

EMISSION-ASPECTEN BIJ HET
VERBRANDEN VAN HUISHOUDELIJK AFVAL

door
ir. A. Verbeek
ir. A. Kiers



postbus 342
7300 AH Apeldoorn

bezoekadres
laan van westenenk 501

telex 36395 tnoap
telefoon 055 - 77 33 44

Ref.nr. : 86-06
Dossiernr.: 8726-13907
Datum : december 1985
P

Bestemd voor I²-Procestechologie

„Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
copie, 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 opdracht-
gever en opdrachtnemer verwezen
naar de „Algemene Voorwaarden
voor Onderzoeks- en ontwikke-
lingsopdrachten aan TNO, 1979”
dan wel de desbetreffende terzake
tussen partijen gesloten overeen-
komst.

INHOUDSOPGAVEPag.

SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	5
2. DIVERSE AFVALVERBRANDINGSINSTALLATIES	6
2.1 Roosterovens	6
2.2 Wervelbedovens	7
3. WELKE COMPONENTEN KUNNEN WORDEN GEËMITTEERD?	9
4. MEETTECHNIEKEN VOOR EMISSIEBEPALING	12
5. EMISSIES UIT AFVALVERBRANDINGSINSTALLATIES	14
6. CONCLUSIES EN VOORUITZICHTEN	16
7. LITERATUUR	17

FIGUUR 1 : Roosteroven voor verbranding van huishoudelijk afval

FIGUUR 2 : Uitvoeringsvormen van de vuurhaard van roosterovens

FIGUUR 3 : Experimentele wervelbedoven bij TNO

FIGUUR 4 : Structuur van een aantal organische microcomponenten

FIGUUR 5 : Uitgebreide opstelling voor emissiemetingen

TABEL 1 : Enkele kwantitatieve gegevens van afvalverbrandingsinstallaties

TABEL 2 : Elementsamenstelling van huishoudelijk afval en fracties daarvan

TABEL 3 : Rookgasemissies bij de verbranding van huishoudelijk afval en fracties daarvan

TABEL 4 : Procentuele massabalans van zware metalen bij het verstoken van diverse fracties in een wervelbedoven

TABEL 5 : Huidige emissie en toekomstige grenswaarden voor verbranding van huishoudelijk afval

Ir. A. Verbeek is werkzaam als hoofd van de afdeling Verbrandingstechniek van de hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO, Postbus 342, 7300 AH Apeldoorn.

Ir. A. Kiers is binnen de afdeling Verbrandingstechniek van TNO werkzaam als leider van de werkgroep Verbranding en Emissie.

SAMENVATTING

Het verbranden van afvalstoffen heeft in de eerste plaats tot doel om tot een milieuvriendelijke verwijdering van deze afvalstoffen te komen. Echter het verbranden zelf geeft door haar emissies naar de lucht negatieve milieu-effecten en de ontstane reststoffen dienen met zorg gestort of verwerkt te worden.

In dit artikel wordt de verbranding van de huishoudelijke afvalstoffen en daarmee vergelijkbaar afval behandeld. Ingegaan zal worden op de diverse verbrandingssystemen zoals roosterovens en wervelbedverbranding. Een overzicht wordt gegeven van de optredende emissies afhankelijk van type installatie en heersende procescondities.

Bij de emissies naar de lucht wordt, naast de emissie van de zogenaamde macrocomponenten en de zware metalen, aandacht gegeven aan de organische microcomponenten als PAK (polycyclische aromatische koolwaterstoffen), polychloordibenzodioxinen en polychloordibenzofuranen. De hiervoor te gebruiken meettechnieken worden behandeld.

Naast verbranding van het huishoudelijke en daarmee vergelijkbare afval kunnen ook separaat de brandbare fracties (RDF), zoals verkregen uit een scheidingsinstallatie, worden verbrand. Enige resultaten van verbrandingsproeven met deze fracties in een wervelbedoven worden gegeven.

1. INLEIDING

Verbranden is een veel toegepaste techniek voor het verwerken van afvalstoffen. In deze lezing wordt de verbranding van het huishoudelijk afval behandeld. De hiervoor in gebruik zijnde installaties verwerken in feite een mix dat, naast het normale huishoudelijk afval, tevens grof huishoudelijk afval, markt-, veeg- en plantsoenafval en bedrijfsafval van kleine bedrijven, winkels e.d. bevat.

De totale produktie aan deze afvalstoffen in Nederland bedraagt 6 à $7 \cdot 10^6$ ton/jaar [1]. Hiervan wordt 35 - 40% verbrand, naast storten (50 - 55%) en composteren (5%).

Bij het verbranden treedt een aanzienlijke volumereductie op. De hierbij vrijkomende energie kan worden omgezet in stoom of elektriciteit. De verbrandingsrest bedraagt 5 à 10% van het oorspronkelijke volume of circa $\frac{1}{3}$ van het oorspronkelijke gewicht. Deze verbrandingsrest (hoofdzakelijk slakken) vindt deels toepassing als ophoogmateriaal en funderingsmateriaal voor de wegenbouw.

De samenstelling van het te verbranden huishoudelijk afval is met het seizoen variabel. De aard van het bedrijfsafval zal met het inzamelingsgebied variëren.

Het ingezamelde afval kan in diverse bestanddelen worden ingedeeld. Vermeldenswaard is hier het bijzondere afval (circa 0,3 gewichtsprocent), bestaande uit batterijen, thermometers e.d. Dit bijzondere afval geeft aanleiding tot extra milieubelasting (zware metalen, kwik).

2. DIVERSE AFVALVERBRANDINGSINSTALLATIES

2.1 Roosterovens

Verbranding van huishoudelijk afval vindt in Nederland plaats in 11 installaties (zie tabel 1). Dit zijn alle roosterovens.

Figuur 1 geeft de opzet van een dergelijke roosteroven. Het aangevoerde afval wordt gestort in een bunker. Meestal wordt grof metaalhoudend afval (wasmachines e.d.) afgescheiden en afgevoerd naar de schroothandel. Ook kan het afval met behulp van magneten eerst voor een deel worden ontijzerd.

Via een doseerbunker wordt het afval op het bewegende verbrandingsrooster gebracht. Er zijn diverse soorten roosters welke alle tot doel hebben om het afval langzaam door de vuurhaard te transporteren (verblijftijd 3 kwartier à 1,5 uur) en gelijktijdig het afval te mengen om een zo goed mogelijk contact met de verbrandingslucht te bewerkstelligen. De verbrandingslucht wordt grotendeels van onderen door het rooster toegevoerd (primaire lucht of onderwind). Een gedeelte wordt als secundaire lucht of bovenwind boven het rooster toegevoerd. De secundaire lucht wordt vaak als jets ingeblazen om een goede turbulentie en daardoor een betere naverbranding in de vuurhaard te bewerkstelligen. Soms wordt de secundaire lucht met lage snelheid langs de ovenwand ingebracht om een koelend luchtgordijn te creëren.

