

## **SCHOONMAAKONDERHOUD EN STOF II**

Voorstudie tot onderzoek naar het kwaliteitsniveau van het schoonmaakonderhoud in relatie tot het functioneren van de mens.

Deel II: Literatuurrecherche (SM13 / augustus 1989)

© Vereniging Schoonmaak Research, november 2008

Vereniging Schoonmaak Research,  
een onafhankelijk platform voor alle marktpartijen in  
het schoonmaakonderhoud. VSR streeft naar verhoging  
van het professionele niveau van het schoonmaakvak  
door onderzoek, voorlichting en opleiding.



## SCHOONMAAKONDERHOUD EN STOF II

Vorstudie tot onderzoek naar het kwaliteitsniveau van het schoonmaakonderhoud in relatie tot het functioneren van de mens.

### Deel II: Literatuurrecherche (SM 13)

Opdrachtgever : Vereniging Schoonmaak Research

Opdrachtnummer : IBR 13035

Projectleider : ir. M.H.M. Spitteler  
Uitgevoerd door : ir. M.H.M. Spitteler

Uitgegeven door : Vereniging Schoonmaak Research

Vereniging Schoonmaak Research  
Postbus 90154  
5000 LG Tilburg

[www.vsr-org.nl](http://www.vsr-org.nl)

© VSR november 2008 (oorspronkelijke uitgave augustus 1989)

Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van VSR niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, of anderszins, hetgeen ook van toepassing is op gehele of gedeeltelijke bewerking.



# INHOUD

VERKLARENDE WOORDENLIJST .....	7
1. INLEIDING .....	11
2. STOF .....	13
2.1 Inleiding .....	13
2.2 Deeltjesgrootte .....	14
2.3 De vorm van de deeltjes .....	18
2.4 Oplosbaarheid .....	19
2.5 Samenstelling .....	19
3. HET ADEMHALINGSSTELSEL .....	21
3.1 Inleiding .....	21
3.2 Depositie van deeltjes .....	23
3.3 De verwijdering van deeltjes .....	29
4. EFFECTEN VAN STOF .....	31
4.1 Inleiding .....	31
4.2 Gezondheidseffecten .....	31
4.2.1 Klachten .....	34
4.2.2 Obstructieve reacties .....	34
4.2.3 Restrictieve reacties .....	35
4.3 Verschillende ziekten .....	36
5. MONSTERNAME VAN DEELTJES .....	41
5.1 Aërosolen .....	41
5.2 Organische stof .....	43
6. KANTOOR(ACHTIGE) GEBOUWEN .....	45
6.1 Inleiding .....	45
6.2 Oorzaken van SBS .....	46
6.2.1 Inleiding .....	46
6.2.2 Luchtbehandelingssystemen .....	48
6.2.3 Andere mogelijke oorzaken .....	51

7.	FACTOREN DIE VERONTREINIGINGEN BEINVLOEDEN . . . . .	55
7.1	Inleiding . . . . .	55
7.2	De mens . . . . .	56
7.3	Luchtbehandelingsystemen . . . . .	57
7.4	(Relatieve) vochtigheid . . . . .	58
7.5	Zachte of harde vloerbedekking . . . . .	60
8.	VERONTREINIGENDE STOFFEN . . . . .	65
8.1	Stof . . . . .	65
8.2	Micro-organismen . . . . .	67
8.3	Huisstofmijten en allergenen . . . . .	71
9.	(VLOER)STOF EN SCHOONMAAK . . . . .	75
9.1	Bepalen van hoeveelheid vloeistof . . . . .	75
9.2	Stofzuigen en vloerstof . . . . .	76
9.3	Schoonmaak van airconditioning . . . . .	78
9.4	Vergelijking centrale stofzuiger met moppen . . . . .	79
10.	NORMEN . . . . .	81
10.1	Inleiding . . . . .	81
10.2	Stofnormen . . . . .	81
10.3	Normen voor (micro-)organismen . . . . .	82
11.	SAMENVATTING EN CONCLUSIES . . . . .	83
	Voorstel tot verder onderzoek . . . . .	85
	LITERATUUR . . . . .	87

# VERKLARENDE WOORDENLIJST

aërosolen:	systemen van fijn gedispergeerde deeltjes in de lucht
allergenen:	(antigene) stoffen die bij daartoe gevoelige personen allergische verschijnselen veroorzaken
allergie:	andersgevoeligheid (overgevoeligheid)
alveolen:	kleine holtes, longblaasjes
CARA	Chronisch Aspecifieke Respiratoire Aandoeningen
carcinogeen:	kankerverwekkend
CFU:	kolonie vormende eenheden (colony forming units)
chronisch:	langzaam, slepend verloop (bij blootstelling: lange termijn met lage blootstelling)
collageen:	bindweefsel
condensatie:	faseovergang van damp tot vloeistof, meestal als gevolg van temperatuursverlaging
d a:	equivalente aërodynamische diameter
depositie:	het neerslaan van deeltjes
dispersie:	medium, waarin vaste deeltjes zwevend gehouden worden
dyspnoe:	benauwdheid
EAA:	Extrinsieke Allergische Alveolitis
emfyseem:	(longemfyseem) luchtzucht, vermindering van de hoeveelheid longblaasjes
endotoxinen:	bestanddeel van de celwand van gram-negatieve bacteriën

entree-efficiëntie:	opname van deeltjes uit de lucht (in ademhalingsstelsel)
extra-thoracale fractie:	deeltjes die in de mond, neus tot aan het strotten hoofd neerslaan
fagocytose:	vernietiging van in het organisme binnengedrongen bacteriën, virusdeeltjes e.d. en andere schadelijke elementen
fibrose:	toeneming van bindweefsel in een orgaan
fibrotisch:	gekenmerkt door bindweefsel(vorming)
gram-negatieve: bacterie	bacteriën die niet gekleurd worden door de kleuringsmethode van Gram, in tegenstelling tot gram-positieve bacteriën
inspirabele fractie:	totale inadembare deel van het stof
interstitieel:	tussenliggend, tot een tussenruimte behorend
isometrische deeltjes:	deeltjes van gelijke vorm
lethargie:	slaapzucht
MAC:	Maximaal Aanvaarde Concentratie
macrofaag:	een (soort) fagocyt, deze "eet" schadelijke deeltjes, dit vindt o.a. in de longen plaats
micrometer:	$\mu\text{m}$ = éénderd millimeter, $10^{-3}$ mm, $10^{-6}$ m
milligram(mg):	éénderdste gram
m/s:	meter per seconde (snelheidsmaat)
m <sup>3</sup> :	kubieke meter (één bij één bij één meter)
mycotoxinen:	bestanddeel van bepaalde schimmels
oedeem:	(water)zucht, abnormale ophoping van vocht in het interstitiële weefsel
pneumonitis:	ontsteking van de slijmvliezen van de luchtpijp
resorptie:	opname in het lichaam
respirabele fractie:	deel van het stof dat in de longblaasjes terecht komt



(allergische) rhinitis:	hooikoorts
RSP:	Respirabel Suspended Particles, d.w.z. deeltjes kleiner dan 3 $\mu\text{m}$ in diameter)
secundaire ingestie:	stoffen, deeltjes die als bestanddeel van "opgehoest" slijm uit de luchtwegen ingeslikt worden
sedimentatie:	het neerslaan van stoffen op een "oppervlak", bijvoorbeeld als gevolg van de zwaartekracht
sensibiliseren:	(over)gevoelig maken of worden
sp.:	(na een geslachtsnaam) species, d.w.z. onbekend is de (specifieke) soort
sputum:	het opgehoeste, (ziekelijke afscheidingsproducten van het ontstoken slijmvlies van de ademhalingswegen)
thorax:	borst, borstkas
totaalstof:	stof dat gemonsterd wordt met een aanzuigsnelheid van 1,25 m/s. (gehele zwevende fractie van het omgevingsstof)
trachea:	luchtpijp
tracheïtis:	ontsteking van de slijmvliezen van de luchtwegen
vezel:	(stof)deeltje met lengte/breedte verhouding van ten minste 3
10x:	getal tot de macht x, dit wil zeggen: $10^2 = 100$ $10^3 = 1000$ $10^4 = 10000$ enzovoorts
< :	kleiner dan
<= :	kleiner of gelijk dan
> :	groter dan



# 1. INLEIDING

De onderzoeksvraag: "onderzoek naar de relatie tussen het kwaliteitsniveau van het schoonmaakonderhoud en het functioneren van de mens (de gebruiker) op de werkplek", is een algemeen en veelomvattend geheel. De vraag is wat verstaan we hieronder:

Door middel van schoonmaken wordt rommel/vuil/stof verwijderd. Als er niet (voldoende) schoongemaakt wordt blijft er rommel/vuil/stof achter die/dat invloed kan hebben op het functioneren van de mens (de gebruiker) op de werkplek. Rommel d.w.z. prullen, snippers (papier), peuken e.d. worden met schoonmaken verwijderd. Het voldoende, of niet voldoende, verwijderen van rommel is met het oog vast te stellen. Niet verwijderen van rommel zal invloed hebben op het functioneren van de mens op de werkplek, waarbij psychologische factoren een grote rol zullen spelen. Vuil is te verdelen in vastzittend en loszittend vuil. Bij vastzittend vuil zullen psychologische factoren van invloed zijn op het functioneren van de mens op de werkplek. Het loszittende vuil kan onder stof geclassificeerd worden. (Als over stof gesproken wordt, wordt vanaf nu, hier ook vuil onder verstaan.) Stof kan op twee verschillende manieren invloed uitoefenen op het functioneren van de mens:

- het kan een psychologische invloed hebben, op de manier zoals: "wat ligt er veel stof, hier kan een normaal mens toch niet werken."
- het kan gezondheidsklachten /-effecten geven.

De psychologische factoren worden hier verder buiten beschouwing gelaten.

Gezondheidseffecten/-klachten kunnen optreden door contact van vuil/stof:

- met de huid/handen/ogen;
- met de ademhalingswegen;
- met het maag/darmkanaal (door inslikken hetzij direct of door zogenaamde secundaire ingestie).

Contact van vuil/stof(fen) met de huid/handen of ogen kan voorkomen worden en zal geen rol van betekenis spelen bij de relatie tussen de kwaliteit van schoonmaakonderhoud en het functioneren van de mens, de gebruiker, op de werkplek. Deze gebruiker zou contact met schoonmaakmiddelen kunnen hebben, maar bij normaal gebruik en beheer kan dit geen problemen opleveren. Gezondheidseffecten op de ademhalingswegen door onvoldoende, of niet effectief, schoonmaken is iets wat wel aandacht verdient. Hierbij kan gedacht worden aan niet (voldoende) verwijderd stof.

Er zijn velerlei stoffen bekend die schade aan de luchtwegen kunnen veroorzaken.

Er zijn ook veel ademhalingsziekten waarvan de oorzaak nog niet, of niet goed, bekend is. In Nederland worden astma, longemfyseem en chronische bronchitis geclassificeerd onder de naam CARA (Chronische Aspecifieke Respiratoire Aandoeningen). Eén op de tien Nederlanders heeft last van CARA (zo'n 1.500.000), het totaal aantal ernstige gevallen bedraagt 300.000 (bron: Nederlandse Astma-Fonds). Mensen die CARA hebben, kunnen onder andere slecht tegen (een teveel aan) stof. (zie ook artikelen in de kranten over (weinig geld voor) schoonmaak en stof in scholen.) De samenstelling van het stof heeft ook invloed op het ontstaan/verergeren van klachten. Mogelijke oorzaken van het ontstaan/verergeren van klachten zijn allerlei stoffen/allergenen van huisstofmijten, (huis)dieren, bacteriën, schimmels, planten.

Voor veel stoffen zijn omdat ze gezondheidseffecten veroorzaken normen ontwikkeld. Zo bestaan er verschillende normen voor stoffen/gassen in arbeidssituaties welke niet overschreden mogen worden. De meeste normen, MAC-waarden (MAC = Maximaal Aanvaarde Concentratie) gelden voor een 8-urige werkdag, 5 dagen per week.

Hiernaast bestaan voor allerlei stoffen, met een kortere werkingsduur, MAC-waarden voor 1.5 minuten.

Gezondheidsklachten kunnen ook optreden door (opname van) stoffen in het maag/darm kanaal. Dit echter alleen als er componenten in het stof zitten die op het maag/darm kanaal, of na opname en eventuele omzettingen op het lichaam inwerken.

In hoofdstuk 2 wordt beschreven wat stof is, hoe het eruit ziet en hoe het zich gedraagt. Hoe deeltjes zich in het ademhalingsstelsel gedragen. Welke factoren het neerslaan in (verschillende delen van) het ademhalingsstelsel beïnvloeden wordt beschreven in hoofdstuk 3. Het effect dat stof heeft op de gezondheid van mensen staat in hoofdstuk 4. Beschrijvingen van verschillende ziekten veroorzaakt door stof(fen) staan ook in dit hoofdstuk. In hoofdstuk 6 worden de klachten beschreven die een aantal bewoners van kantoor(achtige) gebouwen hebben (Sick Building Syndrome) en de mogelijke oorzaken van deze klachten. De factoren die verontreinigingen (in kantoor(achtige) gebouwen beïnvloeden worden beschreven in hoofdstuk 7. Wat de mogelijke verontreinigende stoffen in kantoor(achtige) gebouwen zijn wordt beschreven in hoofdstuk 8. In hoofdstuk 9 wordt de relatie tussen (vloer)stof en schoonmaak gelegd. In hoofdstuk 10 worden een aantal normen die voor stof en micro-organismen bestaan, vermeld.

De samenvatting en conclusies van dit rapport staan in hoofdstuk 11. In de tekst wordt de gebruikte literatuur genoemd, deze wordt achter in het rapport in de literatuurlijst compleet beschreven.

## 2. STOF

### 2.1. Inleiding

Over de naamgeving van stof (en de definitie hiervan) kunnen onduidelijkheden ontstaan. Daarom is het beter om te spreken over: Aërosolen, systemen van fijn gedispergeerde deeltjes in de lucht. Aërosolvorming (stofvorming) kan plaatsvinden door dispersie of door condensatie. Dispersie is het zwevend maken/houden van vloeibare of vaste stoffen in een medium (in dit geval in de lucht). Condensatie is de faseovergang van damp tot vloeistof, die meestal plaatsvindt door temperatuursverlaging. (Door condensatie worden deeltjes groter.) Aërosolen kunnen als volgt geclassificeerd worden:

- Stoffen, of dispersie aërosolen, deze ontstaan door het kleiner worden van materialen d.m.v. malen of vergruizen.
- Dampen, of condensatie aërosolen, ontstaan door verdamping en condensatie van hete vaste substanties.
- Mist ontstaat bij de dispersie van een vloeibare stof of bij de condensatie van dampen. Een voorbeeld van mist is het "stof" dat uit spuitbussen komt.
- Rook, dit zijn erg kleine vloeibare en vaste deeltjes die ontstaan bij verbranding van koolstofbevattend materiaal.

Alle soorten aërosolen kunnen door natuurlijke oorzaken of door menselijk handelen ontstaan.

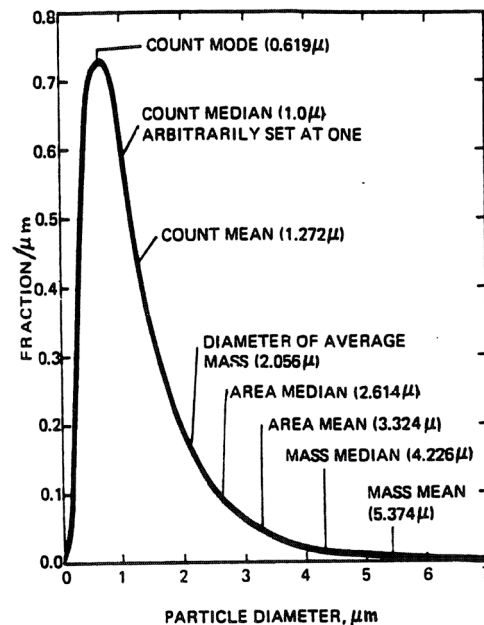
Het gedrag van aërosolen in de lucht en in het (menselijk) lichaam is afhankelijk van haar fysische en chemische eigenschappen. De grootte, dichtheid en vorm van de deeltjes bepalen hoe snel de deeltjes uitzakken in de lucht, maar ook hoever en waar de deeltjes in de longen komen. De schade die de mens lijdt door het inademen van de deeltjes is afhankelijk van de chemische en minerale samenstelling, oplosbaarheid en biologische activiteit. In het algemeen komen kleinere deeltjes dieper in de longen terecht dan grotere deeltjes.

Het is belangrijk om de deeltjesgrootte distributie te weten om het potentiële risico voor de gezondheid te bepalen. Een voorbeeld van een logaritmisches - normale verdeling van een verzameling deeltjes wordt gegeven in figuur 2.1., hierin staan een aantal termen, die veel gebruikt worden bij de deeltjesgrootte distributie, uitgelegd (uit: Joosting, 1979).

Dit is een voorbeeld van een logaritmisch - normale verdeling van een verzameling deeltjes waarvan 50% van het aantal groter en 50% kleiner is dan 1 µm ("count median"). De deeltjes die in het grootste aantal aanwezig zijn, hebben een diameter in de orde van 0.6 µm („count mode”).

Kleine deeltjes hebben veel kleinere massa dan de grotere in de verzameling. Vandaar dat de mediaan voor de massa's der diverse deeltjes sterk beïnvloed wordt door de grotere zware – deeltjes waardoor die komt te liggen bij ruim 4 µm ("mass median").

Wordt er dus gesproken van deeltjes met een bepaalde MMD (Mass Median Diameter) dan kan men bedenken dat in de meeste gevallen het grootste aantal deeltjes van de verzameling ligt rond een diameter die slechts een/achtste tot de helft is van de genoemde diameter en wel afhankelijk van de spreiding van de deeltjesgrootte.



Figuur 2.1

## 2.2. Deeltjesgrootte

De deeltjesgrootte is het meest belangrijke gegeven van luchtaërosolen. De grootte van de deeltjes wordt meestal gedefinieerd door de diameter. Voor ronde deeltjes is de diameter een goede maat voor de grootte. Het meeste stof in de lucht heeft echter niet de vorm van een ideale bol, maar is onregelmatig van vorm en kan van samengestelde vorm zijn. Daarom worden er andere manieren gebruikt om de deeltjesgrootte te definiëren. De meest gebruikte methode is door de valsnelheid van een deeltje in stilstaande lucht te bepalen. Als een deeltje valt van een bepaalde hoogte in stilstaande lucht is het onderworpen aan de zwaartekracht en de wrijving die het ondervindt ten gevolge van de lucht. Het deeltje zal al snel met een voor dat deeltje karakteristieke snelheid "uitzakken", als maat hiervoor wordt de equivalente aërodynamische diameter ( $d_a$ ) genomen. Hierbij vervangt men (denkbeeldig) de afmetingen van het oorspronkelijke deeltje door een bolvormig deeltje met gelijke massa en met een dichtheid van 1 gram per kubieke centimeter, zodat de diameter eenduidig gedefinieerd is. De aërodynamische diameter is uit de valsnelheid te bepalen met de formule:

$$d_a^2 = \frac{18 \eta}{\rho \cdot g} \cdot V_s \quad (\text{voor lucht} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ ms})$$

$d_a$  = aërodynamische diameter  
 $\eta$  = dynamische viscositeit  
 $\rho$  = dichtheid bolletje  
 $V_s$  = valsnelheid

Uit de formule valt te berekenen dat een deeltje met een  $d_a$  van bijvoorbeeld 50  $\mu\text{m}$  een uitzaknelheid van 7,5 cm per seconde heeft en een deeltje met een  $d_a$  van 5  $\mu\text{m}$  een uitzaknelheid die 100 x zo klein is.

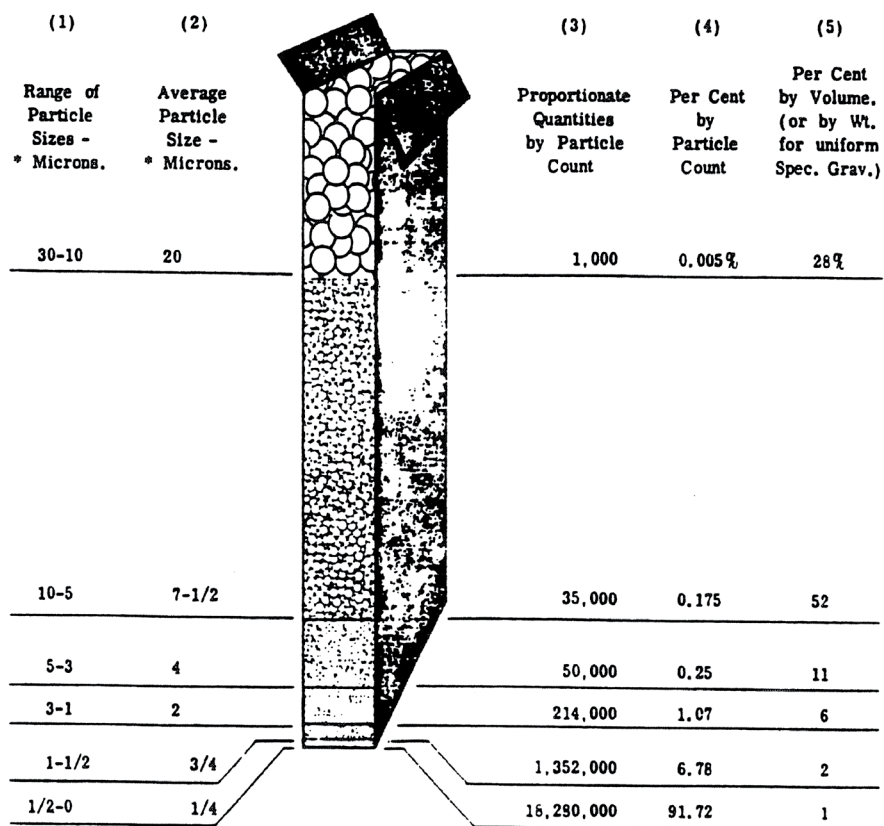
In tabel 2.1 staan met behulp van bovenstaande formule uitgerekenende verblijftijden in stilstaande lucht voor deeltjes met verschillende aërodynamische diameter die van 2 meter hoogte vallen.

Tabel 2.1. Valsnelheid ( $V_s$ ) en verblijftijd ( $t$ ) in stilstaande lucht voor deeltjes met verschillende aërodynamische diameter ( $d_a$ ) die van 2 meter hoogte vallen.

$d_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$V_s$	$t =$	$2000 / V_s$ (sec)	
1	0.03	$0.66 \cdot 10^5$	=	18 uur 20 minuten
2	0.12	16670	=	4 uur 37 minuten
3	0.75	2667	=	45 minuten
10	3.00	666	=	11 minuten
20	12.00	167	=	3 minuten
50	75.00	27	=	0,5 minuten
100	300.00	6.7	=	7 seconden

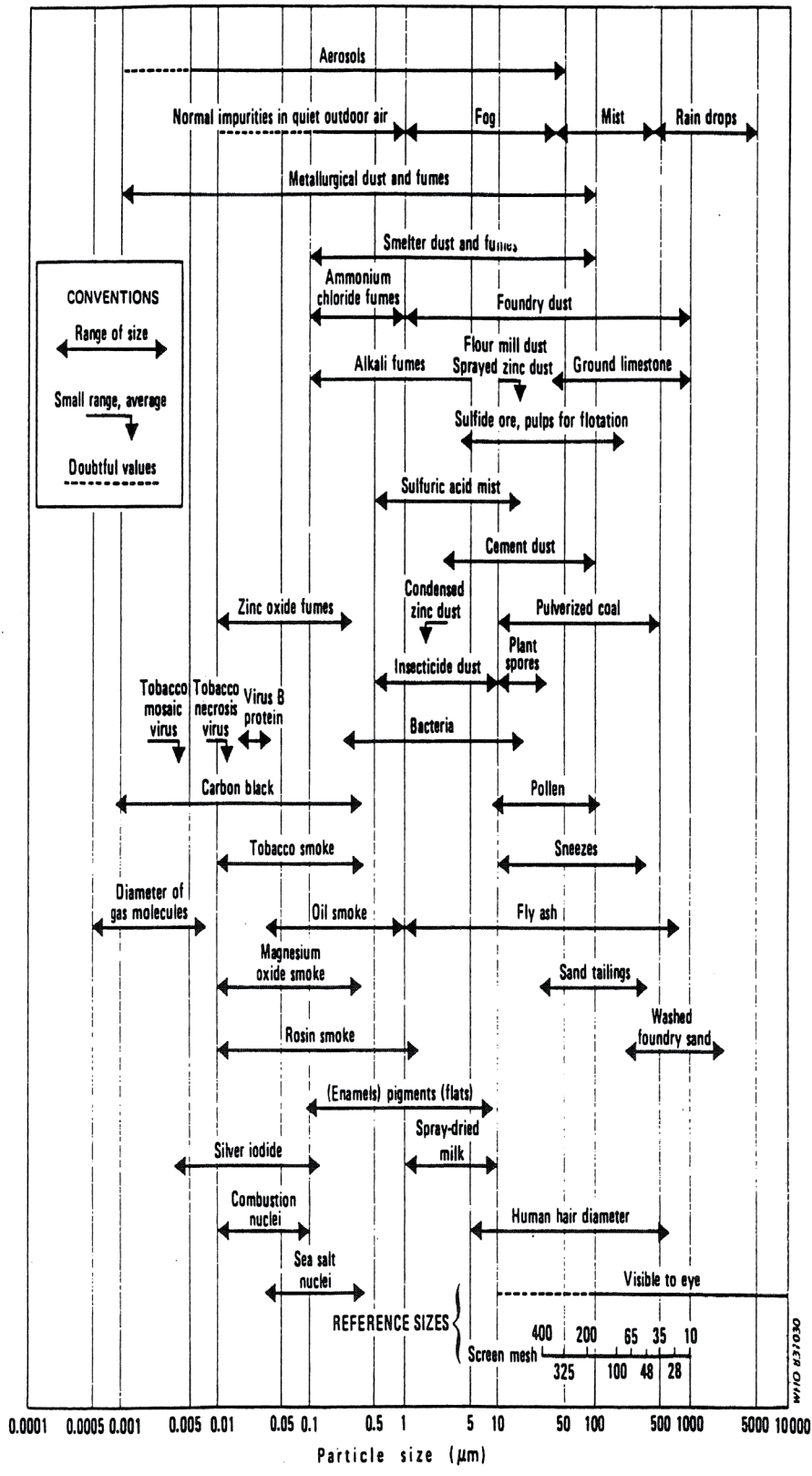
De equivalente diametermethode is de aanbevolen manier om de deeltjesgrootte te beschrijven, aangezien deze maat de mogelijkheid van een deeltje om in te inademen te worden, en de sedimentatie het beste beschrijft. De valsnelheid en het gedrag in de luchtwegen is dus afhankelijk van de aërodynamische eigenschappen en niet van de grootte van het stofdeeltje. Zo kan een deeltje koolstof met een diameter van 15  $\mu\text{m}$  een  $d_a$  hebben van 7  $\mu\text{m}$  (WHO, 1984). De grootte zegt dus niet alles over de valsnelheid en het gedrag van het deeltje. De  $d_a$  beschrijft of deeltjes al dan niet ingeademd worden en in welke tijd ze neerslaan.

De aerosolen in de buitenlucht hebben een bimodulaire verdeling, een mode bij 0,5  $\mu\text{m}$  en een brede mode tussen 10 en 100  $\mu\text{m}$  (Whitby e.a., 1972). De samenstelling van de deeltjes in de buitenlucht verschillen wel van plaats tot plaats, de modes komen grotendeels overeen. In figuur 2.2. (Huza & Pant, 1987) staat een voorbeeld van de grootteverdeling van atmosferisch stof.



Figuur 2.2. Grootteverdeling in atmosferische stof





Figuur 2.3. Voorbeelden van de grootte-range van verschillende deeltjes.

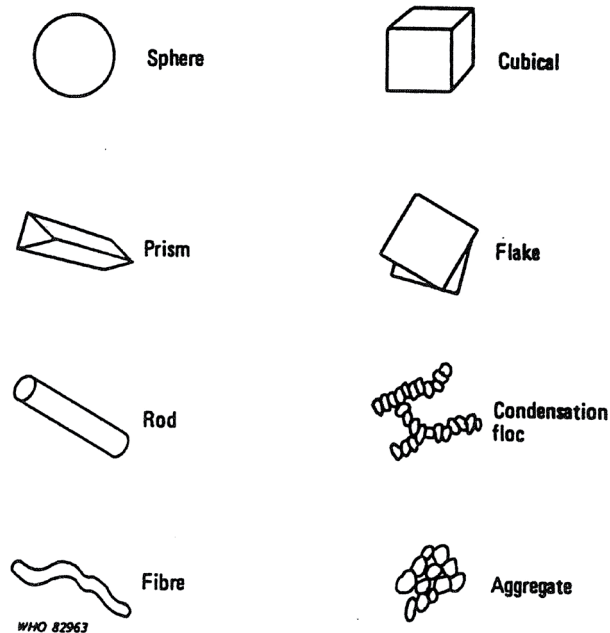
Een aantal hieruit gelichte voorbeelden die voor ons van belang zijn: Stofdeeltjes kunnen een grootte hebben van minder dan 1  $\mu\text{m}$  tot 100  $\mu\text{m}$ . Rookdeeltjes hebben een gemiddelde diameter van 1  $\mu\text{m}$  tot 0,01 $\mu\text{m}$ . Deeltjes in de grootte van 0,005-0,05  $\mu\text{m}$  zijn meestal gevormd door condensatie van dampen, die geproduceerd zijn in een chemisch proces of bij een hoge temperatuur.

