

# Persoonlijke verwarmkantoorgebouwen

Ontwikkelingen in de huidige bouwpraktijk richten zich steeds vaker op energiebesparing en verbetering van het comfort van de gebruiker. In dit artikel wordt stilgestaan bij een laboratoriumstudie die is uitgevoerd naar een 'plug-and-play' systeem voor persoonlijke verwarming in kantoorgebouwen. In deze pilotstudie is ingegaan op de mogelijke bijdrage van een persoonlijk verwarmingssysteem aan een comfortabel klimaat voor de gebruiker. Daarnaast is gekeken in welke situaties er met persoonlijke verwarming energetische winst kan worden behaald.

Mw. ir. E.C.M. van Oeffelen, ir. K. van Zundert en ir. P. Jacobs, TNO Bouw en Ondergrond

Gedurende het stookseizoen wordt in kantoorgebouwen veel energie gebruikt voor verwarming. Deze verwarming wordt meestal per ruimte ingesteld. Ook als meerdere personen in deze ruimte aanwezig zijn, resulteert de verwarming in één ruimteluchttemperatuur. De gebruiker kan dan nauwelijks invloed uitoefenen op zijn of haar thermische omgeving. Door de setpoint temperatuur van de centrale verwarming in het stookseizoen te verlagen van 22 °C naar 20 °C of zelfs 18 °C en op de werkplek op lokaal niveau stralingspanelen toe te passen waarmee de gebruiker zijn of haar thermische omgeving zelf kan bijregelen, kan het thermisch comfort van de gebruiker naar persoonlijke voorkeur worden afgesteld en wordt verwacht dat energie kan worden bespaard. In tweepersoonskamers en vooral in kantoorruimten zou dit systeem een goede oplossing kunnen bieden aan de verschillen in persoonlijke voorkeur qua temperatuur van de gebruikers.

Energiebesparing zal in de praktijk alleen haalbaar zijn wanneer het comfortniveau van de gebruiker er niet op achteruit gaat. In deze pilotstudie is daarom in de eerste plaats gekeken in hoeverre persoonlijke verwarming kan bijdragen aan een comfortabele thermische omgeving voor de gebruiker. Hiertoe is in een klimaatkamer proefpersonenonderzoek (N=10) verricht naar een systeem voor individueel regelbare lokale verwarming, waarbij de nadruk is gelegd op het stookseizoen. Op basis van de meetresultaten en simulaties, is vervolgens een inschatting gemaakt in welke situaties met dit systeem energiebesparing kan worden gerealiseerd.

Door toepassing van individueel regelbare lokale verwarming kan het comfort van de gebruiker worden verhoogd. Uit onderzoek [1] is namelijk gebleken dat het zelf kunnen beïnvloeden van de omgevingstemperatuur er toe leidt dat meer gebruikers tevreden zijn over hun omgeving. Dit heeft weer een positief

effect op de productiviteit. Daarnaast heeft een verlaging van de ruimteluchttemperatuur een positief effect op de perceptie van de luchtkwaliteit [2].

## ■ ACHTERGRONDEN

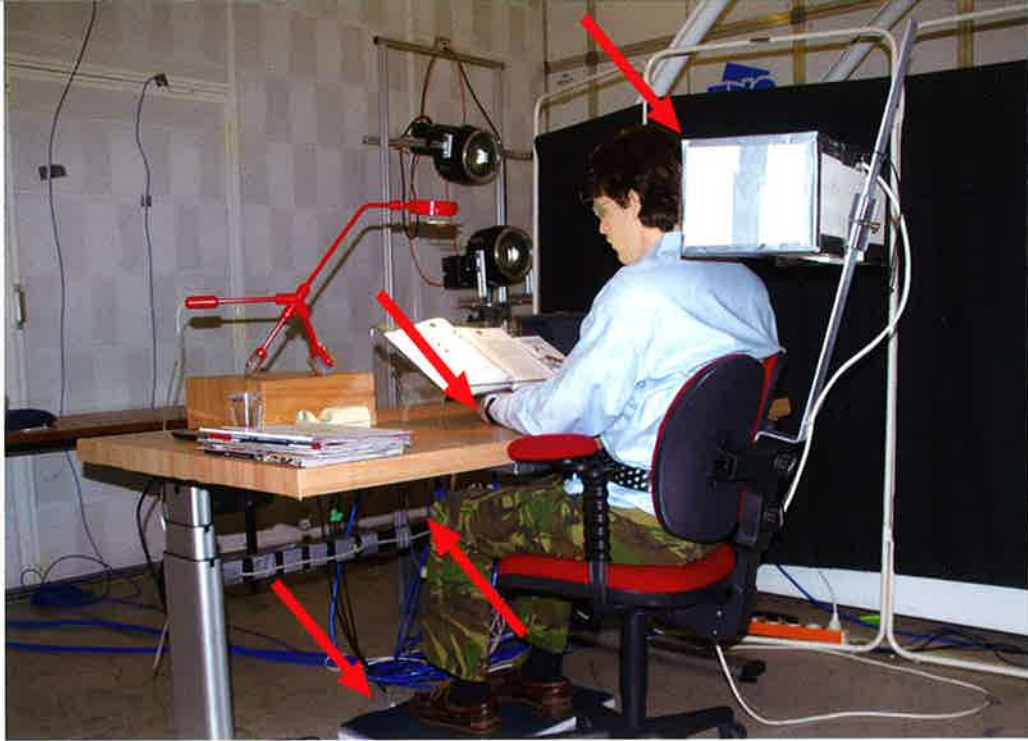
De afgelopen jaren zijn verschillende onderzoeken verricht naar de mogelijkheden van persoonlijke klimatisering, waarbij zowel naar lokaal verwarmen als lokaal koelen is gekeken. Uit onderzoek van [2] blijkt dat de meeste proefpersonen het comfortabel hebben bij een ruimteluchttemperatuur van 20 °C in combinatie met vier lokale stralingspanelen (in de rugleuning van de stoel, onderzijde bureau, schuin voor onderbenen en onderzijde stoel). Bij een ruimteluchttemperatuur van 14 en 17 °C ervaart de helft van de proefpersonen koude discomfort bij één of meer lichaamsdelen. Het ervaren thermisch comfort hangt echter sterk samen met het aantal en de locatie van de stralingspanelen.

