

*TNO-rapport*  
TNO-MEP – R 96/293

TNO Milieu, Energie en  
Procesinnovatie

Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn  
Telefoon 055 - 549 34 93  
Fax 055 - 541 98 37

## Onderzoek naar het effect van het Besluit typekeuring houtkachels op de PAK-emissies in Nederland

auteurs:  
W.F. Sulilatu  
Ing. W.F.M. Hesseling

datum:  
augustus 1996

projectnummer:  
25988

trefwoorden:  
– houtkachels  
– typekeuring  
– CO  
– PAK

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

bestemd voor:  
Ministerie van VROM, DGM  
Directie Industrie, Bouw, Produkten en Consumenten/650  
Mr. S.W. Josephus Jitta  
Postbus 30950  
2500 GX Den Haag

Het kwaliteitssysteem van TNO, Milieu, Energie en  
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een  
nationaal en internationaal erkend kennis- en  
contractresearch instituut voor bedrijfsleven en  
overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en  
milieugerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene  
Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO  
zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de  
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

## Samenvatting

Voor de overheid is het gebruik van houtkachels en open haarden een toenemende zorg vanwege de milieubelasting, die daardoor wordt veroorzaakt. Met name de emissies van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) staan in de belangstelling. De overheid tracht deze emissies te beperken met een aantal maatregelen. Een van deze maatregelen is het stellen van technische eisen aan houtkachels en inzethaarden.

Ten aanzien van het laatste punt zal eind 1996 het 'Besluit typekeuring houtkachels luchtverontreiniging koolstofmonoxide' van kracht worden. In dit Besluit wordt het in Nederland voor fabrikant en importeur verboden om houtkachels te verkopen die niet behoren tot een goedgekeurd type.

Het typekeur stelt eisen aan de CO-emissies (0,4% CO voor houtkachels en 0,5% voor inzethaarden, bij 13% O<sub>2</sub>). De kachels worden getest onder omstandigheden met opgelegde trek.

De doelstelling van de maatregel is om de emissie van PAK door vaste brandstoftoe- stellen minstens te stabiliseren. Het Ministerie van VROM, DGM Directie Industrie, Bouw, Produkten en Consumenten heeft aan TNO-MEP opdracht gegeven te onder- zoeken in welke mate invoering van het Besluit invloed heeft op de PAK-emissies in Nederland.

Het onderzoek bestond uit twee fasen. In de eerste fase werd een literatuurstudie uit- gevoerd met het doel om met reeds bekende gegevens de effecten van het Besluit op de PAK-emissies in Nederland af te schatten. In de tweede fase werd de studie uit- gebreid met een experimenteel onderzoek met als doel de schattingen nauwkeuriger te maken.

### *fase 1 literatuurstudie*

Tijdens de studie werden ruim 40 publikaties geraadpleegd, die betrekking hebben op PAK en houtkachels. De publikaties waren vooral afkomstig uit Amerika, maar ook uit diverse Europese landen. Uit de publikaties kon geen directe relatie tussen de PAK en CO-emissies (PAK als functie van CO) van houtkachels worden afgeleid. Wel kon worden geconcludeerd, dat bij een lage CO-emissie ook lage PAK-emissies te verwachten zijn.

Uitgaande van de in de literatuur gevonden waarden voor CO en PAK en van een aantal prognoses over het toekomstige kachelbestand in Nederland, werd het effect van het Besluit op de PAK-emissie in Nederland afgeschat.

De literatuurstudie heeft onder andere geleid tot de volgende conclusies:

- Door de invoering van het Besluit zullen naar verwachting de PAK-emissies in Nederland afkomstig van houtkachels en inzethaarden in de toekomst niet verder toenemen ten opzichte van de huidige situatie. Hiermee worden de betreffende doelstellingen in het Nationaal Milieubeleidsplan gehaald.
- De PAK-emissies van houtkachels vertonen grote spreidingen van 3,8 mg/kg hout tot ca. 1200 mg/kg hout. De wijze van stoken en de testomstandigheden spelen daarbij een belangrijke rol.

De nauwkeurigheid van bovenstaande conclusies was beperkt geacht vanwege:

- de onbekendheid met de mate waarin de PAK-emissies onder praktijkomstandigheden afwijken van in de literatuur gevonden PAK-emissies, die veelal zijn bepaald bij testomstandigheden met natuurlijke trek.
- de onzekerheid omtrent de autonome groei en vervanging van het huidige kachelbestand.
- de onduidelijkheid in de literatuur over het aantal en type componenten (PAK-reeks), die werden bepaald voor het vaststellen van de PAK-emissie.

Besloten werd om fase 2 van het voorgestelde praktijkonderzoek uit te voeren met als doel de PAK-emissies in Nederland afkomstig van houtkachels en inzethaarden nauwkeuriger te berekenen. Hierbij werd uitgegaan van de PAK-reeks, die door VROM wordt gehanteerd (VROM-PAK).

#### *Fase 2 praktijkonderzoek*

Drie typen houtkachels werden geselecteerd. Selectie vond plaats op basis van marktaandeel en toegepaste techniek.

De kachels werden in het laboratorium bij twee verschillende belastingen getest; bij natuurlijke trek (EPA), geforceerde trek (DIN) en bij praktijkomstandigheden.

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste resultaten van het onderzoek weergegeven.

Tabel 1 *Samenvatting resultaten per kachel en per testmethode.*

Test-methode	Belasting [kW]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [%] 13% O <sub>2</sub>	PAK [mg/kg]	G.l. [-]
<b>(Houtkachel B)</b>					
DIN	11,7	6,9	0,33	15,1	3,91
	11,7	6,9	0,35	11	3,91
	8,3	6	0,27	11,5	3,33
	9,2	6,6	0,26	7	2,88
Praktijk	11,25	7,9	0,38	46	4,43
	7,5	6,9	0,28	28,6	3,33
	12,9	8,1	0,27	33,3	3,09
	10,4	5	0,19	22,9	2,2
EPA	15	7,5	0,67	34,7	7,73
	16,7	7,8	0,58	37,9	6,41
	16,25	10	0,82	189	11,6
	15,5	8,9	0,73	144	9,7
<b>(Houtkachel L)</b>					
DIN	8,7	7,6	0,37	17,6	3,82
	10,4	9,5	0,3	33,6	4
	8,3	7	0,45	37,2	5,43
	9,3	9,8	0,23	17,2	2,65
Praktijk	10,8	8,8	0,25	19,3	2,95
	10	6,7	0,27	16,8	2,69
	7,5	9	0,56	18,9	6,89
	7,9	8,6	0,66	30	7,91
EPA	15,8	10	0,52	112	6,7
	15,8	11,3	0,76	181	10
	7,9	8,3	0,85	89,9	10,2
	7,5	7,8	0,71	41,6	8,72
<b>(Houtkachel P)</b>					
DIN	8,3	7,7	0,19	4,7	1,95
	9,6	8,1	0,13	9,1	1,6
	7,1	7,6	0,45	16	4,74
	7,5	8,1	0,42	34,8	4,32
Praktijk	10,4	7,4	0,13	11	1,49
	9,6	7,4	0,14	9,5	1,76
	6,7	6,9	0,31	10,4	3,33
	8,3	6,8	0,30	17,9	3,24
EPA	10,8	7,7	0,24	29,11	2,47
	10,8	7,8	0,20	33,1	2,31
	10,8	7,4	0,37	37,3	3,92
	10,4	8,3	0,52	97,9	6,63

Uit de tabel kan worden geconcludeerd, dat de CO-en PAK-emissies sterk worden beïnvloed door de toegepaste testmethode en de toegepaste verbrandingstechniek (type kachel).

De testen, die zijn uitgevoerd conform de EPA-methode, blijken de hoogste CO- en PAK-emissies geven. De DIN testmethode kan beschouwd worden als een representatieve testmethode voor de praktijkomstandigheden vanwege goede overeenkomsten met de praktijkomstandigheden.

De houtkachel P, een kachel waarin verbeterde technieken zijn toegepast, geven bij alle testen lagere CO en PAK-emissies dan de andere twee houtkachels.

De resultaten van het praktijkonderzoek laten zien, dat er een logaritmisch verband bestaat tussen CO en VROM-PAK, waarbij de VROM-PAK-emissies toenemen bij een toename van de CO-emissies. Uitsplitsing van de VROM-PAK-componenten laat zien dat eenzelfde relatie bestaat tussen CO en Benzo[a]pyreen (BaP). Het gemiddelde aandeel BaP van VROM-PAK bedroeg 2,65% met standaard deviatie 0,93.

De gemiddelde VROM-PAK-emissie, gemeten bij de DIN- en praktijkproefmethode van de drie kachels bedraagt gemiddeld 20 mg/kg bij een gemiddelde CO-emissie van 46 g/kg hout (0,31%)

De resultaten van het praktijkonderzoek leiden tot herziene aannames voor de berekeningen van de PAK-emissies in Nederland;

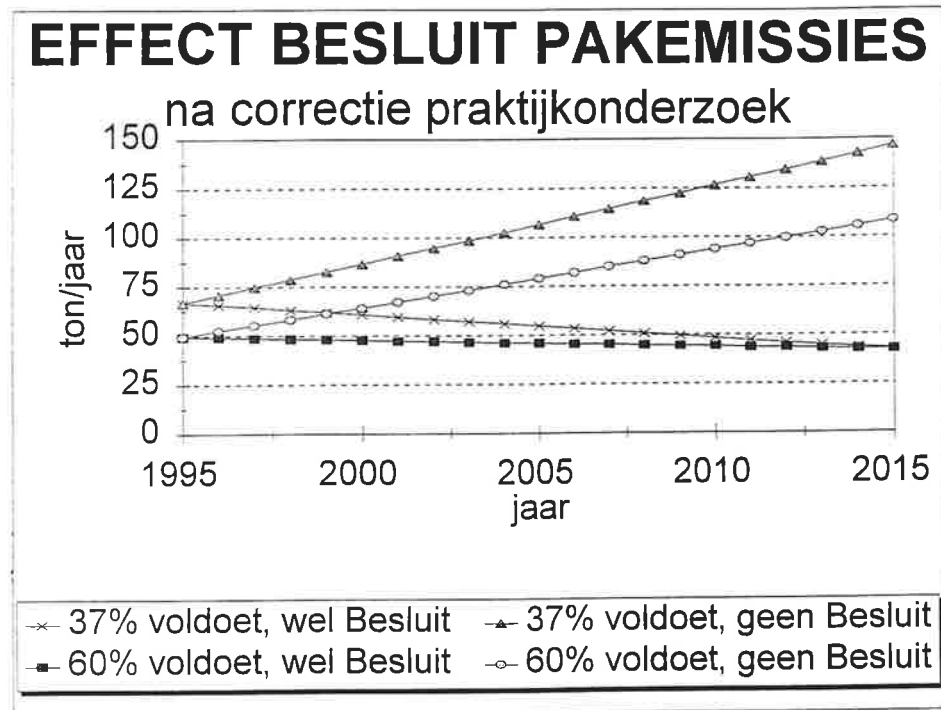
- De schatting van de gemiddelde PAK-emissies van kachels, die behoren tot een goedgekeurd type, werd verlaagd van 34 mg/kg hout (literatuur) naar 20 mg (VROM-PAK) /kg hout.
- De geschatte gemiddelde PAK-emissie voor de bestaande kachels die niet zouden voldoen aan het Besluit werd verlaagd van 167 mg/kg hout (literatuur) naar 98 mg/kg.

#### *Evaluatie, conclusies, aanbevelingen*

Met de geschatte PAK-emissies werden berekeningen uitgevoerd waarbij de volgende uit de literatuur ontleende uitgangspunten werden gehanteerd:

- Het bestand aan kachels en inzethaarden in Nederland bedraagt eind 1995 502000 exemplaren;
- Het gemiddeld houtverbruik per kachel bedraagt 1925 kg per jaar;
- De gemiddelde levensduur van een houtkachel in Nederland bedraagt 20 jaar;
- De autonome groei van het kachelbestand in Nederland is 30.000 stuks per jaar.

In onderstaande figuur zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven.



*Figuur S.1* Prognose van de jaarlijkse VROM-PAK-emissies tot het jaar 2015, na correctie met de resultaten van het praktijkonderzoek, fase 2.

Gebaseerd op metingen aan drie kachels bij drie testmethoden leiden de resultaten van het onderzoek tot de volgende conclusies ten aanzien van de jaarlijkse PAK-emissies in Nederland van houtkachels en inzethaarden:

- In 1995 bedroegen de VROM-PAK-emissies 50 tot 65 ton;
- Deze emissies zullen naar schatting zonder invoering van het Besluit in het jaar 2005 zijn toegenomen tot 110 a 150 ton;
- Deze emissies zullen naar schatting met invoering van het Besluit in het jaar 2005 zijn afgenomen tot ca. 40 ton PAK. De BaP-emissie zal afnemen tot ca. 1 ton/jr.

Naar verwachting zullen de PAK-emissies in het jaar 2005 lager zijn dan berekend. Door voortschrijdende ontwikkelingen van de techniek van de houtkachels zullen de PAK-en CO-emissies van houtkachels nog verder kunnen worden verlaagd.

Aanbevolen wordt om het effect van het Besluit te monitoren. Dit kan plaats vinden door tijdens de uit te voeren typekeurmetingen van houtkachels ook de PAK-emissies vast te stellen. Met deze gegevens zal een bestand worden aangelegd, waarmee in de toekomst de PAK-emissies van houtkachels in Nederland nog nauwkeuriger kunnen worden geregistreerd, berekend en getoetst aan het PAK-beleid. Tevens wordt aanbevolen om de ontwikkeling van nieuwe technologieën ter vermindering van PAK-emissies te stimuleren.

## Nomenclatuur

act	Bij actuele omstandigheden
GI	Giftigheidsindex ( $CO/CO_2 * 100$ )
h	Uur
inv	In normaal toestand vochtig (101,3 Kpa, 273 K)
ind	In normaal toestand droog (101,3 Kpa, 273 K)
PAK	Polycyclisch Aromatische Koolwaterstoffen

## Inhoudsopgave

Samenvatting .....	2
Nomenclatuur .....	7
1. Inleiding.....	9
2. Uitvoering van het onderzoek.....	10
2.1 Testprocedures .....	10
2.2 Onderzochte toestellen .....	12
2.3 Meetprogramma .....	15
3. Resultaten .....	17
3.1 Algemene achtergrondinformatie.....	17
3.2 Meetresultaten Houtkachel B .....	18
3.3 Meetresultaten houtkachel L .....	19
3.4 Meetresultaten houtkachel P .....	21
4. Evaluatie .....	23
4.1 Evaluatie van het praktijkonderzoek .....	23
4.1.1 Algemeen.....	23
4.1.2 Verbrandingskwaliteit van de onderzochte kachels .	25
4.1.3 Invloed van de testmethode op de emissies .....	25
4.1.4 Technische kenmerken die de emissie beïnvloeden .	26
4.1.5 Verband tussen CO-en PAK-emissies .....	27
4.1.6 Gemiddelde representatieve CO-en PAK-emissies ..	30
4.2 Effect besluit op PAK-emissies .....	30
5. Conclusies en aanbevelingen.....	34
6. Verantwoording .....	36
Bijlagen	
Bijlage 1	Meetmethoden fase 2
Bijlage 2	Resultaten emissiemetingen fase 2
Bijlage 3	Specificatie resultaten PAK-analyse
Bijlage A	Tussenrapport fase 1



## 1. Inleiding

In opdracht van het Ministerie van VROM, Directoraat-Generaal Milieubeheer, is door TNO-MEP een programma uitgevoerd voor het vaststellen van het effect van het Besluit typekeuring houtkachels luchtverontreiniging koolmonoxide op de PAK-emissie in Nederland.

De eerste fase van het onderzoek bestond uit een literatuuronderzoek. In de tweede fase van het onderzoek werd op het laboratorium een praktijkonderzoek uitgevoerd naar de (PAK)-emissies van drie houtkachels.

Op basis van de resultaten van het literatuuronderzoek is een zeer globale inschatting gemaakt van het effect van het Besluit op de PAK-emissies (fase 1).

De belangrijkste conclusies daarbij waren:

- In de literatuur gerapporteerde PAK-emissies zijn voornamelijk vastgesteld onder testomstandigheden met natuurlijke trek. In het Besluit wordt echter gebruik gemaakt van een testmethode met opgelegde trek.
- De gerapporteerde PAK-emissies vertonen een grote spreiding waardoor geen eenduidige relatie PAK-emissie en CO-emissie kon worden vastgesteld.

Een praktijkonderzoek werd nodig geacht om de resultaten van de eerste fase verder te onderbouwen. De praktijktesten vormden de tweede fase van dit onderzoek.

De doelstelling van het praktijkonderzoek (2e fase) is om door middel van experimenteel laboratorium onderzoek het effect van het Besluit op de PAK-emissie nauwkeuriger te bepalen en om na te gaan of er een relatie bestaat tussen de beide (DIN en EPA) testmethoden.

Dit rapport omvat een beschrijving en de resultaten van het uitgevoerde onderzoek. Over fase 1 werd reeds eerder een tussenrapport geschreven. Dit tussenrapport is integraal opgenomen als bijlage A in dit rapport.

Het rapport is als volgt ingedeeld:

- In hoofdstuk 2 wordt de uitvoering van het praktijkonderzoek (fase 2) beschreven.
- In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de geteste houtkachels beschreven.
- In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het praktijkonderzoek (fase 2) geëvalueerd samen met de resultaten van het eerder uitgevoerde literatuuronderzoek (fase 1).
- In hoofdstuk 5 worden de conclusies uit het gehele onderzoek weergegeven en een aanbeveling gedaan.

## 2. Uitvoering van het onderzoek

In onderstaande paragrafen wordt de uitvoering van het onderzoek nader uitgewerkt. Achtereenvolgend wordt aandacht besteed aan:

- testprocedures;
- onderzochte toestellen;
- meetprogramma.

### 2.1 Testprocedures

Om bij het doormeten van vaste brandstofoestellen te komen tot reproduceerbare resultaten is het noodzakelijk dat een duidelijke testprocedure wordt gehanteerd.

Om vast te kunnen stellen of er een CO/PAK relatie bij de emissie van houtkachels bestaat, is gebruik gemaakt van twee testmethoden en een stookprocedure zoals die in de praktijk kan voorkomen. De gehanteerde testmethoden zijn de Duitse DIN en Amerikaanse EPA-methode. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar [2] en [3]. In het kort samengevat komen de procedures op het volgende neer:

#### *DIN-testmethode*

Bij DIN-experimenten wordt, vanaf de start tot het eind van het experiment, gebruik gemaakt van een constante opgelegde trek. De methode bestaat uit een zgn nominale en een verlaagd nominale belastingproef en wordt uitgevoerd bij een schoorsteentrek van respectievelijk 10 en 7 Pa. De gebruikte brandstof bestaat uit zogenaamd gekloofd eiken hout (DIN blokken l = 32 cm, omtrek 32 cm). De vochtigheid van de brandstof ligt in de orde grootte van 18 gewicht %.

#### *EPA testmethode*

Bij de EPA-experimenten wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke trek. Deze trek is variabel en wordt bepaald door het momentane vermogen van de kachel. De brandstof bestaat uit gezaagde blokken waarbij de brandstofafmetingen bepaald worden door de geometrie van het stookoppervlak. De belasting van het stookoppervlak bedraagt in beginsel 400 MJ/m<sup>2</sup> en de brandstofvochtigheid ca. 18 gewichts %. De EPA-methode bestaat eveneens uit een nominale (luchttoevoerkleppen 100% open) en een verlaagd nominale (luchttoevoerkleppen gesmoord) belastingproef.

#### *Praktijktestprocedure*

De praktijkprocedure is afgestemd op het stookgedrag van kachelbezitters in de praktijk en de stookprocedures van de fabrikanten. De trek is variabel en wordt bepaald door de momentane belasting. Voor de stand van de luchtkleppen is een studie [4] naar het gebruik van open haarden en vaste brandstofoestellen geraadpleegd.

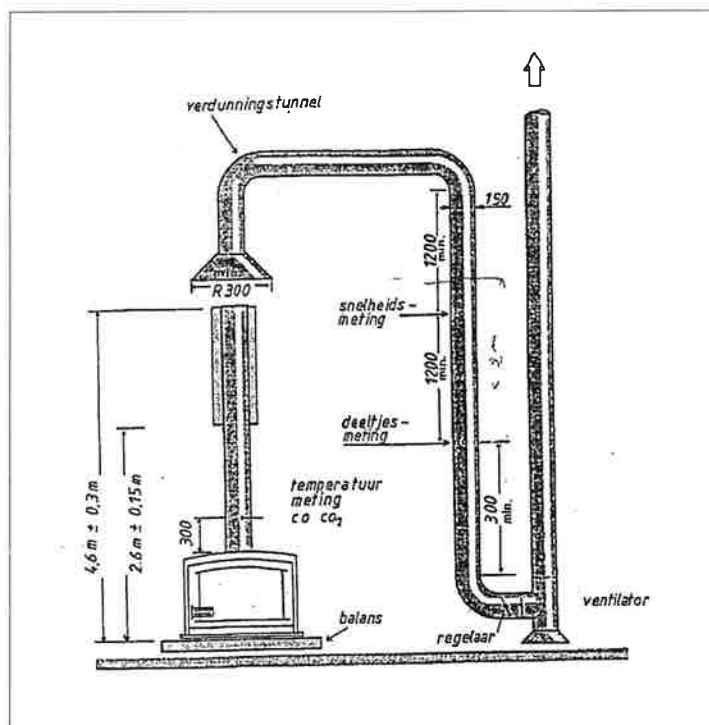
Als proefbrandstof is gebruik gemaakt van eikenhout met een vochtigheidspercentage van 16 tot 18%. Het stoken met andere houtsoorten zal, naar wordt aangenomen, nauwelijks invloed hebben op de emissie van PAK. Stoken met een te vochtig hout (>20 gewichts %) zal wel van negatieve invloed zijn op de emissies.

In tabel 1 zijn de kenmerken van de gevolgde beproevingsmethoden samengevat.

Tabel 2.1 Kenmerken beproevingsmethoden houtkachels.

	Trek [Pa]	Belading	Brandstof
DIN	10 en 7	rooster afgedekt	gekloofd eikenhout l = 32 cm omtrek = 32 cm
EPA	variabel	vaste stapeling	gezaagde blokken eikenhout afhankelijk van geometrie verbrandingskamer (400 MJ/m <sup>2</sup> )
Praktijk	variabel	willekeurig	gekloofd eikenhout l = 32 cm omtrek = 32 cm

De proefopstelling bestaat uit een balans, waarop het toestel is geplaatst, een op het toestel gemonteerde schoorsteen, een afvanghoed voor rookgassen en de zogenaamde verdunningstunnel. Om voldoende natuurlijke trek op te wekken is de schoorsteen gedeeltelijk voorzien van isolatie. De verdunningstunnel is voorzien van een instelbare ventilator. De instelling van de ventilator is zodanig dat onder geen beding de natuurlijke trek wordt beïnvloed en dat de door de kachel geproduceerde rookgassen geheel worden aangezogen.



Figuur 2.1 Overzicht proefopstelling emissiemetingen vaste brandstof toestellen.

## 2.2 Onderzochte toestellen

Als maatstaf voor de selectie van de kachels hebben gediend:

- het verbrandingsprincipe (rooster of vlakke vloer) en toegepaste technieken (toevoer verbrandingslucht);
- type kachel (stralings- of convectiekachel);
- adviezen van dealers aangaande de best verkochte kachels;
- beschikbaarheid op korte termijn.

Volgens informatie van kacheldealers wordt van het kachelbestand (inzet en vrijstaand) in Nederland de kachels voor ca. 50% uitgerust met een vlakke vloer en 50% met een roosterconstructie. Hetzelfde geldt voor de uitvoering als straling of convectiekachel.

In het onderstaande worden de kachels gecodeerd met de letters B, L en P. Hierbij is kachel P geselecteerd vanwege de toegepaste techniek. Gekoppelde primaire- en secundaire luchttoevoer, positie voorverwarmde secundaire verbrandingslucht en toegepaste vuurhaardbekleding.

De fabrikanten van de kachels B en L zijn 'marktleaders' in Nederland. Kachel 'B' is gekozen omdat de fabrikant van deze kachel beschouwd wordt als marktleider in Nederland. Het is niet gelukt om exacte verkoopcijfers van de kachels te bemachtigen. De keuze van de kachel is daarom voornamelijk gebaseerd op adviezen van kacheldealers en leden van de Vereniging Haard en Rookkanaal (VHR).

Kachel B en P zijn uitgerust met een roosterconstructie terwijl bij kachel L op de vlakke vloer wordt gestookt. Alle geselecteerde kachels zijn vrijstaande kachels.

In de volgende paragrafen worden deze kachels beschreven.

#### *Houtkachel B*

Houtkachel B is een van staalplaat geconstrueerde convectiekachel. De stookplaat van de vuurhaard is vervaardigd van vuurvaste steen met in het midden van de stookplaat een gietijzeren rooster. De zijwanden zijn aan de binnenzijde bekleed met gietijzeren lamellen. In de vuurhaard is een horizontale vlamkeerplaat aangebracht, om de verbranding te verbeteren (betere menging van de rookgassen). De hoogte van de vuurhaard (tot de vlamkeerplaat) is 30 cm; de afmeting van het stookoppervlak ~ 40 \* 48 cm.

De brandstoftoevoerder is van een ruit voorzien.

De tijdens de verbranding gevormde as wordt opgevangen in een aslade.

De capaciteit van de houtkachel is ca. 11 kW.

Het toestel is voorzien van een luchtklep waarmee de luchttoevoer onder het rooster (primaire verbrandingslucht) kan worden geregeld (updraft principe).

Gedurende het branden staat de 2e klep, afhankelijk van het ingestelde vermogen meer of minder open. Bij het openen van de vuldeur valt een gietijzeren rookgasklep automatisch open, waardoor een directe verbinding van de vuurhaard met de schoorsteen ontstaat. Hierdoor ontstaat een grote rookgas/lucht stroom naar de schoorsteen, waardoor wordt voorkomen dat rookgassen de kamer binnenstromen.

#### *Houtkachel L*

Houtkachel L kachel is een van staalplaat vervaardigde stralingskachel, waarvan de achterwand voorzien is van een convectieschacht om de warmteafgifte te bevorderen. De vuurhaard is voorzien van vuurvaste steen waarbij op een vlakke vloer wordt gestookt. In de vuurhaard is een schuin oplopende vlamkeerplaat aangebracht om de verbranding te verbeteren (betere menging van de rookgassen). De hoogte van de vuurhaard is gemiddeld 32 cm; de afmeting van het stookoppervlak ~37,5 \* 25,5 cm.

De brandstofvuldeur is voorzien van een ruit. Het toestel is niet voorzien van een aslade. De capaciteit van de installatie bedraagt ca. 8 kW.

De kachel is voorzien van regelbare luchtkleppen voor de primaire- en secundaire verbrandingslucht. De primaire-luchtklep is in de deur geplaatst. De secundaire-luchtklep bevindt zich boven de vuldeur. De secundaire lucht wordt in een soort ver-

deel doos voorverwarmd en treedt het toestel binnen op het punt waar de schuin oplopende vlamkeerplaat eindigt.

Conform de voorschriften van de fabrikant dient gestookt te worden met een nagevoeg gesloten primaire-luchtklep. De regeling vindt dan voornamelijk plaats met de secundaire luchtklep (zogenaamd 'Down' draft principe).

#### *Houtkachel P*

Kachel P is een van staalplaat vervaardigde convectiekachel. De vuurhaard is voorzien van uit vermiculite vervaardigde isolatieplaten met een hoge dichtheid ( $600 \text{ kg/m}^3$ ). In het stookoppervlak bevindt zich een rooster dat is afgedekt met een van staalplaat vervaardigde luchtverdeler. Op de luchtverdeler wordt gestookt. In de vuurhaard is een horizontale vlamkeerplaat aangebracht ter bevordering van de menging van de rookgassen.

Onder de vlamkeerplaat wordt via de achterwand op een hoogte van 25 cm boven het stookoppervlak secundaire lucht toegevoerd. De hoogte van de vuurhaard is 27 cm; de afmeting van het stookoppervlak  $\sim 24 * 39 \text{ cm}$ .

De brandstofvuldeur is voorzien van een ruit met een zogenaamde ruitbeluchting ter voorkoming van roetaanslag op de ruit.

De as wordt opgevangen in een aslade. De capaciteit van de kachel is 8,3 kW.

Het toestel is voorzien van instelbare primaire en secundaire luchtkleppen. Bij het opstoken van de kachel worden eerst, afhankelijk van het in te stellen vermogen, de verbrandingsluchtkleppen met twee hendels in de voorgeschreven posities ingesteld. Eenmaal in bedrijf wordt de verhouding van de primaire en secundaire verbrandingslucht automatisch ingesteld door een bi-metaal gestuurd stangenstelsel. Het bi-metaal is geplaatst in de rookgasstroom. Bij het opstarten staat de primaire luchtklep volledig open. Bij stijgende temperatuur wordt de primaire lucht verminderd en wordt meer secundaire lucht toegevoerd. Dit gaat door tot alle vluchtige bestanddelen uit het hout zijn verbrand en houtskool is gevormd en de temperatuur van de rookgassen zakt. Het bi-metaal reageert op deze temperatuurverlaging en opent de primaire- en sluit de secundaire luchtklep geleidelijk.

De specifieke kenmerken van bovengenoemde vaste brandstofoestellen zijn in het overzicht van tabel 2.2 samengevat.

Tabel 2.2 *Samenvatting specifieke kenmerken van de onderzochte brandstofoestellen.*

Toestel gegevens	Houtkachel		
	B	L	P
Stookvloer	rooster	vlak	rooster met verdeler
Vuurhaardvolume [m <sup>3</sup> ]	0,053	0,032	0,026
Bekleding vuurhaard	nee	nee	ja
Isolatie vuurhaard	nee	nee	ja
Vlamkeerplaat	ja	ja	ja
Luchttoevoer:			
primaire lucht	ja	ja	ja
secundaire lucht	nee	ja	ja (voorverwarmd)
ruitbeluchting	nee	nee	ja
Automatische luchtregeling	nee	nee	ja
Belasting [kW]	11	8	8,3

### 2.3 Meetprogramma

De drie geselecteerde houtkachels zijn aan de drie verschillende testen onderworpen bij twee vermogensinstellingen.

