

# Subjectieve effecten van luchtbeweging met lage snelheid

Donald A. McIntyre, Ph. D., MCIBS \*

Onderstaand artikel was een voordracht gehouden tijdens het congres Clima 2000 te Budapest van 17-19 september 1980.

Alle tijdens het congres gehouden voordrachten zijn in boekvorm verschenen en sommige congresgangers waren zo vriendelijk deze indrukwekkende reeks artikelen ons ter beschikking te stellen voor verslaggeving in ons tijdschrift (dit zal nog gebeuren) en/of volledige overname van een of meerdere artikelen in ons blad.

De in het Russisch en Pools geschreven artikelen vielen voor ons af, daar wij deze talen niet machtig zijn, zodat een toch nog respectabel aantal Engelse artikelen voor ons ter lezing overbleef.

Onze keuze viel o.a. op onderstaand artikel en ons lid de heer R. C. Goudswaard was zo bereidwillig hiervoor de vertaling van het Engels in het Nederlands te verzorgen. De redactie wil de heer Goudswaard van harte danken voor de vele tijd en moeite door hem aan deze taak besteed.

## Summary

### Subjective effects of low speed air movement

In an office unwanted air movement may cause complaints of draughts. However there is also the possibility that too low air movement may cause feelings of stuffiness and airlessness. An experiment was carried out at ECRC Capenhurst to test whether there is an optimum air speed for comfort and pleasantness.

Nine seated subjects were exposed to a steady horizontal air movement over the whole body. Speeds of less than 0.1 m/s, 0.15, 0.25 and 0.35 m/s were used. During the first hour of the three hour session, each subject adjusted the temperature of the chamber to her own preferred level, so that the experiment was conducted with the subjects in thermal comfort. The average chosen temperatures ranged from 24°C in still air to 25°C at a speed of 0.35 m/s. The subjects could not reliably detect the air movement, even at the rather high speed of 0.35 m/s. This may be explained by the steadiness of the air flow, and its temperature of 25°C; at lower temperatures this speed would normally be considered a draught. The subjects reported their feelings on several rating scales. There was no effect of air speed on any of the scales, and no evidence to suggest that there is an optimum air speed, nor that low air speeds may be found stuffy.

## Samenvatting

In een kantoor kan een ongewenste luchtbeweging klachten over tocht veroorzaken. Het is echter ook mogelijk dat een te geringe luchtbeweging een gevoel van benauwdheid en gebrek aan frisse lucht kan geven. In Capenhurst werd een onderzoek uitgevoerd om na te gaan of er een optimale luchtsnelheid is voor een zekere behaaglijkheid.

Negen personen, in zittende positie, werden blootgesteld aan een gelijkmatige, horizontale luchtbeweging over het gehele lichaam. De luchtsnelheden waren minder dan 0,1 m/s, 0,15 m/s, 0,25 m/s en 0,35 m/s. Gedurende het eerste uur van de drie uren durende proef regelde iedere persoon de temperatuur van het vertrek naar eigen voorkeur, zodat het experiment werd uitgevoerd bij een voor iedere persoon behaaglijke temperatuur. De gemiddelde gekozen temperatuur lag tussen 24°C in stilstaande lucht en 25°C bij een luchtsnelheid van 0,35 m/s.

De proefpersonen konden de luchtbeweging niet duidelijk waarnemen, zelfs niet bij een vrij hoge luchtsnelheid van 0,35 m/s. Dit kan worden verklaard door de gelijkmatigheid van de luchtstroom en de temperatuur van 25°C; bij lagere temperaturen zou deze luchtsnelheid normaliter als tocht worden ervaren. De proefpersonen rapporteerden hun waarnemingen op verschillende waarderingsschalen. Op geen enkele schaal kwam een effect van de luchtsnelheid tot uiting en er is geen duidelijke indicatie aan te voeren dat er een optimale luchtsnelheid bestaat, noch dat lage luchtsnelheden per definitie als benauwd worden ervaren.

