

## Veldonderzoek naar de ATG-richtlijn, deel 1: theorie en praktijk vergeleken

# Adaptief thermisch comfort in de praktijk

*In eerdere nummers van TVVL Magazine (1, 2, 3, 4) zijn de achtergronden van de Adaptieve Temperatuurgrenzen (ATG), uitgebreid beschreven. Bij de ATG-methode is 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 zijn hogere temperaturen mogelijk, maar is de tijd dat dit mag voorkomen begrensd. (zie kader 1). Omdat er nog weinig ervaring met de nieuwe richtlijn is opgedaan heeft de Rijksgebouwendienst (Rgd) in samenwerking met de Technische Universiteit Delft onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van de ATG-methode in de praktijk. Dit onderzoek is uitgevoerd als afstudeeronderzoek van M. van Beek. Voor de Rgd is de ATG-methode naar verwachting geschikter dan de GTO-methode bij het formuleren en monitoren van de Prestatie- en Outputspecificaties, vooral bij het afsluiten van prestatiecontracten bij PPS-constructies. Een belangrijk deel van dit onderzoek is als een afstudeeronderzoek uitgevoerd, met als doelstelling de meerwaarde van de ATG-methode in de praktijk ten opzichte van de GTO-methode te verduidelijken. Een ander doel van het onderzoek was het vaststellen van verbeterpunten van ISSO-publicatie-74. In dit artikel worden enkele belangrijke aspecten van het onderzoek belicht.*

*Daarnaast worden er internationaal een groot aantal onderzoeken uitgevoerd naar de verschillen tussen analytische thermische comfortmodellen (bijvoorbeeld PMV-model) en empirische modellen (bijvoorbeeld ATG-model). Voorbeelden zijn recente Duitse onderzoeken [6, 7] waaruit blijkt dat adaptieve modellen het thermisch comfort beter voorspellen dan het ISO7730/PMV-model.*

**- door ing. S.R. Kurvers<sup>\*,\*\*</sup>, ir. M. van Beek<sup>\*\*\*</sup>,  
ir. H.H.E.W. Eijdens<sup>\*\*\*\*</sup>, ir. A.C. van der Linden<sup>\*</sup>  
en ing. J.M.J.M. Mimpfen<sup>\*\*\*\*</sup>.**

**H**et onderzoek vond plaats in de zomer van 2005 in 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 thermische binnenklimaat door de gebruikers is geregistreerd. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de voornaamste kenmerken van de onderzochte gebouwen. Deze kenmerken zijn bepaald op basis van bouwdocumentatie en onderzoek ter plaatse.

De indeling in klimaatklassen is gebaseerd op het keuzeschema op blz. 16 van ISSO-publicatie 74 (figuur 1). Gebouw A wordt volgens het schema als Alpha aangemerkt, omdat er per twee personen minimaal een te openen raam aanwezig is. Gebouw B is overwegend Alpha, maar enkele grote werkruimten met koeling, die niet individueel kunnen worden beïnvloed, worden volgens figuur 1 als Bèta aangemerkt. In gebouw C, waar overall koeling in de vorm van inductie-units in het plafond aanwezig is, worden de ruimtes waarin minder dan twee personen werken als Alpha aangemerkt en de grotere ruimtes als Bèta. De combinatie van topkoeling, te openen ramen en vertrekken met maximaal twee personen in gebouw D, maakt dat dit gebouw als Alpha wordt ingedeeld.

\* Faculteit Bouwkunde, Afdeling Bouwtechnologie/ Climate Design, Technische Universiteit Delft.

\*\* Apogeuem Binnenmilieu Consult, Gouda.

\*\*\* Peutz BV, Zoetermeer.

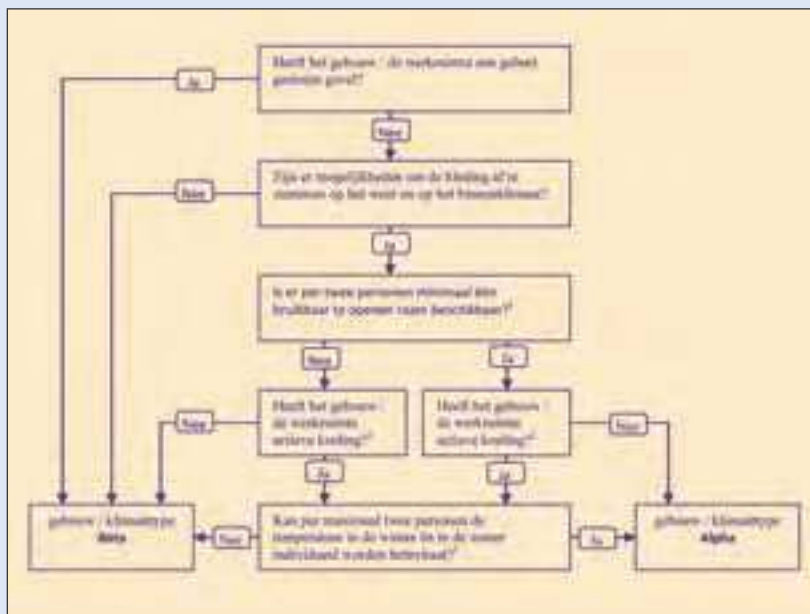
\*\*\*\* Rijksgebouwendienst, Advies en Architecten, Den Haag.