Deeltjes in de grootte van 0,05-0,2  $\mu\text{m}$  zijn veelal gevormd door coagulatie van kleinere deeltjes door damp condensatie.

Grotere deeltjes worden veelal gevormd door mechanische processen zoals malen en schuren (waarbij ook kleine deeltjes ontstaan.)

### 2.3. De vorm van de deeltjes

Deze is afhankelijk van de samenstelling en hoe de deeltjes ontstaan zijn. In figuur 2.4. staan voorbeelden hoe deeltjes er uit kunnen zien. De vorm van een deeltje bepaalt de oppervlakte / volume verhouding. Hoe groter de afwijking van de bolvorm is, des te groter de oppervlakte / volume verhouding is. Dit heeft invloed op de valsnelheid en is van groot biologisch belang. Het gebied van het absorptieoppervlak van een deeltje bevat het totale deeltjesoppervlak plus het poriënoppervlak (dit is het oppervlak dat verbinding heeft met de buitenwereld.) Het absorptieoppervlak plus de fysisch-chemische eigenschappen van een deeltje bepalen het vermogen van een deeltje om gassen en dampen te absorberen en elektrische ladingen te behouden.



Shape	Aerosol
Spherical	Carbon black, iron oxide, fly-ash, pollen
Prism	Iron, quartz
Fibre	Asbestos, cotton, mineral wool, fibreglass
Flake	Mica, tea, tobacco

Figuur 2.4 Vormen van enkele deeltjes

Bepaalde stoffen zoals diatomiet, silica en actieve cool hebben een structuur met complexe interne poriën die een veel groter oppervlak geeft dan verwacht mag worden vanuit de deeltjesgrootte. De chemische en biologische activiteit van een deeltje wordt voor een deel bepaald door de oppervlakte/ volume verhouding.

Hierdoor neemt de reactiviteit van stof toe wanneer de grootte afneemt. (Het relatieve oppervlak neemt in sterke mate toe). De chemische reactiviteit van kleine deeltjes is groot (explosiegevaar).

Een manier, om vezels te beschrijven, is door de lengte en de breedte van deeltjes te meten.

## 2.4. Oplosbaarheid

De oplosbaarheid van deeltjes in waterachtige media of in vetten is van biologische belang omdat het de plaats van aangrijpen en de mate van resorptie (opname) in het lichaam beïnvloed. Zo is een stof als ammoniak goed in water oplosbaar, hierdoor oefent het zijn schadelijke werking al in de bovenste luchtwegen uit. Een stof als chloor is matig oplosbaar in water, ze heeft vooral een schadelijke werking op de middelste luchtwegen. Ozon is niet oplosbaar in water en grijpt in op de onderste luchtwegen.

De snelheid waarmee irriterende of toxische stoffen in lichaamsvloeistoffen opgenomen worden is van groot belang voor de gezondheidseffecten die deze stoffen geven.

Voor fibrinogene deeltjes die hun invloed direct in de pulmonaire holtes uitoefenen is de oplosbaarheid ook belangrijk. Zo kan bijvoorbeeld kwarts niet opgenomen worden in het bloed, waardoor het zijn schadelijke werking in de pulmonaire holtes uitoefent.

## 2.5. Samenstelling

De samenstelling van de deeltjes is belangrijk voor het uiteindelijke gezondheidseffect van de deeltjes. Stof kan vrijkomen bij een bepaald proces, maar ook van samenstelling veranderen bij een proces. Door klontering van deeltjes kunnen allerlei verschillende stofdeeltjes bij elkaar komen. Het kan ook voorkomen dat samengestelde deeltjes weer uiteenvallen. De (chemische, biologische) samenstelling van stof is belangrijk om te weten wat het uiteindelijke effect van het stof op de mens is. De samenstelling van deeltjes kan echter ook veranderen (bijvoorbeeld door oxidatie).

Op grond van gezondheidseffecten kan men (lichaamsvreemde) stoffen onderverdelen in een drietal groepen: (Naar: Willems en Heederik)

- Deeltjes, bestaande uit anorganisch materiaal. Voorbeelden hiervan zijn vrij kwarts en steenkool (ziekten die kunnen ontstaan zijn silicosis en anthracosis);

- Deeltjes, bestaande uit organisch materiaal. Bekende voorbeelden zijn schimmelsporen, pollen en huisstofmijten. (Door immunologische reacties ontstaan ziektebeelden als allergische alveolitis, hooikoorts, astmatische bronchitis.);
- Deeltjes of gassen of dampen met prikkelende en/of allergene eigenschappen. Deze groep is zeer uitgebreid en o.a. afhankelijk van de aard van het agens is het effect min of meer ernstig, al dan niet acuut en al dan niet reversibel.

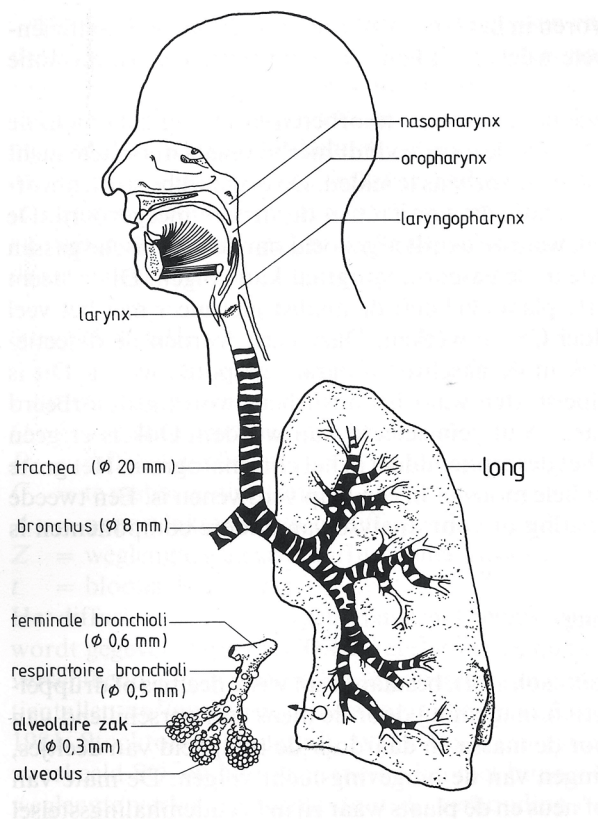
Een grote groep stoffen roept nergens in het ademhalingsstelsel een specifieke reactie op, maar prikkelen aspecifiek. Voorbeelden van zulke stoffen zijn: calciumcarbonaat, gips, korund, marmer, gebrande gips, cellulose, zetmeel, suiker. Deze stoffen staan bekend als inerte stoffen (Andersen e.a., 1979).

# 3. HET ADEMHALINGS- STELSEL

## 3.1. Inleiding

De ademhalingswegen beginnen bij de mond- en neusholte en gaan via de keelholte en larynx (strottenhoofd) de trachea (luchtpijp) en de bronchiën naar de longblaasjes (alveoli).

In figuur 3.1. staan de verschillende onderdelen van het ademhalingsstelsel weergegeven. (uit: Boley e.a., 1987).



Figuur 3.1. Schematisch overzicht van de ademhalingsorganen met daarin weergegeven de nasofarynx, het tracheobronchiale deel en het alveolaire deel.

Na de eerste splitsing van de trachea blijven de luchtwegen zich regelmatig splitsen zodat er uit een trachea met een doorsnede van  $\pm 2$  cm zo'n 15 cm verderop wel 55000 eindstandige kleine bronchiën (bronchiole terminales) zijn ontstaan met een totale doorsnede van in totaal 170 vierkante centimeter. Hierna gaan de vertakkingen nog gewoon door, waardoor het aantal alveolaire zakken zo'n 1000x zo groot is geworden. De luchtsnelheid in de luchtwegen neemt, door de oppervlaktevergroting van de doorsnede van de luchtwegen, aanzienlijk af. In de bronchiën van de eerste orde is de luchtsnelheid gemiddeld zo'n 200 cm/sec maar in de alveolaire zakken is die nog maar 1 mm/sec of minder.

Het is niet zo dat alle lucht die ingeademd wordt, diep in de longen terechtkomt, een deel wordt uitgeademd zonder dat de lucht (met eventuele deeltjes) in de longblaasjes komt. In tabel 3.1. staan gegevens van het ademhalingsstelsel (grootte, aantallen, luchtsnelheden in verschillende delen e.d.) op een rijtje (uit Hatch en Gross, 1964).

Tabel 3.1. Schematische voorstelling van de tractus respiratorius\*

Regionale eenheid	aantal	relatief volume (%)	diameter (mm)	lengte (mm)	doorsnede (cm <sup>2</sup> )	luchtsnelheid (cm sec)	verblijftijd (sec)	passerende fractie (%)
Mond	1	4	20	70	3	100	0,07	100
Pharynx	1	4	30	30	7	45	0,07	96
Trachea	1	6	16	110	2	150	0,07	92
1e Bronchus	2	2	10	65	1,6	190	0,03	86
2e Bronchus	12	1	4	30	1,5	200	0,015	84
3e Bronchus	100	1	2	15	3,1	100	0,015	83
4e Bronchus	770	1,5	1,5	5	14	22	0,02	82
Bronchiolus terminalis	$5.4 \times 10^4$	10	0,6	3	170	2	0,15	81
Bronchus respiratorius	$1.1 \times 10^5$	7	0,5	1,5	300	1,4	0,1	72
Ductus alveolaris	$2.6 \times 10^7$	63	0,2	0,2	8000	-	-	65
Saccus alveolaris	$5.2 \times 10^7$		0,3	0,3	-	-	-	-

\*Overgenomen uit Harch en Gross. 1964.

In de literatuur wordt het ademhalingsstelsel als het om de depositie van deeltjes gaat, vaak in drie compartimenten onderscheiden (Boley e.a., 1987; ICRP, 1966):

- Nasopharynx (mond-, neus- en keelholte tot aan het strottenhoofd (larynx)). Het oppervlak van deze holtes is bedekt met slijmvlies en trilharen.
- Tracheobronchiale deel (de trachea, de bronchiën en de bronchiolen). Dit gedeelte is ook bedekt met slijmvlies en trilharen.
- Alveolaire deel (terminale bronchiolen en de alveoli) Het alveolaire deel bezit geen trilharen. Oplosbare deeltjes die in dit gebied komen worden in korte tijd in het bloed opgenomen.

### 3.2. Depositie van deeltjes

Er zijn vijf verschillende manieren waarop deeltjes in de luchtwegen kunnen deponeren: (Lippmann e.a., 1980)

- a. invanging
- b. elektrostatische precipitatie
- c. sedimentatie
- d. impactie
- e. diffusie

#### a. Invanging

Invanging is normaal gesproken alleen van belang bij vezelvormige deeltjes. Als een deeltje de wand dicht genoeg genaderd is kan het voorkomen dat een deel van de vezel met de wand in contact komt. De lengte van de vezel is hierbij van belang, des te langer de vezel des te makkelijker de vezel sedimenteert. Ook is belangrijk of een vezel recht is of gekronkeld, de laatste maken door hun vorm meer onregelmatige bewegingen. Rechte vezels bewegen meer in de richting van de luchtstroom. Voor rechte vezels is de depositie in de longen ongeveer 2 x zo groot als voor onregelmatig gevormde vezels, welke depositie in de luchtwegen weer groter is. In Zuid-Afrika zijn verschillen gevonden tussen het voorkomen van een bijzondere vorm van borstvlies- en longkanker (mesothelioma) bij mijnwerkers in Transvaal en in het noordwesten van de Kaapprovincie.

Het gedolven materiaal was in beide gevallen crocidiet. De frequentie van voorkomen van de kanker was bij de werknemers in de Kaapprovincie echter veel hoger. De vezels van de delfstof uit de Kaapprovincie bleken 3 x zo kort en 3 x zo dun te zijn als die in Transvaal (namelijk een lengte van 6  $\mu\text{m}$  en een dikte van 0,06  $\mu\text{m}$ ). De massa was hierdoor 27 x zo klein, waardoor de kans op interceptie in de luchtwegen veel kleiner is dan van de grote vezels. Hierdoor is de kans op doordringen in de lager gelegen delen van het ademhalingsstelsel groter (Timbrell, 1972).

#### b. Elektrostatische precipitatie

Elektrostatische precipitatie treedt op bij geladen deeltjes. De depositie ten gevolge van lading is volgens Lippmann (1984) laag. Wel is gebleken dat voor betrekkelijke lichte deeltjes met een diameter tussen 0,3 en 1,1  $\mu\text{m}$  en een elektrische lading, de depositie met 15 tot 30% kan toenemen (Melandri e.a., 1977). De hoeveelheid elektrische lading is bepalend voor het effect. Als kanttekening mag de opmerking geplaatst worden dat deze deeltjesgrootte precies de grootte is waarvan de depositie door normale factoren minimaal is (Joosting, 1979) (zie figuur 3.3.).

#### c. Sedimentatie

Sedimentatie ten gevolge van de zwaartekracht is afhankelijk van de massa van het deeltje en van de verblijftijd (het deeltje moet de tijd krijgen te sedimenteren). Depositie als gevolg van sedimentatie zal daarom voornamelijk optreden in de diepere luchtwegen, waar de luchtstroomsnelheid laag is (bronchiolen, alveoli). Depositie treedt vooral op bij deeltjes van met een grootte van 0,5-2  $\mu\text{m}$ .

#### d. Impactie

Impactie is van belang wanneer de stroomrichting van lucht verandert. De traagheid van het deeltje zorgt ervoor dat het deeltje bij elke verandering nog een tijdje in de oorspronkelijke richting wil gaan. Dit verschijnsel treedt bij elke splitsing in de luchtwegen op. Aangezien het ademhalingsstelsel zich een aantal keren splitst nadert het deeltje door dit verschijnsel de wand.

De snelheid waarmee het deeltje zich voortbeweegt op het moment van erfbuiging, de hoekverandering, de dichtheid en het kwadraat van de diameter van het deeltje is van belang voor de kans op depositie. Deze kans neemt toe bij kleiner worden van de diameter van het afbuigende gedeelte. De stroomsnelheid van de lucht neemt naar de wand toe echter af zodat het deeltje met verminderde snelheid naar de wand toe beweegt. (Sedimentatie als gevolg van impactie is voornamelijk van belang voor deeltjesgroottes vanaf enkele micrometers.)

#### e. De diffusiecapaciteit

De diffusiecapaciteit van een deeltje is omgekeerd evenredig met zijn diameter en is onafhankelijk van de dichtheid van het deeltje. De kans op depositie is afhankelijk van de dichtheid van de lucht, de temperatuur en de verblijftijd in de ruimte. Als rookdeeltjes van  $0,05 \mu\text{m}$  diameter gedurende 1 seconde in een buis van  $250 \mu\text{m}$  diameter verblijven, bedraagt de zijdelingse verplaatsing, als gevolg van diffusie, van de deeltjes  $30 \mu\text{m}$ . Het resultaat hiervan is dat 27% van de deeltjes "neerslaat". Als de deeltjes 2 x zo groot zijn ( $0,1 \mu\text{m}$ ) is de depositie in de orde van grootte van 16% (Joosting, 1979). Diffusie speelt dus alleen een rol voor deeltjes kleiner dan  $0,5 \mu\text{m}$ .

Uit deze voorbeelden blijkt dat de kans op depositie door diffusie afneemt naarmate de deeltjes groter worden. De kans op sedimentatie ten gevolge van de zwaartekracht wordt juist groter naarmate de deeltjes groter worden.

Depositie neemt toe bij het groter worden van deeltjes. Een schema waarin de mogelijkheden staan, waar deeltjes terecht kunnen komen wordt gegeven in figuur 3.2.

Een schema waarin staat in welk gedeelte van het ademhalingsstelsel deeltjes met verschillende aërodynamische diameter terecht komen, wordt gegeven in figuur 3.3. (model van de ICRP, 1966).

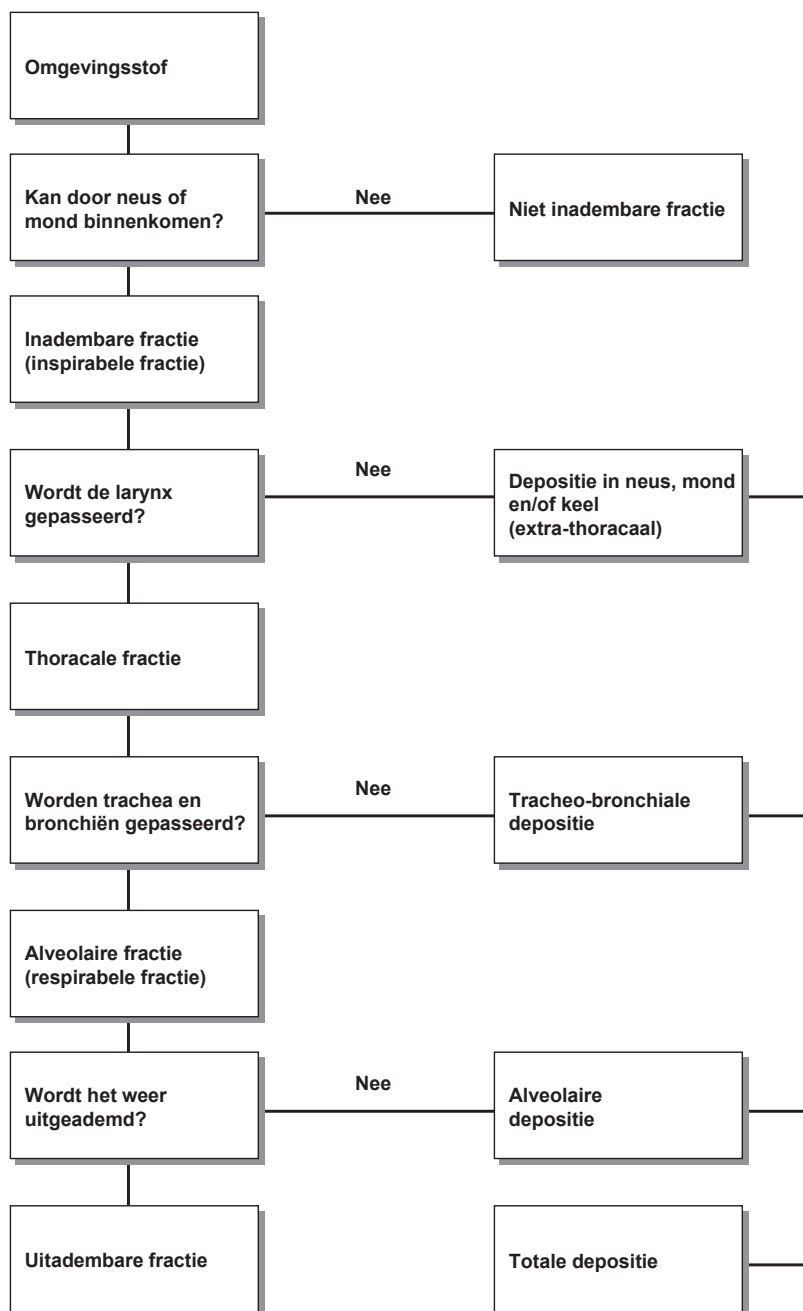
Als theoretische en experimentele bevindingen samengevoegd worden dan ontstaat een curve zoals figuur 3.4, waarin de totale depositie in het ademhalingsstelsel van ingeademde deeltjes, met verschillende aërodynamische diameter, wordt gegeven.

Samenvattend kan gezegd worden dat:

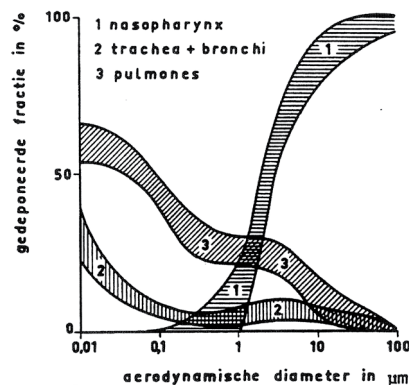
- Deeltjes met equivalente aërodynamische diameter groter dan  $10 \mu\text{m}$  worden in de nasopharynx afgezet.
- Hoe kleiner de deeltjes worden des te verder de deeltjes in de ademhalingswegen komen.



- De grootste deeltjes die in de alveoli kunnen komen zijn ongeveer 10  $\mu\text{m}$ . Maar erg weinig deeltjes van deze grootte bereiken de longblaasjes.
- Deeltjes van ongeveer 1  $\mu\text{m}$  diameter en kleiner komen bij inademing het verst in de longen terecht. Van de depositie ligt het maximum echter bij deeltjes van 2  $\mu\text{m}$  en loopt af tot een minimum bij 0,5  $\mu\text{m}$ . Volgens Davies (1974) is de depositie slechts 10-15% voor deeltjes met een grootte van 0,5-1,1  $\mu\text{m}$ . Deeltjes kleiner dan 0,5  $\mu\text{m}$  worden in toenemende mate gedeponereerd.



Figuur 3.2 Schema van een depositiemodel



Figuur 3.3

Dit is het bekende depositiemodel van de ICRP (1966), gebaseerd op deeltjesgrootte-verdelingen met kleinere tot grotere geometrische standaarddeviatie (te weten 1.2 tot 4.5) en een ademvolume van 1450 ml. Voor deeltjes groter dan 5 µm is de nasopharyngeale depositie 80 tot 100%. De depositie in de eigenlijke luchtwegen, het tracheo-bronchiale gebied is gering voor deeltjes groter dan 0.05 µm tot aan 50 µm toe.

Voor de allerkleinste deeltjes is er een toename. Deze wordt echter verre overtroffen door de pulmonale depositie die voor die deeltjes waarden in de orde van 60% bereikt.

nasopharynx = neus-keelholte

trachea + bronchi = luchtpijp + bronchiën

pulmones = longen

De kanttekeningen bij het model van figuur 3.4, zijn dat er grote afwijkingen van dit model kunnen plaatsvinden. Een aantal aspecten blijkt van invloed op de opname en depositie van deeltjes, de belangrijkste zijn: (Joosting, 1979).

1. Stand van het hoofd
2. Neus- versus mondademhaling
3. Ademvolume en ademminuutvolume
4. Variatie in eigenschappen van de luchtwegen
5. Hygroscopie

### 1. Stand van het hoofd

De opname van deeltjes uit de lucht via de neus en de mond kan sterk variëren. Afhankelijk van de windsnelheid en de stand van het hoofd in de luchtstroom kan de opname van deeltjes uit de lucht (entree efficiëntie) met een factor 10 verschillen, zelfs als het om kleine deeltjes gaat, bijvoorbeeld in de orde van grootte van 5 µm (Ogden en Birkett, 1977).

### 2. Neus- versus mondademhaling

De depositie in neus en mond is zeer verschillend en wordt voornamelijk bepaald door de aanzuigsnelheid van de lucht en niet door het ademvolume (Heyder en Rudolf, 1977). Bij een geringe aanzuigsnelheid van bijvoorbeeld 125 kubieke centimeter per seconde is de efficiëntie van neus en mond praktisch gelijk. Deeltjes met een diameter in de grootte van ongeveer 0,5 µm blijken voor 25% gevangen te worden, deeltjes van 3 µm voor ongeveer 80%. Gaat men sneller ademen, dan neemt wat betreft de neus het vangstpercentage voor deeltjes kleiner dan 1 µm af tot maar de helft. Voor deeltjes groter dan 1 µm neemt het geleidelijk toe met 15%. Voor deeltjes groter dan 3 µm nadert de efficiëntie van de neus bijna 100% bij lichtsnelheden van 1 liter per seconde.

Voor mondademhaling is het tegenovergestelde het geval: Het vangstpercentage neemt bij 1 liter per seconde sterk af, tot de helft of zelfs een kwart van de efficiëntie van de neus. Voor deeltjes van 1  $\mu\text{m}$  laat de mond bij die hoge snelheden zelfs 7x zoveel door als de neus.

### 3. Ademvolume en ademminuutvolume

Door Ogden en Birkett (1977) zijn proeven gedaan met deeltjes met een diameter tot 30  $\mu\text{m}$ . Globaal kan gesteld worden dat de entree efficiëntie bij toenemende diameter van de deeltjes afneemt, van 100% naar 30% als minimum. Deze daling van de opname uit de lucht van grotere deeltjes is het sterkst bij een ademminuutvolume van 20 liter per minuut. Zowel bij een debiet van 40 liter per minuut als in rust, met een debiet van 5 liter per minuut, is de opname absoluut wel groter, maar blijft voor deeltjes groter dan 10  $\mu\text{m}$  slechts in de orde van 50-70% van de in de omgevingslucht aanwezige hoeveelheid. Voor kleiner wordende deeltjes loopt de opname op naar ongeveer 100%.

Yu en Taulbee (1977) deden experimenten bij mensen waarbij deeltjes met een diameter tussen 0,2 en 3,0  $\mu\text{m}$  werden ingeademd. Hieruit bleek dat de totale depositie in luchtwegen en longen voor alle diameters ongeveer recht evenredig toeneemt met het ademvolume, als de luchtsnelheid constant wordt gehouden. Als de depositie zo klein mogelijk gehouden moet worden, moet het ademvolume zo klein mogelijk en de luchtsnelheid zo groot mogelijk zijn. Uit de proeven van Yu en Taulbett bleek dat de trachea-bronchiale depositie bijna niet veranderde door de veranderingen in ademvolume en ademminuutvolume. De geconstateerde toenames in depositie werden gevonden in de alveolaire ruimten.

### 4. Variatie in eigenschappen van de luchtwegen

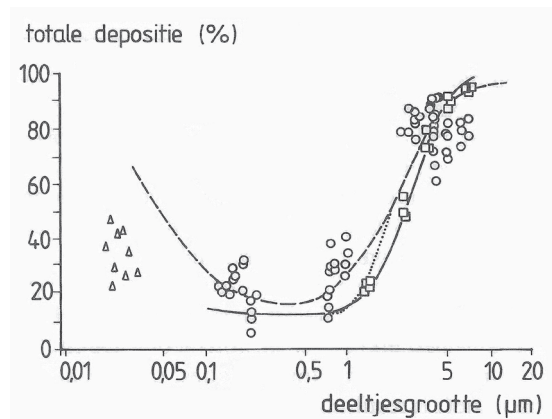
Uit onderzoek is gebleken dat er grote verschillen zijn in de afmetingen van luchtwegen en longen bij verschillende mensen. Hierdoor kunnen deeltjes bij verschillende mensen op andere plekken in de ademhalingswegen neerslaan.

Bij mensen die roken kunnen de eigenschappen van de longen die de depositie van deeltjes bepalen zeer uiteen lopen. Bij rokers is de tracheobronchiale depositie van deeltjes significant groter dan bij niet-rokers (Palmer en Lippmann, 1977; Lippmann e.a., 1971). Nog in sterkere mate geldt dit voor mensen die bronchitis hebben (Palmer en Lippmann, 1977). Hierdoor zijn de modellen waarbij de depositie van deeltjes in de luchtwegen worden voorspeld, niet voor ieder individu geldig. Met andere woorden er zijn door verschillende eigenschappen van de luchtwegen, grote individuele verschillen in opname en depositie van deeltjes.

### 5. Hygroscopie

Het vermogen van deeltjes om vocht op te nemen is belangrijk voor de depositiekans en de plek waar het deeltje gedeponeed wordt. Zeer fijne kristaldeeltjes keukenzout bijvoorbeeld groeien na een 4 seconde durende inademing (waarbij het deeltje in een milieu met een relatieve vochtigheid van 95% verblijft) uit tot het 7-voudige van de oorspronkelijke afmetingen. Dit wil zeggen dat de massa van één deeltje zo'n 350 x zo groot is geworden (Dautrebande en Walkenhorst, 1961).

Voor grote deeltjes (bijv. 20  $\mu\text{m}$ ) die voor het allergrootste deel al in de neus worden afgevangen maakt dit niets uit. Maar voor deeltjes van bijvoorbeeld 6  $\mu\text{m}$ , die al voor 2/3 in de neus gevangen worden, wordt een nog groter deel in de neus en hogere luchtwegen gedeponeerd. Bij nog kleinere deeltjes, bijvoorbeeld 2  $\mu\text{m}$  diameter, die normaal voor het grootste deel in de alveolaire ruimten afgezet worden (20%) en voor een kleiner deel (13%) in de luchtwegen daarvoor, wordt de depositie 24% in de alveolaire ruimten en 39% in de luchtwegen hiervoor. Dit betekent dat de totale depositie van dit hygroscopische deeltje bijna 100 % wordt. Voor deeltjes die nog kleiner zijn, bijvoorbeeld 0,2  $\mu\text{m}$ , neemt de depositie ook toe. In tabel 3.2. staat een voorbeeld van de invloed van hygroscopie en deeltjesgrootte op de plaats en de gedeponeerde hoeveelheid deeltjes bij neusademhaling (Landahl, 1972). Door hygroscopie kan, zoals ook hier uit blijkt, de totale depositie met een factor 2 (of 3) toenemen.



Totale depositie van deeltjes in relatie tot de deeltjesgrootte volgens experimentele gegevens van Chan & Lippmann (O), Swift et al. ( $\Delta$ ), Stahlhofen et al. ( $\square$ ) en theoretische modellen van Yu (---), Davies et al. (.....) en Heyder et al. (—) (Bron: Lippmann et al., 1980.)

Figuur 3.4.

Tabel 3.2 Invloed van hygroscopie en deeltjesgrootte op de plaats van depositie en op de gedeponeerde hoeveelheid deeltjes (%) bij neusademhaling

deeltjesgrootte ( $\mu\text{m}$ )		0.6			2			6			20	
<b>hygroscopie</b>	<b>+</b>	<b>0</b>	<b>+</b>	<b>0</b>	<b>+</b>	<b>0</b>	<b>+</b>	<b>0</b>	<b>+</b>	<b>0</b>	<b>+</b>	<b>0</b>
neus	16	9	31	35	67	64	95	95				
bovenste luchtwegen	0	0	2	0	8	1	5	2.5				
lagere luchtwegen	15	9	39	13	20	20	0	2.5				
long	25	9	24	20	5	12	0	0				
<b>totaal</b>	<b>56</b>	<b>27</b>	<b>96</b>	<b>68</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>100</b>	<b>100</b>				

\* Overgenomen uit H. D. Landahl. 1972.