Op het verbrandingsrooster zijn 3 zônes te onderscheiden, namelijk de opwarmzône, de verbrandingszône en de uitbrandzône. De vormgeving van de vuurhaard en het rooster zijn erg belangrijk om een goede uitbrand van het afval en een goede naverbranding van de afgassen te verkrijgen.

Op het rooster dienen reducerende zônes (onder-stoechiometrische verbranding) zoveel mogelijk te worden vermeden om vorming van ongewenste verbindingen te voorkomen. Door een goede vormgeving van de vuurhaard kan de turbulentie en dus menging van de verbrandingsgassen boven het rooster worden verbeterd, waardoor zuurstofarme en relatief koude zônes worden vermeden. Door de vuurhaard uit te voeren volgens het gelijkstroomprincipe worden de afgassen door de hete verbrandingszône gevoerd en wordt op deze wijze een goede naverbranding bereikt. Figuur 2 geeft diverse uitvoeringsvormen [2].

Uit bovenstaande volgt het grote belang van een juiste vormgeving van en luchtverdeling in de vuurhaard.

Stromingstechnisch modelonderzoek is hiervoor meestal onontbeerlijk.

2.2 Wervelbedovens

De laatste jaren komt de wervelbedoven steeds meer in de belangstelling. Het principe van de wervelbedvuurhaard is dat de verbrandingslucht fijn verdeeld door het rooster wordt geblazen en wel zodanig dat het bedmateriaal wordt opgeheven en in zwevende toestand wordt gebracht (fluide bed of wervelbed). Het bedmateriaal bestaat voor circa 95% uit een fijne inerte fractie ($d = 1 - 4$ mm) en voor de rest uit brandstof. De zogenaamde fluïdisatiesnelheid van de verbrandingslucht bedraagt 1 à 3 m/s.

De bedtemperatuur bedraagt slechts 750 à 850 °C; hierbij vindt nog geen vorming van thermische NO_x plaats. De geringere NO_x -emissie van deze vuurhaard is daarom alleen afkomstig van de gevormde brandstof- NO_x . De lage verbrandingstemperatuur in het bed is mogelijk doordat het wervelbed een goede menging van brandstof en verbrandingslucht bewerkstelligt.

Aangezien het bedmateriaal fungeert als warmtebuffer en de gedoseerde brandstof snel wordt opgemengd in het bed, is de wervelbedoven relatief ongevoelig voor "natte" brandstoffen.

De intensieve turbulentie in het wervelbed geeft een zeer goede warmte-overdracht naar de in het bed aanwezige koelpijpen. De achtergeschakelde convectiesectie is daarom relatief klein, wat tot een compacte bouwwijze leidt.

Naast vaste brandstoffen zijn in wervelbedvuurhaarden ook op eenvoudige wijze pasteuze brandstoffen en slurries te verbranden.

Uiteraard hebben wervelbedovens ook nadelen ten opzichte van de roosterovens. De brandstoffen moeten worden verkleind en lichte brandstoffen kunnen gemakkelijk uit het wervelbed worden geblazen, hetgeen een slechte uitbrand kan geven. Dit laatste is weer te ondervangen door terugstoken van de as.

De verbrandingstemperatuur in het bed mag in het algemeen niet boven de 900 °C uitstijgen om bedsintering en dientengevolge defluïdisatie

te voorkomen. Het gehalte aan sinterbare bestanddelen in de brandstof (zoals glas) moet daarom laag zijn.

Figuur 3 geeft als voorbeeld de experimentele wervelbedvuurhaard bij TNO. Hier zijn in de freeboard naverbranders geïnstalleerd om het effect van een verhoogde naverbrandingstemperatuur op de afbraak van organische microcomponenten te onderzoeken.

Tevens kan worden gewezen op de diverse mogelijkheden voor brandstof-dosering.

Zoals gezegd dient het huishoudelijk afval te worden voorbereid alvorens in dit type vuurhaard te kunnen worden verstoekt. In Scandinavië worden wervelbedovens ingezet voor het verstoken van huishoudelijk afval, nadat dit eerst is verkleind in hamermolens en vervolgens is ontijzerd. In Nederland wordt de toepassing van deze ovens gezien voor de decentrale energie-opwekking met als voeding de brandstofrijke fracties, verkregen uit huisvuilscheidingsinstallaties.

3. WELKE COMPONENTEN KUNNEN WORDEN GEËMITTEERD?

Bij de verbranding van huishoudelijk afval ontstaan uiteraard de "gewone" verbrandingsemissies van CO , CO_2 , H_2O en NO_x . Daarnaast worden componenten geëmitteerd welke gerelateerd zijn aan de te verbranden afvalstof. Hiertoe dient de samenstelling van de afvalstof te worden beschouwd.

Zoals reeds genoemd is de samenstelling van het huishoudelijk afval erg variabel, afhankelijk van seizoen en plaats van inzameling. Tabel 2 geeft een gemiddelde samenstelling zoals bepaald voor huishoudelijk afval in de Bondsrepubliek Duitsland [3]. Deze mag niet als representatief voor de Nederlandse situatie worden beschouwd. Daarnaast is in tabel 2 de samenstelling gegeven van diverse fracties, afkomstig uit scheidingsinstallaties voor huishoudelijk afval [4]. De lichte fractie bestaat voornamelijk uit papier en plastic in de gewichtsverhouding 3 : 1; zowel in fijngemalen vorm (maximale deeltjesafmeting circa 20 mm) als in de vorm van pellets. De zware fractie bestaat voornamelijk uit hout, rubber, textiel, hard plastic en karton.

In tabel 2 is te zien dat het afval chloor, zwavel, fluor en zware metalen bevat. Met de rookgassen worden dan ook HCl , SO_2 , HF en zware metalen als lood, cadmium en kwik geëmitteerd. Het geëmitteerde HCl is niet alleen afkomstig van de kunststoffen in het afval, maar ontstaat ook boven temperaturen van circa 800 °C door dissociatie van keukenzout (NaCl).

In lagere concentraties worden vele organische microcomponenten geëmitteerd, welke ontstaan doordat in de praktijk de verbranding niet op alle plaatsen in de vuurhaard volledig is.

Voor een volledige verbranding is nodig dat:

- overal in de vuurhaard voldoende zuurstof (5 à 25% boven de stoichiometrische hoeveelheid) aanwezig is,
- de temperatuur hierbij voldoende hoog is (zeg boven 750 °C),
- voldoende verblijftijd aanwezig is voor een volledige afloop van het verbrandingsproces (1 à 5 seconde).

Aan de eis van voldoende verblijftijd kan meestal zonder grote problemen worden voldaan. De eis van voldoende zuurstof en voldoende hoge temperatuur (ook op microschaal) vraagt van de ontwerper een fundamenteel inzicht in de optredende fysisch-chemische processen in de vuurhaard, zo nodig aangevuld door modelonderzoek.

