

Maken filters de lucht schoon of juist vuil?

Do filters pollute or clean the air?

Dr.ir. Philomena M. Bluysen*



Inleiding

Klimaatinstallaties kunnen in sommige gevallen een niet onbelangrijke bron van binnenluchtverontreiniging zijn. In verschillende studies is aangetoond dat klachten van gebouwbewoners vaker voorkomen in gebouwen met, dan in gebouwen zonder een klimaatinstallatie [1,2,3,4,5]. Fanger e.a. [6] toonden met gebruikmaking van een niet getraind panel aan dat klimaatinstallaties vaak bijdragen aan de verontreiniging van de binnenlucht. Pejtersen e.a. [7] gingen een stapje verder en lokaliseerden met gebruikmaking van een getraind panel [8] de verontreinigingsbronnen in een klimaatinstallatie. De verontreinigingen in de onderzochte installaties kwamen vooral van de filters. Het fijne zakkenfilter met een kwaliteit EU7 [9] is in Denemarken het meest gebruikte filter in een klimaatinstallatie van een kantoorgebouw. Daarom werden in deze studie fijne zakkenfilters (EU7) getest. De centrale vraag hierbij luidde hoeveel een filter, nieuw of gebruikt, kan bijdragen aan de binnenluchtvervuiling. Ter bestudering van de bijdrage aan de binnenluchtvervuiling van verschillende filters, werd een getraind panel [8] gebruikt samen met metingen van TVOC (Totale Vluchtige Organische Stoffen).

Procedure

Testklimaatinstallatie

Voor het onderzoek van diverse filters werd een testklimaatinstallatie in een klimaatkamer van het laboratorium voor 'Heating and Air Conditioning' van de Technische Universiteit van Denemarken [10], gebouwd (Figuur 1). Deze testklimaatinstallatie bestond uit een filtersectie en een ventilator. De luchthoeveelheid door het systeem kon worden gevarieerd door het regelen van de motorsnelheid van de ventilator. Een thermo-anemometer werd toegepast om aan de toevoerszijde van de testklimaatinstallatie (punt 6 in Figuur 1) de luchthoeveelheid te meten. De luchttemperatuur in de klimaatkamer werd constant gehouden op 22 graden Celcius. De buitenluchtoevoer naar de klimaatkamer was 426 l/s (geen recirculatie) en de relatieve vochtigheid werd gemeten met een LiCl, H₂O-sensor.

Testmethode

Een panel van 10 personen werd gedurende tien dagen, verdeeld over een periode van drie weken, gedurende 30 minuten per dag getraind om de waargenomen luchtkwaliteit in decipol te kunnen beoordelen [8]. Een decipol is gedefinieerd als de waar-

genomen luchtkwaliteit in een niet-verontreinigende ruimte waar een standaard persoon (1 olf) zit, en die met 10 l/s niet-verontreinigende lucht wordt geventileerd.

Een olf is gedefinieerd als de effluenten van een standaard persoon [11]. Een standaard persoon is een gemiddelde volwassene die in een kantoor zittend werk uitvoert, in een thermisch behaaglijke omgeving en met een hygienische standaard van 0,7 bad per dag. Elke andere verontreinigingsbron kan dan worden gekwantificeerd door het aantal standaard personen (olfs) dat nodig is om dezelfde ontevredenheid te veroorzaken als de betreffende verontreinigingsbron. Een waargenomen luchtkwaliteit van 1,4 decipol in een ruimte betekent dat gemiddeld 20% van de bezoekers aan die ruimte de luchtkwaliteit onacceptabel zal vinden [11].

Luchtmonsters werden voor en na het geteste filter genomen (Figuur 2). De hoeveelheid lucht komende uit de diffusoren (A en B in Figuur 2), gemonteerd aan het einde van elk van de plastic buizen, werd door middel van kleine ventilatoren (no.3 en 4 in Figuur 2) geregeld op ongeveer 1 l/s. Dit werd bepaald met behulp van de door een Lambrecht-anemometer gemeten luchtsnelheid in de top van de diffusor. De hoeveelheid toegevoerde buitenlucht naar de klimaatkamer werd constant gehouden op 426 l/s en de luchtstroom

