

Actief en passief geklimatiseerde gebouwen

De afgelopen jaren zijn er regelmatig resultaten gepubliceerd uit onderzoeken naar het empirisch verband tussen de temperatuur of de thermische beleving (in Engels: thermal sensation) van gebouwgebruikers en hun prestaties. Vrijwel zonder uitzondering zijn deze publicaties gebaseerd op onderzoek in gebouwen met actieve koeling. In dit artikel wordt besproken in hoeverre de gevonden verbanden kunnen worden geëxtrapoleerd naar gebouwen met passieve klimaatbeheersing¹.

Drs. J.L. (Joe) Leijten*, ing. S.R. (Stanley) Kurvers*, ir. A.K. (Arjen) Raue**

*TU Delft, Faculteit Bouwkunde, afdeling Architectural Engineering + Technology, leerstoel Binnenmilieukwaliteit

**Haagse Hogeschool, Faculteit Technologie, Innovatie & Samenleving, opleiding Bouwkunde, afdeling Comfort & Milieu

TEMPERATUUR EN PRESTATIE

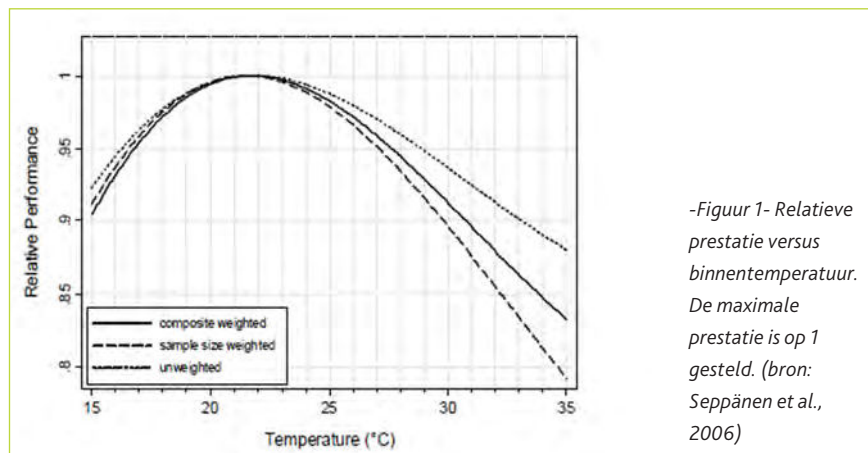
In *Rehva Guidebook No 6 – Indoor Climate and Performance in Offices – How to integrate performance in life-cycle cost analysis of building services*² (verder: Rehva 6) staat een meta-analyse van onderzoek naar de invloed van de binnentemperatuur op objectief gemeten prestaties, zie figuur 1. Volgens deze analyse is de prestatie bij kantoorwerk het hoogst als de binnentemperatuur ongeveer 22°C is. Bij een hogere of lagere temperatuur neemt de

prestatie af. Volgens Rehva Handboek 6 is deze relatie alleen statistisch significant beneden 20°C en boven 24°C.

Om te kunnen bepalen of de in Rehva 6 genoemde relatie geldig is voor zowel actief als passief geklimatiseerde gebouwen, zijn de beschrijvingen van de onderzoeken waarop de meta-analyse is gebaseerd in Seppänen et al. (2003) en Seppänen et al. (2006) en naar de oorspronkelijke onderzoeken zelf kritisch bestudeerd. Hieruit blijkt dat 15 van de 24

onderzoeken zijn gebaseerd op experimenten in klimaatkamers of laboratoria, vijf zijn er uitgevoerd in airconditioned gebouwen met een gesloten gevel en twee in airconditioned gebouwen waar de te openen ramen niet goed bruikbaar waren door huisvesting in kantoor-tuinen of door een te grote gebouwdiepte. Eén onderzoek was uitgevoerd in een mechanisch eventileerd kantoorgebouw zonder actieve koeling en zonder te openen ramen en één onderzoek in een industriegebouw zonder koeling. 22 van de 24 van de achterliggende onderzoeken zijn dus uitgevoerd in actief geklimatiseerde gebouwen. Rehva 6 zegt dus eigenlijk niet zo veel over passief geklimatiseerde gebouwen.

In Rehva 6 wordt aangegeven dat de gevonden relatie betrekking heeft op kantoorwerk in het algemeen. De achterliggende onderzoeken blijken echter een verzameling van verschillende onderzoeksmethodes, toegepast bij verschillende soorten werk. Afgezien van echt kantoorwerk (in de experimenten meestal callcenterwerk), diverse mentale werkzaamheden en leerwerk, zijn de resultaten ook gebaseerd op rijvaardigheid, gesimuleerd



-Figuur 1- Relatieve prestatie versus binnentemperatuur. De maximale prestatie is op 1 gesteld. (bron: Seppänen et al., 2006)

fabriekswerk en het werken in een naaiatelier. In de meta-analyse zijn de resultaten van deze verschillende soorten werk samengevat in één vergelijking, terwijl het aannemelijk is dat ze in verschillende mate samenhangen met de temperatuur. Het blijft daarom de vraag in hoeverre de gevonden verdeling betrekking heeft op de pure relatie tussen de kantoorwerk en temperatuur, of op de verschillende achterliggende relaties. Dit is maar ten dele opgelost door de taken die minder op kantoorwerk lijken een lagere weegfactor te geven in de gewogen samengestelde analyse.

