

Europees binnenlucht- kwaliteitsonderzoek



De onderzoeksmethode zoals beschreven in het handboek [3], werd opgezet om te zorgen dat in elk land de veldexperimenten op dezelfde manier zouden worden uitgevoerd. Alleen dan kan een zinvolle vergelijking tussen de resultaten van de verschillende landen worden gemaakt.

Om de kans te vergroten dat alle van belang zijnde gegevens representatief zouden zijn voor een bepaalde binnenmilieuconditie, was het onderzoeksplan opgesteld om één gebouw op één dag te onderzoeken met een minimum aan vereiste metingen. Voor het verkrijgen van een minimaal gegevensbestand van Europese gebouwen, werden per land tenminste zes gebouwen geselecteerd. In elk gebouw werden vijf representatieve lokaties onderzocht. In alle negen landen werden de experimenten tijdens het stookseizoen uitgevoerd, zodat vergelijkbare thermische condities in de gebouwen van de verschillende landen werden bereikt. Voor het identificeren van de verontreinigende bronnen in de geselecteerde ruimten en voor het berekenen van de chemische en sensorische bronsterkten van verontreinigingen afkomstig van de

De binnenluchtkwaliteit staat steeds meer in de belangstelling. Veel klachten met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit treden op. Ondanks uitgebreide binnenluchtmetingen kunnen de oorzaken van die klachten lang niet altijd worden achterhaald. Voor een deel wordt de schuld gegeven aan eerder uitgevoerde energiebesparende maatregelen. In een workshop over beheersing van de binnenluchtkwaliteit, georganiseerd door de Europese Commissie, werd onder meer geconcludeerd dat het bereiken van een gezond en comfortabel binnenmilieu gecombineerd met een efficiënt gebruik van energie, zowel minimalisering van de blootstelling aan binnenluchtverontreiniging als een goed functionerende en energie-efficiënte verwarming-, ventilatie- en luchtbehandelingsinstallatie vereist [1]. Deze workshop resulteerde in de start van het "European Audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings" eind 1992 en werd mede gefinancierd door de Europese Unie in het Joule II programma. Zesenvijftig kantoorgebouwen in negen Europese landen werden tijdens het stookseizoen 1993-1994 onderzocht [2]. Vijftien instituten uit elf landen (Nederland, Denemarken, Frankrijk, België, Engeland, Griekenland, Zwitserland, Finland, Noorwegen, Duitsland en Portugal) namen deel. Een algemeen Europees-breed geaccepteerde methode voor het onderzoeken van met name de binnenluchtkwaliteit in kantoorgebouwen, inclusief een algemeen geaccepteerde enquête en een algemeen geaccepteerde inspectielijst, werden ontwikkeld [3].

*door dr. ir. Philomena M. Blyussen**

werknemers en hun activiteiten en het ventilatiesysteem werden de gebouwen tijdens normale bezetting en onder normale ventilatiecondities onderzocht. Het onderzoek omvatte fysische en chemische metingen, evaluatie van de waargenomen luchtkwaliteit in de geselecteerde ruimten door een getraind sensorisch panel en metingen van de ventilatiestromen naar de ruimten. De fysische en che-

mische metingen in de ruimten omvatten het meten van thermische parameters (operatieve temperatuur, luchttemperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid), geluidsmetingen, en het meten van de concentratie van koolmonoxyde (CO), kooldioxyde (CO₂) en vluchtige organische stoffen

* TNO Bouw, Afdeling BBI

(VOC) in de lucht. Luchtstromingen tussen de geselecteerde ruimten en de aangrenzende ruimten (gangen) werden gemeten indien nodig. Bijkomende metingen in de aangrenzende ruimten waren CO-, CO₂- en T(Totale)VOC-metingen en evaluaties van de waargenomen luchtkwaliteit. In de mechanisch geventileerde gebouwen werd tevens de waargenomen luchtkwaliteit van de toevoerlucht bepaald. Alle chemische metingen werden ook in de buitenlucht uitgevoerd. Op één van de vijf geselecteerde lokaties van elk gebouw werden eenvoudige VOCs (o.a. met de Tenax-GC methode), en stofdeeltjes in de lucht gemeten. Een enquête voor het evalueren van symptomen en klachten werd door de werknemers van de gebouwen ingevuld. De gebouweigenschappen werden verzameld door middel van een inspectielijst. Het jaarlijkse energiegebruik van de gebouwen en de weercondities werden geregistreerd.

Voor een uitgebreide beschrijving van de toegepaste procedure zie TVVL-Magazine no.8, augustus 1995 [4] of het handboek [3].

GESELECTEERDE GEBOUWEN

Een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de 56 geselecteerde gebouwen is gepresenteerd in tabellen 1 en 2 (de gegeven informatie is gebaseerd op meer dan 50 gebouwen). Meer gedetailleerde informatie kan worden gevonden in de nationale rapporten [5-13] of in het eindrapport [2]. De meerderheid van de geselecteerde gebouwen lag in de stad en had minder dan 500 werknemers. 50% van de gebouwen waren meer dan 10 jaar in gebruik, de meerderheid had minder dan acht verdiepingen en roken was toegestaan in meer dan 80% van de gebouwen. De informatie in tabel 2 is verkregen uit de ingevulde inspectielijsten. De recirculatie, het ventilatievoud en de luchttoevoer zijn daarom ontwerpwaarden. De meerderheid van de geselecteerde gebouwen had mechanische ventilatie met koeling, maar zonder recirculatie. In ongeveer 50% van de gebouwen lag het ontwerpventilatievoud tussen de 1 en 3 per uur, terwijl in 60% van de gebouwen de ontwerp buitenluchttoevoer meer dan 10 liter per seconde per persoon bedroeg. Slechts 12% van de onderzochte gebouwen was met natuurlijke ventilatie ontworpen.

Kenmerk	Percentage (%)	Kenmerk	Percentage (%)
Situatie		Leeftijd in jaar	
platteland	14	2 < leeftijd < 5	29
buitenwijk	25	5 < leeftijd ≤ 10	21
stad	54	10 < leeftijd ≤ 20	11
industriegebied	7	> 20	39
Totaal vloeroppervlak		Aantal verdiepingen	
≤ 2500 m ²	16	1 < verdiepingen ≤ 3	21
2500 m < vloeropp. ≤ 7500 m ²	30	3 < verdiepingen ≤ 7	48
7500 m < vloeropp. ≤ 15000 m ²	29	7 < verdiepingen ≤ 10	13
> 15000 m ²	25	> 10 verdiepingen	18
Aantal werknemers		Roken	
≤ 200 werknemers	36	ja	59
200 < werknemers ≤ 500	34	bepaalde gebieden	23
200 < werknemers ≤ 1000	16	nee	18
> 1000 werknemers	14		

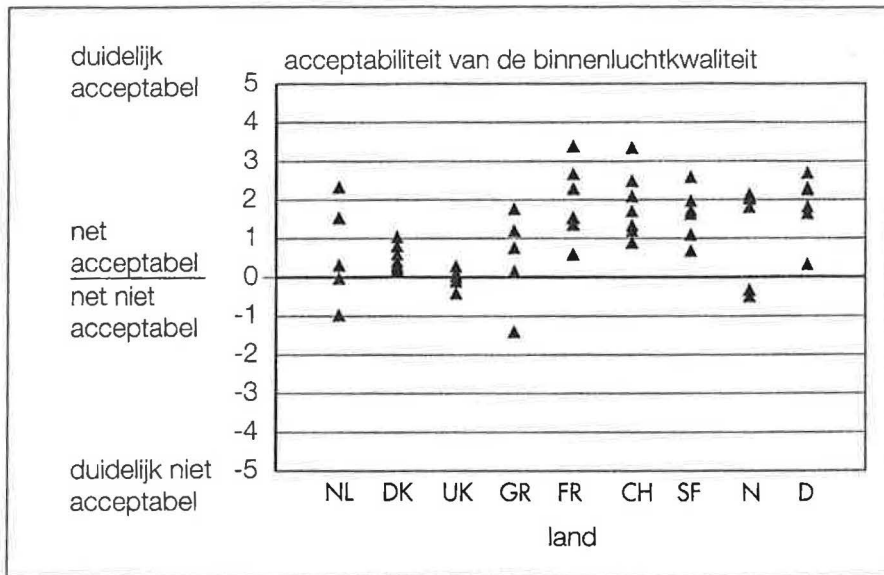
SAMENVATTING VAN KENMERKEN VAN DE 56 GESELECTEERDE GEBOUWEN

-TABEL 1-

Kenmerk	Percentage (%)	Kenmerk	Percentage (%)
Ventilatiesysteem		Luchttoevoer	
natuurlijke ventilatie	12	ventilatievoud < 0,5 h ⁻¹	0
mechanische afvoer	2	0,5 h ⁻¹ < ventilatievoud < 1 h ⁻¹	18
mechanische toevoer	5	1 h ⁻¹ < ventilatievoud < 3 h ⁻¹	51
gebalanceerd VAV systeem	9	ventilatievoud > 3 h ⁻¹	31
gebalanceerde met dubbele kanalen	20	buitenluchttoevoer < 7 l/s.pers.	14
gebalanceerde met inductie units	18	7 l/s.pers. < luchttoev. < 10 l/s.pers.	25
eenvoudig gebalanceerd	30	10 l/s.pers. < luchttoev. < 20 l/s.pers.	28
anders	4	20 l/s.pers. < luchttoev. < 30 l/s.pers.	17
		30 l/s.pers. < luchttoev. < 50 l/s.pers.	11
		buitenluchttoevoer > 50 l/s.pers.	6
Koeling		Verwarming	
geen	25	geen	0
toevoer van gekoelde lucht	48	warmwater	50
lokale fan coil units	18	luchtverwarming	43
gekoelde plafond	5	direct elektrisch	7
koelconvectoren	4	ander systeem	0
Recirculatie		Warmteterugwinning	
geen	61	geen	42
tot 25% recirculatie	6	warmtewiel	27
25% < recirculatie < 50%	12	kruisstroomwarmtewisselaar	8
50% < recirculatie < 75%	12	anders	23
recirculatie > 75%	10		
Ramen		Ventilatieprincipe	
kunnen niet open	32	geen	2
kunnen open, maar mag niet	14	verdringing (incl. natuurlijk)	12
kunnen open	54	volledige menging	87
Regeling ventilatiesysteem		Regeling met sensoren	
handmatig aan/uit	23	geen	55
tijdklok	77	temperatuursensoren	41
		vocht- en andere sensoren	4

