

Een robuust binnenklimaat

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: S.R.Kurvers en J.L. Leijten

Inhoud

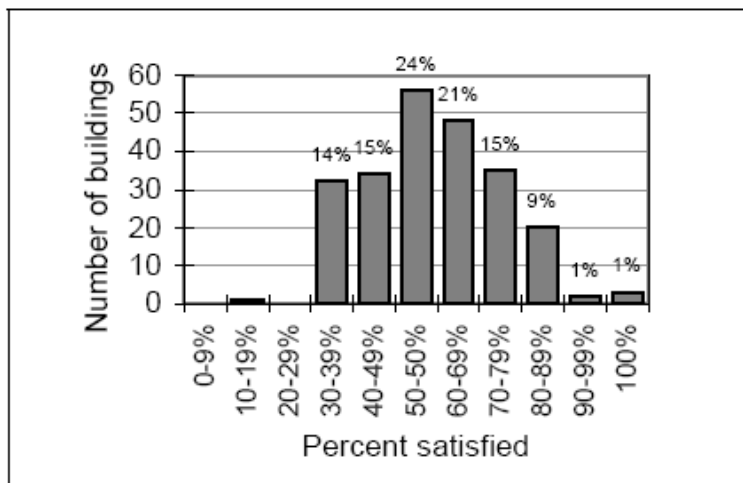
1	INLEIDING	3
2	WAT VINDEN DE GEBOUWGEBRUIKERS VAN DE KWALITEIT VAN HET BINNENKLIMAAT?	4
3	ROBUUSTHEID VAN GEBOUWEN EN LUCHTBEHANDELINGSINSTALLATIES	7
3.1	ACTIEVE OF PASSIEVE OPLOSSINGEN	7
3.2	GEVOELIGHEID VOOR AFWIJKINGEN VAN ONTWERPAANNAMES	7
3.3	ONDERHOUDSEISEN	7
3.4	INTEGREREN VAN VERWARMING EN VENTILATIE	8
3.5	ONVOLDOENDE TRANSPARANTIE VOOR GEBRUIKERS EN GEBOUWBEHEERDERS	8
3.6	BEÏNVLOEDINGSMOGELIJKHEDEN	8
3.7	KEUZES EN AFWEGINGEN	9
4	KANTOORTUINEN ALS VOORBEELD VAN NIET-ROBUUST CONCEPT	10
5	EEN NIEUWE KWALITEIT VOOR HET BINNENKLIMAAT	13
6	PRODUCTIVITEIT	16
7	SAMENVATTEND	17
8	REFERENTIES	18

1 **Inleiding**

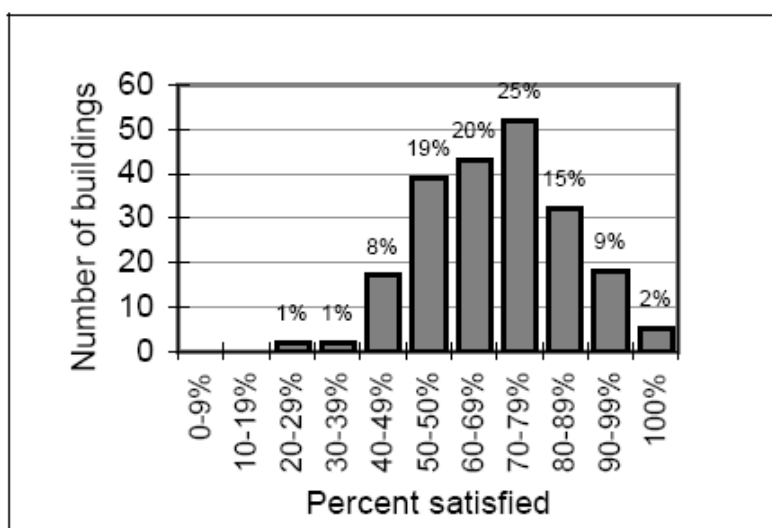
Onderzoek in gebouwen wijst uit dat een comfortabel, gezond en productief binnenklimaat in de werkelijkheid vaak niet wordt gerealiseerd, ook wanneer het ontwerp, op papier en ogenschijnlijk in de praktijk, voldoet aan de huidige richtlijnen. Dit artikel bespreekt verschillende factoren van het ontwerp die de kwaliteit van het binnenklimaat in de praktijk beïnvloeden. Bepaalde gebouwtypologieën blijken in de praktijk minder gevoelig voor wijzigingen tijdens de bouw, een veranderd gebruik, veranderende klimaatomstandigheden, of een gebrek aan functioneel of hygiënisch onderhoud.

2 Wat vinden de gebouwgebruikers van de kwaliteit van het binnenklimaat?

Wetenschappelijk onderzoek in gebouwen die in gebruik zijn (de zogenaamde veldonderzoeken) toont aan dat gebruikers van kantoorgebouwen aanzienlijk meer lichamelijke symptomen zoals hoofdpijn, vermoeidheid en oog-, keel- en neusirritaties hebben en minder tevreden zijn over de binnenluchtkwaliteit en het thermisch comfort dan volgens de ontwerpnormen mag worden verwacht. Neem bijvoorbeeld het onderzoek in 215 gebouwen in de Verenigde Staten, Canada en Finland waarin het comfort en de gezondheid van 34.000 gebruikers van kantoorgebouwen zijn geëvalueerd (Huizenga, 2006). De resultaten laten zien dat in slechts 11% van de gebouwen de gebruikers tevreden zijn met het thermisch binnenklimaat en dat zij slechts in 26% van de gebouwen tevreden zijn met de luchtkwaliteit (figuur 1 en 2).

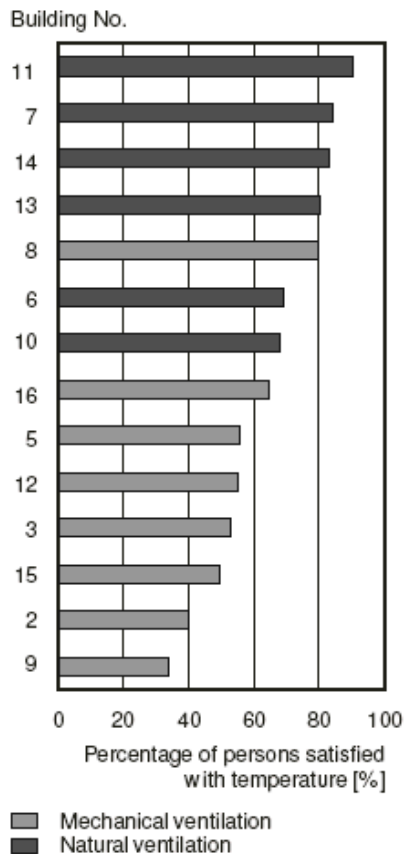


Figuur 1: De verdeling van de tevredenheid over de temperatuur in 215 gebouwen. Volgens de norm moet minimaal 80% van de gebruikers tevreden zijn over de temperatuur. Dit is in slechts 11% van de gebouwen het geval (Huizenga, 2006).