### 3.3. De verwijdering van deeltjes

De manieren om deeltjes te verwijderen uit het ademhalingsstelsel zijn de volgende: (WHO, 1984)

1. Filtratie uit neus en keel
2. Macrociliaire verwijdering
3. Peristaltische beweging in de terminale bronchiolen, hoesten en niezen
4. Fagocytose

#### 1. Filtratie uit neus en keel

Deeltjes kunnen in de nasopharynx gedeponerd worden door filtratie (door de neusharen) en impactie. De deeltjes worden door het slijmvlies in de neus afgevangen en vastgehouden. Het slijm (met stof) wordt door de bewegingen van de met trilharen bedekte epitheelcellen naar mond- of keelholte getransporteerd waarna het ingeslikt wordt (secondaire ingestie). De tijd tussen depositie op het slijmvlies en inslikken (de retentietijd) is kort, enkele minuten tot enkele uren.

#### 2. Mucociliaire verwijdering

De trachea en de bronchi zijn tot de terminale bronchiolen met slijmvlies en trilhaar bedekt. De trilharen bewegen continu en synchroon, met een snelheid van 10-30 mm per minuut, een slijmlaagje met afgezette verontreinigingen richting pharynx. Hier wordt het slijmlaagje met afgezette verontreinigingen ingeslikt. De retentietijd van de deeltjes is ongeveer 1 dag (Boleij e.a., 1987)

#### 3. Peristaltische beweging in de terminale bronchiolen, hoesten en niezen

Door middel van peristaltische bewegingen worden deeltjes richting bovenste luchtwegen getransporteerd. Hierdoor kunnen deeltjes het slijmvlies en trilhaarepitheel bereiken waardoor ze alsnog uit de longen verwijderd kunnen worden.

Hoesten en niezen veroorzaken sterke luchtstromingen in het ademhalingsstelsel, waardoor deeltjes los kunnen komen en uitgeademd kunnen worden.

#### 4. Fagocytose

De wanden van het alveolaire deel van het ademhalingsstelsel (terminale bronchiolen en de alveoli) bevatten geen trilharen. Onoplosbare deeltjes, die in dit gebied terecht zijn gekomen, worden door macrofagen "opgegeten", een proces dat fagocytose wordt genoemd.

Na fagocytose kan de macrofaag:

- naar boven in het ademhalingsstelsel gaan en via het mucociliaire systeem verwijderd worden.
- in het alveolaire systeem blijven
- via het lymfe-systeem verwijderd worden.
- (Sommige stoffen zoals silicose bevattende stofdeeltjes veroorzaken celdood van de macrofaag, zodat deze deeltjes niet of nauwelijks uit het alveolaire systeem verwijderd kunnen worden.) De retentietijd in het alveolaire deel van het ademhalingsstelsel duurt enkele weken tot maanden.



## 4. EFFECTEN VAN STOF

### 4.1. Inleiding

Zoals in hoofdstuk 3 vermeld wordt de plaats waar deeltjes, aërosolen, stof terechtkomen en neerslaan (deponeren) bepaald door de deeltjes (grootte, dichtheid, vorm, lading, hygroscopisch vermogen) de bouw van het ademhalingsstelsel, of mensen al dan niet roken, de variatie in ademvolume, of mensen door hun mond of hun neus ademen. Het is bekend dat allerlei stoffen die ingeademd worden, direct of indirect ongewenste effecten kunnen veroorzaken. De aard van deze effecten en de mate waarin ze optreden is afhankelijk van vele factoren genoemd in hoofdstuk 2.

Hiernaast spelen persoonsgebonden factoren een belangrijke rol, bijvoorbeeld het vermogen om afweerreacties tegen verschillende agentia te vormen. De groep mensen met één of andere vorm van allergie (andersgevoeligheid) is een voorbeeld hiervan. De gezondheidseffecten kunnen tot de luchtwegen beperkt blijven, maar kan ook een effect op het gehele organisme of op een ander deel van het lichaam hebben. In tabel 4.1 staan beroepen/bedrijfstakken en hun (specifieke) agentia welke via inhalatie de luchtwegen kunnen beschadigen (uit Willems & Heederik). De tabel geeft een overzicht over welke stoffen problemen kunnen veroorzaken.

Uit de statistieken blijkt dat ziekten aan de ademhalingsorganen een gezondheidsprobleem vormen. In 1979 bedroeg bijvoorbeeld de totale sterfte ten gevolge van CIRA bij mannen 7,1%, bij vrouwen 4,1% (CBS 1979). Dit getal is slechts een indicatie aangezien de sterfteoorzaak in Nederland op een onvolledige manier geregistreerd wordt. (Het getal zal eerder een onderschatting zijn dan een overschatting.) Volgens het Astma-fonds hebben in Nederland zo'n 1,5 miljoen mensen CIRA-klachten. Het zal duidelijk zijn dat ziekten aan de ademhalingswegen heel veel menselijk leed veroorzaken.

### 4.2. Gezondheidseffecten

In figuur 4.1. staan de effecten die op kunnen treden op de luchtwegen en op alveolair niveau door lichaamsvreemde agentia. De aard van het stof en de plaats van depositie bepaald of er een reactie optreedt en als dit het geval is, welke reactie optreedt.

De gezondheidseffecten kunnen in een aantal groepen ondergebracht worden. Men kan de effecten definiëren op grond van:

- de oorzaken;
- de manifestatie, deze kan weer onderverdeeld worden in:
  - pathologisch- anatomisch beeld (fibrose, emfyseem);
  - klinische verschijnselen (astma, bronchitis).

Een andere manier, vooral aanbevolen door bedrijfsartsen, is om een verdeling te maken in: (Willems & Heederik)

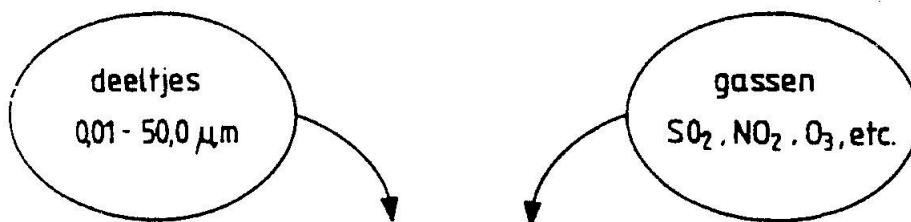
- klachten;
- obstructieve reacties (beperking van de volumestroom, ventilatiecapaciteit van de longen);
- restrictieve reacties (beperking van het volume van de longen).

Tabel 4.1. Enige agentia die door inhalatie de luchtwegen kunnen beschadigen

Beroep / bedrijfstak	Blootstelling
Agrarische industrie	Fungi, bacteriën, endotoxinen, excreta van dieren, bestrijdingsmiddelen, organisch stof, geneesmiddelen
Bakkers/broodbereidende industrie	Diverse graansoorten, meel, fungi
Bestrijdingsmiddelenindustrie	Diverse bestrijdingsmiddelen
Bibliotheekhouders	Mijten, micro-organismen
Bierbrouwers	Hop
Bloemenkwekers/bloemisten	Diverse planten en bloemen
Brandweerlieden	Diverse bestanddelen van verbrandingsproducten
Champignon telers	Fungi, sporen
Chemische industrie	Zeer vele chemicaliën
Compostverwerkende industrie	Fungi, bacteriën, endotoxinen
Cosmetische industrie	Diverse cosmetica
Dierenverzorgers, laboratoria	Haar, huidschilfers, excreta.
kleine insecten, fungi, endotoxinen	
Diverse beroepen	Micro-organismen in airconditioning
Elektronische industrie/electriciëns	Soldeerdampen, harsen
Farmaceutische industrie	Antibiotica, hormonen, enzymen
Fotografische industrie	Amines
Gezondheidszorg (humaan, veterinair)	Diverse micro-organismen
Grafische industrie	Arabische gom, inktsoorten
Hout-, papier- en meubelindustrie	Diverse houtsoorten, conserveringsmiddelen, micro-organismen, chemicaliën
Imkers	Bijen toxine, huidschilfers, haar
Kaasbereidende industrie	Fungi
Kappers	Haar, cosmetica, haarlakken
Kleurstoffenindustrie	Diverse kleurstoffen en grondstoffen (-diamines)
Koffiebranderijen	Stof van groene koffiebonen
Kunststofverwerkende industrie	Isocyanaten, anhydriden, epoxiden, aldehyden, urethanen, acrylaten
Kurkverwerkende industrie	Fungi
Landbouw	Stikstofoxiden, zwavelwaterstof, diverse bestrijdingsmiddelen

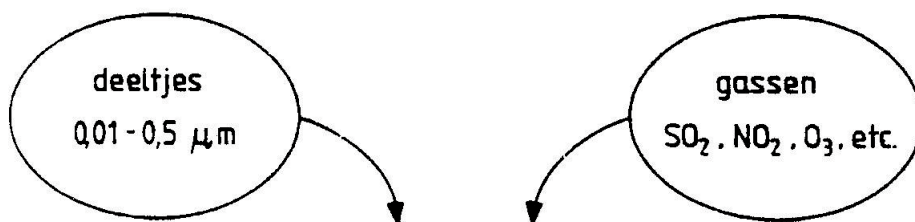


Beroep / bedrijfstak	Blootstelling
Metaalproducerende, /verwerkende industrie	Diverse metaalverbindingen, stikstofoxyden, verbrandingsgassen
Mijnbouw, keramische industrie, / steenbewerkers	Vrij Kwarts, silicaten, kolenstof, 'inerte' metalen, uitlaatgassen van motoren
Oesterteelt	Diverse micro-organismen
Schoonmaakbedrijven	Diverse schoonmaakmiddelen (chloramine-T)
Suikerbereidende industrie	Fungi
Tabaksindustrie	Tabak
Visverwerkende industrie	Proteïnen
Vogelhandelaars, duivenmelkers	Organisch stof, micro-organismen, excreta
Wasmiddelenindustrie	Enzymen, Bacillus Subtilis
Zijde- en overige textielindustrie	Zijde, katoen, micro-organismen, endotoxinen



1. verlamming van trilhaar (-> ontsteking)
2. toename slijmafscheiding (-> sputum)
3. toename gevoeligheid voor infecties
4. sensibilisatie (immunologische reacties)
5. hyperreactiviteitsreacties
6. nieuwvorming

a Effecten van luchtverontreiniging op de luchtwegen



1. toename van cellen en macrofagen in de longen (-> ontsteking, fibrosering)
2. vrijkomen van proteolytische enzymen (-> emphysema)
3. depositie in parenchymaal weefsel (-> bijv. pneumoconiose)

b Effecten van luchtverontreiniging op alveolair niveau

Figuur 4.1. Potentiële effecten van luchtverontreinigende factoren op luchtwegen en longen (Naar: Bates 1972)

#### 4.2.1. Klachten

Aandoeningen aan het ademhalingsstelsel kan gepaard gaan met klachten. Dit zal vooral het geval zijn als de ziekte al in een vergevorderd stadium is. Klachten die geuit worden kunnen verdeeld worden in:

- klachten van de ademhalingsorganen (benauwdheid (periodiek of in aanvallen) hoesten, opgeven van slijm);
- algemene klachten (vermoeidheid, slaapstoornissen, prikkelbaarheid en angstgevoelens (Kinsman e.a. 1983)).

#### 4.2.2. Obstructieve reacties

De grootste aantallen ziektebeelden zijn die waarbij een obstructie in de luchtwegen plaatsvindt. Ze zijn, als we ons beperken tot aandoeningen die (mede) ontstaan kunnen zijn op basis van blootstelling aan schadelijke agentia op de werkplek, in twee groepen op te delen:

- ziektes die in hoofdzaak ontstaan door een immunologische reactie op exogene agentia. (bepaalde vormen van astma);
- ziektes die in hoofdzaak ontstaan als reactie op irriterende agentia. (bepaalde vormen van chronische bronchitis en hyperreactiviteitsreacties).

Over deze indeling is op internationaal niveau geen overeenstemming bereikt. Om het verhaal niet al te ingewikkeld te maken: In Nederland wordt van "Chronische Aspecifieke Respiratoire Aandoeningen" CARA gesproken als ten minste één van de volgende symptomen aanwezig is:

Chronische of herhaald optredende hoest, met opgeven van sputum, kortademigheid in aanvallen dan wel continu, dit voor zover deze symptomen niet uitsluitend kunnen worden toegeschreven aan:

- gelokaliseerde longziekten van bekende aard (bijvoorbeeld tuberculose, longtumoren);
- gegeneraliseerde longziekten van specifieke infectieuze aard (bijvoorbeeld militair tuberculose);
- pneumoconiose (bedoeld worden minerale pneumoconiosen als silicose);
- collageenziekten of gegeneraliseerde longfibroses;
- primaire ziekten van nieren en hart-vaatstelsel;
- ziekten van de thoraxwand;
- ziekten van de bovenste luchtwegen (bedoeld is boven de thoraxaperatuur);
- psychoneurotische aandoeningen.

Daar bijvoorbeeld chronische hoest of kortademigheid zonder meer niet voldoende scherp omschreven zijn is men bovendien overeengekomen dat men de criteria voor aanwezigheid van de genoemde symptomen zou baseren op antwoorden op bepaalde vragen van een gestandaardiseerde vragenlijst (Willems & Heederik).

CARA gaat gepaard met aanvallen van kortademigheid, benauwdheid, die de persoon letterlijk naar lucht doet happen. Veel eerder dan bij normale mensen leiden met de lucht ingeademde 'prikkelers' bij CARA-patiënten tot vernauwing van de luchtwegen. Deze prikkelers kunnen zijn: mist, koude lucht, allergenen (zoals haren, huidschilfers, huisstofmijt). Bij mist of koude lucht worden de rond de bronchiën gelegen kringspiertjes geprikkeld, waardoor deze samentrekken (de luchtwegen zich vernauwen, waardoor de CARA-patiënt minder, moeilijker, lucht krijgt). Bij blootstelling aan allergenen reageert het lichaam (van een CARA-patiënt) met een sterke verhoging van de productie antilichamen van het IgE type.

Deze antilichamen hechten zich aan mestcellen, die daardoor hun inhoud, waaronder histamine, vrijlaten. Dit leidt weer tot een samentrekking van de gladde spieren rond de luchtwegen. De daarop volgende aanval van benauwdheid, vroege reactie, duurt meestal niet zo lang (ongeveer een uur). Er komt echter ook een late reactie op gang: een aantal uren na het kapot gaan van de mestcellen wordt er extra veel slijm in de bronchiën geproduceerd, als gevolg van een soort ontstekingsreactie. Hierdoor kan de patiënt het erg benauwd krijgen.

Bij chronische bronchitis veroorzaakt door inhalatie van grof stof (deeltjes-grootte groter dan 15 µm) zijn voornamelijk de grote, centrale luchtwegen aangedaan, terwijl bij bronchitis die veroorzaakt is door zeer fijn stof, gassen en dampen (bijvoorbeeld roken) naast een effect op de grote, centrale luchtwegen ook en voornamelijk een effect op de kleinere, perifere luchtwegen kan worden aangetoond (Morgan, 1980).

#### 4.2.3. Restrictieve reacties

Ook restrictieve reacties zijn niet specifiek voor bepaalde ziekteprocessen. Vaak worden ze pas ontdekt als er een longfunctie achteruitgang is gelijk aan één of twee longsegmenten (Tammeling & Quanjer, 1978).

Restrictieve reacties kunnen door twee verschillende processen optreden:

a. Door uitval van alveoli, dit komt voor bij destructieve longaandoeningen (bijvoorbeeld nieuwvormingen, ontsteking), compressie van longweefsel (bijv. pneumothorax, nieuwvorming, locale afsluiting van luchtwegen (bijv. corpus alienum, nieuwvorming), obliteratie van de alveolaire ruimte (bijv. longoedeem) en operatieve verwijdering.

b. Door beperking van de alveolaire volumeverandering. De volumeverandering van de op zich intacte alveoli kan tijdens het ademhalingsproces door verschillende ziekteprocessen worden beperkt. Hierbij zijn oorzaken gelegen buiten de longen (die hier buiten beschouwing worden gelaten), en oorzaken die gelegen zijn in de longen, zoals longfibrose (bijvoorbeeld door blootstelling aan vrij kwarts, waardoor silicose ontstaat) Door veranderde elastische eigenschappen van het longweefsel is hierbij de maximale in- en uitademing verminderd.

### 4.3. Verschillende ziekten

Voorbeelden van ziekten van de ademhalingswegen als gevolg van blootstelling aan stof(fen) zijn: (o.a. WHO, 1984; Lacey & Crook, 1987).

**Pneumoconiose.** Pneumoconiosen zijn longziekten veroorzaakt door de inademing van bepaalde typen respirabel stof. De ernstigste vormen leiden tot fibrotische veranderingen van het longweefsel; bijvoorbeeld silicose, asbestose.

De meest voorkomende pneumoconiose (wereldwijd) is silicose. Het silicose risico is gerelateerd aan het percentage vrije kristallijne siliciumoxide in de respirabele fractie van de ingeademde deeltjes. De ziekte wordt veroorzaakt door vrij kristalvormig siliciumoxide dat in de pulmonaire holtes gedeponeerd is. De typische pathologische veranderingen die plaatsvinden worden veroorzaakt door de cytotoxische en fibrinogene werking van de siliciumdeeltjes. Andere pneumoconiosen worden veroorzaakt door inademing van (grote) hoeveelheden van de volgende stoffen: beryllium (berylliose), kaolien (kaolinose), barium (barytose), tin (stannose), ijzeroxide (siderose), talk (talkose), grafiet en mica.

**Intoxicaties.** Verschillende deeltjes kunnen als ze geïnhaleerd worden gemakkelijk in het bloed opgenomen worden.

Hierna kunnen ze vergiftigingsverschijnselen in het lichaam opwekken. Voorbeelden van dit soort stoffen, die ook via deeltjes geïnhaleerd kunnen worden zijn: mangaan, lood, cadmium.

**Kanker.** Verschillende deeltjes kunnen na inhalatie longkanker veroorzaken. Voorbeelden hiervan zijn arseen, chromaten, PAK's (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen) en een aantal nikkel-bevattende stoffen. Oplosbare kankerverwekkende stoffen kunnen zowel in de longen als in andere organen kanker veroorzaken.

**Irritaties.** De meest voorkomende irritantia zijn gassen, maar er zijn ook verschillende irriterende deeltjes in de werkomgeving bekend. Blootstelling aan irritantia kan leiden tot tracheïtis en bronchitis, pneumonitis en pulmonair oedeem. Voorbeelden van irritantia zijn: cadmium rook, beryllium, vanadium pentoxide, zinkchloride, boorhydride, chroomdeeltjes, mangaan, cyaanamide, een aantal fijn verdeelde pesticides, zure mist en fluorides.

Bepaalde stoffen van agrarische oorsprong kunnen irriterende effecten aan de bovenste luchtwegen geven, waardoor op langere termijn chronische bronchitis kan ontstaan en op nog langere termijn chronische emfyseem. De irritaties die ontstaan door blootstelling aan thee en bepaalde types hout worden waarschijnlijk veroorzaakt door de chemicaliën die ze bevatten.

**Metaalkoorts.** Dit kan optreden bij blootstelling aan metaalrook, bijvoorbeeld oxiden van zink en magnesium. De symptomen zijn rillingen, koorts, spierpijnen, misselijkheid en algehele malaise. Metaalkoorts treedt op korte termijn na blootstelling op, duurt niet zo lang en heeft geen na-effecten.

**Infecties.** Deeltjes die schimmels, virussen, bacteriën bevatten kunnen een rol spelen bij de overbrenging van besmettelijke ziektes. Een voorbeeld hiervan is de Legionairsziekte (veteranenziekte), veroorzaakt door de bacterie *Legionella pneumophila*.

De ziekteveroorzaker werd ontdekt na een ziekteuitbraak bij veteranen van de American Legion Conference in Philadelphia in 1976. (zie verder onder veteranenziekte).

**Allergische en andere overgevoeligheidsreacties.** De depositie en retentie van ingeademde stoffen kan allergische en andere overgevoeligheidsreacties veroorzaken. Voorbeelden van stoffen die deze reacties veroorzaken zijn: synthetische organische componenten, bijv. amines en plastics. Stoffen van plantaardige oorsprong zoals bagasse, graan, katoen, vlas, meel, hooi, stro, thee, tabak en hout, bacteriën en schimmels, kunnen allergieën, astma, hooikoorts of netelroos veroorzaken. Ook zijn allergische reacties veroorzaakt door ruwe koffie bekend.

De belangrijkste ziektes van het allergische type veroorzaakt door de blootstelling aan deeltjes zijn:

- (beroeps)astma, allergische rhinitis. Verschillende deeltjes, zoals stof van graan of graanproducten (vooral als ze beschimmeld zijn), hout, arabische gom, metaalstof (bijv. nikkel, chroom) kunnen tot deze ziekte(s) leiden. Het al of niet ziek worden van een persoon na (chronische) blootstelling is zeer persoonsafhankelijk. Beroepsastma wordt op 5-15 % geschat van het totale voorkomen van astma (Butcher & Salvaggio, 1986).
- Extrinsieke allergische alveolitis (EAA). Deze ziekte kan onderverdeeld worden in een acute en een chronische vorm: acute vorm, plotselinge koortsaanvallen, rillingen, ademnood en een droge hoest (tussen 4 tot 8 uur na de blootstelling).

Chronische vorm, de kenmerken hiervan zijn dyspnoe (benauwdheid), soms een lichte koorts, lethargie. In een aantal gevallen wordt de benauwdheid zeer ernstig en kan zich chronische interstitiële fibrose ontwikkelen (d.w.z. een langzame gestage toename van bindweefsel tussen de longvliezen).

Het kan veroorzaakt worden door verschillende stoffen die zowel schimmels als actinomyceten (sporen) bevatten. EAA kan waarschijnlijk ook ontstaan door blootstelling aan dierlijke eiwitten, bijvoorbeeld van varkens. Verschillende ziektes vallen onder de benaming EAA, meestal worden deze ziektes genoemd naar de beroepsgroep waarin ze ontstaan, bijvoorbeeld boerenlong, kapperslong, etc.

**Chronische bronchitis.** Deze ziekte komt onder landbouwers meer voor dan in de totale populatie. Waardoor de ziekte wordt veroorzaakt is nog niet exact achterhaald. Wel worden endotoxinen (afkomstig van gram-negatieve bacteriën) als mogelijke oorzaak genoemd. De ziekte komt veel voor bij varkenshouders en pluimveehouders en wordt geassocieerd met het werken met graan. Onbekend is het voorkomen van chronische bronchitis bij beroepen waarin met ander organische stof gewerkt wordt.

**Byssinose.** Byssinose is een ziekte van de ademhalingswegen veroorzaakt door katoen-, vlas-, en/of hennepstof. De ziekteverschijnselen zijn pijn op de borst, benauwdheid en niezen op de eerste dag op het werk na een periode (weekend, vakantie) vrij geweest te zijn. In het beginstadium van de ziekte verdwijnen de ziekteverschijnselen op de tweede of derde werkdag. Bij aanhoudende blootstelling blijven de ziekteverschijnselen langer aanhouden, totdat ze continue aanwezig zijn.

De oorzaak van deze ziekte(verschijnselen) is waarschijnlijk de blootstelling aan bepaalde micro-organismen, of delen hiervan, die in het stof aanwezig zijn.

#### **Luchtbevochtigerskoorts.**

In 1959 vond Pestalozzi al een relatie tussen werknemers met gezondheidsklachten, hoesten, kortademigheid en een besmetting van het luchtbevochtigingssysteem met microorganismen. Deze werknemers hadden last van een allergische alveolitis, terwijl het luchtbevochtigingssysteem grote aantallen micro-organismen bevatte en deze ook in het bedrijf verspreidde.

Sindsdien zijn verschillende publicaties verschenen waarbij soortgelijke ziekteverschijnselen in relatie gebracht werden met besmette luchtbevochtigingssystemen (Banaszak e.a., 1970; Paramelle e.a., 1976; Fink, 1970; Fink e.a., 1971; Pickering e.a., 1976, Tourville e.a., 1972; Edwards, 1980). De verschijnselen waaraan de patiënten met luchtbevochtigerskoorts leiden zijn: algemene malaise, hoesten, kortademigheid, rillingen, beklemd gevoel op de borst, daling van bepaalde logfuncties, een toename van het aantal witte bloedlichaampjes in het bloed.

Ook zijn bacteriële besmettingen van luchtbevochtigingssystemen in ziekenhuizen in relatie gebracht met post-operatieve- en wondbesmettingen (Blowers e.a., 1962; Smith and Masanari, 1977).

Verschiedende microorganismen worden verantwoordelijk gesteld voor luchtbevochtigerskoorts. De belangrijkste zijn: Actinomyceten, in het bijzonder *Thermoactinomyces vulgaris* (Banaszak e.a., 1970) en amoebes zoals *Acanthamoeba* spp en *Naegleria* spp, in het bijzonder *Naegleria gruberi* (Edwards e.a., 1976; MRC, 1977). Ook worden als oorzaak van luchtbevochtigerskoorts gram-negatieve bacteriën genoemd, met name de endotoxinen die deze bevatten en bij lysis van de celwand vrijkomen (Rylander, 1985; Kateman e.a., 1987).

Hiernaast zijn nog vele micro-organismen gedetermineerd, die geen oorzaak van de luchtbevochtigersziekte zijn. In post-operatieve besmettingen zijn *Acinetobacter* sp. en *Pseudomonas* sp. betrokken (Blowers e.a., 1962; Smith en Massanari, 1977). Opvallend bij dit alles is dat thermofiele actinomyceten zoals *Thermoactinomyces vulgaris* een specifieke Amerikaanse veroorzaker van luchtbevochtigerskoorts is; In Groot Brittanië worden amoebes, bijvoorbeeld *Naegleria gruberi* (in de cyste-vorm), verdacht van deze eigenschap. Actinomycetensporen hebben een grootte van ongeveer 1 µm of minder, *Naegleria gruberi* cysten zijn ongeveer 7 µm groot, beiden kunnen in de longen terecht komen. De reden dat thermofiele actinomyceten geen rol van betekenis spelen in Groot Brittanië ligt waarschijnlijk aan het feit dat de temperaturen van het luchtbevochtigingswater in tegenstelling tot de Verenigde Staten veel te koud is om een groei van deze organismen mogelijk te maken.

Of een specifiek organisme aanwezig in het luchtbevochtigingswater verband houdt met de ziekteverschijnselen kan duidelijk gemaakt worden door te testen of extracten van dit specifieke organisme reageren met serum van de patiënt (Edwards, 1980; Benaszak e.a., 1970). Er zijn echter nog heel veel gevallen van luchtbevochtigerskoorts bekend waarbij geen specifiek organisme, verantwoordelijk voor de ziekteverschijnselen, kon worden vastgesteld.

De laatst genoemde ziektes: luchtbevochtigerskoorts, byssinose, chronische bronchitis, en maandagmorgenkoorts, lijken allen veel op extrinsieke allergische alveolitis. De exacte oorzaak/ oorzaken van deze ziektes is/ zijn nog niet (in alle gevallen) opgehelderd. Bijvoorbeeld byssinose wordt waarschijnlijk voor een deel veroorzaakt door blootstelling aan endotoxine. (Rylander & Burrell, 1988) (een bestanddeel van de celwand van gram-negatieve bacteriën). Endotoxine is een belangrijk bestanddeel van verschillende organische stoffen in het bijzonder katoenstof (Rylander & Morey, 1982; Clark e.a., 1983) en veroorzaakt al in lage concentraties ontstekingsreacties en andere effecten (endotoxinekoorts) (Majde & Person, 1981).

### Veteranenziekte

Legionairsziekte of veteranenziekte wordt, in tegenstelling met luchtbevochtigerskoorts, veroorzaakt door een bekende bacterie: *Legionella pneumophila*. Er zijn in totaal 22 legionellae geïdentificeerd die alle legionairsziekte kunnen veroorzaken. *Legionella* blijkt zich goed te kunnen handhaven en te groeien in water met weinig voedsel, maar groeit beter in water met een voedingsbodem zoals algen en modder. De besmetting kan plaatsvinden door airconditioning (evenals luchtbevochtigerskoorts) maar een belangrijke besmettingsbron van veteranenziekte is douchen. Als de bacterie in boilerwater, in de leidingen of de douchekop aanwezig is (en daar door een te lage temperatuur niet gedood wordt), kan het door aërosolvorming bij de douchekop, ingeademd worden, waarna besmetting plaats kan vinden. In een aantal gevallen is er een relatie gelegd tussen het optreden van de ziekte en grondopgravingen.

De ziekte treft vooral mensen van middelbare leeftijd, of iets ouder, die op de een of andere manier een verzwakte weerstand hebben (ziekte aan de ademhalingswegen, roken, kankerpatiënten, alcoholisten e.d.). In 15 -20% van de gevallen vooral bij de juist genoemde groepen, kan de ziekte dodelijk verlopen. Een iets andere ziekte waarbij in tegenstelling tot de veteranenziekte geen ontstekingsreactie optrad, is de ziekte die in Pontiac optrad (Pontiac-koorts). Deze ziekte is mogelijk een combinatie van luchtbevochtigerskoorts (amoebes in de luchtbevochtiger) en veteranenziekte (met een infectie van weinig *Legionella*) (Taylor, 1981). Deze ziekte is echter veel minder ernstig, men herstelt in het algemeen na 2 tot 5 dagen.

