

# 2399



## Samenvatting

Dit artikel behandelt een oriënterend onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit van twee eensgezinswoningen te Schiedam waarvan het energieverbruik zeer gering is (zg. minimum-energiewoningen). De woningen hebben een gebalanceerde ventilatie en een warmteterugwinning door middel van een warmtewisselaar tussen de ingaande en uitgaande lucht. In één der onderzochte woningen wordt bijverwarming gerealiseerd door middel van een keukengeiser, die tevens voorziet in warm tapwater. Bij gebruik van de geiser kwamen de concentraties van componenten, zoals CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> en respirabel stof niet boven het niveau dat normaal in woningen wordt aangetroffen.

In de andere onderzochte woning wordt bijverwarming gerealiseerd door middel van een zogenaamde 'allesbrander' in de woonkamer, een kachel waarin met verschillende brandstoffen kan worden gestookt. Van de vele onderzochte verbindingen werd alleen een verhoogd concentratieniveau gevonden van respirabel stof bij het stoken van hout en van polycyclische aromaten tijdens het stoken van Icopower (kantoorafval). Deze laatste brandstof is echter ongeschikt als brandstof in de allesbrander.

Het uitvallen van het ventilatiesysteem had geen aantoonbaar effect op de concentratieniveaus van de gemeten verontreinigingen. Opgemerkt wordt dat de situatie in de praktijk ongunstiger kan worden dan tijdens het onderzoek, waarbij het ventilatiesysteem volgens ontwerp was ingeregeld, er deskundig werd gestookt met geschikte brandstoffen en het rookgaskanaal nog niet was verontreinigd of gecorrodeerd.

Los van de verwarming wordt opgemerkt dat de geiser in de keuken van de allesbrandwoning, en bij voorkeur ook kooktoestellen in beide woningtypen, van een directe afzuiging dienen te worden voorzien.

## Inleiding

Door de steeds toenemende kosten van energie voor ruimtelijke verwarming van woningen en andere gebouwen is ca. tien jaar geleden een ontwikkeling in gang gezet om gebouwen beter te isoleren tegen verlies van warmteenergie. Deze ontwikkeling heeft thans geleid tot de realisatie van een woningtype, waarbij de energiebesparende maatregelen zover zijn doorgevoerd, dat de installatie van een centrale verwarmingsinstallatie overbodig is geworden.

Van dit type woningen, minimum-energiewoningen genaamd, is een woonwijk gerealiseerd in Schiedam (Woudhoek-Noord).

Deze woningen hebben een gebalanceerde ventilatie en een warmteterugwinning door middel van een warmtewisselaar tussen de in- en uitgaande lucht waarmee de benodigde energietoevoer verder wordt beperkt. Bijverwarming wordt in de meeste woningen gerealiseerd door middel van een keukengeiser, die tevens voorziet in warm tapwater.

In een beperkt aantal woningen wordt bijverwarming gerealiseerd door middel van een zogenaamde 'allesbrander' in de woonkamer; dit is een kachel waarin kan worden gestookt met verschillende brandstoffen zoals kolen, hout en papier. Verbrandbaar huisafval dat papier en hout bevat kan hiervoor ook worden gebruikt. Een nadelig effect van de bijverwarming in minimum-energiewoningen kan zijn verhoogde concentraties van verbindingen, afkomstig van verbrandingsprodukten, in de woning. Hierover waren geen gegevens bekend. Hoewel de woningen zijn voorzien van een ventilatiesysteem dat niet door de bewoners kan worden uitgeschakeld kan zich een situatie voordoen dat deze uitvalt (stroomstoring, defect) waarbij de kans op verhoogde concentraties van verontreinigingen toeneemt. Om meer inzicht te krijgen in de luchtverontreiniging in minimum-energiewoningen heeft het VROM gelden beschikbaar gesteld voor onderzoek naar milieu-effecten van energiebesparende maatregelen in het kader van OREGO. Uit deze middelen resulteerde een opdracht aan TNO, waarbij het Projectbureau Energieonderzoek als coördinator optrad. De uitvoering van het onderzoek werd opgedragen aan het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO te Delft, thans geïntegreerd in de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie.

## Doel van het project

Het doel van het project was in de eerste plaats inzicht te verkrijgen in de concentratieniveaus van luchtverontreiniging in minimum-energiewoningen waar gasgeisers of zogenaamde allesbranders voor de verwarming van de woningen dienst doen. Daarnaast het vaststellen van de bijdrage van de luchtverontreiniging, afkomstig van allesbranders, aan de heersende achtergrondniveaus in de woonwijk. Tevens het nagaan van de invloed van ongunstige omstandigheden, die zich voor kunnen doen door het uitvallen van het ventilatiesysteem.

Dit artikel beperkt zich tot de luchtverontreiniging in de woningen.

## Opzet van het onderzoek

Voordat het onderzoek naar de concentratieniveaus van luchtverontreinigingen in de woning werd aangevangen werd een vooronderzoek uitgevoerd. Het doel van dit vooronderzoek was inzicht te verkrijgen in de ventilatie van de woningen als functie van het weertype. Dit gedeelte van het onderzoek is beschreven door ing. Ph. J. Ham. Het onderzoek naar de mate van luchtverontreiniging werd in twee minimum-energiewoningen uitgevoerd:

- een eensgezinswoning waar een geiser in gebruik is voor bijverwarming. Deze geiser wordt gebruikt zowel voor tapwater voor huishoudelijk gebruik, douche of bad als voor warmwatervoeding voor de water-luchtwarmtewisselaar.
- een eensgezinswoning waarin een allesbrander wordt gestookt met:
  - hout (dennehout)
  - kolen (antraciet)
  - geperste brandbare fractie van kantoorafval (Icopower)Wegens de moeilijke beheersbaarheid van het verbrandingsproces tijdens het stoken met deze brandstof werd na één experiment het onderzoek voortgezet met
  - haardblokken.

\* Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO, Delft - Apeldoorn.

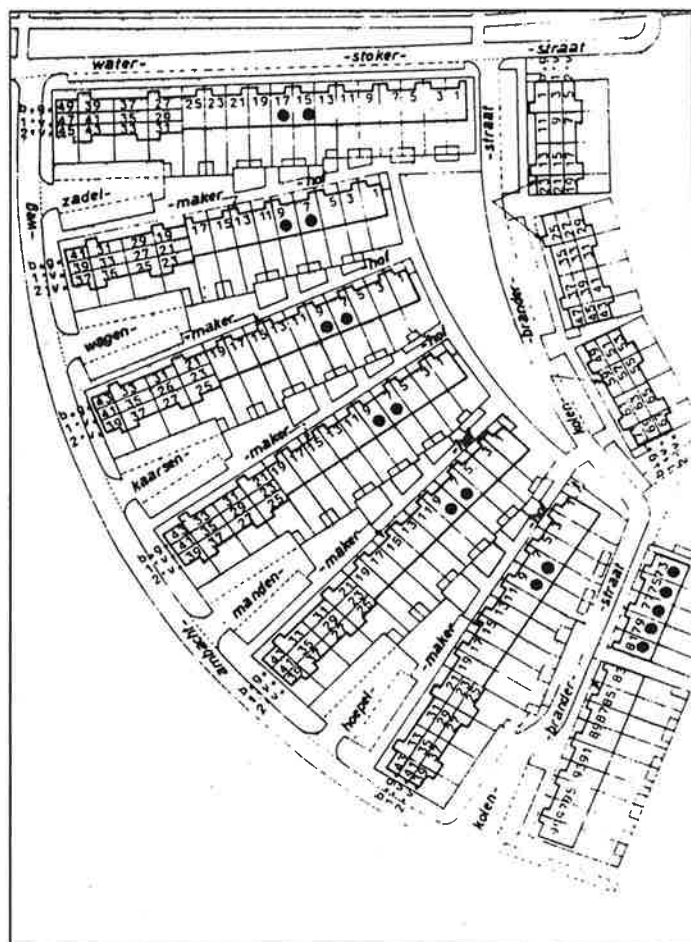
In deze woning werd ook onderzoek uitgevoerd waarbij de ventilatie was uitgevallen (dit kan door stroomuitval worden veroorzaakt) tijdens het stoken van de allesbrander.

