

# INVENTARISATIE VAN SENSOREN VOOR DE BEPALING VAN DE BINNENLUCHTKWALITEIT

H.P.J. de Wilde  
P.A.J.P. Cnubben  
F.P. Bakker  
J.C. Römer  
P. de Jong\*

\*NRG, Postbus 9034, 6800 ES Arnhem

Revisies		
A	Concept eindrapport: april 2001	
B	Eindrapport: oktober 2001	
Opgesteld door:	Goedgekeurd door:	ECN-Schoon Fossiel
H.P.J. de Wilde	R.N.J. Comans	
Geverifieerd door:	Vrijgegeven door:	
R.P.J.J. Rietra	C.A.M. van der Klein	

## Verantwoording

Deze rapportage beschrijft de resultaten van een inventarisatie van de huidige en toekomstige sensoren/technieken voor de bepaling van de binnenluchtkwaliteit in energiezuinige woningen en in aansluiting hierop een inventarisatie van geschikte stuurparameters voor het aansturen van binnenhuisventilatiesystemen ter waarborging van gezondheid en comfort. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Nederlandse Onderneming Voor Energie en Milieu (NOVEM). De opdracht is uitgevoerd onder ECN projectnummer 72763.

## Trefwoorden

Binnenluchtkwaliteit, energiezuinige gebouwen, luchtkwaliteitsensoren, sensorgestuurde ventilatiesystemen, gezondheid, comfort, energiebesparing.

## Dankwoord

De auteurs danken Ernie Weijers en Frans Galjee voor hun nuttige bijdragen aan deze studie.

## INHOUD

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	7
1.1 Doelstelling	7
1.2 Visualisatie van de problematiek	8
1.3 Aanpak / leeswijzer	8
2. COMPONENTEN	9
2.1 Fysische parameters	9
2.1.1 Vochtgehalte	9
2.2 Anorganische componenten	10
2.2.1 Zuurstof, O <sub>2</sub>	10
2.2.2 Koolstofdioxide, CO <sub>2</sub>	10
2.2.3 Koolstofmonoxide, CO	10
2.2.4 Stikstofdioxide, NO <sub>2</sub>	11
2.2.5 Zwaveldioxide, SO <sub>2</sub>	13
2.2.6 Ozon, O <sub>3</sub>	14
2.2.7 Kwik (anorganisch Hg)	14
2.3 Organische componenten	15
2.3.1 Vluchtige Organische Componenten (VOC)	15
2.3.2 Formaldehyde, CH <sub>2</sub> O	17
2.3.3 Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK)	19
2.4 Fysisch-chemische componenten	20
2.4.1 Fijn stof	20
2.4.2 Asbest	21
2.4.3 Minerale en synthetische vezels	22
2.4.4 Radionucliden	23
2.5 Biologische componenten	24
2.5.1 Huismijtstof	24
2.5.2 Schimmels	25
2.5.3 Huisdieren	26
3. BRONNEN	27
3.1 Externe bronnen	27
3.2 Interne bronnen	27
3.3 Relaties tussen factoren die de binnenluchtkwaliteit bepalen	28
3.4 Blootstelling	30
4. SENSOREN	31
4.1 Commercieel beschikbare sensoren	31
4.2 Radionucliden	33
4.3 Recente en toekomstige ontwikkelingen	33
4.3.1 Meting van de binnenlucht kwaliteit met behulp van micro sensoren.	33
4.3.2 Pakket van eisen voor eigenschappen toekomstige sensoren	36
5. EVALUATIE EN AANBEVELINGEN	38
6. CONCLUSIES	40
REFERENTIES	42
RELEVANTE WEBSITES	45
BIJLAGE 1. EENHEDEN EN CONVERSIEFACTOREN	47
BIJLAGE 2. TABELLEN UIT TEKST IN MASSA EENHEDEN	48
BIJLAGE 3. VERBINDINGEN: DIVERSE GEGEVENS	52
BIJLAGE 4. VEREENVOUDIGDE VERVALREEKS <sup>238</sup> U EN <sup>232</sup> Th	53

BIJLAGE 5. VERLOOP RADONACTIVITEIT IN DE TIJD IN EEN KRUIPRUIMTE	54
BIJLAGE 6. SENSOREN; PRODUKTINFORMATIE	55
BIJLAGE 7. DE PAK LIJST VAN EPA	58

## SAMENVATTING

Door de steeds betere isolatie van nieuwbouwwoningen wordt de verblijftijd van lucht langer zodat probleemcomponenten uit interne en externe ‘vervuilingsbronnen’ kunnen ophopen. Hierdoor kunnen minder gezonde situaties ontstaan. Intelligente ventilatie op basis van luchtkwaliteitparameters wordt daarom steeds belangrijker. Niet alleen om voldoende schone lucht in de woning te krijgen, maar ook om deze luchthoeveelheid verantwoord te kunnen minimaliseren uit oogpunt van energiebesparing. De ontwikkeling van goedkope multi-purpose sensoren wordt daarom steeds belangrijker.

De doelstelling van de voorliggende studie betreft het inventariseren van op korte of middellange termijn beschikbare sensoren voor de bepaling van de binnenluchtkwaliteit in (energiezuinige) woningen. Daarnaast worden de parameters in kaart gebracht die geschikt zijn voor het aansturen van binnenhuisventilatiesystemen ter waarborging van een optimaal binnenhuisklimaat wat betreft gezondheid, comfort en energiebesparing.

In Nederland is nog maar beperkte aandacht besteed aan de componenten die het binnenluchtklimaat in negatieve zin beïnvloeden. Slechts voor enkele componenten, zoals radon, zijn nationale onderzoeken uitgevoerd. Gezien het groeiende besef dat de kwaliteit van het binnenmilieu van groot belang is voor de gezondheid is nader onderzoek gewenst. Enerzijds dient dit onderzoek zich te richten op het vaststellen van normaalwaarden in het Nederlandse woningbestand, waarbij ook kan worden gedacht aan het vaststellen van een nul-waarde voor diverse componenten bij oplevering of verkoop van een woning. Anderzijds dient dit onderzoek zich te richten op demonstratietrajecten van sensorgestuurde binnenhuisventilatie.

Het grootste deel van de componenten die de binnenluchtkwaliteit negatief beïnvloeden kan worden geïdentificeerd, maar het lijkt vooralsnog onmogelijk om alle componenten en verbindingen die een bijdrage leveren aan de belasting van de binnenlucht te meten. Het is van belang om een lijst van ‘gewenste’ componenten te produceren die bij voorkeur door een multifunctionele sensor kunnen worden geïdentificeerd. Voor de meeste componenten is een relatie met de vervuilende bron te leggen. Dit maakt het in principe mogelijk om met een beperkt aantal sensoren de binnenlucht in voldoende mate te karakteriseren. Mede op basis van de huidige WHO richtlijnen is de volgende wenslijst van belangrijke te meten componenten vastgesteld: vocht, temperatuur, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, VOC, fijn stof en radon.

De kostprijs van veel sensoren laat grootschalige toepassing nog niet toe, doch een ontwikkeling naar goedkopere, generieke sensoren lijkt aanwezig. De meeste sensoren zijn op dit moment nog in beperkte mate onderhoudsvriendelijk. Met uitzondering van de vochtsensoren geldt dat sensoren na verloop van tijd moeten worden vervangen (b.v. elektrochemische sensoren) of moeten worden gekalibreerd (b.v. infrarood sensoren). In de nabije toekomst zal het waarschijnlijk mogelijk zijn verschillende componentspecifieke sensoren op één chip te integreren en deze te gebruiken om het gewenste kwaliteitsniveau van de binnenlucht te controleren en te reguleren middels aansturing van ventilatiesystemen. De kosten van deze eenheden zullen sterk afnemen als functie van de geproduceerde hoeveelheden (geschatte bandbreedte in prijs: 10-100 gulden).

Technisch gezien lijkt er geen belemmering te zijn de meetuitkomsten van de sensoren te koppelen aan een stuur- en regelmechanisme van de ventilatiestromen in de woning. Ten aanzien van sensorgestuurde ventilatie dient ook aandacht te worden besteed aan de kwaliteit van de buitenlucht, met name ten aanzien van de componenten fijn stof en NO<sub>x</sub>. Ten behoeve van vervolgonderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Demonstratie van de technische haalbaarheid van sensorgestuurde ventilatie en de effectiviteit hiervan op de kwaliteit van het binnenmilieu

- De invloed van de buitenluchtkwaliteit op de binnenluchtkwaliteit, met name ten aanzien van de componenten fijn stof en NOx.
- Verdere optimalisatie van de keuze van de toe te passen sensoren
- Ontwikkeling van specifieke sensoren, onder meer ten aanzien van allergenen
- Onderzoek naar de kosteneffectiviteit van sensorgestuurde ventilatie

## 1. INLEIDING

Slechte binnenluchtkwaliteit en het hieraan gekoppelde gevaar voor de menselijke gezondheid en welzijn tengevolge van het inademen van gassen en zwevende deeltjes behoren tot de meest belangrijke milieurisico's in ontwikkelde landen Binnenlucht bevat vaak hogere concentraties aan probleemcomponenten dan buitenlucht ([www.nsc.org/ehc](http://www.nsc.org/ehc)). Ons binnenhuisklimaat wordt ondermeer beïnvloed door de materialen en componenten die aanwezig zijn in onze leefomgeving (huizen, scholen, kantoren, etc.). Verscheidene deskundigen benadrukken echter dat de kwaliteit van de binnenlucht tot nu toe weinig aandacht heeft gekregen in vergelijking met andere milieuterreinen (o.a. Corsi, 2000). Toch brengen we ongeveer 90 % van onze tijd binnen door.

In de jaren 1973 – 1974 werd de wereld opgeschrikt door een oliecrisis. Als gevolg van de hieruit voortvloeiende stijging van de energieprijzen werden woningen en gebouwen steeds beter geïsoleerd. Uit oogpunt van energiebesparing werden de woningen tevens steeds luchtdichter en werden de natuurlijke ventilatievoorzieningen sterk beperkt (Latko, 2000). Hierdoor nam de verblijftijd van lucht in de woning toe, waardoor de concentraties van probleemcomponenten toenamen. Dit kan resulteren in minder gezonde situaties.

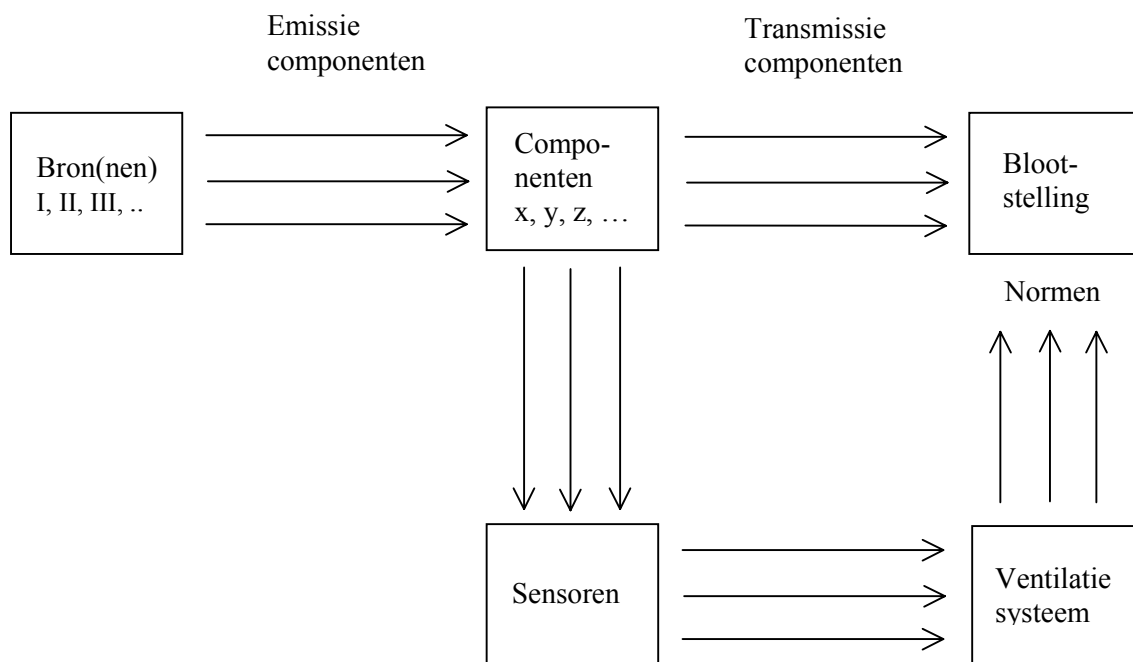
De literatuur levert duidelijke bewijzen dat de kwaliteit van de binnenlucht is gekoppeld met het optreden van ademhalingsziekten, allergieën en astma, en symptomen van het “Sick Building Syndrome”. Theoretische overwegingen en de beperkte empirische gegevens suggereren dat het mogelijk moet zijn om met behulp van bestaande technologie adequate maatregelen te nemen. Luchtkwaliteitseisen zoals bijvoorbeeld opgesteld door de ‘World Health Organisation’ kunnen hierbij als uitgangspunt dienen.

### 1.1 Doelstelling

De doelstelling van de voorliggende studie betreft het inventariseren van op korte of middellange termijn beschikbare sensoren voor de bepaling van de binnenluchtkwaliteit in energiezuinige woningen. Een tweede doelstelling betreft het evalueren van geschikte parameters voor het aansturen van binnenhuisventilatiesystemen gericht op het creëren van een optimaal binnenhuisklimaat wat betreft gezondheid, comfort en energiebesparing.

## 1.2 Visualisatie van de problematiek

Figuur 1.1 *Visualisatie van de relatie tussen slechte ventilatie en het vrijkomen uit bronnen (I, II, III, ...) van probleemcomponenten (x, y, z), alsmede de hieruit voortvloeiende blootstelling en gezondheidsrisico's na verspreiding in een woning. Het onderste deel van de figuur visualiseert de mogelijkheden om door middel van sensorgestuurde ventilatie het binnenhuisklimaat te optimaliseren ten aanzien van gezondheid, comfort en energie, waarbij de wettelijke normen als uitgangspunt worden genomen.*



## 1.3 Aanpak / leeswijzer

De opdracht van deze studie, een inventarisatie van sensoren voor de bepaling van de binnenluchtkwaliteit, vereist dat de belangrijkste componenten eerst in kaart worden gebracht. In deze studie is gekozen voor een indeling op basis van componenten, in plaats van een indeling op basis van bronnen. Veel bronnen emitteren namelijk meerdere componenten. De indeling per component sluit ook het beste aan bij de identificatie van geschikte sensoren. In hoofdstuk 2 wordt per component een overzicht gegeven van de bronnen, de concentraties in de binnenlucht en eventuele normen of streefwaarden. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 nader ingegaan op bronnen van probleemcomponenten binnen en buiten de woning en de complexe relatie tussen de factoren die de binnenluchtkwaliteit bepalen. In hoofdstuk 4 worden de huidige en toekomstige sensoren behandeld. Eerst wordt een overzicht gegeven van de meest relevante commercieel verkrijgbare sensoren, hun specificaties en kosten. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de verwachte toekomstontwikkelingen. Tevens wordt een pakket van eisen gegeven waaraan toekomstige sensoren zouden moeten voldoen. De rapportage wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen. Tenslotte wordt in de bijlagen dieper ingegaan op de chemische samenstelling van probleemcomponenten, verschillende eenheden voor concentraties en hun conversiefactoren, terwijl daarnaast aanvullende productinformatie over diverse sensoren is gegeven.



## 2. COMPONENTEN

Voor de componenten wordt een hoofdingeling aangehouden, waarbinnen specifieke stoffen en/of parameters worden beschreven. Deze indeling is nodig om enige vorm van ordening aan te brengen vanwege de zeer grote hoeveelheden componenten en verbindingen die aanwezig zijn in het binnenluchtklimaat. De gekozen verdeling is gegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Indeling in component-hoofdgroepen*

<b>Hoofdgroepen</b>	<b>Component/parameter</b>
Fysische parameters	Vocht, temperatuur
Anorganische componenten	CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , metalen
Organische componenten	VOC, formaldehyde, PAK
Fysisch-chemische componenten	Fijn stof, asbest, minerale en synthetische vezels, radionucliden
Biologische componenten	Huisstofmijt, schimmel(sporen), componenten afgescheiden door huisdieren
Rook (tabak, open haard etc.)	ca. 3800 componenten

### 2.1 Fysische parameters

#### 2.1.1 Vochtgehalte

##### *Bronnen*

Vocht in het binnenhuisklimaat kan op verschillende manieren ontstaan. Vochtbelasting kan optreden als gevolg van bouwtechnische aspecten en toepassing van bouwmaterialen en als gevolg van het bewonersgedrag. Vochtproblematiek als gevolg van bouwtechnische aspecten en bouwmaterialen zijn bijvoorbeeld: bouwvocht, capillair vocht in muren, vocht uit de kruipruimte, condensatie op wanden en lekkages. Onder het bewonersgedrag kan worden opgenomen, de vochtproductie door mensen en menselijk handelen (koken, afwassen, wasdrogen, ruimteverwarming) en vochtproductie door dieren en planten. In Nederland is in ongeveer 20% van alle woningen sprake van vochtproblematiek.