Gebouw	A	B	C	D
Bvo (m <sup>2</sup> )	48.400	11.800	12.550	9.000
Aantal gebruikers	1.200	280	325	250
Type luchthandeling	MV Geen koeling	MV Gedeelt. geen koeling + gedeelt. 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> (ISSO74)	Alpha	Alpha Bèta	Alpha Bèta	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, indien zonwering gesloten  
<sup>1</sup>Klimaatype indeling volgens ISSO 74, keuzeschema blz. 57

**Belangrijkste kenmerken van de onderzochte gebouwen.**

- TABEL 1-



**Bepaling van het gebouw/klimaatype van een gebouw of ruimte, volgens ISSO-publicatie 74, blz.16.**

- FIGUUR 1-

Om het thermische binnenklimaat in een gebouw volgens de GTO-methode te kunnen beoordelen moet de PMV worden berekend door het meten en vaststellen van de volgende parameters:

- luchttemperatuur (°C);
- gemiddelde stralingstemperatuur (°C);
- relatieve vochtigheid (%);
- luchtsnelheid (m/s);

- kledingsisolatie (clo);
- metabolisme (met).

Het beoordelen van het thermische binnenklimaat door middel van de ATG-methode gebeurt met de volgende parameters:

- operatieve temperatuur (°C);
- gewogen gemiddelde buitentemperatuur (°C).

Om de relatie tussen de comforttemperatuur en de (gewogen gemiddelde) buitentemperatuur te kunnen onderzoeken zijn de volgende parameters benodigd:

- operatieve temperatuur (°C);
- gewogen gemiddelde buitentemperatuur (°C);
- thermische sensatie en thermische voorkeur van de personen.

Deze parameters zijn of direct gemeten of afgeleid uit de gemeten parameters. De gemiddelde stralingstemperatuur is met behulp van een zwarte bol gemeten conform NEN-ISO 7226 [11]. Om de gemiddelde stralingstemperatuur uit de globetemperatuur te kunnen bepalen zijn ook de luchttemperatuur en de luchtsnelheid benodigd. Bijzondere aandacht is gegeven aan de betrouwbaarheid van de metingen door ijking van de sensoren en door de positionering van de sensoren ten opzichte van de gebruikers en de geometrie van de ruimte.

Naast deze eigen metingen zijn bij het KNMI de volgende uurlijkse gegevens van de dichtstbijzijnde weerstations opgevraagd:

- buitentemperatuur (in 0,1°C);
- relatieve vochtigheid (in %);
- windrichting (in graden);
- gemiddelde windsnelheid (in 0,1 m/s);
- globale straling (in J/cm<sup>2</sup>);
- duur van de zonneschijn (in 0,1 uren);
- bedekkingsgraad van de hemel (in achtsten).

De gebruikers van de betreffende kantoorvertrekken kregen tweemaal per dag een e-mail waarin werd gevraagd om, op een speciaal hiervoor ontwikkelde website, via keuzetabellen aan te geven welke kleding ze droegen en welke activiteiten ze verrichtten (zie figuur 2 en 3). Op basis van NEN-EN-ISO 9920 [12] kon de gemiddelde kledingsisolatie worden bepaald en op basis van ISO 8996 [12] werd het metabolisme vastgesteld.

**RESULTATEN VELDONDERZOEK  
Gebruik adaptatiemogelijkheden**

In tabel 2 is de door de deelnemers opgegeven stand van de zonwering opgegeven. Opvallend is dat de zonwering in de gebouwen slechts een zeer beperkt deel van de tijd volledig gesloten is.

15. Welke kledingcombinatie beschrijft het best wat u op dit moment aan heeft?

A	T-shirt, korte broek, dunne sokken, sandalen/schoenen met dunne zool	<input type="checkbox"/>
B	T-shirt/blouse met korte of opgestroopte mouwen, lange broek, sokken, schoenen	<input type="checkbox"/>
C	Dunne jurk, sokken/kousen, sandalen/schoenen met dunne zool	<input type="checkbox"/>
D	Blouse met lange mouwen/dunne trui, lange broek, sokken, schoenen	<input type="checkbox"/>
E	Blouse met korte mouwen, ondershirt, lange broek, sokken, schoenen	<input type="checkbox"/>
F	T-shirt/blouse met korte mouwen, rok, sokken/kousen, schoenen	<input type="checkbox"/>
G	Blouse met lange mouwen/dunne trui, ondershirt, lange broek, sokken, schoenen	<input type="checkbox"/>
H	Trui, lange broek, sokken, schoenen	<input type="checkbox"/>
I	Blouse met korte mouwen, ondershirt, rok, sokken/kousen, schoenen	<input type="checkbox"/>
J	Jurk, sokken/kousen, schoenen	<input type="checkbox"/>
K	Blouse met lange mouwen, colbert/jasje/trui, lange broek, sokken, schoenen	<input type="checkbox"/>
L	Blouse met lange mouwen, rok, jasje/trui, sokken/kousen, schoenen	<input type="checkbox"/>
M	Blouse met lange mouwen, ondershirt, lange broek, colbert/jasje/trui, sokken/schoenen	<input type="checkbox"/>
N	Blouse met lange mouwen, onderhemd, rok, jasje/trui, sokken/kousen, schoenen	<input type="checkbox"/>

Webpagina voor het invullen van de kledingisolatie.

- FIGUUR 2-

16. Welke activiteit omschrijft het best wat u het afgelopen kwartier heeft gedaan?

<input type="checkbox"/>	Ruudg zitten
<input type="checkbox"/>	Zittend werk (schrijven, werken met een pc, s.d.)
<input type="checkbox"/>	Zittend werk afgewisseld met af en toe lopen
<input type="checkbox"/>	Zittend werk vaak afgewisseld met lopen
<input type="checkbox"/>	Staannd werk met geringe activiteitsgraad
<input type="checkbox"/>	Verplaatsen van lichte voorwerpen, veel lopen
<input type="checkbox"/>	Anderz (graag bij opmerkingen aangeven welke activiteit u best omschrijft)

Webpagina voor het invullen van het activiteitsniveau.

