

RIVM report 340450001/2004

**Reductie van blootstelling aan  
omgevingstabaksrook in de horeca door  
ventilatie en luchtreiniging**

W.F. de Gids \* en A. Opperhuizen

\* TNO Bouw, Delft

AAN DEZE STUDIE WERKTEN MEE:

P. Jacobs	TNO Bouw
W. Kornaat	TNO Bouw
J.C. Phaff	TNO Bouw
B. Knoll	TNO Bouw
B. Rambali	RIVM
W. Vleeming	RIVM

Dit onderzoek werd verricht in het kader van het project Ventilatie Tabaksrook, projectnummer 340450, in opdracht van de Directie Voeding en Gezondheidsbescherming van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport.



## Abstract

One of the goals of the Dutch government is to reduce the consumption of tobacco products and protect the non-smoker, for example, by creating smoke-free workplaces. The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research - TNO (Building and Construction) and the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) have responded to the question proposed on whether or not ventilation and air cleaning can contribute to the reduction of exposure to environmental tobacco smoke in the hospitality industry. This was done through literature reviews on ventilation and air cleaning technologies that could be used in the hospitality industry, and ascertaining to what extent these technologies may help to limit exposure to environmental tobacco smoke. Unfortunately, only a few papers reporting experimental data from the hospitality industry were available to answer the proposed question, so that various sources of knowledge on the different aspects of the problem had to be combined.

Results showed, first, that because environmental tobacco smoke is composed of thousands of chemicals it is unknown to what extent the frequently used individual 'markers', such as nicotine, are well representative of the whole environmental tobacco smoke mixture. The combination of nicotine, 3-ethenylpyridine and PM<sub>2,5</sub> is probably the best. Due to a lack of good markers, few data are available in the literature to help to quantify the reduction of exposure to environmental tobacco smoke by ventilation or air cleaning.

Secondly, from the technologies described that may be suitable for the hospitality industry, it is clear that reduction of exposures to environmental tobacco smoke are only achieved when, in addition to the use of these technologies, major requirements are met in their application, maintenance and inspection. Lack of proper use of sophisticated ventilation and air cleaning technologies will be a serious threat to achieving possible reductions in exposure.

Thirdly, in the review of currently used ventilation and air cleaning technologies, dilution ventilation is shown to be the usual application in the hospitality industry. This technique is based on mixing and diluting the contaminated air with fresh air. In this way the concentration of environmental tobacco smoke drops, depending on the air exchange rate. With normal ventilation several tens of percent of exposure reduction can be achieved. Possibilities to increase the air exchange rate are limited because of the comfort that would otherwise be lost at high air exchange rates. Because exposure concentrations are almost linear to the reciprocal of the air exchange rate for dilution ventilation, higher air exchange rates will always result in higher reduction of the exposure concentrations. The air exchange rate assumed for the hospitality industry is often between 1 and 3 (h<sup>-1</sup>), although the official Dutch construction requirements are approximately to 6 – 7 (h<sup>-1</sup>). The available ventilation systems in the hospitality industry are probably suitable for higher air exchange rates (up to 6 – 10 h<sup>-1</sup>), although incoming air may be heated to prevent discomfort. By increasing the actual ventilation up to the official requirement levels or higher, reduction of the exposure concentration of environmental tobacco smoke of 50% to 90% may, theoretically, be achieved. Experimental data on environmental tobacco smoke in the hospitality industry, in which the effects of ventilation and air cleaning have been investigated, supports this reduction figure.

Fourthly, it was investigated to what extent ventilation systems based on replacement and not dilution can help to reduce exposure to environmental tobacco smoke. It is clear that these systems may provide better results because much higher air exchange rates can be used without losing comfort. These systems, however, are hardly used in the hospitality industry at the moment. Installation and maintenance of the systems are much more expensive than for

traditional dilution systems. There are also high requirements set for use and inspection. Just as for dilution systems, the actual reduction of exposure concentrations is highly dependent on the proper use of the system and the organisational regulations for the hospitality industry that should accompany the ventilation systems.

Fifthly, it was investigated to what extent exposure to environmental tobacco smoke may be reduced by a combination of ventilation and air cleaning, and by ventilation in combination with smoke-free areas. Replacement ventilation can reduce the exposure to environmental tobacco smoke significantly without a physical separation. The total number of smokers and non-smokers is very important, but so is the extent by which replacement ventilation is disturbed by movement of persons or doors, for instance, and the exhalation of tobacco smoke in the breathing zone of the non-smokers. Air cleaning is relatively unimportant in these cases.

Higher reductions with dilution ventilation in combination with air cleaning can be achieved than with ventilation alone. Because replacement ventilation allows higher air exchange rates than dilution ventilation, replacement ventilation in combination with smoke-free areas is the best alternative to reducing exposure of non-smokers to environmental tobacco smoke. Smoke-free areas in combination with dilution ventilation may also work well, but in these cases two separate rooms are required.

In summary, with the use of optimal ventilation (replacement ventilation with correct air exchange rates and separation between smokers and non-smokers areas) and air cleaning, quite considerable reductions of exposure to environmental tobacco smoke can be achieved. The hospitality industry is however, far from achieving this situation. Improving the use of existing equipment can lead to a roughly estimated reduction of several tens of percents. In all cases however, exposure to environmental tobacco smoke will remain. A 'safe' level of exposure – which is not zero – was not found in the scientific literature. For many components of environmental tobacco smoke, such as many genotoxic compounds, the health risk for the population remains, even after a significant reduction of several tens of percent in the exposure concentrations.

Complete risk reduction using ventilation will not be possible. Reduction of the exposure will probably reduce the risk. On the basis of scientific literature, a reduction in the exposure cannot be expected to result in the same reduction of the health risk. As dose–response curves are not known for environmental tobacco smoke, it is not possible to quantify the reduction in the health risk by reducing the exposure of environmental tobacco smoke through ventilation or air cleaning.

# Inhoud

<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>7</b>
<b>1 INLEIDING .....</b>	<b>9</b>
1.1 AANLEIDING.....	9
1.2 OPDRACHT .....	9
1.3 AANPAK .....	9
1.4 MAATREGELEN TER BESTRIJDING VAN BLOOTSTELLING AAN OMGEVINGSTABAKSROOK .....	10
1.5 WERKAFBAKENING RIVM/TNO .....	10
<b>2 OMGEVINGSTABAKSROOK EN GEZONDHEIDSRISICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 BESCHRIJVING VAN DE BRON .....	11
2.1.1 <i>Omgevingstabaksrook</i> .....	11
2.1.2 <i>Deeltjes</i> .....	11
2.1.3 <i>Verouderen van sigaretten rook</i> .....	12
2.1.4 <i>De kwalitatieve samenstelling</i> .....	13
2.1.5 <i>Het kwantificeren van het omgevingstabaksrookmengsel</i> .....	15
2.2 VERSPREIDINGSMECHANISMEN OMGEVINGSTABAKSROOK .....	16
<b>3 VENTILATIE .....</b>	<b>19</b>
3.1 ALGEMEEN .....	19
3.2 VERDUNNINGSVENTILATIE .....	19
3.3 VERDRINGINGSVENTILATIE .....	20
3.4 LOKALE VENTILATIE .....	20
3.5 BEPERKING VAN DE VERSPREIDING VAN OMGEVINGSTABAKSROOK DOOR ZONERING .....	22
<b>4 LUCHTREINIGING.....</b>	<b>23</b>
4.1 MECHANISCH FILTER: ( 20) .....	23
4.2 ELEKTROSTATISCH FILTER (20) .....	24
4.3 ABSORPTIEFILTERS (20) .....	25
4.4 ADSORPTIEFILTER (20).....	25
<b>5 LITERAATUURSTUDIE.....</b>	<b>27</b>
5.1 OMGEVINGSTABAKSROOK:.....	27
5.1.1 <i>Karakteristieke concentraties van omgevingstabaksrookcomponenten in horecagelegenheden</i> ..	27
5.1.2 <i>Sigarettenconsumptie, ventilatie en de resulterende blootstelling aan omgevingstabaksrook</i> .....	28
5.2 VENTILATIE.....	30
5.2.1 <i>Overzicht van geraadpleegde literatuur</i> .....	30
5.2.2 <i>Resultaten</i> .....	30
5.3 REINIGING VAN DE BINNENLUCHT .....	45
5.3.1 <i>Overzicht geraadpleegde literatuur luchtreiniging</i> .....	45
<b>6 ANALYSE.....</b>	<b>53</b>
6.1 VENTILATIE .....	53
6.2 REINIGING .....	54
<b>7 BESCHOUWING .....</b>	<b>59</b>
7.1 BLOOTSTELLING .....	59
7.2 REGELGEVING VENTILATIE.....	61
7.3 ENERGIE .....	62
7.4 COMFORT .....	62
7.5 KOSTEN .....	63
<b>8 CONCLUSIES.....</b>	<b>67</b>
<b>LITERAATUUR.....</b>	<b>71</b>

<b>BIJLAGE 1: BEKNOPT LITERATUUR REVIEW VERDRINGINGSVENTILATIE.....</b>	<b>81</b>
<b>BIJLAGE 2: SCHATTING DOOR TNO-BOUW VAN DE MAXIMAAL TE REALISEREN BLOOTSTELLINGSREDUCTIE.....</b>	<b>87</b>

## Samenvatting

Naar aanleiding van het beleid van de rijksoverheid om het tabaksgebruik te verminderen en de niet-roker te beschermen (bijvoorbeeld door het creëren van rookvrije werkplekken) is de vraag ontstaan in welke mate ventilatie en luchtzuivering kunnen bijdragen aan vermindering van de blootstelling aan omgevingstabaksrook in de horeca. Op basis van beschikbare wetenschappelijke literatuur hebben TNO-Bouw en het RIVM onderzocht welke ventilatie- en luchtreinigingstechnieken in de horeca gebruikt kunnen worden, en in welke mate toepassing van dergelijke technieken reductie van blootstelling aan omgevingstabaksrook kan geven. De resultaten daarvan worden in dit rapport weergegeven.

Helaas is er weinig specifieke literatuur beschikbaar met praktijkgegevens uit de horeca op basis waarvan een helder antwoord gegeven kan worden op de gestelde vraag.

Ongelijksoortige literatuur over verschillende deelaspecten moest derhalve gecombineerd worden.

Ten eerste is in het rapport beschreven hoe omgevingstabaksrook is samengesteld en is nagegaan welke componenten gebruikt kunnen worden als 'marker' voor het kwantificeren van omgevingstabaksrook. Er zijn in omgevingstabaksrook duizenden stoffen en vele deeltjes aanwezig. Het is onbekend in welke mate de gangbare 'markers' een representatief beeld geven van de hoeveelheid omgevingstabaksrook. Het gebruik van de combinatie nicotine, 3-ethenylpyridine en  $PM_{2,5}$  lijkt het best te werken. Mede vanwege het gebrek aan goede markers zijn er niet veel gegevens beschikbaar vanuit de literatuur waarmee het succes van ventilatie en luchtreiniging op reductie van blootstelling aan omgevingstabaksrook in de horeca kan worden gekwantificeerd.

Ten tweede zijn technieken beschreven voor ventilatie en luchtreiniging die gebruikt zouden kunnen worden in de horeca. Hierbij is in beeld gebracht wat de mogelijkheden en de beperkingen van deze technieken zijn. Duidelijk is dat technologische maatregelen voor de reductie van blootstelling aan omgevingstabaksrook gecombineerd moeten worden met strenge eisen aan gebruik, onderhoud, en toezicht. Nalatigheid in het domein van ventilatie en luchtreiniging vormt een ernstige bedreiging voor het realiseren van de haalbare blootstellingsreducties.

Ten derde is nagegaan welke ventilatie- en luchtreinigingstechnieken tot op heden zijn toegepast om blootstelling aan omgevingstabaksrook te reduceren en tot welk resultaat dit heeft geleid. De literatuur op dit gebied is beperkt. Met vigerende ventilatietechnieken in de horeca die gebaseerd zijn op menging en verdunning (denk aan raam- en muurventilatoren bijvoorbeeld) zijn reducties van de blootstelling tot maximaal enkele tientallen procenten te bereiken. Door toenemend gebrek aan comfort (tocht) kunnen de ventilatievouden niet ongehinderd worden verhoogd. Met aanvullende maatregelen (zoals het voorverwarmen van de lucht) kunnen hogere ventilatievouden worden toegepast. Omdat de blootstellingconcentratie in een ruimte bij verdunning en volledige menging omgekeerd evenredig is met de toegepaste ventilatievoud (verversing van de hele ruimte per uur), zal een hogere ventilatievoud resulteren in een grotere blootstellingsreductie. Gangbare ventilatievouden in de horeca liggen waarschijnlijk rond de 1 tot 3  $h^{-1}$ . De eisen in het Bouwbesluit komen neer op circa 6-7 ( $h^{-1}$ ). Zonder aanvullende maatregelen zijn oplossingen mogelijk met circa 6 ( $h^{-1}$ ), terwijl met voorverwarming ventilatievouden tussen de 6-10 ( $h^{-1}$ ) realiseerbaar moeten zijn. In dit laatste geval zal dus ten opzichte van de huidige situatie theoretisch de blootstelling aan omgevingstabaksrook met 50 % tot 90% gereduceerd kunnen worden. Meetgegevens van omgevingstabaksrook in horecagelegenheden waar de ventilatie en luchtreiniging experimenteel zijn onderzocht komen goed overeen met de hierboven genoemde reductiepercentages.

Ten vierde is nagegaan wat ventilatiesystemen die niet gebaseerd zijn op menging, maar op verdringing, kunnen betekenen voor de reductie van blootstelling aan omgevingstabaksrook. Duidelijk is dat dergelijke systemen, die momenteel niet of nauwelijks worden toegepast, een

beter resultaat geven als het gaat om de reductie van stoffen in de lucht. Met verdringingsventilatie kan bovendien het comfort beter worden gehandhaafd bij hoge ventilatievouden. Deze systemen zijn duurder in aanschaf en installatie dan de mengende systemen. Tevens stelt het hogere eisen aan de exploitatie in termen van onderhoud, bediening, en controle. Net zoals bij mengventilatie is ook bij verdringingsventilatie het succes bij het reduceren van de blootstelling aan omgevingstabaksrook erg afhankelijk van organisatorische maatregelen.

Ten vijfde is nagegaan wat luchtreiniging in combinatie met ventilatie, alsmede ventilatie in combinatie met fysieke scheiding (een rokersgedeelte en een niet-rokersgedeelte), betekent voor de reductie van de blootstelling. *Zonder fysieke scheiding*, waarbij dus overall in een horecagelegenheid gerookt kan worden, kan verdringingsventilatie een aanzienlijke reductie geven van de blootstelling. Het aantal rokers in de ruimte is daarbij van belang, alsmede de mate waarin de verdringingsventilatie wordt verstoord door bijvoorbeeld bewegingen van personen of deuren en het uitblazen van tabaksrook in de ademzone van niet-rokers. Luchtreiniging doet er in dit geval niet veel toe. Bij mengventilatie in combinatie met luchtreiniging is een hogere reductie te behalen dan met mengventilatie alleen. *Fysieke scheiding* resulteert bij normale mengventilatie zonder aanpassingen in de regel tot aanmerkelijke vermindering van de blootstelling in het niet-rokersgedeelte. Indien fysieke scheiding wordt gecombineerd met optimale mengventilatie is de concentratie in het niet-rokersgedeelte te beperken tot ongeveer 1 % van die in de rokersruimte. Met verdringingsventilatie zijn nog lagere blootstellingconcentraties te bereiken. Hierbij moet worden benadrukt dat combinaties van fysieke scheiding met ventilatie, of luchtreiniging met ventilatie erg gevoelig zijn voor een correct gebruik, goed onderhoud en handhaving van de organisatorische maatregelen.

Samenvattend, met optimale ventilatie (verdringing met de juiste volumestromen en fysieke scheiding) en luchtreiniging is in principe een aanzienlijke reductie van de blootstelling aan omgevingstabaksrook te bewerkstelligen. De huidige praktijk in de horeca is daar erg ver van verwijderd; bij beter gebruik van de huidige apparatuur is, ruw geschat, een reductie van enige tientallen procenten te realiseren. In alle gevallen zal blootstelling aan omgevingstabaksrook blijven bestaan. Een veilig niveau van blootstelling aan omgevingstabaksrook is niet aan te geven op basis van beschikbare literatuur. Ook bestaan voor een groot aantal componenten in omgevingstabaksrook (zoals tientallen kankerverwekkende/genotoxische stoffen) geen drempelwaarden. Dit betekent dat ook bij reductie van de blootstelling met tientallen procenten er gezondheidsrisico's blijven bestaan. Volledige reductie van de gezondheidsrisico's door ventilatie zal dan ook niet mogelijk zijn. Verlaging van de blootstelling zal waarschijnlijk wel leiden tot vermindering van het risico. Aangezien precieze blootstelling-effect-relaties niet bekend zijn voor omgevingstabaksrook, is echter niet te kwantificeren in welke mate reductie van gezondheidsrisico's daadwerkelijk bereikt kan worden door reductie van de blootstelling.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In het algemeen overleg van 19 november 2003 over de rookvrije werkplek heeft minister Hoogervorst toegezegd dat hij onderzoek zal laten verrichten naar de mogelijkheden om met ventilatie blootstelling aan omgevingstabaksrook te verminderen. Hierbij zou het moeten gaan om een substantiële vermindering van de aanwezige omgevingstabaksrook. Het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport heeft aan RIVM en TNO gevraagd om gezamenlijk een literatuuronderzoek betreffende deze vraagstelling uit te voeren.

## 1.2 Opdracht

De onderzoeksvraag van het ministerie VWS luidt:

‘In welke mate kan ventilatie (al dan niet in combinatie met luchtzuivering) bijdragen aan het reduceren van de blootstelling aan omgevingstabaksrook?’

Deze vraag is geformuleerd met het oog op de uitvoering van de Tabakswet in de horeca. Hierbij gaat het om het verminderen van het gebruik van tabaksproducten en het beschermen van de niet-roker, bij voorbeeld door het creëren van rookvrije werkplekken. De vraag richt zich derhalve ook op omgevingstabaksrook in de horeca.

## 1.3 Aanpak

Dit onderzoek probeert in kaart te brengen in welke mate ventilatie, al dan niet in combinatie met luchtreiniging kan bijdragen aan de vermindering van blootstelling aan omgevingstabaksrook. Daartoe is de beschikbare openbare literatuur bestudeerd alsmede een groot aantal rapporten die door TNO en RIVM zijn verzameld. Het ministerie van VWS en Koninklijk Horeca Nederland hebben literatuur aangedragen voor het onderzoek. In aanvulling op de beschikbare literatuur over omgevingstabaksrook is gebruik gemaakt van de kennis van TNO-Bouw op het gebied van ventilatie, luchtreiniging en blootstelling aan verontreinigingen in de binnenlucht. Dit betreft met name de mogelijkheden tot blootstellingreductie ten gevolge van ventilatiemaatregelen. Daaronder wordt verstaan de effecten van allerlei luchtstromingstechnologieën op de blootstelling aan een verontreiniging in de binnenlucht.

TNO-Bouw is op basis van de beschikbaar gestelde, en andere relevante literatuur, nagegaan welke ventilatietechnologieën toepasbaar zijn om de blootstelling aan omgevingstabaksrook terug te dringen. Daarbij is ventilatie niet uitsluitend gezien als een mengend systeem dat via verdunning de blootstelling verlaagt, maar zijn ook technologieën beschouwd waarbij verdringing en scheiding een rol spelen.

Er is uiteraard een interactie tussen luchtreinigingssystemen en ventilatie. Die interactie is in de beschouwing van dit onderzoek meegenomen. De effectiviteit van de verschillende ventilatie- en luchtreinigingstechnologieën is in dit rapport beschreven.

Het RIVM heeft zich gericht op de karakterisering van omgevingstabaksrook. Naast een beschrijving van de kwalitatieve en kwantitatieve samenstelling van omgevingstabaksrook is aandacht geschonken aan meten van omgevingstabaksrook met behulp van makers.

Representatieve markers zijn nodig om in veldonderzoek te kunnen beoordelen of ventilatie en luchtreiniging een effectieve bijdrage kunnen leveren aan de reductie van de concentraties omgevingstabaksrook en componenten van omgevingstabaksrook. Tevens is door het RIVM een literatuuroverzicht gemaakt van de mate waarin markers van omgevingstabaksrook beïnvloed worden door ventilatie.

Dit onderzoek probeert in kaart te brengen in welke mate ventilatie, al dan niet in combinatie met luchtreiniging kan bijdragen aan de vermindering van blootstelling aan omgevingstabaksrook.

## **1.4 Maatregelen ter bestrijding van blootstelling aan omgevingstabaksrook**

De volgende maatregelen ter beperking van de blootstelling kunnen worden getroffen:

- administratief / organisatorisch / beheer
- bouwkundig
- ventilatie
- reiniging

Organisatorische- of beheersmaatregelen zijn die maatregelen waarbij:

- bedienend personeel met omgevingstabaksrook vervuilde ruimten en zones niet, of heel beperkt, betreedt
- het ventilatiesysteem effectief gebruikt en goed onderhoud wordt door de beheerder van het gebouw; een adequate administratieve registratie van onderhoud en bediening vormt hiervan een onderdeel

Bouwkundige maatregelen zijn maatregelen waarbij via een geheel of gedeeltelijke fysieke scheiding (muren, wanden, schotten et cetera) niet-rokerszones en zones met rokers worden gescheiden.

Ventilatiemaatregelen zijn die maatregelen waarbij bewust luchttoevoer en -afvoer is gepland en gerealiseerd.

De volgende technologische mogelijkheden ter beperking van de blootstelling aan omgevingstabaksrook zijn met betrekking tot ventilatie bestudeerd:

- verdunning
- verdringing
- lokale ventilatie

Reinigingsmaatregelen zijn maatregelen waarbij ter reductie van de blootstelling filtering en/of gasreiniging plaatsvindt.

Verdere uitleg omtrent ventilatie en reiniging is te vinden in de hoofdstukken 3 en 4.

## **1.5 Werkafbakening RIVM/TNO**

- TNO Bouw Ventilatie en luchtreiniging
- RIVM Samenstelling van omgevingstabaksrook
- Interactie ligt op het gebied van de deeltjesgrootte verdeling en ventilatie/reiniging

Het RIVM fungeerde in dit project als hoofdpdrachtnemer.

## 2 Omgevingstabaksrook en gezondheidsrisico

### 2.1 Beschrijving van de bron

Onder de bron van omgevingstabaksrook wordt het roken van tabakswaaren zoals sigaretten, sigaren en pijp verstaan. Daar waar in het rapport verwezen wordt naar sigarettencconsumptie kan in principe ook pijp of sigaar gelezen worden.

#### 2.1.1 Omgevingstabaksrook

Omgevingstabaksrook ontstaat door menging van rook uitgedemd door de roker (hoofdstroomrook) en het vrijkomen van rook aan de brandende uiteinde van de sigaret, sigaar of pijp (zijstroomrook). De zijstroomrook is de voornaamste bron van de omgevingstabaksrook.

De samenstelling van de zijstroomrook is verschillend van die van de geïnhaleerde rook door de roker omdat de verbrandingscondities verschillend zijn. De uitgedemde rook bevat minder stoffen in de gasfase dan omgevingstabaksrook. Beiden hebben een vergelijkbare concentratie aan deeltjes. De contributie van de uitgedemde rook door de roker aan deeltjes in de omgevingstabaksrook is tussen 15 en 43 % (1).

#### 2.1.2 Deeltjes

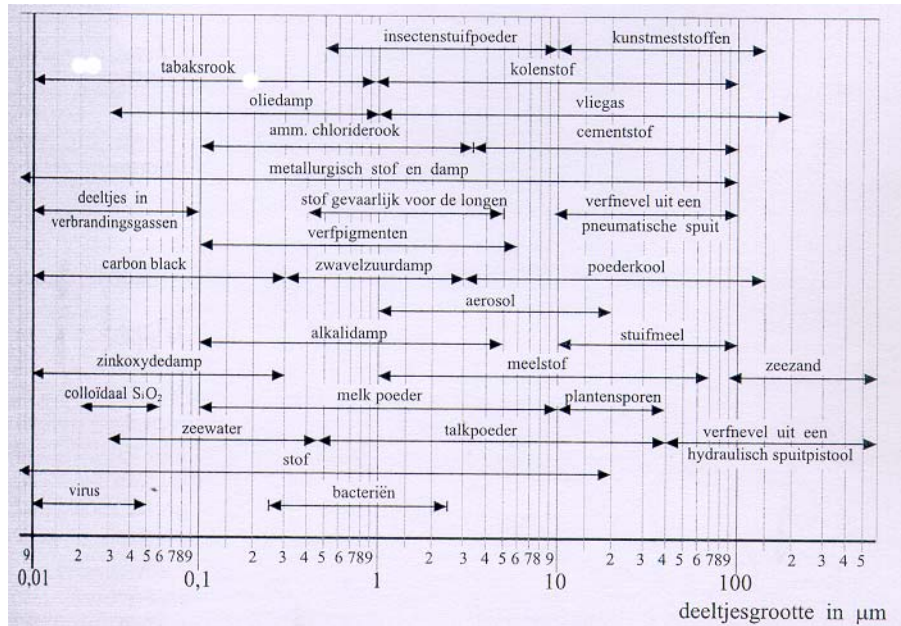
Het zichtbare deel van omgevingstabaksrook bestaat uit fijne deeltjes. Omgevingstabaksrook bestaat uit deeltjes met een grootte van 0,01 – 1 µm. In Figuur 1 is een overzicht gegeven van de deeltjesgrootte van omgevingstabaksrook in vergelijking met andere deeltjes.

Inadembare zwevende deeltjes<sup>1</sup> zijn deeltjes met een diameter kleiner dan 10 µm (PM<sub>10</sub>). De omgevingstabaksrookdeeltjes worden dus tot de inadembare deeltjes gerekend omdat ze kleiner zijn dan 10 µm.

Deeltjes die kleiner zijn dan 2,5 µm worden PM<sub>2,5</sub>deeltjes genoemd. De depositie van de deeltjes in de luchtwegen is afhankelijk van de grootte van de deeltjes. Deeltjes tussen 2,5 µm en 10 µm, alsook deeltjes die kleiner zijn dan 0,1 µm, hebben een grotere kans om achter te blijven in de luchtwegen na inademen (2).

Stoffen die als gas voorkomen en afkomstig zijn van de verbranding van tabak zullen in grotere mate worden gefiltreerd door de luchtwegen dan de deeltjes.

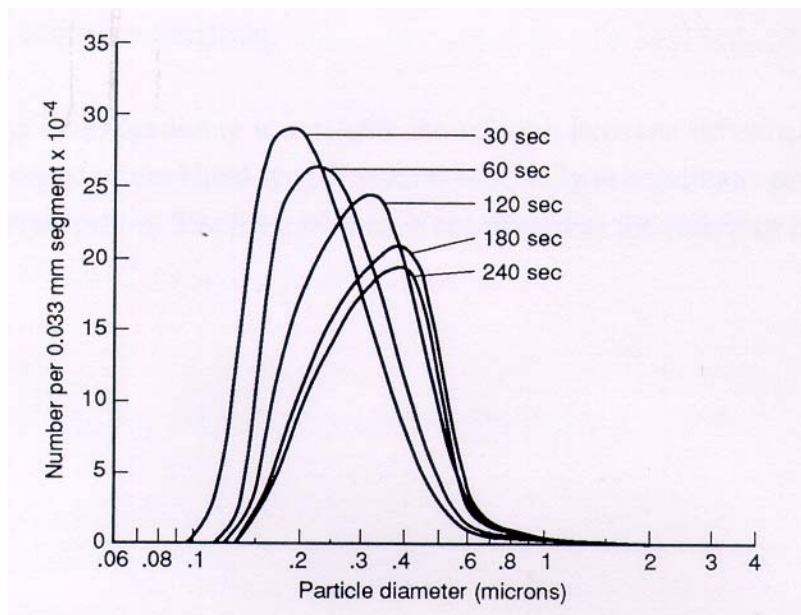
<sup>1</sup> RSP: Respirable Suspended Particles - deze parameters wordt tegenwoordig minder gebruikt dan PM<sub>2,5</sub> of PM<sub>10</sub> om de totale hoeveelheid deeltjes aan te geven van een bepaalde grootte.



