

Vergelijking van lage-energie kantoor-gebouwen in de zomer

Duurzame lage-energie kantoorgebouwen proberen de gebouwarchitectuur en de fysica aan te wenden voor een werkomgeving van hoge kwaliteit met een zo laag mogelijk primair energiegebruik. Een veelbelovende benadering voor het conditioneren van deze gebouwen in de zomer, is door gebruik te maken van de thermische massa van het gebouw die wordt geactiveerd door natuurlijke warmtebronnen (zoals luchttemperatuur, grondwater of aarde). Deze warmtebronnen worden aangewend door nachtventilatie of thermisch geactiveerde gebouwsystemen (TABS). Echter, een bepaalde ruimtetemperatuur kan niet worden gegarandeerd wanneer gebruikers in staat zijn om de energiebalans van de ruimte te beïnvloeden, door bijvoorbeeld het openen van ramen of door de controle over interne warmtebronnen of zonneschermen. Tussen 2001 en 2005 zijn er gedurende twee of drie jaren metingen verricht om het binnenklimaat in twaalf lage-energie kantoorgebouwen te monitoren. Deze gebouwen zijn gesitueerd in drie verschillende zomerklimaatzones in Duitsland. Deze klimaatzones zijn gedefinieerd als zomerkoel, gemiddeld en zomerwarm. Het weer op de locatie van het gebouw en de ruimtetemperatuur in verschillende kantoren werd gemonitord door verschillende wetenschappelijke teams. De ruwe data werd voor de data-evaluatie bewerkt aan de hand van een gecompliceerde methode voor het verwijderen van fouten en uitschieters. Eveneens werd de data bewerkt voor het vaststellen van de tijd waarin de ruimte in gebruik was. Het comfort in de kantoren van alle gebouwen werd afzonderlijk geëvalueerd. Voor de presentatie van de data werden deze comfortbeoordelingen gemiddeld aan de hand van de mediaan, in plaats van het rekenkundige gemiddelde. Dit werd gedaan zodat extreem koude of warme ruimtetemperaturen niet werden overschat. Een comfortevaluatie van deze twaalf lage-energie kantoorgebouwen laat duidelijk zien dat gebouwen die enkel een natuurlijke warmtebron gebruiken voor het koelen, een goed thermisch comfort bewerkstelligen gedurende karakteristieke perioden en warme zomerperiodes in Duitsland. Echter, lang aanhoudende warmtegolven zoals gedurende de extreme Europese zomer van 2003 vergen te veel, in termen van thermisch comfort, van de passief gekoelde gebouwen (met luchtgedreven koeling).

- door Jens Ü Pfaffert, Sebastian Herkel, Doreen E. Kalz, Andreas Zeuschner

De extreem warme zomer in Europa in 2003 leidde tot de wetenschappelijke discussie over thermisch comfort in natuurlijk gekoelde gebouwen. In eerste instantie richtte de discussie zich op gebouwen met grote glasoppervlakken zonder adequate zonwering. Wanneer de bouwfysica wordt beschouwd, dan blijkt dat passief gekoelde en lage-energie gebouwen in staat zijn om een hoge mate van thermisch comfort te bewerkstelligen zonder gebruik te maken van actieve koelsystemen en/of een airconditioningsysteem (de invloed van de luchtvochtigheid op het thermisch comfort wordt in dit onderzoek niet behandeld). Echter, wanneer koeling en/of airconditioning onmisbaar wordt, dan worden hoge efficiënte energiesystemen toegepast in deze, met betrekking tot energie, geoptimaliseerde gebouwen. Tegenwoordig richt de discussie zich nog steeds op kantoorgebouwen, maar eveneens op woongebouwen. Binnen dit onderzoek worden de ruimtetemperaturen geanalyseerd in passief gekoelde lage-energie gebouwen in Duitsland. De langetermijn metingen in twaalf kantoorgebouwen met een hoge bouwstandaard (lage-energie en passieve woningen), zijn geëvalueerd aan de hand van vier verschillende comfortnormen: de ISO-

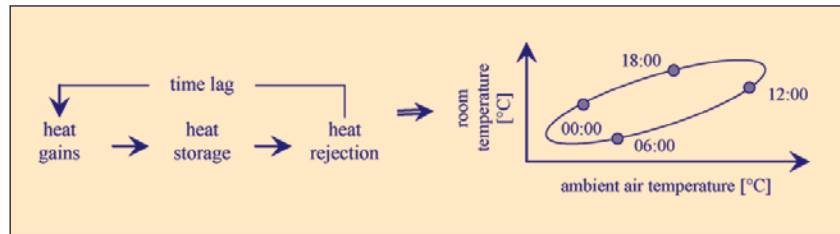
Vertaling van "Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria", door mw. ir. L. Schellen, promovenda bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven.

norm 7730 [1], de voorbereide Europese norm prEN 15251 [2], de Duitse norm DIN 1946 [3] en de Nederlandse Praktijkrichtlijn ISSO 74 [4 en 5] in vergelijking met het cumulatieve aantal malen dat een bepaalde ruimtetemperatuur voorkomt in navolging van de DIN 4108 [6].

In dit onderzoek worden de bestaande thermische comfortnormen ter discussie gesteld en worden cruciale kwesties over het gebouwontwerp en het beheer gepresenteerd, in overeenstemming met het thermisch comfort en de energiebesparing.

HET ONTWERP VAN PASSIEVE KOELINGCONCEPTEN

Lage-energie kantoorgebouwen met passieve koeling bewerkstelligen een goed thermisch comfort in de zomer, op voorwaarde dat het gebouw is ontworpen op basis van niet intensieve bezonning en een laag niveau van interne warmtebronnen. Daarnaast dient het gebouw te beschikken over een adequate warmteopslagcapaciteit en voorzien te zijn van een toereikende warmtebron, zoals nachtelijke ventilatie, koeltoren of grondkoeling (zie Figuur 1). Omdat de ruimtetemperatuur reageert op de warmtebronnen en de warmteafgifte, is het dagelijkse temperatuurverloop gedempt ten gevolge



Passieve koeling. Links :warmtestromen gedurende de dag. Rechts: dagelijks verloop van de ruimtetemperatuur als functie van de buitentemperatuur

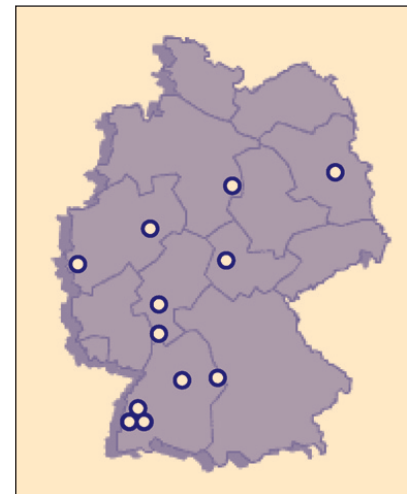
- FIGUUR 1-

van de warmteopslagcapaciteit van het gebouw. Ook vindt er in vergelijking met de buitenluchttemperatuur een tijdsverschuiving plaats in de ruimtetemperatuur.