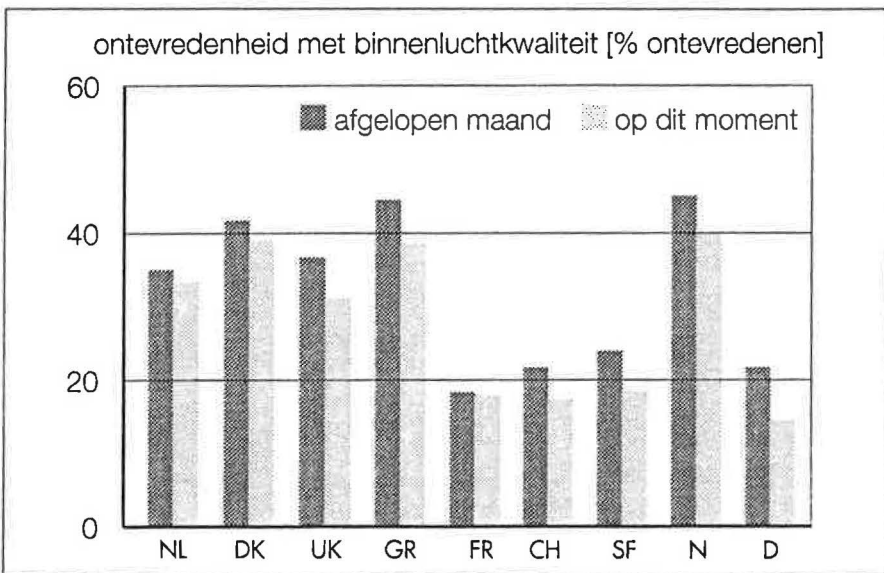
SAMENVATTING VAN INFORMATIE OVER VENTILATIESYSTEMEN VAN DE 56 GESELECTEERDE GEBOUWEN (LUCHTTOEVOER EN RECIRCULATIE ZIJN ONTWERPWAARDEN)

-TABEL 2-



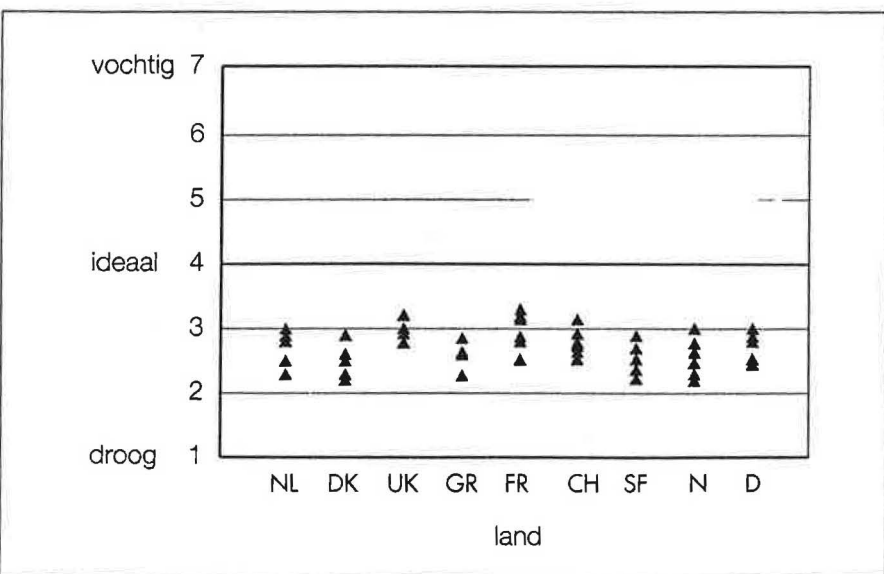
ACCEPTABILITEIT VAN DE BINNENLUCHT OP HET MOMENT VAN HET ONDERZOEK, GEËVALUEERD DOOR DE WERKNEMERS PER GEBOUW PER LAND OP EEN SCHAAL VAN -5 TOT +5

-FIGUUR 1-



ACCEPTABILITEIT VAN DE BINNENLUCHT GEËVALUEERD DOOR DE WERKNEMERS PER GEBOUW PER LAND, WEERGEVEN IN PERCENTAGE ONTEVREDENEN

-FIGUUR 2-



VOCHTIGHEID VAN DE LUCHT OP HET MOMENT VAN HET ONDERZOEK, GEËVALUEERD DOOR DE WERKNEMERS PER GEBOUW PER LAND OP EEN SCHAAL VAN 1 TOT 7

-FIGUUR 3-

RESULTATEN

Enquête

Aan de enquête deden 6537 werknemers mee. Zij vertegenwoordigden meer dan 30000 werknemers. De respons varieerde van 54 tot 97% per onderzocht gebouw met een gemiddelde van 79%. De werknemers van de kantoorgebouwen bestonden gemiddeld uit 47% mannen en 53% vrouwen. Het gemiddelde percentage rokers onder de geënquêteerden varieerde in alle onderzochte gebouwen per land van 22 tot 48%, met een gemiddelde van 31%. De gemiddelde leeftijd van de geënquêteerde werknemers voor alle landen was 39 jaar. Het gemiddelde percentage van werknemers dat ooit exaceem had gehad was 27% en het gemiddelde percentage van werknemers dat ooit last had gehad van astma was 10%. Hooikoorts had gemiddeld 25% van de geënquêteerden ooit ervaren.

In figuur 1 is voor alle gebouwen de acceptabiliteitsscore van de "Op dit moment" respons gepresenteerd (de enquête bestond uit twee delen met vragen: een deel met vragen ten aanzien van klachten en symptomen op het moment van het onderzoek en een deel met vragen ten aanzien van klachten en symptomen ervaren tijdens de maand voor het onderzoek).

Figuur 2 laat voor elk land het gemiddelde percentage van ontevreden voor de "Afgelopen maand" respons en de "Op dit moment" respons zien. Gemiddeld vonden 27% van de geënquêteerde werknemers de binnenluchtkwaliteit niet acceptabel op het moment van het onderzoek, en 32% vonden de binnenluchtkwaliteit niet acceptabel tijdens de maand voor het onderzoek. De binnenluchtkwaliteit werd gegeven op een schaal van duidelijk niet acceptabel (-5) tot duidelijk acceptabel (+5) met een grens tussen net niet acceptabel en net acceptabel (nul). In figuur 2 is van alle werknemers die lager dan nul scoorden aangenomen dat ze ontevreden waren met de luchtkwaliteit. In alle gebouwen werd door de werknemers de lucht als droog ervaren (zie figuur 3; de gemiddelde score was 2,7 op de dag van het onderzoek op een schaal van 1=droog tot 7=vochtig). In de helft van de gebouwen werd de lucht enigszins benauwd bevonden (de gemid-

delde score was 3,9 op de dag van het onderzoek op een schaal van 1=fris tot 7=benauwd). De binnenlucht werd echter niet sterk stinkend bevonden (de gemiddelde score was 2,7 op de dag van het onderzoek op een schaal van 1=geurloos tot 7=stinkt).

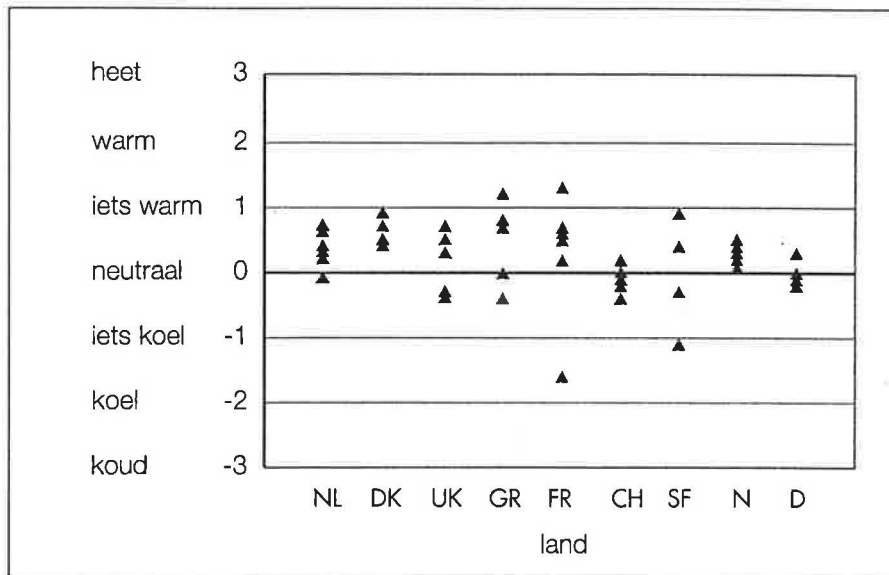
De gemiddelde thermische sensatie varieerde in het algemeen van iets koel tot iets warm op de onderzoeksdag (zie figuur 4; op de 7-puntsschaal van ASHRAE van koud naar heet). Geluid en licht werden gemiddeld gezien acceptabel bevonden (licht en geluid werden beoordeeld op 7-puntsschalen van 1= algemeen acceptabel tot 7=algemeen niet acceptabel). De geënquêteerden vonden verder in het algemeen dat de controle op de ventilatie laag was.

De gemiddelde percentages gerapporteerde symptomen zijn per land in tabel 3 gepresenteerd. Op de dag van het onderzoek waren de drie meest gerapporteerde gebouw-gerelateerde symptomen droge huid (32%), verstopte neus (31%) en moeheid of lusteloosheid (31%). De drie meest gerapporteerde symptomen tijdens de maand voor het onderzoek waren moeheid of lusteloosheid (52%), hoofdpijn (42%) en droge ogen (39%).

De BSI-index (Building Symptom Index) op het moment van het onderzoek was 2,1, terwijl de BSI-index 3,3 was tijdens de maand voor het onderzoek. De BSI-index is hierbij gedefinieerd als het gemiddelde aantal gerapporteerde symptomen uit een lijst van twaalf mogelijke symptomen (zie tabel 3).