Een ander probleem is dat vijf van de zes veldstudies naar objectief gemeten werkprestaties zijn gebaseerd op gegevens uit callcentra. Het voordeel van deze aanpak is dat de individuele prestaties van callcentermedewerkers gemakkelijk kan worden afgeleid uit de gespreksregistratie en dat ook andere data betrokken kunnen worden, zoals het uur van de dag. In het algemeen blijkt deze aanpak goed te werken: in vier van de vijf callcenter-onderzoeken nemen gespreksduur, verwerkingstijd of een combinatie van die twee toe bij minder behaaglijke temperaturen. Dit is kruislings gevalideerd door Wargocki et al. (2004), die aantoonde dat bij lagere luchtkwaliteit de gemiddelde gespreksduur toenam. Of het kwantitatieve effect van temperatuur op callcenterwerk ook representatief is voor andere soorten kantoorwerk blijft de vraag, hoewel er geen reden is om grote verschillen te verwachten.

Al met al kan worden geconcludeerd dat in actief geklimatiseerde omgevingen de productiviteit het hoogst is bij temperaturen tussen 20 en 24°C en dat de productiviteit afneemt naarmate de temperatuur verder daalt beneden 20 of boven 24°C. Dit lijkt een minder stellig verband dan in Rehva 6 wordt getoond, maar doet recht aan de conclusie van Seppänen et al. (2006), dat het verband een hoge mate van onzekerheid kent³.

Vervolgens rijst de vraag of het verband uit Rehva 6 ook in enige mate geldig is voor passief geklimatiseerde gebouwen. In dat geval zou bijvoorbeeld bij 28°C de productiviteit 6% lager zijn dan in een actief geklimatiseerd kantoor bij 22°C. Zoals gezegd heeft niet één van de 24 achterliggende onderzoeken betrekking op passief geklimatiseerde kantoorgebouwen. Wel is empirisch vastgesteld dat gebruikers van passief geklimatiseerde gebouwen een andere thermische beleving hebben en adaptatie vertonen dan gebruikers van actief geklimatiseerde gebouwen (o.a. De Dear et al., 1997; Nicol en Humphreys, 2005). 's Zomers hebben gebruikers van passief geklimatiseerde omgevingen een voorkeur voor een hogere binnentemperatuur dan gebruikers van

actief geklimatiseerde omgevingen. Daarnaast vertonen gebruikers veel meer adaptief gedrag in passief geklimatiseerde gebouwen dan in actief geklimatiseerde gebouwen, met name het aanpassen van hun clo-waarde en van de luchtsnelheid door de ramen open te zetten. Op deze manier veranderen gebruikers actief en objectief hun warmtebalans. Ten slotte bevordert de sterkere relatie tussen de binnen- en buitentemperatuur in passieve gebouwen de acceptatie van hogere temperaturen en is het gemakkelijker om 's ochtends de juiste kleding te kiezen.

Hierna gaan we na in hoeverre deze mechanismen een rol spelen in de onderzoeken die ten grondslag liggen aan Rehva 6. Ten eerste hebben ten minste 21 van de 24 achterliggende studies betrekking op gebouwen zonder te openen ramen, twee op gebouwen met beperkt bruikbare te openen ramen en hooguit één op gebouwen met te openen ramen. Er waren dus bijna geen proefpersonen bij die de luchtsnelheid konden aanpassen door ramen te openen.

Ten tweede werd in 14 van de 15 laboratoriumonderzoeken de clo-waarde vastgesteld door de onderzoeker, of de proefpersonen werd gevraagd hun kleding niet te veranderen tijdens het onderzoek. In één experimenteel onderzoek werd de proefpersonen wel gevraagd hun kleding aan te passen om een thermisch neutrale beleving te bewaren. In dit onderzoek werd geen enkel significant effect van temperatuur op de prestatie gevonden.

Je zou misschien verwachten dat in de veldonderzoeken, waarbij de proefpersonen hun kleding vrij konden aanpassen, zij dit in dezelfde mate zouden doen als in passief geklimatiseerde gebouwen. Maar uit onderzoek van De Dear (1997) is bekend dat gebruikers van airconditioned gebouwen veel minder van dit soort gedragsadaptaties doen dan gebruikers van passieve gebouwen. Daardoor is de eerste groep duidelijk gevoeliger voor afwijkingen van de gemiddelde, verwachte setpoint. Het is dus aannemelijk dat in vrijwel alle onderzoeken de gedragsadaptatie niet representatief was voor passief geklimatiseerde gebouwen.

