

## Simulaties koelvermogen en invloed op productiviteit

# Adaptief thermisch comfort in de praktijk (II)

*In eerdere nummers van TVVL Magazine [1,2,3,4] zijn de achtergronden van de Adaptieve Temperatuurgrenzen (ATG), uitgebreid beschreven. Bij de ATG-methode ligt de temperatuurgrens waarop de temperatuuroverschrijdingen worden beoordeeld, vooral bij de natuurlijk geventileerde gebouwen en in een deel van de hybride gebouwen, hoger dan bij de TO- en GTO-methode. Bij de TO- en GTO-methoden wordt overschrijding van de grenswaarden een percentage van de gebruikstijd toegelaten. Gedurende deze periode is er geen bovengrens voor de temperatuur en kunnen hogere temperaturen voorkomen dan de ATG-grenswaarden. In beginsel (ISSO-74) worden bij de ATG-methode overschrijdingen van de grenswaarden niet toegelaten. Omdat er nog maar in beperkte mate ervaring met de nieuwe richtlijn is opgedaan, heeft de Rijksgebouwendienst in samenwerking met de Technische Universiteit Delft onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van de ATG-methode in de praktijk. De Rijksgebouwendienst wil weten of de ATG-methode een betere voorspelling geeft voor de waardering van gebruikers dan de GTO-methode. Een voordeel van de ATG-methode is ook dat de nieuwe parameters eenvoudiger in de praktijk te toetsen zullen zijn en beter voldoen in de communicatie tussen ontwerpers en gebruikers. Een ander doel van het onderzoek was het vaststellen van de integrale bruikbaarheid van de huidige ISSO-publicatie 74 als bepalingsmethode. Een belangrijk deel van dit onderzoek is als een afstudeeronderzoek uitgevoerd<sup>1</sup>.*

*- door ing. S.R. Kurvers\*, drs. J.L. Leijten\*, ir. H.H.E.W. Eijdens\*\*, ir. M. van Beek\*\*\*, ir. A.C. van der Linden\*, ing. J.M.J.M. Mimpfen\*\**



Ing. S.R. Kurvers



Ir. M. van Beek



Drs. J.L. Leijten



Ir. A.C. van der Linden



Ir. H.H.E.W. Eijdens



Ing. J.M.J.M. Mimpfen

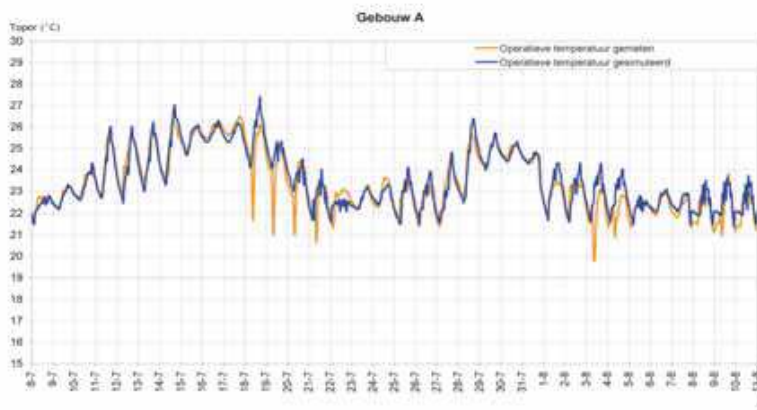
- \* Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, afdeling Bouwtechnologie/Climate Design.
- \*\* Rijksgebouwendienst, Advies en Architecten, Den Haag.
- \*\*\* Rijksgebouwendienst, Advies en Architecten, Den Haag en Faculteit Bouwkunde, Afdeling Bouwtechnologie/Climate Design, Technische Universiteit Delft, thans werkzaam bij Peutz BV, Zoetermeer.

Het gebruik van het nieuwe ATG-criterium, met bijbehorende bepalingmethode, leidt, als er geen overschrijding van de grenswaarden wordt toegelaten, in veel gevallen tot een hogere benodigde koelcapaciteit. Dat betekent ook een hogere investering in installaties. Op basis van ervaringen met de huidige gebouwvoorraad is dat, in het bijzonder voor gebouwen met te openen ramen, niet nodig en dus niet wenselijk. Wel wordt verwacht dat in de toekomst een hogere koelvraag wordt vereist door stijgende buitentemperaturen. Daarnaast wordt gebruik van koeling door toepassing van nieuwe technologieën (koelwarmte kan worden opgeslagen en hergebruikt) steeds minder bezwaarlijk wat betreft energiegebruik.

Door middel van simulatieberekeningen is het effect van het ATG-criterium op het vereiste koelvermogen onderzocht. In dit artikel wordt hiervan verslag gedaan.

#### ONDERZOCHETE GEBOUWEN

Het onderzoek is uitgevoerd voor vier gebouwen van de Rijksoverheid. In ieder gebouw zijn tien ruimtes onderzocht waar gedurende minimaal vijf weken simultaan uitgebreide fysieke metingen zijn uitgevoerd en de waardering van het thermisch binnenklimaat door de gebruikers is geregistreerd. In tabel 1 is een overzicht ge-



Gesimuleerde en gemeten temperatuurverloop in één van de ruimtes.

- FIGUUR 1 -

geven van de voornaamste kenmerken van de onderzochte gebouwen. Deze kenmerken zijn bepaald op basis van bouwdocumentatie en onderzoek ter plaatse.

#### OPZET SIMULATIES

In combinatie met uitgebreide metingen en inspecties zijn voor één of meerdere representatieve vertrekken per gebouw simulaties uitgevoerd. Bij het uitvoeren van simulaties moesten verschillende aannamen worden gedaan betreffende het gebruik van het gebouw. Tijdens het onderzoek in de gebouwen en uit de enquêtes zijn de belangrijkste gedragskenmerken van de gebruikers en eigenschappen van voorzieningen gemeten. Doordat tevens de temperaturen zijn gemeten kan het simulatiemodel met deze informatie zodanig worden “gefit” of “geijkt” dat de gemeten en berekende

temperaturen met elkaar overeen komen. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- het moment van het sluiten van de zonwering;
- de hoeveelheid binnenvallende zonnestraling wanneer de zonwering gesloten is en wanneer deze geopend is;
- het moment waarop ramen worden geopend en gesloten;
- de luchtuitwisseling tussen binnen en buiten wanneer het raam is geopend;
- de luchtuitwisseling tussen de vertrekken en de gang;
- de aanwezigheid van personen en het gebruik van apparatuur en verlichting.

Verder kunnen in het rekenmodel de werkelijk voorkomende waarden voor de interne warmtelast van circa

Gebouw	A	B	C	D
BVO	48.400	11.800	12.550	9.000
Aantal gebruikers	1.200	280	325	250
Type luchthandeling	MV Geen koeling	MV Gedeeltelijk koeling	MV Koeling (inductie units)	MV Topkoeling
Te openen ramen	Ja	Ja	Ja	Ja
Kamergrootte (p)	1-4	1-10	1-2	1-4
SWM (kg/m <sup>2</sup> )	60	62	62	60
IW (W/m <sup>2</sup> )	20	20	20	20
ZTA	0,19	0,21	0,22	0,20
Klimaatype <sup>1</sup> volgens ISSO74	Alpha	Alpha Béta	Alpha Béta	Alpha

MV= Mechanische Ventilatie.