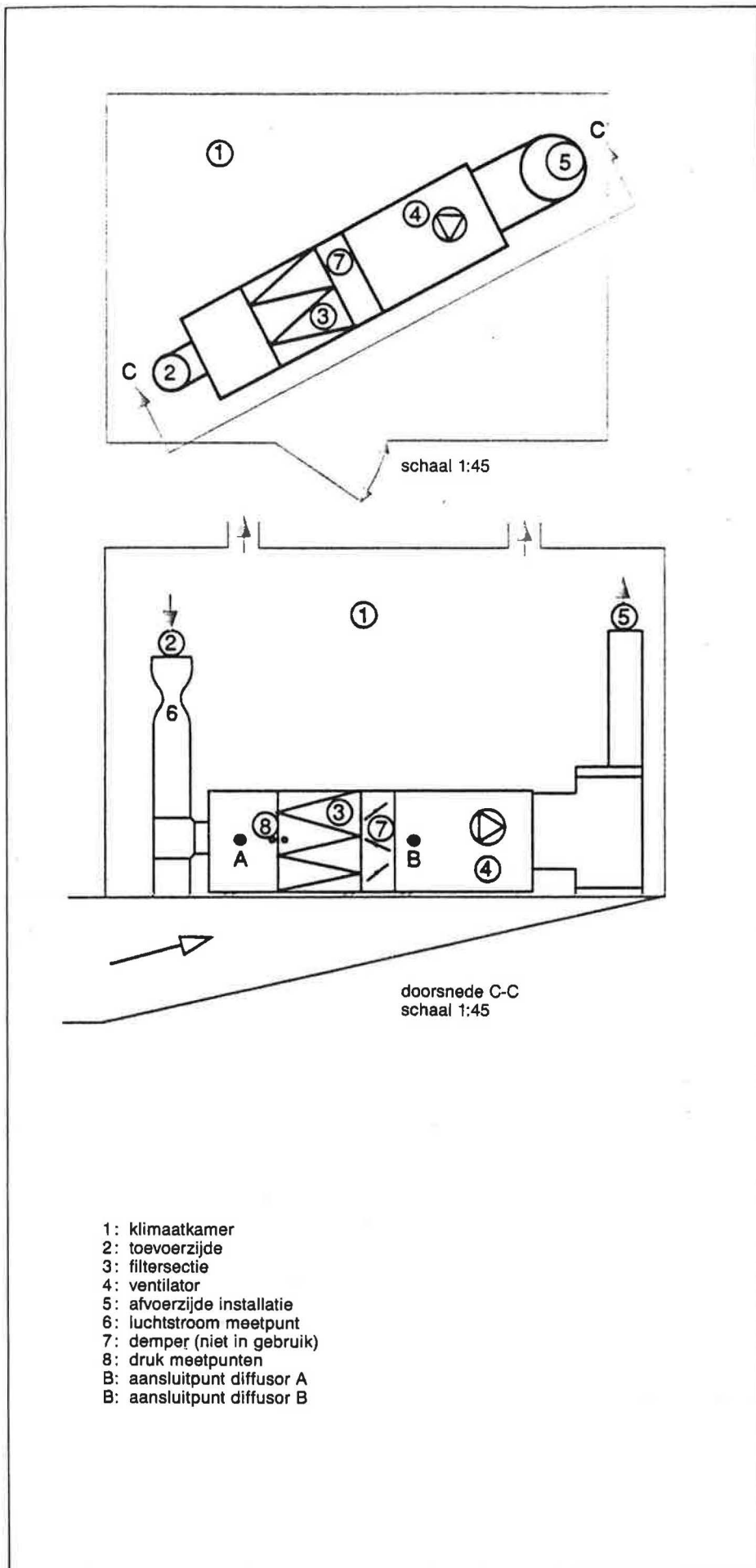
Samenvatting

In een laboratoriumstudie werd de luchtkwaliteit na nieuwe en gebruikte fijne zakkenfilters (EU7) met behulp van een getraind panel en aan de hand van TVOC metingen onderzocht. De gebruikte filters kwamen van klimaatinstallaties, waarbij 100% buitenlucht werd aangevoerd. De gebruikstijd van de filters varieerde van twee tot tien maanden. De nieuwe filters bleken in vergelijking met de gebruikte geen significante verontreiniging te veroorzaken. Alle gebruikte filters daarentegen vervuilden de lucht in plaats van deze schoon te maken.

Summary

In a laboratory study the contribution of new and used fine bagfilters (EU7) to indoor air pollution had been determined by a trained panel as well as by TVOC measurements. The used filters were all taken out of airhandling systems which run with full outdoor air supply. The time that a used filter had been situated in the ventilation system until it was taken out and was studied in the laboratory varied from two to ten months. The new filters did not pollute significantly in comparison to the used filters tested. However, all used filters polluted the air instead of cleaning it.

* TNO-Bouw, afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en Installaties, postbus 29, 2600 AA Delft



Figuur 1. Testklimaatinstallatie in de klimaatkamer

door het geteste filter werd vastgezet op een waarde tussen de 10 tot 230 l/s. De luchtstroom door het geteste filter werd gedurende tenminste een uur aan een stuk constant gehouden voordat een getraind panel de kwaliteit van de lucht komende uit de twee diffusors in decipol beoordeelde. De TVOC concentratie van de lucht komende uit de diffusors werd gedurende een half uur gemeten door middel van een gasmonitor (B&K type 1302). Het TVOC niveau was een equivalent van methaan, ofwel de gasmonitor was met methaan gecalibreerd en registreerde alle overige VOC's die in hetzelfde meetbereik voorkwamen (meetlimiet: 0,1 ppm). Door het verschil in decipol van de uit de twee diffusors komende lucht te berekenen en door het meten van de luchtstroom door het geteste filter, kan de bronsterkte in olf van het geteste filter volgens de volgende vergelijking worden berekend:

$$S_s = 0,1 \times (C_b - C_a) \times Q \quad (\text{olf}) \quad (1)$$

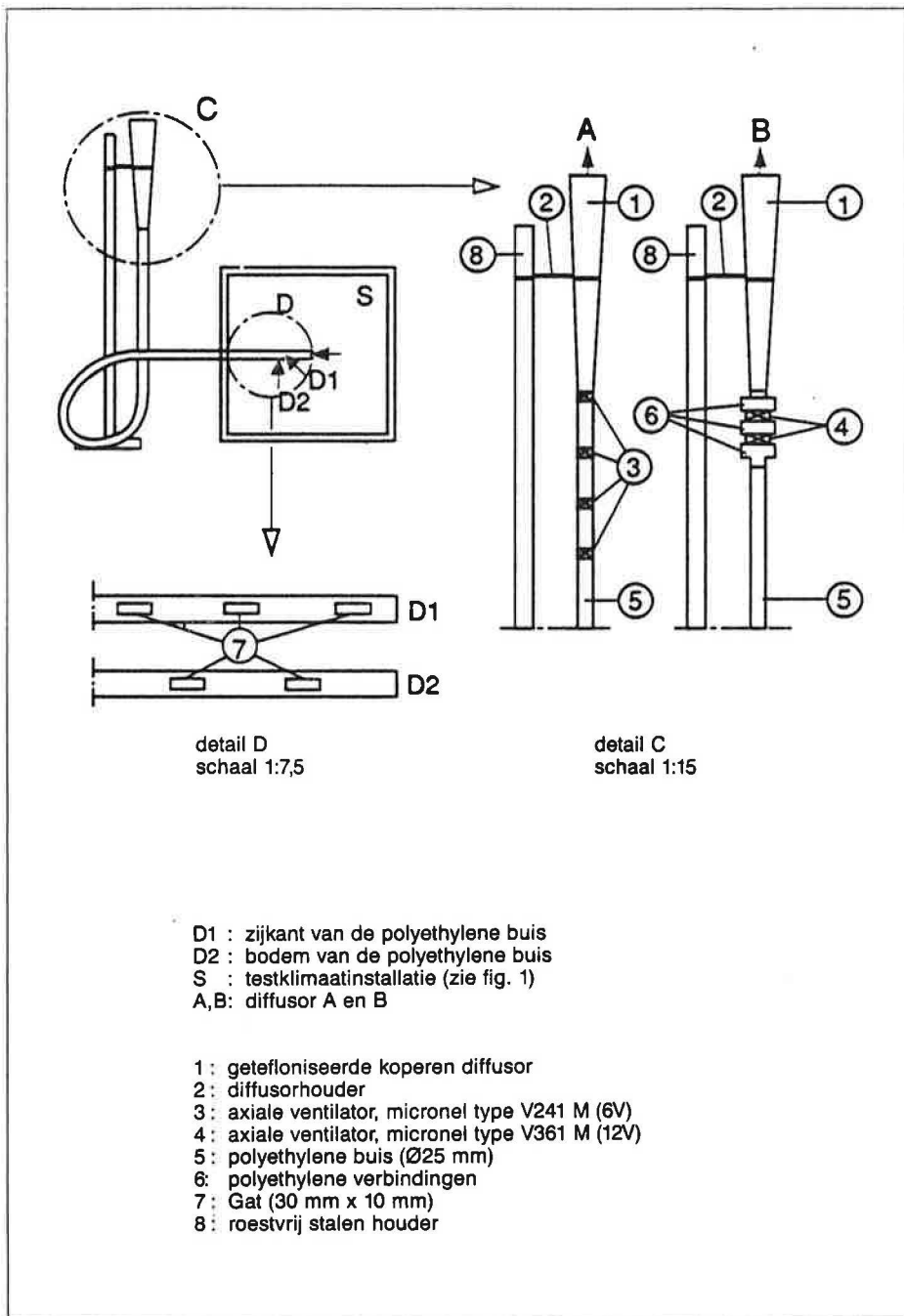
- met: S_s = subjectief bepaalde bronsterkte van het filter (olf);
 C_a, C_b = waargenomen luchtkwaliteit voor (A) en na (B) het filter (decipol);
 Q = luchtstroom door het filter (l/s).

Op een soortgelijke wijze kan de bronsterkte uitgedrukt in $\mu\text{g/s}$ TVOC worden berekend:

$$S_c = (C_b - C_a) \times Q \times 663 \times 10^{-6} \quad (\mu\text{g/s}) \quad (2)$$

- met: S_c = chemisch bepaalde bronsterkte van het filter ($\mu\text{g/s}$);
 C_a, C_b = TVOC-concentratie voor (A) en na (B) het filter (ppb);
 663×10^{-6} = factor om ppb naar $\mu\text{g/l}$ om te zetten, gebaseerd op het moleculaire gewicht van methaan.

Zes filters bestaande uit glasvezels (F85, EU7), twee nieuwe en vier gebruikte, werden geselecteerd. Informatie over de geselecteerde filters is weergegeven in Tabel 1 en Figuur 3. De gebruikte filters kwamen uit klimaatinstallaties die gemiddeld 12 uur per dag draaiden, waarbij 100% buitenlucht werd aangevoerd (geen recirculatie) en die in gebouwen in de omgeving van Kopen-



Figuur 2. Testmethode

filter nr. ¹	leeftijd ² (maanden)	gemeten drukverlies over het filter in de testopstelling (Pa) (luchtstroom (l/s))		berekend drukverlies ³ (Pa/(l/s))	gewicht (gram/m ²) ⁴
N1 _{a,b}	.	4,1 (94)	8,1 (184)	0,044	6887
N2	.	7,2 (86)	12,2 (184)	0,075	6861
G1	2	9,1 (102)	18,2 (221)	0,088	6974
G2	6	49,5 (102)	79 (211)	0,433	8774
G3	2	5,0 (94)	8,2 (193)	0,047	5368
G4	10	6,0 (94)	9,1 (184)	0,060	8713