# ming in

[3] hebben met behulp van een thermische mannequin onderzocht in welke mate het met verschillende task-ambient conditioning (TAC) systemen mogelijk is de omgevings-temperatuur individueel te beïnvloeden. Uit de resultaten blijkt dat met de verschillende TAC-systemen (bestaande uit verwarmen en koelen) een equivalente verandering in de ruimteluchttemperatuur van 3 tot 9 K kan worden behaald. [4] hebben onderzocht of het mogelijk is om bij ruimteluchttemperaturen van 20, 22 en 26 °C met een individueel controlled system (ICS) een acceptabele luchtkwaliteit en thermische omgeving te realiseren. Hiertoe zijn verschillende regelmogelijkheden voor koelen, verwarmen en ventileren opgenomen. Uit de resultaten blijkt dat het gebruik van ICS het thermisch comfort van de proefpersonen bij alle condities verhoogt ten opzichte van een ruimteluchttemperatuur van 22 °C zonder individuele controle-mogelijkheden. De proefpersonen voelen zich bij de verschillende condities met ICS algemeen comfortabel, maar geven wel aan lokaal discomfort te ervaren. [5] geven aan dat het lokaal comfort van de voeten, handen en het gezicht in grote mate het algehele thermisch comfort van de mens bepaalt. Zij hebben daarom onderzoek gedaan aan een TAC-systeem dat de handen en voeten verwarmt (60 W) en de handen en het gezicht koelt (42 W). Met behulp van het TAC-systeem is het mogelijk over een temperatuurbereik van 18-30 °C comfort te behalen. Door middel van simulaties is ingeschat dat bij intensief gebruik van het TAC-systeem een energiebesparing van 40 % haalbaar is en bij matig gebruik van het systeem een besparing van 30 %. De resultaten uit bovengenoemde studies tonen aan dat een systeem voor persoonlijke verwarming een positief effect heeft op het thermisch comfort van de gebruiker. Geen van de studies heeft echter de energetische consequenties van een dergelijk systeem goed onderzocht. In het onderliggende onderzoek worden beide aspecten meegenomen.

## ■ PROEFOPSTELLING

In dit onderzoek is een systeem voor persoon-



- Figuur 1 - Proefopstelling. De pijlen geven de positie van de stralingspanelen aan.

lijke verwarming toegepast dat is opgebouwd uit elektrische stralingspanelen die in een bureau en een bureaustoel zijn geïntegreerd. De stralingspanelen zijn op vier posities aangebracht: in de hoofdsteun van de stoel, aan de bovenzijde van het bureaublad, aan de onderzijde van het bureaublad en op de vloer (figuur 1). De keuze voor deze posities en voor de afmetingen van de panelen is gebaseerd op onderzoeken die zijn uitgevoerd door andere onderzoeksinstituten en eigen inzichten. De stralingspanelen kunnen door de gebruiker worden aangestuurd met regelknoppen op de bovenzijde van het bureaublad.

## ■ OPBOUW EXPERIMENT

De laboratoriumexperimenten zijn uitgevoerd met tien mannelijke vrijwilligers in de leeftijd tussen de 20 en 30 jaar. Bij personen van deze leeftijd mag worden aangenomen dat de thermoregulatie intact is. Gedurende de experimenten is gestandaardiseerde kleding gedragen met een totale clo-waarde van 0,9 (inclusief de warmteweerstand van de bureaustoel).

Iedere proefpersoon heeft deelgenomen aan drie verschillende "blinde" meetsessies van elk 90 minuten waarbij de ruimteluchttemperatuur constant werd gehouden op 18 °C, 20 °C of 22 °C. De volgorde waarin de proefpersonen de verschillende meetcondities hebben doorlopen, is random. Tijdens alle experimenten is de proefpersoon op vaste momenten gevraagd de stralingspanelen zodanig in te stellen dat hij zich comfortabel voelt. De proefpersonen waren hierbij niet op de hoogte van de instellingen van de stralingspanelen en hadden alleen de mogelijkheid ieder paneel warmer, veel

warmer, kouder of veel kouder te zetten. De laatste 20 minuten van het experiment mocht de proefpersoon niets meer veranderen aan de instellingen van de panelen.

