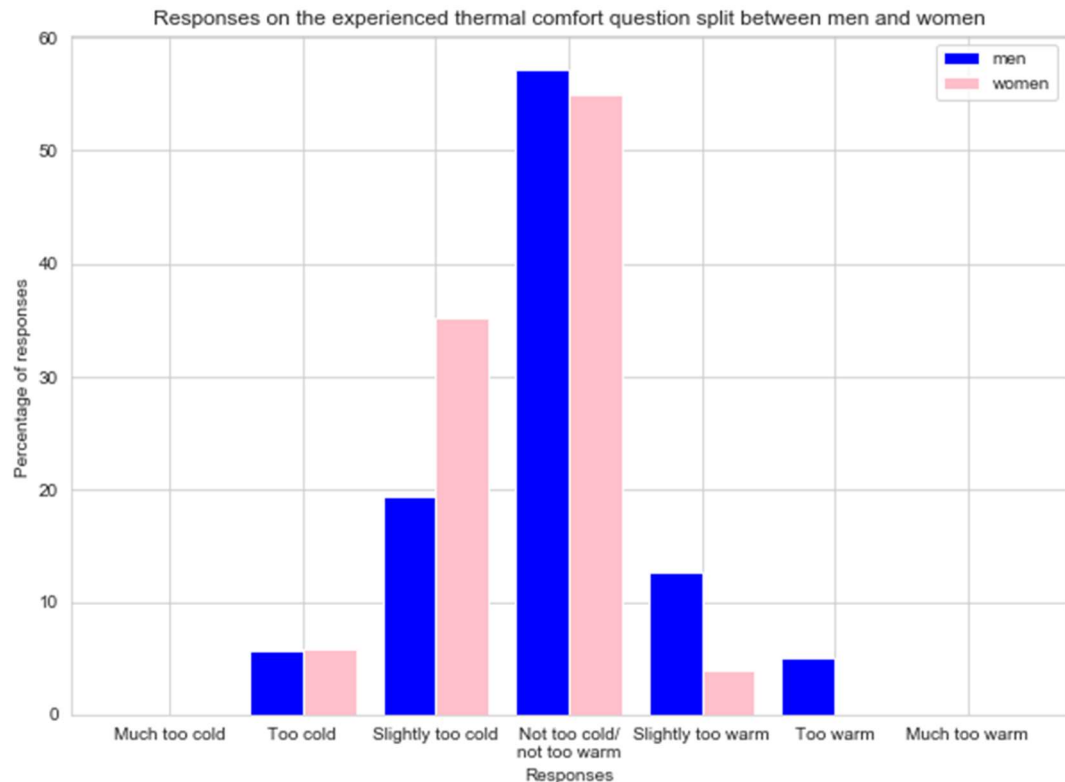
Ervaren comfort versus gemeten comfort

Eén van de vragen in het project is of het gemeten comfort ook daadwerkelijk overeenkomt met het ervaren comfort. Om dit te bekijken zijn deze twee in figuur 16 naast elkaar gezet: de figuur bevat een boxplot van de antwoorden op de vraag hoe de temperatuur wordt ervaren tegenover de gemeten temperatuur door sensoren het dichtst bij die plek (als twee sensoren even ver van de plek staan is het gemiddelde genomen). Merk op dat de sample sizes voor de meer extreme reacties zeer klein zijn en de spreiding groot is, dus dat harde conclusies niet mogelijk zijn. Wel zien we duidelijk een trend dat de ervaren temperatuur en de gemeten temperatuur voor de sensoren op bureauniveau en 50 cm boven bureauniveau met elkaar correleren: werknemers die het kouder vinden zitten ook op plekken gemiddeld een lagere temperatuur gemeten wordt en andersom. Door de kleine aantallen en grote spreiding zijn de bevindingen niet statistisch significant.



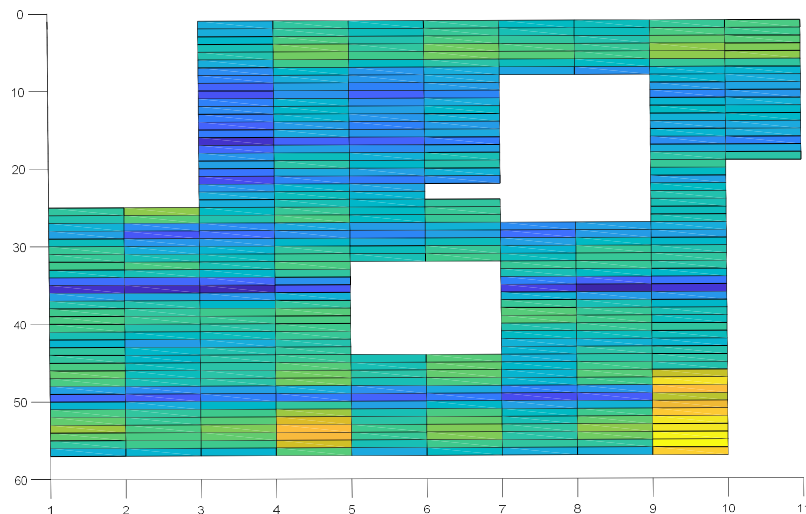
Figuur 16: Boxplot van de reacties vanuit de enquêtes tegenover de gemeten temperatuur op het moment van afnemen

In figuur 17 is de ervaren temperatuur uitgesplitst naar geslacht. Daarin is de trend te zien dat vrouwen de temperatuur gemiddeld als iets kouder ervaren dan mannen. De verschillen zijn echter klein en ook niet significant.