Figuur 1: Afmetingen van stofdeeltjes.

### 2.1.3 Verouderen van sigaretten rook

De deeltjesgrootteverdeling is niet constant in de tijd. Deeltjes kunnen groeien door coagulatie (samenklonteren) en door adsorptie van waterdamp of krimpen door verdamping van water en andere vluchtige bestanddelen (3,4). Direct na het ontstaan van omgevingstabakrook verandert de deeltjesgrootteverdeling snel, maar na enkele minuten neemt de snelheid van verandering af (Figuur 2). Gemiddeld worden de deeltjes groter, en wordt door coagulatie het aantal deeltjes minder. Er is weinig bekend over de ultrafijne deeltjes ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ), al is wel duidelijk dat ook dergelijke deeltjes in omgevingstabakrook aanwezig zijn.



Figuur 2: Effect van veroudering sigarettenrook op de deeltjesgrootte-verdeling.

## 2.1.4 De kwalitatieve samenstelling

Bij het roken van tabaksproducten komen enkele duizenden gasvormige stoffen in de lucht, deels door verdamping en deels door (onvolledige) verbranding. Bovendien komen er ook deeltjes in de lucht. Dit zijn onder meer asresten, maar ook deeltjes onverbrande tabak, en tevens ontstaan er deeltjes tijdens het rookproces door coagulatie en sublimatie van rookgassen. De precieze samenstelling van omgevingstabaksrook in een ruimte kan van plaats tot plaats, en tijd tot tijd, verschillen. De stoffen afkomstig van de verbranding van tabak en aanwezig in de omgevingstabaksrook kunnen gebonden zijn aan de deeltjes of als gas voorkomen. Er zijn inmiddels meer dan 4000 stoffen in sigarettenrook geïdentificeerd en er wordt geschat dat er een veelvoud ervan nog geïdentificeerd moet worden (1). Van een aantal stoffen is bekend of wordt vermoed dat ze schadelijk zijn voor de gezondheid (Gezondheidsraad, ref 5). Bepaalde stoffen leiden tot irritaties van de ogen en luchtwegen, andere stoffen zijn toxisch, mutageen, carcinogeen of teratogeen. Er zijn genoeg data verzameld over de schadelijke gezondheidseffecten van de blootstelling aan omgevingstabaksrook. Deze effecten kunnen verdeeld worden in effecten die na kortdurende blootstelling optreden, en in effecten die na langdurige blootstelling optreden. De onderstaande tabel geeft een samenvatting over de korte en lange termijn effecten van de blootstelling aan omgevingstabaksrook (6).

### Korte termijn effecten

#### Bewezen

- Irritatie van de ogen, neus, keel en de onderste luchtwegen
- Verergering van astma
- Toename van infectie van de onderste luchtwegen bij kinderen

#### Sterke aanwijzingen

- Toename van infectie van de bovenste luchtwegen bij kinderen
- Verhoogde kans op hartinfarct bij patiënten met hart- en vaatziekten

### Lange termijn

#### Bewezen

- Toename van chronische ademhalingsproblemen bij kinderen
- Verhoogd risico op longkanker bij niet-rokers volwassenen
- Verminderd geboortegewicht (rokende moeder)

#### Sterke aanwijzingen

- Verminderde long groei bij kinderen
- Verhoogde kans op astma bij kinderen
- Verhoogde kans op bloedingen in het middenoor bij kinderen.
- Toename van de ademhalingsproblemen bij volwassenen
- Verhoogd risico op hart- en vaatziekten

Stoffen die irritaties van de zintuigen en de luchtwegen geven en voorkomen in omgevingstabaksrook zijn onder meer ammonia, acroleïne, koolstofmonoxide, formaldehyde, blauwzuur, nicotine, stikstofoxide, fenol, zwaveldioxide en acetaldehyde (7,8). Meer dan 50 stoffen zijn geïdentificeerd in omgevingstabaksrook die kankerverwekkend zijn. Hiertoe behoren meer dan 35 verschillende soorten polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) (9). Verder komen ook nitrosamines voor in omgevingstabaksrook, waarvan de meeste bekend staan als carcinogeen in dieren (10,11).

Van de meeste van deze klassen van stoffen zijn geen veilige ondergrenzen voor blootstellingen te geven. Dit betekent dat het vrijkomen van deze stoffen in ruimten (ook al is

dit soms in kleine hoeveelheden) resulteert in verhoging van de gezondheidsrisico's. Voor veel stoffen in tabaksrook zijn onvoldoende toxicologische gegevens om vast te kunnen stellen bij welke concentratie een bepaald effect optreedt. Toch mag worden aangenomen dat van veel toxicologisch en farmacologisch actieve componenten (die niet genotoxisch zijn) de blootstelling dusdanig laag is dat geen of beperkte gezondheidseffecten verwacht kunnen worden in rokerige ruimten. Echter, dit geldt niet voor alle stoffen. Potentiële effecten kunnen tijdelijk zijn (zoals irritaties) maar ook irreversibel (zoals genetische mutaties). Er zijn geen gegevens die een goed beeld geven van de combinatie-effecten van rookcomponenten. De precieze effecten van blootstelling aan omgevingstabaksrook en al zijn componenten, is dan ook kwantitatief moeilijk aan te geven.

De Gezondheidsraad heeft in zijn rapport 'Volksgezondheidsschade door passief roken' (Gezondheidsraad, 2003) een kwantitatieve schatting gemaakt van de schade door meeroken. De belangrijkste conclusies, die gelden voor een doorsnee blootstelling aan omgevingstabaksrook, zijn als volgt:

- Er is voldoende bewijs geleverd dat passief roken longkanker kan veroorzaken. De risicoverhoging bedraagt ongeveer 20 procent.
- Er zijn onvoldoende aanwijzingen dat blootstelling aan omgevingstabaksrook de kans op andere vormen van kanker vergroot.
- Het is overtuigend aangetoond dat passief roken tot een hogere kans op hartaandoeningen leidt. De risicoverhoging is 20 à 30 procent.
- Kinderen hebben gemiddeld een lager gewicht en een geringere lengte bij de geboorte als de aanstaande moeders roken of meeroken. De risicoverhoging bedraagt ongeveer 20 tot 40 procent.
- Er zijn aanwijzingen dat zowel prenatale als postnatale blootstelling aan omgevingstabaksrook bepaalde cognitieve vaardigheden (zoals taal- en leervermogen) en gedragskenmerken (zoals activiteit en concentratievermogen) van kinderen negatief beïnvloedt. De mate waarin dit het geval is, kan nog niet goed worden beoordeeld.
- Passief roken leidt tot een grotere kans op (ernstigere) infecties en tot een hogere frequentie van luchtwegsymptomen bij kinderen met en zonder astma. De risicoverhogingen variëren van ongeveer 20 procent tot ongeveer 50 procent, afhankelijk van onder meer de beschouwde effecten, de aard en mate van blootstelling en de leeftijd van de kinderen.
- Er zijn aanwijzingen dat passief roken de kans op chronische luchtwegklachten bij volwassenen (in het bijzonder astmatici) vergroot.

Op basis van becijferingen uit de VS heeft de Gezondheidsraad een schatting gemaakt over de orde van grootte van de sterfte- en ziektelast. Naar schatting is passief roken in ons land jaarlijks de oorzaak van:

- enkele honderden sterfgevallen door longkanker
- enkele duizenden sterfgevallen door hartaandoeningen
- vele tienduizenden gevallen van (meer of minder ernstige) luchtwegaandoeningen bij kinderen

IARC (2004) heeft, na eerdere publicaties over de schadelijkheid van roken en meeroken, recent het effect van meeroken op de gezondheid van de meeroker geëvalueerd en heeft alvast een samenvatting ervan op hun website beschikbaar gesteld vanwege het publieke belang ervan. De belangrijkste conclusies bevestigen de conclusies in het rapport van de Gezondheidsraad. Die zijn:

- Meeroken heeft een verhoogd risico op longkanker van ongeveer 20 % voor vrouwen en 30% voor mannen, wanneer hun partners roken;
- Een niet-roker blootgesteld aan omgevingstabaksrook op zijn werkplaats heeft een geschat verhoogd risico van 16-19 %;
- Het geschatte risico op acute hartaandoeningen bij niet-rokers ligt tussen 25 en 35%.

## 2.1.5 Het kwantificeren van het omgevingstabaksrookmengsel

Er zijn niet alleen veel verschillen, maar ook overeenkomsten in de samenstelling van omgevingstabaksrook. Het totale rookmengsel is zelfstandig niet eenduidig te kwantificeren, gezien de grote hoeveelheid componenten. Daarom worden één of enkele rookcomponenten gebruikt om de hoeveelheid omgevingstabaksrook te kwantificeren in ruimten. De vluchtige stoffen komen voornamelijk voor in de gasfase, terwijl de minder vluchtige stoffen in de deeltjes voorkomen. Daarom worden meestal twee soorten markers gebruikt om de vaste en de gasfase van de omgevingstabaksrook te karakteriseren.

Nicotine en deeltjes (RSP, PM<sub>10</sub> of PM<sub>2,5</sub>) zijn de meest gebruikte markers voor het meten van omgevingstabaksrook voor respectievelijk de gasfase en de vaste fase deeltjes in omgevingstabaksrook: PM<sub>10</sub> is niet specifiek voor tabak en andere bronnen, zoals buitenlucht en koken dragen bij aan de PM<sub>10</sub>. Daarom wordt naar betere markers gezocht voor omgevingstabaksrook. In veel gevallen wordt de voorkeur gegeven aan PM<sub>2,5</sub> (vroeger RSP), hoewel ook voor die markers andere bronnen dan omgevingstabaksrook aanwezig zijn in horecagelegenheden. Om de bijdrage van tabak aan RSP te meten, worden ook de ultraviolet absorptie, de fluorescentie (FPM) en het niet-vluchtige tabak-specifieke solanesol gemeten. Er zijn ISO-methodes beschikbaar voor het meten van de hoeveelheid omgevingstabaksrook door het meten van de bovenstaande parameters (12).

Validatie-experimenten door Nelson (13) gedaan op sigaretten van 8 Europese landen in laboratorium omstandigheden gaven aan dat de verhouding tussen omgevingstabaksrook-RSP en UVPM, FPM en Solanesol gemiddeld 8.2, 45 en 43 respectievelijk waren. Deze parameters bleken een consistente schatting te geven van omgevingstabaksrook-RSP in de Europese landen.

Wanneer in een ruimte gedurende lange tijd wordt gerookt, bleek nicotine in de gasfase een aanvaardbare correlatie te vertonen met omgevingstabaksrook-RSP. De ratio tussen omgevingstabaksrook-RSP en nicotine was ongeveer 10,8.

Nicotine is in het verleden het meest gebruikt als marker, maar ook stoffen als 3-ethenylpyridine en acroleïne zijn gebruikt. Nicotine komt voor 95 % in de gasfase voor en heeft het voordeel dat het specifiek is voor tabak en in grote hoeveelheden voorkomt in omgevingstabaksrook. Het nadeel is echter dat het adsorbeert aan oppervlakken en weer vrijkomt in de lucht ook wanneer er niet gerookt wordt. Een betere marker dan nicotine lijkt 3-ethenylpyridine (14). Dit is een verbrandingsproduct van nicotine en is vluchtiger dan nicotine en adsorbeert minder aan oppervlakken.

Voor zover bekend is er geen systematisch onderzoek gedaan naar de samenhang tussen markerstoffen, en is ook onbekend in welke mate individuele markers een representatief beeld geven voor de omgevingstabaksrook. Zo is bij voorbeeld onbekend of in situaties van de consumptie van nicotine-arme sigaretten, nicotine wel een indicatief beeld geeft van de hoeveelheid deeltjes in de tabaksrook, of van de hoeveelheid carcinogene stoffen. Op basis van een vergelijkbare studie naar het gebruik van verschillende typen deeltjes als markers van omgevingstabaksrook en nicotine en 3-ethenylpyridine, werd geconcludeerd dat minimaal één deeltjesmarker en één gasvormige stof gebruikt moesten worden om indicatief te zijn voor omgevingstabaksrook (15). In dezelfde studie werd geen sterk verband gevonden met concentraties koolstofdioxide en sigarettenconsumptie. In een studie bij 60 horecagelegenheden in Engeland vinden Carrington et al. (17) dat de verdeling van nicotine tussen rook- en rookvrije ruimten erg afwijkt van andere markers van omgevingstabaksrook (voornamelijk deeltjesfracties) en concluderen eveneens dat nicotine een minder geschikte marker is.

Xie et al. (17) hebben 37 rookcomponenten onderzocht in een testruimte. De beste marker leek 2,5 dimethylfuraan te zijn omdat het een component is die weinig gevoelig is voor verschillende soorten en merken sigaretten. Het vertoonde bovendien redelijk goede gelijkenissen met verschillende andere componenten. Naast 2,5 dimethylfuraan vertoonden stoffen als benzeen, styreen, trimethylbenzenen, d-limoneen en 1-ethyl,3-methylbenzeen een goede correlatie met het aantal sigaretten dat in de ruimte werd geconsumeerd. Dit gold niet voor toluen, ethylbenzeen en xyleen omdat daarvoor meerdere bronnen aanwezig waren in de testruimte. Zonder ventilatie in de ruimte leken na afloop van een rookepisode van sommige stoffen, zoals benzeen, toluen en ethylbenzeen de concentraties nog toe te nemen (mogelijk door chemische gasfasereacties) terwijl van andere stoffen de concentraties snel afnamen (d-limoneen, styreen, trimethylbenzeen).

Singer et al. (18) onderzochten 27 rookcomponenten, en concludeerden dat concentraties van alle stoffen vrijwel lineair toenamen met de sigarettconsumptie (5 tot 20 sigaretten per dag in 50 m<sup>3</sup>).

Hoewel 2,5 dimethylfuraan een goede marker kan zijn vanwege zijn fysisch-chemische eigenschappen, is deze stof niet geschikt om studies te vergelijken omdat er geen experimenteel bepaalde concentraties in de horeca zijn. Van nicotine en 3-ethenylpyridine zijn meer gegevens vanuit de horeca bekend. Deze markers zijn echter niet voldoende representatief voor andere soort stoffen in omgevingstabaksrook, zoals nitrosamines en de polycyclische aromatische koolwaterstoffen te monitoren, omdat het fysisch gedrag per stof verschilt (17,19). Singer (19) concludeerde na sorptiestudies van toxische stoffen in sigarettrook, dat ventilatie tijdens roken niet alle stoffen evenredig reduceerde. Een systematisch onderzoek naar een correlatie tussen de ETS-markers en de toxische stoffen ontbreekt. Door het verschillende gedrag van de verschillende stoffen kan monitoring van 1 stofmarker geen uitsluitsel geven over het gedrag van de andere stoffen.

Een combinatie van een marker voor de gasfase-stoffen (zoals 2,5 dimethylfuraan of 3-ethenylpyridine) en een deeltjesmarker (bij voorkeur PM<sub>2,5</sub>) lijkt voor de nabije toekomst de beste oplossing zolang er geen systematisch onderzoek beschikbaar is.

## 2.2 Verspreidingsmechanismen omgevingstabaksrook

Omdat omgevingstabaksrook zowel in de vorm van stofdeeltjes als gasvormige componenten voorkomt zijn de verspreidingsmechanismen als volgt te beschrijven:

- Diffusie op moleculair niveau
- Meevoering via lucht
  - Door het uitblazen van omgevingstabaksrook
  - Door meevoering met lokale luchtstromen in de ruimte
- Adsorptie op vaste vlakken en/of voorwerpen in de ruimte bijvoorbeeld:
  - Wanden
  - Plafonds
  - Inrichtingsmaterialen
  - Kleding
- Desorptie uit vaste vlakken en/of voorwerpen in de ruimte

Na adsorptie kan in bepaalde gevallen desorptie optreden waarbij stoffen opnieuw de ruimte kunnen belasten (14).

Behalve diffusie en meevoering spelen ook de verstoringen een belangrijke rol bij de blootstelling aan omgevingstabaksrook. Bij een goed ontworpen ventilatie systeem zijn de verstoringen waarschijnlijk zelfs bepalend voor de blootstelling. Men dient dus kennis te hebben van de mogelijke verstoringen zoals:



- Obstakels die zich in de luchtstroom bevinden
- Versturende luchtstromingen bijvoorbeeld:
  - Bewegende voorwerpen
  - Bewegende personen
  - Bewegende lichaamsdelen (armen in openingen van bijvoorbeeld een loket)
  - Deurbewegingen

Deze luchtstromingverstoringen kunnen vrijwel nooit door enige ventilatiemaatregel geheel ongedaan worden gemaakt. Wel is het zo dat bepaalde ventilatiemaatregelen meer beïnvloed worden door verstoringen dan andere.



## 3 Ventilatie

### 3.1 Algemeen

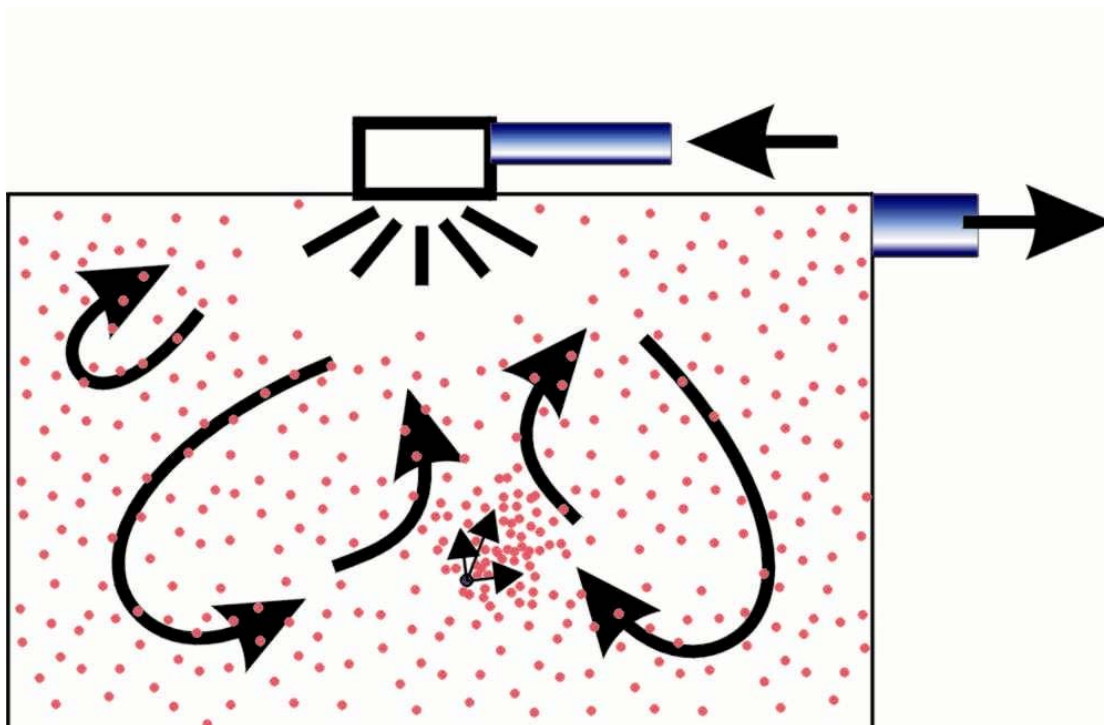
Er zijn verschillende technologische mogelijkheden ter beperking van de blootstelling aan omgevingstabaksrook met ventilatie:

- verdunning
- verdringing
- lokale ventilatie

Deze vormen van ventilatie worden toegelicht in de paragrafen 3.2 tot en met 3.4. In 3.5 wordt ingegaan op zonering die kan worden toegepast in combinatie met ventilatie.

### 3.2 Verdunningsventilatie

Onder verdunningsventilatie wordt verstaan een ventilatiesysteem dat via relatief hoog inducerende roosters lucht toevoert aan de ruimte waarbij vrijwel volledige menging van de lucht optreedt alvorens de lucht weer wordt afgevoerd. Een belangrijk kenmerk van deze technologie is dat behalve dichtbij de lokale verontreinigingsbron de concentratie in de ruimte overal vrijwel gelijk is.



*Figuur 3: Schematische weergave van menging en verdunning*

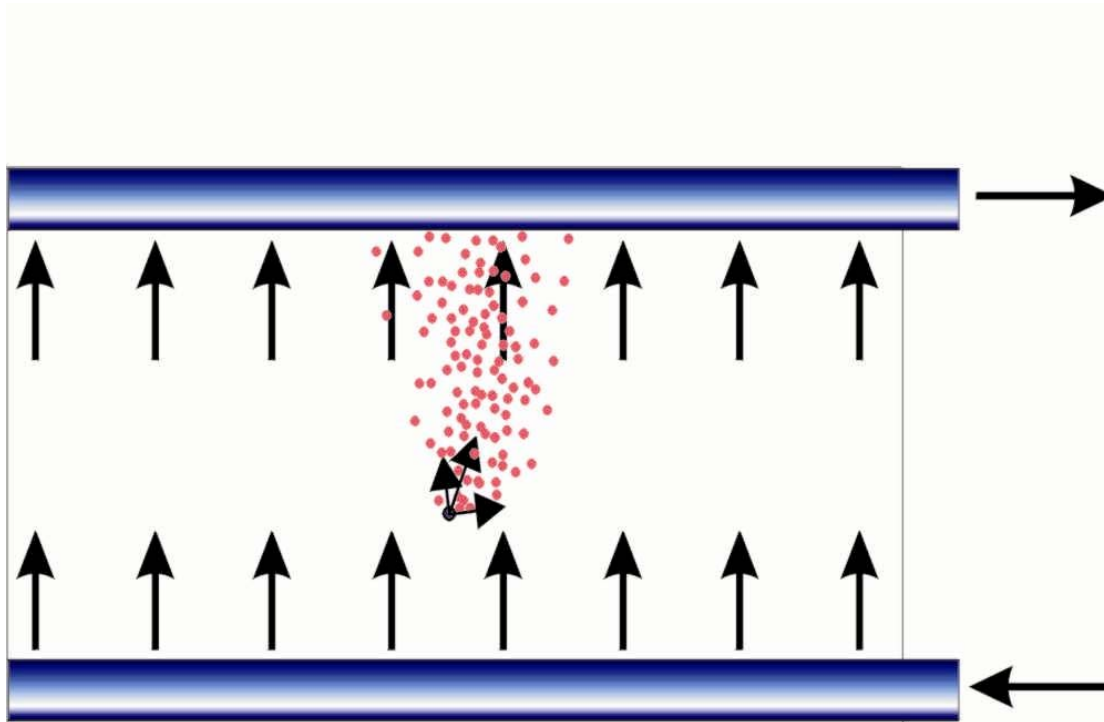
Verdunningsventilatie wordt ook wel mengende ventilatiesystemen genoemd. Dit systeem wordt vandaag de dag verreweg het meest toegepast voor ruimteventilatie in gebouwen en woningen. Bij dergelijke systemen vindt de luchttoevoer en -afvoer dusdanig plaats dat verontreinigingen zich over de ruimte kunnen verspreiden. Hierdoor ontstaat één, min of meer uniform, verontreinigingsniveau in de ruimte. Bij dergelijke systemen kan bij een continue

verontreinigingsbron de blootstelling aan verontreinigingen alleen verminderd worden door het ventilatieniveau te verhogen.

### 3.3 Verdringingsventilatie

Verdringingsventilatie bestaat uit een luchttoevoer die zodanig is ingericht dat vermenging van de toegevoerde lucht met omgevingslucht tot een minimum wordt beperkt. Bij verdringingsventilatie kunnen concentraties van stoffen in een ruimte zeer verschillen. Op de plaats van de bron en langs de stroombaan van de verdunning is de concentratie het hoogst terwijl in een ernaast gelegen traject de concentratie beduidend lager zal zijn. Dit betekent dat er spraken kan zijn van een 'vuile' zone naast een 'schone', in dezelfde ruimte (bijvoorbeeld een rokers- en niet-rokerszone).

Bij verdringingsventilatie wordt met de opzet én de regeling van het ventilatiesysteem ernaar gestreefd zoveel mogelijk een luchtstroming in een zelfde richting en met een zelfde snelheid in een ruimte te onderhouden.



*Figuur 4: Schematische weergave van volledige verdringing*

Het streven is dus dat de ventilatielucht als het ware als een zuiger de ruimte doorstroomt en hierbij de verontreinigingen verdringt. De effectiviteit van verdringing is sterk afhankelijk van de hoogte van het ventilatieniveau.

### 3.4 Lokale ventilatie

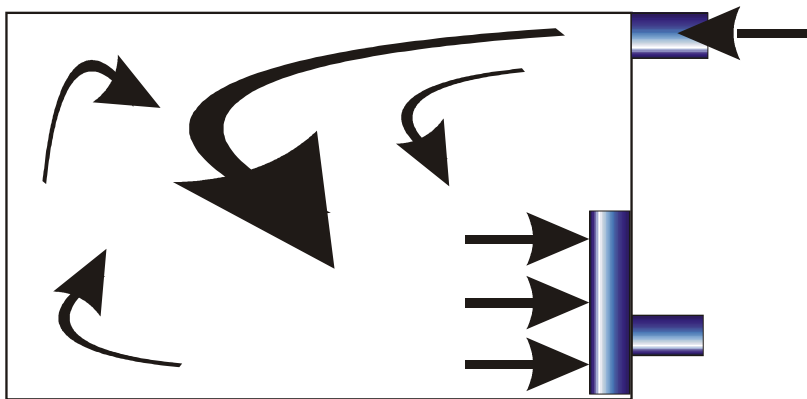
De meest eenvoudige vorm van lokale ventilatie is lokale afzuiging nabij de bron. Met lokale afzuiging wordt gestreefd de verontreinigingen zo dicht mogelijk bij de bron te 'vangen' en af te voeren. De emissie in de ruimte door de bron wordt hiermee dus gereduceerd.

Lokale toevoer ter afscherming van de bron is echter ook een vorm van lokale ventilatie.

De meest effectieve vorm van lokale ventilatie is echter lokale bronafzuiging ondersteund door luchtstralen ten behoeve van bronafscherming.

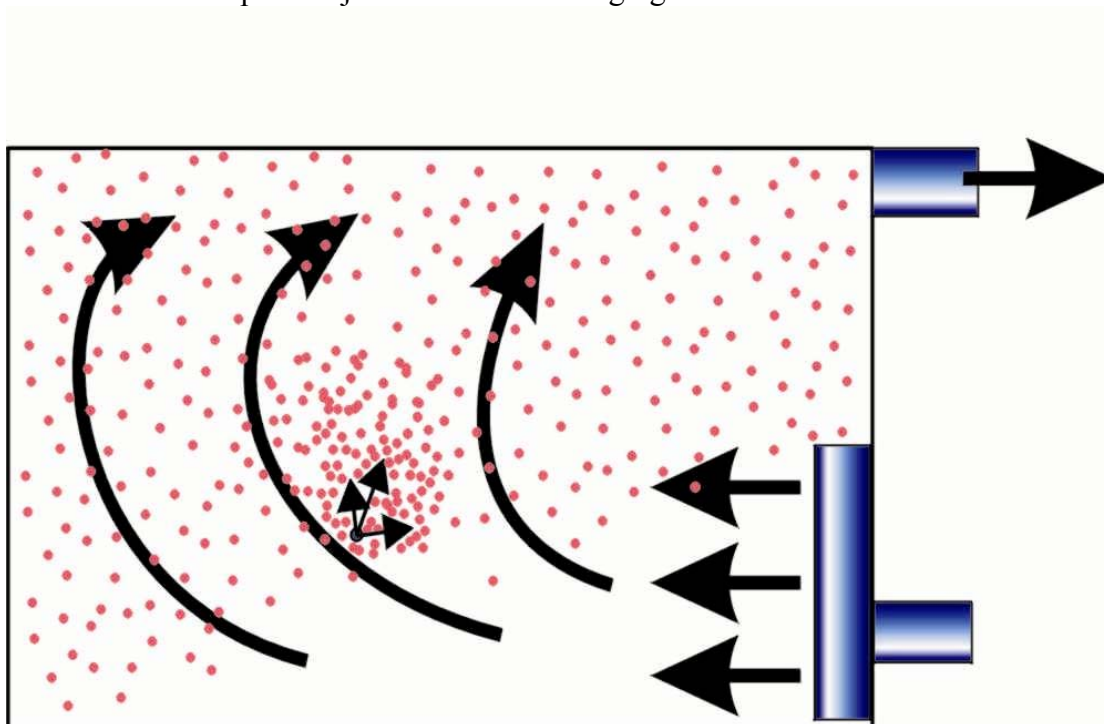
Een belangrijke eigenschap van lokale ventilatie is dat een bepaalde verontreinigingsbron zich slechts verspreid in een beperkt deel van de ruimte. Bij omgevingstabaksrook betekent dit dat alleen op specifieke plaatsen gerookt mag worden. Lokale afzuiging dient dan dicht bij de verontreinigingsbron plaats te vinden. Voor lokale verdringing geldt dat de toevoer in de schone zone plaats moet vinden.