SWM= Specifiek werkzame massa: deel van de bouwmasa dat niet is afgedekt en warmte uit het vertrek kan opnemen en later weer afstaan.

IW= Interne warmtelast van personen, apparatuur en verlichting gemiddeld tijdens onderzoeksperiode.

ZTA= Zontoetredingsfactor bij gesloten zonwering.

<sup>1</sup>= Klimaatype indeling volgens ISSO 74, keuzeschema blz. 57.

#### Belangrijkste kenmerken van de onderzochte gebouwen.

- TABEL 1 -

Gebouw	Kamer	Werkuren	Metingen ATG			Simulaties ATG		
			90-80 %	80-65 %	<65 %	90-80 %	80-65 %	<65 %
A	B3.46	208	0	0	0	1	0	0
	E3.51	208	3	3	0	9	0	0
B	B1.04	184	8	0	0	14	3	0
C	EU2035	216	2	2	0	1	0	0
	EU3064	216	3	0	0	0	0	0
D	B2.15	248	0	0	0	0	0	0
	B2.16	248	44	5	0	13	2	0

Vergelijking overschrijdingsuren door middel van metingen en simulaties volgens ATG-methode.

- TABEL 2 -

Variant	Gebouw	Koeling		Nachtventilatie		
		Topkoeling	Volledig	Geen	Standaard	Verbeterd
1	A	.			.	
2		.				.
3			.	.		
4				.	.	
5				.		.
6	B	.		.		
7		.			.	
8			.	.		
9				.	.	
10	A		.		.	
11			.			.
12	B		.		.	
13			.			.

Gesimuleerde varianten.

- TABEL 3 -

Variant	Klimaattype Alpha		Klimaattype Beta	
	Absoluut W/m <sup>2</sup>	Procentueel %	Absoluut W/m <sup>2</sup>	Procentueel %
1	+49	+188	-	-
2	+30	+136	-	-
3	+14	+ 25	+55	+ 96
4	+25	+ 63	+68	+170
5	+16	+ 45	+48	+133
6	+26	+113	-	-
7	+28	+147	-	-
8	+11	+ 30	+48	+130
9	+15	+ 52	+53	+183

Verskil tussen benodigd koelvermogen in W/m<sup>2</sup> volgens strak aangehouden ATG 80 %-grenzen t.o.v. GTO-uren; Klimaatjaar 1964/1965.

- TABEL 4 -

20 W/m<sup>2</sup> worden ingevoerd. Het op deze wijze gesimuleerde temperatuurverloop blijkt zeer goed overeen te komen met het gemeten temperatuurverloop (zie voorbeeld in figuur 1). Belangrijk voor het *fitten* is dat algemene trends, bijvoorbeeld door variaties in het buitenklimaat, goed worden gevolgd. Dit is te zien uit gemiddelde temperaturen en standaarddeviatie. Verder dient, onder goed bekende randvoorwaarden, het opwarm- en afkoelgedrag te kloppen (zichtbaar in de helling van de curven). Tijdens de metingen zijn gedurende enkele dagen op locatie uitgebreide handmetingen en registraties uitgevoerd. Deze dienden om de duurmetingen (met loggers) te verifiëren, maar waren

tevens goed bruikbaar voor het *fitten* van berekeningen.

In tabel 2 is het aantal uren dat de maximale temperatuur van een klasse wordt overschreden weergegeven. Hieruit blijkt dat de metingen en de simulaties in de meeste gevallen goed met elkaar overeen komen voor het voorspellen van de temperatuuroverschrijdingen.

#### BEREKENDE VARIANTEN

Om de invloed van verschillende koelsystemen en vermogens op de temperatuuroverschrijding te bepalen zijn voor de onderzochte gebouwen een aantal varianten doorgerekend. Hierbij is ervan uitgegaan dat andere bouwparameters voor beperking van

oververhitting op een realistische wijze worden toegepast. In tabel 3 is een overzicht gegeven van de berekeningsvarianten.

Wat betreft het gebruik van nachtventilatie om de gebouwen af te koelen, worden in de praktijk wisselende situaties aangetroffen. In sommige gebouwen wordt het niet toegepast (bijvoorbeeld "om ventilatorenergie te besparen"), hoewel het GebouwBeheerSysteem dit wel mogelijk maakt. Vaak wordt het wel toegepast, maar komt de nachtventilatie pas bij lage buitentemperaturen en grote temperatuurverschillen (dus gedurende weinig uren) in werking. De aangetroffen instelling is ingevoerd als 'standaard' in de berekeningen. De best presterende instelling, beoordeeld op basis van het benodigd koelvermogen, is ingevoerd als 'verbeterde nachtventilatie'. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van VABI-software VA114.

In tabel 4 worden de resultaten van bovengenoemde varianten gepresenteerd voor de berekeningen met het klimaatjaar 1964/1965.

Hierbij is de overschrijding van de 80 %-grens volgens het ATG-criterium vergeleken met het criterium van maximaal 150 GTO-uren voor het klimaattype Alpha en met maximaal 0 GTO-uren tot een buitentemperatuur van 28 °C voor het klimaattype Beta. Het betreft allemaal gebouwen met te openen ramen.

Uit de simulaties blijkt dat het ATG-criterium, waarbij geen enkel overschrijdingsuur van de 80 %-lijn wordt toegestaan, tot een aanzienlijke verhoging van het benodigde koelvermogen leidt ten opzichte van het GTO-criterium. Dit is vooral het geval voor gebouwen van het klimaattype Beta. In tabel 4 is de toename van het benodigde vermogen zowel absoluut als procentueel weergegeven. Vervolgens zijn een aantal simulaties

uitgevoerd met het warmere klimaatjaar 1995 voor gebouwen met en zonder te openen ramen. De benodigde koelvermogens voor de verschillende varianten om in dat klimaatjaar aan de eisen te voldoen, zijn weergegeven in tabel 5 en tabel 6.

Voor gebouwen met vrijelijk te openen ramen hanteert de Rijksgebouwendienst een minder strenge eis dan voor gebouwen met een gesloten gevel. In de eerste situatie geldt de maximale overschrijding van 150 weeguren volgens de GTO-methode. Voor gebouwen of gedeelten waar ramen niet te openen zijn worden nul overschrijdingsuren aangehouden, echter tot een maximum voor de buitentemperatuur van 28 °C.

Uit de resultaten van de berekeningen blijkt dat de toename van het benodigde koelvermogen voor de zomer van 1995 door de ATG-methode minder groot is dan wanneer gerekend wordt met klimaatjaar 1964/1965. Dit komt omdat de ATG-methode bij hogere buitentemperaturen hogere binnentemperaturen toestaat. Hierdoor neemt het benodigde vermogen minder snel toe voor de ATG-methode dan voor de GTO-methode wanneer wordt gerekend met warmere klimaatjaren.

