



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Literatuuronderzoek naar een optimaal binnenmilieu

EOS-Facet

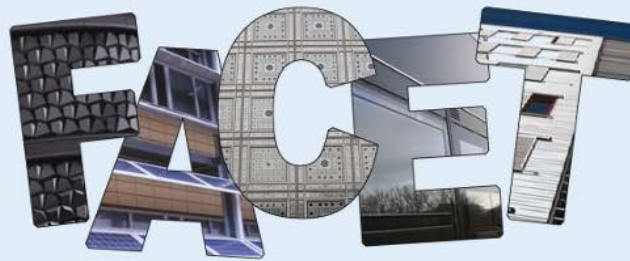
Datum September 2011

TU Delft, faculteit Bouwkunde, afd. Bouwtechnologie,
sectie Klimaatontwerp, ing. S.R. Kurvers, ir. A.K. Raue,
ir. E.E. Alders, drs. J.L. Leijten

In opdracht van SenterNovem (nu Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland)

Publicatienr RVO-172-1501/RP-DUZA
www.rvo.nl

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van
Economische Zaken.



Facade als Adaptief Comfortverhogend Energiebesparend Toekomstconcept

FACET-deelrapport x.x

WP 1.1

WP 4.1

WP 4.3

Literatuuronderzoek naar State of the Art
Binnenmilieu

Datum	29 september 2011
Auteur(s)	ing. S.R. Kurvers ir. A.K. Raue ir. E.E. Alders drs. J.L. Leijten TU-Delft, faculteit Bouwkunde, afdeling Bouwtechnologie, Sectie Klimaatontwerp
Exemplaarnummer	<copy no>
Oplage	<no.of copies>
Aantal pagina's	123
Aantal bijlagen	<number of appendices>
Opdrachtgever	<Customer>
Projectnaam	FACET
Projectnummer	<Projectnumber>

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de auteurs.

FACET is een EOS-LT onderzoeksproject, gesubsidieerd door [Agentschap NL](#)

Concept

Inhoudsopgave

Verantwoording	4
Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Samenvattende conclusies	8
2.1 Thermisch comfort algemeen	8
2.2 Adaptatie en gebruikersinvloed	9
2.3 Thermisch comfortmodellen en temperatuurcriteria.....	11
2.4 Normen en richtlijnen.....	12
2.5 Productiviteit	13
2.6 Thermisch comfort woningen	13
2.7 Thermisch comfort scholen	14
2.8 Temperatuurvariatie en gezondheid.....	14
2.9 Bijzondere groepen.....	14
3 Samenvatting literatuurbronnen	16
4 Literatuur	116
Bijlage 1: Termen, begrippen en definities	122

Concept

Verantwoording

Voor deze literatuurstudie hebben de auteurs circa 110 bronnen bestudeerd en van 90 bronnen is een samenvatting gemaakt op basis van de relevantie voor de vraagstelling. De literatuurbronnen zijn afkomstig van Journal papers, zoals Energy & Buildings, Building Research & Information, Building & Environment, Proceedings van de verschillende "Windsor-conferences" van het Network for Comfort and Energy Use in Buildings, Proceedings van Indoor Air, Healthy Buildings en andere congressen, hoofdstukken uit boeken en rapporten van onder andere EU, ASHRAE Transactions. Bij de selectie en interpretatie van de literatuur spelen uiteraard ook de ervaringen van de onderzoekers een rol. De auteurs zijn naast hun functie als onderzoeker en/of docent bij de TU Delft actief (geweest) als architect, klimaatontwerper, bouwfysisch adviseur, onderzoeker naar comfort en gezondheid in de gebouwde omgeving, etc.

Concept

Samenvatting

Voor deze literatuurstudie hebben de auteurs circa 110 bronnen bestudeerd en van 90 bronnen is een samenvatting gemaakt wanneer de inhoud relevant was voor de vraagstelling. De literatuurbronnen zijn afkomstig van verschillende Journal papers, Proceedings van congressen, boeken en rapporten.

Uit de enorme hoeveelheid informatie worden hieronder puntsgewijs de belangrijkste conclusies uit de literatuur samengevat.

- Thermisch comfort is geen 'product' dat aan gebouwgebruikers wordt geleverd, maar een 'doel' dat de gebruikers nastreven, als ze de mogelijkheden worden geboden door het gebouw.
- Adaptatie is een fundamentele menselijke behoefte en het bieden van adaptieve mogelijkheden geeft een ruimer comfortgebied dan het gebied dat met "neutraal" wordt aangeduid.
- Gebouw"gebruikers" moeten meer als "bewoners" worden gezien, die een actieve rol spelen in het gedrag van een gebouw en niet slechts 'passieve ontvangers' van vooraf ingestelde omstandigheden.
- Mensen reageren op discomfort door of te trachten de omgeving aan te passen (ramen, thermostaat) of door hun 'vraag' aan te passen (kleding, houding). Het gebouw moet dus aan de gebruikers de mogelijkheden bieden comfort te realiseren. Hiervoor moet het gebouw aan enkele "regels" voldoen:
 - *Gebruikelijke en voorspelbare temperaturen.* Gebouwen moeten gebruikelijke, voorspelbare temperatuurniveaus bieden, zodat de bewoners eenvoudig hun comforttemperatuur zo dicht mogelijk bij de heersende temperatuur kunnen brengen.
 - *Beïnvloeding door bewoners.* Er moeten eenvoudige, gemakkelijk bedienbare en effectieve beïnvloedingsmogelijkheden zijn.
 - *Veranderende temperaturen.* De temperaturen zijn niet vast, maar bewegen door veranderingen die binnen en buiten optreden. Snelle veranderingen leiden tot discomfort en klachten, terwijl geleidelijke veranderingen over dagen acceptabel zullen zijn.
 - *Kledingvoorschriften.* Een veranderend binnenklimaat vereist dat gebruikers koele kleding kunnen dragen in de zomer en warmere kleding in de winter. Strikte kledingvoorschriften of dresscodes beïnvloeden het thermisch comfort en het energiegebruik nadelig. Dresscodes dienen daarom variabel te zijn en rekening te houden met de verschillende seizoenen.
 - Mensen verschillen, fysiologisch gezien, binnen en tussen verschillende sociale omgevingen en omdat gebouwen worden ontworpen om verschillende mensen te huisvesten is het de uitdaging om met deze variatie om te gaan bij het ontwerpen van gebouwen. De paradox is dat dit er juist toe heeft geleid het thermisch binnenklimaat in grote delen van de wereld hetzelfde is geworden en juist niet tegemoet komt aan de menselijke verschillen.
 - Het blijkt dat een nauwere bandbreedte niet door de gebruikers als comfortabeler of acceptabeler wordt ervaren. Er is geen wetenschappelijke onderbouwing om gebouwen binnen (de nauwe) klasse A te regelen.
 - De ervaren beïnvloedingsmogelijkheden in de natuurlijk geventileerde gebouwen is groter dan in de geconditioneerde gebouwen.
- In de natuurlijk geventileerde gebouwen zijn de werknemers tevredener over de temperatuur dan in de mechanisch geventileerde gebouwen.
- Bewoners van gebouwen zijn vooral gericht op het oplossen van alle vormen van discomfort, minder op het nastreven van de optimale situatie. Dit blijkt het

- makkelijkst worden bereikt in een eenvoudig gebouw met veel gebruikersinvloed.
- Het fysiologische model van Fanger is misleidend, omdat het geen rekening houdt met het dynamisch opslaan van warmte en geen rekening houdt met menselijk gedrag dat streeft naar adaptatie.
 - Criteria voor thermisch comfort, zoals NEN-ISO 7730, zijn gebaseerd op laboratoriumonderzoek dat tot doel had het minimaliseren van thermische onbehaaglijkheid voor een groep. De proefpersonen bevonden zich in een abstractie van de werkelijkheid.
 - In woningen zijn slaapvertrekken het gevoeligst voor warmte-discomfort. De comforttemperatuur ligt lager en de adaptieve mogelijkheden zijn beperkter dan in andere vertrekken. Slaapvertrekken dienen koeler te zijn dan woonvertrekken.
 - De bandbreedte van thermisch comfort in woningen is (veel) groter dan in kantoren. Zo bleek in Californische huizen de temperatuur “dragelijk” tussen 10 en 36°C.
 - Ouderen ervaren de thermische omgeving anders dan jongeren als gevolg van fysiologische, gedragsmatige en psychologische verschillen.
 - Eenduidige eisen voor temperaturen voor ouderen zijn moeilijk te geven.
 - Voor toekomstige woningen voor ouderen worden passieve, architectonische oplossingen voorgesteld voor het beheersen van het binnenklimaat, aangevuld met technologische systemen in de vorm van automatisch sluiten van ramen, individuele temperatuurprofielen per kamer en airconditioning voor extreme weersomstandigheden.

1 Inleiding

In dit rapport zijn ruim 90 artikelen, rapporten, hoofdstukken van boeken samengevat. Uit de samenvattingen zijn de belangrijkste conclusies getrokken en geven zo een uitgebreid beeld van de huidige stand van kennis betreffende het onderzoek naar thermisch comfort en de beleving van het binnenmilieu. Visueel comfort en uitzicht komen in een separate rapportage (FACET-deelrapport ..) aan de orde. Deze literatuurstudie vormt de basis voor het “programma van eisen en wensen voor het binnenmilieu” (FACET-deelrapport ...) en het rapport “productiviteits- en ziekteverzuimeffecten” (FACET deelrapport).

Concept

2 Samenvattende conclusies

In de volgende paragrafen worden de belangrijkste conclusies uit de samenvattingen in hoofdstuk 3 samengevat. Er is zoveel mogelijk getracht een indeling in verschillende deelonderwerpen te maken, maar aan een overlap tussen de verschillende onderwerpen is niet in alle gevallen te ontkomen..

2.1 Thermisch comfort algemeen

- Thermisch comfort is geen 'product' dat aan gebouwgebruikers wordt geleverd, maar een 'doel' dat de gebruikers nastreven, als ze de mogelijkheden worden geboden door het gebouw (Nicol, 2010).
- Het blijkt dat een nauwere bandbreedte niet door de gebruikers als comfortabeler of acceptabeler wordt ervaren. Er is dus geen wetenschappelijke onderbouwing om gebouwen binnen klasse A te regelen (Arens, 2010).
- Om een hoger niveau van comfort en energiebesparing te bereiken is een bredere definitie van comfort wenselijk, waarbij individueel comfort en collectief comfort tegen elkaar kunnen worden afgewogen. Hierbij zijn verschillende soorten beïnvloedingsmogelijkheden, layout, ruimte indeling, feedbackmechanismes en begrip van het gebouwsysteem van belang. Hiervoor is meer inzicht in het menselijk gedrag van belang (Cole, 2008).
- Gebouw'gebruikers' zouden als 'bewoners' moeten worden gezien, die een actieve rol spelen in het gedrag van een gebouw en niet slechts 'passieve ontvangers' van vooraf ingestelde omstandigheden (Cole, 2008).
- Mensen reageren op discomfort door of te trachten de omgeving aan te passen (ramen, thermostaat) of door hun 'vraag' aan te passen (kleding, houding). Het gebouw moet dus aan de gebruikers de mogelijkheden bieden comfort te realiseren. Hiervoor moet het gebouw aan enkele eenvoudige regels voldoen (de Dear, 2000, Humphreys, 2003, Nikololoulou, 2004) :
 - *Gebruikelijke en voorspelbare temperaturen.* Gebouwen moeten gebruikelijke, voorspelbare temperatuurniveaus bieden, zodat gebruikers eenvoudig hun comforttemperatuur zo dicht mogelijk bij de heersende temperatuur kunnen brengen.
 - *Beïnvloeding door gebruikers.* Er moeten eenvoudige, gemakkelijk bedienbare en effectieve beïnvloedingsmogelijkheden zijn. Een temperatuurbreedte van $\pm 2K$ (of equivalente bandbreedte van luchtsnelheden) is in de meeste gevallen voldoende.
 - *Veranderende temperaturen.* De temperaturen zijn niet vast, maar bewegen door veranderingen die binnen en buiten optreden. Snelle veranderingen leiden tot discomfort en klachten, terwijl geleidelijke veranderingen over dagen acceptabel zullen zijn.
 - *Kledingvoorschriften.* Een veranderend binnenklimaat vereist dat gebruikers koele kleding kunnen dragen in de zomer en warmere kleding in de winter. Strikte kledingvoorschriften of dresscodes beïnvloeden het thermisch comfort en het energiegebruik nadelig. Dresscodes dienen daarom variabel te zijn en rekening te houden met de verschillende seizoenen.
- De mens is evolutionair gezien een "buiten dier". Pas sinds ongeveer de laatste 100 jaar van de 3 miljoen jaar leeft de mens overwegend binnen (Baker, 2004).
- Als gevolg van de beperkingen van een in de klimaatkamer ontwikkeld rekenmodel is het binnenklimaat in grote delen van de wereld het zelfde en stabiel, terwijl uit veldonderzoek blijkt dat mensen, geografisch, cultureel en in de tijd, verschillende temperaturen prefereren (Shove, 2004). Dit leidt tot onnodig veel energieverbruik om dit "comfort" over de hele wereld te leveren.
- De huidige criteria voor thermisch comfort worden door ontwerpers en ingenieurs meestal voor waar aangenomen, omdat ze gebaseerd zijn op fysische uitgangspunten. Fysica wordt door velen gezien als de meest pure vorm van wetenschap. Het berekenen van thermische behaaglijkheid met

- behulp van een formule wordt veel makkelijker geaccepteerd dan rekening houden met medische, sociale en psychologische invloeden, zelfs als de formule resultaten geeft die niet overeen komen met de menselijke perceptie (Stoops, 2004).
- Mensen verschillen, fysiologisch gezien, binnen en tussen verschillende sociale omgevingen en omdat gebouwen worden ontworpen om verschillende mensen te huisvesten is het de uitdaging om met deze variatie om te gaan bij het ontwerpen van gebouwen. De paradox is dat dit er juist toe heeft geleid het thermisch binnenklimaat in grote delen van de wereld hetzelfde is geworden en juist niet tegemoet komt aan de menselijke verschillen (Shove, 2004).
 - De perceptie van het binnenklimaat is sterk afhankelijk van de context en de verwachtingen die mensen hebben over de invloed uitgeoefend op het binnenklimaat ten opzichte van het buitenklimaat, zowel uitgeoefend door henzelf als de systemen. Hoe groter de consensus tussen het verwachtte en het optredende, hoe groter over het algemeen de tevredenheid. Toekomstig onderzoek moet zich daarom niet richten op bepaalde comforttemperaturen maar op de invloed van de context op de comfortbeleving (Hitchings, 2009).
 - Uit meerdere onderzoeken komt naar voren dat thermische neutraliteit niet automatisch leidt tot het hoogste comfort. Met het begrip alliesthesia wordt verklaard waarom mensen vaak zelfs een bepaalde overmaat van warmte of koude als comfortabel ervaren. Alliesthesia is de term om het fenomeen te beschrijven in homeostatische systemen waar er een geregelde variabele is in het 'milieu interieur'. Als deze variabele afwijkt van zijn 'setpoint', worden stimuli van buitenaf die beloven deze afwijking te verminderen of op te heffen ervaren als plezierig (de Dear, 2010).
 - Situaties met een oplopende of dalende temperatuur (temperature drifts en ramps) van onder 0,5K/h kunnen beschouwd worden als evenwichtssituatie. Voor drifts en ramps van 0,5 K/h tot 1,5 K/h is geen goede grondslag voor conclusies over de(negatieve) invloed op het comfort. Uit diverse experimenten blijkt de invloed van kledingweerstand op de thermische gevoeligheid bij temperatuurwisselingen te verwaarlozen. (Hensen, 1990).
 - In diverse onderzoeken wordt gevonden dat de luchtkwaliteit lager wordt gewaardeerd bij hogere temperaturen (Fanger et al., 2001; Wagner et al., 2008).
 - Zomercomfort telt zwaarder dan wintercomfort (Leaman & Bordass, 2001).
 - Lokaal discomfort speelt een belangrijke rol bij algemeen discomfort. Vooral thermisch discomfort in de borst, rug en middel hebben veel invloed. (Hui Zhang, 2010).
 - In natuurlijk geventileerde gebouwen bleken hogere luchtsnelheden tot meer comfort te leiden (Cândido, 2010 in van Hoof, 2010).

2.2 Adaptatie en gebruikersinvloed

- Het idee van gebouwen waar het binnenklimaat volledig controleerbaar is, blijkt volgens Holzer en Hammer (2010) niet te werken. Daarom moet adaptief comfort en de mogelijkheid van gebruikers om de comfortparameters te beïnvloeden waar mogelijk toegepast worden.
- Adaptatie is een fundamentele menselijke behoefte en het bieden van adaptieve mogelijkheden geeft een ruimer comfortgebied dan het gebied dat met "neutraal" wordt aangeduid (Nicol, 2001).
- Als mensen het binnenklimaat kunnen beïnvloeden door bijvoorbeeld het openen en sluiten van te openen ramen ligt hun neutrale temperatuur¹ dichter bij de gemiddelde omgevingstemperatuur. Hiermee wordt de bandbreedte waarbinnen mensen zich thermisch comfortabel voelen vergroot (Brager, 2004).

¹ De neutrale temperatuur is de operationele temperatuur waarbij een maximum percentage van de aanwezigen "neutraal" hebben gestemd op de 7-punts ASHRAE-schaal.

- De ervaren beïnvloedingsmogelijkheden in de natuurlijk geventileerde gebouwen is veel groter dan in de geconditioneerde gebouwen (Hellwig, 2006).
- In de natuurlijk geventileerde gebouwen zijn de werknemers tevredener over de temperatuur dan in de mechanisch geventileerde gebouwen (Hellwig, 2006).
- Ook binnen een dag is het effect van adaptatie meetbaar, een temperatuur van bijvoorbeeld 25°C die in de ochtend nog “enigszins warm” wordt genoemd wordt in de middag als “precies goed” ervaren (Wagner, 2006).
- Adaptatie wordt voorgesteld als een continuüm, met aan de ene kant klimaatkamers en aan de andere kant de buitenomgeving. Daar tussen in zitten, na de klimaat kamer, centraal geregelde airconditioned ruimtes en vervolgens free running gebouwen (Nikolopoulou, 2004).
- Temperatuurstijgingen tot 1,5°C/uur binnen een dag (binnen de comfortgrenzen) worden niet opgemerkt. Het binnenklimaat hoeft dus niet stabiel te zijn (Brager, 2004).
- Meer gebruikersinvloed leidt vaak tot meer waardering van (het binnenklimaat in) gebouwen. Dit wordt door verschillende onderzoeken onderstreept. Gebruikers vinden de tevredenheid met thermisch comfort en luchtkwaliteit belangrijker dan met resp. akoestisch comfort en visueel comfort (Frontczak & Wargocki, 2009).
- Op werkplekken in de gevelzone wordt het binnenmilieu significant beter gewaardeerd, ook als de meetbare omgevingsfactoren niet wezenlijk verschillen (JoonHo Choi, 2009). Aanbevelingen zijn o.a.:
 - Maak ondiepe gebouwen, zodat relatief veel werkplekken in de gevelzone komen.
 - Zorg voor persoonlijke luchttoevoer, natuurlijke ventilatie en persoonlijke beïnvloeding voor de meest effectieve verbetering van het binnenmilieu.
 - Besteedt verder vooral aandacht aan een goed thermisch comfort, o.a. met bouwfysische maatregelen in de gevel.
 - Besteed extra aandacht aan de lichtomstandigheden in de binnenzone van het gebouw.
- Beïnvloedingsmogelijkheden moeten daadwerkelijk als effectief worden ervaren om invloed te hebben op de comfort perceptie (Paciuk, 1990). Er wordt in dit onderzoek onderscheid tussen:
 - Available control, de beschikbare beïnvloedingsmogelijkheden, zoals te openen ramen en thermostaten.
 - Exercised control, de mate waarin de available control gebruikt wordt of kan worden.
 - Perceived control, de mate waarin de exercised control d.m.v. feedback mechanismen ook daadwerkelijk als effectief wordt ervaren.
- Beïnvloedingsmogelijkheden moeten (Leaman & Bunn, 2008):
 - gebruiksvriendelijk zijn vanuit het perspectief van de gebruiker (niet alleen de ontwerper).
 - begrijpelijk zijn; liefst intuïtief / zonder uitleg. Ook voor mensen die ze voor het eerst of sporadisch gebruiken.
 - aangeven wat ermee beïnvloed kan worden.
 - effectief zijn.
 - voldoende mogelijkheden geven om de instelling te verfijnen.
 - direct feedback geven als ze worden ingesteld. Bij voorkeur is de verandering zelf direct merkbaar (bijvoorbeeld: het licht gaat uit), anders feedback d.m.v. een lampje o.i.d. als het langer duurt voor de regelactie merkbaar wordt (bijvoorbeeld verwarming).
 - worden aangebracht in de buurt van de systemen die ermee bediend kunnen worden
 - goed zichtbaar en bereikbaar zijn
 - volledig in bedrijf gesteld en getest worden bij oplevering
 - goed ingeregeld worden bij oplevering

- niet absoluut zijn en geen nauwkeurigheid suggereren die er niet is.
Bijvoorbeeld: een thermostaatknop kan beter een schaalverdeling van -3 tot +3 hebben dan van 20 tot 26°C.
- Aangezien gebruikersinvloed veel invloed heeft op de interne warmtelast (en daarmee thermisch comfort en energiegebruik), is het belangrijk dat de gebouwgebruikers hun voorzieningen gemakkelijk kunnen begrijpen en gebruiken (Roetzel, 2008; Roetzel et al, 2009).
- Van Hoof (2010) geeft aan dat als elke gebouwgebruiker vrijuit de temperatuur, luchtsnelheid, activiteitsniveau en kleding kon aanpassen, er 'geen' discomfort zou bestaan. Hoe meer beïnvloedingmogelijkheden men heeft, des te uiteenloper de omstandigheden die in de normen getolereerd kunnen worden. Het gaat dus niet zozeer om het meer natuurlijk laten verlopen van de omstandigheden, maar om flexibiliteit in de regelstrategie.
- Yun (2008) concludeert na gebruikersonderzoek:
 - Energiebesparingsmaatregelen in gebouwen blijken vaak niet succesvol door een gebrek aan begrip van de perceptie en het gedrag van gebruikers.
 - Gebruikersgedrag geeft een 100% variatie op energiegebruik.
 - Het kantoor met het meest gebruiksvriendelijke raamontwerp had het hoogste niveau van comfort.
 - Ramen die een hoog niveau van 'ervaren beïnvloeding' hebben, hebben ook een hoog niveau van 'gebruikte beïnvloeding' (perceived and exercised control).
 - Dit betekent dat als een raam wordt ervaren als een beïnvloeder van het binnenklimaat, het ook frequenter en actiever wordt gebruikt.
 - Er is een positieve correlatie gevonden tussen ervaren beïnvloeding en de gemiddelde binnentemperatuur.
 - Als de ervaren beïnvloeding toeneemt, neemt de tijd dat een raam open staat ook toe.
 - Het openen van ramen bij buitentemperaturen hoger dan binnentemperaturen vergrootte het comfort door het koelende effect van hoge luchtsnelheden tot 0,8m/s. De comforttemperatuur werd hierdoor 2 tot 2,6°C hoger.
- Er is een adaptief basis-algoritme ontwikkeld voor het voorspellen van de waarschijnlijkheid dat ramen geopend zijn, voor het gebruik in simulatie software. Hiermee ontstaat extra inzicht in raamopening gedrag en kan het effect van het gebouwontwerp en raamopening gedrag op gebruikerscomfort en energiegebruik in verschillende situaties kwantificeren (Haldi, 2010).

2.3 Thermisch comfortmodellen en temperatuurcriteria

- Het fysiologische model van Fanger is misleidend, omdat het geen rekening houdt met het dynamisch opslaan van warmte en geen rekening houdt met menselijk gedrag dat streeft naar adaptatie (Baker, 2004).
- Criteria voor thermisch comfort, zoals NEN-ISO 7730, zijn gebaseerd op laboratoriumonderzoek dat tot doel had het minimaliseren van thermische onbehaaglijkheid voor een groep. De proefpersonen droegen dezelfde kleding, verbleven enkele uren in de klimaatkamer, deden dezelfde kunstmatige taken en waren gericht op het invullen van vragen over hun thermische sensatie. Er was geen contact met buiten, geen invloed van voorgaande ervaringen, geen werkstress, geen collega's, in feite bevonden de proefpersonen zich in een abstractie van de werkelijkheid (Stoops, 2004).
- Bij onderzoek wordt eerst gekeken naar discomfort, een individu is thermisch comfortabel als hij of zij het niet te warm of te koud heeft (aangegeven op de 7 punts-thermische sensatieschaal). Het is niet de temperatuur die wordt geprefereerd, maar de temperatuur waar men niet over klaagt. De criteria zijn dus ontworpen op het minimaliseren van het percentage ontevreden en niet op het maximaliseren van het percentage tevreden (Stoops, 2004).
- Gebruikers zijn vooral gericht op het oplossen van alle vormen van discomfort, minder op het nastreven van de optimale situatie. "Goed genoeg" kan het

makkelijkst worden bereikt in een eenvoudig gebouw met veel gebruikersinvloed. De grootste vijand van gebruikerstevredenheid is een overgecompliceerd gebouw. De grootste vriend is eenvoud en begrijpbaarheid, georganiseerde feedback, het serieus nemen van klachten en een snelle respons door het gebouwmanagement bij klachten. Goede bruikbaarheid kan worden bereikt door:

- Voorspelbare en redelijk acceptabele uitgangssituaties (setpoints etc).
- Mogelijkheden voor interventies en correcties door de gebruiker.
- Snelle respons van het gebouw en feedback dat er een snelle respons is (Leaman & Bordass, 2001).
- Mensen prefereren vaak een andere thermische omgeving dan neutraal op de ASHRAE-schaal (Humphreys, 2007).
- Voor de meerderheid van de onderzochte gebouwen, zowel natuurlijk geventileerd, als airconditioned, gaf de PMV een onjuiste waarde voor het comfort van de groep en was alleen in een smal gebied, rondom “thermisch neutraal” voldoende nauwkeurig (Humphreys, 2001).
- Mensen die zich warmer dan neutraal voelen hebben veel minder last van tocht bij hoge lichtsnelheden die normaliter in kantoren tot tochtklachten leiden. Bijvoorbeeld: tot 1,6m/s bleek acceptabel bij 30°C (Toftum, 2004 in van Hoof, 2010).
- Wanneer er in een PMV-berekening rekening wordt gehouden met de invloed van maatregelen die bewoners nemen, zoals het bedienen van ramen, zonwering, verhogen van de lichtsnelheid, het aanpassen van kleding, langzamer bewegen, koele dranken drinken, dan zien we dat deze zogenoemde “adaptieve stapjes” de comfortgrens verschuiven van 25°C naar circa 29°C (Baker, 1996).
- Uit twee omvangrijke veldonderzoeken in voornamelijk kantoren en slechts enkele woningen zijn comfortgrenzen afgeleid die afhankelijk zijn van een lopend gemiddelde buitentemperatuur. Beide onderzoeken komen tot ongeveer dezelfde temperatuurgrenzen (de Dear en Brager, 1998, Nicol en Humphreys, 2005).
- Duits veldonderzoek laat zien dat natuurlijk geventileerde gebouwen en mechanisch gekoelde gebouwen voor 95% van de tijd aan klasse I voldeden als naar de bovengrens werd gekeken, maar de ondergrens van klasse I werd in de NV gebouwen tot 45% onderschreden en in de AC gebouwen tot 80% (Kalz, 2010).

2.4 Normen en richtlijnen

- De SCATs database / EN 15251 is gebaseerd op Europese gebouwen en daarom voor Nederland meer geschikt dan RP884/ASHRAE-55 (Nicol & Humphreys, 2010).
- In SCATs zijn echter weinig gegevens over lichtsnelheden boven 0,1 m/s (Nicol & Humphreys, 2010).
- Op basis van de ASHRAE database hogere lichtsnelheden voorgesteld dan 0,2 m/s, zodat minder koeling nodig is (Hoyt, Zhang en Arens, 2010). Voorwaarde is dat de thermische beleving neutraal of warm is.
- In de huidige normen zoals de ISO 15251 overheerst het uitgangspunt dat ‘normale’ gebouwen volledige klimatisering hebben en dat bijvoorbeeld gebouwen zonder koeling, met passieve klimaatbeheersing, of met veel gebruikersinvloed inferieur zijn. Natuurlijke ventilatie wordt beschouwd als een alternatief voor mechanische ventilatie, niet als een equivalent (Nicol & Wilson, 2010).
- Deze manier van denken kan leiden tot gewenning aan een steeds nauwere temperatuurbreedte en daarmee steeds energie-intensievere verwachtingen. Het is echter de vraag of dit nodig is; met free running gebouwen en een adaptieve benadering is op zijn minst dezelfde mate van tevredenheid mogelijk (Nicol & Wilson, 2010).

- In gebouwen met betonkernactivering wordt aanbevolen ook een minimum luchtsnelheid te hanteren (Zhen Tian & Love, 2008).
- Er is nog te weinig bekend over thermisch comfort in hybride gebouwen om daar een valide richtlijn voor te kunnen opstellen (Borgeson & Brager, 2010). Waarschijnlijk kan de temperatuurbovengrens bij een adaptieve benadering in hybride gebouwen 3-7K hoger worden gekozen dan gebruikelijk (Roetzel et al, 2009). Er zijn aanwijzingen dat de comfortbeleving in hybride gebouwen hoog is (Wagner, 2008). Op grond van een onderzoek in een beperkt aantal gebouwen wordt geconcludeerd dat de comfortperceptie in hybride gebouwen waarschijnlijk sterk lijkt op die in *free running* gebouwen (Rijal et al, 2009).
- Comfortbandbreedtes moeten niet te absoluut (geen valbijcriterium) worden voorgesteld (Nicol en Brager, 2010). Zij stellen voor meer te kijken naar de *mate* van voorspelde afwijking t.o.v. de neutrale temperatuur, en de *kans* op die afwijking. Behaaglijkheid kan zodoende gekarakteriseerd worden in een histogram. Interpretatie vraagt inzicht en oefening. Brager stelt voor om bij een hogere kans op meer discomfort de 'adaptive opportunity' te vergroten d.m.v. te openen ramen en andere beïnvloedingsmogelijkheden.
- Op basis van veldonderzoek zijn de ASHRAE-aanbevelingen aangepast (ASHRAE-2009) om hogere luchtsnelheden toe te laten en zo hogere temperaturen (tot 1,2 m/s met gebruikersinvloed) toe te staan in natuurlijk geventileerde gebouwen (Arens, 2009).

2.5 Productiviteit

- Uit een veldonderzoek bleek de optimale productiviteit op te treden bij 25,6°C. De optimale verhouding productiviteit / energiegebruik lag bij 27,3°C (Tawada et al., 2009).
- Uit een ander veldonderzoek bleek dat het menselijk zenuwstelsel actiever is bij 23°C dan bij 20 of 26°C (Tham & Willem, 2010).
- Grote temperatuurschommelingen verbeteren de productiviteit, maar zorgen ook voor discomfort en zijn daarom alleen acceptabel als ze door de gebruiker gestuurd worden. Bijvoorbeeld door een raam te openen. (Wyon, 1973, in Olesen 2008).
- Performance is gerelateerd aan thermische sensatie i.p.v. aan alleen temperatuur (Jensen, 2009).
- Routinematige werkzaamheden worden het best uitgevoerd bij een thermische sensatie van 'een beetje koel, -1', terwijl werkzaamheden die een grotere mentale inspanning vergen (creatief denken, probleem oplossing) het beste worden uitgevoerd bij 'een beetje warm, +1' (Jensen, 2009).
- In niet mechanisch gekoelde gebouwen is een groter deel van de mensen thermisch comfortabel bij dezelfde temperatuur als in mechanisch gekoelde gebouwen (Toftum, 2009).

2.6 Thermisch comfort woningen

- In woningen in Iran, waar de bewoners op meerdere plaatsen kunnen verblijven (meerdere kamers, veranda, binnenplaats, dakterras, tuin) bleek dat het aantal uren dat een PPD van 20% wordt overschreden in een zomersituatie teruggebracht werd van 530 naar 115 uur. De PPD daalde van 67% naar circa 0% (Merghany, 2004).
- Slaapvertrekken zijn het gevoeligst voor warmte-discomfort. De comforttemperatuur ligt lager (thermofysiologisch) en de adaptieve mogelijkheden zijn beperkt. Slaapvertrekken dienen koeler te zijn dan woonvertrekken, hoeveel wordt niet aangegeven (Mayens, 2002).
- In woningen zijn mensen minder oncomfortabel onder warme omstandigheden (warmer dan het optimum van thermoneutraliteit) dan de PPD voorspelt (Becker & Paciuk, 2009 in van Hoof, 2010).

- De bandbreedte van thermisch comfort in woningen is enorm en veel groter dan in kantoren. Zo bleek in Californische huizen de temperatuur “dragelijk” tussen 10 en 36°C (Ubbelohde, 2004).
- Tussen comfort en discomfort ligt een enorm “niemandsland” (Ubbelohde, 2004).
- De Adaptieve Comfort Standaard (ACS) van ASHRAE 55 komt het meest overeen met de omstandigheden in woningen (in vergelijking met andere comfortmodellen). Op enkele aspecten wijken woningen af:
 - In een huis heeft het activiteitsniveau een grotere bandbreedte dan in een kantoor en varieert veel meer in een korte tijd.
 - In woningen zijn de adaptieve mogelijkheden veel groter dan in kantoren door het aanpassen van kleding, activiteit, locatie en het openen van ramen en deuren (Ubbelohde, 2004).
 - De ACS is verminderd van toepassing op kinderen, ouderen en minder validen.
 - In een huis hebben we met een kleinere steekproef te maken dan in een kantoor, waardoor de thermische voorkeur kan afwijken van ACS.
 - De ACS geldt alleen voor natuurlijk geventileerde omstandigheden en niet voor het ACC- huis (Alternatives to Compressor Cooling) in hete klimaatgebieden, waarin natuurlijke koeling gecombineerd wordt met een back-up airconditioning.

2.7 Thermisch comfort scholen

- Een uitgebreid veldonderzoek in klaslokalen in Taiwan geeft aan dat de werkelijke temperatuur-acceptatie groter is dan de gebruikelijke 80%-bandbreedte (Hwang R.L. et al., 2008).
- Uit kleinschalig veldonderzoek blijkt dat natuurlijk geventileerde klaslokalen met automatisch bediende ramen een flinke verbetering kunnen geven t.o.v. alleen handmatige bediening. Goede keuze van raamposities en het regelalgoritme zijn cruciaal (Hellwig, 2010).
- Ook ander onderzoek onderstreepte dat automatisch gestuurde ramen tot energiereductie kunnen leiden (Rijal & Stevenson, 2010).
- Houdt er bij inrichting en ontwerp rekening mee dat er goed schoongemaakt kan worden en dat het onderhoud niet belemmerd wordt (Van Dijken et al., 2009).
- Stimuleer het toepassen van materialen met een lage emissie (Van Dijken et al., 2009).

2.8 Temperatuurvariatie en gezondheid

Regelmatige lichamelijke inspanning verbetert de cardiovasculaire gezondheid. Het cardiovasculaire systeem wordt geregeld door het sympathisch autonome zenuwstelsel, evenals het thermoregulatiesysteem. De twee systemen zijn gerelateerd. In de medische wetenschap zijn er aanwijzingen dat ook stimulatie van het thermoregulatiesysteem een gunstig effect op de gezondheid heeft. Onze binnenruimtes zijn er echter zodanig geconditioneerd dat thermische stimulatie zo veel mogelijk wordt vermeden en we ons thermoregulatiesysteem zo min mogelijk oefenen (Stoops, 2004).

2.9 Bijzondere groepen

- Ouderen ervaren de thermische omgeving anders dan jongeren als gevolg van fysiologische, gedragsmatige en psychologische verschillen (Van Hoof, 2006).
- Eenduidige eisen voor temperaturen voor ouderen zijn niet eenduidig te geven (Van Hoof, 2006).
- Tijdens de hittegolf in de Verenigde Staten in 1995 vielen er meer doden dan tijdens eerdere hittegolven, omdat mensen nu minder vaak verkoeling zochten in parken, zwemgelegenheden en andere natuurlijke afkoelingsmogelijkheden,

- maar binnen bleven en (onterecht) vertrouwden op de airconditioning. De grote pieken in energievraag leidden tot stroomuitval en zeer hoge binnentemperaturen (Chappells & Shove, 2003).
- Voor toekomstige woningen voor ouderen wordt gesuggereerd passieve, architectonische oplossingen te kiezen voor het beheersen van het binnenklimaat, aangevuld met technologische systemen in de vorm van automatisch sluiten van ramen, individuele temperatuurprofielen per kamer en airconditioning voor extreme weersomstandigheden (Van Hoof, 2006).
 - Vrouwen beleven de omstandigheden onder koude omstandigheden als kouder; bij neutrale en gematigd warme omstandigheden het zelfde als mannen (Parsons, 2002).
 - Groepen met een geestelijke handicap hebben afwijkende perceptie van thermisch comfort (van Hoof, 2008).
 - De acclimatisatie van het menselijk lichaam is aanwezig, maar te klein om rekening mee te houden (Parsons, 2002).
 - Mensen kunnen hun thermisch comfort beïnvloeden met kleding, maar de invloed is wel gebonden aan grenzen. Een bovengrens zijn de gebieden 'modesty' en 'acceptability'. Een goede hypothese voor de ondergrens is 15 °C tot 18 °C (Parsons, 2002).
 - Een onderzoek vond een verband tussen kleurbeleving en warmteperceptie. Ook de overgangssnelheid van op de muur geprojecteerde animaties had invloed (Kumazawa T. 2009).

3 Samenvatting literatuurbronnen

Humphreys, M.A., Rijal, H.B., Nicol, J.F., “Examining and developing the adaptive relation between climate and thermal comfort indoors”, in *Proceedings of conference: Adapting to Change: New thinking on Comfort, Cumberlands Lodge, Windsor, UK, 9-11 april 2010, London, Network for Comfort and Energy Use in Buildings.*

Er wordt eerst een overzicht gegeven van de ontwikkelingen in veldonderzoek sinds de jaren 1970: de modellen van Humphreys, Auliciems, de ASHRAE database en de SCATS-project. De zekerheden en onzekerheden van de statistische methodieken worden besproken en de consequenties voor veldonderzoek en toepassingen van de data in normen en richtlijnen. Alle modellen blijken een vorm te zijn van:

$$T_{\text{comf}} = a T_o + b$$

waarbij a de richtingscoëfficiënt is, T_{comf} de comforttemperatuur en T_o de buitentemperatuur (in verschillende verschijningsvormen). De overeenkomsten tussen de modellen zijn groot, maar het verschil zit in de horizontale as. De oudere onderzoeken gebruiken de gemiddelde maandtemperatuur, terwijl het SCATS-onderzoek de T_{rm} . T_{rm} (morgen) = $0,8 * T_{\text{rm}}$ (gisteren) + $0,2 * T_{\text{rm}}$ (vandaag). *De verticale as* geeft de T_{comf} , de comforttemperatuur, die wordt uitgedrukt als de Operatieve temperatuur, een gewogen gemiddelde tussen de lucht- en de gemiddelde stralingstemperatuur.

Luchtsnelheid. In gematigde omstandigheden kan de comforttemperatuur worden verhoogd volgens $7 - 50/(4 + 10\sqrt{v})$, waarin v de luchtsnelheid in m/s is. Wanneer de luchtsnelheden lager dan 0,1 m/s zijn, wordt 0,1 m/s aangehouden.

Luchtvochtigheid. De luchtvochtigheid heeft een heel klein effect op de comforttemperatuur, maximaal 1K over het totale gebied van de dampdruk.

Neutrale of geprefereerde temperatuur. Er zijn verschillen tussen de schalen die kunnen oplopen tot maximaal 0,7K, maar er is veel onzekerheid betreffende de verschillen en verder onderzoek is nodig.

Een heranalyse van zowel de ASHRAE- als de SCATS-database, waarbij de meetresultaten niet transversaal, maar longitudinaal zijn geanalyseerd leverde “day-survey”resultaten op. Hieruit bleek dat de verschillen tussen de regressiecoëfficiënten die gevonden worden bij transversaal onderzoek tussen natuurlijk geventileerde en airconditioned gebouwen, niet of nauwelijks gevonden worden bij “day-survey” analyses, waaruit wordt afgeleid dat mensen in AC-gebouwen gevoeliger zijn voor temperatuurvariaties. Verder bleek uit deze analyses dat 2K verschil in operatieve temperatuur overeen komt met 1 schaal eenheid op de ASHRAE-schaal.

De horizontale schaal is een vorm van de gemiddelde buitentemperatuur, maar er is geen onderzoek gedaan naar de weging van de dagelijkse minimum en dagelijkse maximum buitentemperatuur. Uit de ASHRAE database blijkt dat de minimumtemperatuur om 6:00 uur meer invloed heeft op de voorspelling van de comforttemperatuur dan de maximumtemperatuur om 15:00 uur, maar beiden zijn gecorreleerd en vooralsnog wordt aangenomen dat de weging en tijdstippen van de temperaturen niet kritisch zijn.

De waarde van α voor de running mean buitentemperatuur werd gevonden bij de hoogste correlatie met de comforttemperatuur. α drukt het thermische gedrag van het gebouw uit (voor een groot deel afhankelijk van het thermisch accumulerend vermogen), samen met de vertraagde gedragsmatige reacties van de gebruikers op temperatuurveranderingen in het gebouw. Het thermisch gedrag van het gebouw kan dus invloed hebben op α . Bij diverse onderzoeken komt α gemiddeld uit op circa 0,8. De halfwaardetijd $\lambda = 0,69/(1-\alpha)$, dus bij $\alpha=0,8$ is de halfwaardetijd 3,5, wat betekent dat als er een verandering in de gemiddelde buitentemperatuur optreedt, de comforttemperatuur binnen er circa 3,5 dag over doet om de helft van de nieuwe waarde te bereiken, of een week naar driekwart van de nieuwe waarde.

Free Running modus

Op basis van 209 surveys en 58.000 waarnemingen (enquêtes en metingen) zijn de neutrale temperaturen voor FR modus uitgezet tegen de buitentemperatuur. De vergelijking is

$$T_n = 13,8 + 0,53 T_o$$

T_n is de neutrale temperatuur en T_o de overheersende buitentemperatuur. Het blijkt dat de spreiding van de neutrale temperaturen geen randomfouten zijn, maar systematische verschillen tussen de neutrale temperaturen van verschillende groepen mensen bij een bepaalde gemiddelde buitentemperatuur. Daarom dienen de resultaten niet als lijn, maar als band te worden weergegeven (FIGUUR 13).

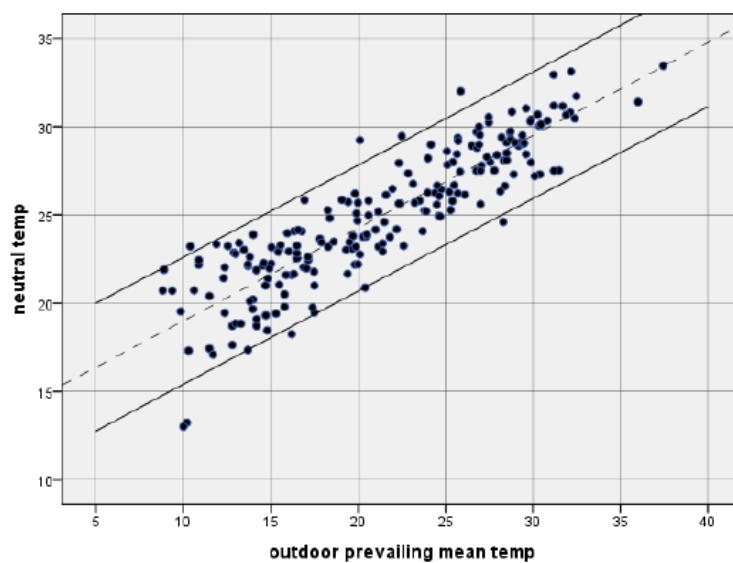


Figure 13 The neutral temperatures for buildings in the FR mode against the prevailing outdoor temperature

Dit betekent dat we niet meer verschillende percentages ontevreden kunnen toekennen aan verschillende lijnen parallel aan de regressielijn (het betreft immers geen spreiding), zoals wordt gedaan in ASHRAE55-2004 en de klassenindeling in EN-15251. Het discomfort hangt af van de afstand van de werkelijke neutrale temperatuur, niet van de regressieschatting van de neutrale temperatuur. Dit betekent dat er een grens is aan de grootte van het temperatuurverloop dat acceptabel is gedurende een werkdag, zodat de mensen voldoende kunnen adapteren.

In figuur 14 en 15 is te zien dat mensen allerlei adaptieve maatregelen nemen om hun neutrale temperatuur zo dicht mogelijk bij de gemiddeld ervaren temperatuur te brengen in FR gebouwen.

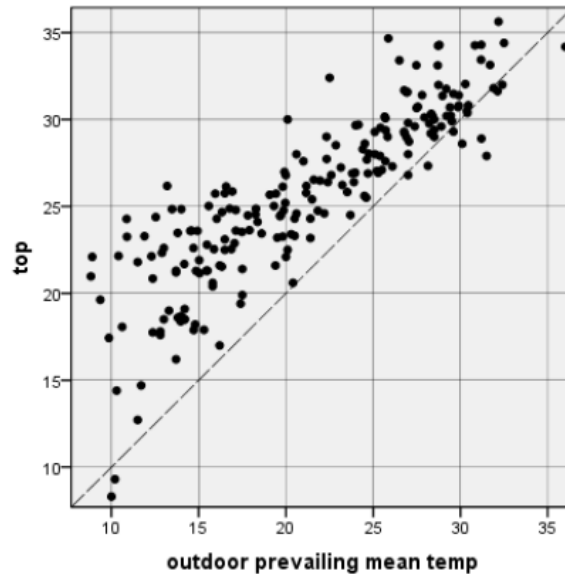


Figure14. Scatter-plot of the mean indoor operative temperature against the prevailing outdoor temperature for buildings in the FR mode.

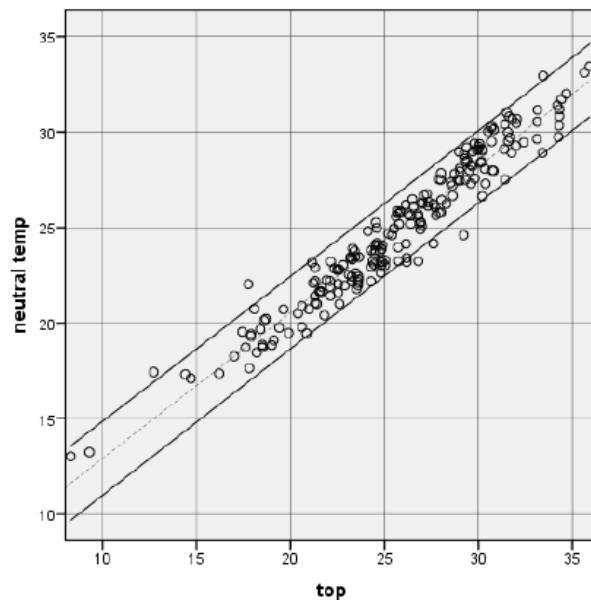


Figure 15. Neutral temperatures and the mean operative temperatures (top) for buildings operating in the FR mode. The lines include 95% of the points. $r=0.97$

In figuur 16 zijn de neutrale en operatieve temperaturen over elkaar afgebeeld. De grote overlap laat zien dat het mogelijk is om een gebouw over een grote range van buitentemperaturen in de FR modus te laten functioneren.