N.B. De geiser in de eerstgenoemde woningen (dus zonder allesbrander) is voldoende beveiligd tegen calamiteiten zoals stroomuitval of defect aan de ventilator. De geiser slaat bij stroomuitval automatisch af en kan dan ook niet worden ontstoken. De elektrische ontsteking van de geiser en de ventilator zijn op dezelfde zekering aangesloten. Bij uitval van de ventilator door een defect stijgt de temperatuur in het rookgaskanaal; de geiser wordt dan automatisch uitgeschakeld.

De twee onderzochte woningen behoren tot een complex van 184 minimum-energiewoningen in de woonwijk Woudhoek-Noord te Schiedam. De ligging van de woningen wordt weergegeven in figuur 1.

De twee onderzochte woningen werden door de opdrachtgever aangewezen;

- Type A, een woning met geiser als bijverwarming;
  - Type B, een woning met allesbrander als bijverwarming.
- Deze woningen werden als representatief voor alle minimum-energiewoningen in de woonwijk beschouwd. De woningen waren tijdens het onderzoek nog niet opgeleverd, dus onbewoond en ongestoofd. De metingen werden uitgevoerd in de periode van 16 januari tot en met 15 maart 1984.



Figuur 1 Ligging van de minimum-energie woningen

#### Installatie woningtype A

Het uitgangspunt van de installatie is een gebalanceerde ventilatie, hetgeen wil zeggen dat op mechanische wijze evenveel lucht aan de woning wordt toegevoerd als afgevoerd. Om in de winter een geringe bijverwarming mogelijk te maken is in het centrale toevoerkanaal een water-lucht warmtewisselaar aangebracht. Deze warmtewisselaar wordt verwarmd met water uit een gemodificeerde keukengeiser (merk Fasto Twin) die in de keuken is geplaatst. Op commando van een kamerthermostaat wordt de combigeiser in de lage stand ontstoken en wordt warm (tap)-water via een pomp door de warmtewisselaar gevoerd. De combigeiser dient tevens voor het leveren van warm tapwater voor keuken en douche, waarbij de hoge stand wordt benut; de pomp is dan buiten bedrijf.

De rookgassen uit de combigeiser worden direct via een afzonderlijk kanaal afgevoerd naar de lucht-lucht warmtewisselaar zodat ook uit de rookgassen warmte wordt teruggewonnen (zowel 's-zomers als 's-winters). Zie verder het artikel van ing Ph. J. Ham.

#### Installatie woningtype B

Het uitgangspunt van de installatie is dat ten behoeve van de allesbrander meer lucht aan de woning moet worden toegevoerd dan afgevoerd. In dat geval mag worden verwacht dat er althans bij gesloten ramen steeds een luchttransport vanuit de woonkamer via de allesbrander en het rookgaskanaal naar het dak blijft plaatsvinden. Voor de bereiding van warm tapwater wordt gebruik gemaakt van een kleine keukengeiser met indirecte rookgasafvoer via de keukeninstallatie. De bijverwarming vindt in deze woning niet plaats door middel van een water-lucht warmtewisselaar, maar door middel van een intern luchtcircuit met recirculatie tussen de woonkamer en de slaapkamers dat als volgt werkt: Bij brandende kachel kan door middel van een ventilator een luchttransport worden bewerkstelligd vanuit de woonkamer via de dubbele wanden van de allesbrander en het rookgasafvoerkanaal naar de slaapkamers. Regeling kan plaatsvinden door aan/uit-schakeling van deze ventilator en door bediening van een luchtklep in dit circuit. Zie verder het artikel van ing Ph. J. Ham.

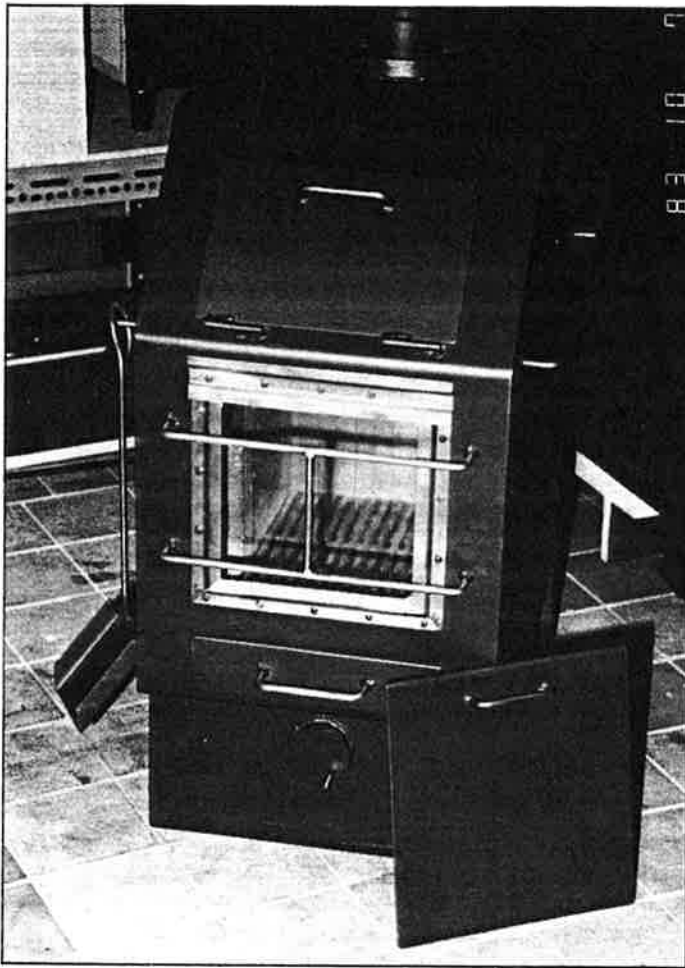
#### De haardkachel voor vaste brandstoffen

De haardkachel voor vaste brandstoffen, die in een aantal minimum-energiewoningen in gebruik is voor bijverwarming is van het fabrikaat Sloopweg. Deze kachel, in sommige brochures aangeduid met de suggestieve naam allesbrander, onderscheidt zich van een normale convectiehaardkachel door de dubbelwandige uitvoering die aangesloten is op een kanalsysteem.

Er zijn 17 woningen uitgerust met allesbranders voor verwarming. In figuur 3 wordt het recirculatieprincipe weergegeven. Tussen de dubbele wand stroomt lucht vanaf de recirculatieklep (1) door de kachel tot de uitmonding (2). Met behulp van de ventilator (5) kan zonodig lucht door de dubbele wand worden geblazen.