In figuur 5 kan worden gezien dat het gemiddeld aantal symptomen gerapporteerd tijdens de afgelopen maand, in het algemeen hoger lag dan de gerapporteerde symptomen op het moment van het onderzoek. Ook werd een relatie gevonden tussen de symptomen van de werknemers en de acceptatie van de binnenlucht op het moment van het onderzoek (zie figuur 6). De relaties in figuren 5 en 6 zijn gebaseerd op gebouwgemiddelden.

De respons van de werknemers varieerde aanzienlijk per gebouw, maar soms ook per land. Toch konden er geen systematische regionale verschillen worden aangetoond.

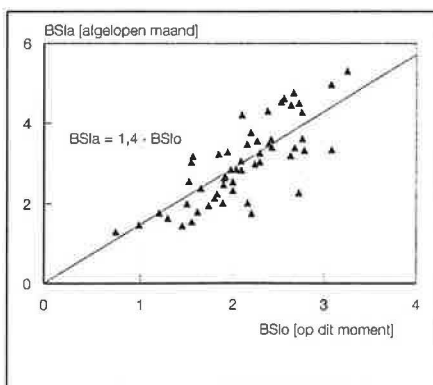


Thermisch comfort op het moment van het onderzoek, geëvalueerd door de werknemers per gebouw per land op een schaal van -3 tot +3
-FIGUUR 4-

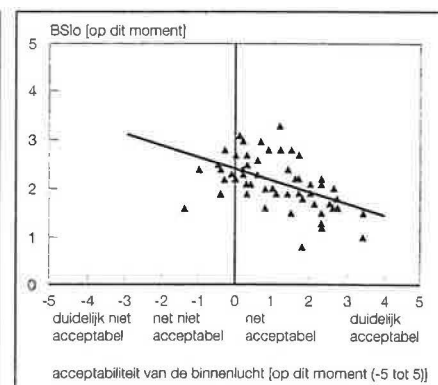
Land	NL	DK	UK	GR	FR	CH	SF	N	D	Gem.
Afgelopen maand										
droge ogen	35%	42%	45%	47%	30%	44%	28%	40%	40%	39%
tranende ogen	10%	12%	22%	21%	30%	19%	18%	10%	15%	17%
verstopte neus	25%	23%	50%	31%	41%	39%	28%	25%	38%	33%
loopneus	11%	13%	27%	17%	32%	19%	16%	10%	18%	18%
droge/geïrr. keel	29%	30%	42%	36%	47%	42%	24%	31%	41%	36%
benauwdheid	12%	5%	14%	30%	26%	16%	8%	8%	12%	15%
griepsymptomen	18%	14%	31%	33%	38%	27%	16%	14%	31%	25%
droge huid	16%	23%	24%	27%	29%	26%	22%	33%	28%	25%
geïrr. huid	6%	5%	14%	14%	22%	8%	11%	9%	12%	11%
hoofdpijn	33%	42%	58%	55%	54%	39%	21%	38%	36%	42%
moe/lusteloosheid	37%	42%	61%	61%	63%	49%	41%	59%	52%	52%
andere symptomen	11%	11%	15%	6%	15%	14%	13%	11%	11%	12%
Op dit moment										
droge ogen	27%	33%	27%	27%	22%	28%	27%	27%	20%	26%
tranende ogen	3%	3%	6%	7%	16%	7%	9%	5%	3%	7%
verstopte neus	26%	27%	36%	21%	28%	36%	37%	29%	38%	31%
loopneus	7%	9%	12%	10%	18%	13%	14%	9%	10%	11%
droge/geïrr. keel	27%	29%	30%	27%	31%	35%	30%	31%	24%	29%
benauwdheid	8%	3%	6%	20%	19%	11%	7%	7%	7%	10%
griepsymptomen	11%	7%	9%	14%	15%	19%	18%	10%	25%	14%
droge huid	21%	39%	30%	21%	25%	34%	51%	39%	29%	32%
geïrr. huid	10%	10%	12%	9%	15%	11%	19%	12%	9%	12%
hoofdpijn	17%	24%	27%	23%	23%	15%	13%	17%	13%	19%
moe/lusteloosheid	22%	29%	41%	31%	31%	27%	28%	48%	24%	31%
andere symptomen	8%	9%	10%	6%	8%	9%	8%	10%	5%	8%

*Gem. = gemiddeld

GEBOUWGERELATEERDE SYMPTOMEN VOOR ALLE ONDERZOCHE GEBOUWEN PER LAND
-TABEL 3-



HET GEMIDDELD AANTAL GEBOUW-GERELATEERDE SYMPTOMEN VAN DE WERKNEMERS TIJDENS DE MAAND VOOR HET ONDERZOEK (BSI_a) VERSUS HET GEMIDDELD AANTAL GEBOUW-GERELATEERDE SYMPTOMEN VAN DE WERKNEMERS OP HET MOMENT VAN HET ONDERZOEK (BSI_o)
-FIGUUR 5-

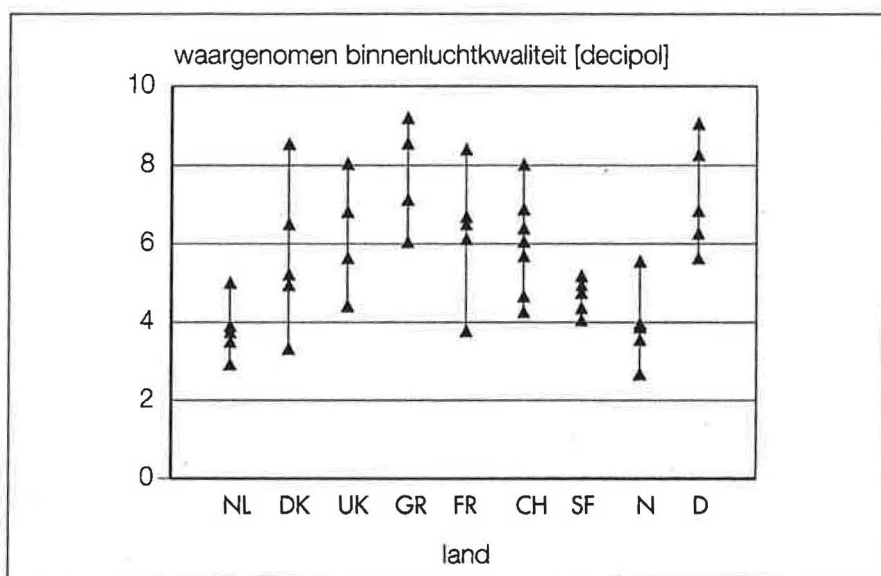


HET GEMIDDELD AANTAL GEBOUW-GERELATEERDE SYMPTOMEN VAN DE WERKNEMERS OP HET MOMENT VAN HET ONDERZOEK (BSI_o) VERSUS DE ACCEPTABILITEIT VAN DE BINNENLUCHT GEËVALUEERD DOOR DE WERKNEMERS OP HET MOMENT VAN HET ONDERZOEK
-FIGUUR 6-

	NL	DK	UK	GR	FR	CH	SF	N	D
Waargenomen luchtkwaliteit (decipol)									
binnenlucht	3,8	5,6	6,0	7,8	6,3	6,0	4,7	3,9	7,0
toevoerlucht	2,5	7,0	3,4	3,7	3,0	3,2	3,3	2,6	4,4
buitenlucht	1,2	0,7	3,3	1,7	3,4	1,7	2,1	1,6	1,7
CO ₂ (ppm)									
binnenlucht	656	736	516	587	778	744	737	628	674
toevoerlucht	437			544	550	523	535	448	386
buitenlucht	418	382	327	400	344	382	473	440	402
CO (ppm)									
binnenlucht	0,5	0,6	0,7		1,9	< 1	0,8	1,4	0,7
toevoerlucht	0,5				2,5	< 1	0,6	1,4	0,5
buitenlucht	0,5	0,5			1,5	< 1	0,9	1,3	0,5
Stof (µg/m ³)									
binnenlucht	72	88	20	149	76	181	51	20	61
TVOC (µg/m ³)									
binnenlucht	179	135	436	495	413	518	118	528	146
toevoerlucht	88	38	329	137	306	310	82	148	228
buitenlucht	79	33	128	158	82	251	62	155	155

DE GEMIDDELTE GEMETEN WAARDEN VAN DE WAARGENOMEN LUCHTKWALITEIT (IN DECIPOL), CO₂, CO-, STOF- EN TVOC- CONCENTRATIE (IN TOLUEEN) PER LAND WEERGEGEVEN

-TABEL 4-



DE GEMIDDELTE WAARGENOMEN LUCHTKWALITEIT (IN DECIPOL) OP DE ONDERZOCHE LOKATIES VAN DE 56 ONDERZOCHE GEBOUWEN

-FIGUUR 7-

	NL	DK	UK	GR	FR	CH	SF	N	D
Luchttemperatuur (C°)									
binnenlucht	22,3	23,7	22,9	23,5	23,5	22,9	22,3	23,4	21,7
toevoerlucht	19,5	25,1		31,2	22,5		21,9	20,2	
buitenlucht	6,6	5,6	10,4	14,7	12,4	7,2		-0,6	
Operatieve temperatuur (C°)									
binnenlucht	22,3	23,5	23,1		21,9	21,4	22,4	23,6	22,0
Rel. vochtigheid (%)									
binnenlucht	31	29	36	33	44	39	19	17	41
toevoerlucht	34			27	42		15		
buitenlucht	57	71	74	40	54	68			
Luchtsnelheid (m/s)									
binnenlucht	0,10	0,07	0,11	0,08	0,07	0,12	0,08	0,07	0,06
Geluid (dB(A))									
binnen	48	46	55	54	46	45	39	42	51

DE GEMIDDELTE GEMETEN WAARDEN VAN DE LUCHTTEMPERatuur, OPERATIEVE TEMPERatuur, LUCHTSNELHEID, RELATIEVE VOCHTIGHEID EN HET GELUIDSNIVEAU PER LAND WEERGEGEVEN

-TABEL 5-

Luchtkwaliteit

De gemiddelde waarden voor de waargenomen luchtkwaliteit, CO₂, CO-, stof- en de TVOC-concentratie, zijn per land in tabel 4 gepresenteerd. Figuur 7 laat in en tussen de landen, de variatie van de waargenomen luchtkwaliteit (decipol) op de geselecteerde lokaties in de gebouwen zien. Voor alle gebouwen was de gemiddelde kwaliteit voor de binnen-, toevoer- en buitenlucht respectievelijk ongeveer 6, 4 en 2 decipol. Ruwweg komt dit overeen met respectievelijk 50, 40 en 25% van de bezoekers dat ontevreden met de waargenomen luchtkwaliteit zou zijn [14]. Een verband tussen de waargenomen kwaliteit van de buiten- en de binnenlucht (op de geselecteerde lokaties) of de binnen- en de ventilatielucht kon niet worden aangetoond.