Figuur 2: De verdeling van de tevredenheid over de luchtkwaliteit in 215 gebouwen. Volgens de norm moet minimaal 80% van de gebruikers tevreden zijn over de luchtkwaliteit. Dit is in slechts 26% van de gebouwen het geval (Huizenga, 2006).

In een ander onderzoek in 16 Duitse kantoorgebouwen met circa 4400 gebruikers (Hellwig, 2006) is te zien dat de tevredenheid over de temperatuur groter is in natuurlijk geventileerde gebouwen dan in gebouwen met mechanische ventilatiesystemen (figuur 3).



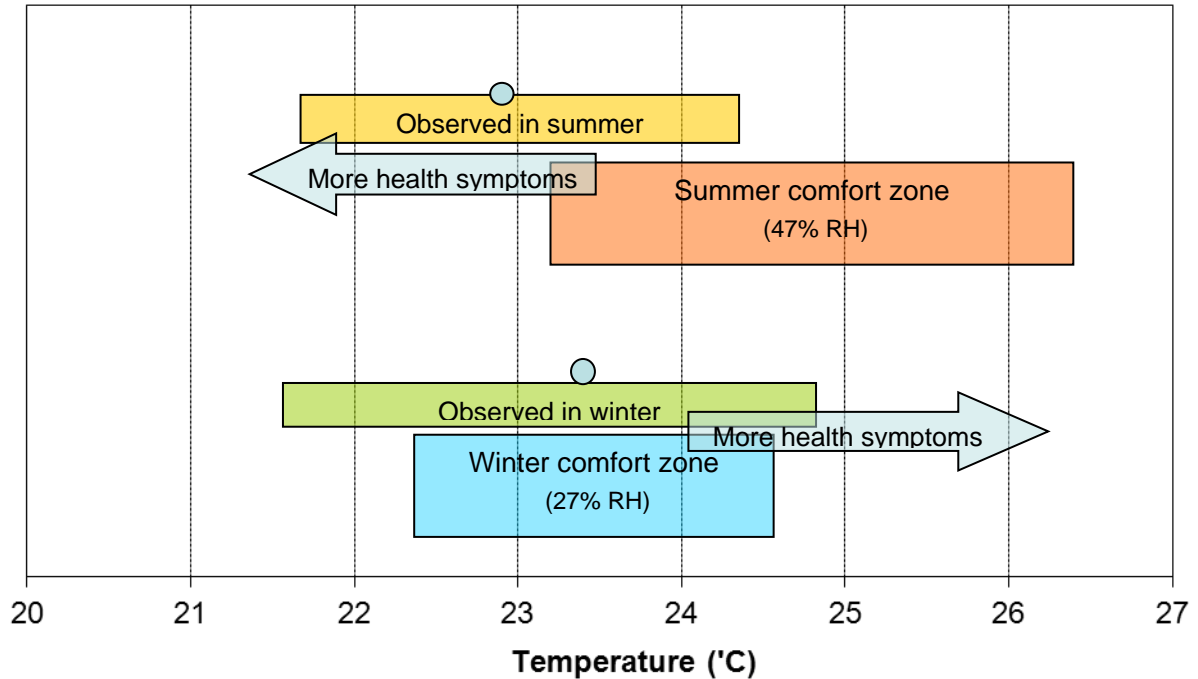
Figuur 3: Percentage personen per gebouw dat tevreden is met de binnentemperatuur in natuurlijk en mechanisch geventileerde gebouwen (Hellwig, 2006).

Ander veldonderzoek (Mendell and Smith, 1990, Seppänen and Fisk, 2002, Leijten en Kurvers, 2007), waarin de ervaren gezondheid en waardering over het binnenklimaat werden onderzocht in relatie tot diverse gebouwkenmerken, liet een vergelijkbaar patroon zien, waarbij de volgende kenmerken gemiddeld tot meer gezondheidssymptomen en lagere waardering van het thermisch comfort leiden:

- Koeling, bevochtiging en recirculatie van de ventilatielucht;
- Luchtbehandeling door middel van inductie-units;
- Onvoldoende beïnvloedbaarheid van de temperatuur per ruimte;
- Geen te openen ramen;
- Grotere aantallen gebruikers per ruimte in grotere werkruimtes.

Uit een recent onderzoek in 95 kantoorgebouwen in de Verenigde Staten (Mendell, 2009) blijkt dat er in de winter meer gezondheidssymptomen voorkomen wanneer de temperatuur zich aan de warme kant van het comfortgebied bevindt. In de zomer komen er juist meer symptomen voor wanneer de gemeten temperaturen lager zijn dan het comfortgebied. Ook is het in de zomer in veel gebouwen kouder dan het volgens de normen zou moeten zijn. Er komen dus meer gezondheidssymptomen voor wanneer er in de zomer te veel wordt gekoeld

en in de winter te veel wordt verwarmd. Dit leidt bovendien tot onnodig energiegebruik (zie figuur 4).



Figuur 4: Gemeten temperaturen en gezondheidssymptomen gerelateerd aan de comfortgebieden in de zomer en winter in 95 kantoorgebouwen in de VS (Mendell, 2009).

Bovenstaande onderzoeken laten zien dat naarmate er meer en complexere technische installaties worden gebruikt er gemiddeld meer gezondheidssymptomen voorkomen en het ervaren niveau van thermisch comfort lager is. Over de mogelijke oorzaken blijven de meeste onderzoeken enigszins vaag. Een vaak genoemde verklaring van de gezondheidssymptomen is dat complexere luchtbehandelingsinstallaties meer mogelijke bronnen van chemische of microbiologische binnenluchtvervuiling bevatten, bijvoorbeeld in de filtersecties, koelsecties, luchtbevochtigers en warmtewielen (Mendell, 2000, Seppänen and Fisk, 2002). Om de risico's op vervuiling van luchtbehandelingsinstallaties te verkleinen zijn diverse protocollen ontwikkeld door onder andere ISIAQ en Rehva (Passanen, 2007). De vraag is in hoeverre deze protocollen op grote schaal worden uitgevoerd en of het uitvoeren over lange tijd wordt volgehouden. Ook is niet duidelijk wat het effect van de maatregelen is, omdat hier weinig onderzoek naar is uitgevoerd.