In zijn algemeenheid geldt echter dat de effectiviteit van de afzuiging sterk afhankelijk is van de plaats en grootte van de afzuigstromen.



*Figuur 5: Schematische weergave van lokale afzuiging*

Soms kan er ook sprake zijn van lokale verdringing



*Figuur 6: Schematische weergave van lokale verdringing*

Luchtgordijnen zijn uitvoeringsvormen van lokale verdringing. Hierbij wordt gericht en met verhoogde snelheid lucht ingeblazen over een doorsnede, waardoor als het ware een luchtscherm ontstaat dat verspreiding van verontreinigingen tegengaat. Vaak wordt een luchtgordijn toegepast in combinatie met zonering. Door het luchtgordijn wordt het doorstroomoppervlak tussen de zones verkleind, waardoor de kans op verstoringen (luchtstromingen in de verkeerde richting) verminderd wordt.

### **3.5 Beperking van de verspreiding van omgevingstabaksrook door zonering**

Hierbij wordt een 'schone' (bijv. niet-rokers) zone en 'vuile' (bijv. rokers) zone gedefinieerd. De ventilatielucht wordt toegevoerd in de "schone" zone en afgezogen uit de 'vuile' zone. Beoogd wordt op het scheidingsvlak tussen de beide zones zoveel mogelijk een luchtstroming te garanderen van de 'schone' naar de 'vuile' zone om zo verspreiding van verontreinigingen naar de 'schone' zone tegen te werken. Per zone kan het ventilatiesysteem mengend of verdringend zijn. Fysieke afscherming vormt, in geval van zonering, een effectieve mogelijkheid om het doorstroomoppervlak (uitwisselingsoppervlak) tussen de zones te beperken en zo de afscherming te verbeteren. Denk hierbij aan doorgeefluiken bij balies en dergelijke. Ook kan hierbij gedacht worden aan volledige fysieke afscherming in geval van bijvoorbeeld aangewezen rookruimten in een gebouw.

## 4 Luchtreiniging

Reinigingsmaatregelen zijn maatregelen waarbij ter reductie van de blootstelling filtering en/of gasreiniging plaatsvindt. Voor de reiniging van gassen en deeltjes kunnen verschillende technieken worden toegepast. Sommige technieken zijn beter geschikt voor de reiniging van gassen, terwijl andere geschikter zijn voor deeltjes.

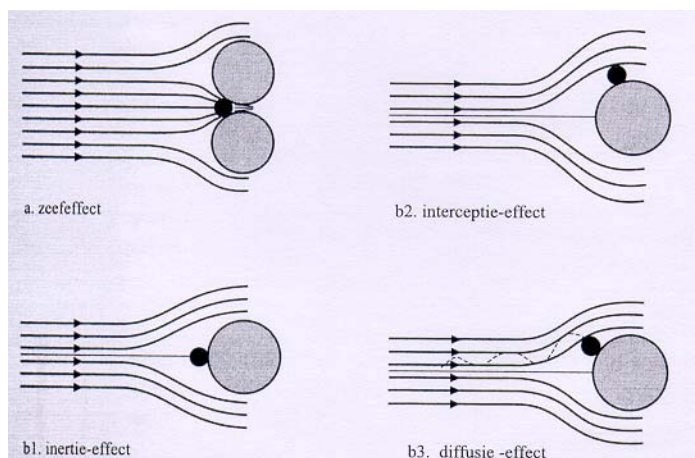
Het ISSO handboek installatietechniek [20] geeft ook een goed overzicht over de verschillende filterprincipes:

1. mechanisch;
2. elektrostatisch;
3. absorptie;
4. adsorptie.

### 4.1 Mechanisch filter: ( 20)

Mechanische filtering wordt op grote schaal toegepast in luchtbehandelingkasten. Bij deze filters berust de werking op:

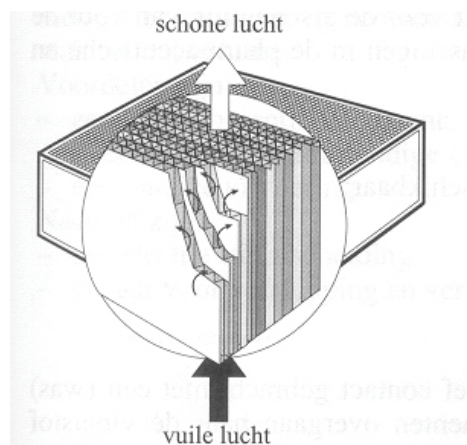
- a. het zeven. Als de afmetingen van de deeltjes groter zijn dan de openingen van het filtermedium, worden deze tegen gehouden. Zie Figuur 7 a
- b. het botsen. Stofdeeltjes worden met de luchtstroom meegenomen. In Figuur 7 b1 tot en met b3 wordt deze luchtstroom aangegeven door stroomlijnen. Er treden de volgende situaties op:
  - b1. de deeltjes vliegen rechtdoor, het traagheids- of inertie-effect;
  - b2. de deeltjes worden gedeeltelijk door de afbuigende luchtstroom meegenomen en worden door de vezels aangetrokken (van der Waalskrachten ed.);
  - b3. zeer kleine deeltjes hebben door de botsing met luchtmoleculen een zogenaamde Brownse beweging, waardoor zij schijnbaar een grotere afmeting hebben. De onder b1 en b2 beschreven verschijnselen treden op.



*Figuur 7a en b1 t/m 3: Principes van mechanische filters.*

Een veelvuldig toegepast filter in luchtreinigers is het HEPA-filter. HEPA-filters (High Efficiency Particulate Airfilters) zijn gedefinieerd als een filters met een rendement van minstens 99,97% voor deeltjes groter dan 0,3  $\mu\text{m}$ . Het filter bestaat uit een omkasting, waarin

het filterpakket is gelijmd. Op alle vier de zijvlakken van het filterpakket is lijm aangebracht om een lekvrije afdichting te krijgen. Het pakket bestaat meestal uit een zig-zag gevouwen filtermedium waarbij iedere plooi die door het vouwen is ontstaan door een gegolfde separator, zowel aan de vuile als aan de schone luchtzijde wordt opgehouden. Zie Figuur 8



Figuur 8 : HEPA filter.

Door het filtermateriaal te vouwen wordt in verhouding tot het aanstroomoppervlak een groot filteroppervlak verkregen. Als filtermedium wordt meestal glasvezelpapier toegepast. De drukval is bij aanvang 150 – 200 Pa en neemt bij gebruik toe tot ca. 600 – 1000 Pa, waarna het element vervangen dient te worden. Het vangstcijfer wordt gewoonlijk bepaald volgens NEN-EN 1822-1. Hierbij hoort een indeling in klassen. Zie Tabel 1.

Tabel 1: Klasse indeling van HEPA en ULPA filters

Filterklasse (NEN-EN 1822-1)	Gemiddeld rendement over heel filteroppervlak in [%]	Vergelijkbare klasse volgens	
		EUROVENT	DIN 24183
H10	85	EU 10	Q
H11	95	EU 11	R
H12	99,5	EU 12	S
H13	99,95	EU 13	S
H14	99,995	EU 14	ST
U15	99,9995	EU 15	T
U16	99,99995	EU 16	U
U17	99,999995	EU 17	V

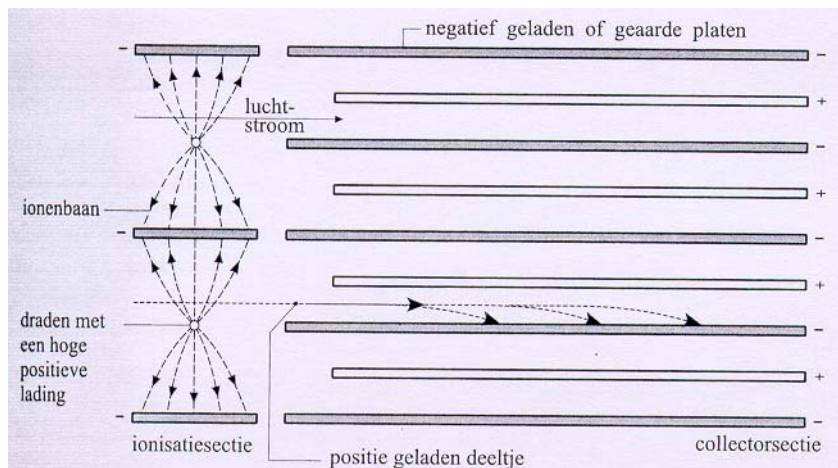
HEPA: High Efficiency Particulate Air Filter

ULPA: Ultra Low Penetration Air Filter

## 4.2 Elektrostatisch filter (20)

In een elektrostatisch filter worden de stofdeeltjes elektrisch opgeladen en vervolgens door middel van een elektromagnetisch veld van baan veranderd en opgevangen op platen. Zie Figuur 9.





Figuur 9: Principes van elektrostatische filters.

In de eerste sectie, de ionisatiesectie, worden de deeltjes elektrisch geladen in het spanningsveld dat aanwezig is tussen de ionisatiedraden en de gearde platen. Deze geladen deeltjes komen nu in de collectorsectie; deze bestaat uit een aantal parallel geplaatste metalen collectorplaten, afwisselend gearde of aangesloten op een hoge spanning. De positief geladen deeltjes worden op de positief geladen platen afgestoten en op de gearde platen neergeslagen. De adhesiekrachten, al of niet geholpen door een stofbindmiddel, houden de deeltjes op hun plaats.

### 4.3 Absorptiefilters (20)

Het is gebruikelijk om dit type zo te noemen als de chemische binding overheerst. Het absorptiemateriaal is geïmpregneerd. De gasvormige componenten worden door de chemische omzetting aan het impregneermiddel gebonden. Desorptie zal niet optreden. Dit type filter wordt vaak gebruikt voor het vangen van één of meer specifieke verontreinigingen.

### 4.4 Adsorptiefilter (20)

Het adsorberende medium is hier vrijwel altijd actieve kool. Ten gevolge van het zeer grote oppervlak van de poreuze kool (ca 1000 m<sup>2</sup>/g) worden de gasvormige verontreinigingen door moleculaire krachten aan dit oppervlak gebonden. In het algemeen bindt de actieve kool van een adsorptiefilter een gas of damp beter aan zich naarmate het moleculair gewicht groter is. Bij een wisselend aanbod van gasvormige verontreinigingen, verdringen zwaardere moleculen eerder lichtere moleculen en treedt desorptie op. Desorptie zal eveneens op kunnen treden bij verandering van relatieve vochtigheid en bij temperatuurschommelingen. Actieve kool is in vele uitvoeringsvormen – bijvoorbeeld poeder, korrels en staafjes – verkrijgbaar, terwijl de kool op diverse manieren kan zijn geïmpregneerd. De volgende types worden toegepast:

- Platenadsorber, deze bestaat uit tot platen geperste actieve-koolkorrels, die in een raamwerk worden geplaatst. Dikte van 15 à 30 mm.
- Mattenfilter, hierin wordt poedervormige of gegranuleerde actieve kool opgesloten in compartimenten van vezelvormig poreus materiaal, dikte ca 20 mm.
- Patronenfilters, deze zijn opgebouwd uit een aantal patronen die door middel van schroefdraad op een grondplaat worden geschroefd. Deze worden bij hogere concentraties toegepast.

De effectiviteit van een filter kan worden uitgedrukt in het begrip Schone lucht Debiet (Clean Air Delivery Rate, CADR). Het CADR is het product van efficiëntie en volumedebiet door het filterapparaat. Het CADR correspondeert met een reductie in stof deeltjes in een kamer tot een gelijke concentratie als die bereikt zou zijn door het toevoegen van een schone luchtstroom (vrij van deeltjes). De CADR is afhankelijk van het stromingspatroon in een ruimte, daarom zijn CADR's gemeten in verschillende kamers of op verschillende posities in dezelfde kamer niet zonder meer vergelijkbaar.

## 5 Literatuurstudie

### 5.1 Omgevingstabaksrook:

#### 5.1.1 Karakteristieke concentraties van omgevingstabaksrookcomponenten in horecagelegenheden

Nicotine wordt het meest gebruikt als omgevingstabaksrookmarker. De meeste sigaretten bevatten tussen de 0,5 en 1,6 mg nicotine per sigaret, het gemiddelde ligt rond de 0,8 mg (21). Uit verschillende internationale studies naar de hoeveelheden omgevingstabaksrook in horecagelegenheden kunnen indicatieve niveaus van nicotine worden afgeleid (15, 22, 23, 24, 25). Voor verschillende restaurants waar gerookt mag worden zijn de niveaus meestal tussen de 2 en 8  $\mu\text{g per m}^3$ . In bars en cafe's is de concentratie meestal tussen de 8 en 30  $\mu\text{g per m}^3$  terwijl in drukke bars en disco's de concentratie op kan lopen tot boven de 50  $\mu\text{g per m}^3$  (met extremen tot 300  $\mu\text{g per m}^3$ ). Een en ander hangt natuurlijk volledig af van de drukte (aantal personen per  $\text{m}^2$  en  $\text{m}^3$ ), de mate van ventilatie en de mate waarin gerookt wordt. Cenko et al.(26) vindt 7  $\mu\text{g}$  in restaurants en 15  $\mu\text{g per m}^3$  in rookgedeelten van bars.

Koolmonoxide wordt geproduceerd tijdens het roken van tabak, en is een tweede stof die vaak als marker wordt gebruikt voor de kwantificering van omgevingstabaksrook. Hoewel relatief veel CO wordt geproduceerd bij het roken van tabak (5,9 tot 17,4 mg/sigaret; ref 21), kent CO ook vele andere bronnen. Ook bij het koken en bakken van eten wordt CO geproduceerd, waardoor het minder gemakkelijk is een verband te leggen tussen CO-niveaus en omgevingstabaksrookproductie (22). Voor restaurants zijn in verschillende studies niveaus gerapporteerd tussen tot maximaal 25  $\mu\text{g per m}^3$ . Voor bars en cafe's tussen de 15 en 65  $\mu\text{g per m}^3$ , terwijl voor disco's en drukke bars de concentratie nog hoger op kan lopen. In andere studies worden lagere concentraties gerapporteerd (27)

Koolstofdioxide wordt in verschillende publicaties over omgevingstabaksrook en ventilatie ook gebruikt als marker (22, 25). CO<sub>2</sub> wordt echter meer gebruikt als marker voor ventilatie, dan als marker voor omgevingstabaksrook. Op plaatsen waar geen rookverbod geldt zal de aanwezigheid van veel CO<sub>2</sub> in de lucht indicatief kunnen zijn voor de aanwezigheid van veel mensen (en dus van veel rokers), maar een direct verband tussen CO<sub>2</sub>-niveaus en omgevingstabaksrook is niet persé aanwezig. Ook in rookvrije ruimten waar mensen aanwezig zijn, zullen CO<sub>2</sub> niveaus verhoogd zijn als er beperkt geventileerd wordt. Hetzelfde geldt voor de luchtvochtigheid. Er zijn nauwelijks verschillen tussen rook- en rookvrije ruimten te verwachten. Cairns et al.(25) vonden in het rokersgedeelte van bars in Australië gemiddelde concentratie van 1700 mg per  $\text{m}^3$  en 1800 mg per  $\text{m}^3$  in het niet-rokersgedeelte. De concentratie in de buitenlucht was lager, namelijk 1200 mg per  $\text{m}^3$ .

Deeltjes: PM<sub>2,5</sub> is, in tegenstelling tot PM<sub>10</sub> wel een redelijke goede marker voor omgevingstabaksrook. Cenko et al. (26) vinden voor PM<sub>10</sub> rond de 225  $\mu\text{g per m}^3$  in rookgedeelten van restaurants, tegen 192  $\mu\text{g per m}^3$  in rookvrije gedeelten. Cairns et al. (25) vonden vergelijkbare waarden in de niet-rokers gedeelten van Australische bars (gemiddelde 210  $\mu\text{g per m}^3$ ). In de rokers gedeelten van de bars vonden zij ongeveer het dubbele (460  $\mu\text{g per m}^3$ ). In alle metingen vonden zij een erg grote variatie. De concentratie in de buitenlucht was ongeveer 61  $\mu\text{g per m}^3$ .

Maximalconcentraties in drukke bars kunnen aanzienlijk hoger zijn dan de bovengenoemde gemiddelden. Er zijn echter te veel PM<sub>10</sub> bronnen om deze marker te gebruiken voor omgevingstabaksrook. Junker et al. (27) hebben PM<sub>9</sub> gebruikt als marker, hoewel deze

parameter dezelfde beperkingen heeft als  $PM_{10}$ . Opmerkelijk is echter dat de  $PM_9$  marker een correlatie vertoonde met de aanwezigheid van kankerverwekkende polycyclische aromatische koolwaterstoffen. Concentraties van deze laatste stoffen waren allemaal onder de  $1 \mu\text{g per m}^{-3}$ , maar de concentraties in de binnenlucht namen toe met toenemend aantal deeltjes in de lucht.

Er is ook geen directe relatie met nicotine of andere markermarkers. Er zijn geen systematische gegevens voor het gebruik van  $PM_{2,5}$  als marker voor omgevingstabaksrook. Voor RSP (wat overeenkomt met  $PM_{2,5}$ ) zijn meer gegevens beschikbaar. In restaurants waar gerookt mag worden zijn concentraties gevonden tussen de 25 en  $200 \mu\text{g m}^{-3}$ . In ruimten waarin niet gerookt mag worden zijn de concentraties meestal tussen de 20 en de  $80 \mu\text{g m}^{-3}$ . In rokerige bars en lounges loopt de concentratie op tot enkele honderden microgrammen per kubieke meter. De hoogste waarden liggen rond de  $800 \mu\text{g per m}^{-3}$  (overzicht in Moschandreas en Vuilleumier (24).

### 5.1.2 Sigarettenconsumptie, ventilatie en de resulterende blootstelling aan omgevingstabaksrook

Uit recent onderzoek van Rojas-Bracho et al. (2004) is gebleken dat de individuele blootstelling van personen aan kleine deeltjes (kleiner dan 2,5 micrometer) voor een belangrijk deel afhangt van de tijd die een persoon doorbrengt in de directe nabijheid van een roker. Voor grotere deeltjes, die weinig voorkomen in tabaksrook, bleek deze rokers-nabijheid, zoals verwacht, geen belangrijke rol te spelen. Naast de aanwezigheid van rokers, speelden ook gemiddelde buitenluchtconcentraties en betrokkenheid in het verkeer een belangrijke rol bij de totale  $PM_{2,5}$  blootstelling. Een en ander is gemeten door gebruik te maken van 'personal monitors'.

Naast directe blootstelling aan omgevingstabaksrook kan ook 'indirecte blootstelling' een belangrijke rol spelen voor verschillende componenten. In een recente studie van Singer et al. (18, 19) naar het gedrag van verschillende gasvormige organische componenten in geventileerde horecagelegenheden is gebleken dat gasvormige componenten die goed aan oppervlakken adsorberen, zoals nicotine en 3-ethenylpyridine zich anders gedragen in het binnenmilieu dan vluchtige slecht adsorberende stoffen als 3-dibutadien, benzeen en acroleïne. Ook het gedrag van de weinig-vluchtige stoffen als fenol, verschillende cresol en naftalenen was duidelijk afwijkend. De vluchtige stoffen zoals 3-dibutadien, benzeen en acroleïne gedroegen zich 'ideaal', hetgeen betekent dat de blootstellingsconcentratie in de horecagelegenheden evenredig veranderde met de sigarettenconsumptie en omgekeerd evenredig met het ventilatievoud. In periodes van 'niet-roken' daalden de concentraties van deze stoffen naar achtergrondwaarden die overeenkomen met de ventilatiemodellen. Voor de adsorberende stoffen zoals nicotine en de weinig-vluchtige stoffen zoals naftaleen waren deze dalingen echter veel minder in rookvrije periodes. Bovendien nadat in een ruimte gestart werd met een dagelijks terugkerend rookregime (4 uur roken – 20 uur niet) bleken in de loop van de tijd de concentraties van verschillende rookgasstoffen toe te nemen tijdens alle fasen van het rookregime. Na ongeveer twee weken werden de dagelijkse patronen stabiel (dus na iedere cyclus van 20 + 4 uur waren de concentraties van de stoffen ongeveer gelijk). De concentraties nicotine, 3-ethylperidine, fenol, cresol, naftaleen en methylnaftalenen was 2 tot 3 keer hoger dan in tijdens en na een ééndaagse rooksessie. De onderzoekers concludeerden op basis van deze metingen dat 1) een niet-roker die een ruimte inkomt nadat er gerookt is meer blootgesteld wordt dan meestal werd aangenomen, en 2) niet-rokers niet alleen worden blootgesteld ten gevolge van directe emissie, maar ook door re-emissie van 'oude-omgevingstabaksrook'. Deze 'indirecte' blootstelling is belangrijker voor stoffen die adsorberen, dan voor stoffen die niet adsorberen. Bovendien is het probleem groter bij geringe

ventilatie dan bij sterke ventilatie – hoewel voor alle gebruikte ventilatievouden de indirecte blootstelling aan nicotine omvangrijk bleef. De nicotineconcentratie, en die van verschillende andere stoffen, was ook drie dagen nadat gestopt was met roken nog beduidend hoger dan voordat gestart werd met roken. Met lage ventilatievouden ( $0,2 \text{ h}^{-1}$ ) werden aanmerkelijk hogere restconcentraties gevonden dan met hogere ventilatievouden ( $2 \text{ h}^{-1}$ ). Bovendien hing het ventilatiesucces een beetje af van de wand en vloerbedekking van de ruimte.

Chao en Cheng (29) toonden aan dat deeltjes met diameters rond de 1 micrometer (redelijk karakteristiek voor omgevingstabaksrook) weinig depositie vertonen. Hierdoor zou luchtreiniging van deze deeltjes bemoeilijkt kunnen worden, terwijl deze deeltjes lang in circulatie blijven. Deze bevindingen worden ondersteund door Jamriska en Morawska (4) die valsnelheden van verschillende deeltjes (onder meer van omgevingstabaksrook) hebben bepaald. Zij concludeerden tevens dat maximaal 20 % van de tabaksdeeltjes door depositie uit de lucht verdwijnen als gemiddelde normale ventilatie wordt gebruikt (ventilatievoud  $1,3 \text{ h}^{-1}$ ).

Stoffen, waaronder oorspronkelijk gasvormige tabakscomponenten, die aan deze deeltjes gesorbeerd zijn, zouden daardoor gecumuleerd kunnen worden in de binnenlucht van ruimten waarin gerookt wordt. Re-emissie kan vervolgens ontstaan van stoffen die zijn geadsorbeerd aan kleine deeltjes in de lucht.

Carrington et al. (16) hebben in 60 horecagelegenheden onderzoek verricht naar de effecten van rookvrije ruimten op concentraties van verschillende omgevingstabaksrookmarkers, alsmede de effecten van ventilatie daar op. Zij vonden dat nicotineconcentraties in gelegenheden waar gerookt mag worden iets hoger zijn (gemiddeld bijna  $93 \mu\text{g per m}^{-3}$ ) dan die in de rookgedeelten van horecagelegenheden waar ook rookvrije ruimten zijn (gemiddeld  $78,5 \mu\text{g per m}^{-3}$ ). Ook voor andere markers van omgevingstabaksrook verschillen concentraties in rokersgedeelten van gemengde gelegenheden en gelegenheden waar volledig gerookt mag worden. De concentraties in ‘gewone’ gelegenheden (waar dus overall gerookt mag worden) zijn ook hoger dan die in rokersgedeelten van ‘gemengde’ gelegenheden (waar dus een rookvrije ruimte of zone aanwezig is, en waar in andere gedeelten gerookt mag worden). Dit zou kunnen komen door dat rokers minder geneigd zijn naar ‘gemengde’ gelegenheden gaan. Een andere verklaring die zij geven is echter dat er rook verdund wordt in de ‘gemengde’ gelegenheden met schone lucht uit de niet-rokersgedeelten. Een belangrijk argument voor dit laatste is dat niet alle markers van omgevingstabaksrook evenredig verschillen in de verschillende locaties, wat verklaard kan worden uit de verschillen in fysisch en fysisch-chemisch gedrag van de markers.

Akbar-Khanzadeh (30) rapporteert voor een aantal horecagelegenheden de effecten van ventilatie op de blootstellingsconcentratie van nicotine. Bovendien worden de concentraties van een nicotinemetaboliet (cotinine) in het bloed van eigenaren, medewerkers en bezoekers in respectievelijk restaurants gerapporteerd. De blootstelling aan omgevingstabaksrook met substantieel hogere nicotineniveaus in ruimten waar gerookt mag worden resulteert in significant hogere concentraties cotinine in het bloed. Daarnaast correleert een langere aanwezigheid in rookruimten met hogere cotinineconcentraties in het bloed. Dit betekent dan ook dat medewerkers de hoogste cotinineniveaus hebben, de eigenaren iets lagere en vrijwilligers (gasten) de laagste. Er is geen onderscheid bekend in de cotinineniveaus tussen personen in rokersgedeelten en rookvrije ruimten.

Besaratinia et al. (31) toonden aan dat na verblijf in een rookruimte van een café gedurende drie uur, duidelijke stijging van de concentraties nicotine en cotinine in het bloed van niet-rokers aantoonbaar was. Tevens toonden zij aan dat er inductie optrad van de vorming van rook-gerelateerde DNA-adducten in het speeksel van niet-rokers. Dergelijke DNA-adducten worden meestal gezien als een eerste stap in het proces dat tot tumorvorming aanleiding kan geven. De adducten konden wel in geïnduceerd speeksel worden aangetoond (uit de mondholte), maar niet in het perifere bloed van de vrijwilligers.

## 5.2 Ventilatie

### 5.2.1 Overzicht van geraadpleegde literatuur

Tabel 2: Classificatie van de literatuur omtrent ventilatie in relatie tot omgevingstabaksrook.

Classificatie nr. <sup>(1)</sup>	Literatuurverwijzing <sup>(2)</sup>
1	15b, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38a, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51,
2	30, 55, 56, 57, 58 a/b/c, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72,
3	73, 74, 75, 76, 77

- opm.: (1) toelichting classificatie:
- 1: 'wetenschappelijk' artikel, waarmee in dit verband onder meer bedoeld wordt een goed onderbouwd en goed uitgevoerd onafhankelijk onderzoek c.q. artikel met duidelijk omschreven uitgangspunten en resultaten;
  - 2: artikel met bruikbare resultaten, maar een minder wetenschappelijk karakter. Deze artikelen worden, rekening houdend met het voorgaande, gebruikt in de evaluatie;
  - 3: artikel beschouwd als niet bruikbaar en/of niet relevant voor het onderhavige onderzoek omtrent ventilatie in relatie tot roken.
- (2) zie bijlage .

### 5.2.2 Resultaten

In het navolgende worden in tabel 2 de belangrijkste bevindingen per literatuurverwijzing (zie kolom 1) samengevat weergegeven.