Van de geëmitteerde organische microcomponenten zijn toxicologisch gezien de belangrijkste de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en organochloorverbindingen als de polychloordibenzo-paradioxinen (PCDD) en de polychloordibenzofuranen (PCDF).

Figuur 4a geeft de structuur van een tweetal PAK-verbindingen. De bekendste vertegenwoordiger van deze groep is het sterk carcinogene benzo(a)pyreen.

Figuur 4b geeft de structuur van een aantal organochloorverbindingen. Bij de PCDD's kunnen de chlooratomen op acht verschillende posities aan de dibenzo-p-dioxine kern worden geplaatst, waardoor in totaal 75 verschillende dioxinen kunnen worden gevormd. Op analoge wijze kunnen 135 verschillende furanen worden gevormd. De bekendste vertegenwoordiger van de PCDD's is het zeer toxische 2,3,7,8 TCDD (tetrachloordibenzo-p-dioxine).

PAK's worden gevormd bij het verbranden van organisch materiaal.

Indien het organisch afval ook chloor bevat, kunnen in principe PCDD's en PCDF's worden gevormd. Het vormingsmechanisme van PCDD en PCDF bij de verbranding is complex en kan in principe via diverse reactieroutes plaatsvinden. Hoewel de wetenschappelijke discussies hierover nog voortduren, wordt algemeen als de meest waarschijnlijke vormingsroute de volgende gezien:

- PCDD's en PCDF's worden bij lage temperaturen (600 °C) gevormd in de pyrolysefase en in de brandende pyrolysegassen (zuurstoftekort). Bij hogere vuurhaardtemperaturen vindt dechlorering en destructie plaats.
- de voornaamste bronnen voor PCDD- en PCDF-vorming zijn respectievelijk de technische chloorfenolen en PCB's. Vorming uit PVC lijkt gezien de vele benodigde reactiestappen minder waarschijnlijk.

De aanwezigheid in huisvuil van chloorfenolen (voornamelijk penta-chloorfenol - een houtverduurzamingsmiddel -) en PCB's blijkt uit tabel 2.

4. MEETTECHNIKEN VOOR EMISSIEBEPALING

Afhankelijk van de gevraagde resultaten kunnen emissiemetingen aan een afvalverbrandingsinstallatie uiteenlopen van ééndagsmetingen met een meetwagen voorzien van een aantal analysers voor macrocomponenten tot meetcampagnes van meerdere weken met diverse meet- en monsternametreinen. In het navolgende zal in vogelvlucht de meetapparatuur voor uitgebreide metingen worden besproken, zoals door TNO onder andere is en wordt gebruikt voor het "dioxine-onderzoek" [1, hoofdstuk 4.2].

Figuur 5 geeft een schema van de meetopstelling. Een deelstroom van de rookgassen wordt isokinetisch afgezogen via een bewegende vork, zodat de gehele doorsnede van het schoorsteenkanaal wordt bemonsterd. De monsternamestroom wordt geleid naar:

- meetauto met continu registrerende analysers voor macrocomponenten (CO_2 , O_2 , NO_x , CO , C_xH_y , HCl),
- impingerset voor halogenen (SO_2 , Cl^- , F^-),
- impingerset voor zware metalen,
- glazen monsternameset,
- stofmeetcontainer.

De laatste twee monsternamesystemen, bedoeld voor de organische microcomponenten, worden hier nader besproken.

De glazen monsternametrein bestaat achtereenvolgens uit een heet filter, koeler/condensor, koud filter en adsorptiepatroon (PUF, XAD-2); de afzuigsnelheid bedraagt circa $20 \text{ m}^3 \text{ i.n.d./h}$. Hiermee worden achtereenvolgens afgevangen: het aerosol in het hete afgaskanaal, condens en gevormd aerosol bij circa 25°C en tenslotte componenten welke bij 25°C nog gasvormig zijn. Deze monsternametrein is bedoeld voor steekproefsgewijze monsternamete (monsternametijd 4 à 8 uur).

De stofmeetcontainer heeft als primair doel het verkrijgen van representatief vliegstof in hoeveelheden van 1 à 5 kg ten behoeve van toxicologisch onderzoek. Met dit apparaat wordt circa $400 \text{ m}^3 \text{ rookgas/h}$ (i.n.v.) afgezogen en door bijmenging van gereinigde koude omgevingslucht afgekoeld tot 60°C , waardoor watercondensatie wordt vermeden.

De in het rookgaskanaal nog gasvormige verbindingen condenseren grotendeels bij deze afkoeling en verbinden zich aan de stofdeeltjes. Het stof wordt afgescheiden met een HEPA-filtercassette. Metingen hebben aangetoond dat met deze techniek voor componenten als PCDD en PCDF dezelfde resultaten als met de glazen monsternametrein wordt verkregen.

De analyse van de verkregen monsters op PCDD en PCDF verloopt in diverse stappen en stelt extreem hoge eisen om een nauwkeurig meetresultaat te bereiken.

5. EMISSIES UIT AFVALVERBRANDINGSINSTALLATIES

De bij de verbranding van huishoudelijk afval ontstane emissies uit roosterovens zijn, gezien de wisselende kwaliteit van de brandstof, sterk variabel met de tijd. Tabel 3 geeft een overzicht van deze emissies [1]. De gegeven emissiewaarden voor PCDD en PCDF zijn ontleend aan diverse literatuurbronnen, welke een bandbreedte vertonen van een factor 100 à 1000! Dit is één van de redenen voor het uitvoeren van het thans in Nederland lopende "dioxine-onderzoek".

Tabel 3 geeft tevens de emissies van verbrandingsproeven met diverse fracties huishoudelijk afval, zoals uitgevoerd in de TNO-wervelbedoven [4]. Bij dit onderzoek is voor een aantal fracties tevens de naverbrandingstemperatuur in de freeboard verhoogd tot 1100° en 1300 °C.

In tabel 3 is te zien dat bij de verbranding van de fracties een hogere HCl-emissie optreedt dan bij de verbranding van huishoudelijk afval. Dit is duidelijk, aangezien in de fracties het procentuele aandeel van de kunststoffen (PVC) hoger is dan in totaal huishoudelijk afval.

Bij de CO- en C_xH_y -emissie uit de wervelbedoven blijkt het positieve effect van de verhoogde naverbrandingstemperatuur. Een deel van dit effect moet echter worden toegeschreven aan de verhoogde turbulentie in de freeboard door het in bedrijf zijn van de naverbranders.

De in het afval aanwezige zware metalen zullen zich, afhankelijk van hun vluchtigheid verschillend verdelen over de diverse asstromen of met de rookgassen worden geëmitteerd. Als voorbeeld zijn in tabel 4 enige resultaten gegeven van de experimenten in de TNO-wervelbedoven. Deze oven is voorzien van een hete cycloon (circa 800 °C) en een doekenfilter (inlaattemperatuur circa 200 °C).