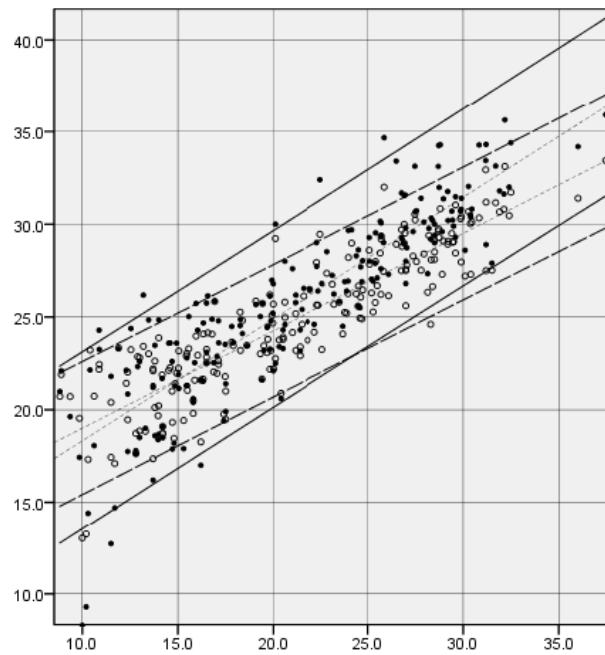


Figure 16. Scatters of neutral temperatures and mean operative temperatures superimposed. The horizontal axis is the prevailing outdoor temperature. The open points are the neutral temperatures and the filled points the mean operative temperatures. The dashed lines delineate the zone in which lie 95% of the neutral temperatures, and the solid lines the equivalent zone for the mean operative temperatures. (FR mode)

Verwarmen of Koelen modus

Op dezelfde wijze als bij de FR modus zijn de data geanalyseerd voor de Heated or Cooled Modus. The HC mode applies to a building while using heating in cold weather, to a building while using cooling in hot weather, and to buildings that are air-conditioned all year round. Ook hier blijkt dat de spreiding van de neutrale temperaturen geen randomfouten zijn, maar systematische verschillen tussen de neutrale temperaturen. In figuur 18 is te zien dat de neutrale temperaturen klimaatafhankelijk zijn, met een duidelijke tendens van stijging tussen 10 en 30°C en een waarschijnlijke voorkeur voor hogere temperaturen wanneer het buiten erg koud is.

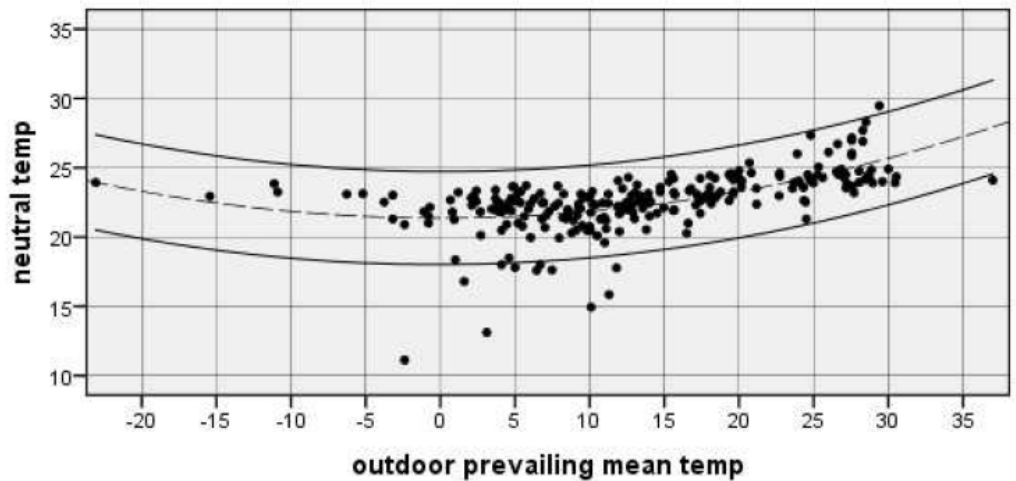


Figure 18. Scatter of neutral temperatures and the prevailing mean outdoor Temperatures

Conclusies:

- De operationele temperatuur is een voldoende nauwkeurige thermische index om een neutrale temperatuur te definiëren als de luchtsnelheid laag is en de relatieve luchtvochtigheid niet hoog. Voor hoge luchtvochtigheden en hoge luchtsnelheden kunnen aanpassingen worden gedaan.
- Mensen zijn vrij gevoelig voor temperatuurverschillen die binnen een werkdag optreden. De gevoeligheid is 0,5 ASHRAE schaal eenheid per K. Er dient dus een grens te worden gesteld aan het temperatuurverschil over een dag. De waarde van de gevoeligheid (0,5/K) moet echter nog verder worden onderzocht.
- De beste parameter voor de heersende buitentemperatuur blijkt de RMOT, met een alfawaarde van circa 0,8.
- De nieuwe analyses laten een grotere gevoeligheid zien van de comforttemperatuur voor de heersende buitentemperatuur dan in ASHRAE Standard 44-2004 of NEN-EN 15251.
- Het is in principe mogelijk om thermisch comfortabele gebouwen te ontwerpen en beheren in de free-running modus, tenminste bij een range van buitentemperaturen van 10-30°C.
- De meeste data zijn afkomstig van kantoren, maar ook woningen, scholen en licht industriële omgevingen zitten in de database.

Arens, et. al., “Are ‘class A’ temperature requirements realistic or desirable?”, *Building and Environment*, No 45 (2010), pp. 4-10.

ISO7730 en NEN-EN15251 hanteren 3 categorieën binnenmilieukwaliteit, I, II en III, waarbij categorie I de nauwst geregelde bandbreedte heeft. In ASHRAE 55 worden de termen klasse A, B en C gebruikt. In tabel 1 is te zien dat hoe lager de PPD is, hoe nauwer de bandbreedte rond PMV=0 ligt. Naarmate de bandbreedte nauwer moet worden geregeld is er meer energie benodigd. In utiliteitsgebouwen is voor iedere graad K temperatuurverandering circa 7% meer energie benodigd en in woningen circa 10%. Dat betekent dat de verschillen tussen twee opeenvolgende klassen 12% energieverschil te zien geeft in utiliteitsgebouwen en in woningen 20-30%.

De vraag die zich hier dus opwerpt: leidt deze extra hoeveelheid energie ook tot een daadwerkelijk comfortabeler klasse A, vergeleken met klasse B en C? Tot nu toe zijn er geen onderzoeken uitgevoerd of deze klassen in binnenklimaatkwaliteit op papier ook in werkelijkheid, door mensen in gebouwen worden ervaren.

Er zijn 3 databases gebruikt voor dit onderzoek:

- ASHRAE RP884, dit waren 45 airconditioned kantoorgebouwen
- SCATS database, 26 kantoorgebouwen van verschillend type in 5 Europese landen.
- Berkeley City Centre, een modern, natuurlijk geventileerd gebouw in Californië.

In de gebouwen zijn luchttemperatuur, stralingstemperatuur, luchtsnelheid en luchtvochtigheid gemeten, zijn de clo- en metwaarden bepaald, zodat PMV-waarden konden worden berekend en is de temperatuuracceptatie van de gebruikers via vragenlijsten bepaald.

In figuur 5, 6 en 7 zijn de gevonden clo-waarden weergegeven.

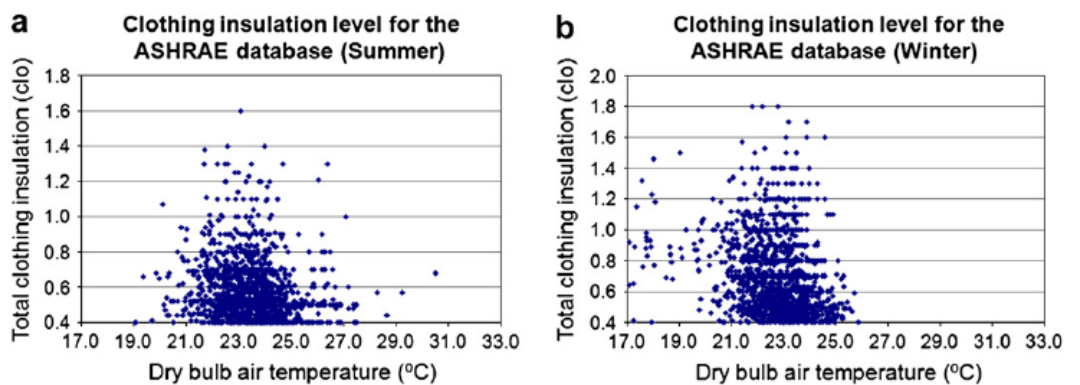


Fig. 5. (a) ASHRAE database clothing insulation for summer. (b) ASHRAE database clothing insulation for winter.

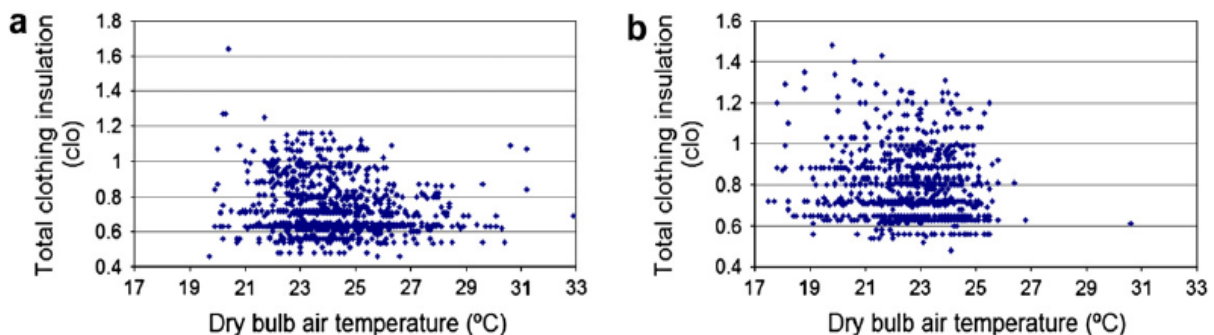


Fig. 6. (a) Berkeley Civic Center (a naturally ventilated building) clothing insulation for summer. (b) Berkeley Civic Center (a naturally ventilated building) clothing insulation for winter.

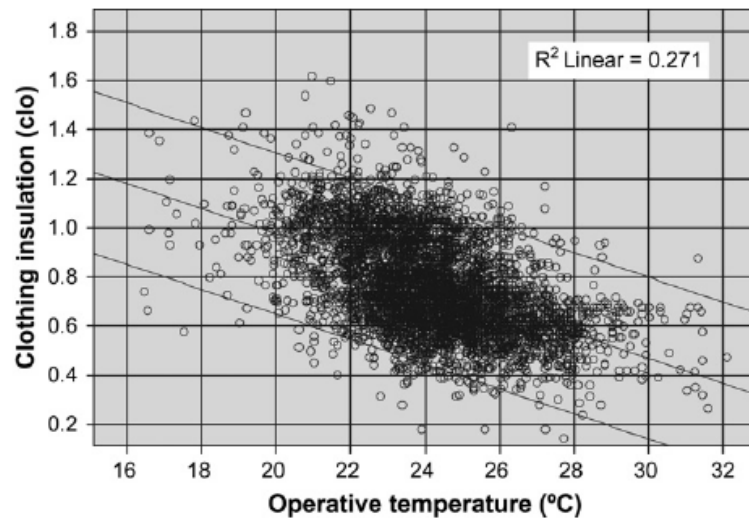


Fig. 7. SCATs: clothing versus indoor operative temperature. The bands enclose 95% of the observations and show a variation of about 0.6 clo at any given temperature.

De clo-waarde varieert bij dezelfde operatieve temperatuur van 0,4 tot 1,2 clo!

In figuur 9, 10 en 11 zijn de gevonden metwaarden weergegeven.

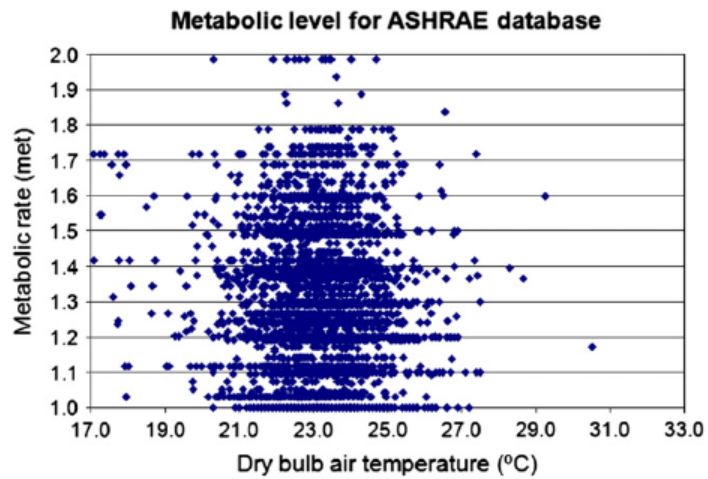


Fig. 9. ASHRAE database: metabolic level varies from 1.0 to 1.8 met.

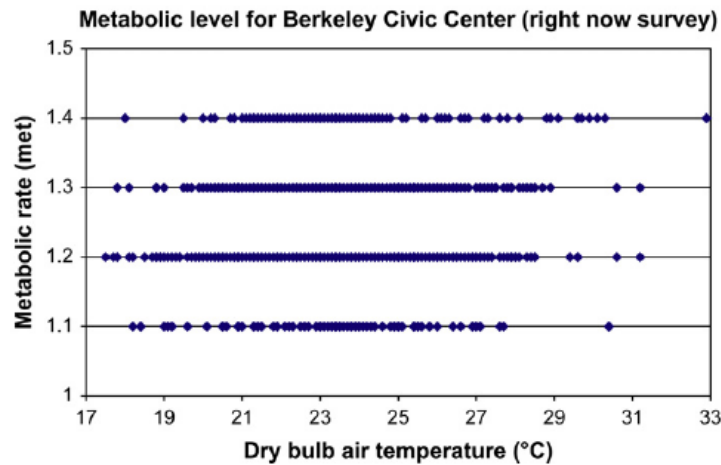


Fig. 10. Berkeley Civic Center: metabolic level varies from 1.1 to 1.4 met.

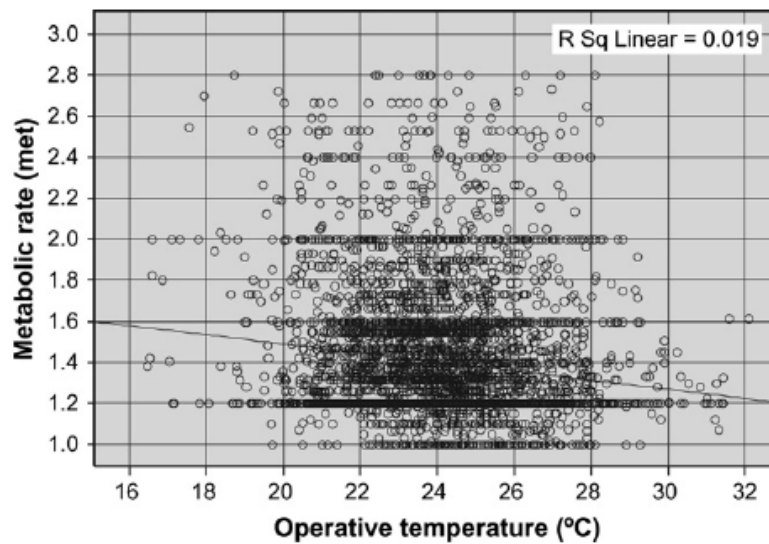


Fig. 11. SCATS data: metabolic rate varies from 1.0 to 2.8 met.

Ook de variatie in meetwaarde is groot: van 1,1 tot 1,4 in de ASHRAE-database en 1 tot 2,8 in de SCATS-database.

Tabel 2, 3 en 4 geven aan hoe de verschillende klassen in de praktijk worden ervaren door de gebruikers in respectievelijk de ASHRAE-database, de SCATS-database en de BCC-database.

Table 2
Results of the ASHRAE RP-884 database enquiry.

Office rating	PMV range	Townsville summer wet season (% accept)	Townsville summer dry season (% accept)	Kalgorlie–Boulder summer season (% accept)	Kalgorlie–Boulder winter season (% accept)	Montreal summer season (% accept)	Montreal winter season (% accept)
Class A	±0.2	74.4 (n = 160)	84.2 (n = 203)	88.9 (n = 163)	86.7 (n = 166)	81.2 (n = 129)	86.3 (n = 100)
Class B	±0.5	77.5 (n = 346)	81.0 (n = 394)	87.8 (n = 320)	84.5 (n = 373)	84.2 (n = 272)	86.0 (n = 250)
Class C	±0.7	77.2 (n = 425)	79.2 (n = 476)	88.3 (n = 393)	84.3 (n = 452)	84.4 (n = 333)	86.0 (n = 320)

Observed acceptability percentages (sample sizes indicated in parentheses) within the three office quality ratings defined in terms of PMV.

Table 3

Results of the SCATs database enquiry (the percentages voting comfortable, and voting within the three central categories of the ASHRAE thermal sensation scale).

PMV range	N	% voting in central three categories of ASHRAE scale (\pm SE)	% comfortable (overall comfort \geq 4)
-0.2 < PMV < 0.2	966	87.2 \pm 1.1	80.0 \pm 1.3
-0.5 < PMV < 0.5	2210	87.9 \pm 0.7	78.6 \pm 0.9
-0.7 < PMV < 0.7	2902	87.3 \pm 0.6	78.2 \pm 0.7

'Overall comfort' (in column 5) is based on a six-point scale: 1, very uncomfortable; 2, moderately uncomfortable; 3, slightly uncomfortable; 4, slightly comfortable; 5, moderately comfortable; 6, very comfortable. The numbers are the percentages on the comfortable portion of the scale.

Table 4

Results of the BCC database enquiry (observed acceptability percentages within the three office quality ratings defined in terms of PMV ranges).

PMV range	Sample size (inclusive)	Thermal acceptability (% \pm SE)	Want warmer (%)	No change (%)	Want cooler (%)
\pm 0.2	721	89.0 \pm 1.2	9.9	62.9	27.2
\pm 0.5	1427	87.3 \pm 0.9	10.4	61.7	28.5
\pm 0.7	1686	86.2 \pm 0.8	10.7	59.3	29.9

Conclusies

Het blijkt dat een nauwere bandbreedte niet door de gebruikers als comfortabeler of acceptabeler wordt ervaren. Er zijn óf helemaal geen verschillen, óf de verschillen zijn niet statistisch significant. Er is dus geen wetenschappelijke onderbouwing om gebouwen binnen klasse A te regelen, zeker gezien de extra energie die hiervoor nodig is. Klasse C lijkt op de grens van 80% acceptatie te zitten, waardoor klasse B het meest realistische is.

Wel kan worden overwogen om het binnenklimaat te classificeren volgens de mate van adaptieve regelmogelijkheden of het energiegebruik dat nodig is voor het comfort van de gebruikers.

Mendell M. J., Mirer A. G. "Indoor thermal factors and symptoms in office workers: findings from the US EPA BASE study", *Indoor Air 2009*; 19: pp. 291–302.

In 95 kantoorgebouwen in de VS is het verband onderzocht tussen gemeten temperatuurniveaus en de perceptie van gezondheid tijdens het verblijf in de gebouwen.

In de winter kwamen de temperaturen grotendeels overeen met de richtlijnen, terwijl in de zomer de temperaturen lager waren dan de richtlijnen voorschrijven.

Hogere temperaturen in de winter leidde tot een toename van alle symptomen, terwijl een hogere temperatuur in de zomer juist leidde tot een afname van de symptomen. Er wordt geconcludeerd dat minder conditioneren van gebouwen, dus minder koelen in de zomer en minder verwarmen in de winter, niet alleen tot een reductie in het energiegebruik leidt, maar ook een, onverwacht, gunstig effect heeft op de perceptie van de gezondheid in de gebouwen.

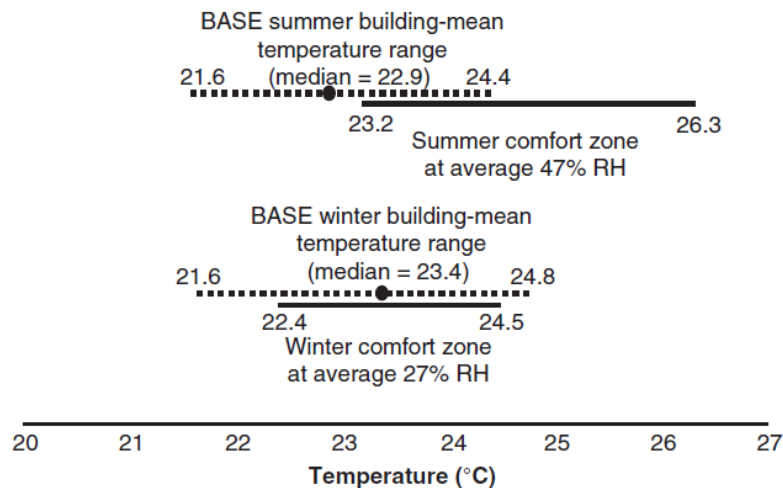


Fig. 1 Observed indoor temperatures in BASE buildings relative to recommended thermal comfort guidelines (ASHRAE, 2005b), by season

Nicol, J.F., Humphreys, M.A., “New standards for comfort and energy use in buildings”, *Building Research & Information*, No 37(1) (2009), pp. 68-73.

Dit artikel gaat in op de consequenties van recent onderzoek naar adaptief thermisch comfort voor de toekomst van normen en richtlijnen. Decennia lang zijn normen en richtlijnen gedomineerd door laboratoriumonderzoek. Recent onderzoek naar adaptief thermisch comfort toont aan dat normen en richtlijnen een geheel andere benadering vereisen om comfortniveaus te verhogen en energiegebruik te verlagen.

Thermische adaptatie is dynamisch en thermisch comfort is geen ‘product’ dat aan gebouwgebruikers wordt geleverd, maar een ‘doel’ dat de gebruikers nastreven, als ze de mogelijkheden worden geboden door het gebouw (Shove, 2003, Shove et al., 2008). De beïnvloedingsmogelijkheden die de gebruikers hebben over de omgeving is gedeeltelijke gegeven door het gebouw en de installaties en is in bepaalde situaties beperkt. Ook veranderen die omgevingscondities met de tijd. Dit dynamische comfortmodel vereist een andere benadering van comfort dan een die er van uitgaat dat slechts een temperatuur acceptabel is. Verandering en beweging, in de context van goed begrepen gedragspatronen, zijn de essentie van de adaptieve benadering.

Mensen reageren op discomfort door of te trachten de omgeving aan te passen (ramen, thermostaat) of door hun ‘vraag’ aan te passen (kleding, houding). Het gebouw moet dus aan de gebruikers de mogelijkheden bieden comfort te realiseren. Hiervoor moet het gebouw aan enkele eenvoudige regels voldoen:

- *Gebruikelijke en voorspelbare temperaturen.* Gebouwen moeten gebruikelijke, voorspelbare temperatuurniveaus bieden, zodat gebruikers eenvoudig hun comforttemperatuur zo dicht mogelijk bij de heersende temperatuur kunnen brengen.
- *Beïnvloeding door gebruikers.* Er moeten eenvoudige, gemakkelijk bedienbare en effectieve beïnvloedingsmogelijkheden zijn. Voorbeelden zijn te openen ramen (die bruikbaar zijn) en plafondventilatoren voor de zomersituatie en

- lokale temperatuurbeïnvloeding in de winter. Een temperatuurbandbreedte van $\pm 2\text{K}$ (of equivalente bandbreedte van luchtsnelheden) is in de meeste gevallen voldoende.
- *Veranderende temperaturen.* De temperaturen zijn niet vast, maar bewegen door veranderingen die binnen en buiten optreden. Snelle verandering leiden tot discomfort en klachten, terwijl geleidelijke veranderingen over dagen acceptabel zullen zijn.
 - *Kledingvoorschriften.* Een veranderend binnenklimaat vereist dat gebruikers koele kleding kunnen dragen in de zomer en warmere kleding in de winter. Stricte kledingvoorschriften of dresscodes beïnvloeden het thermisch comfort en het energiegebruik nadelig. Dresscodes dienen daarom variabel te zijn en rekening te houden met de verschillende seizoenen.
 - *Temperatuurveranderingen binnen een dag.* Binnen de dag variëren mensen hun kledingisolatie maar beperkt en daarom mag de temperatuurvariatie niet te groot zijn, vermoedelijk niet meer dan 2K (maar verder onderzoek is nodig).
 - *Temperatuursveranderingen tussen de dagen.* Omdat mensen hun kledingisolatie van dag tot dag maar geleidelijk blijken te veranderen, mag het temperatuurverschil tussen twee opeenvolgende dagen maximaal 1K zijn en maximaal 3K over een week.

Thermisch comfort is een doel dat mensen nastreven. Ze willen zich niet oncomfortabel voelen en zullen maatregelen nemen hun discomfort te verminderen. Die maatregelen moeten dan door het gebouw worden geboden.

Santos A. M. B., Gunnarsen L., “Optimizing linked pairs of indoor climate parameters”, *Proceedings Indoor Air*, Vol. 3 (1999).

Bij dit onderzoek werden 30 geacclimatiseerde personen 3 uur lang in een 1-persoonsruimte geplaatst, waarbij ze de oppervlakte van het raam aan konden passen, de luchtsnelheid in de kamer konden regelen en het geluidsniveau konden variëren om een optimale binnentemperatuur te creëren. Het lineaire verband tussen elk paar van deze parameters voor 3 verschillende situaties werd onderzocht en een referentiemeting zonder verband tussen de parameters werd als referentie aangehouden. Het blijkt dat een afname van de operationele temperatuur van 1°C hetzelfde effect heeft op het ‘totaalcomfort’ als een toename van $0,5\text{ m}^2$ raamoppervlak, en een afname van het geluidsniveau (installatiegeluid) van 7dB(A). Met andere woorden: indien bereikt wordt dat met een bepaalde maatregel de luchttemperatuur met 1°C verlaagd wordt, dan accepteert men hierbij dat het raamoppervlak met $0,5\text{ m}^2$ verkleind wordt (bijvoorbeeld in de praktijk door het neerlaten van zonwering), of dat het geluidsniveaus met 7 dB toeneemt (bijvoorbeeld ten gevolge van het inschakelen van een koelunit). Ook bleek verhoging van de luchtsnelheid met $0,10\text{ m/s}$ hetzelfde effect te hebben als verlaging van de luchttemperatuur met 1°C .

Vroon, P.A., *Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen*, Utrecht, ISOR, 1990.

In dit boekje worden door Vroon tal van aspecten behandeld die van invloed (kunnen) zijn op het ontstaan van het sick building syndrome. Op thermische behaaglijkheid wordt niet specifiek ingegaan, maar er wordt wel vanuit de gedragswetenschappelijke invalshoek uitgebreid ingegaan op de relatie tussen de mens en zijn omgeving. Zo wordt met name ingegaan op een model van psychisch functioneren dat is gebaseerd op de evolutionaire geschiedenis van de mens. De strekking is dat onze woon- en werkomgeving grotendeels recent en vooral artificieel is en vaak kenmerken bezit die op gespannen voet staan met wetten die

ons functioneren al zeer lange tijd beheersen. Deze wetten werken op onderbewust niveau, zijn krachtig en niet op korte termijn beïnvloedbaar. De huidige wijze van bouwen sluit volgens Vroon in veel gevallen niet aan bij evolutionair oude software in ons functioneren, ofwel de basale wetten die het gedrag beheersen. Deze wetten zijn in het kort:

- Mens en dier hebben behoefte aan *verandering*. Dit geldt in de eerste plaats voor de atmosfeer (frisse lucht, temperatuur, vochtigheid). Een te homogene omgeving leidt ertoe dat de mens zich onprettig voelt.
- De mens wil voortdurend in zijn omgeving *ingrijpen*. Denk aan het ontbreken van de mogelijkheid de binnenomgeving van een kantoor te veranderen (atmosfeer, lawaai, meubilair).
- Aan prikkels moet een *betekenis* kunnen worden gegeven. Een geur die overal aanwezig is en niet herkend kan worden leidt tot een toestand van chronische alarmering.
- De mens streeft er altijd naar een *eigen territorium* te hebben. Hieraan wordt bijvoorbeeld in kantoortuinen niet tegemoet gekomen.
- De mens leeft pas enkele eeuwen lang in *artefacten* die zijn contact met de natuurlijke omgeving hebben verbroken.

Verder benadrukt Vroon de noodzaak van afwisseling. Het waarnemen van veranderingen is belangrijk bij het overleven van mens en dier. Bij een gebrek aan afwisseling wil een organisme zelf veranderingen creëren of gaat stoornissen vertonen. Als voorbeeld noemt Vroon een niet afwisselend binnenklimaat dat door een perfecte luchtbehandelinginstallatie wordt veroorzaakt en die een gebrek aan prikkels aan de huidzintuigen geeft. Dit kan contraproductief werken.

N. Baker, Human nature in *Environmental Diversity in Architecture*, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), New York, Spon Press, 2004.

Baker zet uiteen dat, hoewel de mens grotendeels binnen verblijft, hij evolutionair gezien een "buiten dier" is. Tot 15 generaties geleden, een te verwaarlozen periode op de evolutietijdschaal, verbleven mensen het grootste deel van de dag buiten. De vroege mens leefde buiten, zonder kleding en zonder hut. Door beschutting te zoeken in grotten, onder bomen of juist in de zon te zitten adapteerde de mens zich aan klimatologische variaties. Drie en een half miljoen jaar later, vlak voor de industriële revolutie, leefde onze voorouders nog steeds buiten. Het land bewerken, zaaïen, oogsten, irrigeren, draineren, vissen, jagen, bomen zagen, hutten bouwen, het gebeurde allemaal buiten. Mensen bezaten intensieve kennis van weer, wind, bewolking, regen en temperatuur. Maar in ook woningen volgde de binnentemperatuur de buitentemperatuur, omdat ramen nog niet werden toegepast, er veel werd geventileerd omdat men op open vuren kookte en omdat de isolatie beperkt was. Vanaf de industriële revolutie werd er in toenemende mate binnen gewerkt en gewoond, maar tot halverwege de vorige eeuw was er een nauwe relatie tussen het binnen- en buitenklimaat. De uitvinding van koeling door Carrier was het begin van het ontstaan van een van de omvangrijkste industrietakken ter wereld. Airconditioning maakte het mogelijk het binnenklimaat vrijwel onafhankelijk van het buitenklimaat te maken. Rond 1970 heeft de techniek de natuur veroverd.

Veldonderzoek van de afgelopen 20 jaar laat zien dat thermische diversiteit niet alleen door de mens wordt getolereerd, maar juist ook wordt geprefereerd. Waarom wordt er dan nog uitgegaan van een optimale thermische omstandigheid.

Waarschijnlijk omdat er een optimale thermische situatie kan worden voorspeld met behulp van een conceptueel eenvoudig fysisch thermodynamisch model. Het meest gebruikt is het model van Fanger dat uitgaat van een statisch model waarbij de warmtebalans op elk moment in evenwicht moet zijn. Iedere afwijking van de balans

wordt door het model aangemerkt als niet neutraal (en leidt tot ontevreden). Dit is een misleidend uitgangspunt, de warmtebalans is erop gericht een evenwicht te behouden over langere tijd. Een toename van het metabolisme van 100% leidt pas na 40 minuten in een stijging van de lichaamstemperatuur van 1K.

De tweede omissie ligt op in het psychologische vlak en betreft de relatie tussen thermische sensatie en ontevredenheid. Deze relatie is onderzocht in een laboratorium, waar de proefpersonen zich niet konden aanpassen door het veranderen van kleding, metabolisme, temperatuur of bijvoorbeeld het raam openen of sluiten. Door het afwezig zijn van deze adaptieve mogelijkheden is het thermisch comfort gebied onrealistisch beperkt.

Baker beschrijft enkele veldonderzoeken waaruit blijkt dat adaptieve mogelijkheden de bandbreedte waarbinnen mensen zich thermisch comfortabel voelen aanzienlijk vergroot. Een voorbeeld is een onderzoek waarbij zeven mensen gedurende enkele weken werden gevolgd bij het werken in een kantoor. In die periode verrichten ze 345 adaptieve acties (ramen en zonwering bedienen, kleding aanpassen en op een nadere plaats gaan zitten). De gemiddelde geprefereerde temperatuur bedroeg 29,5°C, wat 5 K hoger dan berekend met het PMV-model. Onderzoek waarbij de thermische condities van mensen werden vergeleken liet zien dat mensen die buiten verblijven veel toleranter voor temperaturen zijn dan wanneer ze dezelfde temperaturen binnen ervaren. De auteur besluit met een pleidooi voor diversiteit in de omgeving (temperatuur, lucht, licht, geluid), waarbij adaptieve mogelijkheden een centrale rol spelen.

Stoops, J.L., "A possible connection between thermal comfort and health", Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2004.

In dit artikel wordt de hypothese beschreven dat variatie in de thermische omgeving belangrijk is voor de gezondheid van mensen. Criteria voor thermisch comfort, zoals de ISO 7730, zijn gebaseerd op laboratoriumonderzoek dat tot doel had het minimaliseren van thermische onbehaaglijkheid voor een groep. De proefpersonen droegen dezelfde kleding, verbleven enkele uren in de klimaatkamer, deden dezelfde kunstmatige taken en waren gericht op het invullen van vragen over hun thermische sensatie. Er was geen contact met buiten, geen invloed van voorgaande ervaringen, geen werkstress, geen collega's, in feite bevonden de proefpersonen zich in een abstractie van de werkelijkheid. In veldonderzoek blijken mensen een ruimer gebied behaaglijk te vinden dan de criteria voorspellen. De auteur geeft aan dat onderzoek naar thermisch comfort merkwaardige kenmerken heeft. Comfort is een abstract begrip dat gerelateerd is aan begrippen zoals welzijn, behaaglijkheid, tevredenheid, etcetera. Bij onderzoek wordt eerst gekeken naar discomfort, een individu is thermisch comfortabel als hij of zij het niet te warm of te koud heeft (aangegeven op de 7 punts- thermische sensatieschaal). Het is niet de temperatuur die wordt geprefereerd, maar de temperatuur waar men niet over klaagt. De criteria zijn dus ontworpen op het minimaliseren van het percentage ontevreden en niet op het maximaliseren van het percentage tevreden.

De medische wetenschap heeft in de laatste decennia een duidelijk verband kunnen leggen tussen regelmatige flinke inspanning en cardiovasculaire gezondheid. Regelmatige inspanning is een kritische factor voor een gezond hart- en vaatstelsel, naast risicofactoren als voeding, lichaamsgewicht en roken. Tijdens

de inspanning wordt een zekere mate van discomfort ervaren, maar na de inspanning wordt als gevolg van endorfine een kalm en tevreden gevoel ervaren. Het thermoregulatiesysteem wordt, evenals het cardiovasculaire systeem, geregeld door het sympathisch autonome zenuwstelsel; de twee systemen zijn gerelateerd. Bij een inspanning neemt het metabolisme toe en wordt het cardiovasculaire systeem geactiveerd. De vrijkomende warmte wordt geregeld door het thermoregulatiesysteem. Er is echter geen medische overeenstemming dat het thermoregulatiesysteem geoefend moet worden voor een betere gezondheid. Feitelijk conditioneren we onze binnenruimtes juist zodanig dat discomfort zo veel mogelijk wordt vermeden en we ons thermoregulatiesysteem zo min mogelijk oefenen.

Jaarlijks onderzoek van de Building Owners and Management Association in de Verenigde Staten geeft aan dat klachten over warmte en koude al jaren in de top twee van klachten in gebouwen staan. Dus kennelijk lukt het met de enorme inspanningen op het gebied van gebouw- en installatieontwerp niet om gebouwgebruikers tevreden over de temperatuur te krijgen. Wanneer we op een andere manier kijken naar thermische tevredenheid en vakanties als voorbeeld nemen dan valt het op dat mensen vaak naar plaatsten met extreme thermische omstandigheden gaan. Veel mensen gaan naar landen waar ze onder hoge temperaturen verblijven en in de felle zon zitten. Om dat vol te kunnen houden trekken ze bijna alle kleding uit en moeten ze regelmatig in koel water om niet oververhit te raken. Anderen gaan in de winter hoog de bergen in en verblijven in dusdanige omstandigheden met zeer lage temperaturen en hoge windsnelheden dat onderkoeling gemakkelijk kan optreden. Veel culturen hebben tradities waarbij ze zeer hete en/of vochtige omstandigheden afwisselen met ijs koude dompelbaden. Voorbeelden zijn sauna, hamman, inipi, mushi-furo. Naast sociaal-culturele en spirituele redenen geloven vele beoefenaars dat de extreme temperaturen gezond zijn. De warmte zorgt voor een toename van de hartslag om warmte uit het lichaam te kunnen afvoeren.

Aan de andere kant weten we dat de huidige fysisch (fysiologische) thermische behaaglijkheidsmodellen het comfort in werkelijke omstandigheden niet kunnen verklaren en dat gebouwgebruikers vaak klagen over de temperatuur, de luchtkwaliteit en gezondheidssymptomen ervaren en toeschrijven aan het verblijf in gebouwen. Waarom zou het comfort en de gezondheid wel gediend zijn met het creëren van thermisch stabiele omstandigheden in gebouwen. Waarschijnlijk worden de huidige criteria voor thermisch comfort door ontwerpers en ingenieurs zo gemakkelijk geaccepteerd omdat ze gebaseerd zijn op fysische uitgangspunten. Fysica wordt door velen gezien als de meest pure vorm van wetenschap. Het berekenen van thermische behaaglijkheid met behulp van een formule is veel acceptabeler dan rekening houden met medische, sociale en psychologische invloeden, zelfs als de formule twijfelachtige resultaten geeft.

Shove, E., “Social, architectural and environmental convergence”, in *Environmental Diversity in Architecture*, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.

Volgens de auteur verschillen mensen (thermo-) fysiologisch gezien, binnen en tussen verschillende sociale omgevingen en omdat gebouwen worden ontworpen om verschillende mensen te huisvesten is de uitdaging om met deze variatie om te gaan bij het ontwerpen van gebouwen. De paradox is dat dit er juist toe heeft geleid

het thermisch binnenklimaat in grote delen van de wereld hetzelfde is geworden en niet tegemoet komt aan de menselijke verschillen. Plaatselijke- en seizoensinvloeden worden gladgestreken door het globale vertrouwen in gestandaardiseerde materialen, technologieën, ontwerprichtlijnen en binnenklimaatpecificaties. De ervaring van binnencondities en de daarmee samenhangende interpretatie van het begrip comfort convergeren nu naar mechanisch gerealiseerde, niet duurzame, energie-intensieve vormen van binnenklimaat die norm zijn geworden.

De auteur bespreekt drie contrasterende benaderingen van thermisch comfort. Ten eerste de benadering dat comfort altijd hetzelfde betekent en dat de mens een passieve ontvanger van stimuli is en dat de variabele, de relatie tussen lichaam en omgeving, gecontroleerd moet worden door de thermische omgeving. De tweede benadering ziet thermisch comfort juist als een actief proces in het streven naar thermische variatie. Sommigen gaan verder en spreken over "thermisch genot". Hiermee wordt bedoeld het lekker opwarmen in de zon of bij een kunstmatige warmtebron wanneer je het koud hebt. Het streven moet thermische variatie zijn in plaats van stabiele temperaturen. Tenslotte is er de thermische omgeving als sociaal bindmiddel, zoals het rondom de open haard of kampvuur vertoeven, het op een terras zitten of wandelen na een hete dag.

De airconditioningindustrie heeft zich volgens de auteur veel moeite getroost om een manier te vinden om te gaan met menselijke verschillen en het thermisch comfort te kwantificeren, op zo'n manier dat dit alleen kan worden gerealiseerd met mechanische methoden. Natuurlijk variërende condities voldeden niet meer aan de kwantitatieve criteria.

Een manier om verdere kennis over thermisch comfort te vergaren is meer onderzoek te doen naar variatie van het binnenklimaat en adaptatiemogelijkheden en dit proberen te kwantificeren. Het gaat hierbij dat om het vaststellen van de sociale en psychologische grenzen van comfort. Maar er zijn ook meer relativerende manieren om het onderwerp te conceptualiseren. In veldonderzoeken is gevonden dat mensen comfortabel zijn bij temperaturen van 31°C, maar ook bij 6°C. Verschillen die niet verklaard kunnen worden op basis van bijvoorbeeld kledingverschillen. In Zuid Europa wordt een seizoensverschil in comforttemperaturen gevonden van 5°C, terwijl in Noord Europa het verschil een halve graad is. Volgens de auteur zijn er sociale verschillen die tot verschillen in comforttemperatuur leiden. In plaats van te proberen om aan reeds bestaande behoeften te voldoen, kunnen omgevingen de behoeften juist creëren, "construeren van convergentie" genoemd.

Het ontwerp van bepaalde objecten wijst de gebruiker hoe de objecten gebruikt moeten worden, het geeft de gebruiker een 'script'. Zo laat bijvoorbeeld het ontwerp van een glasbak alleen toe dat er glazen flessen en potten in worden gegooid, maar geen vensterglas. Geven gebouwen het goede 'script' aan de gebruikers als het gaat om (thermisch) comfort? Als de setpoint van de temperatuur in een gebouw bijvoorbeeld 22°C is, zullen de gebruikers zich hierop kleden en mentaal op instellen, zodat de meerderheid zich comfortabel zal voelen bij die temperatuur. Als alle gebouwen op deze manier geregeld worden in een bepaalde gemeenschap in een bepaalde periode in de geschiedenis, zal het de norm worden en andere temperaturen als niet comfortabel worden aangemerkt. Maar een andere generatie

op een andere plaats kan minder kleding willen dragen en dus warmere omgevingen prefereren.

De vraag wordt gesteld of de huidige definitie en interpretatie van comfort gehandhaafd moet blijven. Deze lijkt vooral te zijn ontwikkeld om een wereldwijde markt voor airconditioning te creëren. Met de klimaatverandering in gedachten en de nieuwe inzichten betreffende adaptatie is een nieuwe benadering van het begrip comfort op zijn plaats.

Chappells, H. and Shove, E., “An annotated bibliography of comfort research”, Lancaster University, Department of Sociology, 2003.

Het doel van de auteurs was om een inventarisatie te maken van hoofdthema's en vraagstukken in de discussie rond thermische behaaglijkheid en duurzaam bouwen. Daarbij is niet alleen gebruik gemaakt van bronnen vanuit de klimaattechniek, maar ook vanuit niet-technische wetenschappen zoals sociologie, geografie, epidemiologie, antropologie, geschiedenis, fysiologie, architectuur en stedenbouwkunde.

De belangrijkste conclusies uit deze artikelen zijn:

- Adaptatie is een fundamentele menselijke behoefte en het bieden van adaptieve mogelijkheden geeft een ruimer comfortgebied dan het gebied dat met “neutraal” wordt aangeduid.
- Wanneer mensen de omgeving kunnen beïnvloeden hangt hun thermisch comfort beperkt samen met de (voorspelde) binnentemperaturen.
- Beleving van thermisch comfort wordt ook bepaald door adaptatie, materialen, psychologie, etc. Wat men ‘normaal’ vindt, verandert met de tijd.
- De beleving van thermisch comfort en verwachting in huizen wordt mede bepaald door welvaart, sociale en culturele ontwikkelingen.
- Mensen in slecht te verwarmen huizen hebben een grotere kans om te overlijden aan hart- en vaatziekten.
- Er is een ernstige misaanpassing tussen de bedieningsmogelijkheden van airconditioning en de behoeften van gebruikers.
- Bejaarden hebben een nauwer thermisch comfortgebied.
- Tegenwoordig vallen er meer doden bij een hittegolf dan vroeger.
- Tijdens de hittegolf in de Verenigde Staten in 1995 vielen er meer doden dan tijdens eerdere hittegolven, omdat mensen nu minder vaak verkoeling zochten in parken, zwemgelegenheden en andere natuurlijke afkoelingsmogelijkheden, maar binnen bleven en (onterecht) vertrouwden op de airconditioning. De grote pieken in energievraag leidden tot stroomuitval en zeer hoge binnentemperaturen (Chappells & Shove, 2003).
- In de Verenigde Staten is airconditioning door het alledaagse gebruik van oplossing voor comfortproblemen tot onderdeel van het probleem geworden.

Fanger, P.O., Toftum, J., 2001, “Thermal comfort in the future – Excellence and expectation”, *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Conference 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.

De auteurs stellen dat thermisch comfort en luchtkwaliteit in de normen apart worden behandeld, maar dat onderzoek laat zien luchttemperatuur en luchtvochtigheid, gecombineerd in de enthalpie een grote invloed heeft op de luchtkwaliteit die weer de ventilatiehoeveelheid bepaalt. Droge, koele lucht wordt als aangenaam, vers en fris ervaren, terwijl warmere, vochtige lucht als muf en bedompt wordt gekwalificeerd. Iemand met lichte kleding, in een omgeving met hoge luchtsnelheden of een koelplafond, een luchttemperatuur van 29°C en een rv van 60% kan op PMV=0 uitkomen, maar de lucht als muf en bedompt betitelen. Bij

een gelijk blijvende PMV, maar met een luchttemperatuur van 20-22°C en een lager r_v wordt de luchtkwaliteit als goed ervaren. Dit zal tevens een vermindering van SBS-symptomen geven en een lager energiegebruik door lagere vereiste ventilatiehoeveelheden.

Vervolgens gaan de auteurs in op de achtergronden van het PMV-model en de adaptieve modellen. De afwezigheid van de variabelen kleding, metabolisme en de vier fysische variabelen in het adaptieve comfortmodel van de Dear en Brager wordt door de auteurs als een zwakheid gezien. Als een alternatief komen de auteurs met een aanpassing van het PMV model voor natuurlijk geventileerde gebouwen in *warme klimaten* door 2 correctiefactoren te introduceren. Ten eerste een e-factor (van "expectancy") die tussen 1 en 0,5 ligt. Voor airconditioned gebouwen is $e=1$, dus geen correctie en voor natuurlijk geventileerde gebouwen varieert de factor tussen 0,5 en 0,9, afhankelijk van de verwachtingen van de gebruikers, die weer beïnvloed zou worden door het buitenklimaat en het aantal airconditioned gebouwen in de buurt.

Een tweede factor corrigeert voor het metabolisme. Er wordt geredeneerd dat naarmate het warmer wordt, mensen minder actief worden om het niet te onbehaaglijk warm te krijgen. Op basis van de analyse van een subset van de data van de Dear en Brager wordt het metabolisme met 6,7% vermindert voor iedere toename van een schaaleenheid PMV.

Het heeft er de schijn van dat dit een poging is een laboratoriummodel, met correctieve ingrepen beter toepasbaar te maken voor de praktijk. De ideeën hebben in de volgende jaren geen vervolg gekregen.

Hensen, J.L.M., Centnerova, L., 2001, "Energy simulation of traditional vs. adaptive thermal comfort for two moderate climate regions", *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Conference 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.

De auteurs berekenen de energievraag voor verwarmen en koelen voor de traditionele ISO-7730, ASHRAE Standard-55 en de adaptieve comfortnorm en voor natuurlijk geventileerde gebouwen en airconditioned gebouwen. Ze concluderen het volgende:

1. Wanneer de adaptieve comfortnorm voor airconditioned gebouwen wordt gebruikt dan zou de maximaal toelaatbare temperatuur een halve graad lager zijn dan de huidige norm en zou er dus meer energie worden gebruikt in vergelijking met de conventionele norm.
2. Wanneer de adaptieve comfortnorm voor natuurlijk geventileerde gebouwen wordt gebruikt dan zou er minder energie worden gebruikt in vergelijking met de conventionele norm. Maar ze voegen er aan toe dat dit zou leiden tot een binnentemperatuur in de winter van 18°C.
3. Omdat de ASHRAE ervoor heeft gekozen de ondergrens van de gemiddelde buitentemperatuur te verleggen van 5°C naar 10°C en onder de 10°C niet geëxtrapoleerd mag worden, concluderen de auteurs dat de adaptieve comfortnorm dan niet meer toegepast kan worden in Nederland, omdat 7 maanden per jaar de gemiddelde buitentemperatuur lager is dan 10°C.
4. De adaptieve comfortnorm voor natuurlijk geventileerde gebouwen zou strenger zijn dan de huidige norm in de zomerperiode, maar omdat mechanische koeling niet is toegestaan zal dat niet tot een hoger energiegebruik leiden.

Brager, G.S., Dear, R. de, 2001, "Climate, Comfort & Natural Ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55", *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, Conference 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.*

In dit recente artikel wordt het eerder besproken onderzoek kort uiteen gezet en worden de discussiepunten en wijzigingen besproken die belangrijk zijn bij de implementatie van het onderzoek in de ASHRAE Standard 55.

Geldigheidsgebied

In de nieuwe ASHRAE Standard is het adaptieve model een "optionele methode" voor natuurlijk geventileerde gebouwen, terwijl het traditionele comfortgebied nog steeds universeel geldig is voor *alle* gebouwen. Dit is een compromis bereikt in het ASHRAE-implementatiecomité, waarin niet alleen wetenschappers, maar ook adviseurs, installateurs, fabrikanten gebouwenaars en gebouwgebruikers zitting in hebben. De meer conservatieve posities kregen uiteindelijk de overhand. Er werden restricties aan het toepassen van de adaptieve thermisch comfortnorm gesteld en deze kan nu alleen worden toegepast onder de volgende omstandigheden:

- Natuurlijk geventileerde gebouwen waar de thermische condities hoofdzakelijk worden geregeld door de gebruikers door het openen en sluiten van de ramen. De ramen moeten gemakkelijk bereikbaar en bedienbaar zijn.
- De ruimtes hebben soms verwarming, maar de methode is niet van toepassing als de verwarming functioneert.
- Ruimtes kunnen geen mechanische koeling hebben (gekoelde lucht, stralingskoeling, e.d.).
- Ruimtes kunnen mechanische ventilatie hebben, zonder koeling, maar het openen en sluiten van de ramen is de voornaamste methode voor het regelen van de thermische condities.
- Gebruikers van ruimtes verrichten voornamelijk zittende werkzaamheden (1-1,3 met) en moeten in staat zijn hun kleding aan te passen aan de thermische binnen- of buitencondities.

