

# Robuustheid van gebouwen en installaties, deel 2

Een voorgaand artikel [1] in TVVL Magazine behandelde de gebouwrobustheidshypothese. De robuustheid van een kantoorgebouw werd gedefinieerd als 'mate waarin het binnenmilieu in het gerealiseerde gebouw in de praktijk voldoet aan zijn ontwerpdoelstelling'. Sindsdien is de hypothese uitgebreid en verfijnd. In het bijzonder is er meer aandacht gegeven aan de manier waarop gebruikers reageren op het binnenmilieu als geheel. De verwachting is dat de robuustheid van een gebouw vooral zal toenemen wanneer de omgevings-*Gestalt* de acceptatie van het binnenmilieu bevordert. Omgevings-*Gestalt* is het geheel van de werkomgeving zoals de gebruikers die ervaren.

Drs. J.L. (Joe) Leijten en ing. S.R. (Stanley) Kurvers, Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, afdeling Climate Design and Environment en Apogeum Indoor Environmental Consult, Gouda

Veldonderzoeken laten een consistent patroon zien van gebouwgerelateerde symptomen (building related symptoms: BRS) en onvrede van de gebruikers over de binnenluchtkwaliteit en het thermisch comfort in kantoorgebouwen. Deze symptomen en onvrede komen vaker voor in kantoorgebouwen met meer actieve installatietechniek voor het beheersen en regelen van het binnenmilieu, zoals airconditioning, bevochtiging van toevoerlucht en recirculatie van afvoerlucht in de toevoerlucht [2]. Een vaak voorgestelde verklaring voor dit fenomeen is dat complexere luchtbehandelingsinstallaties meer potentiële bronnen van binnenluchtverontreiniging bevatten, zoals secties voor filtering, koeling en bevochtiging. Ook zouden complexere systemen storingsgevoeliger zijn door tekortschietend onderhoud. In het eerder verschenen artikel in TVVL Magazine [1] werd verondersteld dat dit, hoewel op zichzelf correct, slechts een deel van de verklaring is. Een meer omvat-

tende verklaring kan worden opgesteld. De robuustheid van een kantoorgebouw werd gedefinieerd als de mate waarin het gerealiseerde binnenmilieu in de praktijk voldoet aan zijn ontwerpdoelstellingen. Gebrek aan robuustheid werd verondersteld te worden veroorzaakt door een overgevoeligheid voor afwijkingen van ontwerpplannen, onhaalbare onderhoudseisen, integratie van temperatuurregeling en ventilatie, regeling van luchttoevoervolumes, gebrek aan transparantie voor de gebruiker en gebouwbeheer en een tekort aan beheersing van bronnen van binnenluchtverontreiniging. Sindsdien is de robuustheidshypothese uitgebreid en verfijnd. Een aantal van de hiervoor genoemde studies laat zien dat BRS en ontevredenheid over het binnenmilieu vaker voorkomen wanneer de gebruikers te weinig invloed kunnen uitoefenen op het binnenmilieu. Het gaat daarbij om het ontbreken van temperatuurregeling, het niet kunnen openen van ramen en de indeling

van de kantoorruimte in groepskantoren. Dit gaf de aanzet om de verschillende aspecten van gebruikersinvloed op het binnenmilieu in de oorspronkelijke hypothese op te nemen.

## ■ UITGEBREID EN VERFIJND

De robuustheid van een kantoorgebouw, inclusief luchtbehandelingsinstallaties, wordt gedefinieerd als de mate waarin het gerealiseerde binnenmilieu bij gebruik in de praktijk voldoet aan de in het ontwerp beoogde doelen. Gebouwtypen verschillen in hun robuustheid: sommige voldoen beter aan hun ontwerpdoelstellingen dan andere. Dit blijkt uit de grote verschillen tussen de verschillende typen luchtbehandelingsinstallaties en gebouwen op het gebied van gebruikerstevredenheid en BRS in de genoemde veldonderzoeken. De volgende mechanismes worden verondersteld voor het technisch functioneren van het gebouw:

- de robuustheid is hoog indien het binnenmi-

lieu zoveel mogelijk wordt beheerst d.m.v. passieve oplossingen. De robuustheid is lager naar mate meer actieve oplossingen ingezet worden;

- de robuustheid is hoog als bronnen van binnenluchtverontreiniging strikt beheerst worden. De robuustheid is lager indien verhoogde ventilatie in plaats van bronbeheersing wordt ingezet tegen binnenluchtverontreiniging;
- de robuustheid is hoog indien strikte beheersing van interne en externe warmtebronnen gecombineerd met bouwfysica wordt gebruikt voor de beheersing van de binnentemperatuur. De robuustheid is lager indien meer actieve systemen, vooral mechanische koeling van toevoerlucht, worden gebruikt voor de beheersing van de binnentemperatuur;
- de robuustheid is hoog als het ontwerp relatief ongevoelig is voor afwijkingen van de ontwerpaannamen. De robuustheid is lager naar mate het ontwerp gevoeliger is voor afwijkingen van de ontwerpaannamen;
- de robuustheid is hoog indien het ontwerp tot haalbare onderhoudseisen leidt. De robuustheid is lager naarmate de onderhoudseisen hoger zijn;
- de robuustheid is hoog als temperatuurbeheersing (verwarming en koeling) gescheiden is van de ventilatie. De robuustheid is lager naarmate temperatuurbeheersing en ventilatie meer geïntegreerd zijn;
- de robuustheid is hoog als het ontwerp geen variërend debiet heeft om de binnentemperatuur te regelen. De robuustheid is lager naarmate het debiet, in het luchtbehandelingsysteem zelf of in de toevoer naar de werkruimten, meer gevarieerd moet worden om de binnentemperatuur te regelen.

De volgende mechanismes worden verondersteld voor het raakvlak van gebruiker en gebouw:

- de robuustheid is hoog als het functioneren van het gebouw en het luchtbehandelingsysteem transparant is voor de gebruikers en de medewerkers van het gebouwbeheer. De robuustheid is lager naar mate het functioneren van het gebouw en het luchtbehandelingsysteem minder transparant is;
- de robuustheid is hoog als de gebruikers effectieve mogelijkheden hebben om invloed uit te oefenen op de verschillende aspecten van hun binnenmilieu. De robuustheid is lager naarmate zij minder invloed hebben;
- de robuustheid is vooral hoog indien de regelmogelijkheden de gebruikers in staat stellen om de positieve en negatieve gevolgen van hun keuzes tegen elkaar af te wegen;
- de robuustheid is hoog als het natuurlijke

gedrag van de individuele gebruikers – geleid door gezond verstand, rationaliteit en gematigd eigenbelang – de situatie verbetert voor henzelf en bij voorkeur ook voor anderen (of voor anderen in ieder geval niet verslechtert);

- de robuustheid is hoog als de omgevings-Gestalt waarmee de gebruikers te maken krijgen, de acceptatie van het binnenmilieu als geheel bevordert.