## 1 Inleiding

Luchtbeweging over een persoon kan verschillende gewaarwordingen teweegbrengen. Als de lucht koeler is dan het lichaamsoppervlak, zoals gewoonlijk het geval is, neemt de convectieve koeling toe, en de persoon voelt zich koeler. Dit koelend effect kan een onplezierige tocht of een prettige koele bries zijn, afhankelijk van de algemene warmtetoestand van de persoon. Lage luchtsnelheden, minder dan ongeveer 1 m/s, zijn primair voelbaar door het koelend effect. Bij snelheden boven 1 m/s wordt de stuwdruk van de lucht merkbaar, ook de storing veroorzaakt door de luchtbeweging wordt als hinderlijk ervaren. Zeer lage snelheden doen soms een gevoel van stagnatie of benauwdheid veronderstellen. Deze feiten zijn meer gebaseerd op persoonlijke ondervinding dan op laboratorium proeven. Een waargenomen behaaglijkheid van luchtbeweging kan zijn ontstaan door zachte prikkeling van de gevoelszenuw in de huid.

Het is derhalve mogelijk dat er een optimale luchtsnelheid voor behaaglijkheid bestaat, waaronder gevoelens van benauwdheid voorkomen en waarboven zich onplezierige gevoelens van tocht voordoen. Een onderzoek in Capenhurst beoogde deze veronderstelling te toetsen. De belangrijkste factor van invloed op de ontvankelijkheid van een persoon voor zijn thermische omgeving is zijn gevoel voor warmte. Het effect van een secundaire prikkel, zoals een lage luchtsnelheid, kan onmogelijk worden onderzocht als de personen in verschillende mate hun warmtegevoel ondergaan. Ook het aangenamen of tegengestelde effect van een prikkel wordt grotendeels aangepast aan het warmtegevoel van het lichaam (3). McIntyre (8) heeft aangetoond hoe eenzelfde plaatselijke luchtbeweging op de wang kan worden ervaren als aangenaam of onaangenaam, afhankelijk van het zich van te voren warm of koel voelen van de proefpersoon.

Om dergelijke effecten te elimineren, werd de proef uitgevoerd bij de eigen voorkeurt temperatuur van iedere proefpersoon. De persoon zat alleen in een vertrek en was in staat de temperatuur te regelen op de voor hem geldende optimale waarde. Op deze manier voelde iedere persoon zich even behaaglijk en was het mogelijk het effect van de luchtbeweging te onderzoeken onafhankelijk van de warmtetoestand. Iedere proefpersoon werd blootgesteld aan vier luchtsnelheden: < 0, 1-0, 15-0, 25-0, 35 m/s. Gedurende de

\* Electricity Council Research Centre, Capenhurst, Chester, UK

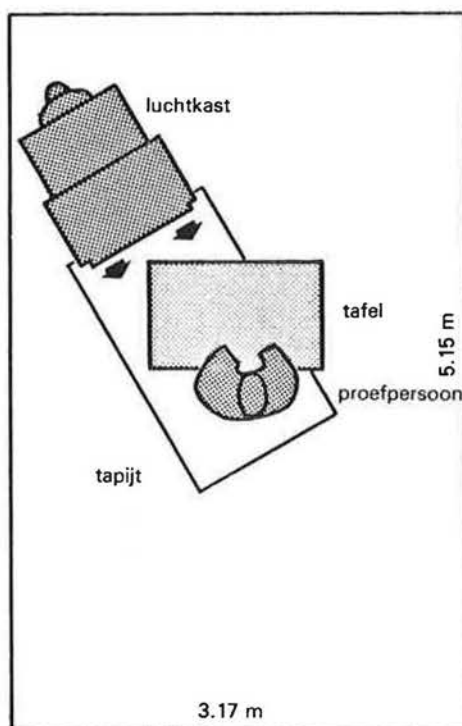
proef moest de proefpersoon enige taken verrichten, als deel van een onderzoek naar gevoelsreflecties. Van dit onderzoek is apart verslag gedaan (2).