Ook voor gebouwen met gesloten gevel is het verschil tussen GTO en ATG kleiner bij een warmer klimaatjaar. Wel leidt de ATG-methode tot (aanzienlijk) hogere te installeren koelvermogens. Dit is het gevolg van het feit dat het huidige GTO-criterium van de Rijksgebouwendienst geen overschrijdingen toelaat voor deze situatie, zo lang de buitentemperatuur lager is dan 28 °C, maar voor hogere buitentemperaturen geen begrenzing stelt. De binnentemperatuur loopt daardoor bij (extreem) hoge buitentemperaturen geleidelijk mee omhoog. Het ATG-criterium staat wel hogere binnentemperaturen toe als gevolg van een warme buitenperiode, maar dit blijft begrensd en gaat minder ver dan in de GTO-methode.

Door in de berekeningen het koelvermogen in stapjes op te voeren en daarbij steeds het aantal overschrijdingsuren te bepalen kan het aantal overschrijdingsuren grafisch worden uitgezet als functie van het benodigde koelvermogen. Uit deze exercitie blijkt dat het aantal overschrijdingen steeds

Gebouw	Variant	Benodigd vermogen W/m <sup>2</sup> volgens:		Verschil %
		GTO-criterium (150 weeguren)	ATG 80 %-grens Alpha	
A	4	82	94	+15
	5	79	91	+15
D	9	65	72	+11
	13	64	71	+11

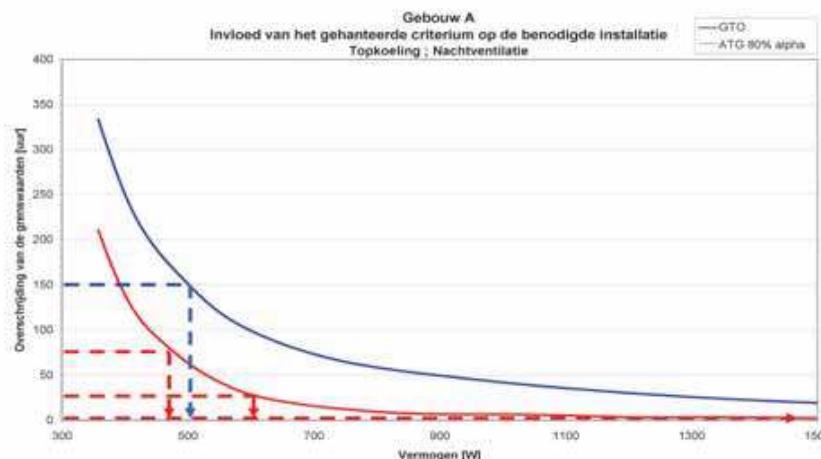
**Benodigd koelvermogen in W/m<sup>2</sup> volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Gebouwen met te openen ramen; Klimaatjaar 1995.**

- TABEL 5 -

Gebouw	Variant	Benodigd vermogen W/m <sup>2</sup> volgens:		Verschil %
		GTO-criterium nul overschrijdingsuren tot T <sub>e</sub> = 28 °C	ATG 80 %-grens Bèta	
A	10	113	185	+64
	11	108	167	+55
D	12	105	165	+57
	13	100	158	+58

**Benodigde koelvermogen in W/m<sup>2</sup> volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Gebouwen met gesloten gevel; Klimaatjaar 1995.**

- TABEL 6 -



**(Rood = ATG 80; Blauw = GTO) Aantal overschrijdingsuren als functie van het toegepast koelvermogen.**

- FIGUUR 2 -

minder afneemt bij verdere verhoging van het vermogen (zie figuur 2). Uit figuur 2 blijkt dat het benodigd koelvermogen vooral toeneemt om de laatste overschrijdingsuren te voorkomen. Zichtbaar wordt dat als geen enkel overschrijdingsuur wordt toegestaan een aanzienlijk groter koelvermogen nodig is dan wanneer enkele uren overschrijding wel worden geaccepteerd. In tabel 7 (zie volgende pagina) zijn de resultaten uit tabel 4 vergeleken met berekeningen waarbij een overschrijding van de 80 %-grens met tien uren per jaar is toegestaan. Door voor het ATG-criterium tien (incidentele) overschrijdingsuren te accepteren, blijkt de koelvraag voor gebouwen met te openen ramen (variant 1 tot en met 9) van het Alpha klimaattype nu minder toe te nemen

(5 tot 15 W/m<sup>2</sup>), ten opzichte van het GTO-criterium. Voor gebouwen met een gesloten gevel (variant 10 tot en met 13) leidt het ATG-criterium, bij toestaan van tien overschrijdingsuren, incidenteel zelfs tot een kleine verhoging van het benodigde koelvermogen. Daarbij wordt opgemerkt dat deze varianten al een (erg) hoge koelvraag vertonen (ruim 100 W/m<sup>2</sup>). Om een sterke verhoging van de koelvraag te voorkomen is het met het gebruikte klimaatjaar 1964/1965 dus van belang om enige overschrijdingsuren toe te staan. Gezien bovenstaande conclusie, is voor de Alpha-varianten onderzocht hoeveel overschrijdingsuren bij de ATG-methode leiden tot een even strenge beoordeling als met de GTO-methode.



Variant	ATG 80 %-grens nul overschrijdingsuren				ATG 80 %-grens tien overschrijdingsuren			
	Klimaattype Alpha		Klimaattype Bèta		Klimaattype Alpha		Klimaattype Bèta	
	absoluut	procentueel	absoluut	procentueel	absoluut	procentueel	absoluut	procentueel
1	+49	+188			+12	+46		
2	+30	+136			+ 7	+32		
3	+14	+ 25	+55	+ 96	+ 7	+12	+33	+ 58
4	+25	+ 63	+68	+170	+14	+35	+43	+108
5	+16	+ 44	+48	+133	+ 9	+25	+27	+ 75
6	+26	+ 13			+ 5	+ 2		
7	+28	+ 17			+ 5	+ 3		
8	+11	+ 30	+48	+130	+ 2	+ 5	+26	+ 70
9	+15	+ 52	+53	+183	+ 6	+21	+27	+ 93
10			+ 9	+ 10			- 6	- 7
11			+ 1	+ 1			- 6	- 9
12			+12	+ 21			- 1	- 2
13			+ 3	+ 6			- 6	- 11

Verskil tussen benodigd vermogen in W/m<sup>2</sup> volgens GTO- en ATG-methode in klimaatjaar 1964/1965.

- TABEL 7 -

Variant	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Overschrijdings-uren	65	55	45	75	70	25	35	27	35

Aantal overschrijdingsuren bij de ATG-methode (80 % acceptatie, klimaattype Alpha) waarbij deze methode tot dezelfde koelcapaciteit leidt als de GTO-methode.

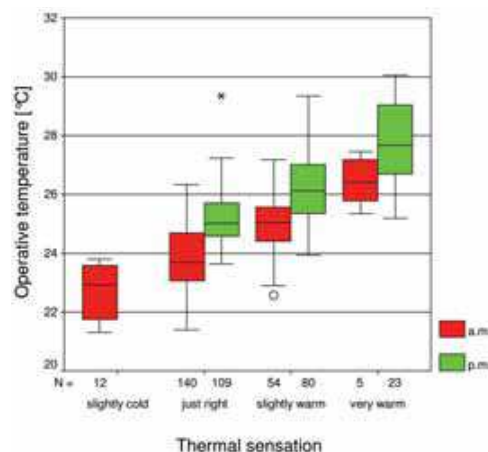
- TABEL 8 -

Uit de resultaten van in tabel 8 is af te leiden dat het aantal overschrijdingsuren, waarbij de ATG-methode *even streng* is als de GTO-methode, varieert tussen de 25 en 75 uur. Dit komt ongeveer overeen met 2,5 tot 7,5 % van de werktijd (zie ook figuur 2).