Er zijn echter sterke argumenten en bewijzen dat de adaptieve norm bij ruimere omstandigheden toegepast kan worden: gebouwen met zowel airconditioning als te openen ramen, of bij "task ambient conditioning" systemen waar de gebruikers zelf hun thermische omstandigheden kunnen aanpassen. De crux van deze argumenten is dat de beschikbaarheid van individuele beïnvloeding een bepalende rol speelt bij de aanpassing van de thermische verwachtingen van de gebruikers.

Karakteriseren buitenklimaat

De ET* (effectieve temperatuur buiten) is vervangen door de droge boltemperatuur $T_{a,out}$. De optimum comfort temperatuur voor airconditioned gebouwen wordt berekend uit:

$$T_{conf} = 0.31 \times T_{a, out} + 17,8 \quad (^\circ\text{C})$$

De luchttemperatuur (droge bol) is een bekendere en meer gebruikte index dan de meer in de wetenschappelijk wereld gebruikte ET*. De $T_{a,out}$ wordt nu de gemiddelde maandelijkse buitenluchttemperatuur, berekend uit het gemiddelde van de gemiddelde dagelijkse maximum buiten droge boltemperatuur (15:00 uur) en de gemiddelde dagelijkse minimum buiten droge boltemperatuur (06:00 uur).

Grenzen

Een aantal leden van het comité vonden de ondergrens van 5°C te laag (ongeacht de data). Uiteindelijk werd besloten de ondergrens op 10°C te stellen en op te merken dat onder 10°C en boven 33°C niet mag worden geëxtrapoleerd.

Acceptatiegebied

Het traditionele behaaglijkheidsgebied gaat uit van 80% acceptatie. Dit is gebaseerd op de statistische grens van 10% voor behaaglijkheid van het gehele lichaam plus een gemiddelde van 10% voor plaatselijke onbehaaglijkheid. Het onderzoek van de Daer en Brager komt uit op 80% acceptatie. De norm geeft echter ook het nauwere 90% gebied aan voor als een hoger kwaliteitsniveau gehaald moet worden of als er plaatselijke thermische onbehaaglijkheid wordt verwacht.

Gebruik van de adaptieve comfortnorm

Over het beoogde gebruik zeggen Brager en de Daer het volgende. Het model kan worden gebruikt als een ontwerpinstrument voor natuurlijk geconditioneerde ruimten. Eerst wordt een temperatuursimulatieberekening uitgevoerd en de resultaten worden vergeleken met de acceptatiegrenzen van de adaptieve comfortnorm. Zijn de resultaten niet acceptabel dan kunnen er ontwerpmodificaties worden uitgevoerd (bijvoorbeeld de thermische massa van de gevel) en het proces wordt herhaald. Mochten ontwerpaanpassingen niet tot een acceptabele situatie leiden, dan kan toepassen van airconditioning op zijn plaats zijn.

Daarnaast kan de adaptieve comfortnorm worden gebruikt als een richtlijn voor het beheer. In mechanisch geventileerde gebouwen met koeling (topkoeling, hybride systemen) kunnen de binnentemperaturen binnen de acceptatiegrenzen bewegen op een energie-efficiënt niveau en wanneer de maximumgrens bij een bepaalde buitentemperatuur wordt bereikt kan *beperkte* koeling worden ingezet, zodat de temperatuur binnen de grenzen blijft. Dit is een geheel andere benadering dan koelen om aan de conventionele, strengere setpoints te voldoen. De adaptieve comfortnorm kan ook worden gebruikt voor koellastberekeningen in hybride gebouwen. Zo kan met kleinere koelinstallaties worden volstaan.

Ook kan de adaptieve comfortnorm worden gebruikt in bestaande situaties in niet geconditioneerde ruimten. Er wordt voorgesteld een gewogen tijdfunctie te ontwikkelen om de tijdsduur en intensiteit van temperatuuroverschrijdingen buiten de adaptieve grenzen te indexeren. Dit kan ook een bruikbaar instrument zijn voor kwaliteitsbenchmarking voor vastgoedbeheerders.

Het grote voordeel van bovengenoemde toepassingen is de eenvoud. Er behoeven geen moeilijk vast te stellen waarden voor kledingisolatie en metabolisme ingevoerd te worden, omdat die al zijn verwerkt in de adaptieve comfortnorm.

De auteurs claimen verder dat met de adaptieve comfortnorm enorme energiebesparingen kunnen worden gerealiseerd. Door van de variabele 80% grens uit te gaan in plaats van de bovengrens (26°C) of het midden van het comfortgebied (23°C) van de traditionele ASHRAE-Standard kan veel koelenergie worden bespaard.

Conclusies

De adaptieve comfortnorm kan niet alleen bij airconditioned gebouwen, maar ook bij gebouwen met zowel airconditioning als te openen ramen, of bij werkpleksystemen waar de gebruikers zelf hun thermische omstandigheden kunnen aanpassen. Voorwaarde is de beschikbaarheid van individuele beïnvloeding. De comfortnorm kan worden gebruikt als een ontwerpinstrument, als richtlijn voor het beheer met een energie-efficiënte glijdende temperatuurgrens. Met de adaptieve comfortnorm kunnen energiebesparingen kunnen worden gerealiseerd. Door van de variabele 80% grens uit te gaan in plaats van de bovengrens (26°C) of het midden van het comfortgebied (23°C) van de traditionele ASRAE-Standard kan veel koelenergie worden bespaard.

Hitchings, R., "Studying thermal comfort in context", in *Building Research & Information*, No 37(1) (2009), pp. 89 - 94.

Het paper beargumenteert het belang van de context bij comfortbeleving en beoordeling. Zowel het buitenklimaat als de gebouwfunctie en de manier waarop het thermisch binnenklimaat wordt "beheerd" en persoonlijke voorkeuren van mensen zijn hierbij belangrijk.

Het verzorgen van eenzelfde binnenklimaat overal ter wereld, in elk gebouw kost niet alleen een grote hoeveelheid energie, maar kan er ook toe leiden dat mensen eraan gewend raken en niet meer in staat zijn zich aan te passen aan gevarieerde klimaten. Zo ontstaat er een vicieuze cirkel, welke leidt tot steeds meer energiegebruik en niet specifiek tot meer tevreden gebruikers.

De mate waarin de comfortverwachtingen het buitenklimaat "volgen", is vooral gebaseerd op de mate van controle over het binnenklimaat dat de gebruiker verwacht, zowel uitgevoerd door de gebruiker als het gebouw. Hierbij is het van cruciaal belang dat er overeenstemming is tussen het verwachte en het voorkomende. De situatie moet dus inzichtelijk zijn.

Het paper waarschuwt echter voor het gevaar van (kwaliteit van een gebouw afmeten aan) het strak afregelen van een binnenklimaat, zelfs wanneer mensen dit zelf kunnen regelen, daar de mensen zo gewend kunnen raken aan een bepaalde omgeving dat ze zich moeilijk daarbuiten kunnen bewegen.

Over het kiezen van doelgroepen voor thermisch comfort onderzoek: Kiezen we de mensen die nog veel buiten leven, dan krijgen we misschien een vertekend beeld. Als we mensen onderzoeken die veel in air-conditioned gebouwen verblijven gaan we misschien weer teveel de andere kant. Daarom is het wellicht nuttig om mensen te onderzoeken die wel in gebouwen leven, maar die op een andere manier met de natuur en klimaat omgaan, zoals boeren. Dit kan in elk geval helpen in de argumentatie tegen de verdere standaardisatie aangezien het aangeeft dat er mensen zijn die thermische variatie prefereren.

Het idee van thermisch comfort drijft weg van een geïdealiseerde universele mens. De nieuwe benadering richt zich nu op het feit dat mensen niet volmaakt zijn en chaotisch, bezig met bezorgdheid over het voorhanden zijn van bepaalde kleding, het gevoel over het koud krijgen of plakkerig zijn en over hun persoonlijke representatie.

In plaats van discussiëren over welke temperaturen comfortabel zijn in verschillende plaatsen waarin we al geaccepteerd hebben dat het variabel is, zou de ambitie moeten liggen in het onderzoeken welke technieken mensen bereid zijn te gebruiken om bepaalde oncomfortabele perioden door te komen/overbruggen.

Hierom zou de focus moeten verschuiven naar het begrijpen van het gebruik van gebouwen, onder verschillende omstandigheden en activiteiten. Omdat het moeilijk van tevoren te zeggen is welke activiteiten en functies zich gaan afspelen in een gebouw, zeker als je het over periodes van meerdere functies hebt, is het gemakkelijk om terug te vallen op de strenge comfort standaarden, aangezien dit de grootste groep mensen tevreden zou stellen (alhoewel marginaal tevreden). Zulk onderzoek zou cultureel moeten zijn, maar ook onmiddellijk bruikbaar voor het beoordelen van acceptatie van bepaalde interventie mogelijkheden door gebouwgebruikers.

Er dient speciaal op gelet te worden door onderzoekers dat de doelgroep waarvoor dit gedaan wordt vaak een numerieke achtergrond heeft (installateurs). Men moet zowel de gebruiker als de leverancier tegemoetkomen.

Conclusies

De perceptie van het binnenklimaat is sterk afhankelijk van de context en de verwachtingen die mensen hebben over de invloed uitgeoefend op het binnenklimaat ten opzichte van het buitenklimaat, zowel uitgeoefend door henzelf als de systemen. Hoe groter de consensus tussen het verwachtte en het optredende, hoe groter over het algemeen de tevredenheid. Toekomstig onderzoek moet zich daarom niet richten op bepaalde comforttemperaturen maar op de invloed van de context op de comfortbeleving.

Dear, R. de, "The theory of thermal comfort in naturally ventilated indoor environments - The pleasure principle", in *International Journal of Ventilation*, No 8(3) (2009), pp. 243-250.

Er zijn veel modellen die subjectieve comfortbeleving of discomfort veroorzaakt door luchtbeweging beschrijven, afhankelijk van luchtsnelheid, richting, turbulentie en temperatuur, maar er is nog steeds geen goed begrip van de onderliggende mechanismen. Door het concept van alliesthesia te linken met de gedetailleerde kennis van de thermoreceptoren van de huid, richt dit paper zich erop om het plezier principe te verklaren dat men ondervindt van effectieve natuurlijke ventilatie in warme klimaten.

De sterke relatie tussen comforttemperaturen voor het binnenklimaat en de heersende buitentemperaturen in natuurlijk geventileerde gebouwen kan niet verklaard worden door de klassieke comfort theorie van Fanger.

In 1971 introduceerde Cabanac (1971) de term alliesthesia, om het fenomeen te beschrijven in homeostatische systemen waar er een geregelde variabele is in het milieu interieur. Als deze variabele afwijkt van zijn setpoint, worden stimuli van buitenaf die beloven deze afwijking te verminderen of op te heffen ervaren als plezierig.

Negatieve alliesthesia: Het versterkte onplezierige gevoel dat optreedt als de stimuli van buitenaf de afwijking juist dreigen te vergroten.

De mate van alliesthesia lijkt afhankelijk te zijn van het verschil tussen het setpoint en de optredende waarde en blijkt dus een goede aanwijzer voor thermoregulatiegedrag.

Dit wetende moet bij comfort-studies extra gelet worden op het volgende onderscheid:

Sensatie > beschrijvend (warm, koud)

Comfort > affectief (plezier) (prettig koel, oncomfortabel fris)

Wat zijn de signalen die de sensatie veroorzaken en zijn deze verschillend van die het comfort drijven?

De observatie dat koude receptoren dichter bij het huidoppervlak liggen dan warmte receptoren kan verklaren waarom tocht in een koude omgeving ervaren wordt als onplezierig (negatieve alliesthesia), terwijl dezelfde luchtbeweging (zelfs als deze fysiologisch geen koelend effect heeft) in een warme omgeving wordt ervaren als plezierig (positieve alliesthesia).

Conclusies

Uit meerdere onderzoeken komt naar voren dat thermische neutraliteit niet automatisch leidt tot het hoogste comfort. Met het begrip *alliesthesia* wordt verklaard waarom mensen vaak zelfs een bepaalde overmaat van warmte of koude als comfortabel ervaren. Alliesthesia is de term om het fenomeen te beschrijven in homeostatische systemen waar er een geregelde variabele is in het binnenmilieu. Als deze variabele afwijkt van zijn setpoint, worden stimuli van buitenaf die beloven deze afwijking te verminderen of op te heffen ervaren als plezierig.

Healy, S., "Air-conditioning and the "homogenization" of people and built environments", in *Building Research & Information*, No 36(4) (2008), pp. 312 - 322.

Deze paper is een verhandeling over de totstandkoming en inburgering van airconditioning.

Air-conditioning is heel erg verweven met de drang naar controle van onze maatschappij. Het wordt gebruikt om zowel het menselijk lichaam als de sociale orde te disciplineren, daarmee zweten te verbieden en uniforme en continue productie af te dwingen en daarmee brengt het de traditionele connectie van de mens met tijd, weer en seizoen in de war (Ackermann, 2002, p. 184).

Airconditioning is ontstaan vanuit het beheersen van industriële processen die optimaal verlopen onder bepaalde thermische omstandigheden.

In analogie hierop probeert men nu met Airconditioning in gebouwen de mens en zijn productieproces te optimaliseren. Echter, de mens is niet universeel (zoals een bepaald industrieel proces dat wel kan zijn) en niet iedereen presteert optimaal in dezelfde thermische omgeving en ook is dit van vele andere factoren afhankelijk, veranderend in de tijd en plaats.

Ondanks dat zijn er veel onderzoeken geweest om thermisch comfort bij de mens te kwantificeren onder laboratorium omstandigheden en een universele vergelijking te vinden (zoals de comfort chart van Givoni en het model van Fanger (1970)). Vervolgens worden deze laboratoriumomstandigheden getracht in het veld toe te passen. Hiermee pas je dus de werkelijkheid aan het model aan om het model beter te laten kloppen met de werkelijkheid in plaats van andersom.

De kracht echter van dit soort modellen is dat ze constant en rationeel zijn en op basis van precieze waarden en de begrijpelijkheid en communiceerbaarheid daarvan. Bovendien suggereren ze nauwkeurigheid, objectiviteit en betrouwbaarheid. De waarden die hiermee verkregen worden kunnen alleen betrouwbaar geleverd worden door AC, want hierop zijn ze gebaseerd. Hiermee creëerde de AC dus zijn eigen markt, want natuurlijke middelen kunnen geen exact en constant klimaat leveren. Tezamen met promotionele activiteiten heeft dit geleid tot een wereldwijde omarming van de AC. De waarden verkregen door deze modellen zijn vervolgens opgenomen in verschillende standaarden en wetgevingen, daarmee natuurlijke middelen als ontoereikend beoordelend.

Met als gevolg: de idealen van de ingenieurs werden letterlijk in de systemen die ze verkochten ingebouwd.

De keerzijde van deze modellen is dat ze te snel als waar aangenomen worden en ook zijn het universele modellen, daar waar het niet om universeel beoordeelbare waarden gaat. Hierdoor ontstaat een situatie dat overal hetzelfde klimaat geëist

wordt, zonder rekening te houden met klimaat, seizoen, cultuur en individuele verschillen. Dit leidt tot onnodig excessief energiegebruik, omdat AC geïnstalleerd wordt op plaatsen waar dat waarschijnlijk niet nodig is en zelfs onwenselijk. Bovendien zorgen ze voor homogenisatie van architectuur, installaties en dus omgeving over de hele wereld, daarmee ook onze mechanismen van aanpassing aan onze omgeving ondermijnend. Er zijn zelfs aanwijzingen dat het leidt tot "thermische verveling" en achteruitgang van de algehele weerstand.

En dat terwijl AC slechts een twijfelachtige basis heeft voor de claim om superieure thermisch comfort te leveren. In de praktijk blijkt het comfort geleverd door AC niet beter en vaak zelfs slechter beoordeeld te worden dan in een thermische omgeving geleverd door natuurlijke middelen.

Conclusies

Airconditioning is ontstaan met de drang naar controle van onze maatschappij, en is uitgevonden om industriële processen te optimaliseren. De mens is echter niet universeel en te optimaliseren. Het negatieve effect van het globaal toepassen van Airconditioning is dat de maatschappij homogeniseert en dat architectuur en thermische omgevingen overal ter wereld gelijk worden. Uiteindelijk zal ook dit kunnen leiden tot het homogeniseren van de mensen zelf, wat afbreuk doet aan de diversiteit van de samenlevingen, welke essentieel is voor het overleven van een (eco)systeem. En dat terwijl AC slechts een twijfelachtige basis heeft voor de claim om superieure thermisch comfort te leveren.

Chappells, H. and Shove, E., (2003). "The environment and the home", *Environment and Human Behaviour Seminar, Policy Studies Institute, London.*

Alternatives to Compressor Cooling.

Het is belangrijk om te erkennen dat connotaties en realisaties van comfort afhankelijk zijn van de cultuur, geschiedenis, techniek, seizoen en klimaat. De comfortlevering brengt een cross-disciplinair netwerk van deskundigen mee, elk gericht op verschillende aspecten van de mensen-milieu-gebouw interacties – waaronder fysiologen, psychologen, architecten, ingenieurs en antropologen, alsmede de inzittenden en hun "tactieken en lapmiddelen" in het verlichten van ongemak.

Comfort als een vaste en "natuurlijke" toestand.

Voor vele technische onderzoekers is comfort een vaste en "natuurlijke" toestand, iets dat bestaat, kan worden nagestreefd en uiteindelijk bereikt. Hoewel dit een nuttige basis voor het gebouwo ontwerp beslissingen is het paradigma van comfort en de wereldwijde normalisatie ervan een groot probleem vanuit een milieu perspectief aangezien huizen en werkplekken in toenemende mate worden ontworpen de binnenomgeving af te sluiten van het weer door kunstmatige en energie-intensieve middelen. Dit negeert klimaat specifieke methoden aangepast aan de plaatselijke omstandigheden en de traditionele manieren van omgaan met klimaat en verandering, zoals bijvoorbeeld de siësta.

Comfort als een proces van aanpassing

Het adaptieve paradigma van comfort is gericht op vragen als hoe "adaptieve mogelijkheden gecreëerd kunnen worden waarin eindgebruikers hun eigen thermische omgeving kunnen controleren en regelen in plaats van het over te laten aan ontwerpers en gebouwbeheerders. Hiermee wordt het standaard setpoint verworpen.

Comfort als een sociaal begrip

Deze benadering beschouwt de sociale en culturele totstandkoming van comfort. Comfort is cultureel gerelateerd en komt mede tot stand door sociale overeenkomst, symboliek en status die niet kunnen worden teruggebracht tot thermisch-fysiologische en psychologische parameters.

Conclusie

Door het erkennen van de diversiteit van comfort, wordt beoogd te voorkomen dat ongewenst begrip van comfort zou kunnen leiden tot het elimineren van culturele verschillen (bijv. de invoer van westerse normen voor verwarming, koeling, kleding in andere culturen en klimaten) en minder duurzame convergentie van deze normen en waarden.

Leaman, A., Bunn, R., “Usable Controls – Improve buildig usability and reduce emissions”, *Symposium AIRAH, Brisbane, 2008.*

Beïnvloedingsmogelijkheden moeten:

- gebruiksvriendelijk zijn vanuit het perspectief van de gebruiker (niet alleen de ontwerper).
- begrijpelijk zijn; liefst intuïtief / zonder uitleg. Ook voor mensen die ze voor het eerst of sporadisch gebruiken.
- aangeven wat ermee beïnvloed kan worden.
- effectief zijn.
- voldoende mogelijkheden geven om de instelling te verfijnen.
- direct feedback geven als ze worden ingesteld. Bij voorkeur is de verandering zelf direct merkbaar (bijvoorbeeld: het licht gaat uit), anders feedback d.m.v. een lampje o.i.d. als het langer duurt voor de regelactie merkbaar wordt (bijvoorbeeld verwarming).
- worden aangebracht in de buurt van de systemen die ermee bediend kunnen worden
- goed zichtbaar en bereikbaar zijn
- volledig in bedrijf gesteld en getest worden bij oplevering
- goed ingeregeld worden bij oplevering
- niet absoluut zijn en geen nauwkeurigheid suggereren die er niet is. Bijvoorbeeld: een thermostaatknop kan beter een schaalverdeling van -3 tot +3 hebben dan van 20 tot 26°C. Optimaal is beter dan precies, volgens Bunn.
- bij voorkeur de gebruiker de mogelijkheid geven invloed uit te oefenen op lichtomstandigheden, temperatuur, luchtverversing en lawaai. Invloed op lawaai blijkt voor gebruikers nog belangrijker dan invloed op de temperatuur.

Frontczak, M., Wargocki, P., “The effects of non-environmental factors on comfort, a literature survey”, *Proceedings of Healthy Buildings 2009, Denmark.*

Literatuuronderzoek naar niet-industriële situaties wees uit dat gebruikers de tevredenheid met thermisch comfort belangrijker vinden dan met resp. luchtkwaliteit, akoestisch comfort en visueel comfort. De bronnen waren echter niet eenduidig.

Hogere temperaturen werden acceptabel gevonden in gebouwen met natuurlijke ventilatie, al werd het effect van thermische adaptatie niet in alle onderzoeken bevestigd.

Voor het thermisch, visueel en akoestisch comfort van gebouwen met veel gebruikersinvloed werd in sommige onderzoeken meer waardering gevonden, maar in andere onderzoeken weer niet.

Van de niet-gebouwgebonden factoren beïnvloeden vooral ‘job satisfaction’ en de verstandhouding met leidinggevenden en collega’s de ervaring van het thermisch comfort. Er werd geen verband gevonden tussen de andere onderzocht menselijke factoren (o.a. koffie drinken, roken, leeftijd, fysieke conditie en lichaamsbouw) en

omgevingsgevoeligheid. Voor de invloed van het geslacht werden tegenstrijdige resultaten gevonden.

Belangrijkste conclusie van deze literatuurstudie is dat prioriteit moet worden gegeven aan gebruikersinvloed op het thermisch comfort. Ook de beïnvloeding van andere omgevingsfactoren en het klimaatconcept (natuurlijk of centraal geklimatiseerd) zouden veel aandacht moeten krijgen.

Choi, J., Aziz, A., Loftness, V., “Decision support for improving occupant environmental satisfaction in office buildings: The relationship between subset of IEQ satisfaction and overall environmental satisfaction”, *Proceedings of Healthy Buildings 2009, Denmark.*

Met vragenlijsten en metingen in 29 gebouwen werden de volgende volgordes gevonden van de mate waarin comfortparameters invloed hebben op de algemene waardering van het binnenmilieu:

Groep	Gevelzone	Inpandig	Mannen	Vrouwen	Alle data
Invloed					
1 (meest)	Luchtkwaliteit	Luchtkwaliteit	Luchtkwaliteit	Luchtkwaliteit	Luchtkwaliteit
2	Thermisch	Licht	Thermisch	Thermisch	Thermisch
3	Licht	Thermisch	Geluid	Licht	Licht
4	Geluid	Ruimte	Licht	Ruimte	Geluid
5 (minst)	Ruimte	Geluid	Ruimte	Geluid	Ruimte

Op werkplekken in de gevelzone werden thermisch comfort, luchtkwaliteit, akoestisch comfort, visueel comfort en ruimtelijke beleving significant beter gewaardeerd, terwijl de meetbare omgevingsfactoren niet wezenlijk verschilden.

Alleen voor luchtkwaliteit en thermisch comfort was een sexeverschil waarneembaar: extra veel waardering in de gevelzone.

Aanbevelingen zijn o.a.:

- Maak ondiepe gebouwen, zodat relatief veel werkplekken in de gevelzone komen.
- Zorg voor persoonlijke luchttoevoer, natuurlijke ventilatie en persoonlijke beïnvloeding voor de meest effectieve verbetering van het binnenmilieu
- Besteed verder vooral aandacht aan een goed thermisch comfort, o.a. met bouwfysische maatregelen in de gevel.
- Besteed extra aandacht aan de lichtomstandigheden in de binnenzone van het gebouw.

Zhang, H., Arens, E., Huizenga, C., Han, T., “Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part III: Whole-body sensation and comfort”, in *Building and Environment, No 45, 2010, pp. 399-410.*

Klimaatkameronderzoek, vooral gericht op thermisch comfort in auto's. 19 lichaamsdelen van proefpersonen werden afzonderlijk verwarmd of gekoeld. Het afgeleide comfortmodel werd later geverifieerd in een auto in een windtunnel, met

de normale klimaatinstallatie van de auto. Dit resulteert in een uitgebreid model voor algemeen comfort, puur op basis van lokaal discomfort.

Het algemene model voor *thermische beleving* is tweevormig, afhankelijk van of alle lichaamsdelen een beleving in dezelfde richting hebben (bijvoorbeeld allemaal warm of koud), of dat er lichaamsdelen met een afwijkende beleving zijn. In beide gevallen zijn er weegfactoren toegekend voor de invloed van verschillende lichaamsdelen op de thermische beleving, waarbij sterk afwijkend ervaren lichaamsdelen overheersen in de algemene beleving.

Het algemene model voor *thermische behaaglijkheid* is ook tweevormig. Onder stabiele omstandigheden baseren mensen de behaaglijkheid voor hun hele lichaam op de twee minst behaaglijke lichaamsdelen (klacht-gedreven comfort), onafhankelijk van hoe behaaglijk ze zich verder voelen. In verlopende omstandigheden, of bij persoonlijke beïnvloeding, is de algemene uitspraak het gemiddelde van de twee minst comfortabele lichaamsdelen en het meest comfortabele lichaamsdeel.

De voor gebouwen meest relevante bevindingen zijn:

- Om het hele lichaam behaaglijk te houden moet het comfort in de meest oncomfortabele lichaamsdelen prioriteit krijgen.
- Persoonlijk beïnvloeding zou een gunstig effect kunnen hebben, ook als het vooral aangrijpt op lichaamsdelen die al relatief comfortabel zijn.
- Thermisch behaaglijkheid van borst, rug en middel heeft een grotere invloed dan die van bijvoorbeeld handen en voeten.

Nicol, F., Hacker, J., Spires, B., Davies, H., “Suggestion for new approach to overheating diagnostics”, *Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 27-29 July 2008.*

In het verlengde van vergelijkbare bevindingen zoals hier boven wordt een voorstel gedaan voor een richtlijn voor adaptief thermisch comfort. De nadruk ligt op de zomersituatie, anticiperend op hogere buitentemperaturen door klimaatverandering.

Uitgangspunt is een adaptief bepaalde comforttemperatuur, berekend op grond van de RMOT. Voor elk moment van het jaar kan worden bepaald hoeveel de optredende operationele temperatuur afwijkt van de berekende comforttemperatuur van die dag; de mate van afwijking vormt een indicatie voor de kans en de mate van discomfort. Hieruit moet de “potential discomfort index” (PDI) van het gebouw worden berekend, al is nog niet vastgesteld hoe dat moet. Verder wordt voorgesteld elke dag de comforttemperatuur voor de verschillende gebouwcategorieën op een website te publiceren, op grond van het weer. Dat maakt het makkelijk de PDI van een gebouw te bepalen.

Nicol, F., Humphreys, M., “Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN 15251”, in *Building and Environment, No 45 (2010), pp.11-17.*

Dit artikel beschrijft hoe de bevindingen uit het SCATs-projects zijn vertaald in de adaptieve temperatuurrichtlijn voor free running buildings in EN15251.

Opmerkelijke punten zijn:

- Er zijn in SCATs weinig gegevens over situaties met luchtsnelheden boven 0,1 m/s.

- Relatieve luchtvochtigheid had nauwelijks invloed op de thermische behaaglijkheid. Dampspanning (absolute luchtvochtigheid) bleek een grotere factor.
- De SCATs database is helemaal gebaseerd op Europees veldonderzoek en daarom meer geschikt voor Europa dan ASHRAE-55 waarbij een wereldwijde database werd gebruikt.
- EN 15251 maakt onderscheid tussen free running en mechanically cooled buildings. ASHRAE onderscheidt naturally ventilated en air conditioned buildings.

Er wordt verder uiteengezet welke werkwijze is gevolgd bij de verwerking van de data van het Europese SCATs onderzoek en hoe de resultaten gebruikt zijn in de Europese EN15251 norm.

De auteurs wijzen erop dat er verschillende indices bestaan die een correlatie beschrijven tussen de fysische omgeving en de subjectieve perceptie van warmte. De verwachting is dat naarmate de index complexer is, dus meer variabelen betreft, deze ook nauwkeuriger het warmtegevoel zal voorspellen. Uit onderzoek van de auteurs blijkt dat het tegendeel het geval is en dat de complexe modellen meer fouten introduceren dan oplossen.

De database RP884 van de Dear en Brager heeft geleid tot de adaptieve richtlijn in ASHRAE-55 en ook ISSO-74 is ervan afgeleid en de database van het SCATS-onderzoek heeft geleid tot de Europese EN-15251 norm. Op het oog zijn de comfortgebieden vergelijkbaar, maar er zijn enkele belangrijke verschillen.

1. *Verschillende databases*

De ASHRAE-database bestaat uit gebouwen verspreid over de wereld, terwijl de SCATs-database bestaat uit Europese gebouwen.

2. *Verschillende gebouw-classificaties*

De ASHRAE-grafiek betreft gebouwen met alleen natuurlijke ventilatie, terwijl de EN-15251 grafiek slaat op gebouwen in de "free-running" modus. Dat betekent dat sommige gebouwen wel in de ene categorie passen, maar niet in de andere. Bijvoorbeeld een gebouw met mechanische ventilatie en te openen ramen past wel in de EN-15251 categorie, maar niet in de ASHRAE-data.

3. *De neutrale temperatuur is anders afgeleid*

Voor de EN-15251 is de neutrale temperatuur afgeleid zonder de effecten van dag tot dag adaptatie en met een aanpassing voor de fout in de voorspellende variabele. In de ASHRAE-database werden de data gegroepeerd per gebouwonderzoek en voor ieder datagroep werd de regressiecoëfficiënt bepaald. De neutrale temperaturen verschillen dan ook. De methode voor EN-15251 is statistisch correcter.

4. *De buitentemperatuur is verschillend gedefinieerd.*

De ASHRAE-grafiek drukt de buitentemperatuur uit als een gemiddelde maandelijkse temperatuur. In de EN-15251 is de RMOT genomen, het exponentieel gewogen lopende gemiddelde, waardoor er rekening wordt gehouden met variaties in het weer. De twee methoden zijn daarom ook niet te vergelijken en uitspraken hierover hebben weinig waarde.

Zhen, T., Love, J. A., "A field study of occupant thermal comfort and thermal environments with radiant slab cooling", in *Building and Environment*, No 43 (2008), pp. 1658 – 1670.

Veldonderzoek naar thermisch comfort bij betonkernactivering, met 82 proefpersonen.

Met stralingskoeling bleek het PMV-model het algemeen thermisch comfort van de proefpersonen goed te voorspellen. Het lokaal thermisch discomfort was klein, vermoedelijk doordat er minder tocht en een minder grote temperatuurgradiënt optrad. De proefpersonen ervoeren zelfs een tekort aan luchtbeweging; er wordt daarom gesuggereerd ook een minimum-luchtsnelheid te hanteren.

Clo-waarden, vastgesteld met ISO 7730 en ASHRAE 55, bleken in Canada in praktijk 0,55 clo in de zomer en 0,78 clo in de winter. Vrouwen hadden in zowel zomer als winter een circa 0,06 clo hogere kledingweerstand.

Voor hetzelfde comfort bleek de luchttemperatuur bij stralingskoeling circa 2°C hoger te mogen zijn dan bij luchtkoeling, omdat de lage stralingstemperatuur dit compenseert. De operationele temperatuur bleek echter niet hoger te mogen zijn.

Persoonlijk beïnvloedingsmogelijkheden bleken een aanzienlijk positief effect te hebben op tevredenheid met de werkomgeving, met de lichtomstandigheden en met de ventilatie / circulatie. Iets minder sterk, maar nog steeds significant was het effect op de algemene tevredenheid met het thermisch comfort.

Strengers, Y., "Comfort expectations: the impact of demand-management strategies in Australia", in *Building Research & information*, No 36:4 (2008), pp. 381-391.

Pleidooi om een halt toe te roepen aan het steeds energie-intensievere verwachtingspatroon dat Australiërs hebben van de binnentemperatuur in woningen. Deels gebaseerd op o.a. Shappell & Shove, die stellen dat de verwachtingen van het binnenklimaat in een eeuw tijd enorm zijn gestegen. Dit leidt tot meer vraag naar airconditioning in woningen en dus ook een enorme piekvraag in de elektriciteitsvoorziening. Een bijkomend effect is dat door de grootschalige toepassing van airconditioning de verwachting van het binnenklimaat ook weer hoger wordt. De spiraal van koeling, gewenning en verwachting neigt naar een steeds groter energieprobleem.

De veelgebruikte technische oplossingen, zoals automatische schakeling van de airco rondom piekuren, doorbreken deze cyclus niet. Het werkt zelfs meer energiegebruik in de hand. Ook energie-efficiëntere apparatuur leidt vooral tot meer gebruik van de airco (en dus nog verder aanscherpen van de verwachting), niet tot minder energiegebruik. De gebruiker betrekken bij het probleem, door de kosten tijdens piekuren te verhogen, werkt beter.

Interviews met 14 medewerkers van de stroomleveranciers wees uit dat zij zich niet verantwoordelijk beschouwen voor de vraag-zijde. Een naar hartelust gekoeld huis wordt als een soort grondrecht beschouwd. De energie die daarvoor nodig is wordt geleverd. Stroomleveranciers hebben er geen belang bij de moraal van de gebruiker te beïnvloeden. De auteur wijst erop dat dit toch niet vreemd zou zijn: tijdens de recente waterschaarste hebben de waterbedrijven en de overheid effectief gewerkt aan een verschuiving van de moraal. Huishoudens gingen veel minder water gebruiken omdat bepaalde vormen van watergebruik algemeen als sociaal onacceptabel beschouwd gingen worden.

De auteur pleit ervoor de spiraal te doorbreken door meer campagne te voeren op grond van wat sociaal acceptabel is. Door de consument op die manier aan te

spreken, en door ze te betrekken bij het probleem, wordt wellicht een warmer binnenklimaat weer acceptabel.

Borgeson, S., Brager, G., “Comfort Exceedance Metrics in Mixed-Mode Buildings”, Windsor 2010, Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort and Energy Use in Buildings, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Hoe kun je eisen stellen aan het thermisch comfort in gebouwen met een hybride klimaatconcept? Er is weinig onderzoek gedaan naar hybride gebouwen. Simulaties wijzen uit dat het PMV-model een heel andere waardering geeft aan zulke gebouwen dan de adaptieve benadering. Bovendien zijn de berekende prestaties zeer gevoelig voor variaties in de invoerparameters. Het is dus wel belangrijk om het juiste model en de juiste aannames te kiezen.

De auteurs stellen dat er meer onderzoek gedaan moet worden voor er iets zinnigs over thermisch comfort in hybride gebouwen gezegd kan worden.

Drie verschillende benaderingen van temperatuuroverschrijding worden besproken:

1. Bracketing: temperatuuroverschrijding wordt uitgedrukt in een range, met een waarschijnlijkheid (*‘likely ranges of exceedance’*). Dit verkleint de invloed van fouten en variërende aannames, maar is lastig te interpreteren.
2. Weighting: overschrijding van een bepaalde grenswaarde wordt gewogen met de mate van overschrijding (bijvoorbeeld PPD-gewogen). Kan onnauwkeurig worden omdat ook de weging afhangt van een model, maar heeft het voordeel dat de mate van discomfort in elk geval op een bepaalde manier is meegewogen.
3. Histograms / distributions. Bijvoorbeeld aantal uren waarin verschillende PPD's worden overschreden. Interpretatie vraagt wat oefening.

De auteurs kiezen bij hun analyse voor bracketing. Ze suggereren bij een hoge kans op discomfort meer maatregelen te nemen om de mate van ‘adaptive opportunity’ te vergroten d.m.v. te openen ramen of andere vormen van gebruikersinvloed in aanvulling op natuurlijke ventilatie.

Hellwig, R.T., “How to improve the indoor climate in classrooms?”, Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Onderzoek gericht op automatisch bedienbare ramen in klaslokalen:

- Vrij uitgebreide toelichting op aspecten en omstandigheden in een klaslokaal/school, als type gebruiker, bezetting, schoolgebouwen, eisen aan lokalen, etc.
- Resultaten van veldonderzoek in 2 klaslokalen naar CO₂-gehalte, temperatuur en tocht met automatische bediening van ramen:
 - Type en posities voor openingen in de gevel zijn van doorslaggevend belang op resultaat;
 - Aparte toe- en afvoerkanalen bieden voordelen, hierin spelen de hoogte en weersomstandigheden een rol. Ook zijn de meest geschikte posities verschillend voor het beheersen van de luchtkwaliteit en warmte;
 - De auteurs doen suggesties voor het succesvol ontwerp van een regelalgoritme;

- Voor het ontwikkelen van de algoritme moet gezocht worden naar type en posities van ramen die het best controleerbaar zijn. Ramen die voor de prestaties sterk afhankelijk zijn van de windsnelheid zijn bijvoorbeeld niet wenselijk;
- Bedieningsparameter van een algoritme is de openingsbreedte, de versturende parameter de temperatuur buiten;
- Eerste resultaten laten zien dat automatische ramen een verbetering kunnen zijn ten opzichte van handmatige bediening. Vervolgend onderzoek noodzakelijk.

Simonella A., Pau, I., “How to design a building envelope to provide thermal comfort and energy efficiency considering climate change”, *Proceedings of Conference: Adapting to change: New Thinking on Comfort, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.*

- Gebouwonwerpers kunnen anticiperen op klimaatverandering d.m.v. aanpassingen in gevel.
- Invloedsfactoren van klimaatverandering op het gevelontwerp:
 - Temperatuurstijging;
 - Vochtigheid, toename van overschrijdingssituaties, te veel water (overstroming) en droogte;
 - Toename gemiddelde oppervlaktestraling door de zon (relatief nieuw onderzoeksaspect van klimaatverandering);
 - Windsnelheid
- Resultaten van computersimulaties met Arups software tool, Oasys ROOM:
 - Bij een lage zontoetredingscoëfficiënt (g-value) van de ramen zijn de verschillen tussen de CO₂-uitstoot van ventilatiesystemen klein;
 - Bij een hoge zontoetredingscoëfficiënt (g-value) van de ramen zijn de verschillen tussen de CO₂-uitstoot van ventilatiesystemen groot;
 - Vergelijking van verschillende ventilatiesystemen laten zien dat natuurlijke ventilatie niet altijd geschikt is voor het verminderen van CO₂- uitstoot en het verbeteren van de comfortbalans. Het kan niet in alle gevallen oververhitting voorkomen.
 - Bij de uitgevoerde computersimulaties heeft de U-waarde beperkte invloed op het comfort.
- Ontwerpbenaderingen voor het aanpassen van bestaande gebouwen aan klimaatveranderingen (onderstaande punten worden in artikel uitgewerkt):
 - Verbetering prestaties van zonwering van de gevel;
 - Verbeteren van daglichttoetreding;
 - Verbeteren thermische prestaties;
 - Mogelijkheid tot natuurlijke ventileren;
 - Toevoegen thermische massa;
 - Toepassen groene en levende gevels;
 - Mogelijkheid tot aanpassen van comfort;

Roetzel, A., Dietrich, U., Tsangrassoulis, A., Busching, S., “Influence of building use on comfort and energy performance in offices”, in *Proceedings of Heathy Buildings, 2009.*

Onderzoek door middel van een proefkamer (kamerkantoor).

Energiegebruik onderverdeeld in twee invloeds-categorieën:

gebouweigenschappen en eigenschappen beïnvloed door gebruikers.

Er wordt gebruik gemaakt van twee scenario's voor de invloed van gebruikers: worst case en gemiddeld.

Resultaten:

- Optimaal gebouwgebruik op bedrijfsniveau kan energiegebruik, CO₂-emissie en gebruikskosten met 70 procent reduceren t.o.v. het worst case scenario. De bijdrage van een enkele gebruiker is met 15 procent relatief klein;
- Optimaal gebouwgebruik kan de piekkoelbelasting met 65 procent reduceren in vergelijking met het worst case scenario
- Uitgaande van de toepassing van adaptief thermische comfort in hybride gebouwen, kan de koeltemperatuur met 3-7 K verhoogd worden in vergelijking met de gebruikelijke temperatuur van 22 °C;
- Voor gebouwgebruik is in het kader van optimalisatie van energie gebruik, thermisch comfort en CO₂-emissie het reduceren van interne warmtelast het belangrijkste. Daarnaast is er veel potentieel voor het optimaliseren van het energiegebruik van kantoorapparatuur en lichtsystemen.
- Handbediendbare blinderings- en lichtsystemen kunnen het percentage van werktijd met uitzicht tot 30 procent verhogen, zonder negatieve invloed op thermisch comfort.

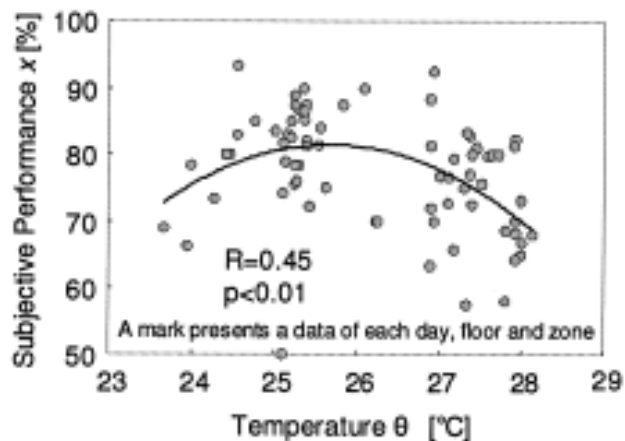
Tawada, T., et al., “A field study of relationship between thermal environment, productivity and energy consumption in an office”, in *Proceedings of Heathy Buildings, 2009.*

Veldonderzoek met 355 werknemers in een kantoor en parallel onderzoek met 12 studenten (studentenonderzoek in zelfde omstandigheden en kantoorgebouw

De werknemers werkten onder temperaturen van 25 en 28°C en werden de volgende vragen gesteld:

- Wat zijn de storende factoren voor comfortabel werken?
- Als die storende factoren verbeterd worden, wat is dan de geschatte toename in productiviteit (%)?

Resultaat:



- Maximaal haalbare prestatie van 82 bij 25.6 °C?
- Bij een enthalpie van 70,3 (kJ/kg), is voor dit onderzoek de volgende vergelijking gevonden tussen energieverbruik (E -kWh/m²/day) en temperatuur (θ in °C) van de ruimte: $E = (-25.3 \theta + 758)/388$
- Optimale temperatuur voor verhouding energieverbruik en productiviteit is 27,3°C.

Hensen, J.L.M., "Literature review on thermal comfort in transient conditions", in *Building and Environment*, Vol. 25 (1990), no. 4, pp. 309-316.

De theoretische kennis op het gebied van thermisch comfort met wisselende omstandigheden is beperkt. De enige aanwezige kennis zijn de resultaten van experimenten.

De resultaten van experimenten met cyclisch wisselende temperaturen komen redelijk overeen met de AHRAE standard 55-1981.

Een oplopende of dalende temperatuur (temperature drifts or ramps) van onder de 0,5 K/h kan beschouwd worden als een evenwichtssituatie. Voor situaties met een oplopende of dalende temperatuur (temperature drifts or ramps) van 0,5 K/h tot 1,5 K/h is geen goede grondslag voor conclusies over de invloed op het comfort.

Uit diverse experimenten blijkt de invloed van kleren op de thermische gevoeligheid bij temperatuurwisselingen te verwaarlozen. Met betrekking tot de mate van activiteit blijkt de thermische gevoeligheid groter ten tijde van rust. Bij een comfortabele operationele temperatuur blijkt het effect van de relatieve vochtigheid, mits tussen de 20 % en 70 %, te verwaarlozen.

Zhang, Y., Zhao, R., "Overall thermal sensation acceptability and comfort", in *Building and Environment*, Vol 43 (2008), pp. 44-50.

Het doel van het onderzoek is de relatie tussen de algehele thermische beleving, acceptatie en comfort onder niet- uniforme omstandigheden te onderzoeken.

Voor het onderzoek zijn er metingen gedaan in een klimaatkamer met een constante temperatuur, door middel van koude luchtstroom wordt een niet-uniforme situatie gecreëerd.

Conclusies:

- In vergelijking met uniforme situaties kan bij niet-uniforme situaties geen lineaire relatie gevonden worden tussen thermische beleving en comfort. Over het algemeen is er in niet-uniforme situaties minder comfort bij een gelijke thermische beleving. Een lichaamstemperatuur die niet op alle lichaamsdelen gelijk is, is vermoedelijk een oorzaak hiervan.
- Een lineaire relatie voor thermische acceptatie en thermisch comfort is voor zowel een uniforme als een niet-uniforme situaties af te leiden.

Voorstel voor een model, rekeninghoudend met niet-uniformiteit:

$TA(\text{totale thermische acceptatie}) = TA1(\text{uniforme deel}) + TA2(\text{niet uniforme deel})$.

Op basis van de data zijn de volgende vergelijkingen afgeleid. $TA1 = -0,41 * TS + 0,58$ en $TA2 = -0,27 * TSd$. Waarbij TS de totale thermische beleving is.

Hierop volgend is een thermisch acceptabel gebied:

$$-0,41 * TS + 0,58 - 0,27TSd > 0$$

Kruger, E.L., Zannin, P.H.T., "Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms", in *Building and Environment*, Vol 39 (2004), pp. 1055-1063.

In het artikel wordt veldonderzoek van geluid, warmte, lichtsterkte en daglicht in klaslokalen besproken. De resultaten worden uitgebreid gepresenteerd, maar er worden geen duidelijke conclusies uit de resultaten getrokken. De algemene conclusie is dat een integrale benadering van alle aspecten noodzakelijk is voor een goed ontwerp.

Atmaca, I., Kaynakli, O., Yigit, A., "Effects of radiant temperature on thermal comfort", in *Building and Environment*, Vol 42 (2007), pp.3210-3220.

In dit onderzoek worden de effecten van stralingstemperatuur op het thermisch comfort en de invloed van verschillende constructies op de stralingstemperatuur onderzocht.

Voor het onderzoek wordt gebruikt gemaakt van een Gagge 2-node model en het opdelen van het menselijk lichaam in 16 delen. Het model blijkt goed overeen te komen met andere studies. De belangrijkste verschillen met andere modellen zijn:

- Toepassing van een Gagge 2-node model op lichaamssegmenten,
- De gemiddelde stralingstemperatuur en operationele temperatuur worden onafhankelijk van elkaar bepaald.

Uit het onderzoek blijkt bij een groot verschil tussen de operationele temperatuur en de stralingstemperatuur, de PMV hoger uitvalt. Bij 0 °C graden verschil is de PMV 0,1 bij 12 °C graden verschil komt de PMV uit op

1. Daarnaast neemt het comfort, voornamelijk rond warme plekken van het lichaam af.

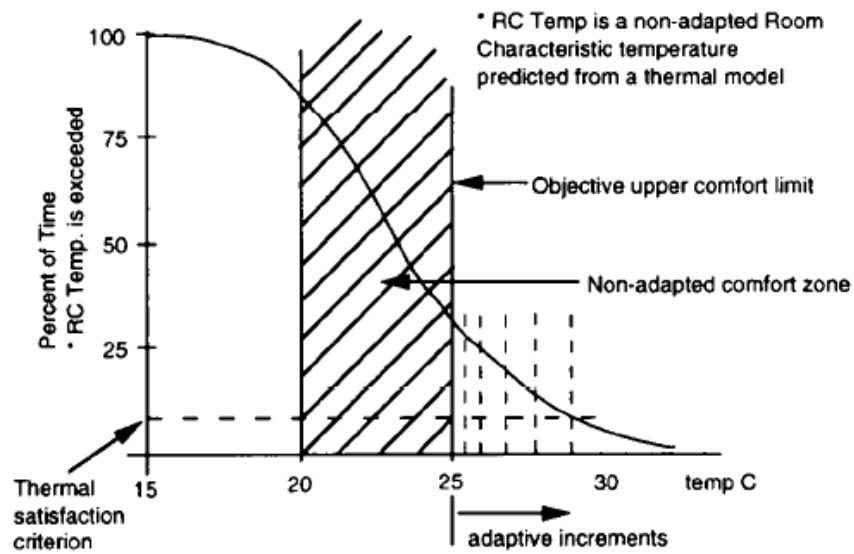
In het artikel wordt voor veel voorkomende constructies een overzicht gegeven van de invloed op de stralingstemperatuur.