De gemiddelde TVOC-concentratie (in toluen equivalenten uitgedrukt) per gebouw was log-normaal verdeeld en varieerde van 40 tot 1840 µg/m³ met een mediaan op 202, een geometrisch gemiddelde van 228 en een geometrische standaarddeviatie van 2,4. Buitenluchtmonsters varieerden van 10 tot 420 µg/m³, met een mediaan op 80, een geometrisch gemiddelde van 86 en een geometrische standaarddeviatie van 2,5. De per gebouw geselecteerde monsters verschilden niet noemenswaardig met de andere monsters genomen in het gebouw. Met slechts 15 componenten per monster (en één per gebouw), kon in 90% van de gebouwen meer dan de helft van de TVOC-concentratie worden verklaard. De concentraties van de enkelvoudige VOCs en zelfs de TVOC bleven alle ruim onder de huidige blootstellingsgrenzen voor op de industriële werkplek [15]. Voor het verblijf in de niet-industriële werkomgeving worden strengere waarden aanbevolen. Een recente Finse publikatie onderscheidt drie luchtkwaliteitscategorieën voor TVOC in gebouwen [16]. In afnemende kwaliteit gaan ze van < 200, < 300 en < 600 µg/m³. In vijf landen vielen de gemeten waarden in de slechtste categorie.

De gemeten CO₂-concentratie in de buitenlucht varieerde van 250 tot 570 ppm, waarvan 51 in de normale 300 tot 520 ppm range. Het gemiddelde bedroeg 390 ± 60 ppm. Geografische verschillen tussen Noord-Zuid, Oost-West of tussen maritieme en het meer

continentale klimaat konden niet worden aangetoond. De gemiddelde CO₂-concentratie binnen bedroeg 673 ppm. De gemiddelde CO-concentratie in de binnenlucht lag onder de 1 ppm. Geen enkele gemeten CO-waarde kwam boven de huidige grenswaarde voor op de werkplek (25 ppm, 1 uur gemiddeld) [17].

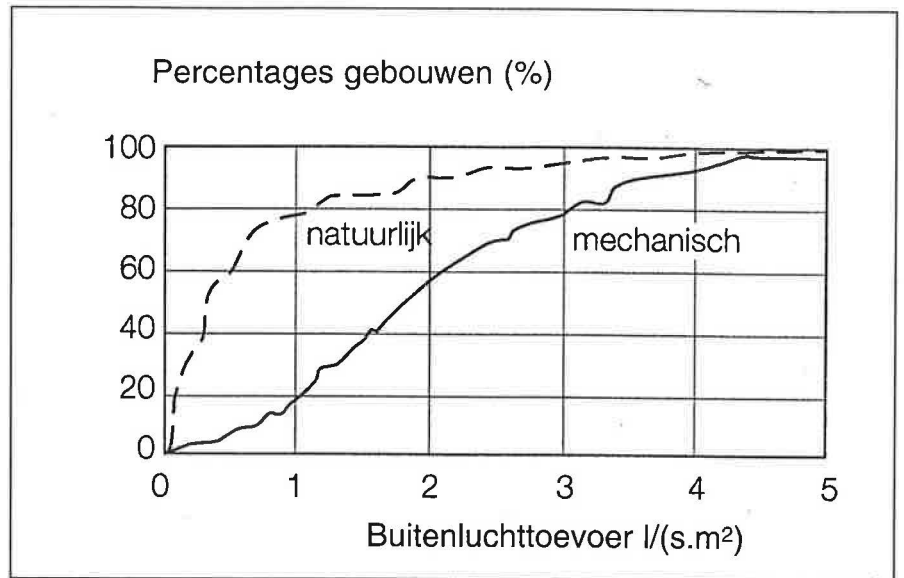
De stof-concentraties in de binnenlucht waren lognormaal verdeeld, met een geometrisch gemiddelde van 66 µg/m³, een geometrische standaarddeviatie van 2,7 en een mediaan op 62 µg/m³. Met uitzondering van enkele gebouwen in Griekenland en Zwitserland bleven in het algemeen de gemeten stofconcentraties onder de richtlijn van 120 µg/m³ [17].

Fysische resultaten

Tabel 5 laat per land de gemiddelden zien van de thermische metingen en de geluidsmetingen. De gemiddelde luchttemperatuur in de gebouwen lag in het algemeen dichtbij de in de thermische comfort norm ISO/CEN 7730 aanbevolen bovenste grenswaarde voor wintercondities (20-24 °C) [18]. Kleine verschillen werden gevonden tussen de operationele- en de luchttemperatuur (behalve in Frankrijk). Dit betekent dat kleine verschillen tussen de stralings- en de luchttemperatuur optraden. In het algemeen voldeden de operationele temperatuur (gemiddeld 22,5 °C) en de luchtsnelheid (gemiddeld 0,08 m/s) aan de aanbevelingen van de ISO/CEN norm [18]. De relatieve vochtigheid (RV) van de binnenlucht in de Noord Europese gebouwen (in Denemarken, Finland en Noorwegen) lag onder de 30%, hetgeen niet vreemd is tijdens het stookseizoen. Hoogste RV's binnen werden gevonden in Frankrijk en Duitsland. Het gemiddelde geluidsniveau in de kantoorgebouwen bedroeg 47 dB(A).

Ventilatie

In gebouwen waar werknemers aanwezig zijn, zijn de condities voor het meten van ventilatiestromen verre van ideaal. Zelfs met verbeterde meet- en interpretatie-technieken, is de uitkomst nooit perfect. Daarom werden in enkele gevallen de resultaten met grote onnauwkeurigheid gerapporteerd. De resultaten gepresenteerd in figuur 8 zijn gebaseerd op metingen van 226 lokaties in 56 gebouwen.



CUMULATIEVE FREQUENTIES VAN DE BUITENLUCHTTOEVOER NAAR DE ONDERZOCHEDE LOKATIES, VERDEELD IN TWEE GROEPEN: 30 NATUURLIJK GEVENTILEERDE LOKATIES EN 196 MECHANISCH GEVENTILEERDE LOKATIES -FIGUUR 8-



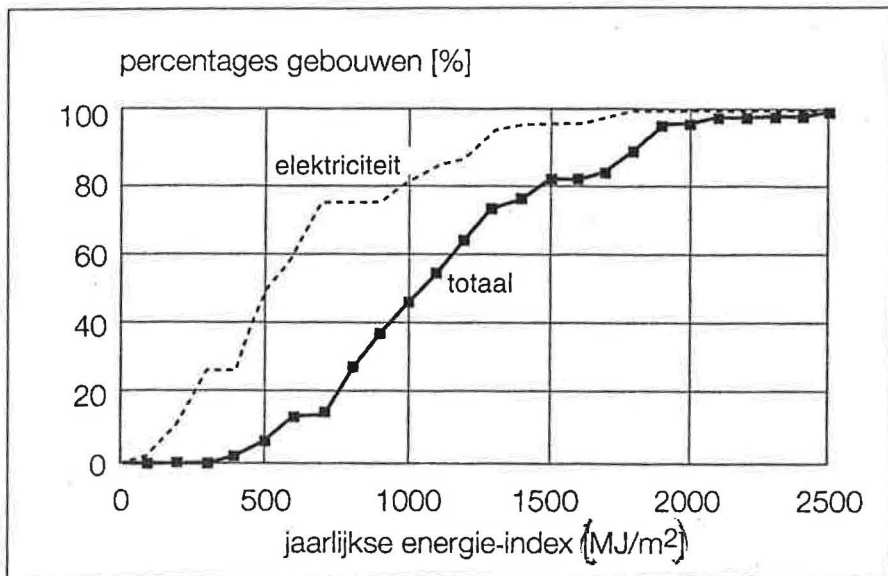
Omdat het in sommige gevallen één-persoonskamers betrof en in andere gevallen kantoorruimten, werden voor vergelijkingsdoeleinden de ventilatiestromen per m² vloeroppervlak berekend. Zowel voor de binnenluchtkwaliteit als voor het energiegebruik is de buitenluchttoevoer de interessantste parameter. De buitenluchttoevoer is gedefinieerd als de hoeveelheid mechanische buitenluchttoevoer + toevoer via infiltratie. Op natuurlijk geventileerde lokaties lag de buitenluchttoevoer lager dan op de mechanisch geventileerde lokaties (respectievelijk gemiddeld 1,0 l/(s.m²) en 2,1 l/(s.m²)) (figuur 8). 80% van de mechanisch geventileerde gebouwen kreeg meer dan 1,0 l/(s.m²) buitenlucht toegevoerd, terwijl slechts 20% van de natuurlijk geventileerde

gebouwen deze limiet overschreed. Het gemiddelde ventilatievoud (buitenlucht) van alle gebouwen bedroeg 2,5 per uur. De gemiddelde buitenluchttoevoer was 1,9 l/s.m² of 25 l/s.persoon.

De gemeten waarden, met name de recirculatie, verschilden vaak van de ontwerpwaarden (tabel 2).

