

Energy

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00

F +31 88 866 06 30

TNO-rapport**TNO 2019 R10367****Naar Implementatie Persoonlijk Klimaat**

Datum	22 maart 2019
Auteur(s)	V. van Pul-Verboom
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	18 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken, Abel Delft, Sodexo, ING, Trilux, Ahrend
Projectnaam	ImPeKt
Projectnummer	060.17038

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Samenvatting

Persoonlijke klimaatsystemen hebben de potentie om substantiële energiebesparingen te realiseren. Tot nu toe ontbraken de systemen om deze potentie te bewijzen. Dit project beoogt de barrières en kennishiaten die grootschalige introductie van persoonlijke klimaatsystemen belemmeren op te lossen. Dit is gedaan door een geïntegreerd persoonlijk klimaatsysteem (een bureau met door de gebruiker in te stellen verlichting, verkoeling en verwarming) te ontwikkelen en op grote schaal te testen of dit systeem tot energiebesparingen leidt en een verhoging in comfort geeft in een kantooromgeving.

De belangrijkste resultaten zijn een modulair opgebouwd geïntegreerd persoonlijk klimaatsysteem, een implementatiestrategie voor marktintroductie, een tool die inzicht geeft in de kosten en baten en een evaluatie van het lange termijn gebruikersonderzoek.

Uit de resultaten blijkt dat een energiebesparing van 5 à 6 % op het totale primaire energiegebruik bereikt is op een van de testlocaties (bij de andere locatie was de bezetting te laag). Deze energiebesparing is met name toe te schrijven aan het verlagen van de algemene verlichting en het verminderen van de koelbehoefte in de zomer. Tijdens de testperiode is het slechts beperkt gelukt om de binnentemperatuur in de winter omlaag te brengen. Met het systeem is een besparing van circa 10% op het primaire energiegebruik haalbaar als de ruimtetemperatuur in de winter tenminste 1 °C verlaagd kan worden en als het standby verbruik van het systeem tot een minimum wordt beperkt. De grootste energiebesparing is daarbij toe te schrijven aan de vermindering van het algemene verlichtingsniveau en in de tweede plaats aan het verminderen van de koelbehoefte in de zomer. De bureauverwarming is vooral effectief voor verbetering van het thermisch comfort en levert doorgaans geen energiebesparing op.

De gebruikers van het systeem geven aan dat het ImPeKt-systeem zeker een meerwaarde biedt. Het verwarmingssysteem, de verkoeling en het zelf kunnen instellen van de verlichting worden als positief ervaren. Uit de mondelinge enquêtes is naar voren gekomen dat het persoonlijk instelbare verlichtingssysteem gewaardeerd wordt door mensen die meer verlichting nodig hebben voor precisiewerk of om andere redenen, maar de klachten over de lage omgevingsverlichting waren dermate groot dat hier nog verder naar gekeken moet worden.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Inhoudelijk eindrapport (openbaar)	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Doelstelling	5
2.3	Werkwijze	5
2.4	Resultaten van het project	7
2.5	Spin off en vervolgactiviteiten	13
2.6	Discussie	13
2.7	Conclusie en aanbevelingen	14
3	Uitvoering van het project	15
3.1	Toelichting wijze van kennisverspreiding en PR project en verdere PR-mogelijkheden.....	15
3.2	Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie).....	15
4	Referenties	17
5	Ondertekening	18

1 Inleiding

In dit rapport wordt een kort overzicht gegeven van de opzet, doelstellingen en resultaten van het TKI project TEID215066. Dit project is uitgevoerd in samenwerking met TU Delft, Ahrend, Trilux, ING, Sodexo en Abel Delft, met TNO als penvoerder. Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Met persoonlijke klimaatsystemen kunnen substantiële energiebesparingen worden gerealiseerd¹. Toch is deze optie geen onderdeel van het huidige (her)ontwerpproces. De belangrijkste barrière die de uitrol belemmert is dat er nog geen geïntegreerd systeem is ontwikkeld dat voldoet aan de eisen van het facilitair management.

Dit project beoogt de barrières en kennishiaten die grootschalige introductie van persoonlijke klimaatsystemen belemmeren op te lossen in nauwe samenwerking tussen de ketenpartners en daarmee de weg vrij te maken voor brede implementatie van persoonlijke zelflerende klimaatsystemen, met als uiteindelijk doel significante verbeteringen in energiegebruik en comfort in kantoren te realiseren.

Daarom richt dit project zich op het ontwikkelen en testen van een persoonlijk klimaatsysteem. Het systeem zal getest worden op het energiegebruik en het door de gebruikers ervaren comfort.

Hoofdstuk 2 bevat het inhoudelijke eindrapport. Hoofdstuk 3 geeft informatie over de uitvoering van het project.

¹ Zie openbaar eindrapport TKI UCER (projectnr. TKIGB01006).