De toegepaste testprocedures zijn zoals reeds eerder vermeld de DIN-methode, EPA-methode en de praktijk stookproef.

De twee vermogensinstellingen waren:

- nominaal vermogen (luchttoevoerkleppen 100% open of conform voorschriften fabrikant);
- verlaagd nominaal (luchttoevoerkleppen 50% open of verlaagde trek).

Tijdens deze testen werden een aantal metingen uitgevoerd:

- in de schoorsteen:
  - het gehalte CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> (continu registrerend);
  - de temperatuur (continu registrerend);
- in de verdunningstunnel:
  - het gehalte CO, CO<sub>2</sub> (continu registrerend);
  - de temperatuur (continu registrerend)
  - het debiet (continu registrerend);
  - het gehalte aan PAK (integrerend, duplo).

Voordat de emissiemetingen werden uitgevoerd hebben de vaste brandstofstoestellen, die nieuw waren verkregen, eerst een kunstmatig verouderingsproces ondergaan. Tijdens dit verouderingsproces werd het toestel, volgens de voorschriften van de fabrikant, gedurende minimaal 20 uur gestookt. Eventueel achtergebleven olieresten uit het fabricageproces zijn tijdens het verouderingsproces uitgestookt.



### 3. Resultaten

#### 3.1 Algemene achtergrondinformatie

De resultaten van het uitgevoerde onderzoekprogramma worden in dit hoofdstuk per vaste brandstofstoel samengevat weergegeven. Zij worden steeds gepresenteerd van twee verschillende stookcycli. Een stookcyclus bestaat uit het verbranden van twee beladingen. Per belading kunnen de verschillende fasen van verbranding worden onderscheiden:

- Ontgassingsfase;
- Charverbrandingsfase;

In bijlage 2 zijn grafieken weergegeven van het typerende verloop van het verbrandingsproces te weten de CO<sub>2</sub>- en CO-concentraties, gewichtsafname van het hout, schoorsteentrek en temperatuur.

De in dit hoofdstuk gegeven waarden voor houtverbruik, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, trek en T rookgas zijn gemiddelden van het totaal aantal waarnemingen tijdens een stookcyclus.

Zoals gebruikelijk bij houtkachels zijn de concentraties aan CO en PAK in de rookgassen omgerekend naar 13% zuurstof.

De emissies aan CO en PAK zijn, zoals eveneens gebruikelijk, omgerekend naar g/kg droog hout. De in de verdunningstunnel gemeten rookgasconcentraties zijn hiertoe vermenigvuldigd met het rookgasdebiet in de tunnel. De op deze wijze verkregen emissie in g/uur is gedeeld door het gemiddelde houtverbruik in kg/uur.

In de gepresenteerde tabellen is onder meer de giftigheidsindex (G.I.) opgenomen. Onder de giftigheidsindex wordt verstaan de verhouding van CO- en CO<sub>2</sub>-concentratie vermenigvuldigd met 100 ( $(CO/CO_2) * 100$ ). Een belangrijk aspect van de giftigheidsindex is dat deze factor onafhankelijk is van de bijmenging met buitenlucht mits de CO- en CO<sub>2</sub>-concentraties op dezelfde plaats in het verbrandingssysteem zijn vastgesteld. Bij optimalisatie van een kachel geeft de G.I. snel informatie over de kwaliteit van de verbranding.

Bij gastoestellen mag volgens de GAVO-voorschriften de giftigheidsindex niet hoger zijn dan 1.

In bijlage 1 is informatie opgenomen over de gebruikte meetapparatuur en de toegepaste analysemethoden.

In bijlage 2 is gedetailleerde informatie weergegeven omtrent:

- de omstandigheden tijdens de metingen;
- de resultaten van de emissiemetingen gemiddeld per stookcyclus;
- het vastgestelde gehalte PAK.

Ter beperking van de hoeveelheid data wordt eveneens in bijlage 2 van ieder toestel per cyclus een grafische weergave van de registrerend vastgestelde waarden gegeven.

De resultaten worden geëvalueerd in hoofdstuk 4.1.

### 3.2 Meetresultaten Houtkachel B

De tabellen 3.1 tot en met tabel 3.3 tonen de meetresultaten van de houtkachel B volgens de DIN-methode, de EPA-methode en de praktijkmethode.

Tabel 3.1 Meetresultaten volgens DIN-methode, Houtkachel B.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 2
O <sub>2</sub>	(%)	14,0	14,0	14,1	14,3
CO <sub>2</sub>	(%)	6,9	6,9	6,0	6,6
CO	(%)	0,27	0,27	0,20	0,19
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	2026	1214	1142	858
G.l.	(-)	3,9	3,9	3,3	2,9
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,33	0,35	0,27	0,26
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	2317	1389	1325	1026
CO	(g/kg)	51	58	38	43
PAK	(µg/kg)	15	11	11,5	7
Trek	(Pa)	9,8	9,8	7,0	7,1
T Rookgas	(°C)	328	336	283	285
Houtverbruik	(kg/h)	2,8	2,8	2,0	2,2

Tabel 3.2 Meetresultaten volgens EPA-methode, Houtkachel B.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 2
O <sub>2</sub>	(%)	13,4	13,1	10,8	11,9
CO <sub>2</sub>	(%)	7,5	7,8	10,0	8,9
CO	(%)	0,58	0,50	1,16	0,86
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	4123	6360	59144	25184
G.l.	(-)	7,7	6,4	11,6	9,7
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,67	0,58	0,82	0,73
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	4341	6441	46325	22123
CO	(g/kg)	97	78	119	111
PAK	(µg/kg)	34,7	37,9	189	144
Trek	(Pa)	18,6	18,6	13,5	13,5
T Rookgas	(°C)	314	320	276	271
Houtverbruik (kg/h)		3,6	4,0	3,9	3,4

Tabel 3.3 Meetresultaten volgens praktijkmethode, Houtkachel B.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 1
O <sub>2</sub>	(%)	13,0	14,0	12,8	15,9
CO <sub>2</sub>	(%)	7,9	6,9	8,1	5,0
CO	(%)	0,35	0,23	0,25	0,11
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	8774	2989	5813	2094
G.l.	(-)	4,4	3,3	3,1	2,2
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,38	0,28	0,27	0,19
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	8774	3419	5670	3296
CO	(g/kg)	60	57	41	33
PAK	(µg/kg)	46	28,6	33,3	22,9
Trek	(Pa)	10,4	9,7	10,9	10,1
T Rookgas	(°C)	224	209	230	207
Houtverbruik (kg/h)		2,7	1,8	3,1	2,4

### 3.3 Meetresultaten houtkachel L

De tabellen 3.4 tot en met tabel 3.6 tonen de meetresultaten van de houtkachel L volgens de DIN-methode, de EPA-methode en de praktijkmethode.

Tabel 3.4 Meetresultaten volgens DIN-methode, houtkachel L.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 2
O <sub>2</sub>	(%)	13,2	11,4	13,9	11,0
CO <sub>2</sub>	(%)	7,6	9,5	7,0	9,8
CO	(%)	0,29	0,38	0,38	0,26
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	1998	9685	5049	8339
G.l.	(-)	3,8	4,0	5,4	2,7
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,37	0,30	0,45	0,23
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	2050	8062	5694	6663
CO	(g/kg)	63	38	56	28
PAK	(mg/kg)	17,6	33,6	37,2	17,2
Trek	(Pa)	9,7	10,0	7,7	7,3
T Rookgas	(°C)	193	206	173	194
Houtverbruik	(kg/h)	2,1	2,5	2,0	2,3

Tabel 3.5 Meetresultaten volgens EPA-methode, houtkachel L.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 2
O <sub>2</sub>	(%)	10,8	9,54	12,5	13,1
CO <sub>2</sub>	(%)	10,0	11,3	8,3	7,8
CO	(%)	0,67	1,13	0,85	0,68
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	23044	45690	11625	6226
G.l.	(-)	6,7	10	10,2	8,7
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,52	0,76	0,85	0,71
PAK	(mg/m <sup>3</sup> ind)	18049	31724	10937	6305
CO	(g/kg)	84	133	164	130
PAK	(mg/kg)	112	181	89,9	41,6
Trek	(Pa)	16,8	15,0	9,3	10,0
T Rookgas	(°C)	244	226	146	160
Houtverbruik	(kg/h)	3,8	3,8	1,9	1,8

Tabel 3.6 Meetresultaten volgens praktijkmethode, houtkachel L.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 1
O <sub>2</sub>	(%)	12,1	14,2	11,9	12,3
CO <sub>2</sub>	(%)	8,8	6,7	9,0	8,6
CO	(%)	0,26	0,18	0,62	0,68
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	3337	1933	2392	4164
G.l.	(-)	3,0	2,7	6,9	7,9
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,25	0,27	0,56	0,66
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	2998	2277	2101	3827
CO	(g/kg)	41	43	105	115
PAK	(mg/kg)	19,3	17	19	30
Trek	(Pa)	12,9	12,4	9,3	9,4
T Rookgas	(°C)	213	195	159	151
Houtverbruik	S(kg/h)	2,6	2,4	1,8	1,9

### 3.4 Meetresultaten houtkachel P

De meetresultaten van de houtkachel P volgens de DIN-methode, de EPA-methode en de praktijkmethode, zijn in onderstaande tabellen 3.7 t/m 3.9 weergegeven.

Tabel 3.7 Meetresultaten volgens DIN-methode, houtkachel P.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 1
O <sub>2</sub>	(%)	13,2	12,8	13,3	12,8
CO <sub>2</sub>	(%)	7,7	8,1	7,6	8,1
CO	(%)	0,15	0,13	0,36	0,35
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	3187	2262	3749	9038
G.l.	(-)	1,9	1,6	4,7	4,3
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,19	0,13	0,45	0,42
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	3269	2206	3896	8816
CO	(g/kg)	23	15	43	43
PAK	(mg/kg)	5	9	16	35
Trek	(Pa)	9,9	10,1	7,0	7
T Rookgas	(°C)	194	196	153	171
Houtverbruik	(kg/h)	2,0	2,3	1,7	1,8

Tabel 3.8 Meetresultaten volgens EPA-methode, houtkachel P.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 1
O <sub>2</sub>	(%)	13,2	13,1	13,5	12,6
CO <sub>2</sub>	(%)	7,7	7,8	7,4	8,3
CO	(%)	0,19	0,18	0,29	0,55
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	3586	3323	5317	16464
G.l.	(-)	2,5	2,3	3,9	6,6
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,24	0,20	0,37	0,52
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	3679	3365	5674	15675
CO	(g/kg)	36	34	50	82
PAK	(mg/kg)	29	33	37	98
Trek	(Pa)	14,9	14,8	14,2	9,6
T Rookgas	(°C)	226	224	209	195
Houtverbruik	(kg/h)	2,6	2,6	2,6	2,5

Tabel 3.9 Meetresultaten volgens praktijkmethode, houtkachel P.

Component		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		Cyclus 1	Cyclus 2	Cyclus 1	Cyclus 2
O <sub>2</sub>	(%)	13,5	13,5	14,0	14,1
CO <sub>2</sub>	(%)	7,4	7,4	6,9	6,8
CO	(%)	0,11	0,13	0,23	0,22
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	2506	2113	1062	1937
G.l.	(-)	1,5	1,8	3,3	3,2
Bij 13% O <sub>2</sub>					
CO	(%)	0,13	0,14	0,31	0,30
PAK	(µg/m <sup>3</sup> ind)	2674	2255	1215	2248
CO	(g/kg)	19	23	48	40
PAK	(mg/kg)	11	9,5	10	18
Trek	(Pa)	13,5	13,2	10,6	12,3
T Rookgas	(°C)	201	197	164	189
Houtverbruik	(kg/h)	2,5	2,3	1,6	2,0

## **4. Evaluatie**

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het gehele onderzoek (fase 1 en fase 2) geëvalueerd. Hierbij wordt onderscheiden:

- evaluatie van het praktijkonderzoek (fase 2);
- invloed praktijkonderzoek op het effect van het besluit, zoals in fase 1 is aangegeven.

### **4.1 Evaluatie van het praktijkonderzoek**

#### **4.1.1 Algemeen**

Het doel van het praktijkonderzoek is om het effect van het besluit op de PAK-emissies in Nederland nauwkeuriger te kunnen vaststellen, dan met het literatuuronderzoek (fase 1) mogelijk was. Daarom wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de relatie tussen CO en PAK en een aantal factoren, die deze relatie beïnvloeden.

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de meest relevante resultaten van de verbrandingsexperimenten.

Tabel 4.1 Samenvatting resultaten per kachel en per testmethode.

Test-methode	Belasting [kW]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [g/kg]	CO [%] 13% O <sub>2</sub>	PAK [mg/kg]	T. sch.steen [°C]	X [-]	G.I. [-]
<b>(hout-kachel B)</b>								
DIN	11,7	6,9	50,6	0,33	15,1	328	3	3,91
	11,7	6,9	58,2	0,35	11	336	3	3,91
	8,3	6	37,9	0,27	11,5	283	3,5	3,33
	9,2	6,6	43,4	0,26	7	285	3,1	2,88
Praktijk	11,25	7,9	60	0,38	46	224	2,6	4,43
	7,5	6,9	57	0,28	28,6	209	3	3,33
	12,9	8,1	40,7	0,27	33,3	230	2,6	3,09
	10,4	5	33	0,19	22,9	207	4,2	2,2
EPA	15	7,5	96,9	0,67	34,7	314	2,8	7,73
	16,7	7,8	78,2	0,58	37,9	320	2,7	6,41
	16,25	10	119,1	0,82	189	276	2,1	11,6
	15,5	8,9	110,8	0,73	144	271	2,3	9,7
<b>(hout-kachel L)</b>								
DIN	8,7	7,6	63	0,37	17,6	192	2,7	3,82
	10,4	9,5	38,4	0,3	33,6	206	2,2	4
	8,3	7	55,7	0,45	37,2	173	3	5,43
	9,3	9,8	28,2	0,23	17,2	194	2,1	2,65
Praktijk	10,8	8,8	41	0,25	19,3	213	2,4	2,95
	10	6,7	42,9	0,27	16,8	195	3,1	2,69
	7,5	9	105,4	0,56	18,9	159	2,3	6,89
	7,9	8,6	115,2	0,66	30	151	2,4	7,91
EPA	15,8	10	83,6	0,52	112	244	2,1	6,7
	15,8	11,3	133,4	0,76	181	226	1,8	10
	7,9	8,3	164	0,85	89,9	146	2,5	10,2
	7,5	7,8	130	0,71	41,6	160	2,7	8,72
<b>(hout-kachel P)</b>								
DIN	8,3	7,7	2,9	0,19	4,7	194	2,7	1,95
	9,6	8,1	14,5	0,13	9,1	196	2,6	1,6
	7,1	7,6	43	0,45	16	153	2,7	4,74
	7,5	8,1	43	0,42	34,8	171	2,6	4,32
Praktijk	10,4	7,4	19	0,13	11	201	2,8	1,49
	9,6	7,4	23	0,14	9,5	197	2,8	1,76
	6,7	6,9	48	0,31	10,4	164	3	3,33
	8,3	6,8	40	0,30	17,9	189	3	3,24
EPA	10,8	7,7	36	0,24	29,11	226	2,7	2,47
	10,8	7,8	34	0,20	33,1	224	2,7	2,31
	10,8	7,4	50	0,37	37,3	209	2,8	3,92
	10,4	8,3	82	0,52	97,9	195	2,5	6,63

Uit tabel 4.1 blijkt reeds dat de CO- en PAK-emissies in belangrijke mate worden beïnvloed door het type verbrandingstoestel en de toegepaste testmethode. In de volgende hoofdstukken wordt hier verder op ingegaan.



#### 4.1.2 Verbrandingskwaliteit van de onderzochte kachels

##### *CO/Giftigheidsindex*

Zowel het CO-gehalte in de rookgassen als de giftigheidsindex (G.I.) zijn een maat voor de volledigheid van de verbranding. Een hoog CO-gehalte (en dus een hoge giftigheidsindex) is het gevolg van een slechte uitbrand van de ontstane verbrandingsgassen. In tabel 4.2 is de G.I. en de CO-concentratie van de onderzochte kachels per testmethode weergegeven.

Tabel 4.2 *Samenvatting giftigheidsindex en CO-concentratie per kachel en per testmethode.*

Test-methode	Houtkachel B		Houtkachel L		Houtkachel P	
	G.I. [-]	CO [g/kg]	G.I. [-]	CO [g/kg]	G.I. [-]	CO [g/kg]
DIN	2,9 - 3,9	43 - 51	2,7 - 5,4	28 - 63	1,6-4,7	15-43
Praktijk	2,2 - 4,4	33 - 60	2,7 - 7,9	41 - 115	1,5-3,2	19-48
EPA	6,4-11,6	97 - 111	6,7-10,2	84 - 164	2,3-6,6	34-82

Uit de tabel blijkt dat de beste verbrandingskwaliteit wordt verkregen met houtkachel P. De G.I. van deze kachel ligt, afhankelijk van de toegepaste testmethode, tussen de 1,6 en 6,6 en de CO-concentratie tussen de 15-82 g/kg. De giftigheidsindices van de houtkachel B en houtkachel L zijn hoger (2,7 tot 11,6 met CO-concentraties van 43-164 g/kg).

De verbrandingskwaliteiten van de houtkachels B en L liggen ongeveer op het zelfde niveau, zoals blijkt uit de G.I. en CO-concentraties.

Ook blijkt dat de G.I. bij de EPA-testmethode bij alle kachels hoger is dan die van de andere methoden. Hier wordt in het volgende hoofdstuk (4.1.3) verder op in gegaan.

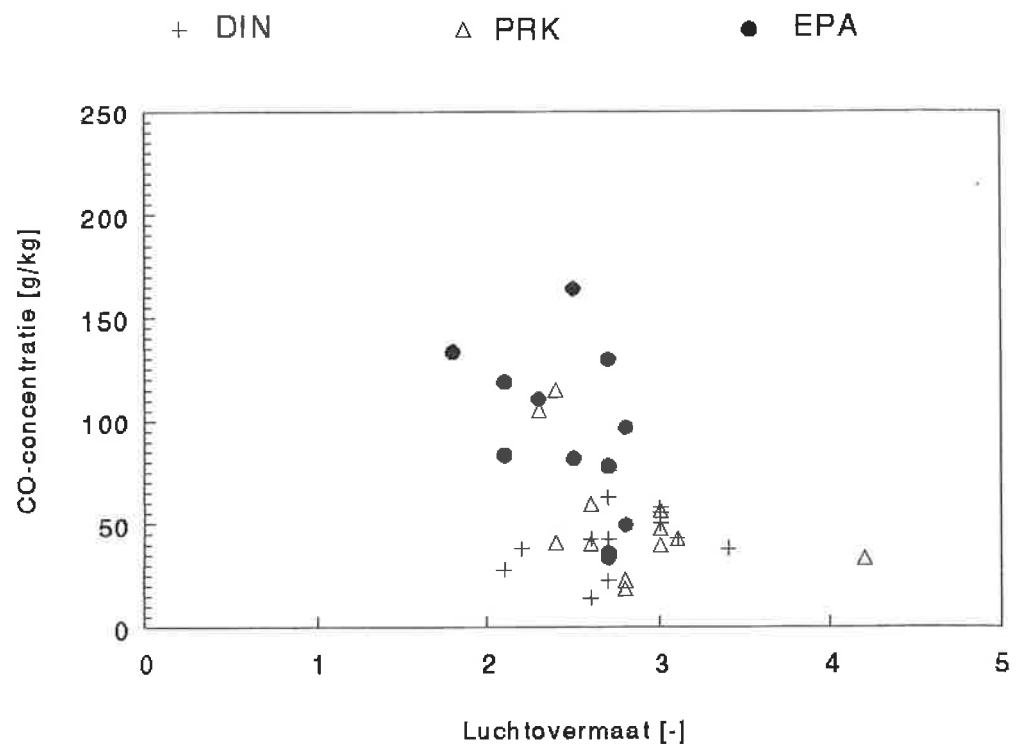
#### 4.1.3 Invloed van de testmethode op de emissies

Bij een vergelijk van de drie toegepaste testmethoden blijkt uit tabel 4.1 dat met de EPA-testmethode met elke kachel een hogere CO-emissie wordt bereikt dan met de DIN- en de Praktijkmethode. Deze hogere emissies bij de EPA-testmethode zijn voornamelijk te wijten aan de wijze van brandstofstapeling. Bij de DIN-methode wordt de brandstof belading begrensd door het stookoppervlak. Bij de EPA-methode wordt een roosterbelasting van 400 MJ/m<sup>2</sup> stookoppervlak vereist en worden de brandstofblokken met zogenaamde spacers, volgens een voorgeschreven stapeling, aan elkaar vastgemaakt en als één brandstofpakket aan de verbrandingsruimte toegevoerd. Door de wijze van brandstofsamenstelling/belading wordt een aanzienlijk deel van de verbrandings- en uitbrandruimte ingenomen door de houtblokken met als gevolg een minder goede verbranding (kortere verblijftijd, hogere vuurhaardbelasting) en hogere emissies.

Een mogelijk andere reden van de hoge emissie bij de EPA-methode zou de lucht-overmaat kunnen zijn.

De lucht overmaat is de lucht, die extra wordt toegevoegd, boven de theoretisch benodigde hoeveelheid verbrandingslucht, benodigd voor de volledige verbranding van de houtblokken.

In figuur 4.1 is de CO-emissie versus de luchtvermaat uitgezet van alle uitgevoerde testen. Er blijkt bij de onderzocht testmethoden, bij een luchtvermaat groter dan 2, geen verband te bestaan tussen de CO-concentratie en luchtvermaat.



Figuur 4.1 CO-concentratie versus luchtvermaat.

#### 4.1.4 Technische kenmerken die de emissie beïnvloeden

Zoals uit de voorgaande hoofdstukken is gebleken, beschikt houtkachel P over goede verbrandingseigenschappen. In het hiernavolgende wordt omschreven welke kenmerken bij deze kachel mogelijk tot een goede verbrandingskwaliteit hebben bijgedragen. De volgende punten zijn hierbij te onderscheiden:

- de constructie van de verbrandingskamer;
- de toevoer van de verbrandingslucht;
- de regeling van de verbrandingslucht.

#### *De constructie van de verbrandingskamer*

Opvallend aspect bij de constructie van de vuurhaard is de toegepaste vuurhaardbekleding. In plaats van vuurvaste steen is bij houtkachel P gebruikt gemaakt van vermiculite blokken met een dichtheid van  $600 \text{ kg/m}^3$ . Deze dichtheid garandeert een hoge stootvastheid. Temperaturen tot  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  zijn met dit materiaal toelaatbaar. Vermiculite heeft betere isolerende eigenschappen dan vuurvaste steen en heeft bovendien een kleine warmtecapaciteit waardoor de vuurhaardtemperatuur snel bereikt wordt.

#### *De toevoer van verbrandingslucht*

Houtkachel P is voorzien van een primaire en secundaire toevoer van verbrandingslucht. Voorts wordt ruitbeluchting toegepast. De wijze waarop de secundaire verbrandingslucht binnenkomt is bij deze kachel bijzonder. In tegenstelling tot de meeste kachels komt de secundaire verbrandingslucht van houtkachel P via de dubbele achterwand van de kachel de verbrandingskamer binnen op een hoogte van ca. 15 cm boven het rooster. Door deze constructie wordt de secundaire verbrandingslucht voorverwarmd. De uitstroomopeningen in de vuurhaard zijn ovaal in plaats van rond. Deze techniek wordt met name ook bij kolenkachels [6] toegepast. Het effect van deze constructie op de instroming van verse lucht en voorverwarming daarvan is dat de secundaire verbrandingslucht zich beter met de uit het hout ontsnapte (pyrolyse) gassen kan mengen.

#### *De regeling van de verbrandingslucht*

Houtkachel P is voorzien van een gekoppeld primair- en secundair-luchtsysteem waardoor een getrapte verbranding min of meer wordt bereikt. Bij de start staat de primaire luchtklep geheel open. Nadat een deel van de houtblokken goed heeft vlam gevat wordt de primaire luchtklep automatisch gesloten en de secundaire-luchtklep geopend. Door een ondermaat aan primaire lucht wordt het hout eerst ontgast om vervolgens met een overmaat aan secundaire lucht verbrand te worden.

De koppeling van de primaire en secundaire lucht wordt verkregen via een stangenstelsel dat is verbonden aan een in de rookgassen geplaatst bi-metaal.

Dit systeem wordt, zover bekend, nog niet bij andere kachels toegepast. Wel kan gesteld worden dat hetzelfde effect min of meer bereikt wordt bij het stoken op een vlakke vloer. Door de afwezigheid van primaire-verbrandingslucht vindt in eerste instantie ook hier ontgassing van de brandstof plaats waarna de hieruit ontstane gassen verder worden verbrand. De kans op hogere emissies in de beginfase door een gebrek aan verbrandingslucht is hoger. Het systeem (vlakke vloer) is uiteraard goedkoper.

### **4.1.5 Verband tussen CO-en PAK-emissies**

Voor de drie onderzochte kachels is per testmethode bij twee vermogens de PAK-emissie in duplo bepaald. De resultaten zijn te zamen met de gemiddelde CO-concentraties weergegeven in tabel 4.1.

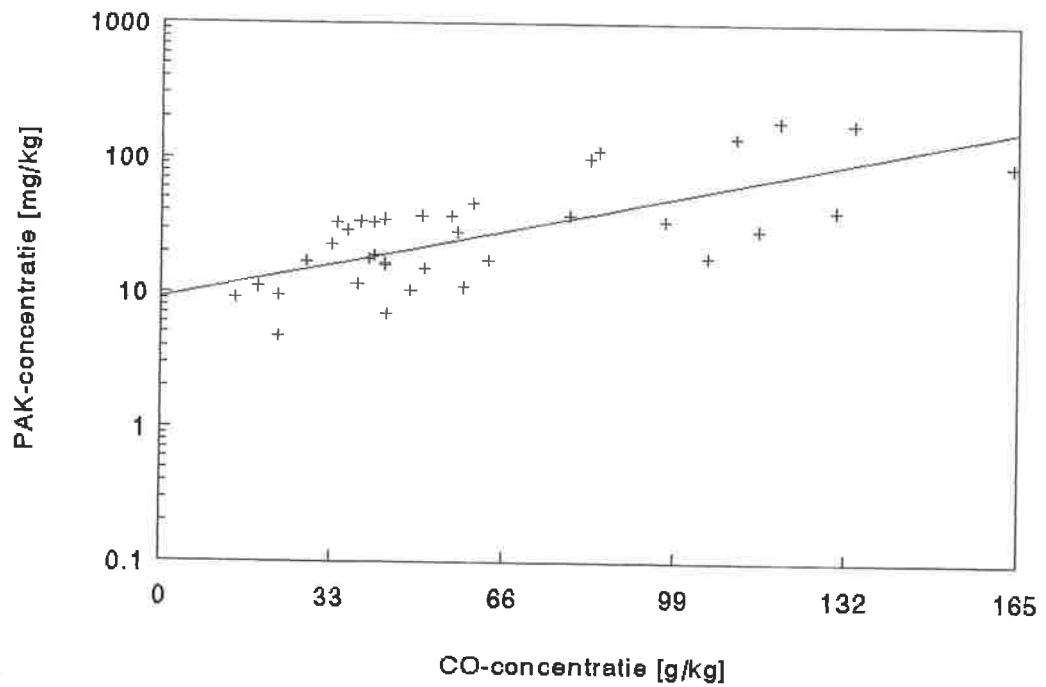
De resultaten van de CO-en PAK-emissies uit tabel 4.1 zijn grafisch weergegeven in figuur 4.2 waarbij de PAK-emissies zijn uitgezet in een logaritmische schaal. De figuur heeft betrekking op alle metingen aan de drie geselecteerde kachels, dus ongeacht de testmethode. Uit de tabel blijkt dat bij de drie onderzochte kachels bij een toename van de CO-emissies ook de VROM-PAK-emissies toe te nemen. Dit bevestigt de algemene verwachting, die ook in de literatuur werd gevonden.

Van de zogenaamde 10-VROM PAK behoort Benzo(a)pyreen (BaP) tot een van de belangrijke gidsstoffen vanwege zijn verdacht carcinogene effect op de mens. Bij veel metingen wordt bovendien BaP gebruikt als maat voor de totale PAK-emissie.