MONITORING EN DATA-EVALUATIE

Omschrijving van het gebouw

Binnen dit onderzoek worden gemonitorde niet-woongebouwen behandeld vanuit het ondersteuningsprogramma "Energie Geoptimaliseerde Gebouwen", begeleid door het onderzoeksprogramma EnBau: Monitor. De gebouwen werden ontworpen voor een primaire energievraag beneden de 100 kWh/(m²a) voor verwarming, ventilatie, verlichting en technische diensten. Alle gebouwen worden in detail beschreven in [7] en beschikken over een hybride ventilatieconcept gedurende de dag. De meeste gebouwen maken gebruik



Overzicht van de locaties van de gebouwen. De klimaatzone met koele zomers is voornamelijk gesitueerd in het noordelijke gedeelte (54°N), de gematigde klimaatzone is gesitueerd in het centrale gedeelte van Duitsland (51°N) en de klimaatzone met warme zomers is voornamelijk gesitueerd in het zuidelijke gedeelte van Duitsland (48°N).

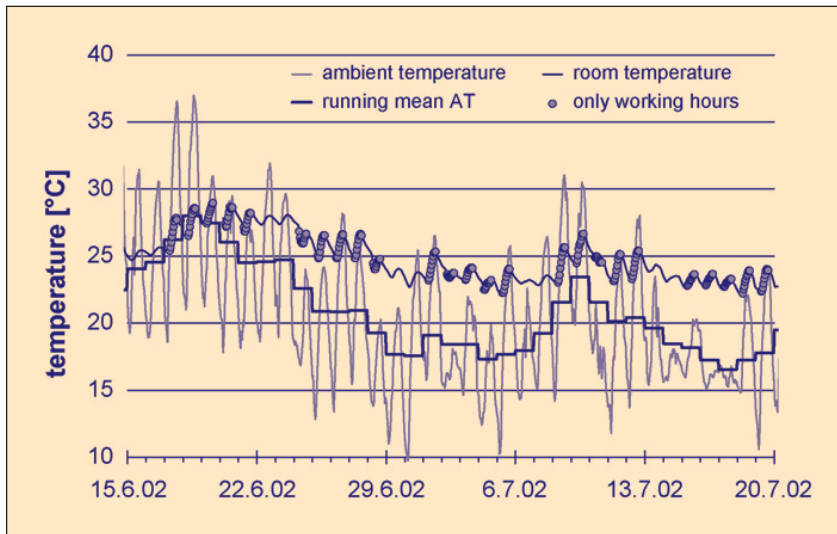
- FIGUUR 2-

	Main orientation	Day ventilation	Night ventilation	Earth-to-air heat exchanger	TABS	Monitored offices	Monitoring 2001	Monitoring 2002	Monitoring 2003	Monitoring 2004	Monitoring 2005	Post occupancy evaluation
SurTec Zwingenberg	E	h	f	x		6	x					-
DB Netz AG, Hamm	S	f/h	f	x		9	x	x				-
Lamparter Weilheim	N + S	h	f	x		2	x	x	x			-
Pollmeier Creuzburg	S	f/h	m			1		x	x			-
Fraunhofer ISE/A, Freiburg	E	h	f	x		6		x	x			s/w
Fraunhofer ISE/C, Freiburg	S	h	m			16		x	x			s/w
KfW Frankfurt	S	h	(f/m)		(x)	23			x	x		-
BOB Aachen	N + S	h	-		x	9			x	x	x	s/w
ENERGON Ulm	all	h	f	(x)	x	20				x		-
SOLVIS Braunschweig	S	h	m			7				x	x	s/w
Solar Info Center, Freiburg	all	f/h	m			42					x	s/w
EnergieForum Berlin	S	h	f		x	52					x	-

f: free, h: hybrid, m: mechanical, in parenthesis: in some parts of the building, s/w: summer en winter.

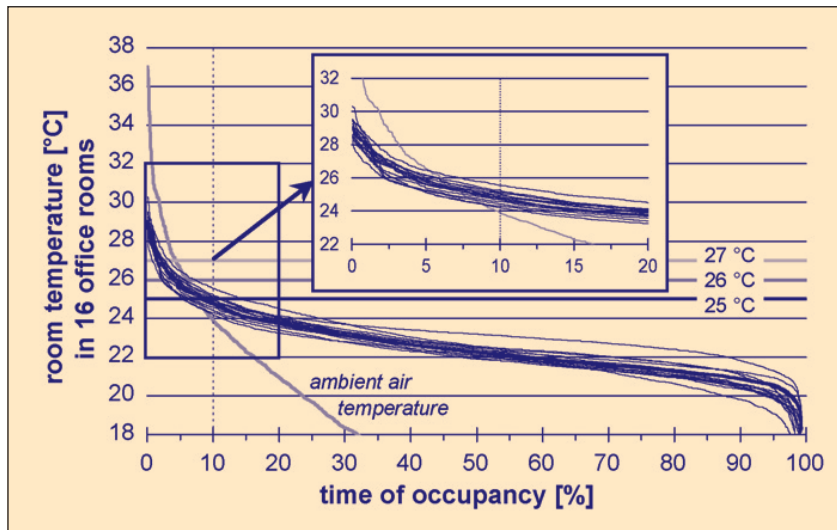
Gebouwomschrijving en monitoringsoverzicht.

- TABEL 1-



Temperatuurregistraties gedurende 5 weken in het Fraunhofer ISE gebouw. Uurlijkse gemiddelde ruimtetemperatuur- en buitentemperatuurdata voor de 16 kantoorruimten. De gemiddelde ruimtetemperatuur is berekend aan de hand van ISO 74. De maandelijks gemiddelde temperatuur (prEN 15251) bedraagt 20,3 °C en 12 werkdagen zijn zomerdagen (ISO 7730).

- FIGUUR 3-



Lange duurresultaten van de ruimtetemperaturen gedurende het hele jaar, bestaande uit 2.450 werkuren. Omdat de warmste maand warmer is dan 18 °C, is het zomerklimaat 'warm' (DIN 4108), de ruimtetemperatuur mag daarom de 27 °C niet overstijgen gedurende meer dan 10 % van de werkuren. Ondanks dat het gebouw voldoet aan deze minimum vereisten dient deze methode niet gebruikt te worden als comfortcriterium.