- FIGUUR 3-

3. Als u een oordeel moet geven, vindt u het nu:

<input type="radio"/>	Heet
<input type="radio"/>	Warm
<input type="radio"/>	Een beetje warm
<input type="radio"/>	Neutraal
<input type="radio"/>	Een beetje koel
<input type="radio"/>	Koel
<input type="radio"/>	Koud

4. Bent u momenteel tevreden over de temperatuur?

<input type="radio"/>	Tevreden
<input type="radio"/>	Ontevreden

5. Wilt u het op dit moment warmer hebben, kouder hebben of geen verandering?

<input type="radio"/>	Warmer
<input type="radio"/>	Geen verandering
<input type="radio"/>	Kouder

6. Vindt u de temperatuur momenteel acceptabel of onacceptabel?

<input type="radio"/>	Acceptabel
<input type="radio"/>	Onacceptabel

Webpagina voor het invullen van de thermische behaaglijkheid.

- FIGUUR 4-

Gebouw	A	B	C	D
Omhoog	78 %	91 %	65 %	86 %
Halverwege	5 %	3 %	19 %	11 %
Gesloten	17 %	6 %	16 %	3 %

Toestand van de zonwering tijdens het onderzoek volgens eigen opgave van de deelnemers.

- TABEL 2-

In tabel 3 is aangegeven in welke mate de gebruikers van de gebouwen het te openen raam gebruiken en bij welke minimum binnenluchttemperatuur het raam geopend is. Het blijkt dat de te openen ramen veelvuldig worden gebruikt, maar dat er grote verschillen tussen de gebouwen zijn waar te nemen.

In gebouw A heeft de beheerder de instructie gegeven de ramen gesloten te houden, wanneer het binnen warm wordt, en de gebouwen C en D zijn gebouwen met mechanische koeling.

Verder is uit het onderzoek gebleken dat de binnendeuren in de meeste gevallen open stonden, dat knoppen om de temperatuur in te stellen nauwelijks werden gebruikt en dat de verlichting in drie van de vier gebouwen vrijwel altijd aan was. In gebouw A was de verlichting 24 % van de tijd op een laag niveau geschakeld, omdat hier een daglichtafhankelijk verlichtingssysteem is geïnstalleerd.

Ten slotte is in figuur 7 de verdeling van de gemiddeld opgegeven kledingweerstand en metabolisme weergegeven. De gemiddelde kledingweerstand bedraagt  $0,67 \pm 0,10$  clo en het gemiddeld opgegeven metabolisme  $1,24 \pm 0,14$  met ( $72 \pm 8$  W/m<sup>2</sup>). Deze waarden komen 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.

### TOETSING ATG-METHODE

Om inzicht te kunnen verkrijgen in welke mate de comfortbeleving van de gebruikers overeen komt met de comforttemperaturen volgens de ATG-methode zijn in figuur 8 de comforttemperaturen uitgezet tegen de gewogen, gemiddelde buitentemperatuur of referentiebuitentemperatuur ( $T_{e,ref}$ ). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een Alpha- en een Bètaklimaat volgens het keuzeschema op blz. 57 van ISSO publicatie 74. De gestippelde oranje lijn is de comforttemperatuur voor het Bètaklimaat en de gestippelde blauwe lijn de comforttemperatuur voor het Alphaklimaat. De comforttemperatuur volgens de gebruikers wordt weergegeven door de lineaire regressielijn door de operatieve



temperaturen waarbij de gebruikers -1, 0, of 1 hebben gestemd op de ASHRAE-schaal (thermische sensatie) en waarbij ze tevens hebben aangegeven geen voorkeur voor een andere temperatuur te hebben.

In figuur 8 is te zien dat er duidelijk sprake is van adaptatie: bij hogere buitentemperaturen worden hogere binnentemperaturen als comfortabel ervaren. Bij een grote hellingshoek wordt het gebouw als een Alpha klimaattype ervaren, bij een vlakke lijn als een Bèta-klimaattype. Het is des te opmerkelijker dat dit verband al in de afzonderlijke gebouwen met relatief kleine steekproeven waarneembaar is. De ATG-lijnen zijn immers gebaseerd op het gemiddelde van 161 gebouwen en 41.000 datapunten.

Verder valt het op dat de indeling in klimaattypen volgens het keuzeschema op bladzijde 57 in ISSO publicatie 74 niet altijd overeenkomt met de ervaring van de personen die in deze kamers werken. Zo blijkt bijvoorbeeld bij gebouw D dat de gebruikers een hogere comforttemperatuur wensen bij een hogere gewogen gemiddelde buitentemperatuur. Deze relatie komt in gebouw D sterk overeen met de theoretische relatie voor het klimaattype Alpha, terwijl uit het keuzeschema in ISSO 74 volgt dat het gebouw van het type Bèta is. Het blijkt dat alleen de hellingshoek van de lijnen van belang is voor de waardering van de binnen-

7. Is op dit moment uw buitenzweering naar beneden?

8. Is op dit moment uw luchtzweering (binnenzweering/fanalen) naar beneden?

9. Staat op dit moment een raam dicht bij u in de buurt open?

10. Staat op dit moment een kamerdeur open?

11. Staat op dit moment de verlichting aan?

12. Staat op dit moment uw ventilator aan?

13. Op welke stand staat de knop voor de regeling van de temperatuur in uw kamer? (Deze vraag is alleen bestemd voor de deelnemers uit Arnhem)