Ten slotte was er uiteraard in alle 15 laboratoriumonderzoeken ook geen relatie tussen de binnentemperatuur en de buitentemperatuur. In hooguit 3 van de 9 veldonderzoeken is die relatie wel in zekere mate te verwachten op basis van de beschrijving van die gebouwen. In de meeste onderzoeken was deze factor dus niet aanwezig.

Samenvattend: in bijna alle onderzoeken die ten grondslag lagen aan Rehva 6 waren de belangrijkste mechanismen die ervoor zorgen dat gebruikers van passief geklimatiseerde gebouwen 's zomers hogere binnentempera-

turen accepteren en prefereren dan gebruikers van actieve gebouwen ernstig beperkt, of belemmerd in hun functioneren. Als actieve en passief geklimatiseerde gebouwen zo verschillen in thermische behaaglijkheid en gedrag kan niet worden uitgesloten dat er ook een (flink) verschil is in de invloed van de temperatuur op de prestaties. Daarom is Rehva 6 zonder aanvullende gegevens niet gevalideerd voor passief geklimatiseerde omgevingen.

■ THERMISCHE BELEVING EN PRESTATIE

In verschillende onderzoeken is geen verband gevonden tussen de fysieke thermische omgeving en prestatie. Daarentegen blijkt dat bij gegeven thermische omstandigheden de prestaties het hoogst zijn als de gebruikers de omgeving als maximaal comfortabel ervaren en dat de prestaties afnemen naarmate zij de omgeving minder behaaglijk vinden. Dit geldt zowel voor zelfgerapporteerde productiviteit als voor objectief gemeten productiviteit (zie ook Leijten et al 2013). Omdat de thermische beleving kennelijk meer invloed heeft op de prestatie dan de temperatuur ligt het voor de hand om de aandacht verder vooral te richten op het verband tussen de prestatie en thermal sensation vote (verder: tsv).

Figuur 2, uit Jensen (2008), toont een relatie tussen tsv en de objectief gemeten prestatie. Deze relatie is gebaseerd op vier experimentele onderzoeken in klimaatkamers en in geklimatiseerde kantoorkamers waar de temperatuur werd ingesteld door de onderzoekers. De proefpersonen deden gesimuleerd kantoorwerk (optellen en/of tekstverwerking) bij verschillende temperaturen. Daarbij werd hen gevraagd om hun thermische beleving aan te geven op de zevenpunts Ashrae-schaal. De gevonden vergelijking is:

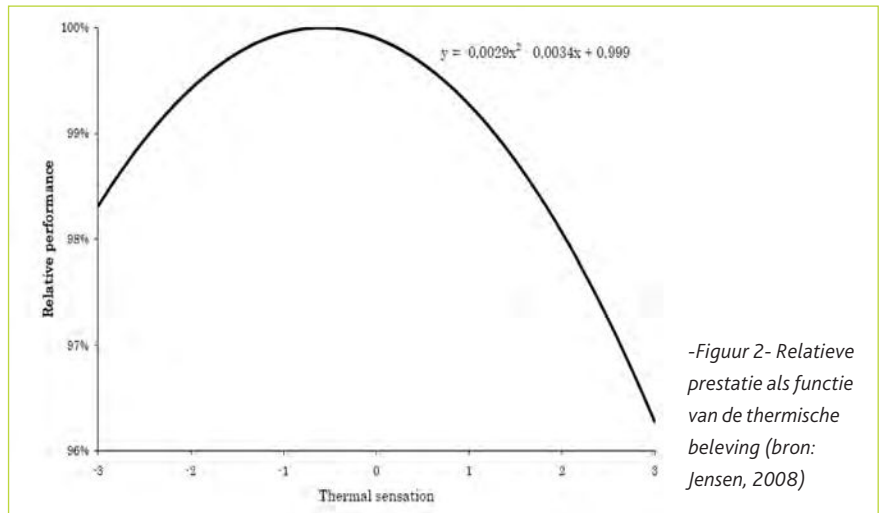
$$\text{Relatieve prestatie} = -0,0029 \text{ tsv}^2 - 0,0034 \text{ tsv} + 0,999 \quad (1)$$

Jensen (2008) merkt op dat deze vergelijking conservatiever is (in de zin dat hij een kleiner effect voorspelt) dan die in Rehva 6. Volgens Rehva 6 veroorzaakt een temperatuur van 30°C een prestatieverlies van ongeveer 10%, terwijl volgens Jensen (2008) een tsv van +3 (de hoogste waarde op de Ashrae-schaal: hot) overeenkomt met een prestatieverlies van ongeveer 2,5%. Deze discrepantie is ook te zien in figuur 3, waarin de temperaturen in Rehva 6 zijn omgerekend naar tsv's. Jensen (2008) geeft geen verklaring voor deze discrepantie en ook persoonlijke correspondentie met hem bracht geen bevredigende verklaring. Men zou kunnen aanvoeren dat de discrepantie binnen de foutmarges van beide vergelijkingen valt. Maar hij wordt ook in elk geval deels verklaard in Seppänen et al. (2006) met de conclusie dat