Het betreft hier, voor zover van toepassing:

- in kolom 2: onderzoekswijze van het artikel, bijvoorbeeld:
  - algemene beschouwingen c.q. literatuurstudies (a)
  - technische beschouwingen (t)
  - rekenstudie c.q. modelonderzoek (r)
  - laboratoriummetingen (l)
  - praktijkmetingen (p)
  - veldonderzoek, enquêtes en dergelijke (v)
  - wetgeving, normen (w)
  - handboek (h)
- in kolom 3: het beschouwde ventilatiesysteem (zie omschrijving hiervoor):
  - 1 : mengend ventilatiesysteem
  - 2a : zonering
  - 2b : luchtgordijn
  - 2c : fysieke afscherming
  - 3 : lokale afzuiging
  - 4 : verdringingsventilatie
- in kolom 4: karakteristieke kenmerken/parameters van het ventilatiesysteem.
- in kolom 5: het effect op de verontreinigingniveaus.
- in kolom 6: informatie omtrent bron en bronsterkte.
- in kolom 7: de gemeten verontreinigingen/componenten, zoals:
  - respirabel stof (RSP= respirable suspended particulate concentrations);

- ultraviolet particulate matter (UVPM)
- particulate polycyclic aromatic hydrocarbons (PPAH)
- fluorescent particulate matter (FPM)
  - solanine-PM
  - 3-ethenylpyridine (3-EP)

Van de in tabel 2 als ‘wetenschappelijk’ verantwoord geclassificeerde artikelen (klasse 1) plus van enige artikelen die zijn geclassificeerd als ‘minder wetenschappelijk’ (klasse 2) wordt in het navolgende een beknopte aanvullende beschrijving gegeven.

Tabel 3: Resultaten literatuuronderzoek omtrent ventilatie in relatie tot omgevingstabaksrook.

1	2	3	4	5	6	7
Literatuur Verwijzing	Onderzoeks - Wijze	Ventilatie-Systeem	Karakteristieke Parameters	Effect op Verontreinigingsniveau	bron/ bronsterkte/ opmerkingen	gemeten verontreinigingen
<b>Classificatie nummer 1</b>						
32	P	1+2a+2b+2c	$Q_{\text{gordijn}} = 135 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}$ $V_{\text{overstroom}} = 0,12 \text{ m/s}$	-	rokende personen/ onbekend/ metingen over 4 dagdelen	3-EP, nicotine, RSP, UVPM, FPM, Sol-PM
33	L	1+2a+2b	$Q_{\text{gordijn}} = 23..28 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}$ $Q_{\text{overstroom}} = 92,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}$	$C_{\text{niet-rook}}/C_{\text{rook}} = 5-10\%$	tests met rookmachine en tracergas	niet gespecificeerd
34, 35, 36	V, p	2c (volledig afgeschermd rookzone) + 3	$D_p > -7 \text{ Pa}$ (onderdruk in rookzone)	$C_{\text{niet-rook}}/C_{\text{rook}} = 1 \%$	rokende personen + $\text{SF}_6$ -tracergas/ onbekend/ metingen over 3 à 4 dagen	nicotine, $\text{SF}_6$
37	L	1, 4	Verdringingsventilatie: $25 \text{ dm}^3/\text{s}$ per 100W warmteproductie → "schone" zone tot 1,6 m hoogte	Ventilatie-efficiency bij niet-roker ( $c_{\text{afvoer}}/c_{\text{lokaal}}$ ): Mengend systeem: tot 3 Verdringend systeem: tot 6 à 14, overeenkomend met $C_{\text{verdringing}}/C_{\text{menging}}$ van 7-17%	brandende sigaretten (sidestream)/ 12 sigaretten per 15 min.	CO
38a, 38b	L	1, 4	Luchtverversing: $\approx 14..28 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{pers}$ bezetting: 1 pers per $1,3 \text{ m}^2$	-	14 rokende personen/ 3,3 sigaretten per uur per persoon	CO, $\text{CO}_2$
39	R	1+2a, 1+2a+2c, 4+2a, 4+2a+2c	Restaurant: $vv = 6 \text{ h}^{-1}$  $V_{\text{overstroom}} = 0,02 \text{ à}$ $0,07 \text{ m/s}$	Mengend systeem: $C_{\text{niet-rook}}/C_{\text{rook}} = 20\%$ Verdringend systeem: $C_{\text{niet-rook}}/C_{\text{rook}} = 1\%$	8 en 26 gesimuleerde rokende personen/ 1,3 sigaretten per uur per persoon	deeltjes, nicotine, CO, $\text{CO}_2$
15b, 40,	V, l, t	-.	Gewenste ventilatie waarbij 80% acceptatie: - niet-roker: $78-120 \text{ m}^3/\text{sigaret}$ - roker $25-40 \text{ m}^3/\text{sigaret}$	-	-	-



42	L	1, 3, 4 in combinatie met zonering	Luchtverversing: - 10 tot 15 dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>	Haalbare blootstelling versus blootstelling bij volledig mengend systeem: Barman tot ≈0 à 1% bar bezoekers tot ≈ 25% niet-rokerszone tot ≈ 2%	tracergas SF <sub>6</sub> / niet gespecificeerd	SF <sub>6</sub>
43	H	4	-	-	-	-
44	L	1	-	-	commerciële rookmachine/ 5 en 20 sigaretten per test	CO, NO <sub>x</sub> , VOC, nicotine
45	A	-	-	-	-	-
46	A	-	-	-	-	-
47	A, w	-	-	-	-	-
48	W	-	-	-	-	-
49	T	1,3,4	-	C <sub>verdringend systeem</sub> /C <sub>mengend systeem</sub> = 16%	-	-
50	H	-	-	-	-	-
51	V, p	2c (volledig afgeschermd rookzone) + 3	-	-	-	-
<b>Classificatie nummer 2</b>						
55	P	1+2a+2b	V <sub>overstroom</sub> = 0,02..0,07 m/s	C <sub>niet-rook</sub> /C <sub>rook</sub> = 3-30%	rokende personen/ onbekend/ meerdere meetdagen	nicotine
56	P	2b	Ontbreken	Beschermingsefficiëntie: Nicotine 74-95% Deeltjes 75-89%	rokende personen/ niet gespecificeerd/ metingen op 3 avonden	deeltjes, nicotine
57	V, p	-	-	-	rokende personen/ aantal gerookte sigaretten niet vermeld, wel geregistreerd evenals aantal personen	nicotine, urine cotinine
58 a,b,c	P	1	V <sub>v</sub> = 12..15 h <sup>-1</sup>	-	rokende personen/ 10 tot 100 sigaretten per uur/ metingen over enkele dagen c.q. dagdelen	RSP, CO, CO <sub>2</sub>
59	A, v	3, 4	-	-	-	-

60	T	Diverse	-	-	-	-
61	T	n.v.t.	Luchtverversing: - 9 dm <sup>3</sup> /s/sigaret - 9 dm <sup>3</sup> /s/pers (n <sub>pers</sub> ≈ 10) - 6 dm <sup>3</sup> /s/pers (n <sub>pers</sub> ≈ 100)	CO ≤ 2ppm	-	-
62	L	4	-	-	rokende personen + tracergas SF <sub>6</sub> / 6 brandende sigaretten (side stream)	deeltjes, CO, SF <sub>6</sub> , CO <sub>2</sub>
30	r, p	1+2a, 1+2a+2c, 4+2a, 4+2a+2c	-	Verdringend systeem+ afscherming: C <sub>niet-rook</sub> /C <sub>rook</sub> = 5% Afscherming: C <sub>niet-rook</sub> 10% verlaagd	rokende personen/ niet vermeld/ metingen over 5 dagen	CO, CO <sub>2</sub>
63	L	4	-	sterk afhankelijk van stratificatieniveau	tests met rookgenerator en tracergas/ niet gespecificeerd	N <sub>2</sub> O
64	T	3	-	-	-	-
65	A	-	-	-	-	nicotine, acrolein, aromatische hydrocarbonaten, CO
66	W, v	-	Regelgeving België: - 4,2 dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> bij roken	-	-	-
67	T	-	-	-	-	-
68	V, p	2c (volledig afgeschermd rookzone) + 3	-	-	rokende personen/ niet vermeld	RSP, UV-PM, 3-EP, CO, nicotine
69	A	-	-	-	-	-
70	V, p	-	-	-	rokende personen	RSP, PPAH
71	V, p	-	-	-	rokende personen	RSP, PPAH
72	V, p	-	-	-	rokende personen	RSP, UVPM, FPM, Sol-PM, nicotine, , urine cotinine, CO
73	A	-	-	-	-	-

Jenkins, 2001 [32]:

In dit artikel worden praktijkmetingen besproken uitgevoerd in een restaurant/bar met niet-rokers zone en rokerszone. Toevoer van ventilatielucht vindt plaats in de niet-rokers zone én afvoer vanuit de rokerszone. Tussen de zones is een fysieke afscherming toegepast. Er zijn 2 doorgeefluiken van 1,3 m breed en 1,5 m hoog én 2 doorgangen van 2 m breed en 3 m hoog aanwezig. Verder is een luchtgordijn toegepast met een debiet van circa 900 dm<sup>3</sup>/s. De overstromingsnelheden in de openingen zijn circa 0,12 m/s, zonder de afscherming door het luchtgordijn te beschouwen. Bij een dergelijke snelheid is de kans op verspreiding van verontreinigingen in de verkeerde richting beperkt.

In het artikel wordt geen reductie voor de niet-rokerszone t.o.v. de rokerszone bepaald, hetgeen ook niet gaat omdat de metingen in de betreffende zones niet gelijktijdig uitgevoerd zijn. De gemeten concentratieniveaus worden vergeleken met de situatie in andere gebouwen. Op grond hiervan concludeert men dat met economische verantwoorde ventilatie-technische maatregelen, vergelijkbare situaties onderhouden kunnen worden als in het geval van een rookverbod.

Rydock, 2000 [33]:

In dit artikel worden metingen besproken uitgevoerd in een testopstelling van 9 x 6 x 3 m (l x b x h) representatief voor een klein restaurant. De ruimte is opgedeeld in een niet-rokers en rokerszone. De doorsnede tussen de zones bedraagt 6 bij 3 m. De luchttoevoer (ventilatie) is afgestemd op de aanwezigheid van personen, uitgaande van 11 dm<sup>3</sup>/s per persoon en een bezetting door 50 personen oftewel circa 1 persoon per 1 m<sup>2</sup>. Toegepast is een isotherm luchtgordijn dat onder een hoek van circa 75° met het plafond inblaas in de richting van de 'schone' zone. De concentraties in de niet-rokers zone konden beperkt worden tot 5 à 10% van die in de rokerszone, uitgaande van:

- inblaas via luchtgordijn van 23 tot 28 dm<sup>3</sup>/s/m, waarbij de lucht betrokken werd uit de rokerszone;
- overstroomdebiet vanuit niet-rokers zone naar rokerszone van 92,5 dm<sup>3</sup>/s/m (in overstemming met ventilatie op grond van aanwezige personen). Dit resulteert in een luchtsnelheid van circa 0,25 m/s in het feitelijke doorstroomoppervlak dat overblijft onder het luchtgordijn.

Alevantis, 1994 [34], Hayward, 1995 [35], Lui, 2001 [36]:

In deze artikelen wordt de werking van speciaal ontworpen rookplekken/ruimten in gebouwen geëvalueerd. De volledige rapportage van het onderzoek is beschreven in [20] en samengevat in de artikel [34] en [36].

In totaal zijn 118 rookruimten bezocht. In 23 gevallen zijn aanvullende metingen uitgevoerd over 3 à 4 dagen, waarbij onder ander nicotineconcentraties zijn gemeten. Beschouwd zijn:

- 1) volledig afgeschermd (aparte) rookruimten voorzien van mechanische afzuiging naar buiten (of in ieder geval meer mechanische afvoer naar buiten dan mechanische toevoer), waardoor de ruimte op onderdruk gehouden wordt t.o.v. de omringende ruimten;
- 2) volledig afgeschermd (aparte) rookruimten, die niet op onderdruk worden gehouden;
- 3) deels afgeschermd rookruimten.

Bij 1 en 2 is ook, indien van toepassing, de recirculatie uitgeschakeld.

Gesteld wordt dat, zoals ook verwacht mocht worden, de beste resultaten bereikt worden in situatie 1, waarbij minimaal een onderdruk van circa  $-7$  Pa wordt onderhouden in de rookzone. De concentraties buiten de rookruimte blijven dan beperkt tot circa 1 % van de concentraties in de rookruimte. Geval 1 voldoet aan de Ashrae richtlijnen, waarbij aanvullend geldt een vereiste luchtverversing bij roken van  $30 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{persoon}$ .

Zonder onderdruk in de rookruimte werd de verspreiding van verontreinigingen maar matig beperkt.

Nickel, 1990 [37]:

In dit artikel worden metingen besproken inzake de afvoer van omgevingstabaksrook afhankelijk van het ventilatiesysteem (mengend of verdringend systeem) én de plaats van de afvoer. Met een testopstelling is een 10 persoonsvergaderzaal nagebootst van 8 bij 5 m en 2,6 m hoog. Bij het onderzoek zijn de CO-concentraties gemeten als gevolg van het roken van sigaretten.

Geconstateerd wordt dat bij verdringingsventilatie, waarbij op vloerniveau lucht wordt ingeblazen, een ventilatieniveau van 14 dan wel  $28 \text{ dm}^3/\text{s}$  per 100 W vrijkomend warmtevermogen (circa 1 persoon) nodig is om een 'schone' zone tot respectievelijk 1,3 m hoogte dan wel 1,7 m hoogte te onderhouden. De lokale concentraties bij niet-rokers kunnen hierdoor tot circa 7 à 17 % teruggebracht worden in vergelijking tot een volledig mengend systeem. Verder wordt opgemerkt dat de plaats van de afvoer mede van invloed is. Afhankelijk hiervan kan bij een mengend systeem de blootstelling van een niet-rokende persoon ook tot 30% worden teruggebracht in vergelijking tot volledig mengend systeem. Mengende systemen zijn dus niet altijd per definitie volledig mengend. Aangegeven wordt dat in de praktijk, door verstoring als gevolg van normale activiteiten van aanwezige personen, de goede werking van een dergelijk verdringingssysteem en het positieve effect van de plaats van de afvoer, eenvoudig te niet gedaan kan worden.

Straub, 1992 [38a], Straub, 1993 [38b]:

Beide artikelen hebben betrekking op hetzelfde onderzoek. Het betreft hier het testen van de werking van 2 mengende ventilatiesystemen én 2 verdringende ventilatiesystemen in een rookruimte ( $4,2 \times 4,3 \text{ m}$ ). De toetsing vindt plaats door een 14-tal rokers (circa 1 persoon per  $1,3 \text{ m}^2$ ), die enige tijd in de testopstelling verbleven en hier een sigaret rookten. De luchtverversing varieerde hierbij van 14 tot  $28 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{persoon}$ .

De bevinding is dat de luchtvolumestromen te beperkt zijn om het verdringingssysteem goed te laten functioneren. De positieve dan wel negatieve beoordeling per systeem lijkt vooral bepaald te worden door de lokale (ventilatie)omstandigheden per persoon, afhankelijk van zijn positie in de ruimte. Oftewel bevindt de persoon zich net in een "schone" luchtstroom of juist sterk verontreinigde circulatiestroom.

Kolokotroni, 1995 [39]:

In dit artikel wordt een modelonderzoek beschreven uitgevoerd met het CFD-pakket Flovent.

Berekeningen zijn uitgevoerd voor een mengend én verdringend ventilatiesysteem met én zonder fysieke afscherming tussen de niet-rokerszone en rokerszone. Beschouwd zijn een restaurant van 30 x 18 x 3,5 m met een 6-voudige ventilatie én een open kantoor van 20 x 15 x 3,5 m met 3-voudige ventilatie. De fysieke afscherming bestaat uit een wand tot circa 2 m hoog, waarin 2 à 3 doorgangen zijn verondersteld. De ontwerpen zijn dusdanig dat zonder én met fysieke afscherming, gemiddelde overstromingsnelheden van respectievelijk circa 0,02 en 0,07 m/s optreden. Concentraties in de diverse zones zijn voor de diverse situaties berekend, op grond waarvan de reductie voor de niet-rokerszone te herleiden is.

De concentraties in de niet-rokerszone in verhouding tot de rokerszone bedragen in:

- het restaurant (ongeacht fysieke afscherming) met:
  - mengventilatie : 20%
  - verdringingventilatie: 1%
- het kantoor met:
  - mengventilatie zonder afscherming : 55%
  - mengventilatie met afscherming : 44%
  - verdringingsventilatie zonder afscherming : 30%
  - verdringingsventilatie met afscherming : 11%

Nelson, 1998 [40], Bohanon, 1998 [15b]:

In artikel 27 wordt op grond van veldstudies en literatuuronderzoek inzicht gegeven in de verschillende bestanddelen van omgevingstabaksrook (ETS). Als belangrijkste hinderaspect wordt de geur van omgevingstabaksrook aangemerkt. (Walker et al., ref 41).

In artikel 15b wordt een model/methode gegeven voor de bepaling van de benodigde ventilatieniveaus in rookruimten. De methode is gebaseerd op praktijksituaties, waarin de bevindingen van gebruikers c.q. de acceptatie van de binnenluchtkwaliteit door de gebruikers is geëvalueerd.

De invoerparameters, waarvoor ook richtwaarden en handvatten of literatuurverwijzingen voor de bepaling worden gegeven, zijn hierbij:

- gewenste ventilatie per gerookte sigaret. Door verschil in acceptatie verschilt dit voor niet-rokers en rokers;
- de aan te houden omgevingstabaksrookproductie, afhankelijk van de bezetting, het percentage rokers en de rookfrequentie;
- de ventilatie efficiëntie;
- het filterrendement.

Kulmala, 2000 [42]:

In dit artikel worden metingen besproken uitgevoerd aan een proefopstelling van:

- een kleine bar van 38 m<sup>2</sup>;
- een restaurant met niet-rokerszone en rokerszone van beide circa 38 m<sup>2</sup>.

Met behulp van verwarmde staande kanalen zijn aanwezige personen gesimuleerd. Het roken is gesimuleerd door via verwarmde pijpjes SF<sub>6</sub> te injecteren bij de gesimuleerde personen.

Resultaten metingen bar (volledig mengende situatie op 100% gesteld):

	$C_{\text{barman}}$	$C_{\text{bezoekers aan bar}}$
1: mengend systeem, $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ( $=0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ ), toe- en afvoer in bezoekersdeel van de bar	100%	100%
2: verdringend systeem, $15 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ( $=0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ ), toevoer achter bar, toe- en afvoer in bezoekersdeel van de bar	30%	50%
3: idem 1, echter 50% toevoer via plafondplenum achter bar ( $=0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ )	18%	140%
4: idem 2, echter 33% toevoer via plafondplenum achter bar ( $=0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i.p.v. lage toevoer verdringingsysteem	7%	115%
5: idem 3, echter lokale afzuiging boven bar ( $=0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ )	15%	50%
6: idem 4, echter lokale afzuiging boven bar ( $=0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ )	0%	25%

Resultaten metingen restaurant (volledig mengende situatie zonder afscherming rokerszone en niet-rokers zone op 100% gesteld):

	Niet-rokerszone		rokerszone		verbinding b x h ( $\text{m}^2$ )	$C_{\text{niet-rokers}}$ (%)
	Toevoe r ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	afvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	toevoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Afvoer r ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		
Mengend systeem	0,39	0,39	0,35	0,35	2,6 x 3	51
Mengend systeem	0,57	0,17	0,17	0,57	2,6 x 3	32
Mengend systeem	0,57	0,17	0,17	0,57	1,7 x 3 of 2,6 x 2	17
Verdringend systeem	0,57	0,17	0,17	0,57	2,6 x 2	9
Verdringend systeem+ afzuiging in doorgang ( $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ )	0,57	0,08	0,17	0,46	2,6 x 2,4	2

Afhankelijk van het ontwerp blijken dus aanzienlijke reducties in de blootstelling van de barman en de bezoekers mogelijk te zijn. Vooral het verdringingsysteem levert goede resultaten, waarbij de kanttekening moet worden geplaatst dat er geen sprake was van versturende effecten (bewegingen van de bezoekers en/of luchtbewegingen) tijdens de proef.

ISSO, 1994 [43]:

Dit betreft ISSO publicatie 40 omtrent verdringingsventilatie in de kantooromgeving. Het verdringingsysteem wordt hierbij vooral beschouwd als een mogelijkheid om specifiek de verblijfszone te conditioneren in plaats van de gehele ruimte. Verbetering van het thermisch comfort en energiebesparing zijn hierbij vooral de insteek. Ontwerprichtlijnen en praktische aanbevelingen betreffende verdringingsystemen worden gegeven.

Kotzias, 2003 [44]:

In dit artikel worden metingen in een testruimte besproken inzake de concentratieopbouw tijdens én concentratieafbouw direct na het roken, afhankelijk van het ventilatieniveau. Er wordt dus ingegaan op de dynamische effecten en men laat zien dat dit voor de beschouwde proefopstelling (mengend systeem, geen

absorptie of depositie) goed beschreven kan worden uitgaande van een 1<sup>e</sup> orde systeem. Op grond van de bevindingen concludeert men vervolgens dat het ventilatieniveau weinig effect heeft op het dynamische verloop van de concentraties en dat ventilatie dus geen effectieve maatregel is voor het verlagen van een eventuele blootstelling aan verontreinigingen.

Opgemerkt hierbij wordt dat, uitgaande van een goede opmenging in een ruimte, theoretisch beschouwd het voorgaande kan kloppen. Men dient zich hierbij wel te realiseren dat:

- a) de lokaal optredende concentraties gebruikelijk in belangrijkere mate bepaald zullen worden door de lokale omstandigheden (aanwezigheid en plaats van de bron, lokaal stromingspatroon) dan door het gemiddelde ventilatieniveau. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de lokale concentraties dicht bij een bron waar geen of beperkte opmenging optreed.
- b) in situaties, waarin continu een zekere bron aanwezig is, de eindconcentratie (stationaire situatie) die bereikt wordt wel degelijk omgekeerd evenredig met de ventilatie afneemt;

British Medical Association, 2002 [45]:

In dit artikel wordt ingegaan op de gezondheidsrisico's van meeroken en de mogelijke beschermende maatregelen, variërend van beleidsmatige (regelgeving) tot technische zaken. Gesteld wordt dat ventilatie in het geval van roken gebaseerd moet zijn op gezondheidsaspecten en niet op comfort, bijv. het voorkomen van geurhinder. Conventionele ventilatiesystemen én luchtreiniging worden bestempeld als zijnde ontoereikend in het bieden van een voldoende bescherming. Op ventilatie-technische maatregelen c.q. de mogelijkheden hiervan, wordt verder niet nauwgezet ingegaan.

Ontario Tobacco Research Unit, 2001 [46]:

In dit rapport wordt de huidige kennis van zaken omtrent de gezondheidseffecten van meeroken weergegeven en besproken. Geen blootstelling aan omgevingstabaksrook wordt noodzakelijk geacht om de gezondheidsrisico's weg te nemen. Ventilatie wordt in dit kader niet aangemerkt als een oplossing. In dit verband wordt ook gemeld dat ASHRAE inmiddels geen ventilatie-eisen meer geeft voor ruimten waarin gerookt wordt.

Om blootstelling aan omgevingstabaksrook te verminderen, wordt door een panel van experts lokale afzuiging, afgezogen asbakken, luchtreiniging en verdringingsventilatie als potentieel effectieve maatregelen gezien. Op basis van ervaring en kennis wordt 90% reductie onder gunstige omstandigheden met een verdringingssysteem als maximaal haalbaar gezien.

Gosevitz, 2003 [47]:

In dit artikel wordt, met name, ingegaan op (1) medische bewijzen voor gezondheidsrisico's als gevolg van meeroken en (2) regelgeving betreffende roken in gebouwen in de verschillende gemeenten binnen Ontario.

Ashrae Standard, 2002 [48]:

Dit betreft de ASHRAE standard inzake ventilatie-eisen. Vanaf 1999 zijn eisen voor ruimten waarin gerookt wordt geen onderdeel meer van deze standard. Dit vanwege het ontbreken van een geaccepteerd niveau wat betreft de toelaatbare blootstelling van omgevingstabaksrook én bijbehorend gezondheidsrisico.

Dubbeld, 1990 [49]:

In dit rapport worden theoretische beschouwingen gegeven inzake ventilatie-technische maatregelen om de blootstelling aan omgevingstabaksrook te verminderen. Ingegaan wordt op lokale afzuiging en verdringingsventilatie, terwijl de nadelige effecten van recirculatie inzake verspreiding inzichtelijk gemaakt worden. Op hoofdhoogte daalde de concentratie bij verdringing tot 16% van die bij het mengende systeem.

Application handbook B09, 2003 [50]:

Dit betreft een handboek inzake ventilatiemaatregelen tegen de blootstelling aan omgevingstabaksrook. Momenteel wordt hieraan gewerkt door een internationale werkgroep. In het handboek wordt onder andere ingegaan op de regelgeving in diverse landen, verschillende ventilatieprincipes met hun voor- en nadelen, lokale ventilatievoorzieningen voor vaste werkplekken en dergelijke. Ontwerpregels zijn momenteel nog niet toegevoegd en een hoofdstuk met praktijkvoorbeelden is in voorbereiding.

Alevantis, 2003 [51]:

Dit artikel beschrijft een vervolgonderzoek op het onderzoek gerapporteerd in [34], [35] en [36] inzake het ontwerp van rookruimten in kantoren. In aanvulling op het eerdere onderzoek wordt nog aanbevolen bij rookruimten:

- schuifdeuren in plaats van draaiende deuren toe te passen. Het gebruik van draaiende deuren verhoogt namelijk de uitwisseling;
- automatische sluitmechanismen op de deuren toe te passen om onnodig open staan te voorkomen

Verder wijst men erop dat uitwisseling over open deuren niet te voorkomen is.

Bjorn en Nielsen (52) toonden in een testsituatie aan dat verdringingsventilatie goed de blootstelling van niet-rokers kan beperken. Aan de andere kant beargumenteren zij ook dat dit hele hoge eisen stelt aan het ontwerp van de ventilatie. Eén van de belangrijke factoren die het succes verdringingsventilatie bedreigt is menging die ontstaat ten gevolge van bewegingen in een ruimte. Bij erg veel beweging (veel mensen per vierkante meter) kan een situatie ontstaan die gaat lijken op een 'fully mixed situation'.

Individen hebben allemaal een persoonlijke luchtwolk om het lichaam. Hierin bevinden zich gassen en deeltjes die een persoon een tijdje met zich meedraagt. De samenstelling van deze persoonlijke wolk varieert in de tijd, maar is erg afhankelijk van eerdere blootstelling aan binnen- en buitenlucht, alsmede van het rookgedrag van het individu (54a). Voor  $PM_{2,5}$  is door Adgate et al. (54b) aangegeven dat de gemiddelde concentratie  $5,7 \mu\text{g per m}^3$  bedraagt, maar ook dat enorme grote verschillen worden gevonden afhankelijk van de aanwezigheid van ventilatie in ruimten waar personen zijn geweest. Deze persoonlijke wolken kunnen aanleiding geven tot het verstoren van de efficiency van het ventilatie of luchtscheidingsregime in ruimten.



literatuur classificatie nummer 2:

Skistad, 2003 [55]:

In dit artikel worden de resultaten van praktijkmetingen in een restaurant/bar besproken inzake de afscherming tussen de niet-rokers zone en de rokerszone. Toegepast is een mengend ventilatie-systeem met toevoer in de niet-rokerszones en achter de bar én afvoer in de rokerszone. Er is geen fysieke afscherming tussen de zones aangebracht. Wel een luchtgordijn. De specificaties van het luchtgordijn zijn echter onduidelijk. De open verbindingen tussen niet-rokerszone en rokerszone zijn vrij groot. Desondanks is een verontreinigingniveau in de niet-rokers zone gemeten van slechts 3 tot 30% van dat in de rokerszone. Onduidelijk is of een en ander bepaald wordt door de meetposities. Meer informatie omtrent het luchtgordijn is nodig om dit verder te kunnen staven.

Hyvärinen, 2002 [56]:

In dit artikel worden praktijkmetingen beschreven uitgevoerd aan een ventilatiesysteem ter bescherming van barpersoneel. Het betreft hier een laag inductietoevoersysteem achter de bar in combinatie met een luchtgordijn dat schuin vanaf de bar de ruimte inblaast. Verdere specificaties ontbreken. De beschermingsefficiëntie is als volgt gekwantificeerd:  $1 - C_{\text{bar}}/C_{\text{ruimte}}$   
Voor nicotine is bepaald 74-95% en voor deeltjes 75-89%

Hyvärinen, 2002 [57]:

Dit artikel beschrijft een praktijkonderzoek naar de situatie in restaurants en bars voor én na de invoering van de Finse tabaksregeling. Volgens deze regelgeving mag maximaal 50% van een etablissement als rookzone gereserveerd worden en moeten voorzieningen getroffen worden om de verspreiding van verontreinigingen te voorkomen.