Energiegebruik

Opmerkelijk was de grote variatie in energiegebruik in 1993. De verhouding tussen de hoogste en laagste totale energie-index bedroeg 7:1 en de verhouding tussen het hoogste en laagste energiegebruik per persoon 20:1. De energie-index is hierbij gedefinieerd als het totale energiegebruik gedeeld door het totaal ver-



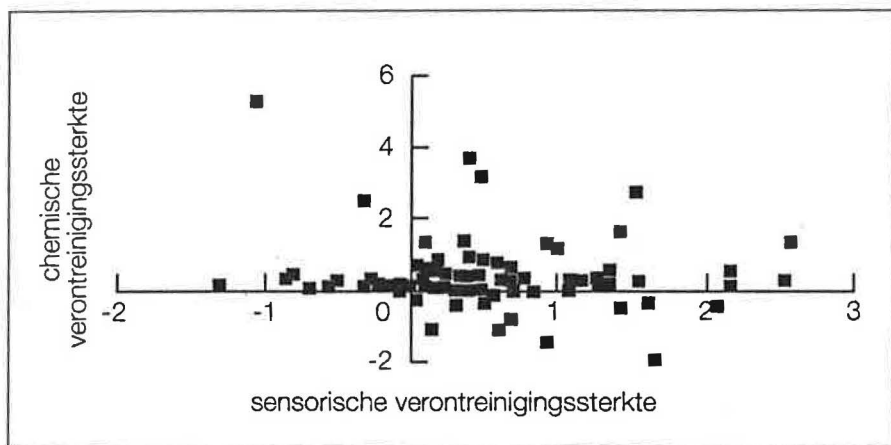
CUMULATIEVE FREQUENTIES VAN DE TOTALE EN DE ELEKTRICITEIT ENERGIE-INDICES VAN DE ONDERZOCHE GEBOUWEN (IN 1993)

-FIGUUR 8-

warme vloeroppervlak. Het totaal verwarmde vloeroppervlak is het vloeroppervlak van alle verwarmde ruimten in een gebouw (met externe dimensies). Een elektriciteitsindex werd op dezelfde manier gedefinieerd.

Figuur 9 laat zien dat een kwart van de onderzochte gebouwen een index lager dan 800 MJ/m² had, en dat een kwart een index hoger dan 1400 MJ/m² had. De mediaan lag iets boven de 1000 MJ/m². Indien alleen elektriciteit wordt meegenomen dan gebruikte 25% van de gebouwen 300 MJ/m² of minder (de mediaan lag op ongeveer 500 MJ/m²).

In de onderzochte gebouwen was elektriciteit de belangrijkste bron van energie (circa 48%). De rest was ongeveer evenredig verdeeld over de bronnen stadsverwarming, stookolie en aardgas (15 tot 19% voor iedere bron). Er kon geen verband worden aangetoond tussen het bouwjaar of klimaat en energiegebruik. De verschillen tussen het gemiddelde energiegebruik van gebouwen geconstrueerd voor en na de olie-crisis (1973) waren niet significant. De huidige lage energieprijzen en de huidige energiegerichte renovatie van oude gebouwen zouden de oorzaken hiervan kunnen zijn. Er werden geen systematische verschillen gevonden in Europa (behalve Griekenland).



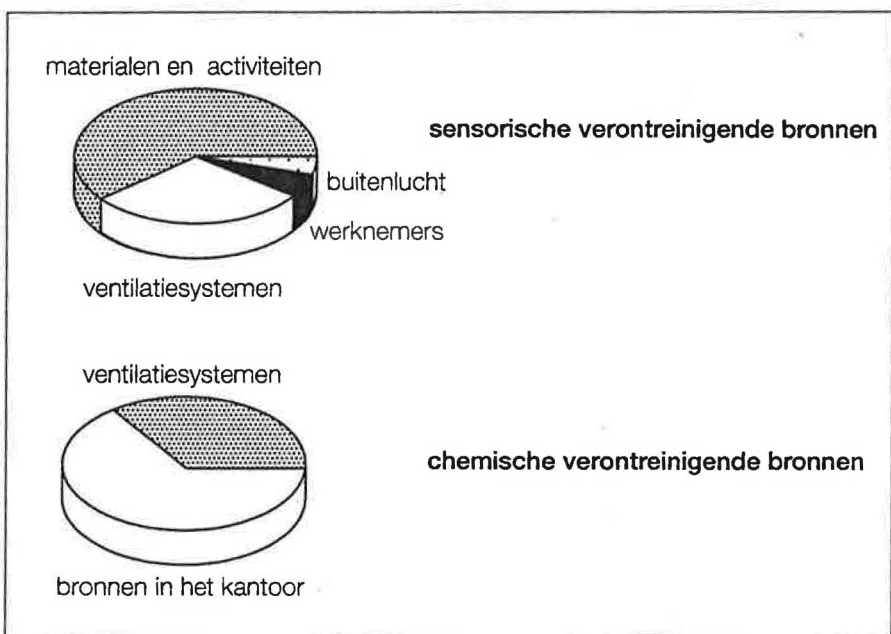
VERGELIJKING TUSSEN DE CHEMISCHE EN DE SENSORISCHE VERONTREINIGINGSSTERKTEN VAN 174 ONDERZOCHE LOKATIES IN DE ONDERZOCHE GEBOUWEN, UITGEDRUKT IN RESPECTIEVELIJK $\mu\text{g}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ EN OLF/m^2

-FIGUUR 10-

ANALYSE EN DISCUSSIE

Enquête - sensorische metingen

De acceptabiliteitscore van de werknemers en het aantal gebouw-gerelateerde symptomen gaven geen statistisch significant verband met de waargenomen binnenlucht kwaliteit van de sensorische panels. Men kan zich afvragen of dit te verwachten was. De werknemers en de sensorische panels beoordeelden niet dezelfde lucht. De waargenomen luchtkwaliteit werd door een getraind sensorisch panel op slechts vijf lokaties per gebouw geëvalueerd, terwijl de circa 200 tot 500 werknemers de lucht in hun eigen kamer beoordeelden. Het sensorische panel gaf de eerste indruk van de luchtkwaliteit en de werknemers gaven de gewende indruk van de luchtkwaliteit. Het panel is bovendien gericht op de sensorische beoordeling van lucht, terwijl de werknemers beïnvloed worden door andere sensaties.



DE BELANGRIJKSTE SENSORISCHE EN CHEMISCHE VERONTREINIGINGSBRONNEN IN DE ONDERZOCHE GEBOUWEN

-FIGUUR 11-

Verontreinigingssterkten en bronnen

Sensorische beoordelingen en chemische metingen van de binnenlucht kwaliteit samen met ventilatiemetingen, waren onderdeel van de standaardmethode. Deze metingen werden gebruikt om de verontreinigingssterkten van bronnen in chemische en sensorische termen uit te rekenen [19].

Vervolgens werden de belangrijkste bronnen van verontreiniging geïdentificeerd.

De gemiddelde totale sensorische verontreinigingssterkte op de lokaties (inclusief bouw- en inrichtingsmaterialen, werknemers en activiteiten, tabaksrook en ventilatiesystemen) bedroeg $0,7 \text{ olf/m}^2$. De werknemers produceerden $0,1 \text{ olf/m}^2$, $0,3 \text{ olf/m}^2$ kwam van de ventilatiesystemen (inclusief in sommige gevallen oude tabaksrook door recirculatie). De gemiddelde totale chemische verontreinigingssterkte op de lokaties (inclusief bouw- en inrichtingsmaterialen, werknemers en activiteiten, tabaksrook en ventilatiesystemen) bedroeg $0,3 \mu\text{g TVOC}/(\text{s.m}^2)$.

De berekende verontreinigingssterkten hadden grote onnauwkeurigheden. Er kunnen vier mogelijke redenen hiervoor worden aangedragen:

- grote onnauwkeurigheden bij de berekening (als gevolg van de berekeningsprocedure, te grote onnauwkeurigheden bij de ventilatiemetingen, en onnauwkeurigheden bij metingen van specifieke componenten in de lucht);
- adsorptie, desorptie en decompositie van componenten in de lucht beïnvloeden de concentraties in de lucht (de berekeningsprocedure kan dit nog niet meenemen);
- de mogelijke afhankelijkheid van de sensorische beoordeling van het verontreinigingsniveau [20];
- en condities die niet in evenwicht zijn als gevolg van veranderingen van de bronemissie (werknemers, roken) met name in kantoren met een laag ventilatievoud.

Conclusies ten aanzien van de bijdrage die bronnen kunnen hebben zijn echter nog steeds mogelijk, omdat de directe metingen (in decipol) in de meeste gevallen voldoende informatie verschaften en alle metingen waren uitgevoerd onder ongeveer dezelfde condities.

Vluchtige organische componenten kunnen een geur of een irriterend effect hebben. Daarom werd de relatie tussen de sensorische verontreinigingssterkte en de chemische verontreinigingssterkte onderzocht. Zoals te zien is in figuur 10 was deze relatie slecht. Sommige specifieke componenten (VOCs) hebben een sterk sensorisch effect, andere hebben dit niet. De TVOC hoeft daarom niet te correleren met de sensorische beoordeling. Verschillende mengsels van VOCs (met een verschillende geur en irriterende potentie) kunnen echter in dezelfde TVOC-waarde resulteren. Bovendien kan met de Tenax-GC methode maar een beperkte range van VOCs gemeten worden.

Eveneens kon uit de analyse geen verband tussen de gemiddelde waargenomen luchtkwaliteit door het sensorische panel en de gemiddelde TVOC-concentratie (in toluëen equivalenten) worden afgeleid (zelfs niet na correctie met de TVOC-concentratie van de buitenlucht).

Aan de hand van de berekende verontreinigingssterkten en de informatie verkregen via de inspectielijsten konden de verontreinigingsbronnen worden gerangschikt. De belangrijkste sensorische bronnen zijn gepresenteerd in figuur 11 (276 lokaties werden meegenomen in de analyse). De materialen en activiteiten, gevolgd door ventilatiesystemen, werden geïdentificeerd als de belangrijkste verontreinigingsbronnen. Onder materialen en activiteiten, waren de inrichting, kopiëren en gebouwrenovatie de meest aangegeven bronnen. In 50% van de gevallen waar ventilatie als de belangrijkste bron werd geïdentificeerd, waren filters en luchtrecirculatie van andere ruimten specifiek als bron aangegeven. Verder moet worden vermeld dat ventilatiesystemen de belangrijkste bron waren in 29% van alle lokaties ofwel in 32% van de mechanisch geventileerde gebouwen.

Tabaksrook wordt meestal beschouwd als de meest overheersende verontreiniging. In dit onderzoek was het de bedoeling om de bronsterkte van tabaksrook met behulp van de CO-concentratie te bepalen. Omdat de meeste CO-metingen niet nauwkeurig genoeg waren, was echter het

gebruik van CO als een index voor tabaksrook problematisch. Indien men met roken stopt neemt de CO-concentratie snel af. De sensorische verontreiniging veroorzaakt door tabaksrook kan echter langer duren, veroorzaakt door desorptie en ook door decompositie van tabaksrookcomponenten die aan de oppervlakken zijn geadsorbeerd. Het gevolg is dat CO-concentraties de sensorische verontreiniging als gevolg van tabaksrook onderschatten [21]. Daarom is in figuur 11 tabaksrook als bron toegevoegd aan de groep materialen en activiteiten.