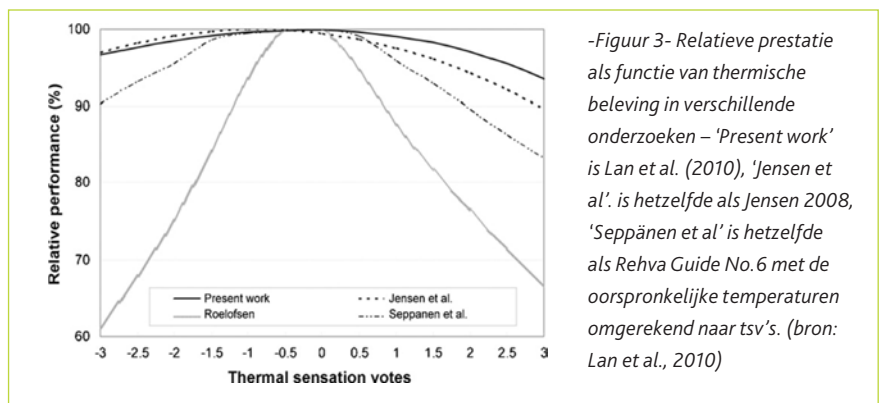
de invloed van temperatuur sterker kan zijn bij echt werk in een praktijksituatie dan bij een laboratoriumexperiment waar het effect van de temperatuur wordt getemperd door motivatie. (Een vergelijkbaar effect is gevonden bij de invloed van luchtkwaliteit op prestatie, zie Rehva 6). Het verband in Rehva 6 is gebaseerd op 15 laboratoriumexperimenten en 9 veldonderzoeken, waarbij de veldonderzoeken sterker zijn meegewogen in de gewogen samengestelde uitkomst. Het model van Jensen (2008) is helemaal gebaseerd op korte labexperimenten. Dit suggereert dat de genoemde discrepantie deels wordt veroorzaakt doordat de data van Jensen geen gegevens uit veldonderzoek bevat. Als gevolg hiervan onderschat Jensen's vergelijking het onderzochte effect. Lan et al. (2010) presenteren ook een verband tussen tsv en objectief gemeten prestatie, zie figuur 3. De vergelijking is gebaseerd op de uitkomsten van drie klimaatkameronderzoeken waarbij de temperatuur en de clo-waarde werden beïnvloed door de onderzoeker. De proefpersonen deden mentale opdrachten en in één onderzoek gesimuleerd kantoorwerk bij verschillende temperaturen. Hen werd gevraagd om hun thermische beleving op de zevenpunts Ashrae-schaal. Hieruit volgde deze vergelijking:

$$\text{Relatieve prestatie} = -0,035 \text{ tsv}^3 - 0,215 \text{ tsv}^2 + 99,865 \quad (2)$$

Boven tsv=0 is volgens Jensen (2008) de invloed van de thermische beleving op de prestatie groter dan volgens Lan et al. (2010), zie figuur 3. Zoals gezegd kan dit ook beschouwd worden als een randverschijnsel dat wegvalt in de foutmarges van beide regressievergelijkingen. Maar het kan ook (deels) begrepen worden als we kijken naar de afzonderlijke onderzoeken die ten grondslag liggen aan de vergelijking in Lan et al. (2010). In één van die drie studies was de blootstellingsduur vrij kort (80 minuten) en een andere had vrij lange pauzes tussen de periodes van blootstelling (drie periodes van 120 minuten, onderbroken door pauzes van 90 resp. 60 minuten) waardoor het temperatuureffect waarschijnlijk wordt onderschat. Bovendien waren deze twee onderzoeken uitsluitend gebaseerd op mentale tests en niet op gesimuleerd kantoorwerk. Ten slotte werden de proefpersonen in één van deze onderzoeken gestimuleerd om de test zo snel mogelijk te maken in de situatie met de hogere temperatuur (32°C), omdat zij dan eerder de onbehaaglijk warme testruimte konden verlaten. Dit heeft mogelijk invloed gehad op de gemeten prestatie. Volgens ons kan dit een deelverklaring zijn voor het minder sterke temperatuureffect in Lan et al. (2010), waardoor de relatie in Lan et al (2010) minder representatief is voor kantoorwerk in een



-Figuur 2- Relatieve prestatie als functie van de thermische beleving (bron: Jensen, 2008)