In 9 van de 16 onderzochte gevallen blijkt de situatie verbeterd te zijn. Het treffen van ventilatie-technische maatregelen wordt hierbij als belangrijk aangemerkt.

Geens, 2003 [58a], Geens, 2003 [58b], Geens, 2003 [58c]:

In deze artikelen worden praktijkmetingen uitgevoerd in restaurants en bars besproken, welke voorzien zijn van een mengend ventilatiesysteem waarmee 'hoge' ventilatieniveaus onderhouden kunnen worden. Het ventilatievoud varieert hierbij van 12 tot 15 maal de ruimte-inhoud per uur. De metingen laten een verlaging van de concentratieniveaus zien, hetgeen uiteraard ook rekenkundig beschouwd c.q. inzichtelijk gemaakt kan worden.

Repace, 2000 [59]:

In dit artikel worden onder andere de bevindingen van een werkgroep gepresenteerd inzake de evaluatie van diverse ventilatie-technische oplossingen voor het beperken van de blootstelling aan omgevingstabaksrook in de horeca.

Enige bevindingen zijn hieronder weergegeven:

- mengende ventilatiesystemen worden als ontoereikend bestempeld;
- reducties in de blootstelling met 90% worden haalbaar geacht bij toepassing van verdringende ventilatiesystemen;
- afgezogen asbakken worden gezien als een goede optie om de verontreinigingen direct af te voeren, waardoor de bronsterkte met 40 tot 50% verlaagd zou kunnen

worden. Voorwaarde en gelijktijdig een probleem is dat de rokers de asbakken hiervoor goed moeten gebruiken. Dit wil zeggen de sigaret in de asbak moeten plaatsen als niet gerookt wordt;

- lokale afzuiging, bijv. boven tafels, wordt als onpraktisch aangemerkt gezien de hoge benodigde afzuigdebieten.

Krüne, 2000 [60]:

Dit artikel geeft theoretische beschouwingen omtrent ventilatiesystemen en aanvullende voorzieningen in relatie tot de bescherming tegen omgevingstabaksrook.

Olesen, 1993 [61]:

In dit algemene artikel worden laboratoriummetingen aan een verdringingssysteem beschreven. De conclusie is dat het toepassen van een verdringingssysteem op zich geen garantie is voor een goede afvoer van verontreinigingen. Daarnaast worden voor de concentratieverdeling, de interne warmteproductie, het type en de plaats van de verontreinigingsbron de meest belangrijke factoren genoemd.

Kolokotroni, 1999 [62]:

In dit artikel worden de resultaten besproken van CFD-berekeningen én de resultaten van praktijkmetingen in 2 bars en een restaurant.

De conclusies getrokken bij de CFD-berekeningen zijn vrij algemeen. De uitgangspunten bij de CFD-berekeningen worden niet toegelicht (staan in een niet beschikbaar, ander artikel), hetgeen de beoordeling van specifieke conclusies niet goed mogelijk maakt.

De metingen zijn uitgevoerd om de effecten van het ventilatiesysteem op de verspreiding van omgevingstabaksrook te onderzoeken. In één geval zijn hiervoor echter maar aanvullende voorzieningen getroffen en in de andere twee gevallen is alleen de aangetroffen situatie beschouwd. Deze aangetroffen situaties lijken, voor zover te bepalen op grond van de gegeven informatie, niet om goed op de situatie en doelstelling afgestemde ventilatiesysteem te handelen.

Bjorn, 1996 [63]:

In dit artikel worden laboratoriummetingen besproken naar stratificatie verschijnselen bij verdringingsventilatie. Met stratificatie wordt bedoeld dat (in dit geval) omgevingstabaksrook zich afhankelijk van de thermische gradiënt in de ruimte verzamelt op een bepaalde hoogte in de ruimte. Een en ander is onderzocht in een testruimte van 8 m lang, 6 m breed en 4,7 m hoog bij een tweetal ventilatieniveaus (160 en 400 m<sup>3</sup>/h) en een interne warmteproductie variërend van 175 tot 975 W. Een 'rokende' mannequin is toegepast (uitgeademde lucht 32°C).

De verschillende combinaties van ventilatie en interne warmteproductie zouden moeten leiden tot verschillende temperatuurgradiënten oftewel luchtdichtheidsverschillen over de hoogte en dus verschillen in de hoogte waarop eventueel stratificatie zou optreden. Bij het onderzoek zijn echter geen duidelijke verschillen in temperatuurgradiënt geconstateerd. Dit laatste mogelijk als gevolg van circulatie van de lucht door afkoeling langs de wanden.

Desondanks blijkt uit het onderzoek stratificatie op verschillende hoogten op te treden. Ook op hoogten beneden de ademzone, waardoor de werking van het verdringingssysteem te niet gedaan wordt. Geconcludeerd wordt dan ook dat de hoogte waarop stratificatie optreedt, in belangrijke mate bepaald wordt door de werking van een verdringingssysteem.

Sodec, 2000 [64]:

In dit artikel worden locale ventilatievoorzieningen beschreven voor het direct aan de bron afvoeren van verontreinigingen. Het gaat hierbij niet specifiek om omgevingstabaksrook, maar om voorzieningen bij diverse (arbeids)processen.

Sterling, 1982 [65]:

In dit artikel wordt, op grond van literatuuronderzoek, een overzicht gegeven van in de praktijk gemeten verontreinigingniveaus als gevolg van roken (betreffende de diverse bestandsdelen van omgevingstabaksrook). Van geval tot geval wordt hierbij tevens het type gebouw, het aantal rokers, het toegepaste ventilatiesysteem en dergelijke gegeven. De informatie omtrent het ventilatiesysteem is echter zeer summier. Een enkele keer wordt het ventilatieniveau vermeld.

Wouters, 1993 [66]:

In dit artikel wordt de Belgische regelgeving inzake het roken in horeca-ruimten, zoals deze in 1991 van kracht werd, toegelicht. Roken wordt toegestaan, indien een adequaat ventilatiesysteem aangebracht wordt én in ruimten groter dan 50 m<sup>2</sup> aparte niet-rokerszones en rokerszones worden gerealiseerd. Het voorgeschreven ventilatieniveau bedraagt 4,2 dm<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup>.

Het artikel dateert uit 1993. Aangegeven wordt dat 2 jaar, na de invoering van de regelgeving, hiervan nog maar weinig in de horecagelegenheden te merken is. Een enquête, uitgevoerd onder de gebruikers en eigenaren van horecagelegenheden, geeft nog veel klachten omtrent het binnenmilieu te zien en onbekendheid met de regelgeving.

Repace, 1983 [67]:

In dit artikel wordt een methode besproken om de belasting door roken (bronsterkte) in te schatten. Verder wordt ingegaan op de risico's voor de gezondheid én de benodigde ventilatieniveaus om deze risico's voldoende te beperken.

Sterling, 1997 [68]:

Veldonderzoek is uitgevoerd naar het functioneren van separate rookruimten in diverse kantoren. De bevinding is dat de verspreiding van verontreinigingen eenvoudig voorkomen kan worden door de rookruimten op onderdruk te houden. Verder wordt geconstateerd dat recirculatie vanuit de rookruimten ook niet direct aanleiding geeft tot problemen. De gasvormige componenten zouden in geval van recirculatie voldoende verdund worden, terwijl geen verhoogde deeltjes concentraties zijn waargenomen. Deze laatste bevinding is in tegenspraak met [34] (en hiervan afgeleide artikelen [35] en [36]).

ASH, 2003 [69]:

In dit rapport wordt ingegaan op de gezondheidsrisico's van meerroken. Geen blootstelling aan omgevingstabaksrook wordt noodzakelijk geacht om de gezondheidsrisico's weg te nemen. Ventilatie wordt in dit kader niet aangemerkt als een oplossing.

Repace, 2003 [71]:

In dit artikel wordt de gemeten luchtkwaliteit in 8 horeca-gelegenheden vergeleken voor én na een rookverbod. Voor het rookverbod bleken de verontreinigingniveaus

hoog te zijn, namelijk: respirabel stofconcentraties een factor 20 maal hoger dan in de buitenlucht en carcinogenen verontreinigingen een factor 5 hoger. Na het verbod was de binnenluchtkwaliteit vergelijkbaar met de buitenlucht.

Op de uitvoering van de onderhavige ventilatiesystemen wordt niet verder ingegaan en wordt alleen vermeld dat gemiddeld over alle gelegenheden het ventilatievoud 1,4 maal de ruimteinhoud per uur bedraagt.

Repace, 2004 [72]:

Vergelijkbaar als in artikel [71] wordt de luchtkwaliteit in een 7-tal horeca-gelegenheden vergeleken voor én na een rookverbod en de verbetering gerapporteerd.

Akbar- Khanzadeh, 2003 [30]:

In dit artikel wordt een onderzoek beschreven naar de blootstelling aan omgevingstabaksrook van medewerkers in restaurants. Het onderzoek richt zich op restaurants voorzien van aparte niet-rokers en rokerszones én uitgevoerd met één ventilatiesysteem voor deze verschillende zones. In totaal zijn 8 restaurants beschouwd, waarbij overigens geen nadere informatie over de voorkomende ventilatiesystemen wordt gegeven. De blootstelling van 80 medewerkers is onderzocht, werkend in alleen de niet-rokerszones óf alleen de rokerszones óf in beide. Daarnaast is een referentiegroep van 20 personen beschouwd die werkzaam waren in een rookvrij kantoorgebouw. De persoonlijke blootstelling aan diverse omgevingstabaksrookcomponenten is bepaald plus de cotinine en nicotine niveaus in de urine (biologische markers).

Uit een vergelijking van deze groepen is geconstateerd dat medewerkers, die alleen werken in de niet-rokerszones, toch in belangrijke mate worden blootgesteld aan omgevingstabaksrook. De conclusies is daarom dat alleen zonering geen afdoende maatregel is.

Repace, 1999 [72]:

In dit artikel wordt ingegaan op de samenstelling van omgevingstabaksrook en de gezondheidsrisico's van meeroken.

## 5.3 Reiniging van de binnenlucht

### 5.3.1 Overzicht geraadpleegde literatuur luchtreiniging

#### Categorie 1, wetenschappelijk verantwoord

Literatuur nr.	Deeltjes filtratie	Gas filtratie	Literatuur overzicht	Model matig	Laboratorium	Praktijk proeven
43	X	X	X	X		
78	X				X	
79	X				X	
80	X	X			X	
81	X				X	
82		X			X	
83	X				X	
84	X	X				X
85		X		X		X
86	X			X	X	
87			X	X		
88	X			X	X	
89	X				X	
91	X	X		X	X	
92	X	X				X
93	X				X	
94	X			X	X	

*Opmerking: Niet alle literatuur is in deze tabel opgenomen, omdat het bijvoorbeeld literatuur met uitsluitend informatie over ventilatie betreft.*

Stegehuis [78]:

Onderzoek aan twee ionengeneratoren in een proefopstelling waarbij direct aan de uitmonding van de apparaten werd gemeten. De deeltjes werden in het apparaat niet verwijderd, maar geagglomereerd tot grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) die gemakkelijk verwijderd kunnen worden. Het ene apparaat gaf geen enkele reductie te zien. Het andere apparaat gaf een verlaging van 40 naar 20  $\text{mg}/\text{m}^3$  aan fijne deeltjes.

Van der Wal [79]:

In een kamer, 127  $\text{m}^3$ , waarin continu gerookt wordt (rookmachine volgens ISO norm 7210) werd door de inzet van een luchtreiniger de gravimetrische stofconcentratie met 70% verlaagd van 1,35  $\text{mg}/\text{m}^3$  naar 0,40  $\text{mg}/\text{m}^3$ . In de uitblaas van de luchtreiniger was de reductie zelfs groter dan 96%. Het debiet van de luchtreiniger bedroeg 200  $\text{m}^3/\text{h}$  en het ventilatievoud in de kamer bedroeg 0,4  $\text{h}^{-1}$  (51  $\text{m}^3/\text{h}$ ).

Wouda [80]:

Onderzoek naar een ULPA absoluut filter met een actief kool filter in een proefopstelling, waarbij direct aan de uitmonding van het apparaat werd gemeten. Het filter was in een testruimte geplaatst waarin met een rookmachine (ISO 7210) sigaretten werden gerookt. De CADR bedroeg 150  $\text{m}^3/\text{h}$ .

- 99.9% atmosferisch stof reductie
- 93% respirabel stof reductie
- 97% benzeen reductie
- 98% formaldehyde reductie

Van der Wal [81]:

In een natuurlijk geventileerde kamer ( $85\text{m}^3$ ,  $34\text{ m}^3/\text{h}$ ) zijn 4 commercieel verkrijgbare luchtreinigers getest. De apparaten hadden in de hoogste stand een luchtdebiet tussen 124 en  $224\text{ m}^3/\text{h}$ . Gemeten is het verschil in concentratie tussen de in- en de uitlaat. Het vangstrendement voor atmosferische stofdeeltjes was het laagst voor deeltjes in de klasse  $0,3\text{-}0,5\text{ }\mu\text{m}$ , 38 tot 87% en het hoogst voor de klasse  $5\text{ - }10\text{ }\mu\text{m}$ , 93 – 95%. Bij belading met sigarettenrook gedurende 6 uur werd de respirabele stofconcentratie gemeten ( $< 5\text{ }\mu\text{m}$ ) gemeten. Bij twee apparaten is het rendement 44-45% en constant. Bij het derde apparaat is het rendement gedurende de eerste twee uur 23% en neemt daarna af tot circa 0%.

Bluyssen [82]:

Onderzoek naar het effect van een actief koolfilter op de sensorische luchtkwaliteit in een kamer ( $15\text{m}^3$ ,  $15\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $27^\circ\text{C}$ , 38% RV) verontreinigd met sigarettenrook. Met behulp van een getraind panel werd gedurende circa twee uur het verloop van de sensorisch waargenomen luchtkwaliteit bepaald in een proefkamer waarin twee sigaretten werden gerookt. Dit experiment werd uitgevoerd met en zonder het filter in werking. Het filter debiet wordt niet vermeld. Uit de resultaten blijkt geen duidelijk effect van het filter op de waargenomen sensorische luchtkwaliteit.

Ginestet [83]:

Ontwikkeling van een testmethode om de levensduur van luchtfilters te bepalen bij belading met omgevingstabaksrook. Bepaling van luchtdebiet, gravimetrische efficiëntie, fractionele efficiëntie en het Schone lucht debiet (CADR) van een HEPA en een elektrostatisch filter. De levensduur van een filter wordt bepaald door de concentratie af te vangen stoffen in de lucht, het luchtdebiet en de filtratieefficiëntie. Twee typen luchtreinigers zijn in een standaard proefkamer getest met omgevingstabaksrook. De ene luchtreiniger gebruikte een HEPA filter en de andere een elektrostatisch filter. De gravimetrische efficiëntie van het HEPA filter was bijna 100%, de gravimetrische efficiëntie van het elektrostatische filter ca. 60%. Het debiet door het elektrostatische filter was hoger, hierdoor was de initiële CADR voor beide filters ongeveer gelijk. Na in gebruik name nam de CADR voor de luchtreiniger met HEPA filter vrij snel af, terwijl die voor de luchtreiniger met het elektrostatische filter veel langer op peil bleef. Uitgaande van een omgevingstabaksrookconcentratie van  $200\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  en een toelaatbare afname van 20% bedraagt de levensduur van beide filters respectievelijk 27 en 93 dagen.

Hammond [84]:

Filtratie in een rookkamer zorgde voor een verlaging van de concentratie respirabel stof met 50%. De units bestonden uit een voorfilter, een HEPA filter en een bed met slechts 2,5 cm actieve kool. De units waren 3 en 6 maanden in bedrijf. Echter er was geen verlaging van de nicotine concentratie meetbaar. Zelfs niet direct na vervanging van het actieve koolbed.

Howard-Reed [85]:

Howard-Reed heeft onderzoek gedaan naar de reductie van toluen met een luchtreiniger in een woonkamer. Hierbij werd toluen gedoseerd, waardoor evenwichtsconcentraties optraden van  $0,5 - 1,1 \text{ mg/m}^3$ . Na inschakelen van de luchtreiniger daalde de toluen concentratie naar  $0,05 \text{ mg/m}^3$ . De effectiviteit varieerde van 82 tot 94%. Het schone luchtdebiet (CADR) varieerde afhankelijk van de concentratie van 93 tot  $202 \text{ m}^3/\text{h}$ . Uit modelberekeningen met CONTAMW bleek dat de gemiddelde toluen reductie ten gevolge van infiltratie  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  en ten gevolge van adsorptie aan oppervlakken in huis  $7,7 \text{ m}^3/\text{h}$  bedraagt. De luchtreiniger levert dus de grootste bijdrage aan schone lucht. Dit is typisch voor de Engelse situatie, in de Nederlandse situatie wordt in nieuwbouw woningen door het ventilatiesysteem ca.  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  schone lucht in de woonkamer gebracht.

Mc Nall [86]:

Modelmatige en experimentele bepaling van de deeltjesconcentratie als functie van filterrendement, recirculatie-debiet en het aantal sigaretten wat per uur gerookt wordt. De resultaten geven duidelijk het belang van goede filterrendementen aan. Het effect van een luchtfilter wordt bepaald door het product van debiet en rendement. Dit verklaart waarom kleine draagbare filters met lage debieten niet erg effectief zijn, zelfs indien de filters een hoog rendement hebben.

De schrijver benadrukt de voordelen van elektrostatische filters op media filters. Elektrostatische filters hebben hoge rendementen bij een lage drukval en zijn bijna altijd wasbaar. Nadelen zijn de hogere aanschafkosten en de productie van ozon. Goede filters hebben een ozonproductie waardoor de grenswaarde voor ozon niet bereikt wordt.

Offermann [87]:

Uit literatuur data opgestelde massa balans voor deeltjes en CO in binnenruimten. De reductie via andere mechanismen dan ventilatie/filtratie is klein voor respirabele deeltjes,  $0,1 \text{ h}^{-1}$  door depositie, en nihil voor CO.

Sollner [88]:

Theoretische en experimentele verhandeling over deeltjes concentratie in een proefkamer bij de inzet van een luchtreiniger.

Rickman [89]:

Modellering en bepaling van de effectiviteit van elektrostatische filters. Variabelen waren de gassnelheid langs de platen ( $0,68-1,88 \text{ m/s}$ ) en de stroomsterkte. Vooral de snelheid had een grote invloed, bij verhoging naar de hoogste snelheid nam de efficiëntie af van 99 tot 66%. Bij de lagere stroomsterkte nam de efficiëntie verder af tot 54%. Vanuit het oogpunt totale efficiëntie neemt de CADR bij hogere snelheden toe.

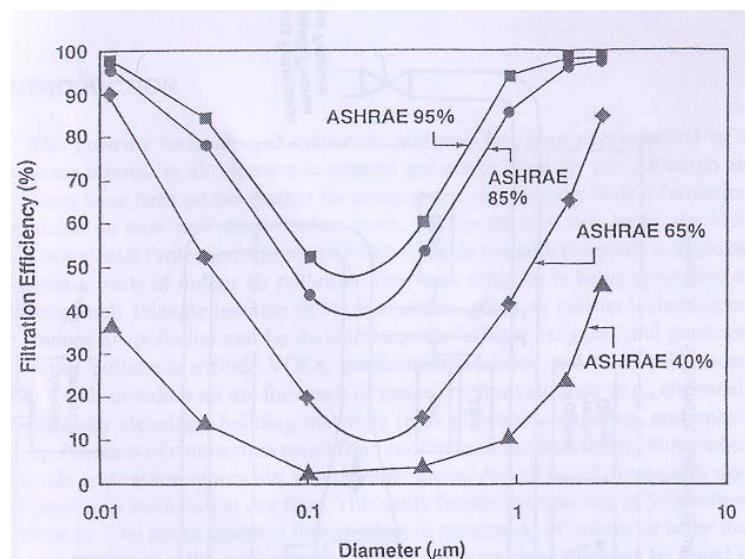
Daarnaast wordt het principe van het meesleuren en loslaten van deeltjes beschreven. Door de snelheid van de lucht wordt een kracht uitgeoefend op het deeltje die evenredig is met de diameter van het deeltje in het kwadraat. Dit terwijl de aantrekkingskracht bepaald wordt door de diameter. Als deeltjes groter worden door agglomeratie, zeker bij hogere gas snelheden, raken deze deeltjes los van het oppervlak. Voordat ze meegevoerd worden schuiven en rollen de deeltjes eerst langs het oppervlak waarbij ze kleinere deeltjes kunnen losmaken. Dit effect treedt vooral op als de filters zwaar beladen zijn.

Clausen [90]:

Geurpanel onderzoek naar de toepassing van natte wassers bij de reductie van sigaretten rook geur. Uit het onderzoek bleek dat de geur intensiteit niet afnam. Wel nam het percentage ontevreden af. Blijkbaar worden bepaalde geur componenten wel en andere componenten niet verwijderd.

Viner [91]:

Bepaling van de filterefficiëntie voor deeltjes in de grootte van 0,01 – 10  $\mu\text{m}$  van 7 commercieel verkrijgbare deeltjesfilters: ‘furnace’ filter, ASHRAE 40, 65, 85 en 95% filters en 3 elektrostatische filters. Het ‘furnace’ filter had een verwaarloosbaar effect op deeltjes in de range 0,1 – 1  $\mu\text{m}$ . De prestatie van de ASHRAE filters is geschetst in Figuur 10. De vorm van de curves is generiek voor filters. Bij deeltjes groter dan 1  $\mu\text{m}$  zijn zeven en botsen de dominante collectiemechanismen. Voor deeltjes kleiner dan 0,1  $\mu\text{m}$  is diffusie het dominante invangmechanisme. Hierdoor zijn filter efficiënties in het algemeen het laagst voor de grootte 0,1 – 1  $\mu\text{m}$ . Het ASHRAE vangstrendement is gebaseerd op de afvang van deeltjes groter dan 1  $\mu\text{m}$ . Ergo er wordt geen rekening gehouden met deeltjes kleiner dan 1  $\mu\text{m}$ . Dit geeft de zwakte aan van een op 1 parameter gebaseerde aanduiding voor efficiëntie.



Figuur 10: Filterefficiëntie als functie van deeltjes grootte.

Van de twee elektrostatische filters lag bij één het rendement voor de verschillende deeltjesgrootten merendeels onder de 30%, voor de andere lag dit op 70-90%. Het verschil tussen de twee filters kan verklaard worden door de constructie. Het filter met het lage rendement was opgebouwd uit een combinatie van een traditioneel filter bestaande uit twee ‘furnace’ filters met daar tussenin metalen draden. Het hoogefficiënte filter bestond uit parallelle platen met daarvoor een opladingsectie, zie Figuur 10.

Een belangrijke constatering met betrekking tot het onderhoud is dat de efficiëntie van mechanische filtering toeneemt als deze met stof beladen raken, terwijl voor elektrostatische filters het omgekeerde geldt. Als de platen beladen raken worden ze minder efficiënt. Routineinspectie en onderhoud zijn hierbij dus veel belangrijker,



mede omdat hier niet een eenvoudige parameter voorhanden is om het proces te monitoren zoals de toenemende drukval bij mechanische filters.

Gasfase reacties leiden onder andere tot ozon. Uit studies blijkt dat de ozon generatie evenredig is met het opgenomen vermogen van de elektrode. Op basis hiervan zijn ontwerp criteria opgesteld. De belangrijkste hiervan is dat de ontladings elektrode positief is. Bijna alle elektrostatische filters voldoen aan dit positieve corona criterium. Viner heeft metingen verricht aan de ozon afgifte van luchtfilters. Uitgaande van een worst case scenario waarbij geen afbraak van ozon plaatsvindt, het ventilatievoud zeer laag is ( $0,4 \text{ h}^{-1}$ ) bedraagt de ozon concentratie  $0,12 \text{ mg/m}^3$  (60 ppb) in een denkbeeldig huis. Dit is gelijk aan de Nederlandse 1 uur MAC-waarde. Ozon vervalt echter zeer snel, een overschrijding van de MAC-waarde zal waarschijnlijk alleen op kunnen treden indien een persoon zich direct in de uitblaasopening van elektrostatische luchtreiniger bevindt.

Daarnaast is de geschiktheid bepaald van 3 commercieel verkrijgbare actief kool gebaseerde absorptiemiddelen voor benzeen, acetaldehyde en 1,1,1-trichloroethane bij lage concentraties (100 – 200 ppb). Uitgaande van een uitgaande concentratie uit het filter van maximaal 50 ppb (MAC-waarde NL 1000 ppb) werd de levensduur van een aantal filters op enkele minuten geschat. De auteur maakt de opmerking dat het niveau van de maximale concentratie grote invloed heeft op de levensduur. Actief kool filters met parallelle bedden en geïntegreerde regeneratiestap zouden kunnen werken, maar zijn niet economisch behalve in zeer grootschalige toepassing. Volgens de auteur is actief kool adsorptie nuttig bij morsen van grotere hoeveelheden, waarbij de concentraties hoger zijn en waar de vorm van de adsorptie isotherm gunstiger is zodat er meer drijvende kracht is voor een redelijke opname.

Pierce [92]:

In het artikel wordt een veldstudie beschreven waarin vier luchtreiniging systemen worden getest in een rookruimte. De luchtreinigers waren verschillend uitgevoerd en omvatten o.a. voorfilters, elektrostatisch voorfilter, HEPA filters, actief kool, permanganaat en zeoliet filterbedden. Een filter was een zogenaamd ionisator. In de ruimte worden de deeltjesconcentratie, nicotine en CO gemeten. Daarnaast zijn metingen verricht in de kantooruimte rondom de rookruimte. De afmeting van de rookruimte bedroeg  $26 \text{ m}^2$ . De hoogte is niet vermeld. Het recirculatie debiet bedroeg  $300 - 500 \text{ dm}^3/\text{s}$ , bij aanname van een hoogte van 3 m betekent dit een recirculatievoud van 14 – 23. Tijdens het roken was de deur gesloten. Bij alle filters, behalve bij de ionisator, werd de nicotine concentratie met ca. 50% gereduceerd (van  $50$  naar  $25 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Twee van de 4 luchtreinigers waren effectief ten aanzien van respirabele deeltjes. Bij deze op HEPA filters gebaseerde luchtreinigers nam de gemiddelde concentratie met ca. 75% af (van 320 tot  $80-100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De CO concentratie bleef ongeveer constant (van 5-6 tot 3-5 ppm). De verspreiding van respirabele deeltjes en nicotine naar buiten de rookkamer was niet meetbaar. Wel meetbaar was de verspreiding van CO naar de rest van het kantoor (van 0 naar 1-2 ppm).

Gricar [93]:

Test van 8 verschillende draagbare luchtreinigers in een gesloten testkamer van

52,3 m<sup>3</sup> met standaard stofmonsters. De filterefficiëntie voor deeltjes > 0,3 µm varieerde van 5 tot 61%. De filterefficiëntie voor deeltjes > 1,0 µm varieerde van 10 tot 79%.

Conclusie is dat het luchtdebiet, wat meestal wordt in folders wordt gerapporteerd als belangrijkste verkoopargument, slechts 1 van de bepalende factoren is. De andere factor is de filterefficiëntie. Op basis van het product kan met de CADR voor een bepaalde deeltjes grootte een meer bewuste keuze worden gemaakt voor een luchtreiniger in een bepaalde ruimte.

Brown [94]:

Test en modellering van een luchtreiniger in een gesloten testkamer van 33,6 m<sup>3</sup> met omgevingstabaksrook. Uit de resultaten blijkt dat de luchtreiniger een effectief ventilatievoud opleverde van 6,4 h<sup>-1</sup>. Met andere woorden, de respirabele deeltjesreductie was equivalent met een verse buitenlucht ventilatievoud van 6,4 h<sup>-1</sup>. De filterefficiëntie voor respirabel stof bedroeg 21%.

## Categorie 2

Literatuur nr.	Deeltjes filtratie	Gas filtratie	Literatuur overzicht	Model matig	Laboratorium	Praktijk proeven
95	x	X				x
96	x			x		x
97			x			
98	x	X			X	
99	x				X	
100				x		
101	x					x
102	x		x			
103	x	X				x

Roberts [95]:

Toepassing van gas- en deeltjesfilters in een speelhal. Na installatie van de filters was rook niet meer zichtbaar en was de geuroverlast minimaal. Bezoeker gaven een goede waardering voor de luchtkwaliteit gezien het grote aantal rokers wat aanwezig was.