##### *Situatie binnenhuis*

Het vochtgehalte in het binnenhuis is sterk afhankelijk van het bewonersgedrag en bouwtechnische aspecten, maar eveneens sterk afhankelijk van het type woning en van het heersende jaargetijde. Het relatieve vochtgehalte van de binnenlucht varieert eveneens tussen de seizoenen, en is daarnaast afhankelijk van het stookgedrag van de bewoners.

##### *Gezondheidseffecten*

Overmatig vocht in het binnenmilieu kan leiden tot een toename van CARA-klachten, zowel bij volwassenen als kinderen [3]. Hoge luchtvochtigheid en vochtige materialen bevorderen een excessieve groei van micro-organismen die altijd in huis aanwezig zijn, hetgeen kan resulteren in allergische reacties. Luchtvochtigheidstoenames over een langere termijn bevorderen ook de groei van stofmijten, welke een belangrijke veroorzaker zijn van allergische reacties en astma [38].

##### *Normen*

Voor de vochtgehalten in het binnenhuisklimaat zijn geen normen beschikbaar. Het behaaglijkheidsgevoel blijft onbeïnvloed over een groot traject (30-70%) van de relatieve

luchtvochtigheid. Als - vuistregel - kan worden genomen dat een relatieve luchtvochtigheid hoger dan 70% als te vochtig wordt ervaren.

## 2.2 Anorganische componenten

### 2.2.1 Zuurstof, O<sub>2</sub>

#### *Normen*

Voor het binnenluchtmilieu bestaan geen normen voor zuurstof. Echter in de nationale MAC-lijst staat voor zuurstof wel een minimum waarde gegeven [6]. Het zuurstofgehalte in de inademingslucht dient ten minste 18 vol% te bedragen bij normale atmosferische druk (pO<sub>2</sub> van 135 mmHg).

### 2.2.2 Koolstofdioxide, CO<sub>2</sub>

#### *Bronnen*

Mensen produceren voortdurend koolstofdioxide en waterdamp als gevolg van de ademhaling. Koolstofdioxide wordt bovendien geproduceerd als gevolg van verbranding van fossiele brandstoffen t.b.v. verwarming en voedselbereiding. Koolstofdioxide is een goede indicator om menselijke activiteit aan te tonen.

#### *Binnenhuisconcentraties*

In woningen zonder koolstofdioxide bronnen bevinden de concentraties zich tussen 0,07-0,2% (700-2000ppm). In Woningen voorzien van kerosine branders lopen de concentraties op tot boven 0,3% (gedurende meerdere uren zelfs hoger dan 0,5 %). Gebruik van afvoerloze branders resulteert zelfs in waarden van 0,2-0,8 %. Gemiddeld heeft binnenlucht een 3 maal hogere CO<sub>2</sub> concentratie dan de buitenlucht concentratie van ongeveer 0,036% (ofwel 360 ppm, dus 360 moleculen CO<sub>2</sub> op 1 miljoen andere gasmoleculen in de lucht).

#### *Normen*

Er bestaan geen binnenluchtnormen voor koolstofdioxide. De MAC-waarde geeft 0,458% (4580 ppm) als richtlijn voor de arbeidssituatie (5 d per week., 8 hr.).

### 2.2.3 Koolstofmonoxide, CO

#### *Bronnen*

Koolstofmonoxide wordt gevormd bij verbrandingsprocessen, vooral indien de verbranding onvolledig is. De voornaamste koolstofmonoxide bronnen zijn keukengeisers en gasfornuizen. Ook andere verbrandingsbronnen zoals kachels, open haarden, allesbranders, etc. aanwezig binnenshuis vormen een bron van CO. Tabaksrook bevat eveneens koolstofmonoxide [1].

#### *Binnenhuisconcentraties*

In tabel 2.2 zijn minuut- en uurgemiddelde koolstofmonoxide waarden opgenomen. De metingen zijn uitgevoerd in 12 woningen gemeten in de keuken, woonkamer en slaapkamer. De koolstofmonoxide concentratiewaarden zijn gegeven in ppm.

Tabel 2.2 *Koolstofmonoxide meetwaarden in keukens, woonkamers en slaapkamer van 12 woningen. De waarden zijn de minimale en maximale waarden in ppm als minuut- en uurgemiddelden. De tabel laat zien dat de koolstofmonoxide concentraties in huis sterk variëren [12]*

Meetplaats	Minuutgemiddelde [ppm]	Uurgemiddelde [ppm]
Keuken	4.0-86	2.4-44
Woonkamer	3.2-22	1.6-21
Slaapkamer	3.2-22	0.8-21

De concentratiewaarden voor koolstofmonoxide kunnen kortdurend oplopen tot boven 80 ppm. Over langere meetperioden is het concentratieniveau 0.8-1.6 ppm.

### *Gezondheidseffecten*

Koolmonoxide is een reuk- en kleurloos gas. Na inademing komt het terecht in de bloedbaan waar het zeer effectief de overdracht van zuurstof naar de omringende weefsels belemmert. Lage concentraties koolmonoxide veroorzaken duizeligheid, hoofdpijn en vermoeidheid. Hogere concentraties kunnen dodelijk zijn [39].

### *Normen*

Voor koolstofmonoxide bestaan zowel binnenlucht als buitenlucht adviesconcentratiewaarden. De waarden zijn gegeven door de Gezondheidsraad en de WHO. In tabel 2.3 staan de maximaal toelaatbaar geachte uur- en 8 uurgemiddelde waarden gegeven.

Tabel 2.3 *Advieswaarden (maxima) voor CO gegeven door de Gezondheidsraad en de WHO. De waarden zijn gegeven in ppm [3]*

Adviesorgaan	Uurgemiddelde [ppm]	8-uurgemiddelde [ppm]
Gezondheidsraad	24	8
WHO	31	8

De MAC-waarde [6] voor koolstofmonoxide bedraagt 25 ppm, voor kortdurende blootstelling is een waarde van 150 ppm toegestaan.

## 2.2.4 Stikstofdioxide, NO<sub>2</sub>

### *Bronnen*

Voor stikstofdioxide zijn verschillende bronnen aan te wijzen. Binnenshuis zijn verbrandingsprocessen de grootste bron, waarbij de afvoerloze geiser als belangrijkste bron wordt gezien<sup>1</sup>. Een andere bron is tabaksrook. De buitenlucht (aanwezigheid van drukke verkeerswegen, vliegvelden, industriële activiteiten) kan daarnaast eveneens een belangrijke bron van stikstofdioxide voor de binnenlucht vormen.

### *Binnenhuisconcentraties*

Door de Landbouwwuniversiteit Wageningen zijn in verschillende Nederlandse gemeenten metingen uitgevoerd naar de NO<sub>2</sub> concentratie binnenshuis en buitenshuis. De metingen zijn

<sup>1</sup> Bij nieuwbouw mag een afvoerloze geiser niet meer worden toegepast.

uitgevoerd met behulp van Palmes diffusiebuisjes en met Williamsbadges. De gegevens staan samengevat in Tabel 2.4.

Afhankelijk van de gebruikte meetmethodiek (Palmes of Williams) verschillen de resultaten enigszins. Met de Palmes diffusiebuisjes zijn de gemiddelde waarden voor de woonkamer 19 ppb, slaapkamer 14 ppb, keuken 32 ppb en in de buitenlucht 19 ppb. Met behulp van de Williamsbadges worden waarden van 21 ppb voor de slaapkamer en 27 ppb voor de buitenlucht gemeten. Opgemerkt wordt dat de concentraties tot ppm niveau kunnen oplopen in keukens voorzien van een afvoerloze geiser.

Tabel 2.4 *Weekgemiddelde stikstofdioxide concentraties in binnenlucht en buitenlucht van verschillende Nederlands gemeenten. Gemiddelden en spreiding gegeven in ppb [3, 13]*

Plaats	Binnenlucht [ppb]			Buitenlucht [ppb]
	Keuken	Woonkamer	Slaapkamer	
Arnhem/Enschede	36 (4-158)	18 (3-126)		17
Ede	32 (4-262)	18 (4-81)	14 (3-74)	22
Vlagentwede	29 (4-142)	14 (4-88)	8 (4-50)	14
Rotterdam	41 (8-287)	25 (5-101)	16 (4-53)	22
	43 (13-256)	23 (8-103)	20 (3-84)	22
Bodegraven/Reeuwijk			19	24
Rotterdam			24	33
Drenthe			15	19
Amsterdam			28	29

### *Gezondheidseffecten*

Stikstofdioxide is een belangrijke veroorzaker van smog. Stikstofdioxide moleculen reageren met vluchtige organische koolwaterstoffen tot smog. Hoge doses smog zijn schadelijk omdat ze hoest veroorzaken en de ademhaling bemoeilijken (met name bij astma patiënten), hetgeen uiteindelijk kan leiden tot een algehele ziekte van het ademhalingsstelsel. Kinderen zijn extra gevoelig [3, 40].

### *Normen*

Voor stikstofdioxide bestaan geen normen voor de binnenlucht. Voor de stikstofdioxide concentraties in de buitenlucht bestaan wel normen, de zogenaamde luchtkwaliteitseisen. De luchtkwaliteitseisen zijn gegeven in ppb met de bijbehorende percentielwaarden als uur- of 8-uurs gemiddelde. De luchtkwaliteitswaarden zijn opgebouwd uit richtwaarden en grenswaarden. In tabel 2.5 staan de stikstofdioxide luchtkwaliteitsnormen weergegeven.

Tabel 2.5 *Luchtkwaliteitswaarden voor stikstofdioxide in ppb [3]*

Omschrijving	Richtwaarde [ppb]	Grenswaarde [ppb]
99,5 percentiel, uurgemiddeld		85
98 percentiel, uurgemiddeld	39	66
98 percentiel, 8-uurs gemiddeld, drukke straten		73
50 percentiel, uurgemiddeld	12	

De MAC-waarde (Maximaal Aanvaarde Concentratie) voor stikstofdioxide bedraagt 2000 ppb (ofwel 2 ppm). De World Health Organization (WHO) heeft voor de buitenlucht richtlijnen opgesteld, de zogenaamde Air Quality Guidelines. Voor stikstofdioxide bedraagt deze 19 ppb bij een middelingstijd van 1 jaar.

## 2.2.5 Zwaveldioxide, SO<sub>2</sub>

### *Bronnen*

Zwaveldioxide wordt tezamen met andere zwavelhoudende componenten en fijn stof geproduceerd als gevolg van gebruik van fossiele brandstoffen. De zwaveldioxide concentraties in de binnenlucht zijn doorgaans lager dan de buitenlucht concentraties als gevolg van de reacties van zwaveldioxide met de aanwezige oppervlakken en als gevolg van reactie van door mensen en dieren geproduceerd ammoniak.

### *Binnenhuisconcentraties*

Als gevolg van emissiereducerende maatregelen, de afname van het zwavelgehalte in brandstof en de overstap van huisbrandolie naar aardgas, zijn de jaargemiddelde concentratieniveaus van zwaveldioxide in omgevingslucht in grote West-Europese steden afgenomen tot onder 35 ppb. De dagelijkse gemiddelde concentratiewaarden liggen in het bereik tussen 70-175 ppb. De resultaten van onderzoek verricht in de Verenigde Staten zijn weergegeven in tabel 2.6. De gegevens hebben betrekking op afvoerloze kerosine branders en/of gasfornuizen.

Tabel 2.6 *Huisgemiddelde zwaveldioxide concentraties bij aanwezigheid van verschillende zwaveldioxide bronnen gegeven in ppb [1]*

<b>Zwaveldioxidebron</b>	<b>Gemiddelde [ppb]</b>	<b>Standaard deviatie [ppb]</b>
1 Kerosine brander	24	30
1 Kerosine brander 1 Gasfornuis	31	32
2 Kerosine branders	42	23
2 Kerosine branders 1 Gasfornuis	38	28

Indien er geen zwaveldioxide bron binnenshuis aanwezig is dan ligt de binnenlucht/buitenlucht ratio tussen 0,1 en 0,6 en is het binnen dus schoner dan buiten. Het is niet bekend of de situatie in de VS voldoende representatief is voor de situatie in Nederland.

### *Gezondheidseffecten*

Zwaveldioxide is in lage concentraties niet ruikbaar, maar heeft bij hoge concentraties een zeer sterke geur. Net als stikstofdioxide speelt zwaveldioxide een belangrijke rol in smogvorming. Zwaveldioxide kan ademhalingsproblemen en andere longkwalen veroorzaken, hetgeen kan resulteren in blijvende schade [40].

### *Normen*

Er bestaan geen normen voor de zwaveldioxide concentratie in de binnenlucht. De WHO heeft in de Air Quality Guidelines wel advieswaarden gepresenteerd voor zwaveldioxide. De MAC-waarde is eveneens gegeven, maar dan voor de arbeidssituatie voor een periode van 8 uur per dag gedurende 5 dagen. De gegeven zijn verzameld in tabel 2.7.

Tabel 2.7 *Advieswaarden voor zwaveldioxide, gegeven in ppb [6]*

<b>Adviesorgaan</b>	<b>Waarde [ppb]</b>	<b>Middelingstijd</b>
WHO	175	10-min
	44	24-uur
	17	1 jaar
MAC tijd gewogen gemiddelde	2	8 hr/dag, 5 dag/week

## 2.2.6 Ozon, O<sub>3</sub>

### *Bronnen*

Ozon is een van de sterkste oxidatiemiddelen. Het ontleedt spontaan in zuurstof. Geurervaringen van ozon die optreden bij uiterst geringe concentraties zijn gewoonlijk het gevolg van stikstofoxide vormingsreacties. Voorbeelden van bronnen binnenshuis zijn luchtbehandelingsapparatuur, UV verlichting, fotocopiërs, laser printers en zonnebanken.

### *Binnenhuisconcentraties*

Algemeen geldt dat bij een ozon concentratie van 56 ppb de bovengrens voor de 24-uurs buitenlucht concentratie is bereikt. De piek concentraties worden bereikt in de namiddag (buitenlucht!!). Deze kunnen oplopen tot boven 160 ppb. In de avond en nacht wordt ozon ingevangen door stikstofmonoxide. Zonder de aanwezigheid van genoemde binnenluchtbronnen is de buitenlucht de belangrijkste bron van ozon.

### *Gezondheidseffecten*

Ozon kan leiden tot irritatie van de ademhalingswegen, pijn op de borst en aanhoudende hoest. Daarenboven kan ozon diep inademen onmogelijk maken en leiden tot verhoogde gevoeligheid voor longinfecties [40].

### *Normen*

De WHO heeft een advieswaarde opgesteld voor de 8-uurs blootstelling aan ozon. Bovendien wordt voor de arbeidsplek de ozon concentratie voorgeschreven de MAC-waarde niet te overschrijden [6]. Beide waarden staan gegeven in tabel 2.8.

Tabel 2.8 Ozon advieswaarden, voor de buitenlucht [6]

Adviesorgaan	Waarde [ppb]	Middelingstijd
WHO	56	8-uur
MAC tijd gewogen gemiddelde	0.06	1-uurs gewogen gemiddelde

## 2.2.7 Kwik (anorganisch Hg)

Hoewel verschillende metalen zijn aan te wijzen is het metaal kwik (anorganisch Hg) gekozen als gidsparameter. De reden hiervoor is het aantal bronnen waaruit het binnenshuis kan vrijkomen.

### *Bronnen*

Kwik komt op verschillende plaatsen in het huishouden voor, zoals: kwikschakelaars (CV-thermostaten), kwikthermometers, batterijen, TL- en spaarlampen. Daarnaast komt kwik voor in aardgas (niveau 3 ppb). Volgens de literatuur is het breken van thermometers de belangrijkste kwikbron in het binnenhuismilieu [1].

### *Binnenhuisconcentraties*

De kwikconcentratie binnenshuis zal vergelijkbaar zijn met de kwikconcentratie buitenshuis, deze waarde bedraagt 0.0002-0.0004 ppb. Behalve in omgevingen met kwikhoudende bronnen (chlooralkali-industrie, olie- en gaswinning en raffinage, steenkoolverbranding) waar aanzienlijke verhogingen kunnen optreden.

### *Gezondheidseffecten*

De belangrijkste effecten van acute blootstelling aan hoge concentraties metallisch kwik zijn: psychische afwijkingen, afname in motorische functie en spierreflexen, hoofdpijn, abnormale

EEG's en effecten op de luchtwegen, zoals ademnood, hoesten en verminderde longfunctie. Chronische blootstelling aan kwik uit zich vooral in effecten op het centrale zenuwstelsel, waaronder prikkelbaarheid, slechte concentratie, geheugenproblemen, en verminderde motorische vaardigheid. Al naar gelang de blootstelling langer en/of hoger is worden de effecten intensiever en mogelijk ook irreversibel [3].

### *Normen*

Voor kwik bestaan geen wettelijke normen voor de binnenlucht gehalten. De MAC-waarde voor kwik bedraagt 6 ppb, voor vrouwen in de vruchtbare leeftijd 3 ppb. De WHO geeft voor anorganisch kwik een advieswaarde op van 0.1 ppb bij een middelingstijd van 1 jaar [1, 3, 6]. De GG&GD Amsterdam en Rotterdam hebben zelf een normwaarde voor metallisch kwik afgeleid voor de woonomstandigheden van respectievelijk 0.067 en 0.056 ppb.