Hoyt, T., Zhang, H., Arens, E., “Draft or breeze? Preferences for air movement in office buildings and schools from the ASHRAE database”, in *Proceedings of Healthy Buildings*, 2009.

In dit artikel wordt onderzoek gedaan op basis van gegevens van onderzoeken uit de ASHRAE database. Ontwerpcriteria van de ASHRAE t.o.v. maximaal toelaatbare lichtsnelheden (bij temperaturen tot 26 °C: $0,15 \text{ m/s} \leq v \leq 0,2 \text{ m/s}$) worden vergeleken met de beleving van mensen. Door verruiming van de criteria zijn, bijvoorbeeld door het verlagen van de airconditioning, energiebesparingen te realiseren. Op basis van het onderzoek is het toestaan van hogere lichtsnelheden gewenst. Hiervoor geldt wel de voorwaarde dat de thermische beleving neutraal of warm moet zijn.

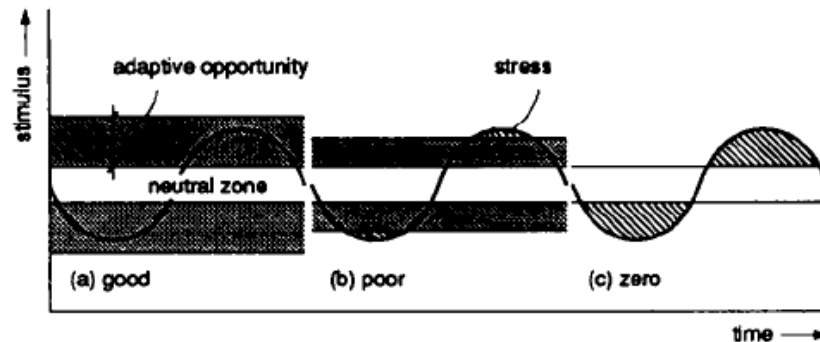
Baker, N., Standeven, M., “Thermal comfort for free-running buildings”, in *Energy and Buildings*, 23 (1996), pp. 175-182.

In dit artikel worden enkele thermisch comfort surveys samengevat, waarbij de nadruk is gelegd op adaptieve acties die mensen aanwenden om zich behaaglijk te voelen. Enkele constatering zijn dat mensen binnen een dag nauwelijks hun kleding variëren om zich thermisch behaaglijk te voelen, maar 75% van de onderzochte populatie geeft aan dat het weer en het binnenklimaat 's-ochtends bepalend is bij de keuze van de kleding. Daarnaast werd veelvuldig gebruik gemaakt van te openen ramen, deuren, ventilatoren en zonwering om zich thermisch behaaglijker te voelen. Bij toenemende warmte werden er ook meer koude dranken gebruikt. Een blikje koude drank koelt het lichaam met circa 12W, wat leidt tot een verlaging van het metabolisme met 10% (PMV verandert van 0,59 naar 0,44). Daarnaast gaan mensen langzamer bewegen, wat leidt tot een verlaging van het metabolisme met 10%. In een PMV-berekening worden deze “adaptieve fouten” niet meegewogen. Wanneer er in een PMV-berekening echter wel rekening wordt gehouden de invloed van maatregelen die bewoners nemen, zoals het bedienen van ramen, zonwering, verhogen van de lichtsnelheid, het aanpassen van kleding, langzamer bewegen dan is zien we dat zogenoemde “adaptieve stapjes” de comfortgrens aanzienlijk kan verhogen (zie onderstaande afbeelding).



Figuur 6: Grafische weergave van het gebruik van adaptieve mogelijkheden.

In figuur 7 wordt aangegeven fluctuaties van de temperatuur door een individu kunnen worden opgevangen door de neutrale zone te vergroten door "adaptieve mogelijkheden" te gebruiken. Wanneer de adaptieve mogelijkheden er niet zijn zal dit tot stress of ontevredenheid leiden.

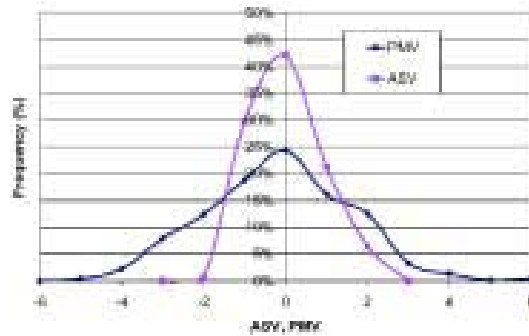


Figuur 7: Het comfortgebied wordt uitgebreid boven de neutrale zone door adaptieve mogelijkheden .

Nikolopoulou, M., "Outdoor comfort", in *Environmental Diversity in Architecture*, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.

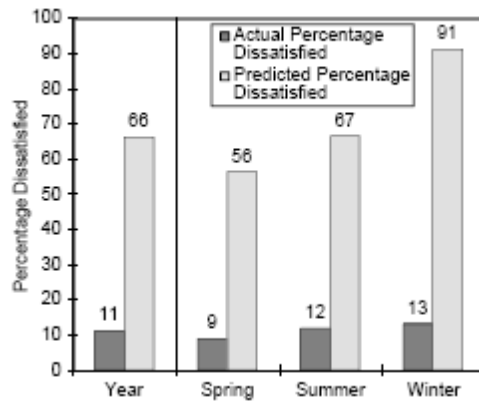
In dit artikel wordt het adaptatiegedrag van 1431 mensen onderzocht in het buitenklimaat en overgangsgebieden tussen binnen en buiten, met behulp van metingen en gedragsonderzoek. Het thermisch comfort van gebieden rondom gebouwen, beïnvloedt het gebruik dat mensen van die gebieden maken. Buitengebieden worden, thermisch gezien, niet vaak bij het (steden)bouwkundig ontwerp betrokken, terwijl ze een belangrijke rol vervullen bij de menselijke behoefte naar ontspanning, recreatie en communicatie. Conventionele thermische behaaglijkheidsmodellen gaan uit van een steady state situatie en het handhaven van de menselijke warmtebalans, waardoor de thermische waardering alleen afhangt van het activiteitsniveau en de kledingisolatie en daarmee een smalle temperatuurbandbreedte heeft. Toch worden parken, terrassen, pleinen en tuinen intensief gebruikt bij temperaturen buiten de bandbreedte van het conventionele

thermisch comfort model. Uit onderzoek van de auteur blijkt dat de intensiteit van het gebruik van dergelijke buitenruimtes afhangt van de mogelijkheden die de ruimtes bieden tot adaptatie van de gebruikers. Wanneer het werkelijke thermisch comfort (ACV) wordt vergeleken met de berekende PMV dan blijkt het werkelijke comfort veel groter te zijn dan het theoretisch berekende (zie figuur 8).



Figuur 8: Percentage frequentieverdeling van de voorspelde gemiddelde waardering percentage (PMV) en de werkelijke gemiddelde sensatie (ASV) .

Uitgedrukt in percentage ontevredenen is het werkelijke percentage ontevredenen veel kleiner dan het voorspelde percentage (zie figuur 9).



Figuur 9: Vergelijking tussen het werkelijke percentage ontevredenen (ASV) en het voorspelde percentage ontevredenen (PMV).

Centrale rol in bovenstaande verschillen is adaptatie. Nikolopoulou onderscheidt verschillende soorten adaptatie:

- *Fysische adaptatie.* Dit zijn veranderingen die iemand aanbrengt in de omgeving om tegemoet te komen aan zijn of haar behoeften. Hierin maakt ze verder onderscheid in:
 - *Reactieve adaptatie.* Dit zijn persoonlijke veranderingen zoals het aanpassen van kleding en houding en het drinken van koude dranken ($\pm 15\%$ verandering in metabolisme). Een andere vorm is het op een andere plaats gaan zitten. Dit is buiten een heel effectieve adaptatie, binnen is dit meestal niet mogelijk door het overwegende monotone binnenklimaat.
 - *Interactieve adaptatie.* Dit zijn aanpassingen aan de omgeving zoals het openen van ramen of bijvoorbeeld een parasol of uitvalzonwering.
- *Fysiologische adaptatie* of fysiologische acclimatisatie treedt alleen op in extreme klimaatomstandigheden.
- *Psychologische adaptatie.* Een fysische stimulus leidt niet bij iedereen tot dezelfde perceptie, maar is afhankelijk van de informatie die iemand op een bepaald moment heeft. Psychologische adaptatie beïnvloedt daarom de menselijke thermische gewaarwording op verschillende manieren:
 - *Natuurlijkheid* is een begrip dat aangeeft in welke mate een omgeving vrij is van kunstmatigheid.
 - *Verwachtingen.* Dit geeft aan hoe een omgeving zou moeten zijn in tegenstelling tot hoe het werkelijk is.
 - *Ervaringen.* Kortdurende ervaringen die in het geheugen zitten op een dagelijkse basis en langdurige ervaringen die in de menselijke "programmatuur" zitten.
 - *Blootstellingsduur.* Een kortdurende blootstelling aan een extreme temperatuur wordt als minder ernstig opgevat dan een langdurige blootstelling.
 - *Ervaren beïnvloeding.* Naarmate mensen meer invloed hebben op de omgeving worden grotere variaties en een groter temperatuurgebied geaccepteerd. Dit geldt ook voor mensen die keuze hebben zelf hun tijd in te delen of naar een andere (werk)plek te gaan.
 - *Omgevingsstimulatie.* Er worden steeds meer indicaties gevonden dat mensen een variabel klimaat boven een stabiel klimaat prefereren. Menselijke zintuigen zijn ontwikkeld om veranderingen waar te nemen in kleur, geur, licht, geluid en temperatuur. Opmerkelijk was dat de onderzochte mensen die in de zon zaten in de meerderheid in de uren daarvoor binnen hebben gezeten, terwijl mensen die in de schaduw zaten, daarvoor buiten zijn geweest. Volgens de auteur komt dit omdat de mensen hun zintuigen wilden stimuleren en warmte willen opslaan voordat zij weer in het monotone binnenklimaat moeten verblijven. De mensen die al langer buiten verbleven hadden deze behoefte minder. Dit zou ook een aanwijzing kunnen zijn dat warmteopslag, dat geen deel uitmaakt van het PMV-model, een belangrijke parameter kan zijn bij thermisch comfort.

Adaptatie wordt in dit artikel voorgesteld als een continuüm. Aan het ene einde van het continuüm zijn klimaatkamers en aan het andere einde de buitenomgeving. Daar tussen in zitten, na de klimaat kamer, centraal geregelde airconditioned ruimtes en vervolgens free running gebouwen. Op iedere plaats op dit continuüm vind men een andere frequentieverdeling van het werkelijke thermisch comfort en de PMV, afhankelijk van de adaptieve mogelijkheden.

De resultaten van dit onderzoek zouden voor het ontwerpen van ruimtes betekenen dat er meer mogelijkheden worden geboden voor psychologische adaptatie door

bijvoorbeeld meer natuurlijkheid in het ontwerp, meer ruimtelijk, thermische variabiliteit, meer beïnvloedingsmogelijkheden.

Nicol, J.F., Raja, I.A., *Thermal Comfort, time and posture: explanatory studies in the nature of adaptive thermal comfort*, Oxford: School of Architecture Oxford Brookes University, 1996.

Dit onderzoek betrof een veldstudie in een serie gebouwen op het universiteitscomplex van de Oxford Brookes Universiteit te Engeland. Het vond plaats in augustus en september 1994, gedurende 7 weken. Het ging om 20 proefpersonen: administratief personeel, wetenschappelijk medewerkers en studenten. Het onderzoek vond plaats in 4 gebouwen: 2 'lichtgewicht' free running buildings, 1 airconditioned en 1 middelzwaar free running building . De proefpersonen werd gevraagd om 3 keer per dag een formulier in te vullen ('s ochtends, aan het begin van de middag, en aan het eind van de middag). Hierop moest men behalve de momentane activiteit en de hoeveelheid kleding en (momentaan) ook het gebruik van persoonlijke beïnvloedingsmogelijkheden op invullen (zonwering en lichtwering open/dicht, ramen en deuren open/dicht, ventilatoren wel of niet in gebruik, verwarming aan of uit, etc). Tevens vulde men steeds de momentaan ervaren behaaglijkheid in op de 7 punts-comfort schaal (ASHRAE), de thermische voorkeur (wil warmer, wil kouder) en de ervaren huidnatheid.

De bevindingen van de onderzoekers waren als volgt:

De comfort temperatuur, de hoeveelheid kleding die men droeg (kledingisolatie), en de persoonlijke score op de comfort schaal bleken sterk gerelateerd te zijn aan de gemiddelde buitentemperatuur.

Verder was de correlatie met de 'running mean outdoor temperature' (TN rm80) sterker dan die met momentane buitentemperatuur of de dagelijkse gemiddelde buitentemperatuur. Dit impliceert dat het eerder 'het weer gedurende de afgelopen dagen' dan het weer van vandaag of gister of de gemiddelde maandtemperatuur is de grootste invloed op comforttemperatuur, de kledingisolatie en de comfortbeleving heeft. De comforttemperatuur bleek met de volgende formule voorspeld te kunnen worden: $T_c = 0,48 T_{rm80} + 14,8$.

Dit gold voor alle 4 de gebouwen. Men vond dus geen significant verschil tussen de comforttemperatuur in het lichtgewicht gebouw en het zwaar gebouw en geen significant verschil tussen de gebouwen met airco en die zonder airco.

Verder vonden de onderzoekers dat men, zolang men binnen bandbreedtes van 4 K blijft (rond de comforttemperatuur, zie de formule) er geen noemenswaardig invloed op de ervaren behaaglijkheid is. De kledingisolatie bleek te voorspellen met de formule: $I_{clo} = 1,26 - 0,33 T_{rm80}$.

Verder bleek de momentane comfort vote niet alleen van de 'running mean outdoor temperature' af te hangen, maar ook van de momentane buitentemperatuur. In formule vorm: momentane C = $0,23 T_g - 0,12 T_{rm80} + 0,8$ (dus de comfort vote is zelfs sterker afhankelijk van de momentane buitentemperatuur T_g dan van T_{rm80}).

Echter voor de comfort temperatuur zelf bleek de invloed van de momentane buitentemperatuur zeer beperkt en dus niet in de formule terug te vinden: T_{cd} (daily mean comfort temperature) = $0,602 T_{rm80} + 11,7$.

De onderzoekers constateerden ook dat de proefpersonen in gebouwen en ruimten waar men relatief veel persoonlijke beïnvloedingsmogelijkheden had (te openen raam, zonwering), minder snel discomfort ervoeren. Ook vond men nog dat de houding van de proefpersonen (wel of niet gebogen zitten) beïnvloed werd door de momentane ruimtetemperatuur: het convectieve lichaamsoppervlak nam met ca 2% toe bij elke graad temperatuurstijging.

Wyon, D.P., "Assessment of human thermal requirements in the thermal comfort region", in *Proceedings of a Conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Over het belang van individuele beïnvloeding: Thermische behaaglijkheid is een individuele aangelegenheid en een zaak van compromissen sluiten (compromissen tussen bijvoorbeeld geluid en temperatuur, lokale onbehaaglijkheid en algehele thermische behaaglijkheid). Deze compromissen moeten van moment tot moment kunnen worden gesloten door de gebouwgebruiker zelf, en niet door de groep als geheel, de gebouwbeheerder of de ontwerper van gebouw en installatie.

Tekenend is bijvoorbeeld het onderzoek van Kroner et al (1992, 2000). Medewerkers in een kantoortuin kregen in een Zweeds kantoorgebouw van een verzekeringsmaatschappij de beschikking over een console op hun bureau waarmee men individueel de hoeveelheid verse luchttoevoer en de lokale temperatuur en luchtsnelheid kan bepalen. De introductie van deze 'environmental responsive workstations (ERW's)' leidde tot een significante verhoging van de productiviteit van de medewerkers.

Over persoonlijke beïnvloeding en ziekteverzuim en productiviteit: Ook verwijst Wyon naar het Nederlandse onderzoek in 69 kantoorgebouwen eind jaren 80 van Preller et al, (1990). Zij vonden dat het ziekteverzuim in gebouwen waar gebruikers hun thermische omgeving kunnen beïnvloeden 34% lager ligt dan in gebouwen waarin men zelf geen invloed heeft op de binnentemperatuur. Vergelijkbaar onderzoek in Engeland (Raw et al, 1990) toonde aan dat de door medewerkers zelf ingeschatte productiviteit beduidend hoger lag voor personen die zelf hun eigen thermisch binnenklimaat konden beïnvloeden.

Pepler en Warner (1968) deden onderzoek naar de invloed van het thermische binnenklimaat op de productiviteit. Jonge Amerikanen in zomerkleding werd verzocht mentale arbeid te verrichten bij verschillende temperaturen in een klimaatkamer. Tegelijkertijd werd bepaald bij welke omstandigheden men zich het meest comfortabel voelde. De resultaten: men vond gemiddeld genomen een temperatuur van 27 °C het meest aangenaam. Dit was echter tegelijkertijd de omstandigheid waarbij men het minste werk verrichtte! Men bleek het meest productief te zijn bij 20 °C. Terwijl de meesten zich tegelijkertijd oncomfortabel koud voelden bij die temperatuur. Een enigszins verrassend resultaat was verder dat de productiviteit bij het oplopen richting de 27 °C terug liep, maar bij extreem hoge temperaturen (hoger dan 27 °C) ging de productiviteit weer omhoog!

De bevindingen van Pepler en Warner zijn in overeenstemming met latere onderzoeken van Wyon et al (1982) en Kok et al (1983). Er werd onderzoek gedaan naar de productiviteit van fabrieksarbeiders in Zuid-Afrika. Ten eerste werd gevonden dat de neutrale temperatuur voor het verrichten van industriële

werkzaamheden voor de personen die onderzocht werden rond de 20 °C lagen. Echter, men bleek het meest productief te zijn (in normale werkkleding) bij temperaturen rond de 32 °C. Bij bijvoorbeeld 26 °C lag de productiviteit beduidend lager, maar ook bij hogere temperaturen (bij 38 °C) was men minder productief.

Slotwoord van Wyon: Het 95% interval voor individuele neutrale temperaturen blijkt (onder standaardcondities, matige zittende activiteit) een breedte te hebben van meer dan 10 °C. Met andere woorden: het verschil in gewenste temperatuur van een relatief koudelijk persoon en iemand die juist van een koele omgeving houdt kan in de orde van grootte van 10 °C liggen. Vandaar de uitspraak: Individuele verschillen (in gewenste temperatuur) zijn zo groot dat je het een historische fout zou kunnen noemen om richtlijnen en normen te ontwikkelen die gericht zijn op het garanderen van thermische comfort 'voor de groep'.

Mayer, E., "Objective criteria for thermal comfort", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.*

De mens beschikt over koude- en warmtereceptoren. Koudesensoren zijn opgenomen in de huid: ze reageren sterker naarmate de (huid)temperatuur lager wordt. De koudesensoren worden pas geactiveerd beneden een bepaalde grenstemperatuur. Deze 'trigger-temperatuur' ligt rond een huidtemperatuur van 32-34 °C. De warmtesensoren bevinden zich in de hersenen (hypothalamus). De warmtesensoren worden pas geactiveerd als de temperatuur in de hersenen boven een bepaalde grenstemperatuur komt. Hiervoor ligt de grens op circa 37 °C. Overigens geldt voor zowel de koude- als de warmtesensoren dat ze niet alleen op temperaturen, maar juist op temperatuurwisselingen reageren.

De huid bevat ook warmtesensoren en de hypothalamus bevat koudesensoren, maar deze spelen geen rol van betekenis voor de algemene behaaglijkheidservaring. Figuur 1 illustreert dit. Een jongeman met alleen een korte broek aan is blootgesteld aan diverse omgevingstemperaturen. Gemiddelde huidtemperatuur en temperatuur van de hersenen (binnenoor) is gemeten en afgezet tegen de omgevingstemperatuur (operatieve temperatuur). Te zien is dat in dit geval de grenstemperatuur voor de huid (voor activering van de koudesensoren) 34 °C was en die voor de hersenen (voor activering van de warmtesensoren) was 37 °C. De arceringen geven aan wanneer de omgevingstemperatuur als oncomfortabel werd ervaren: beneden 30 °C begon de proefpersoon het koud te vinden. Boven 30 °C begon hij het warm te vinden.

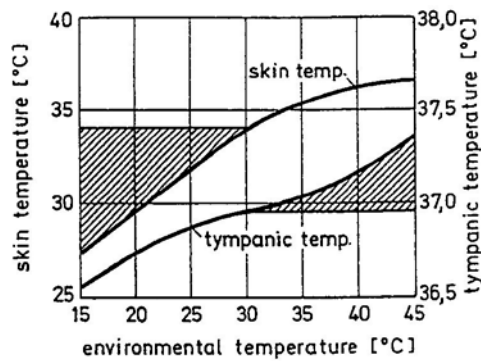


Figure 1 Skin and tympanic temperatures of a young man at rest, wearing only trunks exposed to different environmental temperatures; the shaded areas represent the uncomfortable conditions (Benzinger, 1979)

Hierbij overigens de opmerking dat de grenstemperaturen (comforttemperaturen) niet voor iedereen gelijk zijn, en tijdsafhankelijk zijn (afhankelijk van het tijdstip op de dag). Wat betreft het laatste: het is algemeen bekend dat de lichaamstemperatuur van de mens varieert over de dag. Het min of meer sinusvormige verloop kent een maximum rond 4 uur 's middags, en een minimum rond 4 uur 's nachts. Met het over de dag variëren van de lichaamstemperatuur varieert ook de 'setpointtemperatuur' van de warmte- en koudesensoren. Zie figuur 2 voor een weergave voor het genoemde dagelijkse verloop van de 'setpointtemperatuur' van de koudesensoren (huidtemperatuur) en de warmtesensoren (temperatuur hersenen). Het betreft metingen aan 5 proefpersonen. Oorspronkelijke bron: Mayer (1985).

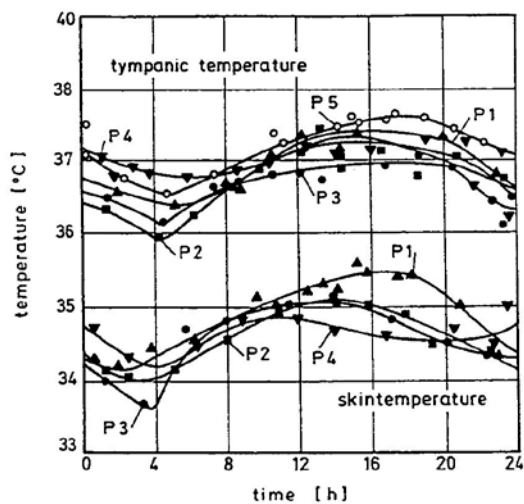
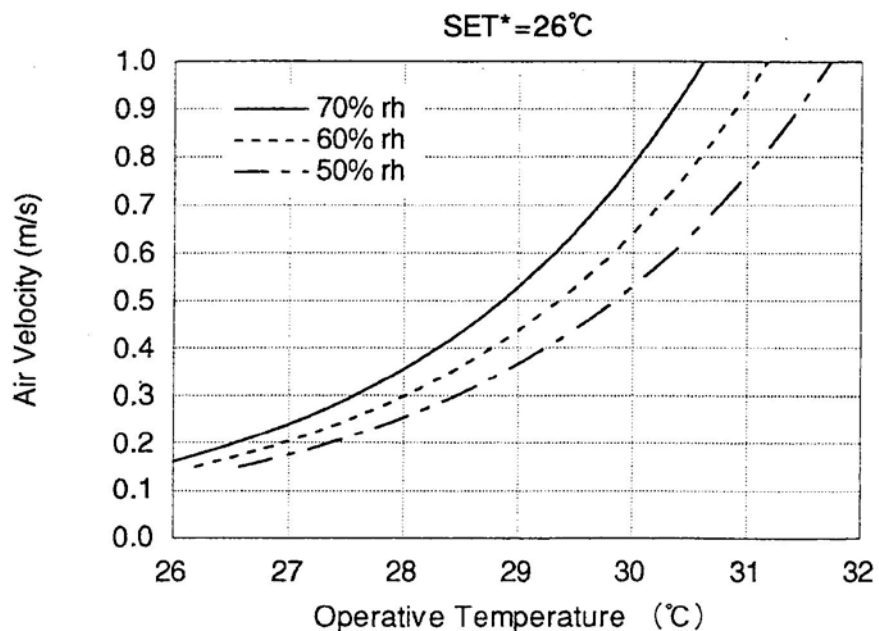


Figure 2 Daily rhythm of the set point for cold-sensation (skin temperature) and warm-sensation (tympanic temperature), measured at test persons 1 - 5 (Mayer, 1985)

Kimura, K., "Climate chamber studies for hot and humid regions", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Klimaatkamer onderzoek leerde dat Japanse proefpersonen bij hogere temperaturen en hogere luchtvochtigheden beduidend minder zweetten dan Amerikaanse proefpersonen. Ook bleek de huidnatheid van de Japanners beduidend lager te zijn. Er werd onderzoek gedaan bij luchttemperaturen tot 31 °C en relatieve vochtigheden tot 80%. De uitkomsten stemmen overeen met eerder Japans onderzoek begin jaren 80. Op basis van de resultaten toen suggereerde Osada (1982) dat mensen die in warme, vochtige klimaten leven over het algemeen minder zweten zolang men onder bepaalde grenzen (luchttemperatuur, luchtvochtigheid) blijft. Maar dat deze mensen juist meer zweten dan andere volkeren die in een kouder klimaat leven zodra het extreem warm en vochtig wordt.

Juist in warme situaties en zeker in warme, vochtige situaties kan verhoging van de luchtsnelheid veel comfort bieden. Kimura introduceert in die context de term 'ventilative cooling'. Dit biedt, aldus de auteur mogelijkheden voor het ontwerp van semi-geconditioneerde gebouwen (bijvoorbeeld gebouwen met automatische geregelde ventilatoren). Daarbij is het natuurlijk een belangrijk mechanisme dat optreedt in natuurlijk geventileerde gebouwen: raam open zetten leidt tot verhoging van de gemiddelde luchtsnelheid binnen. Op basis van klimaatkameronderzoek zijn Kimura et al in staat om een ontwerpdiagram te geven voor ideale luchtsnelheden in warme, vochtige situaties. Zie de figuur hieronder.



Figuur 1: Aanbevolen luchtsnelheid in relatie tot operatieve temperatuur en luchtvochtigheid. Een SET van 26°C betekent dat proefpersonen wat betreft thermische sensatie comfortabel waren en fysiologisch gezien net niet transpireerden (Kimura, 1994).*

Humphreys, M.A., "Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Een meta-analyse midden jaren 70 bij het Building Research Institute in Engeland (Humphreys, 1976) toonde aan dat verschillende groepen mensen – in de praktijk – zich bij zeer uiteenlopende temperaturen comfortabel voelden. De verschillen in ranges waren circa 2 keer zo groot als alleen op basis van verdisconteren van de verschillen in kledingisolatie verwacht zou mogen worden. Toentertijd al werd geconstateerd dat comforttemperaturen gebaseerd op warmte-uitwisselings theorieën en comforttemperaturen die gevonden werden in de praktijk lang niet altijd hetzelfde waren.

Ook een tweede heranalyse (begin jaren 90) door Humphreys et al toont dat er verschillen zijn tussen de behaaglijkheidsscore van gebouwgebruikers (MV) in de praktijk en de PMV-waarde (zie tabel 1).

Duidelijk is te zien dat de verschillen bij sommige onderzoeken vrij groot waren. Soms ging het om verschillen die overeenkomen met temperatuurverschillen van circa 3 °C.

Tabel 1: Heranalyse Humphreys van veldonderzoek: gevonden Mean Vote (MV), Predicted Mean Vote (PMV) op basis van gemeten omgevingsparameters, vergelijking tussen MV en PMV (delta) en gemiddelde temperatuur die gemeten werd (\bar{t}) (Humphreys, 1994)

	<i>MV</i>	<i>PMV</i>	δ	\bar{t}
Schiller (1988,1990):				
offices (winter)	0.2	-0.9	1.1	22.5
offices (summer)	0.2	-0.5	0.7	23.5
Baillie <i>et al</i> (1987):				
office	0.5	-0.3	0.8	21.0
college	1.2	0.1	1.1	22.9
Griffiths (1990):				
homes (summer)	0.8	0.0	0.8	23.8
offices(Oct)	0.3	-0.3	0.6	21.7
.. (Oct)	0.9	0.1	0.8	23.6
.. (Sep)	-0.1	-0.4	0.3	24.5
.. (Nov)	0.5	-0.4	0.9	22.4
.. (May)	0.1	-0.5	0.6	22.4
.. (Jan)	0.8	-0.1	0.9	23.1
.. (Mar)	0.8	-0.3	1.1	23.3
.. (May)	0.7	-0.5	1.2	22.0
homes (Jun)	0.2	-0.5	0.7	21.8
.. (Oct)	0.3	-0.9	1.2	20.2
.. (Mar)	0.5	-1.2	1.7	19.5
.. (May)	0.5	-1.4	1.9	20.2
.. (Jun)	0.8	-0.3	1.1	24.7
.. (Mar)	0.9	-1.1	2.0	20.0
.. (Mar)	1.2	-0.7	1.9	21.5
health workers (Jun)	0.8	-0.2	1.0	22.5
de Dear & Auliciems (1985^{a,b}):				
Darwin offices,"dry"	-0.4	-0.5	0.1	23.5
.. .. "build-up"	-0.1	-0.5	0.4	24.1
Brisbane, summer	0.0	-0.5	0.5	23.9
.. ..	0.8	0.7	0.1	27.9
Melbourne, summer	0.3	-0.4	0.7	23.8
.. ..	0.7	-0.2	0.9	24.5
Busch (1990, 1992):				
Bangkok offices (AC)	-0.1	-0.1	0.0	24.5
.. .. (NV)	1.2	2.6	1.4	32.9

Notes on table:

- i Griffiths and Baillie use the extended (9-point) ASHRAE scale of warmth. I have allowed for this by multiplying their *MV* by 0.75. I have used the ISO (1990) algorithm to calculate *PMV*. \bar{t} is the mean of air temperature and mean radiant temperature.
- ii de Dear and Auliciems quote their results on the Bedford scale, as it yields results not significantly different from the ASHRAE scale. \bar{t} is the temperature of a globe thermometer.
- iii Schiller and Busch use the standard ASHRAE scale, and quote their temperatures in terms of *ET**.

Een tweede aspect betreft de algemene aanname dat bij een standaard activiteitsniveau en een standaard metabolisme de neutrale temperatuur altijd hetzelfde is. Echter: klimaatkameronderzoek toont aan dat er significante verschillen zijn, al dan niet van plaats tot plaats (klimaat), van seizoen tot seizoen of van cultuur tot cultuur. Bij dezelfde kledingsisolatie en vergelijkbare activiteitsniveaus blijken de neutrale temperaturen, zelfs in klimaatkamers, te variëren tussen 25 °C en 28 °C. Zie tabel 2.

Tabel 2: neutrale temperaturen zoals gevonden in diverse klimaatkamer onderzoeken

Location of climate chamber		$t_n(^{\circ}\text{C})$
Typical pre-1980 results:	Danish	25.7
	American	25.6
Some post-1980 results:	Hong Kong Chinese	24.9
	Khartoum (Sudan)	~29.0
	Japan	26.3
	Iraq	25.9 [†]
	Chinese (Malaysia)	28.0
	Malays (Malaysia)	28.7
	Malays (London)	25.7
	Singapore	26.4

All at 0.6 clo except [†] is estimated from 26.8°C at 0.45 clo

Klimaatkameronderzoek met Maleisische studenten, zowel in Londen als in Maleisië, laat zien dat het verschil in neutrale temperatuur 3 °C is. Conclusie: de aanname dat comfort temperaturen altijd hetzelfde zijn (ongeacht andere omstandigheden dan de 6 ISO 7730 variabelen) is dus onjuist. Zie de tabel 2, de waarden voor ‘Malays (Malaysia)’ en ‘Malays (London)’

De auteur pleit voor het inbouwen van ‘feedback’ wanneer thermisch comfort in een ruimte wordt beschouwd. Mensen zijn in werkelijkheid geen passieve ontvangers van signalen uit de omgeving. Normaliter zal men ingrijpen in de omgeving, of zal men zich verplaatsen naar elders, indien men bijvoorbeeld oncomfortabel warm is. In andere gevallen zal men de activiteit aanpassen, de houding veranderen, meer of minder kleding aantrekken, het verwarmings- of koelsysteem bijstellen.

In biofysiologische termen uitgedrukt zijn de 4 hoofdcategorieën van maatregelen die mensen bewust en onbewust in de praktijk nemen:

- aanpassing van de interne verbranding
- aanpassing van het warmteverlies naar de omgeving
- aanpassing van de thermische omgeving
- selecteren van een andere thermische omgeving

Van belang zijn overigens hierbij de zogenaamde ‘trade-off’ effecten. In de praktijk zullen gebruikers vaak gedwongen zijn om afwegingen te maken die zintuigoverschrijdend zijn. Een raam openen betekent dat het koeler wordt binnen maar gelijktijdig komt er meer geluid van buiten binnen. Gebruikers zullen zelf trachten compromissen te sluiten.

Thermische behaaglijkheid is onderhevig aan een interactie tussen gebouw, gebruiker, klimaatinstallatie en klimaat. De binnentemperatuur kan gezien worden als een resultaat van het interactie proces dat plaats heeft tussen gebouw, gebruiker, etc, waarbij feedback in de praktijk een belangrijke rol speelt. Deze feedback wordt door een aantal factoren belemmerd: bijvoorbeeld de welstand van de gebruikers, het klimaat, het ontwerp van het gebouw, energiekosten, kosten van kleding, kledingvoorschriften, mate waarin de klimaatinstallatie beïnvloed kan

worden, normale kleding voor de tijd van het jaar, in hoeverre de gebouwgebruiker wel of niet verplicht is om op een bepaalde plek te blijven.

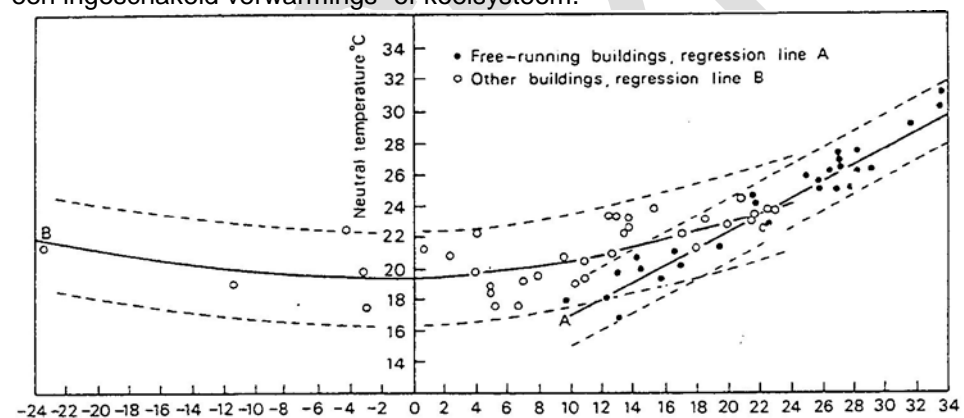
Een voorbeeld van feedback is dat wanneer na de zomer de herfst nadert het langzaam aan steeds kouder wordt in woningen. In de maanden voordat 'de verwarming weer aan gaat' gebeurt er het volgende: bewoners compenseren dag voor dag, week voor week voor de veranderingen. Men gaat in de loop der tijd 's ochtends steeds iets warmere kleding aandoen, taken worden iets fanatieker uitgevoerd, misschien neemt men in de loop der tijd een iets geslotener houding aan, en misschien raakt men in de loop van weken ook wel gewend aan een iets lagere huidtemperatuur. Allemaal voorbeelden van hoe het adaptieve feedback model in de praktijk werkt.

Analyse van veldonderzoeken leert, volgens de auteur, dat de belangrijkste factoren zijn de van invloed zijn:

1. beperkingen ten gevolge van het klimaat
2. beperkingen ten gevolge van gebrek aan financiële middelen
3. beperkingen ten gevolge van sociale gewoonten
4. beperkingen ten gevolge van beroep of taak

Onderzoek leert dat 1 verreweg de belangrijkste is.

Hoe groot de invloed van klimaat en seizoenen op de comfort temperatuur is blijkt uit de figuur hieronder. In de figuur is te zien dat het comfortoptimum voor de binnentemperatuur hoger ligt voor het warme seizoen en warme klimaten. Tevens is te zien dat er een verschil is tussen gebouwen zonder klimaatinstallatie ('free running buildings') en gebouwen waar de temperatuur mede bepaald wordt door een ingeschakeld verwarmings- of koelsysteem.



Figuur 1: wolkdiagram van comfort temperaturen in relatie tot het maandgemiddelde van het gemiddelde van de dagelijkse maximum en minimum temperatuur (Humphreys, 1981)

Het dient volgens de auteur gezien te worden als een blackbox: de input variabele is het klimaat. Het output signaal de comfort temperatuur (of de comfort temperatuur range). Onzichtbare elementen binnen de blackbox zijn bijvoorbeeld het gebouwontwerp, alle 6 variabelen uit ISO 7730, en diverse feedback loops tussen gebouw en installatie, gebouw en gebouwgebruikers. Essentieel hierbij is het volgende: zolang de feedback mechanismen binnen de blackbox hun werk kunnen doen (zolang zeker is dat gebouwgebruikers hun kledingisolatie aan kunnen passen, aan thermostaten kunnen draaien of ramen open kunnen doen etcetera) dan functioneert het geheel en is het niet relevant te weten wat zich exact in de blackbox afspeelt.

Wat betreft de invloed van welvaart: uit veldonderzoek blijkt dat de comfort temperaturen in de winter in de Verenigde Staten hoger zijn dan die in Europa. Waarschijnlijk speelt het verschil in welvaart hierbij een rol. Dit wordt echter enigszins tegengesproken door ander Amerikaans onderzoek: hierbij bleek namelijk dat juist relatief arme gezinnen 's winters een hogere temperatuur binnen prefereerden (hoger dan welvarende gezinnen) en dat ze deze hogere temperatuur daadwerkelijk instelden.

Brager, G.S., et al., "A comparison of methods for assessing thermal sensation and acceptability in the field", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993

Tijdens veldonderzoek vonden de auteurs dat mensen die buiten de 3 centrale categorieën op de behaaglijkschaal scoren (dus niet -1, 0, ±1 oftewel niet enigszins koel, neutraal, of enigszins warm) in veel gevallen toch aangeven zich comfortabel of enigszins comfortabel te voelen. Met andere woorden: het komt voor dat men aangeeft het warm te vinden terwijl dat tegelijkertijd niet onbehaaglijk is. Dit wijst erop dat de relatie tussen de verschillende behaaglijkschalen minder eenduidig is dan voorheen aangenomen.

Ten aanzien van verschil tussen veldonderzoek en klimaatkameronderzoek stellen de auteurs het volgende:

- Klimaatkamer onderzoek geeft veel inzicht in thermofysiologische aspecten, warmte-uitwisseling tussen mensen en omgeving en subjectieve reacties – in laboratoriumsituaties – op thermische omgevingen.
- Eén op één vertalen van ontwikkelde methoden gebaseerd op laboratorium-uitkomsten naar de praktijk geeft echter problemen. Onder meer omdat de werkelijkheid beduidend minder statisch is dan de klimaatkamer: de dynamiek van zowel gebouwen als mensen in werkelijke situaties is groot en complex.

De auteurs analyseerden activiteitsniveaus bepaald in diverse literatuurstudies: de gevonden waarden lagen tussen 1,1 en 1,4 Met.

De auteurs noemen 3 verschillende methoden om in de praktijk te bepalen of een omgeving voldoende behaaglijk is ('thermisch acceptabel'), waarbij de ASHRAE-definitie aangehouden wordt 'een omgeving die door minimaal 80% van de aanwezigen thermisch acceptabel gevonden wordt':

- door de gebouwgebruikers de vraag te stellen: 'vindt u deze omgeving thermisch acceptabel?'. vervolgens bepaalt men of minimaal 80% ja antwoordde.
- voer metingen uit en bepaal in hoeverre de uitkomsten binnen de grenzen liggen zoals die gedefinieerd zijn in de gangbare normen (de aanname is dan dus dat wanneer men binnen de normgrenzen blijft dat minimaal 80% tevreden is);
- door gebouwgebruikers te vragen om een thermische sensatie schaal (de ASHRAE 7 punts schaal) in te vullen waarna vervolgens bepaald wordt of het percentage mensen dat 'enigszins koel, neutraal of enigszins warm' minimaal 80% is.

Waarna de auteurs vervolgens stellen dat mogelijkheid 1 de enige is die werkelijk, direct, bepaalt of men een omgeving wel of niet als thermisch acceptabel ervaart. Echter: slechts zeer zelden is de vraag 'vindt u deze omgeving thermisch acceptabel' gesteld zowel bij veldonderzoek als bij laboratoriumonderzoek.

De auteurs stellen verder nog de vraag of een 'neutrale temperatuur' c.q. een thermische omgeving waarbij men gemiddeld 'neutraal' scoort op de 7 punts schaal wel ideaal is....

Veldonderzoek heeft namelijk aangetoond dat het geregeld voorkomt dat mensen die neutraal scoren op de 7-punts MV schaal ondertussen wel degelijk een lagere of hogere temperatuur prefereren. In één geval (onderzoek in Thailand; Busch, 1990) bleek maar liefst 1/3 van de personen de neutraal scoorde toch een lagere temperatuur te wensen. (Oorspronkelijke bronnen: Schiller et al, 1988, McIntyre, 1978 en Busch, 1990)

Wyon tijdens de discussie: "Je moet de beslissing of een omgeving acceptabel is of niet overlaten aan de gebruiker cq de proefpersoon. Bedford had dat lang geleden al door toen hij zijn 7-punts schaal voorstelde in de jaren 30. Hij werkt immers met termen als 'te warm' en 'te koud' die impliceren dat men een situatie als wel of niet acceptabel ervaart. Vandaar dat de Bedford schaal eigenlijk veel geschikter is voor veldonderzoek dan de ASHRAE schaal".

Jaakkola tijdens de discussie: "Een essentieel verschil tussen de veldsituatie en de laboratorium situatie heeft met tijd te maken. In het veld zijn vragen als 'hoe vaak komt het voor dat u het te warm vindt' minstens net zo relevant als vragen als 'hoe warm vindt u het nu'. Dit is één reden waarom men zich af kan vragen of men überhaupt wel dezelfde soort vragen dient te stellen in het veld en bij laboratoriumexperimenten".

Baker, N., "Comfort and Passive Cooling", in AIVC Paper 11159, Building Service Research and Information Association, United Kingdom.

Algemeen essay over thermisch comfort aspecten van passief gekoeld gebouwen. Meer specifiek wordt ingegaan op de eisen waar een 'Comfort Performance Index' voor natuurlijk geventileerde gebouwen aan zou moeten voldoen. De auteur gaat o.a. in op de invloed op comfortverwachtingen van het installeren van koeling / airconditioning. Hij zegt dat de ervaring leert dat wanneer er eenmaal koeling aangebracht is c.q. wanneer gebruikers weten dat een gebouw over koeling beschikt, dat gebouwgebruikers dan beginnen om hun verwachtingspatroon ten aanzien van de binnentemperatuur aan te scherpen. Men gaat lagere temperaturen 'eisen' dan wanneer er geen koeling zou zijn. 'They will begin to dress for the environment': bijvoorbeeld binnen op kantoor gedurende de zomer warmere kleren aan dan normaal.'. De auteur vergelijkt dit met een effect dat in de winter optreedt. Het is bekend o.a. uit veldonderzoek dat men 's winters in woningen en andere gebouwen hogere temperaturen bij ingeschakelde verwarming, dan in bijvoorbeeld najaar en voorjaar wanneer verwarmingssysteem uitgeschakeld staan. De trend om steeds lichtere kleding te dragen binnen hangt hier sterk mee samen. De auteur noemt dit 'Reverse acclimatization'.

Wat ook meespeelt volgens de auteur is het volgende: mensen in gebouwen met airconditioning en gesloten gevel die relatief weinig invloed op hun omgeving uit kunnen oefenen worden in de loop der tijd steeds kritischer ten aanzien van hun thermische omgeving.

Het gevolg is het grootschalig aanbrengen van koeling in gebouwen leidt er waarschijnlijk toe dat mensen een koelbehoefte ontwikkelen opdat in de warme maanden temperaturen binnen gegarandeerd zijn, die in (goede) passief gekoelde

gebouwen niet nodig zouden zijn om het zelfde niveau van ervaren comfort te bereiken.

De auteur gaat tevens in op de 'comfort seeking occupant'. Hij stelt dat zeker in woningen maar soms ook in meer informele werkomgeving discomfort in de praktijk vaak opgelost wordt door gebruikers door zich simpel weg binnen ruimten of binnen het gebouw te verplaatsen. Dit genoemd als een belangrijke factor die meegenomen zou kunnen worden in een thermisch comfort model voor passief gekoelde gebouwen.

Berglund, G.B., "Occupant Acceptance of Temperature Drifts", *Proceedings of Indoor climate, effects on human comfort, performance, and health in residential, commercial, and light-industry buildings*, Kopenhagen, Denemarken, Fanger, 1978.

Onderzoekers verrichten twee onderzoeken naar de reactie van proefpersonen op een gedurende de dag verschuivende temperatuur: eenmaal over een periode van 4 uur, eenmaal over een periode van 8 uur.

Bij het eerste onderzoek werden mensen met zomerkleren, normale kleren en winterkleren (clo-waarden respectievelijk: 0,5 - 0,7 - 0,9) lang blootgesteld aan een thermische omgeving. Het ging om zittende personen met een metabolisme van: 1,2-1,4 met.

Tijdens het experiment, dat uitgevoerd werd in een klimaatkamer, verschoof de temperatuur met verschillende snelheden gedurende 4 uur (0, -0,5, -1,0, -1,5 en +0,5, +1,0, +1,5 °C per uur). De luchtsnelheid was constant 0,10 m/s en de dauwpunttemperatuur was 12°C.

Onderzocht werd of het langzaam op laten lopen of af laten nemen van de temperatuur de grens waarbij meer dan 20% van de blootgestelden ontevreden (minder dan 80% tevreden) is doet verschuiven. Tijdens de test waarbij de temperatuur 0,5°C per uur steeg had nagenoeg niemand van de mensen met een clo-waarde van 0,5 of 0,7 in de gaten dat in 4 uur tijd de temperatuur steeg van 25°C naar 27°C (91% van de mensen vond ook na 4 uur de omgeving nog acceptabel). Ook de scores op de 'Mean Vote schalen' (comfortbeleving in termen van neutraal, enigszins warm, warm, etc) wezen erop dat men nauwelijks merkte dat de temperatuur überhaupt op liep.

Ook bij een snellere temperatuurverandering, waarbij de temperatuur met 1 °C/uur steeg gedurende een 4-uurs blootstelling bleef het aantal ontevredenen onder of rond de 20%, ook bij een eindtemperatuur van 29,5 °C. Althans, voor de testomstandigheden waarbij de proefpersonen een kledingisolatie van 0,5 clo of 0,7 clo hadden. Bij de snelste temperatuurverandering, die van 1,5 °C/uur, bleek de 'meer dan 20% ontevredenen grens' voor de situatie met een clo-waarde van 0,5 clo na circa 3,5 uur, bij een temperatuur van rond 30 °C, bereikt te worden.

In het 2^e onderzoek zijn mensen met een gemiddelde clo-waarde van 0,51, 8,5 uur lang (dus ca. 2 keer zo lang als tijdens het eerste onderzoek) in 3 verschillende omgevingen getest; namelijk in een constante temperatuur van 25°C met een dauwpunt van 10°C en 2 experimenten in een omgeving waar de temperatuur stijgt met 0,6°C per uur, beginnend bij 23°C. Het laatste is zowel uitgevoerd bij een absolute vochtigheid die overeenkomt met dauwpunt van 10°C en een dauwpunt van 20°C (bij benadering de meest vochtige omstandigheden binnen gegeven de Deense zomer).

De 80% acceptatie-grens in de 2 situaties dat de temperatuur langzaam opliep bleek te liggen bij een temperatuur van 27 en 27,2°C. In de situatie met constante temperatuur fluctueerde het percentage ontevreden over de dag tussen 90 en 100% (gemiddeld 96%).