Johansson [96]:

Modelmatige aanpak en praktijkmetingen van buitenluchtfiltratie. Hierbij was geen interne bron aanwezig. Op basis van massabalansen is de volgende formule afgeleid voor het bepalen van de concentratie:

$$C_{\text{binnen}} = \frac{C_{\text{outdoor}} \cdot (1 - \eta_{\text{toevoerfilter}}) + \frac{n}{Q_{\text{ventilatie}}}}{1 + \frac{Q_{\text{luchtreiniger}} \cdot \eta_{\text{luchtreiniger}}}{Q_{\text{ventilatie}}}}$$

Waarin C de concentratie is [deeltjes/m<sup>3</sup>], η de filtratieefficiëntie, n de bronsterkte van deeltjes [deeltjes/s] en Q het luchtdebiet met respectievelijke index [m<sup>3</sup>/s].

Shuker [97]:

Uit literatuuronderzoek concludeert Shuker dat in het algemeen luchtreinigers beter werken voor deeltjes dan voor gasvormige componenten. Verder is volgens hem geen enkel commercieel verkrijgbaar apparaat in staat om koolmonoxide (CO) af te vangen. Dit is goed voorstelbaar omdat actieve kool CO slecht bindt.

Muller [98]:

Combinatie van hoog efficiënte deeltjesfiltratie met gas fase lucht filtratie is volgens hem de enige manier om ETS effectief aan te pakken. Wat betreft gasfase filtratie heeft het de voorkeur om meerdere absorptiemedia te gebruiken omdat een enkel medium slechts een beperkt effect heeft op de reductie van alle typen componenten die aanwezig zijn. Zo wordt vaak een combinatie toe gepast van actieve kool en kalium permanganaat-geïmpregneerd aluminium (PPIA).

De deeltjesfiltratie zou in twee stappen uitgevoerd moeten worden: eerst een laag of middel efficiënt filter, gevolgd door een hoog efficiënt filter. Na het gasfase filter is in bepaalde gevallen een middel efficiënt filter aan te raden.

In een testkamer zijn een aantal testen uitgevoerd met sigarettenrook waarbij een panel de geur beoordeelde en de visuele hinder bepaald werd van de rook.

Ilmasti [99]:

Beschrijving van een nieuwe filtermethode voor ultra fijne deeltjes 0,001  $\mu\text{m}$  tot 1  $\mu\text{m}$ . De methode heet Multifunction-Ion Air Cleaning (MFI). Het principe is gebaseerd op een spanningsveld van 12-25 kV binnen een buisje. Door het veld worden deeltjes opgeladen en ingevangen door de elektroden. Na een bepaalde tijd worden de elektroden schoongewassen met een vloeistof. Met de methode worden hoge efficiënties behaald. Getallen over debieten en verblijftijden worden niet genoemd.

Bohanon [100]:

Modelmatige beschrijving van een meetmethode voor de bepaling van de effectiviteit van luchtreinigers. Bij deze beschrijving wordt niet uitgegaan van de filterefficiëntie maar van de efficiëntie ten aanzien van de gehele ruimte. Bij de afleiding van de formules wordt uitgegaan van een ideaal gemengde ruimte.

Nelson [101]:

Beschrijving van praktijkproeven in een conferentiezaal (172  $\text{m}^3$ ) waarbij een experimentele 3 stappen luchtreiniger werd gebruikt. De luchtreiniger bestond uit een wasbaar metalen draadfilter, een elektrostatisch filter en een ASHRAE 95% filter. Het debiet was 472  $\text{dm}^3/\text{s}$ . Gebruikmakend van de beschrijving van Bohanon [89] wordt een effectief ventilatie debiet (EVR) geclaimd wat hoger is dan het debiet van de luchtreiniger. Dit is een gevolg van niet ideale menging in de ruimte, wat dus strijdig is met de uitgangspunten in de afleiding bij [89]. Ondanks deze tegenstrijdigheid is wel duidelijk dat indien een luchtreiniger direct de verontreinigingen afvangt dit de gemiddelde concentraties in de ruimte verlaagd.

Sjoholm [102]:

In een tabel wordt een overzicht gegeven van deeltjes met een grootte van 0,0001  $\mu\text{m}$  - 10 mm, met bijbehorende typische collectie efficiëntie van de huidige apparatuur in de markt.

SP ([103]:

Beschrijving van metingen rondom een rookkabinet in een kantoorgebouw. Dit is een open cabine met een afzuigventilator in het plafond, deeltjes en actief kool filters. Het rookkabinet was 9 dagen in bedrijf. Er is gedurende een dag bemonsterd op twee componenten die specifiek zijn voor omgevingstabaksrook: nicotine en 3-ethyl pyridine. Gedurende de dag zijn 43 sigaretten gerookt. De concentratie van de monsters was beneden de detectielimiet voor beide componenten. Op basis van deze gegevens is geconcludeerd dat niet vastgesteld kon worden dat rook zich verspreid uit de cabine.

Wat betreft geur wordt geclaimd dat indien meer dan 96% van de vluchtige organische componenten (VOC) verwijderd wordt dat dan geen geur gedetecteerd wordt. Uit metingen blijkt dat 97-99,5% van de VOC's verwijderd wordt. Er zijn geen data verstrekt over levensduur of noodzakelijk onderhoud.

## 6 Analyse

### 6.1 Ventilatie

Men dient zich te realiseren dat hoewel veel literatuur is beschouwd, het bruikbare materiaal waarop enige analyse is uit te voeren per type ventilatiesysteem toch zeer beperkt is.

Bij mengende ventilatiesystemen kan in principe bij een constante bron het blootstellingsniveau alleen verlaagd worden door de ventilatie te verhogen. De concentratieniveaus nemen omgekeerd evenredig af met het toenemen van de ventilatie. Om blootstellingreducties tot bijvoorbeeld 10% te bereiken, is bij mengventilatie dus een verhoging van de ventilatie met een factor 10 nodig. Dit leidt bij traditionele systemen tot ventilatieniveaus waarbij comfort en tochtproblemen optreden.

Voor verdringingssystemen wordt in de literatuur gevonden dat de blootstellingconcentraties beperkt kunnen worden tot 7 à 17% Nickel (46) en 16% Dubbeld, (1990) van de concentraties bij volledig mengende systemen. Het betreft hier systemen met stromen in de orde van grootte van tweemaal de Bouwbesluit-eisen (zie paragraaf 7.2). Opgemerkt wordt dat het hier vooral resultaten van laboratoriummetingen betreft, waarbij veelal geen verstoringen (activiteiten door aanwezige personen) zijn gesimuleerd. Door verstoringen, de auteurs geven dit vaak zelf ook aan, zal de werking in de praktijk minder goed zijn. Daarnaast wordt gewezen op de mogelijkheid van stratificatie, waardoor rook op bepaalde hoogten zou kunnen blijven 'hangen' hetgeen de werking van een verdringingssysteem sterk negatief kan beïnvloeden.

Voor effectieve verdringingssystemen zijn aanzienlijk hogere ventilatieniveaus noodzakelijk om voornoemde problemen te kunnen ondervangen.

Uit het literatuuronderzoek volgt dat door zonering in combinatie met een luchtgordijn, de concentraties in de niet-rokerszone beperkt kunnen worden tot 5 à 10% van die in de rokerszone. Dergelijke reducties zijn haalbaar uitgaande van een goed ontwerp met acceptabele ventilatiestromen. Zie bijvoorbeeld Rydock, 2000 [33] met mengend systeem en een luchtverversing van circa 11 dm<sup>3</sup>/s per persoon en een snelheid in de scheidingszone van 0,25 m/s. De genoemde luchtverversing komt globaal overeen met de eisen van het Bouwbesluit. Om voldoende hoge overstromingsnelheden te onderhouden is het gewenst zoveel mogelijk lucht over te laten stromen van de 'schone' naar de 'vuile' zone. Een fysieke afscheiding, waardoor het overstromoppervlak verkleind wordt, is ook effectief. Beide aspecten zijn, bij de in de literatuur aangetroffen situaties, vaak niet voldoende doorgevoerd waardoor gerealiseerde reducties (zoals hierboven vermeld) niet optimaal zullen zijn.

Voor de bescherming van personeel achter een bar met rokers wordt de mogelijkheid van laag inducerende luchttoevoer achter de bar in de literatuur genoemd. In combinatie met lokale afzuiging boven de bar (zie Kulmala, 2000 [42]) blijkt de blootstelling van de barman dan nagenoeg tot 0% (niet meetbaar) en van de bezoekers

aan de bar tot 25% gereduceerd te kunnen worden in vergelijking tot de situatie met volledige menging. Dit is gemeten bij een luchtverversing van 10 dm<sup>3</sup>/s per persoon, wat overeenkomt met het Bouwbesluit.

Ruimteafzuiging wordt daarnaast nog genoemd als een effectieve maatregel voor toepassing in separate rookruimten. (Hayward 1995 [35] en Sterling 1997 [68]).

Verontreinigingen worden hierbij direct naar buiten afgevoerd, terwijl door de afzuiging een onderdruk in de ruimte gerealiseerd wordt waardoor verspreiding van verontreinigingen voorkomen c.q. beperkt kan worden.

## 6.2 Reiniging

De analyse van de effecten van luchtreiniging is in belangrijke mate gebaseerd op de samenvatting die is gegeven in de tabellen 4 a en b.

Ook hier is het aantal bruikbare publicaties dat voor analyse is gebruikt, net als bij ventilatie het geval is, gering.

De effectiviteit van filtratie kan in twee categorieën worden onderscheiden:

1. de effectiviteit van het apparaat zelf;
2. de effectiviteit ten aanzien van de ruimte.

In het eerste geval is in de literatuur het verschil in concentratie tussen in- en uitlaat gemeten. De effectiviteit hangt af van de kwaliteit van het filter en kan oplopen tot bijna 100%. Daarbij moet bedacht worden dat het dan gaat om één of ten hoogste enkele stoffen. De effectiviteit van het filter ten aanzien van bijvoorbeeld deeltjes kleiner dan 0,3 µm is onbekend.

Bij de effectiviteit ten aanzien van een ruimte zijn de volgende parameters van belang:

- het product van effectiviteit en luchtdebiet (CADR);
- het volume van de ruimte;
- de bronsterkte van verontreinigingen;
- het stromingspatroon in de ruimte;
- onderhoud.

Zo zal een zeer efficiënt apparaat, wat in relatie tot het volume van de ruimte een laag luchtdebiet heeft, weinig effect hebben op het verontreinigingsniveau.

Tabel 4 a: Overzicht van de resultaten met betrekking tot luchtreiniging (literatuur 1)

Lit. Ref.	Bron	Volume Ruimte [m <sup>3</sup> ]	Type luchtreiniger	Debiet [dm <sup>3</sup> /s]	CADR [dm <sup>3</sup> /s]	Deeltjes reiniging		Gasvormige componenten reductie [%]		
						Start Concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]	Eindconcentratie [µg/m <sup>3</sup> ] of reductie	nicotine	benzeen	CO
79	Sigarettenrook	127	Onbekend	56	11	1350	-	-	-	-
84	Sigarettenrook	135	Voorfilter/HEPA/AK	472	-	300	50%	0	-	-
86	Sigaretten, 25 h <sup>-1</sup> Sigaretten, 12 h <sup>-1</sup>	425	Voorfilter/elektronisch	350	-	3300	1000	-	-	-
		425	Idem	idem	idem	1200	250	-	-	-
92	Sigarettenrook	±78	Voorfilter/HEPA/AK	137	-	Van	70 µg/m <sup>3</sup>	50	-	±30
			Voorfilter/ozon generator	-	-	155	470 µg/m <sup>3</sup>	0	-	±20
			Elektro./V-bag/AK	85	-	tot	380 µg/m <sup>3</sup>	50	-	±30
			Elektro./HEPA/AK	98	-	500	105 µg/m <sup>3</sup>	50	-	±30
94	Sigarettenrook	34	Onbekend	283	60	-	21%	-	-	-
101	Sigarettenrook	171,5	Grof filter/elektro/ASHRAE 95%	472	277-741 <sup>1</sup>	-	-	-	-	-
			Elektrostatisch	382	143					
			Mechanisch filter	472	105					

<sup>1</sup> Afhankelijk van het stromingspatroon en de positie van de luchtreiniger ten opzichte van de bron.

Tabel 4 b: Overzicht van de resultaten met betrekking tot luchtreiniging (literatuur 2)

Lit. Ref.	Bron	Type luchtreiniger	Deeltjes reiniging		Gasvormige componenten, reductie [%]	
			Start Concentratie $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Eindconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] of reductie	Nicotine	benzeen
78	Sigarettenrook	Ionengenerator	40000	50%	-	-
80	Sigarettenrook	ULPA + actief kool	570	93%	-	Start concentratie 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 ppb), 97%
83	Sigarettenrook	HEPA	-	99%	-	-
		Elektrostatisch		60%		
99	deeltjes 18 – 563 nm	MFI	-	>91%	-	-
89	Sigarettenrook	Elektrostatisch	-	53 – 99% afhankelijk van snelheid in apparaat	-	-
91	Aërosol van KCl deeltjes, deeltjesgrootte 0.01 – 3 $\mu\text{m}$	‘furnace’ ASHRAE 40% ASHRAE 65% ASHRAE 85% ASHRAE 95% Elektrostatisch Elektrostatisch Aktief kool	-	Filter efficiëntie: 0 – 30% 0 – 50% 10 – 90% 40 – 98% 50 – 99% 0 – 50% 70 – 90%	-	-       50 ppb, filter binnen enkele minuten verzadigd laagdikte 15 cm, gas snelheid 12,7 cm/s
93	standaard stofmonsters > 0.3 $\mu\text{m}$	A Prefilter + elektr. B Prefilter + elektr. + AK C Prefilter + Fiberglas AK D Elektrostatisch E Elektrostatisch F Elektrostatisch G Elektrostatisch H Prefilter + HEPA	-	Filter efficiëntie: 14% 35% 39% 11% 5% 11% 11% 61%	-	-
						-



Door middel van reiniging kunnen in bijvoorbeeld een rookkamer de volgende reducties worden behaald:

<b>Parameter</b>	<b>Reductie [%]</b>
Respirabel stof	50-70
Nicotine	0-50
CO	0-30
Geur	niet bekend

Wat betreft nicotine is een range aangegeven voor de reductie. De literatuur meldt in het ene geval [92] een duidelijke reductie bij gebruik van een actief koolfilter terwijl in het andere geval [89] geen enkele reductie gemeld wordt.

De CO-reductie is slechts in 1 onderzoek in de praktijk gemeten [92], hieruit kwamen geen duidelijke data. Wat betreft andere gasvormige verontreinigingen zijn in dit literatuuronderzoek geen praktijk meetdata gevonden. Wel worden schattingen afgegeven voor de standtijd van de filters. De standtijd van filters is de duur dat een filter meegaat binnen de gegeven specificaties. Uitgaande van een uitgaande concentratie uit het filter van 50 ppb werd de standtijd van een typisch filterbed op enkele minuten geschat [91]. Dit lijkt daarmee operationeel niet een geschikte techniek voor gebruik in de horeca.

Geurreductie is lastig meetbaar, hiervoor is een geurpanel noodzakelijk. De literatuur [87, 100] hierover is in dit onderzoek beperkt aanwezig. In [104] wordt er vanuit gegaan dat indien meer dan 96% van de organische componenten wordt verwijderd dan de geur ook sterk gereduceerd zal zijn.

Onderhoud is een zeer belangrijk aspect voor een goede werking van een luchtreiniger. Bij toepassing van een HEPA filter kan relatief eenvoudig de onderhoudstoestand van het filter via de drukval over het filter in de gaten gehouden worden. Hierbij neemt in het algemeen het rendement bij belading van het filter nog iets toe. Bij toepassing van een elektrostatisch filter is het omgekeerde geval. Bij hogere belading neemt het rendement af en kan re-emissie optreden [85]. Routine-onderhoud en inspectie zijn bij de toepassing van een elektrostatisch filter dus belangrijk.



## 7 Beschouwing

### 7.1 Blootstelling

Omgevingstabaksrook is de oorzaak van gezondheidsschade (WHO, IARC, Gezondheidsraad). Niet alleen is de samenstelling van omgevingstabaksrook buitengewoon complex, ook de aard van de effecten is erg verschillend. Sommige componenten zijn in hoge mate verantwoordelijk voor de acute reacties (zoals irritaties) van korte termijn blootstelling, andere componenten zijn in hoge mate verantwoordelijk voor de effecten na langdurige blootstelling (hart- en vaatziekten en kanker). Onderlinge beïnvloeding van stoffen in omgevingstabaksrook moet daarbij zeker niet worden uitgesloten. Van veel stoffen in omgevingstabaksrook is weinig bekend. Zelfs van de stoffen waarvan wel toxicologische informatie beschikbaar is, is veelal onduidelijk hoe dosis-effect relaties er kwantitatief uitzien. Dit betekent dat het moeilijk in te schatten is wat reductie van blootstelling aan omgevingstabaksrook in horecagelegenheden kan betekenen voor de volksgezondheid. Bijkomend probleem is daarbij natuurlijk dat vele componenten niet uniek in omgevingstabaksrook voorkomen, maar dat ook andere blootstellingsbronnen een bijdrage leveren. De Gezondheidsraad (2003) en andere gezaghebbende organisaties (IARC -ref 105, WHO, EPA – ref 106) geven aan dat omgevingstabaksrook een risicofactor is voor de volksgezondheid. Zij baseren zich in deze conclusie voornamelijk op epidemiologisch onderzoek, hoewel er ook onderzoek naar schadelijke effecten componenten van omgevingstabaksrook met proefdieren en in vitro systemen beschikbaar is. Er is geen eenduidige dosis-effect relatie op te stellen voor omgevingstabaksrook in de bevolking, hoewel duidelijk is dat bij toenemende blootstelling het relatieve risico toeneemt. Op basis van Amerikaans onderzoek van de EPA (106) bleek het relatieve risico van niet-rokers die samen wonen met rokende partners toe te nemen met het aantal door de partner geconsumeerde sigaretten (zowel sigaretten per dag, als het aantal jaren dat werd meegerookt). In 1997 werd een andere meta-analyse (van 37 studies) gepubliceerd met een vergelijkbaar resultaat (107). Ook hier werd een duidelijke dosis-response relatie gevonden. In een in 2001 gepubliceerde meta-analyse werd opnieuw een dosis-effect relatie gevonden; dit keer voornamelijk gericht op de effecten bij vrouwen (108). In deze laatste studie is, meer dan in de eerdere studies, gekeken naar de effecten van meerroken op de werkplek; een effect dat in de meta-analyse wel tot uitdrukking kwam.

In de hierboven beschreven studies is gekeken naar de effecten van omgevingstabaksrook in de gehele bevolking. De conclusie is dat er dosis-effect relaties zijn, en tevens is duidelijk dat er geen veilige ondergrens is aan te geven. Er zijn helaas geen studies waarin specifiek is gekeken naar de kwantitatieve effecten van blootstelling aan omgevingstabaksrook in de horeca, ook al is uit onder meer de studies van Akbar-Kanzadeh (30) en Beseratinia et al (30) duidelijk geworden dat blootstelling in de horeca resulteert in een meetbare hoeveelheid van een nicotine-metaboliet in het bloed van niet-rokers. Van veilige blootstellingsconcentraties zal in de horeca geen sprake kunnen zijn zolang de horeca niet rookvrij is. Reductie van de blootstellingsconcentraties van omgevingstabaksrook door ventilatie en luchtreiniging zal wel bijdragen aan de vermindering van het gezondheidsrisico.

Indien er voor gekozen wordt de horeca niet rookvrij te maken, dan zullen bezoekers en het personeel in de horeca worden blootgesteld aan omgevingstabaksrook. Afhankelijk van de ventilatie en reinigingstechnieken zal niet alleen de hoogte van de blootstellingsconcentratie worden gereduceerd. Ook de samenstelling van de rook zal anders kunnen zijn omdat technieken niet allemaal even effectief zijn voor verschillende componenten.

Er bestaan MAC-waarden<sup>1</sup> die zijn opgesteld ter bescherming van de beroepsbevolking. In het kader van de ARBO wetgeving worden MAC-waarden gebruikt om de medewerkers een aanvaard niveau van gezondheidsbescherming te bieden (ref 109). Binnen MAC-kader worden gezondheidsrisico's afgewogen tegen het licht van de economische noodzaak om stoffen in het productieproces te gebruiken. Uitgangspunt is dat dit tijdelijk aanvaarde concentratie van blootstelling zijn die in de loop der tijd steeds lager (dienen te) worden vastgesteld. Voor omgevingstabaksrook bestaan geen MAC-waarden. Voor enkele componenten van omgevingstabaksrook echter wel. Bij een vergelijking van bestaande MAC-waarden met karakteristieke concentraties van tabaksrookcomponenten in de horeca mag niet uit het oog verloren worden dat omgevingstabaksrook niet alleen een zeer complex mengsel is, maar dat er in dat mengsel vaak ook vele stoffen zijn die vergelijkbare toxicologische of farmacologische effecten veroorzaken. MAC-waarden van een individuele stof zouden eigenlijk vergeleken moeten worden met blootstellingsconcentraties aan een groep van vergelijkbaar werkende stoffen; ware het niet dat in omgevingstabaksrook van veel onbekende stoffen niet bekend is wat hun concentratie is, en in welke mate zij bijdragen aan een bepaald effect. Het vergelijken van de blootstellingsconcentratie van 1 stof met zijn MAC waarde is dus een 'best-case' benadering. Evenmin mag uit het oog verloren worden dat normaliter de veiligheidsfactoren die gebruikt worden voor de beroepsbevolking veel kleiner zijn dan die voor de hele bevolking. MAC waarden zijn derhalve veel hoger dan concentraties die aanvaardbaar geacht worden voor de hele bevolking; ook hier geldt dus dat de MAC-waarden een 'best-case' situatie representeren.

In de Nationale MAC-lijst 2003 is de MAC-waarde voor nicotine 500  $\mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$ . Zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven is de karakteristieke concentratie van nicotine in disco's en bars met traditionele ventilatie ongeveer 100-200  $\mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$ . Weliswaar is de MAC-waarde hoger dan de karakteristieke blootstellingswaarde, maar de marge is niet groot. Zeker niet als de eerder gemaakte kanttekening in oenschouw genomen worden.

Voor de meeste componenten uit omgevingstabaksrook zijn geen kwantitatieve gegevens bekend van metingen in de horeca. Het is derhalve niet mogelijk concentraties met MAC-waarden te vergelijken. Omdat kwantitatief nicotine een belangrijke tabakscomponent is van sigaretten en sigarettenrook, zullen de concentraties van de meeste stoffen in de horeca gelijk of minder zijn dan die van nicotine (100-200  $\mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$  in drukke gelegenheden zoals bars, tot een factor tien lager in restaurants). De MAC-waarden van de meeste stoffen die wel zijn aangetroffen in omgevingstabaksrook zijn in de orde van milligram per kubieke meter. Voorbeelden hiervan zijn formaldehyde, ammonia en fenol. Een belangrijke uitzondering hierop is misschien acrolëine. Hoewel er weinig metingen in de horeca zijn verricht, zijn de gemeten waarden in de orde grootte van 10-50  $\mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$  in drukbezochte horecagelegenheden.

### <sup>1</sup> Maximaal Aanvaarde Concentraties

De MAC-waarden van acrolëine is slechts  $50 \mu\text{g per m}^{-3}$ , wat aangeeft dat voor deze stof er nauwelijks een marge is tussen MAC en actuele blootstellingsconcentraties. Singer et al. (17,19) geven aan dat de emissie van acrolëine ongeveer 50% is van die van nicotine. Als de karakteristieke concentraties van nicotine dus ruim boven de  $100 \mu\text{g m}^{-3}$  zijn in drukbezochte gelegenheden waar gerookt mag worden, dan zullen waarschijnlijk de concentraties acrolëine boven die van de MAC waarden zijn. In de literatuur is hiervan geen bevestiging gevonden omdat er geen studies zijn waarin dergelijke getallen worden gerapporteerd in drukke bars of disco's.

Door de blootstelling aan omgevingstabaksrook te reduceren wordt de marge tussen blootstellingsconcentraties en MAC-waarden natuurlijk groter. Toch zal dit niet resulteren in een verwaarloosbaar gezondheidsrisico voor de individuele stoffen. Dit geldt te meer voor genotoxische stoffen waarvoor tot op heden geen drempelwaarden zijn afgeleid waaronder geen gezondheidsschade optreedt. Vanwege het grote aantal genotoxische stoffen dat in omgevingstabaksrook is aangetoond, zal er dus vanuit gegaan moeten worden dat ook bij substantiële vermindering van de blootstelling aan omgevingstabaksrook er gezondheidsschade ten gevolge van deze blootstelling blijft ontstaan bij medewerkers en gasten in de horeca.

## 7.2 Regelgeving ventilatie

Via het Bouwbesluit [110] worden aan bouwwerken luchtverversingseisen gesteld. Afhankelijk van de gebruiksfunctie van het gebouw of gebouwdelen zijn de eisen geformuleerd.

De eisen kunnen bovendien afhankelijk zijn van de bezettingsgraad.

Voor horeca gelegenheden worden voor nieuwbouw de volgende eisen gesteld:

Ruimte	Bezettingsgraad klasse		
	B1	B2	B3
Bijeenkomst functie			
Ruimte voor alcoholgebruik	$4,8 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$	$4,8 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$	$4,8 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$
Andere ruimte	$4,8 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$	$1,9 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$	$0,8 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$

Uitgaande van hoogten van 2,4 en 3 meter betekent  $4,8 \text{ dm}^3 / \text{s per m}^2$  een ventilatievoud van respectievelijk 7,2 en  $5,8 \text{ h}^{-1}$ .

De bezettingsgraadklassen B4 en B5 mogen in gebouwen met een bijeenkomstfunctie niet worden gebruikt.

De bezettingsgraadklassen B1, B2 en B3 zijn in het Bouwbesluit gedefinieerd. Een aanvrager van een Bouwvergunning dient aan te geven welke bezettingsgraad klasse hij kiest. Het is vanzelfsprekend dat hij/zij de ruimte dan ook overeenkomstig deze klasse mag gebruiken.

Bezettingsgraadklasse	in $\text{m}^2$ gebruiksoppervlakte per persoon	in $\text{m}^2$ vloeroppervlakte aan verblijfsgebied per persoon
B1	$> 0,8 \text{ en } \leq 2$	$> 0,5 \text{ en } \leq 1,3$

B2	> 2 en $\leq$ 5	> 1,3 en $\leq$ 3,3
B3	> 5 en $\leq$ 12	> 3,3 en $\leq$ 8

Het toezicht en de handhaving op de bouwvoorschriften is in Nederland in belangrijke mate de verantwoordelijkheid van de gemeenten.

De filosofie achter de voorschriften is dat de bewoner of gebruiker van het gebouw ventilatievoorzieningen tot zijn beschikking moet hebben waarmee hij/zij in staat is het vereiste niveau te realiseren. Het werkelijke gebruik wordt aan de verantwoordelijkheid van de gebruiker of bewoner overgelaten.

Indien het ministerie van VWS wenst dat een reductie van de blootstelling aan omgevingstabaksrook via ventilatiemaatregelen in de arbeidssituatie optreedt, dan legt men impliciet de eis op aan de gebruiker van een gebouw adequaat te ventileren. Correct gebruik is niet zonder meer van elke ondernemer te verwachten. Het vraagt een beter kennisniveau met betrekking tot ventilatie en het gebruik van de voorzieningen van de huidige horecaondernemer. Ook regelmatige inspectie en onderhoud zullen noodzakelijk zijn om in de praktijk een reductie aan blootstelling effectief te realiseren. Indien wettelijke eisen aan ventilatiesystemen met betrekking tot het rookbeleid worden gesteld, heeft dat belangrijke consequenties voor de controlerende instanties.

### 7.3 Energie

Hoewel in deze literatuurstudie vrijwel geen aandacht is geschonken aan energetische aspecten van ventilatie kan wel worden vermeld dat ventileren met buitenlucht een belangrijk deel van de warmtevraag van een gebouw kan betekenen. Zeker als men verdringingsystemen met relatief grote stromen in aanmerking neemt. Het lijkt dan ook zeker gewenst mogelijkheden van warmteterugwinning in beschouwing te nemen. Deze warmteterugwinning betekent een extra investering, die in vrijwel alle gevallen uit economische overwegingen haalbaar is. Bij de beschouwing over kosten in 7.5 zijn de kosten voor warmteterugwinning buiten beschouwing gelaten.