In tabel 4 is te zien dat een weinig vluchtig metaal als Cu grotendeels in cycloonstof en doekenfilterstof achterblijft, maar dat het zeer vluchtige Hg nagenoeg volledig met de rookgassen wordt geëmitteerd. Om dit laatste metaal af te kunnen vangen dient de rookgas-temperatuur voor de filterinstallatie verder te worden verlaagd om condensatie/adsorptie aan stofdeeltjes te bewerkstelligen.

De emissiecijfers van de roosteroven zijn omgerekend naar emissieconcentraties en weergegeven in tabel 5. Tevens zijn aan deze tabel toegevoegd de emissiegrenswaarden van de richtlijn "afvalverbrandingsinrichtingen voor huishoudelijke afvalstoffen" [5]. Deze richtlijn geldt voor de nieuw te bouwen of ingrijpend te wijzigen bestaande inrichtingen.

Uit deze tabel blijkt dat nieuwe afvalverbrandingsinstallaties moeten worden voorzien van een zeer efficiënte rookgasreiniging, met name voor HCl ($\eta > 95\%$). Dit betekent dat de verwerkingskosten globaal met f 30,-- per ton verwerkt afval zullen stijgen. Daarnaast dient de afvangst van het fijne stof (waaraan de zware metalen zijn gehecht) te worden verbeterd.

Hoewel bestaande installaties niet aan deze richtlijn behoeven te voldoen, zal naar verwachting hier een aanscherping van de bestaande vergunningsvoorwaarden gaan plaatsvinden (bijvoorbeeld kalkinspuiting voor HCl-binding met $\eta > 50\%$); dit betekent extra kosten circa f 1,-- per ton verwerkt afval.

6. CONCLUSIES EN VOORUITZICHTEN

Hoewel van de huidige roosterovens in Nederland voor de verbranding van huishoudelijk afval de oudsten reeds 20 jaar in bedrijf zijn, vinden er op dit terrein nog veel ontwikkelingen plaats. De inzichten in het ontstaan van milieuschadelijke verbindingen bij de verbranding nemen toe en de strenger wordende milieu-eisen maken vuurhaarden met een goede verbranding en nageschakelde rookgasreiniging nodig.

Ter illustratie kunnen de volgende punten worden genoemd:

- Kunststoffen als PVC kunnen niet meer worden aangewezen als de overheersende milieuvervuilende bron. Selectief verwijderen hiervan vóór de verbranding geeft geen totale oplossing. Zij dragen slechts voor een deel bij aan de HCl-uitworp. Het wordt minder waarschijnlijk geacht dat zij optreden als bron voor PCDD- en PCDF-vorming.
- Als voornaamste bronnen voor PCDD- en PCDF-vorming worden respectievelijk de technische chloorfenolen (pentachloorfenol) en PCB's beschouwd.
- Een goed gedimensioneerde vuurhaard is essentieel voor een volledige verbranding en daarmee minimale emissie van organische microcomponenten.
In de ontwerpfase is een stromingstechnisch modelonderzoek naar de juiste vorm van de vuurhaard nodig.
- Een nieuwere verbrandingstechniek is de wervelbedoven. Deze vraagt een voorbehandeling van het te verbranden afval.
Er is een trend merkbaar van enerzijds een zekere voorbehandeling/voorscheiding van het afval voor de roosteroven en anderzijds het scheiden in een geringer aantal fracties bij de afvalscheidingsinstallatie. Hiermee zal het onderscheid in type afvalstof voor roosteroven en wervelbedoven vervagen.
- Verder onderzoek is nodig om het effect van diverse verbrandingscondities en parameters als homogeniseren van het afval op de emissie van organische microcomponenten uit roosterovens vast te stellen.
Dergelijk onderzoek is gaande.

7. LITERATUUR

- [1] Luchtverontreiniging door afvalverbranding,
Publicatiereeks Lucht no. 38 (1984).
- [2] Reimer: Anlagentechnische Massnahmen zur Emissionsverringierung an
chlorierten Kohlenwasserstoffen aus Hausmüllverbrennungsanlagen,
Müll und Abfall 2/85, p. 38-43.
- [3] Lorber: Die Zusammensetzung des Mülls und die durch Müllverbrennungs-
anlagen emittierten Schadstoffe,
Müllverbrennung und Rauchgasreinigung, E. Freitag Verlag für Umwelt-
technik, Berlin (1983), p. 559-594.
- [4] Kiers e.a.: Verbranding van fracties huishoudelijk afval in een wer-
velbedvuurhaard,
Rapport MT-TNO 85-069 (april 1985).
- [5] VROM: Richtlijn afvalverbrandingsinrichtingen voor huishoudelijke af-
valstoffen c.a. (februari 1985).

Tabel 1

Enkele kwantitatieve gegevens over de afvalverbrandingsinstallaties in 1981
(bron: RIVM)

Plaats/ regio	Capaciteit installatie	Bouw- jaar	Verbrand afval ton/jaar	Emissie- beperkende techniek [*]
Alkmaar	3 ovens van 6 t/h	'71/'78	117.008	E
Amsterdam	4 x 16 t/h	1968	368.099	E
Arnhem	3 x 12 t/h	1975	163.239	E
Dordrecht	3 x 7 t/h	1972	127.141	G
Den Haag	4 x 12,5 t/h	'67/'74	279.216	K + E
Leeuwarden	2 x 6 t/h	1973	62.074	E
Leiden	3 x 4 t/h	'66/'76	83.386	E
Roosendaal en Nispen	2 x 4 t/h	1976	33.118	E
Rotterdam A V Rijn- mond	4 x 13 t/h 6 x 20 t/h	1963 1972	265.530 750.979	E E
Zaansstad	2 x 9 t/h	1976	120.642	E
Totaal:			2.370.432	

^{*} E = elektrofilter, K = kalkinjectie, G = gaswasssing

Tabel 2

Elementsamenstelling van huishoudelijk afval en fracties daarvan.

			totaal huis- houdelijk afval	fracties uit scheidingsinstallatie		
				< 20 mm	licht pellets ¹⁾	zwaar < 20 mm
C	%	25	41,6	47,1	49,6	
H	%	g.a.	5,4	6,8	5,2	
N	%	g.a.	0,9	0,6	1,6	
O	%	g.a.	24,5	32,2	19,4	
S	%	0,07	0,3	0,2	0,3	
H _b (droog)	kJ/kg	9.000	19.900	21.200	18.900	
H _b (nat)	kJ/kg	6.300	14.500	20.400	16.400	
vluchtig	%	g.a.	g.a.	65	71	
vocht	%	30,0	26,7	3,8	13,3	
as	%	52	24,7	12,8	16,0	
Totaal Cl	%	0,3	1,0	1,2	0,8	
EOCl	mg/kg	g.a.	25	43	45	
F	mg/kg	12	g.a.	g.a.	g.a.	
PCB's	µg/kg	g.a.	497	435	925	
HCB	µg/kg	g.a.	20	8	5	
Chloorfenolen	µg/kg	g.a.	1.341	4.662	1.990	
Pentachloorfenol	µg/kg	g.a.	1.236	4.115	1.856	
Metalen Cu	mg/kg	238	178	162	786	
As	mg/kg	g.a.	2	< 1	1	
Cd	mg/kg	4	4	6	3	
Pb	mg/kg	399	210	176	196	
Sb	mg/kg	g.a.	4	4	13	
Hg	mg/kg	0,6	3	1	< 2	

Behalve het vochtgehalte zijn alle in deze tabel vermelde gegevens betrokken op watervrij materiaal.