## ■ MEETGROOTHEDEN

Gedurende de experimenten zijn verschillende fysische omgevingsparameters en fysiologische parameters geregistreerd. De luchttemperatuur en de luchtsnelheid zijn op een hoogte van 0,1, 0,6 en 1,1 m rondom de proefpersoon gemeten volgens ISO 7726 [6]. Deze parameters zijn gedurende de meetsessies constant gebleven. Van ieder stralingspaneel is zowel de oppervlaktetemperatuur als het energiegebruik geregistreerd. De (gemiddelde) huidtemperatuur van de proefpersonen is gemeten volgens ISO 9886 [7]. De kerntemperatuur is rectaal gemeten. Tijdens ieder experiment is meerdere malen een vragenlijst over comfort en welbevinden afgenomen. Hierbij is onder andere gevraagd het ervaren thermisch comfort (algeheel en per lichaamsdeel) aan te geven op een visueel analoge schaal.

## ■ ALGEMEEL COMFORT

### Beoordelingscriteria

Volgens de richtlijnen van de Rijksgebouwendienst [8] dient het gemiddelde ervaren comfort van een grote groep (proef) personen minimaal te voldoen aan ISO 7730 [9] tussen de -0,5 en +0,5. Wanneer de PMV nul bedraagt, is ongeveer 95 % van de gebruikers tevreden over hun thermische omgeving. Omdat er in dit experiment geen sprake is van een grote groep proefpersonen is het statistisch gezien niet correct de PMV als toetsingscriterium te hanteren. Wel kan de zogenaamde Mean Thermal Vote (MTV), de gemiddelde

waardering voor de thermische omgeving over alle proefpersonen, worden bepaald uit de enquêteresultaten. Door de MTV te vergelijken met de gewenste PMV, kan een indicatie van het ervaren thermisch comfort worden verkregen. De gewenste PMV bedraagt dus nul met een maximale bandbreedte van -0,5 en +0,5. Als uitgangspunt is genomen dat het wenselijk is dat de MTV, uitgezet op eenzelfde schaalverdeling, ook op deze nulwaarde of in ieder geval binnen de gestelde bandbreedte ligt.

## MEETRESULTATEN

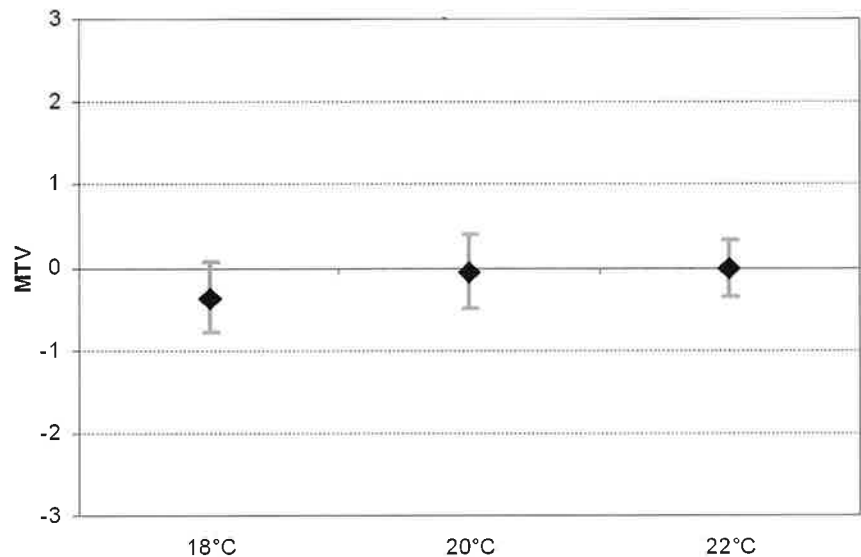
Uit de resultaten (figuur 2) blijkt dat de MTV bij alle condities binnen de gestelde grenswaarden ligt. Bij 20 en 22 °C wordt de nagestreefde nulwaarde (bijna) gehaald. Bij 18 °C ligt de MTV-waarde een stuk lager (-0,37). Dit komt theoretisch gezien overeen met een Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) van 11,3 %.

Uit de standaarddeviatie (0,34-0,45) blijkt dat de individuele verschillen tussen de proefpersonen bij alle condities groot zijn.

Vervolgens is gekeken hoeveel winst er in dit experiment voor comfort is gehaald door de toepassing van stralingspanelen in vergelijking tot dezelfde condities zonder gebruik van stralingspanelen. Doordat er geen metingen zijn verricht voor de situaties zonder stralingspanelen, is hiervoor een vergelijking gemaakt met de berekende PMV. De berekende PMV voor de situaties zonder stralingspanelen is hiertoe vergeleken met de uit de enquêteresultaten bepaalde MTV, de situatie mét gebruik van stralingspanelen.

In figuur 3 is zowel de MTV als de berekende PMV uitgezet. De resultaten laten zien dat het gebruik van stralingspanelen een positieve invloed heeft op het thermisch comfort van de proefpersonen ten opzichte van dezelfde situatie zonder stralingspanelen.

Bij 18 °C leveren de stralingspanelen een grote winst op ( $\Delta PMV=0,53$ ) en komt de MTV hierdoor binnen de aangehouden comfortgrenzen (-0,5 tot +0,5) te liggen. De nagestreefde MTV van nul wordt echter niet bereikt. Bij 20 °C leidt het gebruik van stralingspanelen ertoe dat het comfort bijna op nul komt te liggen. Bij 22 °C blijft de MTV met stralingspanelen op nul. Belangrijk aandachtspunt bij bovenstaande vergelijking is dat deze slechts een eerste indruk geeft van het comfort wat mogelijk te behalen is bij toepassing van persoonlijke verwarming. Het betreft dus geen wetenschappelijke, statistisch correcte onderbouwing. Dit komt omdat er een vergelijking wordt gemaakt tussen een praktijksituatie met een beperkt aantal proefpersonen en een theoretisch bepaalde waarde (PMV) waarbij een groot aantal personen als uitgangspunt heeft gediend. Daarnaast is gebleken dat het voor de



- Figuur 2 - Mean Thermal Vote (MTV) met bijbehorende standaarddeviatie bij de verschillende condities en gebruik van stralingspanelen.

proefpersonen met de huidige user-interface niet gemakkelijk was om de stralingspanelen op de gewenste stand in te stellen. Wanneer deze interface wordt geoptimaliseerd, kan met hetzelfde systeem wellicht een hoger comfortniveau worden bereikt.