### 7.4 Comfort

Er is in deze literatuurstudie geen uitgebreide beschouwing met betrekking tot comfort ten gevolge van ventilatie opgenomen. Wel kan worden gesteld dat aandacht voor comfort bij ventilatie met buitenlucht noodzakelijk is. Met name bij de hogere ventilatieniveaus is het tochtvrij toevoeren van lucht een aandachtspunt. Dit geldt met name bij systemen waarbij de buitenlucht niet wordt voorverwarmd voor het wordt toegevoerd aan de ruimte. Zodra ventilatieniveaus noodzakelijk zijn die ruim boven het Bouwbesluit niveau liggen (bijv. 5 – 10 \* Bouwbesluiteis) dan is het toevoeren via verdringing vanuit verlaagde plafonds en/of wanden vrijwel de enige oplossing. De mate van de minimaal noodzakelijke voorverwarming hangt in belangrijke mate af van de buitentemperatuur. Het beschikbare oppervlak waarover de lucht kan worden toegevoerd en van de momentane bezetting (personen) en overige warmtebelasting van de ruimte.

Met vigerende ventilatietechnieken in de horeca die gebaseerd zijn op menging en verdunning (denk aan raam- en muurventilatoren bv) zijn reducties van de blootstelling tot maximaal enkele tientallen procenten te bereiken. Door toenemend gebrek aan comfort (tocht) kunnen de ventilatievouden niet ongehinderd worden

verhoogd. Met aanvullende maatregelen (zoals het voorverwarmen van de lucht) kunnen hogere ventilatievouden worden toegepast. Omdat de blootstellingconcentratie in een ruimte bij verdunning en volledige menging omgekeerd evenredig is met de toegepaste ventilatievoud (verversing van de hele ruimte per uur), zal een hogere ventilatievoud resulteren in een grotere blootstellingreductie. Gangbare ventilatievouden in de horeca liggen waarschijnlijk rond de  $1 \text{ h}^{-1}$ ). De eisen in het bouwbesluit komen neer op circa  $6 \text{ (h}^{-1}\text{)}$ . Zonder aanvullende maatregelen zijn oplossingen mogelijk met een ventilatievoud van circa  $4\text{-}6 \text{ (h}^{-1}\text{)}$ , terwijl met voorverwarming ventilatievouden tussen de  $6\text{-}10 \text{ (h}^{-1}\text{)}$  realiseerbaar moeten zijn. In dit laatste geval zal dus ten opzichte van de huidige situatie de blootstelling met 50 % tot 90% gereduceerd kunnen worden. Meetgegevens van omgevingstabaksrook in horecagelegenheden waar de ventilatie en luchtreiniging experimenteel zijn onderzocht komen goed overeen met de hierboven genoemde reductiepercentages.

## 7.5 Kosten

Bij het beschouwen van kosten van ventilatiesystemen dient men onderscheid te maken tussen:

- Aanschaf-kosten van de apparatuur
- Installatiekosten
- Verbouwingskosten
- Kosten voor de bedrijfsvoering
  - Energie-kosten
  - Onderhouds- vervangingskosten

In deze beschouwing worden slechts zeer globale schattingen gegeven van kosten gebaseerd op aanschaf en installatie van het systeem. Aangenomen is een ruimte van circa  $150 \text{ m}^2$ .

Verbouwingskosten zijn in deze beschouwing niet meegenomen.

De volgende systemen worden onderscheiden:

- Ventilatie via raam- of muurventilatoren
- Mechanische toevoer en afvoer van lucht, via kanalen en roosters
- Volledige verdringingsventilatie
- Lokale verdringing

### Raam- en muurventilatoren

Niet alle horeca-ondernemingen hebben op dit ogenblik ventilatievoorzieningen die aan het Bouwbesluit voldoen. Op veel plaatsen wordt de ventilatie van de horeca ruimte nog verzorgd door een raam- of muurventilator die volgens de oude horeca richtlijnen in principe voldoende afvoercapaciteit heeft. Bewust aangebrachte toevoervoorzieningen ontbreken in veel gevallen. Het gebruik van de ventilator wordt aan de horeca ondernemer over gelaten. De vraag welk ventilatie systeem op dit moment representatief is voor de horeca kan op basis van dit onderzoek niet worden beantwoord. Wel staat vast dat het vrijwel altijd mengende systemen betreft.

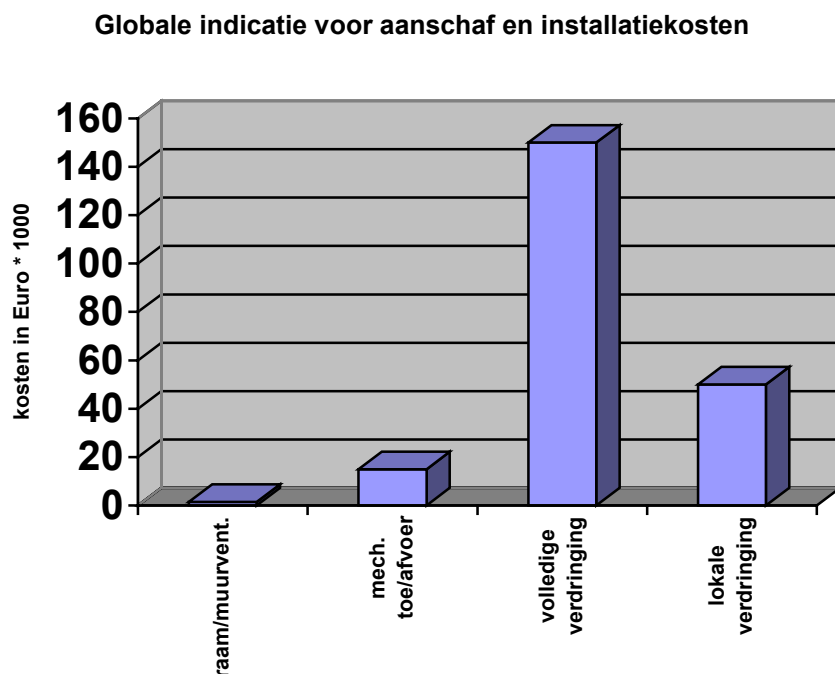
### Mechanische toe- en afvoer van lucht

Hierbij wordt lucht aangezogen bij de gevel of op het dak, via kanalen wordt deze lucht met een ventilator naar de ruimte gevoerd. De afvoer vindt op eenzelfde manier plaats. Met name het tochtvrij toevoeren van lucht is bij dit systeem een probleem. Soms wordt de lucht voor het toevoeren aan de ruimte nog voorverwarmd, waardoor geen comfortproblemen meer hoeven te ontstaan.

Volledige verdringing komt nu in de horeca niet voor. Volledige verdringingsystemen worden nu vooral toegepast in operatiekamers van ziekenhuizen, cleanrooms en laboratoria.

Lokale verdringing zal veelal worden toegepast in situaties waar twee ruimten via een opening of doorgang met elkaar in verbinding staan. Er is dan sprake van een relatief schone ruimte met verdringing en een relatief vuile ruimte waarbij het ventilatiesysteem gewoon mengend kan zijn. De bescherming tussen de schone en de vuile ruimte wordt bepaald door de minimaal te onderhouden snelheid in de verbindingsoopening en de versturende invloeden van personen die door de opening lopen. Bij het beschouwen van de kosten dient men te bedenken dat het basis referentieniveau eigenlijk tenminste een systeem met mechanische toe- en afvoer moet zijn. Het is vrijwel onmogelijk aan de eisen van het Bouwbesluit te voldoen met raam en muur ventilatoren. Het minimale systeem zou dus in principe het systeem met mechanische toe- en afvoer moeten zijn.

De globale indicatie van de aanschaf en installatie-kosten worden weergegeven in figuur 11.



*Figuur 11: Globale indicatie voor de aanschaf en installatiekosten van verschillende systemen*



De globale kostenindicatie is niet zonder meer om te rekenen in een prijs per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte. Voor kleinere ruimten zal de prijs globaal gelijk zijn aan de hier genoemde. Voor grotere ruimten zijn lagere kosten per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte mogelijk.

Volgens het Statistisch Zakboekje 2003 (111) zijn er in totaal ongeveer 19.000 cafe's, bars en andere drankenverstrekkers. Zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven zullen in veel van deze bedrijven de blootstellingsconcentraties aan omgevingstabaksrook hoger zijn dan in veel andere horecagelegenheden. Volgens het Statistisch Zakboekje is het gemiddelde vloeroppervlak van deze bedrijven ronde de 180 m<sup>2</sup>, en zetten deze bedrijven tesamen voor ongeveer 3,2 miljard euro om per jaar. De omzet per vierkante meter per jaar komt daarmee op een bedrag van iets onder de duizend euro per vierkante meter per jaar. Op basis van het zelfde Statistisch Zakboekje 2003 wordt geschat dat in de iets meer dan 10.000 restaurants (waar de concentraties omgevingstabaksrook gemiddeld aanmerkelijk lager zijn) de omzet per vierkante meter per jaar ongeveer 2700 euro is. Indien in deze bedrijven volledige verdringingsventilatie aangelegd moet worden komen de investeringskosten volgens figuur 11 ook rond de duizend euro per vierkante meter. Er is geen beeld van de kosten van het exploitatie en het jaarlijks onderhoud.



## 8 Conclusies

### Algemeen

- Precieze blootstellingseffect-relaties zijn niet bekend voor omgevingstabaksrook. Daarom kan niet worden aangegeven in welke mate reductie van gezondheidsrisico's daadwerkelijk bereikt kan worden door reductie van de blootstelling door middel van ventilatie. Op basis van de beschikbare wetenschappelijke informatie is het niet waarschijnlijk dat een reductie van de blootstelling een evenredige reductie van de gezondheidsrisico's betekent.
- Voor een groot aantal stoffen in omgevingstabaksrook (zoals tientallen kankerverwekkende en genotoxische stoffen) bestaan geen drempelwaarden. Dit wil zeggen dat er geen veilige ondergrens voor blootstelling aan tabaksrook bestaat (WHO, GR). Volledige reductie van de gezondheidsrisico's door ventilatie zal daarom niet mogelijk zijn
- Bij het kwantificeren van omgevingstabaksrook worden doorgaans enkele markers gebruikt. Vanwege het grote aantal componenten in omgevingstabaksrook en het ontbreken van voldoende gegevens over markers is onduidelijk in hoeverre deze markers een goed beeld geven van de blootstelling aan omgevingstabaksrook en de reductie die met ventilatie bereikt kan worden. Er zijn studies waaruit blijkt dat ventilatie niet alle stoffen in omgevingstabaksrook in gelijk mate reduceert.
- Verstoringen (objecten en ongewenste luchtstromingen als gevolg van bewegingen (personen, deuren, etc.) zijn een belangrijke beperkende factor voor de effectiviteit van ventilatiesystemen. Deze verstoringen kunnen door geen enkel ventilatiesysteem volledig teniet worden gedaan. In de bestaande literatuur worden meestal metingen gerapporteerd die zijn uitgevoerd onder laboratoriumomstandigheden. Dit betekent dat er geen of zeer weinig verstoringen waren. De gerapporteerde percentages zullen in praktijksituaties met veel verstoringen (druk café of discotheek) dan ook moeilijk gehaald worden.
- Er is weinig literatuur die wetenschappelijk voldoende betrouwbaar is op basis waarvan verantwoorde uitspraken gedaan kunnen worden over de invloed van ventilatie- en luchtreinigingsmaatregelen op de blootstelling aan omgevingstabaksrook. Per reductiemaatregel betreft het slechts enkele (3-4) bruikbare en betrouwbare studies. In dit licht dienen de getallen van de conclusies te worden beschouwd. Deze getallen zijn dus omgeven met onzekerheid.
- Regelmatig onderhoud, goede bediening en inspectie van de systemen zal noodzakelijk zijn om een effectieve terugdringing van de blootstelling aan tabaksrook te bewerkstelligen.

### Verdunningsventilatie

- In de horeca wordt momenteel ventilatie toegepast die gebaseerd is op menging en verdunning. Voor het inschatten van de mogelijke reductie wordt uitgegaan van bestaande systemen in de horeca (mengventilatie) en de bestaande ventilatie-eisen uit het Bouwbesluit. Deze eisen betekenen in de praktijk dat de lucht in een ruimte ongeveer zes maal per uur volledig ververst dient te worden. De huidige gemiddelde situatie in de horeca wijkt daar

waarschijnlijk van af. In de huidige situatie in de horeca wordt naar schatting vaak een ventilatievoud van de ruimte van circa 1 tot 3 per uur gerealiseerd, wat overeen komt met ongeveer 15 tot 50 % is van het huidige Bouwbesluit. Met de beschikbare apparatuur zou conform het Bouwbesluit een ventilatievoud van circa 6 per uur gerealiseerd moeten kunnen worden. Bij deze ventilatievouden kan echter vermindering van comfort (tocht e.d.) een belangrijk bezwaar kan vormen. Het benutten van bestaande ventilatieapparatuur op het niveau van het Bouwbesluit zal in veel horecagelegenheden resulteren in een aanmerkelijke verlaging van de blootstelling aan omgevingstabaksrook. In de literatuur zijn enkele studies beschreven die hierop duiden.

- Met aanvullende maatregelen, zoals het voorverwarmen van de toevoerlucht, zouden hogere ventilatievouden ( $6-10 \text{ h}^{-1}$ ) toegepast kunnen worden. In de beschikbare literatuur zijn echter geen studies met omgevingstabaksrook in horecagelegenheden te vinden waarbij dergelijke ventilatievouden zijn toegepast. Daarom zijn geen uitspraken te doen welke reducties hiermee in de praktijk te bereiken zijn. In theorie zouden dergelijke ventilatieniveaus een reductie van blootstellingsconcentraties van 50-90% ten opzicht van de huidige situatie kunnen opleveren. Zeker is wel dat aanvullende maatregelen en voorzieningen met betrekking tot luchttoevoer en comfort noodzakelijk zullen zijn om grotere reducties van blootstellingsconcentraties te bereiken.
- Een nadeel van hogere ventilatievouden is dat dit meer energie kost. Zeker als buitenlucht wordt aangevoerd, kan het ventileren een niet onaanzienlijk deel van de warmtevraag van een gebouw betekenen.

### Verdringingsventilatie

- Verdringingsventilatie wordt in horecagelegenheden nog vrijwel niet toegepast, ondanks dat hiermee hogere ventilatieniveaus gerealiseerd kunnen worden dan met mengventilatie, met behoud van comfort.
- Het verhogen van de ventilatieniveaus zal leiden tot een grotere reductie. Bij verdubbeling van het ventilatieniveau zullen reducties bereikt kunnen worden van 50%. Omdat met verdringingsventilatie een ventilatieniveau van ruim 10 keer de eisen van het Bouwbesluit gerealiseerd kunnen worden, zal dit in principe kunnen resulteren in een reductie van de blootstellingsconcentratie van omgevingstabaksrook van 90 % of meer.

### Lokale verdringing en zonering

- Ventilatie kan gecombineerd worden met zonering (scheiding rokers en niet-rokers, al dan niet door middel van een fysieke scheiding). Door gebruik te maken van zonering en lokale verdringing worden in de literatuur reducties tot 90-95 % gevonden in het niet-rokersgedeelte ten opzichte van het rokersgedeelte.

### Luchtreiniging

- De praktisch haalbare reductie met luchtreinigingsapparatuur bedraagt maximaal 30% - 50% afhankelijk van het soort filter. Deze reductie geldt alleen voor de stof(fen) waarvoor het filter geschikt is. Het is niet bekend hoe effectief kleine deeltjes ( $<0,3 \mu\text{m}$ ) uit omgevingstabaksrook worden gefilterd. De standtijd van sommige filters is soms dusdanig kort dat het operationeel gebruik voor omgevingstabaksrook beperkt kan zijn. Toepassing van reinigingsapparatuur lijkt vooral effectief om de concentratie in rookruimten te

verlagen en daarmee het effect van de verspreiding van resterende tabaksrook te reduceren.

#### Is 90 % of meer reductie van de blootstelling aan omgevingstabaksrook in de horeca in theorie mogelijk ?

- De huidige concentraties omgevingstabaksrook verschillen sterk tussen verschillende soorten horecagelegenheden. Door een reductie van de blootstellingsconcentraties in drukke rokerige horecagelegenheden (zoals disco's) met 90% zullen blootstellingsniveaus ontstaan die momenteel in restaurants gevonden worden. Ook bij 90% reductie kan in drukke horecagelegenheden dus een aanzienlijke blootstelling resteren. De modelberekeningen met mengende systemen en verdringingsystemen met relatief lage stromen leveren reducties op die vergelijkbaar zijn met de reducties die in de literatuur gevonden zijn (metingen).
- De effectiviteit van ventilatiemaatregelen wordt in belangrijke mate bepaald door de verstoringen van het luchtstromingspatroon in de ruimte. Met name het uitblazen van tabaksrook en het heen en weer lopen van personen zijn factoren die de blootstelling aanzienlijk beïnvloeden – ongeacht de gebruikte ventilatiesystemen. In drukke gelegenheden zou dit het rendement van verdringingsventilatie sterk kunnen beperken.
- Met de momenteel gebruikelijke mengventilatiemethoden in de horeca zal een reductie van 90% van de huidige blootstelling aan omgevingstabaksrook niet, of vrijwel niet, te realiseren zijn.
- Met verdringingsventilatie kunnen de huidige blootstellingsniveaus aan omgevingstabaksrook potentieel wel met ongeveer 90% verlaagd worden omdat hoge ventilatieniveaus kunnen worden gerealiseerd.
- Door gebruik te maken van zonering, in combinatie met verdringingsventilatie kan de blootstelling in de rokerszone ten opzichte van een rokerszone die geventileerd wordt volgens de eisen uit het huidige Bouwbesluit met ongeveer 90% worden gereduceerd, terwijl in de niet-rokerszone bij adequaat gebruik een grotere reductie zou kunnen worden gerealiseerd.

Tot slot:

- Uit de globale inschatting van de kosten in hoofdstuk 7 wordt duidelijk dat er zeer omvangrijke investeringen nodig zijn om de bovengenoemde reductiepercentages te kunnen behalen. Dit is exclusief onderhoud en exploitatie. Ook is bij die inschatting geen rekening gehouden met toenemende energiekosten en de kosten voor verbouwingen zoals het aanbrengen van fysieke scheidingen tussen rokersdelen en niet-rokersdelen.



## Literatuur

- [1] Jenkins RA, Finn D, Tomkins BA, Maskarinec MP. Environmental tobacco smoke in the nonsmoking section of a restaurant: A case study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2001 Dec; 34(3): 213-220.
- [2] Buringh, E and Opperhuizen A. On health risks of ambient PM in the Netherlands, Executive summary. October 2002.
- [3] Morawska L, Jamriska M, Bofinger ND. Size characteristics and ageing of the environmental tobacco smoke. *Sci. Total Environ*. 1997; 1, 43-55.
- [4] Jamriska M, Morawska L. Quantitative assessment of the effect of surface deposition and coagulation on the dynamics of submicrometer particles indoor. *Aerosol Science and Technology*. 2003 May; 37(5): 425-436.
- [5] Gezondheidsraad  
Volksgezondheidsschade door passief roken  
2003
- [6] Jaakkola, MS en Jaakkola, JJK., 1997. Assessment of exposure to environmental tobacco smoke. *European Respiratory Journal*, 10: 2384 – 2397.
- [7] Seeman JI, Dixon M, Hausmann HJ. Acetaldehyde in mainstream tobacco smoke: Formation and occurrence in smoke and bioavailability in the smoker. *Chemical Research in Toxicology*. 2002 Nov; 15(11): 1331-1350.
- [8] Shaughnessy RJ, McDaniels TJ, Weschler CJ. Indoor chemistry: Ozone and volatile organic compounds found in tobacco smoke. *Environmental Science and Technology*. 2001 Jul.1; 35(13): 2758-2764.
- [9] Liu YJ, Zhu LZ, Shen XY. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor and outdoor air of Hangzhou, china. *Environmental Science and Technology*. 2001 Mar 1; 35(5): 840-844.
- [10] National Cancer Institute. Health effects of exposure to environmental tobacco smoke: the report of the California Environmental Protection Agency. Chapter 2: Exposure measurement and prevalence. In: *Smoking and Tobacco Control Monograph No. 10*. Bethesda, MD: National Institutes of Health, National Cancer Institute; 1999. (NIH Pub. No. 99-4645)
- [11] Palmiotto G, Pieraccini G, Moneti G, Dolara P. Determination of the levels of aromatic amines in indoor and outdoor air in Italy. *Chemosphere*. 2001 Apr; 43(3): 355-361.
- [12] Nelson PR, Conrad FW, Kelly SP, Maiolo KC, Richardson JD, Ogden MW, 1997. Composition of environmental tobacco smoke (ETS) from international cigarettes and determination of ETS-RSP: particulate marker ratios. *Environment International*, 23:1: 47-52.

- [13] Nelson, PR, Kelly, SP, Conrad, FW, 1998. Studies of environmental tobacco smoke generated by different cigarettes. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 48: 336-344
- [14] Daisey, JM, 1999. Tracers for assessing exposure to environmental tobacco smoke: What are they tracing? *Environmental Health Perspectives*, 107 Suppl. 2: 319-327.
- [15a] Bohanan HR, Piade JJ, Schorp MK, Saint-Jalm Y. An international survey of indoor air quality, ventilation, and smoking activity in restaurants: a pilot study. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 2003 Sep; 13(5): 378-392.
- [15b] Bohanon HR, Deesign for smoking areas: Part 2 - applications. proceedings of the 1998 Ashrae annual meeting, 1998
- [16] Carrington J, Watson AFR, Gee IL. The effects of smoking status and ventilation on environmental tobacco smoke concentrations in public areas of UK pubs and bars. *Atmospheric Environment*. 2003 Jul; 37(23): 3255-3266.
- [17] Xie JX, Wang XM, Sheng GY, Bi XH, Fu JM. Determination of tobacco smoking influence on volatile organic compounds constituent by indoor tobacco smoking simulation experiment. *Atmospheric Environment*. 2003 Aug; 37(24): 3365-3374.
- [18] Singer BC, Hodgson AT, Guevarra KS, Hawley EL, Nazaroff WW. Gas-phase organics in environmental tobacco smoke.1.Effects of smoking rate, ventilation, and furnishing level on emission factors. *Environmental Science and Technology*. 2002 Mar1; 36(5): 846-853.
- [19] Singer BC, Hodgson AT, Nazaroff WW. Gas-phase organics in environmental tobacco smoke:2. Exposure-relevant emission factors and indirect exposures from habitual smoking. *Atmospheric Environment*. 2003 Dec; 37(39-40): 5551-5561.
- [20] Isso  
handboek installatietechniek, tichting ISSO-Rotterdam, ISBN, 90-5044-094-0  
2002
- [21] Calafat AM, Polzin GM, Saylor J, Richter P, Ashley DL, Watson CH. Determination of tar, nicotine, and carbon monoxide yields in the mainstream smoke of selected international cigarettes. *Tobacco Control*. 2004 Mar; 13 (1): 45-51.
- [22] Lee SC, Guo H, Li WM, Chan LY. Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 2002 Apr; 36(12): 1929-1940.
- [23] Löfroth G. Environmental tobacco smoke: multicomponent analysis and room-to-room distribution in homes. *Tobacco Control*. 1993; 2: 222-225.



- [24] Moschandreas DJ, Vuilleumier KL. ETS Levels in hospitality environments satisfying ASHRAE standard 62-1989: "ventilation for acceptable indoor quality. Atmospheric Environment. 1999; 33:4327-4340.
- [25] Cairns T, Cannata S, Poulos R, Ferson MJ, Stewart BW. Designated "no smoking" areas provide from partial to no protection from environmental tobacco smoke. Tobacco Control 2004; 13: 17-22.
- [26] Cenko C, Pisaniello D, Esterman A. A study of Environmental Tobacco Smoke in South Australian pubs, clubs and cafes. International Journal of Environmental Health Research. 2004 Feb; 14(1): 3-11.
- [27] Junker M, Koller T, Monn C. An assessment of indoor air contaminants in buildings with recreational activity. The Science of the Total Environment. 2000. 246; 139-152.
- [28] Rojas-Bracho L, Suh HH, Catalano PJ, Koutrakis P. Personal exposures to particles and their relationships with personal activities for chronic obstructive pulmonary disease patients living in Boston. Journal of the Air and Waste Management Association. 2004 Feb; 54(2): 207-217.
- [29] Chao CYH, Wan MP, Cheng ECK. Penetration coefficient and deposition rate as a function of particle size in non-smoking naturally ventilated residences. Atmospheric Environment. 2003 Sep; 37(30): 4233-4241.
- [30] Akbar-Khazadeh, F.  
Exposure to environmental tobacco smoke in restaurants without separate ventilation systems for smoking and non-smoking dining areas  
Archives of Environmental Health, 2003
- [31] Besaratinia A, Maas LM, Bouwer EMC, Moonen EJC, De Kok TMCM, Wesseling CJ, Loft, S, Kleinjans, JCS and Van Schooten FJ. A molecular dosimetry approach to assess human exposure to environmental tobacco smoke in pubs. Carcinogenesis 2002. 23 (7): 1171-1176
- [32] Jenkins RA.  
Environmental tobacco smoke in the nonsmoking section of a restaurant: A case study  
Chemical and Analytical Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 2001
- [33] Rydock JP.  
An isothermal air curtain for isolation of smoking areas in restaurants  
Norwegian Building Research Institute, Proceedings of Roomvent. 2000, pp 663-668
- [34] Alevantis LE.  
Effectiveness of ventilation in 23 designated smoking areas in California office buildings  
Paper 94-025, Ashrae's IAQ 1994
- [35] Hayward SB, Alevantis LE, Liu K-S.