2 Inhoudelijk eindrapport (openbaar)

Dit hoofdstuk geeft weer wat er inhoudelijk in het project gedaan is. De opbouw van dit hoofdstuk is vergelijkbaar met een rapport. In Paragraaf 2.1 wordt de inleiding gegeven. Paragraaf 2.2 benoemt de doelstelling. In Paragraaf 2.3 is de werkwijze beschreven. Paragraaf 2.4 geeft de resultaten van het project weer. In Paragraaf 2.5 worden vervolgvactiteiten besproken. Paragraaf 2.6 geeft een discussie over de resultaten. En Paragraaf 2.7 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

2.1 Inleiding

Persoonlijke klimaatsystemen kunnen leiden tot substantiële energiebesparingen². Echter, deze systemen zijn geen onderdeel van huidige (her)ontwerpprocessen in kantoren. De belangrijkste barrière die de uitrol belemmert, is dat er nog geen geïntegreerde systemen bestaan. Om deze barrière weg te nemen, is het ImPeKt project ontwikkeld. ImPeKt staat voor **Implementatie naar Persoonlijk Klimaat**. Het beoogde klimaatsysteem bestaat uit een bureau met de mogelijkheden om verlichting, verkoeling en verwarming via een gebruiksvriendelijke interface naar eigen voorkeur in te stellen. Het gebruik van het systeem en het bijbehorende energiegebruik zal via het systeem gemonitord worden en door middel van interviews wordt bepaald hoe de gebruikers het systeem en het comfort ervaren.

2.2 Doelstelling

Dit project heeft tot doel de barrières en kennishiaten die grootschalige introductie van persoonlijke klimaatsystemen belemmeren op te lossen in nauwe samenwerking tussen de ketenpartners en daarmee de weg vrij te maken voor brede implementatie van persoonlijke klimaatsystemen, met als uiteindelijk doel het energiegebruik in kantoren significant te verlagen en het comfort te verbeteren. Tijdens de uitvoering van het project is vooral gefocust op het realiseren van een persoonlijk klimaatsysteem en op grote schaal te testen of dit systeem voldoet om het energiegebruik terug te dringen en tegelijkertijd het comfort te verhogen. Daarnaast is een inventarisatie gemaakt hoe het systeem daadwerkelijk geïmplementeerd kan worden.

2.3 Werkwijze

Het project is opgedeeld in verschillende onderdelen:

- Werkpakket 1: Ontwikkeling van de prototypes
- Werkpakket 2: Regeling van het systeem
- Werkpakket 3: Gebruikersonderzoek
- Werkpakket 4: Implementatiestrategie
- Werkpakket 5: Coördinatie en disseminatie

Hieronder volgt per werkpakket de werkwijze.

² Zie openbaar eindrapport TKI UCER (projectnr. TKIGB01006).

2.3.1 *Werkpakket 1: Ontwikkeling van de prototypes*

Binnen dit werkpakket zijn de prototypes van het persoonlijk klimaatsysteem ontwikkeld. Allereerst zijn de eisen van het systeem opgesteld. Vervolgens zijn de specificaties en het ontwerp van de prototypes gemaakt. Hierbij werd gebruik gemaakt van de kennis en ervaring van de partners. Om aan de gestelde eisen te voldoen zijn er testopstellingen en tussenontwerpen gemaakt. Tijdens deze ontwikkeling is er een initieel ontwerpdocument opgesteld, Ref. [10]. Hierin zijn allereerst de specificaties opgenomen. Vervolgens zijn de ontwerpkeuzes daarin beschreven. Echter, het uiteindelijke prototype is vervaardigd door de projectpartners en de beschrijvingen, productietekeningen etc. zijn in de bedrijfsprocessen van deze partners opgenomen. Het ontwerpdocument (Ref. [10]) is niet volledig up to date met het uiteindelijke prototype. Additionele informatie die tijdens de ontwikkeling van de prototypes is gebruikt, is beschreven in Ref. [7], [8] en [9]. Deze documenten bevatten informatie over de veiligheid van het verwarmde bureaublad en het optimaliseren van de luchtstroming en het geluidniveau van het verkoelingsconcept.

Het ImPeKt systeem is op basis van de vooraf opgestelde eisen en specificaties ontworpen met de volgende onderdelen:

1. Bureau
2. Stoel
3. Aanwezigheidsdetectie
4. Controller
5. Verwarming
6. Verkoeling
7. Verlichting
8. Diverse sensoren voor de verwarming, verkoeling, verlichting
9. User device

In dit werkpakket zijn vooral voor de onderdelen 3 t/m 9 verschillende activiteiten uitgevoerd om een gefundeerde keuze te maken voor het ontwerp, materiaal etc. In Paragraaf 2.4 wordt per onderdeel een beschrijving van het ontwikkelde prototype gegeven.

2.3.2 *Werkpakket 2: Regeling van het systeem*

Tijdens het project zijn twee varianten van de regeling gerealiseerd en getest, de eerste variant: de basisregeling, en de tweede variant: regeling met daglichtcorrectie en optie voor een automatische daglichtcurve.