Aan het einde van de tweede serie experimenten werd gevraagd welke van de 3 verschillende omgevingen de mensen het liefst en het minst graag zouden hebben. De uitkomsten: het meest gewenst (45,8% van de proefpersonen) was de situatie waarbij de temperatuur langzaam opliep en lucht vochtigheid relatief laag was. Vergelijk dit met 29,2 % van de proefpersonen die de situatie met constante temperatuur en dezelfde absolute vochtigheid prefereerde.

Uit de beide experimenten kon verder nog het volgende worden geconcludeerd: Bij een langzaam oplopende temperatuur ligt de 80% tevredenheidsgrens bij een actual Mean Vote van +1,35 (tussen op 1/3 tussen enigszins warm en warm in) en niet bij de normale 80% tevredenheidsgrenzen van Fanger zoals vastgelegd in ISO 7730 (PPD is 20% bij een PMV van +0,8). Bij een clo-waarde van 0,5 clo blijft meer dan 80% van de blootgestelden tevreden tot aan temperaturen van 27 tot 29 a 30 °C. Hoe sneller de temperatuur opliep: hoe hoger de temperaturen die men tolereerde.

De auteurs stellen dat deze uitkomsten voor de praktijk betekenen dat men uit comfortoogpunt het enigszins oplopen van de binnentemperatuur goed zou toe kunnen staan. Men noemt het voorbeeld van geklimatiseerde kantoren waarin 's zomers gedurende de dag toegestaan mag worden dat de temperatuur oploopt van 22 C 's ochtends tot 27 °C aan het einde van de middag (aangenomen dat men lichte zomer kleding draagt binnen). Het energievoordeel dat met een dergelijke regeling bereikt zou worden is evident.

Dear, R. de, Brager, G., Cooper, D., "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference", *ASHRAE Transactions, Vol 104 (1) (1998), pp. 145-167.*

De RP-884 database is de fundamentele onderzoeksbron van dit project. De gegevens zijn afkomstig van onderzoek in de VS, Canada, Groot-Brittannië, Griekenland, Pakistan, Singapore, Indonesië en Australië. Het gaat om 160 kantoorgebouwen met 20693 respondenten. Het databestand is ingedeeld in 3 klassen, die afhankelijk zijn van de mate waarin is voldaan aan de voorwaarden die aan de metingen zijn gesteld. Om de data te kunnen standaardiseren is voor de onderzoekers in de verschillende delen van de wereld een sjabloon ontwikkeld voor de volgende variabelen:

- Basisindicatoren zoals bouwcode, informatie, datum.
- Vragenlijst voor thermische sensatie, -acceptatie en -voorkeur en activiteiten, metabolisme, kledingisolatie, stoelisolatie.
- Fysische binnenklimaat observaties van luchttemperatuur, globetemperatuur, luchtsnelheid en turbulenties op de voorgeschreven 3 hoogten, alsmede dauwpunt, relatieve vochtigheid en vlak-stralingstemperatuur.
- Berekende indices, waaronder gemiddelde luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, turbulentie-intensiteit, dampdruk, relatieve luchtvochtigheid, nieuwe effectieve temperatuur, nieuwe standaard effectieve temperatuur, TSENS, DISC, PMV, PPD en tochtkans.
- Persoonlijke omgevingsbeïnvloeding, waaronder vragen over ervaren beïnvloeding, zoals ramen, binnendeuren, buitendeuren, thermostaten, zonwering, plaatselijke verwarming en ventilatoren.

- Meteorologische observaties, waaronder temperatuur en luchtvochtigheid om 6 en 15 uur en dagelijkse effectieve temperatuur (ET*) en berekende dagelijkse gemiddelden van de luchttemperatuur, relatieve vochtigheid en ET*.

Een van de meest problematische parameters in dit onderzoek was het vaststellen van de juiste waarde voor de kledingisolatie (I_{cl} in clo). Zo zijn er veel verschillende tabellen in omloop die verschillende uitkomsten geven. Zelfs binnen de normen ISO 7730 en ASHRAE 55 worden in de verschillende updates verschillende technieken en vergelijkingen aanbevolen. Omdat kleding een gedragsmatige aanpassing is en een grote invloed heeft op de menselijke warmtebalans dient hier veel aandacht aan te worden gegeven. Daarom zijn er statistische conversiefactoren ontwikkeld tussen de verschillende technieken om clo-waarden te vast te stellen. Zo kunnen alle clo-waarden omgerekend worden tot de equivalente waarden uit ASHRAE Standard 55-92. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de extra isolatie van de stoel.

Criteria voor thermische behaaglijkheid, zoals ASHRAE Standard 55 en ISO 7730 spreken van "thermisch acceptabel". In de vragenlijsten van veld-onderzoekers wordt meestal niet direct gevraagd of een omgeving op een bepaald moment thermisch acceptabel is. Wel werd in alle onderzoeken de thermische sensatie gevraagd. Het is algemeen aanvaard dat stemmen op de middelste 3 categorieën van de ASHRAE-schaal thermisch acceptabel zijn. Omgerekend naar werkelijke getallen (i.t.t. de gebruikte integers van de schalen) zijn de thermische sensatie stemmen die in het interval $-1,5 < \text{thermische sensatie stem} < +1,5$ liggen als acceptabel gedefinieerd. Door per gebouw het aantal mensen te turven dat zich in deze categorie bevindt en te delen door de steekproefgrootte van dat gebouw wordt een percentage verkregen dat het betreffende gebouw thermisch acceptabel vindt.

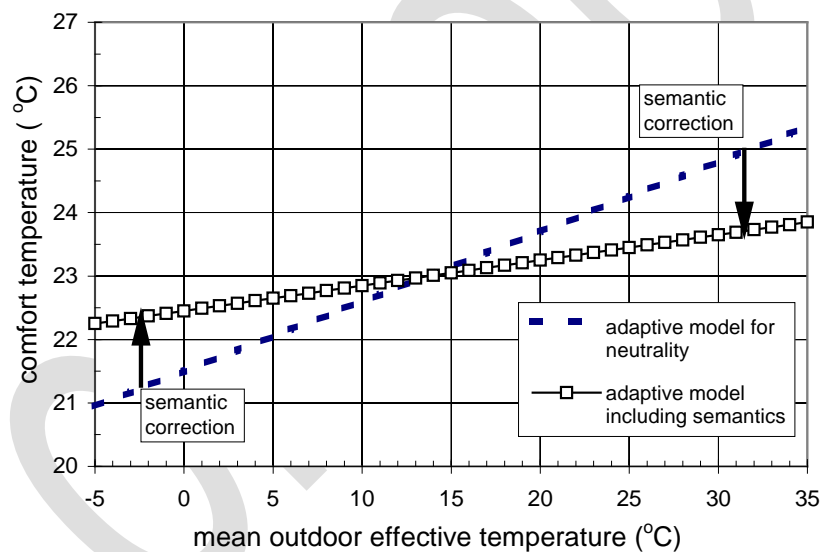
De binnengekomen data werd op kwaliteit gecontroleerd en verder gestandaardiseerd. De statistische analyse vond plaats op een van het individu naar gebouwniveau geaggregeerd niveau. Zo werden de 21000 (personen) data eenheden tot 160 (gebouwen) gereduceerd.

Uit de data-analyse bleek dat de directe responsies van gebouwgebruikers betreffende thermische acceptatie geen verband hadden met objectieve, fysische omstandigheden. Vragen als *"is de thermische omgeving op dit moment voor uw acceptabel?"* levert ambigue, vage resultaten die geen praktische waarde hebben. Wanneer daarentegen de acceptatie werd afgeleid van Fangers aanname dat een gemiddelde sensatiestem van 0,85 overeenkomt met 80% thermische acceptatie en een stem van 0,5 overeenkomt met 90% thermische acceptatie konden wel acceptabele temperatuurranges worden afgeleid. In de categorie aircogebouwen bleek een range van 2,5K overeen te komen met 80% acceptatie, terwijl de ASHRAE 55 een range van 3K en 3,5K aangeeft. In de natuurlijk geventileerde gebouwen kwam 90% acceptatie overeen met 5K en 80% acceptatie met 7K. De range bleek afhankelijk te zijn van de gemeten variabiliteit van de binnenklimaatparameters. Als de gebouwgebruikers door eerdere ervaringen een grotere variabiliteit verwachten is vervolgens ook het acceptatiegebied groter.

In tegenstelling tot direct verkregen thermische acceptatie lieten thermische sensatieschalen veel consistentere verbanden zien met thermische binnenklimaat indices. Het bleek dat dit in de meeste gebouwen statistisch significant was, waardoor thermische neutraliteiten konden worden bepaald. Thermische neutraliteit

is gedefinieerd als die waarde van een thermische index (TOP, ET, SET, PMV) die correspondeert met een gemiddelde thermische sensatiestem “neutraal”. Omdat neutraliteit synoniem blijkt met “optimale thermische omstandigheid” voor een bepaald gebouw, is het bruikbaar dan de direct gevraagde acceptatie waarden.

De binnentemperatuur die door de gebruikers als “neutraal” wordt aangemerkt komt niet altijd overeen met wat men als “acceptabel” of “te prefereren” wordt aangegeven. In warme klimaten prefereren mensen een thermische sensatie die iets koeler is dan neutraal en in koude klimaten wordt iets warmer dan neutraal geprefereerd. Dit “semantische artefact” is getest in de RP-884 database. Er bleek een significante lineaire correlatie te bestaan van de discrepantie tussen de neutrale en geprefereerde temperatuur en de gemiddelde effectieve buitentemperatuur in airconditioned gebouwen. In klimaten met een gemiddelde effectieve buitentemperatuur van meer dan 13,6 °C wordt de geprefereerde temperatuur in toenemende mate koeler dan neutraal, terwijl in streken waar de gemiddelde buitentemperatuur lager is dan 13,6°C de geprefereerde temperatuur hoger is dan de neutrale temperatuur. Met dit semantische effect wordt rekening gehouden bij het ontwikkelen van variabele temperatuurgrenzen voor airconditioned gebouwen. In figuur 1 wordt dan ook de thermische neutraliteit weergegeven minus het semantische effect.



Figuur 1: De afhankelijkheid van de thermische sensatie van de gemiddelde effectieve dagelijkse buitentemperatuur wordt in centraal geconditioneerde gebouwen verminderd door het effect van het “semantische artefact” op de thermische voorkeur.

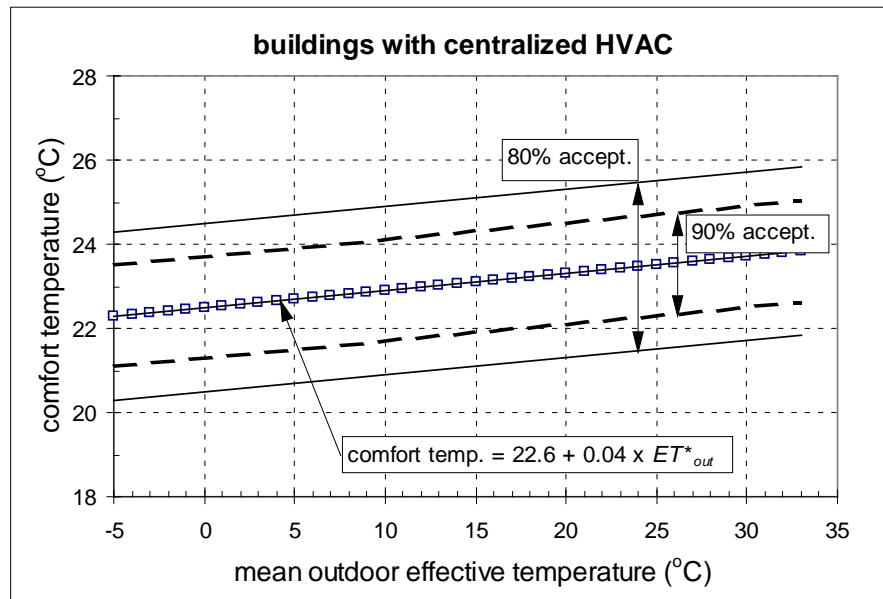
In natuurlijk geventileerde gebouwen werd dit “semantische artefact” niet gevonden. Daarom wordt bij de ontwikkeling van variabele temperatuurgrenzen voor natuurlijk geventileerde gebouwen geen rekening gehouden met het “semantische artefact”.

De resultaten van de analyses van de RP-884 database geeft aanleiding twee afzonderlijke temperatuurnormen voor te stellen, een voor airconditioned gebouwen en een voor natuurlijk geventileerde gebouwen. Het binnenklimaat in beide typen

gebouwen is zowel kwalitatief als kwantitatief dermate verschillend dat een universele temperatuurnorm voor alle soorten gebouwen ontoereikend is.

Voor airconditioned gebouwen:

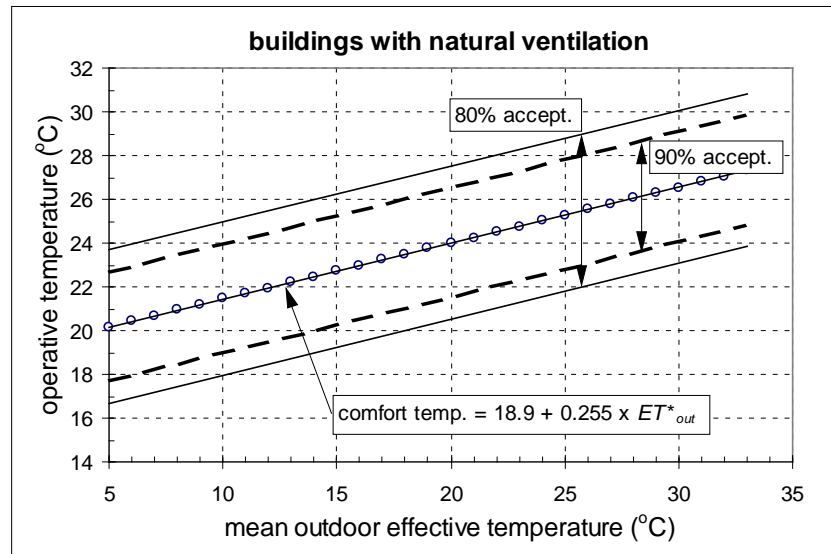
- *Adaptieve PMV-methode.* In airconditioned gebouwen waar de gemiddelde kledingsisolatie en het metabolisme niet van tevoren bekend zijn of niet nauwkeurig kunnen worden bepaald kan de adaptieve PMV-methode worden toegepast. Hierbij is het wel vereist dat de gemiddelde effectieve buitentemperatuur van het betreffende jaargetijde bekend is (figuur 3).



Figuur 3: Variabele temperatuurnorm, Adaptieve methode – centrale airconditioning. Adaptieve PMV-methode voor het voorspellen van optimale comforttemperaturen en bandbreedtes voor 80% en 90% acceptatie in central geconditioneerde gebouwen.

Voor toepassing in natuurlijk geventileerde gebouwen:

De condities voor een acceptabele thermische omgeving zijn uitsluitend gebaseerd op het adaptieve model. Het PMV/PPD-model is niet toepasbaar voor natuurlijk geventileerde omgevingen, omdat het slechts gedeeltelijk rekening houdt met thermische adaptatie aan het binnenklimaat. Het voorschrijven van een zomer- en winterzone is ontoereikend. De effectieve buitentemperatuur voor het relevante jaargetijde is vereist om de optimale comforttemperaturen en acceptabele onder- en bovengrenzen te bepalen (figuur 5).



Figuur 5: Variabele temperatuurnorm, adaptieve methode - natuurlijk geventileerde gebouwen.

Adaptief model voor het voorspellen van optimale comforttemperaturen en bandbreedtes voor 80% en 90% acceptatie in natuurlijk geventileerde gebouwen.

- De norm is bedoeld voor gebruik bij ontwerp van natuurlijk geventileerde gebouwen en evaluatie van bestaande thermische omgevingen in dergelijke gebouwen.
- De norm is uitsluitend geldig voor binnenklimaten waarover de gebruikers enige controle kunnen uitoefenen. Er is een vorm van verwarming aanwezig die door de gebruikers kan worden geregeld, hetzij individueel, hetzij in kleine groepen.

Bij het adaptieve model is de gebouwgebruiker niet langer een passieve ontvanger van de thermische omgeving, zoals bij het statische model, maar een actieve schakel in een interactieve “feedback loop” tussen persoon en omgeving. Dit model conflicteert niet met het statische model, maar is een aanvulling erop. De adaptieve hypothese geeft aan dat iemands tevredenheid met een binnenklimaat wordt bereikt door een correcte aanpassing tussen het op dat moment heersende thermische binnenklimaat en iemands verwachtingen wat dat klimaat zou moeten zijn. De ontwikkeling van een adaptief voorspellend model voor thermisch comfort bevat dan ook elementen uit zowel de statische als de adaptieve theorieën.

1. *Gedragsmatige feedback - aanpassing.* Gedragsmatige aanpassing van de warmtebalans van het lichaam is de grootste mogelijkheid voor mensen om thermisch comfortabel te blijven. De mate waarin dat mogelijk is hangt af van de “adaptieve mogelijkheden” van een gebouw en de organisatie, zoals:
 - a. Aspecten van het gebouw zelf (bijvoorbeeld te openen ramen, kamerkantoor of kantoortuin, afstand werkplekken tot de gevel).
 - b. Karakteristieken van de klimaatinstallatie (centraal of decentraal geregeld/regelbaar).
 - c. Organisatorische en sociale omstandigheden (formele of informele kledingafspraken, vaste werkplek of ambulantly).

De andere kant van deze medaille zijn de beperkingen voor adaptieve mogelijkheden, zoals bijvoorbeeld:

- a. Beperkingen door extreem buitenklimaat.
- b. Beperkingen door sociale gewoonten of regels. Mensen kunnen beperkt worden hun kleding aan het thermisch binnenklimaat aan te passen door

- mode, religie of klimaat. Energiebesparing kan tot regels en afspraken leiden die de vrijheid beperken om gedragsmatige aanpassingen te doen.
- c. Beperkingen door taak of beroep. Een dresscode kan beperkend zijn.
 - d. Beperkingen door ontwerp. Het ontwerp van gebouw, installaties, raamlocatie en raamafmetingen, zonwering kunnen beperkingen zijn voor gedragsmatige adaptatie.
2. *Fysiologische feedback - acclimatisatie.* Acclimatisatie is een onbewuste feedback loop geregeld door het autonome zenuwstelsel die de setpoint van de fysiologische thermoregulatie beïnvloed. Acclimatisatie ontwikkelt zich in de eerste week van de blootstelling aan warmte. De setpoint voor de lichaamstemperatuur wordt lager ingesteld, waardoor het zweten eerder begint en beter over het lichaam wordt verdeeld. Ook gaat de hartslag omlaag en nemen het bloedvolume en de perifere bloeddorstrooming toe. Dit geldt met name in warm-droge omstandigheden. In warm-vochtige omstandigheden is de zweetverdamping veel minder effectief en wordt de warmteafgifte overgenomen door een nog grotere perifere bloeddorstrooming en hogere huidtemperatuur.
 3. *Psychologische feedback – gewenning en verwachting.* Hoewel hier het minst van bekend is wordt psychologische adaptatie gezien als de belangrijkste factor bij de verklaring van de verschillen tussen waargenomen en voorspelde thermische responsies. Verwachtingen en gewenning zijn invloeden vanuit iemands huidige thermische ervaringen of iemands langduriger ervaringen met zowel het binnen- als het buitenklimaat.

Nicol, F., Humphreys, M., “Adaptive comfort in Europe: results from the SCATs survey with special reference to free running buildings”, in *Proceedings of congress Comfort and Energy Use in Buildings – Getting it Right, Windsor 2006.*

In dit artikel wordt de adaptieve benadering van thermisch comfort besproken en worden de resultaten van Europees veldonderzoek behandeld. Op basis van deze resultaten worden nieuwe grenswaarden voor het thermisch binnenklimaat voorgesteld.

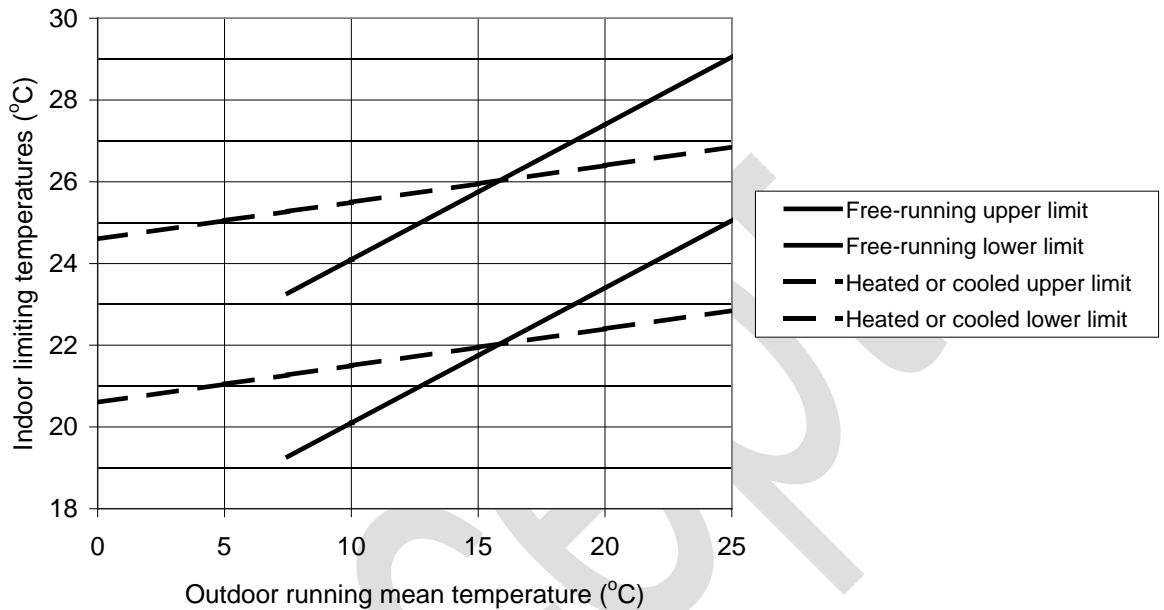
De auteurs betogen dat veldonderzoeken wellicht de “strengheid” van laboratoriumonderzoek missen, maar wel een directere relevantie tot werkelijke leefomstandigheden hebben. De adaptieve methode vereist geen kennis van kledingisolatie en metabolisme om het thermisch comfort te bepalen, maar gaat ervan uit dat mensen niet passief een thermische omgeving ondergaan. Zij nemen maatregelen om zichzelf comfortabel te voelen, zoals het aanpassen van kleding, metabolisme en het aanpassen van de omgeving. Mensen adapteren en wennen aan thermische omgevingen. Deze “gewoonte-” of comforttemperaturen hebben geen vaste waarden, maar veranderen langzaam door veranderingen in buiten- en binnentemperaturen onder invloed van klimaat en sociale gewoonten. Snel optredende afwijkingen van de huidige comforttemperaturen zullen tot discomfort en klachten leiden, terwijl vergelijkbare verschillen die geleidelijk over dagen en weken optreden nauwelijks opvallen en worden gecompenseerd door gedragsmatige en psychologische adaptatie.

Het onderzoek vond plaats in tussen 1998 en 2001 in 25 gebouwen in 5 Europese landen. Er werd onderscheid gemaakt tussen “free-running” en “verwarmde en gekoelde” gebouwen. In dit artikel werden alleen de free-running gebouwen verder geanalyseerd. Bij gekoelde gebouwen (zomer) en verwarmde gebouwen (winter) is het binnenklimaat in grote mate ontkoppeld van het buitenklimaat. In free running

gebouwen is er een duidelijk verband tussen het binnen- en buitenklimaat buiten het verwarmingsseizoen. Dit is een andere indeling dan Brager en de Dear aanhielden in het RP884 onderzoek.

In figuur 11 worden de comfortzones aangegeven voor free-running verwarmde/gekoelde gebouwen uitgaande van de bandbreedte $\pm 2^\circ\text{C}$ voor minimaal 80% tevredenheid.

Adaptive comfort zones for buildings



Figuur 11: 80% comfort zones ($\pm 2^\circ\text{C}$) voor “free-running” (getrokken lijnen) en verwarmde en gekoelde gebouwen (streepjes lijn).

Voor niet gekoelde of verwarmde gebouwen, zoals een woning of passief kantoorgebouw wordt de bovengrens nader bekeken. De vergelijking voor de bovengrens is:

$$t_{\text{conf}} = 0.33t_{\text{rm}} + 20.8$$

Deze lijn dient als bovengrens waarbij 80% van een populatie de temperatuur behaaglijk vindt.

In ons gematigd klimaat is de t_{rm} zelden hoger dan 20°C . Bij deze temperatuur is de maximale binnentemperatuur $27,4^\circ\text{C}$. Maar een langzame toename van deze temperatuur van 1K over een etmaal zal nauwelijks opvallen, terwijl een toename van 2K klachten kan geven. Op een normale zomerdag is de t_{rm} bijvoorbeeld 15°C , dit geeft een maximale binnentemperatuur van $25,8^\circ\text{C}$ die niet verder dan 1K mag worden overschreden.

In vroeger onderzoek werd de gemiddelde maandtemperatuur als uitgangspunt genomen voor de buitentemperatuur, maar belangrijke variaties vinden over veel kortere intervallen plaats. De adaptieve theorie geeft aan dat mensen reageren op

basis van hun thermische ervaringen, waarbij de meest recentere ervaringen belangrijker zijn dan latere ervaringen. Daarom wordt de respons van mensen gekarakteriseerd door het lopende gemiddelde van de gemiddelde buitentemperaturen in het verleden, gewogen volgens de tijd.

$$t_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \{t_{od-1} + \alpha \cdot t_{od-2} + \alpha^2 t_{od-3} \dots\}$$

Daarbij is t_{od-1} de dagelijkse gemiddelde buitentemperatuur van de voorgaande dag en t_{od-2} is de dagelijkse gemiddelde buitentemperatuur van de dag daarvoor, etc. α is een constante tussen 0 en 1 en legt de snelheid vast waarmee het lopende gemiddelde rangeert op de buitentemperatuur. Omdat een oneindige serie niet praktisch is stellen de auteurs onderstaande vergelijking voor:

$${}_n t_{rm} = (1 - \alpha) \cdot t_{od-1} + \alpha \cdot {}_{n-1} t_{rm}$$

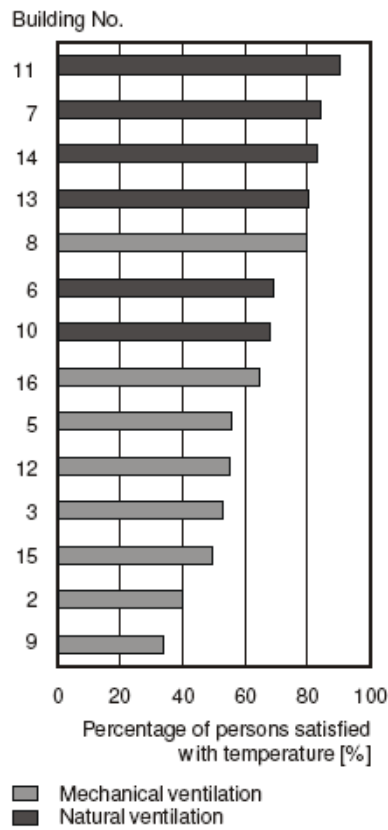
Daarbij is ${}_n t_{rm}$ het lopende gemiddelde van dag n en ${}_{n-1} t_{rm}$ van de dag daarvoor. Wanneer het lopend gemiddelde van een bepaalde dag is berekend, dan kan het direct voor de volgende dag worden berekend, etc.

Hellwig, 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.*

Veldonderzoek in 14 Duitse kantoorgebouwen, waarvan 6 met natuurlijke ventilatie en 8 met mechanische ventilatie. In de gebouwen werden metingen van het thermisch comfort uitgevoerd en bouwfysische in installatietechnische eigenschappen van het gebouw vastgelegd. Een interview werd afgenomen bij een deel van de werknemers. Daarbij werd gevraagd naar tevredenheid met de thermische omgeving, maar ook naar de mate waarin de werknemers de werkomgeving konden beïnvloeden.

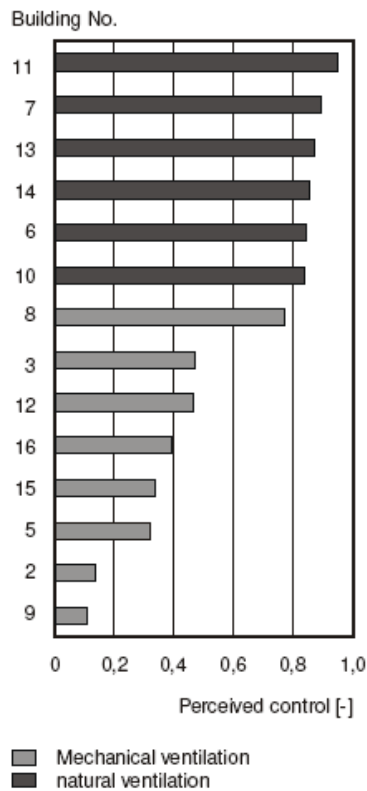
Bij de analyse van de data bleek er een opvallend verschil te zijn tussen de natuurlijk geventileerde gebouwen en de mechanisch geventileerde. In de natuurlijk geventileerde gebouwen zijn de werknemers tevredener over de temperatuur dan in de mechanisch geventileerde gebouwen (figuur12).

De werknemers werd ook gevraagd naar de mate waarin zij zelf de temperatuur en de luchtstroom in hun werkruimte konden beïnvloeden. Deze vragen werden samengevoegd tot één maat voor “ervaren beïnvloedingsmogelijkheden”, die 0 was indien men temperatuur en luchtstroom beide geheel niet kon beïnvloeden en 1 indien men beide geheel kon beïnvloeden.



Figuur 12: Percentage personen dat tevreden is met de binnentemperatuur voor ieder gebouw (n=4400)

Eén mechanisch geventileerd gebouw, nummer 8, kan zich wat betreft tevredenheid met de temperatuur en ervaren beïnvloedingsmogelijkheden meten met de natuurlijk geventileerde gebouwen. Dit gebouw wijkt af van de meeste andere mechanisch geventileerde gebouwen: het heeft te openen ramen, verwarming d.m.v. radiatoren en geen koeling.



Figuur 13: Gemiddelde waarde van de ervaren beïnvloedingsmogelijkheden voor elk van de onderzochte gebouwen. Natuurlijk geventileerd, gemiddelde: 0.87, Mechanisch geventileerd, gemiddelde 0.32. (n=4492).

Figuur 13 laat zien dat de ervaren beïnvloedingsmogelijkheden in de natuurlijk geventileerde gebouwen veel groter zijn dan in de mechanisch geventileerde gebouwen.

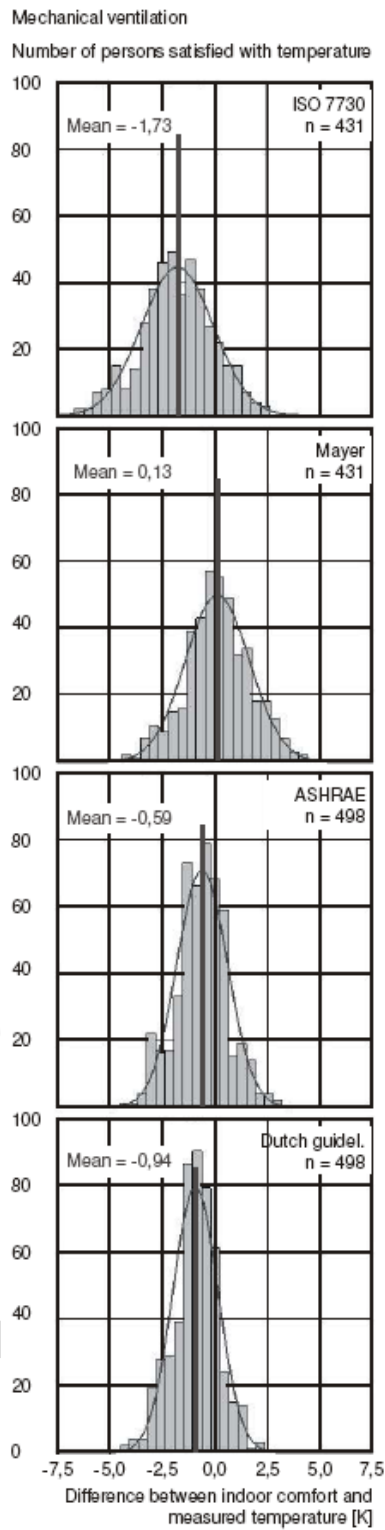
Het onderhoud van het ventilatiesysteem was zeer goed. Twee gebouwen, 2 en 9, scoren zeer laag op ervaren beïnvloedingsmogelijkheden en staan ook onderaan als het om tevredenheid met de temperatuur gaat. Dit zijn gebouwen met een gesloten gevel, zij hebben beide een all air-systeem, bij gebouw 9 aangevuld met inductie-units aan de gevel. Verder blijkt uit de beschrijving van gebouw 9 dat het om grote werkruimtes met een grote diepte gaat.

Op basis van ca. 1500 interviews en gelijktijdig uitgevoerde metingen werd nagegaan hoe goed de comforttemperatuur voorspeld wordt door de volgende vier benaderingen:

- ISO 7730 met $PMV = 0$
- het model van Mayer, dat inhoudt dat het minimum aantal ontevreden en bij $PMV = +0,4$ ligt, en dat dit minimum hoger ligt dan bij ISO 7730.
- het adaptieve model in ASHRAE 55
- het adaptieve model in ISSO 74

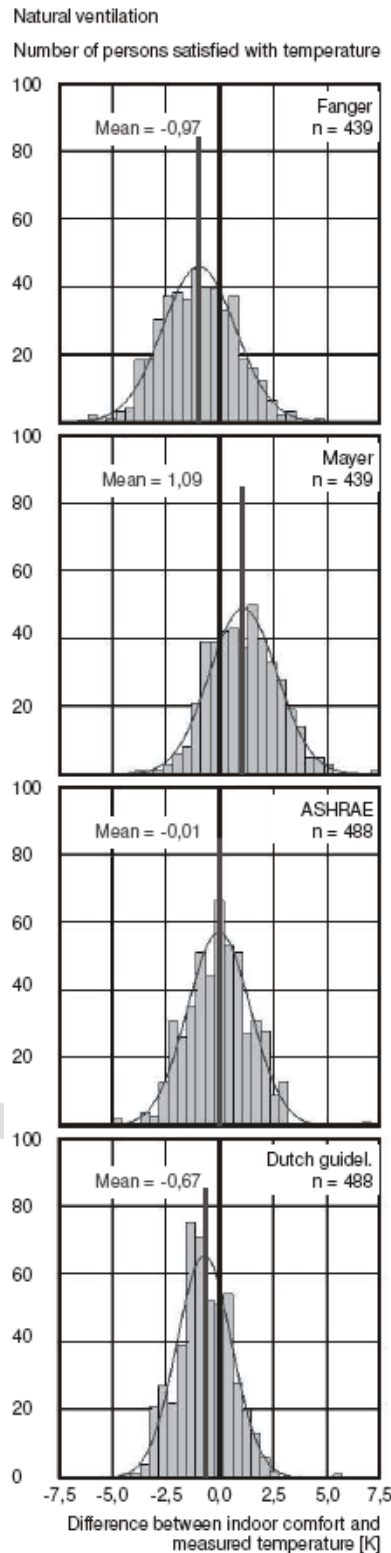
Het belangrijkste verschil tussen ASHRAE 55 en ISSO 74 is dat de ondergrens van ISSO 74 de flauwere lijn van Bètagebouwen volgt (zie figuur 14) en dat daardoor de ondergrens in ISSO74 beneden een gemiddelde buitentemperatuur

van circa 18°C strenger is dan van de ASHRAE 55 grenswaarden. Hierdoor vallen lagere binnentemperaturen onder zomerse omstandigheden buiten het toelaatbare gebied. Dit komt met name voor bij gebouwen met nachtkoeling.



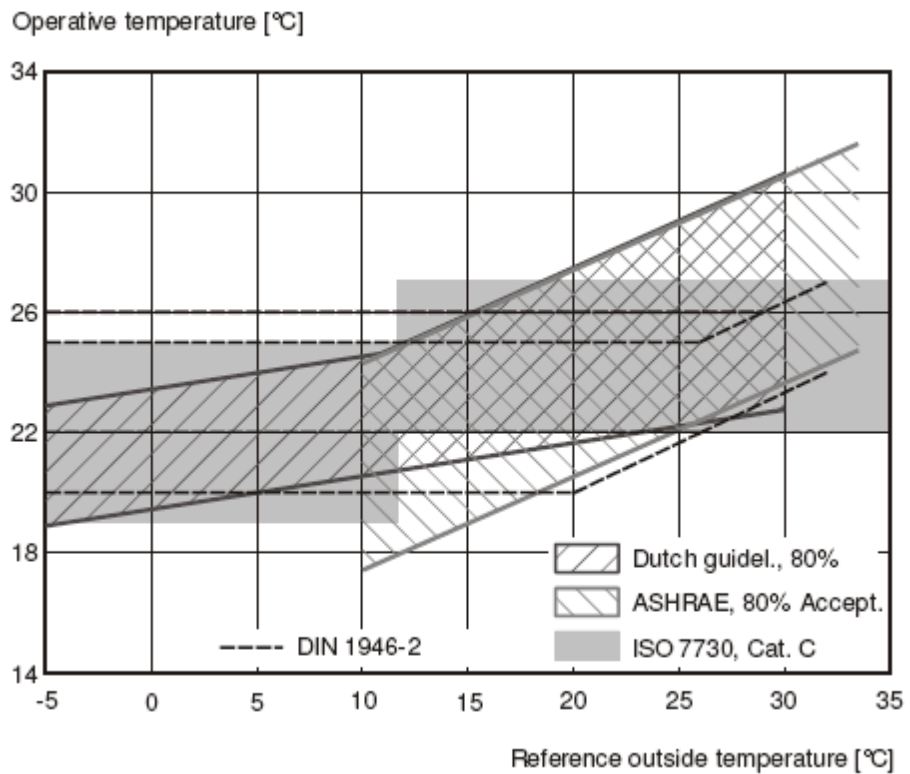
Figuur 14: Vergelijking van de verschillende binnentemperatuurgrenzen afhankelijk van de referentie buitentemperatuur.

Figuur 15 laat voor de mechanisch geventileerde gebouwen een vergelijking zien van de door de vier benaderingen voorspelde comforttemperatuur met de gemeten temperaturen die door de werknemers "comfortabel" genoemd werden. Hoe minder de "Mean" van 0 afwijkt, des te beter is de voorspelling. Het model van Mayer geeft voor mechanisch geventileerde gebouwen de beste voorspelling met een "Mean" van 0,13. Voor de andere drie modellen wijken de gemeten waarden statistisch significant af van de voorspelde waarde.



Figuur 15: Vergelijking van de voorspelde comforttemperatuur met gemeten temperaturen voor mechanisch geventileerde werkruimten die als comfortabel werden geassocieerd door de gebruikers. De voorspelde comforttemperaturen werden bepaald volgens Fanger (ISO 7730), Mayer 1998, ASHRAE 55 en ISSO 74

Figuur 16 laat voor de natuurlijk geventileerde gebouwen een vergelijking zien van de door de vier benaderingen voorspelde comforttemperatuur met de gemeten temperaturen die door de werknemers “comfortabel” genoemd werden. Het adaptieve model in ASHRAE 55 geeft voor natuurlijk geventileerde gebouwen de beste voorspelling met een “Mean” van 0,01. Voor de andere drie modellen wijken de gemeten waarden statistisch significant af van de voorspelde waarde.



Figuur 16: Vergelijking van de voorspelde comforttemperatuur met gemeten temperaturen voor natuurlijk geventileerde werkruimten die als comfortabel werden geclassificeerd door de gebruikers. De voorspelde comforttemperaturen werden bepaald volgens Fanger (ISO 7730), Mayer 1998, ASHRAE 55 en ISSO 74.

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.*

Een ander veldonderzoek richt zich op de samenhang tussen gemeten operatieve temperatuur en de tevredenheid met de temperatuur in een natuurlijk geventileerd kantoorgebouw in de zomer. Het gebouw bestaat uit een oudbouw zonder passieve koeling en zonder nachtventilatie en verlaagde, niet thermisch open, plafonds en een nieuwbouw, speciaal ontworpen voor laag energieverbruik, met passieve koeling, nachtventilatie en niet verlaagde betonnen plafonds. In de loop van een maand worden meerdere malen gelijktijdig oordelen gevraagd en metingen gedaan.

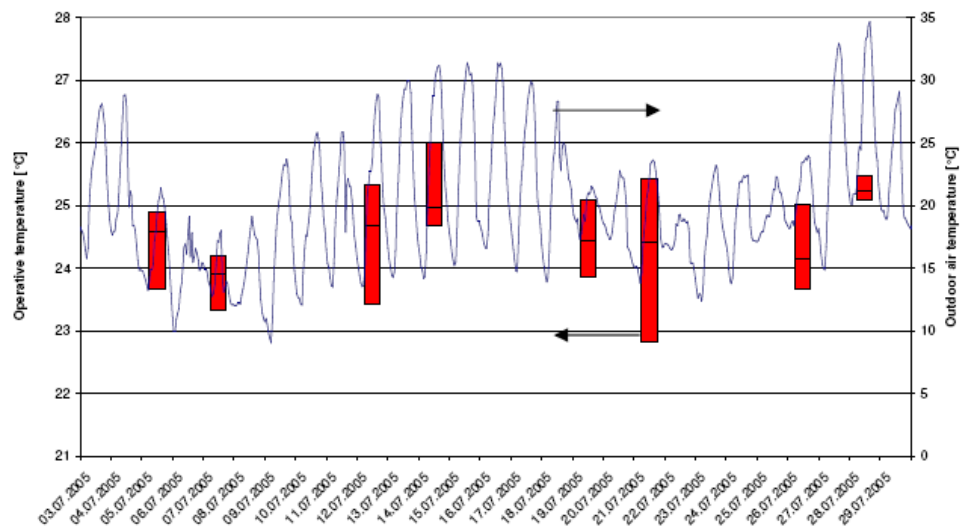
De beoordeling van de temperatuur werd gevraagd op een schaal met de volgende categorieën:

- Heel warm
- Enigszins warm
- Precies goed
- Enigszins Koud
- Heel koud

De tevredenheid met de temperatuur werd gevraagd met de schaal:

- Heel onbevredigend
- Enigszins onbevredigend
- Neutraal
- Redelijk bevredigend
- Heel bevredigend

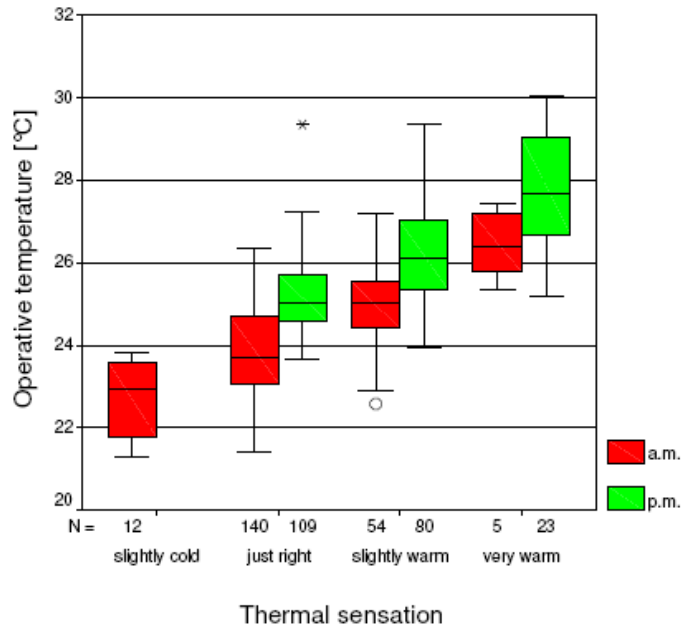
Het temperatuurgebied dat als “precies goed” wordt beoordeeld hangt samen met de buitentemperatuur, zie figuur 17. Dit wijst erop dat een adaptief thermisch model de oordelen van de werknemers beter voorspelt dan het PMV-model. Bij toetsing blijkt dat ook zo te zijn: er is een significante samenhang tussen de beoordelingen van de temperatuur en de voorspellingen van ISSO 74 en vooral het adaptieve model in ASHRAE 55.



Figuur 17: Buitentemperatuur gedurende het onderzoek en de operationele binnentemperaturen die “precies goed” werden beoordeeld; de lijnen in de rechthoeken zijn de mediaanwaarden en de rode rechthoeken geven de gemiddelde 50% van de waarden.

Naast de mogelijkheid om in een natuurlijk geventileerd gebouw het comfort te beïnvloeden door de luchtstroom via de te openen ramen, speelt bij adaptief comfort in de zomer ook de verwachting en acceptatie van hogere binnen temperaturen een rol indien de temperatuur in de afgelopen periode hoger is en ook verwachting en acceptatie van hogere binnentemperaturen indien het gebouw niet mechanisch wordt gekoeld. Uit dit onderzoek blijkt dat het effect van verwachting zich ook binnen afzonderlijke dagen voordoet. Figuur 18 geeft een vergelijking van 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.



Figuur 18: Thermische sensatiestemmen in relatie tot de operatieve 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)

Concreet betekent dit dat het temperatuurgebied rond de 25°C dat in de ochtend nog “enigszins warm” wordt genoemd (in de figuur de 3^e rode band van links) in de middag als “precies goed” wordt beoordeeld (de 1^e groene band van links). Het temperatuurgebied rond ongeveer tussen de 26 en 27°C dat in de ochtend nog “heel warm” wordt genoemd (de 4^e rode band van links) wordt in de middag als “enigszins warm” beoordeeld (de 2^e groene band van links). Dit lijkt erop te wijzen dat ook binnen de dag adaptatie een rol speelt, in elk geval in een natuurlijk geventileerd gebouw. Het feit dat in een natuurlijk geventileerd gebouw over het algemeen de temperatuur ‘s middags hoger is, leidt tot verwachting en daardoor ook tot acceptatie van hogere temperatuur. Dit heeft belangrijke implicaties. Op de eerste plaats geeft het extra steun aan het belang van verwachting binnen adaptieve modellen. Op de tweede plaats biedt het wellicht bij verdere uitwerking hiervan in de toekomst de mogelijkheid om binnen een adaptief model de temperatuur in de ochtend en de middag apart te beoordelen. Mogelijk kunnen hiermee de mogelijkheden worden vergroot om zonder koeling een comfortabel thermisch klimaat te scheppen.

Cena, K.M., 1994, “Thermal and non-thermal aspects of comfort surveys in homes and offices”, in *Proceedings of a conference : Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

De auteur maakt onder meer melding van een eigen interventieonderzoek in Perth, Australië:

Het betrof kantoorgebouwen waar oorspronkelijk geen airconditioning aanwezig was. Tijdens de zomer liep de binnentemperatuur 's middags op tot gemiddeld 27 °C. In enkele gevallen werden temperaturen binnen gemeten oplopend tot 34 °C. De kantoorwerkers werd gevraagd tijdens het onderzoek welke aspecten van hun werkomgeving ze het meest belangrijk vonden. Men noemde eerst zaken als verlichting, luchtkwaliteit, kantoorinrichting en zitcomfort van de stoelen; een comfortabele temperatuur kwam op de 5^e plaats. Gevraagd naar het nut van airconditioning (zonder dat dit aanwezig was) zei het gros dat dit 'in bepaalde gevallen soms nuttig was'. Vervolgens werd airconditioning aangebracht in het gebouw. Na 1 seizoen werd weer gevraagd naar het nut van airconditioning: zonder uitzondering gaf men aan dat airconditioning een onmisbaar deel uitmaakte van hun kantooromgeving, iedereen had zijn/haar houding ten opzicht van airconditioning sterk veranderd.

Dit is, volgens de auteur, in overeenstemming met onderzoeken van anderen: in onderzoek elders in Australië vond men ook dat gebouwgebruikers in gebouwen zonder airconditioning de voorkeur gaven aan het niet hebben van airconditioning, terwijl gebouwgebruikers in gebouwen met airconditioning als iets essentieels beschouwen. (de Dear and Auliciems, 1988).

Hoof, J. van, Hensen, J.L.M., "Thermal comfort and older adults", in *Gerontech Journal*, vol.4 (March 2006), no.4.

Dit artikel is een overzicht van onderzoek betreffende thermisch comfort bij ouderen en een discussie over mogelijkheden voor het bevorderen van thermisch comfort bij ouderen. In de geïndustrialiseerde wereld zal in 2025 naar schatting 360 miljoen mensen 60 jaar of ouder zijn. Het merendeel wil onafhankelijk blijven wonen en de huidige levensstijl handhaven. De auteurs vonden de volgende (soms tegenstrijdige) informatie. Uit het artikel wordt niet altijd duidelijk of het laboratorium of veldonderzoek betreft.