## LOKAAL COMFORT Beoordelingscriteria

Voor lokaal comfort zijn de richtlijnen van de Rijksgebouwendienst [8] niet één op één te gebruiken, omdat deze alleen gelden voor algeheel comfort. Voor de beoordeling is daarom aangehouden dat discomfort in meer of mindere mate optreedt wanneer de MTV van het betreffende lichaamsdeel afwijkt van neutraal (nulwaarde).

## Meetresultaten

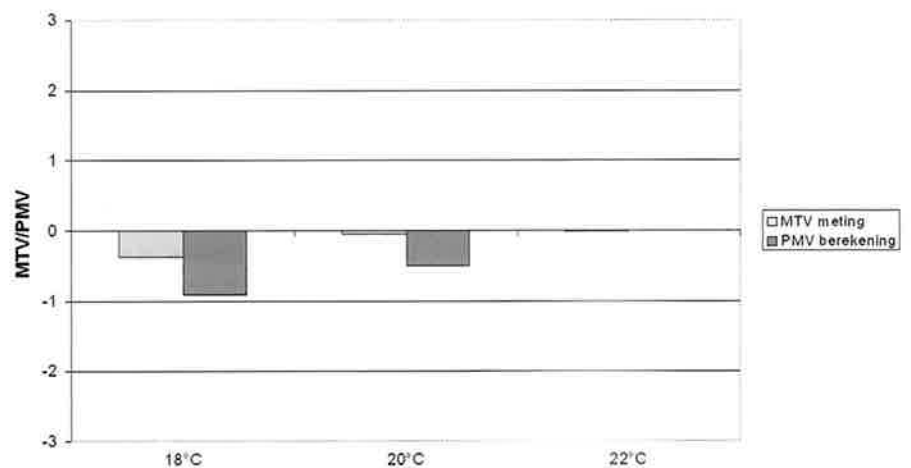
Uit de resultaten blijkt dat bij een ruimteluchttemperatuur van 18 °C lokaal discomfort voornamelijk optreedt bij lichaamsdelen die

niet worden aangestraald (romp, bovenarmen en onderbenen), zie figuur 4. Met de toegepaste opstelling voor verwarming met elektrische stralingspanelen lijkt een verlaging van de ruimteluchttemperatuur tot 18 °C nog niet haalbaar.

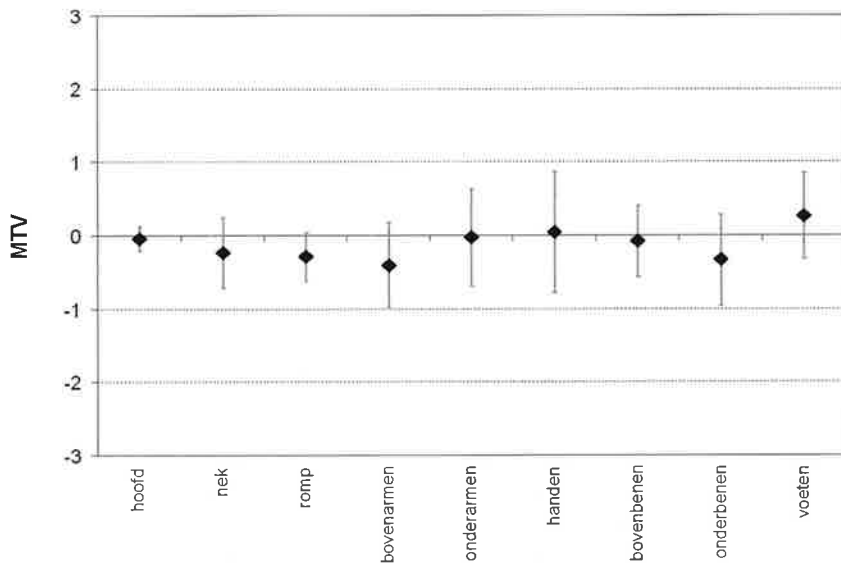
De MTV van de lichaamsdelen die worden aangestraald, ligt in de meeste gevallen rond neutraal. Alleen de MTV van de nek is negatief. Dit komt vermoedelijk doordat het stralingspaneel voor de nek op een te grote afstand van de nek is geplaatst. De stralingswarmte kan hierdoor niet optimaal aan het lichaam worden afgegeven.

Opvallend is dat de proefpersonen die hebben aangegeven het lokaal te koud te hebben, het vermogen van het betreffende stralingspaneel niet volledig hebben benut.