## 2 Het vertrek waar de proef werd uitgevoerd

De proef werd gehouden in de C1 ruimte te Capenhurst. Het vertrek heeft weinig massa, de afmetingen zijn 5,15 x 3,17 x 2,46 m. De lucht komt binnen door een doorlatende vloer en wordt afgevoerd via geperforeerde plafondtegels. De koeling is continu in bedrijf, om een teveel aan vocht uit de lucht te verwijderen, waardoor in het vertrek de R.V. op ongeveer 40% gehouden kon worden. De capaciteit van de elektrische verwarming bedroeg totaal 19 kW, het vertrek kon zowel worden verwarmd als gekoeld in een mate van maximaal 0,25 K/min. De wanden waren bedekt met lichtgewicht gordijnen, om de gemiddelde stralingstemperatuur en de luchttemperatuur gelijk te doen zijn, zelfs gedurende temperatuursveranderingen. Gedurende het eerste uur van iedere proef regelde de proefpersoon zelf de ruimtetemperatuur door middel van een regelkast.

Wanneer de proefpersoon een temperatuurverhoging of -verlaging koos werd gedurende 15 minuten automatisch op de gewenste temperatuur geregeld. Men kon kiezen tussen een temperatuurverandering van 2K, 1K, ½K of geen verandering. Na het eerste uur bleef de automatische regeling in bedrijf, waardoor de temperatuur die door de proefpersoon was gekozen gedurende de rest van de proef bleef gehandhaafd. De proefpersoon zat in een horizontale luchtstroom voortgebracht door een luchtkast. Het ontwerp van deze kast was afgeleid van een door Fanger en medewerkers gebruikt (5); de twee ventilatoren in het oorspronkelijke ontwerp waren vervangen door een enkele ventilator, die beter bleek te regelen. De kast had een rechthoekige uitlaat van 1,47 x 0,81 m, deze leverde een gelijkmatige luchtstroom over de zittende proefpersoon. Het geluidsniveau 1 m van de voorkant van de kast was 50 dBA, het toerental van de ventilator was 590 omw/min bij de hoogste luchtsnelheid tijdens de proef toegepast. Bij lagere toerentallen werd het geluid van eenzelfde ventilator in een aangrenzend vertrek uitgezonden door een luidspreker om zodoende het geluidsniveau op 50 dBA te handhaven.

Alle proeven vonden op deze wijze bij hetzelfde geluidsniveau plaats. De luchtkast was geplaatst voor de proefpersoon en enigszins gericht aan een zijde, bij de verste hoek van een tafel, zie figuur 1. De



**Figuur 1**  
Plattegrond van het vertrek, waarop aangegeven de posities van de luchtkast en de proefpersoon. Geconditioneerde lucht komt in de kamer over het gehele vloeroppervlak; een tapijt verhindert interferentie met de luchtstroom uit de luchtkast.

gelijkmatigheid van de luchtstroom werd nagegaan met een thermister-anemometer. De weerstand veroorzaakt door de tafel en de regelkast gaven een plaatselijke snelheidsvermindering, elders waren de luchtsnelheden over de hoogte gemeten redelijk constant.

## 3 Wijze van onderzoek

Van een plaatselijk administratiekantoor werden twaalf vrouwelijke personen gerecruiteerd. Het waren allemaal typistes. Iedere persoon nam deel aan het onderzoek gedurende drie achtereenvolgende dagen, waarbij het ging om zes proeven van drie uur. De eerste proef werd als oefening beschouwd; de resultaten hiervan werden niet meegerekend. Er werden dus vijf onderzoekverrichtingen gebruikt, met luchtsnelheden van stilstaande lucht ( $< 0,1$ ), 0,15-0,25-0,35 en 0,25 m/s. De proef bij 0,25 m/s werd herhaald zonder een visuele taak. De presentatie van de condities werd opgegeven in een ogenschijnlijk willekeurige volgorde. De proefpersonen droegen lichte zomerkleren met korte mouwen, allen droegen dezelfde kleren gedurende de proeven. De gemiddelde kledingisolatie bedroeg ongeveer 0,5 clo eenheden. De leeftijd varieerde van 18 tot

48, met een gemiddelde van 29 jaar. De luchtkast was reeds op de juiste snelheid in bedrijf als de persoon de ruimte binnenkwam. De aanvangsluchttemperatuur was gewoonlijk ingesteld op- of iets beneden de te verwachten gekozen temperatuur; uit vroegere studies was gebleken dat de aanvangstemperatuur niet van invloed was op de uiteindelijke keuze.