- Inter-individuele verschillen in thermische sensatie zijn groter dan 1 schaal eenheid op de ASHRAE-schaal bij dezelfde omgevingscondities en individuele dag tot dag verschillen zijn ook circa 1 schaal eenheid. Daarom is het niet reëel om te veronderstellen dat iedereen comfortabel zal zijn in een centraal geregelde omgeving, ook als aan de huidige criteria wordt voldaan.
- De PMV is in niet geconditioneerde ruimtes niet in staat om het thermisch comfort aan de warme kant accuraat te voorspellen.
- Sommige onderzoeken vinden geen verschil in de perceptie van de thermische omgeving tussen ouderen en jongeren.
- Ouderen hebben een verminderde spierkracht, een lager metabolisme, een lager zweetvermogen, een beperkter intern warmtetransport en een verminderde cardiovasculaire stabiliteit.
- Ouderen prefereren een 2°C warmere omgeving dan jongeren en het comfortgebied van 20-24°C was niet warm genoeg voor ouderen.
- Oudere vrouwen hebben het warmer dan jongere vrouwen in de zelfde omgeving.
- Ouderen hebben dezelfde comforttemperatuur als jongeren, maar de kledingisolatie was lager.
- Ouderen die de temperatuur zelf kunnen beïnvloeden hebben dezelfde comforttemperatuur als jongeren.

Samenvattend stellen de auteurs dat ouderen de thermische omgeving anders ervaren dan jongeren als gevolg van fysiologische, gedragsmatige en psychologische verschillen en dat eenduidige eisen voor temperaturen voor ouderen niet mogelijk zijn.

Bij gebrek aan beter stellen de auteurs voor het PMV-PPD-model aan te passen. Voor toekomstige woningen wordt voorgesteld passieve, architectonische

oplossingen te kiezen voor het beheersen van het binnenklimaat, aangevuld met technologische systemen in de vorm van automatisch sluiten van ramen, individuele temperatuurprofielen per kamer en airconditioning voor extreme weersomstandigheden.

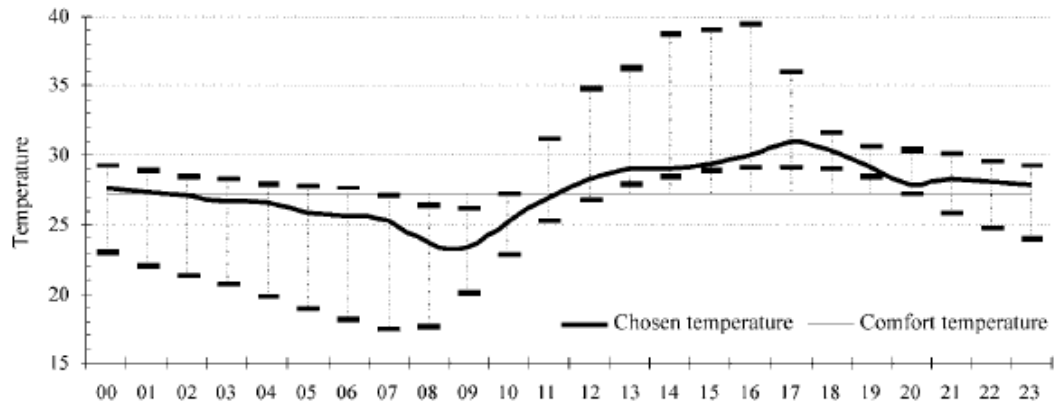
Humphreys, M.A., 2005, “Do people want to feel ‘neutral’? – The complex behavior of the ASHRAE scale”, lecture.

Acht mensen, in 6 bouwkundig zeer uiteenlopende huizen op klimatologisch verschillende plaatsen in het Groot-Brittannië, werd gevraagd het binnenklimaat te *beoordelen* op de ASHRAE-schaal gedurende een week in de zomer en een week in de winter. Bovendien werd hen steeds gevraagd welke thermische sensatie op de ASHRAE-schaal ze zouden *prefereren*. Met dataloggers werd ondertussen de temperatuur in hun huizen gemeten. Dit leverde 350 datapunten. Belangrijkste conclusies zijn:

- Men prefereerde vaak een andere thermische omgeving dan *neutraal*.
- Sommigen hadden een warmere voorkeur dan anderen.
- De geprefereerde sensatie hing niet af van de kamertemperatuur.
- De geprefereerde sensatie veranderde sterk met de thermische sensatie.
- De ASHRAE-schaal wordt niet eenduidig geïnterpreteerd. Bijvoorbeeld, “warm” heeft op verschillende momenten voor verschillende mensen een andere betekenis; het geeft soms comfort aan en soms juist discomfort. De ASHRAE-schaal is dus complex en niet eenduidig, waardoor het interpreteren moeilijk is.
- Men kreeg het goed voor elkaar de thermische omgeving aan te laten sluiten bij de geprefereerde sensatie.

Merghany, A., “Exploring thermal comfort and spatial diversity”, in *Environmental Diversity in Architecture*, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.

In landen met een heet en droog klimaat is het zich verplaatsen tussen verschillende ruimten in en rond een woning een van de meest gebruikte vormen van gedragsmatige adaptatie, mogelijk gemaakt door de grote variëteit in ruimtes in dergelijke, meestal traditionele gebouwen. Veel bewoners verplaatsen zich binnen deze gebouwen in zowel een dagelijks als in een seizoenspatroon, om zo voordelen te halen uit de verschillende microklimaten die in die gebouwen voorkomen. Dit onderzoek had tot doel de gevolgen te onderzoeken van adaptieve strategieën op de thermische tevredenheid, op de ruimtelijke indeling en energiegebruik van woningen. Hoewel dit onderzoek plaats vond in Khartoem, zijn de bevindingen tot op zekere hoogte bruikbaar en geven informatie over adaptatiemogelijkheden. Zo blijkt dat het aantal uren dat een PPD van 20% wordt overschreden in een zomersituatie teruggebracht wordt van 530 naar 115 uur, wanneer de bewoners zich vrij in een gebouw kunnen bewegen.

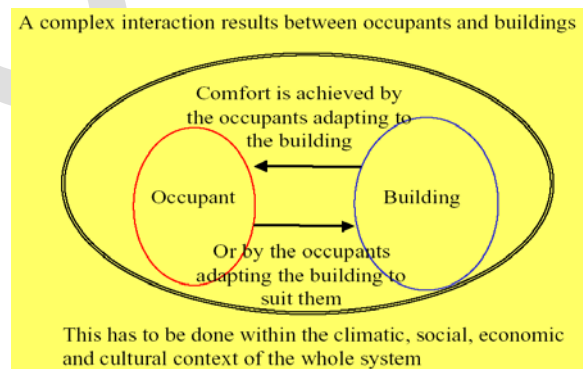


Figuur 10 – De uurlijkse temperatuurgebieden die in het gebouw aanwezig waren en de temperatuur van de plaats die door de bewoner werd gekozen. Deze data laat zien dat de gebruiker, gegeven de mogelijkheden, probeert te adapteren aan hoge of lage temperaturen door te kiezen voor passende comfort omstandigheden.

De gegevens laten zien dat de bewoners (bewust of onbewust) zich zoveel mogelijk in en rond het huis verplaatsen om het discomfort zo klein mogelijk te maken. De PPD daalde van 66-67% naar circa 0%. De onderzochte huizen hadden meerdere verblijfruimten, zowel binnen als besloten buitenruimten. Voorbeelden zijn een dakterras, een woonkamer met veranda op het westen, een woonkamer in een souterrain, een binnenplaats, veranda of dakterras om te slapen. Het zich verplaatsen binnen de woningen werd beperkt door praktische overwegingen, zoals werken, televisie kijken en socialiseren.

Nicol, F. “Fitting buildings to people: comfort and health”, presentation at interdisciplinary meeting on heat waves, housing and health, 7th may 2004.

In deze presentatie wordt de relatie tussen hittegolven, woningen en gezondheid besproken. Traditioneel onderzoekt de epidemiologie o.a. de relatie tussen (binnen)klimaat en gezondheid, terwijl de architectuur en bouwfysica naar de relatie tussen mens en klimaat via het gebouw bekijkt. In feite is het een veel complexer 3-wegs verband, waarbij ook energie een belangrijke rol speelt. Thermisch comfort wordt bereikt door de bewoners die zichzelf aan het gebouw aanpassen en door het gebouw aan hun wensen aan te passen. Door voldoende aanpassingsmogelijkheden te creëren kan een ruim comfortgebied worden bewerkstelligd.



Figuur 19: Interactie tussen woongebouw en gebruikers .

Ubbelohde, M.S., Loisos, G.M., McBride, R., “Comfort Reports”, Attachment A-4, Davis Energy Group for The California Energy Commission, includes reports “Advanced Comfort Criteria on Adapted Comfort” and “Human Comfort Field Studies”. “Alternatives to Compressor Cooling Phase V: Integrated Ventilation Cooling”, februari 2004.

Dit is een langjarig project met als doel het energiegebruik en de piekbelastingen te reduceren als gevolg van compressor airconditioningsystemen in woonhuizen door het ontwerpen van een huis waarin de bewoners zich zo thermisch comfortabel voelen dat ze niet, of in hete gebieden minder behoefte hebben aan compressie-koeltechnieken. Dit is het ACC-huis (Alternatives to Compressor Cooling). Naast het ontwikkelen en testen van een geïntegreerd verwarmings/ventilatie-koelings en airconditioningssysteem bestond het project uit een veldonderzoek in 50 woonhuizen, onderzoek naar comfortdefinities, een evaluatie van ontwerpprincipes en een voorstel van een geavanceerd comfort criterium voor woonhuizen.

Uit het veldonderzoek bleek dat de ideale ochtendtemperatuur circa 21°C was en de geprefereerde maximumtemperatuur 25,8°C. De dragelijke minimumtemperatuur was 18°C, met een range van 10-25°C en de dragelijke maximumtemperatuur was 28°C, met een range van 25-36°C. Mannen prefereerden een koelere omgeving dan hun vrouwen.

Nachtkoeling door het openen van ramen werd weinig gebruikt en dan bij voorkeur op de bovenverdieping. Veiligheid en verkeerslawaaai waren de voornaamste redenen voor het niet openen van ramen in de nacht.

De rapporteurs komen na uitgebreid onderzoek tot de conclusie dat het conventionele comfortmodel, het PMV-PPD-model, dat in de klimaatkamer is ontwikkeld, ernstige tekortkomingen heeft. Het ontwerpen met dit model verzekert geen optimaal thermisch comfort, terwijl er onnodig veel energie wordt verspild. Thermisch comfort blijkt een zeer grote variatie te hebben, afhankelijk van onder andere populaties, ervaringen in de tijd, sociale context, interactie met technologieën en als functie van hoe onderzoekers vragen stellen over comfort. Volgens de onderzoekers is er niet iets als een “ideale temperatuur”, maar is comfort “situationeel”. Ontwerpers moeten de nadruk verschuiven van een “ideale” naar “acceptabele” condities, met bijzondere aandacht voor verschillende ervaringen door alternatieven zoals verdampingskoeling, beschaduwing, stralingskoeling, etc.

Het Adaptieve Comfort Model (ACM) uit ASHRAE Standard 55 wordt besproken als mogelijk criterium voor het ACC-huis, maar enkele aspecten van de ACM sluiten niet goed aan bij het ACC-huis. Onderzoek waarop het ACM is gebaseerd zijn in kantoren uitgevoerd en kantoren verschillen van woningen. De op klimaatkamer gebaseerde comfortmodellen blijken in kantoren niet goed toepasbaar, maar in woningen zijn ze volslagen ontoereikend. Een huis verschilt op de volgende punten van een kantoor als het gaat om de beleving van het thermisch comfort en de toepasbaarheid van de ACS:

- In een huis heeft het activiteitsniveau een grotere bandbreedte dan in een kantoor en varieert veel meer in een korte tijd.
- De ACS is niet van toepassing op kinderen, ouderen en minder validen.
- In een huis hebben we met een kleinere steekproef te maken dan in een kantoor, waardoor de thermische voorkeur veel meer kan afwijken van ACS.

Bovendien kunnen de leden van een groep in huis sterk van elkaar verschillen en kan een dominant lid van de groep de thermische voorkeur van de anderen sterk beïnvloeden.

- De ACS richt zich meer op een steady state situatie, terwijl de thermische situatie in veel huizen veel dynamischer is.
- De ACS geldt alleen voor natuurlijk geventileerde omstandigheden en niet voor het ACC huis in hete klimaatgebieden, waarin natuurlijke koeling gecombineerd wordt met een back-up airconditioning.
- In woningen zijn de adaptieve mogelijkheden veel groter dan in kantoren door het aanpassen van kleding, activiteit, locatie en het openen van ramen en deuren.

Verder worden de volgende nuanceringsen gemaakt betreffende comfortnormen in het algemeen:

- Er zijn afzonderlijke grenswaarden voor luchtsnelheden, stralingstemperaturen en temperatuursfluctuaties, maar het gecombineerde effect op het comfort is niet bekend, terwijl deze parameters wel op een positieve manier kunnen bijdragen aan de thermische performance van innovatieve passieve woningen.
- Comfortmodellen moeten niet worden gezien als “passief”, maar als “actief” en comfort niet als een “sensatie”, maar als een “doel” (achievement).

Adaptatiemogelijkheden in woningen.

In woningen kunnen de volgende *potentiële adaptatiemogelijkheden* worden benut wanneer de condities de grenzen van de adaptieve temperatuurgrenzen heeft overschreden:

- Luchtsnelheid. Bij hogere temperaturen kunnen hogere luchtsnelheden het lichaam koelen en toch voor comfortabele omstandigheden zorgen. Maar normen, met grenzen die in klimaatkamers zijn ontwikkeld, beperken de luchtsnelheden die toegelaten mogen worden. Weliswaar mogen bij hogere temperaturen hogere luchtsnelheden optreden, maar in beperkte mate. Onderzoek toont echter aan dat een luchtsnelheid van 1,4 m/s als gevolg van een ventilator mensen comfortabel kan maken bij temperaturen tot 30°C.
- Gemiddelde Stralingstemperatuur. Metingen en simulaties laten zien dat door het toepassen van voldoende thermische massa de binnentemperatuur beneden de buitentemperatuur blijft, wanneer de zonnestraling wordt voorkomen en nachtventilatie wordt toegepast.
- Buitencondities als context.
 - Acclimatisatie door seizoenen en locatie. Bij hogere buitentemperaturen worden hogere binnentemperaturen als comfortabel ervaren. Dit is door talloze studies aangetoond.
 - Dagelijkse variaties. Uit onderzoek in Californië blijkt dat koele ochtenden acceptabel zijn als de vorige dag heel warm is geweest en de verwachting is dat de komende dag ook warm zal worden. Wanneer het overdag een paar dagen koeler was, dan is een koele ochtend niet acceptabel. Gebruikers van de nachtventilatie van het ACC-huis ervoeren ochtendtemperaturen van 13°C als een gratis luxe, een plezierige ervaring die verder gaat dan het zich thermisch neutraal voelen.
 - Alternatieve koelere locaties. De veldstudies van dit onderzoek liet zien dat de thermostaten hoger ingesteld werden, naarmate er meer alternatieve ruimtes konden worden gebruikt in en rondom het huis. Ook bleek dat de bewoners op warme dagen de warmere ruimtes op de bovenverdieping vermeden, hoewel ze het wel vervelend vonden dat ze deze ruimtes warmer waren dan de benedenverdieping.

Gedragmatige, sociale en culturele factoren.

Het is niet goed mogelijk om comfort op een betrouwbare wijze direct te meten. Daarom worden bij wetenschappelijk onderzoek alleen de fysische variabelen die de menselijke warmtebalans beïnvloeden gemeten en wordt de thermische sensatie en voorkeur gevraagd, om dan vervolgens *aan te nemen* welke van deze thermische sensaties geassocieerd zijn met tevredenheid en ontevredenheid. (Dit lijkt op het vragen naar wat de kleur van een ruimte is en dan aan te nemen of die persoon die kleur mooi vindt). De volgende gedragmatige, sociale en culturele aspecten zijn van invloed op het comfort van individuen en hun adaptatie.

- Individuele verschillen. De PMV/PPD-methode wordt gebruikt om van een gebouw of grote groep een bepaald percentage tevredenen te kunnen aangeven. Wanneer echter de groepsgrootte kleiner wordt, zoals in woningen kan de individuele thermische voorkeur zeer sterk gaan afwijken in de tijd en naar omstandigheden. Uit veldonderzoek in Californische woningen blijkt dat de "ideale lage temperatuur" varieerde van 15 tot 27°C, de "ideale hoge temperatuur" varieerde van 22 tot 32°C en dat de "dragelijke" temperaturen van 10 tot 30°C varieerde. De temperaturen hingen samen met factoren als leeftijd, geslacht, de plaats waar de jeugd is doorgebracht, het feit of er airconditioning op kantoor is, menopauze, etc, etc. Comforttemperaturen zijn dus niet nauwkeurig te voorspellen.
- Beïnvloeding. Er zijn veel aanwijzingen dat het effect van beïnvloeding op de bandbreedte van dragelijke temperaturen veel groter is dan de Adaptieve Comfort Standaard aangeeft. Uit onderzoek blijkt verder dat een grote meerderheid van de mensen voortdurend handmatig de temperatuurinstelling van de thermostaat aanpast en niet de thermostaat de temperatuur laat regelen.

Verwachtingen.

Er is bewijs dat mensen leren om bepaalde temperaturen te accepteren in de context van het soort gebouw of ruimte (kantoor, theater, kerk, winkelcentrum, huis, binnen, buiten, etc.). Dit is aangeleerd en mensen tolereren grote onderling verschillende omstandigheden, zolang de temperaturen maar als toepasselijk voor die omstandigheden worden ervaren.

Comfort Criteria voor het ACC-huis.

Voor dit project is het volgende thermisch comfort criterium gekozen:

1. Het binnenklimaat dient te voldoen aan de grenzen voor 80% acceptatie zoals vastgelegd in de ACS van ASHRAE Standard 55.
2. Indien niet aan de waarden van de ACS van ASHRAE Standard 55 kan worden voldaan moeten de bewoners de beschikking hebben over *beide* van de volgende opties.
 - A. Adaptieve mogelijkheden. Deze adaptieve mogelijkheden moeten aanwezig zijn naar keuze van de bewoner:
 - verplaatsen naar een locatie met andere thermische omstandigheden
 - veranderen van de luchtsnelheid (raam openen, plafond ventilator gebruiken)
 - setpoint van de nachtventilatie aanpassen
 - B. Mechanische koeling gebruiken.

Norback D., Nordstrom K., "An experimental study on effects of increased ventilation flow on students perception of indoor environment in computer classrooms", in *Indoor Air*, Vol 18 (2008), pp. 293-300.

Veldonderzoek in 4 computerlokalen, met 355 studenten. In het onderzoek wordt gebruik gemaakt van 2 ventilatieniveaus. Het eerste niveau is 7 l/s per persoon, het

tweede niveau 10-13 l/s per persoon. Na elk uur worden de studenten gevraagd vragenlijsten in te vullen met betrekking tot fysieke aspecten in de ruimte.

In het artikel worden de omstandigheden en resultaten uitgebreid toegelicht, de belangrijkste uitkomsten zijn:

- Toename van de ventilatiecapaciteit veroorzaakt een beleving van lagere temperaturen, hogere lichtsnelheden, betere luchtkwaliteit en minder stank;
- Voor een computerlokaal wordt als minimale waarde 10 l/s seconde, per persoon geadviseerd.

Wagner, A., Gossauer, E., “D1.3 Report on interrelations between comfort parameters and their importance with regard to occupant satisfaction”, ThermCo, intelligent Energy, 2008.

Voor dit artikel zijn 17 onderzoeken in kantoren in Duitsland geanalyseerd. Hierin lag de focus op de relatie tussen de verschillende parameters die de tevredenheid van werknemers weergeven. Het onderzoek wordt uitgevoerd doormiddel van vragenlijsten en metingen van de omgevingsparameters. De nadruk ligt in het onderzoek op passieve koelconcepten.

Resultaten:

- Een statische analyse wijst uit dat er geen directe relatie bestaat tussen verschillende parameters. Overlast door geluid betekent bijvoorbeeld niet dat je ook ontevreden bent over het daglicht. Een uitzondering hierop is de relatie tussen warmte en luchtkwaliteit.
- Bij gelijke omstandigheden is er verschil in de thermische beleving in de winter en de zomer, maar ook tussen verschillende dagdelen. Bij een neutrale thermische beleving was de ontevredenheid in de zomer groter.
- Volgens het adaptieve comfort model worden bij hybride en passief gekoelde gebouwen hogere binnentemperaturen, bij hogere buitentemperaturen, positiever beleefd. Volgens dit onderzoek is dat niet per definitie het geval.
- Gebouwen met hybride concepten, waarin koeling is opgenomen, aangevuld met mogelijkheden voor werknemers om invloed uit te oefenen op de omgevingsfactoren, scoren het beste voor thermische beleving.
- De hoogste tevredenheid voor kantoorindeling, kantoorinrichting en akoestiek komt voor bij kleine kantoorruimten waar de interactie met het binnenklimaat optimaal is. Deze interactie zorgt voor een hogere individuele tevredenheid van de temperatuur.
- Voor de individuele tevredenheid zijn voor de algehele tevredenheid de vier belangrijkste aspecten (op volgorde): de luchtkwaliteit, de temperatuur, de kantoorindeling, de kantoorinrichting (meubels, computers, etc.). Verlichting komt als laagste uit.

Kawaguchi, G., et al., “A Subjective experiment to evaluate the effect of thermal satisfaction improvements on productivity by introducing simple individual cooling methods to “COOL BIZ” office condition”, in *Proceedings of Healthy Buildings, 2009.*

In dit artikel wordt met behulp van een klimaatkamer onderzoek gedaan naar de invloed van individuele koel methodes op de thermische tevredenheid. De koelmethodes bestaan uit een bureau-ventilator, een andere bureaustoel (mesh office chair) en een aangepast shirt (fan-mounted shirt). Uit het onderzoek komen gebruikelijke resultaten. De belangrijkste conclusie is dat individuele koelmogelijkheden de thermische tevredenheid verbeteren, zelfs bij een hogere temperatuur.

Dijken, F. van, Bronswijk, J.E.M.H. van, Sundell, J. “Indoor environment and pupils health in primary schools”, in *Building Research & Information*, Vol 34(5) (2009), pp. 437-446.

Het artikel beschrijft de resultaten van veldonderzoek in 12 basisscholen in Nederland. Doormiddel van gebouwinspecties, metingen en vragenlijsten wordt de gezondheid van de leerlingen onderzocht.

In het artikel worden de resultaten van het onderzoek uitgebreid weergegeven en besproken. De nadruk ligt in het artikel op gezondheidsaspecten, er wordt globaal aangedragen dat een goede ventilatie noodzakelijk is, zonder andere aspecten negatief te beïnvloeden (b.v. thermisch comfort). Voor het verbeteren van het binnenklimaat worden de volgende punten geadviseerd:

- Hou er bij inrichting en ontwerp rekening mee dat er goed schoongemaakt kan worden en dat het onderhoud niet belemmerd wordt.
- Stimuleer het toepassen van materialen met een lage emissie.

Parsons, K.C., “The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort”, in *Energy and Buildings*, Vol 34 (2002), pp. 593-599.

In dit artikel wordt ingegaan op diverse laboratoriumonderzoeken naar eisen/richtlijnen van thermisch comfort.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Er is weinig verschil tussen de thermische beleving van mannen en vrouwen bij neutrale en gematigd warme omstandigheden. Onder koude omstandigheden beleven vrouwen de omstandigheden als kouder.
- Verschillende thermische comfort eisen/uitgangspunten voor groepen met en zonder geestelijke handicap zijn nodig.
- De acclimatisatie van het menselijk lichaam (b.v. gewenning aan hogere temperaturen door langere tijd in een omgeving met hogere temperaturen te verblijven) is aanwezig. De acclimatisatie is echter dusdanig klein dat het niet mee genomen moet worden in het opstellen van eisen/richtlijnen. Nader onderzoek op dit gebied is noodzakelijk.
- Mensen kunnen hun thermisch comfort beïnvloeden met kleding, maar de invloed is wel gebonden aan grenzen. Een bovengrens zijn de gebieden “modesty” en “acceptability”. Een goede hypothese voor de ondergrens is 15 °C tot 18 °C.

Kwok, A.G., Rajkovich, N.B., “Addressing climate change in comfort standards”, in *Building and Environment*, Vol 45 (2010), pp. 18-20.

In het artikel wordt ingegaan op de mogelijkheid van adaptieve modellen op het besparen van energie. In het algemene wordt er gestimuleerd meer gebruik te maken van adaptieve modellen. Het artikel ziet onder andere de volgende kansen voor het besparen van energie in relatie met het thermisch comfort:

- Door het verruimen van de eisen/uitgangspunten aan het comfortniveau worden gebruikers van gebouwen meer gestimuleerd zich aan te passen aan de omgeving (adaptief gedrag te vertonen).
- Het toelaten van hogere luchtsnelheden.
- Het toepassen van flexibele elementen in de gevel waardoor gebruikers de mogelijkheid hebben de eigenschappen van de gevel aan te passen, bijvoorbeeld zonneschermen.

Roulet, C., et al., “Multicriteria analysis of health, comfort and energy efficiency in buildings”, in *Building Research & Information*, Vol 34(5) (2009), pp. 475-482.

In dit artikel wordt een voorstel gedaan voor een methode om de relatie tussen energiegebruik en binnenmilieu in gebouwen wereldwijd in kaart te brengen. Aan

de hand van HOPE, een Europees veldonderzoek in 96 woongebouwen en 64 kantoorgebouwen, wordt geïllustreerd hoe de methode helpt een groep beste (*green*), een middengroep (*orange*) en een groep slechtste (*red*) gebouwen te onderscheiden in termen van energie en binnenmilieuprestatie. Vervolgens kunnen de eigenschappen van die gebouwen worden vergeleken.

De beste (*green*) kantoorgebouwen kenmerken zich door:

- In alle *green* kantoren kunnen ramen worden geopend.
- De gebruikers ervaren meer invloed op hun omgeving, vooral op ventilatie.
- Schonere, nettere, mooiere kantoren.
- Ervaren productiviteit is hoger, binnenmilieu-gerelateerd ziekteverzuim is lager.

De slechtste (*red*) kantoorgebouwen kenmerken zich door:

- In 7 van de 15 *red* kantoren kunnen geen ramen worden geopend.
- Meer gebruik van de computer.

De beste (*green*) woongebouwen kenmerken zich door:

- Meer gebruik van afzuigkappen in de keuken.
- Ramen worden alleen gesloten om tocht / kou te voorkomen, niet tegen inbraak, lawaai of vieze buitenlucht.
- Significant hogere U-waarden (isolatie) in de gevel.
- Meer toepassing van warmteterugwinning uit ventilatielucht.
- Meer huishoudelijke apparatuur zoals droogtrommels en magnetronovens .
- Meer gebruikers met zuid-georiënteerde ramen.
- Minder ongedierte.

De slechtste (*red*) woongebouwen kenmerken zich door:

- Meer open keukens.
- Meer klachten van bewoners gerelateerd aan slecht geïsoleerde gevels.
- Meer condensatieproblemen en schimmelgroei.
- Meer luchtbevochtigers en ontvochtigers.
- Meer gebruik van anti-insecticiden.

Verder wordt verwezen naar de aanbevelingen uit het Europese Airless-project, onder andere:

- Geen luchtrecirculatie of luchtbevochtiging.
- Warmtewielen alleen waar luchtkwaliteit geen probleem is.
- Schone filters, luchtkanalen en warmtewisselaars.
- Druppelvangers na de koelsectie in LBK's.
- Water als transportmedium van warmte en kou (oftewel: geen All Air-systemen).
- Voorkomen van overmatige verwarming en koeling.

Deze kenmerken zijn goed tot volledig terug te vinden in *green* gebouwen, terwijl ze niet of slechts ten dele voorkomen in *red* gebouwen.

Tham, K. W., Willem, H.C., "Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness", in *Building and Environment*, Vol 45 (2010), pp. 40-44.

In dit artikel worden de resultaten besproken van onderzoek met een proefkamer waaraan 96 volwassenen hebben meegewerkt. Er wordt gebruik gemaakt van drie temperaturen, 20 °C, 23,0 °C en 26 °C. De resultaten van het onderzoek worden verkregen uit vragenlijsten, metingen van de huidtemperatuur en het meten van de α -amylase concentratie in het speeksel (voor het bepalen van de activiteit van het zenuwstelsel). Het onderzoek vindt plaats in de tropen, waar mensen doorgaand lichter gekleed zijn. Conclusies:

- Optimale temperatuur is 23,0 °C
- Een temperatuur van 26 °C geeft een hoger thermisch comfort, maar leidt tot afname in activiteit van het zenuwstelsel.
- Het thermische comfort model van de ASHRAE geeft een te hoge schatting van de thermische beleving onder tropische omstandigheden.

Rijal, H.B., Stevenson, F., “Thermal comfort in UK housing to avoid overheating: lessons from a ‘Zero Carbon’ case study”, in *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

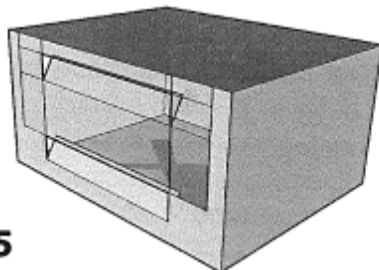
In dit artikel worden de resultaten besproken van een onderzoek naar het eerste huis dat vijf sterren heeft van de Code for Sustainable Homes (CSH). Het onderzoek bestaat uit een co-heating test, een thermisch comfort onderzoek en het gedrag ten aanzien van het openen van de ramen. Uit het artikel komen weinig nieuwe conclusies:

- Beter gebruik van (automatische) ramen kan energiegebruik reduceren
- Thermisch comfortniveaus zijn niet constant, maar variabel, bijvoorbeeld afhankelijk van het type seizoen.

Roetzel, A., “Evaluation of thermal and visual comfort in offices considering realistic input data and user behaviour in building simulation”, in *Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge*, Windsor, UK, 27-29 July 2008.

In dit artikel wordt met behulp van computersimulatie (Primer-Komfort software) gezocht naar optimalisatie van parameters op het gebied thermisch comfort, daglicht en zicht. Er worden drie verschillende constructietype vergeleken, licht (geen thermische massa), medium (thermische massa in de gevel) en zwaar (hoogste thermische opslag). Uit het onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- Ruimten die gelegen zijn aan noord- of westzijde bieden meer flexibiliteit op het gebied van parameters die gerelateerd zijn aan het gebouw of de gebruiker.
- Met het oog op toenemende temperaturen door het broeikas effect, moet een hoge warmtelast vermeden worden. Indien dit niet mogelijk is moet dit warmtelast zoveel mogelijk aan de noord- en westzijde van het gebouw geconcentreerd worden.
- Thermische trek tussen twee boven elkaar gelegen openingen (zie afbeelding) in de gevel kan een verdubbeling geven van de “energetic efficient air exchange rate” vergeleken met twee openingen naast elkaar.

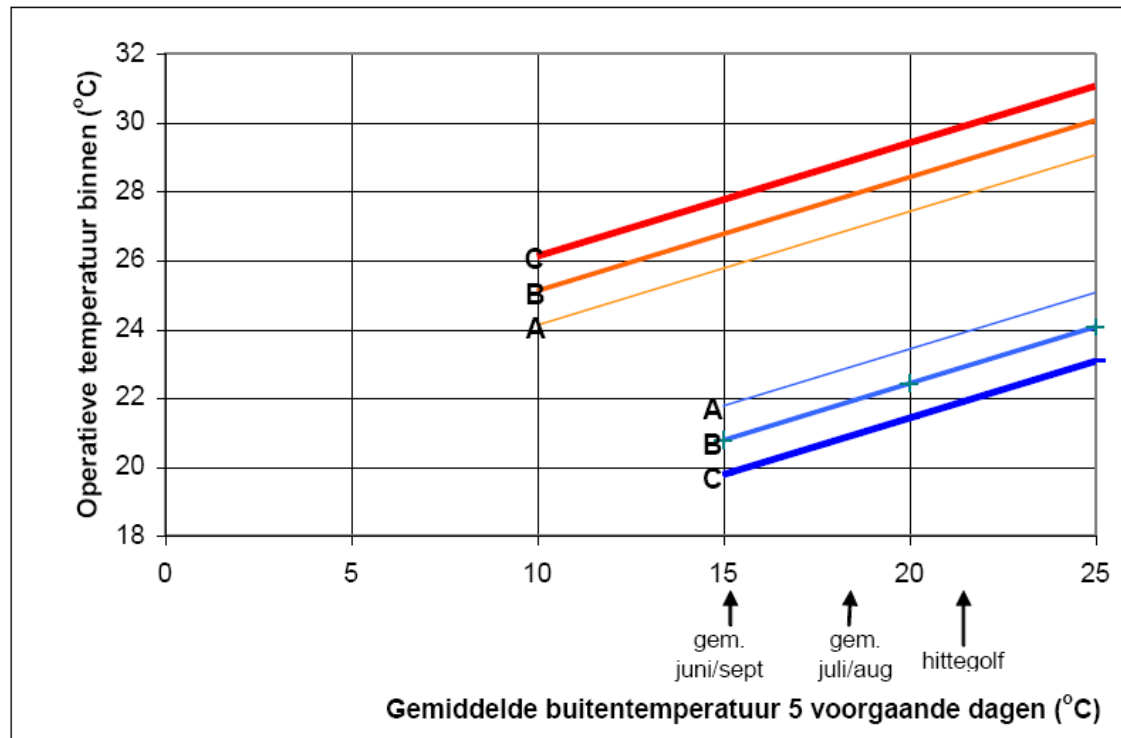


5

- De invloed van gebruikers op de interne warmtelast is een belangrijke factor.

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.

In deze norm wordt op basis van Europees onderzoek (Nicol, 2006) adaptieve temperatuurgrenzen aangegeven voor gebouwen zonder mechanische koeling. Woningen vallen nadrukkelijk ook onder deze norm. De grenzen liggen dicht bij de waarden die in het onderzoek van de ASHRAE zijn gevonden (Brager, 1998).



Figuur X: Maximum en minimum temperatuur in gebouwen met een hoge mate van gebruikersinvloed (geen strikt kledingprotocol, toegang tot te openen ramen, geen actieve koeling) voor de zomerperiode zoals vastgelegd in NEN-EN 15251. Merk op dat het op de horizontale als eigenlijk gaat om een *gewogen* gemiddelde buitentemperatuur over de voorgaande 5 dagen waarbij gisteren zwaarder weegt dan eergister etcetera.

$$t_{rm} = (1 - 0,8) \cdot \{t_{od-1} + 0,8 \cdot t_{od-2} + 0,8^2 t_{od-3} \dots\} \quad (1)$$

t_{od-1} = gemiddelde van dagmaximum en dagminimum gisteren

t_{od-2} = gemiddelde van dagmaximum en dagminimum eergisteren

t_{od-3} = gemiddelde van dagmaximum en dagminimum eereergisteren

t_{od-4} = etc.

of:

$${}_n t_{rm} = (0,2) \cdot t_{od-1} + 0,8 \cdot {}_{n-1} t_{rm} \quad (2)$$

${}_n t_{rm}$ = de 'running mean outdoor temperature' op dag n, en ${}_{n-1} t_{rm}$ is rmt van de dag ervoor.

t_{od-1} = gemiddelde van dagmaximum en dagminimum gisteren

Nicol, F., Wilson, M., “An overview of the European standard EN 15251”, in *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Inhoudelijke sterkte- en zwaktepunten van de EN 15251 worden in kaart gebracht met oog op nieuw te ontwikkelen normen en richtlijnen. De belangrijkste opmerkingen zijn:

- De norm is vooral gebaseerd op onderzoek in kantoren, terwijl hij ook bedoeld is voor allerlei soorten gebouwen inclusief woningen.
- De norm gaat ervan uit dat energiegebruik en comfort altijd conflicteren, maar dat gaat volgens de auteurs niet op voor thermisch comfort in free running buildings en voor akoestiek.
- De norm is duidelijk geschreven vanuit het perspectief dat gebouwen volledige klimaatinstallaties nodig hebben en dat bijvoorbeeld gebouwen zonder koeling, met passieve klimaatbeheersing, of met veel gebruikersinvloed inferieur zijn. Natuurlijke ventilatie wordt genoemd als een alternatief voor mechanische ventilatie, niet als een equivalent.
- Bij de comfort-classificering wordt klasse-I geassocieerd met hoge verwachtingen en een smalle temperatuurbandbreedte. Dit suggereert dat het hoogste comfort altijd een energie-intensieve benadering vraagt. Dit conflicteert met de uitgangspunten van de EPBD, die de norm juist zou moeten ondersteunen.

Merk op: hier wordt waarschijnlijk bedoeld dat ‘lagere verwachtingen’ tot een vergelijkbaar comfort kan leiden bij een grotere bandbreedte en dus eigenlijk beter aan de uitgangspunten voldoet dan ‘hoge verwachtingen’.

Voor niet-mechanisch gekoelde gebouwen wordt de comforttemperatuur gedefinieerd in de vorm van $T_{\text{comf}} = 0,33 T_{\text{rm}} + 18,8$ met de comfortklassen als bandbreedtes hier omheen.

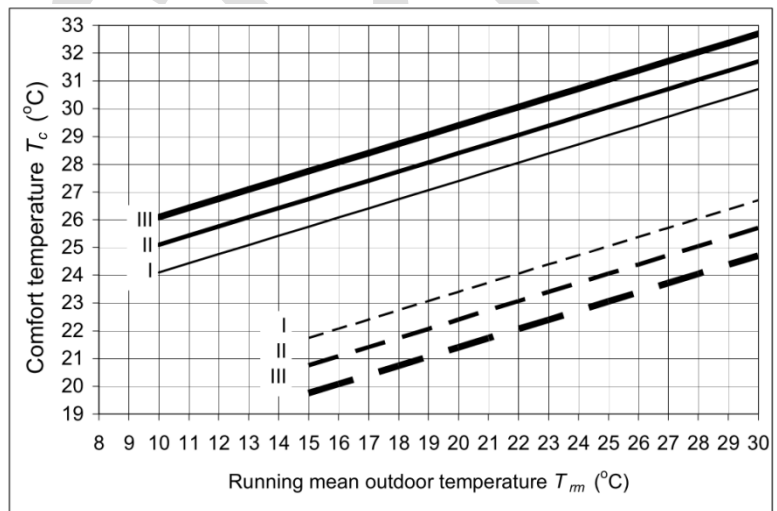


Figure 1 temperature limits for NMV buildings in free-running mode (after EN15251)

Kanttekeningen hierbij zijn:

- Hoewel de bandbreedtes vastleggen boven welke temperatuur sprake is van overhitting, is er geen maat voor de mate van overhitting. In EN15251 wordt dit opgelost met een weegfactor op basis van PPD. Deze aanpak suggereert dat er bij PPD=0 geen sprake is van discomfort, terwijl er wel degelijk mensen het te warm of te koud zullen vinden.
- Aangezien dit een valbijcriterium is, is het rond de grenswaarden erg gevoelig voor variaties in de inputvariabelen. De classificatie van een gebouw kan

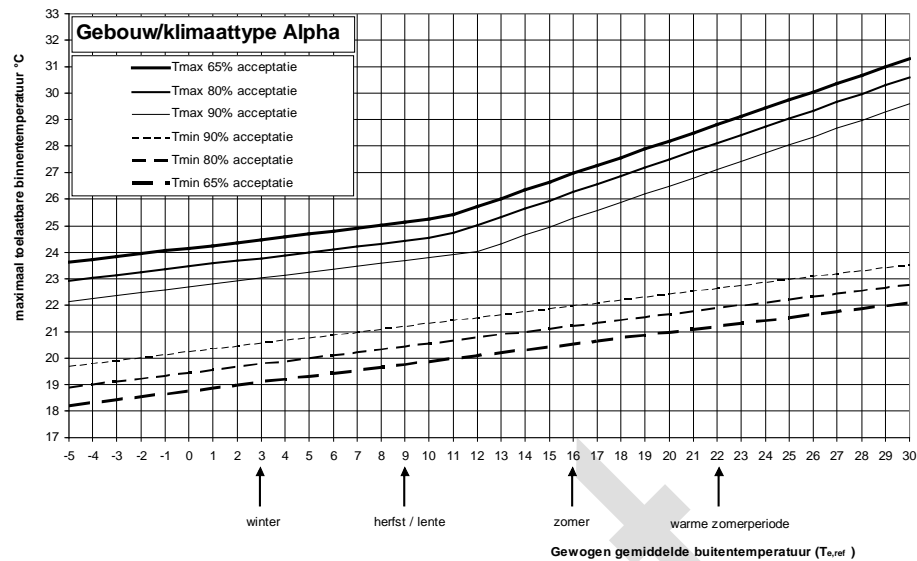
bijvoorbeeld ineens omslaan door nét op een andere plaats te meten, of door een kleine wijziging in de aangenomen gebruikstijden.

Verdere kanttekeningen:

- De methode benadert thermisch comfort als een serie ontwerpcondities waarbij mensen zich in zekere mate behaaglijk zouden moeten voelen. Comfort is zodoende een aspect van het gebouw geworden. De norm gaat voorbij aan de benadering van Shove (2003), die stelt dat comfort een doel is dat de gebruikers moeten kunnen nastreven.
- De grenswaarden voor geconditioneerde gebouwen gaan uit van een onrealistisch hoge nauwkeurigheid in meetwaarden en aannames op grond waarvan de PMV wordt berekend (bijvoorbeeld: Klasse-I is $-0,2 < PMV < 0,2$). O.a. de clo- en met-waarden zijn in praktijksituaties niet nauwkeurig te bepalen. Daardoor is de norm niet verifieerbaar.
- Hoewel de norm voor free running buildings een makkelijker meetbare grootheid gebruikt (operatieve temperatuur in plaats van PMV), is ook die in praktijk moeilijk verifieerbaar, onder andere door de sterke afhankelijkheid van het weer tijdens de meetperiode.
- De norm stelt dat ook d.m.v. een gebruikersonderzoek kan worden nagegaan of een gebouw aan het criterium voldoet (percentage ontevreden tellen). Hier worden praktische bezwaren bij genoemd.
- De norm gaat nauwelijks in op daglichtaspecten.
- Akoestische grenswaarden zijn erg laag gekozen, met als risico dat (te) snel zal worden gekozen voor volledig gesloten gevels en dus volledige klimatisering.

Thermische “Behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen”, publicatie 74, ISSO, Rotterdam, maart 2004.

Om de richtlijnen voor het thermisch binnenklimaat te verbeteren op het gebied van communiceerbaarheid en validiteit zijn onder begeleiding van ISSO nieuwe richtlijnen ontwikkeld waarbij rekening wordt gehouden met effecten van adaptatie. De richtlijnen zijn gebaseerd op grotendeels de zelfde literatuurbronnen als het bovenstaande onderzoek. Het resultaat van dit onderzoek is vastgelegd in ISSO-publicatie 74. De kern van de nieuwe richtlijn is dat er onderscheid wordt gemaakt tussen twee binnenklimaattypes: Alpha en Bèta. Een Alphaklimaat is een binnenklimaat dat niet wordt gekoeld en in zekere mate meevarieert met het buitenklimaat, waarbij de aanwezigen adaptatiemogelijkheden hebben, zoals te openen ramen. Een Bètaklimaat echter is een binnenklimaat dat door middel van koeling wordt geregeld en waarbij de gebruikers weinig adaptatiemogelijkheden hebben. In figuur 21 worden de temperatuurgrenzen weergegeven voor de Alphaklimaten. Hierbij worden drie binnenklimaatklassen aangegeven waarbinnen 90%, 80% of 65% van de aanwezigen het thermisch binnenklimaat acceptabel vindt. Op de verticale as is de operatieve binnentemperatuur weergegeven en op de horizontale as de buitentemperatuurindex $T_{e,ref}$. Deze $T_{e,ref}$ is een gewogen gemiddelde van de maximale en minimale buitenluchttemperatuur van de beschouwde dag en 3 voorafgaande dagen. De 80% bovengrens is boven een $T_{e,ref}$ van circa 10°C hetzelfde als de bovengrens van figuur 20.



Figuur 21: Gebouw/klimaatype Alpha. Maximaal toelaatbare operationele binnentemperatuur voor een bepaalde acceptatie, afhankelijk van de buitentemperatuur $T_{e,ref}$

Humphreys, M.A., Nicol, J.F., 2001, "The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments", in Conference Proceedings: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, Windsor, UK, 5–8 april 2001.

Dit artikel beschrijft onderzoek waarin de auteurs aantonen dat de validiteit van het PMV-model ligt in het gebied tussen -0,5 en +0,5. Dat is een veel smaller gebied dan in de EN ISO 7730 wordt aangegeven. Geconcludeerd wordt dat de ISO 7730 in de huidige vorm niet kan worden gebruikt om thermische omstandigheden in gebouwen te specificeren.

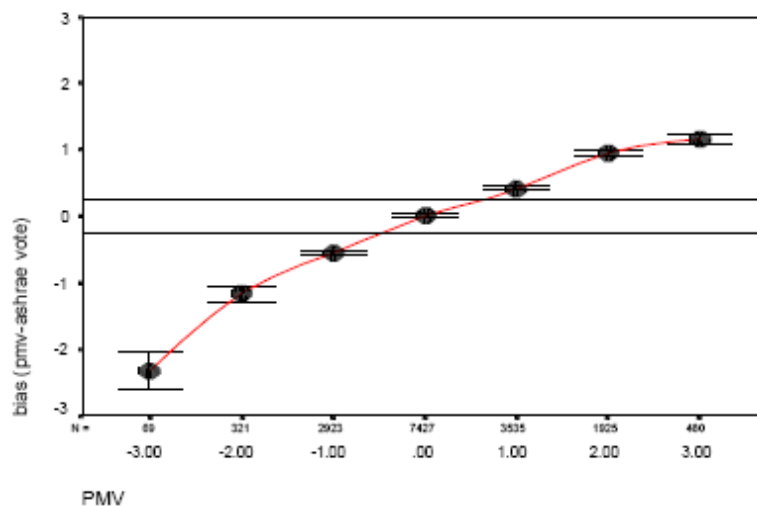
De ASHRAE-database (de Dear, 1998), waarin 20.000 individuele comfortstemmen en corresponderende metingen van de fysische variabelen, is voor dit onderzoek gebruikt. Vervolgens zijn alleen die gegevens waarin de ASHRAE-stemmen tussen -2 en +2 liggen, geheranalyseerd. Zo bleven er 16.762 bruikbare observaties over.

De PMV voorspelt niet precies het comfort van een individu, maar van een grote groep mensen die in dezelfde thermische omgeving verkeren, dezelfde kleding dragen en hetzelfde metabolisme hebben. Die situatie zal echter nooit optreden. Daarom werd de berekende PMV, per waarneming, afgetrokken van de overeenkomstige werkelijke comfortstem. Hierdoor ontstonden er 16.762 bruikbare individuele discrepanties. De verdeling van een willekeurige subgroep van deze discrepanties zou een gemiddelde waarde moeten hebben van circa 0. Zijn standaarddeviatie zou het gezamenlijke resultaat moeten zijn van de individuele verschillen tussen mensen en van de fouten bij de bepaling van de PMV. De grootte van de discrepantie tussen de werkelijke stem en de berekende PMV is een maat voor de nauwkeurigheid van de PMV-voorspelling. Deze gemiddelde discrepantie is de voorspelde afwijking en de nauwkeurigheid van de afwijking wordt voorgesteld door de standaarddeviatie van de gemiddelde discrepantie. In theorie zijn er diverse factoren die bijdragen aan de discrepanties. Het kan gelegen zijn in aselecte verschillen tussen mensen die deel uit maken van een groep. De

metingen en bepalingen van kleding en metabolisme kunnen random fouten bevatten, maar er zullen ook systematische fouten in instrumenten en tabellen en methoden hebben. De PMV is een benadering van het comfort, een gemoedstoestand, van een groep gebaseerd op een zeer complex fysisch, fysiologisch en psychologisch menselijk systeem. Het kan niet anders dan dat er menselijke processen, gedragingen en reacties niet in het model zijn opgenomen. Verder werkt het PMV-model als een statisch warmtebalansmodel, terwijl de warmtebalans in werkelijkheid steeds veranderd. Alle systematische fouten zijn onderdeel van de PMV-vergelijking en worden “vergelijkingsfout” genoemd.