De TVOC-data maakten het mogelijk om de chemische bronnen te verdelen in twee groepen: het ventilatiesysteem (mechanisch) en het kantoor (inclusief bouw- en inrichtingsmaterialen, de werknemers en hun activiteiten). Lokaties zonder mechanische ventilatie werden daarom niet in de analyse meegenomen. De verdeling van chemische bronnen, gepresenteerd in figuur 11, is gebaseerd op 211 lokaties. Op ongeveer tweederde van de lokaties was het kantoor de belangrijkste chemische bron.

VOC bronnen

In praktisch elk onderzocht gebouw lag het aantal gemeten VOCs met de Tenax-GC methode boven de zestig. De 15 componenten met de hoogst gemeten concentratie werden per gebouw geselecteerd en de mogelijke bronnen van deze componenten werden bepaald.

Deze bronnen kunnen worden verdeeld in 3 categorieën:

1. Buitenlucht (Bu): verkeer, industrie
2. Tabaksrook (T)
3. Materialen (M):
 - a. Bouwmaterialen (Bo): isolatie, multiplex, verf, etc.
 - b. Inrichtingsmaterialen (I): meubilair, vloer/wandbekleding, etc.
 - c. Gebruiksartikelen (G): schoonmaak, hygiënische, persoonlijke producten, etc.
 - d. Kantoorapparatuur (K): laserprinters etc.

Ventilatiesystemen konden niet als bron worden meegenomen omdat er geen gegevens beschikbaar zijn over welke VOCs hun oorsprong vinden in het ventilatiesysteem. En van tabaks-

Bronnen						Bronnen									
Nr	Component	Bu ¹	T ²	Materialen				Nr	Component	Bu	T	Materialen			
				K ³	Bo ⁴	I ⁵	G ⁶					K	Bo	I	G
1	polyfluormethaan						x	31	benzeen	x	x	x	x		
2	1,1,1-trichloroethaan					x	x	32	C ₃ -alkylbenzeen	x	x	x	x	x	x
3	trichlorotrifluorethaan						x	33	m-xyleen	x	x	x	x	x	x
4	tetrachloroethyleen						x	34	o-xyleen	x	x	x	x	x	x
5	dichloormethaan					x	x	35	p-xyleen	x	x	x	x	x	x
6	dichloorbenzeen						x	36	tolueen	x	x	x	x	x	x
7	butaan	x						37	naftaleen						x
8	n-hexaan	x	x			x	x	38	ftalaten comp.					x	
9	alifatisch C ₇ H ₁₆	x					x	39	1-butanol				x	x	x
10	n-heptaan	x					x	40	1-ethoxy-2-propanol				x		
11	octaan	x	x				x	41	2-butoxy-ethanol				x		x
12	alifatisch C ₉ H ₂₀					x	x	42	2-phenoxy-ethanol				x		x
13	nonaan					x	x	43	C ₅ -alcohol				x		x
14	decaan C ₄ H ₂₂					x	x	44	ethanol					x	x
15	undecaan					x	x	45	ethoxy-ethoxy-ethanol				x		x
16	dodecaan						x	46	4-methyl-2-pentanon	x				x	
17	tetradecaan						x	47	aceton					x	
18	pentadecaan						x	48	cyclohexanon						x
19	2-methylbutaan	x						49	benzaldehyde			x		x	x
20	2-methylpentaan	x						50	nonanal			x	x		x
21	3-methylpentaan	x						51	decanal			x		x	x
22	2,4-dimethylhexaan	x					x	52	butylacetaat					x	
23	2-methylhexaan	x					x	53	ethylacetaat					x	
24	nonaan/o-xyleen						x	54	butoxy-ethoxy-ethylacetaat					x	
25	nonaan/styreen						x	55	azijnzuur				x	x	
26	dimethylcyclopentaan						x	56	benzonzuur						x
27	methylcyclopentaan						x	57	dodecaanzuur					x	x
28	methylcyclohexaan	x					x	58	a-pineen					x	x
29	cyclohexaan						x	59	l-limoleen						x
30	2-methyl-1,3-butadien						x	60	terpeen comp.						x

DE MOGELIJKE BRONNEN VAN DE GEMETEN VOC_s MET DE HOOGSTE CONCENTRATIE VOLGENS EEN LITERATUUR-STUDIE [22]

Type lokatie	Categorie	Benodigde luchttoevoer		% lokaties die voldoen aan prENV concept m.b.t.	
		l/(s.m ²)	l/(s.pers.)	Buitenluchttoevoer	Waargenomen luchtkwaliteit (decipol)
éénpersoonskamer	A	2,0	20	55	9
	B	1,4	14	67	12
	C	0,8	8	78	32

PERCENTAGE LOKATIES DIE VOLDOEN AAN DE AANBEVELINGEN VAN DE prENV 1752 [14]. (GETALLEN IN DE LAATSTE KOLOM VERONDERSTELLEN SCHONE BUITENLUCHT)

rook kon het effect op de binnenluchtkwaliteit niet goed door deze analyse worden uitgevoerd.

Tabaksrook bevat namelijk veel meer componenten die minder of niet vluchtig zijn en dus niet met de toegepaste Tenax-GC methode werden gedetecteerd.

In tabel 6 zijn voor elk van de geselecteerde componenten de mogelijke bronnen aangegeven. De meeste componenten kunnen van meer dan één bron afkomstig zijn. Het was daarom moeilijk om voor elk gebouw afzonderlijk en voor elk van de geselecteerde componenten de bron te achterhalen.

Door gebruik te maken van de aanwezigheidsfrequentie van elke bron en met behulp van informatie verkregen uit de inspectielijsten (onder andere buitenluchtbronnen, tabaksrook, aantal laserprinters in de kamer) werd echter een poging gedaan. Uit tabel 6 volgt dat materialen de belangrijkste VOC-bron binnen waren (met name inrichtingsmaterialen). Oplosmiddelen, gebruikt in vloer- en wandbekledingen en houtprodukten (tapijten, PVC vloerbedekking, vloerlijmen, behang, plaatmateriaal, etc.), overheersten. De belangrijkste bronnen waren echter niet in alle gebouwen hetzelfde. In een groot aantal gebouwen waren dat de gebruiks-

artikelen, terwijl in enkele andere gebouwen de buitenlucht behoorlijk bleek bij te dragen.

Vergelijking met de door sensorische metingen bepaalde bronnen gaf geen goede relatie. De identificatie van VOC-bronnen geeft namelijk informatie over de belangrijkste bronnen die VOCs emitteren. Sensorisch bepaalde bronnen kunnen bronnen zijn die andere componenten emitteren dan de componenten gemeten met de Tenax-GC methode.

Een aantal enkelvoudige VOCs vertoonden een sterk verband [22]. Dit verband tussen concentratiepatronen geeft aan dat bijna elk gebouw tenminste één, hetzij soms zwakke, relatie had met alle andere gebouwen. De verklaring kan worden gevonden in het feit dat een aantal dezelfde componenten (bijvoorbeeld tolueen en benzeen) in elk gebouw voorkwamen. Ook werden zeer sterke relaties gevonden tussen concentratiepatronen van verschillende gebouwen. Dit werd voornamelijk veroorzaakt door soortgelijke componenten met hoge concentraties in de meerderheid van de gebouwen. Deze componenten bestonden voornamelijk uit aromatische koolwaterstoffen, een paar alifatische componenten en aceton. Aceton wordt voornamelijk geproduceerd door werknemers, terwijl de andere componenten door oplosmiddelen, afkomstig uit materialen, of uitlaatgassen van het verkeer worden veroorzaakt.

Buitenluchttoevoer en waargenomen luchtkwaliteit

De gemeten buitenluchttoevoer was hoog, gemiddeld 1,9 l/(s.m²) of 25 liter per seconde per persoon, hetgeen ruim boven de bestaande normen ligt. Niettegenstaande deze hoge buitenluchttoevoer, is het opmerkelijk dat bijna 30% van de werknemers en 50% van de bezoekers (getrainde sensorische panels) de binnenluchtkwaliteit niet acceptabel vonden. In 44 of 79% van de onderzochte gebouwen werd aan de minimum luchttoevoer van de ASHRAE Standaard 62 (0,7 l/(s.m²)) [23] voldaan. Onder deze gebouwen, met een gemiddelde luchttoevoer van 2,1 l/(s.m²), waren echter slechts 17 gebouwen (36%) die aan de doelstelling van ASHRAE 62 voldeden. Namelijk dat minimaal 80%

van de werknemers de lucht acceptabel vinden. Verder voldeden slechts enkele gebouwen aan de andere doelstelling van ASHRAE 62, namelijk dat 80% van de bezoekers de lucht acceptabel vinden.

Het voldoen aan bestaande normen voor luchttoevoer is kennelijk geen garantie voor een voor mensen acceptabele binnenluchtkwaliteit.

Een concept Europese voornorm met waarden voor verschillende ventilatieniveaus in kantoorgebouwen, werd door CEN TC 156 [14] opgesteld (tabel 7). Deze waarden zijn alleen bedoeld voor kantoren met laag verontreinigende bouw- en inrichtingsmaterialen en met een ventilatierendement van 1. Ze zijn gebaseerd op luchtkwaliteit zoals die door personen wordt waargenomen die vanuit frisse, schone lucht een kamer binnenkomen. Categorie A komt overeen met slechts 15% ontevreden, terwijl categorieën B en C overeenkomen met respectievelijk 20% en 30%. Het is interessant om de aanbevelingen in dit document te vergelijken met de waarden gemeten in de onderzochte gebouwen. Tabel 7 geeft daarom tevens het percentage van de onderzochte lokaties weer die overeenkomen met de aanbevelingen van de prENV 1752. De buitenluchttoevoerhoeveelheid was op het merendeel van de lokaties hoger dan de minimum eisen. Aan de overeenkomende niveaus van de waargenomen luchtkwaliteit werd echter slechts in een klein aantal gevallen voldaan. Er werd geen lokatie beneden de 2 decipol gevonden, en minder dan 3% viel in categorie C (2,5 decipol). Zelfs indien de buitenlucht schoon was, dan nog zouden slechts 32% van de lokaties categorie C halen, en minder dan 9% zouden categorie A halen.