- FIGUUR 4-

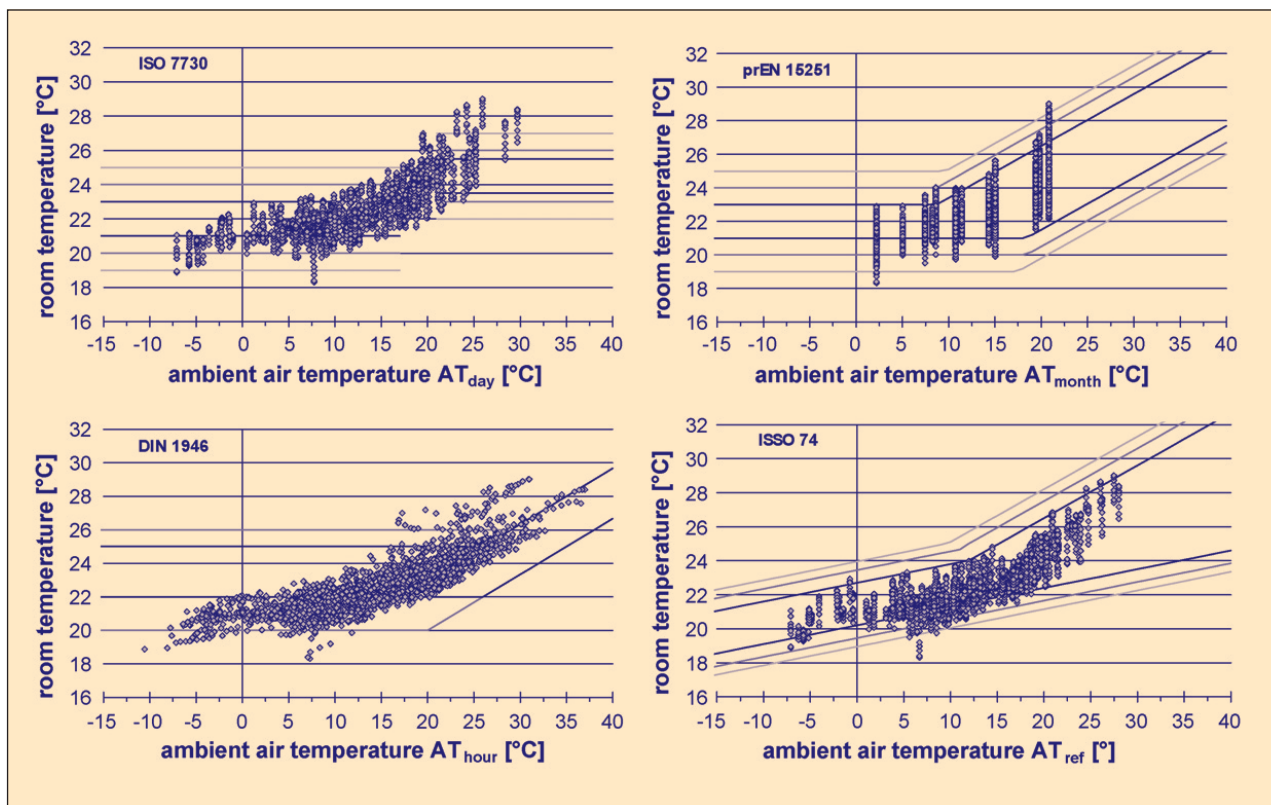
van nachtelijke ventilatie voor het voorcoelen, sommige gebouwen maken gebruik van TABS in combinatie met grondkoeling, en andere gebruiken warmtewisselaars waarbij de warmte van de aarde wordt overgebracht naar de lucht voor luchtkoeling. Geen enkel gebouw beschikt over een mechanische koeling. Tabel 1 geeft het gebruik weer van natuurlijke warmtebronnen voor passieve koeling en de tijdperiode van de monitoring. Ondanks verschillende benaderingen over de architectuur en het ontwerp, onthouden alle gebouwen zich van gebiedsbrede airconditioning ten gun-

ste van passieve koeling. Alle gebouwen werden ontworpen voor gereduceerde zonnewarmtebronnen. Daarnaast werden de gebouwen ontworpen als solide en met de mogelijkheid voor het controleren van de zonnewering. De gebouwen worden gebruikt als kantoorgebouwen met lage-energetische kantooruitrusting (verminderde interne warmtebronnen). De meeste gebouwen bestaan uit individuele of groepskantoren, sommige gebouwen beschikken ook over kantoren met een open plattegrond (of kantoorruimten). Ze zijn gesitueerd in verschillende Duitse klimaatzones, zie figuur 2.

Comfortcriteria

De navolgende comfortcriteria beschouwen de ruimtetemperatuur θ_{ruimte} °C als een functie van de buitenluchttemperatuur θ_o °C. Het comfort is geëvalueerd aan de hand van de uurlijks gemiddelde ruimtetemperatuur, en alleen voor de periode waarin de ruimte in gebruik was (maandag tot vrijdag, van 08:00 uur tot 17:00 uur). Ieder comfortcriterium definieert een temperatuurbereik rond de comforttemperatuur θ_c °C, dat een functie is van de tolerantie (zie Figuur 4). De vier comfortcriteria maken gebruik van verschillende tijdperioden voor de buitenluchttemperatuur [8 en 9].

- definieert de ontwerpcondities voor twee verschillende kledingwaarden ($clo=0,5$ en $1,0$) voor het verwarmings- (winterdagen) en het koelingsseizoen (zomerdagen). Voornamelijk binnen dit onderzoek wordt een zomerdag gedefinieerd door een dagelijkse maximumtemperatuur van 25 °C, in overeenstemming met de meteorologische definitie van een "zomerdag". De gemiddelde comforttemperatuur θ_c bedraagt 22 °C in de winter en 24,5 °C in de zomer. Het percentage personen dat tevreden is met de thermische omgeving is berekend op basis van de correlatie tussen de PMV (gemiddelde voorspelde sensatie) en de PPD (percentage ontevreden personen).
- houdt rekening met de maandelijks buitenluchttemperatuur $\theta_{o,m}$ °C. De comforttemperatuur bedraagt 22 °C in de winter, en in de zomer bedraagt de comforttemperatuur $17,8 \text{ °C} + 0,31\theta_{o,m} \text{ °C}$ voor gebouwen zonder mechanische koeling. Voor mechanisch gekoelde gebouwen definieert de ISO-norm 7730 het criterium voor thermisch comfort. Het algoritme voor gebouwen zonder mechanische koeling is gebaseerd op de adaptieve benadering voor thermisch comfort, en daarom gebaseerd op praktijkstudies en praktijkonderzoeken.
- wordt vaak gebruikt voor het beheer van HVAC-systemen en definieert de correlatie tussen de ruimtetemperatuur en de heersende buitenluchttemperatuur $\theta_{o,h}$ °C, met 23,5 °C in de winter en $\theta_c = 23,5 + \theta_{o,h/3}$ in de zomer. De potentie voor het besparen van energie met betrekking tot de setpoints, die afhankelijk zijn van de buitenluchttemperatuur, vormde



Thermisch comfort in het Fraunhofer ISE/C gebouw in 2002, bepaald aan de hand van de gemiddelde ruimtetemperatuur in 16 kantoorruimten. De ISO 7730 grafiek geeft de temperatuurrange weer voor 94 % (zwarte lijn), 90 % (donkergrijze lijn) en 85 % (lichtgrijze lijn) van de gebouwgebruikers die tevreden zijn met hun thermische omgeving. De DIN 1946 grafiek houdt geen rekening met een percentage ontevreden gebruikers. De grijze lijnen representeren temperatuurlimieten voor ruimten met hoge interne warmtebronnen (bovenste limiet) en met verdringingsventilatiesystemen (onderste limiet). Zowel de prEN 15251 als de ISSO 74 grafiek geven de temperatuurrange weer voor 90 (zwarte lijn), 80 (donkergrijze lijn) en 65 % (lichtgrijze lijn) van de gebruikers die tevreden zijn met de thermische omgeving.