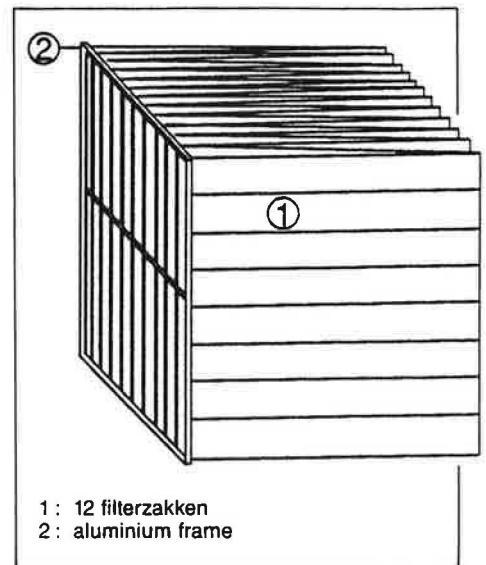
¹: N betekent nieuw filter; G betekent gebruikt filter

²: leeftijd betekent de tijd dat een filter in gebruik is geweest voordat deze uit de klimaatinstallatie van een kantoorgebouw werd gehaald om in het lab te worden onderzocht.

³: aannemend dat een lineaire relatie tussen het drukverlies over het filter en de luchtstroom bestaat.

⁴: deze eenheid wordt uitgedrukt per m² doorsnee oppervlakte; de doorsnede van de filters is 0,56x0,56 m².

Tabel 1. Informatie over de onderzochte nieuwe en gebruikte filters



Figuur 3. Geteste filters (F85, EU7) bestaande uit glasvezels (schaal 1:15)

hagen waren gesitueerd. Het drukverlies over elk filter werd voor twee verschillende luchtstromen met behulp van een drukverschilmeter gemeten. Omdat de openingen tussen de vezels van de filters klein zijn kan een laminaire stroming worden aangenomen (Reynolds getal is klein), waardoor het drukverlies over het filter een lineair verband heeft met de luchtstroom. Het gewicht van elke filter werd met behulp van een elektronische balans voor en na deze studie gemeten. Het gemiddelde gewicht van de filters en de drukverliezen over de filters zijn weergegeven in Tabel 1.

Metingen

Nieuwe filters

Drie filters bestaande uit glasvezels (F85, EU7), afkomstig van twee verschillende fabriekseries, werden getest. De filters (filters N1_{a,b} en N2 in Tabel 1) werden respectievelijk drie en een halve maand en twee maanden na fabricatie getest. Gedurende deze wachtperioden werden de filters verpakt in kartonnen dozen. Om na te gaan of de bronsterkte van een nieuw filter afneemt in de tijd werd filter N1_a vier maal getest: nadat nog geen lucht het filter was gepasseerd, en nadat in totaal 65.000 m³, 138.000 m³ en 274.000 m³ het filter was gepasseerd. Filter N2 werd drie maal getest: nadat geen lucht was gepasseerd, en nadat in totaal 2.300 m³ en 100.000 m³ was gepasseerd. De luchtstroom door het filter werd tijdens de metingen op een vaste waarde tussen 11 en 45 l/s gezet. Na elke meting werd de luchtstroom door het filter op ongeveer 200 l/s

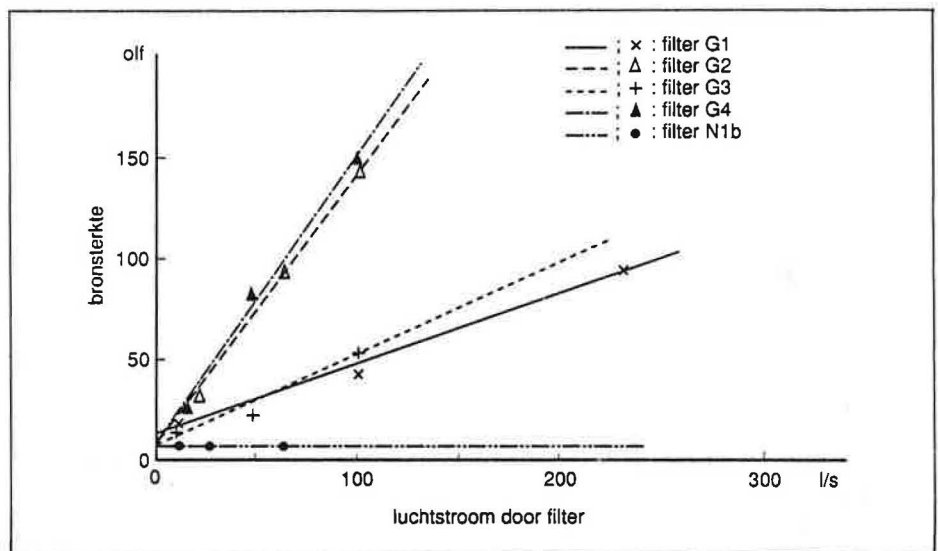
filter nr.	totaal gepasseerde hoeveelheid lucht (m ³)	luchtstroom door het filter (l/s)	waargenomen luchtkwaliteit (decipol)		gemeten TVOC-concentratie (ppb)		bronsterkte van het filter	
			A ¹	B ¹	A	B	(olf) ²	(μg/s) ³
			N1 _a	0	13,9	1,8	8,6	.
	65.000	15,4	2,1	7,6	.	.	8,5	.
	138.000	11,4	2,2	8,8	.	.	7,5	.
	274.000	18,5	2,7	6,8	.	.	7,6	.
N1 _b	120.000	15,4	1,7	6,2	.	.	6,9	.
	120.000	28,2	2,4	4,7	.	.	6,5	.
	120.000	64,6	1,9	3,0	.	.	7,1	.
N2	0	18,5	2,1	4,0	148	374	3,5	2,8
	2.300	44,4	1,8	2,7	148	274	4,0	3,7
	100.000	15,2	2,9	5,7	285	662	4,3	3,8