## 2.3 Organische componenten

### 2.3.1 Vluchtige Organische Componenten (VOC)

#### *Bronnen*

De categorie VOC is zeer breed. VOC's komen voor in talrijke producten die in het huishouden en industrieën worden toegepast. Het is niet mogelijk om alle VOC's die worden gebruikt op te sommen. Dit komt doordat de samenstelling van de producten niet door de producenten wordt vrijgegeven en omdat de samenstelling vaak varieert. Getracht is een beknopt overzicht te geven van de mogelijke bronnen, de gebruikte materialen en de Vluchtige Organische Componenten (in hoofdgroepen) die daarin aanwezig zijn. Tabel 2.9 geeft een overzicht.

Tabel 2.9 *Overzicht van bronnen en materialen die VOC bevatten [31]*

<b>Bron categorieën</b>	<b>Materialen zoals</b>	<b>Vluchtige Organische Componenten</b>
Vloeibare en gasvormige brandstoffen	Benzine, Aardgas, Stookolie, Lampenolie, Petroleum, Smeermiddelen	Alifatische en Cyclische Alkanen
Verven, vernissen en lakken	Olieverf, Houtlakken, Metaallakken, Coatings	Gechloreerde alifatische koolwaterstoffen
Oplosmiddelen	Terpentine, Terpentiin, Aceton	Gechloreerde alifatische koolwaterstoffen, Aromaten, Gechloreerde benzenen
Schoonmaakmiddelen, Ontsmettingsmiddelen	Vlekkenwater, Boenwas, Schoenpoets, Chemische reiniging	Gechloreerde alifatische koolwaterstoffen, Gechloreerde benzenen
Lijmen en kitten	Stopverf	Aromaten, Gechloreerde alifatische koolwaterstoffen
Drijfgassen	Spuitbussen	Gechloreerde alifatische koolwaterstoffen
Luchtverfrissers	Toiletsprays, toiletblokken, deodoranten	Gechloreerde benzenen, Aromaten
Inkt	Offset en Zeefdruk inkten (oplosmiddelbasis)	Aromaten
Tabaksrook		Aromaten (benzeen, toluen)

De belangrijkste hoofdgroepen van VOC uit de voorgaande tabel zijn tezamen met enkele voorbeeld verbindingen uit die groep gegeven in tabel 2.10.

Tabel 2.10 *Hoofdgroepen VOC, met een typerende verbinding(en) die groep [31]*

Hoofdgroep VOC	Typerende verbindingen
Alifatische en Cyclische Alkanen	Methaan, Butaan, Hexaan, Cyclohexaan, Methylcyclohexaan
Gechloroerde alifatische koolwaterstoffen	Dichloormethaan, Tetrachloormethaan (tetra), Tetrachloorethyleen (PER), Trichlooretheen (tri)
Aromaten	Benzeen, Toluene, Xyleen, Ethylbenzeen, i-Propylbenzeen
Gechloroerde benzenen	Chloorbenzeen, o,p-Dichloorbenzeen, Trichloorbenzeen

### *Binnenhuisconcentraties*

Juist vanwege de grote variatie aan verschillende VOC's die binnenshuis aanwezig kunnen zijn, is het moeilijk concentratiewaarden aan te geven. Dit is alleen functioneel indien het hoofdgroepen of duidelijk aanwezige componenten betreft. Van sommige van de in tabel 2.10 genoemde verbindingen zijn binnenhuisconcentraties gemeten. De metingen zijn verricht in huizen van verschillende ouderdom (voor-oorlogse woningen, na-oorlogse woningen en woningen jonger dan 6 jaar). Ter vergelijking zijn ook buitenlucht concentraties gemeten. De gegevens staan in tabel 2.11 als mediaan en maximumwaarde in ppb.

Tabel 2.11 *VOC concentratiemetingen in: (1) verschillende Nederlandse gemeenten in verschillende typen woningen en (2) buitenlucht. De waarden geven de mediaan- en (maximumwaarde) in ppb. De uit 1996 daterende bron van deze tabel [3] vermeldt niet in welk jaar de metingen hebben plaatsgevonden.*

Verbinding	Binnenlucht [ppb]			Buitenlucht [ppb]
	Rotterdam voor-oorlogse woningen	Ede na-oorlogse woningen	Ede woningen jonger dan 6 jaar	
n-Hexaan	1 (88)	1 (28)	0.8 (46)	0.5 (1)
Cyclohexaan	0.5 (7)	0.3 (6)	0.3 (95)	0.1 (0.5)
Methylcyclohexaan	2 (33)	1 (50)	1 (504)	0,6 (2)
Benzeen	2 (7)	2 (42)	1 (15)	1 (2)
Toluene	6 (128)	10 (169)	10 (547)	1 (4)
Xyleen	2 (34)	3 (38)	2 (159)	1 (6)
Ethylbenzeen	2 (117)	3 (45)	2 (138)	0,4 (14)
i-Propylbenzeen	<0,3 (5)	0,3 (11)	<0,3 (10)	<0,3 (0,3)
Chloorbenzeen	<0.1 (0.6)	<0.1 (<0.1)	<0.1 (5)	<0.1 (<0.1)
p-Dichloorbenzeen	<0.1 (46)	0.3 (21)	<0.1 (37)	<0.1 (<0.1)
1,2,4-Trichloorbenzeen	<0.1 (0.6)	<0.1 (2)	<0.1 (0.6)	<0.1 (<0.1)

Zoals te zien is in de tabel 2.11 zijn de concentratieniveaus erg verschillend. De tabel dient dan ook ter informatie. Er is nog geen systematisch onderzoek verricht naar de aanwezigheid van VOC in Nederlandse binnenhuizen. Wel zijn verschillende onderzoeken verricht naar de VOC concentraties in woonhuizen gelegen boven bedrijven die VOC gebruiken (chemische wasserijen, drukkerijen).



## Gezondheidseffecten

Over het algemeen hebben VOC's een remmend effect op het functioneren van het centraal zenuw stelsel. Afhankelijk van de dosis kan dit zich uiten in hoofdpijn, lusteloosheid, duizeligheid en uiteindelijk bewusteloosheid. Daarnaast hebben veel organische stoffen een irriterend effect op de slijmvliezen en huid. Zowel hoge acute blootstelling, als langdurige blootstelling aan lagere concentraties kan resulteren in blijvende schade aan het centraal zenuwstelsel, lever en nieren. [5]. Benzene en andere (veelal aromatische) VOC's zijn kankerverwekkend [40].

## Normen

Door de WHO (Air Quality Guidelines) zijn voor een beperkt aantal VOC grenswaarden voor binnen- en buitenlucht gegeven. Voor de arbeidssituatie zijn voor sommige componenten MAC-waarden vastgesteld. Daarnaast zijn voor sommige componenten advieswaarden opgesteld door de Gezondheidsraad en van sommige componenten zijn Toelaatbare Concentraties in de Lucht (TCL) opgesteld. Deze gegevens zijn samengebracht in tabel 2.12.

Tabel 2.12 Grenswaarden uit verschillende adviesorganen voor enkele VOC [3, 6, 15, 16]

Verbinding	WHO [ppb]	MAC [ppb]	TCL [ppb]	G'raad [ppb]
n-Hexaan		23		
Cyclohexaan		233		
Methylcyclohexaan		1600		
Benzeen		9	9	3
Tolueen	63 (1 wk)	36	729	729
Xyleen	1013 (24 hr)	44	11	
Ethylbenzeen	22000 (1 jr)	215	77	
i-Propylbenzeen		120		
Chloorbenzeen		9		
p-Dichloorbenzeen	820 (1 jr)	23	91	
1,2,4-Trichloorbenzeen	1 (1 jr)	5	74	

### 2.3.2 Formaldehyde, CH<sub>2</sub>O

#### Bronnen

Formaldehyde is als handelswaar verkrijgbaar in de vorm van een oplossing in water (formaline). Formaldehyde is een bacteriedodend middel (bactericide). Het wordt o.a. gebruikt bij de productie van kunststoffen en methanol, ter verduurzaming van hout en voor de conservering van biologische monsters (organen, weefsels, etc.). Formaldehydeshars wordt gebruikt in spaanplaat, het kan aanwezig zijn in UF schuimen (ureumformaldehydeschuimen) gebruikt om bouwkundige structuren te isoleren. Bovendien wordt formaldehyde gebruikt als conserveringsmiddel in shampoo's, haarverstevigers, nagellak, etc. Bij verschillende verbrandingsprocessen (geisers, gasfornuizen, roken) komt formaldehyde eveneens vrij.

#### Binnenhuisconcentraties

Door de Keuringsdienst van Waren te Haarlem en de Stichting Centrum voor Oppervlakte Technologie is de formaldehyde concentratie onderzocht in woningen waar geen of weinig spaanplaat als bouw materiaal is gebruikt en geen isolatiematerialen op basis van UF zijn toegepast. De gemeten gehalten zijn afkomstig van meubilair, ondervloeren, roken, verbrandingsinstallaties en zijn gegeven in tabel 2.13.

Tabel 2.13 *Formaldehyde concentraties binnenshuis gemeten*

Meetplaats	Gemiddelde [ppb]	Spreiding [ppb]
Keuken	51	5-151
Woonkamer	49	13-109
Slaapkamer	57	7-209

Op basis van dit onderzoek blijkt dat de normale formaldehyde achtergrondconcentraties in woonkamers variëren tussen 22-67 ppb, in keukens en slaapkamers variëren de waarden tussen 22-75ppb.

#### *Gezondheidseffecten*

Blootstelling aan formaldehyde kan hoofdpijn veroorzaken en leiden tot irritatie van slijmvliezen en ogen. Daarnaast wordt formaldehyde verdacht van carcinogene eigenschappen, hetgeen vooralsnog alleen door middel van laboratorium dierproeven is vastgesteld. Er is geen onderwaarde vastgesteld waarbij het risico van kanker verwaarloosbaar is [41].

#### *Normen*

Voor formaldehyde is een voorlopige grenswaarde voor de binnenlucht vastgesteld (Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 1978) evenals door de WHO in de Air Quality Guidelines. Beide waarden zijn gemiddeld over 30 minuten. De gegevens zijn in tabel 2.14 gegeven.

Tabel 2.14 *Advieswaarden voor formaldehyde gegeven door Min. van Volksgezondheid en Milieuhygiëne (1978) en de WHO. De waarden zijn gegeven in ppb en gemiddeld over 30 minuten.*

Adviesorgaan	Advieswaarden [ppb]
Min. van Volksgezondheid en Milieuhygiëne	90
WHO	75

Voor de buitenlucht gelden voor formaldehyde de waarden beschreven in tabel 2.15. Gegeven zijn de concentratie, de bijbehorende percentiel- en middelingswaarde.

Tabel 2.15 *Buitenlucht kwaliteitswaarden voor formaldehyde*

Concentratie [ppb]	Percentiel	Middeling
75	99,99	Uur
30	98	24-uur
22	95	24-uur

De MAC-waarde voor formaldehyde bedraagt 1.8 ppm voor kortdurende blootstelling is een waarde van 2.2 ppm toegestaan.

### 2.3.3 Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK)

#### *Bronnen*

De bronnen voor PAK binnenshuis zijn voornamelijk houtkachels, open haarden, roken en indringing van buitenlucht. Bij het stoken van droog hout en houtachtige materialen in houtkachels komen PAKs, roetdeeltjes, CO, benzeen, toluen en aldehyden vrij. Indien eveneens andere materialen worden verstoekt neemt het vrijkomende componenten-spectrum toe. Roken binnenshuis is eveneens een bron van PAKs. Bakken, braden en barbecuen worden gezien als PAK bron, evenals bodemverontreinigingen (PAKs dringen via de kruipruimte het binnenhuisklimaat binnen). In de buitenlucht bevinden zich vele PAK bronnen, zoals dieselmotoren van voertuigen, industrieën, verduurzaamd hout (carbolineum geïmpregneerd hout), en houtkachels en open haarden.

#### *Binnenhuisconcentraties*

Er is maar weinig bekend over de PAK concentraties in het binnenmilieu. Door de GG&GD Groningen is onderzoek gedaan naar de PAK gehalten waaronder benzo[a]pyreen, pyreen en de 16 van EPA (Environmental Protection Agency) die optreden op woonschepen. Door het RIVM is het benzo(a)pyreen gehalte in Amsterdamse woningen bepaald, waarbij sommige woningen aan een drukke weg en woningen aan rustige straten gelegen zijn. In tabel 2.16 zijn de gegevens verzameld.

Tabel 2.16 *Concentraties aan verschillende PAK op verschillende locaties gemeten binnenshuis en buitenshuis. Gegeven zijn de gemiddelde waarde en de spreiding in ppt [3, 17]*

Componenten	Locatie	Concentratie [ppt]	Buitenlucht [ppt]
BaP	Woonschepen, Gron.	0.4 (0.08-1.2)	0.1
Pyreen	Woonschepen, Gron.	0.5 (0.1-1.5)	0.1
16 van EPA*	Woonschepen, Gron.	6,3 (<27-124)	36
BaP	Drukke straat, A'dam.	0.04 (0.01-0.1)	0.07 (0.02-0.03)
BaP	Rustige straat, A'dam.	0.02 (0.002-0.05)	0.03 (0.01-0.07)

\*) De 16 van EPA: 16 Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen die door de Amerikaanse Environmental Protection Agency (EPA) als gidsparameters worden gebruikt; zie bijlage 7.

#### *Gezondheidseffecten*

PAK's worden in het lichaam gemetaboliseerd tot een grote verscheidenheid aan verbindingen. Sommige van deze verbindingen zijn zeer reactief en hoogst waarschijnlijk verantwoordelijk voor de carcinogene werking van PAK's [3].

#### *Normen*

Voor de groep van PAK's bestaan geen concentratienormen voor de binnenlucht. Voor de buitenluchtsituatie bestaat wel een ondergrenswaarde en richtwaarde als jaargemiddelde voor benzo(a)pyreen met respectievelijk 0.44 ppt voor de ondergrenswaarde en 0.04 ppt voor de richtwaarde.

## 2.4 Fysisch-chemische componenten

### 2.4.1 Fijn stof

De categorie fijn stof is een brede categorie bestaande uit grotere en kleinere deeltjes. Gewoonlijk wordt fijn stof ingedeeld in verscheidene stoffracties. In tabel 2.17 is een indeling gegeven.

Tabel 2.17 *Aanduiding stoffracties [1, 3]*

<b>Stoffractie/aanduiding</b>	<b>Beschrijving</b>
Totaal stof (TSPM) <sup>1</sup>	Het geheel van alle stof per volume eenheid lucht. Kan ook grote deeltjes bevatten.
Total Suspended Matter (TSM)	0,01 µm < Deeltjes < 100 µm
Fijn stof: PM10	Deeltjes met (aërodynamische) diameter < 10 µm
PM 2,5	Deeltjes met (aërodynamische) diameter < 2,5 µm
Black smoke	Koolstofhoudend aërosol met diameter < 5 µm

<sup>1</sup>) TSPM: Total Suspended Particulate Matter

In deze classificering is gekozen voor de fijn stof definitie PM10, omdat de huidige wet- en regelgeving nog grotendeels is gebaseerd op deze categorie stof. Hierbij dient te worden aangemerkt dat de specifieke gezondheidsrisico's van fijner stof (PM1, PM2,5) steeds duidelijker worden [35]. De toekomstige nationale en EU regelgeving zal naar verwachting in toenemende mate gebaseerd worden op deze verdere onderverdeling in stofklassen.

#### *Bronnen*

In het binnenhuismilieu zijn bronnen van fijn stof aan te wijzen zoals verbrandingsprocessen, stoffering, meubilair, voedselbereiding (koken, bakken), plantensporen, dierlijke faecaliën en roken. Binnenshuis kan roken als de belangrijkste bron worden geïdentificeerd. Ook buitenlucht bronnen kunnen bijdragen aan hoge fijn stof concentraties in de binnenlucht.

#### *Binnenhuisconcentraties*

De Landbouwniversiteit Wageningen (thans WUR; Wageningen Universiteit en Research Centrum) verschillende Amsterdamse woningen PM10 metingen verricht in zowel de binnen- als de buitenlucht. De gegevens staan gepresenteerd in tabel 2.18. Het gaat hierbij om 24-uurs metingen. Gegeven zijn de gemiddelde waarde en de spreiding in µg/m<sup>3</sup>. Het bewonersgedrag is eveneens meegenomen (roken en niet-roken).

Tabel 2.18 *PM10 waarden gemeten in verschillende Amsterdamse woningen. De PM10 waarden zijn gegeven in µg/m<sup>3</sup>. Beschreven zijn de gemiddelde waarde en de (spreiding) [3]*

<b>Bewonersgedrag</b>	<b>PM10 Binnenlucht</b> [µg/m <sup>3</sup> ]	<b>PM10 Buitenlucht</b> [µg/m <sup>3</sup> ]
Niet roken (35 woningen)	34 (19-61)	43 (32-85)
Rokend bezoek (5 woningen)	64 (39-132)	41 (31-50)
Niet roken (124 woningen)	39 (4-129)	40 (12-102)
Rokend bezoek (10 woningen)	72 (28-151)	46 (12-102)

Duidelijk zichtbaar is het effect dat roken in het binnenhuis heeft, waarbij de PM10 waarden verdubbelen in geval van rokend bezoek. Overigens suggereert recent onderzoek dat de schadelijker fijn stof categorieën PM2.5 en PM1 veel minder duidelijk gekoppeld zijn met het

rookgedrag [7]. Voor deze fijn stof categorieën speelt de kwaliteit van de buitenlucht waarschijnlijk een belangrijke rol voor de kwaliteit van de binnenlucht [35].