Deze mechanismes gelden als hypothesen op basis van de resultaten van de genoemde veldonderzoeken en de ervaring van de auteurs als consultants met klachtenbehandelingsonderzoeken. Hierna worden de veronderstelde mechanismes verder behandeld. Het zal duidelijk worden dat sommige mechanismes in zekere mate elkaar overlappen.

## TECHNISCH FUNCTIONEREN VAN HET GEBOUW

### Passieve in plaats van actieve oplossingen

De volgende strategie wordt in [3] aanbevolen om zowel een goed binnenmilieu als een laag energiegebruik te bereiken: beheers het binnenmilieu zoveel mogelijk met passieve middelen en gebruik actieve middelen alleen om het binnenmilieu zonodig te *finetunen*.

Belangrijke voorbeelden van deze strategie zijn:

- beheersen van bronnen van binnenluchtverontreiniging in plaats van het toepassen van verhoogde ventilatie;
- temperatuurbeheersing toepassen door het beheersen van warmtebronnen gecombineerd met bouwfysica in plaats van mechanische koeling.

Deze twee voorbeelden worden hierna verder behandeld.

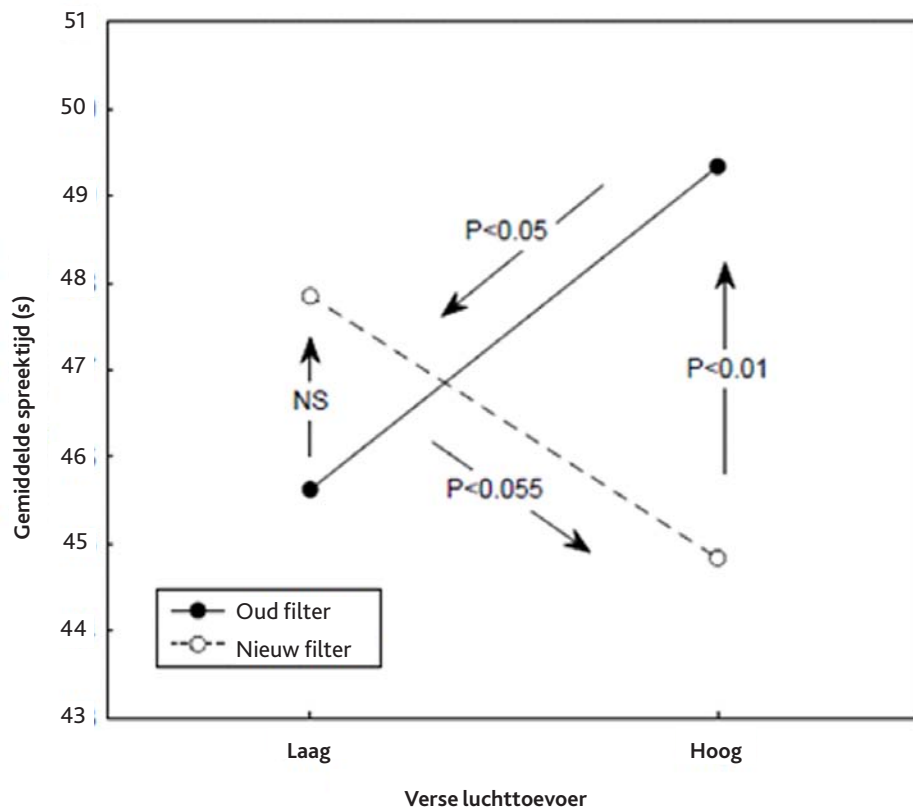
### Beheersen bronnen binnenluchtverontreiniging:

Er is een brede overeenstemming dat het beheersen van verontreinigingsbronnen de voorkeur heeft boven verhoogde ventilatie of persoonlijke bescherming. Vanuit puur theoretisch oogpunt gezien spreekt dit niet vanzelf. Indien het doel is om de blootstelling tot een zeker maximum te beperken, zou men kunnen veronderstellen dat dit net zo goed bereikt kan worden met verhoogde ventilatie of persoonlijke bescherming als met bronbeheersing. Maar vanuit het oogpunt van robuustheid zijn er meerdere redenen om de voorkeur te geven aan bronbeheersing:

- als de bron is verwijderd, kan men er heel zeker van zijn dat er geen blootstelling plaatsvindt. Dit in tegenstelling tot verhoogde ventilatie waarbij blootstelling mogelijk blijft door praktische problemen, zoals niet toereikende ventilatievouden of een te lage

effectiviteit van de ventilatie. Het risico op onvoldoende ventilatie wordt verhoogd indien er een hoge gevoeligheid bestaat voor afwijkingen van de ontwerpaannamen, onhaalbare onderhoudseisen, integratie van temperatuurregeling en ventilatie en luchtvoolumes die over een tijdsperiode variëren (zie hiervoor);

-afdoende beheersing van binnenluchtverontreiniging d.m.v. ventilatie vereist dat de concentratie en schadelijkheid van de verschillende verontreinigingen bekend zijn. Lange tijd is impliciet aangenomen dat dit het geval was. Meer specifiek werd er aangenomen dat men de schadelijkheid van de verschillende verontreinigingen, zoals CO<sub>2</sub>, ozon en VOC's (*volatile organic compounds*: vluchtige organische verbindingen), kan bepalen en dat limietwaarden afgeleid kunnen worden van de vastgestelde schadelijkheid. Van deze limietwaarden en de sterkte van de verschillende bronnen zouden vervolgens de ventilatie-eisen afgeleid kunnen worden. Nieuw inzicht in binnenluchtchemie laat zien dat dit geen adequate weergave is van wat er werkelijk gebeurt. [4] laat zien dat in de binnenlucht een continu proces van chemische reacties plaatsvindt. Ozon en VOC's zijn bijvoorbeeld uitgangsstoffen die reageren tot nieuwe stoffen, waaronder formaldehyde, waterstofperoxide en ultra fijne deeltjes, die nog meer irriteren dan de uitgangsstoffen zelf. Deze nieuwe stoffen zijn op hun beurt uitgangsstoffen voor nieuwe reacties die kunnen leiden tot nog sterker irriterende stoffen. Sommige van de reactieproducten vervallen snel maar kunnen alsnog irriterend werken. De huidige wetenschappelijke kennis is nog niet specifiek genoeg om te voorspellen wat de concentratie en schadelijkheid van de nieuw gevormde stoffen zullen zijn. Verder zijn deze chemische reacties niet alleen afhankelijk van de concentraties van de verschillende stoffen, maar ook van de aanwezigheid van oppervlakken die deze reacties kunnen bevorderen en van de temperatuur en de luchtvochtigheid. Bovenstaande bevindingen worden ondersteund door [5]. De conclusie uit een experimentele studie is dat men moet aannemen dat er zogenaamde *stealth chemicals* bestaan om klachtenniveaus in verschillende experimentele situaties te verklaren. Deze kort bestaande verbindingen ontstaan bij continue chemische reacties in de binnenlucht en zijn schadelijk, maar niet met de huidige meettechnieken vast te stellen. Deze nieuwe inzichten in de binnenluchtchemie impliceren dat bij het beheersen van binnenluchtverontreinigingen door middel van ventilatie, de ventilatieniveaus vastgesteld op basis van de bekende verontreinigingen