3 **Robuustheid van gebouwen en luchtbehandelingsinstallaties**

Uit genoemde onderzoeken is gebleken dat er in sommige gebouwen meer gezondheidssymptomen voorkomen dan in andere gebouwen, terwijl alle gebouwen zijn ontworpen op basis van dezelfde normen en prestatiespecificaties. Bepaalde combinaties van architectonische keuzes en ontwerp oplossingen, installatietypes en ruimte-indelingen blijken gevoeliger te zijn voor wijzingen tijdens het ontwerp, de bouw en de veranderende invloeden tijdens het gebruik. Met de term robuustheid wordt aangegeven in welke mate een kantoorgebouw, de technische installaties en de voorzieningen in werkelijkheid voldoen aan de ontwerpdoelstelling: een binnenklimaat waarin de gebruikers weinig klachten over comfort en gezondheid ervaren.

Veel ontwerpen die in het ontwerp stadium en bij simulaties op papier veelbelovend lijken, kunnen in de praktijk minder goed functioneren. Hoewel er nog veel onderzoek nodig is om exact vast te stellen welke aspecten van gebouw en installaties de robuustheid beïnvloeden, worden hieronder aan aantal voorbeelden genoemd om het begrip robuustheid concreter te maken. Naast de resultaten van wetenschappelijke veldonderzoeken, is hiervoor ook gebruik gemaakt van eigen ervaring uit onderzoeken naar de oorzaken van symptomen en onvrede in bestaande gebouwen (Leijten en Kurvers, 2007).

3.1 **Actieve of passieve oplossingen**

In veel gebouwen wordt mechanische koeling toegepast om de temperatuur binnen bepaalde grenzen te houden. We zagen al dat dit juist de gebouwen zijn waar de tevredenheid over de temperatuur het laagst is. Het is voor de gebruikerstevredenheid beter om zoveel mogelijk voor passieve, bouwfysische oplossingen te kiezen en alleen aanvullend actieve oplossingen te kiezen om het binnenklimaat, waar nodig, te "fine tunen" (Roulet, 2006). Voorbeelden zijn:

- Het wegnemen van bronnen van luchtverontreinigen in plaats van het verhogen van de ventilatie om de luchtkwaliteit te verbeteren;
- Temperatuurbeheersing door het wegnemen of verminderen van warmtebronnen en gebruik van zonwering, bouwmasa en nachtventilatie in plaats van uitsluitend mechanische koeling.

3.2 **Gevoeligheid voor afwijkingen van ontwerpaannames**

Bepaalde toepassingen zijn gevoelig voor (kleine) afwijkingen van ontwerpaannames. Een voorbeeld is de (gevel)inductie-unit. Bij inductie-units is het belangrijk dat de eigenschappen van de units, zoals dimensionering, ventilatiehoeveelheid, temperatuur, soort uitblaasopeningen en luchttoevoerroosters nauwkeurig zijn afgestemd op de eigenschappen van de ruimte, zoals geometrie, plaats van de ramen en de verwachte interne en externe warmtebelasting. Een onjuiste afstemming leidt bijvoorbeeld tot verstoring van het luchtstromingspatroon en daarmee mogelijk tot te hoge luchtsnelheden in de gebruikszone. Als later een ander rooster wordt gekozen of een andere plafondstructuur, wat niet ondenkbeeldig is tijdens het ontwerp- en bouwproces, wordt het stroompatroon verstoord wat tot tocht kan leiden. Technisch eenvoudigere verwarmings- en ventilatiesystemen zijn minder gevoelig voor dit soort veranderingen, en daardoor robuuster.

3.3 **Onderhoudseisen**

Sommige ontwerpen vereisen meer onderhoud dan andere. Om twee extremen tegenover elkaar te plaatsen:

Aan de ene kant vereisen bijvoorbeeld een koelsectie in een centrale luchtbehandelingsinstallatie en de bijbehorende variabel-volume- of inductie-units in de

werkruimtes periodiek onderhoud. Op de plaatsen waar lucht wordt gekoeld (centraal en decentraal) kunnen door condensatie bacteriën groeien, die in de lucht terecht kunnen komen en gezondheidsklachten kunnen veroorzaken. Dergelijke apparaten vereisen veel onderhoud en verlagen de robuustheid van het gebouw, omdat in de praktijk blijkt dat intensief onderhoud op de lange termijn niet op hetzelfde hoge niveau blijft. Vaak wordt al snel bezuinigd op de kosten van onderhoud, zeker als de nadelige effecten van minder onderhoud pas indirect en op de lange termijn zichtbaar worden.

Aan de andere kant vraagt een robuuste oplossing minder onderhoud. Een voorbeeld is het benutten van warmteaccumulerende bouwmassa, door het toepassen van thermisch open plafonds in combinatie met ventilatie in de nacht om de temperatuuroverschrijdingen door middel van passieve koeling te beperken.

3.4 **Integreren van verwarming en ventilatie**

Als de verwarming en ventilatie geïntegreerd zijn, zijn zij gevoeliger voor verstoringen dan systemen waarbij de verwarming en ventilatie zoveel mogelijk gescheiden zijn (Roulet, 2006, Leijten en Kurvers, 2007). Een voorbeeld van een geïntegreerd systeem zijn inductie-units waarbij een vermindering van de luchttoevoer, bijvoorbeeld om tocht of geluidhinder te voorkomen, ook de verwarmings- of koelcapaciteit kan verminderen.

3.5 **Onvoldoende transparantie voor gebruikers en gebouwbeheerders**

Gebruikers moeten eenvoudig kunnen begrijpen wat er gebeurt wanneer zij bijvoorbeeld aan een thermostaatknop draaien of de zonwering of verlichting bedienen. De bediening moet dus transparant zijn. Een luchtbehandelingssysteem is transparant wanneer de gebruikers de werking van het systeem begrijpen door het te bekijken en te gebruiken en wanneer zij kunnen zien dat het systeem niet goed werkt en tot op zekere hoogte weten wat er mis mee is. Voorbeelden:

- De meeste mensen hebben enig zicht in de werking van verwarmingsradiatoren. Storingen bij radiatoren worden opgemerkt door de gebruikers, bijvoorbeeld omdat de radiator niet warm wordt of omdat de thermostaatknop niet beweegt.
- De werking van een te openen raam is ook voor de meeste mensen begrijpelijk. Je kunt direct zien hoe ver het open staat, maar ook of er wel of geen kierstanden ingesteld kunnen worden, of het raam vastzit en of bijvoorbeeld de binnenzonwering in de weg hangt.
- Als een buitenzonwering niet goed werkt, zien en voelen de gebruikers dat meteen.

Bij complexe luchtbehandelingssystemen is het soms zelfs voor experts moeilijk te doorgronden wat er aan de hand is bij klachten van de gebruikers. Verwarmingsradiatoren en te openen ramen zijn daarom transparanter voor gebruikers en gebouwbeheerders dan complexe luchtbehandelingssystemen.