Na het eerste uur, tijdens welke de persoon de ruimte op de voor haar optimale temperatuur bracht, werd de temperatuur de laatste twee uren van de proefperiode constant gehouden. Gedurende deze tijd werden drie verschillende verlichtingswijzen toegepast, ieder gedurende een half uur. In iedere periode van een half uur voerde de proefpersoon visuele taken uit, t.w. het opzoeken van namen in een telefoonboek en het overnemen van een deel van een wiskundetabel op een schrijfmachine. Gedurende het laatste half uur van iedere proef had men geen taak. Gedurende toestand 5 waren er geen taken en de personen hielden zichzelf bezig met lezen, breien of naar de radio luisteren. De personen vulden ieder half uur een vragenlijst in. De vragen zijn samengevat in tabel 1. In het werkelijke formulier dat aan de proefpersonen werd voorgelegd werden voor de gevraagde categorieën schalen toegepast.

De vragenlijst gebruikte oorspronkelijk de zeven punts schaal voor warmte van ASHRAE. Eén van de eerste proefpersonen had grote moeite met de bediening van het regelsysteem; het bleek ook dat de eerste proefpersonen er naar neigden om het 'warm' te vinden, overeenkomend met 6 op de zeven punts schaal van ASHRAE. Er werd toen besloten dat de Bedford schaal gemakkelijker kon worden gebruikt door naieve proefpersonen, daar de categorieën uitvoeriger zijn aangeduid dan in de ASHRAE schaal. De bevindingen van de eerste drie proefpersonen werden daarom terzijde gelegd en de analyse werd alleen verricht op de laatste negen proefpersonen.

## Tabel 1

Samenvatting van de vragenlijst

- 1 Hoe prettig vind je de condities hier?
- 2 Onderga je enige onbehaaglijkheid?
- 3 In het algemeen, hoe warm voel je je nu?
- 4 Hoe warm zijn je handen?
- 5 Hoe warm zijn je voeten?
- 6 Kun je enige luchtbeweging voelen?  
Zo ja, is het aangenaam of onaangenaam?
- 7 Vind je deze ruimte fris of bedompt?

- 8 Hoe aanvaardbaar vind je het geluid in deze ruimte?
- 9 Als dit jouw gebruikelijke kantoor zou zijn, zou je het op deze temperatuur houden?
- 10 Zou je enige verandering in de lucht-beweging aanbrengen?

#### 4 Resultaten

Iedere persoon regelde gedurende het eerste uur de ruimtetemperatuur naar eigen voorkeur. Dit geschiedde door per 15 minuten gebruik te maken van de regeling als omschreven. Van de 45 proeven, t.w. 9 personen maal 5 omstandigheden, waren er slechts 6, waarbij de proefpersoon aan het eind van het insteluur niet tevreden was met de laatste temperatuur.

De ruimtetemperatuur werd voortdurend geregistreerd, gebruikmakend van een sensor op een hoogte van 2 m. Verder was een thermokoppel aangebracht onder het tafelblad 0,25 m boven de vloer, de uitkomsten werden geregistreerd op een data logger. De gemiddelde ruimtetemperatuur gekozen door de negen proefpersonen is weergegeven in tabel 2 als functie van de luchtsnelheid.

Een eenvoudige, herhaalde meetanalyse van afwijkingen werd toegepast, deze toonde een aanzienlijk verschil tussen de condities aan ( $p < 0,01$ ). Terwijl de gemiddelde temperaturen in de tabel een regelmatige stijging met de luchtsnelheden tonen, was er in feite een zeer grote variatie tussen de proefpersonen. Sommige personen gaven geen temperatuurverandering met de luchtsnelheid aan, terwijl andere hogere temperaturen bij lagere snelheden kozen.

Tabel 2 geeft ook de voorspelde gewenste luchttemperatuur als functie van de luchtsnelheid aan, op basis van de behaaglijkeheidsvergelijking van Fanger (4). Een verschil van 1,4K tussen de condities 1 en 4 is te verwachten, wat redelijk overeenstemt met de waarneming.

De laatste vier warmte-antwoorden van iedere proef werden gemiddeld om het gemiddelde warmte-gevoel te geven. Het gemiddelde antwoord van de proefpersonen per conditie is weergegeven in tabel 3.