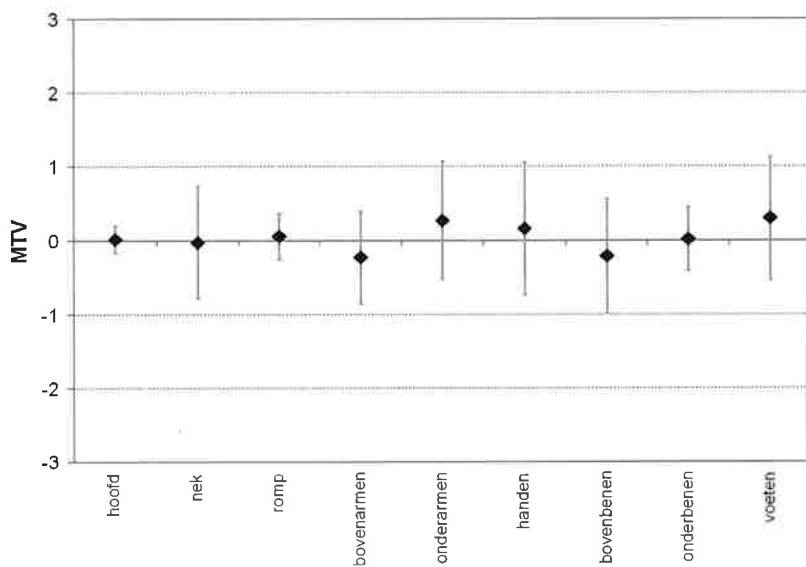
Bij een ruimteluchttemperatuur van 20 °C worden, van de aangestraalde lichaamsdelen, alleen de bovenbenen met een negatieve MTV beoordeeld, zie figuur 5. In de meeste gevallen



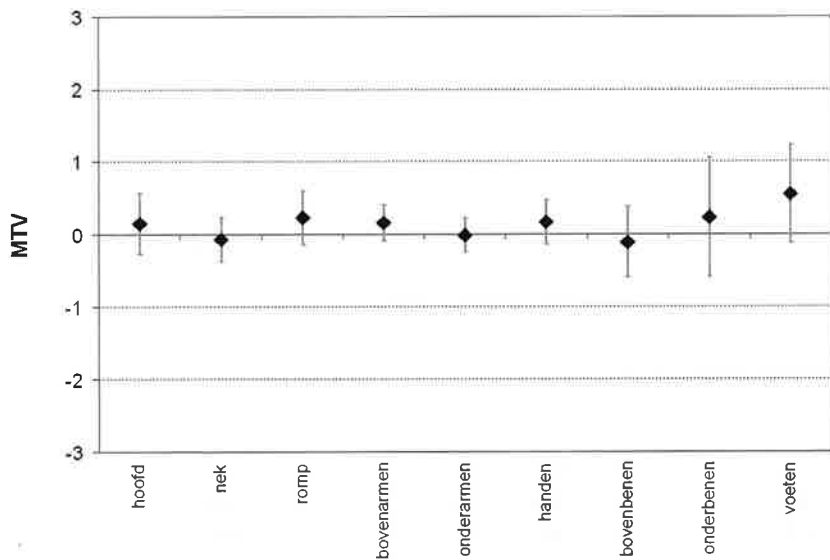
- Figuur 3 - Vergelijking tussen berekende PMV zonder stralingspanelen en MTV met stralingspanelen bepaald uit de meetresultaten.



- Figuur 4 - MTV per lichaamsdeel met bijbehorende standaarddeviatie bij 18 °C. De aangestraalde lichaamsdelen zijn gearceerd.



- Figuur 5 - MTV per lichaamsdeel met bijbehorende standaarddeviatie bij 20 °C. De aangestraalde lichaamsdelen zijn gearceerd.



- Figuur 6 - MTV per lichaamsdeel met bijbehorende standaarddeviatie bij 22 °C. De aangestraalde lichaamsdelen zijn gearceerd.

was het stralingspaneel op deze positie echter niet ingeschakeld door de proefpersonen. Op deze positie kan het comfort dus nog worden verbeterd.

Ter plaatse van de handen, onderarmen en voeten ligt de MTV enigszins boven neutraal. Het voetenpaneel werd niet ingeschakeld. Het paneel ter plaatse van de handen en onderarmen is echter in veel gevallen wel ingeschakeld. Een verlaging van het temperatuurniveau van deze panelen zou dit discomfort kunnen wegnemen.

Van de niet aangestraalde lichaamsdelen worden alleen de bovenarmen te koud ervaren en beoordeeld met een negatieve MTV. Bij een ruimteluchttemperatuur van 22 °C ligt de MTV van alle lichaamsdelen rond of boven neutraal, zie figuur 6. Opvallend is dat meerdere proefpersonen bij deze ruimteluchttemperatuur de stralingspanelen op een behoorlijk niveau hebben ingeschakeld, terwijl 22 °C volgens de theorie van ISO 7730 [9] comfortabel zou moeten zijn. Slechts 5 % van de proefpersonen zou dan ontevreden zijn over de thermische omgeving. Voor dit onderzoek zou het dan maximaal om één proefpersoon gaan. Het paneel ter plaatse van de nek is door meerdere personen ingeschakeld. De panelen ter plaatse van de handen, onderarmen, bovenbenen en voeten zijn slechts door enkelen ingeschakeld. Uit de gemeten huidtemperaturen per proefpersoon is bij inschakeling van de verwarmingspanelen geen duidelijke sprong in de huidtemperatuur waarneembaar. De warmte die door het stralingspaneel wordt afgegeven, lijkt dus gelijkmatig over een groter oppervlak te worden verdeeld.