## DISCUSSIE

Het niet toestaan van overschrijdingen van de ATG-grenzen leidt dus tot hogere koelvermogens vergeleken met een toetsing met de GTO-methode. Hierbij moet echter een aantal uitgangspunten van de GTO-methode niet uit het oog worden verloren. De GTO-methode is gebaseerd op de PMV-index van Fanger die in een klimaatkamer is ontwikkeld. Uit diverse onderzoeken, bijvoorbeeld [7], blijkt dat adaptieve modellen de thermische percepties van mensen in werkelijke omgevingen beter voorspellen dan de klimaatkamermodellen. In de GTO-methode worden grotere overschrijdingen van de grens (PMV=0,5) strenger beoordeeld dan kleinere overschrijdingen. Dit gebeurt op basis van de weegfactor, die is afgeleid van de aanname dat een overschrijding van 1 uur met 10 % ontevreden het zelfde wordt ervaren als een half uur met 20 % ontevreden. Hoewel dit plausibel lijkt is dit nooit door onderzoek geverifieerd. De in Nederland algemeen in gebruik geraakte GTO-methode is dus geen absoluut gegeven.

Anderzijds is de ATG-methode gebaseerd op veldonderzoek in 161 gebouwen in verschillende delen van de wereld [7], maar niet in Nederland. De bandbreedte<sup>2</sup> van thermische acceptatie in de adaptieve methode, zoals in verschillende normen en richtlijnen is beschreven [8,9,10,11] wordt gevormd door regressielijnen door puntenwolken van gemeten temperaturen, waarbij de aanwezige gebouwgebruikers op dat moment aangaven deze temperatuur acceptabel te vinden. In een later onderzoek in 25 Europese gebouwen (ook niet in Nederland) [12] bleek dat de gevonden grenswaarden dicht bij de waarden van het eerste onderzoek lagen, maar toch iets afweken. Er zit dus (onvermijdelijke) enige ruis op deze bandbreedtes. Recent onderzoek in Duitse kantoorgebouwen [13] laat zien hoe omzichtig “grens” waarden moeten worden geïnterpreteerd. Figuur 3 bijvoorbeeld geeft een vergelijking van de samenhang tussen de oordelen over de temperatuur en de operationele temperatuur in de ochtend en dezelfde vergelijking in de middag. In de middag worden dezelfde temperaturen als minder warm beoordeeld dan in de ochtend. Concreet betekent dit dat het temperatuurgebied rond de 25 °C dat in de ochtend nog “enigszins warm” wordt genoemd (in de figuur de 3<sup>e</sup> rode band van links) in de middag als “precies goed” wordt beoordeeld (de 1<sup>e</sup>



Thermische sensatiestemmen in relatie tot de operationele temperatuur. De rode rechthoeken geven de gemiddelde 50 % van de waarden in de ochtenden, en de groene rechthoeken tonen de stemmen in de middag (N=425).

- FIGUUR 3 -

groene band van links). Het temperatuurgebied tussen de 26 °C en 27 °C dat in de ochtend nog “heel warm” wordt genoemd (de 4<sup>e</sup> rode band van links) wordt in de middag als “enigszins warm” beoordeeld (de 2<sup>e</sup> groene band van links). Dit wijst erop dat ook binnen de dag adaptatie een rol speelt. Dit heeft belangrijke implicaties, omdat het de mogelijkheid biedt om binnen een adaptief model de temperatuur in de ochtend en de middag apart te beoordelen. Dit alles betekent dat bij het vergelijken van de GTO- en ATG-methoden verschillende uitkomsten kunnen

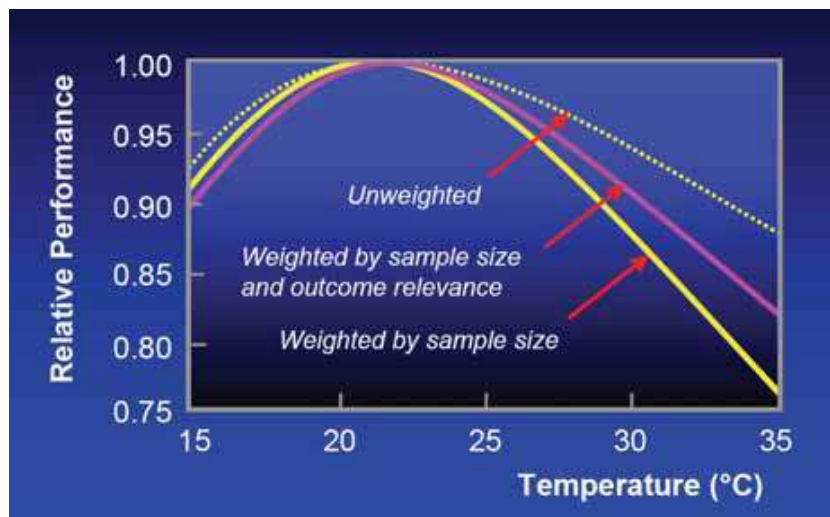
worden verwacht en dat de ATG-methode het voordeel van de twijfel heeft, omdat deze op aanzienlijk meer onderzoeksgegevens is gebaseerd dan de GTO-methode. Gezien de aard van de gegevens (acceptatie van temperaturen door grote groepen mensen en adaptatie binnen de dag) moeten incidentele overschrijdingen van de bandbreedte daarom toelaatbaar worden geacht. Bij de beoordeling van de overschrijdingspunten blijkt vaak dat het om incidentele uitschieters gaat die ver boven de 'wolk' van berekende temperaturen uitstijgen. Deze "uitschieters" treden ook alleen op als het buiten extreem warm is, of als er een bijzondere combinatie van factoren (weerswisseling, gebruik van het gebouw) optreedt. Afstemmen van de te installeren koelcapaciteit op deze "uitschieters" is niet doelmatig. Het zal niet tot comfortverhoging leiden, maar wel tot een (veel) hoger energiegebruik. Omdat communicatie en beoordeling in de praktijk belangrijke doelen zijn voor de Rijksgebouwendienst wil zij een eenduidig interpreteerbare methode. Een strakke bovengrens lijkt daarvoor ideaal, maar leidt tot ondoelmatig hoge te installeren koelcapaciteiten. Toelaten van een incidentele overschrijding van de grenswaarden wordt door de Rijksgebouwendienst daarom overwogen. Bij voorkeur zou brede invoering van de nieuwe binnenklimaatgrenswaarden moeten plaats vinden in combinatie met de introductie van een nieuw klimaatreferentiejaar [14].

### CONCLUSIES SIMULATIESTUDIE

Door de Technische Universiteit Delft en de Rijksgebouwendienst is een veldonderzoek uitgevoerd in vier kantoorgebouwen om meer inzicht te verkrijgen in de ATG-methode. In dit onderzoek zijn uitgebreide fysische metingen uitgevoerd en is de respons en het gedrag van de gebruikers via (Internet)enquêtes geregistreerd. Hierbij zijn de ATG- en GTO-methode uitvoerig met elkaar vergeleken. In dit artikel is nader ingegaan op de relatie tussen simulaties en het te ontwerpen koelvermogen.