-Figuur 1- Relatie verse luchttoevoer en afhandelingstijd (spreektijd) in een call center, zowel bij gebruik van een nieuw, schoon luchtfilter als bij een gebruikt, vervuild filter [6]. Langere spreektijd impliceert lagere luchtkwaliteit.

ontoreikend kunnen zijn. Dit komt doordat er via reacties in de binnenlucht stoffen gevormd worden, waarvan de concentraties niet bekend zijn en die schadelijker kunnen zijn dan hun uitgangsstoffen. Het kan zelfs blijken dat het verwijderen van deze stoffen via ventilatie veel hogere ventilatieniveaus vereist dan de huidige standaard. De conclusie is dat het de meest robuuste strategie is om de uitstoot van verontreinigingen die ook uitgangsstoffen zijn, zoals ozon en VOC's, te beperken door bronbeheersing in plaats van het verdunnen van verontreinigingen door ventilatie. Dit gezien het huidige gebrek aan nauwkeurigere kennis over de concentraties en schadelijkheden van de reactieproducten. Als bijvoorbeeld intensief gebruikte printers en kopieerapparaten behoorlijke hoeveelheden ozon en VOC's uitstoten, zouden zij niet in werkruimten geplaatst moeten worden maar in aparte ruimten met voldoende ventilatie;

-in sommige situaties leidt een verhoogde ventilatie tot een toename van de afgifte van verontreinigingen. De veldstudie [6] laat zien dat de luchtkwaliteit zoals ervaren door de gebruikers toeneemt als er schone, nieuw geïnstalleerde luchttoevoerfilters gebruikt worden en de ventilatiehoeveelheid verhoogd wordt. Als de filters echter gebruikt en verontreinigd zijn leidt een verhoogde ventilatie tot een afname van de ervaren luchtkwaliteit

(figuur 1). Ander onderzoek laat gelijke resultaten zien. De conclusie is dat de verhoogde ventilatie leidt tot een verhoogde afgifte van verontreinigingen door de vervuilde filters. Er kan niet worden uitgesloten dat dit ook van toepassing is op andere verontreinigingsbronnen in het luchtbehandelingsstelsel. [7] bestudeert de door personen waar te nemen verontreiniging door warmtewielen. Op basis van de aangetroffen verontreinigingsniveaus door warmtewielen adviseert deze publicatie om de ventilatie met 20% te verhogen ter compensatie van deze verontreiniging. Gezien de resultaten van [6] zou dit echter zeer goed kunnen leiden tot een toename in de afgifte van verontreinigingen door het warmtewiel. Een ander voorbeeld van een toegenomen uitstoot van verontreinigingen als gevolg van een verhoogde ventilatie, wordt gegeven in [5]. De resultaten hiervan laten zien dat de aanwezigheid van verontreinigingen die voor oxidatie gevoelig zijn, zoals terpenen (een subklasse van VOC's), zorgt voor een toename van de uitstoot van verontreinigingen bij een verhoogde ventilatie als de ventilatielucht ozon bevat. Deze voorbeelden laten zien dat in verschillende situaties een verhoogde ventilatie kan leiden tot een verhoogde afgifte van verontreinigingen. Een strikte beheersing van verontreinigingsbronnen kan dit probleem natuurlijk oplossen. Dan volstaat het om een laag maar voldoende ventilatieniveau toe te

passen. Eenvoudige mechanische ventilatie of zelfs natuurlijke ventilatie kan hierin voorzien. Zelfs nog lagere ventilatie zou afdoende kunnen zijn als de enthalpie van de binnenlucht laag wordt gehouden.

*Beheersing warmtebronnen met bouwfysica:* Ook bij het regelen van de binnentemperatuur geldt de strategie om zoveel mogelijk passieve middelen te gebruiken voor het beheersen van het binnenmilieu en actieve middelen alleen te gebruiken om het binnenmilieu waar nodig te *finetunen*. In grote delen van de wereld is dit gangbaar bij temperatuurregeling in de winter. De standaard is een zo hoog mogelijke thermische isolatie van de gevel om de noodzaak van actieve verwarming te minimaliseren. Het volgen van deze strategie in de zomer zou een minimalisering betekenen van de warmtebelasting door zonnewarmte en interne warmtebronnen en een maximaal gebruik van de thermisch effectieve bouwmassa. Dit om de noodzaak van actieve koeling te verkleinen of, beter nog, weg te nemen. Deze strategie is niet algemeen geaccepteerd. Integendeel, het is wereldwijd gebruikelijk om hoge zonnewarmtebelasting te accepteren, meestal om architectonische redenen. Ook is het gebruikelijk om hoge interne warmtelasten te accepteren door niet doelmatig te selecteren op verlichtingsystemen en kantoorapparatuur met een lage warmteproductie. Verder valt de

keuze vaak op een lage thermisch effectieve massa, zodat een flexibele indeling mogelijk is. De nadelen van deze aanpak vertonen hetzelfde patroon als bij het toepassen van een verhoogde ventilatie in plaats van het beheersen van bronnen van de binnenluchtverontreiniging:

- over het algemeen betekent minder gebruik van passieve middelen voor het regelen van de binnentemperatuur in de zomer een hogere koelbehoefte. Hierdoor zijn uitgebreidere luchtbehandelingssystemen nodig. Dit vergroot het risico op storingen in het systeem, en daarmee op onvoldoende temperatuurregeling. Daaraan ten grondslag liggen een hoge gevoeligheid voor afwijkingen van ontwerpaannamen, onhaalbare onderhoudseisen, integratie van temperatuurregeling en ventilatie en luchtvolumes die over een tijdsperiode variëren (zie hiervoor). Het verkleint ook de transparantie van het functioneren van het gebouw en zijn installaties voor gebruikers en gebouwbeheerders (zie hierna);
- in het geval van koeling van de toevoerlucht betekent een grotere koelbehoefte een groter risico op tochtklachten, veroorzaakt door lage luchttemperaturen en hoge luchtsnelheden;
- in het geval van koeling van de toevoerlucht kan condensatie in de koelapparaten leiden tot microbiologische vervuiling van de toevoerlucht [8].