## ENERGIEBESPARING

In de bestaande bouw zou lokale verwarming als 'plug-and-play' systeem kunnen worden toegepast.

Het voordeel hiervan is dat het systeem eenvoudig kan worden aangebracht zonder dat er ingrepen aan de bestaande installatie hoeven te worden gedaan om het verwarmingssysteem te upgraden. Indien door toepassing van lokale verwarming de instelling van de ruimteluchttemperatuur kan worden verlaagd, wordt energie bespaard bij het centrale verwarmingssysteem. Inschakelen van de lokale verwarming kost echter ook energie.

Of in een specifiek kantoor met de huidige generatie lokale verwarming energie kan worden bespaard, hangt af van drie factoren:

1. energiegebruik van de lokale verwarming;
2. effectief vloeroppervlak per werknemer;
3. energiebesparing afhankelijk van het isolatieniveau van het gebouw en de kwaliteit van het verwarmings- en ventilatiesysteem.



	verwarmingsenergie gebouw zonder wtw MJ/m <sup>2</sup>	verwarmingsenergie gebouw met wtw MJ/m <sup>2</sup>	besparing gebouw zonder wtw MJ/m <sup>2</sup>	besparing gebouw met wtw MJ/m <sup>2</sup>
< 1975 niet gerenoveerd	207	49	53	18
< 1975 gerenoveerd	125	22	36	10
1975- 1990	131	26	38	11
1991 - 2002	114	21	34	9
2002 - 2006	110	19	33	9
2006 - 2030	104	17	32	8

- Tabel 2 - Energiebesparingspotentie van een kantoorgebouw in het stookseizoen bij verlaging van het setpoint voor verwarming van 22 naar 20 °C.

## ENERGIEGEBRUIK VAN DE LOKALE VERWARMING

Tabel 1 geeft de in de experimenten bepaalde gemiddelde vermogens voor lokaal verwarmen. Bij 20 °C wordt het thermisch comfort nog goed gehandhaafd door de lokale verwarming. Bij 18 °C is dit niet meer het geval. Om deze reden wordt voor de huidige generatie lokale verwarming uitgegaan van een minimum ruimteluchttemperatuur van 20 °C en een bijbehorend verwarmingsbudget voor lokale verwarming van 46 W. De onzekerheid in dit gemeten energiegebruik is echter groot. Voor latere generaties zou het budget mogelijk kunnen worden gehalveerd. Tijdens de experimenten hebben de proefpersonen namelijk aangegeven de panelen ter plaatse van de nek en de voeten nauwelijks te hebben gevoeld, terwijl deze panelen voor ongeveer de helft het energiegebruik hebben bepaald (zie tabel 1). Er dient echter nog te worden vastgesteld of een comfortabele situatie kan worden bereikt wanneer alleen aan de boven- en onderzijde van het bureau verwarmingspanelen worden toegepast. Uitgaande van een stookseizoen van 640 uur (4 maanden, 20 dagen per maand en een werkdag van 8 uur) [10] en een centralerendement van 39 % kost de lokale verwarming gemiddeld 272 MJ primaire energie per persoon per jaar. De elektrische verwarming levert echter ook een bijdrage aan de ruimteverwarming. Bij aanname dat de elektrische verwarming 100 % wordt benut, en de centrale verwarming hierdoor minder wordt aangesproken, kost de elektrische verwarming 166 MJ primaire energie per persoon per jaar.

## EFFECTIEF VLOEROPPERVLAK PER WERKNEMER

Het effectieve vloeroppervlak per werknemer is het quotiënt van het bruto vloeroppervlak

(BVO) en de bezettingsgraad. Het gemiddelde bruto vloeroppervlak per werknemer wordt ook het kantoorquotiënt genoemd. In 1996 bedraagt het gemiddelde kantoorquotiënt voor heel Nederland 32 m<sup>2</sup> BVO. In 2000 is dat 31 m<sup>2</sup> BVO [11]. Het bruto vloeroppervlak omvat naast de kantoorruimtes zelf (het zogenaamde netto vloeroppervlak) ook verkeersruimtes, vergaderzalen, toiletten, de kantine, etc. Aangenomen wordt dat overal dezelfde uniforme temperatuur heerst en dat de werknemer op deze plaatsen (met uitzondering van de verkeersruimten) de temperatuur kan verhogen met de lokale verwarming. Aan bezettingsgraad wordt hier dan ook een iets andere betekenis toegekend dan normaal. Normaal gesproken wordt bij de bezettingsgraad alleen gekeken of de werkplek bezet is. Bij toepassing van lokale verwarming is de inschakeltijd bepalend voor het energiegebruik. Om deze reden wordt bij het bepalen van de bezettingsgraad alleen gekeken op iemand in het gebouw aanwezig is. Want ook in de vergaderzalen en in de kantine kan de lokale verwarming worden ingeschakeld. Hierdoor wordt dus alleen de tijd buiten kantoor niet meegerekend met de bezettingsgraad. De gemiddelde arbeidsduur per jaar bedroeg in 2005 gemiddeld 1.342 uur [12]. Dit komt neer op een bezettingsgraad van 65 %. Door werkbezoeken zal de bezettingsgraad verder dalen. Echter omdat er ook klanten komen wordt de bezettingsgraad weer verhoogd. Netto zal er op de schaal van 'BV Nederland' geen effect zijn. Door het verblijf in de auto of het openbaar vervoer zal de bezettingsgraad wel afnemen. Omdat onbekend is hoeveel, wordt als conservatieve schatting de bezettingsgraad van 65 % aangehouden. Het gemiddelde Nederlandse effectieve vloeroppervlak in kantoren bedraagt hierdoor 31/0,65 = 48 m<sup>2</sup>. In kantoren waar flexplekken worden

toegepast zal het effectieve vloeroppervlak lager zijn.