- Effectiveness of ventilation and other controls in reducing exposure to environmental tobacco smoke in office buildings.  
California Dept of Health Services, 1995
- [36] Lui KS, Alevantis LE, Offermann FJ.  
A survey of environmental tobacco smoke controls in California office buildings  
Indoor Air, 2001
- [37] Nickel J.  
Air quality in a conference room with tobacco smoking ventilated with mixed or displacement ventilation  
proceedings Roomvent 90, 1990
- [38a] Straub HE.  
Evaluation of smoking lounge ventilation designs  
Ashrae transactions, vol 99, pt 1, 1993
- [38b] Straub HE.  
Evaluation of smoking lounge air distribution.  
Indoor air quality, Canada, 1992
- [39] Kolokotroni M.  
Ventilation effectiveness and space partitioning to minimise migration of tobacco smoke in public buildings.  
Proceedings of healthy buildings, 1995
- [40] Nelson PR.  
Design for smoking areas: Part 1 - Fundamentals.  
proceedings of the 1998 Ashrae annual meeting, 1998
- [41] Walker JC, Nelson PR, Cain WS, Utell MJ, Joyce MB, Morgan WT, Steichen TJ, Pritchard WS, Stancill MW. Perceptual and psychophysiological responses of non smokers to a range of environmental tobacco smoke concentrations.  
Indoor Air. 1997; 7:3, 173 - 188.
- [42] Kulmala ES.  
Control of environmental tobacco smoke in restaurants.  
Proceedings of Ventilation 2000, Volume 1, 2000
- [43] ISSO  
Werkplekklimatisering door verdringingsventilatie in een kantooromgeving  
1994
- [44] Kotzias, D.  
Preliminary results on the impact of various air exchange rates on the levels of environmental tobacco smoke components  
2003
- [45] British Medical Association  
Towards smoke-free public places  
2002

- [46] Ontario Tobacco Research Unit  
Protection from second-hand tobacco smoke in Ontario. A review of the evidence regarding best practices  
University of Toronto, 2001
- [47] Gosevitz, R.  
Eliminating second-hand smoke from public places and workplaces in Ontario  
OMA position paper, 2003
- [48] Ashrae Standard  
Ventilation for acceptable indoor air quality  
2002
- [49] Dubbeld M.  
Maatregelen voor het beschermen van niet-rokers tegen blootstelling aan tabaksrook  
TNO, 1990
- [50] Application handbook B09  
Ventilation for smoking  
Ventilation against tobacco smoke  
2003
- [51] Alevantis L.  
Designing for smoking rooms  
Ashrae journal, 2003
- [52] Bjorn E, Nielsen PV. Dispersal of exhaled air and personal exposure in displacement ventilated rooms. *Indoor Air*. 2002 Sep; 12(3): 147-164.
- [53] Sarnat JA, Koutrakis P, Suh HH. Assessing the relationship between personal particulate and gaseous exposures of senior citizens living in Baltimore, MD. *Journal of the air and waste management association*. 2000 Jul; 50(7): 1184-1198.
- [54] Adgate JL, Ramachandran G, Pratt GC, Waller LA, Sexton K. Spatial and temporal variability in outdoor, indoor, and personal PM<sub>2.5</sub> exposure. *Atmospheric Environment*. 2002 Jul; 36(20):3255-3265.
- [55] Skistad H., Berner, M.  
Ventilation for tobacco smoking – A case study  
SINTEF Energy Research, 2003
- [56] Hyvärinen M.  
Reducing bartenders' exposure to ETS by local ventilation.  
Field evaluation of the solution  
Finnish Institute of Occupational Health, Finland, 2002
- [57] Hyvärinen M.  
Control of exposure to environmental tobacco smoke in restaurants and bars  
Finnish Institute of Occupational Health, Finland, 2002

- [58a] Geens A.  
Ventilation effectiveness study at the Monageer tavern  
University of Glamorgan, 2003
- [58b] Geens A.  
Ventilation strategy study at the airport hotel, Manchester  
University of Glamorgan, 2003
- [58c] Geens A.  
Ventilation effectiveness study at the Duke of York, Hounslow  
University of Glamorgan, 2003
- [59] Repace J.  
Can ventilation control secondhand smoke in the hospitality industry?  
Repace Associates, Inc. 2000
- [60] Krüne H., Fitzner, K.  
Protection of non-smoking persons against cigarette smoke by airflow  
Brendel Ingenieure GmbH, 2000
- [61] Olesen BW.  
Evaluation of a vertical displacement ventilation system.  
Indoor Air '93, 1993
- [62] Kolokotroni M.  
Effectiveness of simple ventilation strategies and partitioning in mitigating the effects of passive smoking.  
UK, Building Serv Eng Res Technol, Vol 20, 1999
- [63] Bjorn E.  
Passive smoking in a displacement ventilated room.  
Indoor air '96, 1996
- [64] Sodec F.  
Contamination control of indoor air at individual workplaces  
Clima 2000 Conference, 2000
- [65] Sterling TD.  
Indoor by product levels of tobacco smoke: a critical review of the literature.  
Journal of the Air Pollution Control Association, 1982
- [66] Wouters P.  
ventilation and indoor air quality in Belgian hotels, restaurants and pubs: New legislation and results of 2 enquiries  
Proceedings of Indoor Air'93, 1993
- [67] Repace JL.  
Effect of ventilation on passive smoking risk in a model workplace  
Conference on management of atmospheres in tightly enclosed spaces,  
California, 1983

- [68] Sterling E.  
The effectiveness of designated smoking areas in controlling non-smokers exposure to environmental tobacco smoke  
Indoor and Built Environment, 1997
- [69] ASH  
Action on smoking and health, special investigation into the threat of passive smoking to the U.K. workforce  
2003
- [70] Repace, J.  
An air quality survey of respirable particles and particulate carcinogens in Delaware hospitality venues before and after a smoking ban  
Repace Associates, 2003
- [71] Repace, J.  
An air quality survey of respirable particles and particulate carcinogens in Boston pubs before and after a smoking ban  
Repace Associates, 2004
- [72] Repace, J., Kawachi I., Glantz S., 1999  
Fact sheet on second hand smoke  
2<sup>nd</sup> European Conference on Tobacco or Health, 1999
- [73] Skistad H.  
Ventilation for protection against environmental tobacco smoke (ETS)  
SINTEF Energy Research, 2003
- [74] Hyvärinen MJ.  
Decrease of occupational ETS in restaurants, development of ventilation control technology  
Healthy Buildings/ IAQ'97, 1997
- [75] Currie J.  
Evaluation of ventilation performance in public spaces.  
EPIC'98 Volume 3 pp 724-729, 1998
- [76] Cumo F, de Santoli F.  
Progettazione delle aree per fumatori. Designing areas for smokers  
Italy, CDA, 1999
- [77] Angeli F., Rossetti, S.  
Smokers and non smokers at the same table; a project for the "Costanza" restaurant in Rome  
Italy, CDA, 1998
- [78] Stegehuis GW.  
Onderzoek naar de reinigende werking van twee typen ionen-generatoren  
TNO rapport B-91-0138, 1991.
- [79] Wal JF van der

Onderzoek naar de werking van een luchtreiniger  
TNO rapport 94-BBI-R1764, 1994

- [80] Wouda P.  
The Icleen absolut filter unit: Determination of the removal efficienc for pollutants  
TNO rapport, 95-BBI-R0862, 1995.
- [81] Wal JF van der  
Onderzoek naar de prestaties van vijf typen luchtreinigers  
TNO rapport 95-BBI-R0403, 1995.
- [82] Bluysen PM.  
Het effect van een actief kool filter op de luchtkwaliteit in een kamer verontreinigd met sigarettenrook  
TNO rapport, 94-BBI-R1311/02, 1994.
- [83] Ginestet A., Salazar JH, Laplanche S.  
Laboratory determination of indoor Air Cleaner Life span  
Indoor Air 2002.
- [84] Hammond S.K.  
The efficacy of strategies to reduce environmental tobacco smoke concentrations in homes, workplaces, restaurants, and correctional facilities  
Indoor air 2002.
- [85] Howard-Reed C., Nabinger, Emmerich, SJ.  
Measurement and simulation of the indoor air quality of gaseous air cleaners in a test house  
Indoor air 2002.
- [86] McNall PE.  
2 practical methods of reducing airborne contaminants in interior spaces  
Arch. Environ. Health. Vol. 30, p 552-556, 1975
- [87] Offerman FJ, Girman, JR, Sextro, GR.  
Controlling indoor air pollution from tobacco smoke – models and measurements  
Indoor air 1984.
- [88] Sollner G.  
Dust removal in living rooms  
Gesundh. Ing., June, p 147- 155, 1986.
- [89] Rickman AC.  
Performance of an electrostatic air cleaner in filtering single and mixed aerosol populations  
Indoor Environment, No 1, 1992.

- [90] Clausen GH.  
The impact of air washing on environmental tobacco smoke odour  
Denmark, Technical University, 1993.
- [91] Viner AS.  
Air cleaners for indoor air pollution control  
“Indoor air pollution, Radon, Biosaerosols and VOCs, p 115-134, 1992.
- [92] Pierce M.  
Effectiveness of auxiliary air cleaners in reducing ETS components in offices  
ASHRAE Journal, p 51-57, November 1996.
- [93] Gricar P.  
Effectiveness of portable air cleaners in particulate contaminant removal  
SITHOK-2 International congress on heating and air conditioning of buildings,  
1997.
- [94] Brown SK.  
Assessing the performance of room air cleaners using an environmental  
chamber  
Indoor air 1999.
- [95] Roberts KS.  
Economics, air cleaning, and ETS in gaming facilities  
Healthy Buildings 2000.
- [96] Johansson JHP.  
Impact of room air cleaners on the indoor particle concentration  
Proceedings of Healthy Buildings 2000.
- [97] Shuker LK, Courage, C, Holmes, P, Harrison, PTC.  
Mitigation strategies for reducing childhood exposure to ETS in the home.
- [98] Muller C, Henriksson, P.  
Proper design and use of gas-phase air filtration systems for the control of  
environmental tobacco smoke  
Healthy Buildings 2000.
- [99] Ilmasti V., Paavolainen, L, Suaominen, H.  
A new air cleaning method  
Healthy buildings 2000.
- [100] Bohanon HR.  
A method for measuring air cleaner effectiveness  
Indoor air 1999.
- [101] Nelson PR.  
In situ measurement of air cleaners ventilation effectiveness  
Indoor air 1999.
- [102] Sjöholm P.

Recent advances in gas cleaning, Progress in modern ventilation  
Proceedings of ventilation 2000, Helsinki, Finland, 2000.

- [103] SP  
Filtration efficiency test according to SS-EN 1822  
SP Swedish National Testing and Research Institute, 2003
- [105] IARC Monographs Programme on the Evaluation of Carcinogenic Risks to  
Humans. Website: <http://193.51.164.11>. Geconsulteerd in maart 2004.
- [106] US Environmental Protection Agency. Respiratory Health Effects of Passive  
smoking: Lung Cancer and Other Disorders. Washington: EPA, 1992
- [107] Hackshaw AK, Law MR, Wald NJ. The accumulated evidence on lung cancer  
and environmental tobacco smoke. BMJ 1997; 315:980-8.
- [108] Taylor R, Cumming R, Woodard A, e.a. Passive smoking and lung cancer; a  
cumulativemeta-analysis. Austr N Z J Public Health 2001; 25-203-11.
- [109] Bouwbesluit, Staatsblad 2001 410 Augustus 2001.  
inclusief wijziging Staatsblad 2002 203 April 2002
- [110] Nationale MAC lijst 2003, STU uitgevers, onder auspiciën van het Ministerie  
van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.
- [111] Statistisch Zakboekje 2003: Beeld van de Bedrijfstak, Bedrijfschap  
Horeca en Catering, ISBN 90-5531-119-7, augustus 2003



## **Bijlage 1:**

# **Beknopt Literatuur Review Verdringingsventilatie**

Mathisen H M, Skaret E

Ventilation efficiency

SINTEF Report STF15 A84047, N-7034 Trondheim-NTH, 23rd May 1983, 86p, 13 refs. #DATE 23:05:1983 in English

The objective of this research project is to study the effect of low air velocity supply direct to the zone of occupation in small rooms with regard to effective ventilation and thermal comfort. A two zone mixing model is used to describe the concept of, and to define the effectiveness of ventilation. This simple stratified model predicts generally high ventilation effectiveness for ventilation systems using the displacement principle, taking advantage of stratification. Laboratory tests in an office room for 1 - 2 persons (16 m<sup>2</sup>, 2.8m ceiling height), using this principle, are reviewed. Tracer gas was supplied from a simulated person in the room. Very high effectiveness was obtained during these tests. The temperature effectiveness was somewhat lower, but compared to complete mixing it was good. Thermal comfort is obtained for a wide range of heat loads and air flow rates.

Kegel B, Schulz U W

Displacement ventilation for office buildings.

AIVC, 10th AIVC Conference, held at Espoo, Finland, 25-28 September 1989, Volume 1, February 1990, pp393-412, 4 figs, 3 tab, 9 refs. #DATE 00:02:1990 in English

A test room with a Displacement Ventilation System has been built. Air velocity and temperature profiles were measured at different places in the room under summer and winter conditions. Additional numerical simulations for the same conditions as in the experiment were performed. The measured and calculated values showed good correspondence. An office room is normally not occupied permanently therefore its transient behaviour was also investigated.

Hillerbrant B, Ljungqvist B

Comparison between three air distribution systems for operating rooms.

Norway, Oslo, Norsk VVS, Roomvent 90 proceedings, 13-15 June 1990, paper 62, 13pp, 4 figs, 3 tabs, 17 refs. #DATE 00:06:1990 in English

In view of the discussions during the past few years about the ability of ventilation systems to remove airborne contaminants in operating rooms, the authors participated in full-scale tests in connection with the re-building and expansion of operating rooms at the Umea General Hospital in Umea, Sweden. The full-scale tests aimed to

investigate the characteristics of various air distribution principles, in which supply air systems based on total mixing ventilation, displacement ventilation and a downward, unidirectional air flow ("ultraclean air system") were studied. From the standpoint of contamination, the results showed that the system with downward unidirectional flow, with its larger air flow, performed the best. When the total mixing system was compared with the displacement system, no decisive difference could be noted, since there were persons active in the room.

Jackman P J

Displacement ventilation.

UK, Chartered Institution of Building Services Engineers, 1991, CIBSE National Conference 1991, held at University of Kent, Canterbury, 7-9 April 1991, pp 364-380, 17 figs, 9 refs. #DATE 00:00:1991 in English

This paper presents information on the principles and application of displacement ventilation and discusses the most significant design parameters. Included are details of the performance characteristics of low velocity air terminal devices and of the resulting indoor environment based on experimental studies. Strategies for the design of displacement ventilation systems are also presented.

Koskela H K, Rolin I E, Norell L O

Comparison between forced-displacement and mixing ventilation in a garage.

USA, Ashrae Transactions, Vol 97, Pt 2, 1991. #DATE 00:00:1991 in English

The purpose of this study was to compare the performance of forced-displacement and mixing ventilation in the underground garage of an office building by measuring carbon monoxide concentrations and ventilation efficiency. The garage consisted of five long halls, three of which were selected for measurements. Two of the halls in which measurements were carried out used forced-displacement ventilation and one used conventional mixing ventilation. Carbon monoxide concentrations were measured at four locations in each hall using a multipoint sampling system. Concentrations were registered during one day of normal parking traffic. Additional experiments were carried out with a concentration decay procedure using carbon monoxide as the tracer gas.

Junghanss U, Sacre C, Rohrich H, Rohrmuller E

Experimental studies of germ and particle pollution in a hospital operating room with laminar displacement air flow. Experimentelle Untersuchungen zur Keim- und Partikelbelastung in einem Operationsraum mit laminarer Verdrängungsströmung.

Germany, Ki Klima Kalte Heizung, No 9, 1991, pp 356-362, 11 figs, tabs, 8 refs. #DATE 00:00:1991 in German

The operation and effectiveness of a ventilating system based on a laminar air flow intake ceiling were tested in a model hospital operating room (OR). Three separate sets of measurements of germ and particle distribution taken under simulated normal OR working conditions showed that it was possible to maintain a protected secure area with a level of germ density as low as zero (0 KBE/m<sup>3</sup>). The results clearly show a significant difference from those obtained with conventional turbulence-causing intake ceilings with perforated grilles. An attempt was made to simplify test procedures prescribed in DIN 4799 for OR ventilating systems by conducting the tests in the presence of an actual OR surgical team. Such a test better approximates real-world conditions and is simpler to conduct and replicate than is the DIN recommendation.

Guntermann K

Air quality improvement using a displacement ventilation system.

Roomvent '92, Third International Conference, Aalborg, Denmark, September 2-4 1992, Publisher: DANVAK, Lyngby, Denmark, Volume 3, pp 369-380. #DATE 02:09:1992 in English

Displacement ventilation systems become more and more popular in Germany at present. The system guarantees no draught and a better air quality is expected. In an experimental study the air quality was measured using a combined particle/heat source in a ventilated room. Particulate concentrations were measured at different locations in a room with several heat sources representing persons. In the vicinity of persons in the breathing zone a better air quality was recorded than at other locations of the room at the same height. Temperature differences between the room air and the surrounding surfaces affect the room air movement and influences the results.

Breum N O, Skotte J

Displacement ventilation in industry - a design principle for improved air quality.

UK, Building and Environment, Vol 27, No 4, 1992, pp 447-453, 5 figs, 3 tabs, 19 refs. #DATE 00:00:1992 in English

There is very little quantitative documentation of actual improvements from the installation of new general ventilation systems in industrial settings. Therefore the performance of the common mixing design principle was compared to the displacement design principle by means of an intervention study in a workshop ( $V = 12,000 \text{ m}^3$ ), where thermoplastics were moulded. An experimental signal-response tracer gas technique was used. In terms of supplying fresh air to the zone of occupancy the displacement system was better than the mixing system by a factor of 2. In terms of the exposure level to a simulated contaminant (tracer gas) the displacement system was better by a factor of 1.5-18.

Yoshino H, Matsumoto S, Kobayashi H.

Performance evaluation of longitudinal displacement ventilation of open office space

Poland, Silesian Technical University, 1994, proceedings of Roomvent '94: Air Distribution in Rooms, Fourth International Conference, held Krakow, Poland, June 15-17, 1994, Volume 2, pp 63-76.

In order to evaluate the performance of mechanical ventilation system, which is installed in a long office space of the east-west orientation, the measurements of airtightness of the building envelope, supply and exhaust air flow volume in ducts and age of air at various points are performed. The ventilation system intakes outdoor air from the east side and exhausts indoor air to the west side. This system is a kind of longitudinal displacement ventilation. The measurements provide evidence that the actual ventilation performance of investigated office space is almost the same as designed.

Glicksman L R, Norford L K, Okutan G M, Holden K J

Scale model studies of displacement ventilation.

apan, proceedings of the 5th International Conference on Air Distribution in Rooms, Roomvent '96, held Yokohama, Japan, 17-19 July, 1996, Volume 3, pp 347-354.

Displacement ventilation offers improved air quality and reduced cooling costs relative to ventilation systems that mix supply and room air. However, thermal stratification at high internal loads can cause excessive variation of temperature with height which violates thermal comfort requirements. A series of experiments were performed in a geometrically similar scale model of an open-plan office space. The model was filled with a gaseous refrigerant to establish fluid-dynamic similitude by matching the Reynolds, Archimedes and Prandtl numbers. Vertical temperature profiles and flow patterns were recorded.

Mattson M, Bjorn E, Sandberg M, Nielsen P V

Simulating people moving in displacement ventilated rooms.

USA, Washington DC, Healthy Buildings/IAQ '97, 1997, proceedings of a conference held Bethesda MD, USA, September 27 - October 2, 1997, Volume 1, pp 495-500, 6 figs, 9 refs.

A displacement ventilation system works better the more uni-directional the air flow through the ventilated room is: from floor to ceiling. Thus, from an air quality point of view, there should be as little vertical mixing of the room air as possible.

Peng S H, Davidson L

Numerical Study of Personal Exposure to Contaminant and Draft Risk in a Workshop with Displacement Ventilation

Sweden, Stockholm, KTH Building Services Engineering, 1998, proceedings of Roomvent 98: 6th International Conference on Air Distribution in Rooms, held June 14-17 1998 in Stockholm, Sweden, edited by Elisabeth Mundt and Tor-Goran Malmstrom, Volume 1, pp 233-240.

Contaminant dispersion and potential draft risk in a workshop with displacement ventilation were investigated with computational fluid dynamics (CFD) techniques. Three factors were considered: the location of the worker, the temperature of the supply air and the supply air flow rate. The capacity of CFD is demonstrated in optimizing the operation of a ventilation system by weighting two significant aspects, i.e., the indoor air quality and the worker's thermal sensation. On the basis of the numerical results, some suggestions are given for a better use of displacement ventilation systems.



## **Bijlage 2:**

# **Schatting door TNO-BOUW van de maximaal te realiseren blootstellingsreductie**

De beschikbare literatuur geeft eigenlijk geen volledig en goed beeld van welke reductie met de huidige stand der techniek haalbaar is. Met name voor verdringingsventilatie worden in de beschikbare literatuur voorbeelden gegeven met relatief lage volumestromen. Daarom is in deze bijlage een schatting gemaakt van de blootstellingsreducties die haalbaar worden geacht, bij goede uitvoering van de systemen.

In deze beschouwing is gebruik gemaakt van algemene literatuur over ventilatiesystemen, dus niet specifiek gericht op ventilatie en roken.

Door TNO is een model ontwikkeld waarmee allerlei variabelen die voor de blootstelling van belang zijn, kunnen worden bestudeerd.

Het model betreft een simulatie van de ventilatie op basis van reeds beschikbare gevalideerde luchtstromingsmodellen voor mengende systemen [96][97]. Voor een beknopt literatuur review over verdringingsventilatie wordt verwezen naar bijlage 1.

De belangrijkste aanvulling voor deze studie is de simulatie van mogelijke verstoringen ten gevolge van het uitblazen van rook en het bewegen van personen. Dit deel van het model is niet gevalideerd. Verstoringen blijken een grote invloed te hebben op het uiteindelijk te bereiken reductieniveau. Daarom moeten de inschattingen in deze bijlage met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Voor de karakterisering van omgevingstabaksrook zijn enkel deeltjes als maat genomen. De effectiviteit van de ventilatiemaatregelen wordt dus ook bepaald aan de hand van de berekende verlaging van de deeltjesconcentraties. Het is niet bekend in hoeverre deze reducties ook altijd gehaald zouden kunnen worden voor de andere stoffen in omgevingstabaksrook..

De resultaten die het TNO model levert, moeten dus worden gezien als een eerste schatting van wat haalbaar zou kunnen zijn. Voor literatuur met betrekking tot de effectiviteit van verdringingsventilatie in ziekenhuizen en cleanrooms wordt verwezen naar bijlage 1.

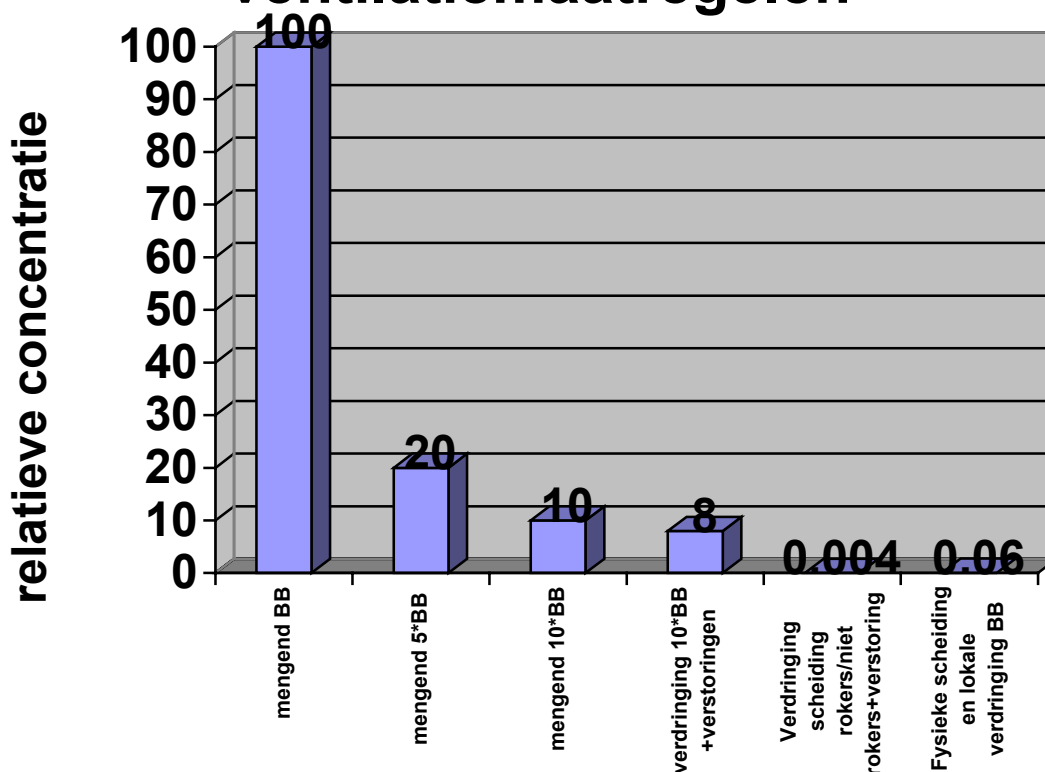
De volgende situaties zijn met het TNO model beschouwd:

- Referentiesituatie restaurant volledig mengend systeem, rokers en niet rokers willekeurig door elkaar, ventilatie niveau volgens Bouwbesluit.
- Referentiesituatie restaurant volledig mengend systeem, rokers en niet rokers willekeurig door elkaar, ventilatie niveau 5 \* Bouwbesluit.
- Referentiesituatie restaurant volledig mengend systeem, rokers en niet rokers door elkaar, ventilatie niveau 10 \* Bouwbesluit.

*Opmerking: Een ventilatie niveau boven 5\* Bouwbesluit is zonder aanvullende maatregelen vrijwel niet tochtvrij toe te voeren.*

- Restaurant met volledige verdringingsventilatie, rokers en niet rokers willekeurig door elkaar rokers op tenminste 2,5 m afstand, ventilatieniveau 10 \* Bouwbesluit, inclusief verstoringen van lopende personen.
- Restaurant met volledige verdringingsventilatie, rokers en niet rokers gescheiden in dezelfde ruimte met een grenszone van circa 2 m, ventilatieniveau 10 \* Bouwbesluit, inclusief verstoringen van lopende personen.
- Restaurant met lokale verdringing en fysieke scheiding met doorgang van ongeveer 4 m<sup>2</sup> en ventilatieniveau volgens Bouwbesluit, inclusief verstoringen van lopende personen.

## Schatting van max. bereikbare effecten van ventilatiemaatregelen



Figuur 12: Schatting m.b.v. TNO Model omtrent de maximaal mogelijke blootstellingsreductie voor 6 verschillende situaties.

De uitgangssituatie betreft dus een mengend systeem met ventilatie volgens het Bouwbesluit. Dat is voor zover nu te overzien een aanzienlijk hoger ventilatieniveau dan op dit moment in de horeca wordt gerealiseerd.

Een volledig mengend systeem kan dus evenredig met de verhoging van het ventilatieniveau de blootstellingsconcentratie ook evenredig verlagen. Nogmaals moet



worden opgemerkt dat volledige menging vrijwel nooit optreedt. De tweede en derde balk in figuur 12 leveren dus een blootstellingsconcentratie van  $1/5^e$  respectievelijk  $1/10^e$  op. Dit zijn theoretische modelberekeningen; in praktijk zal in de horeca met mengventilatie nooit een ventilatieniveau van 10 maal het Bouwbesluit gerealiseerd kunnen worden (onder andere vanwege het comfort).

Verdringingventilatie in kolom vier met rokers en niet rokers door elkaar heen, komt slechts 2% lager uit dat het mengende systeem met 10 maal het Bouwbesluitniveau. Dit wordt veroorzaakt door de gesimuleerde verstoring van heen en weer lopende personen. Zodra scheiding wordt aangebracht met verdringing hetzij door een open verbinding tussen twee ruimten, hetzij door in dezelfde ruimte rokers en niet rokers te scheiden is de maximale blootstellingsconcentratie te reduceren tot onder de 0,1 % in de niet-rokerszone ten opzichte van een ruimte die geventileerd wordt conform Bouwbesluit en waar rokers aanwezig zijn. Reducties dus van meer dan 99,9 % ten opzichte van blootstellingsconcentraties in de referentiesituatie van een mengend systeem conform Bouwbesluit.. Ook scheiding in combinatie met lokale verdringing kan in het niet-rokersgedeelten van gebouwen een meer dan 99,9 % lagere blootstellingsniveau opleveren vergeleken met rokers-gedeelten waar conform het Bouwbesluit wordt geventileerd. Zonder het aanbrengen van scheiding tussen rokers en niet-rokers zijn dergelijke percentages niet te realiseren. Omdat bovendien met mengventilatie onvoldoende hoge ventilatieniveaus gerealiseerd kunnen worden, lijkt scheiding van rokers en niet-rokers in combinatie met verdringingsventilatie het beste alternatief om niet-rokers zo goed mogelijk te beschermen in de horeca. Overigens moet worden opgemerkt dat bij scheiding tussen rokers en niet-rokers de blootstelling van werknemers nog steeds aanzienlijk kan zijn, aangezien het onvermijdelijk is dat zij (een deel van hun werkzaamheden) in de rokersgedeelte zullen moeten uitvoeren.

## Uitgangspunten en aannamen voor het TNO Model

### Ruimte en rokers

#### Restaurant

Ruimte:	12 * 24 * 3,2 m
Bezetting:	5m <sup>2</sup> per persoon
Aantal personen:	58
Aantal rokers:	20
Stofproductie:	50 µg/s
Factor voor onvolledige menging:	3
Ventilatie:	Bouwbesluit 4,8 dm <sup>3</sup> /s per m <sup>2</sup> vloeroppervlakte

De ventilatie wordt in de verschillende maatregelen gevarieerd.

### Aannamen verstoringen

Frontaal oppervlak van verstorende personen:	0,765 m <sup>2</sup>
Volume achter een bewegende persoon;	0,47 m <sup>3</sup>
Loopsnelheid van verstorende personen:	1 m/s
Aantal bewegingen tussen rokers en niet rokers:	30 maal per uur
Piekstroom omgevingstabaksrook bij uitademing:	2 dm <sup>3</sup> /s
Omgevingstabaksrook concentratie in uitademing:	0,125 g/m <sup>3</sup>
Uitblaassnelheid van de rook:	25 m/s