[1] geeft informatie over de rol van ongevoeligheid voor afwijkingen van ontwerpaannamen, haalbare onderhoudseisen, scheiding van temperatuurregeling en ventilatie, en het debiet dat over een tijdsperiode varieert.

## ■ RAAKVLAK GEBRUIKER EN GEBOUW

### Transparantie voor gebruikers

Een luchtbehandelingssysteem is transparant wanneer (relatieve) leken een zeker basisinzicht kunnen verwerven in de werking van het systeem, alleen al door het te bekijken en te gebruiken. Tevens moeten zij kunnen zien dat het systeem niet goed werkt en, tot op zekere hoogte, kunnen weten wat er mis mee is. Voorbeelden hiervan zijn:

- de meeste leken hebben een basisinzicht in de werking van verwarmingsradiatoren. Gebruikers kunnen veel storingen bij radiatoren opmerken: de radiator wordt helemaal niet warm, de radiator wordt nooit warmer dan lauw, de thermostaat kan niet verdraaid worden, de stand van de thermostaat lijkt geen invloed te hebben op de radiator;
- 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 kierstanden ingesteld kunnen worden,

- of het raam vastzit en bijvoorbeeld de binnenzonwering hindert. Meestal is snel vast te stellen welke ramen tocht veroorzaken en hoe ver ze open staan als ze problemen veroorzaken;
- gebruikers merken het meteen als een binnenzonwering niet goed werkt (het ontbreken van deugdelijk onderhoud aan binnenzonwering zal snel genoeg worden ontdekt; de mate van transparantie is voor de gebruikers hoog).

Vergelijk dit met variabel volume-systemen, waarvan soms zelfs experts moeilijk kunnen achterhalen wat de oorzaak is van klachten. Verwarmingsradiatoren en te openen ramen zijn dus transparanter voor gebruikers en gebouwbeheerders dan ingewikkelde airconditioningsystemen. De cruciale factor is dat de transparantie van een luchtbehandelingssysteem de klachtenbehandeling enorm vergemakkelijkt. De kans dat de gebouwbeheerder klachten serieus neemt en juist interpreteert is veel groter als gebruikers met klachten komen als "de radiator blijft koud" of "het raam zit vast" in plaats van "ik heb het altijd koud hier" of "het is hier zo bedompt". Daarmee is de kans ook groter dat de gebouwbeheerder, die vaak zelf relatief een leek is, de juiste informatie doorgeeft aan ingeschakelde externe experts.

### Beïnvloeding door gebruikers

Indien gebruikers het binnenmilieu effectief kunnen beïnvloeden, vergroot dit de robuustheid om twee redenen:

- gebruikers hebben de mogelijkheid om het binnenmilieu aan te passen aan hun eigen voorkeur en de variatie in voorkeur over een tijdsperiode;
- binnen zekere grenzen hebben gebruikers de mogelijkheid het gebrekkig functioneren van gebouw en installatie te compenseren.

Belangrijke beïnvloedingsmogelijkheden zijn:

- te openen ramen;
- temperatuurregeling in het geval van actieve verwarming en koeling;
- regeling van zonwering en lichtwering;
- regeling van kunstverlichting.

### Afwegen

Proefpersonen in een testsituatie die zelf kunnen kiezen hoe zij een beperkt budget inzetten om hun werkplek te verbeteren, zijn tevredener met hun werkplek dan personen die willekeurig worden blootgesteld aan gedeeltelijk verbeterde situaties [9]. Dit toont aan dat regelmogelijkheden voor gebruikers vooral effectief zijn als zij de verschillende positieve en negatieve gevolgen van hun ingrepen tegen elkaar kunnen afwegen. Enige voorbeelden zijn:

- het verminderen van lawaai van buiten versus het toevoeren van meer verse lucht door een te openen raam;
- het beperken van tocht versus het verbeteren van het thermisch comfort voor het gehele lichaam d.m.v. een te openen raam of regelbare ventilator;
- de reductie van schittering of spiegeling op beeldschermen versus het verbeteren van het uitzicht d.m.v. instelbare licht- of zonwering.

### Natuurlijk gedrag

Wanneer gebruikers invloed kunnen uitoefenen op hun omgeving (bijvoorbeeld door temperatuurregeling of te openen ramen) en het aantal werkplekken per ruimte niet te groot is, zal het natuurlijke gedrag van gebruikers leiden tot een optimale situatie voor alle of de meeste gebruikers. In een groepskantoor is dit niet het geval. Hierin zal bijvoorbeeld een gebruiker die dichtbij een raam zit de lichtwering zodanig instellen dat op zijn beeldscherm minimale schittering en spiegeling zichtbaar is, en het uitzicht maximaal is. Maar dit leidt vaak tot een verslechtering voor gebruikers die verder van dit raam af zitten. Een ander voorbeeld: soms plakken gebruikers een ventilatierooster af om tochtklachten te voorkomen. De ventilatie dichtbij dat rooster wordt daardoor minder maar de luchtsnelheden bij andere roosters nemen juist toe.

### Acceptatie

De omgevings-Gestalt omvat de gehele context van het binnenmilieu, de taak en sociale verhoudingen tussen werknemers onderling en tussen werknemers en management, en de opgedane ervaringen van de gebruikers op deze gebieden. Zo geformuleerd lijkt dit misschien abstract, maar definitie is mogelijk in termen van transparantie, beïnvloedbaarheid van het binnenmilieu en het concept van billijkheid. Een omgevings-Gestalt bevordert de acceptatie als gelijktijdig aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- afwijkingen van een comfortabele, neutrale of geprefereerde situatie kunnen op een haalbare manier door de gebruikers verminderd of gecompenseerd worden, zonder negatieve neveneffecten voor henzelf of anderen. Daaronder vallen ook beïnvloedbaarheid van de omgeving en keuzemogelijkheden over persoonlijke factoren als activiteit en kleding. Indien er negatieve neveneffecten zijn dan dienen de beïnvloedingsmogelijkheden de gebruikers in staat stellen om positieve en negatieve gevolgen van verschillende keuzes tegen elkaar af te wegen;
- de overblijvende afwijkingen van een comfortabele, neutrale of geprefereerde situatie zijn begrijpelijk voor de gebruiker omdat

het gebouw en zijn systemen transparant functioneren;  
 -de overblijvende afwijkingen van een comfortabele, neutrale of geprefereerde situatie worden door de gebruikers als billijk beoordeeld. Dit op basis van inzicht en een gevoel van medeverantwoordelijkheid voor de werkomgeving, voortkomend uit de beïnvloedingsmogelijkheden van de gebruikers.