14. Hoeveel personen waren er vandaag (tot nu toe) gemiddeld aanwezig in uw kamer?

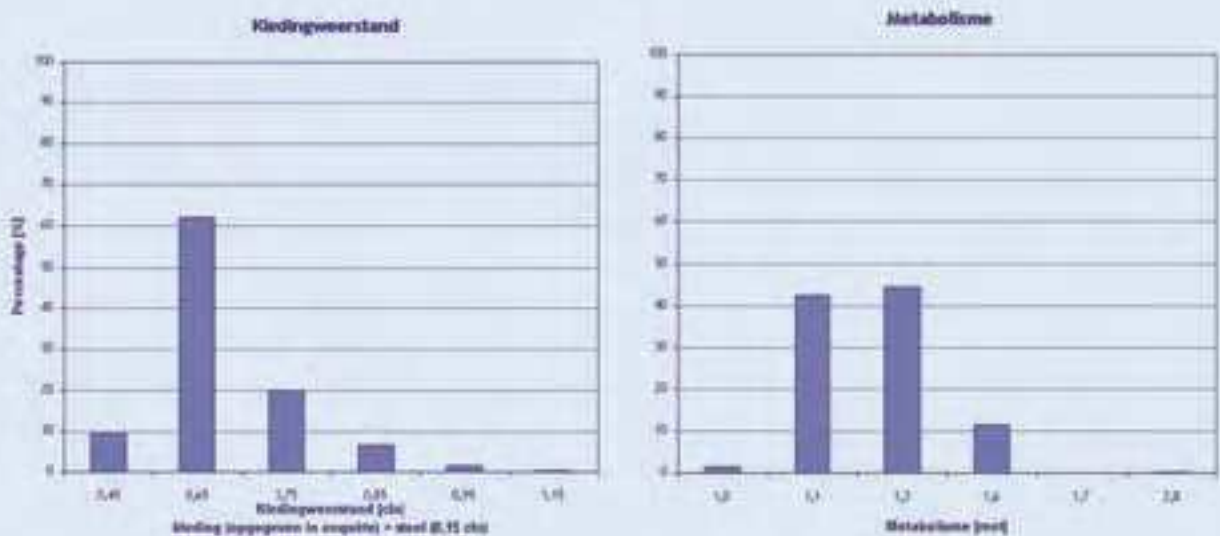
Webpagina voor het invullen van adaptatiemogelijkheden.

- FIGUUR 5-

Gebouw	A	B	C	D
Gesloten	56 %	14 %	74 %	61 %
Kierstand	10 %	43 %	10 %	38 %
Open	34 %	43 %	16 %	2 %
T <sub>lucht, min</sub> (°C)	20,9	21,5	20,6	18,9

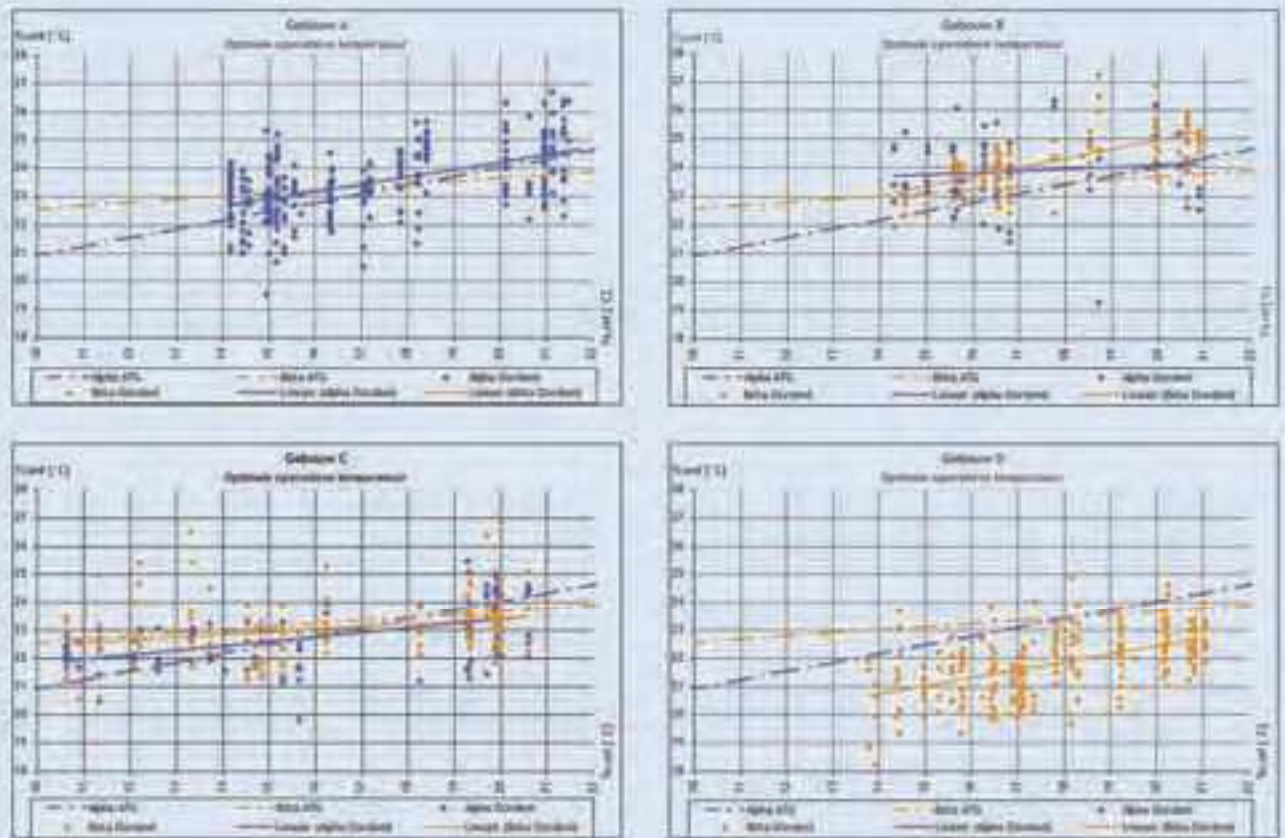
Toestand van het te openen raam volgens eigen opgave van de deelnemers en de gemeten minimum binnenluchttemperatuur waarbij het raam is geopend.

- TABEL 3-



De verdeling van de opgegeven kledingweerstand en metabolisme.

- FIGUUR 7-



**Comforttemperaturen volgens de percepties van de deelnemers aan het onderzoek in de vier gebouwen. De indeling in klimaattypen is volgens ISSO-publicatie 74, bladzijde 5.**

- FIGUUR 8-

temperatuur, de hoogteligging is afhankelijk van het aantal meetpunten bij een bepaalde binnentemperatuur.