Tijdens de experimenten was de luchtklep (1) steeds geheel geopend.

De lucht die door de dubbele wand (7) stroomt wordt opgewarmd en daarna door de dubbelwandige pijp (3) naar de uitblaaspunten geleid.



Figuur 2 Slootweg haardkachel voor vaste brandstoffen. (foto: IMG)

#### Brandstoffen

De gebruikte brandstoffen zijn:

- Hout – middeneuropees dennenhout met afmetingen van 16,5 x 7,5 x 7,5 cm.
- Kolen, antraciet noten 3.
- Waste derived fuel of Icopower. Icopower wordt samengesteld uit kantoor- en bedrijfsafval en bestaat uit brikettes met een diameter van ca. 1,5 cm.
- Haardblokken-Hillfire – bestaande uit een mengsel van houtmot en een wasachtig produkt, dat tot een briket is geperst.

#### Stookwijze

De *aanloofase* is die fase van het stookproces waarin kachel en schoorsteen in een stationaire toestand worden gebracht. Bij de stationaire toestand is er evenwicht tussen warmteproductie en warmteafgifte.

Bij aanvang van de aanloofase zijn kachel en schoorsteen koud (omgevingstemperatuur). De *aanmaakprocedure* is een onderdeel van de aanloofase. De *nominale instelling* is die kachelinstelling waarbij volgens de in DIN 18891 beschreven methode, de nominale hoeveelheid nuttige warmte wordt afgegeven.

De *gesmoorde instelling* is die instelling waarbij de hoeveelheid toegevoerde verbrandingslucht minimaal is.

De experimenten met de gesmoorde instelling volgen op die met de nominale instelling. De kachel en de schoorsteen

zijn dan nog warm. Met hout als brandstof werd met de *aanmaakprocedure* begonnen. Bij kolen werd het gloeiende asbed van de nominale instelling gebruikt om de nieuwe standaardhoeveelheid brandstof te ontsteken.

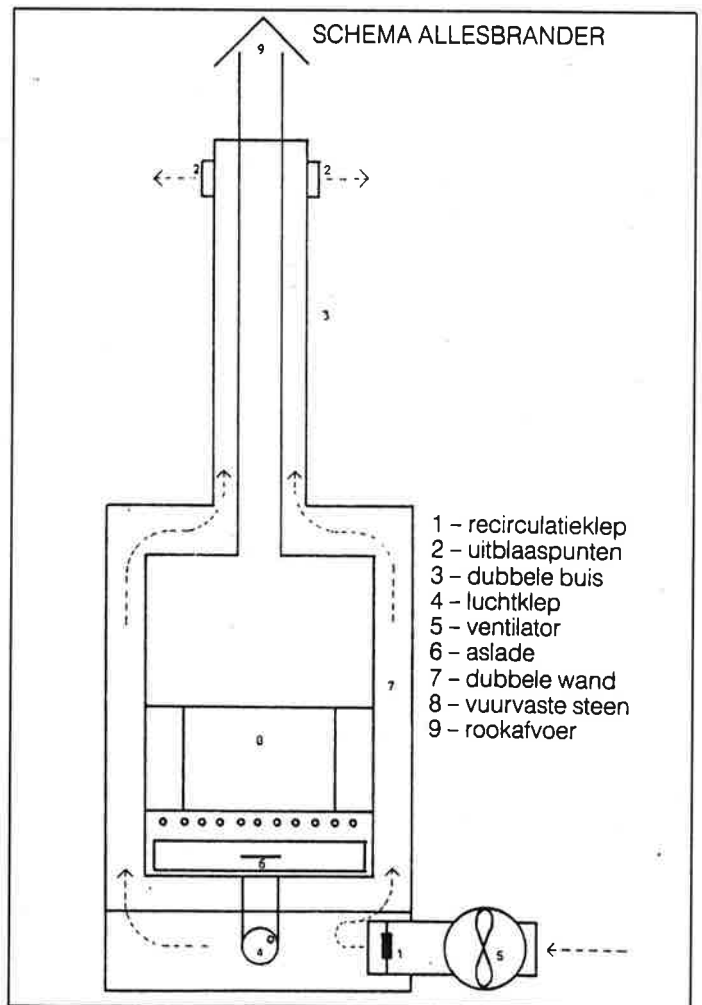
Bij het ontbranden stond de luchtklep aanvankelijk helemaal open. Zodra de brandstof goed brandde, na circa 5 à 10 minuten, werd de luchtklep gesloten. Voor kolen moest de luchtklep een halve slag open blijven om te voorkomen dat de brandstof zou doven. Voor hout kon de luchtklep geheel worden gesloten.

Dit wijst erop dat er ook dan nog luchttoevoer mogelijk was. Op een meetdag werd voor één brandstof eenmaal de *aanmaakfase* uitgevoerd gevolgd door meerdere malen de *nominale instellingsprocedure*, de *gesmoorde instellingsprocedure* of een combinatie van de beide (*nominale/gesmoorde*) instellingsprocedures.

Op een meetdag werd voor één brandstof eenmaal de *aanmaakfase* uitgevoerd gevolgd door meerdere malen de *nominale instellingsprocedure*, de *gesmoorde instellingsprocedure* of een combinatie van de beide (*nominale/gesmoorde*) instellingsprocedures.

#### Meetmethoden

In de woning met een geiser als bijverwarming (type A) werden uitsluitend in de keuken de volgende componenten gemeten met continu registrerende instrumenten:



Figuur 3 Recirculatie principe van de Slootweg haardkachel



koolmonoxide (CO), kooldioxide (CO<sub>2</sub>), stikstofmonoxide (NO), stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>), totaal koolwaterstoffen, respirabele stofconcentratie (deeltjes kleiner dan ca. 5 µm) en de numerieke deeltjesconcentratie.

In de woning met een allesbrander als bijverwarming (type B) werden metingen verricht in de woonkamer, in de keuken en in een slaapkamer.

Behalve bovengenoemde componenten die continu registrerend werden gemeten werden in de woonkamer als gemiddelde concentratie over een periode van ca. 6 uur de volgende componenten gemeten: zoutzuur, fenol, formaldehyde, carbonzuren, benzeen, toluen en andere koolwaterstoffen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen.

#### Continu registrerende instrumenten

*Koolmonoxide* werd gemeten met behulp van een CO-monitor van Maihak, type Unor-2, die is gebaseerd op absorptie van infrarode straling.

*Kooldioxide* werd gemeten met behulp van een CO<sub>2</sub>-monitor die eveneens berust op infraroodabsorptie met dien verstande dat de CO<sub>2</sub>-absorptieband werd gemeten. Er werd een Miran Gas Analyzer van Wilks Scientific Corp. gebruikt.

*Stikstofoxiden* (NO en NO<sub>2</sub>) werden gemeten door middel van chemiluminescentie. Gebruikt werden de Philips PW 9762 met een maximaal bereik van 0-8 ppm en de Bendix model 8101-3 met een maximaal bereik van 0-5 ppm.

*Totaal koolwaterstoffen* werden gemeten met behulp van een vlamionisatiedetector (FID), een Organic Vapor Analyzer OVA-128 van Century Systems Corp.

De *respirabele stofconcentratie* werd gemeten met behulp van de Leitz Tyndallometer TM-Digital. Deze berust op de meting van door deeltjes verstrooid licht en meet de deeltjes kleiner dan 5 µm.