Uit het uitgevoerde onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- het gedrag van mensen in gebouwen



Relative performance versus temperature. Maximum performance is set equal to 1.

- FIGUUR 4 -

- en het gebruik van voorzieningen om het binnenklimaat te beïnvloeden blijkt anders dan in ontwerpberekeningen vaak wordt aangenomen. Voorbeelden zijn buitenzonwering die niet volledig wordt gesloten (30 to 50 % staat open), de bezetting en het gebruik van apparatuur (vaak maar in de orde van 20-25 W/m<sup>2</sup> i.p.v. 35-45 W/m<sup>2</sup>);
- de nachtventilatie (en ook de dagventilatie) is in veel gebouwen niet optimaal ingesteld om oververhitting te voorkomen ('s nachts wordt te weinig geventileerd en overdag, bij hoge buitentemperaturen, te veel);
- de GTO-methode is gevoeliger voor verandering in uitgangspunten, zoals luchtsnelheid en buitenklimaat dan de ATG-methode;
- toepassing van het ATG-criterium, waarbij de 80 % acceptatiebandbreedte als strakke grens wordt geïnterpreteerd, leidt tot een toename in het gevraagde koelvermogen van 10 tot 50 W/m<sup>2</sup> voor gebouwen van het Alpha-type en 50 tot 70 W/m<sup>2</sup> voor gebouwen van het Bèta-type;
- er treedt een sterke stijging op in het gevraagde koelvermogen om de laatste overschrijdingsuren te elimineren;
- door bijvoorbeeld slechts tien overschrijdingsuren in de ATG-methode te accepteren blijft de stijging in gevraagd koelvermogen beperkt tot 0 - 15 W/m<sup>2</sup> voor Alpha-gebouwen en tot ruim 40 W/m<sup>2</sup> voor Bèta-gebouwen. Voor een aantal Bèta-varianten daalt dan de koelvraag licht.
- bij 25-75 overschrijdingsuren wordt bij de ATG-methode globaal hetzelfde koelvermogen gevonden als met de GTO-methode.

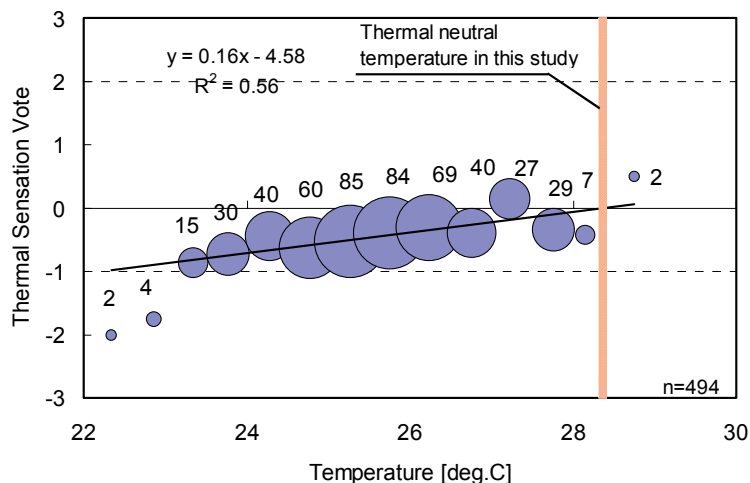
Nader onderzoek zal worden uitgevoerd om vast te stellen in welke mate de ATG-bandbreedte in beperkte mate kan worden overschreden om ondoelmatig hoge te installeren koelcapaciteiten te voorkomen en beter aan te sluiten bij de temperatuurperceptie van de gebruikers in de praktijk.

### ADAPTIEF THERMISCH COMFORT EN PRODUCTIVITEIT

Een belangrijke vraag is wat de gevolgen van de keus voor het ATG-criterium in plaats van het GTO-criterium zijn voor de productiviteit van de werknemers. Vooral is het de vraag of de hogere temperaturen die het ATG-criterium voor Alphagebouwen toelaat, in de zomerperiode een negatieve invloed hebben op de productiviteit. Veel laboratorium- en veldonderzoeken laten zien dat de productiviteit afneemt boven 22 tot 25 °C. Een meta-analyse van deze onderzoeken is te vinden in de in 2007 verschenen ISSO/REHVA handleiding 901 - Binnenklimaat en productiviteit in kantoren [15]. Figuur 4 laat het resultaat van de meta-analyse zien: Wanneer wordt uitgegaan van de curve die is gewogen naar dataomvang en relevantie van de gebruikte productiematen voor kantoorwerk ligt de maximale productiviteit bij een temperatuur van 21,75 °C en daalt de productiviteit met ca. 1,5 % per °C onder of boven deze temperatuur. Als het verband in figuur 4 voor *free running* omgevingen (Alpha-gebouwen) zou gelden, zou bijvoorbeeld bij een ruimtetemperatuur van 28 °C de productiviteit ca. 6 % lager liggen dan in *airconditioned* omgevingen (Bèta-gebouwen) met een ruimtetemperatuur van 22 °C. Om vast te stellen of

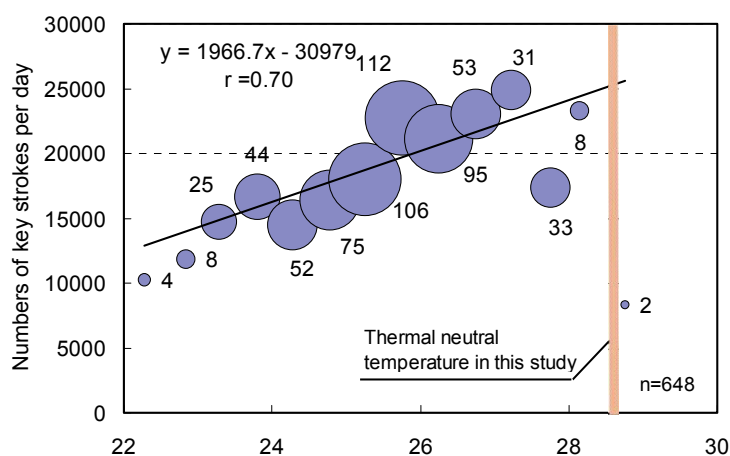
het in de ISSO/REHVA-handleiding gevonden verband representatief is voor *free running* omgevingen, is op grond van de publicaties waarop dit verband is gebaseerd [16], [17] en waar nodig de oorspronkelijke publicaties vastgesteld in wat voor soort omgevingen deze onderzoeken hebben plaatsgevonden. Het blijkt dat van de 24 afzonderlijke onderzoeken waarop het verband in de ISSO/REHVA-handleiding is gebaseerd, er 14 experimentele onderzoeken in een klimaatkamer of een laboratorium zijn, waarbij de temperatuur door de proefleider werd gemanipuleerd, acht onderzoeken vonden plaats in *airconditioned* kantoorruimtes, één onderzoek vond plaats in een kantoorgebouw met mechanische ventilatie zonder koeling en één onderzoek vond plaats in een kledingatelier zonder koeling. Dit betekent dat 22 van de 24 onderzoeken een *airconditioned* omgeving betreffen en het verband in figuur 4 representatief is voor *airconditioned* omgevingen. Of dit verband ook representatief is voor *free running* omgevingen kan op grond van de gegevens in de ISSO/REHVA-handleiding of andere gegevens niet worden vastgesteld. Er zijn geen onderzoeken bekend waarbij de invloed van de temperatuur op de productiviteit in een *free running* omgeving werd onderzocht. Maar er vallen hierover wel de volgende opmerkingen te maken:

- het is empirisch vastgesteld dat kantoorwerknemers in *free running* omgevingen een andere beoordeling van het thermisch comfort hebben dan in *airconditioned* omgevingen [18, 19]. In de zomerperiode ligt in een *free running* omgeving de neutrale temperatuur hoger dan in een *airconditioned* omgeving. Als het verschil tussen deze twee omgevingen al zo duidelijk is voor wat betreft het thermisch comfort, kan het zeker niet worden uitgesloten dat er ook verschil is tussen deze twee omgevingen voor wat betreft de invloed van temperatuur op productiviteit en kan zonder verder onderzoek het verband in de ISSO/REHVA-handleiding niet representatief zijn voor *free running* omgevingen;
- het temperatuurgebied met maximale productiviteit in figuur 4 valt vrij nauwkeurig samen met het gebied van neutrale temperatuur volgens het PMV-model onder normale kan-



The relationship of air temperature and thermal sensation vote.

- FIGUUR 5 -



Air temperature and the number of keystrokes per day.

- FIGUUR 6 -

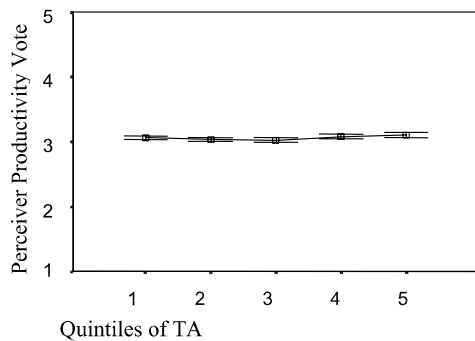
toomstandigheden. Dit kan erop wijzen dat in *free running* omgevingen de productiviteit het hoogst is bij de bij die omgeving horende neutrale temperatuur, die hoger kan liggen dan de neutrale temperatuur volgens het PMV-model;

- [20] is een veldonderzoek gedurende zeven maanden onder zeven programmeurs in een *airconditioned* omgeving. Figuur 5 laat zien dat de neutrale temperatuur op 28,6 °C ligt. De auteurs van [20] geven als reden voor deze relatief hoge neutrale temperatuur: de luchtsnelheid was met 0,2 - 0,4 m/s relatief hoog voor kantoren en de proefpersonen konden zelf hun kledingweerstand aanpassen;

Figuur 6 geeft het verband tussen temperatuur en de productiviteit objectief gemeten als het aantal toetsaanslagen per werkdag. De productiviteit is het hoogst bij de neutrale temperatuur en daalt met 7,8 % per 1,0 °C onder de neutrale temperatuur.

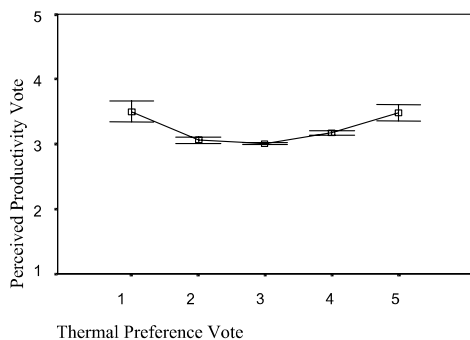
- [21] is een veldonderzoek in 25 kantoorgebouwen in verschillende Europese landen waarbij onder andere de temperatuur bij de werkplek werd gemeten, en de werknemers werd gevraagd naar thermische preferentie (1 = veel warmer, 2 = warmer, 3 = geen verandering, 4 is koeler, 5 = veel koeler) en naar de invloed van de werkomgeving op de eigen productiviteit. De door de werknemers zelf beoordeelde invloed van de omgeving op de productiviteit hangt niet samen met de gemeten temperatuur (figuur 7), maar wel met de perceptie van de temperatuur, met andere woorden: het *thermisch comfort* (figuur 8).
- [22] is een experimenteel onderzoek waarbij proefpersonen onder één van drie condities (T=25 °C en clo=0,93, T=28 °C en clo=0,93, T=28 °C en clo=0,57) gedurende 360 minuten rekenaarswerk uitvoerden. Er wordt geen verschil in objectief gemeten prestatie tussen de con-





**Perceived Productivity Vote versus Quintiles of Air Temperature, TA. (Note that the higher the Perceived Productivity Vote, the lower perceived productivity. The error bars represent the 95 % confidence range of the productivity vote. The quintiles of air temperature represent an overall range of approximately 13.1 °C to 31.1 °C with categories as follows: 1 (13.1 - 21.9 °C), 2 (21.9 - 23.0 °C), 3 (23.0 - 23.9 °C), 4 (23.9 - 25.2 °C), 5 (25.2 - 31.1 °C)).**

- FIGUUR 7 -



**Perceived Productivity Vote versus Thermal Preference Vote, TP. (Note that TP scale goes from 1 to 5, Much Warmer to Much Cooler, with 3 No Change).**

- FIGUUR 8 -

dities gevonden, maar de prestatie was wel gemiddeld lager bij hogere vermoeidheid en bij lagere tevredenheid over de omgeving.

- [23] is een experimenteel onderzoek waarbij zowel de temperatuur (25 °C en 28 °C) als de ventilatiehoeveelheid (3 en 25 L/s\*p) wordt gevarieerd. Voor elke conditie voeren de proefpersonen gedurende 350 minuten rekentaken uit. Er wordt geen verschil in objectief gemeten prestatie tussen de condities gevonden, maar de prestatie was wel gemiddeld lager bij lagere tevredenheid over de omgeving.

Op basis van de hierboven genoemde onderzoeksresultaten kan worden vastgesteld dat in een gegeven omgeving de productiviteit het hoogst is wanneer de werknemers de omgeving als het meest comfortabel ervaren en dat de

productiviteit lager wordt naarmate de omgeving als minder comfortabel wordt ervaren. Als dit ook voor een *free running* omgeving geldt, is daarin de productiviteit het hoogst bij de neutrale temperatuur, die hoger kan liggen dan het PMV-model voorspelt, en wordt de productiviteit lager naarmate meer van de neutrale temperatuur wordt afgeweken.

Rest nog de vraag in welke omgeving de productiviteit het hoogst is, in een *airconditioned* omgeving met de daarbij horende neutrale temperatuur (circa 22 °C) of in een *free running* omgeving met de daarbij behorende neutrale temperatuur, er vanuit gaande dat alle andere randvoorwaarden gelijk zijn. Er zijn geen data die hier een direct antwoord op kunnen geven, maar hier kan wel het volgende over worden opgemerkt: In *airconditioned* omgevingen komen gemiddeld meer lichamelijke symptomen, waaronder hoofdpijn, vermoeidheid en concentratieproblemen [24] en meer ontevredenheid over de thermische omgeving en over de luchtkwaliteit [25] voor dan in *free running* omgevingen<sup>3</sup> Meer hoofdpijn, vermoeidheid en concentratieproblemen leiden tot lagere productiviteit [26]. Ook ontevredenheid over de thermische omgeving en over de luchtkwaliteit leiden tot lagere productiviteit [15]. Indien de generalisatie juist is dat de productiviteit het hoogst is in de door de werknemers als meest comfortabel ervaren omgeving, is waarschijnlijk de productiviteit in *free running* omgevingen met de daarbij horende neutrale temperatuur gemiddeld hoger dan in *airconditioned* omgevingen met de daarbij behorende neutrale temperatuur.