-Figuur 3- Relatieve prestatie als functie van thermische beleving in verschillende onderzoeken – 'Present work' is Lan et al. (2010), 'Jensen et al.' is hetzelfde als Jensen 2008, 'Seppänen et al.' is hetzelfde als Rehva Guide No.6 met de oorspronkelijke temperaturen omgerekend naar tsv's. (bron: Lan et al., 2010)

airconditioned ruimte dan de relatie die door Jensen (2008) werd gevonden. Zowel volgens Jensen (2008) als volgens Lan et al. (2010) wordt de maximale prestatie gevonden op een punt dat net iets beneden tsv=0 ligt. Daarom kunnen volgens Lan et al. (2010) de PMV-grenswaarden beter tussen -0,5 en 0 worden gesteld dan tussen -0,5 en +0,5, zoals in de huidige richtlijnen gebruikelijk is. Volgens ons is dit om de volgende redenen niet nodig en niet gewenst:

- ten eerste zal dit in de praktijk onmogelijk zijn. Weliswaar kan de temperatuur zo worden geregeld dat de PMV -0,5 tot 0 is bij een bepaalde gemiddelde clo-waarde, maar gebruikers zullen toch hun kleding aanpassen om hun persoonlijke comfort te optimaliseren;
- uit verschillende publicaties blijkt dat bij routinewerk de prestatie het hoogst is onder enigszins koele omstandigheden, maar dat taken die creativiteit en logisch denkwerk vergen sneller gaan bij omstandigheden die als enigszins warm worden ervaren (Jensen et al., 2009). Kantoorwerk vraagt tegenwoordig voor medewerkers op alle niveaus, afgezien van routinetaken, steeds meer creativiteit en logisch denkwerk;
- volgens vergelijkingen (1) en (2) is bij tsv=0 de relatieve prestatie 0,999, dus slechts 0,1% onder het veronderstelde optimum. Wij denken dat dit in dit stuk van de vergelij-

king geen statistisch significant verschil is. Daarom stellen wij dat in het algemeen de prestatie bij gevarieerd kantoorwerk het hoogst is bij tsv=0. Op basis van de relatie in figuur 2 concluderen Toftum et al. (2009) op basis van Bayesiaanse statistiek dat in diverse klimaatzones een passief geregeld binnenklimaat volgens het adaptieve model van De Dear et al. (1997) nauwelijks tot prestatieverlies leidt ten opzichte van een actief geklimatiseerde omgeving, variërend van 0,1% in Kopenhagen tot 0,8% in Singapore, zie tabel 1. Het is natuurlijk verleidelijk om deze gegevens te presenteren als een welkom bewijs dat het ontwerpen volgens de adaptieve comfortrichtlijnen niet of nauwelijks tot prestatieverlies zal leiden ten opzichte van ontwerpen op basis van airconditioning en als extra bewijs dat Rehva 6 niet bruikbaar is voor passief geklimatiseerde gebouwen. Maar op de keper beschouwd is de relatie van tsv en prestatie in figuur 2, waarop de bevindingen van Toftum et al. (2009) zijn gebaseerd, ook puur voortgekomen uit onderzoek in airconditioned omgevingen en zijn deze daarom net als de bevindingen in Rehva 6 niet gevalideerd voor passief geklimatiseerde gebouwen. Het kan bijvoorbeeld niet worden uitgesloten dat, omdat een hogere tsv in een passief geklimatiseerde omgeving pas bij een hogere temperatuur in °C optreedt dan in een actief geklimatiseerde omgeving, het presta-

	Prestatieindex (%)			
	Singapore	Sydney	San Francisco	Kopenhagen
Zonder mechanische koeling	98,1	98,8	99,0	99,0
Met mechanische koeling	98,9	99,0	99,1	99,1
Prestatieverlies zonder mechanische koeling	0,8	0,2	0,1	0,1

-Tabel 1- Prestatieindices afgeleid uit het gesimuleerde temperatuurverloop gedurende een jaar, op basis van Bayesiaanse statistiek (geparafraseerd van Toftum et al., 2009)

tieverlies groter is, bijvoorbeeld doordat een hogere temperatuur leidt tot minder alertheid of een extra belasting vormt voor het lichaam. Bovendien zijn de vrij kleine prestatieverliezen in tabel 1 mogelijk ook te verklaren door een onderschatting van het effect in praktijksituaties in Jensen (2008) door het beperkte aantal veldonderzoeken in dat onderzoek, zoals hierboven besproken.