De *numerieke deeltjesconcentratie* werd gemeten met behulp van de Royco Particle Counter, Model 225. Evenals de Tyndallometer berust dit apparaat op de meting van door deeltjes verstrooid licht. Het apparaat is voorzien van een printer, waarmee het aantal deeltjes gemiddeld over een instelbare periode in vijf klassen periodiek wordt weergegeven.

De Royco Counter meet deeltjes in het groottegebied van ca. 0,3 – ca. 5 µm.

De analoge signalen (mV) afgegeven door de continu registrerende monitoren werden via een multiprogrammer (3497 A DATA acquisition/control unit van Hewlett Packard) gedigitaliseerd.

Deze data werden met behulp van de benodigde software en een Hewlett Packard 9816 microcomputer op een microdiskette weggeschreven.

Voor de bewaking van het gehele proces werd gebruik gemaakt van het beeldscherm van de HP 9816 en een Epson multiplotter.

Met door TNO ontwikkelde verwerkingsprogrammatuur werden de verzamelde mV-signalen 'geschoond' (nulpuntcorrecties, ijkwaardecorrecties, bepaling relevante meetperiodes e.d.) en vervolgens werden de mV-signalen via ijkarakteristieken omgezet naar de bijbehorende concentraties.

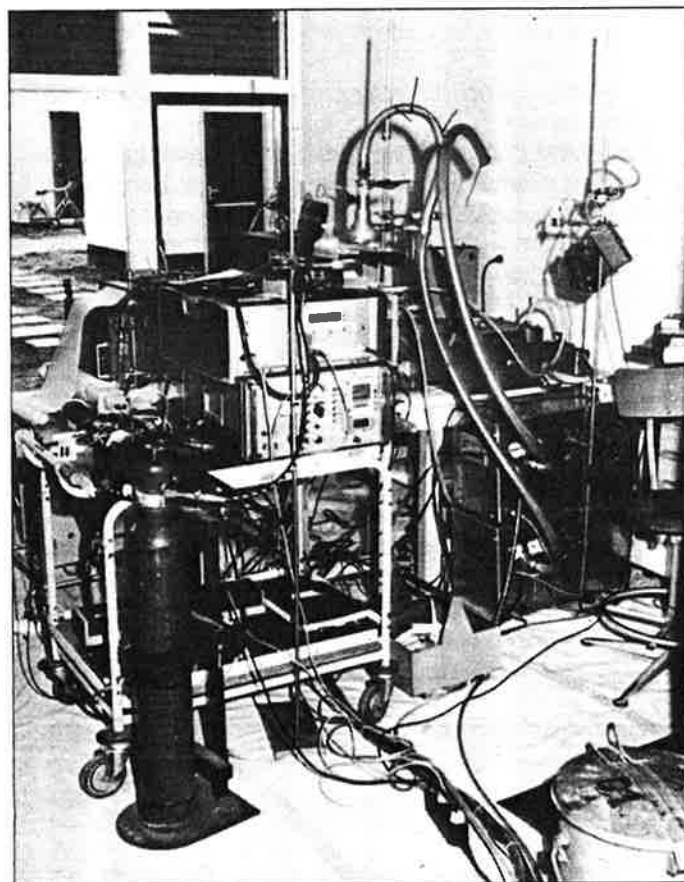
Het beschikbare statistische programmapakket maakt statistische bewerkingen (gemiddelde over de meetperiode, maximale en minimale meetwaarde, correlatietabellen e.d.) van de tijdreeksen mogelijk.

#### Integrerende bepalingmethoden

De componenten die niet continu registrerend kunnen worden gemeten werden bepaald als gemiddelde over de gehele meetperiode (ca. 6 uur).

De gemeten componenten en de meetprincipes zijn:

- |   |   |
|---|---|
| <i>Zoutzuur</i>                                   | : monsterneming in water, analyse door titratie met zilvernitraat.  |
| <i>Formaldehyde</i>                               | : monsterneming in water, analyse spectrofotometrisch met behulp van een kleurreactie (pararosaniline, [9]).                    |
| <i>Totaal alifatische aldehyden</i>               | : monsterneming in water met reagens dat een kleurreactie geeft met aldehyden, analyse spectrofotometrisch (MBTH-methode [10]). |
| <i>Fenolen</i>                                    | : monsterneming met glasvezelfilter en basische oplossing, analyse door middel van gaschromatografie.                           |
| <i>Carbonzuren</i>                                | : monsterneming in basische oplossing, analyse met behulp van gaschromatografie.  |
| <i>Aromatische koolwaterstoffen</i>               | : monsterneming in actieve kool, analyse met behulp van gaschromatografie.  |
| <i>Polycyclische aromatische koolwaterstoffen</i> | : monsterneming met filters en polyurethaanschuim, analyse met hoge-druk-vloeistofchromatografie (HPLC).                        |



Figuur 4 Meetopstelling in de woonkamer type B (foto: IMG-TNO)

**Tabel 1**

Gemiddelde concentraties van de continu gemeten verbindingen.

Meetplaats en omstandigheden tijdens meting	conc. CO ppm	conc. CO <sub>2</sub> ppm	conc. NO ppb	conc. NO <sub>2</sub> ppb	conc. koolw. ppm	conc. resp. stof, $\mu\text{gm}^{-3}$
<i>Woningtype A, (geiser), keuken</i>						
geiser uit (achtergrondmeting)	<1	330-620	5-35	5-15	<1	≤ 60
geiser aan	<1	700-930	25-65	10-20	<1	≤ 120
geiser en gaskooktoestel aan	<1	1950	590	145	5,5	90
<i>Woningtype B (allesbrander)</i>						
Hout - woonkamer	1,4-4,6	500-1420	5-170	11-21	1,4-4,5	100-900
" - slaapkamer	0,5-2,5	480-980	5-185	3-13		
" - keuken	1,8-6,9	700-1050	50-150	6-12		
<i>Uitgevallen ventilatie</i>						
Hout - woonkamer	3,1-4,6	1300-1310	50-57	11-15	2,2	200-400
" - slaapkamer	1,0-1,4	740-1000	57-80	3-4		
" - keuken	2,3-6,9		50-55	6-8		
Kolen - woonkamer	0,9-2,9	520-1230	6-130	6-17	2-8	20-200
" - slaapkamer	0,6-1,0	740-1220	6-135	6-12		
" - keuken	1,5-2,8	1090-1460				
<i>Uitgevallen ventilatie</i>						
Kolen - woonkamer	2,9	1230	130	17		
" - slaapkamer	1,0	1220	135	7		
" - keuken	2,8	1460				
Haardblok - woonkamer	1,0-1,4	470-720	13-19	13-18	1-2	70-100
" - slaapkamer	≤1	580-1080	19-35	3-10		
" - keuken	1,2-2,0					
<i>Uitgevallen ventilatie</i>						
Haardblok - woonkamer	1,1	510	13	13	1,6	70
" - slaapkamer	<0,5	630	21	3		
" - keuken	1,2					
Icopower - woonkamer		670	37	19	2,1	500
" - slaapkamer	3,8	840	37	9		
" - keuken	5,9					
<i>Kachel uit, geiser in keuken aan, keukendeur dicht</i>						
woonkamer	<0,5	790	16	12		
slaapkamer	<0,5	480	12	10		
keuken	11-16,5 (piek 50)	4400-9100 (piek 17000)	1600 (piek >3000)	220-250	ca. 10	<50
<i>kachel uit, geiser in keuken aan, keukendeur open</i>						
woonkamer	2,2-3,3	2210-3150	210-1140	37-170		
slaapkamer	<0,5	450-540	7-20	8-12		
keuken	<1	1900-2500	380-960	53-110	4	<50

**Meetresultaten**

In totaal werden 31 experimenten (= meetdagen) uitgevoerd in de periode van 16 januari tot en met 15 maart 1984.