*Legionella* groeit zeer slecht op voedingsbodems (agar platen) in laboratoriumomstandigheden. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de bacterie parasiteert op bepaalde amoebes. Er is gesuggereerd dat de bacterie zich in amoebes voortplant, doordat deze noodzakelijke voedingsstoffen bevat. Het is bekend dat amoebes voorkomen in luchtbevochtigingssystemen en een belangrijke rol bij luchtbevochtigerskoorts spelen (Rowbotham, 1980; Taylor, 1981). Aangevoerd is ook dat *Legionella* menselijke cellen kan infecteren en hierin goed kan groeien (Horwitz & Silverstein, 1980).

Het samen voorkomen van Legionella en amoebes zou verklaren waarom Legionella overal in de natuur in water aangetroffen wordt terwijl er relatief gezien weinig ziektegevallen opgetreden zijn (amoeben zijn niet altijd in voldoende aantallen aanwezig om grote hoeveelheden Legionella, die voldoende zijn om te infecteren, te doen ontstaan).

De bacterie groeit het beste bij temperaturen van 35-40°C zodat het voorkomen van Legionella in luchtbevochtigers in Nederland niet erg waarschijnlijk is, hier komt de temperatuur in de luchtbevochtiger maximaal tot zo'n 20°C (hier geldt dus hetzelfde verhaal als voor thermofiele actinomyceten). In boilersystemen is groei zeer goed mogelijk, een temperatuursverhoging tot zo'n 60-65°C wordt aanbevolen om de condities voor deze bacterie zo ongunstig mogelijk te maken.

(Bij een temperatuursverhoging moet echter wel bedacht worden dat het risico op verbrandingen wel toeneemt, evenals de energierekening.)

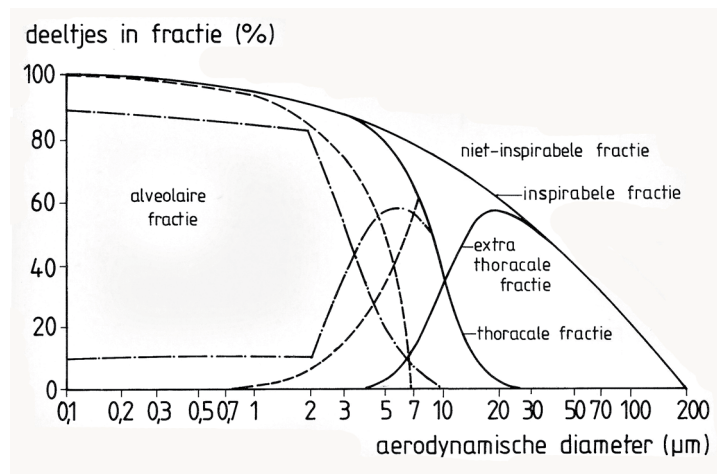


# 5. MONSTERNAME EN DEELTJES

## 5.1. Aërosolen

In de loop der jaren zijn er vele modellen opgesteld (zie hoofdstuk 3) waarbij de depositie in de verschillende delen van het ademhalingsstelsel beschreven wordt in afhankelijkheid van de deeltjesdiameter. Aan de hand van deze depositiemodellen kunnen criteria worden opgesteld waaraan monstername-apparatuur moet voldoen. Een benadering is die waarbij de gehele grootteverdeling van het aanwezige aërosol doorgemeten wordt. Hiervoor zijn verschillende instrumenten beschikbaar (bijvoorbeeld ACGIH, 1983), die als nadeel hebben dat ze duur zijn, of veel analysetijd vragen (omdat de deeltjes in verschillende fracties gescheiden verzameld worden). De interpretatie naar gezondheidskundige relevantie van de gevonden resultaten is daarnaast ook moeilijk (Boleij e.a., 1987). Een andere benadering is om één of enkele geschikt gekozen stoffracties te bemonsteren. Een commissie van de International Standardisation Organisation heeft een aantal stoffracties gedefinieerd zoals weergegeven staat in figuur 5.1. (ISO, 1983; ISO, 1981). Deze grafiek geeft de grens van de totale inadembare fractie (inspirabele fractie) met als onderverdeling de thoracale en de extra-thoracale fracties. In deze figuur is ook de verdeling van de thoracale fractie in de tracheobronchiale en alveolaire subfracties weergegeven zowel volgens de conferentie van de American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) als die van de British Medical Research Council (BMRC). De verschillen tussen beide conventies blijken uit de 50% afscheidingsdiameter die voor de ACGIH - curve bij 3,5  $\mu\text{m}$  ligt en voor de BMRC bij 5  $\mu\text{m}$  (Lippmann, 1976). Deze verschillen spelen in de praktijk nauwelijks een rol doordat de meetfout in het algemeen groter is dan de verschillen veroorzaakt door de afscheidingsdiameter. Een ander verschil is dat het ISO -model ook de niet arbeidsgebonden omgeving, dus de blootstelling van risicogroepen als kinderen en ongezonde volwassenen, in het model willen betrekken.

Het meten van aërosolen wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van veel potentiële foutenbronnen. Dezelfde krachten die in de luchtwegen depositie tot gevolg hebben, spelen ook een rol in monstername-apparatuur. Dit kan een verlaagd vangstrendement tot gevolg hebben.



Alle deeltjesfracties van de inspirabele stoffractie volgens de ISO ( ) (1983). Aangegeven zijn de onderverdelingen in de thoracale fractie volgens de British Medical Research Council ( - - ) en de American Conference of Governmental Industrial hygiënists ( -.-.- ).  
 Figuur 5.1.

Tevens kunnen gemakkelijk wandverliezen optreden. Er is op basis van de bovengenoemde criteria een scala aan monsternamen apparatuur ontwikkeld en uitgetest. Meetapparatuur wordt meestal verdeeld in apparatuur die de respirabele fractie bemonstert en apparatuur voor de bepaling van totaalstof. Veel gebruikte apparatuur voor de bepaling van respirabelstof is de Casella cycloon. Onder totaalstof wordt het stof verstaan dat gemonsterd wordt met een aanzuigsnelheid van de lucht van 1,25 meter per seconde met de aanzuigsnelheid naar beneden gericht (Staubforschungsinstitut, 1973). Aan deze definitie ligt geen gezondheidskundige redenering of depositiemodel ten grondslag. Slechts het standaardiseren van de monsternamen van stof, zodat monsters met elkaar vergeleken konden worden, lag ten grondslag aan deze norm. Als volgens deze norm wordt gemonsterd wordt het visueel hinderlijke stof gevangen. De Maximaal Aanvaarde Concentraties zijn ook afgestemd op totaalstof.

Totaalstof bevat meer dan de inspirabele fractie zoals deze door de ISO is gedefinieerd. In feite bevat het, zoals de naam al suggereert, de hele zwevende fractie van het omgevingsstof. Vergelijkingsmetingen van apparaten die allemaal aanzuigen volgens de definitie van totaalstof kunnen desondanks toch verschillende resultaten opleveren (van der Wal, 1983). Een internationaal geaccepteerd, geschikt monsternamen-apparaat dat voldoet aan de criteria voor de monsternamen van de totale inadembare stoffractie is niet commercieel verkrijgbaar (Mark & Vincent, 1986). De apparatuur die in Wageningen bij de vakgroep Luchthygiëne & -verontreiniging van de Landbouwuniversiteit gebruikt wordt om totaalstof te bemonsteren is de PAS 6 (deze bemonstert volgens de totaalstofdefinitie, waarbij de 50 % afscheidingsdiameter in de buurt van 18 µm ligt (ter Kuile, 1986).

Er kan op twee verschillende manieren gemonsterd worden, persoonlijk of stationair. Persoonlijke monsternamen wil zeggen dat een persoon een meetapparaat wordt opgespeld/ omgehangen, om de blootstelling aan een bepaalde stof te bepalen. Stationaire metingen wil zeggen dat op een bepaalde plaats in een ruimte meetapparatuur wordt opgesteld die verontreinigingen meet. Persoonlijke monsternamen zijn per definitie licht in gewicht, aangezien deze op de persoon wordt gedragen. Stationaire meetapparatuur kan veel zwaarder uitgevoerd zijn, waardoor ook grotere hoeveelheden lucht gemonsterd kunnen worden. Voor lucht die lage concentraties verontreinigingen bevat bestaan 'high volume samplers'; de lucht wordt met een groot volume aangezogen, waardoor relatief lage concentraties in korte tijd bemonsterd en toch aangegevoeld kunnen worden.

De analyse van de monsters vindt voor het merendeels plaats door gewichtsmetingen. Om specifieke componenten te bepalen kunnen andere analytische technieken worden toegepast. Voorbeelden hiervan zijn: atomaire absorptiespectrometrie, emissiespectrometrie en neutronenactiveringsanalyse voor metalen en gaschromatografie of hogedruk-vloeistofchromatografie voor organische verbindingen, waaronder de polycyclische aromaten.

Belangrijk is als bepaalde componenten uit het stof bepaald moeten worden dat er een weloverwogen keuze gemaakt is betreffende het filtermateriaal.

## 5.2. Organisch stof

Organisch stof, deeltjesvormige verontreinigingen afkomstig van plantaardige of dierlijke oorsprong worden bij een stofmeting met het overige stof meege-monsterd.

Het bijzondere van organisch stof is dat het biologisch actieve bestanddelen kan bevatten die geassocieerd worden met het voorkomen van bepaalde ziektes, zoals astma, extrinsieke allergische alveolitis, niet specifieke irritatie van de luchtwegen, byssinose en endotoxinekoorts (Rylander, 1985).

De biologische actieve bestanddelen kunnen in drie hoofdgroepen ingedeeld worden (Boleij e.a., 1987):

- levende microorganismen zoals bacteriën en schimmels die infecties tot gevolg kunnen hebben;
- afscheidingsproducten zoals endotoxinen en mycotoxinen (bijvoorbeeld aflatoxine) met een toxische werking;
- allergenen, die een immunologische reactie teweeg brengen.

De monsternamen van organisch stof komt in veel opzichten overeen met de monsternamen van deeltjesvormige verontreinigingen. Bij de microbiologische analyses van de monsters doen zich echter de volgende extra problemen voor: de uitkomst (aantal kolonies) wordt beïnvloed door het gebruikte medium, de incubatietemperatuur, de incubatietijd, de monsternameduur en de levensvatbaarheid van de organismen. Bovendien treedt er een grote variatie op in de tijd wat betreft de concentraties. Het is bovendien niet mogelijk om gedurende een langere tijd te monstren omdat dit grote invloed heeft op de aantallen en soorten die gevonden worden.

Hierdoor worden hoge eisen aan de monsternamestrategie en de kwaliteitsbewaking van de metingen gesteld. Duplomonsters nemen is een absolute minimumeis (Boleij e.a., 1987).

Het meest uitgeteste en gebruikte apparaat om schimmels en bacteriën te monstern is de Andersen Sampler, die beschouwd wordt als een standaard instrument (Andersen, 1958). Dit apparaat kan alleen gebruikt worden bij lage concentraties microorganismen in de lucht. Hieruit is de veel gebruikte gemodificeerde Andersen sampler (N-6 sampler) ontwikkeld (Jones e.a., 1985). Smid e.a. (1989) maken een vergelijking van vier verschillende meetapparaten om schimmels te bemonstern. Te weten: Reuter centrifugal air sampler, Andersen N-6 sampler, Surface Air System Sampler en de Slit Sampler. Voor de bemonstering van hoge concentraties micro-organismen wordt de lucht door een vloeistof in een 'midget impinger', door een gelatine of nucleopore filter met behulp van een filterhouder en een pomp geleid (Dark & Harper, 1972; Blomquist e.a., 1984). Door de monsternamemethode kunnen van de monsters verdunningen gemaakt worden en uitgeplaat worden op verschillende media.

Organisch stof kan naast microorganismen ook endotoxine bevatten. Deze stof, een onderdeel van de celwand van gram-negatieve bacteriën wordt verantwoordelijk gehouden voor koortsverschijnselen, leucocytose en longfunctieveranderingen (Rylander, 1985). De concentratie endotoxine van het stof kan bepaald worden met behulp van een speciale enzymreactie, waarbij de kleurreactie spectrofotometrisch bepaald wordt.

De bepaling van allergenen is zeer complex en bevindt zich nog in het ontwikkelingsstadium. Allergenen bevatten meestal eiwitten en zijn fysisch/chemisch niet te onderscheiden van normale eiwitten. Immunochemische technieken worden gebruikt om de allergenen in de lucht te bepalen. Deze technieken berusten allen op de vorming van immuuncomplexen van specifieke antilichamen uit menselijk bloed of uit gesensibiliseerde dieren met de betreffende allergenen, waarna de detectie op verschillende manieren plaats kan vinden.

De technieken zijn: RIA (Radio-Immuno Assay), RAST (Radio-Allergo Sorbent Test) en ELISA (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay). Het Centraal Laboratorium van de Bloedtransfusiedienst (CLB) gebruikt een RIA test om de concentratie allergenen uit huisstof te bepalen (ter Kuile & Kraaiveld, 1987). Een andere methode die wel gebruikt wordt om de allergene concentratie van huisstof te bepalen, is een colorimetrische methode die de concentratie guanine in dat huisstof bepaalt. Guanine is een stof die o.a. door huisstofmijten wordt geproduceerd. (Huisstofmijten zijn beestjes die leven van huidschilfers van de mens. Ze kunnen in warme en vochtige omgevingen in grote aantallen voorkomen in bedden, meubels, vloerbedekking e.d.. Veel mensen zijn allergisch voor de uitscheidingsproducten van de huisstofmijt.) Met deze colorimetrische methode kan de guanine-concentratie niet exact bepaald worden, maar aangegeven kan worden of er al dan niet sanering (van de huisstofmijt) moet plaatsvinden. Nog onbekend is of de concentratie guanine in alle gevallen een goede maat is voor de aantallen huisstofmijten en daarmee de hoeveelheid allergenen (Van Bronswijk, 1989).

# 6. KANTOOR(ACHTIGE) GEBOUWEN

## 6.1. Inleiding

In kantoor(achtige) gebouwen wordt de laatste jaren vaak geklaagd over de (klimaat)omstandigheden, het zogenoemde 'Sick Building Syndrome' (SBS) wordt hier in één adem mee genoemd. Volgens een rapport van de WHO (1983) waren al voor 1960 de eerste gevallen van 'Sick Building Syndrome' bekend. De term SBS wil eigenlijk alleen maar zeggen dat de oorzaak van het grote aantal klachten van bewoners van een bepaald gebouw niet bekend is, terwijl de reden toch in het binnenmilieu van de kantoorgebouwen wordt gezocht. Bij een klachtenpercentage van 20 % van de werknemers wordt al over 'sick building' gesproken. In Nederland hebben ongeveer 1,4 miljoen mensen (70%) klachten van de in totaal 2 miljoen die in een kantoor werken. Zo'n 1 miljoen mensen zijn ontevreden over het binnenmilieu en ongeveer 400.000 mensen heeft klachten met betrekking tot het binnenmilieu. De bewoners van zo'n gebouw klagen/ hebben last van één of meer van de volgende symptomen (van der Meer, 1987):

- irritatie van slijmvliezen;
- irritatie van de ogen;
- hoofdpijn;
- stank;
- verstopte neus;
- verkoudheid;
- pijnlijke keel;
- kort ademigheid;
- huid irritatie/huiduitslag;
- vreemde smaak in de mond;
- duizeligheid;
- vermoeidheid;
- misselijkheid;
- hijgen en overgevoeligheid.

In sommige onderzoeken worden ook specifieke klachten zoals het is te warm/ koud, het tocht, het is te licht, en soortgelijke klachten tot het SBS gerekend. Verschillende groeperingen houden zich met onderzoek naar de oorzaak van klachten bezig. De arbeidsinspectie bijvoorbeeld heeft meerdere onderzoeken in kantoren, bibliotheken e.d. gedaan (Lastdrager, 1982-1986; Schalkoort, 1977-1983).

De onderzoeken werden gedaan nadat anderen getracht hadden de oorzaken te vinden. Opvallend was dat tijdens de diverse onderzoeken bleek dat bewoners sterk de neiging hadden om verklarend te klagen, zoals: de lucht is te droog, er zitten beestjes in de airconditioning, het is hier stoffig, en dergelijke. Het is echter gebleken dat wat men ook aan de vermeende oorzaken van de klachten doet, de klachten aan blijven houden (Schalkoort, 1987). De verklaring hiervoor is nu dat mensen met klachten verklarend gaan klagen om serieus genomen te worden, als ze alleen met 'vage' klachtenomschrijvingen komen worden ze niet serieus genomen. Dit komt deels overeen met wat Voskamp (1988) hierover schrijft. Uit het onderzoek 'achter de schermen' uitgevoerd door TNO blijkt dat specifieke gezondheidsklachten (de SBS-klachten) maar zeer gering samenhangen met de gebouwgebonden aspecten. Uit het rapport is wel gebleken dat de specifieke klachten van de kantoorwerkers (waaronder de klachten over het binnenmilieu) overeenkomen met de gemeten afwijkingen.

## 6.2. Oorzaken van SBS

### 6.2.1. Inleiding

De oorzaken van 'sick buildings' zijn per definitie onbekend, toch probeert men de oorzaken van de klachten op te sporen. Er wordt in de SBS onderzoeken echter alleen naar gebouwgebonden factoren gekeken zodat andere factoren als een slechte zit/werkhouding, hoge werkdruk, slechte inhoud van het werk (monotonie, weinig contacten) buiten beschouwing worden gelaten (Voskamp, 1988).

De volgende oorzaken van klachten van bewoners van sick buildings worden wel genoemd: een niet optimale

- luchttemperatuur;
- stralingstemperatuur, of een te groot verschil tussen lucht- en stralingstemperatuur;
- luchtsnelheid, (tocht);
- luchtvochtigheid;
- de verversingsgraad van de lucht (te hoge concentratie kooldioxide);
- verlichtingssterkte/ weerspiegelingen.

Andere veroorzakers die genoemd worden zijn:

- de vervuiling van de lucht door formaldehyde, of andere organische verbindingen (formaldehyde is een gas dat vrij kan komen uit spaanplaat);
- de ozonconcentratie (ozon is een gas dat onder andere gemaakt wordt/ vrijkomt bij fotokopiëren);
- de hoeveelheid stof;
- de concentratie microorganismen. (schimmels, bacteriën, deze kunnen uit het (slecht onderhouden) luchtbehandelingssysteem komen, maar er zijn ook andere mogelijke bronnen);
- de concentratie allergenen;
- etc.

Wallingford en Carpenter (1986) hebben van in totaal 356 onderzoeken die de NIOSH uitgevoerd heeft, bij gebouwen waarvan de bewoners klachten hadden, de volgende oorzaken gevonden:

- contaminatie door bouwstoffen (formaldehyde, oplosmiddelen, lijmen, vezels van gebouw of meubilair) 4%;
- microbiologische contaminatie (bacteriën, schimmels, protozoën en microbiële producten, vaak in luchtkanalen, bevochtigingssystemen, koeltorens) 5%;
- contaminatie door externe oorzaken (inname van uitlaatgassen, schoorsteengassen, en afgezogen lucht van keukens en dergelijke, dus slechte luchtinname) 11%;
- contaminatie door interne oorzaken (kopieermachines, tabaksrook, toevoegingen aan warm water, pesticiden, schoonmaakmiddelen etc.) 19%;
- onvoldoende ventilatie (onvoldoende verse luchtinname, slechte verspreiding van de lucht, slecht onderhoud) 50%;
- onbekend 11% (dit zijn dus de echte 'sick building' klachten).

Deze lijst hoeft echter geen exacte weergave van de werkelijkheid te zijn omdat gedurende de tijd dat onderzoek plaats gevonden heeft (1971-1985):

- er geen standaardprocedure gebruikt is;
- de methodiek van het onderzoek met de tijd veranderd is;
- de methode van classificering naar een enkele oorzaak misschien onjuist is.

Een jaar later heeft Stolwijk (1987) 446 NIOSH studies op soortgelijke wijze bekeken. (Hier zitten de vorige studies van Wallingford en Carpenter naar alle waarschijnlijkheid ook bij.) Hij vond soortgelijke percentages als Wallingford en Carpenter gevonden hadden.

Tabel 6.1. Voorkomen van klachten als gevolg van verschillende oorzaken in 73 gebouwen (in %)

Type of problem	Occupant Complaints		Measurement Reports by NIOSH		Recommendations by NIOSH	
	yes	no	yes	no	yes	no
Temperature	8.2	91.8	11.0	89.0	4.1	95.9
Pollutants	16.4	83.6	78.1	21.9	42.5	57.5
Bioagent	8.2	91.8	8.2	91.8	5.5	94.5
Noise	1.4	98.6	2.7	97.3	1.4	98.6
Stuffy	57.5	42.5	52.1	47.9	58.9	41.1
Drafty	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0

Percent of buildings with:	0 items	1 item	2 items	3 items
Measurements reported	39.7%	46.6%	13.7%	0.0%
Recommendations made	37.0%	56.2%	6.8%	0.0%

Stolwijk heeft bij de analyse van 75 'sick building' onderzoeken de resultaten anders gerangschikt om de oorzaak van de klachten van de bewoners te achterhalen. Dit resulteerde in een tabel waarin de klachten die de bewoners hadden, het type onderzoek dat de NIOSH gedaan heeft, en het resultaat van de onderzoeken staat. (Tabel 6.1) De beide onderzoeken, zowel van Wallingford en Carpenter als van Stolwijk hebben echter geen bewijzen voor hun uitspraken over wat de oorzaak van de klachten was; er zijn namelijk nooit vervolgonderzoeken uitgevoerd.

### 6.2.2. Luchtbehandelingssystemen

Tegenwoordig zijn grote(re) gebouwen uitgerust met een airconditioning; Frisse buitenlucht wordt, al dan niet gemengd met recirculerende (binnen)lucht uit het gebouw, verwarmd, gekoeld, bevochtigd of gedroogd, afhankelijk van de behoefte. Door middel van luchtkanalen wordt de lucht naar de verschillende delen van het gebouw getransporteerd, waar eventuele naverwarming plaatsvindt. De lucht wordt op een andere plaats in die ruimte weer afgezogen en teruggevoerd naar de installatie. In wat oudere gebouwen vindt men vaak wat minder uitgebreide systemen. Zo zijn er gebouwen waarbij geen bevochtiging van de lucht plaatsvindt, of gebouwen waar de lucht alleen maar wordt verwarmd. Ook zijn er gebouwen waar de verwarming gewoon nog plaatsvindt met radiatoren, waar ramen geopend kunnen worden (natuurlijke ventilatie). In deze gebouwen kan de individuele bewoner dus zelf bepalen wanneer en hoelang hij/zij een raampje open doet. Uit onderzoek van Hedge (1984) bleek dat in natuurlijk geventileerde cellenkantoren het minst en in kantoortuinen met airconditioning het meest wordt geklaagd.

De natuurlijk geventileerde kantoortuinen lagen met hun klachtenaantallen tussen de beide kantortypes in. De bewonerspopulaties in de verschillende kantoren waren vergelijkbaar.

Uit ander onderzoek (Finnegan, 1984) bleek dat hoe meer techniek er in kantoorgebouwen gebruikt wordt, des te meer klachten er zijn. De kantoren die in dit onderzoek onderzocht werden waren kantoren met natuurlijke en met mechanische ventilatie. Bij een aantal mechanisch geventileerde kantoren werd de lucht bevochtigd en/of werd de afgezogen lucht gedeeltelijk hergebruikt (recirculatie). Skov e.a. (1987) vonden in de "Danish Town Hall study" grote verschillen in het voorkomen, bij verschillende gebouwen, van aan sick-building gerelateerde klachten. Het voorkomen van de klachten was het laagst bij de oudste "town halls", geen significante verschillen werden gevonden tussen natuurlijke en mechanisch geventileerde gebouwen.

Deze klachten kunnen aan velerlei factoren toegeschreven worden. De belangrijkste, die een relatie met het luchtbehandelingssysteem hebben, staan hieronder op een rijtje:

- De bewoners kunnen zelf geen invloed uitoefenen op de temperatuur van de aangevoerde lucht.
- Energiebesparende maatregelen. Door de energiebesparingen zoals het verminderen van de ventilatie, het verlagen van de temperatuur of het langer toestaan van grotere temperatuuroverschrijdingen, wordt het comfort beperkt.



Veel gebouwen hebben tegenwoordig een regelinstallatie een zogenaamde 'optimalisator', deze regelt de temperatuur in het gebouw. Het nadeel van een dergelijk systeem is dat de bezuiniging op de stookkosten op de eerste plaats staan, de mensen die in het gebouw moeten werken staan op de tweede plaats. Hierdoor zal vaak in een dergelijk geregeld systeem de verwarming pas uit de nachtstand komen op het moment dat er mensen in het gebouw komen, of vlak voordat er mensen in het gebouw kunnen komen.

De natuurlijk geventileerde kantoorruimten lagen met hun klachtenaantallen tussen de beide kantoor types in. De bewonerspopulatie in de verschillende kantoren waren vergelijkbaar.

Uit ander onderzoek (Finnegan, 1984) bleek dat hoe meer techniek er in kantoor gebouwen gebruikt wordt, des te meer klachten er zijn. De kantoren die in dit onderzoek onderzocht werden waren kantoren met natuurlijke en met mechanische ventilatie. Bij een aantal mechanisch geventileerde kantoren werd de lucht bevochtigd en/of werd de afgezogen lucht gedeeltelijk hergebruikt (recirculatie).

Skov e.a. (1987) vonden in de "Danish Town Hall study" grote verschillen in het voorkomen, bij verschillende gebouwen, van aan sickbuilding gerelateerde klachten. Het voorkomen van de klachten was het laagst bij de oudste "town halls", geen significante verschillen werden gevonden tussen natuurlijke en mechanisch geventileerde gebouwen.

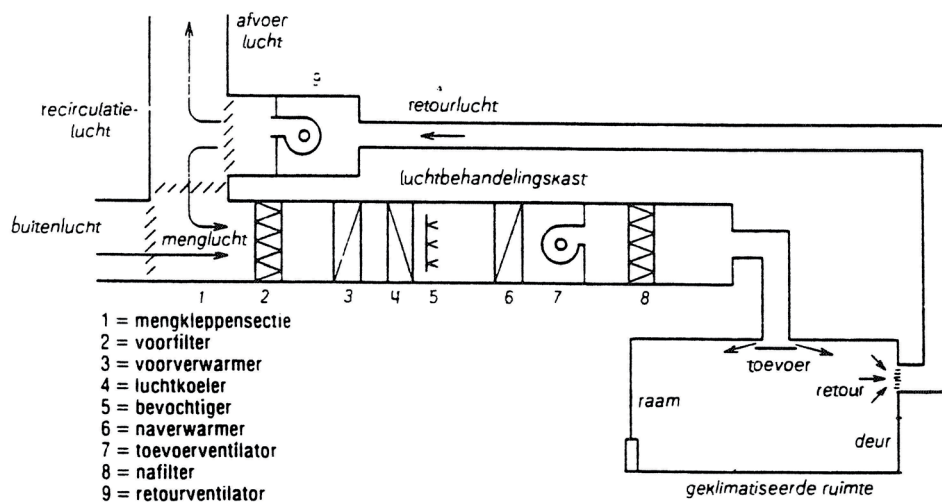
Deze klachten kunnen aan velerlei factoren toegeschreven worden. De belangrijkste, die een relatie met het luchtbehandelingssysteem hebben, staan hieronder op een rijtje:

- De bewoners kunnen zelf geen invloed uitoefenen op de temperatuur van de aangevoerde lucht.
- Energiebesparende maatregelen. Door de energiebesparingen zoals het verminderen van de ventilatie, het verlagen van de temperatuur of het langer toestaan van grotere temperatuuroverschrijdingen, wordt het comfort beperkt. Veel gebouwen hebben tegenwoordig een regelinstallatie, een zogenaamde "optimalisator", deze regelt de temperatuur in het gebouw. Het nadeel van een dergelijk systeem is dat de bezuiniging op de stookkosten op de eerste plaats staan, de mensen die in het gebouw moeten werken staan op de tweede plaats. Hierdoor zal vaak in een dergelijk geregeld systeem de verwarming pas uit de nachtstand komen op het moment dat er mensen in het gebouw komen, of vlak voordat er mensen in het gebouw kunnen komen.

De verwarming kan ook automatisch op de nachtstand komen, terwijl er nog mensen in het gebouw aanwezig zijn, bijvoorbeeld doordat ze moeten overwerken. Het resultaat is dat bij lage buitentemperaturen 's ochtends en in het bijzonder op maandagochtend de stralingstemperaturen onbehaaglijk laag zijn en de verschillen tussen luchttemperatuur en stralingstemperatuur (te) groot worden, waardoor tocht ontstaat.

- De installatie werkt niet naar behoren:
  - a. De eisen die aan het ontwerp gesteld zijn worden niet gehaald. De temperaturen worden niet gehaald, de benodigde hoeveelheid luchtverversing is onvoldoende. Of de afstelling voor de verschillende roosteropeningen is niet goed te regelen, waardoor een aantal werkplekken teveel en andere te weinig luchttoevoer krijgen.
  - b. De gestelde eisen aan het ontwerp zijn door de tijd achterhaald. Er werken meer mensen dan het ontwerp rekening mee gehouden heeft. Er is zoveel (warmte-producerende) apparatuur in het gebouw geplaatst dat de luchtverversing onvoldoende is.
- Er wordt onvoldoende lucht ververst, door recirculatie worden verontreinigingen opgehoopt in de omgevingslucht. Als er voldoende geven tileerd wordt, komt de concentratie kooldioxide niet boven de 0,08 % uit (Berglund, 1984). Als de concentratie kooldioxide hier boven komt, betekent dit dat er concentratieverlies bij de bewoners optreedt, kortom een totaal verkeerde manier om te bezuinigen.
- De installatie wordt niet goed onderhouden, waardoor zich stof (onvoldoende filterende werking) of micro-organismen (onvoldoende reiniging van het systeem) in het gebouw verspreid worden.
- 
- De installatie heeft inwendige isolatie die in de loop der tijden kapot gegaan is waardoor isolatiemateriaal de kantoren ingeblazen wordt. Ook is het mogelijk dat in datzelfde isolatiemateriaal zich micro-organismen nestelen. (Uiteraard zijn combinaties van mogelijke factoren niet uitgesloten.)