#### *Gezondheidseffecten*

Fijn stof kan door inademing in de luchtwegen en longen terechtkomen en diverse ademhalingsziekten en (blijvende) longschade veroorzaken [3, 35]. De wereldgezondheidsraad WHO heeft berekend dat wereldwijd 460.000 vermijdbare doden vallen als gevolg van blootstelling aan fijn stof [42].

#### *Normen*

Betreffende fijn stof zijn er nog geen normen geldend voor de binnenlucht. Voor buitenlucht zijn wel luchtkwaliteitwaarden voor PM10 opgesteld en de WHO heeft eveneens een advieswaarde gegeven voor PM10. De waarden zijn gegevens in tabel 2.19.

Tabel 2.19 *Advieswaarden voor PM10, gegeven in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [15, 18]*

<b>Adviesorgaan</b>	<b>Grenswaarde</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>Middeling</b>
Luchtkwaliteitseisen	140 40	24-uur jaar
WHO	70	24-uur

Deze normering kan naar beneden worden bijgesteld omdat aanwijzingen bestaan dat zelfs lagere concentraties negatieve effecten op de gezondheid kunnen hebben.

## 2.4.2 Asbest

#### *Bronnen*

Asbest is voorheen in veel toepassingen gebruikt, hetgeen als gevolg heeft dat het op veel plekken kan worden aangetroffen. Plekken waar het kan worden aangetroffen (in bestaande bouw) zijn dakbedekkingsmateriaal, buitengevels op balkons, als toiletafvoeren, afdichtingen in schoorstenen, kachels, onder CV-ketels, stoppenkasten, onder sommige vinylzeilen en in strijkijzers en/of toasters. Er zijn een aantal minerale verschijningsvormen van asbest zoals crocidoliet, chrysotiel en amosiet.

#### *Binnenhuisconcentraties*

Doorgaans zijn de asbestconcentraties in de binnenlucht verwaarloosbaar klein. Indien het asbest in losse vorm betreft kunnen de niveaus hoger liggen. Bij een onderzoek uitgevoerd door TNO zijn asbestconcentraties bepaald van < 1000 tot 3250 vezelequivalenten/ $\text{m}^3$ , waarbij voor verschillende asbestmineralen andere weegfactoren gelden. In de buitenlucht is de asbestconcentratie afhankelijk van de ligging van de woning en de heersende verkeersintensiteit (ten gevolge van slijtage aan remvoeringen en koppelingsplaten). In grote en middelgrote steden zijn de niveaus van 10000 – 100000 vezels/ $\text{m}^3$ .

#### *Gezondheidseffecten*

Inademing van hoge concentraties asbest vezels leidt tot een verhoogd risico op longkanker, en irreversibele longschade die dodelijk kan zijn. Vaak treedt het ziektebeeld pas decennia na de blootstelling op. Roken verhoogt de kans op asbest gerelateerde longziekten [3, 39].

#### *Normen*

De jaargemiddelde luchtconcentratie van asbestvezels zijn vastgesteld in een VROM beleidsnotitie [20]. De normen zijn gegeven in tabel 2.20. Deze waarden gelden voor binnen- en buitenlucht.

Tabel 2.20 *Jaargemiddelde asbestvezel concentraties [3, 19, 20]*

<b>Asbest mineraal</b>	<b>Verwaarloosbaar risico niveau [vezels/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Maximaal toelaatbaar risico [vezels/m<sup>3</sup>]</b>
Chrysotiel*	1000	100000
Amfibool*	100	10000

\* vezellengte > 5 µm

De MAC-waarde voor asbestvezels bedraagt 300000 vezels/m<sup>3</sup>.

### 2.4.3 Minerale en synthetische vezels

Deze materialen worden ook aangeduid als Man Made Mineral Fibers (MMMMF).

#### *Bronnen*

Tot deze groep van componenten behoren o.a. glaswol, steenwol, keramische vezels en isolatiewol die in woningen zijn/worden toegepast ten behoeve van warmte- en geluidsisolatie en isolatie van ventilatiesystemen en leidingen. Een andere toepassing is isolatie van ovens en ketels.

#### *Binnenhuisconcentraties*

Er zijn slechts een beperkt aantal gegevens bekend betreffende MMMMF. In Denemarken zijn metingen uitgevoerd aan woningen waarvan de plafonds geïsoleerd zijn met MMMMF. De concentraties hadden een gemiddelde waarde van 25 vezels/m<sup>3</sup> [3, 39].

#### *Gezondheidseffecten*

Minerale en synthetische vezels kunnen bij huid- en oogcontact tot irritatie leiden die van tijdelijke aard is. Inademing kan resulteren in irritatie, ontstekingen, en net als bij asbest resulteren in longfibrose [3, 43].

#### *Normen*

Voor de binnen- en buitenlucht situatie bestaan geen normen. Door de Gezondheidsraad zijn wel aanbevelingen gedaan voor de arbeidssituatie. In tabel 2.21 staan voor enkele MMMMF de advieswaarden gegeven. Het betreft hier de arbeidssituatie en aldus een waarde over een tijdsduur van 8 uur.

Tabel 2.21 *Man Made Mineral Fibers (MMMMF) advieswaarden [21].*

<b>MMMMF</b>	<b>Gemiddelde waarde over 8 uur [10<sup>6</sup> vezels/ml]</b>
Glaswol vezels	4,8
Steenwol vezels	3,3
Keramische vezels	1
Slakkenwol vezels	2,1

De MAC-waarde voor glaswol en glasvezels bedraagt 10 mg/m<sup>3</sup> [6].

## 2.4.4 Radionucliden

### *Bronnen*

In vrijwel alle materialen van natuurlijke oorsprong komen geringe hoeveelheden uraan-238, thorium-232 en kalium-40 voor. Het uraan-238 staat aan het begin van een vervalreeks. Deze vervalreeks is gegeven in Bijlage 4. Een van de dochterproducten in deze reeks is het edelgas radon-222, meestal kortweg betiteld als ‘radon’. Dit gas kan via een diffusieproces uit het voor de woning toegepaste bouw materiaal treden en zich vermengen met de lucht in de woning. Een additionele bron voor radon wordt gevormd door de grond onder en rondom de woning. Via diffusie en drukgestuurde stromingen komt het radongas in de kruimruimte terecht, vanwaar het via openingen, naden en haarscheurtjes in de begane grondvloer de woongedeelten kan bereiken. Een derde bron voor radon is de buitenlucht. Voor woningen gebouwd in de periode 1985-1993 verhouden de bronnen bouwmaterialen, kruipruimte en buitenlucht zich gemiddeld als 70:15:15 [22].

Ook in de vervalreeks van thorium-232 komt een radonisotoop voor, radon-220, dat ter onderscheiding van radon-222 afkomstig uit de uraan-238 reeks, thoron wordt genoemd. De vervalreeks van thorium-232 is eveneens gegeven in Bijlage 4. Doordat radon en thoron chemisch gezien identiek zijn, gelden de hierboven voor radon aangegeven processen evenzeer voor thoron. De halveringstijd van thoron bedraagt echter slechts een fractie van die van radon (55 seconden tegen 3,8 dagen), waardoor de afstand waarover dit radonisotoop zich kan verplaatsen vele malen kleiner is dan voor radon het geval is. In Nederland is nog vrijwel geen aandacht besteed aan thoron. De belangrijkste oorzaak is het gemis aan een eenvoudige bepalingmethode. In dit hoofdstuk wordt niet verder op thoron ingegaan.

### *Binnenhuisconcentraties*

De radonconcentratie in de woning is geen constante maar varieert in plaats en tijd ten gevolge van ondermeer windrichting en -snelheid, temperatuurverschillen en bewonersgedrag. Als maat voor het risico wordt daarom bij voorkeur een tijdgewogen gemiddelde concentratie bepaald, waarbij de analyseperiode minimaal 2-3 en bij voorkeur 12 maanden omvat. In Nederland zijn een tweetal landelijke studies verricht naar deze tijdgewogen concentraties. De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 2.22.

Tabel 2.22 *Tijdgewogen radonconcentraties in Nederland.*

<b>Bouwjaar (aantal)</b>	<b>Para- meter<sup>a</sup></b>	<b>Radonconcentratie (Bq/m<sup>3</sup>)</b>			
		<b>Woonkamer</b>	<b>Slaapkamer</b>	<b>Kruipruimte</b>	<b>Buitenlucht</b>
Voor 1985 (1000) <sup>b</sup>	AM	22	16	-	3
	GM	17	-	-	-
	GSD	1,6	-	-	-
1985- 1993 (1500) <sup>c</sup>	AM	30	29	73	5
	GM	25	24	54	5
	GSD	1,8	-	2,1	1,5

<sup>a</sup>: AM: Rekenkundig gemiddelde; GM: Geometrisch gemiddelde; GSD: Geometrische standaardafwijking.

<sup>b</sup>: Bron: [23] De Meijer et al. (1986); meetwaarden gecorrigeerde volgens [22] Stoop et al. (1998).

<sup>c</sup>: Bron: [22] Stoop et al. (1998).

Er lijkt in Nederland sprake te zijn van een toename van de gemiddelde radonconcentratie in de tijd. Deze stijging is ingezet bij woningen gebouwd rond begin jaren '70 en hangt waarschijnlijk samen met de toename van de dichtheid van de bouwschil (dat deel van de woning dat de grens vormt met de buitenwereld). De dichtheid hiervan bepaalt voor een groot deel het ventilatievoud van de woning en daarmee de radonconcentratie. In slaapkamers ligt de radonconcentratie in het algemeen 10-30% lager dan in de woonkamer [22, 23, 24]. Het verloop van de uurgemiddelde radonconcentratie in een kruipruimte is ter illustratie bijgevoegd in Bijlage 5.

Bij verval van radon ontstaat een aantal kortlevende dochternucliden, t.w. polonium-218, lood-214, bismut-214 en polonium-214. Dit zijn in tegenstelling tot radon, vaste producten. Deze kunnen zich aan oppervlakken hechten, zoals wanden, gordijnen en meubilair, waardoor geen evenwicht meer bestaat tussen de dochternucliden en radon in de binnenlucht. In het algemeen wordt voor woningen een evenwichtsfactor van 0,4 aangehouden.

### *Gezondheidseffecten*

De kortlevende radon dochterproducten kunnen, al dan niet gehecht aan stofdeeltjes, bij inademing in de longen achter blijven. De resulterende stralingsdosis in Nederland bedraagt gemiddeld ca.  $0,6 \cdot 10^{-1}$  millisievert per jaar (mSv/jaar). De dosis ten gevolge van radon zelf is te verwaarlozen. Rekening houdend met de nieuwste inzichten met betrekking tot de risico's van radonblootstelling, komt de Gezondheidsraad tot een schatting van 800 gevallen van longkanker per jaar in Nederland, met een spreiding van 100-1200 gevallen [25].

### *Normen*

De Europese Commissie [26] heeft twee aanbevelingen gedaan ten aanzien van de radonconcentratie in woningen:

- Nieuwbouwwoningen zouden zodanig dienen te worden geconstrueerd dat de radonconcentratie onder de  $200 \text{ Bq/m}^3$  blijft.
- In bestaande woningen zouden voorzieningen moeten worden getroffen wanneer een waarde van  $400 \text{ Bq/m}^3$  wordt overschreden.

De spreidingsbreedte van de radonconcentratie in de woonkamer van woningen gebouwd in de periode 1985-1993 loopt uiteen van 5 tot  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Geschat wordt dat 0,01% boven de EC-richtwaarde van  $200 \text{ Bq/m}^3$  ligt [22].

In juni 1997 heeft de toenmalige staatssecretaris van VROM een beleidsvoornemen aan de Tweede Kamer gepresenteerd met betrekking tot de stralingsbelasting in woningen. Analoog aan de EnergiePrestatieNorm wordt de StralingsPrestatieNorm (SPN) als instrument voorgesteld, welke in het Bouwbesluit is verankerd [27]. Momenteel is een NEN-norm in voorbereiding met betrekking tot de berekening van de stralingsprestatie van woningen en woongebouwen [28]. De grenswaarde waaraan een woning bij het indienen van de bouwaanvraag dient te voldoen, is echter nog niet vastgesteld.

## 2.5 Biologische componenten

### 2.5.1 Huismijtstof

#### *Bronnen*

Huisstofmijten komen in elke woning voor. De mijten verzamelen zich in stoffen bekledingsmaterialen zoals vloerbedekking, meubilair en matrassen.

#### *Binnenhuisconcentraties*

In een onderzoek uitgevoerd in woningen in Noord-Holland en Gelderland (~ 500 woningen) is de Der pI concentratie in stofmonsters bepaald. Deze gegevens staan vermeld in tabel 2.23.

---

\*<sup>1</sup> Deze waarde is het product van de volgende termen:

- Radonconcentratie, gemiddeld over alle woningen in Nederland:  $23 \text{ Bq/m}^3$  ([22] Stoop et al., 1998).
- Evenwichtsfactor: 0,4 ([29] UNSCEAR, 2000).
- Verblijftijd in de woning: 7000 uur per jaar (= 80% van de beschikbare tijd).
- Conversiefactor:  $9 \text{ nSv/(Bq.h.m}^3)$  ([29] UNSCEAR, 2000)



Tabel 2.23 Concentraties Der pI op verschillende plekken als functie van de ondergrond in µg/gram stof. Gegeven zijn de extreme waarden [1, 3, 30]

Locatie	Minimum [µg/gram stof]	Maximum [µg/gram stof]
Woonkamer	0,09	150,52
Gladde vloer	0,10	31,08
Textiel vloer	0,09	150,52
Slaapkamer	0,09	103,56
Gladde vloer	0,09	14,10
Textiel vloer	0,10	103,56
Matrassen	0,10	280,88

### *Gezondheidseffecten*

Voorals de uitwerpselen van huisstofmijten veroorzaken een allergische reactie. De allergenen worden ingedeeld in twee groepen, groep I (Der pI en Der fI) en groep 2 (waaronder Der pII). Onder de algemene bevolking is 5 tot 30% allergisch voor huisstofmijt. Kinderen zijn extra gevoelig. De allergische reacties uiten zich ondermeer in niezen, waterige ogen, hoesten, ademnood, duizeligheid, koorts en spijsverteringsproblemen. [3, 43].

### *Normen*

Er bestaan geen normen voor het gehalte huisstofmijten. Waarden lager dan 0,5 µg/gram stof worden beoordeeld als laag en waarden groter dan 20 µg/gram stof worden geclassificeerd als erg hoog (Slob, 1996).

## 2.5.2 Schimmels

### *Bronnen*

Schimmels kunnen op verschillende materialen groeien; de groei is afhankelijk van de temperatuur en het vochtgehalte. Bovendien is van belang of een materiaal schimmelgevoelig is. Een materiaal kan schimmelgevoelig zijn indien het als voedingsbodem kan dienen en een ruw oppervlak heeft waardoor oppervlaktevervuiling kan optreden en aldus een voedingsbodem wordt gecreëerd. Om deze reden zijn bijvoorbeeld stangen voor houvast in bussen en trams altijd glad uitgevoerd. Daarnaast kan een materiaal vocht opnemen waardoor eveneens schimmelgroei kan plaatsvinden. GFT-bakken kunnen mogelijk een additionele bron vormen, maar zijn als zodanig nog niet onderzocht.

### *Binnenhuisconcentraties*

Er zijn geen algemeen geldende gegevens voor schimmels bekend. De gemeten schimmelconcentraties in de binnenlucht zijn ondermeer afhankelijk van de gebruikte methode en het seizoen. Doorgaans worden schimmelconcentraties bepaald aan de hand van het aantal kolonie vormende eenheden (KVE in KVE/m<sup>3</sup>), door middel van uitstrijken in verschillende verdunningen op agarplaten.

### *Gezondheidseffecten*

Medisch gezien is van belang dat schimmelsporen en –deeltjes allergenen zijn en daardoor overgevoeligheidsreacties kunnen veroorzaken. Allergie voor schimmels komt minder voor dan allergie voor huisstofmijten en huisdieren [3]. Sommige schimmels produceren toxines die een verscheidenheid aan organen kunnen beschadigen [43].

### *Normen*

Er bestaan geen normen voor schimmel hoeveelheden in het binnenhuisklimaat. Wel kan een categorisering worden gemaakt van de hoeveelheden KVE/m<sup>3</sup> variërend van erg laag (< 100 KVE/m<sup>3</sup>) tot erg hoog (>10000 KVE/m<sup>3</sup>) [1, 3].

### 2.5.3 Huisdieren

#### *Bronnen*

Na huisstofmijten vormen huisdieren de belangrijkste bron van allergenen. De allergenen zijn afkomstig van huidschilfers, haren, veren, speeksel en faecaliën. Het belangrijkste allergeen is het kattenallergeen (Fel dI). Kattenallergeen bevindt zich op kleinere deeltjes dan bijvoorbeeld huisstofmijtallergeen, waardoor het langer in de lucht aanwezig blijft.