In het voorstel wordt gesproken over het ontwikkelen van een zelflerende regeling. Tijdens het project bleek dat het ontwikkelen van de basisregeling al zeer uitgebreid is. Deze basisregeling zorgt al voor het meeverhuizen van de persoonlijke instellingen met de medewerker. Ook het implementeren van de automatische daglichtcorrectie en een daglichtcurve waren een groot deel van de activiteit.

2.3.3 *Werkpakket 3: Gebruikersonderzoek*

Het gebruikersonderzoek heeft plaatsgevonden bij Sodexo en bij ING. Op beide locaties zijn metingen uitgevoerd op zowel de testverdieping als op een referentieverdieping. De data werd verkregen door alle sensoren en interventies van de gebruikers op de systemen te monitoren en de gebruikers te interviewen.

Het gebruikersonderzoek is grotendeels uitgevoerd door de TU Delft en is beschreven in Ref. [11].

2.3.4 *Werkpakket 4: Implementatiestrategie*

Om de implementatiestrategie op te zetten is er in het begin van het project een klankbordgroep sessie georganiseerd en is het concept van het persoonlijk klimaatsysteem tijdens deze sessie besproken. Daarnaast is het concept onder de aandacht gebracht via de media en zijn er verschillende verzoeken voor meer informatie binnengekomen. Dit gaf duidelijk aan dat er een behoefte in de markt is voor de persoonlijke klimaatsystemen. Dit heeft geresulteerd in de implementatiestrategie, zie Paragraaf 2.4.3 en Ref. [12] en een kosten baten tool om de energiebesparing in kaart te brengen.

2.3.5 *Werkpakket 5: Coördinatie en disseminatie*

De afstemming tussen de verschillende partijen, zowel voor de samenwerkingsovereenkomsten als de interfaces tussen de verschillende onderdelen van het prototype, het gebruikersonderzoek etc. zijn gecoördineerd vanuit dit werkpakket. Regelmatige afstemming door middel van terugkerende teleconferenties en voortgangsoverleggen hebben geleid tot de projectresultaten.

2.4 Resultaten van het project

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de deliverables van het project. In de volgende paragrafen komen de deliverables geclusterd naar de werkpakketten gedetailleerd aan de orde.

Tabel 2.1 Overzicht deliverables.

Werkpakket	Beoogde deliverable	Behaald?
Ontwikkeling concepten Persoonlijk Klimaatsysteem	D1.1 Eerste prototype persoonlijk klimaatsysteem D1.2 Definitief prototype persoonlijk klimaatsysteem met eenvoudige regeling D1.3 Protocol afstemming lokaal systeem met centrale klimaatregeling	Ja, er zijn verschillende versies van het prototype gemaakt, de definitieve versie is geproduceerd en geïnstalleerd voor het gebruikersonderzoek
Ontwikkeling zelflerende regeling	D2.1 Methodiek destilleren persoonlijke voorkeuren D2.2: Algoritmen zelflerende regeling D2.3: Geïntegreerde regeling	Ja, er is een geïntegreerde regeling die een automatische daglichtcorrectie en daglichtcurve bevat. De zelflerende regeling is via een wijziging vervallen
Gebruikersonderzoek	D3.1: Persoonlijk klimaatsysteem incl. eenvoudige regeling geïmplementeerd op 50 werkplekken D3.2: Persoonlijk klimaatsysteem incl. zelflerende regeling geïmplementeerd op 50 werkplekken D3.3: Rapportage resultaten evaluatie persoonlijk klimaatsysteem	Ja, in totaal is het ImPeKt systeem op 56 werkplekken geïmplementeerd op de twee testlocaties. De verkregen data van de systemen en de interviews zijn verwerkt in een rapportage, Ref. [11].