Normen zijn gebaseerd op de hypothese dat verdunning van verontreinigingen, dat wil zeggen meer ventilatie, een betere waargenomen luchtkwaliteit tot gevolg heeft. In dit project was de waargenomen luchtkwaliteit (in decipol) gemiddeld iets beter in gebouwen met meer ventilatie (figuur 12). De gemiddelde waargenomen luchtkwaliteit (decipol) was echter veel slechter dan de theoretische relatie waarop de prENV is gebaseerd (zie figuur 12). Een reden hiervoor kan zijn dat in deze vergelij-

king de kwaliteit van de toegevoerde lucht niet werd meegenomen. Verder maken verontreinigende bronnen die aanwezig waren in het ventilatiesysteem vergelijking moeilijk of zelfs onmogelijk.

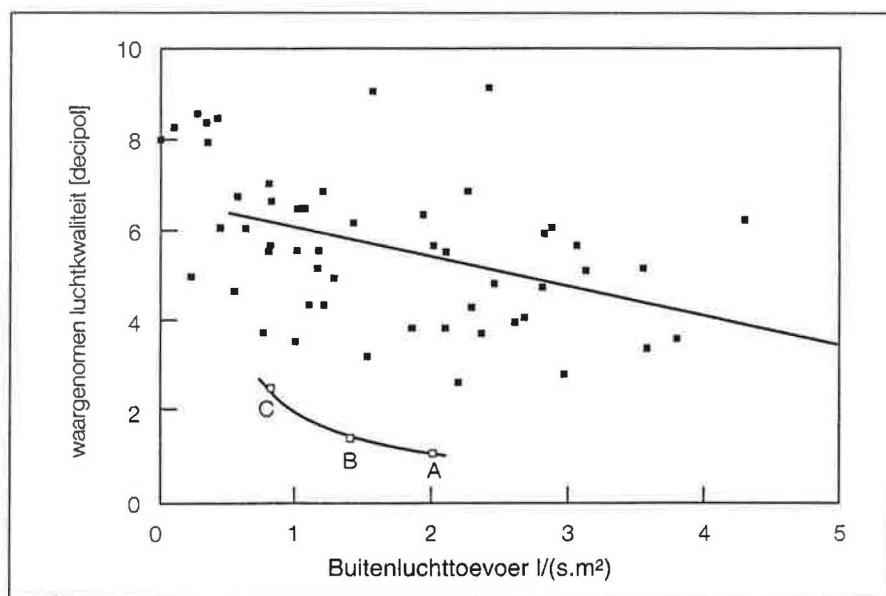
Energiegebruik

Energie wordt gebruikt om buitenlucht te verwarmen, koelen, bevochtigen of te drogen. Daarom zou een relatie tussen de buitenluchttoevoer en het energiegebruik aanwezig kunnen zijn. Zo'n relatie kon echter niet worden gevonden om twee redenen. Ten eerste, energie wordt gebruikt voor veel meer doeleinden dan ventilatie, en de benodigde hoeveelheid voor airconditioning is daarom normaliter veel minder dan 50% van het totaal. Ten tweede is het niet nodig om veel energie te gebruiken om een goed binnenklimaat en een juiste ventilatie te creëren. Ventilatie is nodig voor hygiënische doeleinden. Verwarming en koeling kunnen op andere manieren dan met lucht worden bereikt en een groot deel van de enthalpie in de afvoerlucht kan worden teruggewonnen.

De gemiddelde maximum en minimum energie-indices werden voor verschillende gebouwgroepen berekend (gesorteerd op ventilatiesysteem,

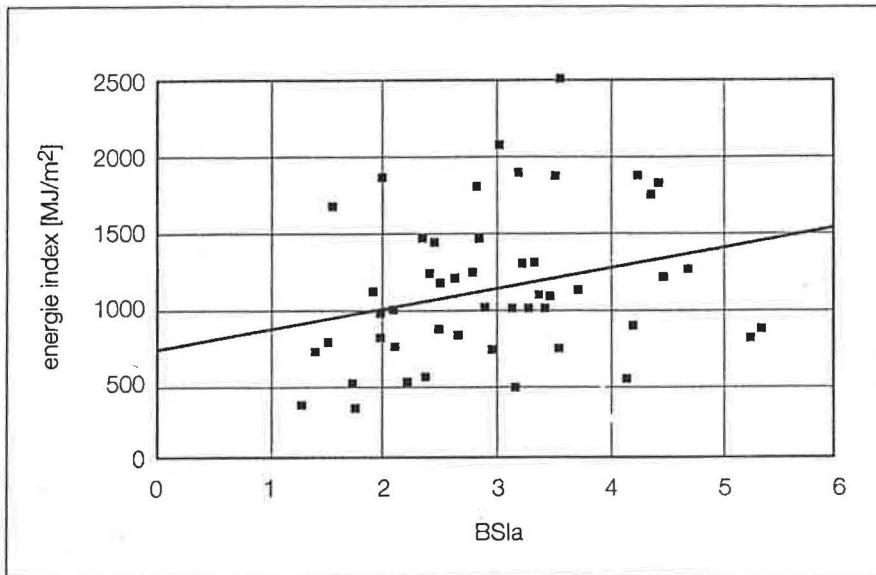


de aanwezigheid van koeling of warmteterugwinning). Onder de onderzochte gebouwen, hadden de acht natuurlijk geventileerde gebouwen gemiddeld de laagste energie-index. De gebouwen met mechanische ventilatie bevatten de grootste gebruikers, onafhankelijk van het type ventilatie-



DE GEMIDDELDE WAARGENOMEN BINNENLUCHTKWALITEIT VERSUS DE GEMIDDELDE BUITENLUCHTTOEVOER PER GEBOUW. A, B EN C GEVEN DE RELATIE WEER WAAROP DE CEN prENV1752 VOORNORM IS GEBASEERD

-FIGUUR 12-



DE TOTALE ENERGIE-INDEX VERSUS DE BUILDING SYMPTOM INDEX (BSI)

-FIGUUR 13-

systeem. In elke groep waren gebouwen met een relatief lage energie-index aanwezig. De aanwezigheid van koeling of warmteterugwinning leek geen grote invloed te hebben op de gemiddelde energie-index, behalve dat de grootste gebruikers gekoelde gebouwen waren.

Figuur 13 laat zien dat een hoog energiegebruik niet noodzakelijkerwijs in een lagere 'Building Symptom Index' (als maat voor de gezondheid) resulteert. Dit geeft aan dat er een mogelijkheid bestaat voor het optimaliseren van de binnenluchtkwaliteit zonder meer energie te gebruiken [24].

CONCLUSIES

- De buitenluchttoevoerhoeveelheden waren nogal hoog, een gemiddelde van 1,9 l/(s.m²) of 25 l/(s.persoon), hetgeen ruim boven de bestaande normen voor luchttoevoer ligt. Toch vonden bijna 30% van de werknemers en 50% van de bezoekers de lucht niet acceptabel. Het voldoen aan bestaande ventilatienormen is daarom geen garantie voor een acceptabele binnenluchtkwaliteit.
- De buitenluchttoevoerhoeveelheid voldeed in het algemeen aan de Europese voornorm prENV 1752 (concept). Het moet echter worden gezegd dat de waarden in dit con-

cept alleen van toepassing zijn op gebouwen met laag verontreinigende bouw- en inrichtingsmaterialen.

- De gemiddelde TVOC- (in µg/m³ toluen equivalenten), stof-, CO₂- en CO- concentraties voldeden in het algemeen aan de eisen gegeven in de bestaande nationale normen en Europese richtlijnen. In vergelijking met een Finse richtlijn zijn in vijf landen de gemiddelde TVOC-concentraties toch hoog te noemen.
- Belangrijke verontreinigingsbronnen in de onderzochte gebouwen waren de bouw- en inrichtingsmaterialen en de activiteiten in de kantoren, en de ventilatiesystemen in de gebouwen. De werknemers waren minder belangrijke bronnen.
- Een verband tussen sensorische en chemische verontreinigingssterkten of tussen de waargenomen luchtkwaliteit en de TVOC-concentraties kon niet worden aangetoond. Omdat sommige componenten (VOCs) een sterk sensorisch effect hebben en andere niet, hoeven totaal vluchtige organische componenten niet te correleren met sensorische beoordelingen.
- Verontreinigingsbronnen omvatten bouw- en inrichtingsmaterialen in de kantooromgeving, het ventilatiesysteem, werknemers en hun activiteiten en buitenlucht. Meer specifiek: vloerbedekking, lijmen, verven, boenwas, kantoorapparatuur,

schoonmaakmiddelen, filters, bevochtigers, warmtewisselaars, kanalen, tabaksrook, gebruiksartikelen, verkeer buiten en industriële verontreiniging.

- De waargenomen luchtkwaliteit (in decipol) was gemiddeld iets beter in gebouwen met meer ventilatie.
- De gemiddelde waargenomen binnenluchtkwaliteit door de sensorische panels, de niet gewende indruk van de luchtkwaliteit, correleerde niet met de door de werknemers gerapporteerde symptomen en de acceptabiliteit van de binnenluchtkwaliteit.
- Tussen de waargenomen luchtkwaliteit binnen en buiten, evenals tussen de waargenomen luchtkwaliteit binnen en de toevoer, werd geen relatie gevonden.
- Uit de analyse van de enquête bleek dat de antwoorden van het "Afgelopen maand" deel correleerden met de antwoorden van het "Op dit moment" deel.
- Het jaarlijks energiegebruik per totaal verwarmd vloeroppervlak varieerde met een factor zeven tussen het gebouw met het laagste en dat met het hoogste energiegebruik. Dit geeft niet alleen een groot theoretisch besparingspotentieel aan, maar ook een grote diversiteit aan condities van de gebouwen per land en tussen landen.
- Energiegegevens waren vaak moeilijk te achterhalen, omdat het energiegebruik niet in detail werd bijgehouden. Dit geeft aan dat het energiegebruik vaak nog steeds van minder belang is voor het management. Waarschijnlijk omdat het slechts een klein deel van de bedrijfskosten van het gebouw vertegenwoordigt.
- Het energiegebruik van de onderzochte Noord-Europese gebouwen lag niet hoger dan het energiegebruik van de onderzochte gebouwen in de andere Europese landen. Het energiegebruik lijkt zich te hebben aangepast aan de nationale normen (die rekening houden met klimaatcondities in het betreffende land).
- Het energiegebruik varieerde sterk van gebouw tot gebouw. In de praktijk hangt het energiegebruik meer af van planning, constructie en beheer dan van klimaat, gebouwsoort of type ventilatiesysteem. Daarom is het mogelijk om

gebouwen met een laag energiegebruik te construeren door gebruik te maken van verschillende architectonisch ontwerpen en verschillende ventilatiesystemen.