- FIGUUR 5-

een aanleiding voor deze norm.

Tevens bewerkstelligt deze een compromis tussen comfort en het beheer van het HVAC-systeem.

- ISSO 74: 2005 houdt rekening met de thermische adaptatie. De comforttemperatuur in een ruimte staat in wisselwerking met de gemiddelde buitenluchttemperatuur gedurende de laatste drie dagen $\theta_{o,m}$. Deze wordt berekend op basis van dezelfde vergelijking als in prEN 15251, echter met een andere referentietemperatuur: $\theta_c = 17,8 \text{ °C} + 0,31\theta_{o,m}$. Het ISSO 74 algoritme is gebaseerd op een meta-analyse van bestaande modellen.

Bovendien definiëren nationale gebouwnormen minimumeisen voor het gebouwonwerp. In deze context worden er limieten voor de binnentemperatuur gedefinieerd voor gebouwen zonder mechanische koeling. Toch is deze vereiste geen comfortcriterium, het wordt vaak gebruikt voor het dagelijkse ontwerp van passief gekoelde gebouwen.

- omdat gebouwen zonder mechani-

sche koeling geen bepaalde temperatuurlimiet van bijvoorbeeld 25, 26 of 27 °C kunnen bewerkstelligen, wordt vaak de limiet voor het aantal uren dat de temperatuur mag worden overschreden gebruikt als een eenvoudig te hanteren criterium. Deze temperatuurlimieten zijn gedefinieerd in de Duitse norm DIN 4108 voor een koel zomerklimaat (warmste maand $\theta_{o,m,max} < 16,5 \text{ °C}$), een gematigd zomerklimaat ($16,5 \text{ °C} < \theta_{o,m,max} < 18 \text{ °C}$) en een warm zomerklimaat ($\theta_{o,m,max} > 18 \text{ °C}$).

Toepassing van de comfortcriteria op het Fraunhofer ISE gebouw

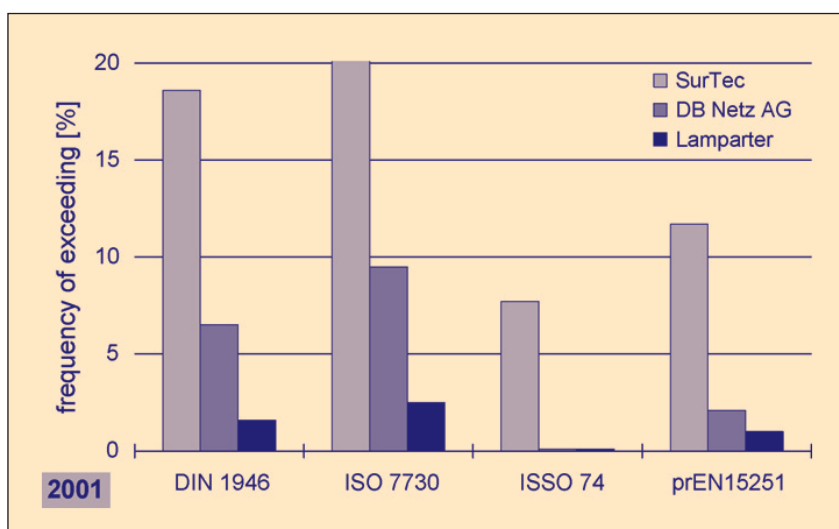
Deze subparagraaf laat aan de hand van een voorbeeld zien hoe de vier comfortcriteria zijn toegepast op de geregistreerde data. Figuur 3 geeft een deel van de metingen weer in het Fraunhofer ISE gebouw gedurende een karakteristieke zomerperiode.

Figuur 4 geeft de tijdscurve weer van de ruimtetemperatuur in zestien kantoorruimten die gesitueerd zijn aan de zuidgevel. De warmste ruimte is bij

benadering 1,5 °C warmer dan de koelste ruimte. Dit gedrag kan worden toegekend aan het gebruikersgedrag: het openen van ramen, het bedienen van de zonwering, de aanwezigheid van personen en het gebruik van de kantooruitrusting [8].

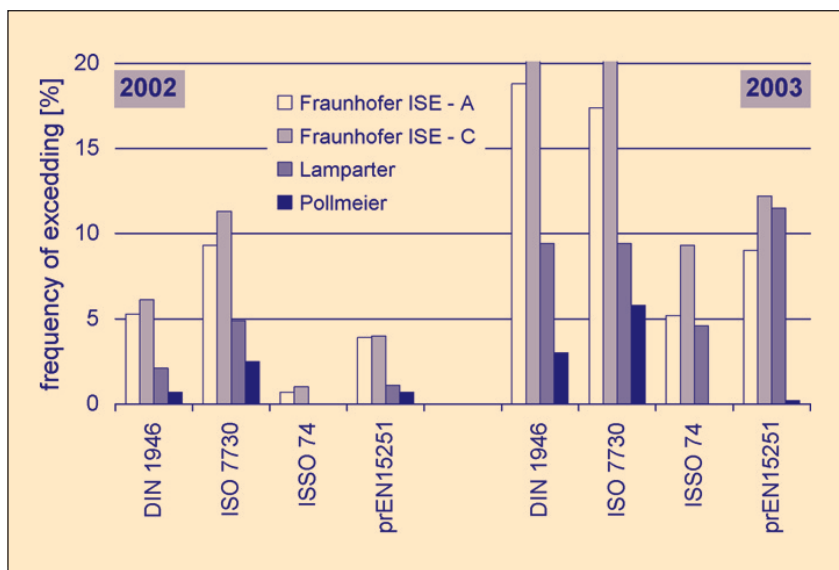
De data-evaluatie van de gemiddelde ruimtetemperatuur voor het Fraunhofer ISE, die verricht is in overeenstemming met de vier comfortnormen, is grafisch weergegeven in figuur 5. Het comfort is apart geëvalueerd voor ieder van de zestien kantoorruimten. De gemiddelde waarde van de thermische beoordelingen is voor het gehele gebouw berekend voor de aparte evaluaties [10]. In overeenstemming met de respectievelijke normen wordt de bovenste comfortlimiet, wanneer wordt gekeken naar een 90 % tevredenheidsgrens, gedurende 6 % van de werkuren overschreden voor de DIN 1946, 11 % voor de ISO 7730, 1 % voor de ISSO 74 en 4 % voor de prEN 15251.

Gedurende de zomer van 2002 werden de diverse comfortnormen zelden overschreden.