#### *Binnenhuisconcentraties*

Metingen uitgevoerd aan kattenallergeen tonen aan dat evenals bij huisstofmijt de bekledingsmaterialen in de woning van belang zijn als “sink” voor de allergenen. In tabel 2.24 is aangegeven welke waarden worden gevonden in het geval dat: (1) een kat in de woning aanwezig is, (2) een kat aanwezig is geweest, en (3) indien er nooit een kat aanwezig is geweest. Gegeven zijn de minimum en maximum waarden in µg/gram stof.

Tabel 2.24 *Metingen aan kattenallergeen in µg/gram stof. Minima en maxima waarden [3, 30]*

<b>Woonsituatie</b>	<b>Minimum</b> [µg/gram stof]	<b>Maximum</b> [µg/gram stof]
Kat aanwezig	5	3141
Kat verwijderd	0,1	258
Nooit kat geweest	0,09	25

#### *Normen*

Er bestaan, voor zover ons bekend, geen normen voor het gehalte aan huisdier allergenen.

### 3. BRONNEN

Bronnen zijn te onderscheiden naar hun herkomst. Te onderscheiden zijn bronnen die binnenhuis, buitenshuis, biologisch of chemisch van aard en oorsprong zijn. Van externe origine zijn bijvoorbeeld industriële bronnen en bouwlocaties, uitlaatgassen van voertuigen, bodemgassen waaronder radongas, pesticiden, etc. Binnenhuis kunnen bronnen worden geïdentificeerd zoals bouwmaterialen, bekledingsmaterialen, meubels, verbrandingsbronnen (gasfornuis, geisers, boilers, kaarsen), persoonlijke hygiëne producten, rookwaren, huisdieren, etc.

#### 3.1 Externe bronnen

##### *Bouwondergrond*

Bodemgassen betreffen onder meer: radon, koolwaterstoffen, stort-/moerasgas voornamelijk bestaand uit CH<sub>4</sub> afkomstig van nabijgelegen stortplaatsen, en/of afkomstig van moerassen, venen, etc.

Hoog grondwater en/of lekkages zorgen voor vochtophoping waardoor de vochtbalans wordt verstoord. Als gevolg kunnen reducerende condities ontstaan waardoor de productie van bodemgas wordt bevorderd.

##### *Vervoer en energieopwekking*

Emissie van fijn stof, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, Pb

#### 3.2 Interne bronnen

##### *Kelder, kruipruimte*

Ophoping van radon en andere bodemgassen

##### *Bouwmaterialen*

Materialen zoals spaanplaat, fineer, fiberplaat, lijmen, kunststofleidingen en enkele synthetische en minerale isolatiematerialen kunnen verscheidene componenten emitteren zoals bijvoorbeeld formaldehyde en andere VOC en synthetische en minerale vezels. De steenachtige bouwmaterialen vormen de belangrijkste bron voor radon in de woning.

##### *Afwerkmaterialen*

Verfmaterialen, vernissen, stucmaterialen, oplosmiddelen en bijvoorbeeld thinners kunnen bronnen zijn van VOC. Pleistermaterialen kunnen daarnaast een additionele bron van radon zijn.

##### *Bekleding*

Vloerkleden, Tapijt, meubels, matrassen en andere interieurcosmetica kunnen bronnen zijn van verschillende componenten zoals VOC, formaldehyde. Bovendien kunnen deze materialen een refugium bieden aan biologische componenten zoals de huisstofmijt en schimmels.

##### *Verbrandings- en verwarmingsbronnen*

Binnenhuis kunnen verschillende verbrandingsbronnen worden aangewezen zoals verwarmingsketels, fornuizen, open haarden. Deze bronnen verbranden fossiele brandstoffen waardoor verbrandingsgassen vrijkomen, grotendeels bestaande uit CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>. Andere verbrandingsproducten die vrijkomen zijn aldehyden, waaronder formaldehyde en N-houdende zuren (HNO<sub>3</sub>, HNO<sub>2</sub>) en fijne stof deeltjes. Indien kolen en olieproducten worden

verstoekt komt eveneens SO<sub>2</sub> vrij. Bovendien wordt bij de verbranding van deze materialen een gamma aan ander organische verbrandingsproducten gevormd zoals benzeen en PAK.

#### *Voertuigen*

Voertuigen dragen niet alleen bij aan de vermindering van de binnenluchtkwaliteit doordat de uitlaatgassen en brandstofdampen (benzine/diesel) de woning kunnen binnendringen, bijvoorbeeld bij een inpandige garage. Dit geldt eveneens voor materialen die worden gebruikt om het voertuig te onderhouden, zoals hydraulische vloeistoffen, motorolie, schoonmaakmiddelen en waxen. Deze materialen kunnen een heel spectrum aan VOC emitteren zoals koolwaterstoffen, amines, ketonen en alcoholen.

#### *Persoonlijke hygiëne producten/schoonmaakproducten*

Producten bedoeld voor de persoonlijke hygiëne: parfums, deodoranten, zeep, hairsprays en dergelijke zijn een bron van VOC's.

#### *Rookwaren*

De risico's van blootstelling aan secundaire tabaksrook vormen een potentieel probleem ten aanzien van de volksgezondheid. Tabaksrook bevat ca. 3800 componenten waaronder VOC, anorganische gassen en metalen.

#### *Bestrijdingsmiddelen*

Het gebruik van chemicaliën ter bestrijding van insecten, knaagdieren, schimmels en andere biologische organismen resulteert vaak in emissie van VOC's, bijvoorbeeld omdat deze stoffen als oplosmiddel worden gebruikt voor de werkzame bestanddelen in bestrijdingsmiddelen. Daarnaast resulteert blootstelling aan deze werkzame bestanddelen zelf een additioneel gezondheidsrisico.

#### *Biologische bronnen*

Binnenshuis komen ook biologische bronnen voor waardoor de binnenhuisluchtkwaliteit nadelig kan worden beïnvloedt. Voorbeelden zijn schimmels, bacteriën, virussen, huisstofmijt, pollen, huid- en haarschilfers van huisdieren.

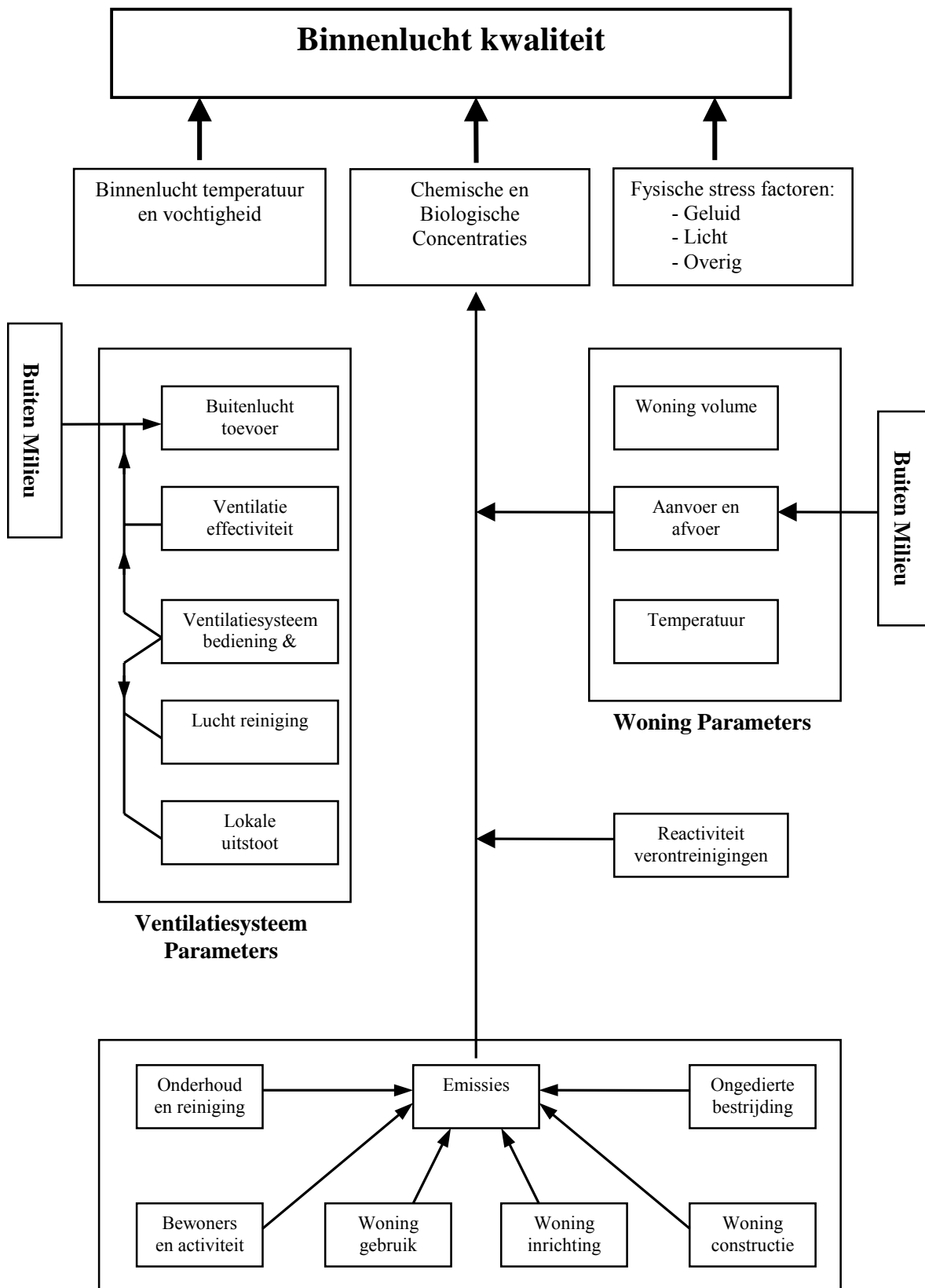
#### *HVAC systemen*

De systemen die warmte en koude reguleren kunnen als bron dienen van verontreiniging afkomstig van buitenhuis. Goed onderhoud is essentieel voor deze systemen omdat ze als refugium en broedplaats kunnen dienen voor schimmels en bacteriën (b.v. de door de legionella bacterie veroorzaakte veteranenziekte).

### 3.3 Relaties tussen factoren die de binnenluchtkwaliteit bepalen

Het totale binnenluchtklimaat wordt bepaald door in de voorafgaande paragrafen beschreven componenten, hun bronnen en onderlinge wisselwerkingen. Ook de relatie tot fysische factoren en het buitenmilieu speelt hierbij een belangrijke rol. Met name in geïndustrialiseerde en/of verstedelijkte gebieden heeft de buitenlucht naar verwachting een belangrijke invloed op de kwaliteit van de binnenlucht ten aanzien van bepaalde componenten (fijn stof, NO<sub>x</sub>). De relaties tussen al de factoren die het binnenhuisklimaat bepalen zijn gevisualiseerd in figuur 3.1.

Figuur 3.1 Relaties tussen de factoren die de binnenlucht kwaliteit bepalen



Gemodificeerd naar: Maroni et al. (1995)

### 3.4 Blootstelling

De totale blootstelling aan probleemcomponenten van personen is complex. Het is belangrijk om te realiseren dat naast het 'normale' verblijf binnen een woning of gebouw de totale blootstelling bepaald wordt door de cumulatieve belasting gerelateerd aan diverse andere factoren, waaronder: de kwaliteit van de buitenlucht en de tijdsduur van verblijf buiten, het verrichten van bijzondere activiteiten, zoals bijvoorbeeld stofzuigen, belasting uit het verkeer etc.

Schematisch kan worden gesteld dat de totale blootstelling (E, exposure) afhangt van:

$$E = t_1A + t_2B + t_3C \text{ etc.}$$

Waarin  $t_1, t_2, t_3 \dots$  de tijdsduur aangeven van een bepaalde blootstelling en de letters A, B, C ... de aard weergeven van de blootstelling.

## 4. SENSOREN

Door de steeds betere isolatie van nieuwbouwwoningen neemt de natuurlijke ventilatie af, waardoor lucht langer in de woning blijft en probleemcomponenten uit interne en externe 'vervuilingsbronnen' kunnen ophopen. Intelligente ventilatie op basis van luchtkwaliteitparameters wordt daarom steeds belangrijker. Registratie van relevante luchtkwaliteitparameters vereist de ontwikkeling van goedkope multi-purpose sensor(arrays). Sensoren zijn technische hulpmiddelen, in het verlengde van de menselijke zintuigen, die ons in staat stellen om een indruk te verkrijgen van bepaalde parameters in onze omgeving. Als zodanig zijn sensoren niet meer weg te denken uit ons leven en is de behoefte aan nieuwe sensoren zeer groot ten gevolge van nieuwe technologische ontwikkelingen en de - soms hieraan gekoppelde - nieuwe bedreigingen. Dit geldt zeker ook voor het binnenmilieu. De stormachtige ontwikkelingen in de micro-chip technologie resulteren in een toenemend aanbod van nieuwe en goedkopere sensoren die een rol kunnen spelen bij de monitoring en kwaliteitsbeheersing van het binnenhuisklimaat (Frank en Meixner, 2000). In de onderstaande paragrafen wordt een overzicht gegeven van de huidige en in de toekomst te verwachten ontwikkelingen op dit gebied.

### 4.1 Commercieel beschikbare sensoren

De tot op heden beschikbare informatie over commercieel verkrijgbare sensoren is samengevat in tabel 4.1. De opgenomen sensoren omvatten zowel binnenlucht sensoren als industriële sensoren of analysatoren. De binnenlucht sensoren zijn vetgedrukt aangeduid Beschreven staan: de betreffende component die bepaald wordt, het sensortype, het meetprincipe, de leverancier en de prijscategorie. Voor de prijscategorie is een verdeling in drie klassen gekozen; klasse A prijs tot 1 *kfl*, klasse B prijs tot 5 *kfl* en klasse C prijs hoger dan 5 *kfl*.

De in tabel 4.1 opgenomen verkrijgbare sensoren beslaan de meting van de volgende componenten: vocht, zuurstof (O<sub>2</sub>), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), koolstofmonoxide (CO), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), Vluchtige Organische Stoffen (VOC), Benzeen-Tolueen-Xyleen (BTX), Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (BTX/PAK) en fijn stof (SPM; Suspended Particular Matter). Enkele van deze sensoren, met name voor CO<sub>2</sub>, worden ook in de klimaattechniek gebruikt. Voor zover bekend maken de fabrikanten van de klimaat- en regeltechniek zelf geen sensoren.

Tabel 4.1 *Overzicht van momenteel beschikbare sensoren. De binnenlucht sensoren zijn vetgedrukt, de overige betreffen industriële sensoren of analysatoren. Prijsklassen: A = prijs tot 1 kfl, B = prijs tot 5 kfl, C = prijs hoger dan 5 kfl. [Van sommige sensoren is het meetprincipe niet opgegeven door de fabrikant; bij deze sensoren is een '?' geplaatst].*

Component	Sensortype	Meetprincipe	Leverancier	Prijscategorie
Vocht	HX-732	?	Sensor Data	A
	Compuflow 8585	?	Alnor	B
	<b>Vaisala Humitter 40/50</b>	?	<b>Sensor Data</b>	<b>B</b>
O <sub>2</sub>	Vaisala HM series	Humicap sensor	CaTec	B
	HX-748 (Rense)	Thin film polymer	Sensor Data	B
	GS1100KX	Electrochemisch	Bionics Instrument	B
	PGD2	?	exotox	B
	Magnos	Paramagnetisch	ABB	C
	Fujikura FCX-MV	Keramisch	AE sensors	B
	Figaro KE-25	Galvanische cel	AE sensor	?
CO <sub>2</sub>	Figaro KE-30	Galvanische cel	AE sensor	?
	<b>Airtell 2001VTC</b>	<b>NDIR</b>	<b>Scantec</b>	<b>A</b>
	TG1300D	NDIR	Bionics Instrument	B
	Vaisala GMT222	NDIR	CaTec	B
	<b>Q-Check 8730</b>	?	<b>CaTec</b>	<b>B</b>
	Optima	NDIR	ABB	C
	<b>Q-Trak 8550</b>	?	<b>Menro</b>	<b>B</b>
	<b>CO2 sensor</b>	?	<b>Hitachi</b>	<b>B</b>
	Figaro TGS4160	Vast elektrolyt	AE sensor	?
	CO	Murco	Electrochemisch	Scantec
GS1250KY		Electrochemisch	Bionics Instrument	B
PGD2		?	Exotox	B
TG1200		Electrochemisch	Bionics Instrument	B
Q-Trak 8551		?	Menro	B
<b>Q-Check 8731</b>		?	<b>CaTec</b>	<b>B</b>
Optima		NDIR	ABB	C
ADOS GTR196 TOX		Electrochemisch	Sensor Data	B
Figaro COMTGS2440		Halfgeleider	AE sensor	?
Figaro TGS203		Halfgeleider	AE sensor	?
SO <sub>2</sub>	Murco	Electrochemisch	Scantec	B
	TG500	Electrochemisch	Bionics Instrument	B
	Model 40	Pulsed Fluorescence	This	C
VOC	Gasflex P	Halfgeleider	Zellweger	B
	FP-424	Catalytic bead	Bionics Instrument	B
	Optima	FID	ABB	C
	Figaro AMS2000	Halfgeleider	AE sensors	B
	Figaro TGS813	Halfgeleider	AE sensors	B
	ADOS GTR196 TGS	Halfgeleider	Sensor Data	B
	ADOS GTR196 VQ	Heat reduction	Sensor Data	B
	BTX <sup>1</sup>	TG-5900	PID	Bionics Instrument
BTX/PAK	Ultrarae (benzeen)	PID	Menro	B
SPM	<b>DustTrak 8520</b>	?	<b>CaTec</b>	<b>B</b>
Multi	Q-Track 8550/8551	CO <sub>2</sub> , CO, T, RV	CaTec	C
Multi	TSI IAQ Calc	CO <sub>2</sub> , T, RV	CaTec	B

Bronnen: Bezoek aan Het Instrument, Internet, Eurosensor 2000, ECN informatie.