-Tabel 1 - Gemiddelde vermogen van de verwarmingspanelen met bijbehorende standaarddeviatie.

Positie	18°C		20°C		22°C	
	mean	std	mean	std	mean	std
Nek [W]	11	11	10	11	5	7
Bovenzijde bureau [W]	14	11	9	13	6	10
Onderzijde bureau [W]	14	14	11	18	4	8
Vloer [W]	19	20	16	26	6	12
<b>Totaal [W]</b>	<b>58</b>	<b>41</b>	<b>46</b>	<b>62</b>	<b>21</b>	<b>30</b>

## ENERGIEBESPARING

Voor het bepalen van de energiebesparing die in een kantoorgebouw kan worden behaald door het instellen van minder strikte setpoints voor de ruimteluchttemperatuur, zijn simulaties uitgevoerd volgens [13]. Uit deze simulaties is gebleken dat bij verlaging van het setpoint voor verwarmen van 22 °C naar 20 °C in kantoorgebouwen een energiebesparing kan worden gehaald van 25 tot 32 %, afhankelijk van het bouwjaar (isolatieniveau) en type installatie (tabel 2).

## BESLISSINGSDIAGRAM

De drie factoren (energiegebruik van de lokale verwarming, effectief vloeroppervlak per werknemer en de energiebesparing afhankelijk van het isolatieniveau van het gebouw en de kwaliteit van het verwarmings- en ventilatiesysteem) zijn in figuur 7 en figuur 8 gecombineerd. In beide figuren is met een stippellijn het gemiddelde Nederlandse effectieve vloeroppervlak per werknemer (48 m<sup>2</sup>) weergegeven. In de figuren zijn een aantal zaken waar te nemen. In gebouwen zonder WTW treedt bij toepassing van lokale verwarming energiebesparing op vanaf een effectief vloeroppervlak groter dan 3 tot 5 m<sup>2</sup>. Bij een bezettingsgraad van 65 % komt dit neer op een BVO van 2 tot 3 m<sup>2</sup> per persoon. In alle kantoorgebouwen zonder WTW, ook de recent gebouwde, zal lokale verwarming energiebesparing opleveren.

In gebouwen met WTW (figuur 8) levert lokale verwarming energiebesparing op vanaf, afhankelijk van het bouwjaar (isolatieniveau), een effectief vloeroppervlak tussen de 9 en 21 m<sup>2</sup> (BVO tussen 6 en 14 m<sup>2</sup>). In het merendeel van de gebouwen met WTW zal toepassing van lokale verwarming energiebesparing opleveren. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat door de grote onzekerheden in zowel de resultaten van het laboratoriumonderzoek als de simulatieresultaten er een grote bandbreedte aanwezig is op de boven-

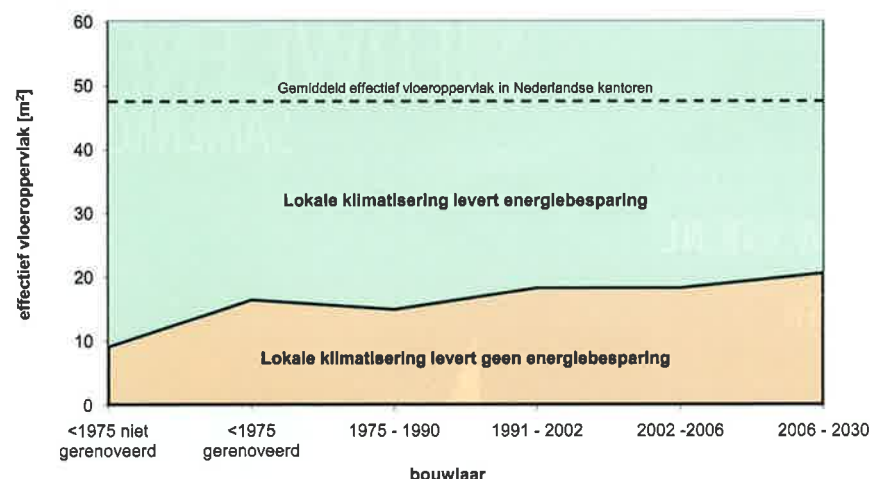
genoemde grenswaarde voor het al dan niet energiebesparend zijn van een systeem voor lokale verwarming.

De grootte van de besparing is gezien de onzekerheden in de basisgegevens ook slechts indicatief aan te geven. Voor een gemiddeld Nederlands kantoor, uit de periode 1991-2002 met een effectief vloeroppervlak van 48 m<sup>2</sup> per persoon, wordt de besparing op de verwarmingsenergie voor een gebouw zonder WTW geschat op 27 % en voor een gebouw met WTW op 26 %.