Een herhaalde enkele factor analyse van variaties toonde in het algemeen een beduidend effect op de warmte-beoordeling. Uit een daarop volgende analyse van verschillen tussen gemiddelden, volgens de Newman Keuls procedure, bleek dat de enige beduidende verschillen lagen tussen de warmte-antwoorden van C5 ( $v = 0,25$

m/s, geen taak) en C3 ( $v = 0,25$  m/s, taak), en C5 en C2 ( $v = 0,15$  m/s, taak). Dit houdt in dat er geen verschil van enige betekenis was tussen het warmteoordeel van de proefpersonen voor de vier condities waarbij taken werden uitgevoerd (C1 t/m C4). Bij de vijfde conditie, waarbij geen taken werden verricht, voelden de personen zich beduidend koeler. De feitelijke luchttemperatuur in C5 was gelijk aan die in C3, terwijl ook de luchtsnelheid hetzelfde was.

Het verschil in gemiddeld warmte-antwoord tussen werk- en rust omstandigheden is ongeveer 0,5 schaal eenheden. Fanger's behaaglijkeheidsvergelijking voorspelt dat een verandering in het metabolisme van  $15 \text{ W/m}^2$  een verandering in het gemiddeld oordeel teweegbrengt in deze orde van grootte. Het zou daardoor blijken dat de verrichte activiteiten, dat enig typewerk omvatte, een toename van het metabolisme en de hieraan gepaardgaande warmteproductie veroorzaakte. Een dergelijke toename zal een toename van het warmte-gevoel geven, dat zou kunnen worden gecompenseerd door een daling van de luchttemperatuur van ongeveer 1,5K.

Een veelvoudige regressie analyse werd uitgevoerd voor de gemiddelde warmtebeoordeling gedurende de laatste twee uren van de proef als functie van de luchttemperatuur en de vierkantswortel van de luchtsnelheid; tabel 4. Daar aangetoond is dat het al of niet verrichten van taken effect heeft op de warmtebeoordeling, werd de regressieve analyse alleen verricht met de gegevens van de vier taak-condities. Er werd een zeer duidelijke relatie gevonden tussen warmtecijfer, luchttemperatuur en luchtsnelheid.

De resultaten tonen aan dat het warmtegevoel zowel wordt beïnvloed door de luchttemperatuur als door de luchtsnelheid. De regressiecoëfficiënten kunnen worden vergeleken met die welke worden voorspeld door de gehaaglijkeheidsvergelijking van Fanger; de coëfficiënt voor de luchttemperatuur is gelijk, terwijl de coëfficiënt voor de luchtsnelheid binnen de standaard afwijking van de voorspelling ligt. Dit resultaat is niet verwacht. Daar de deelnemers in staat waren zelf de luchttemperatuur te regelen, zou kunnen worden verwacht dat dit door de regeling een constant warmtegevoel zou geven.

Tabel 2

Samenvatting van de luchttemperatuur gegevens Luchttemperaturen  $^{\circ}\text{C}$

|                        | Conditie 1<br>$V < 0,1$ | Conditie 2<br>$V = 0,15$ | Conditie 3<br>$V = 0,25$ | Conditie 4<br>$V = 0,35$ | Conditie 5<br>$V = 0,25$ | Statistische<br>test |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Gemeten                | 23,5                    | 24,5                     | 25,4                     | 25,3                     | 25,3                     | $p < 0,01$           |
| Voorspelling<br>Fanger | 24,4                    | 24,8                     | 25,4                     | 25,9                     | 25,4                     |                      |

Opm.: Luchttemperatuur gemeten onder de tafel en gemiddeld over de laatste twee uren. Voorspelling volgens de vergelijking van Fanger, met de aanname  $H = 75 \text{ W/m}^2$ ,  $I_{clo} = 0,5$ .

Tabel 3

Warmte-antwoorden

Bedford schaal: negen proefpersonen

#### Behandeling

| Conditie               | 1   | 2    | 3    | 4    | 5                |
|------------------------|-----|------|------|------|------------------|
| Luchtsnelheid m/s      |     | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,25 (geen taak) |
| Gemiddeld warmtecijfer | 4,3 | 4,6  | 4,6  | 4,4  | 4,1              |
| Standaard afwijking    | 0,7 | 0,7  | 0,6  | 0,8  | 0,9              |

De afwijkingen tussen de warmte-cijfers voor C5 en C3, en tussen C5 en C2 bleken verschillend te zijn ( $p < 0,05$ ), volgens de Newman Keuls procedure.