#### Aanvullende condities

Aanvullende acceptatiebevorderende condities kunnen ook voor een grotere robuustheid zorgen op het raakvlak van gebruiker en gebouw, zoals:

- privacy;
- uitzicht;
- serius nemen van klachten door het management.

Een gebrek aan privacy en uitzicht dragen sterk bij aan ontevredenheid. Goede privacy en uitzicht verbeteren het welzijn van de gebruikers en verminderen stress. Werknemers die meer routinewerk moeten uitvoeren hebben minstens zoveel privacy nodig als mensen met creatieve werkzaamheden, omdat ze al weinig invloed hebben op het werk dat ze doen. Een goed uitzicht betekent een zichtbare skyline en de mogelijkheid om verder gelegen objecten, groen en weersomstandigheden te kunnen zien. Dat het serius nemen van klachten door het management de acceptatie vergroot, is

gebleken uit klachtenbehandelingsonderzoeken en volgt uit de sociaal-psychologisch onderzoek. Privacy en uitzicht worden bepaald in het gebouwontwerp en door de indeling van de werkruimten. Het serius nemen van gebruikersklachten door het management lijkt op het eerste gezicht niets te maken hebben met het gebouwontwerp. Toch is dit wel het geval. Belangrijk is dat het ontwerp het functioneren van het gebouw en zijn luchtbehandelingsinstallaties in hoge mate transparant maakt voor de werknemers en het gebouwbeheer. Dit zal vervolgens leiden tot concreter geformuleerde klachten van de gebruikers en een beter begrip van het gebouwbeheer voor deze klachten (zie hiervoor). Dit verhoogt de waarschijnlijkheid dat het gebouwbeheer, maar ook het algemeen management, de klachten van de gebruikers serius neemt.

#### ■ VOORBEELDEN

Voorbeelden van acceptatiebevorderende omgevings-Gestalts zijn, op volgorde van toenemende schaal en complexiteit:

- situaties waarin gebruikers hogere luchtsnelheden accepteren, bij hogere temperaturen en beïnvloedbaarheid van de omgeving door gebruikers van hun omgeving;
- adaptief thermisch comfort in *free running* gebouwen met voldoende beïnvloedbaarheid door de gebruikers. Dit door het kunnen openen van ramen en/of kunnen regelen van ventilatoren en kledingkeuze;

-kamerkantoren, vooral met niet meer dan twee werkplekken.

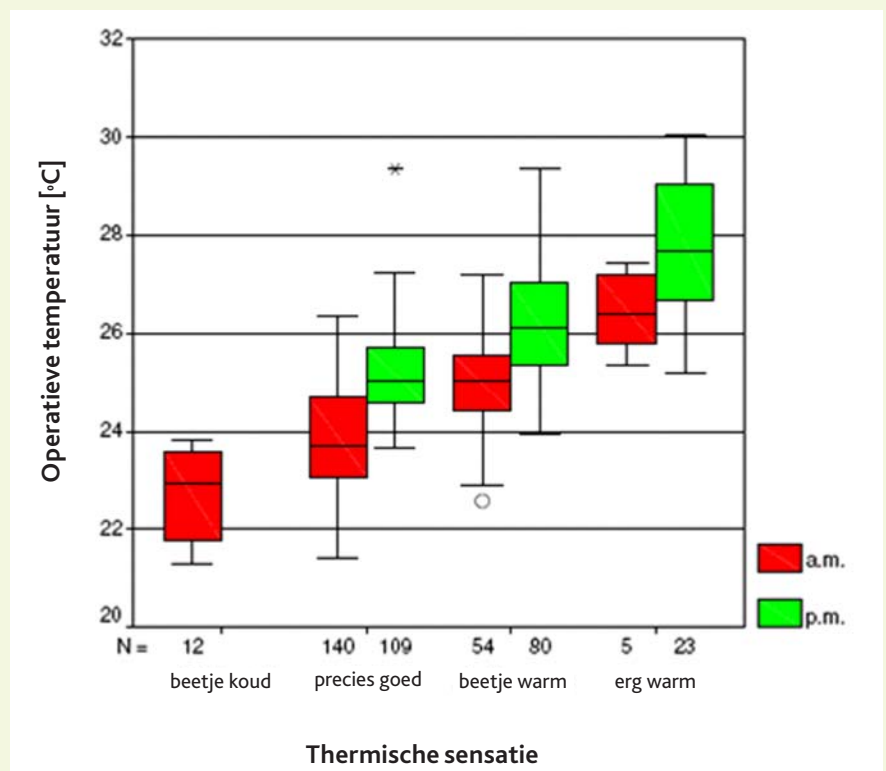
#### Hogere luchtsnelheden

Het review artikel [10] concludeert dat de conventionele tochtcriteria, gebaseerd op luchtsnelheid, luchttemperatuur, en turbulentie-intensiteit, van toepassing zijn op mechanisch toegevoerde lucht en op luchttemperaturen tot 22-23 °C. Bij hogere luchttemperaturen en de mogelijkheid van gebruikers om de luchtsnelheid te beïnvloeden, zullen hogere snelheden geaccepteerd worden. Dit kan oplopen tot een luchtsnelheid van 0,4 m/s; bij een luchttemperatuur van 30 °C zelfs tot 1,6 m/s. Dit is het geval omdat het een omgevings-Gestalt op kleine schaal betreft. De acceptatie is het gevolg van de combinatie van transparantie en effectieve beïnvloedbaarheid, vooral de mogelijkheid om positieve en negatieve gevolgen van de gemaakte keuzes tegen elkaar af te wegen.

#### Adaptief thermisch comfort

[11] laat zien dat gebruikers in gebouwen met natuurlijke ventilatie en zonder mechanische koeling hogere temperaturen in de zomer accepteren dan gebruikers in gebouwen met *airconditioning*. Er is nog steeds een debat gaande over de mechanismes die aan dit fenomeen ten grondslag liggen. Sommige publicaties benadrukken beïnvloedbaarheid door de gebruikers. De beïnvloedbaarheid

-Figuur 2- Thermische sensatiestemmen in relatie tot de operationele temperatuur. De rode rechthoeken geven de gemiddelde 50% van de stemmen in de ochtend; de groene rechthoeken van de stemmen in de middag [14].