Afkorting g.a. wil zeggen : geen analyse gegeven (maar component wel aanwezig!)

Gegevens totaal huishoudelijk afval volgens Lorber [3].

Gegevens diverse fracties volgens Kiers [4].

1) Afmetingen pellets : $\varnothing \cong 15$ mm, L $\cong 50$ mm.

Tabel 3

Rookgasemissies bij de verbranding van huishoudelijk afval en fracties daarvan.

		roosteroven [1]	wervelbedoven [4]			
		huishoudelijk afval	lichte fractie		zware fractie	
			fijn fase 2	gepelleteerd fase 2	fase 2	fase 3
component	eenheid		800 °C	800 °C	800 °C	1100 °C
O ₂	vol %	-	10,2	8,1	10,5	10,0
CO	mg/kg	2000	684	353	6590	340
NO _x	mg/kg	1300	2171	3355	4453	3307
SO ₂	mg/kg	2000	700	300	1700	7500
C _x H _y	mg/kg	1500	23	28	900	65
PAK's	µg/kg	30	202	1	246	13
B(a)P	ng/kg	g.a.	182	9	54	78
PCDD's	µg/kg	9	8	1	8	36
2378-TCDD	ng/kg	g.a.	9	< 9	7	< 19
PCDF's	µg/kg	8	32	6	54	152
Chloorfenolen	µg/kg	g.a.	101	126	1349	760
HCB	µg/kg	g.a.	17	13	70	30
Cl ⁻	mg/kg	4200	10272	12672	8650	13380
F ⁻	mg/kg	42	80	50	20	60
As	mg/kg	0,09	0,9	0,04	0,2	0,3
Cd	mg/kg	1,5	0,13	0,1	0,13	0,13
Cu	mg/kg	0,7	1,32	2,7	2,6	2,3
Pb	mg/kg	10	3,6	2,6	1,3	1,4
Sb	mg/kg	0,15	0,14	3,1	0,04	0,03
Hg	mg/kg	2	3,7	1,9	1,5	1,3

g.a. = geen analyse gegeven

Tabel 4 Procentuele massabalans van zware metalen bij het verstoken van diverse fracties in een wervelbedoven [4]

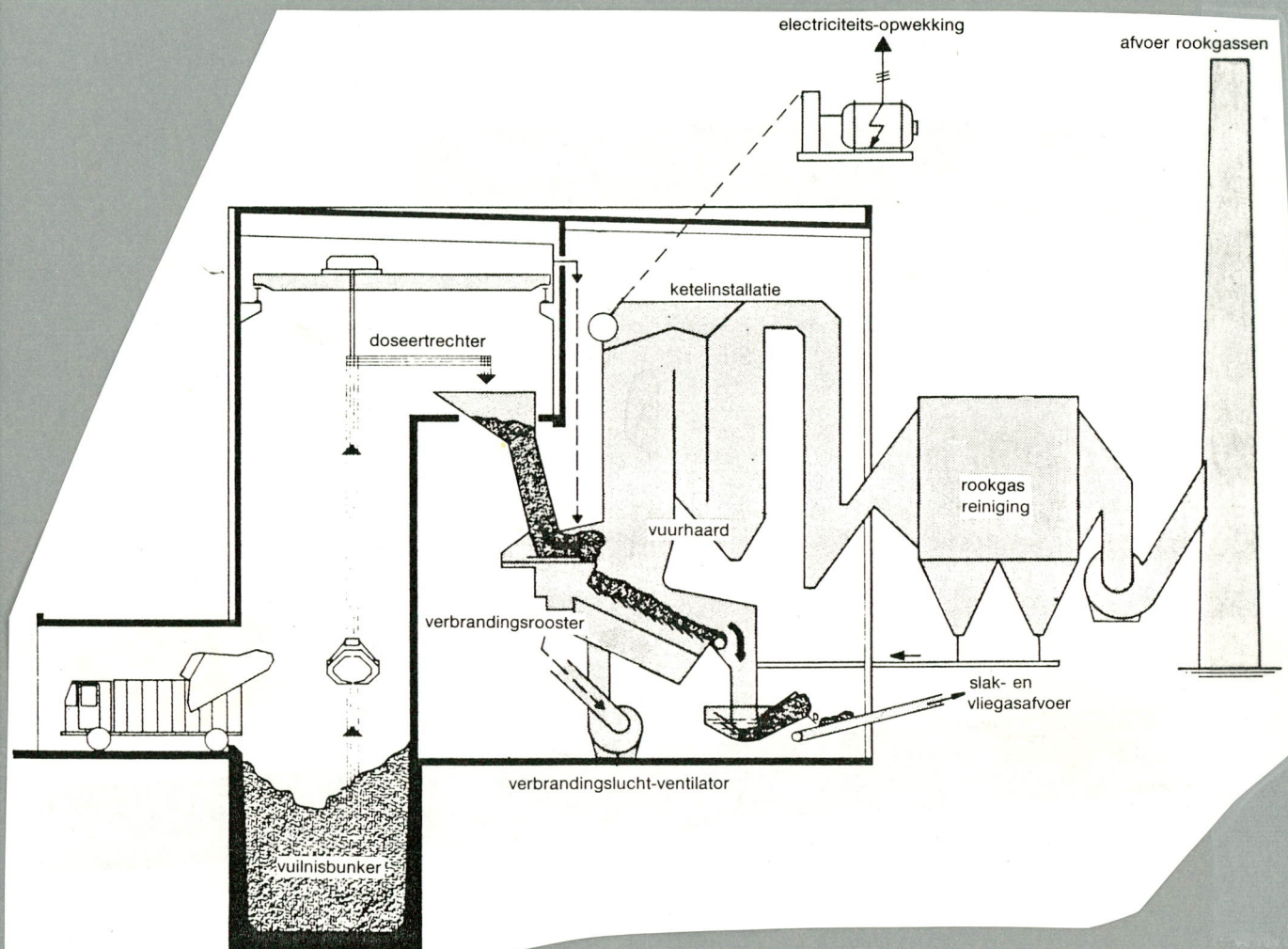
component	stofstroom	lichte fractie		zware fractie
		fijn fase 2 800 °C	gepelleteerd fase 2 800 °C	fase 2 800 °C
vaste stof	huisvuilas	+100	+100	+100
	bedzand	- 0	- 0	- 16
	cycloonstof	- 37	- 56	- 2
	doekenfilterstof	- 1	- 4	- 47
	rookgassen	- 1	- 0	- 2
	sluitpost	- 61	- 40	- 33
Cu	huisvuilas	+100	+100	+100
	bedzand	- 1	- 51	- 5
	cycloonstof	- 19	- 33	- 1
	doekenfilterstof	- 7	- 25	- 60
	rookgassen	- 12	- 1	- 6
	sluitpost	- 61	+ 10	- 28
Cd	huisvuilas	+100	+100	+100
	bedzand	- 1	- 0	- 2
	cycloonstof	- 17	- 10	- 1
	doekenfilterstof	- 33	- 29	-416
	rookgassen	- 58	- 1	- 78
	sluitpost	+ 9	- 60	+397
Pb	huisvuilas	+100	+100	+100
	bedzand	- 0	- 2	- 3
	cycloonstof	- 13	- 14	0
	doekenfilterstof	- 18	- 21	-110
	rookgassen	- 27	- 1	- 12
	sluitpost	- 42	- 62	+ 25
Hg	huisvuilas	+100	+100	
	bedzand	- 0	--	
	cycloonstof	- 1	- 5	
	doekenfilterstof	- 2	- 2	
	rookgassen	-133	-200	
	sluitpost	+ 36	+107	