¹: A en B zijn de meetplaatsen in Figuur 1
²: de filterbronsterkte in olf is berekend met behulp van vergelijking 1
³: de filterbronsterkte in μg/s is berekend met behulp van vergelijking 2

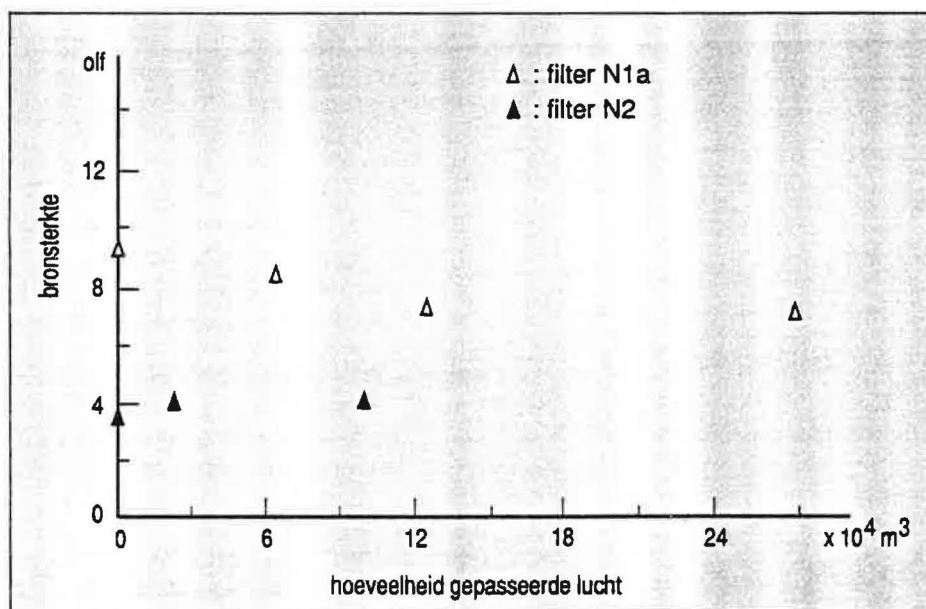
Tabel 2: Testcondities en meetresultaten van de nieuwe filters

gebracht, totdat een zekere hoeveelheid lucht was gepasseerd. De luchtstroom werd dan verminderd, en 24 uur later werden de metingen verricht (stationaire situatie was bereikt). De testcondities en meetresultaten zijn in Tabel 2 gepresenteerd. De filterbronsterkten in olf en in μg/s werden berekend met respectievelijk vergelijking 1 en 2. Figuur 4 geeft de relatie tussen de totaal gepasseerde hoeveelheid lucht en de filterbronsterkte in olf.

Een derde filter, filter N1_b, werd getest om na te gaan of de bronsterkte van een filter afhangt van de luchtstroom door dat filter, nadat in totaal 120.000 m³ lucht het filter was gepasseerd (Tabel 2, Figuur 5).



Figuur 5. Bronsterkte in olf van de nieuwe en gebruikte filters als functie van de luchtstroom door het geteste filter



Figuur 4. Bronsterkte van de nieuwe filters in relatie tot de totale hoeveelheid lucht die is gepasseerd

Gebruikte filters

Verschillende testen werden verricht met vier gebruikte filters. Informatie over deze filters (G1, G2, G3 en G4) is gepresenteerd in Tabel 1. De gebruikte filters bestonden alle uit glasvezels en waren van de kwaliteit F85, EU7.

Om na te gaan of de bronsterkte van een gebruikt filter afhankelijk is van de luchtstroom door dat filter, werd elk gebruikt filter getest met drie verschillende luchtstromen. De testprocedure was als bij de nieuwe filters. De testcondities en meetresultaten staan vermeld in Tabel 3.

De filterbronsterkten in olf en in μg/s werden berekend met respectievelijk vergelijking 1 en 2. Figuur 5 en 6 geven de relatie tussen de luchtstroom en de filterbronsterkte respectievelijk in olf en in μg/s.

Discussie

De waargenomen luchtkwaliteit in decipol en de TVOC-concentratie in ppb werden toegepast om de verontreinigende werking van twee nieuwe en vier gebruikte fijne zakkenfilters (EU7) te bepalen.