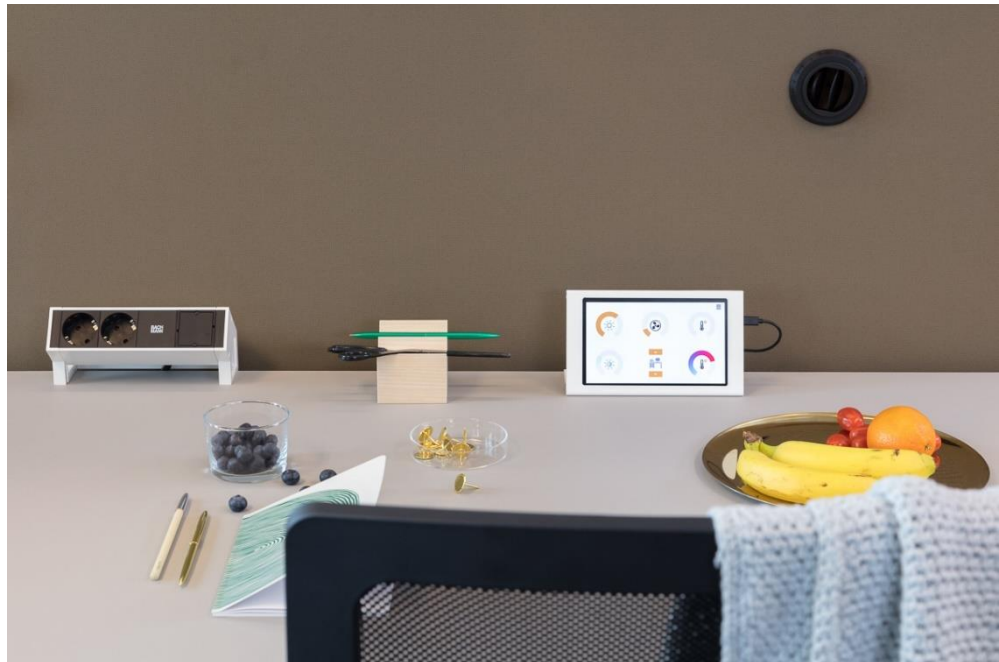
Implementatie-strategie	D4.1: Kosten-/batentool D4.2: beschrijving mogelijke energie management diensten op basis van persoonlijk klimaat D4.3: Publicatie mbt implementatiestrategie o.a. voor partijen internationale kantoor(her)inrichting	Er is een kostenbaten tool ontwikkeld. Implementatiestrategie Ref. [12].
Coördinatie en disseminatie	D5.1: Publicaties in (wetenschappelijke) vakbladen D5.2: Presentaties op diverse beurzen (o.a. internationaal kantoor(her)inrichting) D5.3: Bijeenkomsten projectpartners D5.4: Afsluitend seminar	Ja, er zijn diverse publicaties uitgebracht. Ook is het concept op meerdere beurzen gepresenteerd. Met de partners zijn regelmatig nuttige bijeenkomsten geweest. Alles is afgesloten met een seminar met het consortium, de klankbordgroep en met diverse derde partijen.

2.4.1 Resultaten prototypes en regeling (Werkpakketten 1 en 2)

Binnen de eerste twee werkpakketten zijn de prototypes en de regeling ontwikkeld. Hieronder zijn foto's (Figuur 2.1 en 2.2) opgenomen van het ontwikkelde prototype bij de testlocatie van Sodexo. Vergelijkbare systemen zijn geplaatst bij ING.



Figuur 2.1 Werkplekken met individueel in te stellen verlichting, verwarming en verkoeling, foto van Ahrend, fotograaf: Stijn Poelstra.



Figuur 2.2 Inlogscherm van de tablet om de werkplek in te stellen, foto van Ahrend, fotograaf: Stijn Poelstra.

De werkplekken bestaan uit verschillende onderdelen. Hieronder volgt kort een beschrijving van de individuele onderdelen:

Bureau

Een zit-, sta- werkplek is geselecteerd als basis. In overleg met ING en Sodexo zijn de kleuren en materialen bepaald voor zover dit mogelijk was in combinatie met de andere onderdelen.

Stoel

In overleg met ING en Sodexo zijn de stoelen geselecteerd. In het begin van het traject is overwogen om een sensor in de stoel te plaatsen. Uiteindelijk is deze niet geselecteerd, omdat de aanwezigheid op een andere wijze bepaald wordt.

Aanwezigheidsdetectie

Onder het bureau is een aanwezigheidssensor aangebracht. Deze is aangebracht om het systeem automatisch uit te schakelen bij lange afwezigheid. Als op een moment een uur lang geen aanwezigheid is gemeten en een uur lang de gebruikersinterface niet is gebruikt, wordt de gebruiker afwezig verondersteld en wordt de verwarming, verlichting en verkoeling uitgezet. Een tijdsperiode van een uur voorkomt dat het systeem uitgaat als de gebruiker kort weg is b.v. om koffie te halen.

Controller

De controller is een belangrijk onderdeel in het aansturen van de verschillende actuatoren (verwarming, verlichting, verkoeling), het verzamelen van de data (inlezen van sensoren) en het versturen van de data naar de server voor het monitoren van de data. Ook zorgt de controller ervoor dat de user interface op het device zichtbaar is en bediend kan worden.

Verwarming

Zowel in de bovenkant als in de onderkant van het bureaublad is een verwarmingsmat geplaatst. Aan de bovenzijde is deze geïntegreerd in het bureaublad. Aan de onderzijde is deze afgewerkt met een stof. De vorm van de verwarming, het vermogen van de mat en het vermogen van de voeding zijn met behulp van deeltesten uitvoerig bepaald. Van invloed op de keuze hiervan waren o.a. de opwarmingsnelheid, de kosten en de (brand)veiligheid. De gebruiker is in staat om snel de verwarming te voelen. De maximale temperaturen geven een warm gevoel, maar zijn niet zodanig hoog dat er brandgevaar optreedt. Door zowel boven als onder verwarming te hebben kan het lichaam van de gebruiker voldoende warmte krijgen om koude handen en voeten (vaak gehoorde klacht) te voorkomen.

Verkoeling

Er is gekozen om verkoeling te realiseren d.m.v. luchtbeweging, omdat dit vanuit energetisch oogpunt gunstig is. Aanvankelijk was het idee om zowel onder het bureaublad als boven het bureaublad luchtbeweging te realiseren. Op basis van de praktische uitvoerbaarheid zijn de prototypes alleen met verkoeling aan de bovenzijde van het bureaublad uitgerust. De keuze van de ventilator en de vormgeving zijn onderzocht. Vooral het geluidsaspect van de ventilatoren heeft een rol gespeeld in het uiteindelijk ontwerp; het geluid is zoveel mogelijk beperkt.