## CONCLUSIES

Uit het onderzoek, zie ook deel 1 [1], kunnen de volgende conclusies worden getrokken betreffende het zomerbinnenklimaat en de toepassing van methoden en criteria om dit te voorkomen:

- het blijkt dat de ATG-methode beter aansluit bij de comfortbeleving van de onderzochte personen dan de GTO-methode: de hypothese dat mensen zich aanpassen aan het buitenklimaat wordt teruggevonden in dit onderzoek en leidt tot een hogere comforttemperatuur tijdens warme perioden;
- op basis van de eerste praktijkerva-

ringen bij de Rijksgebouwendienst blijkt dat met ATG-methode beter te communiceren is met gebruikers van gebouwen dan met de GTO-methode;

- de keuze voor een Alpha- of Bètabeoordeling lijkt hier af te hangen van de aan- of afwezigheid van koeling, de ervaringen van de gebruikers met het binnenklimaat en de hierop gevormde verwachtingen en in mindere mate van de mogelijkheid van de gebruikers om individueel invloed te kunnen uitoefenen op hun omringende binnencondities;
- door de huidige formulering van eisen binnen de Rijksgebouwendienst voor gebouwen van het Bèta-type volgens ISSO74 met te openen ramen stelt de ATG-methode zonder overschrijdingen strengere eisen aan begrenzing van het binnenklimaat;
- een herdefiniëring van Alpha en Bèta klimaten op basis van de beleving van gebruikers in deze gebouwen is wenselijk (herziening ISSO-publicatie 74);
- gebruikers vertonen een redelijk goed voorspelbaar gedrag dat echter niet overeenkomt met uitgangspunten voor temperatuuroverschrijdingsberekeningen (bijvoorbeeld conform ISSO-32). Hierbij wordt het volgende geconstateerd:
  - de zonwering wordt zelden geheel gesloten en de lamellen van de buitenzonwering worden zelden gesloten;
  - de lichtwering wordt in een groot deel van de kamers meestal deels of volledig gesloten, waarbij door een deel van de gebruikers deze lichtwering oneigenlijk als zonwering wordt gebruikt;
  - in de gebouwen worden de ramen al bij relatief lage binnentemperaturen veelvuldig geopend om luchtuitwisseling met buiten tot stand te brengen;
  - de binnendeuren van de kamers blijken in alle gebouwen vrijwel altijd geopend te zijn;
  - de verlichting is nagenoeg altijd ingeschakeld;
  - knoppen om het temperatuursetpunt van de kamer te veranderen (bij koeling) worden door de gebruikers meestal niet gebruikt;
  - de gemiddelde kledingweerstand bedraagt  $0,67 \pm 0,10$  (standaarddeviatie) clo en het gemiddelde metabolisme  $1,24 \pm 0,14$  met. Dit



- komt wel goed overeen met de gebruikelijk aangehouden waarden, te weten een kledingweerstand van 0,7 clo in de zomerperiode en een metabolisme van 1,2 met;
- het meten van de benodigde parameters voor de ATG-methode blijkt enigszins eenvoudiger dan het meten van de benodigde parameters voor de GTO-methode. Tevens is de nauwkeurigheid wat groter.
  - om een eenduidige beoordeling van de gebouwen te kunnen geven is een algemeen geaccepteerd eenduidig meetprotocol noodzakelijk. Hiervoor heeft de Technische Universiteit Delft onderzoek uitgevoerd in opdracht van de Rijksgebouwendienst, waarover in TVVL Magazine zal worden gerapporteerd. Hierbij zijn de volgende vragen onderzocht:
    - hoe lang moet er worden gemeten?
    - bij welke weersomstandigheden moet worden gemeten om een representatief beeld te verkrijgen?
    - hoe moeten de gegevens van metingen gedurende een bepaalde periode worden vertaald naar een referentiejaar?
    - moeten metingen in combinatie met simulatieberekeningen worden uitgevoerd?
    - hoe wordt bepaald of het gebruik van het gebouw conform de ontwerpuitgangspunten is?
    - op welke en op hoeveel plaatsen moet worden gemeten?
    - welke variabelen moeten worden gemeten (fysische variabelen zoals globetemperatuur, maar ook bijvoorbeeld kledingisolatie)?
    - hoe verhouden technische metingen zich met gebruikersresponsen (de oordelen van de gebruikers over het binnenklimaat over langere tijd)?
    - hoe moeten gebruikersresponsen in een beoordeling worden meegenomen?
  - Er mag niet worden geconcludeerd dat de productiviteit lager is in Alphagebouwen omdat het ATG-criterium hogere temperaturen toestaat. Onderzoek waaruit blijkt dat de productiviteit het hoogst is bij een temperatuur van circa 22 °C is niet uitgevoerd in *free running* omgevingen.
  - Uit onderzoek blijkt dat de productiviteit het hoogst is bij neutrale temperaturen die hoger zijn in *free*

*running* omgevingen, waardoor kan worden verwacht dat de productiviteit in *free running* omgevingen bij hogere temperaturen optimaal is dan in gekoelde omgevingen;

- Toekomstig onderzoek naar productiviteit dient dan ook in verschillende omgevingen te worden uitgevoerd, waarbij niet alleen de temperatuur, maar ook aspecten als comfort en luchtkwaliteit worden onderzocht.
- De afdeling Bouwtechnologie/Climate Design van de TUD bereidt onderzoek voor naar de relatie tussen productiviteit enerzijds en temperatuur, comfort en luchtkwaliteit anderzijds, waarbij in het bijzonder niet gekoelde omgevingen zullen worden onderzocht.

#### LITERATUUR

1. Adaptief thermisch comfort in de praktijk. Veldonderzoek naar de ATG-richtlijn, deel 1: theorie en praktijk vergeleken. S.R. Kurvers, M. van Beek, H.H.E.W. Eijndems, A.C. van der Linden, J.M.J.M. Mimpfen. TVVL Magazine, 1, 2008.
2. Individuele beïnvloeding: lager energiegebruik, gezonder, comfortabeler en productiever binnenmilieu, Kurvers, S.R., Van der Linden, A.C., Boerstra, A.C., 2002, TVVL Magazine, maart 2002, 31, 3.
3. Adaptieve Temperatuurgrenswaarden (ATG), ISSO 74: een nieuwe richtlijn voor de beoordeling van het thermisch binnenklimaat, Deel 1: Theoretische achtergronden, S.R. Kurvers, A.C. van der Linden, A.C., Boerstra, A.K Raue, TVVL Magazine, juni 2005.
4. Adaptief thermisch comfort: De binnenklimaattypen van ISSO 74 heroverwogen. Stanley Kurvers, Joe Leijten, Kees van der Linden, Atze Boerstra, Arjen Raue, TVVL Magazine 4-2006.
5. ATG en GTO vergeleken, Berekeningen en evaluaties van ISSO 74, Stanley Kurvers, Kees van der Linden, Wim Plokker, Atze Boerstra en Arjen Raue, TVVL Magazine 4-2006.
6. M. van Beek, Adaptieve Temperatuurgrenswaarden - Praktijkonderzoek naar de nieuwe Nederlandse richtlijn voor de beoordeling van het thermische

binnenklimaat in kantoorgebouwen, Afstudeerrapport TU Delft, augustus 2006.