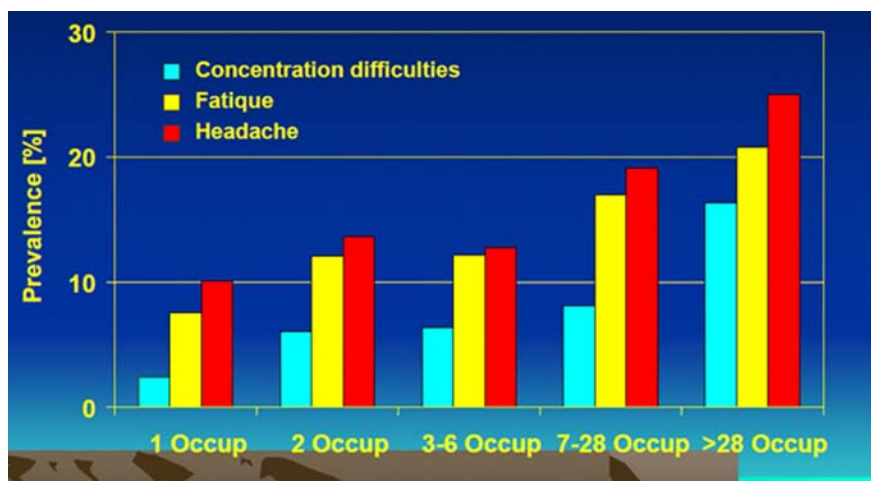
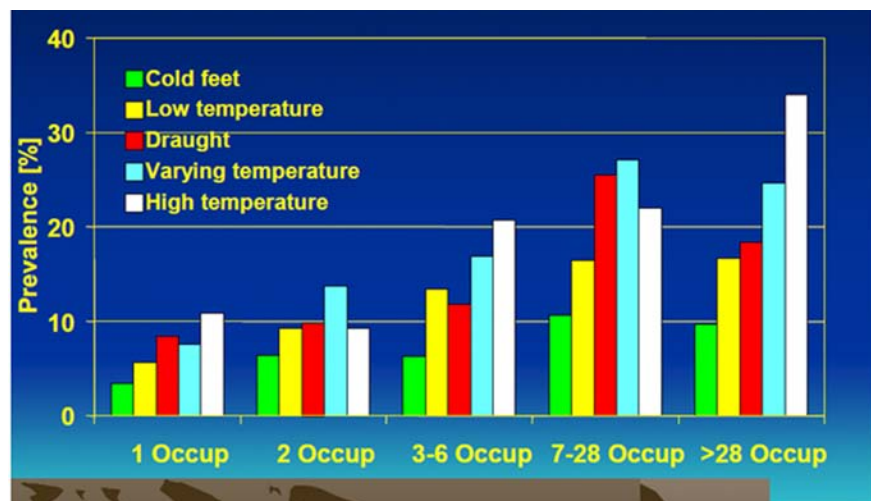
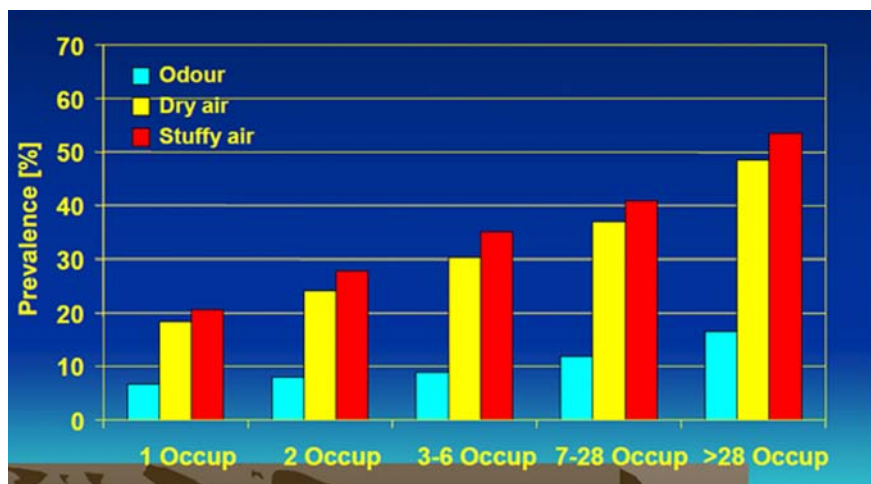
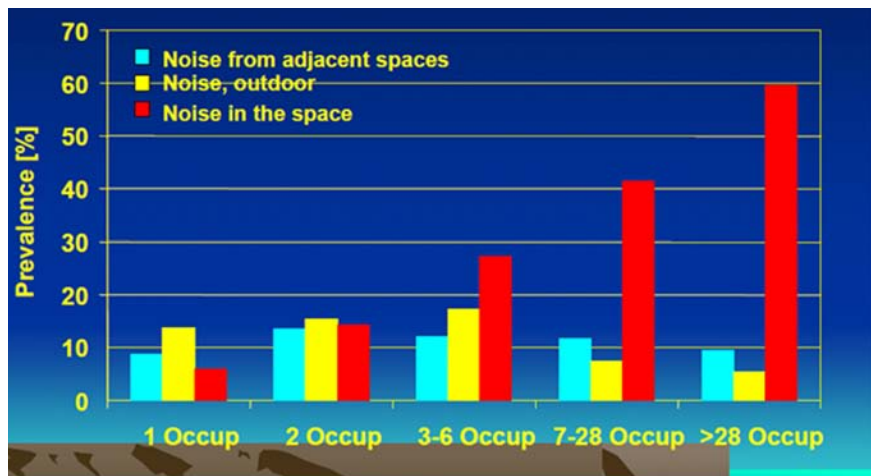
die gegeven wordt door te openen ramen, wordt verondersteld de tolerantie voor hogere temperaturen te vergroten. Maar dit geldt alleen voor precies die beïnvloedbaarheid die te openen ramen bieden. [11] laat zien dat een index voor de beïnvloedbaarheid door de gebruikers, gebaseerd op alle factoren die theoretisch gezien bijdragen aan de beïnvloedbaarheid (zoals temperatuurregeling door de gebruiker in gebouwen met airconditioning), niet samenhangt met acceptatie van de thermische omgeving. Aan de andere kant laat [12] zien dat in een natuurlijk geventileerd gebouw de nabijheid van een raam, en daarmee de mogelijkheid om de raamopening in te stellen, de acceptatie van de thermische omgeving vergroot.