3.6 **Beïnvloedingsmogelijkheden**

Te weinig invloed van de gebruikers op het binnenklimaat verlaagt de robuustheid en vergroot de kans op verschillen tussen de gewenste en werkelijke situatie. Voorbeelden zijn:

- De gebruikers hebben te weinig mogelijkheden om het binnenklimaat aan te passen aan hun comforttemperatuur en aan de variatie over de tijd van hun comforttemperatuur.
- De gebruikers hebben te weinig mogelijkheden om afwijkingen van het binnenklimaat die het gevolg zijn van onjuiste werking van het gebouw en de gebouwsystemen te compenseren.

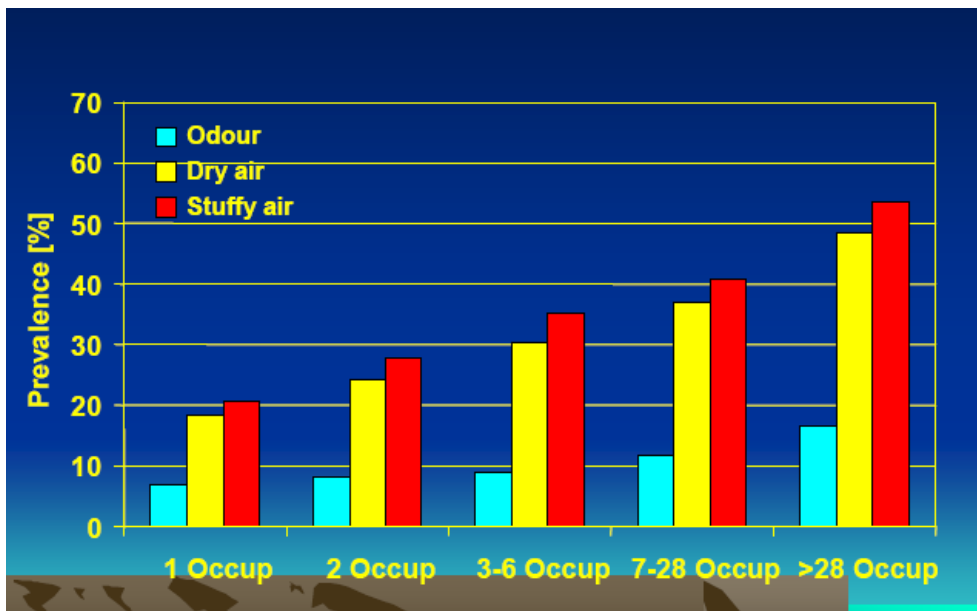
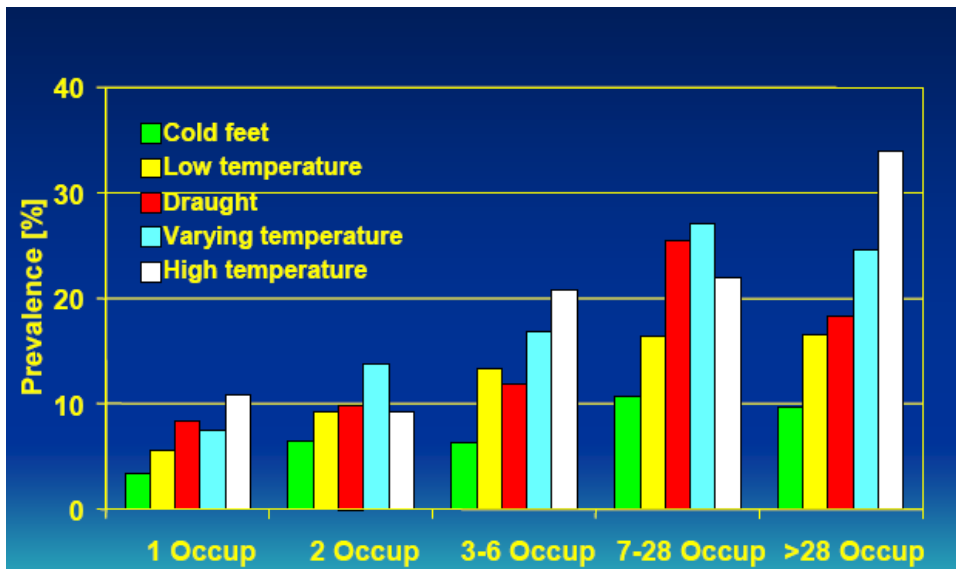
3.7 Keuzes en afwegingen

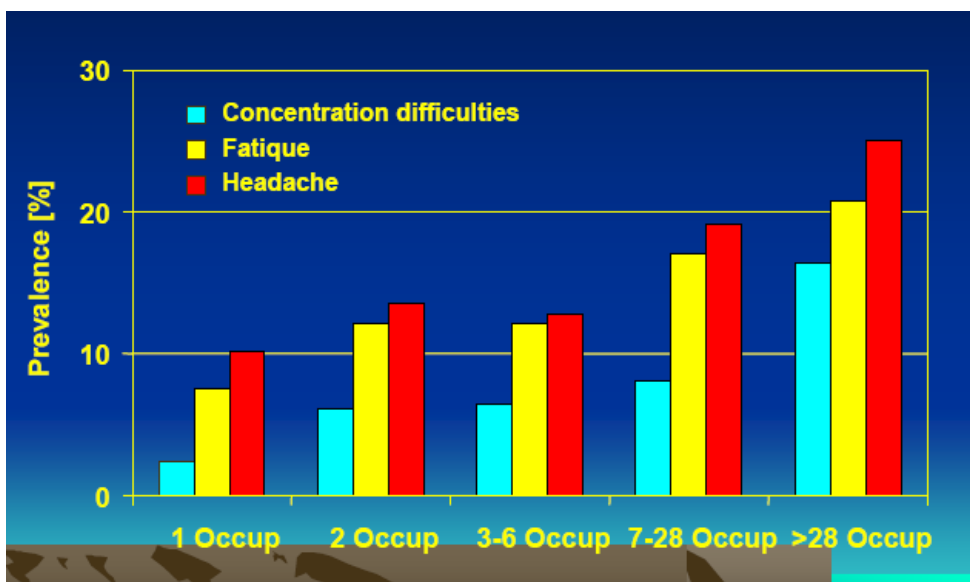
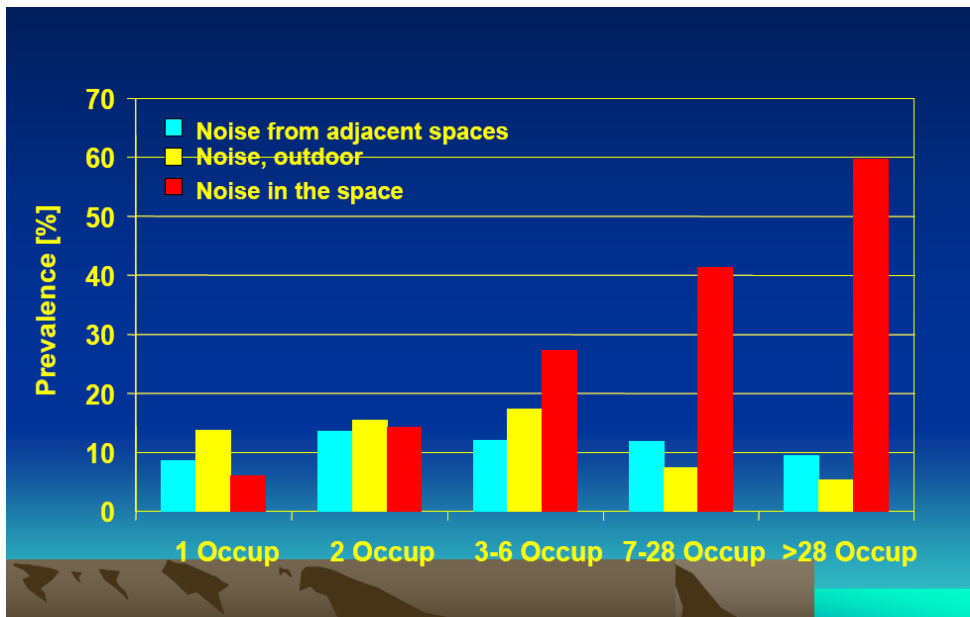
Effectieve invloed van de gebruikers op het binnenklimaat helpt een matige binnenmilieukwaliteit van het gebouw te compenseren, vooral wanneer de gebruikers de mogelijkheid wordt geboden om de positieve en negatieve gevolgen van keuzes tegen elkaar af te wegen (Clausen & Wyon, 2005). Voorbeelden:

- Het verminderen van lawaai van buiten versus het vergroten van de toevoer van de buitenlucht bij het gebruik van te openen ramen;
- Het beperken van tocht versus het verhogen van het thermisch comfort van het hele lichaam bij het gebruik van te openen ramen of ventilatoren;
- Het verminderen van spiegeling op beeldschermen versus het verbeteren van het uitzicht naar buiten bij het instellen van zon- of lichtwering.

4 Kantoorruimten als voorbeeld van niet-robuust concept

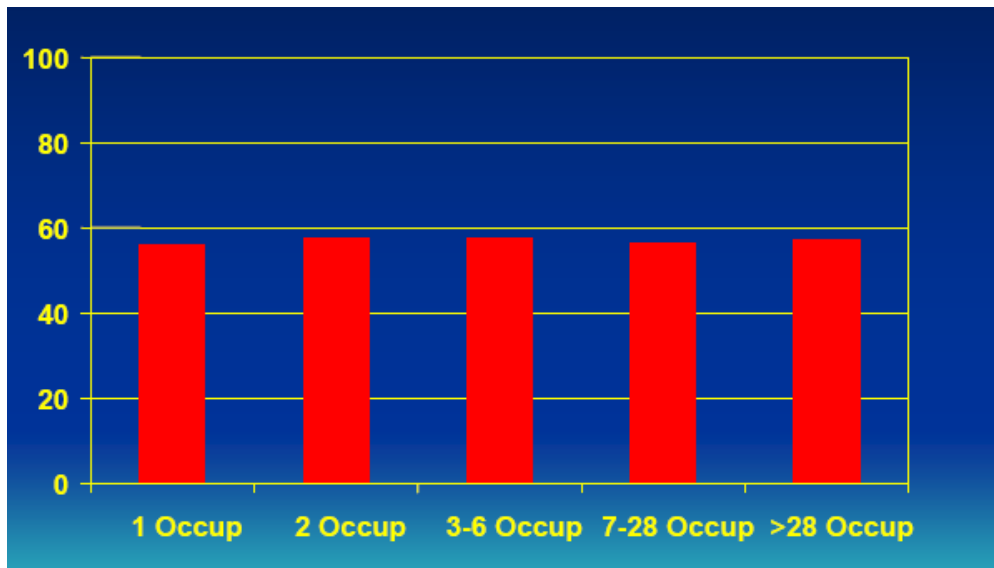
Veldonderzoeken laten zien dat naarmate er meer mensen een ruimte werken (in grote werkruimtes) de ervaren kwaliteit van het binnenklimaat lager is (Zweers, 1992; Leijten, 2002). In een Deens onderzoek bijvoorbeeld (Pejtersen, 2006) werden 22 kantoorgebouwen met 2300 gebruikers onderzocht en hier bleek dat hoe groter het aantal werkplekken per ruimte is, des te meer onvrede er was over het thermisch binnenklimaat, de luchtkwaliteit, storende geluiden en spiegeling op beeldschermen en des te meer symptomen voorkwamen, waaronder hoofdpijn, vermoeidheid en concentratieproblemen. In figuur 5 worden enkele voorbeelden gegeven.





Figuur 5: Verband tussen het aantal mensen dat in een kantoorruimte werkzaam is (ruimtegrootte) en de waardering van het thermisch comfort, de luchtkwaliteit, de akoestiek de en de gezondheid (Pejtersen, 2006).

Grote ruimtes worden in toenemende mate ontworpen in het streven naar een betere ruimtelijke beleving en betere communicatie. Meestal wordt niet geëvalueerd of dit in de praktijk ook lukt en hoe de kwaliteit van het binnenmilieu is en de invloed daarvan op de productiviteit. Het onderzoek van Pejtersen toont verder aan dat het niveau van communicatie, gemeten door middel van een vragenlijst, niet samenhangt met het aantal mensen per ruimte (figuur 6). Tenslotte maken grote werkruimtes het nodig om complexere luchtbehandelingsinstallaties, inclusief koeling, toe te passen, omdat natuurlijke ventilatie in grotere ruimtes niet voldoet, er weinig thermisch effectieve bouwmassa is, en warmteproducerende apparatuur in de werkruimte staat.



Figuur 6: Verband tussen het aantal mensen dat in een kantoorruimte werkzaam is (ruimtegrootte) en de mate waarin de ruimte de communicatie steunt (Pejtersen, 2006).