■ TERUG NAAR TEMPERAATUUR

Op basis van één van de drie experimentele onderzoeken in Lan et al. (2010) lijken Lan et al. (2011) het idee te bevestigen dat, omdat een hogere tsv in een passief geklimatiseerde omgeving optreedt bij een hogere temperatuur in °C dan in een airconditioned omgeving, het prestatieverlies groter is, in dit geval doordat een hogere temperatuur leidt tot een hogere fysiologische belasting van het menselijk lichaam. In dit onderzoek werden proefpersonen in een klimaatkamer blootgesteld aan twee temperaturen: 22 en 30°C, bij 0,9 clo. De proefpersonen deden mentale tests en gesimuleerd kantoorwerk. Tijdens en na de blootstelling werden enkele fysiologische parameters gemeten, o.a. hartslag en ademhaling. De bevindingen hiervan zijn:

- de gemiddelde tsv is 0 bij 22°C en +2 bij 30°C, zoals te verwachten bij de gegeven 0,9 clo en, naar wij aannemen, lage luchtsnelheid (<0,1m/s);
- de testresultaten zijn beter bij 22°C dan bij 30°C. Bij de tests die het meest op kantoorwerk lijken was het effect ongeveer 10%;
- een toegenomen hartslag, een hoger ademvolume en andere fysiologische parameters duiden op meer fysiologische stress bij 30°C. Hieruit concluderen Lan et al. (2011) dat de negatieve effecten op prestatie en gezondheid plaatsvonden wanneer de proefpersonen het warm hadden en de omgevingstemperatuur 30°C was, vergeleken met de omstandigheden waarbij ze zich thermisch neutraal voelden en het 22°C was. Dit is inderdaad precies wat dit onderzoek aantoonde: de prestaties variëren bij een variërende thermische beleving van de proefpersonen. Verder concluderen zij dat de negatieve gezondheids- en prestatie-effecten wanneer mensen het warm hadden bij hogere

temperaturen waarschijnlijk worden veroorzaakt door fysiologische mechanismen. Gezien de situatie waarin zij moesten werken zou dit inderdaad het geval kunnen zijn. Daarnaast concluderen zij dat hun bevindingen aangeven dat, zelfs als hun proefpersonen gewend zijn geraakt aan een hogere temperatuur en geen onbehaaglijkheid ervaren bij die hogere temperatuur, hun prestatie zal zijn verminderd door de hogere fysiologische belasting als gevolg van de hogere temperatuur⁴. Deze laatste conclusie volgt niet direct uit de bevindingen van dit onderzoek en is ook niet consistent met hun eigen conclusies, m.n. dat de negatieve gezondheidseffecten plaatsvinden bij hogere temperaturen *als mensen het warm hebben*. Verder lijken Lan et al. (2011) aan te nemen dat de enige adaptatie van gebouwgebruikers bij hogere temperaturen in niet-geconditioneerde gebouwen plaatsvindt door gewinning, waarmee zij psychologische adaptatie lijken te bedoelen, misschien in combinatie met fysiologische adaptatie⁵. In hun publicatie lijken zij eraan voorbij te gaan dat adaptatie in passief geklimatiseerde gebouwen voor een belangrijk deel berust op gedragsadaptatie, met name het aanpassen van de clo-waarde en luchtsnelheid, waarmee de gebruikers actief en objectief hun warmtebalans herstellen. Ze lijken ook voorbij te gaan aan de relatie tussen binnen- en buitentemperatuur die voor gebruikers van passief geklimatiseerde gebouwen van groot belang is voor de mate waarin ze hun clo-waarde aanpassen, en voor hun thermische beleving en tevredenheid. Met andere woorden: het feit dat de proefpersonen in dit experiment zich bij hogere temperaturen onbehaaglijk voelden, minder presteren en tekenen van fysiologische stress vertonen is geheel te verwachten gezien:

- de hoge temperatuur van 30°C;
- de vaste clo-waarde van 0,9;
- de lage luchtsnelheid;
- dat dit leidt tot een tsv van +2, wat overeenkomt met een percentage dissatisfied van 75%;
- dat het in een airconditioned omgeving plaatsvond;
- dat de proefpersonen hun thermische omgeving of gesteldheid niet konden beïnvloeden;

- dat de binnentemperatuur geen verband had met de buitentemperatuur.

De situatie voor gebruikers van een passief geklimatiseerde omgeving is heel anders:

- als de gemiddelde effectieve buitentemperatuur bijvoorbeeld 28°C is, wat een realistische waarde is bij een binnentemperatuur van 30°C, vindt 80% van de gebruikers het thermisch behaaglijk bij 30°C. Met andere woorden: het percentage dissatisfied is dan 20% (ASHRAE, 2010)⁶;
- dit verschil in PPD wordt vooral veroorzaakt doordat de gebruikers hun thermische belasting objectief zullen aanpassen door hun gemiddelde clo-waarde tot circa 0,6 clo te verlagen, bij sommige personen zelfs tot 0,4 clo en lager, en door de gemiddelde luchtsnelheid te verhogen tot ongeveer 0,25 m/s met uitschieters tot meer dan 0,6 m/s, door de raamopening te variëren en door ventilatoren te gebruiken als dat kan. (Volgens De Dear et al., 1997, kunnen de clo-waarde en luchtsnelheid worden afgeleid uit zowel de gemiddelde operatieve binnentemperatuur als uit de gemiddelde effectieve buitentemperatuur. Beide schattingen geven ongeveer dezelfde resultaten, aannemende dat de buitentemperatuur 28°C is);
- De gebruikers zijn niet alleen in objectieve zin in staat hun thermische omstandigheden te verbeteren, maar ook in subjectieve zin ervaren zij dat zij invloed hebben op hun omgeving, iets wat bij Lan et al. (2011) niet het geval was. Dit vergroot de acceptatie;
- in een passief geklimatiseerde omgeving verwachten zij en accepteren zij een hogere binnentemperatuur als het buiten warm is. Ook dit vergroot de acceptatie.