Hiervan werden 10 meetseries uitgevoerd in woningtype A (met geiser) en 21 in woningtype B (met allesbrander).

De uitkomsten van de concentraties van de componenten, gemeten met de continu registrerende monitor, werden berekend als gemiddelden over de meetperiode; deze worden samengevat in Tabel 1.

In de meeste gevallen werden meerdere experimenten per situatie uitgevoerd; in Tabel 1 worden de hoogste en de laagste uitkomsten van de over de meetperiode gemiddelde concentraties vermeld.

**Tabel 2**

Concentraties van aromatische koolwaterstoffen.

Componenten	Concentratie, $\mu\text{gm}^{-3}$ tijdens stoken allesbrander	Concentratie, $\mu\text{gm}^{-3}$ achtergrond
benzeen	<1-75	<1
tolueen	<1-55	9-17
xyleen-isomeren	<1-40	<1-20
ethylbenzeen	<1-18	<1-13
ethyltolueen-isomeren	<1-35	<1-35
trimethylbenzeen-isomeren	2-75	5-60

**Tabel 3**

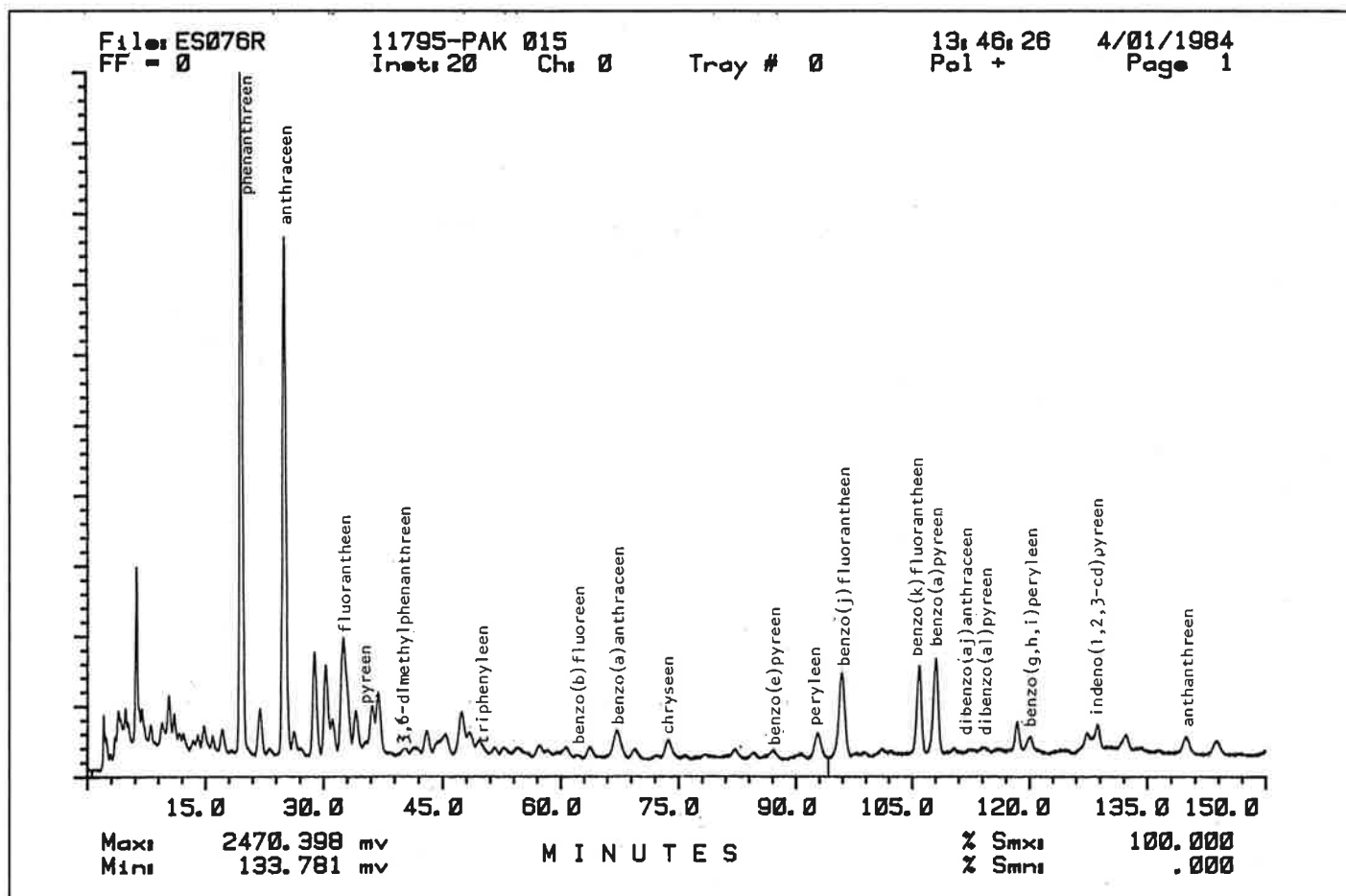
Concentraties van polycyclische aromatische koolwaterstoffen in de woonkamer gemiddeld over perioden van ca. 6 uur voor de vier gebruikte brandstoffen in woning type B.

Brandstof	Concentratie benzo(a)pyreen $\text{ngm}^{-3}$	Concentratie totaal PAK $\text{ngm}^{-3}$	Opmerkingen
Hout	3-12	210-600	
Hout	3-7	210-600	uitgevallen ventilatie
Kolen	1-7	190-260	
Kolen	2	190	uitgevallen ventilatie
Haardblok	3-23	210-570	
Haardblok	3	210	uitgevallen ventilatie
Icopower	150	2200	
Buitenlucht			
Vlaardingen [2]	ca. 1	ca. 200	

De uitkomsten van de concentraties van individuele organische componenten, gemonsterd met koolbuisjes, worden vermeld in Tabel 2.

Het spreidinginterval voor alle experimenten uitgevoerd in woningtype B wordt voor de aromatische koolwaterstoffen vermeld.

In tabel 3 worden de uitkomsten van de concentraties van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) gegeven.



Figuur 5 Chromatogram van een PAK-analyse

Vermeld worden de concentraties van benzo(a)pyreene – een verdacht carcinogene stof – en het totaal aan PAK.

Er werden ruim 20 PAK-verbindingen bepaald. Figuur 5 geeft een karakteristiek chromatogram weer van een PAK-monster.

De resultaten voor de overige gemeten componenten kunnen als volgt worden samengevat:

- zoutzuur <math><10 \mu\text{gm}^{-3}</math>
- formaldehyde <math><10\text{--}25 \mu\text{gm}^{-3}</math>
- totaal alifatische aldehyden <math><25 \mu\text{gm}^{-3}</math>
- fenol niet aantoonbaar: <math><400 \mu\text{gm}^{-3}</math>
- mierzuur <math><0,3\text{--}5,8 \mu\text{gm}^{-3}</math>
- azijnzuur <math><0,3\text{--}40 \mu\text{gm}^{-3}</math>
- propionzuur <math><0,3\text{--}25 \mu\text{gm}^{-3}</math>

#### Discussie en conclusies

Teneinde de resultaten van dit onderzoek te kunnen toetsen aan hetgeen normaal aan verontreinigingen in woningen wordt aangetroffen, werd een literatuurrecherche uitgevoerd, waarbij in het bijzonder werd gezocht naar gegevens over luchtverontreiniging bij het stoken van kachels en open vuren.