5 Een nieuwe kwaliteit voor het binnenklimaat

De vraag is of complexe installaties altijd nodig zijn en of er geen eenvoudiger, passieve ontwerpen kunnen worden gerealiseerd. Voor een deel ligt dit aan het architectonisch ontwerp: veel glas, een lichte constructie en een gesloten gevel maken complexe luchtbehandelingssystemen vaak noodzakelijk om de gewenste temperaturen te kunnen bereiken. De gewenste temperaturen zijn in normen en richtlijnen vastgelegd. Wanneer we de normen en richtlijnen nader bekijken, dan blijkt dat deze gebaseerd zijn op onderzoek dat veelal in klimaatkamers is uitgevoerd. Het bekendste onderzoek, dat dateert uit de late jaren 60 van de vorige eeuw (Fanger, 1970), werd uitgevoerd in een klimaatkamer waarin het warmtegevoel van 1300 studenten en later van andere mensen werd onderzocht. Fanger ontwikkelde een model dat uitging van de warmtebalans van het menselijk lichaam. Het model geeft een goed inzicht in de samenhang tussen de fysische omgeving, de thermoregulatie en het warmtegevoel van de mens. Met behulp van een "behaaglijkheidsvergelijking" kan het thermisch comfort (PMV, Predicted Mean Vote) en het percentage ontevreden mensen worden voorspeld en kunnen temperatuurgrenzen worden afgeleid. Door de betrekkelijke eenvoud en de schijnbare nauwkeurigheid van de berekeningen werd het model vanaf 1970 zeer populair en vormde de basis voor normen en richtlijnen die temperatuurgrenzen voor gebouwen aangeven waarmee tot op de dag van vandaag het binnenklimaat van gebouwen in grote delen van de wereld wordt ontworpen.

In de loop van de jaren bleek steeds vaker dat er verschillen bestonden tussen het, met het model van Fanger, voorspelde thermisch comfort en het thermisch comfort zoals dat door de gebruikers in de praktijk werd ervaren. Bekende onderzoeken waaruit dat verschil bleek zijn onder andere een onderzoek in 161 gebouwen verspreid over de wereld (Brager en de Dear, 1997) en een onderzoek in 25 gebouwen in West-Europa (Nicol en Humphreys, 2006). De comforttemperatuur blijkt in deze onderzoeken samen te hangen met de gemiddelde buitentemperatuur: hoe warmer het buiten is hoe hoger de comforttemperatuur. Ook is de comforttemperatuur in natuurlijk geventileerde, niet gekoelde gebouwen, hoger en hangt sterker samen met de buitentemperatuur dan in airconditioned gebouwen. Mensen *adapten* in werkelijke omgevingen aan de temperatuur die het meest in die omgeving voorkomt. Dit effect wordt wel in veldonderzoeken gevonden, maar niet in laboratoriumonderzoeken. Er zijn verschillende vormen van adaptatie die met elkaar samenhangen en elkaar beïnvloeden (de Dear, 1997; Nikolopoulou, 2004; Ubbelohde, 2004):

- *Beïnvloeding van de omgeving.*

Het gaat hierbij om merkbare beïnvloeding van de omgeving en niet alleen het idee dat mensen hebben dat ze iets kunnen beïnvloeden. De omgeving kan worden beïnvloed door ramen en deuren te openen om de temperatuur te veranderen, de luchtsnelheid te verhogen en de luchtkwaliteit te verbeteren. Verder verhogen ventilatoren de luchtsnelheid, waardoor de huid wordt afgekoeld. Met zonwering kan de warmtestraling verminderd worden waardoor de temperatuur wordt verlaagd.

- *Gedragsmatige adaptatie.*

Mensen passen hun gedrag aan om hun perceptie van warmte beter in overeenstemming te brengen met hun behoeften, door bijvoorbeeld kleding uit en aan te doen en de inspanning aan te passen (rustiger aan doen als het warm is).

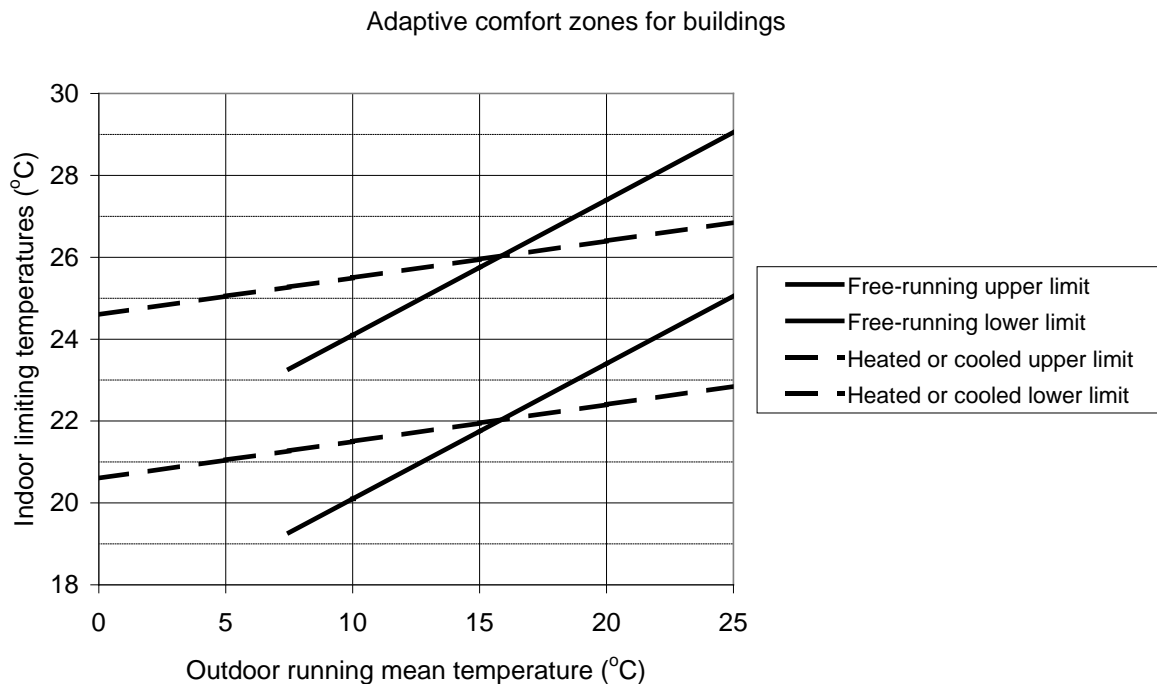
- *Psychologische adaptatie.* Hieronder verstaan we een combinatie van niet fysische en niet fysiologische factoren die bij de mens bijdragen aan het streven naar thermisch comfort.

Voorbeelden van psychologische adaptatie zijn:

- *Ervaringen* met het binnenklimaat over korte en lange termijn beïnvloeden de verwachtingen en de hierop afgestemde gedragsmatige adaptatie.

- De *context* is van invloed op het thermisch comfort. In een stationshal bijvoorbeeld wordt een ander niveau van thermisch comfort verwacht dan in een supermarkt, in de kerk of thuis.
- Mensen prefereren een enigszins *variabel* klimaat boven een stabiel of monotoon klimaat.

Op basis van genoemde onderzoeken zijn adaptieve temperatuurgrenzen ontwikkeld. Een voorbeeld wordt in figuur 7 gegeven, waarin de comfortzones zijn aangegeven voor niet geconditioneerde gebouwen (free-running) en voor verwarmde/gekoelde gebouwen voor minimaal 80% tevredenheid.