7. de Dear, R., Brager G., Cooper, D., Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, Final report, ASHRAE RP/884, 1997Hellwig R.T., Brasche S., Bischof W.. Thermal Comfort in Offices – Natural Ventilation vs. Air Conditioning. Proceedings of congress Comfort and Energy Use in Buildings – Getting it Right, Winsor 2006.
8. NEN-EN-ISO 7730, “Gematigde thermische binnenomstandigheden. Bepaling van de van de PMV- en PPD-waarde en specificatie van de voorwaarden voor thermische behaaglijkheid (ISO 7730:2005)”, Nederlands Normalisatie Instituut, 2005.
9. NEN-EN 15251, Binnenmilieugerelateerde input parameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermisch comfort, de verlichting en akoestiek, NEN 2007.
10. ISSO-publicatie 74, Thermische Behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen, , ISSO, Rotterdam, maart 2004.
11. ASHRAE Standard 55-2005, “Thermal Environment Conditions for Human Occupancy”, 2005.
12. Nicol, F., Humphreys, M., Adaptive comfort in Europe: results from the SCATs survey with special reference to free running buildings, Windsor 2006.
13. Wagner, A., Moosmann, C., Gropp, T., Gossauer, E. “Thermal comfort under summer climate conditions – Results from a survey in an office building in Karlsruhe, Germany”, Proceedings of congress Comfort and Energy Use in Buildings – Getting it Right, Winsor 2006.
14. NEN 5060 Ontw. NI, Hygrothermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens, 2008.
15. Wargocki, P., Seppänen, O., Andersson, J., Boerstra, A., Clements-Croome, D., Fitzner, K., Hanssen, S.O. Binnenmilieu en productiviteit in kantoren – Het integreren van productiviteit in de levensduur kosten-analyse

- van bouwvoorzieningen. ISSO/REHVA-handleiding 901, 2007.
16. Seppänen, O., Fisk, W.J., Faulkner, D. Cost benefit analysis night-time ventilative cooling. Proceedings Healthy Buildings 2003, Vol 3, 394-399.
  17. Seppänen, O., Fisk, W.J., Lei, Q.H. Effect of temperature on task performance in office environment. Proceedings Cold Climate HVAC conference, Moscow 2006.
  18. De Dear, R., Brager, G., Cooper, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE RP-884, 1997.
  19. Thermische Behaaglijkheid: eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen. ISSO 74, 2004.
  20. Nishihara, N., Tanabe, S., Haneda, M., Ueki, M., Kawamura, A., Obata, K. Effect of overcooling on productivity evaluated by the long term field study. Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors.
  21. McCartney, K.J., Humphreys, M.A. Thermal comfort and productivity. Proceedings Indoor Air 2002, 822-827.
  22. Ueki, M., Tanabe, S., Nishihara, N., Nishikawa, M., Haneda, M., Kawamura, A. Effect of moderately hot environment on productivity and fatigue evaluated by subjective experiment of long time exposure. Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors.
  23. M. Haneda, S. Tanabe, N. Nishihara, S. Nakamura. The combined effects of thermal environment and ventilation rate on productivity, Proceedings Indoor Air 2008.
  24. Seppänen, O., Fisk, W.J. Association of ventilation type with SBS symptoms in office workers. Indoor Air Journal, Vol 12, 2, 98-112.
  25. Leijten, J.L., Kurvers, S.R. Binnenklimaat in kantoorgebouwen - Onderzoek naar klachten. Praktijkgids Arbeidshygiëne, Kluwer, 2007.
  26. Tanabe, S., Nishihara, N. Productivity and fatigue. Indoor Air Journal, Vol 14, Suppl 7, 126-133.

## VOETNOTEN

1. Door M. van Beek, voor de volledige rapportage van het onderzoek wordt verwezen naar [5]
2. Het is wellicht beter om te spreken van een bandbreedte waarbinnen 80 % van de gebruikers het binnenklimaat acceptabel vindt, dan van een grenswaarde. Een grenswaarde impliceert een absolute grens, dat de ATG-methode niet is.
3. Dit betreft statistische verbanden, met een zekere mate van spreiding, maar deze verbanden worden wel zeer consistent gevonden in een groot aantal epidemiologische on-

derzoeken (zie [24] en [25]). Over het verband tussen temperatuur en productiviteit in de ISSO/REHVA-handleiding wordt in [17] opgemerkt: *"This relationship has a high level of uncertainty; however, use of this relationship may be preferable to current practice, which ignores productivity"*. Dan is het zeker te prefereren om het verband van airconditioning met lichamelijke klachten en met ontevredenheid over de thermische omgeving en de luchtkwaliteit te gebruiken dan het te negeren.

## NEN 5060 REFERENTIEKLIMAAT: NIEUW REFERENTIEJAAR VOOR KLIMAATBEREKENINGEN

Het klimaat verandert. De referentieklimaatgegevens voor installatieontwerp en energiebesparingsberekeningen zijn echter jarenlang niet aangepast. In het Nederlandse normontwerp NEN 5060 zijn daarom voor uiteenlopende toepassingen op basis van internationaal gestandaardiseerde 'recepten' nieuwe referentieklimaatgegevens uitgewerkt

Voor ontwerpberoekeningen voor koelinstallaties of verwarmingsinstallaties en voor de berekening van de energieprestatie van gebouwen zijn klimaatgegevens nodig. Door de ontwikkelingen in het klimaat zijn de tot nu toe in Nederland gebruikte referentieklimaatgegevens niet meer goed toepasbaar. Daarom zijn nieuwe referentieklimaatgegevens opgesteld met de in de NEN-EN-ISO 15927-serie beschreven statistische procedures vanuit de meteorologische gegevens van De Bilt (1986-2005).

De nieuwe referentieklimaatgegevens zijn in ontwikkeling en worden in de NEN 5060 'Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - Referentieklimaatgegevens' vastgelegd. In dit normontwerp staan ook aanpassingen voor de tabel met uurgemiddelde temperaturen voor ontwerpdagen in NEN 5067:1985 'Koellastberekeningen voor gebouwen' en de nationale bijlage behorende bij NEN-EN 12831:2004 'Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting'.

Ontwerp NEN 5060:2008 geeft:

- referentieklimaatgegevens voor de bepaling van de energiebehoefte;
- referentieklimaatgegevens voor simulatieberekeningen;
- referentieklimaatgegevens voor de ontwerpberoekening van het koelvermogen;
- referentieklimaatgegevens voor de ontwerpberoekening van het warmtevermogen;
- graaddagen en -uren.

## Referentieklimaat.

- KADER I -