Comfortanalyses voor drie gebouwen in 2001.

- FIGUUR 6 -



Comfortanalyses voor vier gebouwen in 2002 en 2003.

- FIGUUR 7 -

VERGELIJKING VAN DE GEBOUWEN

In navolging van de aanpak die besproken werd in hoofdstuk 3 voor het Fraunhofer ISE gebouw, zijn alle twaalf de gebouwen geanalyseerd.

In veel onderzoeken, onder andere door [11 en 12] wordt gesuggereerd dat in gebouwen met te openen ramen, minder strikte eisen hoeven te worden gebruikt dan in gebouwen met een gecentraliseerd klimaatbeheersingssysteem en gesloten gevels doordat gebruikers in gebouwen met te openen ramen thermisch adapteren aan het binnenklimaat.

ISSO 74 (2006) maakt een onderscheid tussen Type ALPHA gebouwen met een grote gebruikersinvloed op het binnenklimaat en Type BETA gebouwen met een centraal gecontroleerd binnenklimaat. Alle gebouwen binnen

dit onderzoek behoren tot de categorie "Type ALPHA gebouwen" in navolging van de ISSO 74 classificatie, omdat zij beschikken over te openen ramen. Verder is er op zijn minst één te openen raam aanwezig per twee gebruikers. Het is voor alle gebruikers toegestaan om de ramen te openen, daarnaast mogen zij ook hun kleding aanpassen (er bestaat in de gebouwen geen dresscode). Daarom worden de adaptieve comfortmodellen uit de ISSO 74 en de prEN 15251 toegepast op alle gebouwen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de ISO 7730 en de DIN 1946 geen onderscheid maken tussen verschillende comfortmodellen. Het dient echter duidelijk te worden vermeld dat het adaptieve comfortmodel uit de prEN 15251 zich beperkt tot "gebouwen zonder mechanische

koeling". Mechanische koeling wordt gedefinieerd als "het koelen van een omgeving of gebouw door mechanische middelen, zoals compressoren of met gebruikmaking van vergelijkbare centrale koeling of toevoerlucht, ventilatoren, gekoelde oppervlakken etc.". De twaalf lage-energie gebouwen binnen dit onderzoek waren geen "natuurlijk geventileerde gebouwen", maar ook geen "mechanisch gekoelde gebouwen". De auteurs definiëren deze gebouwconcepten als "mixed-mode gebouwen", omdat zij gebruik maken van aanvullende lage-energie- en natuurlijke koelingsbronnen voor ruimtekoeling (zoals hybride ventilatie gedurende de dag, nachtelijke ventilatie, een warmtewisselaar waarbij de warmte van de aarde wordt overgebracht naar de lucht en TABS met grondkoeling). Omdat in alle gebouwen een mixed-mode koelingsconcept is toegepast, en de gebruikers een sterke invloed hebben op het binnenklimaat, hebben de auteurs gebruik gemaakt van de corresponderende adaptieve comfortmodellen (niet alleen voor de ISSO 74 maar ook voor de prEN 15251).

De data-evaluatie houdt rekening met het feit dat de overschrijding van de comfortcriteria alleen cruciaal is gedurende de perioden met hoge buitentemperaturen, omdat:

- de gebruikers het effect van de overschrijding van de lagere comfortlimieten, indien gewenst, kunnen opheffen door aanvullende verwarming in de winter en het sluiten van de ramen en het openen van jaloezieën in de zomer;
- een overschrijding van de comfortcriteria gedurende lagere buitentemperaturen meestal wordt veroorzaakt door interne warmtebronnen en zonnewarmtebronnen, wat eenvoudig kan worden opgelost door het openen van de ramen.

Om deze redenen wordt er in de gepresenteerde analyse alleen rekening gehouden met de overschrijding van de comfortlimieten gedurende dagen met een gemiddelde buitentemperatuur hoger dan 15 °C. Figuren 6-9 geven de frequentie weer van de overschrijding van de comfortlimieten, voor een 90 % tevredenheidsgrens. Omdat elke figuur het comfort analyseert voor een specifiek jaar en een apart aspect behandelt, dienen de resultaten niet te worden generalise-

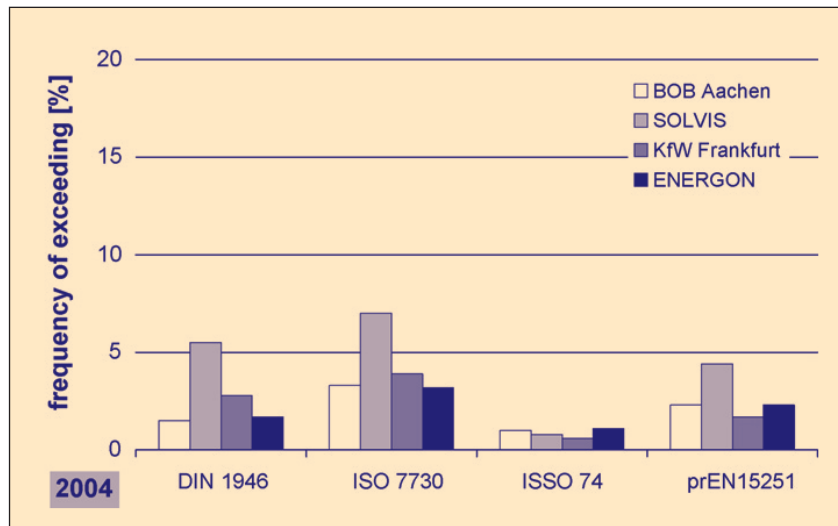
seerd voor alle niet-woongebouwen.

Fysische eigenschappen van het gebouw

Figuur 6 geeft duidelijk weer dat verschillende fysische eigenschappen van een gebouw resulteren in verschillende comfortcriteria. De zonnebescherming in het SurTec gebouw wordt gerealiseerd door breedbladige planten. Omdat de planten niet volledig volgroeid waren in 2001, ontbrak er een goede zonnebescherming. Dankzij de hoge warmte-lasten door de zon werden de ruimtetemperaturen te hoog, en overschreden daardoor de bovenste comfortlimieten. Omdat het ventilatievoud gedurende de nacht in het Lamparter building ($4-6 \text{ h}^{-1}$) hoger is dan in het DB Netz AG ($2-3 \text{ h}^{-1}$), en doordat de koele lucht van de warmtewisselaar, waarbij de warmte van de aarde wordt overgebracht naar de lucht, direct wordt toegevoerd naar de kantoorruimten in het Lamparter, is de warmteafgifte efficiënter dan in het DB Netz AG. Door de betere warmteafgifte zijn de ruimtetemperaturen in het Lamparter gebouw in de zomer comfortabeler dan in het DB Netz AG. Zoals verwacht, blijkt uit het onderzoek dat zowel de gebouwen als de ventilatie en het energieconcept een directe invloed hebben op het thermisch comfort.