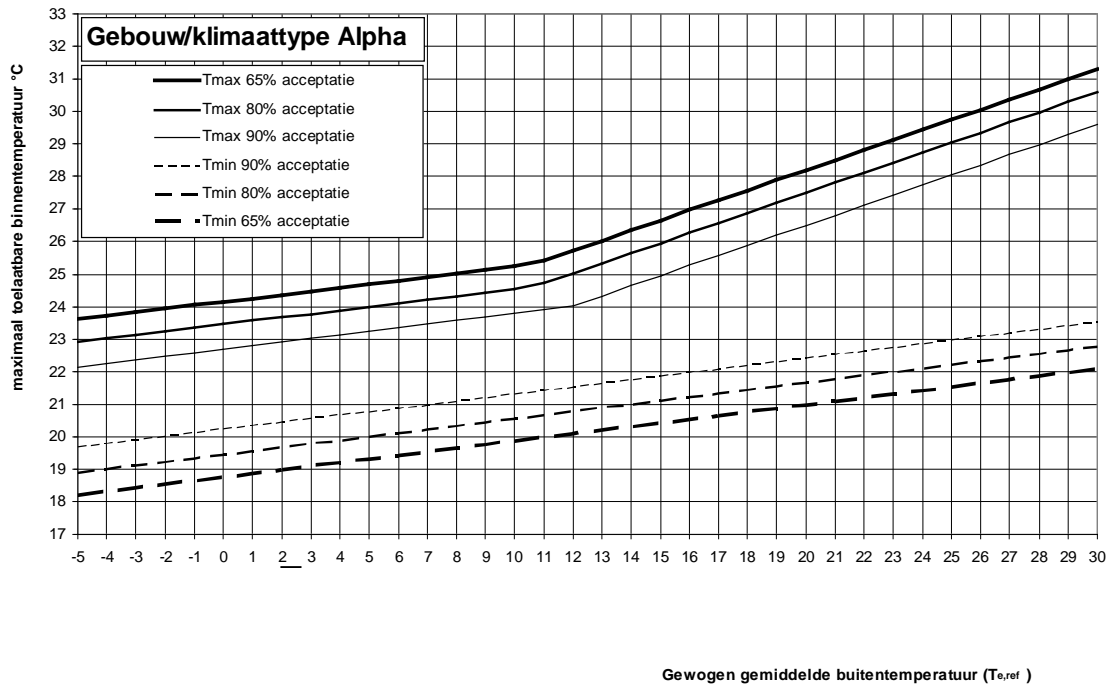


Figuur 7: 80% comfort zones ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) voor "free-running" (getrokken lijnen) en verwarmde en gekoelde gebouwen (gestreepte lijn) (Nicol en Humphreys, 2007).

In figuur 7 is goed te zien dat de comforttemperatuur in niet gekoelde gebouwen sterker samenhangt met de gemiddelde buitentemperatuur en hogere temperaturen comfortabel zijn bij hogere buitentemperatuur dan in gekoelde gebouwen.

Deze kennis wordt nu langzaam verwerkt in nieuwe normen voor het binnenklimaat waarin de adaptieve grenswaarden als alternatief voor de bestaande grenswaarden worden gegeven (NEN-EN 15251, 2007). Ook in Nederland zijn adaptieve temperatuurgrenzen opgenomen in richtlijnen, de ATG-richtlijn¹ (ISSO 74, 2004). Figuur 8 is een voorbeeld van temperatuurgrenzen voor een binnenklimaat zonder mechanische koeling (type Alpha genaamd).

¹ Adaptieve Temperatuur Grenzen



Figuur 8: Maximaal toelaatbare operationele binnentemperatuur voor een bepaalde acceptatie, afhankelijk van de buitentemperatuur $T_{e,ref}$ voor gebouw/klimaatype Alpha (ISSO, 2004).

Deze resultaten laten zien dat om in de praktijk een hoger niveau van gezondheid en comfort te bereiken, bij een lager energiegebruik, het binnenklimaat op een andere manier moet worden ontworpen dan tot nu toe gebruikelijk is. In dit “nieuwe binnenklimaat” wordt er vanuit gegaan dat mensen zich thermisch comfortabel voelen binnen een grotere bandbreedte en dat er niet één temperatuur is waarin iedereen zich altijd comfortabel voelt. De comforttemperatuur varieert over de dag en over het jaar en deze variatie volgt de natuurlijke variatie van het buitenklimaat, binnen een zekere bandbreedte. Deze natuurlijke variatie komt tegemoet aan de verwachting die mensen van het temperatuursverloop hebben. Door middel van beïnvloeding kan het comfort aan ieders persoonlijke wensen op ieder moment worden gerealiseerd.

6 Productiviteit

De adaptieve temperatuurgrenzen geven iets hogere comforttemperaturen bij hogere buitentemperaturen dan de conventionele grenzen. In een ISSO/Rehva publicatie (Wargocki e.a., 2007) wordt een relatie gegeven tussen temperatuur en productiviteit. De productiviteit is hier maximaal bij 21,75 °C en neemt af met 1,5% per °C. Hieruit zou kunnen worden geconcludeerd dat door de hogere temperaturen in natuurlijk geventileerde gebouwen de productiviteit lager zou kunnen zijn. Nadere analyse van de onderzoeken waarop deze relatie is gebaseerd, laat zien dat deze relatie niet representatief is voor natuurlijk geventileerde omgevingen of mechanisch geventileerde omgevingen zonder mechanische koeling. Daarnaast blijkt uit andere onderzoeken dat de zelf ingeschatte productiviteit (Leaman en Bordass, 2001; Nicol en Humphreys, 2006) en de objectief gemeten productiviteit (Nishihara et al., 2007; Ueki et al., 2007; Haneda et al., 2008) het hoogst zijn wanneer de gebruikers de omgeving als het meest comfortabel ervaren en dat de productiviteit lager wordt naarmate de omgeving als minder comfortabel wordt ervaren. Verder blijkt dat de objectief gemeten productiviteit hoger is naarmate de thermische omgeving beter beïnvloedbaar is door de gebruikers (Wyon, 2000). De beïnvloedbaarheid is groter in natuurlijk geventileerde gebouwen dan in airconditioned gebouwen (Leaman en Bordass, 2001, Helwig, 2006). Hieruit mag worden afgeleid dat de objectief gemeten productiviteit bij hogere temperaturen in natuurlijk geventileerde gebouwen hoger is dan in airconditioned gebouwen en dat mogelijk ook in absolute zin de productiviteit gemiddeld hoger is in natuurlijk geventileerde gebouwen. Dit wordt verder ondersteund door het effect van een lager percentage lichamelijke symptomen, zoals hoofdpijn, vermoeidheid en concentratieproblemen in natuurlijk geventileerde omgevingen (Seppänen & Fisk, 2002) en de grotere tevredenheid over de thermische omgeving (Hellwig, 2006) en over de luchtkwaliteit (Leijten & Kurvers, 2007) vergeleken met airconditioned omgevingen. Meer hoofdpijn, vermoeidheid en concentratieproblemen leiden tot lagere productiviteit (Tanabe & Nishihara, 2004). Ook ontevredenheid over de thermische omgeving en over de luchtkwaliteit leiden tot lagere productiviteit (Wargocki e.a., 2007). Om een optimale productiviteit te realiseren is het dus zaak om voor *zoveel mogelijk* gebruikers comfort en gezondheid te realiseren.