Daarom is de indeling in klimaattypen voor dit onderzoek opnieuw gemaakt, maar dan op basis van de percepties van de personen, in plaats van de indeling volgens figuur 1. Per kamer is de regressielijn van de comfortstemmen bepaald en ingedeeld op basis van de richtingscoëfficiënt, waardoor een andere ordening van de kamers ontstond. Met deze nieuwe indeling zijn in figuur 9 weer per gebouw regressielijnen opgesteld. Ook nu is de blauwe getrokken lijn de regressielijn van de punten die behoren bij klimaten van het Alpha-type en de oranje getrokken lijn de klimaten van het Beta-type en tevens zijn ter vergelijking de optimale operationeel temperatuurlijnen volgens de ATG-methode overgenomen (gestippeld).

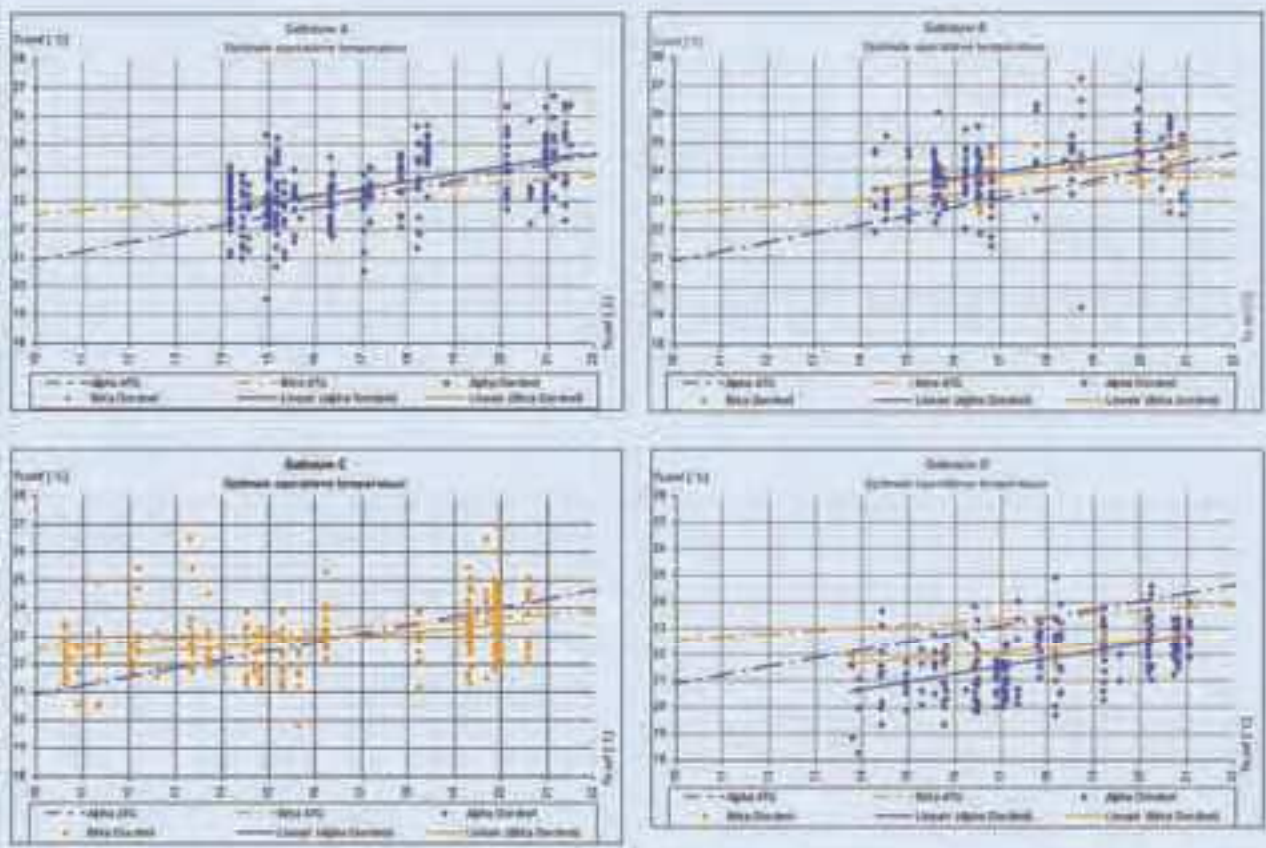
Nu blijkt dat met deze indeling de overeenkomst tussen de comforttemperaturen volgens de ATG-methode en volgens de beoordeling van de personen in elk van de gebouwen zeer

groot is. De voorlopige conclusie die hier wordt getrokken is dat de indeling in klimaattypen dient te worden gebaseerd op de mate waarin het binnenklimaat “free-running” is, of anders gezegd, in hoeverre het binnenklimaat ontkoppeld is van het buitenklimaat of anders uitgedrukt, de afhankelijkheid van de operationeel binnentemperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur. Deze afhankelijkheid wordt bepaald door een combinatie van factoren zoals de eigenschappen van het gebouw (bouwmasse, thermische isolatie, glasoppervlak, zonwering), het kunnen openen van de ramen en van de luchtbehandelingsinstallatie, waarbij in het bijzonder de aanwezigheid en het vermogen van koeling een belangrijke rol spelen. Hoe de gevoeligheid van het binnenklimaat voor deze factoren dient te worden gekwantificeerd is onderwerp van verder onderzoek.

Opvallend is verder dat de individuele mogelijkheden tot beïnvloeding van de temperatuur door middel van een knop geen invloed lijken te hebben op de genoemde afhankelijkheid van de

operationeel binnentemperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur en daarom niet zou moeten worden meegenomen bij de indeling in klimaattypen. Deze informatie geeft aan dat het bestaande keuzeschema ter bepaling van het gebouw/klimaattype in ISSO 74 (gedeeltelijk) moet worden herzien. Vragen over de groepsgrootte, de mogelijkheid tot afstemming van de kleding en de mogelijkheden de temperatuur te beïnvloeden zouden wellicht kunnen worden weggelaten en vragen over de luchtbehandelingsinstallatie en de gebouw-eigenschappen zouden juist moeten worden opgenomen in het schema.