Tabel 5

Huidige emissie en toekomstige grenswaarden voor verbranding van huishoudelijk afval

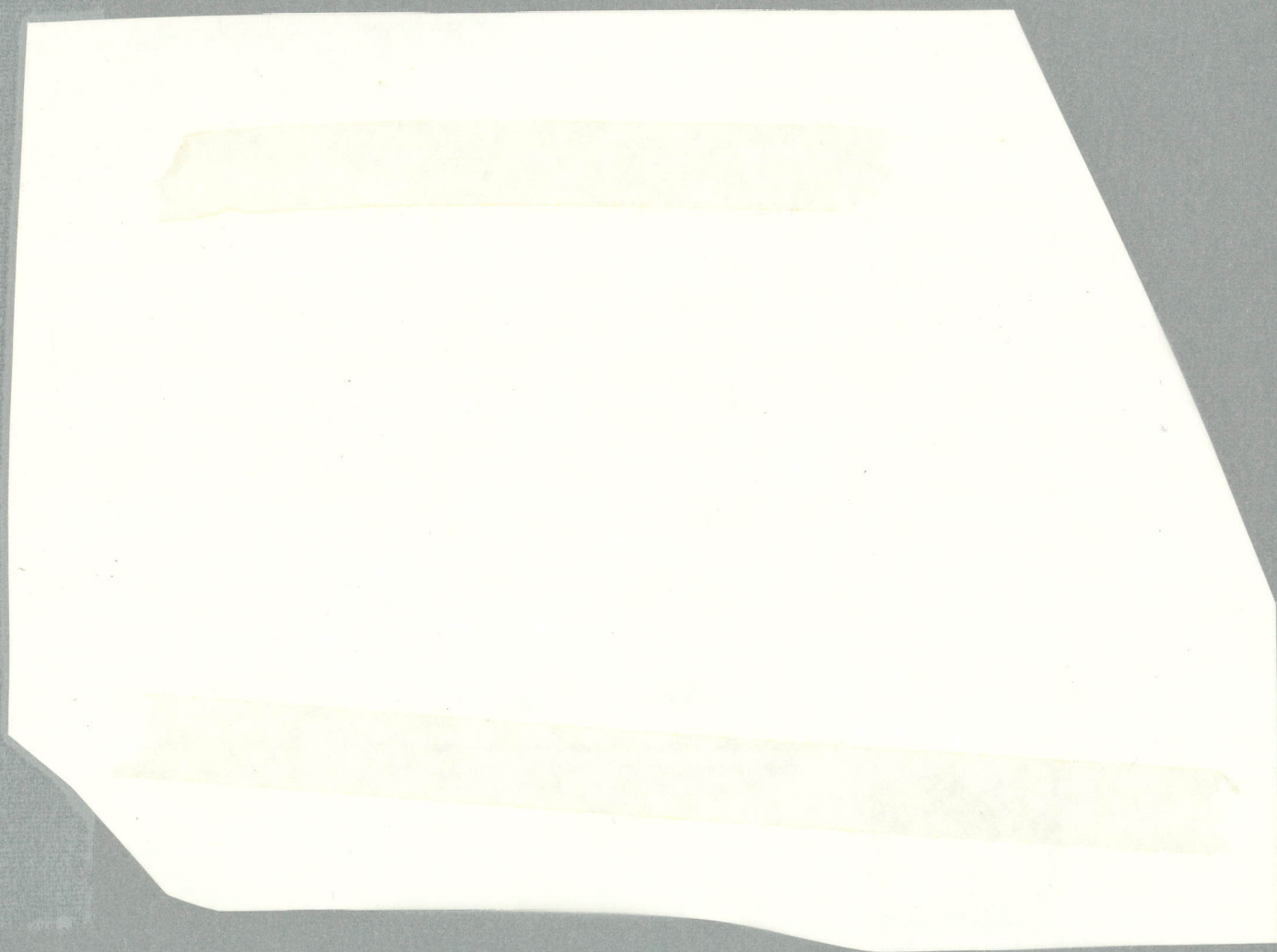
component	eenheid (0 °C, droog, 11% O ₂)	huidige emissie [1]	grenswaarde [5]	
			gemiddelde per etmaal	maximale waarde
CO	mg/m ³	330	-	-
NO _x	mg/m ³	220	-	-
SO ₂	mg/m ³	330	-	-
C _x H _y	mg/m ³	250	-	-
PAK	µg/m ³	5	-	-
PCDD	µg/m ³	1,5	-	-
PCDF	µg/m ³	1,3	-	-
HCl	mg/m ³	700	50	75
HF	mg/m ³	7	3	5
Pb + Zn	mg/m ³	7	5	-
Cd	mg/m ³	0,3	0,1	-
Hg	mg/m ³	0,3	0,1	-
totaal stof	mg/m ³	80	50	75

Noot: Gesteld 6 m³ rookgas per kg afval.