De meeste literatuur heeft betrekking op gaskachels en petroleumkachels die als bijverwarming worden gebruikt. In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van concentraties die normaal in woningen worden aangetroffen [3].

De in tabel 4 genoemde verhoogde CO- en NO-concentraties worden veroorzaakt door verbrandingsprocessen in de woning, zoals koken en roken; de verhoogde CO<sub>2</sub>-concentraties bovendien door uitademingslucht van in de woning verblijvende personen; aldehyden door bouwmaterialen zoals spaanplaten, meubels en isolatieschuim. De deeltjesconcentratie is sterk afhankelijk van de situatie.

In het algemeen is de concentratie van deeltjes die in de buitenlucht worden gegenereerd binnen kleiner dan buiten; hoe groter de afmetingen van de deeltjes, hoe kleiner de fractie is die binnenkomt.

Allerlei activiteiten in de woning doen de concentratie binnen toenemen.

Schaarse gegevens zijn bekend over de concentratie van deeltjes in woningen waarin houtkachels en open haarden worden gestookt.

In [4] wordt vermeld dat in de woning verhoogde concentraties totaal en respirabel stof en benzo-a-pyreene (BaP) worden gevonden ten opzichte van de situatie dat geen hout wordt gestookt.

De stofconcentratie was gemiddeld ca 3 maal zo hoog en de BaP-concentratie ca 5 maal zo hoog (getalwaarden worden niet vermeld).

Volgens [2] is de gemiddelde BaP-concentratie in de buitenlucht ca 1 ng/m<sup>3</sup> in een stedelijk gebied (Vlaardingen) en 0,5–1 ng/m<sup>3</sup> in meer landelijke gebieden in Nederland.

**Tabel 4**

Concentraties van verontreinigingen in woningen.

Component	Typisch bereik binnenlucht concentratie *)	Hoogste binnenlucht concentratie *)	Verhouding concentratie binnen/buiten
CO	1- 3 ppm	25 ppm	meestal >1
No	60- 200 ppb	470 ppb	meestal >1
NO <sub>2</sub>	20- 60 ppb	180 ppb	soms <1, soms >1
CO <sub>2</sub>	500-1300 ppm	2200 ppm	meestal >1
totaal stof	30- 100 µg.m <sup>-3</sup>	500 µg.m <sup>-3</sup>	soms <1, soms >
respirabel stof	20- 80 µg.m <sup>-3</sup>	270 µg.m <sup>-3</sup>	soms <1, soms >
aldehyden	100- 300 µg.m <sup>-3</sup>	1000 µg.m <sup>-3</sup>	meestal > 1

De resultaten van de metingen gezien in het licht hiervan kunnen als volgt worden samengevat:

*Woningtype A (geiser als bijverwarming)*

- Van de gemeten componenten wordt alleen de concentratie van NO iets hoger bij gebruik van de geiser. Geconstateerd werd een toename van ca 20 ppb in verloop van 2 uur; dit is normaal voor bewoonde ruimten.
- Bij gebruik van een gaskooktoestel in de keuken, waarvoor geen directe afzuigvoorziening aanwezig is worden de concentraties van CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> en koolwaterstoffen in de keuken verhoogd; die van CO niet. (CO<sub>2</sub> tot ca 2000 ppm, NO tot ca 600 ppb, NO<sub>2</sub> tot ca 150 ppb, koolwaterstoffen tot ca 6 ppm).

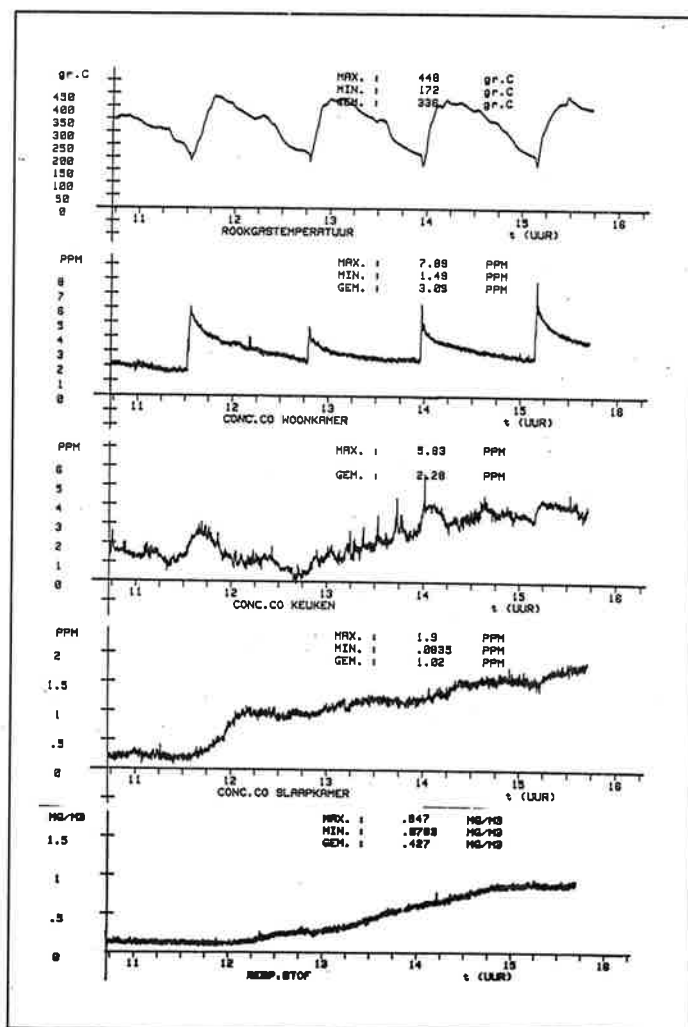
Deze concentraties komen overeen met wat in woningen normaal tijdens koken e.d. wordt gevonden (vergelijk tabel 4 - hoogste binnenluchtconcentratie).

*Woningtype B (allesbrander als bijverwarming)*

- Bij gebruik van *hout* in de allesbrander wordt de CO-concentratie in alle vertrekken iets hoger. CO komt vrij in de woonkamer tijdens het bijvullen van de kachel, waarbij piekconcentraties van 5 à 10 ppm ontstaan. De concentratie van CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> worden niet aantoonbaar verhoogd. De respirabele stofconcentratie in de woonkamer neemt toe in de loop van de stookperiode, tot ca 1 mg/m<sup>3</sup>. Alleen de respirabele stofconcentratie is aan de hoge kant, vergeleken met wat normaal in woningen wordt gevonden (zie figuur 6).
- Bij het gebruik van *kolen* en *haardblokken* werden de concentraties van geen van de continu gemeten componenten aantoonbaar verhoogd. Zij zijn normaal voor bewoonde ruimten.
- *Icopower* is niet geschikt als brandstof voor gebruik in een haardkachel omdat het stookproces niet kan worden beheerst. Tijdens het stoken werd in de verbrandingsruimte een zo hoge druk opgebouwd dat het deksel regelmatig open-sloeg. De rook komende uit de schoorsteen bleef tijdens dit experiment als een deken boven het dakoppervlak hangen bij de heersende lage windsnelheid van 2 m/s. Deze werd door het mechanisch ventilatiesysteem van buurtbewoners aangezogen hetgeen zich uitte in vele stankklachten van buurtbewoners.