Tabel 4

Regressie analyse van warmte-waardering

|                     | a     | b               | c                | r               |
|---------------------|-------|-----------------|------------------|-----------------|
| Coëfficiënten       | -1,16 | $0,24 \pm 0,04$ | $-0,70 \pm 0,70$ | $0,75 (n = 36)$ |
| Voorspelling Fanger |       | 0,25 ..         | -1,5             |                 |

$$\text{Warmte-cijfer} = a + b T_a + c \sqrt{V}$$

De correlatie tussen warmtegevoel en de omgevingsvariabelen van luchttemperatuur en snelheid zou dan nul zijn. Er zou echter een correlatie zijn tussen luchttemperatuur (afhankelijk variabele) en luchtsnelheid (onafhankelijk variabele). Deze relatie is aangegeven in tabel 2; deze was minder sterk dan verwacht, vanwege de grote verschillen tussen de deelnemers.

Tabel 5 geeft een opgave weer van een gegeven warmte-cijfer met betrekking tot de warmte-voorkeur. De tabel is ontleend aan de opgaven na een uur, dus aan het eind van de periode dat de deelnemers de vertrektemperatuur konden regelen. Van het totaal van 44 opgaven (negen proefpersonen maal 5 condities, minus een afwezige) was een totaal van 36 stemmen voor 'geen verandering' en 8 voor temperatuurverhoging. Niemand wenste een daling van de temperatuur. De proefpersonen deden hun laatste temperatuurkeuze op het regelpaneel op ongeveer dezelfde tijd; er waren 38 verzoeken voor 'geen verandering' en 6 voor een verhoging. De verzoeken voor een verhoging en de voorkeurstemmen voor een verhoging waren echter niet allemaal van dezelfde proefpersonen afkomstig.

Van de 36 personen die 'geen verandering' op de voorkeurschaal te kennen gaven, vonden 19 het 'behaaglijk warm' volgens de Bedford schaal. Het blijkt daardoor dat het middelpunt van de Bedford schaal niet noodzakelijkerwijs samenvalt bij een door een persoon gegeven voorkeurstemperatuur.

De analyse van variaties geeft geen duidelijk verschil aan tussen de condities aangegeven in tabel 1, anders dan die van warmte. De luchtsnelheid, oplopend naar het maximum van 0,35 m/s, had geen effect op de beoordeling van de proefpersonen met betrekking tot behaaglijkheid, onbehaaglijkheid, warmte van handen of voeten, aangenaam gevoel voor luchtbeweging of frisheid. Er werd over het geluid niet verschillend geoordeeld, dit kon ook niet worden verwacht daar het geluidsniveau constant werd gehouden.

In de vragenlijst werd gevraagd of de proefpersoon enige luchtbeweging kon bespeuren. Iedere persoon moest de vraag vier keer beantwoorden tijdens de laatste twee uren van iedere periode. Vier personen beweerden steeds een luchtbeweging te voelen, zelfs bij conditie 1, waar de snelheid minder was dan 0,1 m/s. Drie personen waren ongevoelig en waren niet in staat een snelheid van 0,35 m/s op te merken. De overblijvende twee

**Tabel 5**  
Warmte-cijfer en warmtevoorkeur

| Warmte-cijfer   | Voorkeur |                  |        |
|-----------------|----------|------------------|--------|
|                 | warmer   | geen verandering | koeler |
| te warm         | 6        | 0                | 0      |
| behaaglijk warm | 5        | 2                | 19     |
| behaaglijk      | 4        | 2                | 15     |
| behaaglijk koel | 3        | 1                | 2      |
| te koel         | 2        | 3                | 0      |

De tabel geeft het aantal uitgebrachte meldingen aan het eind van het eerste uur.