Zodoende zijn gebouwgebruikers in een passief geklimatiseerde omgeving bij hogere temperaturen in een volstrekt andere situatie dan de proefpersonen van Lan et al. (2011). De bevindingen van Lan et al. (2011) kunnen daarom niet worden geëxtrapoleerd naar passief geklimatiseerde omgevingen.

■ CONCLUSIE

In een passief geklimatiseerde kantooromgeving beoordelen de gebruikers het thermisch comfort anders en vertonen zij adaptief gedrag dat heel anders is dan dat van gebruikers in een air conditioned kantooromgeving. Wij concluderen daarom dat bevindingen uit onderzoek naar werkprestaties in air conditioned omgevingen niet kan worden geëxtrapoleerd naar passief geklimatiseerde omgevingen. Dit betekent dat de relatie die in Rehva 6 wordt gelegd tussen temperatuur en prestaties niet kan worden doorgetrokken naar passief geklimatiseerde omgevingen. Er is veldonderzoek nodig naar de effecten van temperatuur

en thermische beleving op de werkprestatie in passief geklimatiseerde gebouwen.

Vooruitlopend op de werkelijke resultaten van dergelijk onderzoek sluiten wij hier af met wat wij verwachten dat hieruit naar voren zou komen:

De meest samenhangende generalisatie die gemaakt kan worden uit bovengenoemde onderzoeken is dat bij gegeven thermische omstandigheden de werkprestatie het hoogst is wanneer de gebruikers hun omgeving als maximaal behaaglijk ervaren en dat de prestatie afneemt naarmate zij de omgeving als minder behaaglijk ervaren. Ervan uitgaande dat dit ook geldt voor passief geklimatiseerde gebouwen, dan zal de prestatie het hoogst zijn bij de neutrale- of comforttemperatuur, wat correspondeert met aanzienlijk hogere temperaturen dan wat volgens het PMV-model neutraal of comfortabel is. De prestatie zal afnemen bij temperaturen die afwijken van neutraal.

Het zou ook interessant zijn te weten in welke omgeving de prestatie hoger is: in een airconditioned omgeving bij de bijbehorende comforttemperatuur (circa 22°C) of in een passief geklimatiseerde omgeving bij een adaptieve comforttemperatuur ('s zomers soms oplopend tot 26°C), ervan uitgaande dat alle andere omstandigheden gelijk zijn. Er zijn geen gegevens bekend waaruit deze vraag direct beantwoord kan worden, maar het volgende lijkt plausibel:

In air conditioned omgevingen komen in het algemeen meer gebouwgerelateerde klachten voor zoals hoofdpijn, vermoeidheid en concen-

tratieproblemen dan in passief geklimatiseerde omgevingen. Het zelfde geldt voor ontevredenheid over het thermisch binnenklimaat en luchtkwaliteit. Hoofdpijn, vermoeidheid en concentratieproblemen leiden tot prestatieverlies, net als ontevredenheid over het thermisch binnenklimaat en luchtkwaliteit (zie ook Leijten et al, 2013). Als de generalisatie klopt dat de hoogste prestatie wordt geleverd bij een omgeving die als het meest behaaglijk wordt beleefd, dan verwachten wij dat de werkprestatie in passief geklimatiseerde gebouwen hoger kan zijn dan in airconditioned gebouwen, bij de bijbehorende comforttemperatuur.

■ BRONNEN

- Ashrae (2010), Ashrae Standard 55-2010 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- CEN (2007), EN 15251 – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- DeDear, R, Brager, G, Cooper, D (1997). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. Ashrae RP-884.
- Jensen, K.L. (2008) Development of a model to calculate the economic implications of improving indoor climate. Ph.D. Thesis, Technische Universiteit Denemarken.
- Lan, L, Wargocki, P, Lian, Z (2010) 'Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort'. Energy and Buildings.