De complete airconditioning bevat naast verwarming en koeling ook een luchtbevochtigingsgedeelte. In het luchtbevochtigingsgedeelte wordt de lucht afhankelijk van de behoefte van vocht voorzien. Voor een schema van een moderne luchtbehandelingsinstallatie zie figuur 6.1. (uit Ham & Rolloos, 1988).



Figuur 6.1. Schematische voorstelling van een luchtbehandelingsinstallatie (airconditioning installatie)

### 6.2.3. Andere mogelijke oorzaken

Volgens Schalkoort (1987) kan de verklaring van het 'sick building syndrome' niet causaal gezocht worden in de mate van aanwezigheid van techniek. Sinds er steeds meer klachten geuit worden bij gebouwbewoners zijn er naast veranderingen in verwarming en ventilatie nog veel meer, hele andere zaken, veranderd.

Deze opgetreden veranderingen zijn:

- Mondigheid bewoners. Door de toegenomen mondigheid van de bewoners worden klachten / ontevredenheid sneller geuit.
- Gedrag en gewoonten. Doordat mensen zich dunner zijn gaan kleden hebben ze sneller last van klimaatswisselingen. Minder mensen roken, waardoor er meer mensen, in principe, last kunnen hebben (klagen) over andermans rook.
- Planten en dieren. Planten en vaak ook dieren (bijvoorbeeld kooivogels) worden in kantoren gehouden. Hierdoor zijn allerlei stoffen en (potentiële) allergenen in kantoren aanwezig.
- Kunstverlichting. De laatste jaren is de hoeveelheid geïnstalleerd vermogen voor licht, door verbeterde apparatuur, verminderd. Door het gebruik van nieuwe armaturen ontstaan echter vaak grote verschillen in luminantiecontrasten. Als de apparatuur, zoals vaak het geval is, slecht geplaatst is, kan spiegelingshinder ontstaan. Steeds meer worden fluorescentielampen toegepast, deze hebben een spectrum met een aantal grote pieken, dat verschilt van zonlicht of gloeilamplicht. Een lichtspectrum met grote pieken kan bij daarvoor gevoelige personen klachten veroorzaken, zoals hoofdpijn en druk op de ogen. Bij fluorescentielampen is vooral de markante piek bij een golflengte van 434 nanometer (blauw) hiervoor verantwoordelijk (Hebbelynck, 1987).

- Beeldschermen en kopieerapparatuur. Deze apparatuur produceert warmte waarmee vaak geen rekening wordt gehouden. Bij beeldschermen speelt ook het voorkomen van spiegelingshinder en een aangepaste verlichting een rol.
- Bezettingsgraad. Kantoren worden vanaf midden jaren zeventig steeds drukker, er zijn meer personen op dezelfde oppervlakte aanwezig. Als mensen in een beperkte ruimte bij elkaar geplaatst worden, levert dat een grotere psychische druk bij deze mensen op. Ook de plaatsing van automatiseringsapparatuur heeft ruimtevermindering in de kantoren veroorzaakt.
- Werkdruk. De kantoorautomatisering en andere efficiëntie verhogende maatregelen heeft tot grotere prestaties per individu, maar ook tot een grotere werkdruk geleid. Hierdoor kan een te grote psychische druk ontstaan (Grandjean, 1984).
- Schoonmaakonderhoud. De bedragen die besteed worden aan het schoonhouden van gebouwen zijn in gulden even hoog als 15 jaar geleden. Ondanks het feit dat modernere hulpapparaten bij de schoonmaak worden ingezet, blijft schoonmaken een arbeidsintensief werk. Door dit kostenaspect zijn schoonmaakbedrijven gedwongen om met minder mensen schoon te maken. Het resultaat is (nog steeds: Schalkoort, 1987) dat gebouwen aanmerkelijk minder schoon zijn dan voorheen. Hiernaast worden steeds vaker agressievere schoonmaakmiddelen gebruikt, welke irriterende en gezondheidsschadelijke stoffen bevatten.
- Onderhoud installaties. De gelden die besteed worden aan het onderhouden van bijvoorbeeld luchtbehandelingsinstallaties zijn achtergebleven bij de prijsontwikkelingen sinds het midden van de jaren zeventig. Er heeft een verschuiving plaatsgevonden van preventief naar curatief onderhoud. Zo wordt het controleren en schoonmaken/vervangen van luchtfilters wel eens niet of te laat gedaan. Hierdoor kunnen situaties ontstaan waarbij stof en vervuiling door het gebouw verspreid worden en 'ideale' omstandigheden optreden voor de groei van microorganismen.
- Nieuwe bouwmaterialen, stoffering e.d.. Het leggen van zachte vloerbedekking in plaats van harde vloerbedekking (bijvoorbeeld linoleum), heeft tot gevolg dat stof en microorganismen moeilijker verwijderd kunnen worden. Hierdoor kan het tapijt de oorzaak zijn van een verhoging van deze componenten in het binnenmilieu.
- Leeftijdsopbouw kantoorbewonerspopulatie. Door de vergrijzing van de beroepsbevolking en toestroming van werknemers die voor andere beroepen afgekeurd zijn naar kantoorarbeid, zal de gemiddelde leeftijd in kantoren toenemen. Ouderen en andere beperkter belastbare mensen zijn gevoeliger wat betreft de temperatuur, temperatuurswisselingen en voor tocht. Ook hebben ouderen meer licht nodig om tot eenzelfde visuele prestatie te komen als jongeren.
- Medicijnen, alcohol, drugsgebruik. Gedurende de laatste tien jaar heeft een toename van deze, onder meer de stofwisseling en de vasomotoriek beïnvloedende stoffen plaatsgevonden.

- Er kan in sommige gebouwen geen raam geopend worden (hierdoor kunnen mensen psychische problemen krijgen).
- De installaties die voor een goed klimaat moeten zorgen, worden bediend door mensen die hier niet geschikt voor zijn (onvoldoende kennis en ervaring).

Onderzoek naar de oorzaak van klachten vindt ook in scholen plaats. Een voorbeeld hiervan is het volgende onderzoek van Hanssen & Mathisen (1987). Tussen twee scholen in Trondheim, Noorwegen, werd een groot verschil in ziekteverzuim van het onderwijzend personeel gesignaleerd. In school B was het ziekteverzuim, aantal klachten, veel hoger dan in school A (statistisch significant). Beide scholen waren bouwkundig gelijk, de belangrijkste verschillen waren dat school A een lustapijt had, school B een viltapijt; de luchtverversing in school A was 15 kubieke meter per vierkante meter oppervlak, per uur, in school B was de luchtverversing 8 (zelfde eenheden). De warmte werd in beide gebouwen met behulp van warmtewisselaars in het gebouw gehouden. Er werd geen lucht gekoeld of bevochtigd. Het geluidsniveau was in school B op één plek 46 dB(A) (volgens de auteurs onaanvaardbaar). Gevonden werd dat de ventilatievoud onvoldoende was in school B. (De concentratie kooldioxide kon tot 1500 ppm oplopen in één uur.) De concentratie stof die gevonden werd staat in tabel 6.2. Deze gevonden concentraties zijn normaal.

De meest plausibele verklaring voor de vele klachten en het grote ziekteverzuim in school B was de onvoldoende luchtverversing in school B. (N.B. Door de verminderde luchtverversing zal de concentratie stof in school B hoger liggen dan school A, dit is voor de kleinere stofdeeltjes inderdaad het geval (zie tabel 6.2.)).

Tabel 6.2. Vergelijking van aantallen stofdeeltjes in 2 scholen

		Number of particles * 10 <sup>-4</sup> per m <sup>2</sup>		Concentration by weight
		0.3 - 3.0 µm	3.0 - 12.0 µm	mg/m <sup>3</sup> (< 3.5 µm)
School A	Indoor	70 - 470	4 - 115	20 - 30
	Outdoor	80 - 110	2 - 11	< 20
School B	Indoor	300 - 620	11 - 130	30 - 90
	Outdoor	260 - 370	1 - 20	



# 7. FACTOREN DIE VERONTREINIGINGEN BEÏNVLOEDEN

## 7.1. Inleiding

Stof en in het algemeen verontreinigingen kunnen op verschillende manieren een gebouw binnenkomen, of verspreiden in een gebouw, namelijk:

- uit bouwmaterialen, bij de bouw of door gebruik/ slijtage, (zand, cement, vezels uit isolatiemateriaal, hout, etc.);
- door plaatsing, slijtage van inventaris;
- door mensen of menselijke activiteiten;
- door meegebrachte planten, dieren;
- uit apparatuur, bijvoorbeeld stofzuigers, kopieermachines, etc.;
- van buiten, door ramen, deuren, door filters heen komend.

Er wordt geprobeerd te voorkomen dat verontreinigingen een gebouw binnenkomen door het toepassen van filters en schoonloopmatten. De verdere verspreiding van verontreinigingen in een gebouw vindt voornamelijk plaats door menselijke activiteiten. De verwijdering van verontreinigingen vindt plaats door schoonmaakwerkzaamheden en ventilatie. Als deze laatste twee niet goed plaatsvinden, kan de concentratie oplopen tot onaanvaardbare niveaus.

Een aantal bovengenoemde bronnen zijn zeer moeilijk te kwantificeren, ze kunnen variëren naar gelang de omstandigheden. Zo zal de concentratie bouwstof in een gebouw afhankelijk zijn van of er (goed) schoongemaakt is na oplevering. Onbekend is veelal hoeveel deeltjes (of gassen) vrijkomen vanuit de inventaris. De hoeveelheid planten (en dieren) zal in elk gebouw verschillend zijn, evenals hoe vaak de planten water gegeven worden (wat van belang kan zijn in verband met schimmelgroei in de potaarde). Zo zijn er veel factoren betrokken die de hoeveelheid verontreinigingen in een gebouw bepalen. Hierdoor zullen de concentraties bacteriën, schimmels, deeltjes e.d. niet gelijk zijn in verschillende gebouwen.

Om toch een indruk van de orde van grootte van de verschillende verontreinigingen te krijgen volgt nu een aantal factoren die deze verontreinigingen beïnvloeden.

## 7.2. De mens

Het menselijk lichaam is een van de belangrijkste of de belangrijkste bron van verontreinigingen in het binnenmilieu. Elke persoon schudt zo'n 7 miljoen huiddeeltjes per minuut af, waarbij elk deeltje gemiddeld 4 bacteriën bevat (Clark & Cox, 1973). De deeltjesafgifte is afhankelijk van de activiteit van de persoon. In tabel 7.1. staat de orde van grootte van de deeltjesafgifte in aantallen per seconde (Austin & Timmermann, 1963).

Tabel 7.1. Deeltjes afgifte in aantallen per seconde, afhankelijk van de lichaamsbewegingen (deeltjes 0,5 µm en groter)

2.000	staan of stilzitten
10.000	staan of zitten met lichte arm en hoofdbewegingen
20.000	zitten met middelmatige lichaamsbewegingen
50.000	opstaan of volledige beweging van het lichaam
100.000	langzaam lopen (3,5 km/uur)
150.000	normaal lopen (6 km/uur)
200.000	snel, lopen (9 km/uur)

Door niezen en proesten worden bacteriën en virussen die in het ademhalingsstelsel zitten, verspreid, waardoor ze door andere personen ingeademd kunnen worden. De verspreiding van microorganismen vindt ook plaats door praten en zingen (Riley, 1981).

Bij een goede ventilatie en schoonmaakonderhoud zullen deze aërosolen geen aanleiding geven tot problemen.

Indien de ventilatie onvoldoende is en/of de schoonmaak niet goed wordt uitgevoerd, kan echter stofophoping plaatsvinden. Hierdoor kunnen mensen die allergisch zijn, klachten krijgen, en/of mensen kunnen in de loop van de tijd allergisch worden.

Lundqvist (1988) toont aan dat de mens een belangrijke bron van microorganismen is, waardoor ook oppervlakken in kamers door bacteriën en schimmels gekoloniseerd worden. Zes kinderen van vier tot zes jaar werden in een klimaatkamer van 35 m<sup>3</sup> / 12 m<sup>2</sup> ondergebracht, waarbij de kamer met een normale hoeveelheid buitenlucht geventileerd werd. Na één uur in de klimaatkamer was de concentratie bacteriën in de lucht opgelopen tot 5000 CFU/m<sup>3</sup>, terwijl de buitenluchtconcentratie zo'n 150 CFU/m<sup>3</sup> was. De concentratie schimmels in de lucht was na één uur 1500 CFU/m<sup>3</sup> en 200 CFU/m<sup>3</sup> in de buitenlucht. De concentratie micro-organismen in de lucht nam snel af na het verlaten door de kinderen van de klimaatkamer. De microorganismen stierven af en/of (de aërosolen met de microorganismen) hechtten zich aan oppervlakken, zoals aangetoond werd.



### 7.3. Luchtbehandelingssystemen

Airconditioningsinstallaties kunnen gedeeltes bevatten waar micro-organismen zich in vermeerderen en/ of zich door kunnen verspreiden. Deze delen bevatten altijd water waar de microorganismen zich in kunnen vestigen en vermeerderen. Het type, soort bacterie dat zich in eerste instantie in dit water zal ontwikkelen is afhankelijk van de hoeveelheid voedsel in het water, de PH en de temperatuur. Hierna kan door het uitscheiden van metabole producten het medium geschikt worden voor de kolonisatie van andere soorten microorganismen. Hierdoor kan een voedselketen ontstaan, bestaande uit bacteriën, schimmels, algen, amoebes e.d.. Een luchtbevochtiger, watertank of reservoir die op deze manier gekoloniseerd wordt, zal in de loop van de tijd een slijmlaagje op de wateroppervlakte en een laag met dode en levende microorganismen op de bodem vormen. De gevormde micro-organismen (levende en/of dode exemplaren) kunnen via het sproeisysteem in de lucht opgenomen worden als aërosol en op de werkplek terechtkomen.

Deze micro-organismen (of een deel hiervan) kunnen allergenen bevatten waardoor mensen op de werkplek allergische reacties ontwikkelen (bijvoorbeeld luchtbevochtigerskoorts) (Ager & Tickner, 1983). Onderdelen van airconditioningsinstallaties waar microorganismen zich in kunnen vermeerderen zijn:

- koeltorens (met verdampingscondensator of watergekoelde condensator);
- waterbevochtigers (werkend met recirculerend water);
- gedeeltes in de luchtkanalen waar isolatiemateriaal blootligt.

Bij koeltorens en verdampingscondensators kan er ten gevolge van de wind een transport van aërosolen plaatsvinden vanaf de koeltoren of verdampingscondensator naar gebouwdelen in de omgeving (Brundett, 1981). Kans op besmetting met bijvoorbeeld *Legionella pneumophila* kan plaatsvinden via aanzuigopeningen of open ramen van een gebouw in de omgeving.

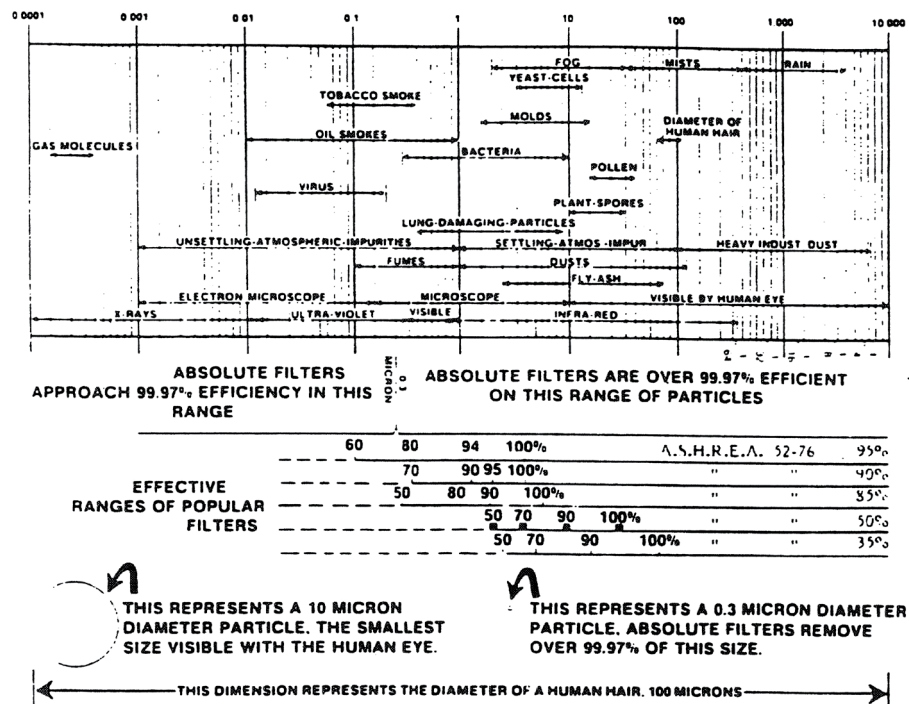
Bij waterbevochtigers met recirculerend water wordt het water wat gebruikt wordt om de lucht te bevochtigen in een bak opgevangen en steeds weer gebruikt. (In sommige systemen wordt een gedeelte van het water wel afgetapt.) In deze opvangbak vinden allerlei microorganismen een gunstig klimaat om zich te ontwikkelen. De lucht die de luchtkanalen naar de kantoren ingaat komt in direct contact met het water. Hierdoor kunnen kiemen en micro-organismen in de luchtkanalen en de kantoren terechtkomen.

Bij goed onderhoud van de installatie en regelmatig reinigen van de installatie kan microbiële besmetting van het water voorkomen, of acceptabel gehouden worden. Regelmatige controle op het voorkomen van vervuiling is absoluut noodzakelijk. Ondergetekende heeft waterbevochtigers met recirculerend water onderzocht die een dikke laag slib op de bodem hadden en/ of melkachtig water bevatten. Deze luchtbevochtigers zaten tjokvol micro-organismen. In geval van stilzetten van de installatie (of een deel hiervan) dient de installatie schoongemaakt te worden. Voor het weer in gebruik nemen, na een periode van stilstand, dient de installatie nogmaals vakkundig gereinigd te worden.

Filters in het luchtbehandelingssysteem filteren de aangevoerde lucht en ook de recirculerende lucht. Goede filters zijn hiervoor absoluut noodzakelijk. Figuur 7.1 geeft inzicht in wat de efficiënties van verschillende filters zijn. Met andere woorden wat de grootte is van de deeltjes die ze filteren (uit: Huza & Pant, 1987). Bij de gegevens uit deze figuur moet rekening gehouden worden met het feit dat filters om een goede werking te behouden regelmatig vervangen moeten worden.

#### 7.4. (Relatieve) vochtigheid

De relatieve luchtvochtigheid (RV) is de verhouding tussen de aanwezige hoeveelheid waterdamp en de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht kan bevatten, bij een bepaalde luchtconditie, uitgedrukt in gram vocht per kilogram droge lucht. Bij lage temperaturen kan de lucht weinig vocht bevatten, zodat in de winter de aangezogen lucht voor gebouwventilatie weinig vocht bevat.



Figuur 7.1 Relatieve grootte-range van verschillende deeltjes en de efficiënties van verschillende filters

Deze lucht wordt opgewarmd voordat ze in het kantoor verspreid wordt, hierdoor zal de relatieve vochtigheid van deze lucht afnemen. Kurvers en van der Meer (1986) berekenden dat zonder aanvullende maatregelen de relatieve vochtigheid van de aangevoerde lucht in kantoren, in de winter, zo'n 25 % zal bedragen. De hoeveelheid vocht in een gebouw zal door de volgende oorzaken echter toenemen:

- de hoeveelheid mensen die in dit gebouw werken, de activiteiten van deze mensen;
- de wijze waarop de verwarming plaatsvindt;
- de aanwezigheid van waterafgeevende apparatuur;
- de aanwezigheid van planten.

In de zomersituatie zal de relatieve luchtvochtigheid zo'n 60% bedragen (Kurvers & van der Meer, 1986).

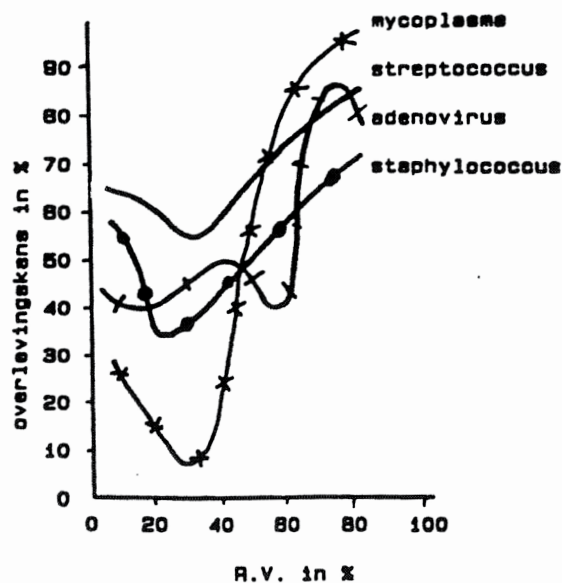
De relatieve luchtvochtigheid wordt vaak in verband gebracht met klachten zoals irritaties van de luchtwegen, uitdrogen van de slijmvliezen, geïrriteerde ogen en respiratoire ziekten. Deze klachten zijn echter door meerdere zaken te verklaren. Uit onderzoek is gebleken dat er in het gebied van 10-90% RV geen veranderingen optreden in de slijmvliesstroom. (Andersen e.a., 1974) Er kan dus geen sprake zijn van verminderde bescherming tegen het binnendringen van vreemde stoffen (waar onder micro-organismen) (van der Meer, 1987). De relatieve luchtvochtigheid bepaalt wel de hydratatietoestand van de huid. Bepaalde huidaandoeningen (bijvoorbeeld dermatitis) verergeren door een RV lager dan 25 %.

Bij een lage RV waaien stofdeeltjes gemakkelijk op. Toenemende RV bevordert de opeenhoping van deeltjes, waardoor er minder stof opwaait. De verspreiding van virussen wordt beïnvloed door de luchtvochtigheid aangezien virussen op kleine stofdeeltjes verspreid worden.

De relatie tussen de luchtvochtigheid en de overlevingskans van enkele microorganismen wordt grafisch weergegeven in figuur 7.2. De grafiek geeft hiervan alleen een indruk, aangezien verschillende soorten micro-organismen andere overlevingscurven hebben en de omgevingstemperatuur ook een niet ondergeschikte rol speelt. Er kan echter toch gezegd worden dat bij een RV tussen de 30 en 40%, de meeste bacteriën en virussen de kleinste overlevingskans hebben. Een goede ventilatie zal verder de besmettingskans sterk doen verminderen (Akkers en Dimmick, 1969).

In ogenschijnlijke tegenspraak met het bovenstaande is het toch zo dat in de winter een grotere kans op virusinfectie bestaat dan in de zomerperiode (in de winter een lage RV, waardoor de virussen een niet zo'n grote overlevingskans hebben). De reden hiervan is dat er in de zomerperiode aanzienlijk meer geventileerd wordt (Kurvers en van der Meer, 1986).

Niet alleen de luchtvochtigheid bepaalt of micro-organismen zich kunnen vermeerderen in een gebouw. Plaatsen in een gebouw die vochtig zijn kunnen plekken zijn waar de huisstofmijt ondanks een lage luchtvochtigheid kan overleven. Ook is op vochtige plekken schimmelgroei mogelijk. Zelfs tapijten kunnen hierdoor een bron van schimmels zijn. Morey e.a. (1986) en Wallingford & Carpenter (1986) beschreven in hun onderzoek o.a. tapijten (met waterschade) begroeid met schimmels. Ook werden in deze onderzoeken meubels, stilstaand water in ventilatiesystemen, luchtfilters (die vochtig geworden waren, of te weinig vervangen werden) en een vochtige boekenkast als bron van schimmels aangetoond.



Figuur 7.2 Overlevingskans van micro-organismen in relatie tot de relatieve luchtvochtigheid (RV).

### 7.5. Zachte of harde vloerbedekking

Vloerbedekking kan indien zij onvoldoende schoongemaakt wordt een negatieve invloed op mensen hebben (in ieder geval op mensen met allergische aandoeningen (CARA-patiënten)). Dit is het standpunt van het Nederlandse Astma Fonds (Astmafonds, 1989). Dat (stof in) zachte vloerbedekking de grootste boosdoener is wordt geconcludeerd uit ontelbare voorbeelden van mensen met CARA-klachten wier klachten verminderen of verdwijnen als de zachte vloerbedekking vervangen wordt door harde vloerbedekking. De tapijtindustrie heeft uiteraard een iets andere mening en haalt een epidemiologische Zweedse (pilot)studie (Bäckman & Tertologen, 1979) erbij om te bewijzen dat er meer allergieën voorkomen bij kinderen die op scholen met harde vloerbedekking zitten, dan bij kinderen van scholen met zachte vloerbedekking. Deze conclusie is echter niet gerechtvaardigd. Als de allergieën gesplitst worden in hooikoorts, astma en eczeem, blijkt dat er in dit onderzoek geen verschillen in het voorkomen van astma aangetoond is bij scholen met harde en met zachte vloerbedekking. Deze Zweedse studie heeft hiernaast een aantal andere tekortkomingen, waarvan de basis al in de proefopzet gelegen is. Hansen e.a. (1987) deden onderzoek bij kinderen met astma die op scholen met zachte vloerbedekking en met harde vloerbedekking zaten. De factoren die onderzocht werden waren: de hoeveelheid medicijnen die de kinderen innamen (om astma-aanvallen tegen te gaan), de astmasymptomen en het schoolverzuim.

In het onderzoek werd rekening gehouden met versturende variabelen als leeftijd, geslacht, al of niet wonend in een allergeen gesaneerd woonhuis (d.w.z. zachte vloerbedekking en alle andere mogelijke allergeenbronnen verwijderd, grondig schoongemaakt woonhuis), leeftijd van de school, linnen aan de muren van de school, isolatiemateriaal en geluidabsorptiemateriaal.

Gevonden werd:

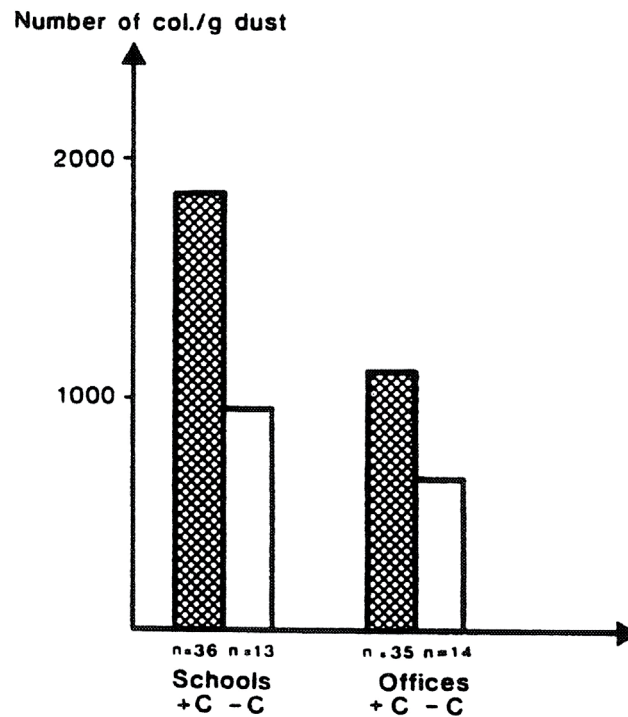
- Astma patiënten verzuimden evenveel schooldagen als niet-astma patiënten.
- Kinderen woonachtig in allergeen gesaneerde huizen namen in het weekend minder medicijnen in dan doordeweeks.
- De hoeveelheid gebruikte medicijnen was 25 % hoger in de groep met zachte vloerbedekking in de klas vergeleken met de groep met harde vloerbedekking.
- Kinderen uit niet-gesaneerde huizen nemen minder medicijnen in dan kinderen uit gesaneerde huizen.
- De berekende ernst van de astma(aanvallen) komt overeen met het medicijngebruik. Deze was groter dan 2 voor de kinderen van scholen met zachte vloerbedekking en varieerde tussen 1,5 en 1,9 voor kinderen van scholen met harde vloerbedekking.
- Kinderen woonachtig in huizen die niet gesaneerd zijn, hebben een gemiddelde ernst van astma van 1,5. Dit is onafhankelijk van het feit of hun school harde danwel zachte vloerbedekking heeft.
- Kinderen met astma uit gesaneerde huizen hebben een significante vermeerdering van astma wanneer zij naar scholen gaan met zachte vloerbedekking ( $p=0,02$ ), vergeleken met kinderen die naar scholen met harde vloerbedekking gaan.

De auteurs concluderen dat de resultaten van één epidemiologische studie niet kunnen bepalen of de ernst van astma toeneemt als gevolg van zachte vloerbedekking, maar er zijn sterke aanwijzingen dat vloerbedekking een niet te onderschatten factor in het binnenklimaat is.

Een aantal onderzoekers vond het opvallend dat mensen 'sick building syndrome-achtige' klachten hadden in ruimtes met zachte vloerbedekking en niet bij harde vloerbedekking (Gravesen e.a., 1986). Het idee werd uitgesproken dat er een relatie is tussen het ontstaan van klachten in gebouwen die door veel mensen gebruikt worden, een vermindering van het schoonmaakonderhoud (minder geld), het gebruik van (naaldvilt) tapijt en verminderd onderhoud aan luchtbehandelingapparatuur. De onderzoekers vonden significant hogere concentraties micro-organismen in het (vloer)stof van ruimten met zachte vloerbedekking vergeleken met het stof van ruimten met harde vloerbedekking ( $p=0,002$  (scholen),  $p=0,004$  (kantoren)).