De invloed van het wel of niet aanwezig zijn van individuele mogelijkheden de temperatuur te beïnvloeden komt mogelijk tot uiting in de ligging van de grenswaarden ten opzichte van de optimale operationeel binnentemperatuur. Verwacht wordt dat de grenswaarden in een binnenklimaat met weinig beïnvloedingsmogelijkheden dichter bij de optimale temperatuur ligt (kleinere bandbreedte) dan wanneer er veel beïnvloedingsmogelijkhe-



**Comforttemperaturen volgens de percepties van de deelnemers aan het onderzoek in de vier gebouwen. De indeling in klimaattypen is in overeenstemming met de oordelen van de personen.**

- FIGUUR 9 -

den zijn. In het uitgevoerde onderzoek zijn echter te weinig stemmen uitgebracht die aangeven dat het thermische binnenklimaat onacceptabel wordt gevonden, waardoor niet kon worden onderzocht of de veronderstelling juist is. Hiervoor is vervolgonderzoek nodig.

### TOETSING VAN DE GTO/PMV-METHODE

De volgende stap was het onderzoeken in welke mate de optimale operationele temperatuur volgens de GTO-methode, afhankelijk van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur, overeenkomt met de comforttemperaturen volgens de oordelen van de personen. De comforttemperatuur als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur is op dezelfde wijze bepaald als in figuren 9. De getrokken lijnen zijn dan ook identiek. De optimale operationele temperatuur volgens de PMV-methode is bepaald door eerst per stemmoment de PMV te berekenen op basis van de gemeten luchttemperatuur, stralingstemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtsnelheid en de door de gebruikers

via de website ingevulde waarden voor metabolisme en kledingweerstand. Op die stemmomenten waarop  $-0,1 < PMV < 0,1$  zijn de gemeten operationele temperaturen in de grafiek uitgezet bij de bijbehorende gewogen gemiddelde buitentemperatuur. De optimale operationele temperatuur is vervolgens bepaald door het bepalen van de regressielijn door deze punten. De indeling in klimaattypen is hetzelfde als bij figuur 9, omdat deze indeling het meest overeenkomt met de beoordeling van de personen. In figuur 10 zijn de regressielijnen voor de vier gebouwen gegeven.

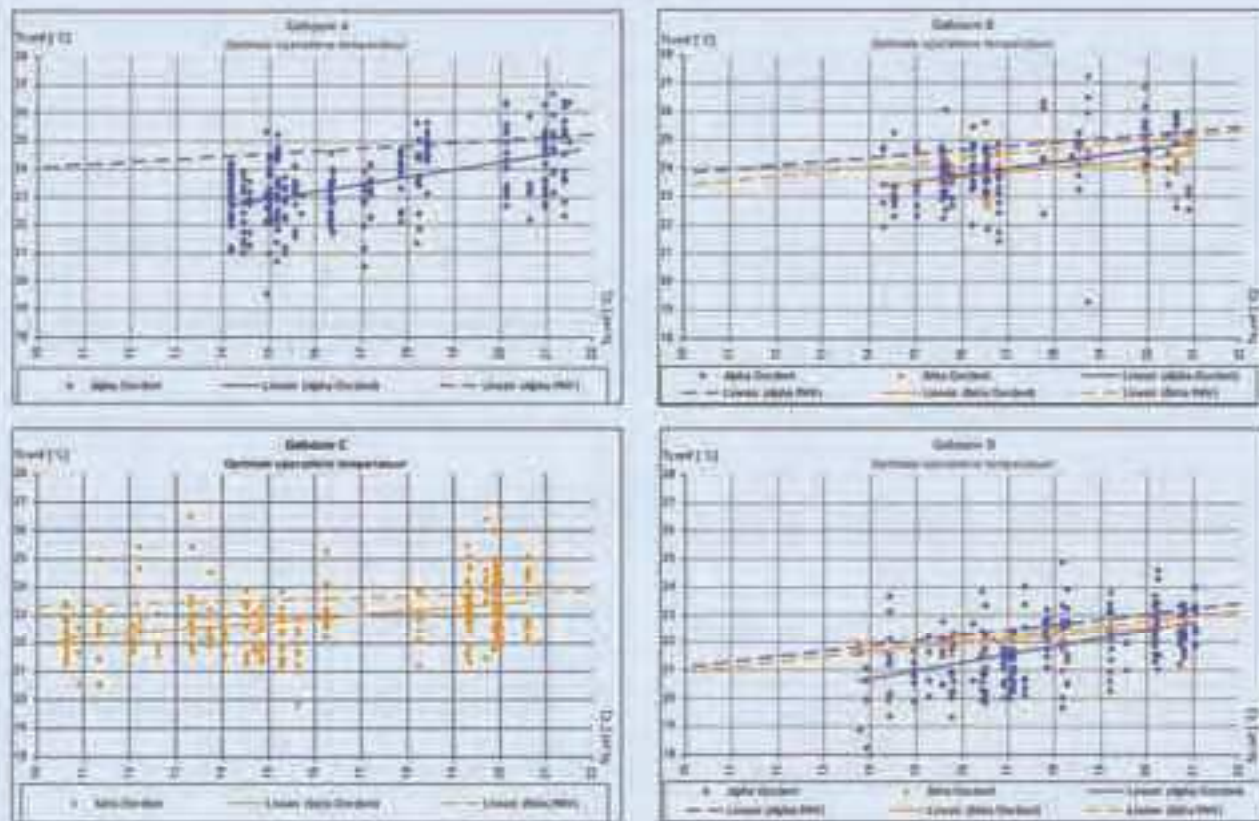
Voor Alpha binnenklimaten wordt de mate van adaptatie, die uit de comfortstemmen van de mensen volgt, niet in dezelfde mate gevonden bij de PMV-methode als bij de ATG-methode. Bij vertrekken van het Bèta-type is dit meer het geval. Bij toepassing van de GTO-methode worden vaste waarden voor de relatieve luchtsnelheid (0,15 m/s), kledingweerstand (0,7 clo) en het metabolisme (70 W/m<sup>2</sup>) gebruikt voor het bepalen van de PMV, terwijl in werkelijkheid deze