<sup>1</sup> BTX: Verzamelnaam voor de verbindingen benzeen, toluen, xyleen.



Aanvullende informatie omtrent de sensor karakteristieken zoals de typische detectie range, de responstijd van de sensor, de meetnauwkeurigheid, de werkingscondities, het vermogen, de dimensies en het gewicht van de sensor en/of sensormodule staan gegeven in bijlage 6.

## 4.2 Radionucliden

Het geven van een overzicht van de sensoren met betrekking tot de detectie van radon, thoron en/of vervalproducten valt, vanwege het grote aantal fabrikanten (>50), buiten het bestek van dit rapport. Een overzicht van fabrikanten vindt men onder meer op een webpagina van de Environmental Protection Agency [32]. In de onderstaande tabel 4.2 wordt volstaan met een meer algemene compilatie, waarbij een onderscheid is gemaakt naar component en meetprincipe.

Tabel 4.2 *Overzicht van beschikbare sensoren op het gebied van radon, thoron en/of dochterproducten*

Component <sup>a</sup>	Meetprincipe	Prijs categorie
Rn	Ionisatiekamer na filtratie van aangezogen lucht	C
Rn	ZnS(Ag) scintillatiecel in combinatie met PM-tube	C
Rn	Alfa-gevoelige microchip	B
Rn en Rn <sup>+</sup>	Alfaspectrometrie m.b.v. surface barrier detector	C
Rn <sup>+</sup> en Tn <sup>+</sup>	GM-buismeting aan filter	A
Rn <sup>+</sup> en Tn <sup>+</sup>	Alfaspectrometrie m.b.v. surface barrier detector	C

<sup>a</sup>: Betekenis gebruikte afkortingen: Rn: Radon; Rn<sup>+</sup>: Radondochters; Tn<sup>+</sup>: Thorondochters

## 4.3 Recente en toekomstige ontwikkelingen

### 4.3.1 Meting van de binnenlucht kwaliteit met behulp van micro sensoren.

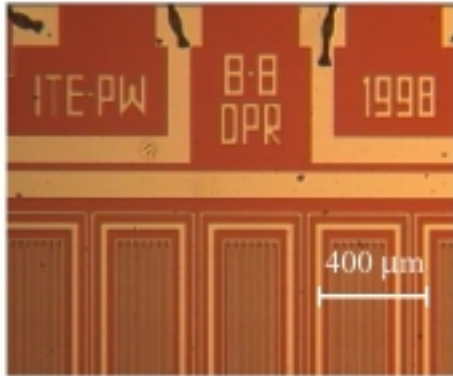
De ontwikkeling van micro sensoren heeft de laatste jaren een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt. Er is een grote verscheidenheid aan micro sensoren ontwikkeld, waaronder een aantal die goed toepasbaar kunnen zijn voor de bepaling en de monitoring van de binnenlucht kwaliteit.

De op IC technologie (integrated circuit; chip-technologie) gebaseerde sensoren worden op een klein oppervlak geïntegreerd. Een typische voorbeeldgrootte is het IC formaat zoals dat in de huidige computers wordt toegepast. Het toepassen van deze IC technologie resulteert in lage kostprijzen wanneer grote aantallen worden geproduceerd, iets wat bij toepassing van dit type sensoren in (nieuwbouw) woonhuizen en bijvoorbeeld kantoorgebouwen het geval zou kunnen zijn.

Het ligt in de verwachting dat de snelle ontwikkeling van micro-sensoren zal doorzetten en met name zal resulteren in een verder prijsverlaging. Het is daarom aannemelijk dat ook complexe multisensoren binnen enkele jaren goedkoop op de markt zullen komen, en daarmee een grootschalige introductie mogelijk maken van multicomponent sensorgestuurde binnenhuisventilatie.

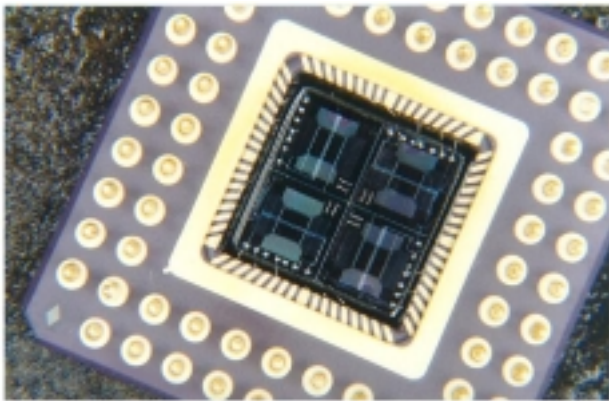
In de onderstaande figuren (Fig 4.1 - 4.5) zijn enkele voorbeelden gegeven van recentelijk op de markt gekomen sensoren, alsmede een voorbeeld van een nieuwe nog in ontwikkeling zijnde sensor [33, 34].

Figuur 4.1 Foto van een fragment van een ontworpen structuur voor een dauwpuntsensor [36].

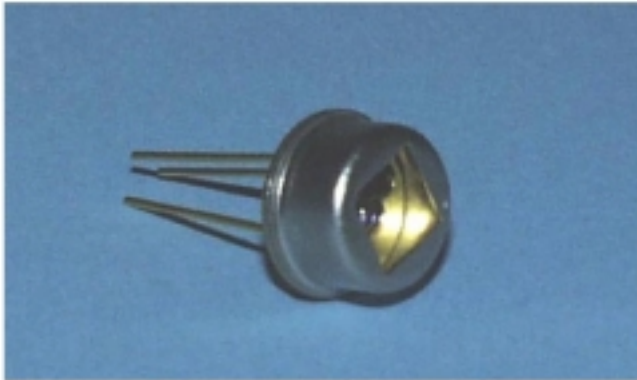


Figuur 4.2 Geursensor

Foto van een matrix van vier geïntegreerde silica microcalorimeters die worden gebruikt voor gasdetectie in 'electronische neuzen'. De afmeting van elk instrument is 5x5 mm, membraandikte is 6 μm, gevoeligheid 8 V/W. [37].



Figuur 4.3 *Een micro-machinaal vervaardigde infraroodbron voor een koolstofdioxide detector. Afmeting ongeveer 2 mm [37].*

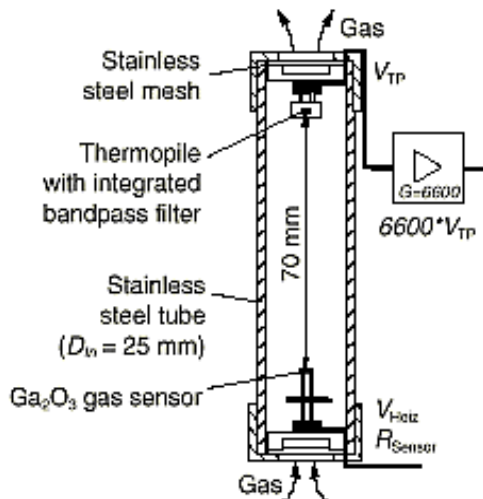


Figuur 4.4 *Voorbeeld van een geïntegreerde koolmonoxide-stikstofoxide sensor voor meting in uitlaatgassen [36].*



De lay-out zoals die bij de geïntegreerde koolmonoxide-stikstofoxide sensor wordt gedemonstreerd (figuur 4.4) is een goed voorbeeld van het toekomstidee waarbij verschillende sensoren binnen een behuizing worden aangebracht.

Figuur 4.5 Schematisch overzicht van een in ontwikkeling zijnde sensor voor gelijktijdige monitoring van CO<sub>2</sub> en stinkende of explosieve gassen in binnenlucht. Het systeem combineert de functionaliteit van halfgeleidende metaaloxides en infraroodabsorptie voor gasdetectie. Met de infraroodstraling die wordt uitgezonden door verhitting van de metaaloxide gas sensor wordt een optische sensor voor CO<sub>2</sub> detectie aangestuurd. De metaaloxide gas sensor werkt dus zowel als een sensor voor stinkende of explosieve gassen én als een infraroodbron voor de optische sensor [34].



#### 4.3.2 Pakket van eisen voor eigenschappen toekomstige sensoren

In het onderstaande wordt een opsomming gegeven met de belangrijkste eigenschappen waaraan een sensor zou moeten voldoen.

*Sensitiviteit/nauwkeurigheid:* De sensor/detector moet gevoelig zijn voor de te meten component in het te verwachten concentratiegebied. De detectielimiet moet voldoende laag zijn en de reproduceerbaarheid voldoende.

*Selectiviteit/specifiek:* De sensor/detector moet zo min mogelijk interferentie ondervinden van andere aanwezige stoffen.

*Stabiliteit/onderhoud:* De respons van de sensor als functie van de concentratie de te bepalen stoffen moet over lange perioden constant blijven (weinig drift). De sensor moet bij voorkeur slechts eenmalig geijkt te worden. Als alternatief valt te denken aan een jaarlijkse herijking danwel vervanging, bijvoorbeeld uit te voeren in combinatie met de jaarlijkse CV servicebeurt.

*Responsnelheid:* Afhankelijk van de te monitoren moet de responstijd van de sensor in de seconden tot minutenrange liggen.

<i>Robuustheid:</i>	Het ontwerp van de sensor moet zodanig zijn dat robuust is ten aanzien van: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trillingen</li> <li>- Schokken</li> <li>- Slagvastheid</li> <li>- Variatie in temperatuur</li> <li>- Variatie in vochtgehalte</li> </ul>
<i>Goedkoop:</i>	Gebruik van eenvoudige en goedkope schakelingen (IC technologie) resulteert in lage kostprijzen.
<i>Laag energiegebruik:</i>	De sensor moet bij voorkeur 'jarenlang' functioneren op een alkaline of lithiumbatterij.
<i>Afmetingen:</i>	Plaatsing aan plafonds en wanden zodat vrije doorgang zo min mogelijk belemmerd wordt. De sensor moet zo weinig mogelijk plaats innemen. Dikte < 5 cm.

De voorkeur gaat uit naar de integratie van verschillende sensoren in een behuizing, toegespitst op een bepaald type woning en leefgedrag. Hierbij valt te denken aan factoren als (roken, manier van koken (wel of geen gas), de eventuele aanwezigheid van een open haard, houtkachel of allesbrander etc.

## 5. EVALUATIE EN AANBEVELINGEN

In hoofdstuk 2 zijn de verschillende componenten behandeld die in meer of mindere mate de kwaliteit van het binnenmilieu in negatieve zin beïnvloeden. In hoofdstuk 3 is een andere indeling gevolgd, namelijk die naar de bron van de vervuulende component. Op basis van de beschikbaarheid van relevante sensoren, zoals besproken in hoofdstuk 4, kan een eerste prioriteitenlijst worden opgesteld ten aanzien van in een demonstratiefase te installeren sensoren. Hiervoor dient een realistische testopstelling te worden gekozen waarin het gedrag van sensoren onder praktijkcondities kan worden bepaald. Bij een dergelijke praktijktest is het belangrijk om een zodanige combinatie van sensoren te kiezen dat met zo weinig mogelijk sensoren zoveel mogelijk bronnen kunnen worden geregistreerd. Op basis van deze uitgangspunten is de in Tabel 5.1 weergegeven wenslijst van sensoren opgesteld. Het spreekt voor zich dat, afhankelijk van de leefgewoonten, het type woning en de wensen van de bewoners, specifieke sensoren kunnen worden aangebracht. Hierbij kan gedacht worden aan een sensor-array waarvan de sensorbezetting afhankelijk is van bijvoorbeeld rookgedrag, manier van koken (wel of geen gas), de eventuele aanwezigheid van een open haard, houtkachel of allesbrander etc. Op de korte termijn zou voor een praktijktest in eerste instantie gekozen kunnen worden voor één belangrijke component, bijvoorbeeld fijn stof. Dit maakt het onderzoek efficiënter en overzichtelijker, waarna in een vervolgfase meerdere parameters kunnen worden gemeten.

**Tabel 5.1** Wenslijst van middels sensoren te bepalen componenten in de binnenlucht.

Hoofdgroep	Sensor	Maatgevend voor	Bronnen
Fysische parameters	Vocht	Ventilatiegedrag	Bewoners, koken, douchen, bodem
	Temperatuur	Stookgedrag, comfort	Bewoners
Anorganische componenten	NO <sub>x</sub>	Verbrandingsgassen	Verbrandingstoestellen Verkeer,
	CO <sub>2</sub>	Aanwezigheid mensen, verbrandingsprocessen	Bewoners, verbrandingstoestellen
Organische componenten		PAK, formaldehyde	Rookgedrag, schoonmaakmiddelen
Fysisch-chemische componenten	Fijn stof	Rook- en kookgedrag, Belasting verkeer en industrie	Roken, verbrandingstoestellen, verkeer en industrie
	Radon	Radonochters, infiltratie bodemgas	Grond, bouw materiaal
Biologische componenten	(fijn stof)		Schimmels, huisdieren
Rook	Combinatie VOC & Fijn stof		Roken

Ten aanzien van een uitgebreide demonstratiefase zijn op dit moment nog geen specifieke sensoren beschikbaar voor biologische componenten en rook. Een deel van de biologische componenten kan worden gedetecteerd met een fijn stof sensor. In veel gevallen is een niet generieke stofsensoren echter ontoereikend, ondermeer voor registratie van specifieke allergenen. De hoofdgroep 'rook' wordt voldoende gedekt door de combinatie van sensoren voor VOC en Fijn stof. Verder dient nog te worden geëvalueerd of CO<sub>2</sub> een nuttige parameter is om te meten. De geraadpleegde literatuur uit verschillende meningen op dit punt. Ook dient het nut van gecombineerde CO<sub>2</sub>, VOC en/of vocht meting nader te worden onderzocht.

Een belangrijk hiaat in de huidige kennis betreft de invloed van de buitenluchtkwaliteit op het binnenklimaat. Ventilatie met buitenlucht resulteert doorgaans in een kwaliteitsverbetering van de binnenlucht ten aanzien van veel componenten. Echter, in geïndustrialiseerde en/of verkeersdichte stedelijke gebieden is het mogelijk dat de ventilatie met buitenlucht voor bepaalde componenten een negatieve invloed heeft op de kwaliteit van de binnenlucht, bijvoorbeeld ten aanzien van fijn stof, en NOx. Een optimale binnenhuisventilatie vereist daarom een 'intelligent' ventilatiesysteem waarbij ook gebruik gemaakt wordt van sensoren buiten de woning die de kwaliteit van de buitenlucht registreren. Nader onderzoek naar de invloed van de buitenluchtkwaliteit op de binnenlucht kwaliteit lijkt gewenst. Bijvoorbeeld door middel van een meetprogramma met gelijktijdige inzet van meetinstrumenten/sensoren binnen en buiten een woning.

Op dit moment zijn de kosten van de meeste sensoren betrekkelijk hoog, doch hierin kan verandering komen indien deze op grote schaal toepassing vinden. In een vervolgfase zou de kosteneffectiviteit van het gebruik van sensoren, met daaraan gekoppelde aansturing van de ventilatie, prioriteit dienen te hebben. Aan de kostenkant zouden de afschrijvingskosten van de sensor en het bijbehorende stuurmechanisme in ogenschouw dienen te worden genomen, aan de batenkant de besparing op stookkosten door het feit dat, indien niet noodzakelijk, er minder zal hoeven te worden geventileerd. Aan de batenkant dient voorts de verbetering van het binnenklimaat in rekening te worden gebracht, een parameter die zich niet eenvoudig in euro's laat uitdrukken. Om een juiste afweging te kunnen maken zullen de mogelijkheden daartoe in een vervolgstudie dienen te worden nagegaan.

## 6. CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies die uit het voorliggende onderzoek kunnen worden getrokken zijn:

- In Nederland is nog slechts in beperkte zin aandacht besteed aan de componenten die het binnenluchtklimaat in negatieve zin beïnvloeden. Slechts voor enkele componenten, zoals radon, zijn nationale onderzoeken uitgevoerd.
- Gezien het groeiende besef dat de kwaliteit van het binnenmilieu van groot belang is voor de gezondheid is nader onderzoek gewenst. Enerzijds dient dit onderzoek zich te richten op het vaststellen van normaalwaarden in het Nederlandse woningbestand, waarbij ook kan worden gedacht aan het vaststellen van een nul-waarde voor diverse componenten bij oplevering of verkoop van een woning. Anderzijds dient dit onderzoek zich te richten op demonstratietrajecten van sensorgestuurde binnenhuisventilatie.