Verlichting

De verlichting geeft de mogelijkheid om op individueel niveau de lichtsterkte en de kleurtemperatuur in te stellen. Daarnaast kan men kiezen om het licht te laten verlopen volgens de daglichtcurve. Dit houdt in dat de kleurtemperatuur verloopt met de kleurtemperatuur buiten. Hiervoor is gebruik gemaakt van een vaste kleurcurve waarbij de lichtkleur varieert over de dag. Deze kleurcurve is ingebracht door TRILUX en door TNO in de regeling geïmplementeerd.

Diverse sensoren voor de verwarming, verkoeling, verlichting

In het systeem zijn diverse sensoren geplaatst om de actuators juist te laten functioneren en om informatie te krijgen over het functioneren en het gebruik van het systeem. Hieronder in de paragraaf over de regeling staat meer beschreven over de geïmplementeerde sensoren die in de regeling gebruikt zijn. Daarnaast zijn er sensoren geïnstalleerd voor het monitoren van de ruimtetemperatuur en de verticale verlichtingssterkte op de werkplek.

User device

De gebruiker kan via de user device zelf de verlichting, de verkoeling, en/of de verwarming bedienen. De gebruiker dient hiervoor in te loggen. Met het inloggen identificeert de gebruiker zich ook bij het systeem. Als een gebruiker inlogt, worden de instellingen voor verwarming, verlichting en verkoeling automatisch ingesteld op de waarden zoals de betreffende gebruiker deze de laatste keer heeft ingesteld op één van de werkplekken. Dit voorkomt dat gebruikers elke keer de voorkeursinstellingen opnieuw moeten instellen. Het opslaan van gebruikersinstellingen in een centrale database maakt dit mogelijk. De gebruiker kan bij vertrek uitloggen. In dat geval worden verwarming, verlichting en verkoeling uitgezet.

Regelingen

In het gebruikersonderzoek zijn twee regelingen actief geweest. In de beginperiode

een basisregeling en later deze regeling met een daglichtcorrectie en een daglichtcurve.

In de eerste variant van de regeling kan de gebruiker met de gebruikersinterface (Figuur 2.2) de temperatuur van het bovenblad, de temperatuur onder het werkblad, het lichtniveau en de kleurtemperatuur van de Impekt verlichtingsunit en de luchtbeweging instellen.

De temperatuurregeling maakt daarbij gebruik van een aan-uit regeling op basis van een temperatuursensor per geïntegreerd verwarmingselement.

Na de basisregeling is een tweede regeling geïmplementeerd met automatische daglichtcorrectie en een optie voor een automatische daglichtcurve. Bij deze regeling wordt niet de hoeveelheid licht uit de verlichtingsunits ingesteld maar de totale lichthoeveelheid op het werkblad. De totale lichthoeveelheid op het werkblad bestaat niet alleen uit kunstlicht maar ook uit daglicht waarvan de hoeveelheid varieert. Daarom moet de hoeveelheid licht op de werkvlak worden gemeten. In de praktijk is het lastig om licht met een sensor op het werkvlak te meten door papieren, toetsenbord, scherm e.d. Daarom zijn twee sensoren aangebracht in de verlichtingsunit die naar beneden zijn gericht op het werkvlak. Het is belangrijk dat deze sensoren het licht van het werkvlak meten en niet van bijvoorbeeld het licht van het werkvlak van de overbuurman. Omdat geen sensoren konden worden gevonden met de juiste openingshoek, zijn bestaande lichtsensoren voorzien van een huisje waardoor de sensoren alleen het licht van het werkblad meten. Deze huisjes zijn binnen het ImPeKt project ontworpen en 3D geprint. Om de lichthoeveelheid zo gemeten te vertalen naar de lichthoeveelheid op het werkblad zijn de sensoren automatisch geijkt door 's nachts per bureau de verlichtingsunits aan te zetten en de lichthoeveelheid met de lichtsensoren te meten. Hiermee zijn ook meteen verschillen in de sensoren geijkt.

Een aandachtspunt voor deze lokale daglichtregeling is dat bij veel daglicht, het kunstlicht uit kan blijven. Het is belangrijk dat gebruikers dat begrijpen bijvoorbeeld om te voorkomen dat gebruikers denken dat het systeem defect is. Goede voorlichting aan de gebruikers hierover is essentieel.

Centrale database ten behoeve van monitoring systeem

Om de data te verzamelen zijn alle gebruikersinstellingen, sensorwaarden en actuatorstanden per werkplek verzameld in een centrale database.

Hierbij wordt de data eerst lokaal opgeslagen en periodiek naar de centrale database gestuurd. Hierbij is de data lokaal pas verwijderd als deze data op de centrale database aanwezig was o.a. om dataverlies door verbindingsproblemen te voorkomen.