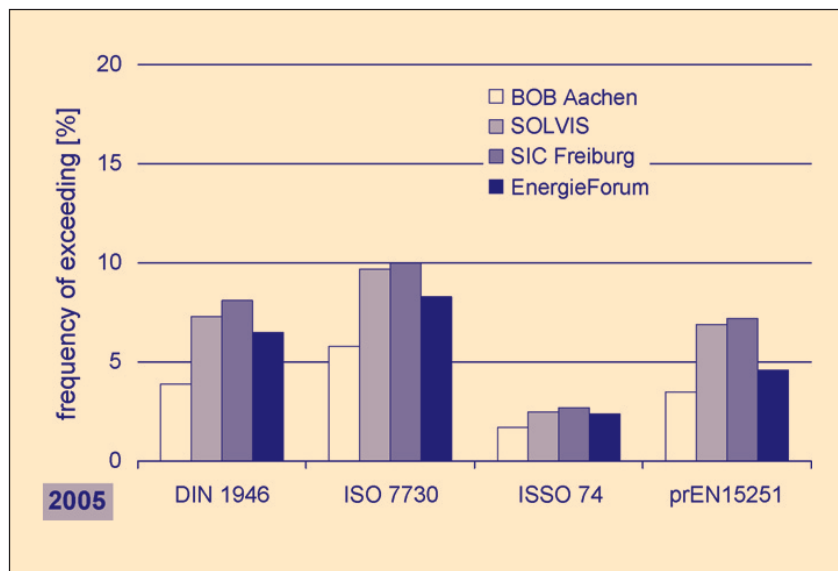
De invloed van het weer op het thermisch comfort

Ondanks dat alle comfortnormen rekening houden met het weer, blijkt uit Figuur 7 dat de comfortbeoordeling kan variëren van jaar tot jaar. Klaarblijkelijk stijgen de binnentemperaturen in natuurlijk geventileerde gebouwen zonder mechanische koeling naarmate de buitentemperaturen hoger zijn. In de comfortnormen wordt rekening gehouden met de hogere buitentemperaturen in 2003. Toch leverden de gebouwen in 2003 een slechtere comfortpresentatie dan in 2002. Deze prestatie kan worden verklaard aan de hand van de tijdseries van de hittegolven [13]. Wanneer de buitenluchttemperatuur in 2003 en 2002 hetzelfde tijdpatroon gevolgd zou hebben dan zou het comfort gelijk worden geëvalueerd, omdat de comforttemperatuur hoger is dankzij de hogere buitenluchttemperatuur. Echter, de zomer van 2003 werd gekarakteriseerd door lange hittegolven. In deze perioden nam de



Comfortanalyses voor vier gebouwen in 2004.

- FIGUUR 8-



Comfortanalyses voor vier gebouwen in 2005.

- FIGUUR 9-

temperatuur van de gebouwconstructie flink toe, omdat de buitentemperatuur te warm was om als warmteopslagbron te dienen. Aangezien de vier gebouwen in figuur 7 gebruikmaken van luchtgedreven passieve koeling (aarde-naar-lucht warmtewisselaar en/of nachtventilatie), kan de thermische massa (zie Figuur 1, tijdsverschil tussen warmtebronnen en warmte-afgifte) niet worden aangewend om comfortabele ruimtetemperaturen te bewerkstelligen gedurende de werkuren.

Consequenties van de verschillende comfortcriteria

Figuren 6 en 7 (evenals figuur 9) suggereren dat een bepaald gebouw vergelijkbaar dient te worden geëvalueerd aan de hand van alle comfortcriteria. Dit brengt de aanname met zich mee dat aan de hand van de criteria dezelfde

conclusie dient te worden getrokken: wanneer een gebouw beter wordt beoordeeld dan een ander gebouw in norm A, dan zou dit gebouw ook beter dienen te worden beoordeeld in de normen B, C en D. Desondanks kunnen de comfortcriteria wel verschillende kwantitatieve cijfers toekennen aan het thermisch comfort, omdat de normen zijn gebaseerd op verschillende onderzoeken, databases en aannames. In tegenstelling, figuur 8 duidt aan dat niet alleen de kwantificatie (%), maar ook de kwalitatieve benadering kan afwijken van de ene norm tot de andere norm. In dit voorbeeld is het KfW-gebouw comfortabeler dan het BOB- en het ENERGON-gebouw, in overeenstemming met de adaptieve comfortcriteria uit de ISSO 74 en de prEN 15251. Maar als wordt gekeken naar de DIN 1946 en de ISO 7730

dan is het gebouw minder comfortabel dan de andere twee gebouwen.

Omdat elke comfortnorm verwijst naar een bepaald gebouwconcept dient een adequate norm te worden gekozen voor het specifieke doel van de comfortbeoordeling.

Lucht- en watergedreven koeltechnieken

Figuur 9 vergelijkt twee gebouwen met luchtgedreven koeling door nachtventilatie (SOLVIS en SIC Freiburg) en twee gebouwen met TABS (BOB Aachen en EnergieForum). Bij beide koelconcepten wordt gebruik gemaakt van een boorgatwarmtewisselaar als warmtebron in de betonplaat. Kennelijk is het moeilijk om verschillende gebouwconcepten met elkaar te vergelijken wanneer er slechts één aspect in overweging wordt genomen (zoals het gevelconcept, ventilatieconcept, warmte en koude distributiesysteem, warmtebron en bron- of gebouwstructuur). Desondanks bewerkstelligen de gebouwen die gebruikmaken van de “grond”-warmtebron, in combinatie met TABS, een beter thermisch comfort dan de gebouwen die gebruikmaken de “nachtelijke buitenlucht”-warmtebron door vrije of mechanische nachtelijke ventilatie.

De grond is een onafhankelijke warmtebron, die het gebouw thermisch gezien ontkoppelt van de buitenlucht. Daarom voert TABS zelfs gedurende hoge buitenluchttemperaturen koele-nergie toe aan het gebouw. Dit kan het thermisch comfort verbeteren, voornamelijk gedurende hoge buitenluchttemperaturen wanneer het koelingspotentieel van luchtgedreven concepten (met nachtelijke ventilatie of aarde-naar-lucht warmtewisselaar) wordt gereduceerd doordat het temperatuurverschil tussen de toevoerlucht en de comforttemperatuur kleiner is. Watergedreven concepten, die gebruik maken van de grond als warmtebron, kunnen warmtegolven reguleren, stappen in ruimtetemperatuur vereffenen en kunnen het thermisch comfort significant verbeteren [14].

VERGELIJKING MET BEZETTINGSEVALUATIE

Deze resultaten van de monitoringstudies kunnen worden vergeleken met de bezettingsevaluaties voor de gebruikerstevredenheid. Uit een onderzoek

in twaalf Duitse kantoorgebouwen blijkt dat de gebruikerstevredenheid betreffende de ruimtetemperatuur sterk correleert met de mogelijkheid voor de gebruikers om hun werkomgeving te beïnvloeden (zoals door te openen ramen of door temperatuurregeling van het verwarmings- en koelsysteem), en hun beleving dat de werkomgeving ook daadwerkelijk verandert (oftewel dat de temperatuur die wordt ervaren ook daadwerkelijk toe- of afneemt). Aan de andere kant bestaat er een zwakke correlatie tussen de actuele ruimtetemperatuur en de ervaren ruimtetemperatuur.