De PMV-vergelijking maakt seizoensadaptatie niet mogelijk, behalve de invloed op de kledingisolatie. Er is echter aangetoond dat de seizoensvariatie van de buitentemperatuur de perceptie van warmte bij mensen beïnvloedt.

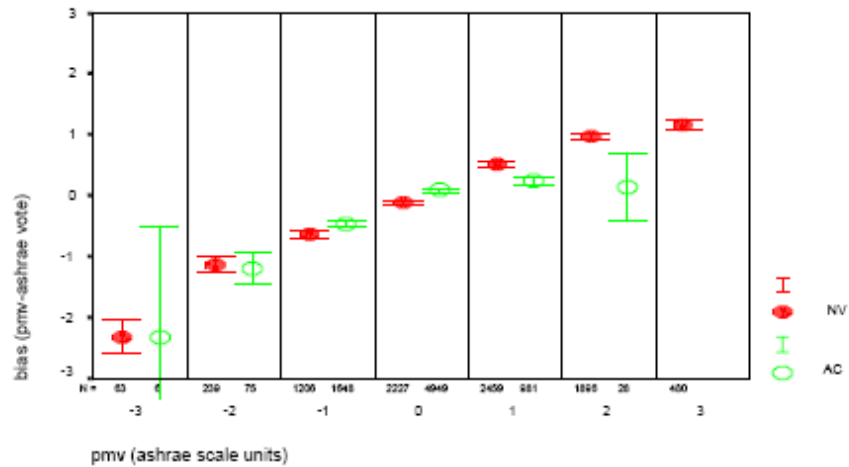
Wanneer het gecombineerde effect van de afwijkingen wordt onderzocht, ze kunnen random zijn en elkaar compenseren, dan blijkt er rond “neutraal” geen afwijking, maar de PMV overschat de warmte in warme omgevingen en onderschat de koude in koude omgevingen. (zie figuur 22).



Figuur 22: Afwijking van PMV vergeleken met waarderingen in ASHRAE database.

De afwijking is veel groter dan de vereiste $\pm 0,25$ schaaleenheden, behalve in het beperkte gebied van $\pm 0,5$.

Figuur 23 laat de afwijking afzonderlijk zien voor airconditioned en natuurlijk geventileerde gebouwen. In koude omgevingen zijn de afwijkingen gelijk. Daarom mag niet worden geconcludeerd dat de PMV geen afwijkingen heeft bij airconditioned gebouwen. De PMV is intrinsiek niet correcter voor airconditioned gebouwen, maar de grotere nauwkeurigheid van de PMV in het voorspellen van de gemiddelde waarderingen van mensen in airconditioned gebouwen is toe te schrijven aan de lagere temperaturen die in die gebouwen voorkomen en aan de nauwere bandbreedte van thermische omgevingen in dergelijke gebouwen.



Figuur 23: Afwijking van PMV vergeleken met waarderingen in ASHRAE database, voor airconditioned en natuurlijk geventileerde gebouwen afzonderlijk.

De EN ISO 7730 geeft een geldigheidsgebied van ± 2 schaaleenheden. Uit de analyses blijkt echter dat de PMV slechts voor een zeer beperkt gebied geldig is.

De validiteit van de PMV voor het voorspellen van de gemiddelde waarderingen van groepen

Eerst is de data gegroepeerd naar de *plaats* waar het van afkomstig was (plaats, land, jaargetijde, type gebouw). De analyse liet zien dat bij 33 van de 41 groepen de PMV een afwijking vertoonde. Van 31 files was de discrepantie groter dan $\pm 0,25$ schaaleenheden, 13 files hadden een discrepantie van meer dan $\pm 0,5$ schaaleenheden en bij 5 files was de discrepantie meer dan ± 1 schaaleenheid.

Vervolgens is de procedure herhaald met de data gegroepeerd naar het *gebouw* waar de data van afkomstig waren, omdat er contextuele factoren, specifiek voor een gebouw, zouden kunnen zijn, die de comfortstemmen kunnen beïnvloeden. De analyses zijn uitgevoerd voor airconditioned gebouwen, natuurlijk geventileerde gebouwen en voor hybride gebouwen. Van de 41 natuurlijk geventileerde gebouwen hadden er 35 een afwijking van meer dan $\pm 0,25$ schaaleenheden en 8 hadden een afwijking van meer dan ± 1 schaaleenheid. Van de drie hybride gebouwen had er 1 een afwijking van meer dan $\pm 0,25$ schaaleenheden en 1 had een afwijking van meer dan ± 1 schaaleenheid. Van de 101 airconditioned gebouwen hadden er 63 een afwijking van meer dan $\pm 0,25$ schaaleenheden. Dus voor de meerderheid van de gebouwen, zowel natuurlijk geventileerd, als airconditioned, gaf de PMV een misleidende waarde voor het comfort van de groep.

Paciuk, M., "The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction at the workplace. Coming of age", in Environmental Design Research Association, EDRA 21 (1990), p. 372. Eds: Selby, R.I.; Anthony, K. H.; Choi, J.; Orland, B., pp. 303-312. Oklahoma City, OK.

In dit onderzoek werd aangetoond dat thermisch comfort het sterkst werd beïnvloed door de ervaren mate van beïnvloeding. Paciuk maakt onderscheid tussen:

- Available control, de beschikbare beïnvloedingsmogelijkheden, zoals te openen ramen en thermostaten.

- Exercised control, de mate waarin de available control gebruikt wordt of kan worden.
- Perceived control, de mate waarin de exercised control d.m.v. feedback mechanismen ook daadwerkelijk als effectief wordt ervaren.

G. Brager, G. Paliaga, R. de Dear, “Operable windows, Personal Control and Occupant Comfort”. ASHRAE Transactions 4695, RP-1161, 2004.

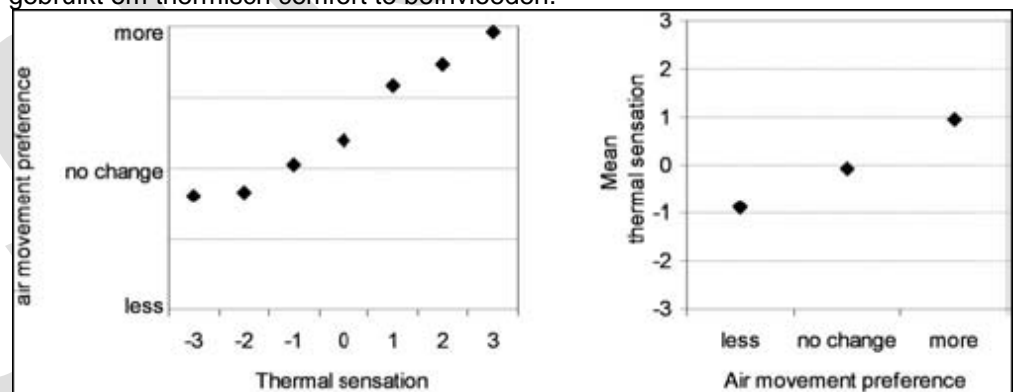
Een veldonderzoek in een natuurlijk geventileerd kantoor in het gematigde klimaat van Berkeley in de VS naar het thermisch comfort en gebruik van te openen ramen. Het onderzoek bestond uit uitgebreide fysische metingen en web-gebaseerd vragenlijstonderzoek. Een van de achtergronden van dit onderzoek is de kennis uit de omgevingspsychologie dat de menselijke reacties op zintuiglijke stimuli veranderen wanneer mensen zelf invloed op de betreffende stimulus hebben. Met andere woorden, in zomerse omstandigheden accepteren en prefereren mensen zelfs hogere temperaturen als:

1. ze weten waarom het warmer is
2. ze hun warmtegevoel (voorspelbaar) kunnen beïnvloeden

Als mensen door betere beïnvloedingsmogelijkheden comfortabel zijn in een grotere bandbreedte dan bij de conventionele comfortcriteria, dan heeft dit gevolgen voor gebouwontwerp, thermisch comfort en energiegebruik.

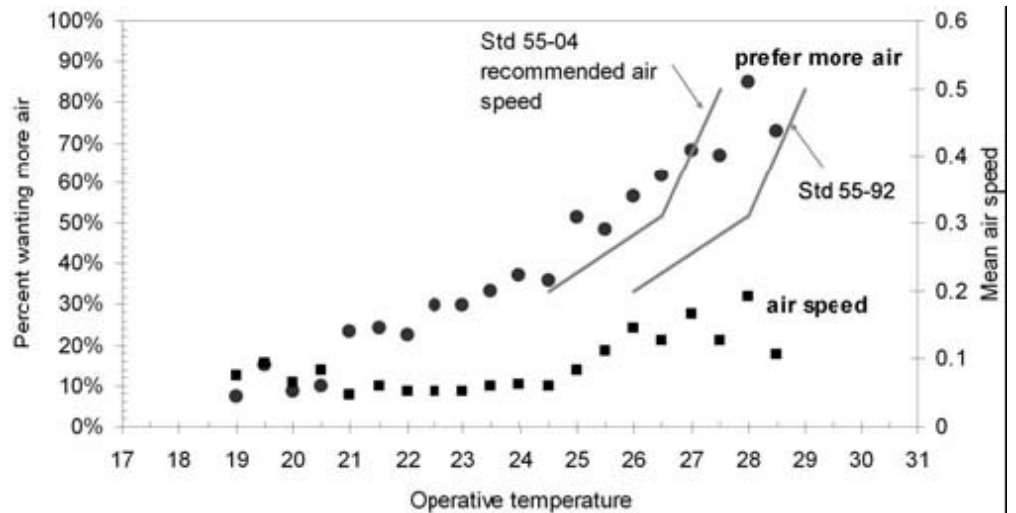
Door het gebouwontwerp en ruimte lay-out konden 2 groepen worden onderscheiden: een groep met beïnvloedingsmogelijkheden door middel van het bedienen van ramen en een groep zonder deze mogelijkheden. Enkele resultaten van dit onderzoek zijn:

- De neutrale temperatuur voor de gehele onderzochte groep in zomer en winter was gemiddeld 23.0°C.
- De thermische sensatie van de groep correleerde het beste met de operationele temperatuur: $R^2=0,9$ in de zomer en 0,69 in de winter. De correlatie met de PMV was minder ($R^2=0,82$ in de zomer en 0,60 in de winter).
- Naarmate de mensen aangeven het warmer te vinden wordt de behoefte aan hogere luchtsnelheden groter (zie Figuur 1). De hogere luchtsnelheden worden gebruikt om thermisch comfort te beïnvloeden.



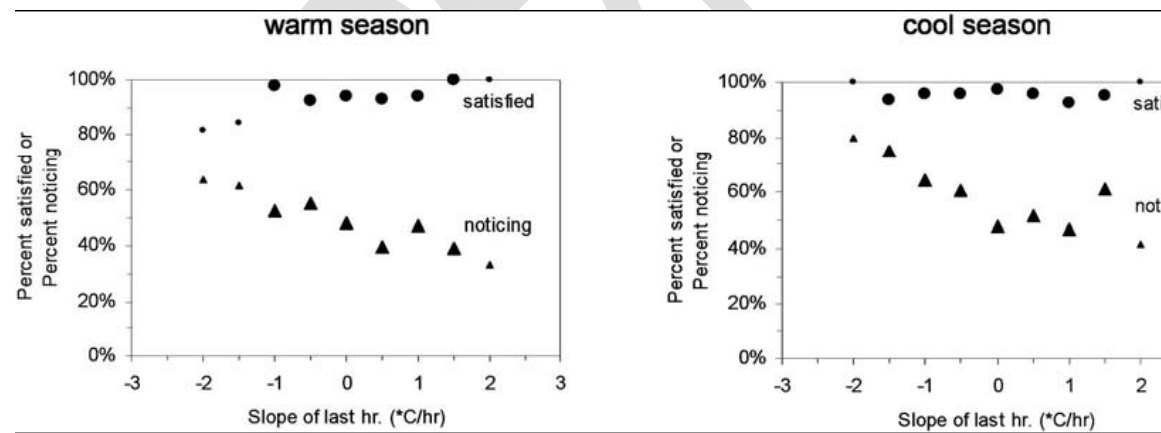
Figuur 1: Relatie tussen gemiddelde voorkeur voor luchtbeweging en thermische sensatie.

- Bij temperaturen boven circa 24,5°C zijn de gemeten gemiddelde luchtsnelheden hoger, maar een meerderheid van de mensen wil nog hogere luchtsnelheden (figuur 3).



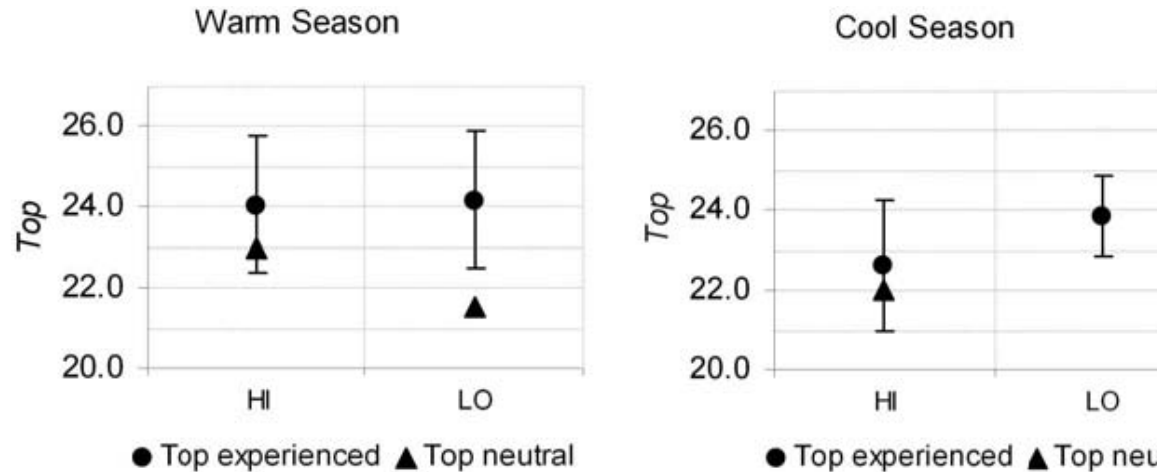
Figuur 3: Gemiddelde luchtsnelheden en percentage mensen die meer luchtbeweging willen als functie van de operationele temperatuur. De aanbevolen verhoogde luchtsnelheden voor zomercondities in ASHRAE Standards 55-1992 en 55-2004 zijn ter vergelijking aangegeven.

- Het binnenklimaat bleek dynamisch van karakter en de invloed van het weer bleek groter dan de invloed van de interne warmtelast. Temperatuurstijgingen werden niet opgemerkt tot 1,5° C/uur, hetgeen een bewijs is dat het binnenklimaat niet stabiel behoeft te zijn (figuur 4).



Figuur 4: Percentage mensen dat temperatuursveranderingen opmerkt en het percentage dat thermisch comfortabel stemt als functie van de grootte en richting van de temperatuurstijging.

- Uit figuur 5 blijkt dat in het warme seizoen mensen met veel en met weinig beïnvloedingsmogelijkheden in ongeveer dezelfde temperatuur van circa 24°C verblijven, maar dat mensen met veel beïnvloedingsmogelijkheden hun neutrale temperatuur hebben aangepast aan de ervaren temperatuur. In het koele seizoen ervaren de twee groepen verschillende temperaturen, maar de groep met beïnvloedingsmogelijkheden heeft de neutrale temperatuur aangepast tot heel dicht bij de heersende temperatuur.



Figuur 5: Ervaren temperatuur vergeleken met de neutrale temperatuur bij mensen met veel (HI) en weinig (LO) beïnvloedingsmogelijkheden (“Top, experienced” is de gemiddelde operationele temperatuur van het voorafgaande uur).

- Wanneer de afzonderlijke comfortparameters voor de “HI” en “LO” groepen worden vergeleken dan blijken deze zo klein dat er geen invloed op de menselijke warmtebalans kan worden vastgesteld. De verschillen in neutrale temperaturen van de 2 groepen is dus een maat voor de discrepantie tussen twee groepen die dezelfde thermische omstandigheden ervaren, maar verschillende mate van beïnvloeding over de omgeving hebben.

Wyon, D.P., *Individual control at each workplace: the means and the potential benefits in creating the productive workplace*, edited by Derek Clements-Croome, London, New York, 2000.

Op basis van een overzicht van verschillende onderzoeken concludeert Wyon het volgende:

- Mentale taken die concentratie vergen. De productiviteit daalt vanaf de neutrale temperatuur lineair met 30% bij temperaturen die 6K hoger liggen dan neutraliteit.
- Routinematige taken zoals typen. De productiviteit daalt lineair met 30% bij temperaturen die 3K hoger liggen dan neutraliteit en blijft dan constant bij toenemende temperatuur.
- Geoefende handarbeid. Bij temperaturen die 6K hoger liggen dan neutraal is de productiviteit maximaal en neemt lineair af met 20% bij temperaturen die 12K lager liggen dan neutraal.
- Snelheid van vingerbewegingen. Bij temperaturen die 6K hoger liggen dan neutraal is de productiviteit maximaal en neemt lineair af met 50% bij temperaturen die 12K lager liggen dan neutraal.

In tabel 12.4 is dit samengevat en in de 6^e kolom is het ongewogen gemiddelde weergegeven. De gemiddelde productiviteit neemt dus met circa 1,5% af per 1K temperatuurstijging boven neutraal.

Table 12.4 Group average performance for four task types, with IC = 0 K (no individual control), at room temperatures ranging from 3 K below to 6 K above group average neutral temperature. The values in parentheses are the actual experimental results on which the interpolations are based

K	Thinking	Typing	Skill	Speed	Mean
-3	100.8	102.1	90.3	75.7	92.2
-2	100.6	101.7	91.4	78.6	93.1
-1	(100.0)	(100.0)	92.6	81.4	93.5
0	98.1	95.1	93.7	84.3	92.8
+1	94.6	86.5	94.9	87.1	90.8
+2	89.9	76.8	96.0	90.0	88.2
+3	84.7	(70.0)	97.1	92.9	86.2
+4	79.4	67.2	98.3	95.6	85.1
+5	74.3	66.6	99.3	98.1	84.6
+6	(70.0)	66.5	(100.0)	(100.0)	84.1

Wanneer er echter individuele beïnvloeding van $\pm 3K$ rond neutraal aanwezig is, dan wordt het effect van de productiviteitsdaling teniet gedaan tot 4K boven neutraal (zie tabel 12.5).

Table 12.5 Performance improvement with IC = ± 3 K as a percentage of Table 12.4 reference values, at room temperatures ranging from 3 K below to 6 K above group average neutral temperature

K	Thinking	Typing	Skill	Speed	Mean
-3	0.0	0.0	3.4	8.6	3.0
-2	0.2	0.4	3.5	8.6	3.1
-1	0.8	2.1	3.4	8.6	4.0
0	2.7	7.0	3.4	8.6	5.4
+1	6.0	15.2	3.4	8.5	8.3
+2	10.1	23.2	3.3	8.1	11.2
+3	13.4	25.1	2.9	7.1	12.1
+4	15.2	19.3	2.1	5.4	10.5
+5	15.6	10.2	1.2	3.3	7.6
+6	14.7	3.5	0.6	1.4	5.1

Opgemerkt moet worden dat hier uitsluitend naar de temperatuur is gekeken. De invloeden van de luchtkwaliteit, de akoestiek, de groepsgrootte, de verlichting, etcetera zijn hier niet onderzocht.

Hannula, M., Niemelä, R., Rautio, S., Reijula, K., 2000, "The effect of Indoor Climate on Productivity", in *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Vol. 1, pp. 659-664.

Gedurende een jaar is de productiviteit onderzocht van telecommunicatiemedewerkers in twee kantoortuinen die het zelfde werk deden onder het zelfde management. Beide gevels werden geconditioneerd met het zelfde luchtbehandelingsysteem. Individuele beïnvloeding van de temperatuur was niet mogelijk. De productiviteit is direct niet gemeten maar bepaald met behulp van een vragenlijst. Op de noordgevel was de luchttemperatuur gemiddeld 23,6°C (21,9 – 27,8°C) en op de zuidgevel was de gemiddelde luchttemperatuur 25,2°C (22,8 – 28,5°C). De gemiddelde productiviteit was op de noordgevel 2,8% hoger.

Clements-Croome, D., Baizhan, L., “Productivity and indoor environment”, in *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Vol. 1, pp. 629-634.

In een uitgebreid vragenlijstonderzoek werd gevraagd naar:

- Fysische factoren (temperatuur, tocht, luchtkwaliteit, etcetera).
- Kantoorinrichting (o.a. layout, aankleding, beïnvloeding)
- Organisatorische factoren (welzijn, motivatie, werktevredenheid, competentie, etcetera)
- Productiviteit (welzijn, prestatievermogen, werktevredenheid)
- Sick Building Symptomen

De resultaten waren:

- De factoren die de productiviteit ongunstig beïnvloeden waren klachten over het thermisch binnenklimaat, de luchtkwaliteit, SBS-symptomen en het aantal mensen per ruimte.
- Er waren meer klachten over de kantooromgeving, dan klachten over de organisatie, inhoud en tevredenheid van het werk
- Werknemers konden zeer tevreden zijn over het werk en ontevreden over de werkomgeving.
- Wanneer de werknemers klachten hadden over zowel de inhoud van het werk als over de werkomgeving, dan was de productiviteit het laagst.
- Als gevolg van onvrede over de kantooromgeving was de productiviteit circa 10% lager.

Leaman, A., Bordass, B., *Productivity in Buildings: the ‘killer’ variables, in Creating The Productive Workplace – Edited by Derek Clements-Croome, 2000.*

Uit evaluaties van een groot aantal kantoorgebouwen in Engeland zijn een aantal ‘killer’ variabelen gediïstilleerd. Dit zijn clusters van factoren die van grote invloed blijken te zijn op de gezondheid, het comfort en de productiviteit van werknemers in kantoren. De belangrijkste ‘killer’ variabelen zijn:

- Persoonlijke beïnvloeding. Dit betekent controle over verwarming, koeling, ventilatie, verlichting en geluid. Gezonde, productieve kantoren bieden de gebruikers een groot aantal “vrijheidsgraden” om de omgeving individueel te beïnvloeden. Deze benadering heeft een veel gunstiger effect op de gezondheid, het comfort en de productiviteit dan het gebruikelijke streven een uniforme omgeving te creëren afgestemd op het gemiddelde van een groep. Zo wordt uiteengezet dat de ISO-norm (en dus ook de NEN-norm) voor thermisch comfort in de praktijk tot duidelijk meer dan de veronderstelde 10% klachten leidt, als er geen persoonlijke beïnvloeding mogelijk is. De oorzaak wordt gezocht in discrepanties tussen laboratoriumexperimenten die aan de norm ten grondslag liggen en de werkelijke kantooromgeving. Om 90% tevreden te zijn t.a.v. het thermisch comfort te bereiken is een individuele temperatuurregeling nodig van plus en min 2°C, wanneer de kleding naar eigen inzicht kan worden aangepast en van plus en min 3°C in een organisatie met een dress-code. Uit zowel laboratorium- als veldonderzoek blijkt dat wanneer men een temperatuursinstelling van plus en min 3°C tot zijn beschikking heeft, vergeleken met het ontbreken van instelmogelijkheden, de productiviteitsverbetering gemiddeld 5% bedraagt.
- Reactiesnelheid (responsiveness). Dit is de snelheid waarmee temperatuur, ventilatie, geluid en verlichting in de perceptie van de gebruikers aan hun wensen tegemoet komen. Dit kan zijn wanneer men zelf een wijziging aanbrengt (draaien aan een thermostaat) of de snelheid waarmee het facility management reageert op klachten en actie onderneemt.
- Gebouwdiepte. Hoe dieper een kantoorgebouw, hoe meer de algehele tevredenheid en de productiviteit afnemen. Dit hangt ondermeer samen met de

- toepassing van noodzakelijk geachte, uitgebreide, complexe luchtbehandelingssystemen en met de kwaliteit van het uitzicht.
- Groepsgrootte. Dit is een van de slechtst begrepen variabelen bij het ontwerp van moderne kantoorgebouwen. Productiviteit blijkt hoger te zijn in kleine en goed geïntegreerde werkgroepen. In de praktijk blijkt dat grote werkgroepen steeds vaker voorkomen. De argumentatie hiervoor, ruimtebesparing en verbetering van de communicatie, zijn echter niet sluitend. Bij een toename van de werkgroepgrootte wordt het steeds moeilijker voor een individu de verlichting, de lichtwering, de zonwering, de temperatuur, de ventilatie etcetera op zijn of haar behoefte van dat moment af te stemmen. Deze discrepantie leidt tot hinder, klachten over het welzijn, de gezondheid en tot een verlaagde productiviteit.

Wyon, D.P., “Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility”, in *Proceedings of Indoor Air, Vol. 1, 1996.*

Een onderzoek in een verzekeringskantoor liet zien dat persoonlijke beïnvloeding een productiviteitsverbetering gaf van 2%. Wyon suggereert dat wanneer mensen een temperatuursbeïnvloedingsmogelijkheid krijgen van $\pm 3^{\circ}\text{C}$, de productiviteit van werkzaamheden met hoge concentratie met 3% toeneemt en van routinematige werkzaamheden met 7%.

Leaman, A., Bordass, B., “Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications”, in *Building Research & Information, Vol 29 (3/2001), pp. 129 – 143.*

Zelfs in de beste gebouwen die voor Probe zijn onderzocht, is 65% van de gebruikers ontevreden over een bepaald aspect van het thermisch comfort.

Zomercomfort vinden de gebruikers belangrijker dan wintercomfort.

De gebouwen waarin het binnenklimaat sneller reageert op beïnvloeding door de gebruikers werden als comfortabeler ervaren.

“Users are satisficers, not optimisers”. Gebruikers zijn vooral gericht op het oplossen van alle vormen van discomfort. Als er geen discomfort is, is men vaak tevreden. Gebouwgebruikers zijn minder gericht op het nastreven van de optimale situatie.

“Goed genoeg” kan het makkelijker worden bereikt in een eenvoudig gebouw met veel gebruikersinvloed.

De grootste vijand van gebruikerstevredenheid is een over gecompliceerd gebouw. De grootste vriend van gebruikerstevredenheid is eenvoud en begrijpbaarheid, georganiseerde feedback, het serieus nemen van klachten en een snelle respons door het bouwmanagement bij klachten.

Goede bruikbaarheid kan worden bereikt door:

1. Voorspelbare en redelijk acceptabele uitgangssituaties (setpoints etc).
2. Mogelijkheden voor interventies en correcties door de gebruiker.
3. Snelle respons van het gebouw en feedback dat er een snelle respons is.

Rijal, H. B., Humphreys, M. A., Nicol, J. F., “Understanding occupant behaviour: the use of controls in mixed-mode office buildings”, in *Building Research & Information*, Vol 37 (4/2009), pp. 381-396.

Heranalyse van de SCATS database en een vergelijkbaar onderzoek in gebouwen in vijf steden in Pakistan.

Gebruikers in hybride gebouwen gebruiken hun beïnvloedingsmogelijkheden daadwerkelijk om hun comfort te verbeteren. Soms worden verschillende voorzieningen tegelijk gebruikt. In het algemeen worden de voorzieningen op een comfortverhogende en energiebesparende manier gebruikt.

Het gebruikersgedrag (o.a. gebruik van open ramen en ventilatoren) in hybride gebouwen lijkt meer op gedrag in *free running* gebouwen dan op gedrag in gebouwen met air conditioning. De gebruikers lieten duidelijke seizoensvariaties toe en probeerden zeker niet een constante temperatuur te handhaven. Wel werd tijdens warmtepieken de air conditioning gebruikt.

De regressielijn voor comforttemperatuur als functie van de buitentemperatuur lijkt dan ook sterker op die van *free running* gebouwen. Kanttekening is dat er slechts data uit een handvol gebouwen kon worden gebruikt, waaronder maar twee hybride gebouwen in Europa.

De temperatuur voor binnencomfort kon worden voorspeld uit de *outdoor running mean temperature*, zoals bijvoorbeeld ook werd gevonden in SCATS.

Olesen, B., “D3.1 Report on thermal comfort standards in relation to new research results – Thermal comfort in transient environments”, ThermCo Intelligent Energy, 2008.

Literatuuronderzoek naar thermisch comfort aspecten van TABS: Thermo Active Building Systems. Vooral drifts en ramps zijn typerend voor dit soort gebouwen, maar er is weinig specifiek onderzoek naar comfortaspecten van drifts en ramps in dit type gebouwen.

In het artikel worden diverse klimaatkameronderzoeken besproken, daarnaast wordt er een overzicht gegeven van de thermische comfort normen.

Geconcludeerd wordt dat:

- Bij situaties met temperatuurwisselingen die lager zijn dan 4 K/h kan de PMV-methode gebruikt worden.
- De geadviseerde grenzen voor de comfortbeleving zijn onafhankelijk van de snelheid van de temperatuursveranderingen. Drifts (geleidelijke temperatuurveranderingen door passieve effecten, dus niet door installaties) hoeven geen discomfort te geven mits er binnen de geadviseerde comfortbandbreedte van ISO 7730 gebleven wordt.
- Rond de 25°C en bij normale clo- en met-waarden worden temperatuurstijgingen van minder dan +0,5K/uur niet opgemerkt (o.a. Berglund & Gonzales 1978, Hensen 1990).
- Ook bij snellere stijgingen en dalingen (± 1 K/uur en $\pm 1,5$ K/uur) varieert de acceptatie mee, met een tijdsvertraging van ongeveer een uur.

- Door de temperatuur geleidelijk te laten stijgen of worden thermische condities bereikt waarbij de acceptatie duidelijk beter is dan de voorspelde PPD. Dit geldt vooral bij hogere clo-waarden. [Opmerking: in de getoonde grafiek lijkt de afwijking zelfs geheel te wijten aan de clo-waarden, want de acceptatiegrenzen zijn bij de verschillende clo-waarden ongeveer gelijk].

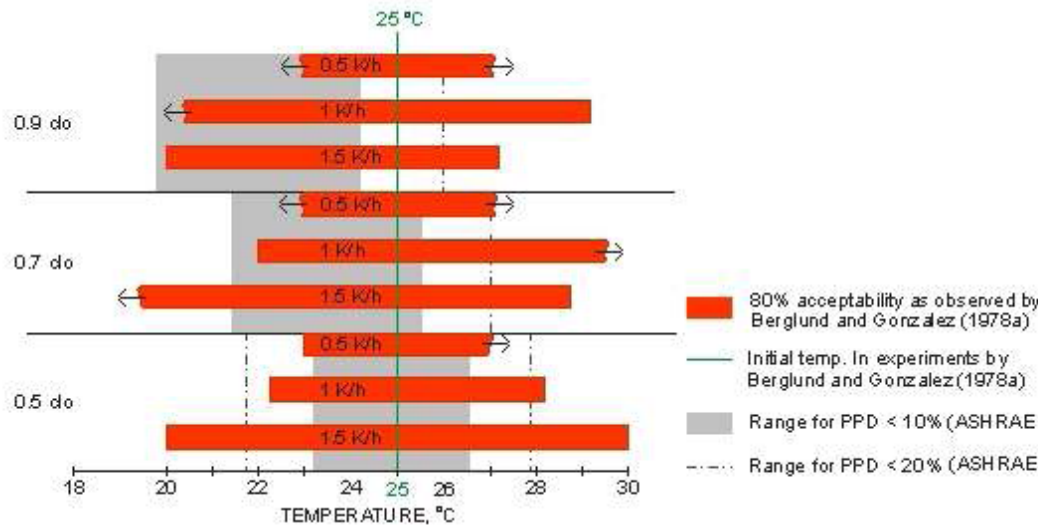


Figure 3: Comparison of comfort ranges determined by Berglund and Gonzalez (1978a) and given in Standard 55-2004. $v_a \leq 0.1$ m/s (19.7 fpm), dew point $\approx 12^\circ\text{C}$ (53.6°F), activity ≈ 1.2 met.

- Grote temperatuurschommelingen verbeteren de productiviteit, maar zorgen ook voor discomfort en zijn daarom alleen acceptabel als ze door de gebruiker gestuurd worden. Bijvoorbeeld door een raam te openen. (Wyon, 1973).

Hwang, R.L., et al., “Investigating the adaptive model of thermal comfort for naturally ventilated school buildings in Taiwan”, in *Int J Biometeorol*, Vol 53 (2008), pp. 189-200.

In dit artikel worden de resultaten besproken van veldonderzoek in 48 klaslokalen in Taiwan. Het klimaat van Taiwan wordt gekenmerkt door hoge temperaturen en luchtvochtigheid. De resultaten van het onderzoek geven een relatief grote afwijking ten opzichte van het ASHRAE adaptieve model:

- 87 % van de ondervraagden stemt in één van de centrale categorieën van de ASHRAE 7-puntsschaal, dit terwijl maar 35 % van de metingen in de het gebied vallen van 80 % acceptatie.
- Zowel in het koude als in het hete seizoenen verschilt de optimale sensatie temperatuur met een thermisch neutrale score van de 7-punten schaal. De optimale sensatie verschuift in beide gevallen richting de koudere kant.
- Het onderzoek laat duidelijk zien dat de thermische beleving van studenten beïnvloed wordt door acclimatisatie.

Holzer, P., Hammer, R., “European Temperate, Humid Continental Climate Building Stock facing the Change: Challenges to face and Pathways to Go, Based on Austrian Experiences”, in *Conference Proceedings: Adapting to*

Change: New Thinking on Comfort, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Door klimaatverandering en hogere comfortverwachtingen neemt het gebruik van air conditioning toe. Op basis van deze achtergrond is onderzoek gedaan met simulaties van een kantoorruimte. Er worden drie conclusies getrokken:

- Ondanks klimaatveranderingen blijven er mogelijkheden om gebouwen te realiseren zonder koeling. Hiervoor moet er gebruik worden gemaakt van zonwering en passieve koeling. Het principe van nachtventilatie wordt al met succes toegepast, daarnaast wordt het effect van de “outside micro climate gains” steeds belangrijker.
- Eisen en uitgangspunten met strenge waarden voor de maximumtemperatuur moeten veranderd worden. De eisen en uitgangspunten leiden tot high tech gebouwinstallaties, op het moment dat de installaties eenmaal geïnstalleerd zijn, worden deze ook overmatig gebruikt.
- Het idee van gebouwen waar het binnenklimaat volledig controleerbaar is, blijkt niet te werken. Daarom moet adaptief comfort en de mogelijkheid van gebruikers om de comfortparameters te beïnvloeden meer toegepast worden.

Het onderzoek is uitgevoerd in Oostenrijk.

Hoof, J. van, “Forty years of Fanger’s model of thermal comfort: comfort for all?”, in *Indoor Air*, Vol. 18 (2008), pp. 182-201.

Dit artikel gaat in op de ontwikkelingen van thermisch comfort sinds het PMV van Fanger in 1970. Het artikel is onder te verdelen in:

- Opsomming van onderzoeken waar kritiek geuit wordt op het model van Fanger en de bijbehorende inputparameters.
- De geldigheid van het model van Fanger. Het model is bijvoorbeeld niet zomaar geschikt voor (semi-)buitencondities, voor temperaturen boven 30°C en voor transiënte omstandigheden. Bovendien is het erg lastig het metabolisme goed in te schatten en kan de afwijking makkelijk 0,3 met zijn (Fanger, na 1998).
- Er worden wat groepen genoemd met afwijkende responsies, o. a. mensen met een ziekte of een lichamelijk handicap, ouderen en mannen t.o.v. vrouwen.
- Voorgestelde verbeteringen, o.a.:
 - o Toevoeging van een Expectation Factor (Fanger en Toftum, 2002)
 - o Simplificeren door vervangen van de niet-lineaire en iteratieve delen van de comfortvergelijking (Sherman, 1985)
 - o Simplificeren d.m.v. fuzzy logic (Feriadi en Hien, 2003).
- Uitbreiding van de toepasbaarheid van het model van Fanger.
- Verbetering van het individuele comfort

Belangrijkste conclusies zijn:

- In situaties waar niet-neutrale thermische sensaties de voorkeur hebben hoeft thermische neutraliteit niet altijd de ideale conditie te zijn. Tegelijk betekent een erg lage of hoge PMV niet altijd dat een grote groep zich oncomfortabel voelt.
- De comforttemperatuur stijgt bij gebouwen met natuurlijke ventilatie in een omgeving met een warm klimaat en daalt bij een koeler klimaat (wat geleid heeft tot het adaptieve model)
- Er is veel onderzoek gedaan naar verbeteringen van het Fanger-model of de bijbehorende inputparameters. De voorgestelde verbeteringen worden in de praktijk echter nog niet toegepast.
- Het toepassen van de individuele beïnvloeding van het thermische klimaat is in opkomst.

Hoof, J. van, Mazej, M., Hensen, L. M., “Thermal comfort: research and practice”, in *Frontiers in Bioscience*, Vol 15 (2010), pp. 765-788.

In het artikel wordt ingegaan op de ontwikkelen van onderzoek op het gebied van thermisch comfort van de afgelopen vijftien jaar, met een groot aantal bronverwijzingen.

Veel van de bevindingen kennen we al uit eerder literatuuronderzoek, o.a. voor ISSO 74 en van Hoof's eerdere artikel (*Forty years of Fanger's model*, 2008).

Aanvullende bevindingen:

- In woningen zijn mensen minder oncomfortabel onder warme omstandigheden (warmer dan het optimum van thermoneutraliteit) dan de PPD voorspelt (Becker & Paciuk, 2009).
- Hoe ingewikkelder de index, zoals PMV, ET* en SET*, hoe slechter de correlatie met subjectieve beleving (Humphreys, Nicol & Raja, 2007, aangehaald in Nicol & Humphreys, 2010).
- In woningen worden te openen ramen vooral gebruikt wanneer de binnentemperatuur 5K hoger is dan de buitentemperatuur in het koelseizoen (Umemiya et al, 2006, let op: beperkt onderzoek met n=10).
- Mensen met een hoge *perceived control* gebruiken hun te openen ramen aanzienlijk meer (Yun et al, 2008).
- Mensen die zich warmer dan neutraal voelen hebben veel minder last van tocht bij hoge luchtsnelheden die normaliter in kantoren tot tochtklachten leiden. Bijvoorbeeld: tot 1,6m/s bleek acceptabel bij 30°C (Toftum, 2004).
- In natuurlijk geventileerde gebouwen bleken hogere luchtsnelheden zelfs tot meer comfort te leiden (Cândido, 2010).
- De grenzen waarbinnen het PMV-model valide is, is volgens Humphreys en Nicol (van Hoof, 2010):

Table 3. Validity intervals for PMV input parameters, taken and adapted from ISO 7730 and Humphreys and Nicol (29,33).

Parameter	ISO 7730	Humphreys and Nicol	Comment
Clothing insulation [I_{cl}]	0-2 clo (0-0.310 m ² KW ⁻¹)	PMV free from bias if: 0.3< I_{cl} <1.2 clo (chair included)	Overestimation of warmth of people in lighter and heavier clothing, serious bias when clothing is heavy. Little information exists for conditions when I_{cl} <0.2 clo
Activity level [M]	0.8-4 met (46-232 Wm ⁻²)	M<1.4 met	Bias larger with increased activity. At 1.8 met overestimation sensation of warmth by 1 scale unit
'Hypothetical heat load' [M· I_{cl}]		M· I_{cl} <1.2 units of met·clo (about 10.8 K)	Serious bias at 2 units (about 18 K)
Air temperature [t_a]	10-30 °C		Overestimation warmth sensation $t_o > 27$ °C ⁻¹ . At higher temperatures bias becomes severe. Upper limit t_o approximately 35 °C in ISO 7730. Data by Humphreys and Nicol do not indicate an unambiguous lower limit.
Mean radiant temperature [\bar{t}_r]	10-40 °C		
Vapor pressure [p_a] or relative humidity [RH]	0-2.7 kPa or 30-70%	RH<60%	Suggested bias becomes important if $p_a > 2.2$ kPa
Air velocity [v_a]	0-1 ms ⁻¹	$v_a < 0.2$ ms ⁻¹	Overestimation warmth sensation $v_a > 0.2$ ms ⁻¹ . Underestimation cooling effect of increased v_a

¹ t_o = operative temperature, which is a function of air temperature, mean radiant function, and a weighing factor A that depends on air velocity. $t_o = At_a + (1-A)\bar{t}_r$; in which A=0.5 if $v_a < 0.2$ ms⁻²; A=0.6 if $0.2 \leq v_a < 0.6$ ms⁻²; and A=0.7 if $0.6 \leq v_a < 1.0$ ms⁻².

- Na een heranalyse van data uit 95 kantoorgebouwen in de VS blijkt dat het minder conditioneren van de gebouwen positieve gezondheidseffecten heeft (Mendell en Mirer, 2009).
- Uit een database van 1.272 responses blijkt dat de mate van *perceived degree of control* over het binnenklimaat bij gebruikers een grotere rol speelt bij het voorkomen van klachten dan het ventilatiesysteem zelf.
- Stoops stelt dat er geen geldige gezondheidsargumenten zijn om gebouwen te conditioneren zoals gebruikelijk is. Hij stelt dat voor langetermijn-gezondheid juist prikkels uit de thermisch omgeving nodig zijn. Dit kan hij niet wetenschappelijk onderbouwen, maar vindt aanwijzingen in de evolutionaire biologie.

- Daarnaast stelt Stoops dat huidige thermisch-comfortnormen hun populariteit vooral te danken hebben aan de puur fysische benadering. Hij stelt dat juist aandacht moet worden gegeven aan de variëteit in de thermische beleving van de mensen die de gebouwen gebruiken, ook als dat leidt tot niet-eenduidige richtlijnen. (Stoops, Windsor Conference 2006).
- De productiviteit van medewerkers is het hoogst bij PMV-0,21 en bij PMV+0,5 is het productiviteitsverlies 26% (typen) en 12% (denken) (Kosonen & Tan, 2003 en 2004).
 - Van Hoof besluit met de opmerking dat als elke gebouwgebruiker vrijuit de temperatuur, lichtsnelheid, activiteitsniveau en kleding kon aanpassen, er 'geen' discomfort zou bestaan. Hoe meer beïnvloedingmogelijkheden men heeft, des te uiteenloper de omstandigheden die in de normen getolereerd kunnen worden. Het gaat dus niet zozeer om het meer natuurlijk laten verlopen van de omstandigheden, maar om flexibiliteit in de regelstrategie.

Hoof, J. van en Hensen, J., 2005, "Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones", in *Building and Environment*, Vol 42 (2007), pp. 156-170.

Gaat in op de verschillen tussen ASHRAE-55 en de ATG-methode. Belangrijkste bevindingen zijn dat er met de ATG-methode meer koelcapaciteit en energie nodig is om een vergelijkbare comfortklasse te bereiken. Daarnaast wordt aangevoerd dat de ATG-methode afwijkt van internationale consensus (ASHRAE-55) en dat er in praktijk relatief erg weinig type-Alpha gebouwen zijn, omdat volgens de auteurs grote kantoorgebouwen vrijwel altijd een open indeling hebben.

Rijal, H.B., et. al., "Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings", in *Energy and Buildings*, Vol. 39 (6/2007), pp. 823-836.

Ramen zijn één van de belangrijkste controle mechanismen waarmee de gebouwgebruikers het binnenmilieu kunnen beïnvloeden. Dit onderzoek maakt gebruik van resultaten uit veld enquêtes om een methode voor het opnemen van raam opening gedrag in gebouwsimulatie van kantoorgebouwen en de effecten ervan op comfort en energie gebruik.

Het paper stelt zich op de volgende vragen:

- (1) wat is algemeen gedrag voor het openen en sluiten van ramen?
- (2) hoe kan er een 'adaptief algoritme' opgesteld worden om te voorspellen of ramen geopend zijn?
- (3) hoe kan dit algoritme worden gebruikt om in een simulatie de effecten van het bedienen van ramen op comfort en energiegebruik te kwantificeren?

Conclusies:

- (1) het aandeel van geopende ramen zijn afhankelijk van de combinatie van buiten- en binnencondities.
- (2) logistische regressie analyse kan gebruikt worden voor het formuleren van een adaptief algoritme voor het voorspellen van de waarschijnlijkheid dat ramen geopend zijn
- (3) het algoritme, wanneer gebruikt in simulatie software, biedt extra inzichten in raamopeninggedrag en kan het effect van het gebouw ontwerp en raam opening gedrag op gebruikerscomfort en energie verbruik kwantificeren.

Uit het longitudinale onderzoek kwam een iets andere vergelijking naar voren dan bij de transversale studie:

longitudinaal:

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = 0.171T_g + 0.166T_{ao_i} - 6.4 \quad (3)$$

transversaal:

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = 0.256T_g + 0.131T_{ao_i} - 8.5 \quad (4)$$

De implementatie van het algoritme in de simulatie wordt als volgt voorgesteld:

Table 5
Steps in the implementation of the “Humphreys” adaptive window open algorithm in ESP-r

No.	Window algorithm parameter	Symbol	Sample	Derivation or source
1	Outdoor air temperature	T_{out}	1 per hour	Interpolated from climate file (hourly)
2	Daily mean outdoor air temperature	T_{odm}	1 per day	Calculated from 24 hourly data points
3	Running mean outdoor air temperature (CEN)	T_{rm}	1 per day	$T_{rm}(init) = (1 - \alpha) T_{odm-1} + \alpha T_{odm}$ Initial value calculated from previous day's mean then $T_{rm} = (1 - \alpha)T_{odm-1} + \alpha T_{odm}$
4	Running mean response to T_{out}	α	Const	Default $\alpha = 0.8$ (0.01 to 0.99 allowed)
5	Comfort temperature	T_{comf}	1 per day	If $T_{rm} > 10$, $T_{comf} = 0.33T_{rm} + 18.8$ (K) If $T_{rm} \leq 10$, $T_{comf} = 0.09T_{rm} + 22.6$ (K)
6	Indoor air temperature	T_{ai}	1 per hour	Available at each timestep (variable)
7	Indoor operative temperature	T_{op}	1 per hour	Available at each timestep (50% mrt)
8	Comfort	Comf	1 per hour	Comf = “yes” if $abs(T_{op} - T_{comf}) \leq 0.5$ K Comf = “hot” if $(T_{op} - T_{comf}) > 2$ K Comf = “cold” if $(T_{op} - T_{comf}) < -2$ K
9	Logit function	Func	1 per hour	Func = $logit(P_w) = 0.171T_{op} + 0.166T_{ao_i} - 6.4$
10	Probability function for window open	P_w	1 per hour	$P_w = \exp(Func) / (1 + \exp(Func))$
11	Random number between 0 and 1	R_n	1 per hour	Generated from Fortran RNG
12	Window status (0 = closed, 1 = open)	iwin	1 per hour	If Comf = “hot” and window closed if $P_w > R_n$ then window open (w = 1) If Comf = “cold” and window open if $R_n > P_w$ then window closed (w = 0)

Conclusies:

Voor de evaluatie van thermische effecten van raambediening, werd de relatie tussen de waarschijnlijkheid van een geopend raam en de binnentemperatuur (T_g) en buitenlucht (T_{ao_i}) gekwantificeerd. De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

1. het aantal geopende ramen is het laagst in de winter, gemiddeld in de lente en de herfst en het hoogste in de zomer. Het kan worden aangetoond dat de proportie van geopende ramen een functie van de binnen- en buitentemperatuur is.
2. De temperatuurband tussen het openen en sluiten van de ramen (de 'deadband') is ongeveer 4 K.
3. Een algoritme voor raam opening is ontwikkeld op basis van het adaptieve beginsel dat dit soort acties worden genomen om discomfort te verminderen.
4. De longitudinale en transverse studies leveren in het algemeen vergelijkbare voorspellingen voor de distributie van geopende en gesloten ramen.

5. Het verkregen algoritme (Humphreys adaptive algorithm) is geïmplementeerd in ESP-r welke gebruik maakt van de adaptieve theorie om de waarschijnlijkheid van geopende ramen te voorspellen. Het algoritme geeft vergelijkbare resultaten als degenen verkregen uit de gegevens van enquêtes. Het raam open gedrag is zoals vertegenwoordigd door het algoritme getoond om meer gevoelig voor veranderingen in de bouw ontwerp parameters dan een niet-adaptieve benadering
6. De toepassing van de Humphreys adaptieve algoritme in een gesimuleerd kantoor suggereert dat verbeterd gebouwontwerp tot verbeterd comfort leidt, verminderd adaptieve gebruik van ramen en een vermindering van de jaarlijkse energievraag voor verwarming van 105 tot 98 kWh/m².
7. Het wordt gesuggereerd dat een adaptief algoritme beter de menselijke besturing van ramen vertegenwoordigt en een meer accurate beoordeling van het thermisch comfort condities en gebouw prestaties met inbegrip van oververhitting in de zomer en het jaarlijkse energie gebruik.
8. Het algoritme ingebed in simulatie software zal helpen bij het ontwerpen van meer comfortabele en energiezuinige gebouwen.