2.4.2 Resultaten gebruikersonderzoek (Werkpakket 3)

Onderstaande conclusies zijn gebaseerd op de rapportage van het gebruikersonderzoek, Ref. [11].

Het ImPeKt-systeem heeft een meerwaarde voor de gebruikers ten opzicht van conventionele bureaus. Het zelf kunnen instellen van de verwarming, de verkoeling en de verlichting wordt als positief ervaren.

Uit de mondelinge enquêtes is naar voren gekomen dat het verlichtingssysteem gewaardeerd wordt door mensen die meer verlichting nodig hebben voor precisiewerk of om andere redenen, maar de klachten over de te lage omgevingsverlichting waren dermate groot dat hier nog verder naar gekeken moet worden.

De negatieve reacties uit de beginperiode van de test zijn te wijten aan het nog niet goed functioneren van het systeem, met name het niet kunnen inloggen en het feit dat tablets en de Wifi vaak uitvielen. Als daarvoor wordt gecorrigeerd blijft het beeld over van een kleine groep gebruikers die enthousiast is over het systeem en een grotere groep gebruikers die het systeem wel waardeert maar niet altijd nodig heeft. Als negatief werden de volgende aspecten beoordeeld:

- Lager algemeen omgevingsverlichtingsniveau
- Soms de koude omgevingstemperatuur
- Het moeten inloggen om het systeem in werking te stellen

Met het ImPeKt systeem is tijdens de testperiode bij ING een energiebesparing van 5 à 6 % op het totale primaire energiegebruik bereikt³. Deze energiebesparing is met name toe te schrijven aan het verlagen van de algemene verlichting en het verminderen van de koelbehoefte in de zomer. Tijdens de testperiode is het slechts beperkt gelukt om de binnentemperatuur in de winter omlaag te brengen. In het algemeen wordt verwacht dat een besparing van circa 10% op het primaire energiegebruik haalbaar is indien de ruimtetemperatuur in de winter tenminste 1 °C verlaagd kan worden en als het standby verbruik van het systeem tot een minimum wordt beperkt. De grootste energiebesparing is daarbij toe te schrijven aan de vermindering van het algemene verlichtingsniveau en in de tweede plaats aan het verminderen van de koelbehoefte in de zomer. De bureauverwarming is vooral effectief voor verbetering van het thermisch comfort en levert doorgaans geen energiebesparing op.

De aanbevelingen uit de rapportage van het gebruikersonderzoek, Ref. [11] zijn als volgt:

Voor gebruikers is een persoonlijk comfort systeem nieuw en dat vraagt om voorlichting en ook enige aanpassing van de gebruiker. Zo is het niet vanzelfsprekend dat de ventilator alleen voor verkoeling zorgt en dat er geen verse lucht wordt toegevoerd, maar geconditioneerde lucht uit de ruimte. Gebruikers zijn ook niet gewend dat ze hun thermisch comfort of verlichtingsniveau zelf kunnen bijregelen en wat de toegevoegde waarde kan zijn van een daglichtregeling. Veel gebruikers nemen het gewoon zoals het is, ook al zijn ze niet helemaal tevreden. De gebruikers moeten op deze punten goed geïnstrueerd worden.

Om het energiegebruik voor de verlichting optimaal te kunnen verlagen met behoud van het comfort van de gebruiker zal er onderzoek gedaan moeten worden naar de optimale verhouding van de omgevingsverlichting en de bureauverlichting.

2.4.3 *Implementatiestrategie (Werkpakket 4)*

Ref. [12] beschrijft de implementatiestrategie van Ahrend. In dit document zijn de ervaringen en de lessons learned beschreven waar Ahrend en het consortium tegenaan gelopen zijn tijdens het project en de activiteiten gericht op het beschikbaar maken van de werkplek van Ahrend. Daarnaast staan er gericht acties beschreven wat er nodig is om een goede implementatie en acceptatie van de comfortwerkplekken te krijgen.

Daarnaast is er een kostenbaten tool ontwikkeld om een eerste grove inschatting te maken van wat de ImPeKt werkplek aan energiebesparing kan leveren voor

³ De bezetting bij de testlocatie van Sodexo was onvoldoende om een gefundeerde uitspraak te doen over de energiebesparing.

verschillende typen gebouwen (o.a. voor verschillende bouwjaren, wel/geen warmteterugwinning, verschillende bezettingsgraad).

2.4.4 *Coördinatie en disseminatie (Werkpakket 5)*

Binnen het project zijn er verschillende artikelen op websites geplaatst, zie o.a. [1], [2], [3], [4], [5], [6]. Naast deze publicaties zijn er presentaties gegeven op de volgende beurzen en congressen:

- Well being at Work, 2016
- Masterclass kantoor vol energie, Platform 31, november 2016.
- Vakbeurs Facilitair 2017
- Smart workplace design summit in Amsterdam
- Techo-con in Praag
- Bre Biophilic summit (Using Nature-Inspired Design and Technology to Enhance Wellness of the workplace event) in Hoofddorp, 28 november 2018.