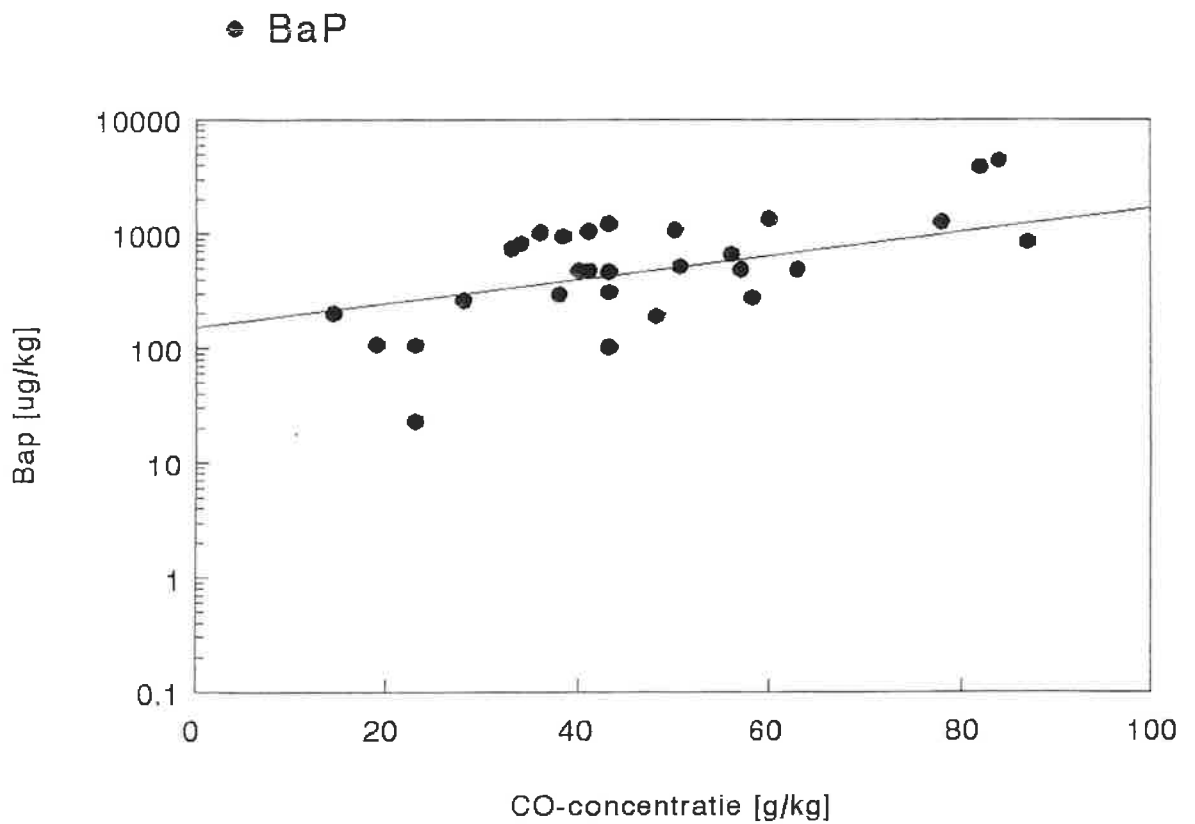
Figuur 4.3 toont de relatie CO met BaP. Uit de figuur blijkt dat bij toename van de CO-emissie ook de concentratie van BaP stijgt. In totaal werden 36 rookgasmonsters verzameld en geanalyseerd op VROM-PAK. Hierbij werd tevens het aandeel BaP vastgesteld. Het gemiddelde aandeel BaP van VROM-PAK bedroeg 2,65% met standaard deviatie 0,93.

Tabel 4.3 BaP-aandeel van de VROM-PAK-emissie.

Gem. % aandeel BaP van de VROM-PAK (n = 36)	2.65
Afwijking:	
minimum	0.5
maximum	4.3
Standaard afwijking	0.93
Standaard fout	0.15



Figuur 4.2 Relatie CO/PAK, bij alle testen aan de onderzochte drie kachels.



Figuur 4.3 Relatie CO/BaP-emissie, bij alle testen aan de onderzochte kachels.

#### 4.1.6 Gemiddelde representatieve CO-en PAK-emissies

In tabel 4.4 zijn de gemiddelde waarden van PAK en CO-emissies weergegeven, zoals die van de in Nederland verkrijgbare houtkachels ingeschat kunnen worden. De gemiddelde waarden zijn ontleend aan de in dit onderzoek uitgevoerde testen met de drie representatieve houtkachels volgens de DIN-methode en de praktijkmethode.

Tabel 4.4 Gemiddelde waarden van CO-en PAK-emissies bij DIN- en praktijkmethode.

Houtkachel	CO [%]	CO [g/kg]	PAK [mg/kg]
B	0,32	47,6	21,9
P	0,21	31,7	14,2
L	0,41	61,2	23,8
Totaal gemiddeld	0,31	46,8	20,0

#### 4.2 Effect besluit op PAK-emissies

In fase 1 van het onderzoek is op basis van literatuurgegevens globaal nagegaan wat de invloed is van de invoering van het besluit op de toekomstige PAK-emissies van houtkachels. Hiervan is een separaat rapport uitgebracht, dat als bijlage A is opgenomen in dit rapport. De berekeningsmethode voor de PAK-emissies in Nederland, die in dit rapport wordt gehanteerd, wordt in dit hoofdstuk kort samengevat, waarna wordt ingegaan op de invloed van het praktijkonderzoek en op de resultaten daarvan.

In fase 1 werden bij het verzamelen van de resultaten van PAK-emissiemetingen van houtkachels de volgende aspecten gesignaleerd:

- de condities waaronder de PAK-metingen hebben plaatsgevonden (testmethode), werden vaak niet vermeld;
- de PAK-reeks werd niet altijd vermeld.

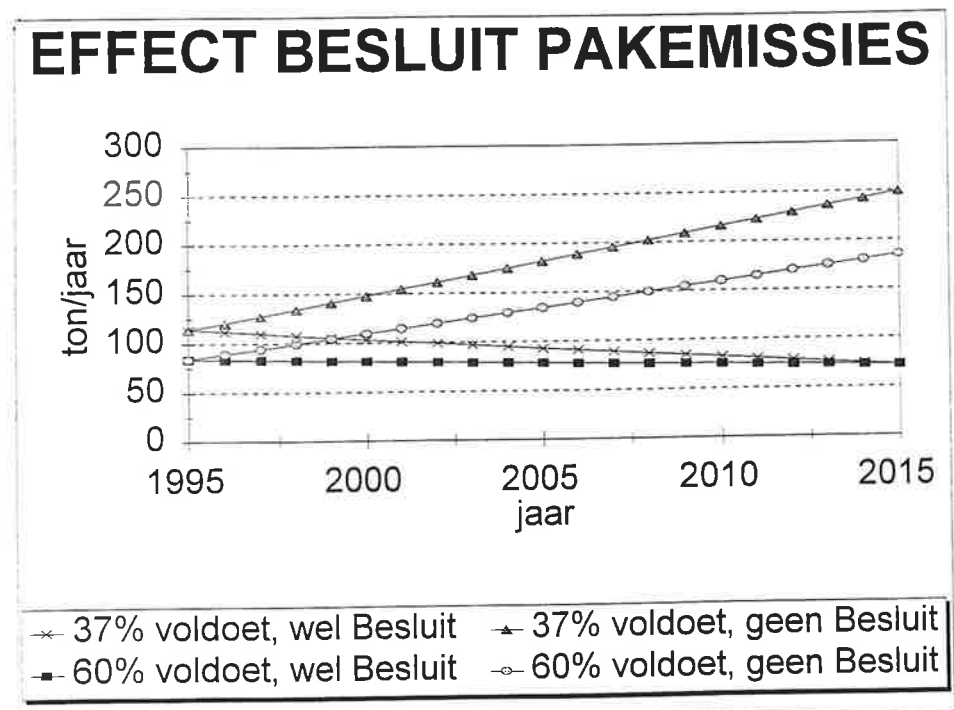
In totaal zijn de resultaten van ca. 250 CO- en 56 PAK-metingen verzameld van verschillende bronnen verspreid over veel landen van de wereld. Met deze getallen zijn in fase 1 berekeningen gemaakt voor de toekomstige PAK-emissies in Nederland op basis van een aantal aannames. Deze aannames zijn:

- Het bestand aan kachels en inzethaarden in Nederland bedraagt eind 1995 502000 exemplaren.
- De gemiddelde VROM-PAK-emissie bedraagt 34 mg/kg hout voor kachels en inzet haarden, die minder dan 60 g CO/kg hout emitteren.
- De gemiddelde VROM-PAK-emissie bedraagt 167 mg/kg hout voor kachels en inzet haarden, die meer dan 60 g CO/kg hout emitteren.
- Het gemiddeld houtverbruik per kachel bedraagt 1925 kg per jaar.

- De gemiddelde levensduur van een houtkachel in Nederland bedraagt 20 jaar. Dit betekent dat gemiddeld jaarlijks 5% van het Nederlandse kachelbestand wordt vervangen door een kachel, die behoort tot een goedgekeurd type. Bij een aangenomen bestand van 502000 kachels zijn dit gemiddeld 25100 kachels per jaar.
- De autonome groei van het kachelbestand in Nederland is 30.000 stuks per jaar. Deze behoren dus ook tot een goedgekeurd type.

Omdat niet met zekerheid bekend is hoeveel kachels van het Nederlandse kachelbestand voldoen aan een goedgekeurd type, zijn in fase 1 twee berekeningen uitgevoerd. Bij de ene berekening is er van uit gegaan, dat 37% van het Nederlandse kachelbestand voldoet en bij de andere berekening 60%.

In figuur 4.4 zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven.



*Figuur 4.4 Prognose van de Jaarlijkse VROM-PAK-emissies tot het jaar 2015, op basis van literatuur onderzoek, fase 1.*

De grafiek van figuur 4.4 geeft de PAK-emissies van houtkachels in Nederland weer in ton per jaar over 1995 tot 2015 uitgaande van 4 verschillende situaties (een lijn per situatie) te weten:

- lijn 1: PAK-emissies, indien 37% van het houtkachelbestand in 1995 behoort tot een goedgekeurd type, en het Besluit wordt ingevoerd.
- lijn 2: idem als lijn 1, maar indien het Besluit niet zou worden ingevoerd.
- lijn 3: PAK-emissies, indien 60% van het houtkachelbestand in 1995 behoort aan een goedgekeurd type, en het Besluit wordt ingevoerd.

lijn 4: idem als lijn 3, maar indien het Besluit niet zou worden ingevoerd.

Uit figuur 4.4 zijn de volgende conclusies te trekken:

- Volgens de berekeningen uit literatuurstudie bedraagt in 1995 de PAK-emissie in Nederland afkomstig van de houtkachels en inzethaarden ca. 100 ton.
- Op grond van bovenbeschreven aannames zal bij invoering van het Besluit naar verwachting een geringe afname van de PAK-emissies plaatsvinden over de komende 20 jaar.
- Zonder invoering van het Besluit jaar zal een duidelijke toename plaatsvinden over de komende 20 jaar.

De uitvoering van het praktijkonderzoek (fase 2) heeft geleid tot een nauwkeuriger prognose van de PAK-emissies van de goedgekeurde kachels. Daartoe is dezelfde berekening opnieuw uitgevoerd, echter nu met een aantal nauwkeuriger aannames. Hieronder worden de aannames beschreven, onderverdeeld in aannames voor kachels, die aan het typekeur voldoen en aannames voor de houtkachels, die niet aan het typekeur voldoen.

*PAK-emissies van houtkachels, die behoren tot een goedgekeurd type:*

Naar schatting zal de PAK-emissie gemiddeld 20 mg/kg hout bedragen (zie tabel 4.4). Dit is een gemiddelde waarde van resultaten van het testen van de drie kachels volgens de DIN en praktijkmethode. De EPA-methode wijkt immers te veel af, zie hoofdstuk 4.1.3.

*PAK-emissies van houtkachels, die niet behoren tot een goedgekeurd type:*

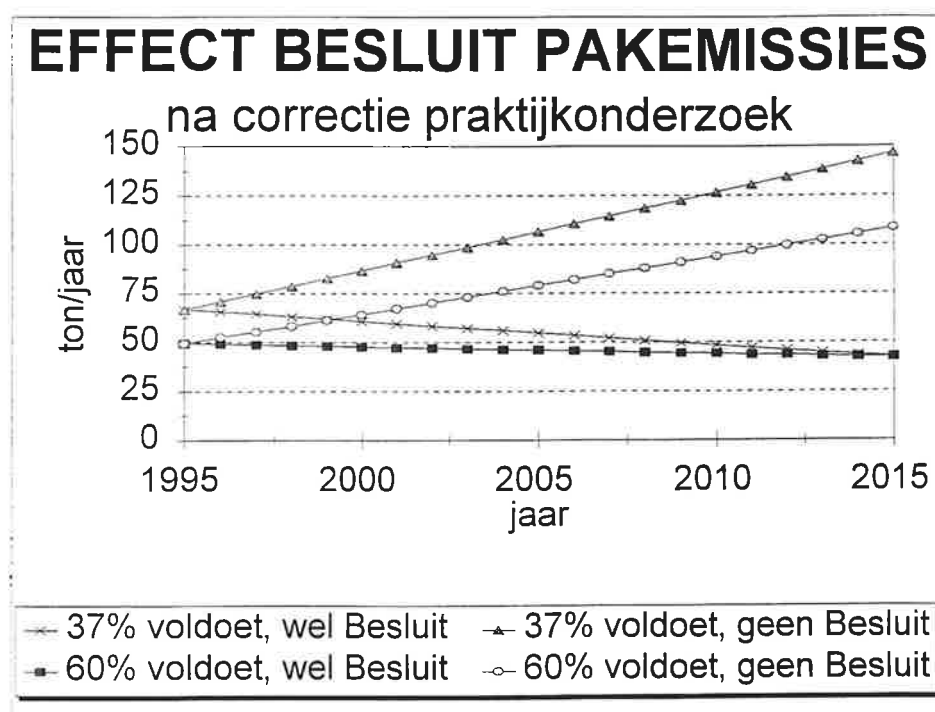
Voor de kachels, die voldoen aan het typekeur is in de literatuurstudie van een berekende PAK-waarde uitgegaan van gemiddeld 34 mg/kg hout, waarbij de toegepaste testmethoden meestal onbekend zijn.

De metingen van fase 2 geven voor de DIN en praktijkmethode een gemiddelde PAK-emissie van 20 mg/kg hout voor de kachels, die aan het typekeur voldoen. De verhouding van deze twee getallen kan gezien worden als een maat voor het verschil in testmethode en kan beschouwd worden als correctiefactor. Wordt deze correctiefactor voor de testmethode ook toegepast op de PAK-emissies van de houtkachels, die niet behoren tot een goedgekeurd type (167 mg/kg), dan wordt de PAK-emissie voor deze kachels  $20/34 * 167 = 98,1$  mg/kg hout.

In figuur 4.5 is opnieuw een prognose gemaakt van de jaarlijkse PAK-emissies, maar nu uitgaande van 20 mg PAK/kg hout voor de kachels die behoren tot een goedgekeurd type en 98,1 mg PAK/kg hout voor de kachels die daartoe niet behoren. Uit figuur 4.5 zijn de dezelfde conclusies te trekken als vermeld bij figuur 4.4, met dien verstande dat de PAK-emissie in Nederland in 1995 afkomstig van de houtkachels en inzethaarden 50 tot 65 ton bedragen in plaats van ca. 100 ton.



In hoofdstuk 4.1.5 is aangetoond dat ook een relatie bestaat tussen de emissie van CO-en BaP-emissie (figuur 4.3). Van de totale VROM-PAK-emissie maakt BaP ca. 2,65% uit. Op basis hiervan en de uitgangspunten in dit rapport zal de BaP-emissie zonder invoering van het Besluit naar schatting toenemen tot 3,5 ton. Met invoering van het Besluit zal de BaP-emissie afnemen tot ca. 1 ton.



Figuur 4.5 Prognose van de Jaarlijkse VROM-PAK-emissies tot het jaar 2015, na correctie met de resultaten van het praktijkonderzoek, fase 2.

## 5. Conclusies en aanbevelingen

### Conclusies uit het praktijkonderzoek

Naar aanleiding van de resultaten van het praktijkonderzoek zijn de volgende conclusies te trekken:

De toegepaste testmethode heeft grote invloed op de CO- en PAK-emissies;

- De EPA-methode geeft hogere CO- en PAK-emissies dan de DIN- en praktijkmethode.
- De resultaten van de CO- en PAK-metingen van de DIN- en praktijkmethode komen goed met elkaar overeen, derhalve kan de DIN-testmethode beschouwd worden als de meest representatieve testmethode voor praktijkomstandigheden.

De toegepaste verbrandingstechniek heeft grote invloed op de PAK- en CO-emissies;

- Van de drie onderzocht kachels, blijkt houtkachel P de beste verbrandingskwaliteit te leveren vanwege de toegepaste techniek. De giftigheidsindex van de kachel varieert, afhankelijk van de toegepaste testmethode, tussen de 1,6 en 6,6. De CO-concentratie varieert tussen de 15-82 g/kg.
- De houtkachels B en L leveren globaal dezelfde verbrandingskwaliteit. Dit betekent dat een kachelconstructie met vlakke vloer voor wat betreft de emissies gelijkwaardig is met een kachel voorzien van een roosterconstructie. De giftigheidsindices liggen afhankelijk van de toegepaste testmethode tussen de 2,9 en 11,6. Dit komt overeen met CO-concentraties die variëren tussen 43 en 164 g/kg.

Bij 'goedgekeurde' kachels bestaat een logaritmisch verband tussen CO en VROM-PAK, waarbij de PAK-emissies toenemen bij een toename van de CO-emissies. Het gemiddeld VROM-PAK-gehalte gemeten bij de DIN en praktijkmethode bedraagt 20 mg/kg hout en de gemiddelde CO-emissie 0,31 (vol)% of 46,8 g/kg hout.

Uitsplitsing van de VROM-PAK laat zien dat er eveneens een logaritmisch verband bestaat tussen CO-en Benzo(a)Pyreen (BaP). Het BaP-aandeel is berekend op gemiddeld 2,65% van de VROM-PAK-emissie (s.d. 0,93).

### Effecten van het besluit op PAK-emissies

Naar aanleiding van de berekeningen van de PAK-emissies met aannames, zoals in dit rapport is beschreven, zijn de volgende conclusies te trekken:

Naar schatting bedragen in 1995 de jaaremissies in Nederland aan VROM-PAK, afkomstig van houtkachels en inzethaarden 50 tot 65 ton.

Deze jaarlijkse PAK-emissies zullen zonder invoering van het Besluit naar schatting in het jaar 2015 zijn toegenomen tot 110 a 150 ton. Het BaP-aandeel tot ca. 3,5 ton/jr.

De jaarlijkse PAK-emissies zullen na invoer van het Besluit in 1996 naar schatting in het jaar 2015 zijn afgenomen tot ca. 40 ton. De BaP-emissie zal afnemen tot ca. 1 ton/jr.

Invoering van het Besluit zal ook ontwikkelingen stimuleren om kachels te bouwen met geringere emissies. Enkele ontwikkelingen hebben reeds plaats gevonden blijkens het ontwerp van houtkachel P. Indien kachels met deze technieken in het huidige kachelbestand meer zullen penetreren dan in de berekeningen is aangenomen, zal dit tot een extra verlaging van de berekende PAK-emissies leiden.

Enkele van deze ontwikkelingen zijn:

- het toepassen van geïsoleerde vuurhaardwanden;
- het toepassen van verbeterde (voorverwarmde) secundaire-luchtoevoersystemen;
- het toepassen van automatische gekoppelde primaire- en secundaire-luchtreelingen.

### **Aanbevelingen**

Aanbevolen wordt om het effect van het Besluit te monitoren. Dit kan plaatsvinden door tijdens de uit te voeren typekeurmetingen van een houtkachels ook de PAK-emissies vast te stellen en te relateren aan de ontwikkelingen in de verkoopcijfers van houtkachels en inzethaarden. Met deze gegevens kan een bestand worden aangelegd, dat kan dienen als basis voor:

- berekeningen van PAK- en CO-emissies per kachel;
- het verkrijgen van meer inzicht in de technische aspecten, die de CO- en PAK-emissies beïnvloeden;
- een nauwkeuriger bepaling van de jaarlijkse PAK en CO-emissies in Nederland, afkomstig van houtkachels en inzethaarden;
- het toetsen van de Nederlandse PAK-emissies aan de doelstellingen van VROM.

Tevens wordt aanbevolen om de ontwikkeling van nieuwe technologieën ter vermindering van PAK-emissies te stimuleren.

## 6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Ministerie van VROM, DGM

Directie Industrie, Bouw, Produkten en Consumenten/650

Mr. S.W. Josephus Jitta

Postbus 30950

2500 GX Den Haag

Namen en functies van de projectmedewerkers

W.F. Sulilatu - Research medewerker

Ing. W.F.M. Hesseling - Research medewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

.....

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

augustus 1995 - juli 1996

Ondertekening



W.F. Sulilatu  
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. J. de Koning  
afdelingshoofd

## **Bijlage 1      Meetmethoden fase 2**

- 1.1 Continu registrerende metingen
- 1.2 Meetmethode PAK
- 1.3 Monsterneming- en analysemethoden (kwaliteitsborging)

## 1.1 Continu registrerende metingen fase 2

De rookgassen werden simultaan bemonsterd in zowel het schoorsteenkanaal als in de verdunningstunnel. De bemonsterde rookgassen werden via een verwarmd kwartswolfilter (voor afvangst stof- en roetdeeltjes) en een rookgaskoeler (voor het drogen van de rookgassen) naar de meetinstrumenten geleid. De onderstaande continu registrerende meetapparatuur is tijdens het onderzoek gebruikt:

### *Schoorsteenkanaal*

- koolmonoxide (CO) Rosemount BINOS, type 100; infraroodabsorptie;  
0 - 10 vol%
- kooldioxyde (CO<sub>2</sub>) Rosemount BINOS, type 100; infraroodabsorptie;  
0 - 25 vol%
- schoorsteentrek Statische drukmeting met behulp van drukopnemer  
0 - 125 Pa
- rookgastemperatuur Chromel alumel thermokoppel, type K

### *Verdunningstunnel*

- koolmonoxide (CO) Rosemount BINOS, type 100; infraroodabsorptie;  
0 - 1 vol%
- kooldioxyde (CO<sub>2</sub>) Rosemount BINOS, type 100; infraroodabsorptie;  
0 - 5 vol%
- rookgasdebiet Pitotbuis volgens Prandtl
- rookgastemperatuur Chromel alumel thermokoppel, type K

De continu registrerende meetapparatuur is verbonden met een data-acquisitie systeem bestaande uit een YEW data-acquisitie eenheid en een HP 486/33 PC, voorzien van de benodigde verwerkingssoftware. Iedere 30 seconden vindt registratie en opslag van meetgegevens plaats.

## 1.2 PAK

De rookgassen werden vanuit de verdunningstunnel bemonsterd met behulp van een Ströhlein verdunningssysteem, dat schematisch is weergegeven in figuur 1.1. Het principe berust op het afkoelen van een deelstroom rookgassen door verdunning met gedroogde en gefilterde lucht. Hierbij condenseert de meeste aanwezige PAK en wordt vervolgens te zamen met de in de rookgassen aanwezige stofdeeltjes afgevangen op een absoluut filter.

De rookgassen worden met een elektrisch verwarmde monsternemingleiding van titaan, zoveel mogelijk isokinetisch volgens ISO/DIS 9096, uit het rookgaskanaal aangezogen. De verdunningslucht wordt aangezogen via een luchtbehandelingskast, waarin de lucht met behulp van silicagel wordt gedroogd. De hoeveelheid verdunningslucht wordt bepaald met een Vortex volumestroommeter en kan met een regelklep worden ingesteld.

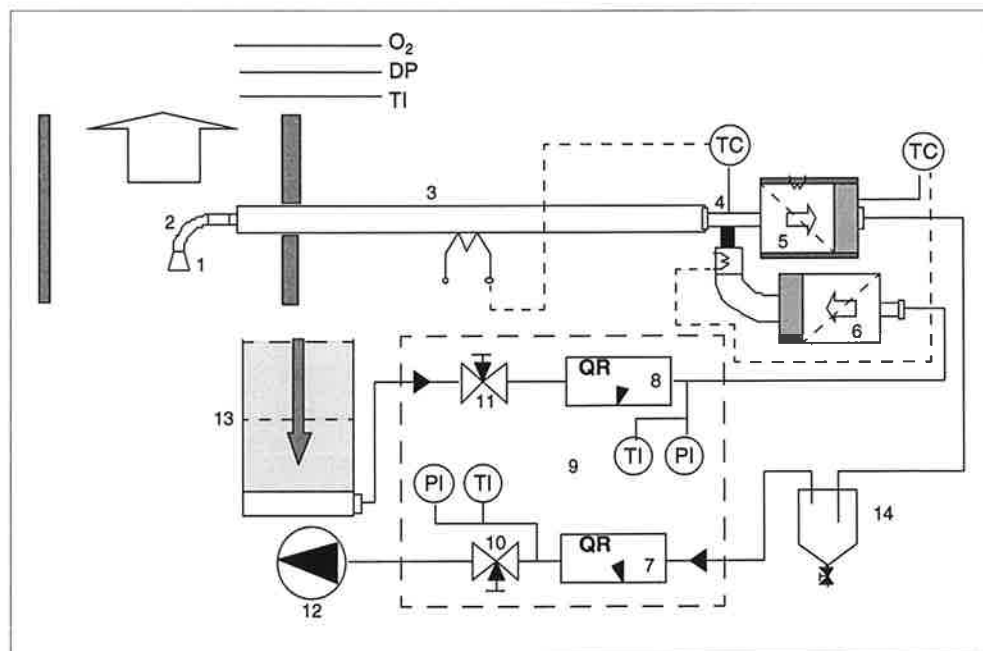
In een speciaal menggedeelte wordt de verdunningslucht, nadat dit door een absoluut filter is geleid, met de afgezogen rookgassen turbulent gemengd. De menging vindt zodanig plaats, dat de temperatuur van het mengsel tijdens de monsterneming onder de 40 °C blijft. Bij deze temperatuur is het grootste gedeelte van de PAK aan de stofdeeltjes gebonden. Door deze wijze van afkoelen kan worden voorkomen dat het dauwpunt van de rookgassen wordt onderschreden.

Het mengsel passeert daarna een absoluut hoedfilter, waarop de stofdeeltjes worden afgevangen. Vervolgens doorloopt het rookgas/lucht mengsel een poly-urethaan schuim patroon waarop de nog in de gasvorm aanwezige PAK wordt afgevangen. Tenslotte passeert het mengsel de afzuigventilator.

De bemonsterde filters worden als volgt in het analytisch-chemisch laboratorium opgewerkt:

- extractie door middel van Soxhlet-extractie met toluen;
- indampen van het extract met behulp van een roteerverdamper en droogblazen met stikstof;
- opnemen in een hoeveelheid aceton/methanol (1:1).

De opgewerkte extracten worden geanalyseerd op de PAK's van de EPA lijst. Analyse vindt plaats met behulp van Reversed Phase HPLC met fluorescentiedetectie. Concentraties worden bepaald aan de hand van een externe standaardmix. Met deze methode worden de componenten vanaf fenantreen bepaald. De vier componenten naftaleen tot en met fluoreen (vluchtige PAK's) worden in hetzelfde extract met behulp van gaschromatografie bepaald.



Figuur 1.1 Schematische weergave PAK monsternemingset.

- 1 afzuignozzle
- 2 bochtstuk
- 3 verwarmde monsternemingssonde
- 4 mengedeelte
- 5 Hoedfilter-PUF combinatie
- 6 verdunningsluchtfilter
- 7 flow computer lucht-rookgas mengsel
- 8 flow computer verdunningslucht
- 9 regelsysteem
- 10 regelklep lucht-rookgas mengsel
- 11 regelklep verdunningslucht
- 12 ventilator
- 13 luchtbehandeling
- 14 gekoeld condensvat



## **Bijlage 2      Resultaten emissiemetingen fase 2**

2.1    Inleiding

2.2    Detail overzicht resultaten emissiemetingen

2.3    Grafieken

## 2.1 Inleiding

In deze bijlage worden de detail resultaten weergegeven van de testen aan drie onderzochte houtkachels, volgens respectievelijk de DIN-methode, de EPA-methode en de praktijkmethode.

In bijlage 2.2 zijn de meetresultaten weergegeven van de metingen uitgevoerd in het schoorsteenkanaal alswel in de verdunningstunnel. In bijlage 2.3 is, als representatief voorbeeld, voor één stookcyclus het verloop in de tijd weergegeven van de CO-, CO<sub>2</sub>-concentratie, de gewichtsafname, de schoorsteentrek en de rookgastemperatuur in het schoorsteenkanaal.