### *Componenten:*

Het grootste deel van de componenten die de binnenluchtkwaliteit negatief beïnvloeden kan worden geïdentificeerd. Het lijkt vooralsnog onmogelijk om alle componenten en verbindingen die een bijdrage leveren aan de belasting van de binnenlucht te meten. Het is zaak een lijst van gewenste componenten te produceren die bij voorkeur door een multifunctionele sensor kunnen worden geïdentificeerd. Mede op basis van de huidige WHO richtlijnen is de volgende wenslijst van belangrijke te meten componenten vastgesteld: vocht & temperatuur, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, VOC, fijn stof en radon.

- Voor de meeste componenten is een relatie met de vervuilende bron te leggen. Dit maakt het in principe mogelijk om met een beperkt aantal sensoren de binnenlucht in voldoende mate te karakteriseren.

### *Sensoren:*

- Sensoren zijn beschikbaar voor de meeste componenten. De kostprijs hiervan laat toepassing op grote schaal nog niet toe, doch een ontwikkeling naar goedkopere, generieke sensoren lijkt aanwezig.
- De meeste sensoren zijn op dit moment nog in beperkte mate onderhoudsvriendelijk. Met uitzondering van de vochtsensoren geldt dat sensoren na verloop van tijd moeten worden vervangen (b.v. elektrochemische sensoren) of moeten worden gekalibreerd (b.v. infrarood sensoren).

### *Sensorgestuurde ventilatie*

- In de nabije toekomst zal het waarschijnlijk mogelijk zijn verschillende componentspecifieke sensoren op één chip te integreren en deze te gebruiken om het gewenste kwaliteitsniveau van de binnenlucht te controleren en te reguleren middels aansturing van ventilatiesystemen. De kosten van deze eenheden zullen sterk afnemen als functie van de geproduceerde hoeveelheden (geschatte bandbreedte in prijs: 10-100 gulden).



- Technisch gezien lijkt er geen belemmering te zijn de meetuitkomsten van de sensoren te koppelen aan een stuur- en regelmechanisme van de ventilatiestromen in de woning.
- Ten aanzien van sensorgestuurde ventilatie dient ook aandacht te worden besteed aan de kwaliteit van de buitenlucht, met name ten aanzien van de componenten fijn stof en NOx.

*Aandachtspunten voor vervolgonderzoek:*

- Demonstratie van de technische haalbaarheid van sensorgestuurde ventilatie en de effectiviteit hiervan op de kwaliteit van het binnenmilieu
- De invloed van de buitenluchtkwaliteit op de binnenluchtkwaliteit, met name ten aanzien van de componenten fijn stof en NOx.
- Verdere optimalisatie van de keuze van de toe te passen sensoren
- Ontwikkeling van specifieke sensoren, onder meer ten aanzien van allergenen
- Onderzoek naar de kosteneffectiviteit van sensorgestuurde ventilatie
- Evaluatie van veranderingen in energievraag, en geassocieerde CO<sub>2</sub> emissies, bij toepassing van sensorgestuurde ventilatiesystemen.

## REFERENTIES

1. M. Maroni, B. Seifert, T. Lindvall (Ed.), *Indoor Air Quality, A comprehensive reference book*, Air Quality Monographs, Vol. 3. 1995
2. Corsi, R.L., *Indoor air quality: A time for recognition*, Environmental Management, September 2000, pp. 10 - 17.
3. R. Slob, *Handboek Binnenmilieu*, GG&GD, Amsterdam, oktober 1996
4. O. Seppänen, J. Säteri (Ed.), *Healthy Buildings 2000*, August 6-10 2000, Espoo, Finland  
*Proceedings, Volume 1. Exposure, human responses and building investigations*  
*Proceedings, Volume 2. Design and operation of HVAC systems*  
*Proceedings, Volume 3. Microbes, moisture and building physics*  
*Proceedings, Volume 4. Materials, design, construction*
5. L.E. Alevantis, *Reducing occupant exposure to volatile organic compounds (VOCs) from office building construction materials: non-binding guidelines*, Department of Health Services, Indoor Air Quality Section, California Department of Health Services, July 1996
6. *Nationale MAC-lijst 1996*, P 145, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1996
7. A.Y. Khlystov, E.P. Weijers, G.P.A. Kos, W.C.M. van den Bulk, A. Even, H.M. ten Brink, J.W. Erisman, *Characterisation of particulate matter in urban air*, ECN-R--00-001, april 2000.
8. A. Vermeulen, F. Bakker, M. Geusebroek, A. Khlystov, J.W. Erisman, *Volatile organic compounds and aerosols in air, development of sampling methods and chemical analysis and modelling*, ECN-R--99-001, april 1999
9. *Bouwen en verbouwen, bouwtechnische tips voor een droge en stofvrije woning zonder prikkels*, uitgave Asthma Fonds
10. Z. Ristovski, L. Morawska, G. Ayoko, *Investigation into the emissions of fine particles, formaldehyde, oxides of nitrogen and carbon monoxide from natural gas heaters*, Centre for Medical and Health Physics, Queensland University of Technology, 1999
11. D. Schwela, *The World Health Organization Guidelines for Air Quality, Part 1; Exposure-Response relationships and Air Quality Guidelines*, EM, pp 29 – 34, July 2000
12. J. Boleij, B. Brunekreef, E. Lebret, D. Noy, H. van der Wiel, K. Biersteker, *Luchtverontreiniging in woningen*, Publicatiereeks Lucht 45, 1985, VROM, Leidschendam
13. D. Noy, E. Lebret, J. Boleij, B. Brunekreef, *Integrated NO<sub>2</sub> exposure estimates*, Indoor Air Proc. Of the 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, vol. 4, p. 3742, 1984, Stockholm
14. E. Lebret, 1985, *Air pollution in Dutch homes; an exploratory study in environmental epidemiology*, Proefschrift Landbouwniversiteit, Wageningen, Wageningen.

15. WHO, 1987, *Air quality guidelines, major urban air pollutants, carbon monoxide, ozone and photochemical oxides of nitrogen*, Regional Office for Europe, Copenhagen.
16. P. Wolkoff, 1995, *Volatile Organic Compounds, Sources, measurements, Emissions and the Impact on Indoor Air Quality*, Indoor Air Supplement no. 3.
17. F. Duijm, G. Meijer, A. Derks, J. Broer, 1994, *PAK blootstelling en belasting in en om woonschepen*, GGD Groningen en Ommelanden. Groningen
18. VROM, 1994, *Environmental quality objectives in the Netherlands. A review of environmental quality objectives and their policy framework in the Netherlands*, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, the Hague.
19. Gezondheidsraad, 1988, *Asbest, toetsing van een basisdocument*, Gezondheidsraad rapportnummer 1988/31, Den Haag
20. W. Sloof, P.J. Blokzijl, 1987, *Basisdocument asbest. RIVM*, rapportnummer 758473006, Bilthoven.
21. Gezondheidsraad, 1995, *Man Made Mineral Fibres*, Gezondheidsraad rapportnummer 1995/02WGD, Den Haag
22. Stoop, P., Glastra, P., Hiemstra, Y., De Vries, L. en Lembrechts, J. (1998), *Results of the second Dutch national survey on radon in dwellings*, Rapportnr. 610058006. RIVM, Bilthoven.
23. De Meijer, R.J., Put, L.W. en Veldhuizen, A. (1986). *Radonconcentraties in Nederland*, Stralenbeschermingsreeks nr. 14. VROM, Den Haag.
24. De Jong, P. en Van Dijk, W. (1999). *Factors affecting the radiation dose to inhabitants in a small new housing estate in the Netherlands*, Conf. Radon in the Living Environment, 19-23 april 1999, Athene.
25. Gezondheidsraad (2000). *Radon: Toetsingrapport 'BEIR VI'*, Publicatie nr. 2000/05. Gezondheidsraad, Den Haag.
26. EC (1990). *Recommendation 90/143/Eurotom of 21.2.1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon*, Europese Commissie, Luxemburg.
27. VROM (1997). *Brief van staatssecretaris Tommel van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal*. Nr. 21483-21, 19 juni 1997.
28. NEN (1999), *Stralingsprestatie van woningen en woongebouwen – Bepalingsmethode. Ontwerp NEN 7181, kritiekversie*, NEN, Delft.
29. UNSCEAR (2000), *Sources and effects of ionizing radiation*, UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with annexes. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York.
30. R.T. van Strien, B. Brunekreef, A.P. Verhoeff, J.H. van Wijnen, 1992, *Vochtverschijnselen in woningen, huismijstofallergieën en CARA bij kinderen*, Landbouwniversiteit Wageningen, rapportnummer 1992-463, Wageningen
31. <http://www.voice.draeger.com>

32. <http://www.epa.gov/radonpro/manufact.htm>
33. Proceedings van de 13<sup>e</sup> Europese conferentie *Euroensors XIII*, den Haag 1999
34. J. Frank and H. Meixner, *Sensor System for Indoor Air Monitoring Using Semiconducting Metal Oxides and IR-Absorption*, Euroensors XIV, 599-602, August 2000.
35. L. Cifuentes, H. Borga-Aburto, N Gouveia, G, Thurston, D L. Davis. *Hidden Health Benefits of Greenhouse Gas Mitigation*, Science, Vol. 239, pp. 1257- 1259. August 2001.
36. Proceedings van de 14<sup>e</sup> Europese conferentie *Euroensors XIV*, CopenHagen, Denmark, 2000.
37. C. Delpha, M. Siadat, M. Lumbreras. Environmental Electronic Nose: Detection of a halocarbon Gas (Forane 134a) and Carbon Dioxide in a humidity controlled atmosphere. Euroensors XIV, 71-74, August 2000.
38. U.S. National Safety Council; Environmental Health Center, Fact sheet moisture, <http://www.nsc.org/ehc/indoor/floods.htm>, 2001.
39. U.S. National Safety Council; Environmental Health Center, Fact sheet Carbon Monoxide, <http://www.nsc.org/ehc/indoor/floods.htm>, 2001.
40. U.S. National Safety Council; Environmental Health Center, Air pollution Fact sheet, <http://www.nsc.org/ehc/mobile/airpollu.htm>, 2001.
41. U.S. National Safety Council; Environmental Health Center, Fact sheet Formaldehyde, <http://www.nsc.org/ehc/indoor/formald.htm>, 2001.
42. WHO, Health and Environment in Sustainable Development: Five Years after the Earth Summit, Geneva, 1997.
43. U.S. National Safety Council; Environmental Health Center, Fact sheet Biological Contaminants, [http://www.nsc.org/ehc/indoor/bio\\_cont.htm](http://www.nsc.org/ehc/indoor/bio_cont.htm), 2001.

## RELEVANTE WEBSITES

Overzicht van de meest relevante websites die zijn geraadpleegd in het kader van deze studie:

*Gemeenschappelijke Geneeskundige en Gezondheidsdienst Amsterdam*

<http://www.gggd.amsterdam.nl>

*Mogelijkheden voor onderzoek naar kwaliteit binnenklimaat*

<http://www.arbo-adam.nl/nieuws/klimaat982.html>

*California Air Resources Board*

<http://www.arb.ca.gov>

*Healthy Buildings Conference 2000*

<http://www.hb2000.org>

*California Indoor Air Quality Program*

<http://www.cal-iaq.org>

*Field Safety Corporation, Indoor Air Quality Testing*

<http://www.fieldsafety.com>

*Environmental Materials Consultants, Inc. Indoor Air Quality*

<http://www.emcinc.net>

*Queensland University of Technology, Environmental Aerosol Laboratory*

<http://www.sci.qut.edu.au>

*Aritron*

<http://www.aritron.com>

*Environment Health Center, National Safety Council*

<http://www.nsc.org>

*Environmental Health Center: Air Quality Program*

<http://www.nsc.org/ehc/airqual.htm>

*Environmental Health Center: Crossroads*

<http://www.crossroads.nsc.org>

*Indoor Environment Department*

<http://www.eande.lbl.gov>

*Environmental Protection Agency*

<http://www.epa.gov>

*Informatie over radonmeetapparatuur*

<http://www.epa.gov/radonpro/manufact.htm>

*Informatie componenten en verbindingen*

<http://voice.draeger.com>

*Informatie sensoren*

Figaro: <http://www.figarosensor.com>  
Aesensors: <http://www.aesensors.nl>  
Wittich: <http://www.wittich.nl>  
Rense: <http://www.rense.nl>  
CaTec: <http://www.catec.nl>

*Informatie luchtreinigers*

<http://www.b2lucht.nl>

*Informatie luchtverwarming*

<http://members.tripod.lycos.nl/ReinHoekstra/ventileren.html>

*Informatie gasmetingen in lucht*

<http://home.wxs.nl/~menro/gasinlucht.html>

*Informatie electrochemische sensoren*

<http://www.draeger.com/english/st/gdt/gds/principles/ec.htm>

*Informatie chemische sensoren en biosensoren*

<http://www.dbanks.demon.co.uk/ueng/chemsens.html>

*Informatie over optische gas sensoren op basis van polymere membranen*

<http://www.chemsens.ethz.ch/%7Etomas/nox.html>

*Informatie Lab on a Chip Network*

<http://www.chemsoc.org/networks/locn/>

*Center for Microelectronic sensors and MEMS*

<http://www.mems.uc.edu/>

*Resources for Sensors, measurements, instrumentation etc.*

<http://www.sensors.research.com/links.htm>

*MEMS based sensors*

[http://itri.loyola.edu/mems/c3\\_s3.htm](http://itri.loyola.edu/mems/c3_s3.htm)

*Motorola semiconductor products*

<http://sps.motorola.com/senseon>

*Chemical sensors*

[http://www.icpet.nrc.ca/projects/sensor\\_e.html](http://www.icpet.nrc.ca/projects/sensor_e.html)

*Chemical species gas sensors*

<http://www.grc.nasa.gov/WWW/chemsensor/>

*IAQ publications*

<http://www.iaqpubs.com>

## BIJLAGE 1. EENHEDEN EN CONVERSIEFACTOREN

Concentraties van zowel gassen als deeltjes in de lucht kunnen worden uitgedrukt in massa eenheid per volume eenheid lucht ( $\mu\text{g}/\text{m}_0^3$  of  $\text{mg}/\text{m}_0^3$  etc ). Daarnaast kunnen de concentraties van gassen ook worden uitgedrukt als het aantal moleculen of deeltjes van een bepaalde component ten opzichte van het totaal aantal moleculen lucht (per volume eenheid). Hiervoor wordt ondermeer de eenheid ppm gebruikt (parts per million). Voor deeltjes, vezels etc. is dit niet mogelijk omdat zij niet bestaan uit losse moleculen.

Op verzoek van de opdrachtgever zijn de in rapport genoemde concentraties zoveel mogelijk uitgedrukt in de eenheid ppm of de hieraan verwante eenheden ppb (parts per billion) of ppt (parts per trillion). Soms wordt ook de afkorting ppmv gebruikt, hetgeen staat voor parts per million by volume. Uitgaande van de ideale gaswet, geldt voor het volume van één mol gas:

$$V = R.T / P$$

Waarin  $P$  de druk is (in Kelvin),  $V$  het volume (in  $\text{m}^3$ ) en  $R$  de gasconstante ( $8,31 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ). Bij standaard druk en temperatuur (1 atmosfeer =  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ; 273 K) volgt uit deze relatie dat 1 mol gas een volume heeft van 22,4 liter. Dit is het zogenaamde molair volume  $V_m$ . In combinatie met informatie over de molmassa,  $M_w$ , van een component (i.e. de massa van één mol van een bepaalde component), kunnen concentraties die zijn gegeven in de eenheid  $\text{mg}/\text{m}^3$  worden omgerekend naar concentraties in ppm, en omgekeerd. Onderstaande tabel geeft de conversiefactoren die gebaseerd zijn op de in het bovenstaande toegelichte theorie.

Van	Naar:	ppmv
$\text{mg}/\text{m}_0^3$		$\frac{[\text{mg}/\text{m}_0^3] * V_m}{M_w}$
$\mu\text{g}/\text{m}_0^3 = 10^{-3} \text{ mg}/\text{m}_0^3$		$10^{-3} * \frac{[\text{mg}/\text{m}_0^3] * V_m}{M_w}$

## BIJLAGE 2. TABELLEN UIT TEKST IN MASSA EENHEDEN

Omrekeningen van de in de tabellen gehanteerde eenheden ppm, ppb en ppt naar eenheden  $\text{mg/m}^3$ ,  $\mu\text{g/m}^3$  en  $\text{ng/m}^3$ . De benoemde tabellen refereren naar de gelijknamige tabellen in de tekst.