Naast de disseminatie van de resultaten zijn er regelmatig teleconferenties en overleggen met de partners geweest om de voortgang van het project te bespreken. Andere coördinatie activiteiten waren het opstellen van de samenwerkingsovereenkomst tussen de consortiumpartners, het rapporteren van de voortgang en wijzigingen naar het RVO.

Aan het einde van het project zijn de resultaten gepresenteerd aan een grote groep externen. Er kwamen veel positieve reacties op het concept. Ahrend heeft hierbij ook de laatste versie van de comfort werkplek gepresenteerd; de ontwikkeling van de werkplek is parallel aan het project namelijk gewoon doorgegaan.

2.5 **Spin off en vervolgactiviteiten**

Tijdens het project zijn meerdere consortiumpartners benaderd voor meer informatie over het concept en het uitvoeren van (internationale) pilots en onderzoeken. Daarnaast heeft het consortium ook aangeboden op een tender van RijksVastgoedBedrijf. RijksVastgoedBedrijf heeft een opdracht bij Ahrend geplaatst om klimaatsystemen te leveren voor een meerjarig onderzoek dat RijksVastgoedBedrijf uit gaat voeren naar het effect van deze systemen. Daarnaast zijn er verschillende initiatieven bij Ahrend om de klimaatsystemen of aangepaste systemen te vermarkten.

2.6 **Discussie**

Het gebruikersonderzoek was opgezet met de gedachte om een grootschalige, realistische omgeving te hebben. Binnen deze omgeving is de ontwikkelde werkplek getest en is onderzocht wat de energiebesparing en comfortverhoging was. Onder deze omstandigheden kan men concluderen dat de groep die discomfort ervaarde gebaat is bij de werkplek en men kan concluderen dat een energiebesparing mogelijk is. Wat niet onderzocht is, zijn de grenzen waarbij het systeem de meeste besparing en comfortverhoging kan geven. Indien er gekozen zou zijn voor een gebouw met extremere comfortklachten, zou de impact van de werkplekken mogelijk hoger kunnen zijn. Hetzelfde geldt voor de mogelijke energiebesparing.

Tijdens het gebruikersonderzoek werd het algemene lichtniveau als negatief ervaren. De keuze om het algemene lichtniveau gedurende een bepaalde periode uit te schakelen, was gemaakt om het gebruik van het systeem te bevorderen. In het algemeen zou er een basisverlichting blijven bestaan. Deze keuze heeft het onderzoek negatief beïnvloed.

Tijdens het onderzoek is naast de functionaliteit van de werkplekken ook onderzocht hoe de functionaliteiten aangestuurd konden worden. De initiële ideeën voor een uitgebreide regeling bleken hier te ambitieus te zijn en ook moeilijk operationeel te krijgen. Daardoor is er veel tijd en energie in gaan zitten. In volgende prototypes en projecten zal hier meer rekening mee gehouden worden.

2.7 Conclusie en aanbevelingen

Met het ontwikkelen en op grote schaal testen van prototypes van een persoonlijk klimaatsysteem heeft dit project bijgedragen om de barrières en kennishiaten voor grootschalige introductie van persoonlijke klimaatsystemen op te lossen. Het ontwikkelen van de prototypes heeft geleid tot 56 werkplekken op de twee testlocaties. Het gebruikersonderzoek toont aan dat bij relatief energiezuinige kantoorgebouwen tot wel 10% energiebesparing mogelijk is bij een beperkte verruiming van de temperatuurbandbreedte. De grootste energiebesparing is toe te schrijven aan de vermindering van het algemene verlichtingsniveau en in de tweede plaats aan het verminderen van de koelbehoefte in de zomer. De bureauverwarming is vooral effectief voor verbetering van het thermisch comfort en levert doorgaans geen energiebesparing op. Gebruikers geven aan dat het ontwikkelde systeem kan leiden tot comfortverhoging. Echter, voorlichting aan de gebruikers en aanpassingen in het gedrag van de gebruikers zijn nodig om het systeem optimaal te laten werken.

Tijdens de uitvoering van het project is vooral gefocust op het beschikbaar maken van een persoonlijk klimaatsysteem en op grote schaal te testen of dit systeem voldoet om het energiegebruik terug te dringen en tegelijkertijd het comfort te verhogen. Daarnaast is een inventarisatie gemaakt hoe het systeem daadwerkelijk geïmplementeerd kan worden.

3 Uitvoering van het project

3.1 Toelichting wijze van kennisverspreiding en PR project en verdere PR-mogelijkheden

In Paragraaf 2.4.4 zijn de verschillende publicaties genoemd (o.a. Ref. [1], [2], [3], [4], [5], en [6]). Naast deze publicaties zijn er presentaties gegeven op de volgende beurzen en congressen en is de werkplek gepresenteerd op verschillende beurzen:

- Well being at Work, 2016
- Masterclass kantoor vol energie, Platform 31, november 2016.
- Vakbeurs Facilitair 2017
- Smart workplace design summit in Amsterdam
- Techo-con in Praag
- Bre Biophillic summit (Using Nature-Inspired Design and Technology to Enhance Wellness of the workplace event) in Hoofddorp, 28 november 2018.