personen ondervonden geen enkele lucht-beweging bij conditie 1, maar ondergingen dit wel bij alle andere condities. Er was geen verband tussen de gemiddelde luchttemperatuur welke door een proefpersoon werd ervaren en of ze een lucht-beweging kon constateren. Dit laat de vraag open of een proefpersoon in werkelijkheid wel een luchtsnelheid kan constateren. De snelheid bij conditie 1 was minder dan 0,1 m/s en dat is minder dan het onderste onderscheidingsvermogen zoals dat bij andere werkende personen is gemeten (10). De omstandigheden leidden er toe de proefpersonen te suggereren dat ze in een luchtstroom zaten, ze zaten voor een grote kast waar onophoudelijk ventilatorgeluid uitkwam. Het bleek dat dit enige personen aanmoedigde te beweren dat ze een luchtstroom konden voelen, wat tot de conclusie leidde dat ze in feite niet betrouwbaar de hogere snelheden tot aan 0,35 m/s konden onderscheiden. Dit is op het eerste gezicht een verrassend resultaat. Er moet echter aan worden herinnerd dat de luchtstroom continu was, met een vrij lage turbulentie, dat deze om het gehele lichaam stroomde en op een tamelijk hoge temperatuur was (gemiddeld ongeveer 25°C). Hierdoor zou het lichaam zich aan het koelend effect van de luchtbeweging aanpassen, dat constant en daardoor niet merkbaar was.

## 5 Discussie

Het koelend effect van luchtbeweging wordt in het algemeen goed begrepen. Het effect kan voorspeld worden met gebruikbaarmaking van de behaaglijkeidsvergelijking, dit is experimenteel voor een luchtsnelheid van 0,8 m/s bevestigd (5). De door de personen gekozen temperaturen kwamen overeen met de behaaglijkeidsvergelijking, als een warmte-afgifte van 75 W/m<sup>2</sup> wordt aangenomen. Het is interessant te constateren dat meer dan de helft van de bevindingen, die aan het einde van het eerste uur werden vermeld tot de categorie 'behaaglijk warm' behoorden. Dit versterkt de suggestie, elders gedaan (9) dat de gebruikelijke ze-

venpunts schalen voor warmte niet symmetrisch zijn vanuit het middelpunt.

Slechts twee van de negen personen waren enigszins in staat de staat luchtsnelheden te onderscheiden en dit was statistisch geen erg overtuigend getal. Zonder een meer ontwikkelde test is het niet mogelijk te stellen dat personen die zeiden dat ze luchtbeweging konden voelen, dit ook werkelijk voelden. Daar zij beweerden een luchtbeweging te voelen toen de ventilator uitstond, is het waarschijnlijk dat zij niet op de luchtbeweging hebben gereageerd maar op het ventilatorgeluid. Zij waren nagenoeg niet in staat luchtbewegingen tot aan 0,35 m/s te onderscheiden, hetgeen, dit moet worden beseft, boven de gebruikelijke tochtgrens ligt. De oorzaak van dit gebrek aan onderscheidingsvermogen moet worden gezocht in de gelijkmatigheid van de luchtstroom en de relatief hoge temperatuur van 25°C. Tocht kan gewoonlijk worden geconstateerd of door het koelend effect of door de uitgeoefende druk. Het koelend effect werd in dit onderzoek vrijwel geëlimineerd door de proefpersonen zelf de temperatuur in het vertrek te laten regelen. Het effect van de stuwdruk neemt toe met het kwadraat van de snelheid, bij 0,35 m/s is deze druk slechts 1/10e dan die bij een snelheid van 1 m/s. Verder kon de huid zich door de rustige luchtstroom aan een zachte prikkel aanpassen, waardoor deze niet meer voelbaar werd.

De resultaten van een vroeger onderzoek bij ECRC (8) dat het gemiddelde van waarderingscijfers statistisch ongeschikt kan zijn om te gebruiken in termen van behaaglijkheid van luchtbeweging. Bij een onderzoek, waarbij luchtstromen op de wang waren gericht, bleek dat als de luchtsnelheid werd opgevoerd van 0,15 tot 0,5 m/s, de gemiddelde behaaglijkeidswaardering onveranderd bleef. De afwijkingen namen echter geleidelijk toe. Een verdere analyse toonde een gedifferentieerd antwoord tussen de verschillen-

de personen aan: de personen die zich warm voelden vonden de toegenomen luchtsnelheid prettig, terwijl degenen die het koel hadden het onaangenaam vonden. Bij een vaste luchttemperatuur zal een groep mensen een reeks van temperatuurgevoelens te kennen geven en zij zullen een luchtsnelheid verschillend ervaren. Er is geen reden om uit te gaan van een gemiddelde van de behaaglijkheidscijfers; het is niet mogelijk om behaaglijkheid en onbehaaglijkheid bij elkaar op te tellen.