## 2.2 Detail overzicht resultaten emissiemetingen

### Houtkachel B

Parameter	Eenheid	DIN				EPA				Praktijk			
		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Brandstofverbruik	kg/h	2,8	2,8	2,0	2,2	3,6	4,0	3,9	3,4	2,7	1,8	3,1	2,4
<b>Schoorsteen</b>													
CO	vol%	0,27	0,27	0,20	0,19	0,58	0,50	1,16	0,86	0,35	0,23	0,25	0,11
CO	g/kg	50,6	58,2	37,9	43,4	96,9	78,2	119,1	110,8	60,0	56,9	40,7	33,0
CO (13% O <sub>2</sub> )	vol%	0,33	0,35	0,27	0,26	0,67	0,58	0,82	0,73	0,38	0,28	0,27	0,19
PAK	µg/m <sup>3</sup> ind	2026	1214	1142	858	4123	6360	59144	25184	8774	2989	5813	2094
PAK	mg/kg	27	20	24	15	58	83	516	289	123	60	79	52
PAK (13% O <sub>2</sub> )	µg/m <sup>3</sup> ind	2317	1389	1325	1026	4341	6441	46325	22123	8774	3419	5670	3296
CO <sub>2</sub>	vol%	6,9	6,9	6,0	6,6	7,5	7,8	10,0	8,9	7,9	6,9	8,1	5,0
O <sub>2</sub>	vol%	14,0	14,0	14,1	14,3	13,4	13,1	10,8	11,9	13,0	14,0	12,8	15,9
Trek	Pa	9,8	9,8	7,0	7,1	18,6	18,6	13,5	13,5	10,4	9,7	10,9	10,1
Debiet	m <sup>3</sup> ind/h	43	47	42	38	51	52	34	39	38	36	42	60
Luchtfactor	-	3,0	3,0	3,4	3,1	2,8	2,7	2,1	2,3	2,6	3,0	2,6	4,2
Temperatuur	°C	328	336	283	285	314	320	276	271	224	209	230	207
<b>Verdunnings-tunnel</b>													
CO	vol%	0,009	0,009	0,006	0,006	0,035	0,035	0,053	0,040	0,016	0,009	0,014	0,008
CO	g/kg	50,6	58,2	37,9	43,4	96,9	78,2	119,1	110,8	60,0	56,9	40,7	33,0
CO (13% O <sub>2</sub> )	vol%	0,158	0,148	0,137	0,135	0,426	0,446	0,655	0,542	0,285	0,194	0,224	0,150
PAK	µg/m <sup>3</sup> ind	126	94	77	52	354	554	3374	1648	543	173	390	203
CO <sub>2</sub>	vol%	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6		0,5	0,4	0,4	0,5	0,4
O <sub>2</sub>	vol%	20,5	20,4	20,5	20,5	20,3	20,3		20,4	20,5	20,6	20,5	20,5
Trek	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Debiet	m <sup>3</sup> ind/h	605	607	623	627	594	597		596	614	622	626	619
Luchtfactor	-	44,3		48,4	52,1		33,2		38,9	46,7		44,2	48,6
Temperatuur	°C	41		36	36		47		41	35		31	34

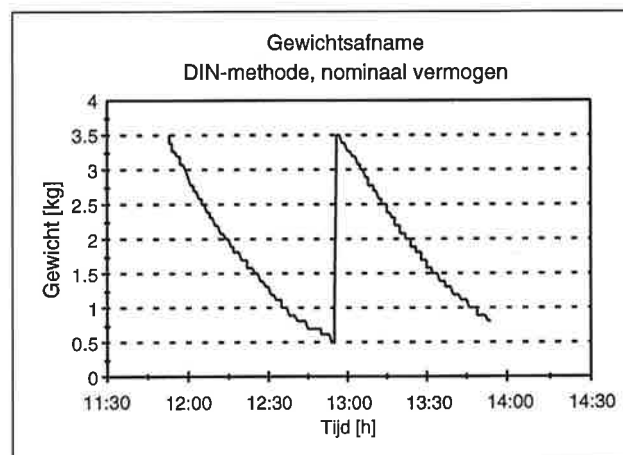
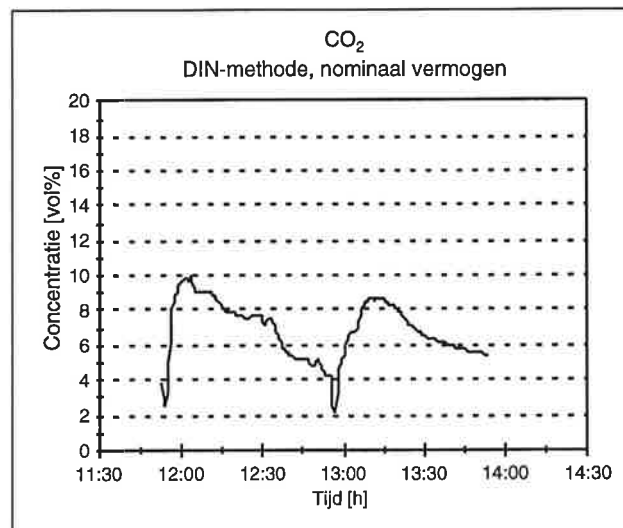
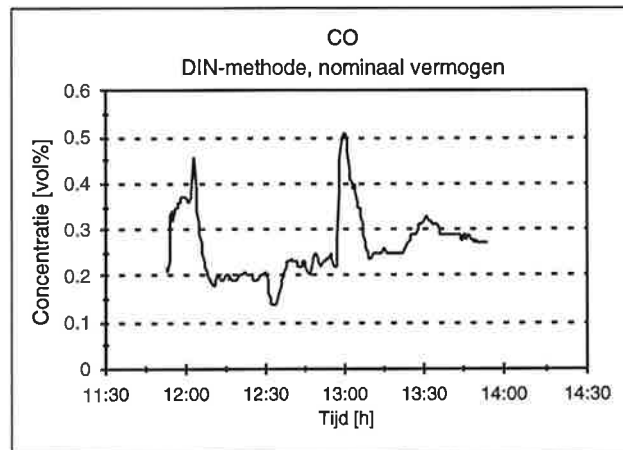
## Houtkachel L

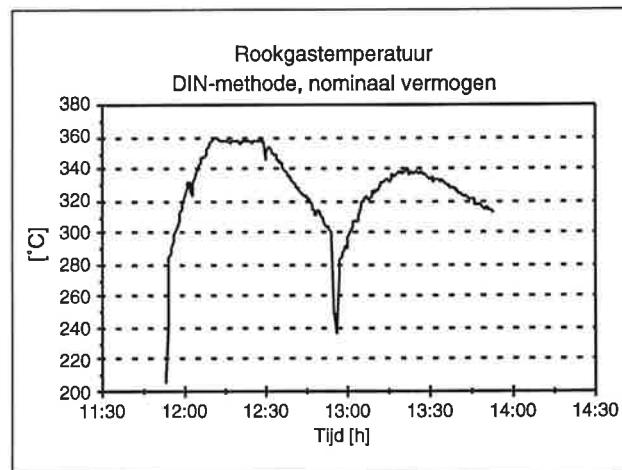
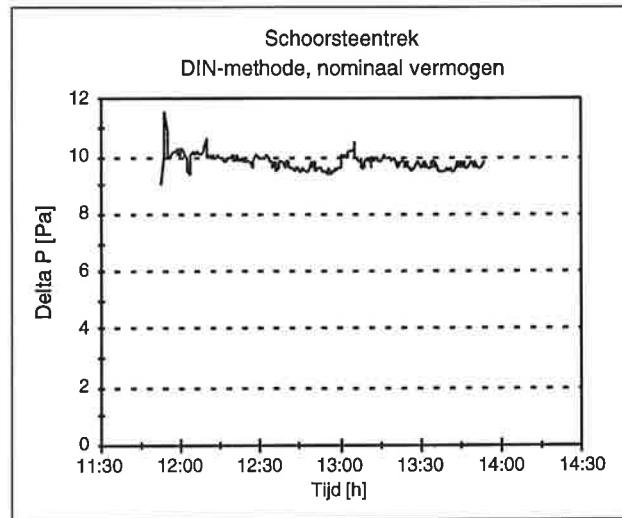
Parameter	Eenheid	DIN				EPA				Praktijk			
		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Brandstofverbruik	kg/h	2,1	2,5	2,0	2,3	3,8	3,8	1,9	1,8	2,6	2,4	1,8	1,9
Schoorsteen	vol%	0,29	0,38	0,38	0,26	0,67	1,13	0,85	0,68	0,26	0,18	0,62	0,68
CO	g/kg	63,0	39,4	55,7	28,2	83,6	139,4	164,1	130,0	41,0	42,9	105,4	115,2
CO	vol%	0,37	0,30	0,45	0,23	0,52	0,76	0,85	0,71	0,25	0,27	0,56	0,66
CO (13% O <sub>2</sub> )	µg/m <sup>3</sup> ind	1998	9685	5049	8339	23044	45690	11625	6226	3337	1933	2392	4164
PAK	mg/kg	34	81	63	73	242	421	177	111	42	33	35	63
PAK	µg/m <sup>3</sup> ind	2050	8062	5694	6663	18049	31724	10937	6305	2998	2277	2101	3827
PAK (13% O <sub>2</sub> )	vol%	7,6	9,5	7,0	9,8	10,0	11,3	8,3	7,8	8,8	6,7	9,0	8,6
CO <sub>2</sub>	vol%	13,2	11,4	13,9	11,0	10,8	9,5	12,5	13,1	12,1	14,2	11,9	12,3
O <sub>2</sub>	Pa	9,7	10,0	7,7	7,3	16,8	15,0	9,3	10,0	12,9	12,4	9,3	9,4
Trek	m <sup>3</sup> ind/h	36	21	25	20	40	35	29	32	33	41	26	29
Debiet	-	2,7	2,2	3,0	2,1	2,1	1,8	2,5	2,7	2,4	3,1	2,3	2,4
Luchtfactor	°C	193	206	173	194	244	226	146	160	213	195	159	151
Verdunnings-tunnel	vol%	0,010	0,006	0,006	0,004	0,032	0,049	0,021	0,019	0,010	0,010	0,015	0,017
CO	g/kg	63,0	38,4	55,7	28,2	83,6	139,4	164,1	130,0	41,0	42,9	105,4	115,2
CO	vol%	0,21	0,15	0,20	0,10	0,42	0,58	0,48	0,43	0,17	0,20	0,33	0,39
CO (13% O <sub>2</sub> )	µg/m <sup>3</sup> ind	116	327	201	266	1403	2412	490	325	182	133	100	192
PAK	vol%	0,4	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3
CO <sub>2</sub>	Pa	20,5	20,6	20,7	20,6	20,4	20,4	20,6	20,6	20,5	20,5	20,6	20,6
O <sub>2</sub>	m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trek		620	622	628	627	657	663	688	613	605	596	622	629
Debiet		52,2	67,5	81,3	69,2	36,3	35,9	60,5	61,0	46,0	50,8	58,6	60,3
Luchtfactor		29	28	27	27	38	37	26	28	32	33	24	24

Houtkachel P

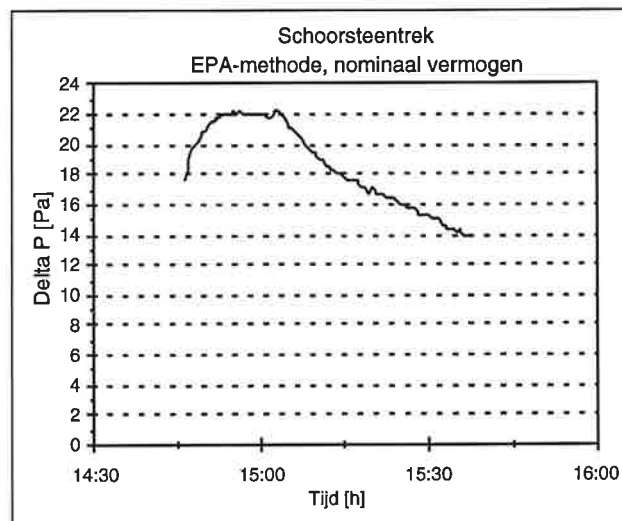
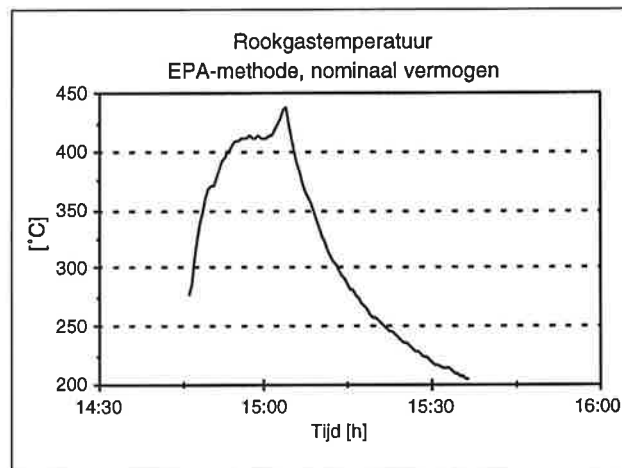
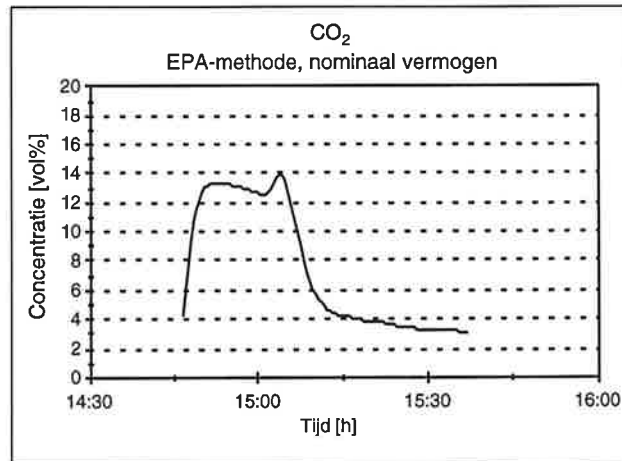
Parameter	Eenheid	DIN				EPA				Praktijk			
		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen		Nominaal vermogen		Verlaagd nominaal vermogen	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Brandstof-verbruik	kg/h	2,0	2,3	1,7	1,8	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,3	1,6	2,0
<b>Schoorsteen</b>													
CO	vol%	0,15	0,13	0,36	0,35	0,19	0,18	0,29	0,55	0,11	0,13	0,23	0,22
CO	g/kg	22,9	14,5	42,9	43,0	36,2	33,7	50,2	81,8	19,2	22,7	47,7	40,0
CO (13% O <sub>2</sub> )	vol%	0,19	0,13	0,45	0,42	0,24	0,20	0,37	0,52	0,13	0,14	0,31	0,30
PAK	µg/m <sup>3</sup> ind	3187	2262	3749	9038	3586	3323	5317	16464	2506	2113	1062	1937
PAK	mg/kg	37	20	33	85	54	49	78	211	32	29	18	31
PAK (13% O <sub>2</sub> )	µg/m <sup>3</sup> ind	3269	2206	3896	8816	3679	3365	5674	15675	2674	2255	1215	2248
CO <sub>2</sub>	vol%	7,7	8,1	7,6	8,1	7,7	7,8	7,4	8,3	7,4	7,4	6,9	6,8
O <sub>2</sub>	vol%	13,2	12,8	13,3	12,8	13,2	13,1	13,5	12,6	13,5	13,5	14,0	14,1
Trek	Pa	9,9	10,1	7,0	7,0	14,9	14,8	14,2	9,6	13,5	13,2	10,6	12,3
Debiet	m <sup>3</sup> ind/h	23	20	15	17	39	38	38	32	32	32	28	32
Luchtfactor	-	2,7	2,6	2,7	2,6	2,7	2,7	2,8	2,5	2,8	2,8	3,0	3,0
Temperatuur	°C	194	196	153	171	226	224	209	195	201	197	164	189
<b>Verdunnings-tunnel</b>													
CO	vol%	0,003	0,003	0,008	0,009	0,012	0,011	0,013	0,020	0,004	0,005	0,006	0,005
CO	g/kg	22,9	14,5	42,9	43,0	36,2	33,7	50,2	81,8	19,2	22,7	47,7	40,0
CO (13% O <sub>2</sub> )	vol%	0,09	0,08	0,25	0,24	0,21	0,19	0,23	0,34	0,08	0,09	0,16	0,14
PAK	µg/m <sup>3</sup> ind	123	78	142	359	242	220	346	896	135	118	50	100
CO <sub>2</sub>	vol%	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
O <sub>2</sub>	vol%	20,7	20,7	20,7	20,6	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,6	20,6
Trek	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Debiet	m <sup>3</sup>	596	580	396	428	578	574	584	588	594	573	595	620
Luchtfactor	-	70,9	76,7	74,2	67,7	42,8	42,5	46,3	48,7	51,9	51,9	63,8	59,0
Temperatuur	-	32	31	30	31	38	37	36	33	33	34	29	31

## DIN-methode, nominaal vermogen, cyclus 1; Houtkachel B

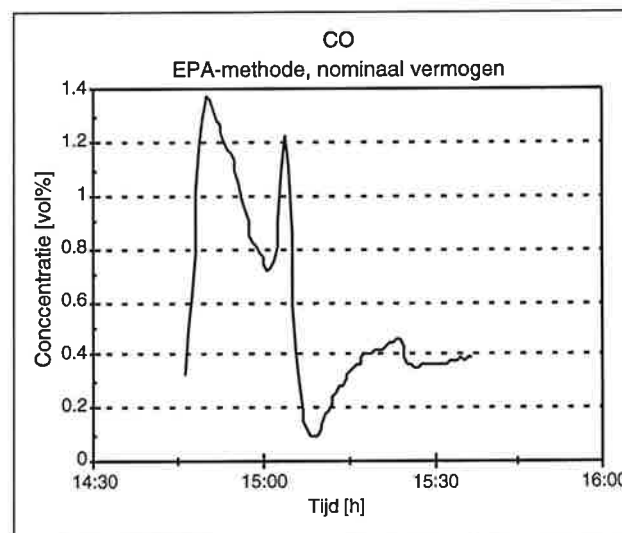
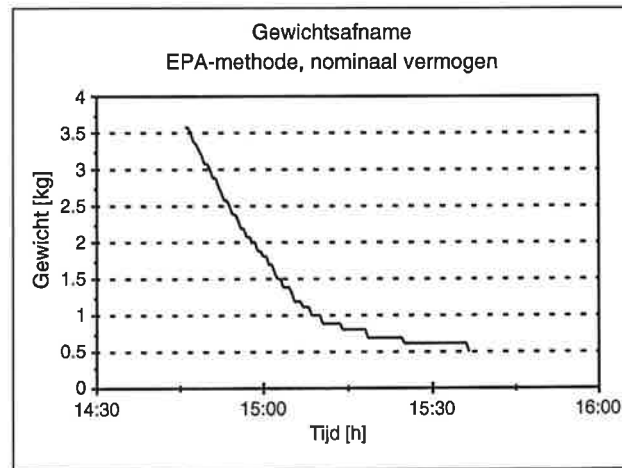




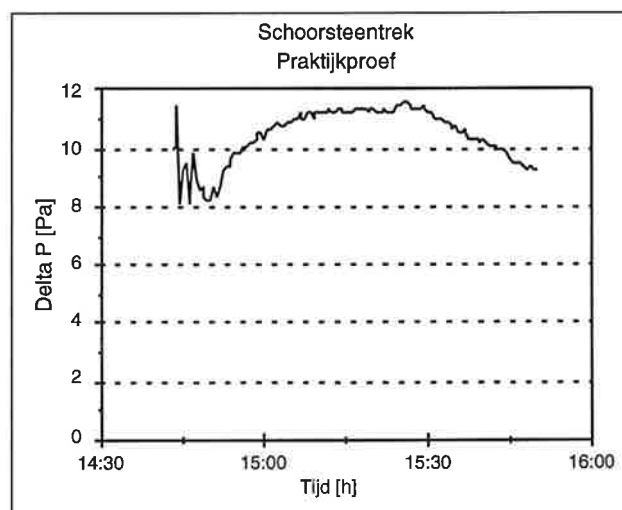
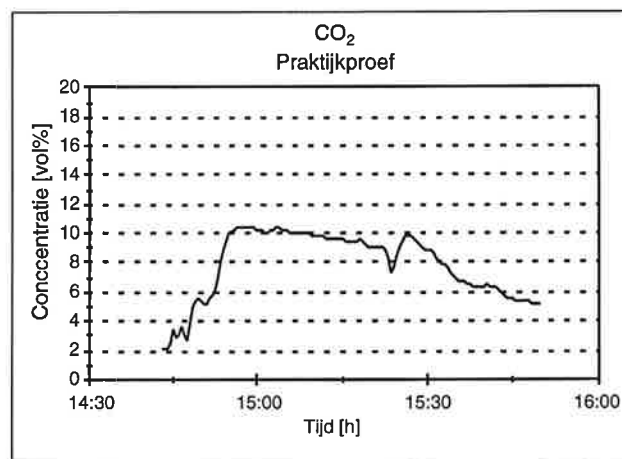
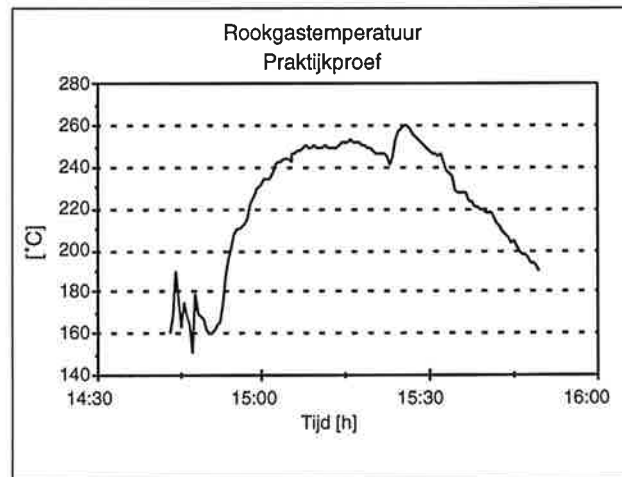
## EPA-methode, nominaal vermogen, cyclus 1; Houtkachel B

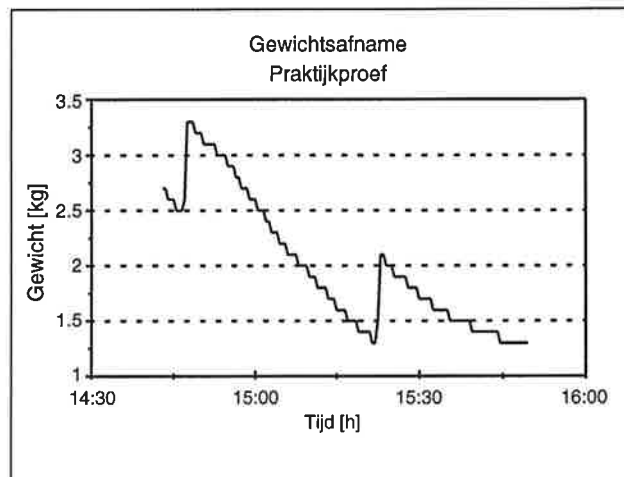
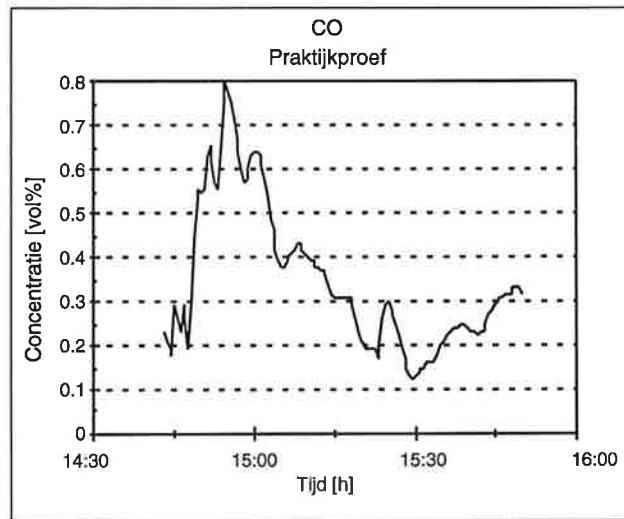






## Praktijkmethode, nominaal vermogen, cyclus 1; Houtkachel B





## **Bijlage 3      Specificatie resultaten PAK-analyse**

Tijdelijk adres:  
Schoemakerstraat 97  
Postbus 6011  
2600 JA DELFT

Telefoon 015 269 69 00  
Fax 015 261 68 12

TNO-rapport

TNO-MEP/RST  
afd. Verbranding & Conversie  
t.a.v. Frans Sulilatu  
Postbus 342  
7300 AH APELDOORN

Onderwerp:  
Bepaling van PAK in emissies afkomstig van een  
houtkachel, bemonsterd met Ströhlein/puf  
combinaties

Rapportnr. : TR 96/0095  
Opdrachtnr. : 26952-002  
Rapportdatum : 19-03-96  
Aantal pagina's : 6

INHOUD:

1. Monsters
2. Gevraagd onderzoek
3. Toegepaste methode
4. Resultaten
5. Kwaliteitsborging

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

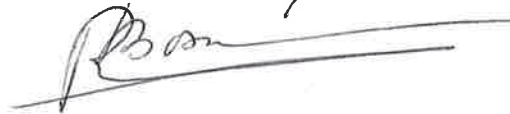
Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van de opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Uitgebracht door:  
Afdeling Analyse en Sensoren

  
M.M.G. Houtzager  
(Projectleider)

Datum: 22-03-96

  
Drs. R. Bosman  
(Hoofd)

Datum: 22-03-'96

## 1. Monsters

In de periode januari/ februari 1996 zijn in totaal 36 monsters Ströhlein/puf aangeleverd ter bepaling van de concentratie PAK (16 EPA). Met behulp van de Ströhlein/puf zijn rookgassen bemonsterd afkomstig van verbranding van verschillende houtsoorten in een zogenaamde houtkachel. De bemonstering is door de opdrachtgever uitgevoerd. De Ströhlein/puf combinaties zijn aangeleverd door de afdeling Analyse & Sensoren

## 2. Gevraagd onderzoek

Het bepalen van de 16 afzonderlijke (EPA) PAK in de Ströhlein/puf combinaties

## 3. Toegepaste methode

De ströhlein/puf combinaties zijn opgewerkt volgens werkvoorschrift IMWA/SV/008, getiteld "De opwerking van lucht- en rookgasmonsters ten behoeve van de bepaling van PAK". Hierbij wordt een extractie uitgevoerd met tolueen. Het tolueen extract wordt ingedampt to ongeveer 25 ml, waarna het extract gefiltreerd wordt over hyflo. Na filtratie wordt een gedeelte van het tolueen extract omgezet naar acetonitril.

De extracten zijn geanalyseerd m.b.v. Reversed Phase HPLC met UV- en fluorescentie-detectie. Kwalificering vindt plaats op basis van retentietijd in een externe standaardmix. Kwantificering vindt plaats aan de hand van dezelfde externe standaardmix. De analysemethode is uitgevoerd volgens werkvoorschrift IMWA/SV/014, getiteld 'De bepaling van PAK in extracten'.

## 4. Resultaten

De resultaten staan vermeld in tabel 1 t/m 4, en zijn opgegeven in  $\mu\text{g}$  PAK per ströhlein/puf combinatie. Voorafgaand aan de monstervoorbehandeling is een interne standaard toegevoegd. De terugwinst percentages van de interne standaard per monster staan vermeld bij de resultaten. Aan de monsters CH119 t/m 122 is geen interne standaard toegevoegd, dit om een goede verhouding te kunnen vaststellen tussen interne standaard en concentratie PAK in de overige monsters. De resultaten zijn niet gecorrigeerd voor dit terugwinstpercentage van de interne standaard.

## 4. Kwaliteitsborging

De analyse is uitgevoerd volgens een gevalideerde methode voor de bepaling van PAK in extracten (IMWA/SV/014).

De juistheid van deze methode is gecontroleerd aan de hand van een gecertificeerde NBS-PAK standaardmix : Standard Reference Material 1647c. De juistheid van de methode uitgedrukt als de afwijking tussen de gecertificeerde waarde en de geanalyseerde waarde varieert per component en ligt in het bereik van 0% (voor fluoranteen) tot 9,3% (voor indeno[123cd]pyreen).

De herhaalbaarheid van de methode varieert eveneens per component. Indien de herhaalbaarheid wordt uitgedrukt in de relatieve standaardafwijking, dan varieert deze in het bereik van 0,6% (voor benzo[k]fluoranteen) tot 2,5% (voor pyreen).



Tabel 1. Resultaten PAK analyses in µg PAK per ströhlein/puf combinatie

Code A&S Code opdrachtgever MEV/96/	CH119 81+82	CH120 83+84	CH121 85+86	CH122 87+88	CH123 89+90	CH124 91+92	CH125 93+94	CH126 95+96	CH127 97+98	CH128 99+100
COMPONENT										
Conc. in ug PAK / strohleln/puf										
Naftaleen	47	29	35	38	41	42	138	80	69	30
Acenaftyleen	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	250	1647	693	564	266
Acenaftteen	20	17	20	22	31	47	226	133	82	14
Fluoreen	233	157	138	69	267	454	3537	1409	733	107
Fenantreen	256	187	103	55	348	377	1712	1419	448	226
Antraceen	38	26	16	6.7	33	50	324	218	82	18
Fluoranteen	121	78	43	16	151	182	818	700	194	113
Pyreen	156	115	67	24	119	147	758	657	157	89
Benzo[a]antraceen	23	14	7.6	2.7	18	27	143	113	31	16
Chryseen	25	14	8.9	3.9	20	27	121	101	30	15
Benzo[b]fluoranteen	18	7.8	4.1	1.3	18	25	102	92	22	13
Benzo[k]fluoranteen	9.0	4.0	2.4	0.70	9.0	13	63	57	13	7.0
Benzo[a]pyreen	19	9.3	5.8	1.8	16	26	145	121	27	7.6
DB[ah]antraceen	5	< 0.60	< 0.60	< 0.60	0.68	< 0.60	< 0.60	11	< 0.60	1.2
B[ghi]peryleen	11	5.7	3.1	0.69	13	19	91	88	15	8.5
I[123-cd]pyreen	8.8	4.8	3.0	0.81	13	17	86	78	15	7.1
Terugwinst interne stand %	*	*	*	*	79	99	117	113	101	100
* geen i.s. toegevoegd										



Tabel 2. Resultaten PAK analyses in µg PAK per ströhlein/puf combinatie

Code A&S Code opdrachtgever MEV/96/	CH129 101+102	CH130 103+104	CH144 105+106	CH145 107+108	CH146 109+110	CH147 111+112	CH148 113+114	CH149 115+116	CH150 117+118	CH151 119+120
COMPONENT										
Conc. in ug PAK / strohleln/puf										
Naftaleen	55	35	135	256	68	69	32	39	97	98
Acenaftyleen	294	204	1466	2461	511	395	176	<15	<15	<15
Acenaftyteen	36	29	124	263	36	47	23	22	17	26
Fluoreen	412	368	1798	3540	1241	769	210	240	177	341
Fenantreen	300	271	1724	2628	1152	390	208	171	113	162
Antraceen	50	51	300	462	242	78	29	33	17	31
Fluoranteen	132	115	868	1380	516	177	88	73	45	63
Pyreen	110	106	718	1223	432	137	67	64	33	53
Benzo[a]antraceen	23	21	139	221	79	25	12	11	5.4	10
Chryseen	24	26	124	191	69	23	12	11	6.2	11
Benzo[b]fluoranteen	17	13	114	174	61	18	9.1	7.1	4.4	7.3
Benzo[k]fluoranteen	9.5	8.6	69	112	39	11	5.0	4.2	2.4	4.1
Benzo[a]pyreen	20	18	142	249	87	25	10	10	5.4	10
DB[ah]antraceen	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	> 0.60
B[ghi]peryleen	12	10	74	134	43	11	5.8	4.6	2.7	4.1
I[123-cd]pyreen	12	8.9	100	165	52	14	6.6	4.6	3.1	4.6
Terugwinst interne stand %	<b>100</b>	<b>103</b>	<b>107</b>	<b>119</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>95</b>	<b>98</b>	<b>102</b>





Tabel 3. Resultaten PAK analyses in µg PAK per ströhlein/puf combinatie

Code A&S Code opdrachtgever MEV/96/	CH152 121+122	CH153 123+124	CH154 125+126	CH155 127+128	CH163 129+130	CH164 131+132	CH165 133+134	CH166 135+136	CH167 137+138	CH168 139+140
COMPONENT										
Conc. in ug PAK / strohleln/puf										
Naftaleen	44	55	32	21	24	71	75	26	24	23
Acenaftyleen	< 15	206	< 15	579	1070	< 15	< 15	305	444	389
Acenaftteen	21	25		11	12	6.3	20	17	24	7.8
Fluoreen	201	398	169	88	17	278	306	597	42	50
Fenantreen	143	273	302	123	86	145	200	420	178	137
Antraceen	25	36	34	8.1	1.8	24	30	72	6.9	7.4
Fluoranteen	63	121	125	52	40	58	64	183	87	57
Pyreen	54	167	185	77	57	93	91	294	144	84
Benzo[a]antraceen	9.0	23	20	9.3	5.8	11	12	41	17	9.0
Chryseen	9.0	22	19	8.7	6.9	13	15	36	17	10
Benzo[b]fluoranteen	6.6	14	10	5.8	4.0	6.0	7.4	22	8.7	5.4
Benzo[k]fluoranteen	3.9	7.4	5.6	3.0	1.8	3.0	3.6	12	4.6	2.7
Benzo[a]pyreen	8.7	16	10	3.6	0.85	7.5	8.0	30	3.4	2.9
DB[ah]antraceen	< 0.60	< 0.60	1.6	< 0.60	0.83	< 0.60	< 0.60	< 0.60	0.70	< 0.60
B[ghi]peryleen	4.4	10	7.2	4.5	3.4	4.7	4.0	16	7.6	4.7
I[123-cd]pyreen	4.7	7.9	5.6	3.3	2.3	3.8	3.8	14	5.3	3.3
Terugwinst interne stand %	<b>98</b>	<b>118</b>	<b>129</b>	<b>121</b>	<b>123</b>	<b>122</b>	<b>126</b>	<b>129</b>	<b>125</b>	<b>115</b>



Tabel 4. Resultaten PAK analyses in µg PAK per strohlein/puf combinatie

Code A&S Code opdrachtgever MEV/96/	CH169 181+182	CH170 183+184	CH204 185+186	CH205 187+188	CH206 189+190	CH207 191+192
COMPONENT						
Conc. in ug PAK / strohlein/puf						
Naftaleen	14	32	21	95	38	45
Acenaftyleen	< 15	< 15	250	< 15	323	959
Acenafteen	5.9	9.3	22	24	47	54
Fluoreen	109	197	320	221	585	1714
Fenantreen	114	202	481	531	543	1392
Antraceen	18	38	75	62	92	288
Fluoranteen	44	85	244	295	282	708
Pyreen	30	71	224	247	218	587
Benzo[a]antraceen	5.9	16	39	38	39	125
Chryseen	5.3	14	37	43	35	100
Benzo[b]fluoranteen	3.9	10	34	36	32	94
Benzo[k]fluoranteen	2.3	5.9	19	21	19	60
Benzo[a]pyreen	3.9	11	35	29	32	115
DB[ah]antraceen	< 0.60	< 0.60	1.8	1.3	< 0.60	< 0.60
B[ghi]peryleen	1.7	4.5	27	26	18	55
I[123-cd]pyreen	2.6	6.9	24	26	19	72
Terugwinst interne stand %	<b>104</b>	<b>109</b>	<b>114</b>	<b>107</b>	<b>102</b>	<b>112</b>



TNO-rapport  
TNO-MEP – R 96/293

TNO Milieu, Energie en  
Procesinnovatie

Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn  
Telefoon 055 - 549 34 93  
Fax 055 - 541 98 37

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO, Milieu, Energie en  
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een  
nationaal en internationaal erkend kennis- en  
contractresearch instituut voor bedrijfsleven en  
overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en  
milieugerichte procesinnovatie.