In figuur 7.3. worden de gevonden meetresultaten grafisch weergegeven.

### Dustbound molds from carpets and bare floors ( mean values )



Figuur 7.3. Gemiddelde aantal schimmels in vloerstof van 98 kamers in scholen en kantoorgebouwen. Vergelijking tussen kamers met zachte (+ C) en harde vloerbedekking (- C)  $P=0,002$  (scholen)  $P=0,020$  (kantoren).

In het onderzoek werd gevonden dat de concentraties (vloer)stof significant hoger zijn bij zachte vloerbedekking dan bij harde vloerbedekking ( $p= 0,001$  (scholen),  $p= 0,004$  (kantoren)). De organische componenten in het (vloer)stof zijn hoger in stof uit zachte vloerbedekking dan in stof van harde vloerbedekking ( $p=0,054$  (scholen),  $p=0,063$  (kantoren)).

Deze gegevens komen overeen met Colldahl (1974) en vorig onderzoek van Gravesen e.a. (1983). In dit onderzoek uit 1983 zijn (lucht)metingen verricht in scholen en kantoren met harde en met zachte vloerbedekking. De resultaten van dit onderzoek zijn:

- de concentraties microorganismen zijn in schoolgebouwen hoger dan in kantoorgebouwen;
- in ruimtes met zachte vloerbedekking worden hogere concentraties microorganismen gevonden dan in ruimtes met harde vloerbedekking. (Deze verschillen zijn niet significant, maar ze geven wel een trend aan, doordat in alle gevallen de aantallen microorganismen hoger zijn in ruimtes met zachte vloerbedekking dan in ruimtes met harde vloerbedekking.)

De gevonden concentraties en hun range staan vermeld in tabel 7.2. (gemeten met een BIAP-slit-sampler).

Tabel 7.2. Aantal micro-organismen per kubieke meter lucht in scholen en kantoorgebouwen

	schimmels			bacteriën		
	n	gem	range	gem	range	
<b>scholen</b>						
zachte vloerb.	25	291	12-2000	1538	15-6000	
harde vloerb.	7	155	36- 309	840	105-3000	
<b>kantoren</b>						
zachte vloerb.	61	73	3- 904	544	3-6000	
harde vloerb.	12	42	6- 111	253	3-798	

Een in dit verband ook nog interessant onderzoek is een onderzoek van Irie e.a. (1987), zij vonden in hun onderzoek naar astma en omgevingsfactoren een significant verschil ( $p < 0,05$ ) in het voorkomen van huismijt in de slaapkamer; op zachte vloerbedekking kwamen veel meer huismijten voor (gemiddeld 661) dan op harde vloerbedekking (gemiddeld 108).

De hogere niveaus van stof en micro-organismen in zachte vloerbedekking worden verklaard door aan te nemen dat tapijten als een soort reservoir voor stof en vuil fungeren. Het stof en vuil wordt door menselijke activiteit een gebouw binnengelopen en komt zo op en in het tapijt. Micro-organismen kunnen in tapijten beter overleven c.q. vermeerderen, doordat met de inloop van vuil en stof ook vocht binnengelopen wordt en zachte vloerbedekking langer vocht kan vasthouden (blijft veel langer vochtig) dan harde vloerbedekking. Een andere en niet te onderschatten reden is dat zachte vloerbedekking minder makkelijk gereinigd kan worden dan harde vloerbedekking. (Harde vloerbedekking kan stofvrij gemaakt worden, terwijl in zachte vloerbedekking altijd stof achterblijft, zie hoofdstuk 9). Bovendien kan licht, het grootste natuurlijke desinfectans niet in een tapijt doordringen om zijn werking te doen.





# 8. VERONTREINIGENDE STOFFEN

## 8.1. Stof

Budiansky (1980), Leaderer e.a. (1984), Penkala en De Oliveira (1975) vonden in kantoorgebouwen concentraties stof die de jaargemiddelde standaard voor de omringde lucht van  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te boven gingen. In deze onderzoeken werd echter geen informatie gegeven over het soort ventilatiesysteem en andere belangrijke zaken die het stofgehalte in gebouwen kunnen bepalen. (Owen e.a., 1986). De mogelijke bronnen van deeltjes in de binnenlucht verschillen van gebouw tot gebouw. Dat er vele verschillende bronnen zijn heeft tot gevolg dat de concentraties en de samenstelling van het stof per gebouw verschilt. Hierdoor is het onmogelijk om de concentratie stof en de verschillende groottefracties in een gebouw te voorspellen. Er zijn verschillende bronnen van deeltjes in een gebouw: deeltjes afkomstig van/uit kantooruitrusting, deeltjes afkomstig van mensen (uit de luchtwegen, huidschilfers) en biologische deeltjes. De belangrijkste bijdrage van deeltjes in de lucht wordt echter veroorzaakt door het roken van sigaretten (Spengler e.a., 1981). De hoofdstroom van sigarettenrook bestaat uit een bimodulaire verdeling van deeltjes met modes van  $0,25$  en  $5 \mu\text{m}$  (Chang e.a., 1985). (voor verklaring modes zie figuur 2.3.). De "sidestream" rook heeft een lognormale verdeling met een mediane diameter van  $0,225 \mu\text{m}$  (Leaderer e.a., 1984). Hieruit blijkt dat de meeste sigarettenrook in het submicron gedeelte van het stof gevonden wordt. Als sigarettenrook met een deeltjesgrootte van  $0,2-0,5 \mu\text{m}$  wordt geïnhaleerd en daardoor in een omgeving met hoge luchtvochtigheid komt, zwellen de deeltjes op en neemt het volume toe tot een diameter van  $2-3 \mu\text{m}$ . Door dit effect wordt de depositie van de deeltjes beïnvloed (WHO, 1984). (Hierdoor is er ook een visueel verschil te zien tussen geïnhaleerde en geëxhaleerde sigarettenrook.)

Deeltjes zakken uiteindelijk uit, waarbij de snelheid waarmee ze uitzakken afhankelijk is van de grootte, hierdoor komen grote en ook kleine deeltjes op oppervlakken, zoals de grond terecht. Kleine deeltjes kunnen ook door diffusie op oppervlakken terecht komen. Het is ook mogelijk dat verschillende stoffen samenklonteren, bijvoorbeeld sigarettenrook dat zich vast kan hechten aan vezels, waardoor deeltjes met andere eigenschappen ontstaan.

Door verversen van de lucht, of althans mengen van binnenlucht met buitenlucht neemt, in het algemeen, ook de concentratie stof in de lucht af (de concentratie stof in de buitenlucht is, uitzonderingen daargelaten, lager dan in de binnenlucht).

Aangezien luchtverversing, zeker als de buitentemperatuur erg laag is, veel energie kost (om de lucht te verwarmen, te ont-/bevochtigen) wordt hier uit het oogpunt van energiebesparing vaak op bezuinigd. Dit bezuinigen gebeurt dan door veel lucht te recirculeren en niet te verversen. Het resultaat hiervan is dat de concentratie stof in het gebouw toeneemt. Dit kan gezondheidsklachten/ gezondheidsrisico's veroorzaken (Cain & Leaderer, 1982; Budiansky, 1980).

Owen e.a. (1986) onderzochten de relatie tussen ventilatie en de concentratie respirabele deeltjes en de grootteverdeling in een kantoorgebouw. Gemeten werd de concentratie stof, in de buitenlucht (vlakbij de luchtinlaat van de airconditioning), in de binnenlucht vlak na het filter (toevoerlucht naar de kantoren) en in de lucht die van de kantoren terugkwam (ver van het filter). Ze vonden dat:

- De concentratie RSP in de retourlucht (van het luchtbehandelings-systeem) hoger was dan de buitenluchtconcentratie.
- De luchtverversing met buitenlucht beïnvloedde de concentratie RSP in het gebouw. Een vermindering van inname van buitenlucht veroorzaakte hogere concentraties.
- De concentratie van deeltjes neemt toe door een hogere bezettingsgraad.
- De concentratie RSP was in deze studie in de range van 20 tot 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (zoals verwacht uit de literatuur).
- De filters die gebruikt werden in de airconditioning hadden lage efficiëntie (15 tot 20%) voor de deeltjes die getest zijn (0,6, 0,9 en 2,0  $\mu\text{m}$ ). Dit kon verwacht worden door het feit dat de toevoerlucht van de airconditioning iets minder deeltjes bevatte dan de retourlucht.
- De modi voor de volume distributie en de modi van de aantallen deeltjes veranderden niet door verschillen zoals aantallen mensen in het gebouw, verschillende verversingsgraad van de lucht.
- De modi van de aantallen deeltjes trad op bij ongeveer 0,13  $\mu\text{m}$ . De modi voor de volume distributie trad op bij 0,3  $\mu\text{m}$ . Beide waarden zitten in het respirabel stof gebied.
- De grootste hoeveelheden deeltjes in de binnenlucht zaten bij dezelfde deeltjesgroottes als de deeltjes in de buitenlucht en tabaksrook.

Quant e.a. (1981) vonden in drie kantoren gemiddelde concentraties stof tussen 80 en 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als roken was toegestaan en concentratie van 50 tot 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als er niet gerookt werd.

Repace en Lowrey (1980) vonden variaties in RSP van 29-57  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in niet-rook gedeeltes en concentraties RSP van 30 tot 697  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor rook gedeeltes in gebouwen. Deze studies gaven helaas geen details over wat voor soort ventilatiesystemen, ventilatievouden en dergelijke toegepast zijn in de verschillende gebouwen.

Boley e.a. (1985) deden onderzoek naar luchtverontreinigingen in Nederlandse woningen. Een onderdeel van dit onderzoek waren metingen van de concentraties respirabel stof (RSP) in woningen in Ede en in Rotterdam. De concentratie respirabel stof bedroeg in Ede, in de winter 61  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (geometrisch gemiddelde) met een maximum van 560  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; in Rotterdam bedroeg dit 56, respectievelijk 362  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . In de gevonden concentraties respirabel stof bleken geen seizoensvariaties te ontdekken.

Er bleken duidelijke verschillen te zijn tussen huizen waar systematisch gerookt werd en huizen waarin slechts incidenteel gerookt werd.

Een regressiemodel werd opgesteld om de bijdrage van de bron (sigaretten en sigaren) vast te stellen. De regressievergelijking die gevonden werd, met een verklarende variantie van 50%, was:  $\log RSP = 1,5 + 0,38 \log(\text{aantal sigaretten}) + 0,53 \log(\text{aantal sigaren}) + 0,028 \text{ gezinsgrootte} - 0,068 \text{ plaats}$ . (voor de variantie plaats geldt Ede = 1 en Rotterdam = 2. De bijdrage die één sigaret leverde was 3-4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; één sigaar droeg 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bij aan de respirabel stofconcentratie. Zonder roken werd een basisniveau respirabel stof in de woningen gevonden van 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Uit dit onderzoek werd de conclusie getrokken dat de concentraties respirabel stof in de lucht in woningen voor een groot deel bepaald wordt door roken. De norm van de EPA (1984) van 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als 24-uurs grenswaarde van stof kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  werd in 15% van de huizen in Ede en in 9% van de huizen in Rotterdam overschreden (Lebret, 1987).

De concentratie deeltjes in woonhuizen lag in een Fins onderzoek (Reponen e.a., 1987) tussen de 15 en 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , waarbij 70% van de metingen onder de 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lag. In dit onderzoek werd geen relatie gevonden tussen de deeltjesconcentratie binnenshuis en buitenshuis. In huizen met mechanische ventilatie was de binnenluchtconcentratie van stofdeeltjes het laagst. Hieruit werd de conclusie getrokken dat deeltjesbronnen binnenshuis belangrijker zijn dan deeltjesbronnen buitenshuis.

## 8.2. Micro-organismen

Micro-organismen en in het bijzonder schimmelsporen zijn bijna altijd aanwezig in de lucht; alleen de aantallen en soorten die voorkomen, variëren met de tijd, de dag, het weer, het seizoen, de geografische ligging en de aanwezigheid van lokale (schimmel)bronnen. Overdag met droog weer, in de zomer overheersen de schimmels *Cladosporium* en *Alternaria*. 's Nachts na regenval komen veel sporen vrij van *Ascomyceten* en *Basidiomyceten*. De hoeveelheid sporen in de lucht kan meer dan  $10^6/\text{m}^3$  zijn wanneer de omstandigheden voor sporulatie gunstig zijn. Normaal is de concentratie schimmelsporen zo'n  $10^3 - 10^4 /\text{m}^3$  lucht (Lacey, 1981).

Schimmels (en bacteriën) zijn vooral tijdens het groeiseizoen aanwezig in de lucht (Solomon & Burge, 1983) en kunnen vooral tijdens de oogsttijd in immense concentraties vrij komen (Darke e.a., 1976). Dezelfde soorten schimmels die in de buitenlucht gevonden worden, worden in de binnenlucht gevonden als de temperatuur het toelaat dat de ramen geopend worden (Tobin e.a., 1987). Reponen e.a. (1987) vonden dat de concentratie schimmels binnenshuis (lager dan 1300 CFU/ $\text{m}^3$ ) afhankelijk was van de concentratie buitenshuis. De concentraties waren het laagst gedurende de winter. De bacterieconcentraties binnenshuis (tussen 30-2500 CFU/ $\text{m}^3$ ) waren niet afhankelijk van de buitenluchtconcentraties.

Binnenshuis zijn volgens Lacey en Crook (1988) de concentraties schimmels lager dan buitenshuis. Als er schimmelbronnen in het gebouw aanwezig zijn gaat dit echter niet meer op. Schimmelbronnen in een gebouw kunnen zijn: voedsel, vochtige muren, behang, hout, rottend materiaal, (grond van) kamerplanten, droogbloemen, airconditioning, etc. In sommige gevallen kunnen de concentraties microorganismen wel meer dan  $10^{10}/\text{m}^3$  lucht bedragen. De grootte van de microorganismen (sporen en schimmeldeeltjes) ligt zo tussen de 1 en  $5\ \mu\text{m}$ , zodat ze diep in de longen terecht kunnen komen.

Een aantal schimmels kunnen, sommige alleen in hoge concentraties, verschillende stoffen uitscheiden: alcoholen, esters aldehyden, koolwaterstoffen en aromaten. Andere soorten produceren mycotoxines, dit zijn organische chemicaliën met een molecuulgewicht groter dan 200 M. De concentraties mycotoxinen in sporen en schimmeldeeltjes kunnen erg hoog zijn.

Onder normale omstandigheden bij de meeste mensen heeft de inademing van schimmels geen negatieve gezondheidseffecten. Voor sommige mensen echter kan ze de oorzaak zijn van luchtwegziektes. Afhankelijk van de gevoeligheid van de betrokken personen kan blootstelling (inademing van schimmels of hun uitscheidingsproducten) tot allergische reacties leiden. De symptomen kunnen variëren van dermatitis tot astma en extrinsieke allergische alveolitis (EAA). De gevolgen hiervan kunnen zowel zonder symptomen of meetbare effecten tot ernstige koortsachtige verschijnselen leiden. Na chronische blootstelling kunnen irreversibele longfunctie-veranderingen optreden, met uiteindelijk de dood tot gevolg.

Door inademing van mycotoxinen in sporen en schimmeldeeltjes kunnen pulmonaire mycotoxicose optreden (Dit is een groep ziekten veroorzaakt door mycotoxinen, endotoxinen en andere stoffen.) Pulmonaire mycotoxicose lijkt qua ziekteverschijnselen veel op EAA (Extrinsieke Allergische Alveolitis). Door hun relatief lage molecuulgewicht en goede oplosbaarheid kunnen mycotoxinen gemakkelijk geabsorbeerd worden in de longen. De effecten van op deze manier in het lichaam gekomen mycotoxinen zijn waarschijnlijk dezelfde als de via het voedsel binnengekomen mycotoxinen. Het is ook mogelijk (Northup & Kilburn, 1978) dat mycotoxinen die geïnhaleerd zijn invloed hebben op het afweersysteem en hierdoor bijdragen tot alveolitis. Mycotoxinen die op het immuunsysteem ingrijpen zijn trichothecenen, gliotoxinen en aflatoxinen. Vooral als een immuunsysteem ernstig verzwakt is, kan infectie met schimmels ernstige gevolgen hebben. Staib e.a. (1987) vonden dat verschillende schimmels van het geslacht *Aspergillus* en *Mucoraceae* en de soort *Cryptococcus neoformans* de oorzaak waren van het overlijden van enkele patiënten. Deze patiënten waren allen immunodeficiënt en bleken blootgesteld te zijn geweest aan de genoemde schimmels. De bron van de schimmels was de grond van kamerplanten, uitwerpselen van kooivogels en duiven. (de concentraties in de lucht zijn niet gemeten.)

Gravesen e.a. (1986) bepaalden schimmels, zowel uit lucht- als uit stofmonsters in kantoorgebouwen en scholen. De schimmels werden gedetermineerd tot en met hun geslachtsnaam. De gevonden schimmels staan vermeld in tabel 8.1. (gemeten met een BIAP-slit-sampler, de percentages geven aan in welk percentage van de monsters de schimmels gevonden zijn.)

Tabel 8.1. Voorkomen van schimmels in de lucht en in vloerstof van scholen en kantoorgebouwen (lucht: n=143; stof: n=98)

Voorkomen van schimmels			
lucht		vloerstof	
<b>scholen</b>			
Penicillium	81%	Penicillium	81%
Cladosporium	64%	Fusarium	74%
Aspergillus	52%	Alternaria	56%
Alternaria	29%	Cladosporium	52%
Rhodotorula	24%	Mucor	40%
Trichosporon	24%	Trichosporon	30%
Arthrimum	19%	Aspergillus	25%
Mucor	17%	Rhodotorula	25%
<b>kantoorgebouwen</b>			
Penicillium	66%	Penicillium	78%
Cladosporium	57%	Alternaria	76%
Aspergillus	52%	Aspergillus	55%
Yeasts (gisten)	24%	Cladosporium	45%
Trichosporon	15%	Fusarium	45%
Alternaria	13%	Trichosporon	45%
Rhodotorula	13%	Yeasts (gisten)	33%
Paecilomyces	9%	Mucor	29%
Mucor	8%		

De gevonden micro-organismen in de lucht- en in de vloerstof monsters kwamen goed met elkaar overeen, zoals uit de tabel blijkt. In woonhuizen kunnen ook hoge concentraties micro-organismen gevonden worden, al of niet samen met klachten van bewoners.

Van Wageningen e.a. (1987) vonden dat kinderen in vochtige huizen meer CARA-klachten hadden dan kinderen in droge huizen. Zij vonden concentraties schimmels in woonhuizen van 34 tot 2000 CFU/m<sup>3</sup>. (De variatie bij dit soort bepalingen kan erg groot zijn; de variatiecoëfficiënt gebaseerd op duplometingen is hier 22,4%.)

De CARA-klachten kunnen echter niet alleen toegeschreven worden aan de concentratie schimmels. Er zijn in deze woningen bijvoorbeeld geen huisstofmijtmetingen verricht. Wel is aangetoond, onder andere in dit onderzoek, dat er een relatie bestaat tussen de vochtigheid van woningen en het voorkomen van CARA

In woonhuizen worden wel vaker hoge concentraties micro-organismen gevonden: Solomon (1975) vond concentraties van 20 tot 14000 CFU/m<sup>3</sup>. Kozak e.a. (1979) vond 36 tot 6000 CFU/m<sup>3</sup> (gemiddelde 480 CFU/m<sup>3</sup>). In woonhuizen (V.S., oost- Tennessee) hebben Tyndall e.a. (1987) micro-organismen gemeten. De metingen werden verricht in woonhuizen op die plekken waar de meeste activiteiten plaatsvonden. Hiernaast werden ook buitenluchtmetingen verricht. Er werden relatief hoge concentraties gemeten (zie tabel 8.2.).

In de zomer waren de concentraties schimmels zowel buiten als binnen hoger dan in de winter. Bij de bacteriën (Bacillus, Micrococcus, Staphylococcus) waren er geen verschillen tussen zomer en winter.

Tabel 8.2. Concentraties van verschillende micro-organismen, in de zomer en de winter in binnen- en buitenlucht

	zomer (CFU/m <sup>3</sup> )		winter (CFU/m <sup>3</sup> )	
	binnen	buiten	binnen	buiten
Bacillus				
gem	1273	603	818	260
range	0-6000	0-6200	33-3300	1760
Micrococcus				
gem	71	16	68	26
range	0-633	0-333	0-383	0-583
Staphylococcus				
gem	143	28	250	18
range	0-5466	0-466	0-1450	0-283
Penicillium				
gem	870	1166	80	26
range	0-6200	0-8066	0-3033	0-350
Aspergillus				
gem	482	342	45	17
range	0-3000	0-5400	0-450	0-267
andere schimmels en gisten (Mucor, Fusarium, Candida)				
gem	135	101	90	23
range	0-1350	0-733	0-1266	0-216

gem = gemiddelde

Meer dan 49% van de schimmelmetingen en 57% van de bacteriemetingen waren, binnenshuis, hoger dan 1000 CFU/m<sup>3</sup> (de norm die in dit onderzoek aangehouden werd). De concentraties microorganismen varieerden zeer sterk in de verschillende huizen. De onderzoekers hebben ook getest op de aanwezigheid van de Legionella-bacterie in warm tapwater. In 22% van de onderzochte huizen werden Legionella's aangetoond. De concentraties die gevonden werden, varieerden tussen de  $1,3 \times 10^4$  tot  $1,7 \times 10^5$  per liter water. In een aantal huizen werden luchtmonsters genomen terwijl de douche aanstond. Hier werden concentraties Legionella gemeten van 90 tot 370 per kubieke meter lucht. De onderzoekers vonden een relatie tussen huizen die bronwater gebruikten en de aanwezigheid van Legionella in het water. Dit is niet zo vreemd aangezien in de natuur Legionella overal gevonden wordt (Fliermans e.a., 1981).

Nevalainen en Jantunen (1987) vonden in crèches hogere concentraties bacteriën dan in woonhuizen en kantoren. Uit tabel 8.3. wordt echter ook duidelijk dat er geen echt aantoonbare verschillen waren tussen de aantallen schimmels in crèches en huizen of kantoren (niet significant).

Tabel 8.3. Het logaritmisch gemiddelde en de range van bacteriën en schimmels in crèches, huizen en kantoren

	bacteriën			schimmels	
	n	log gem.	range	log gem.	range
crèches	11	1690	180-8500	70	10-340
huizen	59	730	10-2000	150	10-9400
kantoren	31	60	10-340	40	10-4700

n = aantal

log gem. = logaritmisch gemiddelde

range = gebied waartussen de gevonden concentraties liggen

De auteurs concluderen dat de gevonden concentraties geen gezondheidsbedreigende situatie weerspiegelen, maar dat er wel meer aandacht voor hygiëne moet zijn in crèches (waar veel kinderen een groot deel van de dag doorbrengen). Actief spelende kinderen produceren veel bacteriën en de luchtverversing in crèches zou ten minste evenveel moeten bedragen als de ventilatie in kantoorgebouwen.

### 8.3. Huisstofmijt en allergenen

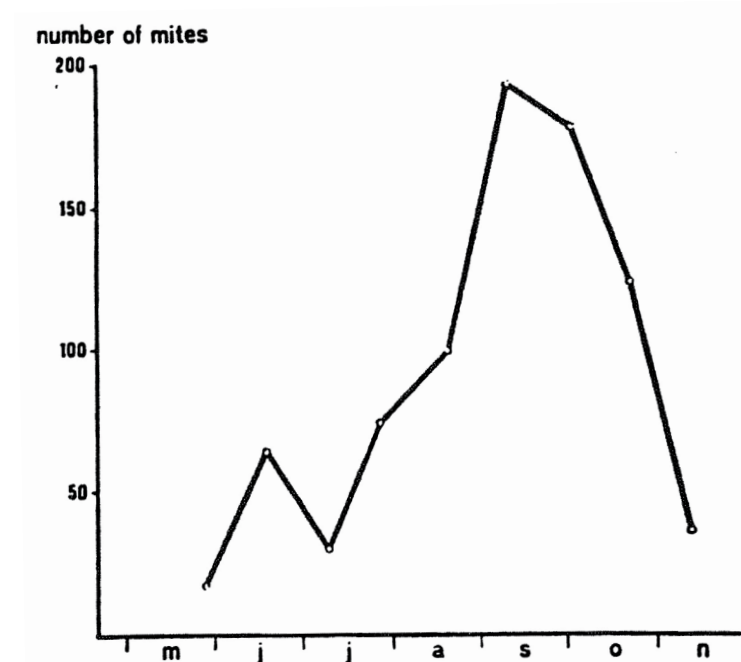
De huisstofmijt is een diertje dat ongeveer 0,3 mm groot is. Er bestaan verschillende soorten huisstofmijten, de soort die in Nederland in de grootste hoeveelheden voorkomt is *Dermatophagoides pteronyssinus*. Dit diertje voedt zich voornamelijk met eiwitrijke huidschilfers van mens en dier. De optimale temperatuur/ luchtvochtigheid waarbij de huisstofmijt zich het beste vermeerdert is 25°C/ 75-80% RV. Nog belangrijker dan de RV in de lucht is de vochtigheid in het gebied waar de huisstofmijt leeft, namelijk in tapijt, matrassen, pluizig speelgoed, stoffen stoelbedekkingen, wollen overkleden, alle vezelige materialen. Hierdoor worden de grootste hoeveelheden huisstofmijten aangetroffen in huizen met vochtproblemen. Vochtproblemen kunnen optreden door:

- doorslaan van regenwater door de muren;
- optrekken van vocht uit de bodem;
- lekkages van goten, dak of leidingen;
- bouwvocht (bij nieuwbouw);
- slechte ventilatie in combinatie met slechte verwarming en hoge vochtproductie (M.J. Leupen in: ter Kuile & Kraaiveld, 1987).

De aantallen huisstofmijten zijn in de loop van het jaar aan fluctuaties onderhevig, zie figuur 8.1. In figuur 8.2 wordt duidelijk dat er ondanks de seizoensinvloeden grote verschillen zijn in aantallen huisstofmijten in verschillende huizen. Dat de huisstofmijt het beste gedijt in een vochtige omgeving blijkt uit het voorkomen van de aantallen mijten in naar verschillende vochtigheid ingedeelde huizen (figuur 8.3) (alle drie figuren uit: Voorhorst e.a., 1969).

De huisstofmijt produceert/ bevat twee allergenen. De mijt bevat het allergeen DpX; als de mijt dood gegaan is kan dit allergeen vrijkomen. De uitwerpselen van de mijt, dit zijn bolvormige deeltjes met een grootte van 20 µm, bevatten het allergeen P1.

Doordat mijtekeutels relatief groot zijn, is de kans dat ze door opwervelingen ingeademd worden klein. Toch zou een deel in de longen terecht kunnen komen.



Figuur 8.1. Totaal aantal mijten verzameld in een huis in Leiden gedurende de periode mei tot november 1962

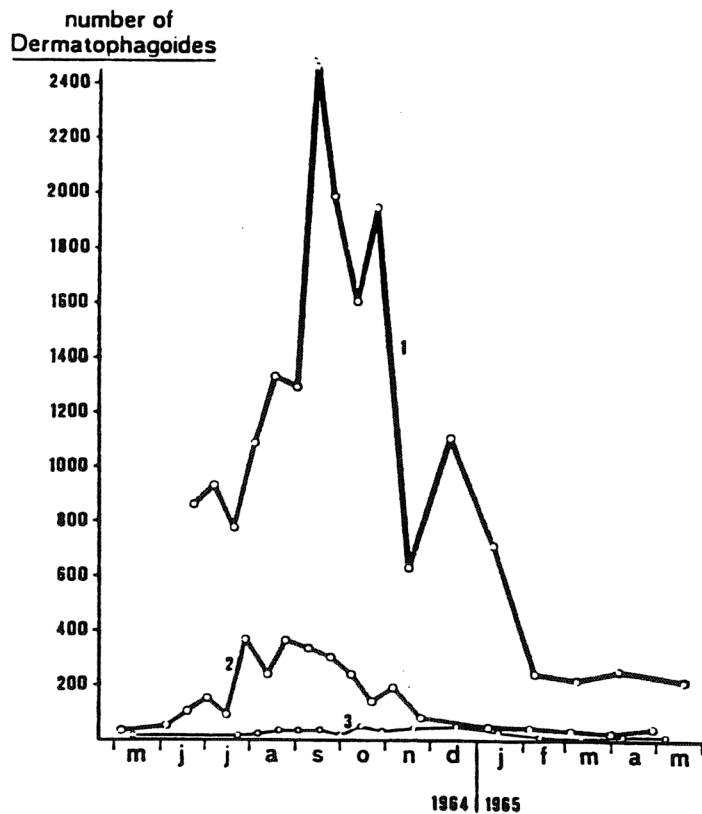
Een meer plausibele verklaring is dat mijtekeutels in de loop der tijd uit elkaar vallen. Een andere mogelijkheid is dat het allergeen uit de "grote" mijtekeutels naar dichtbijgelegen stofdeeltjes elueert. Ter Kuile en Kraaveld (1987) hebben onderzoek gedaan naar (de hoeveelheid) allergenen in huisstof, zowel zwevend als vloerstof. Vloerstof is stof afkomstig van vloeren, meubels e.d., wat in dit geval verzameld werd met behulp van een stofzuiger. In dit onderzoek werden in drie woningen de mijteallergenen Dpx en P1 en het kattenallergeen Cat1 in verschillende deeltjesgroottes stof bepaald.