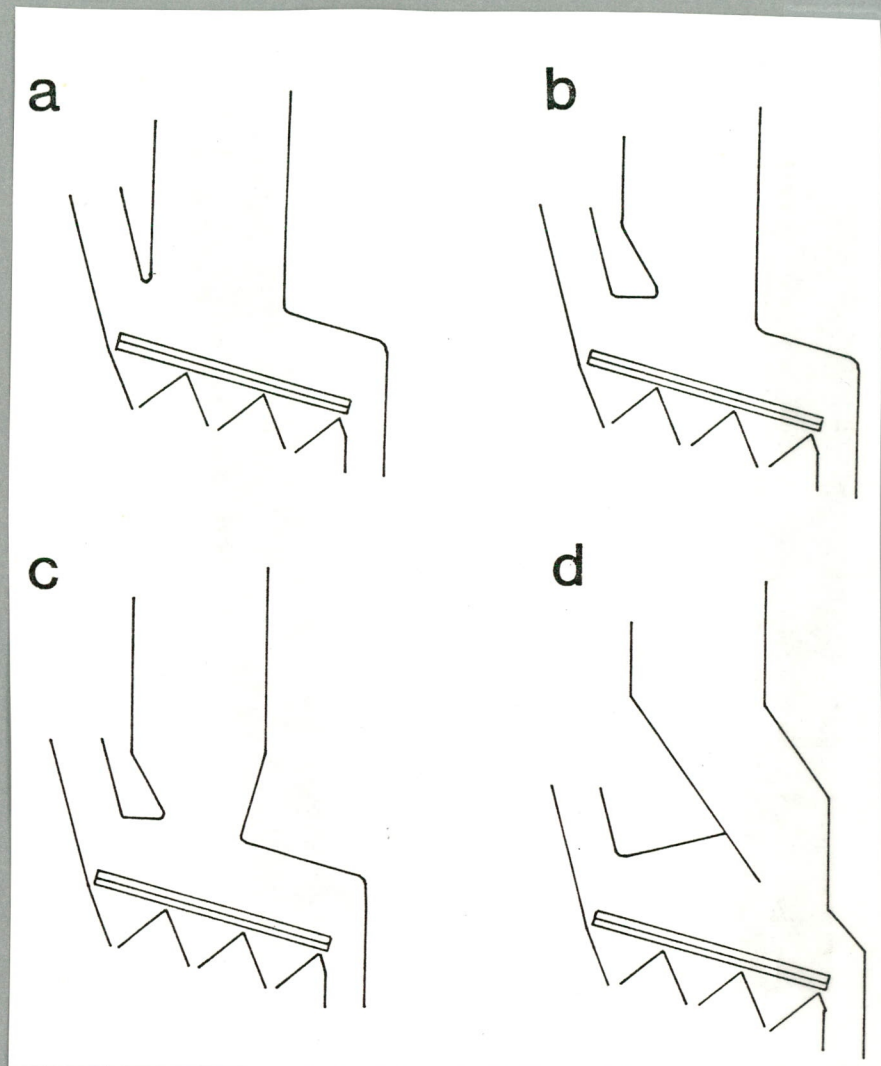
Verbrandingsinstallatie voor huishoudelijk afval
 (bron: handboek modelvoorschriften luchtverontreiniging)

MT-TNO
 13907
 Fig. 1

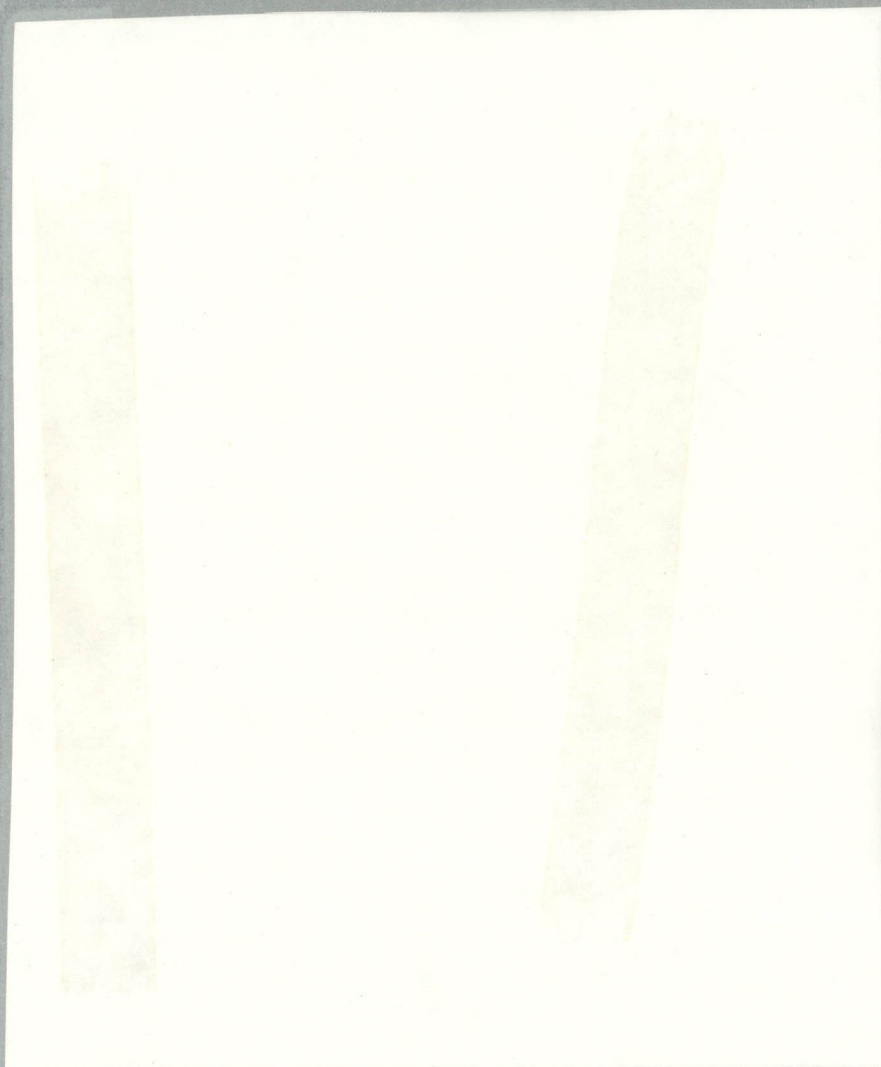


(bron : handboek modelvoorschriften (luchtverontreiniging)
Verbrandingsinstallatie voor huishoudelijk afval