## **Bijlage A**

### **Tussenrapport: Onderzoek naar het effect van het Besluit typekeuring houtkachels op de PAK-emissies in Nederland**

#### **Fase 1: Literatuurstudie**

auteur:  
Ing. W.F.M. Hesseling

datum:  
april 1995

projectnummer:  
25988

trefwoorden:  
– houtkachels  
– typekeuring  
– CO  
– PAK

bestemd voor:  
Ministerie van VROM, DGM  
Directie Industrie, Bouw, Producten en Consumenten/650  
Mr. S.W. Josephus Jitta  
Postbus 30950  
2500 GX Den Haag

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene  
Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO  
zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de  
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

## Samenvatting

Voor de overheid is het gebruik van houtkachels en open haarden een toenemende zorg vanwege de milieubelasting, die daardoor wordt veroorzaakt. Met name de emissies van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) dragen vanwege de verdacht mutagene en carcinogene werking daar sterk aan bij. De overheid tracht deze emissies te beperken door een aantal maatregelen. Een van deze maatregelen is het stellen van technische eisen.

Ten aanzien van het laatste punt zal medio 1996 het 'Besluit typekeuring houtkachels luchtverontreiniging koolstofmonoxide' van kracht worden. In dit Besluit wordt het in Nederland voor fabrikant en importeur verboden om houtkachels te verkopen die niet behoren tot een goedgekeurd type (typekeuring). Bij de typekeuring worden de houtkachels onder vast omschreven condities gestookt bij opgelegde trek en is onder andere voor houtkachels een grenswaarde gesteld van 0,4% CO (inzethaarden 0,5% CO) in de rookgassen.

De doelstelling van deze maatregel is om ondanks een toename van het aantal houtkachels de emissie van PAK in de toekomst minimaal te stabiliseren [34]. Het Ministerie van VROM, DGM Directie Industrie, Bouw, Producten en Consumenten heeft aan TNO-ME opdracht gegeven te onderzoeken in hoeverre met het Besluit bovengestelde doelstelling gerealiseerd kan worden.

Het onderzoek bestaat uit twee fasen. In de eerste fase wordt een literatuurstudie uitgevoerd met het doel om met reeds bekende gegevens de effecten van het Besluit op de PAK-emissies in Nederland te berekenen. In de tweede fase zal deze studie worden uitgebreid met een experimenteel onderzoek.

In dit rapport worden de resultaten van de literatuurstudie gepresenteerd.

Tijdens de studie werden ruim 40 publikaties geraadpleegd, die betrekking hebben op PAK en houtkachels. De publikaties waren vooral afkomstig uit Amerika, maar ook uit diverse Europese landen. Uit de publikaties kon geen directe relatie tussen de PAK- en CO-emissies (PAK als functie van CO) van houtkachels worden afgeleid. Wel wordt uit diverse onderzoeken geconcludeerd, dat bij een lage CO-emissie ook lage PAK-emissies te verwachten zijn.

Om deze gegevens te kunnen kwantificeren werden van ca. 250 uit de literatuur beschreven metingen de CO-gegevens verzameld en getoetst aan de CO-grenswaarde van het Besluit. Met deze gegevens en die uit enquêtes in Nederland en Duitsland kan worden afgeleid dat het aantal houtkachels dat momenteel aan de typekeuring voldoet tussen 40% en 60% bedraagt.

Uit 50 metingen blijkt dat de gemiddelde PAK-emissie 34 mg/kg hout is als het CO-gehalte beneden de grenswaarde (60 g/kg hout) ligt en 167 mg/kg als het CO-gehalte boven de grenswaarde ligt.

Uitgaande van deze gegevens en in de literatuur gevonden en aangenomen prognoses over het toekomstige kachelbestand in Nederland, is het effect van het Besluit op de PAK-emissie in Nederland getalsmatig berekend.

De literatuurstudie en bovenbeschreven benadering hebben onder andere geleid tot de volgende conclusies:

- Door de invoering van het Besluit zullen naar verwachting de PAK-emissies in Nederland afkomstig van houtkachels en inzethaarden in de toekomst niet verder toenemen ten opzichte van de huidige situatie. Hiermee worden de betreffende doelstellingen in het Beleidsstandpunt PAK gehaald.
- De PAK-emissies van houtkachels vertonen grote spreidingen van 3,8 mg/kg hout tot ca. 1200 mg/kg hout (10-PAK). De wijze van stoken en de testomstandigheden spelen daarbij een belangrijke rol.

Factoren die de betrouwbaarheid van bovenstaande conclusies verlagen zijn:

- Onbekendheid met de mate waarin de PAK-emissies onder praktijkomstandigheden afwijken van in de literatuur gevonden PAK-emissies, die veelal zijn bepaald bij testomstandigheden met natuurlijke trek.
- Onzekerheid omtrent de autonome groei en vervanging van het huidige kachelbestand.

Voorgesteld wordt om te beslissen het onderzoek voort te zetten met de uitvoering van de tweede fase van het project. In deze fase zullen door een praktijkonderzoek meer gegevens worden verzameld om de betrouwbaarheid van de berekening van de PAK-emissies te verhogen. Dit kan als volgt plaatsvinden:

Er zullen drie van de meest verkochte typen houtkachels in Nederland worden geselecteerd. Deze kachels worden vervolgens getest bij opgelegde trek, bij geforceerde trek en bij praktijkomstandigheden bij twee verschillende belastingen.

Deze testen geven een omrekeningsfactor voor:

- natuurlijke trek (gegevens uit literatuuronderzoek) naar opgelegde trek (in Besluit);
- opgelegde trek naar praktijkomstandigheden.

Met deze factoren kunnen bovenbeschreven conclusies nader worden gekwantificeerd, waardoor het effect van het Besluit op de werkelijke PAK-emissies in Nederland nauwkeuriger kan worden bepaald.

Daarnaast wordt voorgesteld om het effect van het Besluit direct bij invoering daarvan te monitoren. Dit kan plaats vinden door tijdens de uit te voeren typekeurmetingen van een houtkachel ook de PAK-emissies vast te stellen. Met deze gegevens zal een bestand worden aangelegd, waarmee in de toekomst de PAK-emissies van houtkachels in Nederland nog nauwkeuriger kunnen worden berekend.

## Nomenclatuur

act	Bij actuele omstandigheden
h	Uur
inv	In normaal toestand vochtig (101.3 Kpa, 273 K)
ind	In normaal toestand droog (101.3 Kpa, 273 K)
teer	condenseerbare vluchtige bestanddelen.
PAK	Polycyclisch Aromatische Koolwaterstoffen.

## Inhoudsopgave

	Samenvatting .....	2
	Nomenclatuur .....	4
1.	Inleiding.....	7
2.	Opzet van het onderzoek .....	8
3.	Procesbeschrijving voor kleinschalige toepassingen voor houtverbranding .....	9
	3.1 Open haarden .....	9
	3.2 Inzethaarden .....	9
	3.3 Vrijstaande kachels .....	9
4.	Emissies van open haarden en kachels .....	10
	4.1 Algemeen .....	10
	4.2 Invloed brandstofsamenstelling .....	11
	4.3 Invloed ontwerp verbrandingstoestel .....	13
	4.4 Invloed wijze van stoken.....	15
	4.5 Schatting emissies in Nederland .....	17
5.	Het Besluit typekeuring houtkachels .....	18
6.	PAK .....	19
	6.1 Algemeen .....	19
	6.2 Vormingsmechanisme.....	19
	6.3 PAK-reeksen .....	19
	6.4 Literatuuronderzoek naar relatie PAK met andere emissies ....	20
7.	Het effect van het Besluit op de PAK-emissies.....	22
	7.1 Relatie PAK-CO-emissies.....	22
	7.2 Schatting PAK-emissies in Nederland .....	23
8.	Conclusies en aanbevelingen.....	27
9.	Referenties .....	29
10.	Verantwoording .....	33

<b>Bijlagen</b>	
<b>Bijlage 1</b>	<b>Tabellen met PAK-emissies</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Tabellen en tekeningen van PAK-structuren en vormingsmechanismen</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Relaties van PAK-emissies met andere factoren</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Door [28] verwachte ontwikkelingen met open haard- en kachelbestanden met de verwachte toekomstige PAK-emissies in Nederland</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Resultaten van het rekenmodel</b>



## 1. Inleiding

In Nederland zijn in huishoudens momenteel circa 500.000 inbouw-/inzethaarden en houtkachels opgesteld [28]. Deze vaste-brandstofoestellen zijn soms onvoldoende van kwaliteit en/of niet goed gedimensioneerd. Bovendien worden ze vaak onoordeelkundig bediend [2]. Eén en ander leidt ertoe dat het gebruik van deze toestellen gepaard gaat met relatief hoge emissies aan componenten als stof, geur, CO en Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) [32]. PAK behoren, vanwege vermeende carcinogene en/of mutagene werking, tot de groep prioritair stoffen waarvoor als gevolg van het Nationaal Milieubeleidsplan [33] in de nabije toekomst belangrijke emissiereducties moeten plaatsvinden. Voor vaste-brandstofoestellen wordt in dit kader het ALARA-principe gehanteerd (ALARA = As Low As Reasonable Achievable). Bij toepassing van dat principe wordt verwacht dat ondanks een toename van het aantal vaste-brandstofoestellen de emissie van PAK kan worden gestabiliseerd [34]. Maatregelen om deze stabilisatie te bereiken zijn:

- voorlichting omtrent milieuaspecten van vaste-brandstofoestellen;
- verplichte typekeuring voor nieuwe toestellen.

De typekeuring is gepubliceerd in het Ontwerp-Besluit typekeuring houtkachels luchtverontreiniging koolstofmonoxide [35]. In dit Ontwerp Besluit worden regels gesteld aan de maximale CO-emissie van houtkachels onder laboratorium omstandigheden. Door het stellen van eisen aan de uitworp van CO zal, uitgaande van een relatie tussen de CO- en de PAK-emissie, de uitworp van PAK worden beïnvloed. In de toelichting op het Ontwerp-Besluit wordt aangegeven dat nader onderzoek zal moeten uitwijzen of het effect van het Besluit op de PAK-emissie voldoende is (stabilisatie van de PAK-emissie) of dat wellicht in de toekomst de norm verscherpt dient te worden.

In opdracht van het Ministerie van VROM, Directoraat Generaal Milieubeheer, is door TNO-ME een programma geformuleerd voor het uitvoeren van onderzoek naar het effect van het Besluit typekeuring houtkachels luchtverontreiniging koolstofmonoxide op de PAK-emissie van vaste brandstofoestellen in Nederland. In onderstaande wordt verslag gedaan van de eerste fase van dit programma. Deze fase bestond uit een inventarisatie van de in de openbare literatuur aanwezige gegevens met betrekking tot een relatie tussen de CO- en de PAK-emissie van vaste-brandstofoestellen. Aan de hand van deze gegevens wordt een globale inschatting gemaakt van het effect van het Besluit op de PAK-emissie van vaste-brandstofoestellen.

## 2. Opzet van het onderzoek

Het onderzoek bestaat uit twee fasen.

In de eerste fase is op basis van literatuurgegevens een globale inschatting gemaakt van het effect van het Besluit op de PAK-emissies. Uit de openbare literatuur zijn gegevens verzameld en in een spreadsheet verwerkt met het doel, een relatie vast te stellen tussen de CO en PAK-emissies. Daarnaast zijn gegevens verzameld over het huidige kachelbestand in Nederland en mogelijke toekomstige autonome groei en vervanging van houtkachels. Deze gegevens zijn geevalueerd, onder andere met een statistische analyse en hebben onder een aantal aannames geleid tot conclusies over het effect van de invoering van het Besluit. Deze conclusies betreffen onder andere:

- het percentage van het kachelbestand in Nederland dat op grond van de CO-emissies aan het Besluit zal voldoen.
- het niveau van de gemiddelde PAK-emissies van houtkachels, die op grond van het CO-gehalte wel aan het Besluit zullen voldoen
- het niveau van de gemiddelde PAK-emissies van houtkachels, die op grond van het CO-gehalte niet aan het Besluit zullen voldoen.

De betrouwbaarheid van deze gegevens is geanalyseerd en dient als belangrijkste maatstaf bij het vaststellen van de noodzaak voor verder onderzoek.

Na deze fase is een beslispunt opgenomen waarbij de noodzaak voor nader (praktijk) onderzoek al dan niet zal worden vastgesteld.

In een tweede fase zal door middel van experimenteel onderzoek het effect van het Besluit op de PAK-emissie nauwkeuriger worden bepaald.

### **3. Procesbeschrijving voor kleinschalige toepassingen voor houtverbranding**

#### **3.1 Open haarden**

Naar model zijn 3 soorten open haarden te onderscheiden; Driezijdige open haard, tweezijdige open haard en front open haard. Open haarden kunnen zijn voorzien van een vlakke stookplaat maar de meeste zijn voorzien van een rooster. Kenmerkend voor een open haard is dat de luchtvermaat zeer groot (factor 20) is. Met een schoorsteenklep kan meestal de trek geregeld worden.

Het rendement is over het algemeen laag (ca. 15%).

#### **3.2 Inzethaarden**

Een inzethaard is een met een kachel vergelijkbare kant en klare haard, die in een schoorsteen is ingebouwd. Hiervan zijn vele verschillende modellen op de markt. Kenmerkend voor het bedienen van deze haarden is dat de luchtvermaat gering is ten opzicht van een open haard. De rendementen zijn doorgaans veel hoger (tot ca. 75%).

#### **3.3 Vrijstaande kachels**

Er zijn meer dan 300 verschillende modellen kachels voor vaste brandstof verkrijgbaar in de handel in Nederland [7]. Men maakt bij deze modellen onderscheid in verschillende types; het is echter niet mogelijk hiervoor exacte definities vast te stellen. Het onderscheid is maar ten dele terug te voeren op technische verschillen. Vaak ook kunnen types omgebouwd worden met accessoires. In hoofdstuk 4.3 wordt hier verder op ingegaan.

## 4. Emissies van open haarden en kachels

### 4.1 Algemeen

Bij volledige verbranding van vaste brandstoffen ontstaan altijd  $H_2O$ ,  $CO_2$  en  $NO_x$ . Bij onvolledige verbranding van vaste brandstoffen zullen ook andere emissies ontstaan, zoals roet, teer,  $CO$ ,  $C_xH_y$  en PAK (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen). Onvolledige verbranding wordt beïnvloed door de chemische en fysische samenstelling van de vaste brandstof, het ontwerp en de wijze van stoken van de open haard, inzethaard of kachel.

Daarnaast kunnen ten gevolge van de (chemische) samenstelling van de vaste brandstoffen ontstaan: extra  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $HCl$ ,  $HF$ , dioxinen, zware metalen enz. Bij verbranding van schoon hout worden de meeste van deze componenten nauwelijks gevormd.

Bij de verbranding van vast brandstoffen kunnen de volgende stappen worden onderscheiden:

1. *Drogen*

De eerste stap is het drogen van de brandstof. Reeds bij lage temperatuur ( $\approx 100$  °C) zal het nog aanwezige vocht verdampen. Dit drogen impliceert een aanzienlijk energieverlies (bij een vochtgehalte van 50 à 60% wordt verbranden energetisch neutraal, de stookwaarde = 0 MJ).

2. *Ontgassen*

Bij hogere temperatuur (150-350 °C) treedt een ontgassingsstap (pyrolyse) op. Hierbij wordt de chemische structuur van de brandstof afgebroken. Er ontstaan vluchtige verbindingen zoals  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ , lagere koolwaterstoffen en vaak ook complexe verbindingen (alcoholen, zuren, PAK). Daarnaast ontstaan vaak stoffen die bij de ontledingstemperatuur vluchtig zijn, maar die bij lagere temperatuur condenseren: de teerachtige componenten.

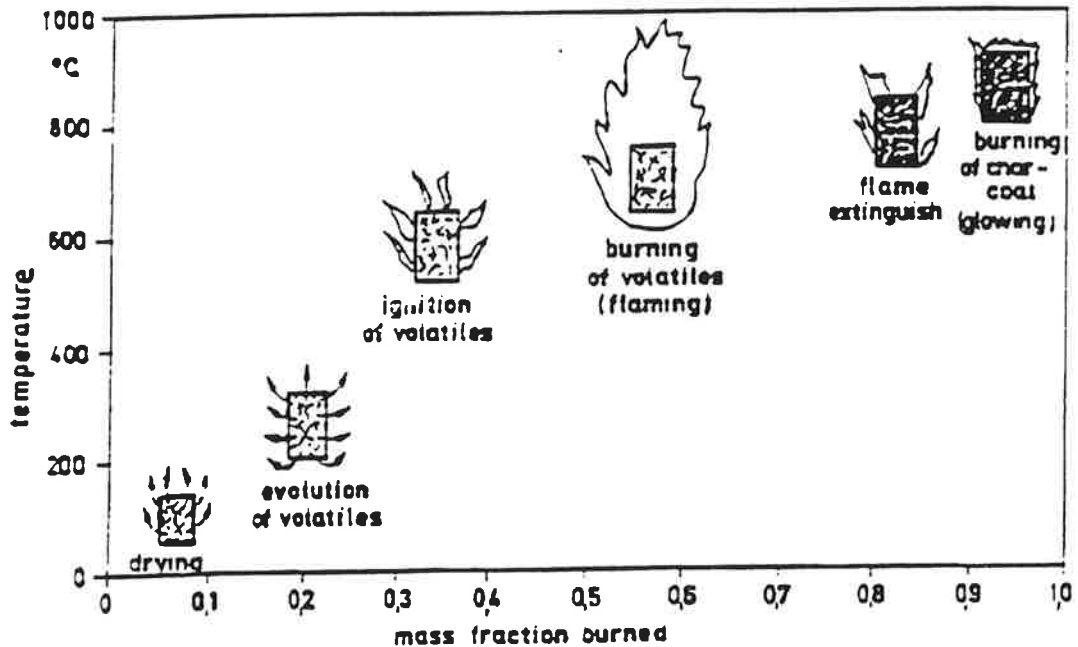
3. *Verbranding van de ontgassingsprodukten*

De vluchtige verbindingen verbranden in de gasfase onder toevoer van  $O_2$  (zuurstof in de lucht). De ontstekingstemperatuur van de vluchtige verbindingen is ongeveer 550 °C.

4. *Verbranden van vaste koolstof*

De vaste component die overblijft bestaat uit bijna zuivere koolstof (char), die bij circa 800 °C onder toevoer van  $O_2$  (zuurstof in lucht) verbrandt.

In figuur 4.1 zijn de verschillende processtappen vereenvoudigd weergegeven [4].



Figuur 4.1 Overzicht processtappen bij verbranden van hout.

Genoemde stappen zullen in een houtkachel (deels) gelijktijdig optreden. In het centrum van een houtblok kan nog droging plaatsvinden, terwijl de rest van het blok aan het vergassen is en de vluchtige componenten en de in de kachel nog aanwezige vaste koolstof naverbranden.

De emissies van vaste brandstofstoestellen worden voornamelijk beïnvloed door de samenstelling van de brandstof, het ontwerp van het toestel en de wijze van stoken. Hieronder wordt nader op deze aspecten ingegaan (hoofdstuk 4.2 tot en met 4.4) In hoofdstuk 4.5 wordt een schatting van de totale emissie in Nederland gegeven.

## 4.2 Invloed brandstofsamenstelling

Blijkens het onderzoek [10] van CEA wordt in Nederland voornamelijk hout verstoekt als brandstof in open haarden, inzethaarden en vrijstaande kachels. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de gebruikte brandstoffen.

*Tabel 4.1 Overzicht gebruikte brandstoffen in Nederland.*

categorie brandstof	%
hout jonger dan 1 jaar	70
hout ouder dan 1 jaar	25
kolen/bruinkool/turf/en dergelijke	4
brandbaar afval	1

In dit rapport wordt daarom verder alleen ingegaan op het verbranden van hout. Hout bestaat hoofdzakelijk uit vier bestanddelen:

- vocht
- vluchtige bestanddelen
- vaste koolstof
- anorganische stoffen (as).

Het aandeel vluchtige bestanddelen (75-85 gewichtsprocenten op water- en asvrije basis) is een hoofdkenmerk van hout [4].

In tabel 4.2 zijn enkele karakteristieke gegevens opgenomen van hout. Deze gegevens zijn grotendeels ontleend aan [22].

In de praktijk blijkt vooral het vochtgehalte van het hout een belangrijke rol te spelen op de emissies (CO, PAK en dergelijke), vanwege de daardoor optredende lagere verbrandingstemperaturen. Over het algemeen wordt aanbevolen hout ouder dan 1 jaar te verbranden, omdat het vochtgehalte dan zakt tot ca. 15%.

In tabel 4.2 valt op dat stikstof in hout aanwezig is. Daardoor wordt de vorming van NO<sub>x</sub> in de rookgassen bevorderd.

De emissies aan zware metalen spelen bij verbranding van hout geen rol; in hout zijn sporen van de metalen zink, koper, lood en chroom aanwezig (ca. 1 tot 15 mg/kg).

Tabel 4.2 Karakteristieke gegevens van hout.

Fysische eigenschappen	Eenheid	Grootte
stortgewicht	kg/m <sup>3</sup>	220
watergehalte	gew %	15
stookwaarde 15% vocht (onderwaarde)	MJ/kg	15
lucht voor stoichiometrische verbranding	m <sup>3</sup> ind/kg	4,6
asgehalte	gew %	0,5
Elementen	Eenheid	Concentratie
koolstof	gew %	50
waterstof	gew %	6
zuurstof	gew %	43
stikstof	mg/kg	1500
chloride	mg/kg	<100
fluoride	mg/kg	<10
cadmium	mg/kg	0,1
kwik	mg/kg	<0,01
arseen	mg/kg	<0,1
koper	mg/kg	1
nikkel	mg/kg	<0,01
chromium	mg/kg	1
lood	mg/kg	1
zink	mg/kg	15

### 4.3 Invloed ontwerp verbrandingstoestel

De open haard of kachel dient zo te zijn ontworpen dat een volledige verbranding altijd mogelijk is. Daarvoor zijn in de verbrandingstechniek basisregels. Deze zijn voldoende temperatuur, voldoende verblijftijd bij die temperatuur en voldoende menging.

Met betrekking tot de toevoer van primaire verbrandingslucht kan onderscheid worden gemaakt tussen een aantal systemen. Deze systemen zijn:

diagonal draft

updraft

downdraft

crossdraft

S-flow

Zij zijn schematisch weergegeven in figuur 4.2.

Daarnaast worden diverse constructies in houtkachels toegepast voor:

regelbaarheid luchttoevoer door schuiven en kleppen;

verbetering verbranding door secundaire luchttoevoer;

regelbaarheid secundaire luchttoevoer;

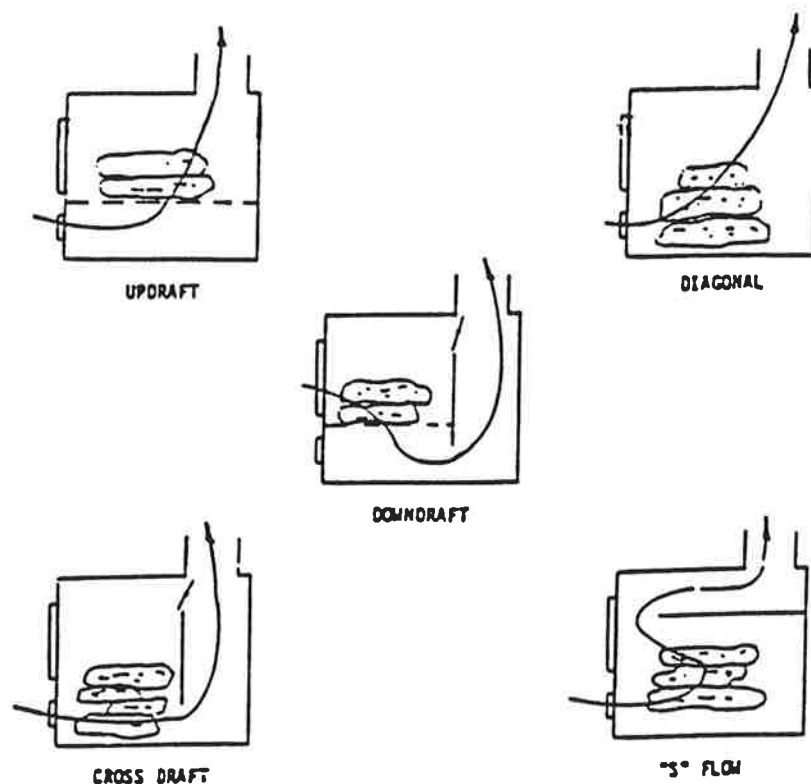
verdeling rookgastemperatuur door stralingsplaten en toepassing van keramische materialen;  
menging lucht met hout door rooster.

Goede ontwerpen zijn er op gericht om zoveel mogelijk aan boven beschreven regels te voldoen met het doel een goede verbranding te krijgen met lage emissies (PAK, CO).

Over het algemeen worden in de literatuur positievere ervaringen gemeld met de emissies van het downdraft principe dan die van de andere typen.

Diverse houtkachels zijn voorzien van een zogenaamde katalysator.  
Door toepassing van katalysator [24, 25] kunnen PAK-emissies worden verminderd met 43 tot ca. 80% en CO-emissies met 30 tot 90%.

Negatieve berichten zijn vermeld over de toepassing van een smoorplaat. Deze is vaak zo uitgevoerd dat te weinig verbrandingslucht kan toegevoerd, waardoor de CO en PAK-emissies sterk stijgen.



*Figuur 4.2 Meest voorkomende systemen voor luchttoevoer in houtkachel.*



#### 4.4 Invloed wijze van stoken

Bij het verbranden van hout zijn, zoals reeds eerder vermeld vier fasen te onderscheiden: droogfase, ontgassingsfase, verbrandingsfase en uitbrandfase.