Bovenstaande presentaties hebben geleid tot meerdere (internationale) aanvragen voor meer informatie. Ahrend wil verder met het concept van het persoonlijke klimaatsysteem en zal ook de toekomstige PR op zich nemen.

3.2 Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)

Het project draagt bij aan programmalijn 4: Energieregelsystemen en -diensten voor energiebesparing en optimaal energiegebruik op gebouw- en gebiedsniveau:

In het project is een modulair opgebouwd geïntegreerd persoonlijk klimaatsysteem ontwikkeld voor toepassing in kantoren. Het systeem is zo ingericht dat het energie bespaart en het comfort verhoogt doordat op centraal niveau de klimatisering wordt terug geschroefd en er op lokaal niveau door een individuele gebruiker kan worden bijgesteld. Er is een prototype van het persoonlijk klimaatsysteem gemaakt en deze is op 56 werkplekken ruim een jaar getest. Onder de condities van de testlocaties en de gebruikte controller is een energiebesparing van 5 à 6 % op het totale primaire energiegebruik bereikt. Bij gebruik van een controller met een normaal standby verbruik is een energiebesparing van 10% te verwachten. Uit het gebruikersonderzoek is gebleken dat het ImPeKt-systeem tevens bijdraagt aan het verbeteren van het binnenklimaat. Vooral een deel van de gebruikers dat zonder systeem ontevreden is met het binnenklimaat, geeft in het gebruikersonderzoek aan dat het ImPeKt-systeem voor hen een meerwaarde geeft.

Met de lessen die geleerd zijn in het project, kan het persoonlijk klimaatsysteem verder worden geoptimaliseerd en is een hogere energiebesparing mogelijk. Ook in de communicatie naar de gebruikers (interface, instructie, etc.) is nog een stap te maken, waardoor ze meer voordeel kunnen halen op hun thermisch en visueel comfort.

Het persoonlijk klimaatsysteem is volledig elektrisch, waardoor plug and play toepassing mogelijk is. Dit is met name interessant om het comfortniveau en de energieprestatie in bestaande kantoren tegen relatief lage kosten te kunnen

verbeteren. Het is mogelijk een koppeling te maken met duurzaam opgewekte elektriciteit.

4 Referenties

- [1] *Persoonlijk comfort voor medewerkers van ING en Sodexo*, Nieuwsbericht website van TNO; <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2017/6/persoonlijk-comfort-voor-medewerkers-van-ing-en-sodexo/>, 6 juni 2017.
- [2] *Hoe ziet het kantoor van de toekomst eruit?*, <http://www.getinspiredbylight.nl/speciale-kersteditie#!/hoe-ziet-het-kantoor-van-de-toekomst-eruit-wij-vroegen-het-aan-een-onderzoeker-van-het-tno>, 21 december 2017.
- [3] *Ahrend and Strukton Worksphere introduce a new level of comfort and energy-efficiency in the workplace*, <https://www.ahrend.com/en/about-us/news-overview/articles/news/2017/ahrend-and-strukton-worksphere-introduce-a-new-level-of-comfort-and-energy-efficiency>, 19 juli 2017.
- [4] *Everybody happy: Personal control over the indoor work environment*, <https://qualityoflifeobserver.com/content/everybody-happy-personal-control-over-indoor-work-environment>, 25 augustus 2016.
- [5] *Persoonlijk comfort op de werkplek*, <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/leefomgeving/buildings-infrastructures/energiepositieve-gebouwde-omgeving/persoonlijk-comfort-op-de-werkplek/>, 1 april 2016.
- [6] Jasperien van Weerd, *Is de kantoortuin uitgebloeid?*, ad visie achtergrond, december 2018.
- [7] Ahrend Productiebedrijf Sint-Oedenrode, *Temperatuurproeven verwarmde ImPeKt bladen*, 16-3-2017.
- [8] Martin Tenpierik, *ImPeKt verkoelingsconcept – Eerste bevindingen TU Delft mbt geluid*, TU Delft, 31-08-2016.
- [9] Bas Knoll, *ImPeKt verkoelingsconcept – Bevindingen TNO mbt luchtstroming*, TNO, 30-08-2016.
- [10] Bakker, L. Hoes, L. van Pul-Verboom, V., *Ontwerpdokument ImPeKt*, TNO report TNO 2019 R10281, 22-02-2019.
- [11] G.J. Hordijk, E.R. van den Ham, P.A. Ruben, *IMPEKT-werkplek, Gebruikerservaring en energiebesparing*, maart 2019.
- [12] Akker, T. van den, Huiskes, G., *Implementatiestrategie comfortwerkplekken (Vertrouwelijk)*, Ahrend, 15-3-2019.

5 Ondertekening

Delft, maart 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping horizontal strokes.

E.D. Nennie
Research Manager
Heat Transfer and Fluid Dynamics

TNO

A handwritten signature in blue ink, reading 'V. van Pul-Verboom' in a cursive style.

V. van Pul-Verboom
Auteur