Noch het hier gerapporteerde onderzoek, noch andere onderzoeken beschreven in de literatuur, geven een sterke ondersteuning van de gedachte dat gevoelens van behaaglijkheid of het zich aangenaam voelen door een hogere uniforme luchtsnelheid kunnen worden verbeterd. Dit laat de vraag open of variaties in snelheid een

aangename gewaarwording en een gevoel van frisheid zullen veroorzaken, zoals gesuggereerd door Bedford (1). Het moet worden gezegd, dat voor zulk een gedachte weinig praktische bijval te vinden is, tenminste voor het geval van zittend werk. In een zeer warme omgeving zal het koelend effect van een nu en dan voorkomende tocht zeker als aangenaam worden ervaren. Voor mensen in een meer thermisch neutrale omgeving echter blijkt volgens Fanger en Pedersen (6) een fluctuerende tocht zeer voelbaar en onaangenaam te zijn. Het blijkt inderdaad dat voor personen in neutraal verwarmde ruimten met zittende arbeid in feite elke merkbare prikkel door de omgeving als storend en hinderlijk kan worden beschouwd.

## 6 Conclusies

1 Proefpersonen waren in staat de tem-

peratuur van het vertrek naar hun tevredenheid te regelen bij luchtsnelheden tot aan 0,35 m/s. De gekozen temperatuur was een functie van de luchtsnelheid wanneer dit werd geanalyseerd voor alle personen. Individueel waren de personen als proefobject tamelijk onbetrouwbaar. 2 De luchtsnelheid had geen invloed op door de proefpersonen gemelde constatering van luchtbeweging; het blijkt dat een persoon in neutrale warmte in dunne kleding bij ongeveer 25°C luchtsnelheden tot aan 0,35 m/s niet kan constateren. 3 De proefpersonen neigden er naar de door hen gekozen temperatuur eerder als behaaglijk warm dan als behaaglijk te omschrijven. 4 Luchtsnelheid heeft geen effect op behaaglijkheid of comfort. Er is geen reden te veronderstellen dat een toename van luchtsnelheid kan leiden tot zeer goede behaaglijkheidscondities.

## 7 Referenties

- 1 Bedford, T. Basic principles of ventilation and heating. H. K. Lewis, London (2nd edition), 1964.
- 2 Boyce, P. R. Veiling reflections: an experimental study of their effects on office work. ECRC/M1230, 1979.
- 3 Cabanac, M. Plaisir ou déplaisir de la sensation thermique et homeothermie. *Physiology and Behaviour*, 4, 359-364, 1969.
- 4 Fanger, P. O. Thermal Comfort. McGraw-Hill, New York, 1972.
- 5 Fanger, P. O., Ostergaard, J. Olesen, S. and Madsen, TH. L. The effect on man's comfort of a uniform air flow from different directions. *ASHRAE Trans.* 80, (2), 142-157, 1974.
- 6 Fanger, P. O. and Pedersen, C. J. K. Discomfort due to air velocities in spaces. Proceedings of Conference: Institut International du Froid. Commissions B1, B2 and E1, Belgrade 1977, 289-296, 1977.
- 7 McIntyre, D. A. Determination of individual preferred temperatures. *ASHRAE Trans.* 81, (2), 131-139, 1975.
- 8 McIntyre, D. A. The effect of air movement on thermal comfort and sensation, in 'Indoor Climate: Effects on human comfort, performance and health in residential, commercial and light industry buildings'. WHO Conference, Copenhagen, 1978.
- 9 McIntyre, D. A. Seven point scales of warmth. *Building Services Engineer*, 45, 215-226, 1978.
- 10 Turner, D. Radiative and convective stimuli of threshold intensity. *J. Hyg.* 53, 32-49, 1955.