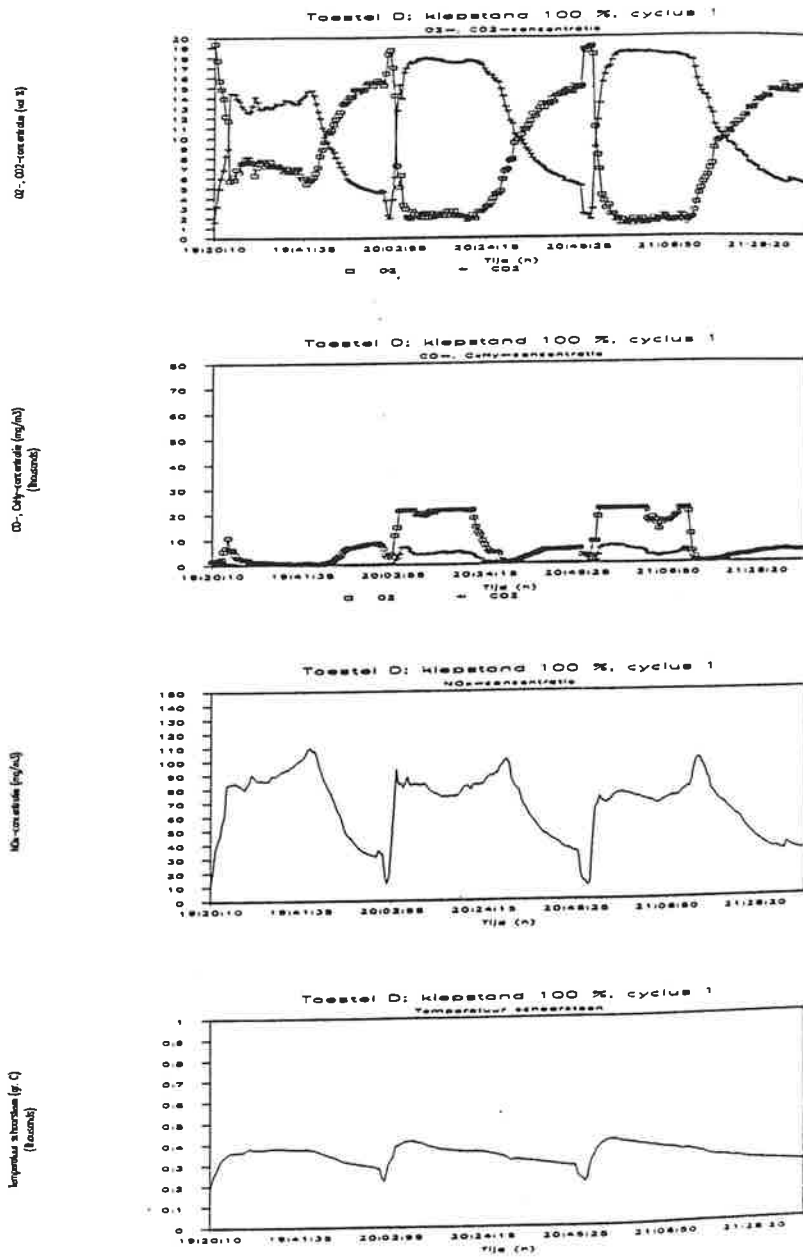
In figuur 4.3 is het typische emissieverloop weergegeven bij het verbranden van een stuk gekloofd hout in een reeds brandende kachel [22] met een gloeiende aslaag op het rooster.

Na het aanbrengen van het hout wordt dit eerst gedroogd. Daarbij ontstaan waterdamp en wellicht ook reeds enige lichte koolwaterstoffen in de rookgassen.

Kort daarna treedt de ontgassingsfase op, waarin de emissie van allerlei onverbrande produkten en CO begint. De concentraties aan onverbrande koolwaterstoffen en CO is in deze fase het hoogst. Vervolgens begint de verbrandingsfase. In deze fase stijgen  $\text{CO}_2$  en  $\text{NO}_x$  naar een maximumwaarde terwijl CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$  duidelijk afnemen. Tenslotte in de uitbrandfase daalt het  $\text{CO}_2$  in de rookgassen en blijven  $\text{NO}_x$ , CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$  min of meer constant tot het nieuwe houtblok wordt aangebracht.

In de literatuur zijn aanwijzingen gevonden dat de wijze van stoken grote invloed op de (PAK)emissies kan hebben. Struschka [37] geeft tabellen waaruit dit blijkt. Dit lijkt vooral op te treden bij gesmoord stoken, waarbij met ondermaat lucht wordt gestookt en bij het verbranden van nat hout (zie ook bijlage 5 blz. 3).

Bij de verbandingstest volgens het Besluit typekeur is de wijze van stoken genormaliseerd. De daarbij gemeten emissies kunnen echter afwijken van de praktijkomstandigheden. In de praktijk zullen namelijk in tegenstelling tot de testomstandigheden de stookomstandigheden sterk variëren. Factoren, die daarbij van belang zijn, zijn de beladingsgraad, de beladingsfrequentie en het bedienen van de luchttoevoerklappen van de kachel etc.



Figuur 4.3 Typisch verloop emissies bij houtverbanding.

## 4.5 Schatting emissies in Nederland

In tabel 4.3 is een overzicht gegeven van het aantal open haarden, inzethaarden en vrijstaande kachels dat naar schatting in Nederland is opgesteld [10].

Tabel 4.3 *Overzicht schatting aantal kachels en open haarden in Nederland (1994).*

	Open haard	Inzethaard	Kachel
aantal	600000	148000	354000

In tabel 4.4 is een overzicht gegeven van de gerapporteerde emissies in g per kg hout in kachels en open haarden. De getallen van de open haarden zijn ontleend aan [28]. De getallen van houtkachels en inzethaarden zijn ontleend aan [32], [30], [8], [36], [10] en [19].

Tabel 4.4 *Gerapporteerde emissies open haarden en kachels.*

	Open haard g/kg hout	Kachel/Inzethaard g/kg hout
CO	15 - 140	10 - 420
NO <sub>x</sub>	0,3 - 4	0,1 - 7,1
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	27,5	0,1 - 78
totaal stof	5,0 - 9	0,5 - 97
Naftaleen	0,00015	0,001 - 0,81
Fenantreen	0,0001	0,0004 - 0,17
Antraceen	0,00025	0,0002 - 0,160
Fluoranteen	0,0005	0,0005 - 0,087
Benzo(a)antraceen	0,0001	0,00008 - 0,037
Chryseen	0,00015	0,0001 - 0,028
Benzo(k)fluoranteen	0,00002	0,00002 - 0,017
Benzo(a)pyreen	0,00025	0,0001 - 0,028
Benzo(ghi)peryleen	0,0001	0,0001 - 0,022
Indeno(123-cd)pyreen	0,0001	0,0001 - 0,019

Volgens Slob [28] zijn de cijfers van de open haarden uit de tabel ontleend aan een groot aantal Amerikaanse en ook Nederlandse onderzoeken. Opvallend is de grote spreiding in de getallen. De emissies van open haarden per kg hout zijn gemiddeld lager dan die van houtkachels. In bijlage 1 is een tabel uit het genoemde onderzoek weergegeven. In de bijlage 1 blz. 2 t/m 5 zijn de resultaten weergegeven van een TNO-onderzoek [32] aan 3 houtkachels en een open haard (toestel D). Hieruit blijkt onder meer de grote spreiding in de PAK getallen per toestel individueel en onderling.

## 5. Het Besluit typekeuring houtkachels

Het Besluit typekeuring zal vermoedelijk medio 1996 van kracht worden. De tekst is nog niet definitief. Naar verwachting zal middels het Besluit de belangrijkste zaken als volgt worden geregeld:

- Fabrikant en importeur wordt verboden de door hem vervaardigde of ingevoerde houtkachels te verkopen, in voorraad te hebben, te vervoeren en af te leveren, indien deze niet bekoren tot een goedgekeurd type.
- De keuringseisen dienen volgens DIN 18891, DIN 18891 A1, DIN 18895 (deel 1 en 2) te worden uitgevoerd.
- Type goedkeuring zal door TNO plaatsvinden.

## 6. PAK

### 6.1 Algemeen

Bij het verbranden van hout in kachels voor huishoudelijk gebruik wordt PAK als een emissie gezien, die zorgen baart. Vooral in Amerika, Canada en Europese landen als Duitsland, Zwitserland, Oostenrijk, Nederland en de Scandinavische landen wordt deze zorg gedeeld.

### 6.2 Vormingsmechanisme

Wanneer organisch materiaal zoals hout wordt blootgesteld aan temperaturen rond 700 °C (bijvoorbeeld bij pyrolyseprocessen) en aan onvolledige verbranding, vindt vorming van PAK plaats.

De mechanismen van de vorming van PAK zijn niet volledig opgehelderd. Men gaat ervan uit dat twee mechanismen een rol spelen: pyrolyse en pyrosynthese. Bij de hoge temperaturen worden de aanwezige organische verbindingen gekraakt tot kleine onstabiele moleculen, meestal radicalen. Dit proces wordt pyrolyse genoemd. Tijdens dit proces recombineren deze radicalen tot reactieve tussenproducten, welke door ringsluiting, condensatie, dehydrogenering, Diels-Alder-reacties en ringuitbreiding uiteindelijk resulteren in een variëteit aan PAK. Dit proces wordt pyrosynthese genoemd. In bijlage 2 wordt als voorbeeld een vermoedelijk mechanisme van de vorming van benzo[a]pyreen onder pyrolytische omstandigheden weergegeven [26, 27]. Eenmaal gevormde PAK kunnen worden omgezet in meer complexe PAK. Optimale temperatuur-range voor de vorming van PAK is 650 - 750 °C. Voor de vorming van radicalen en propagatie van de kettingreactie is een reducerende omgeving van groot belang. Deze omstandigheden worden aangetroffen in het centrum van de vlam. De verbrandingsomstandigheden in de kachel hebben een groot effect op de hoeveelheid gevormde PAK en de samenstelling van het uiteindelijke PAK-mengsel. Hoe completer de verbranding, des te geringer zal de PAK-uitstoot zijn.

In bijlage 2 is een tabel opgenomen waaruit blijkt dat de PAK-emissies van een houtkachel duidelijk toenemen indien de kachel wordt 'gesmoord' en indien nat hout wordt verbrand [36].

### 6.3 PAK-reeksen

In de literatuur worden diverse PAK-reeksen gehanteerd. In tabel 6.1 is een overzicht gegeven van enkele PAK-reeksen.

In Nederland wordt gewerkt met de PAK-reeks, die in het basis document PAK is vermeld [11].

Tevens is in tabel 6.1 de procentuele bijdrage van de individuele PAK aangegeven op het totaal van de PAK (EPA). Deze gegevens zijn ontleend aan een TNO onderzoek aan 3 typen houtkachels en een open haard [32]. Uit de tabel blijkt dat door gebruikmaking van diverse reeksen verschil in totaal PAK kan ontstaan. In het TNO-onderzoek blijkt zelfs, dat meer dan 50% van de bijdrage van PAK wordt geleverd door componenten, die niet in het basis document PAK [11] zijn vermeld (Acenaftaleen, Acenafteen en Fluoreen). Deze zaken bemoeilijken de interpretatie van de in de literatuur gepresenteerde resultaten en dragen bij aan de reeds geconstateerde grote spreiding hierin.

In bijlage 2 zijn de structuren van de diverse PAK (EPA) weergegeven.

Tabel 6.1 Overzicht diverse PAK-reeksen.

	PAK-reeks volgens IBS	PAK. Commins [9]	PAK-reeks volgens EPA	PAK-reeks in Basis- document PAK	Bijdrage in % aan totaal PAK [32]
Naftaleen	x	x	x	x	5.0
Acenaftaleen		x	x		31.7
Acenafteen			x		10.1
Fluoreen		x	x		12.7
Fenantreen	x	x	x	x	14.2
Antraceen	x	x	x	x	2.9
Fluoranteen	x	x	x	x	7.9
Pyreen	x	x	x		6.9
Benzo(a)antraceen	x		x	x	1.5
Chryseen			x	x	1.9
Benzo(b)fluoranteen			x		0.9
Benzo(k)fluoranteen			x	x	0.6
Benzo(a)pyreen	x	x	x	x	1.1
Benzo(e)pyreen		x			
Benzo(ghi)peryleen		x	x	x	1.0
Dibenzo(ah)antraceen			x		0.8
Indeno(123-cd)pyreen			x	x	0.9
Antantreen		x			
Coroneen	x	x			

#### 6.4 Literatuuronderzoek naar relatie PAK met andere emissies

Er is in de literatuur (zie literatuurlijst, hoofdstuk 7) nauwelijks informatie te vinden over de relatie PAK en andere emissies bij verbranding van hout in houtkachels. In [24] kwam Lofroth onder andere tot de conclusie dat CO geen goede indicator is voor de emissie van organische componenten. Voorts werd geconcludeerd dat kachels ontworpen volgens het 'down draft' principe relatief weinig CO en PAK emitteren.

Kachels die een kleine hoeveelheid deeltjes en 'teer' uitstoten tijdens testen, hebben normaal gesproken ook een kleine uitstoot aan CO en PAK [19].

In [23] wordt door Elomaa (Finland) gesteld dat het verminderen van PAK kan plaats vinden door vermindering van de teer en roetuitworp. Teer en roet dat gevormd kan worden bij verbranding van onder andere hout bevat veel PAK.

In [15] wordt geconstateerd dat de PAK-emissie in g/kg hout in slechts geringe mate wordt beïnvloed door de verstookte hoeveelheid hout.

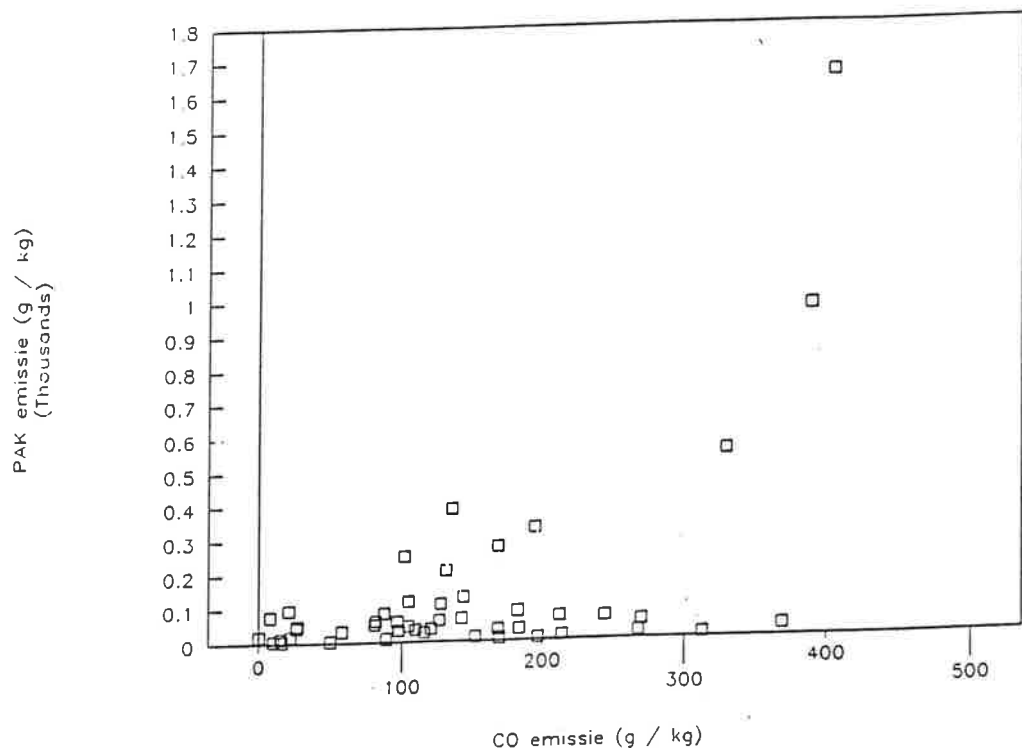
In [19] zijn door Karlsvik en Benestad PAK-emissies van vijf verschillende typen houtkachels onderzocht. De grafiek in bijlage 3 geeft een zwakke relatie aan van de PAK-emissie met die van het houtverbruik. De PAK-emissies lijken toe te nemen met het houtverbruik. Dit wordt bevestigd door de resultaten van het TNO-onderzoek [32], waarvan diagrammen van enkele resultaten in bijlage 3 blz. 3 t/m 5 weergegeven. Getracht werd om correlaties te vinden met giftigheidsindex, schoorsteentemperatuur, luchtvermaat,  $C_xH_y$  en stofgehalte. Blijkens de grafieken zijn er nauwelijks relaties te vinden. Wel lijkt er per toestel een verband te bestaan tussen PAK-emissies en de schoorsteentemperatuur. Dit is niet onlogisch omdat de schoorsteentemperatuur samenhangt met het houtverbruik.

## 7. Het effect van het Besluit op de PAK-emissies

### 7.1 Relatie PAK-CO-emissies

Om een relatie tussen PAK- en CO-emissies te kunnen vaststellen zijn de in de literatuur gevonden gegevens verzameld en statistisch bewerkt. Deze gegevens beperken zich tot houtkachels waarvan zowel de CO- als de PAK-emissies bekend zijn bij soms verschillende testcondities. De gegevens zijn ontleend aan [32], [30], [8], [36], [10], [19]. In totaal betreft dit 48 CO- en PAK-metingen, die in diverse landen aan houtkachels zijn uitgevoerd.

Van de gegevens zijn een aantal grafieken gemaakt. In figuur 7.1 is in een grafiek de PAK-emissie van de 10 VROM-PAK uitgezet als functie van de CO-emissie.



Figuur 7.1 Relatie PAK (10 VROM PAK) CO.

Uit de grafiek blijkt dat een grote spreiding in de PAK-emissies bij een bepaald CO-gehalte voorkomt. Met een statistisch computer programma (SAS) is geprobeerd om een curve te 'fitten' van deze grafiek. Het programma gaf aan dat dit niet met voldoende betrouwbaarheid mogelijk was. Wel blijkt uit de grafiek dat onder de CO-grenswaarde van 60 g CO per kg hout (de in het Besluit gestelde grenswaarde) de PAK-emissies duidelijk lager zijn dan boven deze grenswaarde.

Berekend werd dat de gemiddelde PAK-emissie 34 mg/kg hout is onder de CO-grenswaarde en 167 mg/kg hout boven de grenswaarde. Om de betrouwbaarheid van



deze getallen te berekenen is een T-toets uitgevoerd op beide gemiddelde waarden (boven en onder de grenswaarde). De resultaten van deze T-toetsen zijn weergegeven in tabel 7.1.

Tabel 7.1 Resultaten van een T-toets op de PAK-emissies van kachels boven en onder 60 g CO per kg hout.

	PAK (10 RIVM/VROM)			T-toets	Overschrijdingskans
	Gemiddelde PAK in mg/kg hout	Standaard deviatie	Standaard fout		
CO<60 g/kg hout	34,0	32,0	10,1	-2.4736	0.018
CO>60<g/kg hout	167	317,4	52,9		

De T-toets levert een tweezijdige overschrijdingskans van 0.0180 (1.8%). Dit getal geeft de kans dat het gemiddelde van de twee groepen (gemiddelde PAK van CO<60 en CO>60) aan elkaar gelijk is. De T-toets geeft aan dat het gemiddeld PAK-gehalte boven de 60 g CO per kg hout grenswaarde (CO60) significant hoger is dan onder deze grens.

De standaard deviatie van 317.4 bij de CO>60 is groot. Dit betekent dat een grote spreiding voorkomt in de betreffende PAK waarden.

In bijlage 5 blz. 1 zijn per afzonderlijke (VROM)-PAK soortgelijke grafieken weergegeven als in figuur 7.1. Uit deze grafieken blijkt dat elke afzonderlijke component hetzelfde patroon vertoont. De waargenomen CO/PAK relatie geldt dus ook voor alle betrokken componenten afzonderlijk.

## 7.2 Schatting PAK-emissies in Nederland

Om te kunnen schatten wat het effect van het Besluit op de PAK-emissies is, zijn van alle in de literatuur gevonden CO-metingen (ca. 250 metingen) berekend welk percentage van de waarden lager dan 60 g/kg hout zijn. Dit bleek 37% te zijn. In bijlage 5 blz. 2 is de frequentieverdeling van deze CO-metingen opgenomen.

Aannemende dat het doorgemeten kachelbestand representatief is voor het Nederlandse kachelbestand mag worden aangenomen dat ca. 37% van de Nederlandse houtkachels momenteel aan het Besluit zou voldoen.

Schattingen van VHR geven aan dat ca. 53% van het houtkachel bestand in Nederland aan het Besluit typekeuring houtkachels zou voldoen.

Ook vanuit de keuringsinstanties in Duitsland zijn uit mondelinge berichten schattingen bekend. Volgens deze berichten zou ca. 50% van de houtkachels aan het Besluit voldoen. In tabel 7.2 is een overzicht gegeven van de schattingen.

Tabel 7.2 *Schattingen procentuele aandeel van de kachels dat aan de typekeuring zou voldoen.*

	TNO <sup>1)</sup>	VHR	Duitsland
Voldoet wel	37	53	50
Voldoet niet	63	47	50

<sup>1)</sup> gebaseerd op literatuuronderzoek

De schattingen van VHR en Duitsland zijn gebaseerd op typen houtkachels en verkoopcijfers, terwijl het TNO literatuuronderzoek betrekking heeft op berekeningen op allerlei houtkachels (onder testcondities) waarvan de meetresultaten zijn gepubliceerd.

Door Slob [28] is reeds een schatting gemaakt van de emissies van houtkachels en open haarden in Nederland. In bijlage 4 zijn enkele resultaten van zijn berekeningen weergegeven. Volgens Slob zal de emissie aan PAK door verbranding van hout in kachels en open haarden zal tot het jaar 2010 bijna verdubbelen bij ongewijzigd beleid van de overheid. Dit is gebaseerd op emissies van een 'slechte' en een 'goede' houtkachel en op een bepaalde verwachting van de groei van het aantal open haarden en houtkachels. De verwachte ontwikkeling van het open haard- en kachelbestand is in bijlage 4 weergegeven.

Uitgaande van de berekende gemiddelde PAK-emissies uit tabel 7.1 kunnen berekeningen worden gemaakt van de totale Nederlandse PAK-emissies afkomstig van houtkachels en inzethaarden.

Voor deze berekening is het van belang een aantal uitgangspunten te formuleren:

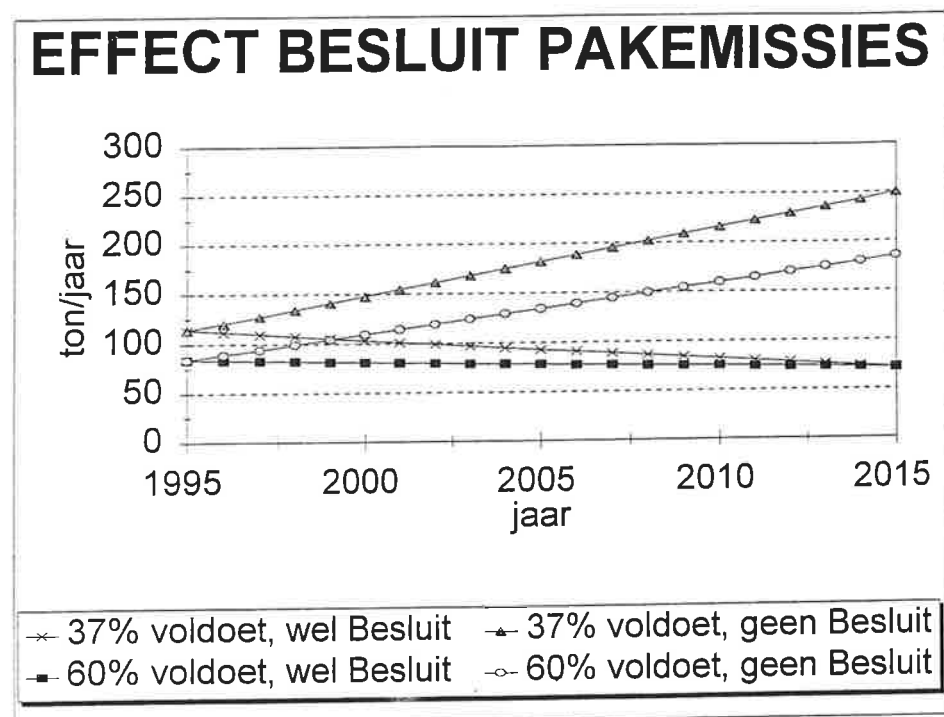
- Het bestand aan kachels en inzethaarden in Nederland bedraagt eind 1995 502000 exemplaren, zie [28].
- Gemiddelde VROM-PAK-emissies van 34 mg/kg hout voor kachels en inzethaarden, die minder dan 60 g CO/kg hout emitteren.
- Gemiddelde VROM-PAK-emissies van 167 mg/kg hout voor kachels en inzethaarden, die meer dan 60 g CO/kg hout emitteren.
- Een houtverbruik per kachel van 1925 kg per jaar [28]
- Een gemiddelde levensduur van het kachelbestand in Nederland van 1995 van 20 jaar. Dit betekent dat gemiddeld jaarlijks 5% van dit kachelbestand wordt vervangen door een kachel, die behoort tot het goedgekeurde type. Bij een bestand van 502000 kachels zijn dit gemiddeld 25100 kachels per jaar.
- Een geprognoseerde autonome groei van 30000 kachels per jaar [28].

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in de grafiek van figuur 7.1. In de grafiek zijn 4 lijnen weergegeven. Iedere lijn geeft de berekende hoeveelheid jaarlijks geëmitteerde PAK van 1995 tot en met 2015, uitgaande van 4 verschillende situaties:

- Het verloop van de PAK-emissies indien momenteel 37% van het Nederlandse kachelbestand voldoet aan het Besluit.

- Het verloop van de PAK-emissies indien momenteel 60% van het Nederlandse kachelbestand voldoet.
- Het verloop van de PAK-emissies indien 37% onder de grenswaarde ligt en er geen Besluit wordt ingevoerd.
- Het verloop van de PAK-emissies indien 60% onder de grenswaarde ligt en er geen Besluit wordt ingevoerd.

In figuur 7.2 kan worden afgelezen dat de verschillen van deze vier lijnen bij invoering van het Besluit vooral optreden in de eerste jaren na de invoering van het typekeur. Na twintig jaar (in 2015) is aangenomen dat alle kachels zijn vervangen en komen de beide lijnen bij invoering van het Besluit uiteindelijk op een punt uit. Als dezelfde berekening zou worden uitgevoerd met bijvoorbeeld 30% en 70% van het kachelbestand (indien dat aan het Besluit zouden voldoen) in Nederland, blijft de tendens hetzelfde; na twintig jaar zijn alle kachels vervangen en voldoen alle kachels in Nederland aan het Besluit en komen de lijnen dus weer op een (hetzelfde) punt uit.



Figuur 7.2 Effect van het Besluit typekeur houtkachels op de (10-RIVM)PAK-emissies van houtkachels en inzethaarden in Nederland.

Uit de grafiek van figuur 7.2 blijkt dat zonder typekeur de PAK-emissie van houtkachels in Nederland over 20 jaar ongeveer zal zijn verdubbeld. Wordt het typekeur ingevoerd, dan zal de PAK-emissie van houtkachels in Nederland enigszins dalen. Deze conclusie komt overeen met de bevindingen van Slob [28]. Het niveau van de PAK-emissies ligt echter hoger dan door Slob is berekend.

Opgemerkt dient te worden dat deze benadering en daarom tevens de berekende PAK-niveaus als indicatief moeten worden beschouwd. Factoren die de nauwkeurigheid van de schattingen negatief beïnvloeden zijn:

- Bijna alle PAK-emissies uit de berekening zijn afkomstig van testcondities. Met de praktijkomstandigheden kunnen grote verschillen optreden [37].
- Het aantal metingen voor de statistische berekening is erg klein (48 PAK-metingen, 248 CO-metingen) ten opzichte van het huidige kachelbestand (aangenomen 502000 kachels).
- De grote spreiding in de PAK-emissies van houtkachels.
- Aannames van de verkoopcijfers (gemiddeld 25100 kachels vervanging en 30000 kachels uitbreiding van het huidige kachelbestand) van de toekomstige kachels zijn erg onzeker. De verkoop zal aan allerlei economische en maatschappelijke invloeden onderhevig zijn.

Voorts is in de berekening van de PAK-emissies in Nederland afkomstig van houtverbranding in huishoudelijke toestellen met een aantal factoren geen rekening gehouden zoals:

- De invloed van de PAK-emissies van open haarden. Er worden in de toekomst open haarden vervangen door kachels [28].
- Het huidige kachelbestand is vrij nieuw (zie bijlage 4). Dit betekent dat de vervangingsmarkt mogelijk pas later zal ontstaan dan in de berekening is aangenomen.

## 8. Conclusies en aanbevelingen

Ten aanzien van het uitgevoerde literatuuronderzoek naar de vorming van PAK kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- Naar schatting zal de PAK-emissie ten gevolge van houtverbranding in houtkachels en inzethaarden door invoering van het Besluit over 20 jaar zijn gehalveerd ten opzichte van de PAK-emissies, indien geen typekeur zal worden ingevoerd.
- Door de invoering van het Besluit zullen naar verwachting, bij een autonome groei van ca. 30000 houtkachels en inzethaarden per jaar, de PAK-emissies van deze toestellen niet verder toenemen of mogelijk iets verminderen ten opzichte van de huidige situatie. Dit is in overeenstemming met de doelstelling van de overheid om de PAK-emissies van houtverbranding in huishoudelijke toestellen op termijn te stabiliseren (Beleidsplan PAK).
- Uit de gegevens in de literatuur kan geen relatie tussen PAK- en CO-emissie worden vastgesteld, vanwege de grote spreiding in de emissies. Wel is duidelijk dat onder de grenswaarde van 60 g CO per kg hout de gemiddelde hoeveelheid PAK per houtkachel 5 maal lager is dan boven de grenswaarde.
- De in de literatuur gevonden PAK-emissies zijn voornamelijk vastgesteld bij proeven onder testomstandigheden met natuurlijke trek. In het Besluit worden de kachels getest met opgelegde trek. De testomstandigheden kunnen sterk afwijken van de praktijkomstandigheden. De wijze van stoken (praktijkomstandigheden) zal vermoedelijk een grote invloed hebben op de PAK-emissies [37].
- De PAK-emissies van houtkachels vertonen grote spreidingen van 3,8 mg/kg tot ca. 1200 mg/kg (10-PAK RIVM).
- PAK-emissies van open haarden zijn lager dan die van houtkachels.
- Er zijn aanwijzingen dat PAK-emissies van houtkachels een relatie hebben met stof en teeremissies van houtkachels.

Om de betrouwbaarheid van de eerste drie bovenstaande conclusies te verhogen, wordt voorgesteld het onderzoek voort te zetten met de uitvoering van de tweede fase van het project. In deze fase zal met een praktijkonderzoek aan typen van de in Nederland meest verkochte houtkachels worden onderzocht:

- (PAK)emissies onder praktijkomstandigheden.
- (PAK)emissies op proefstand bij geforceerde trek (typekeuring).
- (PAK)emissies op proefstand bij natuurlijke trek (meeste referenties).