Na het uitpakken en het installeren van de nieuwe filters in de testklimaatinstallatie, nam de bronsterkte in olf met een toenemende hoeveelheid totaal gepasseerde lucht verwaarloosbaar toe voor filter N2 en nam deze ongeveer 20% af voor filter N1_a nadat 120.000 m³ en meer lucht was gepasseerd (Figuur 4). De bronsterkte in olf van een nieuw filter lijkt onafhankelijk van de luchtstroom door het filter. Voor drie verschillende luchtstromen door het nieuwe filter N1_b (15, 28 en 65 l/s) was de bronsterkte gemiddeld 7 olf (Tabel 2, Figuur 5). De filterbronsterkte in olf van de

filter nr.	luchtstroom door het filter (l/s)	waargenomen luchtkwaliteit (decipol)		gemeten TVOC-concentratie (ppb)		bronsterkte van het filter (olf) ¹ (μg/s) ²		relatieve vochtigheid (%)
		A	B	A	B			
G1	13,6	3,4	16,0	562	603	17,1	0,4	31
	101	2,9	7,0	394	478	41,1	5,6	31
	228	4,3	8,5	415	539	95,8	18,6	37
G2	22,2	4,7	19,5	384	537	32,9	2,3	27
	63,9	2,9	17,6	267	347	93,9	3,4	28
G3	101	4,4	18,6	471	502	143	1,1	28
	13,6	2,6	13,6	554	561	15,0	0,05	36
	48,8	2,5	6,7	481	590	20,6	3,5	33
G4	101	1,9	7,6	537	718	57,6	12,1	35
	18,6	2,6	17,7	385	802	28,0	5,2	21
	48,8	2,7	19,6	479	636	82,5	5,0	32
	101	3,7	18,4	553	553	149	0,0	31

¹: de filterbronsterkte in olf is met behulp van vergelijking 1 berekend
²: de filterbronsterkte in μg/s is met behulp van vergelijking 2 berekend

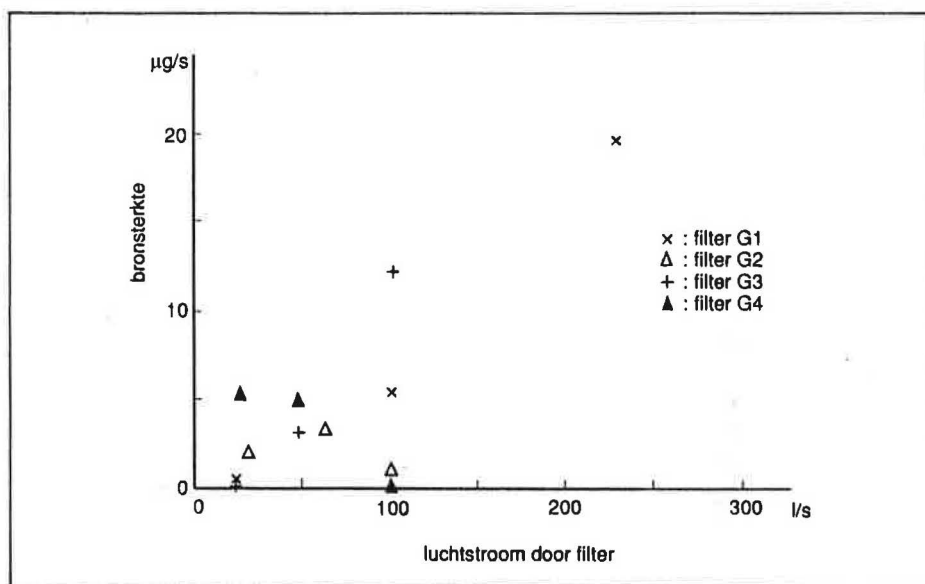
Tabel 3. Testcondities en meetresultaten van de gebruikte filters

gebruikte filters is sterk gerelateerd aan de luchtstroom door de filters (Figuur 5). De bronsterkte in olf neemt toe naarmate de luchtstroom vermeerderd. Deze relatie lijkt lineair. De bronsterkte in μg/s geeft in twee gevallen een soortgelijke relatie (filter G1 en G3 in Figuur 6). Indien de bronsterkte van een gebruikt filter inderdaad lineair afhankelijk is van de luchtstroom door het filter betekent dit dat de bronsterkte in olf bij een luchtstroom van 500 l/s (normale waarde voor dit type filter) erg hoog uitvalt. Tot nu toe zijn de bronsterkten bepaald bij luchtstromen lager dan 500 l/s. Verder onderzoek naar deze afhankelijkheid is dus aan te bevelen.