De vragen aan het begin van het onderzoek waren:

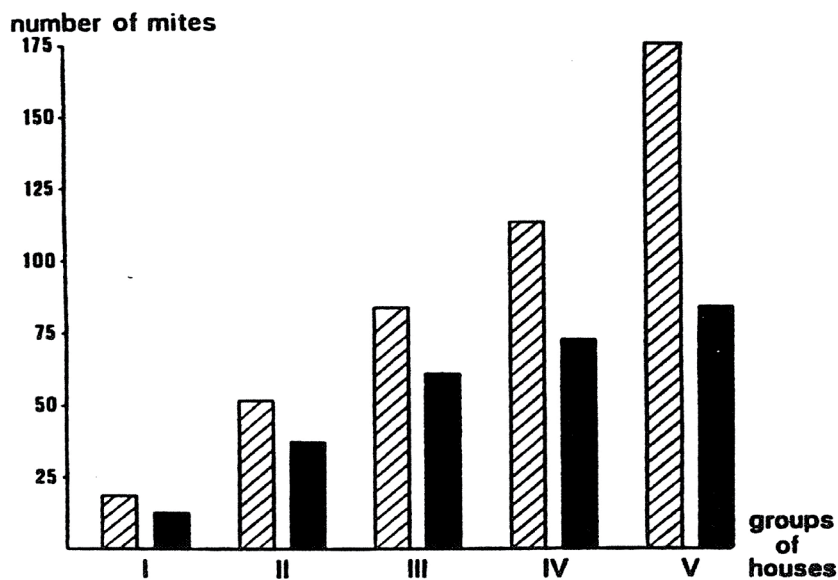
- Is het allergeen in het huisstof aan een bepaalde deeltjesgrootte gebonden?
- Is de verdeling van het allergeen in vloerstof in overeenstemming met het allergeen in het luchtstof?
- Is het mogelijk om door middel van microscopisch onderzoek zichtbaar te maken aan welke deeltjes het allergeen gebonden is?

Als het allergeen van een fractie beschouwd wordt als percentage van de totale hoeveelheid allergeen, bepaald uit vloerstof < 125  $\mu$ m, dan leveren deze drie woningen het beeld op voor de verdeling van het allergeen over de deeltjesgrootte, zoals in tabel 8.4 staat.





Figuur 8.2. Aantallen mijten van de soort *Dermatophagoides* in vloei stof verzameld in deze huizen in Leiden gedurende de periode mei 1964 tot mei 1965



Figuur 8.3. Gemiddeld aantal *D. pteronyssinus* (dikke kolommen), en alle mijten (incl. *D. pter.*) (gestreepte kolommen), in 5 grams stofmonsters van 30 huizen met verschillende vochtigheidsgraad I erg droog; II droog; III beetje vochtig; IV vochtig; V erg vochtig.

Tabel 8.4. De verdeling van de hoeveelheid allergeen per deeltjesgrootte van vloerstof < 125 µm.

deeltjesgrootte	deeltjesmassa	percentage
fractie (d a)	percentage	allergeen
<10 µm	8-15%	1-10%
10-15 µm	14-21%	11-20%
15-21 µm	21-23%	27-38%
>21 µm	41-57%	42-60%

De conclusies van dit onderzoek waren:

- de allergeendichtheid (allergeen per mg stof) is voor elke allergeensoort in alle drie de woningen:
  - het grootst in de fractie 15-21 µm, met uitzondering van Cat1 in woning 3
  - het kleinst in de fractie "< 10 µm", met uitzondering van DpX in woning 3.
- Voor vrijwel alle vergelijkbare metingen is de allergeendichtheid (per mg stof) in het zwevende stof veel kleiner dan in vloerstof. In de verschillende woningen kon geen goede samenhang gevonden worden tussen vloerstof en zwevend stof. (In woning 1 was een redelijke overeenstemming tussen de massa vezels/ massa < 10 µm, in woning 2 waren veel meer vezels aanwezig in de lucht dan in het vloerstof, over woning 3 kan geen uitspraak worden gedaan.)
- Het is niet waarschijnlijk dat de 'fijne stof' fractie van isometrische deeltjes (<10 µm) een belangrijke rol speelt bij de transmissie van allergeen van een vloer naar ademhoogte, omdat het effect van de langere verblijftijd in de lucht waarschijnlijk niet opweegt tegen de veel lagere allergeendichtheid en het grotere depositiegebied in het ademhalingssysteem. Een eventuele bijdrage van fijn stof zou nog kunnen worden gevormd door brokstukken en mijtekeutels.
- Ongeveer 90 % van het allergeen in de fractie van het vloerstof kleiner dan 125 µm bevindt zich op stofdeeltjes groter dan 10 µm.
- De vezelfractie met d a < 10 µm van het huisstof heeft een veel grotere allergeendichtheid dan de isometrische fractie < 10 µm.
- De dichtheid van mijte- en kattenallergeen is uniform verdeeld over aërodynamisch gescheiden vloerstoffracties groter dan 10 µm. In de fractie kleiner dan 10 µm is de allergeendichtheid minder dan de helft van de dichtheid in de fracties groter dan 10 µm.
- Voor de monsterneming van vloerstof dat gemakkelijk opgewerveld kan worden, wordt een apparaat voorgesteld waarmee de opwerveling door het lopen van mensen wordt nagebootst en het opgewervelde stof via een fractionerend stofmonsterapparaat in deeltjesgrootteklassen wordt gescheiden.
- Met behulp van agargeldiffusietechniek zijn afzonderlijke deeltjes met kattenallergeen microscopisch waargenomen.

# 9. (VLOER)STOF EN SCHOONMAAK

## 9.1. Bepalen van hoeveelheid vloerstof

Om de hoeveelheid vloerstof te bepalen worden verschillende methodes gebruikt.

### Stofzuigermethode

De meest gebruikte methode die voor gladde en harde oppervlakten gebruikt kan worden is het opzuigen van stof met behulp van een stofzuiger, op een gestandaardiseerde manier. Hierbij wordt het stof wat opgezogen wordt op een filter opgevangen. De hoeveelheid opgezogen stof en zijn samenstelling kan hiermee bepaald worden. Nadelen zijn dat nooit alle stof uit een tapijt opgezogen kan worden, zodat een deel van het stof niet opgezogen wordt (de hoeveelheid die achterblijft is onbekend en misschien heeft dit stof een andere samenstelling dan het wel opgezogen stof).

### Stansmethode

Hierbij worden stukjes tapijt met behulp van een zogenaamde holpijp uit het tapijt verwijderd. De complete hoeveelheid stof in het tapijt en de samenstelling kan hiermee bepaald worden. Het tapijt wordt hierna met andere (nieuwe) stukjes tapijt weer hersteld. Het nadeel van deze methode is hierdoor duidelijk geworden, om de concentratie stof in het tapijt te bepalen wordt het tapijt beschadigd.

### Plakkende filters

Schneider e.a. (1987) ontwikkelden een objectieve methode om de efficiency van schoonmaakmethoden op niet-textiele oppervlakten te meten; dit gebeurde met plakkende filters (soort plakplastic). Deze filters worden, nadat het beschermfolie gedeeltelijk afgerold is, op een oppervlak waarvan de vervuiling bepaald moet worden geplakt.

Hierdoor zal stof e.d. zich aan het filter vasthechten. Het filter wordt verwijderd waarna het beschermende folie er weer op wordt 'gerold'. In het laboratorium kan met behulp van lichttransmissie de vervuiling bepaald worden. Deze methode is (volgens de auteurs) goed reproduceerbaar, gemakkelijk te hantieren, snel en kan minder dan 0,2% stof op oppervlaktes bepalen.

### Veegmethode

Hierbij wordt een bepaald oppervlak met een doekje of een filter, dat geïmpregneerd is met een vloeistof, onder gecontroleerde omstandigheden afgeveegd. De vervuiling komt op het doekje of filter, waarna met behulp van gewichtsmetingen de hoeveelheid stof bepaald kan worden.

Deze methode wordt ook wel gebruikt om de concentratie micro-organismen op een oppervlak te bepalen. Schneider e.a. (1987) vonden dat de methode waarbij met behulp van een glasvezel filter onder constante druk de vervuiling van een stuk oppervlak bepaald werd, niet zo geschikt was. Deze methode had als nadeel dat van het glasvezelfilter een onbekende hoeveelheid glasvezels losraakte, waardoor niet reproduceerbaar gemonsterd kon worden.

Jurinsky (1987) heeft geprobeerd de luchtconcentratie bacteriën/schimmels/gisten te reflecteren aan de concentratie op oppervlakten. De metingen vonden plaats in twee kantoorgebouwen waar meer dan 90% van de lucht gerecirculeerd werd. Een aantal bewoners van de kantoren hadden sick building syndrome-achtige klachten. De oorzaak van de klachten werd gezocht in de aanwezigheid van micro-organismen. De luchtmetingen vonden plaats met behulp van een SAS-sampler op twee verschillende agar-bodems. De oppervlaktemetingen vonden als volgt plaats: Een steriel katoenen doekje, vooraf nat gemaakt met een isotone vloeistof werd gebruikt om ongeveer 25 vierkante centimeter schoon te vegen. De op deze doek verzamelde microorganismen werden op twee verschillende media uitgeplaat. Hiernaast werd materiaal verzameld dat verdacht werd "besmet" te zijn met micro-organismen. De gevonden luchtconcentraties microorganismen waren vrijwel allemaal onder de grens van 500 CFU/m<sup>3</sup> die de ACGIH gesteld heeft (ACGIH, 1986).

Slechts in 2% van de gevallen in één gebouw vond normoverschrijding plaats. In een aantal monsters op specifieke monsterplaatsen werden hoge concentraties gevonden, zowel in de lucht als op oppervlakken. De metingen hadden een grote variantie, vooral de oppervlakbepalingen. Dit is deels te verklaren door aan te nemen dat de ene plek (goed) schoongemaakt wordt en de andere juist niet. Jurinsky heeft geen directe relatie tussen concentraties micro-organismen op oppervlakten en de lucht kunnen leggen.

## 9.2. Stofzuigen en vloerstof

In een onderzoek van Nexø e.a. (1983) is er een relatie gelegd tussen het optreden van klachten en slecht schoongemaakte tapijten. De tapijten, die 7 tot 8 jaar oud waren, werden 2-3 keer per week gestofzuigd. Een aantal werknemers in het kantoorgebouw hadden last van vage klachten zoals extreme moeheid en onbehaaglijk gevoel (malaise).

De klachten verdwenen toen de tapijten in hun kantoren goed schoongemaakt werden. De hoeveelheden stof die in de tapijten gevonden werden staan in tabel 9.1. (Het stof werd met een stofzuiger uit het tapijt gezogen en van het stof dat in de stofzuiger kwam, werd het gewicht bepaald. Dit stofzuigen vond plaats op een dag nadat er op een normale manier was schoongemaakt.) De gevonden microorganismen in het tapijt voordat het goed schoongemaakt werd waren in grote aantallen: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. *Aureobasidium pullulans*, *Rhodotorula rubra* en gisten; en een gematigde hoeveelheid van: *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Ulocladium* sp., *Fusarium* sp. en Thermophilic Actinomycetes.

Tabel 9.1. Hoeveelheid stof in tapijt (hoeveelheid stof per m<sup>2</sup>)

	voor goede schoonmaak	na goede schoonmaak
lunch/vergaderkamer	36	2,5
kantoorkamer, geen tapijt	n.b.	0,8
leslokaal	16,1	3,0

controle kamers n=10

gemiddelde (range)

3,2 (1,5-5,3)

n.b. = niet bepaald

Abilgaard (1988) heeft de hoeveelheid stof in tapijt en de aantallen bacteriën in dit stof aan elkaar gekoppeld. Er bleek een duidelijke relatie te zijn tussen de hoeveelheid stof en de aantallen bacteriën. (hoe meer stof, hoe meer bacteriën.) In het artikel wordt gesteld dat een slechte schoonmaak van tapijten, sick building syndrome kan veroorzaken. (De laatste 10 jaar wordt er steeds meer geklaagd, terwijl in dezelfde tijd flink bezuinigd is op de schoonmaak van vooral scholen en crèches.) De concentratie stof in tapijt werd bepaald door het verzamelen van stof op een filter (met behulp van een stofzuiger). De concentratie stof die gevonden werd varieerde van 230 mg/m<sup>3</sup> tot 1200 mg/m<sup>3</sup> voor tapijt, en 65 mg/m<sup>3</sup> voor linoleum. Er werden ook metingen verricht in een net opgeleverd gebouw; hier bleek veel bouwstof in het tapijt te zitten. (hout, isolatiemateriaal, cement, e.d.) Het onderzoek bepleit een goede regelmatige reiniging van tapijt om stofophoping te voorkomen.

Van Bronswijk (1985) verzamelde met een stofzuiger vloerstof in een woonhuis, de verzamelde stofmonsters bestond voor 24% uit vezels, 55% uit grove (> 50 µm) niet vezelige deeltjes en 22% uit fijne niet vezelige deeltjes (< 50 µm).

De vezels bestonden uit menselijk haar, schapenwol, deeltjes van veren, papier, hout, cellulose uit textiel, vezels van synthetische stoffen en schimmeldraden. De grove, niet vezelige deeltjes bestonden uit huidschilfers, zand, bladeren, takjes, (huisstof)mijten of delen hiervan, delen van insecten, stuifmeel, mos en varensporten, as, (tuin)grond. De fijne niet-vezelige deeltjes bestonden voornamelijk uit huidschilfers, zetmeelkorrels, stuifmeel, schimmelsporten, mos- en varensporten, as en donkere partikels van (tuin)grond.

Herhaald stofzuigen veranderde de samenstelling van het opgezogen stof (na 2 minuten zuigen verminderde het gehalte aan deeltjes < 50 µm). Na drie dagen van normale woonactiviteit is echter de concentratie fijne niet-vezelige deeltjes < 50 µm weer op het oude niveau.

Van Bronswijk berekende dat door "normaal" stofzuigen, waarbij ongeveer een minuut per vierkante meter gezogen wordt, slechts 4% van het aanwezige stof, 8% van de aanwezige mijten en 7% van de aanwezige mijtenproducten (gemen als guanine eenheden) verwijderd wordt.

Als hiernaast de schoonmaaknormen voor tapijtonderhoud gelegd worden (Schoonmaakwerk, 1989), dan blijkt dat een minuut stofzuigen per m<sup>2</sup> in de schoonmaakwereld niet gehaald wordt. De hoogste norm voor een vrij oppervlak, gebruik makend van een huishoudstofzuiger is 0,25 minuut per m<sup>2</sup>. Mogelijkerwijs zal met een industriestofzuiger meer stof verwijderd kunnen worden. De hoogste norm voor een vrij oppervlak gebruik makend van een industriestofzuiger is echter slechts 0,10 minuut/m<sup>2</sup>. De vraag is nu of deze norm wel voldoende is om tapijten voldoende van vuil en stof te ontdoen.

### 9.3. Schoonmaak van airconditioning

De noodzaak van regelmatige reiniging van luchtkanalen en vervanging van luchtfilters wordt door Elixman (1987) duidelijk gemaakt. Hij bepaalde schimmelsporen en -allergenen in een luchtkanaal voor en na luchtfilters. De gebruikte filters waren van de klasse EU3, die 86% van deeltjes met een doorsnede groter dan 0,1 µm doorsnede tegenhouden en filters van de klasse EU7 die 98% van deeltjes met een doorsnede groter dan 0,1 µm tegenhouden. De schimmelsporen werden door beide filters tegengehouden en kwamen hierdoor dus op de filters terecht.

Dit is geen vreemd resultaat aangezien deze schimmelsporen groter dan 3 µm in doorsnede zijn. Opmerkelijk was echter wel dat schimmelallergenen zowel voor als na de filters gemeten werden. De allergenen gingen dus door de filters heen. (De allergieënbevestiging vond plaats met behulp van ELISA waarbij gebruik gemaakt werd van serum van een patiënt die reageerde op *Aspergillus fumigatus*.)

Yoshizawa en Irie (1987) vonden lage concentraties microorganismen in de luchtkanalen van airconditioningssystemen. De concentraties liepen echter op als luchtturbulenties optraden in de luchtkanalen, dit door opstarten van het systeem, vervanging van filters, gedurende onderhoud en dergelijke. Bayer en Black (1986) vonden dat nicotine (afkomstig van sigarettenrook) ook voorkwam in kamers waar niet gerookt werd, als in andere gedeelten van dit kantoor gerookt werd. De verspreiding van nicotine in het kantoorgebouw vond volgens hen plaats door het airconditioningssysteem. Dit kwam overeen met de resultaten die Williams e.a. (1985) vonden. Hieruit blijkt dat de filters die toegepast worden in airconditioningssystemen niet alle deeltjes wegvangen. In Bernstein e.a. (1983) worden ziektegevallen beschreven van twee werknemers in een kantoorgebouw. Beiden hadden luchtbevochtigerskoortsachtige verschijnselen. Het bleek dat de luchtkanalen bij de verwarming/koel eenheden vervuild waren met schimmels. De meest voorkomende schimmels waren *Penicillium* (meer dan 80% van de schimmels), *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Alternaria* en *Aureobasidium*; in kleine aantallen werden *Rhizopus*, *Mucor* en *Helminthosporium* gevonden. Deze schimmels waren ook op/in de filters van de verwarming/koel eenheden aanwezig. (Deze filters zagen er niet extreem vies uit, maar bleken al zeker twee jaar niet vervangen te zijn. In de kantoren die door dit deel van de airconditioningsinstallatie van "verse" lucht werden voorzien bleek 50 - 80 maal (zo'n 6000 CFU's/m<sup>3</sup>) zoveel schimmels in de lucht te zitten als in de controlegroep. Na schoonmaken van de luchtkanalen en vervangen van de filters, bleken de aantallen schimmels in de lucht weer op normale waardes te liggen (tot maximaal zo'n 100 CFU's/m<sup>3</sup>).

## 9.4. Vergelijking centrale stofzuiger met moppen

Een tweetal reinigingsmethoden zijn met elkaar vergeleken door te bepalen hoe goed ze stof verwijderden van een aantal gladde vloeren (Handboek, 1983). Daartoe werd 100 gram droge stof (samenstelling onbekend) in een ruimte gebracht, die daarvoor intensief gereinigd was. Het stof werd verwijderd met behulp van een centrale stofzuiger (methode I), of met een vochtwisemethode (methode II). De hoeveelheid verwijderd stof werd gravimetrisch bepaald (gewichtsbepaling). Hieruit kon het percentage teruggewonnen stof worden bepaald. De resultaten hiervan staan in tabel 9.2.

Tabel 9.2. Het percentage reiniging van centraal stofzuigersysteem (percentage I) en moppen (methode II) op verschillende gladde oppervlakten.

Type vloer	perc. teruggewonnen stof	
	methode I	methode II
Stenen vloer	95,02	55,82
Gladde PVC-vloer (kantoor/gang)	97,74	93,24
Gladde PVC-vloer (leslokaal)	100,80	89,34
PVC-vloer 5 jaar oud	96,64	86,36
Stenen vloer, vochtig stof	99,23	69,95
Stenen vloer, vochtig stof, 24 uur gedroogd	99,20	84,43

Uit de tabel blijkt dat het reinigen met behulp van een centraal stofzuigersysteem meer stof verwijdert dan reinigen door middel van moppen. Er zijn echter wel een paar vraagtekens te plaatsen bij dit onderzoek, namelijk wat voor soort stof is gebruikt, wat is precies de methode die gebruikt is voor het moppen, waarom zijn geen normale stofzuigers meegenomen in dit onderzoek, e.d.. De reiniging met normale stofzuigers zal mogelijk minder effectief zijn dan de reiniging met een centraal stofzuigersysteem. Stofzuigers veroorzaken namelijk altijd luchtwervelingen, die stof op doen waaien. Bovendien veroorzaken stofzuigers zelf ook stof.

Filters die gebruikt worden in stofzuigers filteren nooit effectief alle deeltjes uit de lucht. Wel is het zo dat als een stofzuiger uitgerust is met een goed filter, dat regelmatig schoongemaakt wordt, deze stofzuiger niet zo veel stof zal produceren als een die geen filter heeft. Een (klein) gedeelte van het stof zal echter toch door het filter gaan en weer in de ruimte terecht komen. De bepaling van de hoeveelheid stof die een stofzuiger produceert is één van de onderdelen waarop stofzuigers getest worden.





# 10. NORMEN

## 10.1. Inleiding

Op het gebied van een gezondheidskundig acceptabele binnenluchtkwaliteit in kantoorgebouwen is nog veel onbekend. Hierdoor is de ontwikkeling in het denken erover nog nauwelijks op gang gekomen en zijn wettelijke eisen met betrekking tot de luchtkwaliteit in kantoorgebouwen voorlopig niet te verwachten (TVVL, 1988).

In verschillende landen, waaronder Nederland, worden wel normen en advieswaarden gebruikt, maar deze hebben niet altijd een goede, op gezondheidseffecten gebaseerde, onderbouwing.

De vraag, bij stofonderzoek in zijn algemeenheid, is wat de gevonden waarden, de concentraties, nu zeggen voor de gezondheid van de werkende mens. Wat zegt het als de concentratie van, bijvoorbeeld, respirabel stof 30 of 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  is? Deze concentraties zijn dusdanig laag dat, als het stof geen toxische, mutagene of allergene componenten bevat, geen gezondheidseffecten te verwachten zijn van het stof. Het is echter maar de vraag of dit soort stof, dat totaal geen schadelijke componenten bevat, ook inderdaad bestaat. In een populatie zullen altijd mensen zijn, die voor een bepaald deel van het stof andersgevoelig (allergisch) zijn, of het in de loop van de tijd worden. Daarom is het verstandig om de concentratie stof (in de lucht, op de grond) te minimaliseren om de mogelijke blootstelling zo laag als mogelijk is te maken. Illusterend in dit verband is de gesignaleerde toename van het aantal astmapatiënten sinds de energiecrisis (Kurvers, 1988). Het idee hierachter is dat door energiebesparende maatregelen de ventilatie in gebouwen/huizen, verminderd is, waardoor de concentratie verontreinigingen in de woon-/werkomgeving groter is geworden; hierdoor zouden meer mensen allergisch worden.

## 10.2. Stofnormen

De 24-uurs norm voor zwevend stof, zoals die in de USA in de buitenlucht wordt gehanteerd is 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Deze norm geldt voor totaal stof, bijvoorbeeld gemeten met High Volume Samplers (deze monsters ook deeltjes met een doorsnede van kleiner dan 3,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Door de EPA (Environmental Protection Agency) is voorgesteld de normering voor stof in de buitenlucht te veranderen. Daartoe zou een aparte norm voor deeltjes < 10  $\mu\text{m}$  worden voorgesteld. Deze waarden voor deeltjes kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  zijn: Een jaargemiddelde lager dan 50-65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en een eenmalige overschrijding van een 24-uurs gemiddelde tussen 150 en 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (EPA, 1984).

Het RIVM (Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne) geeft als advieswaarde, ook voor het binnenmilieu, voor deeltjes kleiner dan 10 µm: 100-150 µg/m<sup>3</sup> als 24-uurs gemiddelde en 50-65 µg/m<sup>3</sup> als jaargemiddelde (VROM, 1986).

Dit komt redelijk overeen met de aanbevolen waarden in het binnenmilieu, voor deeltjes met een mass mediane aërodynamische diameter kleiner dan 2,5 µm, die in Canada gelden. Deze bedraagt minder dan 100 µg/m<sup>3</sup> voor 1 uur en minder dan 40 µg/m<sup>3</sup> voor de lange termijn, levenslang. (de gemiddelde diameter (count median) ligt hierbij een stuk onder de mass mean !) (Canada, 1987). (voor de verklaring van de gebruikte termen zie figuur 2.1).

In de industriële werkomgeving worden hogere normen acceptabel geacht. Voor respirabel stof is de MAC-waarde (Maximaal Aanvaarde Concentratie) 5 mg/m<sup>3</sup>, voor totaalstof is deze waarde 10 mg/m<sup>3</sup>. De MAC-waarde geldt voor een 8 uren werkdag, 5 dagen per week, 40 uur per week. (Arbeidsinspectie, 1989)

(De verschillen in normen tussen werkomgeving en niet-werkomgeving bijvoorbeeld buitenlucht, liggen aan het feit dat in de industriële werkomgeving de gevoelige mensen niet aanwezig zijn. Zo zullen kinderen, mensen met longaandoeningen en ouderen van dagen niet in een industriële werkomgeving aanwezig zijn.)

### 10.3. Normen voor (micro-)organismen

Zoals al in deel I van deze rapportage vermeld is, is er nog geen overeenstemming voor normen betreffende aantal microorganismen in de lucht. Zo is de universiteit van Utrecht bezig met onderzoek om tot normstelling te komen (pers.com. Scholtse, Winton bv.) De American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) heeft een norm voor normaal voorkomende bacteriën voorgesteld van 500 CFU per kubieke meter (CFU- kolonie vormende eenheden). Na dit punt zou actie moeten worden ondernomen om de concentratie te verminderen (ACGIH, 1986).

Morey e.a. (1984) had het over een norm voor bacteriën van 1000 CFU's per kubieke meter als grens voor potentieel microbiologische besmetting. De NIOSH heeft deze grens gebruikt in het onderzoek van Wallingford en Carpenter (1986).

Het nadeel van deze normen is dat er uitgegaan wordt van levende microorganismen die de potentie hebben om op media (agar-bodems) te groeien. Echter dode micro-organismen kunnen in veel gevallen dezelfde problemen veroorzaken als levende microorganismen.

De grenswaarden voor het voorkomen van de huisstofmijt zijn minder dan 100 mijten per gram (huis)stof (Kurvers, 1988).

# 11. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Deze literatuurstudie "onderzoek naar het kwaliteitsniveau van het schoonmaakonderhoud in relatie tot het functioneren van de mens" is uitgevoerd om een goede basis te verkrijgen voor verder onderzoek. Hoe of wat moet gemeten worden om de relatie te leggen tussen schoonmaak en het functioneren van de mens? Met andere woorden wat zijn de factoren die door schoonmaken beïnvloed worden en die, in kantoorachtige objecten, invloed hebben op het functioneren van de mens. Aërosolen (stof, microorganismen gedispergeerd in de lucht) worden (deels) door schoonmaken verwijderd en kunnen het functioneren van de mens op de werkplek negatief beïnvloeden.

De plek waar aërosolen hun grootste invloed op uitoefenen zijn de longen van de mens. De aërodynamische diameter ( $d_a$ ) van een deeltje bepaalt of en zo ja waar het deeltje in de longen terechtkomt. Inhalatie en depositie van aërosolen in de longen kunnen gezondheidseffecten veroorzaken, dit is afhankelijk van:

- de grootte van de deeltjes;
- de vorm van de deeltjes;
- de oplosbaarheid en de samenstelling van de deeltjes;
- en (natuurlijk) de hoeveelheid deeltjes.

De gevolgen van inademing van deeltjes kunnen zeer verschillend zijn, een aantal gevolgen zijn:

- een gevoel van onbehagen;
- hoesten om (een teveel aan) stof te verwijderen;
- griep (virusinfectie);
- (ontwikkelen van een) allergie;
- bindweefselvorming in de longen;
- longkanker.

Deeltjes kunnen uit de longen verwijderd worden d.m.v. het trilhaarepitheel en het slijmvlies (in de luchtwegen), door peristaltische bewegingen (in de terminale bronchiolen), door niezen/ hoesten en door fagocytose (in de terminale bronchiolen en alveoli).

Echter voor mensen die allergisch op bepaalde stoffen reageren (bijv. astmapatiënten), is het dan vaak al te laat. Medicijnen slikken om de astma-aanval te onderdrukken is het enige wat dan nog helpt. Bovendien kunnen mensen die niet-allergisch zijn allergie ontwikkelen doordat ze blootgesteld staan aan stof. Daarom is het belangrijk dat de concentratie stof in de omgeving van mensen zo laag mogelijk gehouden wordt, m.a.w. voldoende stof verwijderd wordt.

Schoonmaken kan naast het voorkómen van stof/ aërosolen hier een grote rol spelen. Stof en verontreinigingen kunnen op verschillende manieren een gebouw binnenkomen, of verspreiden in een gebouw. Bronnen van aërosolen zijn (naast stof afkomstig uit/van het interieur en bouwstof):

- Mensen en hun activiteiten. Alleen de aanwezigheid van mensen in een gebouw veroorzaakt al verontreinigingen. De grootste bron van kleine aërosolen is de rokende mens. Eliminatie van deze bron is echter (nog) niet maatschappelijk geaccepteerd. Door middel van een goede ventilatie kan het grootste deel van deze (kleine) aërosolen gelukkig verwijderd worden.
- Airconditioningssystemen. Uit de literatuur blijkt dat in een aantal gevallen de niet goed onderhouden airconditioning, waardoor stof en/of microorganismen de lucht ingeblazen wordt, de oorzaak van klachten is.

Hiernaast blijkt uit de literatuur en de praktijk dat de vloerbedekking (zachte- of harde-) invloed heeft op de hoeveelheid stof in een ruimte. Zachte vloerbedekking (tapijt) kan als verzamelplaats voor stof fungeren en, indien de omstandigheden gunstig zijn, voor microorganismen en (huisstof)mijten.

Verschillende onderzoekers concluderen dat er de laatste 10-15 jaar minder (goed) schoongemaakt wordt. (De budgetten voor schoonmaakonderhoud zijn de laatste 10-15 jaar gelijk gebleven, terwijl de lonen wel gestegen zijn. De grootste kostenpost voor schoonmaakbedrijven zijn de lonen.) Het optreden van ('sick building syndroom'-achtige) klachten kan daardoor (mede) veroorzaakt worden door een verminderen van het schoonmaakonderhoud (minder goede verwijdering van stof en vuil).

Een grote hoeveelheid vuil/ stof/ microorganismen, in een gebouw of tapijt, wordt in verschillende onderzoeken als oorzaak van klachten aangewezen.