De proeven zullen naar verwachting:

- inzicht geven in het verschil in PAK-emissies onder praktijkomstandigheden ten opzichte van die onder testomstandigheden (met standaard houtblokken enz.);
- de afwijking aangeven tussen (PAK)emissies onder testomstandigheden met natuurlijke trek ten opzichte van geforceerde trek;
- een nauwkeuriger bepaling geven van de gemiddelde PAK en CO-emissies van houtkachels, die wel en die niet voldoen aan het Besluit.

Verwacht wordt dat bij invoering van het Besluit een aanzienlijk aantal kachels ter goedkeuring zal worden aangeboden. Voorgesteld wordt om een project op te starten waarbij tijdens de keuringen tevens de PAK-emissies en de rookdichtheid worden gemeten. Hierdoor kan op relatief goedkope wijze meer informatie worden verkregen over de relatie PAK en andere emissies.

Tevens wordt voorgesteld van alle keuringsresultaten een bestand aan te leggen, waarmee op langere termijn het effect van het Besluit kan worden gemonitord.

## 9. Referenties

- [1] Okken, P.A.  
Milieu-effecten van allesbranders en open haarden.  
Publikatiereeks Lucht nr. 2, december 1982.
- [2] Okken, P.A.  
Houtkachels in Nederland; Bijdrage aan energievoorziening en milieubelasting.  
Novem, 1992.
- [3] Sulilatu, W.F.; Loo, S. van.  
Onderzoek naar de emissies van vaste-brandstofoestellen voor huishoudelijk gebruik.  
93-216, TNO-ME, Apeldoorn, September 1993.
- [4] Sulilatu, W.F.  
Kleinschalige verbranding van schoon afvalhout in Nederland.  
92-278, TNO-ME, Apeldoorn, November 1992.
- [5] Poirot, R.L.  
Secondary air systems for improved residential wood stove combustion.  
DOE/R1/2633--T1, DE85 013570.  
U.S. Department of Energy, Region I, Washington 1982.
- [6] Pullen, D.R.  
Design features and test experiences with domestic wood fired heaters in New Zealand.  
Proceedings 1981 International Conference on Residential Solid Fuels.
- [7] Rook, R.  
De grote houtkachelgids.  
Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen, september 1982.
- [8] DeAngelis, D.G. et al.  
Preliminary characterization of emissions from wood-fired residential combustion equipment.  
Monsanto Res. Corp., Dayton, Ohio, March 1980 (prepared for EPA).
- [9] Shelton, J.  
Wood heating system designconflicts and possible solutions.  
Proceedings 1981 International Conference on Residential Solid Fuels.

- [10] Slob, A.F.L.; Steenwinkel, I.S.  
Procesbeschrijving open haarden, hout- en kolenkachels.  
Communicatie- En Adviesbureau over energie en milieu. Rapportnummer IS416211.rap.
- [11] Slooff, W. e.a.  
Basisdokument PAK. Met appendix Integrated criteria document polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) effects of 10 selected compounds.  
Rapportnummer 75847007 Bilthoven, RIVM, 1989.
- [12] Peters, J.A.  
POM emissions from residential woodburning: an environmental assessment.  
Published in RESIDENTIAL SOLID FUELS Environmental Impacts and Solutions Oregon Graduate Center, June 1981, p. 267-288.
- [13] Commins, B.T.  
Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during pyrolysis and combustion of hydrocarbons.  
Atmospheric Environment Pergamon Press 1969. Vol. 3, pp. 565-572.
- [14] Cooke, W.M.; Allen, J.M.; Hall, R.E.  
Characterization of emissions from residential wood combustion sources.  
Proceedings 1981 International conference on residential solid fuels, Environmental impacts and solutions, Publisher Oregon graduate center Beaverton, Oregon, USA, 1982.
- [15] McCrillis, R.C.; Burnet, P.G.  
Effects of burnrate, wood species, altitude, and stove type on woodstove emissions.  
Toxicology and Industrial Health, vol. 6, No. 5, 95-102, 1990.
- [16] McCrillis, R.C. et al.  
Effects of Operating Variables on PAH Emissions and Mutagenicity of Emissions from Woodstoves.  
J. air waste manage. assoc., vol. 42, No. 5, 691-694, May 1992.
- [17] Nussbaumer, Th.  
Schadstoffbildung bei Verbrennung von Holz.  
Forschungsbericht nr.6, Laboratorium für Energiesysteme, ETH Zürich, 1989.
- [18] Leese, K.E.; McCrillis, R.C.  
Integrated Air Cancer Project, Source Measurement.  
EPA/600/D-86/152, July 1986.



- [19] Karlsvik, E.; Benestad, C.  
CO, particles, tar and PAH emissions from five different wood stoves/  
fireplaces in Norway.  
Foundation for scientific and industrial research, Norwegian institute of  
technology, Trondheim, Norway, May 1991.
- [20] Guenther, F.R. et al.  
Residential Wood Combustion: A Source of Atmospheric Polycyclic  
Aromatic Hydrocarbons.  
Journal of high resolution chromatography & chromatography  
communications, 761-766, vol. 1, November 1988.
- [21] Thomas Nussbaumer.  
Emissions from Biomass Combustion  
ETH Zurich.
- [22] Michael Struschka, Dieter Straub, Guenter Baumbach  
Schadstoffemissionen von Kleinfeuerungen.  
Universitaet Stuttgart, Berichtnr. 11-1988.
- [23] Matti Elomaa and Erkki Saharinen.  
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in soot produced by combustion  
of polystyrene, polypropylene and wood.
- [24] Goran Lofroth, Greorgius Lazaridis and Lars Rudling.  
Mutagenicity assay of emissions axtracts from woodstoves: comparison with  
other emissionparameters.
- [25] Frank Zimar Rbert Vandewoestine and Roger A. Allaire, Corning Glassworks  
NY 14830.  
The effect of catalytic combustion on creosote reduction combustion  
efficiency and pollotion abatement for residential wood heaters.
- [26] M.L. Lee, M.V. Novotny en K.D. Bartle.  
Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds, Academic Press,  
New York, 1981.
- [27] G.M. Badger, R.G. Buttery, R.W.L. Kimber, G.E. Lewis, A.G. Moris en  
I.M. Napier.  
J. Chem. Soc. 2249, 1958.
- [28] Slob, A.F.L. en Steenwinkel, I.S.  
Gebruik open haarden en kachels voor vaste brandstoffen.  
CEA Rapportnr. 9471.

- [29] Informele concepttext VROM.  
Besluit typekeuring houtkachels luchtverontreiniging koolstofmonoxide.
- [30] Preben Aagaard Nielsen, Arne Grove, Henrik Olsen.  
The emission of PAH and mutagenic activity from small woodstoves is greatly influenced by the quality of the wood.  
Chemosphere Vol. 24, No 9, pp 1317-1330, 1992.
- [31] G. Baumbach, M. Angener.  
Schadstoffemissionen gewerblicher und industrieller Holzverbrennung;  
Erfassung des Standes der Technik und Möglichkeiten zur  
Emissionsminderung.  
Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK 103, März 1993.
- [32] S. van Loo, W.F. Sulilatu.  
Onderzoek naar de emissies van vaste brandstofstoestellen voor huishoudelijk  
gebruik.  
TNO, 93-216, november 1993.
- [33] Nationaal Milieubeleidsplan.  
Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, nrs. 1-2.
- [34] Ministerie van VROM  
Beleidsstandpunt polycyclische aromatische koolwaterstoffen in het milieu,  
september 1993.
- [35] Ministerie van VROM.  
Besluit typekeuring luchtverontreiniging houtkachels, juli 1994.
- [36] Den Boeft, J. en Kruiswijk. F.J.  
Emmissie onderzoek aan een haardblok gestookt in een open haard.  
IMG-TNO juni 1985.
- [37] Struschka, M. Weissach.  
Hozfeuerung in Feuerungsanlagen.  
Grundlagen-Emissionen-Entwicklung schadstoffarmer Kachelofen.  
VDI Fortschrittbericht, Reihe 15, Umwelttechnik Nr.108, VDI-Verlag 1993  
ISBN 3-18-140815-8.

## 10. Verantwoording

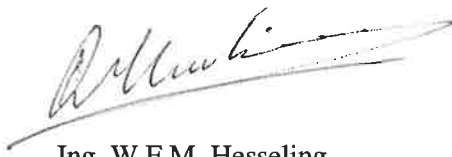
Naam en adres van de opdrachtgever  
Ministerie van VROM, DGM  
Directie Industrie, Bouw, Produkten en Consumenten/650  
Mr. S.W. Josephus Jitta  
Postbus 30950  
2500 GX Den Haag

Namen en functies van de projectmedewerkers  
Ir. S. van Loo wetenschappelijk medewerker  
Ing. W.F.M. Hesseling research medewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed  
.....

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad  
oktober 1994 - april 1995

Ondertekening



Ing. W.F.M. Hesseling  
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. J. de Koning  
afdelingshoofd

## Bijlage 1 Tabellen met PAK-emissies

Bronvermelding [10] en [32].

Houtkachel emissies mg/kg	b) Sanborn et al (1983)	c) Lippert & Leo (1985)	b) Ramdahl et al (1982) gemiddelden	b) DeAngelis (1980 b)	b) Den Boeft et al (1984)* gesmoord	b)Den Boeft et al (1984)* nominaal	c) Cooper (1980)	c)Ramdahl et al (1983)	b) v. Loo & Sulianu (in prep.)	c) Veldt (1993)
Naftaleen					3.0 (1.4-4.9)	9,7(5.8-16.1)			12	2.3
Anthraceen			1.1(0.1-1.8)	**12(9.6-14.6)	0.1(0.08-0.2)	0.2(0.1-0.2)	**96		7	0.4
Fenanthreen			5.0(0.8-8.4)		1.2(0.4-2.6)	1.6(1.0-1.9)			33	2.5
Fluoranthreen			1.9(0.3-3.2)	18(1.2-31.6)	0.4(0.3-0.5)	0.4(0.3-0.4)	22		18	0.8
Benzo(a)antracene			0.4(0.06-0.8)	***14.5(1.3-37.1)	0.1(0.1)	0.1(0.05-0.2)	17.7		3	0.2
Chryseen			0.6(0.5-0.8)		0.1(0.1)	0.1(0.05-0.3)			4	0.2
Benzo(k)fluoranthreen					0.04(0.02-0.05)	0.06(0.03-0.1)	****13.5		1	0.1
Benzo(a)pyreen	28.8	0.04-2.5	0.4(0.05-0.6)		0.07(0.05-0.09)	0.1(0.04-0.2)	2.5	0.5	3	0.2
Benzo(ghi)peryleen			0.3(0.03-0.5)	4.9(1.1-9.9)	0.1	0.2(0.1-0.2)	5.9		2	0.1
Indeno(123cd)pyreen			0.2(0.03-0.4)		d)	0.03			2	0.1

a) praktijkonderzoek

b) laboratoriumonderzoek

c) samenvattend artikel

d) was niet te meten

\* gemiddeld voor DIN-blok en openbaardhout

\*\* emissie Anthraceen en Fenanthreen

\*\*\* emissie van Benzo(a)antracene en Chryseen

\*\*\*\* emissie van Benzofluoranthreen

emissies van 10-VROM-PAK voor de houtkachel in mg/kg. Tussen haakjes is de spreiding in emissiewaarden aangegeven.

## Omstandigheden tijdens emissiemetingen; Toestel A

	Cyclus					
	1	2	3	4	5	6
datum	10/11	10/11	11/11	11/11	10/11	11/11
klepstand [%]	100	100	50	50	0	0
houtverbruik <sup>1)</sup> [kg droog/h]	7.9	7.6	3.2	3.0	1.5	1.4
belasting <sup>2)</sup> [kW]	40	38	16	15	8	7
Hs [%]	26.1	26.4	7.2	6.1	5.4	6.3
Hi [%]	1.2	0.8	5.0	6.8	12.0	15.0
Hd [%]	0.5	0.4	1.6	7.5	15.9	17.0
Ha [%]	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
rendement [%]	70	71	84	78	65	60
temperatuur schoorsteen [°C]	438	487	168	141	94	100
temperatuur omgeving [°C]	18	18	18	18	18	19
schoorsteentrek [Pa]	20	20	18	17	8	8
O <sub>2</sub> [vol.%]						
O <sub>2</sub> -minimaal [vol.%]						
CO <sub>2</sub> [vol.%]	11.0	12.1	12.2	11.8	7.9	7.2
debiet schoorsteen [m <sup>3</sup> ind/h]	65	57	20	20	14	14
debiet verdunningstunnel [m <sup>3</sup> ind/h]	500	400	400	500	400	400

<sup>1)</sup> Vochtgehalte is vastgesteld op 16 gew.%

<sup>2)</sup> Verbrandingswarmte is gesteld op 18 MJ/kg droog hout

## Resultaten emissiemetingen gemiddeld per cyclus; Toestel A

	Cyclus					
	1	2	3	4	5	6
datum	10/11	10/11	11/11	11/11	10/11	11/11
klepstand [%]	100	100	50	50	0	0
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	2579	1958	13890	18451	17988	25798
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	397	188	1058	2514	3833	3445
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	69.1	67.8	39.3	35.5	19.0	20.4
Giftigheidsindex	1.9	1.3	9.1	12.5	23.0	28.6
CO [g/kg hout]	21	15	89	121	214	268
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [g/kg hout]	3	1	7	17	36	36
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [g/kg hout]	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2
totaal stof [g/kg hout]	1	1	3	16	35	37
PAK <sup>3)</sup> [mg/kg hout]	149	18	34	171	58	141
geur [1000 ge/kg hout]			2200	12000		

<sup>1)</sup> Uitgedrukt als totaal C

<sup>2)</sup> Uitgedrukt als NO<sub>2</sub>

<sup>3)</sup> EPA-reeks (zie bijlage 4.4.3)

## Omstandigheden tijdens emissiemetingen; Toestel B

	Cyclus					
	1	2	3	4	5	6
datum	15/09	15/09	16/09	16/09	07/10	07/10
klepstand [%]	100	100	50	50	0	0
houtverbruik <sup>1)</sup> [kg droog/h]	8.8	6.8	3.0	3.2	1.7	1.8
belasting <sup>2)</sup> [kW]	44	34	15	16	9	9
Hs [%]	33.8	27.4	22.3	18.3	16.0	16.1
Hi [%]	0.5	0.9	4.6	5.0	7.1	10.4
Hd [%]	0.4	0.3	0.6	0.3	0.5	1.2
Ha [%]	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
rendement [%]	63	70	71	75	75	71
temperatuur schoorsteen [°C]	492	449	391	373	222	238
temperatuur omgeving [°C]	20	20	19	18	17	20
schoorsteentrek [Pa]	20	20	18	17	14	13
O <sub>2</sub> [vol.%]	8.3	11.0				
O <sub>2</sub> -minimaal [vol.%]	4.6	5.2				
CO <sub>2</sub> [vol.%]	12.0	9.5	11.9	11.4	8.5	7.2
debiet schoorsteen [m <sup>3</sup> ind/h]	84	58	24	22	15	18
debiet verdunningstunnel [m <sup>3</sup> ind/h]	456	456	450	450	550	550

<sup>1)</sup> Vochtgehalte is vastgesteld op 16 gew.%

<sup>2)</sup> Verbrandingswarmte is gesteld op 18 MJ/kg droog hout

## Resultaten emissiemetingen gemiddeld per cyclus; Toestel B

	Cyclus					
	1	2	3	4	5	6
datum	15/09	15/09	16/09	16/09	07/10	07/10
klepstand [%]	100	100	50	50	0	0
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	996	1851	10250	12822	14337	18909
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	84	14	1132	1319	1178	2381
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	84.5	55.4	43.4	36.4	29.0	24.8
Giftigheidsindex	0.7	1.6	6.9	9.0	13.5	21.1
CO [g/kg hout]	10	16	82	88	127	184
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [g/kg hout]	1	<1	9	9	10	23
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [g/kg hout]	0.8	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
totaal stof [g/kg hout]	1	1	1	1	1	3
PAK <sup>3)</sup> [mg/kg hout]	37	23	137	163	129	43
geur [1000 ge/kg hout]	210	110	420	260	2400	27000

<sup>1)</sup> Uitgedrukt als totaal C

<sup>2)</sup> Uitgedrukt als NO<sub>2</sub>

<sup>3)</sup> EPA-reeks (zie bijlage 4.4.3)

*Omstandigheden tijdens emissiemetingen; Toestel C*

	Cyclus							
	1	2	3	4	5	6	7	8
datum	12/10	12/10	13/10	13/10	12/10	12/10	14/10	15/10
klepstand [%]	100	100	80	80	50	50	0	0
houtverbruik <sup>1)</sup> [kg droog/h]	2.2	2.0	2.2	1.9	1.4	1.3	0.9	0.7
belasting <sup>2)</sup> [kW]	11	10	11	10	7	7	5	4
Hs [%]	21.6	20.5	22.1	22.0	18.2	16.4	-	16.3
Hi [%]	0.5	1.5	0.6	0.6	1.5	0.8	-	1.3
Hd [%]	2.7	2.4	2.5	1.8	2.2	1.4	-	1.5
Ha [%]	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	-	1.8
rendement [%]	74	74	73	74	76	80	-	79
temperatuur schoorsteen [°C]	342	291	295	287	262	247	-	200
temperatuur omgeving [°C]	18	20	17	20	20	19	-	20
schoorsteentrek [Pa]	19	19	18	18	17	17	18	18
O <sub>2</sub> [vol.%]	-	-	-	-	-	-	-	-
O <sub>2</sub> -minimaal [vol.%]	1.4	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	-	-
CO <sub>2</sub> [vol.%]	10.5	9.1	8.7	8.4	9.1	9.6	-	7.6
debiet schoorsteen [m <sup>3</sup> ind/h]	19	20	24	21	14	13	-	9
debiet verdunningstunnel [m <sup>3</sup> ind/h]	600	600	600	600	600	700	700	600

<sup>1)</sup> Vochtgehalte is vastgesteld op 16 gew.%

<sup>2)</sup> Verbrandingswarmte is gesteld op 18 MJ/kg droog hout

*Resultaten emissiemetingen gemiddeld per cyclus; Toestel C*

	Cyclus							
	1	2	3	4	5	6	7	8
datum	12/10	12/10	13/10	13/10	12/10	12/10	14/10	15/10
klepstand [%]	100	100	80	80	50	50	0	0
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	950	2644	1077	950	2610	1485	-	1835
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	176	183	574	504	157	153	-	301
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	72.4	49.9	54.5	57.8	60.2	59.7	-	32.0
Giftigheidsindex	0.7	2.3	1.0	1.0	2.3	1.2	-	1.9
CO [g/kg hout]	8	27	11	10	26	14	-	22
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [g/kg hout]	2	2	6	5	2	1	-	4
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [g/kg hout]	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	-	0.4
totaal stof [g/kg hout]	5	5	5	4	5	3	2	3
PAK <sup>3)</sup> [mg/kg hout]	157	129	-	-	138	79	232	94
geur [1000 ge/kg hout]	2000	3300	-	-	3300	5900	11700	11500

<sup>1)</sup> Uitgedrukt als totaal C

<sup>2)</sup> Uitgedrukt als NO<sub>2</sub>

<sup>3)</sup> EPA-reeks (zie bijlage 4.4.3)

## Omstandigheden tijdens emissiemetingen; Toestel D

	Cyclus								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
datum	26/10	29/10	04/11	27/10	30/10	30/10	28/10	02/11	02/11
klepstand [%]	100	100	100	50	50	50	0	0	0
houtverbruik <sup>1)</sup> [kg droog/h]	4.4	6.0	6.2	3.4	4.3	2.8	2.6	1.4	2.6
belasting <sup>2)</sup> [kW]	22	30	31	17	22	14	13	7	13
Hs [%]	16.5	15.3	11.9	11.7	9.0	9.3	9.2	10.2	8.3
Hi [%]	4.1	5.8	7.3	5.3	10.0	8.6	5.9	5.9	7.4
Hd [%]	2.4	2.0	-	0.9	-	-	1.2	-	-
Ha [%]	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
rendement [%]	75	75	79	80	79	80	82	81	83
temperatuur schoorsteen [°C]	336	390	388	238	268	243	192	210	231
temperatuur omgeving [°C]	18	19	17	17	18	18	20	19	18
schoorsteentrek [Pa]	21	22	21	19	19	19	17	17	16
O <sub>2</sub> [vol.%]	7.3			7.2			7.5		
O <sub>2</sub> -minimaal [vol.%]	1.2			1.6			2.6		
CO <sub>2</sub> [vol.%]	12.6	14.0	17.2	12.2	14.9	12.4	12.1	13.4	10.7
debiet schoorsteen [m <sup>3</sup> ind/h]	35	33	27	28	21	15	21	10	13
debiet verdunningstunnel [m <sup>3</sup> ind/h]	489	489	600	480	480	480	300	300	550

<sup>1)</sup> Vochtgehalte is vastgesteld op 16 gew.%

<sup>2)</sup> Verbrandingswarmte is gesteld op 18 MJ/kg droog hout

## Resultaten emissiemetingen gemiddeld per cyclus; Toestel D

	Cyclus								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
datum	26/10	29/10	04/11	27/10	30/10	30/10	28/10	02/11	02/11
klepstand [%]	100	100	100	50	50	50	0	0	0
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	>6800	18732	30171	>10660	37065	27599	>12100	14871	25371
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	2130	3374	4032	>2870	5083	2807	>1800	665	3227
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	63.0	58.5	51.5	59.5	44.5	43.2	-	45.5	46.0
Giftigheidsindex	>6.6	10.7	14.1	>8.8	19.9	17.8	>9.9	11.4	15.3
CO [g/kg hout]	>72	102	136	>94	169	144	>105	132	128
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup> [g/kg hout]	15	18	19	>21	23	13	>20	4	15
NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> [g/kg hout]	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3	-	0.4	0.3
totaal stof [g/kg hout]	5	4		2			3	3	
PAK <sup>3)</sup> [mg/kg hout]		595	1022		922	391		437	280
PCDD/F [ng TEQ/kg hout]	3.3			1.6			2.6		
geur [1000 ge/kg hout]					1900	11900			

<sup>1)</sup> Uitgedrukt als totaal C.

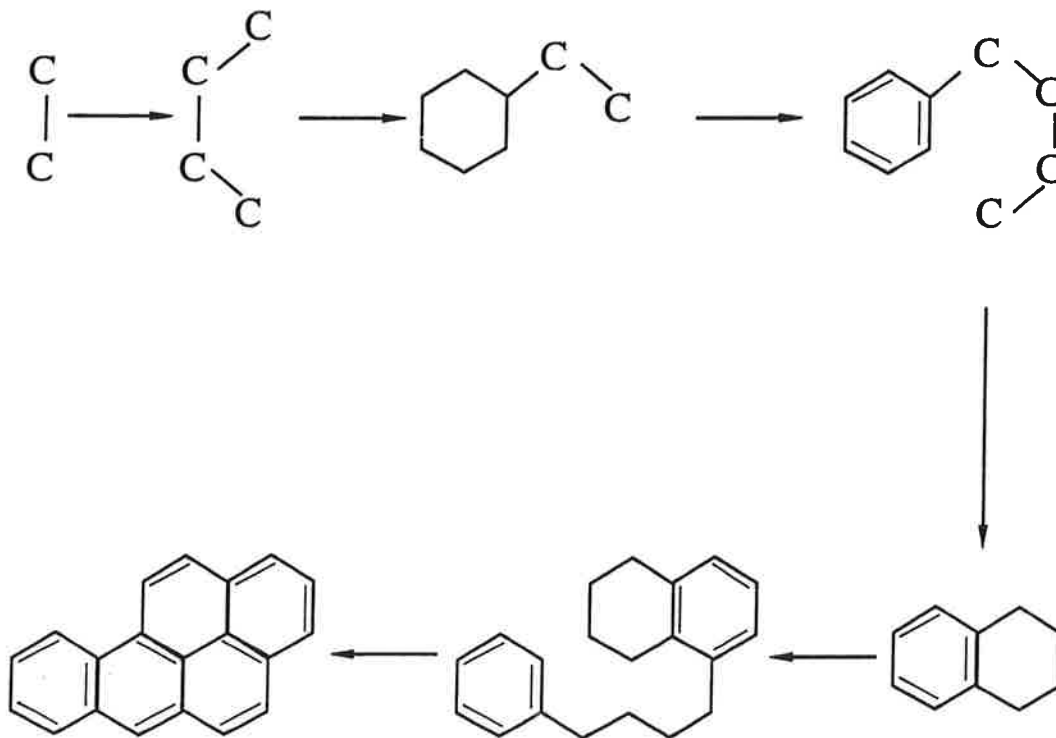
<sup>2)</sup> Uitgedrukt als NO<sub>2</sub>.

<sup>3)</sup> EPA-reeks (zie bijlage 4.4.3).



**Bijlage 2 Tabellen en tekeningen van PAK-structuren en vormingsmechanismen [37]**

# Vorming benzo(a)pyreen uit ethaan



AMOUNTS OF HYDROCARBONS ( $\mu\text{g}$ ) FROM THE PYROLYSIS OF 135 ml OF ACETYLENE AT DIFFERENT TEMPERATURES

Hydrocarbon	Temperature of pyrolysis ( $^{\circ}\text{C}$ )										
	550	600	650	700	740	780	800	850	900	960	1000
Naphthalene	200	615	1470	3405	3760	12550	10200	6550	3510	820	410
Acenaphthylene	0.7	7	10	40	31	170	119	112	75	28	16
Fluorene	58	638	711	2070	770	1450	780	28	68	0	0
Phenanthrene	26	138	278	679	1015	2780	1560	1180	730	321	159
Anthracene	20	78	117	305	253	730	429	118	110	17	14
Pyrene	15	98	220	599	1035	2450	1500	635	530	164	132
Fluoranthene	6	42	94	265	520	1350	798	835	500	264	159
1:2-benzpyrene	2	13	40	93	158	430	266	168	97	42	13
3:4-benzpyrene	2	16	42	115	328	735	418	230	177	54	24
1:12-benzperylene	2	16	57	148	278	635	420	189	135	36	31
Anthanthrene	1	9	27	70	145	318	231	70	62	15	11
Coronene	0.4	2	5	10	29	99	69	38	30	6	7

RATIO OF HYDROCARBONS TO 1:2-BENZPYRENE

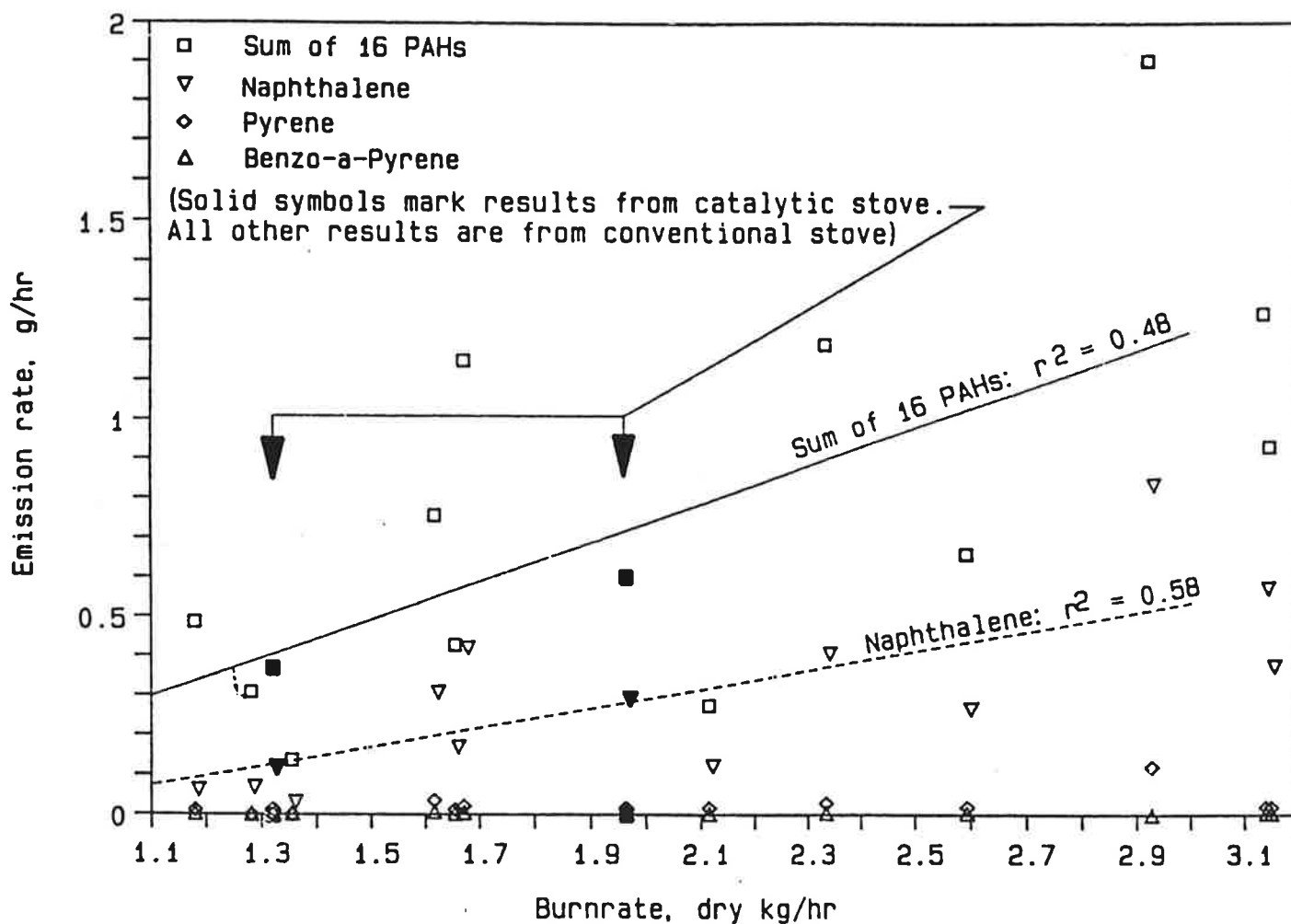
Naphthalene	117	48	37	37	24	29	38	39	36	20	32
Acenaphthylene	0.4	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4	0.4	0.7	0.8	0.7	1.2
Fluorene	34	50	18	22	4.9	3.4	2.9	0.2	0.7	0	0
Phenanthrene	15	11	7.0	7.3	6.4	6.5	5.8	7.0	7.5	7.7	12.3
Anthracene	12	6.1	2.9	3.3	1.6	1.7	1.6	0.7	1.1	0.4	1.1
Pyrene	8.6	7.7	5.5	6.4	6.5	5.7	5.6	3.8	5.5	3.9	10.2
Fluoranthene	3.3	3.3	2.4	2.8	3.3	3.1	3.0	5.0	5.2	6.3	12.3
1:2-benzpyrene	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3:4-benzpyrene	0.9	1.3	1.1	1.2	2.1	1.7	1.6	1.4	1.8	1.3	1.8
1:12-benzperylene	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	1.5	1.6	1.1	1.4	0.9	2.4
Anthanthrene	0.5	0.7	0.7	0.8	0.9	0.7	0.9	0.4	0.6	0.4	0.8
Coronene	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.6

Examples of Polycyclic Organic Matter Compound Structures<sup>6</sup>.