Haldi, F, Robinson, D., “On the unification of thermal perception and adaptive actions”, in *Building and Environment*, Vol 45 (11/2010), pp. 2440-2457.

De empirische modellen voor het voorspellen van thermisch comfort voorspellen een gemiddelde neutrale temperatuur, voor een bepaalde gewogen gemiddelde van de bui ten temperatuur voor een volledige populatie, ongeacht de specifieke adaptieve acties die uitgevoerd (kunnen) worden. Deze modellen worden overal toegepast, terwijl de specifieke situatie afwijkt van de gemiddelde situatie waarop deze modellen gebaseerd zijn.

Het paper presenteert een model om een waarschijnlijkheidsdistributie te voorspellen van thermische sensatie in free-running gebouwen. Vervolgens stelt het een methodologie voor door het combineren van de recente vooruitgang in het voorspellen van adaptief gedrag van gebruikers en het effect dat dit heeft op de thermische perceptie van de gebruikers.

Zoals het onderstaand figuur duidelijk maakt, doet het paper een poging om het effect van het nemen van actie op de thermische perceptie en comfortbeoordeling te kwantificeren met de volgende vergelijkingen:

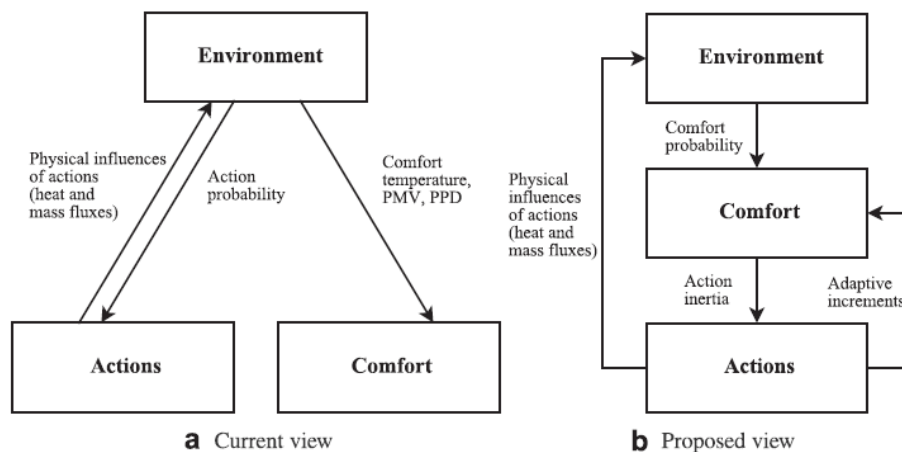
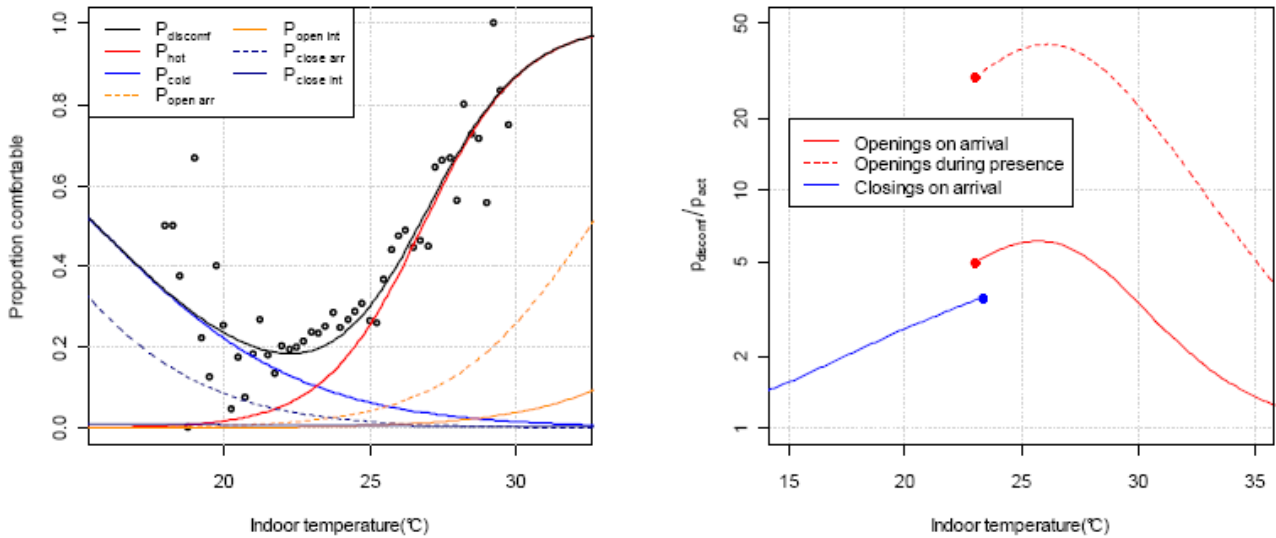


Fig. 13. A proposal for a new perspective to understand the interactions between the environment, occupant comfort and adaptive actions.

Bij deze nieuwe benadering horen twee nieuwe concepten, die het verband omschrijven tussen comfort en acties.

Actie inertie:



Kansen van thermische discomfort en acties op het gebied van ramen openen/sluiten (links) en bijbehorende actie van de stimulus-afhankelijke inerties (rechts), weergegeven op een logaritmische schaal

Het figuur (links) toont de kans van thermisch discomfort afgeleid uit p_{comf} samen met de waarschijnlijkheid van acties met ramen bij aankomst en tijdens aanwezigheid. Deze krommen volgen een gemeenschappelijke trend, hoewel de afgeleide actiewaarschijnlijkheid lager dan de waarschijnlijkheid van comfort zijn. Van de constatering dat naarmate de kans op discomfort toeneemt, de kans op actie ook toeneemt, kan de hypothese dat discomfort leidt tot actie worden ondersteund en de verschuiving tussen de twee als actie inertie kan worden omschreven naar een concept eerder voorgesteld door Robinson (2006). Deze actie inertie kan worden omschreven door formulering van de discrepantie tussen actie- en discomfortwaarschijnlijkheden, die kunnen worden uitgedrukt als

$$I(\theta_{in}) = p_{discomf}(\theta_{in}) / p_{act}(\theta_{in})$$

De temperatuur-afhankelijke schatting van de inertie is complex, maar het is wel informatief en biedt een directe link tussen discomfort en actie, omdat we direct $p_{act}(\theta_{in})$ kunnen afleiden:

$$p_{act}(\theta_{in}) = p_{discomf}(\theta_{in}) / I(\theta_{in})$$

In het geval van acties met ramen verschilt deze inertie tussen aankomst (lager) en tijdens de aanwezigheid, die correspondeert met de waargenomen hogere reactiviteit in het speciale geval van aankomst, mogelijk als gevolg van een verloop van de relatief sterke stimulans ervaren door de gebruiker onderweg naar zijn bestemming. De bovenstaande figuur laat ook zien dat als $p_{discomf}(\theta_{in})$ stijgt de actie traagheid vermindert. De traagheid bereikt een maximum rond $(\theta_{in}) = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Adaptieve "ophoging":

In dit onderzoek wordt de hypothese dat adaptieve acties tot gevolg hebben dat gebruikers zich meer comfortabel in warmere of koudere omstandigheden voelen, dan het geval zijn zou als geen actie werd uitgeoefend (De tolerantie van afwijkende temperaturen gaat omhoog). Om dit fenomeen mee te nemen in de simulaties, kan een temperatuur worden gedefinieerd welke een correctie op de oorspronkelijke comforttemperatuur is, ten gevolge van de genomen actie:

Comforttemperatuur gecorrigeerd voor adaptieve acties:

$$T_{ad} = T_n - f(T_n) = T_n - \rho(T_n) \cdot \Delta,$$

$f(T_n)$ = adaptieve correctie

Deze correctie is gedefinieerd uit het empirisch onderzoek, per adaptieve stap:

Δ = adaptieve ophoging van stap i

$\rho(T_n)$ de waarschijnlijkheid dat een controlemogelijkheid wordt gebruikt.

Conclusies:

Deze onderzoeken en bijbehorende (pogingen tot het vormen van) algoritmen onderstrepen het belang en het voordeel van het aanbieden van mogelijkheden voor beïnvloeding door de gebruiker.

Het paper geeft een methode om deze fenomenen op te nemen in simulaties.

Echter, om voor elke vorm van adaptive mogelijkheden en elke situatie en populatie de waarden te bepalen voor deze invloeden, moeten deze invloeden allemaal individueel onderzocht worden.

Yun, G. Y., Steemers, K., Baker, N., "Natural ventilation in practice: linking façade design, thermal performance, occupant perception and control", in *Building Research and Information*, Vol 36 (6/2008), pp. 608-624.

Dit is een veld-pilotonderzoek in GB in zes kantoorvertrekken naar het gebruik van de openen ramen.

De auteurs stellen in de inleiding:

- Energiebesparingsmaatregelen in gebouwen blijken vaak niet succesvol door een gebrek aan begrip van de perceptie en het gedrag van gebruikers.
- Gebruikersgedrag geeft een 100% variatie op energiegebruik .
- Er is onvoldoende kennis van de perceptie en het gedrag van gebruikers in gebouwen.
- De comforttemperatuur van mensen aan de gevel in een kantoorruimte (dus kunnen ramen openen) is hoger.
- De binnentemperatuur in de zomer en een combinatie van binnen- en buitentemperatuur in de winter sturen het raamgebruik.

Er zijn metingen naar de thermische omstandigheden uitgevoerd, vragenlijsten afgenomen betreffende het raamgebruik, de ervaren controle over temperatuur en luchtkwaliteit en het ervaren comfort. De auteurs concluderen:

- Gebouw- en gevelontwerp hebben een grote invloed op ervaren comfort en beïnvloedingsmogelijkheden.
- Het kantoor met het meest gebruiksvriendelijke raamontwerp (met veilige nachtventilatiestand) had het hoogste niveau van comfort en beïnvloedingsmogelijkheden.
- Ramen die een hoog niveau van 'ervaren beïnvloeding' hebben, hebben ook een hoog niveau van 'gebruikte beïnvloeding' (perceived and exercised control).
- Dit betekent dat als een raam wordt ervaren als een beïnvloeder van het binnenklimaat, het ook frequenter en actiever wordt gebruikt. Dit wordt verklaard door een model van een cumulatief psychologisch proces dat beschrijft dat ervaringen van de perceptie van gebruikte beïnvloedingsmogelijkheden het gebruik beïnvloedt (zie figuur 13).

- Er is een positieve correlatie gevonden tussen ervaren beïnvloeding en de gemiddelde binnentemperatuur.
- Als de ervaren beïnvloeding toeneemt, neemt de tijd dat een raam open staat ook toe.
- Het openen van ramen bij buitentemperaturen hoger dan binnentemperaturen vergrootte het comfort door het koelende effect van hoge lichtsnelheden tot 0,8m/s. De comforttemperatuur werd hierdoor 2 tot 2,6°C hoger.

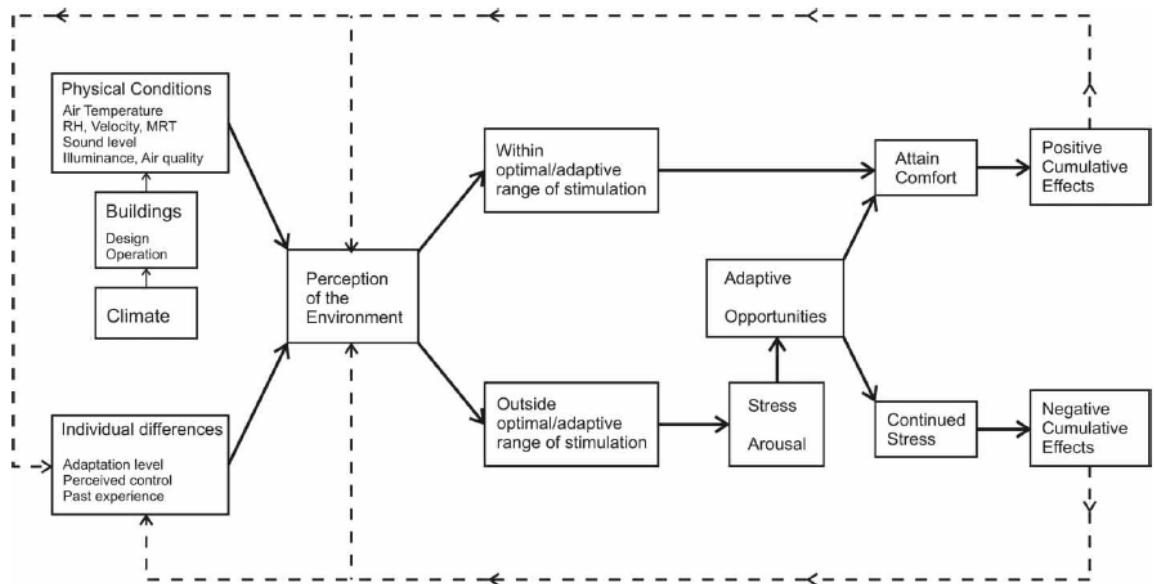


Figure 13 Cumulative psychological loop explaining the factors affecting occupant perception of the environment and adaptive behaviour. Source: Adapted from Fisher *et al.* (1984).

Cole, R. J., Robinson, J., Brown Z., O’Shea, M., “Re-contextualizing the notion of comfort”, in *Building Research and information*, Vol 36 (4/2008), pp. 323-336.

Dit artikel bespreekt de noodzaak tot het herzien van het concept van ‘comfort’. Comfort wordt traditioneel gezien vanuit een fysiologisch standpunt en is het domein van mechanische conditionering, automatische, gecentraliseerde beheersing van het binnenmilieu.

Gebouwgebruikers zouden als ‘bewoners’ moeten worden gezien, die een actieve rol spelen in het gedrag van een gebouw en niet slechts ‘passieve ontvangers’ van vooraf ingestelde omstandigheden zijn. Er wordt nog te vaak gestreefd naar een ‘optimale temperatuur’, terwijl er steeds meer aanwijzingen zijn dat juist in plaats en tijd variërende temperaturen tot meer comfort leiden.

De auteurs stellen dat in natuurlijk geventileerde gebouwen comfortomstandigheden grotendeels worden bepaald door:

- passieve strategieën (thermische massa, passieve koeling, daglicht, etc.)
- meer variatie en verbinding met buitenomstandigheden
- gebouwbewoners die meer interacteren met het gebouw

Deze benadering kan verder worden uitgebouwd door bijvoorbeeld te kijken naar het begrip ‘biophilia’, waarmee een instinctieve band van de mens met levende systemen wordt bedoeld. Verder wordt het concept van ‘living building’ besproken waar bewoners bijvoorbeeld een dagelijks ‘energie budget’ krijgen.

Ook wordt verwezen naar ander onderzoek (Bordass en Leaman, 1997) waarin wordt gewezen op te complexe gebouwen en systemen als oorzaak voor energie

inefficiëntie en comfortklachten. Maar low-tech gebouwen kunnen ook niet optimaal zijn, omdat de bewoners en beheerders de passieve systemen niet begrijpen.

De auteurs bevelen adaptieve temperatuur richtlijnen aan waarbij:

- mensen gewend raken aan variërende (dag, seizoen) temperaturen
- flexibele arbeidstijden mogelijk zijn (niet werken tijdens hete perioden, maar op andere momenten)
- flexibele dress codes worden gehanteerd die aansluiten bij de heersende temperaturen

Het begrip 'comfort' wordt ook in een bredere context geplaatst als 'sociaal comfort', waarbij aspecten een rol spelen als gevoel van territorium, status en grootte en aantal mensen per kantoorvertrek, privacy, communicatie en interactie.

Groene gebouwen vereisen veel meer invloed en participatie van de gebruikers dan centraal geconditioneerde gebouwen en het succes van groene gebouwen hangt dan ook mede af van interactie en groep dynamiek. De sociale dynamiek van de werkplek zou een expliciete overweging moeten zijn bij het vaststellen en ervaren van comfort. Het collectieve begrip van wat comfortabel is, kan het individuele begrip van comfort beïnvloeden. Tot op zekere hoogte kan het individuele comfort bewust of onbewust opgeofferd worden aan het collectieve comfort. Door allerlei verschillende invloedsmogelijkheden en een collectief bewustzijn van comfort leren bewoners in de loop der tijd omgaan met de voor- en nadelen van een gebouw en dit zal het niveau van ervaren comfort ten goede komen.

'Interactieve adaptatie' in een gebouwstelsel is een proces van participatie, interactie tussen bewoners en interactie tussen bewoners en gebouwelementen, waardoor veranderende interne en externe omstandigheden, vloeiender en robuuster op een responsieve wijze kunnen worden opgevangen. De auteurs wijzen erop dat het comfort in natuurlijk geventileerde/passieve gebouwen in veel gevallen hoger is dan in airconditioned gebouwen, zelfs als objectieve metingen minder goed zijn in de passieve gebouwen. Maar er zitten ook grote risico's bij het ontwerpen van passieve gebouwen, omdat er bijzondere eisen gesteld moeten worden aan layout, gebouwdiepte en bewonersinteractiemogelijkheden, omdat anders de bewoners niet op een natuurlijke manier met het gebouw interacteren en het energiebesparingspotentieel van een passief ontwerp geheel teniet kan worden gedaan. De moeilijkheid ligt in de mate waarin en de wijze waarop gebouwbewoners in het gebouwstelsel participeren en interacteren en hoe ze hierover worden geïnformeerd en geïnstrueerd.

Inzicht in het gedrag van mensen en de rol van verschillende soorten feedback (verschillend voor woningen en kantoren) is essentieel om optimaal functionerende gebouw/gebruikerssystemen te realiseren.

Conclusies

Om een hoger niveau van comfort en energiebesparing te bereiken is een bredere definitie van comfort wenselijk, waarbij individueel comfort en collectief comfort tegen elkaar kunnen worden afgewogen. Hierbij zijn verschillende soorten beïnvloedingsmogelijkheden, layout, ruimte indeling, feedbackmechanismen en begrip van het gebouwstelsel van belang. Hiervoor is meer inzicht in het menselijk gedrag van belang.

Kalz, D.E., Pfafferot, J., “Comparative Evaluation of Natural Ventilated and Mechanical Cooled Non-Residential Buildings in Germany: Thermal Comfort in Summer”, in *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New thinking on Comfort*, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Onderzoek in 19 ‘low energy’ kantoorgebouwen in Duitsland. Over een periode van 2 tot 5 jaar zijn de temperaturen uurlijks gemeten en is het thermisch comfort afgeleid uit het aantal uren dat de operationele ruimtetemperatuur de adaptieve klassen En15251 overschrijdt.

De natuurlijk geventileerde gebouwen en mechanisch gekoelde gebouwen voldeden voor 95% van de tijd aan klasse I als naar de bovengrens werd gekeken, maar de ondergrens van klasse I werd in de NV gebouwen tot 45% onderschreden en in de AC gebouwen tot 80%.

Arens, E., Turner, S., Zang, H., Paliaga, G., “Moving Air for Comfort”, in *ASHRAE Journal*, May 2009, pp 8-18.

Het onderzoek werd uitgevoerd in 6 scholen en 47 kantoorgebouwen. De meeste gebouwen zijn airconditioned, 2 scholen zijn natuurlijk geventileerd en een kantoorgebouw is mixed-mode. De meerderheid van gebouwbewoners blijkt meer luchtbeweging te prefereren dan de wat zij meestal ervaren. Naarmate de bewoners de omgeving als warmer ervaren (uitgedrukt op de thermische sensatieschaal), willen zij een hogere luchtsnelheid. Onderstaande figuur geeft de voorkeur voor luchtsnelheden bij een thermische sensatie van -0,7 tot +1,5 en voor alle gemeten luchtsnelheden.

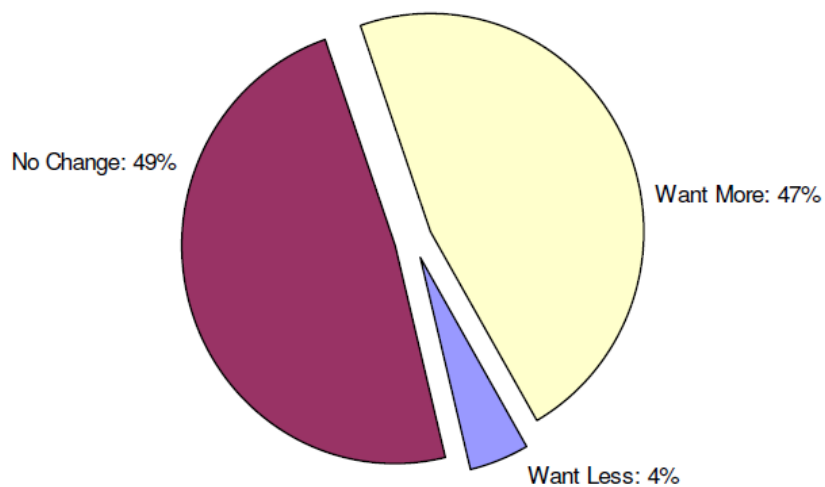
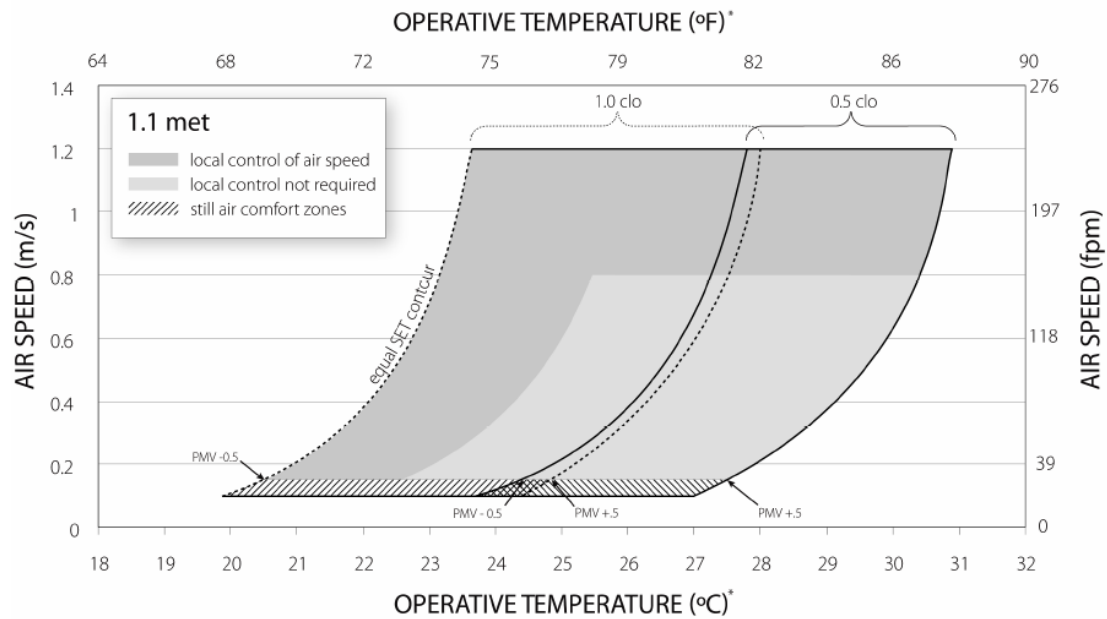


Figure 2. Air movement preference (sensation -0.7 to 1.5), airspeed ≥ 0.2 m/s (39 fpm) (n = 924)

Bij verschillende comfortniveaus en verschillende luchtsnelheden is de verdeling uiteraard anders.

Op basis van dit onderzoek zijn de ASHRAE-aanbevelingen aangepast (ASHRAE-2009) om hogere luchtsnelheden toe te laten en zo wat hogere temperaturen toe te staan. Onderstaande figuur is gebaseerd zowel op het PMV-model als op het SET-model (dat beter rekening houdt met convectieve koeling van het menselijk lichaam).



* In determining operative temperature, use the lowest air temperature in the occupied zone

In this Figure, $t_r = t_a$

Figure 5. Elevated air speed for warm air temperatures

Toelichting bij bovenstaande figuur:

- Er worden 2 voorbeeld comfortzones getoond, voor 0,5 clo en voor 1,0 clo bij een Met waarde van 1.1 (zittend werk). De PMV-comfort zones worden voor lichtsnelheden tot 0,15m/s weergegeven op de psychrometrische kaart (gearceerd gebied).
- Boven deze zones worden de comfortzones bepaald door SET-berekeningen. Tusseliggende waarden voor PMV kunnen worden geïnterpoleerd.
- Wanneer er beïnvloedbaarheid van de lichtsnelheid is, geldt het donkergrijze gebied. De beïnvloeding moet mogelijk zijn voor maximaal 6 bewoners voor iedere 84m².
- Wanneer er geen beïnvloedbaarheid van de lichtsnelheid is, geldt het lichtgrijze gebied.
 - Voor operatieve temperaturen boven 25,5°C geldt een maximale lichtsnelheid van 0,8m/s.
 - Voor operatieve temperaturen beneden 22,5°C is de maximale lichtsnelheid van 0,15m/s.
 - Tussen 22,5 en 25,5°C volgt de toelaatbare snelheid de curve die de grens aangeeft tussen het licht- en donkergrijze gebied.
- Decentrale lichtsnelheidsbronnen, zoals plafondventilatoren, kunnen zo met temperatuursensoren worden uitgerust om de snelheid te regelen voor automatische regeling. Hiervoor geldt met name de 0,5 a 0,6 clo-zone.
- De richtlijn mag niet gebruikt worden voor uitblaasroosters van airconditioningsystemen. Daarom moet de laagste temperatuur in de bewonerszone worden gebruikt.
- Om tocht op onbedekte lichaamsdelen te voorkomen wordt de laagste luchttemperatuur en hoogste lichtsnelheid genomen op de 3 meethoogtes (0,1, 0,6 en 1,1m).
- Het meten van de turbulentieintensiteit is niet meer noodzakelijk.

Desktop ventilatoren bleken bij een lichtsnelheid van 0,8m/s tot 80% acceptatie te leiden.

Jensen, K.J., Toftum, J., Hansen, P.F., “A Bayesian Network approach to the evaluation of building design and its Consequences for employee performance and operational costs”, in *Building and Environment*, Vol 44 (2009), 456-462.

Een Performance Index is bepaald met behulp van de statistische methode van Bayesiaanse netwerken. Het bleek dat er een relatie is tussen performance en thermische sensatie i.p.v. tussen performance en temperatuur. Proefpersonen die bij 18,7°C werkten en hun thermische sensatie corrigeerden door het aanpassen van kleding hadden dezelfde performance als proefpersonen die bij 23,2°C werkten en dezelfde thermische sensatie hadden door lichtere kleding.

Verder bleek dat de aard van de werkzaamheden belangrijk is. Routinematige werkzaamheden worden het best uitgevoerd bij een thermische sensatie van ‘een beetje koel, -1’, terwijl werkzaamheden die een grotere mentale inspanning vergen (creatief denken, probleem oplossing) het beste worden uitgevoerd bij ‘een beetje warm, +1’.

Toftum, J., Andersen, R.V. Jensen, K.L., “Occupant performance and building energy consumption with different philosophies of determining acceptable thermal conditions”, in *Building and Environment*, Vol 44 (2009), pp. 2009-2022.

Thermisch comfort is niet hetzelfde als “temperatuur”, maar hangt samen met het verloop van de temperatuur, de voorspelbaarheid en de bandbreedte van de temperatuur. Wanneer we de verdeling van de perceptie van de thermische sensatie in gebouwen met en zonder mechanische koeling bij verschillende temperaturen vergelijken dan zien we bij 22°C een Gausiaanse verdeling, hoewel er iets meer bewoners “warmer” stemmen in gebouwen zonder mechanische koeling. Maar bij 27°C vindt bijna 50% van de gebruikers in mechanisch gekoelde gebouwen het warm of heet, terwijl in niet mechanisch gekoelde gebouwen meer dan 80% van de bewoners het “een beetje koel”, “neutraal”, of “een beetje warm” vinden.

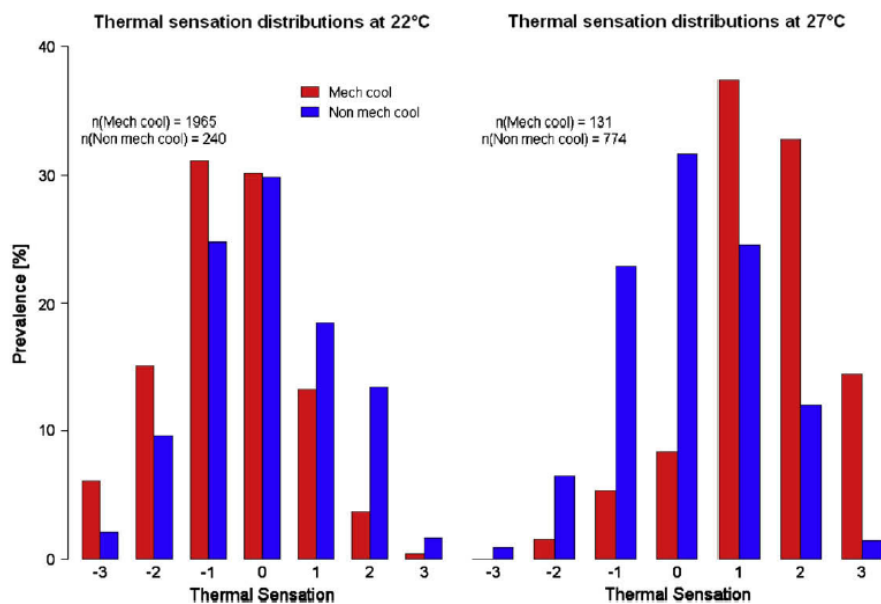


Fig. 1. Distribution of thermal sensation votes cast in buildings with and without mechanical cooling at recorded temperatures 22 °C and 27 °C. Data adopted from de Dear [7].

4 Literatuur

Arens, E., Turner, S., Zang, H., Paliaga, G., "Moving Air for Comfort", in *ASHRAE Journal*, May 2009, pp 8-18.

ASHRAE standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 2010, ANSI 1041-2336.

Atmaca, I., Kaynakli, O., Yigit, A., "Effects of radiant temperature on thermal comfort", in *Building and Environment*, Vol 42 (2007), pp.3210-3220.

Baker, N., "Comfort and Passive Cooling", in *AIVC Paper 11159*, Building Service Research and Information Association, United Kingdom.

Baker, N., Standeven, M., "Thermal comfort for free-running buildings", in *Energy and Buildings*, 23 (1996), pp. 175-182.

Berglund, G.B., "Occupant Acceptance of Temperature Drifts", *Proceedings of Indoor climate, effects on human comfort, performance, and health in residential, commercial, and light-industry buildings*, Copenhagen, Denmark, Fanger, 1978.

Borgeson, S., Brager, G., "Comfort Exceedance Metrics in Mixed-Mode Buildings", Windsor 2010, *Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort and Energy Use in Buildings*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Brager, G.S., Dear, R. de, 2001, "Climate, Comfort & Natural Ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55", *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Conference 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.

Brager, G.S., et al., "A comparison of methods for assessing thermal sensation and acceptability in the field", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993

Cena, K.M., 1994, "Thermal and non-thermal aspects of comfort surveys in homes and offices", in *Proceedings of a conference : Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Chappells, H. and Shove, E., (2003). "The environment and the home", *Environment and Human Behaviour Seminar*, Policy Studies Institute, London.

Chappells, H. and Shove, E., "An annotated bibliography of comfort research", Lancaster University, Department of Sociology, 2003.

Choi, J., Aziz, A., Loftness, V., "Decision support for improving occupant environmental satisfaction in office buildings: The relationship between sub-set of IEQ satisfaction and overall environmental satisfaction", *Proceedings of Healthy Buildings 2009*, Denmark.

Clements-Croome, D., Baizhan, L., "Productivity and indoor environment", in *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Vol. 1, pp. 629-634.

Cole, R. J., Robinson, J., Brown Z., O'Shea, M., "Re-contextualizing the notion of comfort", in *Building Research and information*, Vol 36 (4/2008), pp. 323-336.

Dear, R. de, "The theory of thermal comfort in naturally ventilated indoor environments - The pleasure principle", in *International Journal of Ventilation*, No 8(3) (2009), pp. 243-250.

Dear, R. de, Brager, G., Cooper, D., "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference", *ASHRAE Transactions*, Vol 104 (1) (1998), pp. 145-167.

Dijken, F. van, Bronswijk, J.E.M.H. van, Sundell, J. "Indoor environment and pupils health in primary schools", in *Building Research & Information*, Vol 34(5) (2009), pp. 437-446.

Edward, et. al., "Are 'class A' temperature requirements realistic or desirable?", *Building and Environment*, No 45 (2010), pp. 4-10.

Fanger, P.O., Toftum, J., 2001, "Thermal comfort in the future – Excellence and expectation", *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Conference 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.

Frontczak, M., Wargocki, P., "The effects of non-environmental factors on comfort, a literature survey", *Proceedings of Healthy Buildings 2009*, Denmark.

G. Brager, G. Paliaga, R. de Dear, "Operable windows, Personal Control and Occupant Comfort". ASHRAE Transactions 4695, RP-1161, 2004.

Haldi, F, Robinson, D., "On the unification of thermal perception and adaptive actions", in *Building and Environment*, Vol 45 (11/2010), pp. 2440-2457.

Hannula, M., Niemelä, R., Rautio, S., Reijula, K., 2000, "The effect of Indoor Climate on Productivity", in *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Vol. 1, pp. 659-664.

Healy, S., "Air-conditioning and the "homogenization" of people and built environments", in *Building Research & Information*, No 36(4) (2008), pp. 312 - 322.

Heijs, W., "The dependent variable in thermal comfort research: some psychological considerations", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993

Hellwig, R.T., "How to improve the indoor climate in classrooms?", *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Hellwig, 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.

Hensen, J.L.M., "Literature review on thermal comfort in transient conditions", in *Building and Environment*, Vol. 25 (1990), no. 4, pp. 309-316.

Hensen, J.L.M., Centnerova, L., 2001, "Energy simulation of traditional vs. adaptive thermal comfort for two moderate climate regions", *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Conference 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.

Hitchings, R., "Studying thermal comfort in context", in *Building Research & Information*, No 37(1) (2009), pp. 89 - 94.

Holzer, P., Hammer, R., "European Temperate, Humid Continental Climate Building Stock facing the Change: Challenges to face and Pathways to Go, Based on Austrian Experiences", in *Conference Proceedings: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Hoof, J. van, "Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?", in *Indoor Air*, Vol. 18 (2008), pp. 182-201.

Hoof, J. van, Hensen, J.L.M., "Thermal comfort and older adults", in *Gerontechnical Journal*, vol.4 (March 2006), no.4.

Hoof, J. van, Mazej, M., Hensen, L. M., "Thermal comfort: research and practice", in *Frontiers in Bioscience*, Vol 15 (2010), pp. 765-788.

Hoyt, T., Zhang, H., Arens, E., "Draft or breeze? Preferences for air movement in office buildings and schools from the ASHRAE database", in *Proceedings of Healthy Buildings*, 2009.

Humphreys, M.A., "Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Humphreys, M.A., 2005, "Do people want to feel 'neutral'? – The complex behavior of the ASHRAE scale", lecture.

Humphreys, M.A., Nicol, J.F., 2001, "The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments", in *Conference Proceedings: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Windsor, UK, 5–8 april 2001.

Humphreys, M.A., Rijal, H.B., Nicol, J.F., Examining and developing the adaptive relation between climate and thermal comfort indoors, Proceedings of conference: Adapting to Change: New thinking on Comfort, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 april 2010. London, Network for Comfort and Energy Use in Buildings.

Hwang, R.L., et al., "Investigating the adaptive model of thermal comfort for naturally ventilated school buildings in Taiwan", in *Int J Biometeorol*, Vol 53 (2008), pp. 189-200.

Thermische "Behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen", publicatie 74, ISSO, Rotterdam, maart 2004.

Jensen, K.J., Toftum, J., Hansen, P.F., "A Bayesian Network approach to the evaluation of building design and its Consequences for employee performance and operational costs", in *Building and Environment*, Vol 44 (2009), 456-462.

Kalz, D.E., Pfafferot, J., "Comparative Evaluation of Natural Ventilated and Mechanical Cooled Non-Residential Buildings in Germany: Thermal Comfort in Summer", in *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New thinking on Comfort*, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Kawaguchi, G., et al., "A Subjective experiment to evaluate the effect of thermal satisfaction improvements on productivity by introducing simple individual cooling methods to "COOL BIZ" office condition", in *Proceedings of Healthy Buildings*, 2009.

Kimura, K., "Climate chamber studies for hot and humid regions", in *Proceedings of the conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Kruger, E.L., Zannin, P.H.T., "Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms", in *Building and Environment*, Vol 39 (2004), pp. 1055-1063.

Kwok, A.G., Rajkovich, N.B., "Addressing climate change in comfort standards", in *Building and Environment*, Vol 45 (2010), pp. 18-20.

Leaman, A., Bordass, B., "Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications", in *Building Research & Information*, Vol 29 (3/2001), pp. 129 – 143.

Leaman, A., Bordass, B., *Productivity in Buildings: the 'killer' variables*, in *Creating The Productive Workplace* – Edited by Derek Clements-Croome, 2000.

Leaman, A., Bunn, R., "Usable Controls – Improve buildig usability and reduce emissions", *Symposium AIRAH*, Brisbane, 2008.

Mayer, E., "Objective criteria for thermal comfort", in *Proceedings of a conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Merghany, A., "Exploring thermal comfort and spatial diversity", in *Environmental Diversity in Architecture*, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.

ell M. J., Mirer A. G. "Indoor thermal factors and symptoms in office workers: findings from the US EPA BASE study", *Indoor Air 2009*, 19: pp. 291–302.

Nicol, F. "Fitting buildings to people: comfort and health", presentation at interdisciplinary meeting on heat waves, housing and health, 7th may 2004.

Nicol, F., Hacker, J., Spires, B., Davies, H., "Suggestion for new approach to overheating diagnostics", *Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 27-29 July 2008.

Nicol, F., Humphreys, M., "Adaptive comfort in Europe: results from the SCATs survey with special reference to free running buildings", in *Proceedings of congress Comfort and Energy Use in Buildings – Getting it Right*, Windsor 2006.

Nicol, F., Humphreys, M., "Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN 15251", in *Building and Environment*, No 45 (2010), pp.11-17.

Nicol, F., Wilson, M., "An overview of the European standard EN 15251", in *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Nicol, J.F., Humphreys, M.A., "New standards for comfort and energy use in buildings", *Building Research & Information*, No 37(1) (2009), pp. 68-73.

Nicol, J.F., Raja, I.A., *Thermal Comfort, time and posture: explanatory studies in the nature of adaptive thermal comfort*, Oxford: School of Architecture Oxford Brookes University, 1996.

Nikolopoulou, M., "Outdoor comfort", in *Environmental Diversity in Architecture*, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.

Norback D., Nordstrom K., "An experimental study on effects of increased ventilation flow on students perception of indoor environment in computer classrooms", in *Indoor Air*, Vol 18 (2008), pp. 293-300.

Olesen, B., "D3.1 Report on thermal comfort standards in relation to new research results – Thermal comfort in transient environments", ThermCo Intelligent Energy, 2008.

Paciuk, M., "The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction at the workplace. Coming of age", in Environmental Design Research Association, EDRA 21 (1990), p. 372. Eds: Selby, R.I.; Anthony, K. H.; Choi, J.; Orland, B., pp. 303-312. Oklahoma City, OK.

Parsons, K.C., "The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort", in *Energy and Buildings*, Vol 34 (2002), pp. 593-599.

Rijal, H. B., Humphreys, M. A., Nicol, J. F., "Understanding occupant behaviour: the use of controls in mixed-mode office buildings", in *Building Research & Information*, Vol 37 (4/2009), pp. 381-396.

Rijal, H.B., et. al., "Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings", in *Energy and Buildings*,

Rijal, H.B., Stevenson, F., "Thermal comfort in UK housing to avoid overheating: lessons from a 'Zero Carbon' case study", in *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Roetzel, A., Dietrich, U., Tsangrassoulis, A., Busching, S., "Influence of building use on comfort and energy performance in offices", in *Proceedings of Healthy Buildings*, 2009.

Roulet, C., et al., "Multicriteria analysis of health, comfort and energy efficiency in buildings", in *Building Research & Information*, Vol 34(5) (2009), pp. 475-482.

Santos A. M. B., Gunnarsen L., "Optimizing linked pairs of indoor climate parameters", *Proceedings Indoor Air*, Vol. 3 (1999).

Shove, E., "Social, architectural and environmental convergence", in *Environmental Diversity in Architecture*, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.

Simonella A., Pau, I., "How to design a building envelope to provide thermal comfort and energy efficiency considering climate change", *Proceedings of Conference: Adapting to change: New Thinking on Comfort*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010.

Stoops, J.L., "A possible connection between thermal comfort and health", Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2004.

Strengers, Y., "Comfort expectations: the impact of demand-management strategies in Australia", in *Building Research & information*, No 36:4 (2008), pp. 381-391.

Tawada, T., et al., "A field study of relationship between thermal environment, productivity and energy consumption in an office", in *Proceedings of Healthy Buildings*, 2009.

Tham, K. W., Willem, H.C., "Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness", in *Building and Environment*, Vol 45 (2010), pp. 40-44.

Toftum, J., Andersen, R.V. Jensen, K.L., "Occupant performance and building energy consumption with different philosophies of determining acceptable thermal conditions", in *Building and Environment*, Vol 44 (2009), pp. 2009-2022.

Ubbelohde, M.S., Loisos, G.M., McBride, R., "Comfort Reports", Attachment A-4, Davis Energy Group for The California Energy Commission, includes reports "Advanced Comfort Criteria on Adapted Comfort" and "Human Comfort Field Studies". "Alternatives to Compressor Cooling Phase V: Integrated Ventilation Cooling", februari 2004.

Van Hoof, J. en Hensen, J., 2005, "Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones", in *Building and Environment*, Vol 42 (2007), pp. 156-170. Vol. 39 (6/2007), pp. 823-836.

Vroon, P.A., *Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen*, Utrecht, ISOR, 1990.

Wagner, A., Gossauer, E., "D1.3 Report on interrelations between comfort parameters and their importance with regard to occupant satisfaction", ThermCo, intelligent Energy, 2008.

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.

Wyon, D.P., "Assessment of human thermal requirements in the thermal comfort region", in *Proceedings of a Conference: Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993.

Wyon, D.P., "Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility", in *Proceedings of Indoor Air*, Vol. 1, 1996.

Wyon, D.P., *Individual control at each workplace: the means and the potential benefits in creating the productive workplace*, edited by Derek Clements-Croome, London, New York, 2000.

Yun, G. Y., Steemers, K., Baker, N., "Natural ventilation in practice: linking façade design, thermal performance, occupant perception and control", in *Building Research and Information*, Vol 36 (6/2008), pp. 608-624.

Zhang, H., Arens, E., Huizenga, C., Han, T., "Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part III: Whole-body sensation and comfort", in *Building and Environment*, No 45, 2010, pp. 399-410.

Zhang, Y., Zhao, R., "Overall thermal sensation acceptability and comfort", in *Building and Environment*, Vol 43 (2008), pp. 44-50.

Zhen, T., Love, J. A., "A field study of occupant thermal comfort and thermal environments with radiant slab cooling", in *Building and Environment*, No 43 (2008), pp. 1658 – 1670.

Concept

Bijlage 1: Termen, begrippen en definities

Acceptabele thermische omgeving: Een omgeving waarin tenminste 80% van de aanwezigen het er thermisch acceptabel vinden.

Adaptief model: Een lineair regressiemodel dat binnenontwerptemperaturen of acceptabele binnentemperatuurgrenzen relateert aan meteorologische of buitenklimaat parameters.

Adaptieve mogelijkheid: Mogelijkheden om aanpassingen aan het gebouw te doen om thermisch behaaglijkheid te bereiken. Centraal geregelde airconditioned gebouwen zonder te openen ramen en kantoortuinachtige indelingen geven minimale adaptieve mogelijkheden, terwijl natuurlijk geventileerde gebouwen, met te openen ramen, plafondventilatoren en een- en tweepersoonskamers een hoge graad van adaptieve mogelijkheden bieden.

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers.

Clo: Een eenheid die wordt gebruikt om de thermische isolatie van kledingstukken en -pakketten uit te drukken, $\text{clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Effectieve temperatuur: (ET):* De operationele temperatuur (t_o) van een omgeving bij 50% vochtigheid die dezelfde voelbare plus latente warmte-uitwisseling met een persoon zou veroorzaken als in de werkelijke omgeving.

Isolatie, stoel: Thermische isolatie van stoelen door gebruikt door gebouwgebruikers. Een kantoorstoel is gemiddeld 0,15 clo en deze waarde dient te worden opgeteld bij de totale isolatiewaarde van de kleding bij het correct berekenen van de PMV.

Gemiddelde luchtsnelheid: Rekenkundig gemiddelde van momentane luchtsnelheidsmeting in de leefzone, geïntegreerd over minimaal 3 minuten (m/s).

Gemiddelde maandelijkse (of dagelijkse) effectieve buitentemperatuur: Rekenkundig gemiddelde van de ET* om 06:00 uur (minimum) en 15:00 uur (maximum) voor een kalendermaand (of specifieke dag).

Operationele temperatuur: De uniforme temperatuur van een denkbeeldige zwarte omgeving waarin een persoon dezelfde hoeveelheid warmte zou uitwisselen door straling en convectie als in de werkelijke niet-uniforme omgeving. De operationele temperatuur is numeriek het gemiddelde van de lucht- en de stralingstemperatuur, gewogen door de respectievelijke warmteoverdrachtscoëfficiënten.

Optimale operationele temperatuur: De operationele temperatuur die het grootst mogelijk aantal mensen tevreden stelt bij een gegeven kleding en activiteitsniveau. Als gevolg van de semantische verschillen tussen de geprefereerde en neutrale temperaturen, is de optimale operationele temperatuur niet noodzakelijkerwijs exact hetzelfde als thermische neutraliteit.

PMV, adaptief: Het regressiemodel uit de RP-884 database (de Dear, e.a., 1997) dat een optimale thermisch comfortabele temperatuur voorspeld (semantisch gecorrigeerde thermische sensatie). De naam "adaptieve PMV" wordt voor het model gebruikt omdat het in essentie dezelfde optimale operationele temperatuur voorspelt als de analytische PMV benadering, maar de gemiddelde effectieve

buitentemperatuur als enige input gebruikt in plaats van de gebruikelijke vier inputs (clo, met, rv en v) die vereist zijn bij de analytische PMV methode.

PMV, analytisch: Predicted Mean Vote index analytisch berekent uit gemiddelde metingen of schattingen van de zes primaire comfort parameters: gemiddelde lucht- en stralingstemperatuur, gemiddelde luchtsnelheid, vochtigheid, thermische isolatie van kleding (+stoel) en metabolisme.

PMV: Predicted Mean Vote is een thermische index afgeleid van het warmtebalansmodel voor thermische behaaglijkheid ontwikkeld door Fanger (1970). De PMV voorspelt de gemiddelde thermische *sensatie* van een grote groep die een thermische omgeving ervaart gespecificeerd door gemiddelde lucht- en stralingstemperatuur, gemiddelde luchtsnelheid, vochtigheid, thermische isolatie van kleding en metabolisme.

Thermisch comfort of thermische behaaglijkheid: Die gemoedstoestand die tevredenheid met de thermische omgeving uitdrukt; dit vereist een subjectieve evaluatie (ASHRAE Standard 55-1992R, 2000). De optimale thermische behaaglijkheid moet overeenkomen met stem op de *thermische voorkeur schaal* van "ik wil geen verandering" (de Dear, e.a., 1997). De afwezigheid van thermische sensatie of thermisch discomfort (Clark en Edholm, 1985).

Thermische neutraliteit: De waarde van de thermische binnenklimaatindex (meestal de operationele temperatuur) die overeenkomt met een maximum aantal gebouwgebruikers die "neutraal" stemmen op de *thermische sensatieschaal*.

Thermische omgeving: de karakteristieken van de omgeving die iemands warmteverlies beïnvloeden.

Thermische sensatie (schaal): Een bewust gevoel uitgedrukt in de categorieën: -3 koud, -2 koel, -1 beetje koel, 0 neutraal, +1 beetje warm, +2 warm, +3 heet. Iemands optimale thermisch comfort hoeft niet noodzakelijkerwijs overeen te komen met 0 neutraal.

Thermische voorkeur (schaal): Een bewust verlangen van iemands zijn/haar thermische omstandigheden te veranderen, aangegeven op de schaal: 1-"ik wil het koeler", 2-"ik wil geen verandering", 3-"ik wil het warmer".