In de proefwoning werden verhoogde concentraties CO in respirabel stof gemeten.

- Het uitvallen van het ventilatiesysteem heeft geen aantoonbaar effect op de concentratieniveaus van de verontreinigingen tijdens het stoken van hout, kolen of haardblokken in de allesbrander.
- De wijze van stoken - nominaal of gesmoord - heeft geen aantoonbaar effect op de concentraties van de verontreinigingen.
- Bij zeer lage windsnelheid (2 m/s) kan rook uit de schoorsteen door het ventilatiesysteem van naburige woningen worden aangezogen. In de woning zelf is terugslag niet geconstateerd.
- De concentraties van individuele koolwaterstoffen (5-11 C-atomen per molecuul) worden niet aantoonbaar hoger dan het achtergrondniveau tijdens het stoken van de allesbrander met één der vier gebruikte brandstoffen. Uitzondering hierop is benzeen bij het stoken van Icopower (75 µg/m<sup>3</sup> gemiddeld per stookperiode); deze brandstof is echter zoals gezegd ongeschikt voor deze kachel.
- De concentratie van polycyclische aromatische koolwaterstoffen neemt toe tijdens het stoken van de allesbrander, in het bijzonder van de zwaardere PAK-verbindingen.



**Figuur 6** Concentratieverloop van koolmonoxide en respirabel stof tijdens het stoken van hout in de allesbrander

Dit geldt in toenemende mate in de volgorde kolen – hout – haardblokken – Icopower.

Als voorbeeld de concentratie van benzo-a-pyreen:  
 In Vlaardingen in de buitenlucht gem. ca 1 ng/m<sup>3</sup> [2]  
 In openbare ruimten waar wordt gerookt 7–22 ng/m<sup>3</sup> [5]  
 In de woonkamer tijdens stoken van kolen 1–7 ng/m<sup>3</sup>  
 hout 3–12 ng/m<sup>3</sup>  
 haardblokken 3–23 ng/m<sup>3</sup>  
 Icopower 150 ng/m<sup>3</sup>

De BaP-concentraties tijdens het stoken van hout komen overeen met het beeld dat de (schaarse) literatuurgegevens hierover geven.  
 De concentraties zijn tijdens het stoken van haardblokken

gemiddeld iets hoger en tijdens het stoken van Icopower aanzienlijk hoger.

- Geen of nauwelijks een verhoging van de concentraties van HCl, fenol, mierzuur, azijnzuur en propionzuur ten opzichte van de buitenluchtconcentraties werd geconstateerd in de woning tijdens het stoken van de allesbrander.
- De formaldehydeconcentraties zijn normaal voor bewoonde ruimten en worden niet beïnvloed door de allesbrander.
- De kruisstroomwarmtewisselaar vertoonde een lek van ca 2,5% in woningtype A en van ca 5% in woningtype B.

Dit had geen aantoonbare invloed op de concentraties van verontreinigingen in de slaapkamer.

- Bij gebruik van de geiser in de keuken, die geen directe afzuigvoorziening heeft nemen de concentraties van CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> en koolwaterstoffen in de keuken sterk toe als de keukendeur is gesloten.

In één uur tijd stijgt de concentratie van CO tot 50 ppm, van CO<sub>2</sub> tot 17000 ppm, van NO tot meer dan 3000 ppb, van NO<sub>2</sub> tot 500 ppb en van koolwaterstoffen tot 30 ppm.

In de andere vertrekken nemen de concentraties van deze componenten niet toe (zie figuur 7).

De concentraties in de keuken zijn aanzienlijk hoger dan wat normaal tijdens activiteiten als koken in de woning wordt gevonden.

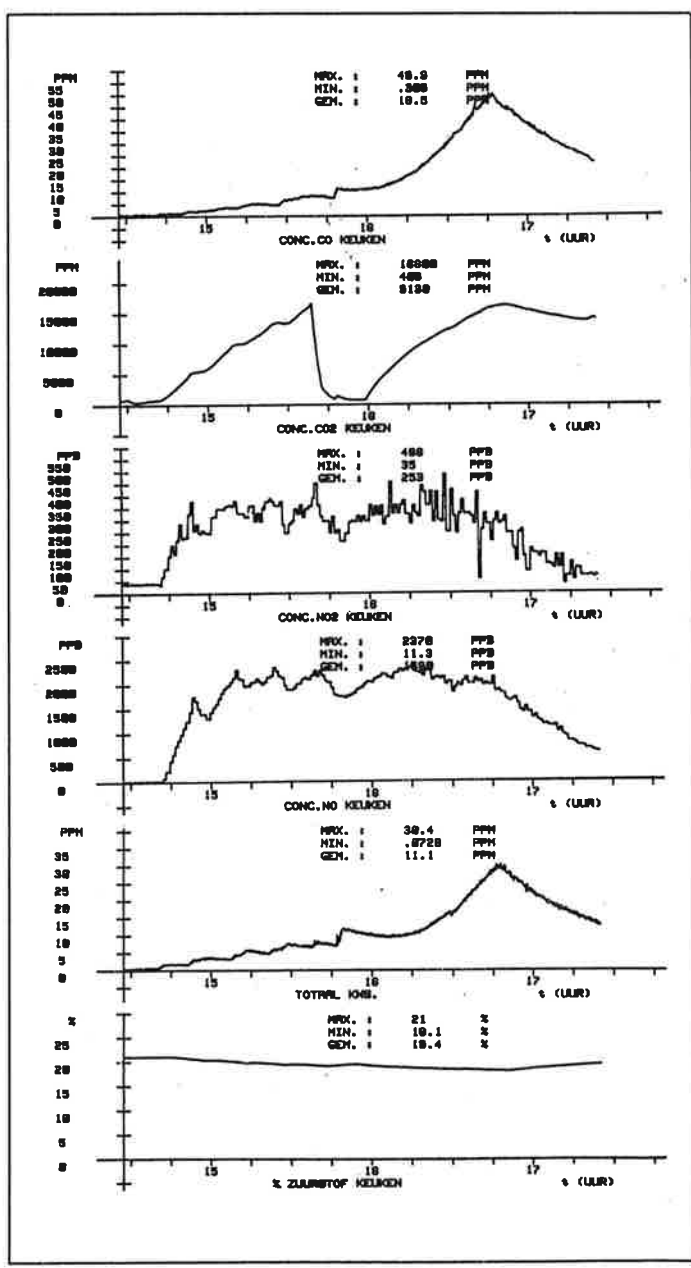
- Soortgelijke effecten treden in mindere mate op, met name in de keuken, als de keukendeur geopend is.
- Op grond van deze resultaten wordt aanbevolen de geiser van een directe afzuiging te voorzien.

Voor enkele der onderzochte componenten bestaan in Nederland kwaliteitsnormen voor de buitenlucht, namelijk voor CO, NO<sub>2</sub>, en stof.

In tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de grenswaarden voor buitenluchtverontreiniging in Nederland.