De redenen dat er minder geld uitgegeven wordt aan schoonmaakonderhoud zijn mogelijk:

- bedrijven willen minder geld uitgeven aan schoonmaakonderhoud (vaak een sluitpost in de begroting).
- concurrentie tussen schoonmaakbedrijven (waardoor lagere offertes worden uitgebracht die ten koste gaan van de kwaliteit van het schoonmaakonderhoud).
- normen, door derden opgesteld, die als enig doel hebben het beheersbaar houden van kosten. (Hierdoor kan het gebeuren dat scholen die volgens de LONDO-norm geld krijgen, onvoldoende geld hebben om hun gebouwen te laten schoonmaken.)
- er is een gebrek aan (betrouwbare) kennis omtrent de (mogelijke) gezondheidseffecten van verminderde schoonmaak.

In bovenstaande wordt ervan uitgegaan dat indien er voldoende geld aan schoonmaakonderhoud wordt uitgegeven de hoeveelheid verontreinigingen in een gebouw voldoende verwijderd worden. Dit hoeft echter niet zo te zijn. De mogelijkheid is ook aanwezig dat:

- De schoonmaaknorm, die ten grondslag ligt aan het afgesproken contract tussen opdrachtgever en het schoonmaakbedrijf, onvoldoende is om het gebouw goed schoon te houden.

Tapijt wordt bijvoorbeeld wel gezogen, maar het wordt nooit of onvoldoende grondig gereinigd (d.m.v. sproei-extractie). De vraag is dan of zuigen wel voldoende is om stof te verwijderen. In het rapport wordt een onderzoek beschreven waarin aangetoond wordt dat stofzuigen slechts een klein deel van het in tapijt aanwezige stof verwijderd.

- Een schoonmaakbedrijf zijn werk niet goed (genoeg) uitvoert.
- Werknemers in een schoonmaakbedrijf slecht te motiveren zijn om bijvoorbeeld een kamer van plint tot plint te stofzuigen, omdat er zich geen zichtbare vervuiling op het tapijt bevindt. (Het is toch heel goed mogelijk dat er met behulp van een stofzuiger te verwijderen vuil en stof in het tapijt aanwezig is.)

Duidelijk is dat er een gebrek aan kennis is wat betreft gezondheidseffecten en het kwaliteitsniveau van schoonmaakonderhoud. Om meer kennis op dit punt te verkrijgen wordt in het "voorstel tot verder onderzoek" mogelijkheden aangedragen tot verder onderzoek.

### Voorstel tot verder onderzoek

Uit de literatuurstudie blijkt dat de concentratie stof/ microorganismen in gebouwen dusdanig hoog kunnen zijn dat gezondheidseffecten als gevolg van de verontreinigingen op kunnen treden.

Er bestaan verschillende normen voor stof in het binnenmilieu, deze zijn in de literatuurstudie in het hoofdstuk normen vermeld. De vraag is nu wat de beste norm voor stof (van bepaalde deeltjesgroottes) in kantoor(achtige) gebouwen is. Het antwoord hierop kan zijn dat de laagste natuurlijk de beste is. Echter zonder dat bekend is op welke manier de verschillende normen tot stand gekomen zijn, m.a.w. de motivatie om tot die norm te komen, kan niet gekozen worden voor de beste norm.

Vuil en stof kunnen op verschillende wijzen een gebouw binnenkomen en zich in dit gebouw verspreiden. De precieze relatie tussen aërosolen in de lucht en deeltjes op de grond is onbekend. (de relatie tussen (veel) stof op de grond en de hoeveelheid stof/ aërosolen in de lucht.) De concentratie aërosolen in de lucht is afhankelijk van de deeltjesgrootte van het stof in de lucht/ op de grond, de luchtverplaatsingen, trillingen, (o.a. doordat mensen over de vloer lopen). De concentratie stof in de lucht/ op de grond wordt verlaagd door verschillende factoren:

- schoonmaak;
- ventilatie + (eventueel) de airconditioning.

#### Het onderzoeksvoorstel:

I. Het uiteindelijke doel is om te komen tot een norm voor deeltjes op de grond op oppervlakken. M.a.w. hoeveel stof mag er op een oppervlak liggen om te voorkomen dat de norm voor deeltjes in de lucht overschreden wordt. (hierbij moet rekening gehouden worden met andere bronnen van stof.)

Daartoe moet:

- A. Bepaald worden welke norm gebruikt moet worden voor de hoeveelheid stof in de lucht in (kantoor)gebouwen. (Deze wordt uit bestaande normen gehaald en zal als basis hebben dat niet meer dan een bepaald percentage mensen gezondheidsklachten/ -effecten zal krijgen.) (Bovendien is het belangrijk om onderzoek dat elders op (stof)gebied gedaan wordt, te volgen.)
- B. Deze norm gerelateerd worden aan de hoeveelheid stof op de grond. Om te kunnen compenseren voor het opwerpen van stof door het lopen van mensen, moet een standaard meetmethode ontwikkeld worden, waarbij bijvoorbeeld een soort klopparaat (te ontwikkelen?) gebruikt wordt om stof aanwezig in/ op vloerbedekking op te werpen. De stofmetingen zullen plaatsvinden in de lucht en op de grond. Voorgesteld wordt om in een aantal praktijksituaties:
- totaalstof in de lucht te monstereën,
  - stof op oppervlakten te monstereën m.b.v. 'plakkende filters'.

Onderscheid moet gemaakt worden tussen metingen bij:

- harde;
- en zachte vloerbedekking.

## II. Testen van schoonmaakmethoden

Bepalen wat het effect van schoonmaken is t.a.v. de hoeveelheid stof op de grond en in de lucht, bijv na:

- stofzuigen;
- moppen;
- vegen.

Hierbij kunnen verschillende frequenties schoonmaken worden meegenomen.

# LITERATUUR

Abildgaard, A., The interaction between dust, microorganisms and the quality of cleaning. Berglund, B., & T. Lindvall (eds), Healthy Buildings '88, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, vol 3. pp 19-24. June 1988.

ACGIH, Air sampling instruments, 6th ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1983.

ACGIH, Committee on Bioaerosols, Applied Industrial Hygiene, Vol 1, R19-R-23, April, 1986.

Ager, B.P., and J.A. Tickner, The control of microbiological hazards associated with air-conditioning and ventilation systems. Ann. Occup. Hyg., vol. 27, no 4, pp. 341-358, 1983.

Andersen, A.A., A new sampler for collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. Journal of Bacteriology 76, pp 471-484, 1958.

Andersen, I., G.R. Lundquist, D.F. Proctor, D.L. Swift, Human response to controlled levels of inert dust. American Review of Respiratory Diseases 119, pp 619-627, 1979.

Arbeidsinspectie, De nationale MAC-lijst 1989, P-145, 1989.

Astmafonds, Schone scholen voor kinderen met cara, Een documentatie van het Astma fonds, Leusden, 21 februari 1985.

Austin, P.R., & S.W. Timmermann, Design and Operation of Clean Rooms. Business News Publishing Comp. Detroit, USA, 1963.

Bäckman, B., & A.B. Tertologen, Connections between allergies and wall-to-wall carpeting in Swedish schools, Sweden, 1979.

Banaszak, E.F., W.H. Thiede, J.H. Fink, Hypersensitivity pneumonitis due to contamination of an air-conditioner. New Engl. J. Med. 283, pp 271-276, 1970.

Bates, D.V., Air pollutants and the human lung. Am. Rev. Respir. Dis. 105, pp 1-13, 1972.

Bayer, C.W., & M.S. Black, Passive smoking: survey analyses of office smoking areas vs. environmental chamber studies, Proceedings of the ASHRAE Conference IAQ '86, Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation, April 20-23, 1986; Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., pp 281-291, 1986.

Berglund, B., U. Berglund, T. Lindval; Characterization of Indoor Air Quality and 'Sick Buildings', Ashrae Trans. 90, part 1B, pp 1045-1055, 1984).

Blowers, R., O.M. Lidwell, R.E.O. Williams, Infection in operating theatres in relationship to air-conditioning equipment. J. Inst. Heat. Vent. England 30, pp 244-245, 1962.

Blomquist, G., U. Palmgren and G. Strom, Improved techniques for sampling airborne fungal particles in highly contaminated environments. Scandinavian Journal of Work Environment & Health 10 pp 253-258, 1984.

Boleij, S.M., B. Brunekreef, E. Lebet, D. Noij, H.J. van de Wiel, en K. Biersteker, Luchtverontreinigingen in woningen. min. VROM, publicatiereeks lucht nr. 45, Den Haag 1985.

Boleij, J., D. Heederik, H. Kromhout, Karakterisering van blootstelling aan chemische stoffen in de werkomgeving. Pudoc, Wageningen, 1987.

Bronswijk, J.E.M.H. van, De effectiviteit van een stofzuiger in het verwijderen van stof, mijten en mogelijk allergeen van een tapijt. Airways 2:10-16, 1985.

Bronswijk, J.E.M.H., E. Bischoff, W. Schirmacher and F.M. Kniest, Evaluating Mite (Acari) Allergenicity of House Dust by Guanine Quantification. J. Med. Entomol. 26 (1) pp 55-59, 1989.

Brundett, G.W. e.a., CIBS Briefing, Legionnaires Disease and Humidifier Fever. Building Services, pp 35-36, march 1981.

Budiansky, S., Indoor air pollution. Environmental Science & Technology, vol 14, no 9, (Sept), p 1023 (5), 1980.

Butcher, B.T. & J.E. Salvaggio, Occupational asthma. J. Allergy cli. Immun. 78, pp 547-556, 1986.

Cain, W.S., & B.P. Leaderer, Ventilation requirements in occupied spaces during smoking and non-smoking occupancy. Environment International, vol 8, pp 505-514, 1982.

Canada, Exposure guidelines for residential indoor air quality. A report of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Minister of National Health and Welfare, April 1987.



- Chang, P., L.K. Peters, Y. Ueno, Particle size distribution of mainstream cigarette smoke undergoing dilution. *Aerosol Science and Technology*, vol. 4, pp 191-207, 1985.
- Clark, R.P., & R.N. Cox, Dispersal of bacteria from the human body surface. In: J.F. Hers and K.C. Winkler (Eds.), *Airborne Transmission and Airborne Infection*. New York, John Wiley & Sons, 413, 1973.
- Clark, S., R. Rylander, L. Larsson, *Am. ind. Hyg. Ass. J.*, 44, pp 537-541, 1983.
- Colldahl, H., Heltäckande mattors lämplighet for allergipatienter. *Läkartidningen*, 71, 1974.
- Dark, F.A. G.J. Harper, Aerosol sampling. In: D. Shapton and Board (eds): *Safety in microbiology*. Academic Press, London. pp 37-47, 1972.
- Darke, C.S., J. Knowelden, J. Lacey, A.M. Ward, Respiratory disease of workers harvesting grain. *Thorax* 31, pp 294-302, 1976.
- Dautrebande, L. und W. Walkenhorst, Über die Retention von Kochsalzteilchen in den Atemwegen. In: *Inhaled particles and vapours*; C.N. Davies (ed). London, Pergamon Press, 1961.
- Edwards, J.H., Microbial and immunological investigations and remedial action after an outbreak of humidifier fever. *Br. J. ind. Med.* 37, pp 55-62, 1980.
- Edwards, J.H., A.J. Griffiths, J. Mullins, Protozoa as sources of antigen in 'humidifier fever'. *Nature*, Lond. 264, pp 438-439, 1976.
- Elixmann, J.H., Can airborne fungal allergens pass through an air conditioning system? *Indoor air '87*, Berlin vol 1. pp 665-667, 1987.
- EPA, Proposed revision to the natural ambient air quality standards for particulate matter. *Federal register* 49: 10408-10435, 1984.
- Finnegan, M.J., A.C. Pickering, P.S. Burge, The sick building syndrome: prevalence studies. *British Med. J.* 290, pp 1573-1575, 1984.
- Fink, J.N., Mould in air conditioning causes pneumonitis in office workers. *J. Am. Med. Ass.* 211, pp 1627, 1970.
- Fink, J.N., E.F. Banaszak, W.H. Thiede, J.J. Barboriak, Interstitial pneumonitis due to hypersensitivity to an organism contaminating a heating system. *Ann. intern. Med.* 74, pp 80, 1971.
- Fliermans, C.B., W.B. Cherry, D.L. Tison, S.J. Smith, D.H. Pope, Ecological distribution of *Legionella pneumophila*. *Appl. Envir. Microbiol.* 41 (1), pp 9-16, 1981.

Gravesen, S., Microbiological studies on carpets versus hard floors in non-industrial occupations. *Indoor Air '87 Berlin*, vol 1 pp 668-672, 1987.

Gravesen, S., L. Larsen and P. Skov Aerobiology of schools and public institutions-part of a study, *Ecology of disease*, vol 2, no 4, pp 411-413, 1983.

Gravesen, S., L. Larsen, F. Gyntelberg and P. Skov, Demonstration of Microorganisms and Dust in Schools and Offices, *Allergy* 41, pp 520-525, 1986.

Ham, Ph. J., & M. Rolloos, Airconditioning en legionellose. *Ziekenhuishygiëne en infectiepreventie*, 1 pp 3-12, 1988.

Handboek, Handboek Interne & Civiele diensten, Samsom, pp B1530, pp13-16, April 1983.

Hansen, L., E. Bach, K. Kaas Ibsen, O. Østerballe, Carpeting in schools as an indoor pollutant, *Indoor air '87 Berlin* vol 2, pp 727- 731, 1987.

Hatch, T.F., and P. Gross, Pulmonary deposition and retention of inhaled aerosols. New York, Academic Press, 1964.

Hebbelynck, H., Beeldschermen en verlichten: een uitdaging! Studiedag 'Fysische Arbeidsomstandigheden', Bond voor Materialenkennis, Utrecht, 28 jan. 1987.

Hedge, A., I11 health Among Office Workers; an Examination of the relationship Between Office Design and Employee Well-being. Grandjean, E., (ed) Preface; *Ergonomics and Health in Modern Office*. Taylor & Francis, London, pp 46-51, 1984.

Heyder, J., and G. Rudolf. Deposition of aerosol particles and vapours. In: Walton, W.H. (ed). *Inhaled Particles IV*. Oxford, England, Pergamon Press, pp 107-125, 1977.

Horwitz, M., & S. Silverstein, *J. Clin. Invest.* 66, 104, 1980.

Huza, M.A., & B.C. Pant, The changing role of chemical filtration systems for improving indoor Air Quality. *IAQ '87 Practical Control of Indoor Air Problems*, Proceedings of the Ashrae Conference IAQ '87 May 18-20, 1987, Arlington, pp 281-295, 1987.

ICRP-Task group on lung dynamics. Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract, *Hlth. Phys.* 12, pp 173-207, 1966.

Irie, T., K. Ikeda, H. Komine, A. Takano, M. Sakaguchi and T. Inoue, Relation between childhood asthma and indoor environmental elements in dwellings. *Indoor Air '87 Berlin*, vol 2, pp 722-726, 1987.

ISO, Size definitions for particle sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal* 42, A64-A68, 1981.

ISO, Air quality-particle size fraction definitions for health related sampling, Technical Report ISO/TR 7708-1983(E). International Standards Organization, Geneva, Switzerland, 1983

Joosting, P.E., Depositie van aërosolen in de ademhalingswegen. De Veiligheid 5, no 9, pp 419-425, 1979.

Jones, W., K. Moring, P. Morey, . Sorensen, Evaluation of the Andersen viable impactor for single stage sampling. American Industrial Hygiene Association Journal 46, pp 294-298, 1985.

Kateman, E., M. Smeets, M. Spitteler, Op jacht naar de klacht, een arbeidshygiënisch onderzoek naar blootstelling aan microbiële verontreiniging en effecten op de gezondheid in een kunststofgarenbedrijf. Vakgroep Gezondheidsleer, vakgroep Luchthygiëne en -verontreiniging, Landbouwniversiteit, Wageningen, dec., 1987.

Kinsman, R.A., R.A. Yaroush, E. Fernandez, J.F. Dirks, M. Schocket, & J. Fukuhara, Symptoms and experiences in chronic bronchitis and emphysema, Chest 5, pp 755-761, 1983.

Kozak, P. e.a., Factors of importance in determining the prevalence of indoor moulds. Annals of Allergy 43, pp 88-94, 1979.

Kuile, W.M., ter. Persoonlijke mededelingen. MT-TNO, Delft, 1986.

Kurvers, S.R., Healthy Buildings, veel klachten zijn te voorkomen in ontwerp-fase. Arbeidsomstandigheden (64) nr. 12, pp 729-736, 1988.

Lacey, J., The aerobiology of conidial fungi. In: The Biology of Conidial Fungi, Cole, G.T., & W.B. Kendrick (eds), Academic Press, New York, pp 373-416, 1981.

Landahl, .D., The effect of gravity, hygroscopicity, and particle size on the amount and site of deposition of inhaled particles, with particular reference to hazard due to airborne viruses. In: Mercer, T.T., P.E. Morrow and W. Stöber (eds), Assessment of airborne particles (fundamentals, applications, and implications to inhalation toxicity). Springfield, I11, Thomas, 1972.

Lastdrager, L., diverse onderzoeken naar de mogelijke oorzaak van klachten, uitgevoerd in de periode (1982-1986), interne rapportage Directoraat-generaal van de Arbeid, brieven en persoonlijke mededelingen.

Leaderer, B.P., W.S. Cain, R. Isseroff, L.G. Berglund, Ventilation requirements in buildings - II. Particulate matter and carbon monoxide from cigarette smoking. Atmospheric Environment, Vol 18, no 1, pp 99-106, 1984.

Lebret, E., Blootstelling aan tabaksrook. Brasser, L.J. & J van Ham (eds) Passief roken: ongezond?, proceedings van het symposium op 12 mei 1987, Vereniging lucht, Bunnik, 1987.

- Lippmann, M., R.E. Albert, H.T. Peterson (Jr). The regional deposition of inhaled aerosols in man. In: Walton, W.H. (ed) Inhaled particles III. Old Woking, Surrey: Unwin Brothers Ltd, pp 105-120, 1971.
- Lippmann, M., Size-selective sampling for inhalation hazard evaluations, In: B.Y.H. Liu (ed): Fine particles; aerosol generation, measurement, sampling and analyses. Academic Press, Inc., New York, London, pp 287-310, 1976.
- Lippmann, M., D.B. Yeates, R.E. Albert, Deposition, retention and clearance of inhaled particles. *British Journal of Industrial Medicine* 37, pp. 337-362, 1980.
- Lundqvist, G.R., Environmental Studies in Kindergartens. Berglund, B., & T. Lindvall (eds), *Healthy Buildings '88*, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, vol 3. pp 575-580, June 1988.
- Majde, J.A., & R.J. Person, *Progress in Clinical and Biological Research*, vol 62, pp 1-192 Alan R. Liss Inc., New York, 1981.
- Mark, D. & J.H. Vincent, A new personal sampler for airborne total dust in workplaces. *The Annals of Occupational Hygiene* 30, pp 89-102, 1986.
- Meer, A. van der, Airconditioning veroorzaker van aandoeningen aan de luchtwegen. *Arbeidsomstandigheden* 63, nr. 6, pp 374-376, 1987.
- Melandri, C., e.a. On de deposition of unipolarly charged particles in the human respiratory tract. In: Walton, W.H. (ed). *Inhaled Particles IV*. Oxford, England, Pergamon Press, pp 193-200, 1977.
- Morey, P.R., M.J. Hodgson, W.G. Sorenson, G.J. Kullman, W.W. Rhodes, G.S. Visvesvara, Environmental studies in mouldy office buildings: biological agents, sources and preventive measures. *Annals of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, vol 10, pp 21-35, 1984.
- Morey, P.R., W.G. Jones, J.L. Clere, W.G. Sorenson, Studies on sources of airborne microorganisms and on indoor air quality in a large office building. *Proceedings of the ASHRAE Conference IAQ '86, Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation*, April 20-23, 1986; Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., pp 500-509, 1986.
- Morgan, W.K.C., Industrial bronchitis. *Br. J. Ind. ed.* 35, pp 285-291, 1980.
- C, Humidifier fever. *Thorax*, 32, pp 653-663, 1977.
- Nevalainen, A., & M. Jantunen, Airborne bacteria, fungal spores and ventilation in Finnish day-care centres. *Indoor air '87*, Berlin, vol 1, pp 678-680, 1987.
- Nexø, E., P.G. Skov and S. Gravesen, Extreme fatigue and malaise-a syndrome caused by badly cleaned wall to wall carpets. *Ecology of Disease*, vol 2, no 4, pp 415-418, 1983.

Northup, S.C., & K.H. Kilburn, The role of mycotoxins in human pulmonary disease. In T.D. Wyllie and L.G. Morehouse (eds.), *mycotoxic Fungi, Mycotoxicosis, an Encyclopedic Handbook*, vol 3. *Mycotoxicosis of Man and Plants: Mycotoxin Control and Regulatory Practises*. New York: Marcel Dekker, pp 91-108, 1978.

Ogden, T.L. and J.L. Birkett, The human head as a dust sampler. In: Walton, W.H. (ed). *Inhaled Particles IV*. Oxford, England, Pergamon Press, pp 93-104, 1977.

Owen, M.K., D.S. Ensor, L.S. Hovis, W.G. Tucker, Effects of office building heating and ventilation system parameters on respirable particles. Proceedings of the ASHRAE Conference IAQ '86, *Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation*, April 20-23, 1986; Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., pp 510-522, 1986.

Palmes, E.D., and M. Lippmann. Influence of respiratory air space dimensions on aerosol deposition. In: Walton, W.H. (ed). *Inhaled Particles IV*. Oxford, England, Pergamon Press, pp 127-135, 1977.

Paramelle, B., A. Perdrix, D. Lascaud, F. Ambroise-Thomas, J.M. Aiache, G. Gay, P. Dell'Accio, Humidifier fever in industry with references to 15 cases. *Rev. Fr. Mal. Resp.* 4, pp 525-536, 1976.

Penkala, S.J., & G. De Oliveira, The simultaneous analysis of carbon monoxide and suspended particulate matter produced by cigarette smoking. *Environmental Research*, vol 9, (April) p. 99, (16), 1975.

Pestalozzi, C., Epidemics of febrile illness in a pattern shop due to humidifier water contaminated with fungi. *Schweiz. med. Wschr.* 89, pp 710-713, 1959.

Pickering, C.A.C., W.K.S. Moore, J. Lacey, V.C. Holford-Strevens, J. Pepys, Investigation of a respiratory disease associated with an air conditioning system. *Clin. Allergy* 6, pp 109-118, 1976.

Quant, F.R., P.A. Nelson, G.J. Sem, Experimental measurements of aerosol concentrations in offices. *Environment International*, vol 8, pp 223-227, 1981.

Repace, J.L. & A.H. Lowrey, Indoor air pollution: tobacco smoke, and public health. *Science*, vol 208. May 1980.

Reponen, T., A. Nevalainen, T. Raunemaa, Airborne fungal spore and bacteria levels in finish homes with different ventilation systems. *Indoor air '87*, Berlin, vol 1, pp 632-636, 1987..

Riley, R.L., Airborne infection. Massachusetts: Intl. Symp. on Indoor Air Pollution, Health and Energy Conservation, 1981.

Rowbotham, T.J., Preliminary report on the pathogenicity of *Legionella pneumophila* for freshwater and soil amoebae. *J. clin. Path.* 33, pp 1179-1183, 1980.

Rylander, R., Organic dusts and lung reactions: Exposure characteristics and mechanisms for disease. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* 11 pp 199-206, 1985.

Rylander, R., & R. Burrell, Conference report: Endotoxins in inhalation research, summary of conclusions of a workshop held at Clearwater, Florida, USA, 28-30 September 1987. *Ann. occup. Hyg.*, vol 32, no 4, pp 553-556, 1988.

Rylander R., & P. Morey, *Am. ind. Hyg. Ass. J.*, 43, pp 811-812, 1982.

Schalkoort, T.A.J., Diverse onderzoeken naar de mogelijke oorzaak van klachten, uitgevoerd in de periode (1977-1983), interne rapportage Directoraat-generaal van de Arbeid en brieven.

Schalkoort, T.A.J., Risico's voor bewoners van 'sick buildings' worden duidelijk ondergewaardeerd. *Arbeidsomstandigheden* 63: nr. 4, pp 216-223, 1987.

Schneider, T., P. Eriksen, P. Vinzents, Petersen and BY. Hansen, easy method for measuring the quality of cleaning. indoor air '87, Berlin, vol 1, pp 595-599. 1987.

Schoonmaakwerk. *KostenDataBouw*, Misset Bv, nummer 4, Mei 1989.

Skov, P., & O. Valbjørn and DISG, The "sick" building syndrome in the office environment: The Danish town hall study. *Environ. Int.* vol 13, no. 4, pp 339-349, 1988.

Smith, P.W. & R.M. Massanari, Room humidifiers as the source of *Acinetobacter* infections. *J. Am. med. Ass.* 237, pp 795-797, 1977.

Solomon, W., Assessing fungus prevalence in domestic interiors. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 56, pp 235-242, 1975.

Solomon, W.R., & H.A. Burge, Allergens and pathogens. In: *Indoor Air Quality*, Walsh, P.J., & C. Dudley (eds), Boca Raton, FL, CRC Press Inc, 1983.

Spengler, J.D., D.W. Dockery, W.A. Turner, J.M. Wolfson, B.G. Ferris (jr), Long-term Measurements of Respirable Sulfates and Particles Inside and Outside Homes. *Atmospheric Environment*, Vol. 15, pp 23-30, 1981.

Staib, F., 14. Seibold, H. Heißenhuber, Indoor air mycology - aspergillosis, mucormycosis and cryptococcosis caused by fungal spores from indoor air. *Indoor air '87*, Berlin, vol 1, pp 694-698, 1987.

Staubforschungsinstitut, Empfehlungen zur Messung und Beurteilung von gesundheitsgefährlichen Stauben. *Staub-Reinhaltung der Luft* 33, pp 1-3, 1973.

Stolwijk, J.A.J., The "sick" building syndrome. IAQ '87 Practical Control of Indoor Air Problems, Proceedings of the Ashrae Conference IAQ '87 May 18-20, Arlington, pp 281-295, 1987.

Tammeling, G.J. en Ph. H. Quanjier, Contouren van de ademhaling I. Boehringer Jung BV, Haarlem, 1978.

Taylor, A.G., Legionnaires' Disease: the facts. Med. Lab. World, pp 12-14, 1981.

Timbrell, V., Inhalation and biological effects of asbestoses. In: Mercer, T.T., P.E. Morrow, W. Stöber (eds), Assessment of airborne particles (fundamentals, applications and implications to inhalation toxicity), Springfield, Ill, Thomas, pp 429-441, 1972.

Tobin, R.S., E. Baranowski, A.P. Gilman, T. Kuiper-Goodman, J.D. Miller, M. Giddigs, Significance of fungi in indoor air: report of a Canadian working group. indoor air '87, Berlin, vol 1, pp 718-722, 1987.

Tourville, D.R., W.I. Weiss, P.T. Wertlake, G. H. Leudemann, Hypersensitivity pneumonitis due to contamination of home humidifier. J. Allergy clin. Immunol, 49, pp 245-251, 1972.

TVVL, Luchtkwaliteit en luchtkwaliteitbeheersing, consequenties voor het vakgebied van de TVVL. rapport TVVL WG-17 'Luchtkwaliteit', 1988.

Tyndall, R.L., C.S. Dudney, A.R. Hawthorne, R. Jernigan, K. Ironside, P. Metier, Micro flora of the typical home. Indoor air '87, Berlin, vol 1, pp 617-621, 1987.

Voskamp, P., 'Sick building syndrome' bestaat niet. Arbeidsomstandigheden 64, nr. 4, pp 219-222, 1988.

VROM, Ministerie van, Notitie Binnenmilieu, November 1986.

Wageningen, N, van, M. Waegemaekers, B. Brunekreef, J. Boleij, Health complaints and indoor moulds in relation to moist problems in homes. Indoor air '87, Berlin, vol 1, pp-723-727, 1987.

Wal, J.F. van der, Vergleichsmessungen mit verschiedenen Geräten zur Bestimmung der Gesamtstäubkonzentration am Arbeitsplatz - Teil I. Staub - Reinhaltung der Luft 43, pp 291-294, 1983.

Wallingford, K.M. & J. Carpenter, Field experience overview: investigating sources of indoor air quality problems in office buildings. Proceedings of the ASHRAE Conference IAQ '86, Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation, April 20-23, 1986; Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., pages 448-458, 1986.

Whitby, K.T., R.B. Husar, B.Y.H. Liu, The aerosol size distribution of Los Angeles smog. *Aerosols and Atmospheric Chemistry*, pp 237-264, 1972.

Williams, D.C., J.R. Whitaker, W.G. Jennings, Measurement of Nicotine in Building Air as an Indicator of Tobacco Smoke Levels. *Environ. Health Persp.*, vol 60, p 405, 1985.

WHO, Indoor air pollutants, exposure and health effects. *EURO Reports and Studies nr 78*, World Health Organisation, Regional Office for Europe, Copenhagen, 1983.

WHO, Evaluation of exposure to airborne particles in the world environment. World Health Organisation, offset publication no 80, Geneva, 1984.

Willems, H. & D. Heederik, Longfunctieonderzoek in de Bedrijfsgezondheidszorg - een epidemiologische benadering. *Nederlands Astma Fonds*, z.j.

Yoshizawa, S., & T. Irie, Microbiological contamination from air conditioning systems in Japanese buildings. *Indoor air '87*, Berlin, vol 1, pp 627-631, 1987.

Yu, C.P. and D.B. Taulbee. A theory of predicting respiratory tract deposition of inhaled particles in man. In: Walton, W.H. (ed). *Inhaled Particles IV*. Oxford, England, Pergamon Press, pp 35-46, 1977.