parameters in de tijd (en vooral bij een hogere buitentemperatuur) variëren. De GTO-methode veronderstelt daarvoor dat de aanwezige personen een lagere binnentemperatuur wensen dan blijkt uit de werkelijke oordelen van de betrokkenen (omdat zij bijvoorbeeld minder kleding dragen, minder actief zijn en hogere luchtsnelheden ervaren). Een deel van de hellingshoek van de lijnen in figuur 10 is dus verklaarbaar door een aangepaste PMV-berekening (fysische invloeden), maar niet het gehele effect. Dit is het gevolg van psychologische adaptatie, ervaringen in de afgelopen dagen met de temperatuur stuurt de verwachting die men heeft op de betreffende dag. Dit effect is in Alphagebouwen veel sterker aanwezig dan in Bètagebouwen [14, 15, 16].

### CONCLUSIES VELDONDERZOEK

Dit onderzoek concentreerde zich op de vergelijking van de ATG- en de GTO-methode, zowel bij het simuleren als bij het beoordelen in praktijk-situaties. Het blijkt dat de ATG-methode beter aansluit bij de comfort-





**Comforttemperaturen volgens de PMV, berekend uit de gemeten waarden, en de comforttemperaturen van de deelnemers aan het onderzoek in de vier gebouwen. De indeling in klimaattypen is in overeenstemming met de oordelen van de personen.**

- FIGUUR 10:-

beleving van de onderzochte personen dan de GTO-methode.


Uit de figuren 9 en 10 blijkt duidelijk dat er sprake is van adaptatie: hoe hoger de buitentemperaturen worden, des te hogere binnentemperaturen als comfortabel worden ervaren. De mate van adaptatie volgens de bewonerspercepties blijkt daarbij zeer goed overeen te komen met de mate van adaptatie volgens de ATG-methode. Dit is echter alleen het geval wanneer een indeling van de vertrekken in klimaatklassen wordt gebaseerd op de percepties van de personen en niet op de indeling zoals die momenteel in ISSO-publicatie 74 is opgenomen. Wanneer de mate van adaptatie wordt vergeleken met de, aan de GTO-methode ten grondslag liggende PMV, dan blijkt deze voor Bètaklimaten goed overeen te komen, maar voor Alphaklimaten niet, wat overeen komt met de resultaten van het onderzoek van [6]. De belangrijkste reden is dat bij de GTO-methode voor enkele parameters om de PMV te bepalen vaste waarden worden aangehouden, terwijl deze waarden duidelijk blijken te variëren.

In dit onderzoek zijn uitgebreide fysieke metingen uitgevoerd en zijn de responsen en gedragingen van de gebruikers betreffende het binnenklimaat via internet-enquêtes systematisch geregistreerd. Deze gegevens zijn geanalyseerd en zijn voor een deel gebruikt om simulatieberekeningen te ijken. Ook zijn de ATG- en GTO-methode uitvoerig met elkaar vergeleken. Uit analyse van het bewonersgedrag blijkt onder meer dat het gebruik van voorzieningen die op het binnenklimaat van invloed zijn vaak anders worden gebruikt dan standaard in ISSO 32 wordt aangegeven voor simulaties. Enkele conclusies van het onderzoek worden hier besproken.

- 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 reeds bij relatief lage binnentempe-

raturen 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 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 zeer 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.

In deel twee van dit artikel zal worden ingegaan op temperatuursimulaties in de vier gebouwen die zijn gefit door de metingen. Ook zullen de verschillen in koelvermogen tussen Alpha- en Bètagebouwen worden besproken bij de GTO- en de ATG-methode. 

## LITERATUUR

1. Kurvers, S.R., Van der Linden, A.C., Boerstra, A.C., *Individuele beïnvloeding: lager energiegebruik, gezonder, comfortabeler en productiever binnenmilieu*, 2002, TVVL Magazine, maart 2002, 31, 3.
2. Kurvers, S.R., Van der Linden, A.C., Boerstra, A.C., Raue, A.K., *Adaptieve Temperatuurgrenswaarden (ATG), ISSO 74: een nieuwe richtlijn voor de beoordeling van het thermisch binnenklimaat, Deel 1: Theoretische achtergronden*, TVVL Magazine, juni 2005.
3. Kurvers, S.R., Leijten, J.L., Van der Linden, A.C., Boerstra, A.C., Raue, A.K., *Adaptief thermisch comfort: De binnenklimaattypen van ISSO 74 heroverwogen*. TVVL Magazine 4-2006.
4. Kurvers, S.R., Leijten, J.L., Van der Linden, Plokker, W. A.C., Boerstra, A.C., Raue, A.K., *ATG en GTO vergeleken, Berekeningen en evaluaties van ISSO 74*, TVVL Magazine 4-2006.
5. 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.
6. A. Wagner, E. Gossauer, C. Moosmann, Th. Gropp, R. Leonhart, *Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings*, Energy and buildings 39, 2007.
7. Jens U. Pfafferott\*, Sebastian Herkel, Doreen E. Kalz, Andreas Zeuschner, *Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria*, Energy and buildings 39, 2008.
8. *Thermische Behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen*, publicatie 74, ISSO, Rotterdam, maart 2004.
9. NEN-ISO 7726, *Thermische binnencondities – Instrumenten en methoden voor het meten van fysische omgevingsgrootheden*, 1989.
10. NEN-EN-ISO 9920, *Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporation resistance of a clothing ensemble*, 2004.
11. ISO 8996, *Ergonomics of the thermal environment – Determination*