- Lan, L, Wargocki, P, Wyon, DP, Lian, Z (2011), Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. Indoor Air.
- Leyten, J.L., Kurvers, S.R., Raue, A.K., Temperature, thermal sensation and workers' performance in air-conditioned and free-running environments, Architectural Science Review, 2013, Vol. 56, No. 1, 14–21.
- Nicol, F, Humphreys, M (2005) Adaptive comfort in Europe: results from the SCATS survey with special reference to free running buildings, Proceedings of the international conference on EPDB Energy Performance of Buildings Directive: implementation in practice, Brussel.
- Seppänen, O, Fisk, WJ, Faulkner, D (2003), Cost benefit analysis night-time ventilative cooling. Proceedings Healthy Buildings 2003, Vol 3, pp 394-399.
- Seppänen, O, Fisk, WJ, Lei, QH (2006), Effect of temperature on task performance in office environment. Proceedings Cold Climate HVAC conference, Moskou 2006.
- Toftum, J., R.V. Andersen, K.L. Jensen (2009) Occupant performance and building energy consumption with different philosophies of determining acceptable thermal conditions. Building and Environment.
- Wargocki, P, Wyon, DP, Fanger, PO (2004) The performance and subjective responses of call-centre operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates. Indoor Air, 14 (Suppl 8), pp 7-16.

■ VOETNOTEN

1. Met 'passief geklimatiseerde gebouwen' of - omgevingen bedoelen wij 'free running buildings' of 'natural ventilation' volgens de definitie in CEN (2007) en ASHRAE (2010) voor deze categorie gebouwen: goed bruikbare te openen ramen, de gebruikers kunnen ongehinderd hun kleding aanpassen aan de thermische omstandigheden binnen en buiten, geen mechanische koeling, geen verwarming in bedrijf. Ashrae (2010) voegt daaraan toe: mechanische koeling kan worden toegestaan, maar alleen zolang het openen en sluiten van de ramen de voornaamste methode is om de temperatuur te regelen (hetgeen volgens ons een juiste toevoeging is). Wij zijn er nog niet zeker van of mixed mode gebouwen in die zin moeten worden beschouwd als airconditioned gebouwen met te openen ramen (zoals in De Dear et al., 1997) of als passief geklimatiseerd tot een bepaalde temperatuur en daarboven in zekere mate actief gekoeld, zoals in sommige andere publicaties. Over de relatie tussen thermische omgeving en de thermische beleving van de gebruiker van mixed mode omgevingen is nog onvoldoende bekend. Wij vermoeden dat hier het zelfde geldt als wij in de Conclusie zeggen over passief geklimatiseerde gebouwen: de prestaties zijn het hoogst bij de omstandigheden die de gebruikers als het meest comfortabel of neutraal ervaren en nemen af naarmate de temperatuur daar verder van afwijkt.
2. In Nederlandse vertaling uitgebracht als ISSO / Rehva Handleiding 901 – Binnenmilieu en productiviteit in kantoren'. ISSO, 2007.
3. Een kritische beschouwing van de mathematische afleiding van de gevonden relaties in de achterliggende onderzoeken valt buiten het kader van dit artikel. Zelfs als de methematische afleiding hiaten zou blijken te vertonen verwachten wij op basis van diverse onderzoeken dat ook een mathematisch correcte afleiding een plateau zou laten zien bij temperaturen tussen circa 20 en 24°C, en een afname van de prestaties bij temperaturen die hoger of lager zijn dan dit plateau.
4. De volledige tekst van de paragraaf "Practical Implications" is: "This study indicates to what extent elevated temperatures and thermal discomfort because of warmth result in negative effects on health and performance and shows that these could be caused by physiological responses to warmth, not by distraction of subjective discomfort. This implies that they will occur independently of discomfort, i.e. even if subjects have been become adaptively habituated to subjective discomfort. The findings make it possible to estimate the negative economic consequences of reducing energy use in buildings in cases where this results in elevated indoor temperatures. They show clearly that thermal discomfort because of raised temperatures should be avoided in workplaces." (cursivering toegevoegd).
5. Een belangrijke passage in de paragraaf "Discussion" is: "People can habituate to endure or even prefer feeling warm rather than neutral at elevated temperatures. Assuming that the distraction of thermal discomfort is the main mechanism, no negative effects on mental performance would be expected to occur at elevated temperatures when people have been able to adapt to new conditions. However, the present study shows that there are other physiological mechanisms by which the thermal discomfort caused by moderately elevated temperatures can affect task performance and SBS symptoms, so habituation to a feeling of warmth may not protect against the negative effects;" Het is niet duidelijk welke dataset of andere bron hier wordt bedoeld, m.n. omdat bij deze paragraaf literatuurverwijzingen ontbreken. Als hier de theorie van adaptief thermisch comfort wordt bedoeld gebeurt dit onjuist, omdat er volledig wordt voorbijgegaan aan de cruciale rol van gedragsadaptatie.
6. CEN (2007) suggereert zelfs een wat lager percentage dissatisfied m.b.t. de binnen- en buitentemperaturen. Deze percentages zijn niet precies vergelijkbaar omdat ze op verschillende wijze zijn afgeleid, maar de vergelijking geeft een goede indruk van hoe verschillend de twee omgevingen worden beoordeeld door de gebruiker.