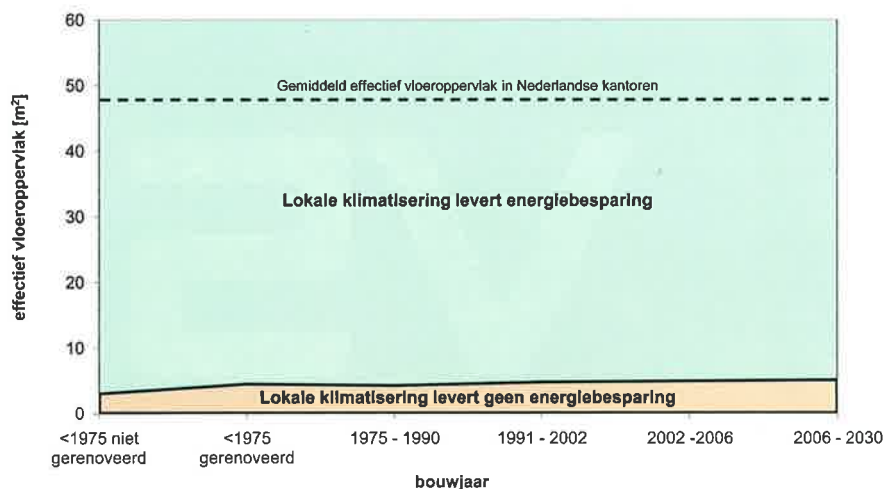
## CONCLUSIE

De resultaten van deze pilotstudie laten zien dat door het gebruik van lokale verwarmingspanelen bij een verlaging van de ruimteluchttemperatuur naar 20 °C of zelfs 18 °C een verbetering haalbaar is van het algeheel comfort ten opzichte van de situatie zonder verwarmingspanelen. Bij een ruimteluchttemperatuur van 20 °C lijkt toepassing van lokale verwarmingspanelen geen problemen op te leveren voor lokaal comfort; er ontstaan geen grote verschillen in comfortbeleving tussen de lichaamsdelen die niet, en lichaamsdelen die wél worden aangestraald.

Vergelijking van het tijdens de experimenten gemeten energiegebruik met het gesimuleerde energiegebruik van een standaard kantoorgebouw laten zien dat een systeem voor lokale verwarming potentie heeft om energiebesparing te realiseren wanneer de setpointtemperatuur voor verwarming wordt verlaagd van 22 °C naar 20 °C. Vooral in kantoren met een groot vloeroppervlak per persoon en een sterk wisselende bezetting lijkt een persoonlijk verwarmingssysteem vanuit energetisch oogpunt kansrijk te zijn. Om meer inzicht te kunnen verkrijgen in de potentie van lokale verwarming in de praktijk, wordt samenwerking gezocht met gebouw eigenaren om samen (grootschalige) praktijktesten in te zetten. In deze praktijktesten kunnen de vragen die er nu



- Figuur 7 - Bestillingsdiagram voor het toepassen van lokale verwarming voor kantoorgebouwen zonder WTW.



- Figuur 8 - Bestillingsdiagram voor het toepassen van lokale verwarming voor kantoorgebouwen met WTW.

nog liggen over de energiebesparingspotentie en het gebruikerscomfort worden onderzocht. Hierbij kan worden gedacht aan optimalisatieslagen voor het verwarmingssysteem. Ook is het op deze manier mogelijk op grote schaal het gedrag van de gebruiker vast te leggen en te analyseren. De voordelen van persoonlijke verwarming komen immers pas volledig tot zijn recht als de gebruiker goed met het systeem weet om te gaan.

*Dit onderzoek is mede gefinancierd vanuit het EOS-LT programma Building Future.*

## REFERENTIES

1. Wyon, D.P., Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility, Proceedings Indoor Air 1996, pp. 1067-1072, 1996.
2. Melikov, A.K., Langkilde, G., Rasmussen, L.W., Human response to local heating for use in connection with low enthalpy ventilation, Proceedings of Roomvent'98, Vol. 2, pp. 315-322, 1998.
3. Suzuki, K., Arens, E.A., Bauman, F.S., Wyon, D.P., Individual Thermal Comfort Control with Desk-Mounted and Floor-Mounted Task/Ambient Conditioning (TAC) Systems, Proceedings of Indoor Air '99, Vol. 2, pp. 368-373, 1999.
4. Melikov, A.K., Knudsen, G.L., Human response to an individually controlled microenvironment, HVAC&R Research, Vol. 13, No. 4, pp. 645-660, 2007.
5. Zhang, H., Kim, D., Arens, E., Buchberger, E., Bauman, F., Huizenga, C., Comfort, perceived air quality, and work performance in a low-power task-ambient conditioning system, Center for the Built Environment, University of California, Berkeley, 2008.
6. ISO 7726, Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities, International Standards Organization, Geneva, 1998.
7. ISO 9886, Ergonomics – Evaluation of thermal strain by physiological measurements, International Standards Organization, Geneva, 2004.
8. Rijksgebouwendienst, Bouwfysische kwaliteit Rijkshuisvesting, Wettelijke eisen en Rgd-richtlijnen, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, september 1999.
9. ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, International Standards Organization, Geneva, 2005.
10. Bakker, L., Hendriksen, L.J.A.M., Jacobs, P., Lokale klimatisering, TNO rapport 2007-D-R0605/B, juni 2007.
11. CPB 2005, De vraag naar ruimte voor economische activiteit tot 2040, Bedrijfslocatiemonitor, 2005.
12. CBS Statline, Tabel Werkgelegenheid, arbeidsduur en lonen van werknemers, website, Beschikbaar via: <http://statline.cbs.nl>, bezocht in juli 2009.
13. Prestandard prEN 13790, Energy Performance of Buildings, Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling, 2006.