## TO- EN GTO-METHODE

Eind jaren zeventig is door de Rijksgebouwendienst en de toenmalige Rijks Geneeskundige Dienst vastgelegd dat een "goed" binnenklimaat moet voldoen aan  $-0,5 < PMV < 0,5$ . Een overschrijding van deze grenzen mocht onder bijzondere omstandigheden plaatsvinden tot  $-1,0 < PMV < 1,0$ , gedurende maximaal 10 % van de tijd (100 uur in de zomer). Later werd de NEN ISO 7730 van kracht, waarin ook de grens  $-0,5 < PMV < 0,5$  werd aangegeven. Bij het zoeken naar een verantwoord koelvermogen bleek dat wanneer met een koelvermogen werd gerekend, waardoor niet meer dan 100 uur per jaar de grens  $PMV = 0,5$  ( $25,5\text{ }^\circ\text{C}$ ) werd overschreden, in alle gevallen de grens  $PMV = 1,0$  ( $28\text{ }^\circ\text{C}$ ) werd overschreden. Wordt er gerekend met een koelvermogen waardoor binnen de grens  $PMV = 1,0$  werd gebleven, dan resulteerde dit in veel minder dan 100 uur overschrijding van  $PMV = 0,5$ . Daarom werd ervoor gekozen om een overschrijding van 10 tot 20 uur van de grens  $PMV = 1,0$  toe te staan. Dit resulteerde in de Algemene uitgangspunten van de Rijksgebouwendienst waarin werd gesteld dat  $25\text{ }^\circ\text{C}$  maximaal 100 uur per jaar mag worden overschreden en  $28\text{ }^\circ\text{C}$  maximaal 10-20 uur per jaar mag worden overschreden (TO-methode). Dit werd berekend met het jaar 1964, dat niet mag worden aangemerkt als een warm jaar. In warmere jaren zullen de overschrijdingen talrijker zijn.

Omdat in gebouwen met veel thermische massa minder hoge temperaturen voorkomen dan in gebouwen met weinig massa en dit gunstige aspect onvoldoende tot uitdrukking komt in de TO-methode, ontwikkelde de Rijksgebouwendienst een methode waarbij de mate van overschrijding van de grens  $PMV = 0,5$  wordt beoordeeld door middel van een 'weegfactor' die was afgeleid van de  $PMV/PPD$ -relatie. Grotere overschrijdingen worden strenger beoordeeld dan kleinere overschrijdingen. Dit werd de Gewogen Temperatuur Overschrijding (GTO) genoemd. Op basis van computersimulaties werd vastgesteld dat voor een "gemiddeld" gebouw de gemiddelde  $PMV$  bij een 100-urige overschrijding van de grenswaarde ( $PMV = 0,5$ ), overeenkomt met 150 weeguren. De op zich waarschijnlijk lijkende aanname dat 1 uur met 10 % ontevredenen hetzelfde wordt ervaren als een half uur met 20 % ontevredenen is verder nooit geverifieerd. Latere praktijkervaringen leidden ertoe dat sommige ontwerpers gebouwen met mechanische koeling en gesloten gevel gingen ontwerpen op een  $GTO = 0$  en niet gekoelde gebouwen met te openen ramen met 150 of meer weeguren, omdat zij het "gevoel" hadden dat geklimatiseerde gebouwen strenger moesten worden beoordeeld dan niet geklimatiseerde gebouwen. Intuïtief werd er al een voorschot genomen op de latere adaptatietheorie.

- KADER 1-

of metabolic rate, 2004.

12. Baker, N., "Human nature", in Environmental Diversity in Architecture, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.
13. Brager, G., Paliaga G., De Dear, R., "Operable windows, Personal Control and Occupant Comfort". ASHRAE Transactions 4695, RP-1161, 2004.
14. Chappells, H. and E. Shove, 2003. "An annotated bibliography of comfort research". Lancaster University, Department of Sociology.

## NOTEN

- 1 Publiek Private Samenwerking
- 2 Door M. van Beek, voor de volledige rapportage van het onderzoek wordt verwezen naar [5]
- 3 In de ATG-methode wordt onderscheid gemaakt tussen een Alpha- en Beta-binnenklimaat. In de ASHRAE RP884-database, waarop de ATG-methode is gebaseerd, wordt onderscheid gemaakt tussen twee gebouw- of binnenklimaatcategorïen: enerzijds is er de categorie "sealed, centrally airconditioned buildings with open plan floor layouts, that provide minimal adaptive opportunity and the occupants are presumed to have no option to open/close

windows". De andere categorie wordt omschreven als "buildings with operable windows and ceiling fans within small single- or dual occupant offices that afford high degrees of adaptive opportunity". Een probleem is dat dit twee globale beschrijvingen zijn en dat veel gebouwen niet exact aan één van beiden voldoen. Een substantieel deel van de gebouwen in Nederland en in Europa is moeilijk in een van de categorieën in te delen, omdat de ruimtegrootte varieert en omdat er bijvoorbeeld inductie-units gecombineerd met te openen ramen of hybride klimaatsystemen worden toegepast. Omdat het moeilijk is om het onderscheid tussen de categorieën in één begrip te omschrijven zijn de abstracte aanduidingen Alpha en Beta gekozen. Deze vallen zoveel mogelijk samen met de bovengenoemde oorspronkelijke categorieën, maar op basis van de achterliggende theorieën en mechanismen kunnen mengvormen van klimaten in de best passende categorie (Alpha of Beta) worden ingedeeld. Hiervoor is in ISSO 74 [10] het schema op blz. 16 gemaakt.

4 Onder bijzondere omstandigheden werden onder andere verstaan sporadisch voorkomende hitte- of koudepieken en storingen aan klimaatinstallaties.