Wagner en Gossauer [16] behandelen deze interactie in detail in “Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – results of field studies in German low-energy office buildings”. (*Opmerking:* De studie van Wagner en Gossauer’s legt de nadruk op de gebruikerstevredenheid en niet op het thermisch comfort). Voor de analyse van deze bezettingsevaluatie is de thermische sensatie en de gebruikerstevredenheid voor de ruimtetemperatuur bekeken in 5 van de 12 gemonitord gebouwen, zie Tabel 1. De comfortonderzoeken werden gedurende 1 dag in de zomer en 1 dag in de winter uitgevoerd. Te midden van anderen beoordelen de gebruikers hun thermische sensatie (te warm, enigszins te warm, neutraal, enigszins te koel, te koel), hun tevredenheid met de thermische omgeving (heel tevreden, tevreden, acceptabel, ontevreden, heel ontevreden) en hun tevredenheid met de verandering die ervaren wordt in het binnenklimaat wanneer dat zij een verandering aanbrengen (zoals door het openen van een raam).

- De gemiddelde ruimtetemperaturen lagen gedurende de onderzoeken in de zomer en de winter binnen het comfortbereik van de ISO 7730. In de winter beoordeelde 88 % van alle gebruikers hun thermische sensatie in de tussen enigszins te koud (PMV=-1) en enigszins te warm (PMV=+1), in de zomer bedroeg dit aantal 86 %. Deze resultaten komen bij benadering overeen met de beoordeling in navolging van de ISO 7730. (Ter vergelijking: 64 % procent van alle gebruikers zou hun thermische sensatie in de winter als neutraal beoordelen, in de zomer zou dit aantal 58 % zijn.)

- Vierentwintig procent van alle ge-

bruikers was in de winter ontevreden of heel ontevreden met de ruimtetemperatuur, in de zomer bedroeg dit aantal 41 %. De comforttemperaturen in de zomer en winter behoren tot de klasse B in de ISO 7730, en de thermische sensatie werd gelijk beoordeeld in de zomer en in de winter. Hierdoor is het niet mogelijk om de gebruikerstevredenheid alleen te verklaren aan de hand van de ruimtetemperatuur.

- Zowel de luchtvochtigheid als de luchtkwaliteit werden gelijk beoordeeld in de zomer en in de winter. Tevens is het lokale discomfort (zoals tocht, verticale temperatuurverschillen en stralingsasymmetrie) gelijk in de zomer en in de winter.

Deze data-analyse geeft duidelijk weer dat de mogelijkheid voor de gebruikers om hun omgeving te veranderen de tevredenheid beïnvloedt, maar niet overtuigend leidt naar de conclusie dat de mogelijkheid voor de gebruikers om hun omgeving aan te passen resulteert in verschillende verwachtingen van de gebouwgebruikers. In navolging van deze opmerking kan worden geconcludeerd dat de resultaten van de bezettingsanalyse overeenkomen met de aanname dat de adaptieve comforttheorie toepasbaar is bij zowel natuurlijk geventileerde gebouwen als bij mixed-mode gebouwen. Dit kan worden geconcludeerd omdat de gebruiker de mogelijkheid tot het aanpassen of regelen van de werkomgeving in de zomer als beperkt ervaren. Omdat het temperatuurverschil in de zomer tussen binnen en buiten kleiner is, wordt het handmatig bedienen van de ramen niet zo doeltreffend bevonden als in de winter, en tevens omdat de gebruiker de verandering niet direct kan ervaren. In overeenstemming met het voorgaande blijkt dat de gebruikerstevredenheid, voor de ruimtetemperatuur, in de zomer kleiner is dan in de winter ondanks dat de thermische sensatie vergelijkbaar is.

CONCLUSIE EN DISCUSSIE

Conclusie

De data-evaluatie van de twaalf Duitse kantoorgebouwen laat zien dat passief gekoelde lage-energie gebouwen een goed thermisch comfort bewerkstelligen in een gematigd Europees zomerklimaat

(categorie I en II in navolging van de prEN 15251). Deze gebouwconcepten maken voor koeling geen gebruik van een gecentraliseerde airconditioning en mechanisch aangedreven koelmachines. In de zomer wordt de warmte tegengegaan door alleen gebruik te maken van TABS, die gebruik maakt van grondkoeling of verhoogde nachtelijke ventilatie.

De evaluatie van de twaalf lage-energie kantoorgebouwen, die gebruik maken van natuurlijk warmtebronnen voor koeling, laat zien dat gedurende een gematigde zomer (zoals de zomer van 2001, 2004 of 2005) of gedurende een reguliere zomer (zoals 2002) de geldende normen (zoals prEN 15251 of ISSO 74) voor het thermisch comfort in gebouwen zonder mechanische koeling niet meer dan 5 % van de operationele uren worden overschreden. Hierbij werd rekening gehouden met het daadwerkelijke bezettingsschema van het gebouw en het werkelijke gebruikersgedrag.

Wanneer er wordt gekeken naar extreme meteorologische condities, zoals gedurende de zomer van 2003, dan blijkt dat gebouwen met luchtgedreven koeling (zoals warmtewisselaars waarbij de warmte van de aarde wordt overgebracht naar de lucht en nachtelijke ventilatie) grenzen aan hun eigen capaciteitslimieten voor thermisch comfort. Watergedreven koelsystemen (zoals TABS met gebruikmaking van grondkoeling) kunnen een goed thermisch comfort bewerkstelligen, zelfs onder extreme weercondities.

Op voorwaarde dat de gebouwen zorgvuldig en adequaat zijn ontworpen en goed operationeel zijn [17], kunnen passief gekoelde gebouwen met succes worden toegepast in verschillende klimaatzones. Het ontwerp zou expliciet rekening dienen te houden met het lokale klimaat en het gebruik van het gebouw.

Discussie

De DIN 4108-2 norm of vergelijkbare nationale normen, die gebruik maken van het maximum aantal uren dat een bepaalde temperatuur mag worden overschreden, definiëren een standaard voor de gebouwconstructie onafhankelijk van het gebruik van het gebouw en het lokale klimaat. Echter, dit onderzoek laat duidelijk zien dat zowel het gebruik van het gebouw als het lokale klimaat beide een sterke invloed

hebben op de comfortbeoordeling. Toekomstige normen voor passief gekoelde gebouwen dienen rekening te houden met het gebruik van het gebouw en het lokale klimaat.

Verschillende onderzoeksprojecten ondersteunen dat gebruikers in natuurlijk geventileerde gebouwen hogere ruimtetemperaturen ervaren als comfortabeler. In navolging hiervan werden deze onderzoeksresultaten meegenomen in nieuwe normen, zoals prEN 15251:2005.