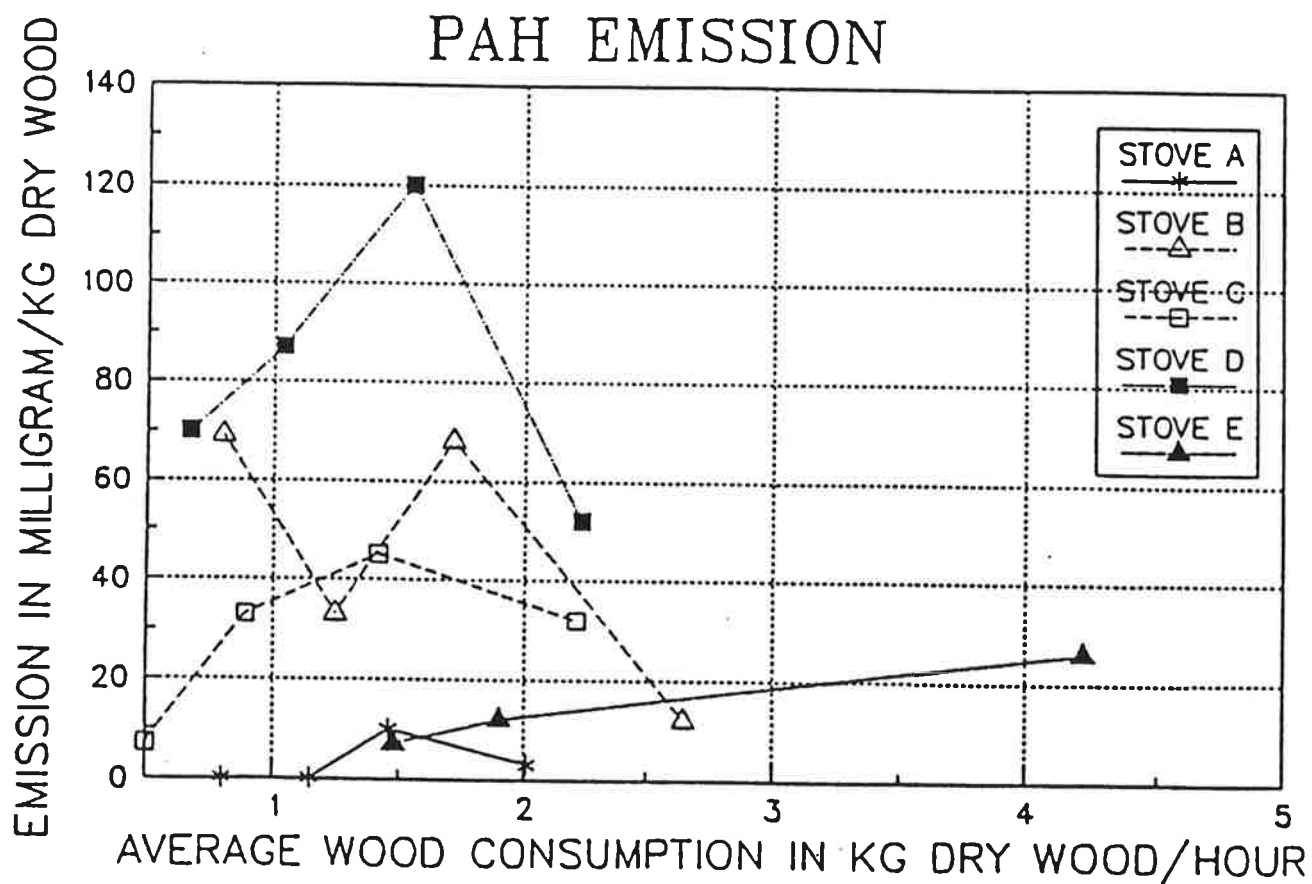
Compound	Structure	Carcinogenicity	Compound	Structure	Carcinogenicity
Anthracene		-	Benzo[ghi]perylene		-
Phenanthrene		-	Pyrene		-
Dibenz[a,j]anthracene		+	Benzo[e]pyrene		-
Dibenz[a,h]anthracene		+++	Benzo[a]pyrene		+++
Fluoranthene		-	3-Methylcholanthrene		++++
Benzo[ghi]fluoranthene		-	Dibenzo[c,g]carbazole		+++
Benzo[b]fluoranthene		++	Dibenzo[a,i]carbazole		±
Benzo[c]phenanthrene		+++			

**Bijlage 3 Relaties van PAK-emissies met andere factoren**

Bronvermelding [15], [19], [32].

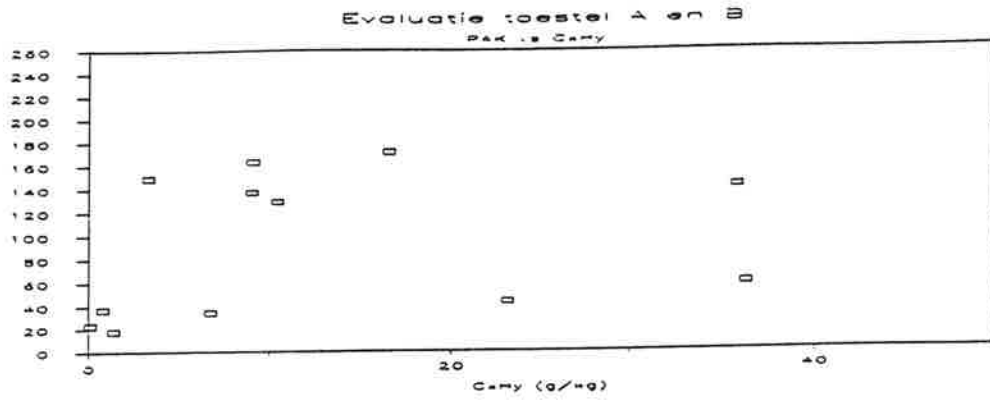
*McCrillis and Burnet*

Boise source laboratory emission test results showing the effect of burnrate on emission rates of selected PAHs.

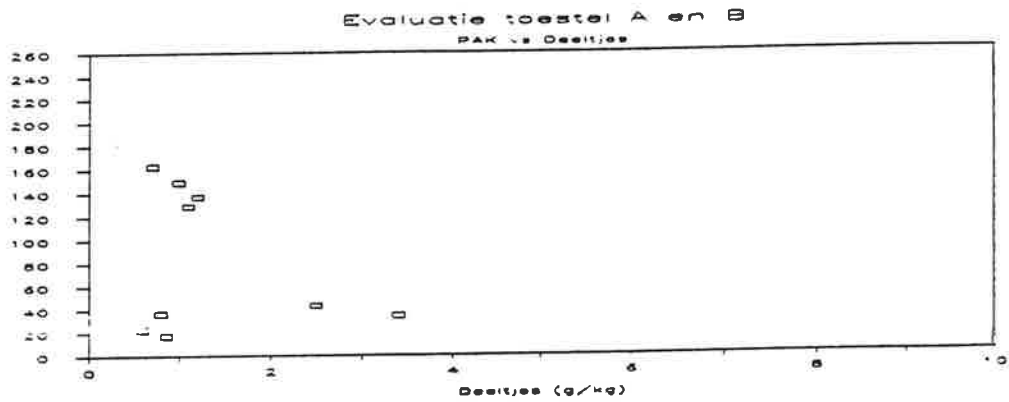


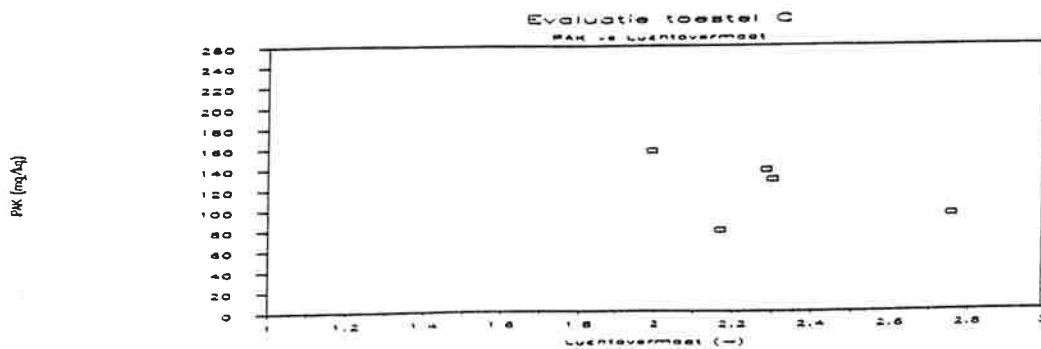
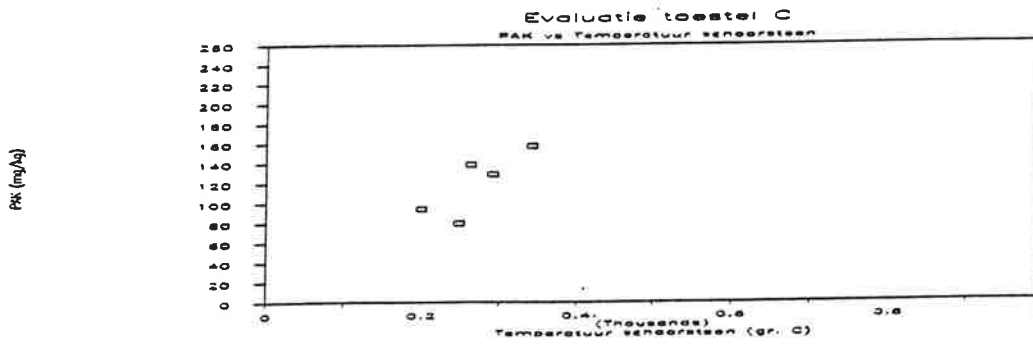
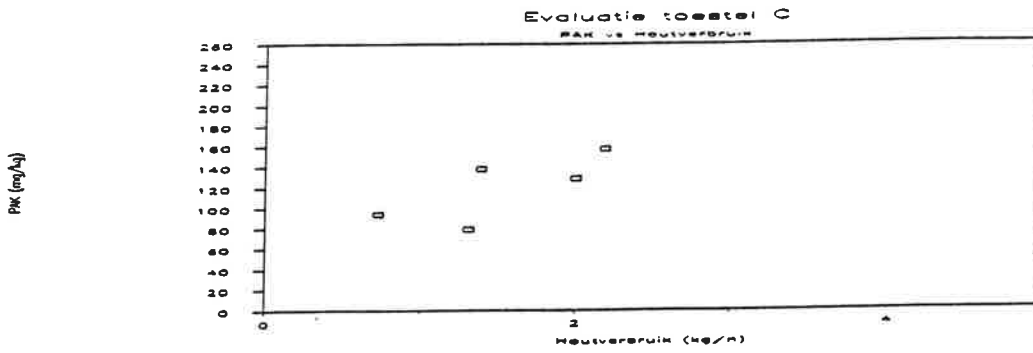
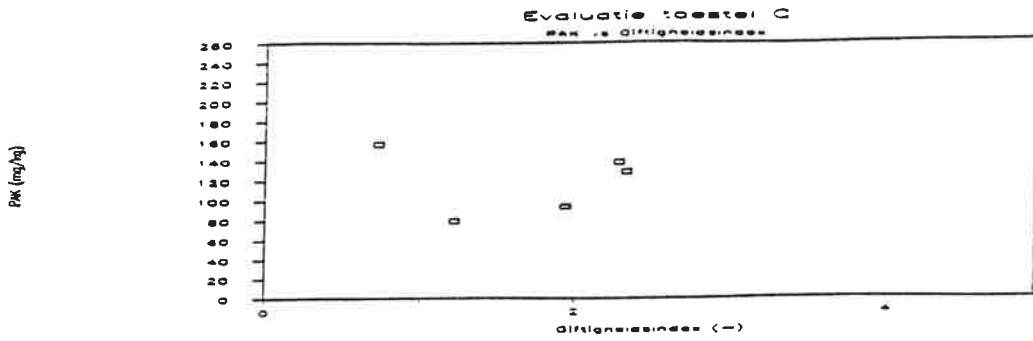
PAH emissions for the Stoves A, B, C, D and E.

PK (µg/µg)

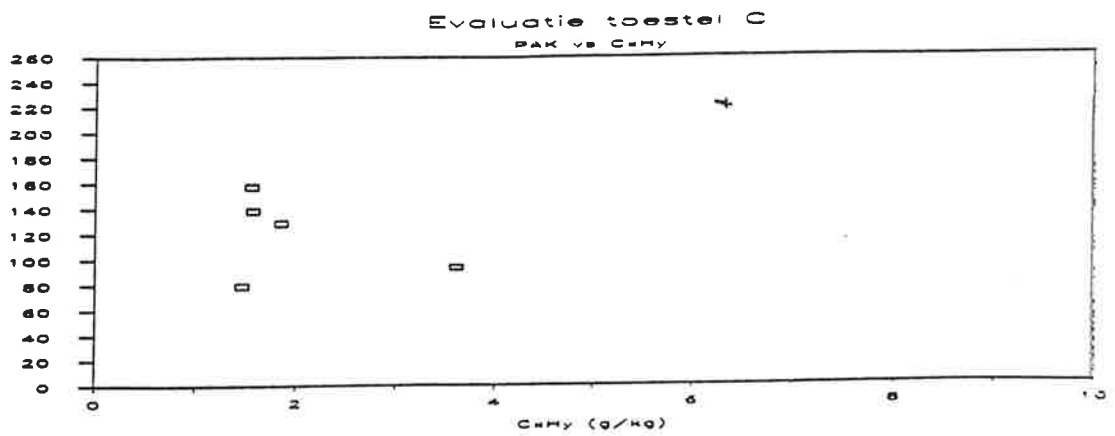


PK (mg/kg)

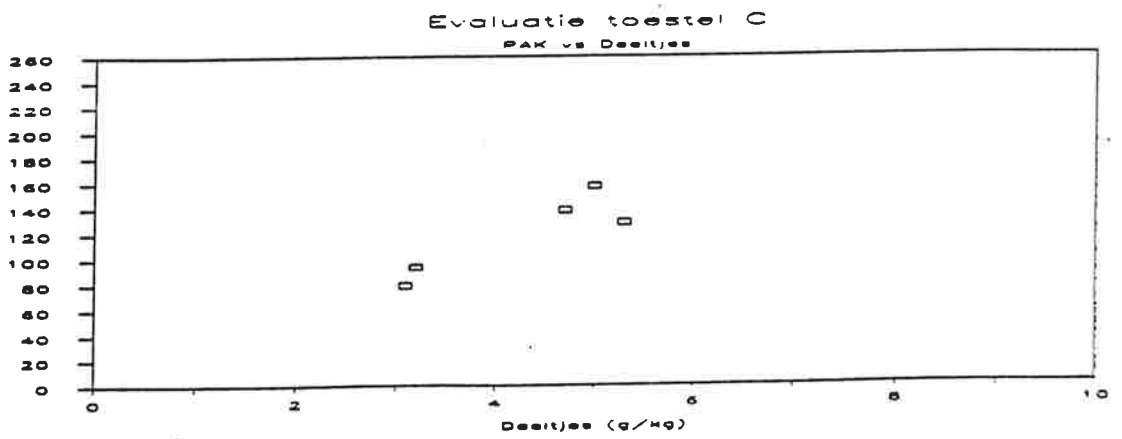




PAK (ng/kg)



PAK (ng/kg)

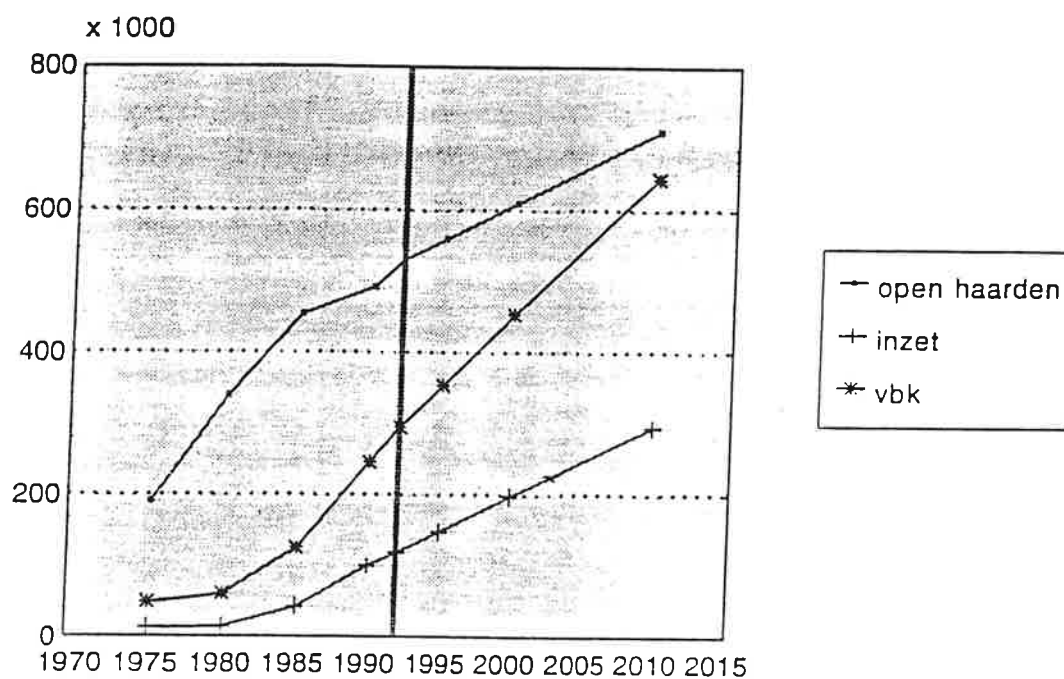




## Bijlage 4 Door [28] verwachte ontwikkelingen met open haard en kachelbestanden met de verwachte toekomstige PAK-emissies in Nederland

onderzoek en de prognose tot het jaar 2010. Tussen haakjes is het percentage van de woningen aangegeven dat is voorzien van een open haard of kachel

jaar	open haard	inzethaard	VBK
1975	191	12	48
1980	339	14	60
1985	455	42	125
1990	492	100	246
meting 1992	530 (8,9%)	118	295 (5%)
prognose 1995	560 (8,7%)	148 (2%)	354 (5,5%)
2000	610 (8,9%)	198 (3%)	454 (6,6%)
2010	710 (9,5%)	294 (4%)	644 (8,6%)



ontwikkeling van het kachel en open haardenbestand

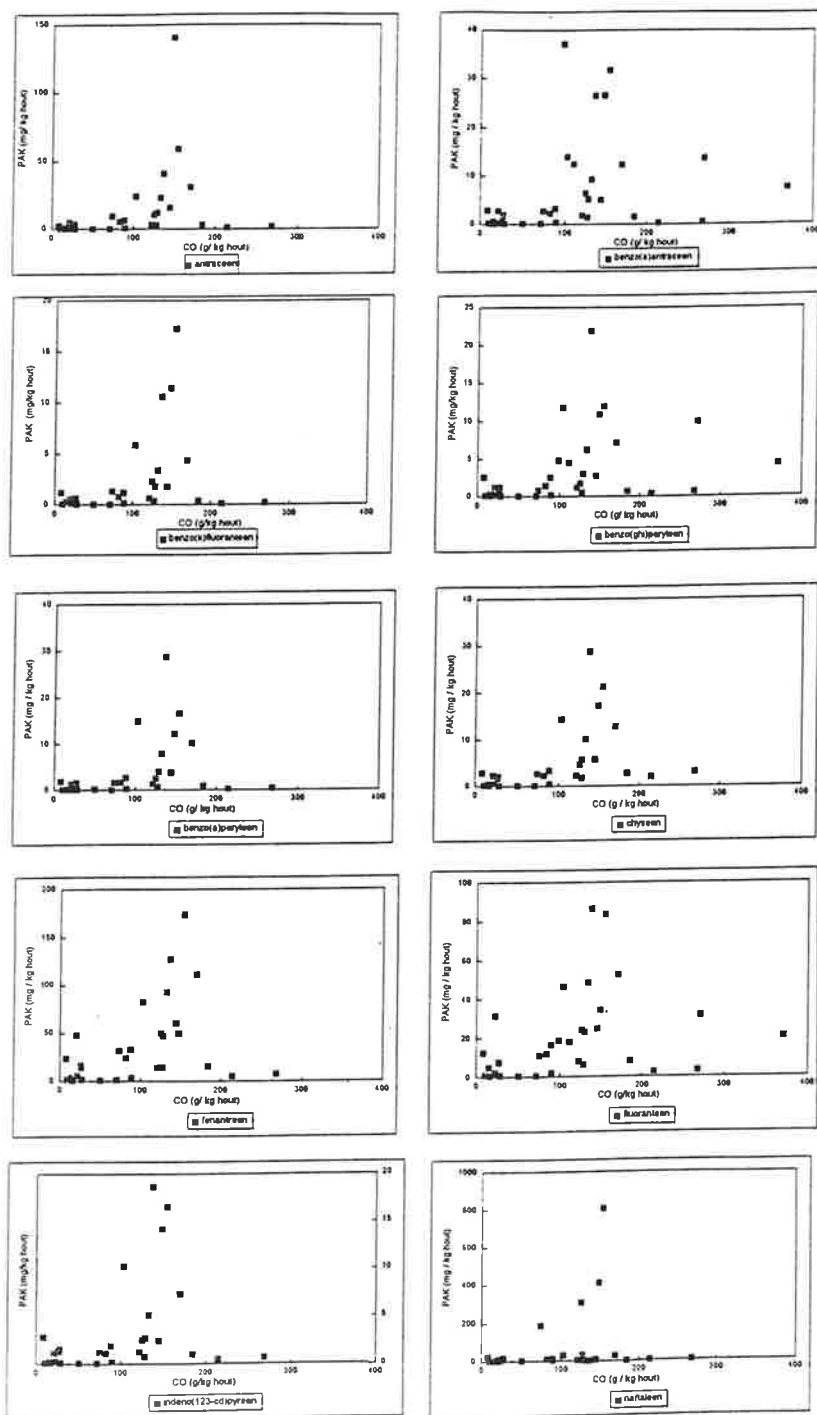
## ontwikkeling van emissies bij ongewijzigd beleid in tonnen per jaar

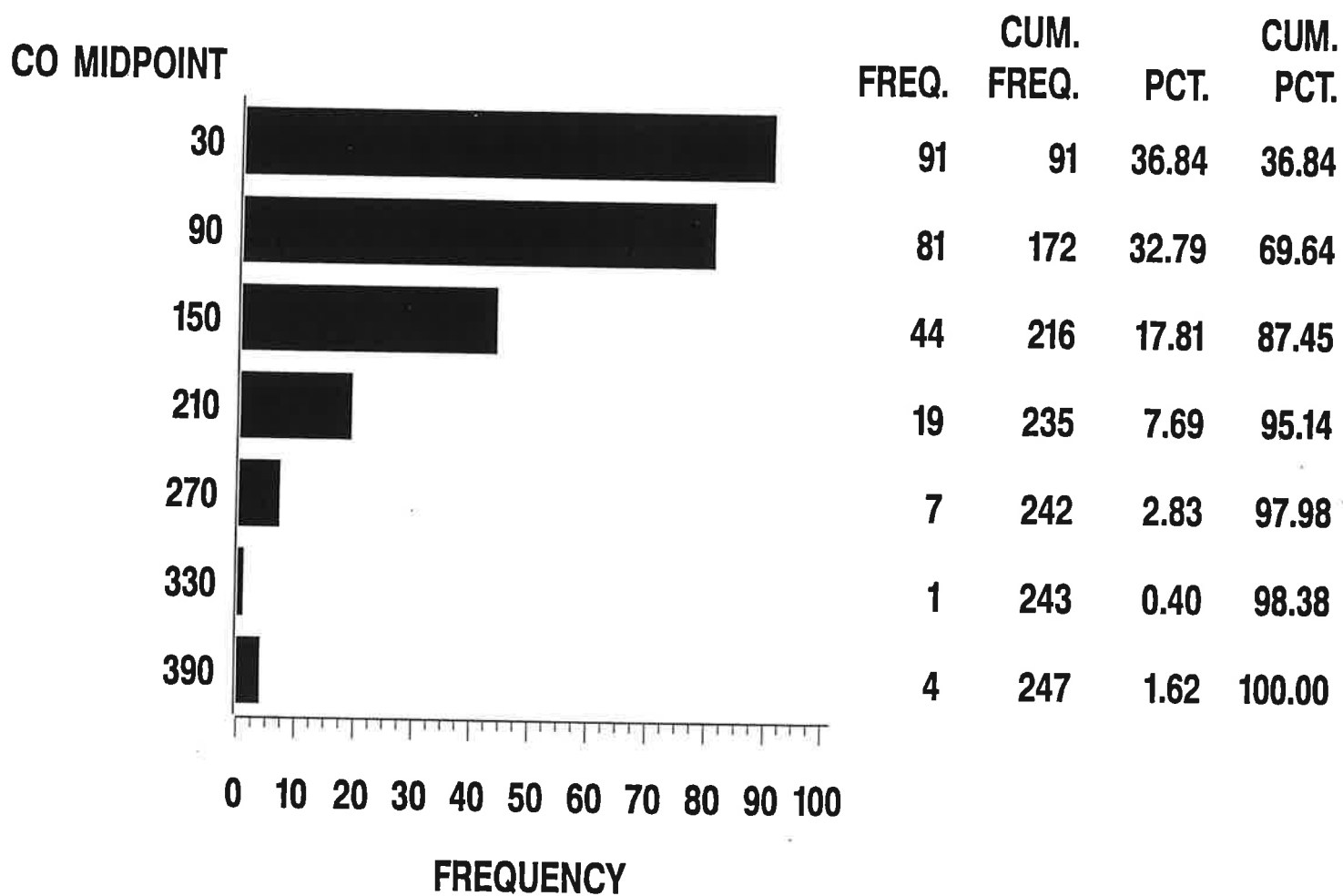
1995 component	totaal	vbk	inzet	open haard
CO	112.950	77.000	19.600	16.350
CxHy	16.200	7.700	1.960	6.540
NO <sub>x</sub>	2.586	1.540	392	654
stof	5640-10478	3850-7700	980-1960	818
PAK	48	31	8	9
Bap	0.7	0.4	0.1	0.2
2000				
CO	142.800	98.800	26.200	17.800
CxHy	19.620	9.880	2.620	7.120
NO <sub>x</sub>	3.212	1.976	524	712
stof	7140-13390	4940-9880	1310-2620	890
PAK	60	40	10	10
Bap	0.8	0.5	0.1	0.2
2010				
CO	199.750	140.100	38.900	20.750
CxHy	26.200	14.010	3.890	8.300
NO <sub>x</sub>	4.410	2.802	778	830
stof	9988-18938	7005-14010	1945-3890	1.038
PAK	84	56	16	12
Bap	1.2	0,7	0,2	0,3

## Bijlage 5 Resultaten van het rekenmodel

### Bronvermelding bijlage E.3 [37]

Verband tussen PAK en CO uitstoot





**Vergleich der PAH-Emissionen beim Betrieb der Feuerungen mit unterschiedlicher Feuerungsleistung bzw. bei der Verwendung von Hölzern unterschiedlicher Feuchte**

	1		2	
	a	b	a	b
<b>Feuerungsbedingungen</b>	"normal conditions"	"starved conditions"	Feuerraumbelastung: 4 kg/h	
CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	10,1	6,5	11,1	4,7
CO [mg/m <sup>3</sup> ] bei 13 Vol.-% O <sub>2</sub>	3960	35380	1000	12770
	[µg/kg Brennstoff]		[µg/m <sup>3</sup> ] auf 13 Vol.-% O <sub>2</sub> bezogen	
Phenanthren	834	8390	150	11000
Anthracen	119	1859	28	2400
Fluoranthren	296	3245	58	4600
Pyren	232	3822	66	3800
Benzo(a)anthracen	60	781	14	1200
Chrysen	n.b.	n.b.	19	1400
Benzo(b,j,k)fluoranthren	108 (b)	1016 (b)	18 (b,j,k)	1120 (b,j,k)
Benzo(e)pyren	35	347	8	560
Benzo(a)pyren	46	617	12	890
Benzo(g,h,i)perylen	34	285	4	390
<b>Summe der 10 dargestellten PAH's</b>	<b>1764</b>	<b>20362</b>	<b>377</b>	<b>27360</b>

n.b.: nicht bestimmt bzw. nicht angegeben

NWL: Nennwärmeleistung

1: small air-tight horizontal buffled residential wood stove (NWL: 4 - 5 kW)  
(Küchenherd nordamerikanischer Bauart), spruce (Tanne, u = 15 %), Holzscheite

a: Emissionen beim Betrieb unter "normalen" Bedingungen

b: Emissionen bei stark verminderter Feuerungsleistung /69/

2: Kaminkassette (NWL: 6 - 7 kW)  
Nadelholzscheite unterschiedlicher Holzfeuchte  
Emissionsmittelwerte aus 3 Einzelversuchen

a: Holzfeuchte u = 19 %

b: Holzfeuchte u = 41 % /68/