- Er werd geen tegenstelling gevonden tussen een laag energiegebruik en een goede binnenluchtkwaliteit. Daarom is het mogelijk om de binnenluchtkwaliteit te optimaliseren zonder meer energie te gebruiken.
- In de 56 Europese kantoorgebouwen werden ten aanzien van de binnenluchtkwaliteitsparameters, de respons van de werknemers of het energiegebruik, geen systematische regionale verschillen gevonden.

AANVULLENDE OPMERKINGEN

De verontreinigende bronnen in de onderzochte Europese kantoorgebouwen bestonden voornamelijk uit bouw- en inrichtingsmaterialen en onderdelen van ventilatiesystemen. Deze studie geeft duidelijk aan dat de werknemers een minder dominante verontreinigingsbron zijn. Omdat de bron van verontreiniging voornamelijk het gebouw was en niet de werknemers, zoals aangetoond door de lage CO₂-concentraties, is het erkennen van het gebouw, waaronder het ventilatiesysteem, als verontreinigende bron essentieel. Voor het verbeteren van de binnenluchtkwaliteit zonder meer energie te gebruiken, is het toepassen van bronbeheersing noodzakelijk. Bronbeheersing moet de eerste prioriteit hebben in plaats van het verdunnen van verontreinigingen door ventilatie of het schoonmaken van de lucht. Bronbeheersing moet worden toegepast op materialen, ventilatiesystemen en activiteiten (bijvoorbeeld roken). Bij het tegelijkertijd verminderen van bronnen, bijvoorbeeld door het kiezen van laagverontreinigende vloerbedekking, en verminderen van de ventilatietoever, kan de binnenluchtkwaliteit worden gehandhaafd of zelfs worden verbeterd. Producenten van bouw- en inrichtingsmaterialen moeten worden aangemoedigd om informatie over hun producten te verschaffen zodat ingenieur en architecten gemakkelijker laag verontreinigende materialen kunnen uitzoeken. Systeemontwerpers, producenten van ventilatiesysteemonderdelen en onderhoudspersoneel moeten worden geattendeerd op het feit dat ventilatiesystemen een potentiële bron van verontreiniging



zijn. Afname of eliminatie van roken, bijvoorbeeld door het regelen van het rookgedrag in kantoorgebouwen, kan de binnenluchtkwaliteit verbeteren of tot minder benodigde luchttoevoer leiden.

De huidige methode met een één-daags gebouwonderzoek werd met succes door negen teams in negen landen uitgevoerd. De onderzoeksmethode, inclusief de instrumenten, staat beschreven in de "Research Manual" [3] en wordt uitgebreid besproken in hoofdstuk 5 van het "Final Report" [2]. Delen van de onderzoeksmethode, met of zonder aanpassing, kunnen in toekomstige gebouwenstudies worden gebruikt. Het gegevensbestand met de respons van de werknemers, de gemeten binnenluchtkwaliteitsparameters en het energiegebruik is beschikbaar voor vergelijking.

In dit project werd het gebruik van een getraind panel gedemonstreerd. Een door een getraind panel gemaak-

te beoordeling is een maat voor de mogelijke ontevredenheid van bezoekers of van de eerste indruk van de binnenluchtkwaliteit. Sinds Yaglou, zijn ventilatienormen (o.a. ASHRAE, CIBSE, Scandinavië) gebaseerd op de eerste indruk van de binnenluchtkwaliteit. Sinds 1981 schrijft ASHRAE 62 een panelmethode voor het testen van de eerste indruk voor. Deze eerste indruk kan verschillen van de gewende indruk van de werknemers, zoals duidelijk in dit project is aangetoond. Dit betekent niet dat de eerste indruk niet belangrijk is. De eerste indruk van de binnenluchtkwaliteit heeft z'n eigen waarde, net zoals de eerste indruk van menig andere parameter essentieel kan zijn.

Voor de eerste maal zijn sensorische panels volgens een voorgeschreven methode in negen verschillende landen getraind. Deze methode kan worden verbeterd en ontwikkeling is nodig. Dit project gaf echter aan dat sensorische panels kunnen worden gebruikt om gebouwen door te lich-

ten op gecombineerde bron-ventilatie problemen. In dit project werden de sensorische panels gebruikt om een eerste indruk te krijgen van de verschillende bronnen. De getrainde sensorische panels zijn daarmee een aanvullend instrument om de binnenluchtkwaliteit te beschrijven en om verontreinigende bronnen in gebouwen te achterhalen. De toekomst zal ons leren hoe belangrijk ze zijn of kunnen zijn.

DANKBETUIGING

Dit werk werd uitgevoerd in het kader van het "European Audit Project to Optimize Indoor Air Quality and Energy Consumption in Office Buildings", als onderdeel van het Joule Programma (CEC-DGXII), onder het beheer van dr.G. Deschamps (CEC), en coördinatie van prof.E. de Oliveira Fernandes (U.of Porto) en dr. ir. P.M. Bluysen (TNO) met de volgende deelnemende instituten: TNO Bouw (NL) (Technisch Coördinator), Technical University of Denmark (DK), Danish Building Research Institute (DK), Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (FR), Belgian Building Research Institute (B), Norwegian Building Research Institute (N), Technical Research Centre of Finland (SF), University of Athens (GR), Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (CH), EA-Technology (UK), Building Research Establishment (UK).

Dit artikel bestaat grotendeels uit de vertaling van de oorspronkelijke Engelse versie [25].

REFERENTIES

1. Bluysen, P.M., *Indoor Air Quality Management, executive summary of the workshop on Indoor Air Quality Management, held at Lausanne on 27 and 28 May 1991*, Commission of the European Communities, Directorate-General XII for Science, Research and Development, 30 October 1991.
2. Bluysen, P.M., de Oliveira Fernandes, E., Fanger, P.O., Groes, L., Clausen, G., Roulet, C.A., Bernhard, C.A., Valbjorn, O. *Final report, European audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings*, contract JOU2-CT92-0022, March 1995, TNO Building and Construction Research, Delft, The Netherlands.
3. Clausen, G., Pejtersen, J., Bluysen, P.M., *Final Research Manual of European Audit project to optimize Indoor Air Quality and Energy consumption in Office Buildings*, Technical University of Denmark and TNO-Building and Construction Research, November 1993.
4. Bluysen, P.M., *Het Europese "IAQ-Audit Project": Methodologie*, TVVL-Magazine, jaargang 24, augustus 1995, nr.8, p.15-18.
5. Bluysen, P.M., Cox, C., *National report of The Netherlands*, Delft, August 1994.
6. Lagoudi, A., Asimakopoulos, D., Loizidou, M., Santamouris, M., *National report of Greece, Athens*, Greece, November 1994.
7. Roulet, C.A., Foradini, F., Bernhard, C.A., Carlucci, L., *National report of Switzerland*, Lausanne, Switzerland, December 1994.
8. Groes, L., Clausen, G., Pejtersen, J., Fanger, P.O., *National report of Denmark*, Lyngby, Denmark, November 1994.
9. Skaret, E., Blom, P., *National report of Norway*, Oslo, Norway, October 1994.
10. Kovanen, K., Heikkinen, J., *National report of Finland*, VTT, Finland, November 1994.
11. Finke, U., Fitzner, K., *National report of Germany*, Berlin, Germany, November 1994.
12. Aizlewood, C.E., Dickson, D.J., Walker, R.R., Raw, G.J., Oseland, N.A., White, M.K., *National report of United Kingdom*, Capenhurst, United Kingdom, February 1995.
13. Kirchner, S., Riberon, J., Cochet, C., *National report of France*, Champs-sur-Marne, France, February 1995.
14. CEN, draft CEN PRENV standard 1752, *Ventilation for Buildings, Design criteria for the indoor environment*, submitted by CEN Central Secretariat for formal vote, December 1994.
15. ACGIH, Am. Conf. Governmental Industrial Hygienists, 1994-1995, *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, Cincinnati, 1994.
16. FISIAQ, *Classification of indoor climate, construction and finishing materials*, June 15, 1995.
17. WHO, *World Health Organization, Air quality guidelines for Europe*, European series no.23, 1987.
18. ISO/CEN, ISO/CEN 7730, *Moderate thermal environments. Determination of PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, 1994.
19. Bluysen, P.M., Cox, C., Foradini, F., Dickson, D., Valbjorn, O., *Identification of pollution sources by calculation of pollution loads*, Healthy Buildings'95, Milano, Italy, September 1995.
20. Knudsen, H.K., *Characterization of sensory emission rates from materials*, Healthy Buildings'94, Budapest, Hungary, Vol.1, pp.463-, 1994.
21. Bluysen, P.M., P.G.Luscure, J.F.v.d. Wal, *Sorptie-effecten van sigarettenrook in het binnenmilieu: chemisch/fysische versus sensorische evaluaties*, Bouwfysica, vol.5, no.4, 1994, pp.11-18.
22. Lagoudi, A., Loizidou, M., Bernhard, C.A., Knutti, R., *Identification of pollution sources that emit VOCs*, Healthy Buildings'95, Milano, Italy, September 1995.
23. ASHRAE, ASHRAE Standard 62-1989, *Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE, Atlanta, 1989.
24. Roulet, C.A., Bluysen, P.M., Ducarme, D., de Oliveira Fernandes, E., Riberon, J., Wouters, P., *Ventilation performance and energy consumption in European office buildings*, Healthy Buildings'95, Milano, Italy, September 1995.
25. Bluysen, P.M., de Oliveira Fernandes, E., Fanger, P.O., Groes, L., Clausen, G., Roulet, C.A., Bernhard, C.A., Valbjorn, O., *European Indoor Air Quality Project in 56 office buildings*, geaccepteerd voor publikatie in Indoor Air Journal, februari 1996.