Gedurende de data-evaluatie en de voorbereiding van dit onderzoek, voor de toepasbaarheid van thermische comfortmodellen, hadden de auteurs een langdurige discussie over welke comfortnorm diende te worden toegepast op de verkregen data. Vele nieuwe lage-energie kantoorgebouwen zijn zowel geen “natuurlijke geventileerde gebouwen” als geen “mechanische gekoelde gebouwen”, in overeenstemming met de geldige nationale en internationale normen. Alle lage-energie kantoorgebouwen binnen dit onderzoek waren “mixed-mode gebouwen” met complimenteuzen lage-energie en natuurlijke systemen (zoals nachtelijke ventilatie, warmtewisselaars waarbij de warmte van de aarde overgebracht wordt naar de lucht of TABS met grondkoeling). Daarnaast beschikten de gebouwen over een hoge mate van individuele gebruikersbeïnvloedingsmogelijkheden (zoals te openen ramen en zonweringbediening). In dit onderzoek hechtten de auteurs meer waarde aan de beïnvloedingsmogelijkheden die de gebruikers ervoeren over de thermische sensatiebeoordeling (ISSO 74 benadering), dan aan de technische gebouwvoorzieningen (prEN 15251 benadering). Daarom besloten de auteurs gebruik te maken van de adaptieve benadering in navolging van de ISSO 74. Echter, verder onderzoek dient te worden verricht om te onderzoeken hoe adaptieve comfortmodellen kunnen worden toegepast in “mixed-mode” gebouwen.

Desondanks geeft de bezettingsevaluatie meer inzicht in de correlatie tussen de ervaren gebruikerscontrole en de gebruikerstevredenheid. Verder onderzoek is noodzakelijk om deze fundamentele correlatie te onderzoeken. Om dit doel te bereiken dienen langetermijn metingen en praktijkonderzoeken naar het thermisch comfort gelijktijdig te worden geëvalueerd.

DANKBETUIGING

Dit onderzoek werd gefinancierd door het Duitse Ministerie van Economie en Werk BMWA, onder het programma “Energie Geoptimaliseerde Gebouwen” (Projektträger PTJ, O3350006X) en het InnoNet project QUALIPASS (Projektträger vdi|vde-it, 16IN0248). De monitoring, de dataverwerking en analyse was een tijdrovende taak. De auteurs willen Kathrin Schlegel (ZUB Kassel), Mathias Wambsgans (ip5 Karlsruhe), Michael Kleber (fbta Karlsruhe), Ingo Repke (FH Köln), Andreas Gerber (FH Biberach), Peter Seeberger (HfT Stuttgart), Soeren Peper (Passivhaus Institut), Gunter Lindemann (FH Ulm), Michael Voigt (ENAKON), Thomas Feldmann (FH Offenburg) en Robert Himmler (EGS-plan) bedanken.

REFERENTIES

1. prEN ISO 7730:2005, *Ergonomics of the thermal environment*, Beuth Verlag, 2005.
2. prEN 15251:2005, *Criteria for the indoor environment*, Beuth Verlag, Berlin, 2005.
3. DIN 1946-2:1994, *Raumlufttechnik*, Beuth Verlag, 1994 (Replaced by EN13779:2004 Ventilation for non-residential buildings since May 2005).
4. A.C. van der Linden, A.C. Boersta, A.K. Raue, S.R. Kuvers, R.J. de Dear, *Adaptive temperature limits—a new guideline in The Netherlands—a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate*, Energy and Buildings 38 (2006).
5. A.C. Boersta, L.P. Hulsman, A.M. van Weele, *ISSO 74 Kleintje Binnenklimaat*, Stichting ISSO, Rotterdam, 2005 (in Dutch).
6. DIN 4108-2:2003, *Thermal Protection and Energy Economy in Buildings*, Beuth Verlag, 2003.
7. K. Voss, G. Loehnert, S. Herkel, A. Wagner, M. Wambsganß, *Bu“rogeba“ude mit Zukunft*, TÜV Verlag, 2005 (in German).
8. J. Pfafferott, S. Herkel, A. Zeuschner, *Thermischer Komfort im Sommer in Bu“rogeba“uden mit passiver Ku“hlung. 9. Internationale Passivhaustagung*, Ludwigshafen (D), 2005 (in German).
9. J. Pfafferott, S. Herkel, *Statistical*

simulation of user behaviour in lowenergy office buildings, in: Proceedings of the PALENC Conference, Santorin (GR), 2005.

10. J. Pfafferott, *Enhancing the Design and Operation of Passive Cooling Concepts*, Fraunhofer IRB Verlag, 2004.

11. R. de Dear, G. Brager, *The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment*, International Journal of Biometeorology 45 (2) (2001).

12. M.A. Humphreys, J.F. Nicol,

Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Transactions 104 (1) (1998).

13. S. Herkel, J. Pfafferott, *Passive Kühlung im Energiekonzept – Ergebnisse aus vier Monitoringprojekten*. 14. *Symposium Thermische Solarenergie*, Bad Staffelstein (D), 2004 (in German).

14. J. Pfafferott, S. Schiel, S. Herkel, *Bauteilkühlung: Messungen und modellbasierte Auswertung*. 15. *Symposium Thermische Solarenergie*, Bad Staffelstein (D), 2005 (in German).

15. E. Gossauer, A. Wagner, *User Satisfaction at Workspaces: A Study in 12 Office Buildings in Germany*, CIS-BAT, Lausanne (CH), 2005.

16. A. Wagner, E. Gossauer, *Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—results of field studies in German low-energy office buildings*, Energy and Buildings 39 (7) (2007).

17. M. Santamouris, D. Asimakopoulos (Eds.), *Passive Cooling of Buildings*, James & James, London, 1996.



Inteco

Inteco BV

LET OP:
Per 01-01-2008
nieuw adres:
Van Salmstraat 71
5281 RP Boxtel
Postbus 55
5280 AB Boxtel
Tel.: +31 (0) 411 65 88 00
Fax: +31 (0) 411 65 88 01
E-mail: info@inteco.nl
Internet: www.inteco.nl

AdeRo
Hoogstaande flexibiliteit

MeandRo
Duurzame kwaliteit

KLIMAATPLAFONDS

AdeRo® en MeandRo®. Topkwaliteit klimaatplafonds, die zowel functioneel als esthetisch de toon aangeven. Vooruitstrevend in technologie. Sterk in flexibiliteit en performance. Met AdeRo® en MeandRo® creëert u een aangenaam binnenklimaat in volledige harmonie met de omgeving. Optimale ontwerpvrijheid gaat samen met overtuigende voordelen, zoals een uitstekend comfort, prettige akoestiek, laag energieverbruik, minimaal onderhoud en een omgevende uitstraling.

Comfort without compromise

Surf naar:

www.installatienet.nl

*Hèt startpunt op internet
voor geïnteresseerden in
installatietechniek*