Figuur 17: Staafdiagram van de reacties vanuit de enquêtes over ervaren temperatuur voor mannen en vrouwen op het moment van afnemen

Daarnaast hebben wij ook gekeken of er bepaalde gebieden zijn waar vaker geklaagd wordt over een lager thermisch comfort en of die overeen komen met de gebieden waar mogelijk afwijkende temperaturen gevonden zijn. Tabel 3 in paragraaf 3.2.4 liet zien dat het gebied rond sensoren E en G, dus de bureaus bij het zuid-west raam mogelijk wat kouder zijn dan de overige gebieden. Ook uit Figuur 18 blijkt het gebied rond sensor G en sensor A relatief koude plekken zijn op de verdieping, zij het alleen in de eerste meetperiode.



Figuur 18: Overzicht van de gemiddelde dagtemperatuur: verticaal staat de nummer van de dag (in totaal is op 57 dagen gemeten) en horizontaal staat de sensorlocatie (locatie 3 = sensor G). (NB. De gaten zijn missende data)

Om te zien of er een correlatie is met klachten op die plekken zijn de reacties op de enquêtes over de posities van de bureaus geplot. Zie hiervoor bijlage 4. De klachten lijken niet gekoppeld aan bepaalde plekken in de ruimte.

4 Conclusies

4.1 Inleiding

De vraag die we in dit rapport met het veldexperiment willen beantwoorden is of het lukt om met verfijnde metingen via de meetsets een inschatting te maken van het verwachte ervaren thermisch comfort om zo tijdig comfortrisico's te kunnen signaleren. Hiervoor zijn metingen en analyses uitgevoerd. Op basis van metingen met meetsets is volgens de voorgestelde verfijnde methodiek een inschatting gemaakt van het comfort op de testverdieping. Deze is vervolgens vergeleken met de subjectieve comfortbeleving van de gebruikers die middels vragenlijsten en enquêtes is bepaald.

4.2 Conclusies

Met de verfijnde methode is het mogelijk om een veel gedetailleerder beeld te krijgen van comfortrisico's dan op basis van één meting per ruimte door een GBS systeem mogelijk is. Door op meerdere plekken verspreid over een ruimte en op meerdere hoogtes de temperatuur te meten is het mogelijk om:

- te bepalen of, wanneer, en vooral waar de temperatuur buiten de bandbreedte van het aangehouden comfortniveau valt
- er mogelijk sprake is van verschillen in temperatuur tussen werkplekken, waardoor werknemers klachten ondervinden ondanks dat volgens het GBS geen klachten verwacht worden

- er mogelijk lokaal sprake is van een verticale temperatuur gradiënt die tot discomfort kan leiden
- er mogelijk lokaal fluctuaties in de tijd zijn, die tot discomfort kunnen leiden

Op de testverdieping heeft deze verfijnde methode tot een gedetailleerd beeld geleid van de discomfortrisico's. De discomfortrisico's blijken in de testperiode gering te zijn en beperken zich tot korte perioden onder de 20°C op de ochtend na een koud weekend. Daarbij zijn uitsluitend luchttemperaturen gemeten. Inschatting van de operatieve temperatuur (wat een combinatie is van lucht- en stralingstemperatuur) laat zien dat de operatieve temperatuur op maandagochtend achterloopt op de luchttemperatuur omdat het gebouw in zijn geheel nog niet is opgewarmd na het koude weekend. Verder zijn er geen grote fluctuaties over de hoogte of fluctuaties in de tijd gevonden die mogelijk kunnen leiden tot discomfort. Ook zijn er geen duidelijke warme of koude plekken op de verdieping te onderscheiden, buiten de warme vergaderzaal die buiten het onderzoek viel.

Deze objectieve metingen worden bevestigd door de subjectieve metingen: de medewerkers zijn overwegend tevreden over het klimaat op hun verdieping in de testperiode. Het enige dat er gevonden is is een lichte trend dat een deel van de werknemers het soms aan de koude kant vindt, voor in de ochtend. Dat is in lijn met wat de verfijnde methode vindt, namelijk dat de temperatuur na een koud weekend in de vroege ochtend wat lager is dan 20°C. Het gebrek aan klachten is verder ook in overeenstemming met de bevindingen van de verfijnde methode.

Wat de combinatie van verfijnde methode en subjectieve metingen ook laat zien is dat werknemers die zeggen dat ze het wat kouder hebben gemiddeld genomen ook op plekken zitten waar op dat moment een wat lagere temperatuur wordt gemeten, en andersom. Bovenop de bekende individuele verschillen en verschillen door kleding en activiteitsniveau, lijkt het dus zo te zijn dat mensen die klachten hebben daar ook daadwerkelijk reden toe kunnen hebben door kleine lokale verschillen.

Doordat het comfortniveau op de testverdieping tijdens de testperiode behoorlijk goed was, is het slechts beperkt mogelijk om de toegevoegde waarde van de verfijnde methode te beoordelen. Binnen die beperking, werkt de verfijnde methode goed en kunnen de comfortrisico's beter voorspeld worden dan met GBS data. Aangeraden wordt de verfijnde methode te evalueren op een locatie waar meer klachten zijn, bijvoorbeeld op de huidige verdieping in een warme zomerperiode.

Omdat een traag opwarmende gebouwmassa een flink effect kan hebben op de operatieve temperatuur en met sensoren meestal alleen de luchttemperatuur wordt gemeten, wordt aangeraden om meting van de oppervlaktetemperatuur van constructies met een grote thermische massa toe te voegen aan de meet setup. Op basis van de oppervlaktetemperatuur van de gebouwmassa in combinatie met de luchttemperaturen kan dan een inschatting worden gemaakt van de

operatieve temperatuur op verschillende posities in de ruimte (zie de methodiek in D2.1).