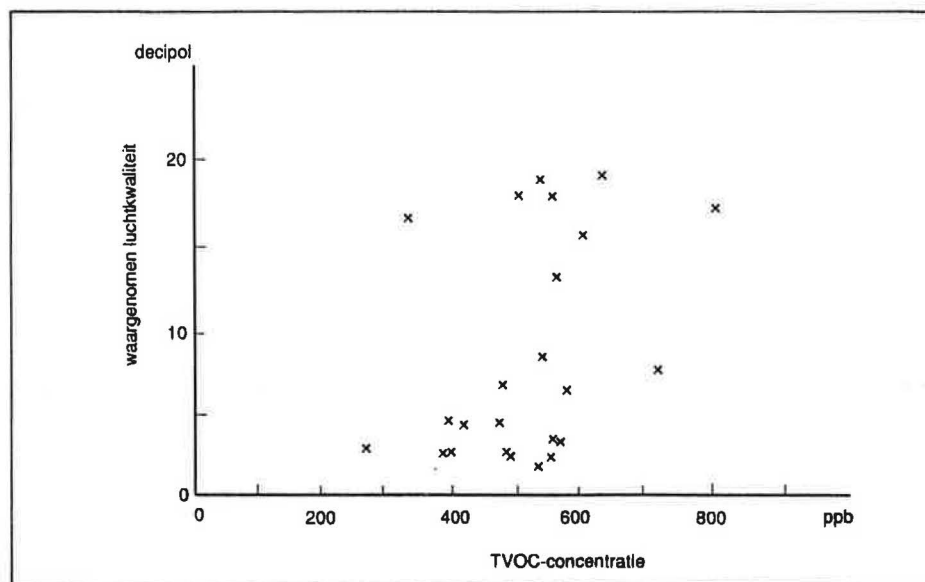
Blyussen [12] beschrijft met behulp van het zogeheten leeftijdsmodel dat nadat de geëmitteerde verontreinigingen van het filter de hele klimaatinstallatie zijn gepasseerd en uiteindelijk op de plaats van bestemming komen (het kantoor), een gedeelte van deze geëmitteerde verontreinigingen uitgestorven zijn, ofwel gereageerd hebben met de zuurstof in de lucht of onderling. Een andere verklaring voor deze vermindering is de adsorptie en absorptie van de geëmitteerde verontreinigingen door installatie- en gebouwonderdelen die worden gepasseerd.

Om na te gaan of er een relatie bestaat tussen de TVOC-concentratie in ppb en de waargenomen luchtkwaliteit in decipol, werd de TVOC-concentratie op dezelfde plaats gemeten als waar de panelleden de lucht, komende uit de diffusors A en B, waarnamen. In Figuur 7 zijn alle gemeten TVOC-concentraties uitgezet tegen de corresponderende waargenomen luchtkwaliteiten. Een relatie is moeilijk aan te tonen. Berekent

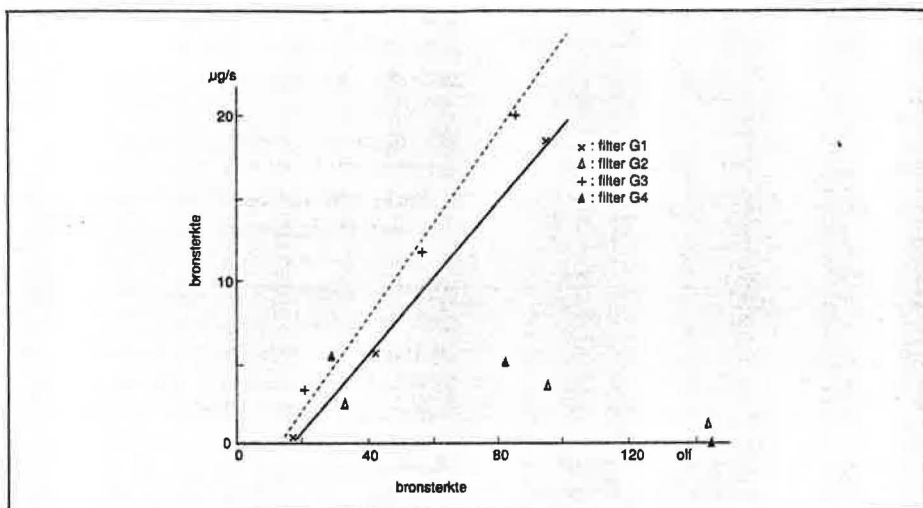
men echter de bronsterkte in olf en μg/s per filter en zet men per filter twee bronsterkten tegen elkaar uit (Figuur 8), dan blijkt in twee gevallen, filter G1 en G3, de bronsterkte in olf toe te nemen als de bronsterkte in μg/s toeneemt. Voor de andere twee filters lijkt de bronsterkte in μg/s vrij constant, terwijl de bronsterkte in olf dit niet is. Dit zou kunnen betekenen dat de verontreinigingen, gefiltreerd door de vier filters komende van verschillende lokaties, verschillende eigenschappen hebben. De mens beoordeelt sommige als slecht ruikend en/of irriterend, terwijl de concentraties van de betreffende verontreinigingen niet met een instrument kunnen worden gedetecteerd, of de waargenomen verontreinigingen behoren niet tot de geregistreerde TVOC's. De toename in TVOC-concentratie is voor



Figuur 6. Bronsterkte in μg/s van de gebruikte filters als functie van de luchtstroom door het geteste filter.



Figuur 7. Relatie tussen de TVOC-concentratie (ppb) en de waargenomen luchtkwaliteit (decipol) voor alle geteste situaties



Figuur 8. Bronsterkte in olf versus bronsterkte in $\mu\text{g/s}$ voor elk getest filter

de meeste onderzochte filters gering te noemen.

Het gemeten drukverlies over de zes geteste filters en het berekende gemiddelde gewicht, zijn gepresenteerd in Tabel 1. Alhoewel alle geteste filters van hetzelfde type waren en van dezelfde fabrikant kwamen, had filter G3 een gewicht dat ver buiten het gemiddelde gewicht van de andere filters lag, en werd daarom beschouwd als zijnde anders. Meer data zijn nodig om eventuele relaties tussen de bronsterkte en het gewicht of drukverlies van een filter te kunnen bepalen.