7 **Samenvattend**

Er zijn voldoende aanwijzingen dat de vanzelfsprekendheid waarmee grote kantoortuinen worden ontworpen, waarbij complexe luchtbehandelingssystemen met mechanische koeling noodzakelijk zijn, kritisch moet worden heroverwogen. Hierbij wordt gebruik gemaakt robuuste ontwerp oplossingen die de kans op een hoog niveau van comfort, gezondheid de productiviteit vergroten. Voorbeelden zijn:

- Temperaturen beheersen door:
 - architectonisch slimme keuzes in vorm en oriëntatie om warmte te weren in de zomer en toe te laten in andere seizoenen;
 - gebruik te maken van warmte accumulerende bouwmassa en nachtventilatie;
- Warmteproducerende apparatuur niet in werkruimtes plaatsen, maar in apart geventileerde ruimtes;
- Ga uit van nieuwe inzichten over het binnenklimaat:
 - Mensen voelen zich thermisch comfortabel binnen een grote temperatuur bandbreedte;
 - De temperatuur varieert over de dag en over het jaar gezien en volgt de natuurlijke variatie van het buitenklimaat;
 - Door middel van persoonlijke beïnvloeding kan het comfort aan ieders wensen op ieder moment worden aangepast.
- Inrichtingsmaterialen en kantoorapparatuur die weinig verontreinigingen produceren;
- Ontwerp een variëteit van kleinere werkruimten, waar temperatuurregeling mogelijk is, ramen te openen zijn, geconcentreerd kan worden gewerkt;
- Integreer geen hoofdverwarming in de ventilatie;
- Zorg dat de bediening van de temperatuurregeling, de zonwering en de verlichting transparant is voor de gebruikers en de gebouwbeheerder.

8 Referenties

- Clausen, G. and Wyon, D.P. 2005. The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance, Proc. IA2005,1.3-10.
- de Dear, R., Brager, G., Cooper, D. (1997), "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference", Final report ASHRAE RP-884.
- Fanger, P.O. (1970), Thermal Comfort, McGraw-Hill, New York.
- Haneda, M, Tanabe, S, Nishihara, N, Nakamura, S (2008), The combined effects of thermal environment and ventilation rate on productivity. Proceedings Indoor Air 2008.
- 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, Windsor 2006.
- Huizenga, C., Abbaszadeh, S., Zagreus, L., Arens, E.A., Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey, Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisbon, Vol. III, 393-397.
- ISSO74 74, Thermische Behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen (2004), ISSO-publicatie 74, Rotterdam, 2004.
- Leaman A., Bordass B. (2001), Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications. Building Research & Information (2001) 29(2), 129–143.
- Leijten, J.L., Kurvers, S.R. Binnenklimaat in kantoorgebouwen – Onderzoek naar klachten. Praktijkgids Arbeidshygiëne, Kluwer, 2007.
- Leyten, J.L. 2002. The effect of cellular and landscape offices on workers' complaints, Proceedings Roomvent 2002, 477-478.
- Mendell, M.J. and Smith, A.H. 1990. Consistent Pattern of Elevated Symptoms in Air-conditioned Office Buildings: A Reanalysis of Epidemiologic Studies, American Journal of Public Health 80 (10), 1193-1199.
- Mendell, M.J., Ventilation systems and building related symptom: An Epidemiological Perspective, NIOSH, USA, gepresenteerd tijdens Healthy Buildings 2000.
- NEN-EN 15251 (2007), 'Binnenmilieu gerelateerde input parameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermisch comfort, de verlichting en akoestiek'.
- Nicol, F., Humphreys, M. (2006), Adaptive comfort in Europe: results from the SCATs survey with special reference to free running buildings, Windsor 2006.
- Nikolopoulou M., "Outdoor comfort", in Environmental Diversity in Architecture, Koen Steemers, Mary Ann Steane (Eds), 2004.
- Nishihara, N, Tanabe, S, Haneda, M, Ueki, M, Kawamura, A, Obata, K (2007), Effect of overcooling on productivity evaluated by the long term field study. Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors.
- Pasanen, e.a. Rehva Guidebook no: 8 Cleanliness of ventilation systems.
- Pejtersen, J., Allerman, L., Kristensen, T.S. and Sjoström, M. 2006. Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices, Indoor Air 16 (5), 392-401.
- Preller L, Zweers T, Brunekreef B, Boleij JSM. 1990. Sick leave due to work-related health complaints among office workers in the Netherlands. Proceedings Indoor Air 1990, Canada: Indoor Air 1990, Vol. 1, p. 227-290.
- Roulet, C.A. 2006. Indoor air quality and energy performance of buildings. Proceedings Healthy Buildings 2006 (1) 37-47.
- Seppänen, O. and Fisk, W.J. 2002. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers, Indoor Air, 12 (1), 98-112.

- Tanabe, S., Nishihara, N. 2004. Productivity and fatigue. *Indoor Air Journal*, Vol 14, Suppl 7, 126-133.
- 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.
- Ueki, M, Tanabe, S, Nishihara, N, Nishikawa, M, Haneda, M, Kawamura, A (2007), Effect of moderately hot environment on productivity and fatigue evaluated by subjective experiment of long time exposure. *Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors*.
- Wargocki, P., Seppänen, O., Andersson, J., Boerstra, A., Clements-Croome, D., Fitzner, K., Hanssen, S.O. (2007), Binnenmilieu en productiviteit in kantoren – Het integreren van productiviteit in de levensduur kosten-analyse van gebouwvoorzieningen. *ISSO/Rehva handleiding 901*, 2007.
- Wyon, DP (2000), Individual control at each workplace: the means and the potential benefits, In: Clements-Croome, D (ed.), *Creating the productive workplace*. E & FN SPON, pp 192-206.
- Zweers, T, Preller, L, Brunekreef, B, Boleij, JSM (1992), Health and Indoor Climate Complaints of 7043 Office Workers in 61 Buildings in the Netherlands, *Indoor Air*, Vol 2 (1), pp 127-136.