Tabel 2.2 *Koolstofmonoxide meetwaarden in keukens, woonkamers en slaapkamer van 12 woningen. De waarden zijn de minimale en maximale waarden in  $\text{mg/m}^3$  als minuut- en uurgemiddelden. De tabel laat zien dat de koolstofmonoxide concentraties in huis sterk variëren*

Meetplaats	Minuutgemiddelde [ $\text{mg/m}^3$ ]	Uurgemiddelde [ $\text{mg/m}^3$ ]
Keuken	5-108	3-56
Woonkamer	4-28	2-26
Slaapkamer	4-28	1-26

Tabel 2.3 *Advieswaarden (maxima) voor CO gegeven door de Gezondheidsraad en de WHO. De waarden zijn gegeven in  $\text{mg/m}^3$*

Adviesorgaan	Uurgemiddelde [ $\text{mg/m}^3$ ]	8-uursgemiddelde [ $\text{mg/m}^3$ ]
Gezondheidsraad	30	10
WHO	38,5	10

Tabel 2.4 *Weekgemiddelde stikstofdioxide concentraties in binnenlucht en buitenlucht van verschillende Nederlands gemeenten. Gemiddelden en spreiding gegeven in  $\mu\text{g/m}^3$*

Plaats	Binnenlucht [ $\mu\text{g/m}^3$ ]			Buitenlucht [ $\mu\text{g/m}^3$ ]
	Keuken	Woonkamer	Slaapkamer	
Arnhem/Enschede	74 (8-352)	37 (6-258)		35
Ede	65 (9-539)	36 (8-166)	28 (7-151)	45
Vlagentwedde	59 (9-292)	29 (9-180)	17 (8-103)	28
Rotterdam	85 (17-589) 88 (27-525)	51 (11-207) 47 (16-212)	33 (9-109) 41 (7-173)	45 45
Bodegraven/Reeuwijk			38	50
Rotterdam			49	68
Drenthe			30	39
Amsterdam			57	59



Tabel 2.5 *Luchtkwaliteitswaarden voor stikstofdioxide in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

Richtwaarde [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Grenswaarde [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Opmerking
	175	99,5 percentiel, uurgemiddeld
80	135	98 percentiel, uurgemiddeld
	150	98 percentiel, 8-uursgemiddeld, drukke straten
25		50 percentiel, uurgemiddeld

Tabel 2.6 *Huisgemiddelde zwaveldioxide concentraties bij aanwezigheid van verschillende zwaveldioxide bronnen gegeven in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

Bronaanduiding	Gemiddelde [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SD
1 Kerosine brander	68,4	86,8
1 Kerosine brander 1 Gasfornuis	89,9	91,2
2 Kerosine branders	120,4	66,4
2 Kerosine branders 1 Gasfornuis	110,0	81,5

Tabel 2.7 *Advieswaarden voor zwaveldioxide, gegeven in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

Adviesorgaan	Waarde [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Middelingstijd
WHO	500	10-min
	125	24-uur
	50	1 jaar
MAC-TGG	5	8 hr/dag, 5 dag/week

Tabel 2.8 *Ozon advieswaarden, voor de buitenlucht*

Adviesorgaan	Waarde [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Middelingstijd
WHO	120	8-uur
MAC-TGG	0,120	1-uurs gewogen gemiddelde

Tabel 2.9 VOC concentratiemetingen in verschillende Nederlandse gemeenten en buitenlucht. De waarden geven de mediaan- en (maximumwaarde) in [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Verbinding	Binnenlucht [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			Buitenlucht [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
	Ede na-oorlogs	Rotterdam voor-oorlogs	Ede < 6 jaar	
n-Hexaan	4 (107)	5 (338)	3 (178)	2 (4)
Cyclohexaan	1 (22)	2 (26)	1 (355)	0,4 (2)
Methylcyclohexaan	1 (50)	2 (33)	1 (504)	0,6 (2)
Benzeen	7 (148)	7 (24)	5 (53)	3 (7)
Tolueen	40 (697)	23 (526)	43 (2252)	5 (17)
Xyleen	12 (178)	9 (159)	10 (753)	3 (30)
Ethylbenzeen	3 (45)	2 (117)	2 (138)	0,4 (14)
i-Propylbenzeen	0,3 (11)	<0,3 (5)	<0,3 (10)	<0,3 (0,3)
Chloorbenzeen	<0,4 (<0,4)	<0,4 (3)	<0,4 (27)	<0,4 (<0,4)
p-Dichloorbenzeen	2 (138)	<0,6 (299)	<0,6 (240)	<0,6 (<0,6)
1,2,4-Trichloorbenzeen	<0,8 (15)	<0,8 (5)	<0,8 (5)	<0,8 (<0,8)

Tabel 2.12 Grenswaarden uit verschillende adviesorganen voor enkele VOC

Verbinding	WHO [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	MAC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	TCL [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	G'raad [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
n-Hexaan		90		
Cyclohexaan		875		
Methylcyclohexaan		1600		
Benzeen		30	30	12
Tolueen	260 (1 wk)	150	3000	3000
Xyleen	4800 (24 hr)	210	54	
Ethylbenzeen	22000 (1 jr)	215	77	
i-Propylbenzeen		120		
Chloorbenzeen		46		
p-Dichloorbenzeen	134 (1 jr)	150	600	
1,2,4-Trichloorbenzeen	8 (1 jr)	40	600	

Tabel 2.13 Formaldehyde concentraties binnenshuis gemeten

Meetplaats	Gemiddelde [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Spreiding [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Keuken	69	7-203
Woonkamer	66	17-146
Slaapkamer	77	9-280

Tabel 2.14 *Advieswaarden voor formaldehyde gegeven door Min. van Volksgezondheid en Milieuhygiëne (1978) en de WHO. De waarden zijn gegeven in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en gemiddeld over 30 minuten*

Adviesorgaan	Advieswaarden [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Min. van Volksgezondheid en Milieuhygiëne	120
WHO	100

Tabel 2.15 *Buitenlucht kwaliteitswaarden voor formaldehyde*

Concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Percentiel	Middeling
100	99,99	Uur
40	98	24-uur
30	95	24-uur

Tabel 2.16 *Concentraties aan verschillende PAK op verschillende locaties gemeten binnenshuis en buitenshuis. Gegeven zijn de gemiddelde waarde en de spreiding in  $\text{ng}/\text{m}^3$*

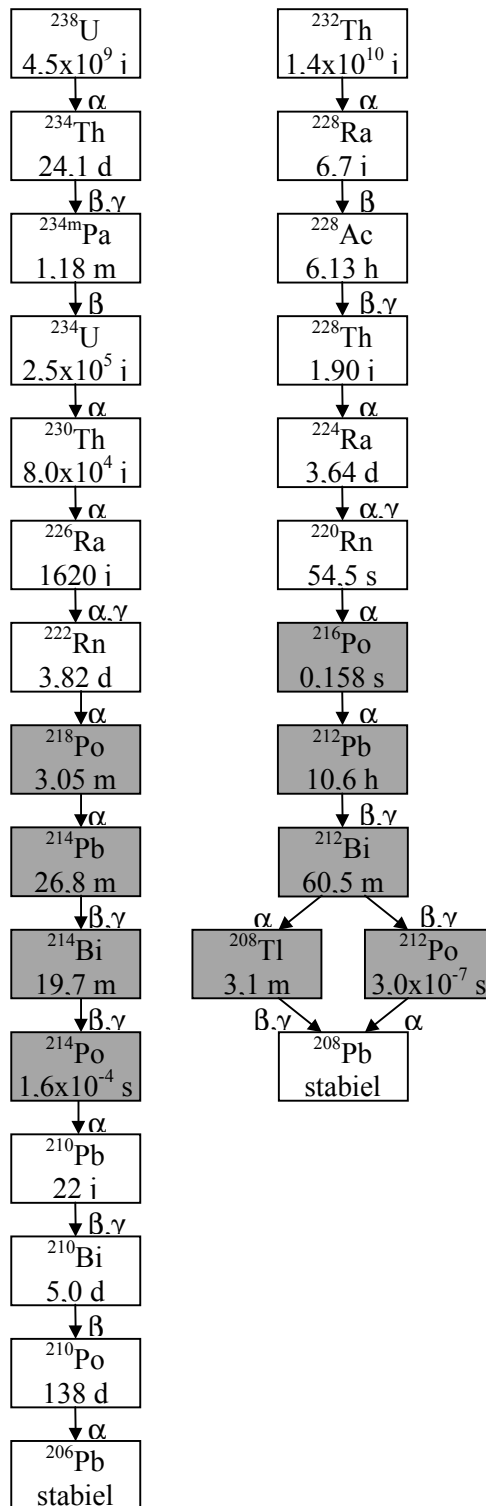
Componenten	Locatie	Concentratie [ $\text{ng}/\text{m}^3$ ]	Buitenlucht [ $\text{ng}/\text{m}^3$ ]
BaP	Woonschepen, Gron.	4,8 (0,9-13,2)	1,2
Pyreen	Woonschepen, Gron.	4,2 (<0,9-13,7)	1,2
16 van EPA	Woonschepen, Gron.	6,3 (<27-124)	36
BaP	Drukke straat, A'dam.	0,47 (0,15-1,12)	0,80 (0,25-0,35)
BaP	Rustige straat, A'dam.	0,20 (0,02-0,52)	0,35 (0,12-0,84)

### BIJLAGE 3. VERBINDINGEN: DIVERSE GEGEVENS

Verbinding	Formule	Mw	CAS-nummer	Merck Index 12th Ed
Zuurstof	O <sub>2</sub>	16,00	[7782-44-7]	7098
Kooldioxide	CO <sub>2</sub>	44,01	[124-38-9]	1857
Koolmonoxide	CO	28,01	[630-08-0]	1861
Stikstofdioxide	NO <sub>2</sub>	46,01	[10102-44-0]	6700
Zwavel dioxide	SO <sub>2</sub>	64,06	[7446-09-5]	9144
Ozon	O <sub>3</sub>	48,00	[10028-15-6]	7116
Kwik	Hg	200,59	[7439-97-6]	5957
Methaan	CH <sub>4</sub>	16,04	[74-82-8]	6019
Butaan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	[106-97-8]	1541
Hexaan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,18	[110-54-3]	4729
Cyclohexaan	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,16	[110-82-7]	2792
Dichloormethaan	CCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	84,93	[75-09-2]	6140
Tetrachloormethaan	CCl <sub>4</sub>	153,82	[56-23-5]	1864
Tetrachloorethyleen	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	165,83	[127-18-4]	9332
Trichlooretheen	C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> H	131,39	[79-01-6]	9769
Ethylbenzeen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>		[100-41-4]	3812
Chloorbenzeen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112,56	[108-90-7]	2172
o-Dichloorbenzeen	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	147,00	[95-50-1]	3106
p-Dichloorbenzeen	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	147,00	[106-46-7]	3107
1,2,4-Trichloorbenzeen	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	181,45	[120-82-1]	9760
Formaldehyde	CH <sub>2</sub> O	30,03	[50-00-0]	4262
Benzeen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	[71-43-2]	1094
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,14	[108-88-3]	9667
Xyleen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	[1330-20-7]	10214
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94,11	[108-95-2]	7390
Naftaleen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,17	[91-20-3]	6457
Anthraceen	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,23	[120-12-7]	721
Fenantreen	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,23	[85-01-8]	7354
Pyreen	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202,26	[129-00-0]	8147
Chryseen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228,19	[218-01-9]	2314
Acenafteen	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154,21	[83-32-9]	28
Acenaftyleen	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	152,20	[208-96-8]	
Fluorantheen	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202,26	[206-44-0]	
Benzo(a)anthraceen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228,29	[218-01-9]	2314
Benzo(b)fluorantheen	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,32	[205-99-2]	
Benzo(k)fluorantheen	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,32	[207-08-9]	
Benzo(a)pyreen	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,32	[50-32-8]	1134
Benzo(ghi)peryleen	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276,34	[191-24-2]	
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276,34	[193-39-5]	
Fluoreen	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166,22	[86-73-7]	4190
Dibenzo(a,h)anthraceen	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278,35	[53-70-3]	3054

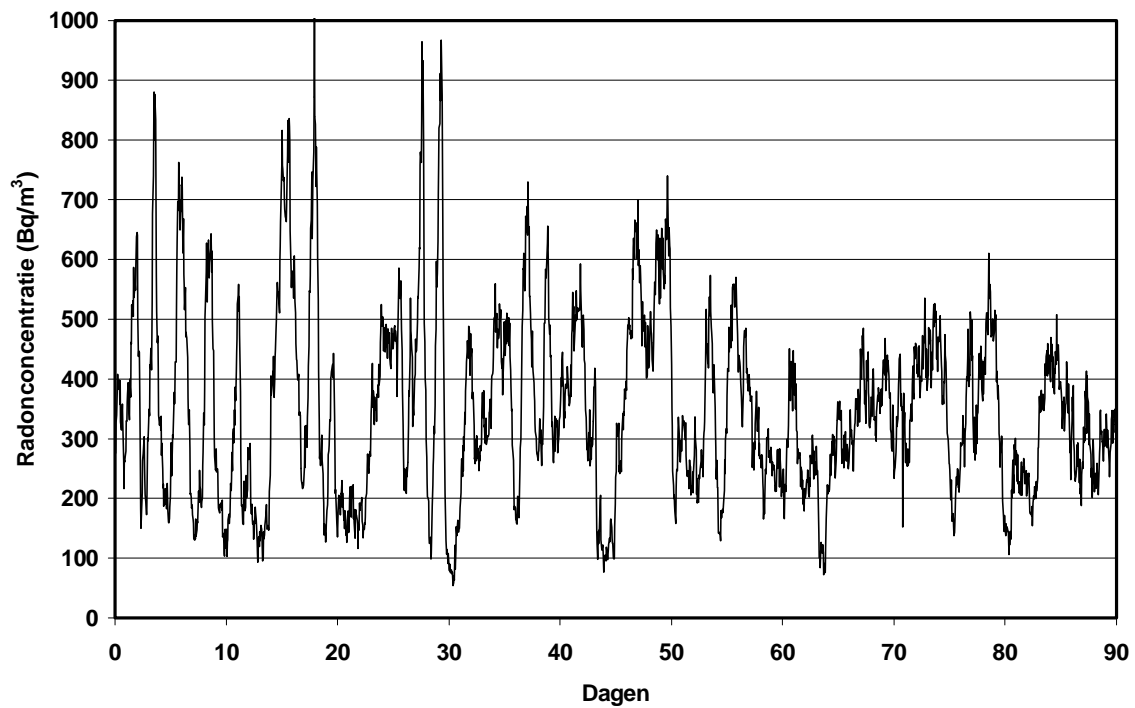
## BIJLAGE 4. VEREENVOUDIGDE VERVALREEKS $^{238}\text{U}$ EN $^{232}\text{Th}$

Vereenvoudigde weergave van de vervalreeksen van uranium-238 en thorium-232. Per radionuclide is de halveringstijd aangegeven in jaren (j), dagen (d), minuten (m) of seconden (s). De kortlevende radon- en thorondochters zijn in grijs gemarkeerd.



## BIJLAGE 5. VERLOOP RADONACTIVITEIT IN DE TIJD IN EEN KRUIPRUIMTE

Het verloop van de radonactiviteit met de tijd in een kruipruimte. Het voorbeeld geeft de uurgemiddelde radonactiviteit aan.



## BIJLAGE 6. SENSOREN; PRODUCTINFORMATIE

Component	Sensortype	Sensor karakteristiek							
		Typical detection range	Dimensies	gewicht	responstijd	meetnauwkeurigheid	werkingscondities	vermogen	opmerking
Vocht	HX-732	0 - 100% RH	140*Ø19 mm		10 s	± 2% RH	5 - 95% RH		
	Compuflow 8585								
	Vaisala Humitter 40/50	0 - 100% RH					- 20° - 60°C		gebouw automatisering
	Vaisala HM series	0 - 100% RH				± 1%	-40° - 180°C		
	HX-748 (Rense)	0 - 100% RH	Ø8*36 mm		60 s	± 3% RH	-40° - 150°C		Alleen sensor en transmitter
O <sub>2</sub>	GS1100KX	0 - 25%							
	PGD2								
	Magnos								
	Fujikura FCX-MV	0.1 - 25% O <sub>2</sub>	38*15*104 mm	65 g	30 s	1%	-10° - 50°C	3 W	Logaritmische output
	Figaro KE-25	0 - 100 % O <sub>2</sub>			12 s	± 1%	5° - 40°C		5 jaar
	Figaro KE-30	0 - 100 % O <sub>2</sub>			60 s	± 2%	5° - 40°C		10 jaar
CO <sub>2</sub>	Airtell 2001VTC	0 - 4000 ppm	170*59*66 mm	350 g	Diff. 2 min Pomp 10 s (0.1 l/min)		-10° - 60°C	< 500 mW	Levensduur > 15jaar
	TG1300D								
	Vaisala GMT222	2000 - 10000 ppm				20 ppm			
	Q-Check 8730	0 - 5000 ppm							
	Optima								
	Q-Trak 8550	0 - 5000 ppm							Combi meter CO/CO <sub>2</sub>
	CO <sub>2</sub> sensor								
		Figaro TGS4160	300 - 3000 ppm	Ø24*24.5 mm		~ 2 min	± 20% bij 1000 ppm CO <sub>2</sub>	-10 - 50°C 5 - 95 %RH	1.25 W







## BIJLAGE 7. DE PAK LIJST VAN EPA

De onderstaande lijst geeft een overzicht van 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) die door de Amerikaanse Environmental Protection Agency (EPA) als gidsparameters worden gebruikt ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)).

- 1 Naphtalene
- 2 Acenaphthylene
- 3 Acenaphthene
- 4 Fluorene
- 5 Phenanthrene
- 6 Anthracene
- 7 Fluoranthene
- 8 Pyrene
- 9 Benz(a)anthracene
- 10 Chrysene
- 11 Benzo(b)fluoranthene
- 12 Benzo(k)fluoranthene
- 13 Benzo(a)pyrene
- 14 Dibenz(a,h)anthracene
- 15 Benzo(ghi)perylene
- 16 Indeno(1,2,3-cd)pyrene