Andere publicaties leggen de nadruk op de verwachtingen van de gebruikers. Gebruikers verwachten een hogere temperatuur in een natuurlijk geventileerd gebouw en een hogere binnentemperatuur als de buitentemperatuur hoger is. Dit vergroot hun acceptatie van hogere temperaturen. Het belang van gebruikersverwachtingen wordt onderstreept door het feit dat de gebruikers een veel groter bereik aan omgevingstemperaturen accepteren in semi-buitenomgevingen (bijvoorbeeld een half overdekt terras bij een restaurant) dan in binnenomgevingen [13]. Hoewel gebruikers in semi-buitenomgevingen invloed hebben op de isolatiewaarde van hun kleding, en misschien op luchtsnelheid en stralingstemperatuur, is hun invloed op de luchttemperatuur vrijwel te verwaarlozen. De grotere tolerantie komt daarom waarschijnlijk in grote mate door de aangepaste verwachting die de gebruikers in deze situatie hebben. Het belang van de gebruiksverwachting wordt verder benadrukt door de bevinding dat de gebruikers van natuurlijk geventileerde gebouwen 's zomers hogere temperaturen accepteren in de middag dan in de ochtend (figuur 2) [14]. Gesteld kan daarom worden dat een natuurlijk geventileerd gebouw in feite een acceptatie bevorderende omgevings-Gestalt is, omdat het een combinatie vormt van:

- het begrijpen en verwachten van hogere temperaturen in natuurlijk geventileerde gebouwen en hogere buitentemperaturen in de middag ten opzichte van de ochtend;
- een bijzonder transparante manier om het thermisch binnenmilieu te regelen door het instellen van de opening van de ramen en ook de instelling en plaatsing van bureauventilatoren, zie [11].

### Het kamerkantoor

Vele veldonderzoeken laten zien dat BRS en gebruikersontevredenheid met het binnenmilieu vaker voorkomen naarmate het aantal



-Figuur 3- Samenhang tussen ontevredenheid met het binnenmilieu en lichamelijke symptomen met het aantal werkplekken per werkruimte [15]

werkplekken per werkruijnte toeneemt [2]. Deze resultaten worden sterk ondersteund door [15]. Daaruit blijkt: hoe groter het aantal werkplekken per werkruijnte, des te groter het aantal klachten over thermisch comfort, binnenluchtkwaliteit, geluidshinder uit de ruijnte zelf, verlichting en schitteringen en reflecties op beeldschermen. Bovendien, des te groter ook het aantal BRS, waaronder vermoeidheid, hoofdpijn en concentratieproblemen (figuur 3). Deze resultaten kunnen goed verklaard worden met de gebouwrobuustheidshypothese. Meer specifiek: In het kamerkantoor zijn praktisch alle genoemde robuustheidsmechanismen van toepassing. Deze werken alle in de juiste richting:

- vanwege zijn beperkte afmetingen (vooral beperkte diepte) en hoge oppervlak versus volume ratio kan het kamerkantoor voorzien worden van een verwarmings- en ventilatiesysteem met een maximale robuustheid: natuurlijke of mechanische ventilatie, stralingsverwarming, geen mechanische koeling;
- over het algemeen zijn bij een kamerkantoor de belangrijkste verontreinigingsbronnen, zoals kopieermachines en printers voor algemeen gebruik, in aparte ruimten geplaatst. Hier kan worden voorzien in een aangepaste ventilatie;
- indien iedere kamer is uitgerust met te openen ramen en temperatuurregeling in de winterperiode, zal dit zorgen voor maximale transparantie en beïnvloedbaarheid door de gebruikers;
- de combinatie van te openen ramen en de afwezigheid van mechanische koeling zal de acceptatie van hogere temperaturen tijdens de zomer vergroten (adaptief thermisch comfort);
- kamerkantoren geven in vergelijking met groepskantoren een enorme reductie van geluidshinder in de eigen werkruijnte [15] (zie figuur 3). Dit bevordert de acceptatie van de werkomgeving als geheel;
- een kamerkantoor bevordert dat gebruikers die een ruijnte delen rekening met elkaar houden, bijvoorbeeld bij het voeren van telefoongesprekken. Dit omvat ook de acceptatie van tijdelijke hinder, aangezien de reden en noodzaak hiervan begrepen worden;
- indien de kunstverlichting en lichtwering niet voldoen aan de hoogste standaarden om schittering en spiegeling op beeldschermen te voorkomen, biedt het kamerkantoor de mogelijkheid om dit te minimaliseren door kleine aanpassingen in de plaatsing van beeldschermen en meubilair. Dit is niet mogelijk in een kantoorruimte. (Een voorbeeld dus van een combinatie van grote transparantie en grote gebruikersinvloed);
- als in een groepskantoor de lichtwering wordt

ingesteld door de gebruiker die het dichtst bij het raam zit, zal dit vaak de hinder door schittering en spiegeling verergeren bij verder van het raam gezeten gebruikers. Dit is niet het geval in een kamerkantoor;

- het kamerkantoor heeft een positieve werking op sociale relaties in het algemeen. Dit is aangetoond door onderzoek naar de sociale effecten van groepskantoren in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw, en wordt ondersteund door [15];
- het kamerkantoor biedt over het algemeen al zijn gebruikers een goed uitzicht;
- het kamerkantoor biedt meer privacy aan alle gebruikers;
- alle aspecten van de situatie zijn in grote mate transparant voor zowel werknemers als gebouwbeheer. Hierdoor is er een grote kans dat het gebouwbeheer en uiteindelijk het algemeen management eventuele klachten serieus neemt (zie hiervoor). Dit zal de arbeidsmoraal onder werknemers verbeteren en een verdere acceptatie bevorderen van de resterende afwijkingen van een comfortabele, neutrale of geprefereerde situatie.

## ■ DISCUSSIE

De gebouwrobuustheidshypothese geeft een omvattende en gedetailleerde oorzakelijke verklaring voor de voornaamste bevindingen uit veldonderzoeken: de samenhang van BRS en ontevredenheid over het binnenmilieu met gebouw- en installatiekenmerken, zoals koeling van toevoerlucht, bevochtiging van toevoerlucht, recirculatie, niet te openen ramen, gebrek aan beïnvloedbaarheid van de temperatuur en indeling in kantoorruimten. Bovendien laat [1] zien dat de robuustheidshypothese bijdraagt aan het verklaren van de verschillen in BRS en ontevredenheid met het binnenmilieu tussen verschillende meer specifiek gedefinieerde gebouwtypen. Ook laat [1] zien dat de robuustheidshypothese ondersteund wordt door de praktijkervaring van deskundigen en dat de hypothese bijdraagt aan het voorspellen van de prestatie van kantoorgebouwen in de ontwerpfasen. Meer gedetailleerde empirische bevindingen ondersteunen de gebouwrobuustheidshypothese. De robuustheidshypothese geeft een verklaring voor de bevinding dat ongeveer een derde van de onderzochte niet-inductiesystemen goed onderhouden was, terwijl geen van de onderzochte inductiesystemen (ook voldoende aanwezig in de steekproef) goed onderhouden was [1]. Ook verklaart de robuustheidshypothese de bevinding van [16], dat de aanwezigheid van lokaal geplaatste koelapparaten samenhangt met een toename van het aantal hoofdpijngevallen en symptomen aan de bovenste luchtwegen.