In ieder geval kan worden geconcludeerd dat de vier gebruikte filters bij kunnen dragen aan subjectief waar te nemen binnenluchtverontreiniging. De verzamelde stofdeeltjes zijn een mogelijke oorzaak hiervoor, omdat nieuwe, ongebruikte filters in veel mindere mate bijdragen. Valbjørn e.a. [13] hebben stof afkomstig van filters bestudeerd en vonden dat de waargenomen luchtkwaliteit en de emissie van TVOC verwaarloosbaar waren. In een ander onderzoek, waarin Martikainen [14] e.a. het groeien van microben op filters blootgesteld aan buitenlucht onderzochten, werd geconcludeerd dat microben zelfs bij een temperatuur van 5 graden Celcius en een relatieve vochtigheid van 75% op filters kunnen groeien.

In lucht zwevende stofdeeltjes zijn een voedingsbodem voor microben. Veel schimmels vormen ruikende en irriterende producten. Dit kan een mogelijke verklaring zijn voor het verontreinigende effect van de gebruikte filters. Leupen [15] voerde in opdracht van NOVEM B.V. een verkennende literatuurstudie uit naar doorgroei van schimmels in luchtfilters en vond hierin dat gasvormige allergenen van schimmels door de luchtstroming vanaf filters zouden kunnen emitte-

ren.

Alhoewel de filters getest werden bij een relatieve vochtigheid tussen de 21 en de 37%, kwamen alle gebruikte filters uit klimaatinstallaties waarin deze werden blootgesteld aan een relatieve vochtigheid die ongeveer gelijk is aan die van de buitenlucht (80-90%). Dit houdt in dat schimmels mogelijk in de filters aanwezig waren en bijdroegen aan de verontreiniging.

Verder onderzoek naar onder andere de invloed van vocht op filters is daarom van belang. Indien de relatieve vochtigheid de oorzaak is van de verontreinigende werking van filters dan is een oplossing ter voorkoming zeker te vinden.

Conclusies

- De bronsterkte van nieuwe en gebruikte fijne zakkenfilters werd bepaald met behulp van een getraind panel en met TVOC-metingen.
- De verontreinigende werking van nieuwe filters, uitgedrukt in olf, was relatief laag. Gebruikte filters kunnen in sterke mate bijdragen aan de subjectief waar te nemen binnenluchtverontreiniging.
- Verder onderzoek naar de subjectief waar te nemen verontreinigende werking van filters in relatie tot onder andere de grootte van de luchtstroom en de relatieve vochtigheid is aan te bevelen. De invloed van schimmels-groei in filters op de filterbronsterkte moet worden onderzocht.

Referenties

[1] Finnegan, M.J., Pickering, A.C., Prevalence of symptoms of the sick building syndrome in buildings without expressed dissatisfaction, Indoor Air '87, Berlin, 1987, vol.2, p.542-546.

[2] Robertson, A.S., Comparison of health problems related to work and environmental measurements in two office buildings with different ventilation systems, Br.med.J., 209, 1985, p.373-376.

[3] Jaakola, J.J.K., Heinonen, O.P., Seppanen, O., Mechanical ventilation in an office building and sick building syndrome, a short-term trial, Indoor Air '87, Berlin, 1987, vol.2, p.454-458.

[4] Hedge, A., Wilson, S., Burge, P.S., Robertson, A.S., Harris-Bass, J., Indoor climate and employee health in offices, Indoor Air '87, Berlin, 1987, vol.2, p.492-496.

[5] Hanssen, S.O., Mathisen, H.M., Sick buildings - a ventilation problem?, Indoor Air '87, Berlin, 1987, vol.3, p.357-361.

[6] Fanger, P.O., Lauridsen, J., Bluyssen, P., Clausen, G., Air pollution sources in offices and assembly halls quantified by the olf-unit, Energy and Buildings, 12, 1988, p.7-19.

[7] Pejtersen, J., Bluyssen, P., Kondo, H., Clausen, G., Fanger, P.O., Air pollution sources in ventilation systems, CLIMA 2000, Sarajevo, 1989, vol.3, p.139-144.

[8] Bluyssen, P.M., Het evalueren van de luchtkwaliteit met behulp van getrainde personen, Klimaatbeheersing, 20 (1991), nr.5 (mei), p.153-158.

[9] Eurovent 4/5, method of testing air filters used in general ventilation, Wien, 1980.

[10] Albrechtsen, O., Twin climate chambers to study sick and healthy buildings, Healthy Buildings '88, Stockholm, 1988, vol.3, p.25-30.

[11] Fanger, P.O., Olf and decipol - the units for perceived air quality, Klimaatbeheersing 17, 1988, nr.2, p.38-41.

[12] Bluyssen, P.M., Air quality evaluated by a trained panel, Dissertatie, Laboratory of Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark, Oktober, 1990.

[13] Valbjørn, O., Nielsen, J.B., Gravesen, S., Molhave, L., Dust in ventilation ducts, Indoor air '90, Toronto, 1990, vol.3, p.361-364.

[14] Martikainen, P.J., Asikainen, A., Nevalainen, A., Jantunen, M., Pasanen, P., Kalliokoski, P., Microbial growth on ventilation filter materials, Indoor Air '90, Toronto, 1990, vol.3, p.203-206.

[15] Leupen, M.J., Verkennende literatuurstudie naar doorgroei van schimmels in luchtfilters. MTFNO Rapport R89/187, februari 1990.