**Tabel 5**  
 Grenswaarden voor buitenluchtverontreiniging voor diverse componenten in Nederland.

Component	Grenswaarde	Middelingstijd	Toegestane overschrijding
CO	40 mg.m <sup>-3</sup> (34 ppm)	1 uur	eens per week
	10 mg.m <sup>-3</sup> (8,5 ppm)	8 uur	eens per maand
NO <sub>2</sub>	50 µg.m <sup>-3</sup> (25 ppb)	1 uur	50-percentiel
	110 µg.m <sup>-3</sup> (55 ppb)	1 uur	95-percentiel
	135 µg.m <sup>-3</sup> (70 ppb)	1 uur	98-percentiel
Gezondheidsraad)	300 µg.m <sup>-3</sup> (150 ppb)	1 uur	eens per jaar worden overschreden
stof (gemeten volgens de standaard rook methode)	30 µg.m <sup>-3</sup>	24 uur	50-percentiel
	75 µg.m <sup>-3</sup>	24 uur	95-percentiel
	90 µg.m <sup>-3</sup>	24 uur	98-percentiel
BaP (interim grenswaarde, voorgesteld in IMP = indicatief meerjarenplan)	10 ng.m <sup>-3</sup>	jaar	



**Figuur 7** Concentratieverloop gemeten in de keuken van woningtype B tijdens gebruik van de geiser zonder directe afzuiging bij gesloten keukendeur



De grenswaarden van CO en NO<sub>2</sub> werden niet overschreden tijdens het stoken van de geiser of de allesbrander als bijverwarming.

Bij gebruik van de geiser, die geen afvoer heeft in de woning met allesbrander werden de grenswaarden voor CO en NO<sub>2</sub> in de keuken overschreden bij gesloten keukendeur, voor NO<sub>2</sub> ook met open keukendeur.

De grenswaarde voor NO<sub>2</sub> werd eveneens overschreden bij gebruik van een kooktoestel zonder afvoer in de keuken van de geiserwoning.

Vooraf bij het stoken van hout in de allesbrander werd de grenswaarde voor stof overschreden. De normaal in woningen voorkomende stofconcentraties liggen overigens al rond de grenswaarde.

De voorgestelde interim-grenswaarde voor BaP van 10 ng/m<sup>3</sup> als jaargemiddelde zal bij het stoken van de allesbrander met een der onderzochte brandstoffen niet worden overschreden (Icopower buiten beschouwing gelaten).

Zeer weinig is bekend over binnenluchtconcentraties tijdens het stoken van houtkachels en open haarden in de woonkamer (van emissies is veel meer bekend).

Moschandreas [6] meldt verhoogde concentraties van stof (ca 3 maal zo hoog) en BaP (ca 5 maal zo hoog) bij het stoken van hout in open haarden, vergeleken met de situatie dat geen hout wordt gestookt.

Dit beeld komt overeen met de resultaten tijdens het stoken van hout in de allesbrander.

Nader onderzoek in traditionele woningen met een open haard of een houtkachel is gewenst.

*Samenvattend:* voor de onderzochte verbindingen geldt dat de concentraties bij gebruik van een geiser of allesbrander als bijverwarming niet boven het niveau uitkomen dat normaal in woningen wordt aangetroffen, met uitzondering van respirabel stof bij het stoken van hout en polycyclische aromaten tijdens het stoken van Icopower.

Deze laatste brandstof is echter wegens de onmogelijkheid het stookproces te beheersen ongeschikt als brandstof in de allesbrander.

Los van de bijverwarming wordt opgemerkt dat zeker de geiser in de keuken van de allesbranderwoning en bij voorkeur ook kooktoestellen in beide woningtypen van een directe afzuiging dienen te worden voorzien.

Er moet echter op worden gewezen dat de experimenten onder ideale omstandigheden werden uitgevoerd, dat wil zeggen:

- het ventilatiesysteem was volgens ontwerp ingeregeld
  - een situatie die bij oplevering niet bestond, en mogelijk in vele andere woningen van het complex thans ook niet;
- de stookwijze geschiedde op deskundige wijze met voor de kachel geschikte brandstoffen (Icopower buiten beschouwing gelaten). Het is niet te verwachten dat in de praktijksituatie altijd op ideale wijze wordt gestookt, terwijl

het stoken van minder geschikte brandstoffen door de bewoners niet altijd is uit te sluiten;

- de woningen waren pas opgeleverd; het rookgaskanaal was derhalve niet verontreinigd of gecorrodeerd. Omdat het rookgaskanaal kan vervuilen en gedeeltelijk verstopten, terwijl vegen vanwege de bocht in het kanaal zeer moeilijk is, en corrosie door het stoken van minder geschikte brandstoffen (bijv. plastics) mogelijk is, is een minder gunstige situatie in de bewoonde woningen niet uit te sluiten.

### Verantwoording

Aan dit onderzoek hebben velen hun medewerking verleend zonder welke het onderzoek niet kon worden gerealiseerd. De auteurs danken Ing. R. Ebens, die als coördinator voor de uitvoering optrad, R. van de Belt, A. Moerkerken en J. van der Tuin die aan de uitvoering van het besproken gedeelte van het onderzoek meewerkten en Mw. A. Hoogeveen, Mw. M. C. M. Mientjes, J. Tempelman en Mw. P. J. H. D. Verkoelen die de chemische analyses uitvoerden.

Het onderzoek werd gefinancierd uit middelen van het Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieuhygiëne. Het Projectbureau Energie-onderzoek trad op als coördinator voor het totale project minimumenergiewoningen (Ir. R. van Huet).

In het bijzonder danken wij Drs. E. van der Pol van de coördinatecommissie.

### Referenties

- [ 1 ] Wal, J. F. van der e.a.  
Oriënterend onderzoek naar de binnenlucht kwaliteit van minimum-energiewoningen te Schiedam.  
IMG-TNO Rapport F 2094 (1985).
- [ 2 ] Thijsse, Th. R.  
PAK-concentraties op een aantal achtergrondmeetpunten en in Vlaardingen over de periode oktober 1982 — oktober 1983.  
IMG-TNO Rapport (in voorbereiding).
- [ 3 ] Moschandreas D. J. e.a.  
Residential air pollution levels: Observation and data interpretation.  
Symposium Building air change rate and infiltration measurements, ASTM Special Technical Publication 719 (1978), 144—152.
- [ 4 ] Indoor Pollutants  
National Academy Press, Wash.DC (1981), p. 134—149.
- [ 5 ] Elliot, L. P. and D. R. Rowe  
Air quality during public gatherings.  
J. Air Pollut. Control Assoc. J. 25 (1975), 635—636.
- [ 6 ] Moschandreas, D. J. e.a.  
The effects of woodburning on the indoor residential air quality (1981).
- [ 7 ] Luftqualität in Innenräumen  
Herausg. K. Aurand e.a., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York (1982).
- [ 8 ] Yocom, J. E. e.a.  
Effects on indoor quality.  
Air Pollution, Vol. 2, 3rd Ed. Academic Press, New York (1977).
- [ 9 ] Lucht kwaliteit — Buitenlucht — Bepaling van de concentratie aan methanal (formaldehyde) — Fotometrische methode met pararosanine.  
Ontwerp NVN 2795 (1984).
- [ 10 ] Sawickly, E., T. R. Hauser, T. W. Stanley, W. Elbert  
The 3-methyl-2-benzothiazolone test.