De gebouwrobuustheidshypothese geeft een omvattende verklaring op hoger niveau van de effecten van adaptief thermisch comfort, zoals bevonden in [11]. Daarbij verklaart het de meer specifieke effecten, zoals de acceptatie van meer uiteenlopende temperaturen in semi-buitenomgevingen [13] en de acceptatie van hogere temperaturen in de middag dan in de ochtend in *free running* omgevingen gedurende het zomerseizoen [14]. Ook geeft de robuustheidshypothese een omvattende verklaring op hoger niveau van de positieve effecten van indeling in kamerkantoren op gezondheid en comfort, zoals gevonden in [2] en [15].

Ten slotte laat [17] zien dat robuuste maatregelen veel effectiever zijn dan minder robuuste maatregelen in het verhogen van de objectief gemeten arbeidsproductiviteit en het verlagen van ziekteverzuim. Aangezien data over productiviteit en verzuim belangrijke, objectief meetbare indicatoren zijn voor de kwaliteit van het binnenmilieu en deze data niet gebruikt zijn bij het opstellen van de gebouwrobuustheidshypothese in [1] en in de voorliggende publicatie, zijn deze resultaten een belangrijke onafhankelijke empirische ondersteuning voor de robuustheidshypothese.

De voornoemde resultaten geven de gebouwrobuustheidshypothese voldoende wetenschappelijke geloofwaardigheid om verder empirisch onderzoek te rechtvaardigen. Om een voorbeeld te geven: [16] laat zien dat slechter onderhoud van bevochtiginginstallaties en het minder vaak reinigen van koelapparaten en condensatiegoten samenhangt met een toename in BRS. Hoewel gebouwbeheerpersoneel in gedisciplineerdheid en kunde kan verschillen, voorspelt de robuustheidshypothese dat verschillen in kwaliteit van het onderhoud, minstens in belangrijke mate, worden bepaald door objectieve verschillen tussen de specifieke systemen betreffende de haalbaarheid van de onderhoudseisen die deze systemen stellen. Dit kan worden getoetst in nieuw onderzoek. Een ander voorbeeld is de voorspelling dat bij een transparanter binnenmilieu de gebruikers hun klachten concreter zullen formuleren en dat gebouwbeheer en het algemeen management deze daardoor eerder serieus zullen nemen. Dit kan getoetst worden door de analyse van klachtenbehandelingsregisters en door het afnemen van interviews met sleutelpersonen van het gebouwbeheer en algemeen management in gebouwen met verschillende typen luchtbehandelingsinstallaties. Ook volgt uit de robuustheidshypothese dat de onderliggende oorzaken van onvrede met het binnenmilieu en BRS in de meeste gevallen bestaan uit een gebrek aan robuustheid, die al tijdens de ontwerpfasen of bij latere

verbouwingen in het gebouw is opgenomen. Dit ondanks dat onvrede en BRS in sommige gevallen veroorzaakt wordt door meer aan de oppervlakte gelegen factoren, zoals te hoge of te lage temperatuur, te weinig ventilatie, of een bepaalde vorm van te hoge luchtverontreiniging. Toetsing is mogelijk door middel van een meta-analyse van een aantal uitgevoerde klachtenbehandelingsonderzoeken.

## LITERATUUR

1. J.L. Leijten, S.R. Kurvers, Robuustheid van gebouwen en luchtbehandelingsinstallaties – Gebouwgelerateerde gezondheidssymptomen en comfortklachten, TVVL Magazine 1/2007, 20-27.
2. J.L. Leijten, S.R. Kurvers, Binnenklimaat in kantoorgebouwen – Onderzoek naar klachten. Praktijkgids Arbeidshygiëne, Kluwer.
3. C.A. Roulet, Indoor air quality and energy performance of buildings, Proceedings Healthy Buildings 2006 (1) 37 – 47.
4. C.J. Weschler, Chemical reactions among indoor air pollutants: what we've learned in the new millennium, Indoor Air 14 (Suppl 7) (2004) 184 – 194.
5. Z. Bakó-Biró, Human perception, SBS symptoms and performance of office work during exposure to air polluted by building materials and personal computers. Ph.D. Thesis, Technical University Denmark, 2000.
6. P. Wargocki, D.P. Wyon, P.O. Fanger, Call-centre operator performance with new and used filters at two outdoor air supply rates, Proceedings Healthy Buildings 2003 (3) 213 – 218 (zie ook 257 – 261 in dezelfde bundel).
7. S. Ruud, T. Carlsson, Transfer of pollutants in rotary air-to-air heat exchangers – a state of the art investigation, Proceedings Indoor Air 1996 (3) 977 – 982.
8. D. Menzies, J. Pupa, J.A. Hanley, T. Rand, D.K. Milton, Effect of ultraviolet germicidal lights installed in office ventilation system on worker's health and well-being: double blind multiple crossover study, The Lancet 362 (2003) 1785 – 1791.
9. G. Clausen, D.W. Wyon, The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance, Proceedings Indoor Air 2005, 1.3-10.
10. J. Toftum, Air movement – good or bad?, Indoor Air 14 (Suppl 7) (2004) 40 – 45.
11. R. DeDear, G. Brager, D. Cooper, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, Ashrae RP-884, 1997.
12. G.S. Brager, G. Paliaga, R. de Dear, Operable windows, personal control and occupant comfort, Center for the Built Environment, University of California, Berkeley, 2004.
13. J. Nakano, S. Tanabe, Thermal comfort conditions in semi-outdoor environments for short-term Occupancy, Proceedings of Healthy Buildings 2003 (1) 755 – 760 (zie ook 815 – 821 en 822 – 827 in dezelfde bundel).
14. A. Wagner, C. Moosman, T. Gropp, E. Gossauer, 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, Windsor, 2006.
15. J. Pejtersen, L. Allerman, T.S. Kristensen, M. Sjøstrom, Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices, Indoor Air 16 (5) (2006) 392 – 401.
16. M.J. Mendell, Q. Lei-Gomez, A.G. Mirer, O. Seppänen, G. Brunner, Risk factors in heating, ventilation and air-conditioning systems for occupant symptoms in US office buildings: the US EPA BASE study, Indoor Air 18 (4) (2008) 301 – 316.
17. J.L. Leyten, S.R. Kurvers, J. van den Eijnde, Robust Design as a Strategy for higher workers' productivity – A reaction to Rehva Guide No 6 Indoor Climate and Productivity in Offices, Proceedings of conference Adapting to Change: New Thinking on Comfort, Windsor, 2010.

**VIDEOVRAAGBAAK**  
Alle antwoorden over gaswarmtepompen

**HOEVEEL ENERGIE KUNT U BESPAREN MET EEN AISIN GASWARMTEPOMP?**

Dutch Green Building Council

0:19 / 8:16 360p

**GASENGINEERING.NL**