Fig. 1
13907
MT-TNO



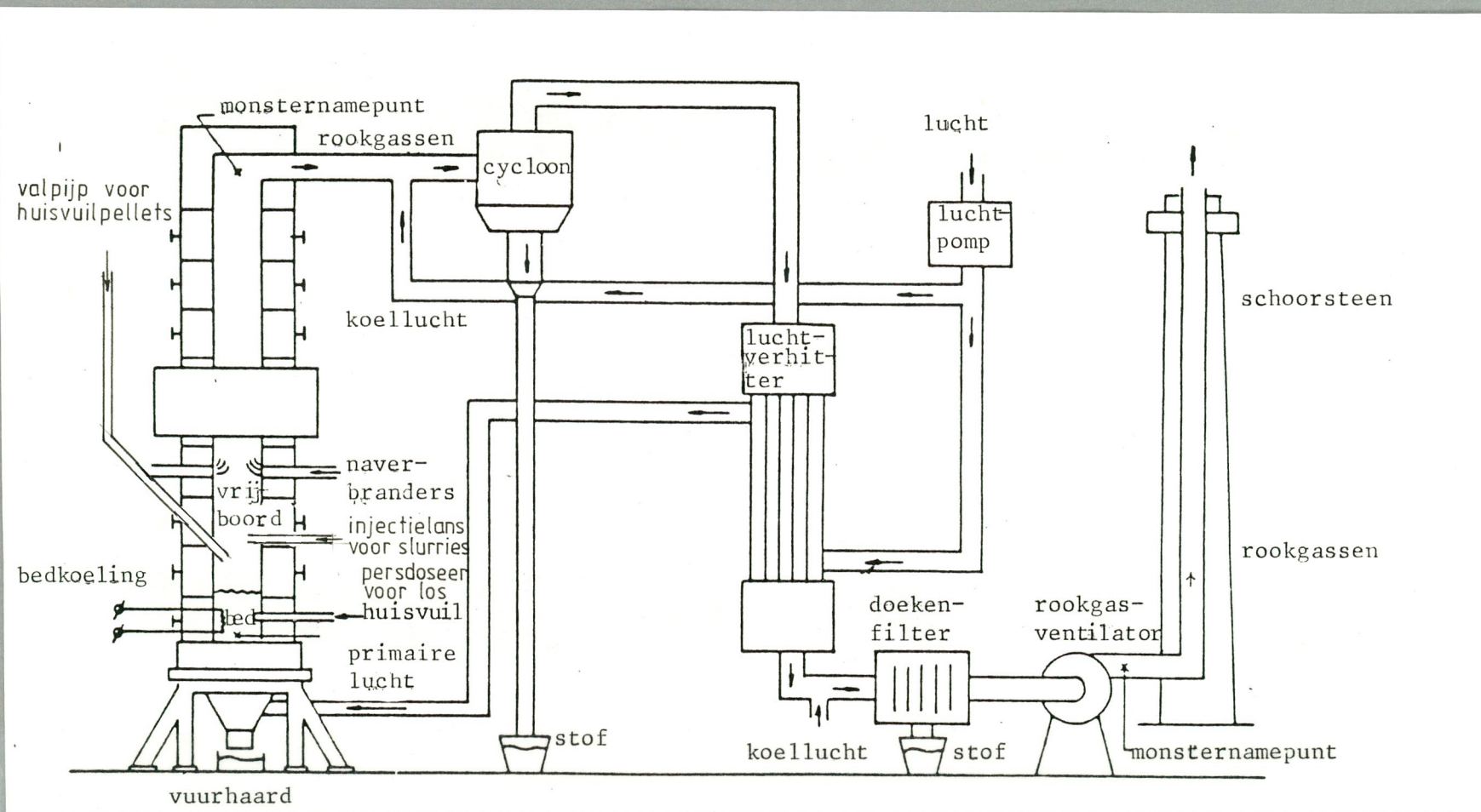
- a) oorspronkelijke uitvoering zonder bijzondere turbulentievorming
- b) met turbulentie-neus aan voedingszijde
- c) dubbelzijdige turbulentie-neus
- d) vuurhaard volgens gelijkstroomprincipe

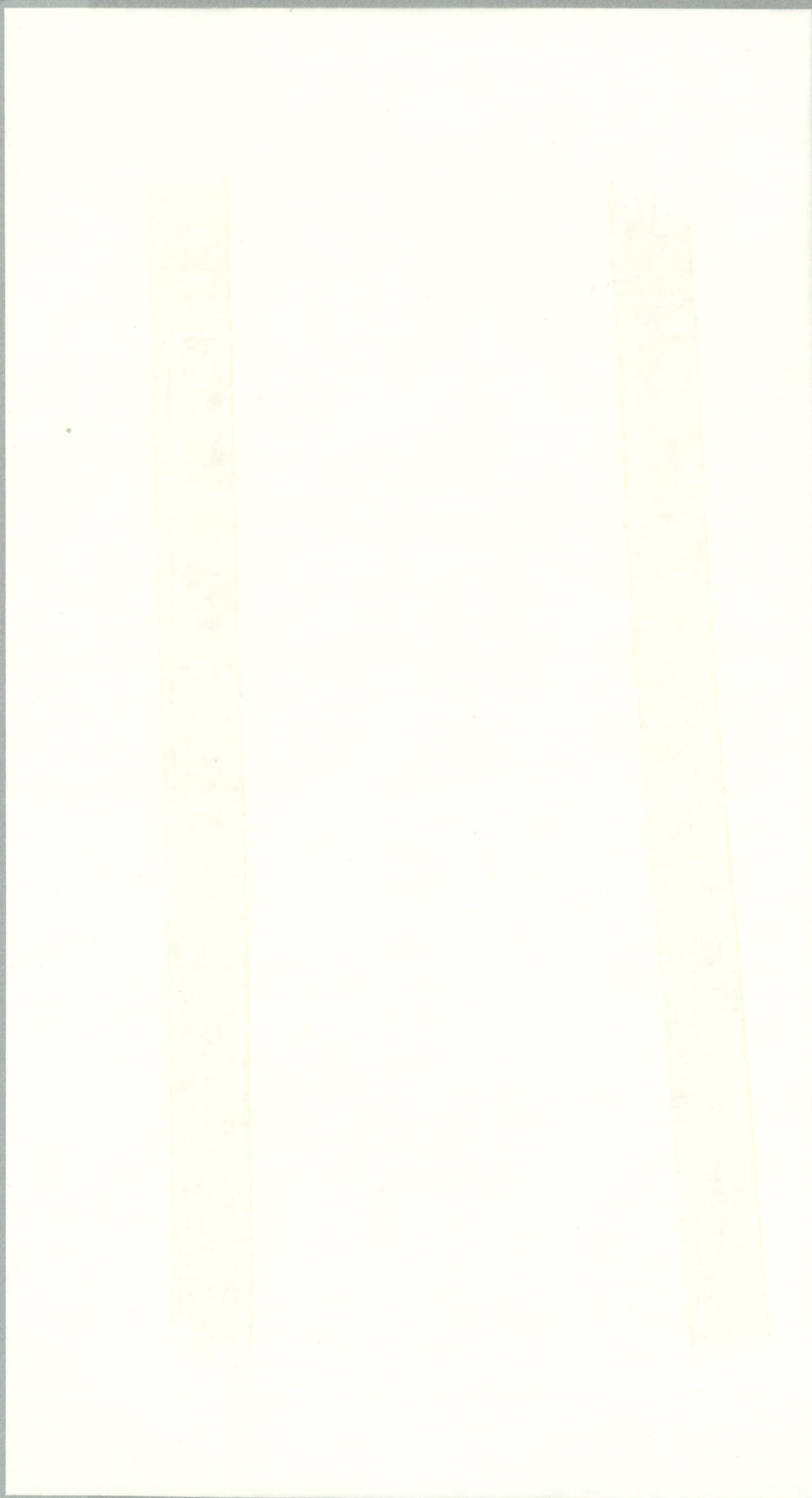


- a) oorspronkelijke uitvoering zonder bijzondere turbulentievorming
- b) met turbulente-nus aan voedingzijde
- c) dubbelzijdige turbulente-nus
- d) vuurhaard volgens gelijkstroomprincipe

ONT.TM
13907
Fig. 2

Uitvoeringsvormen van de vuurhaard van roosterovens [2]

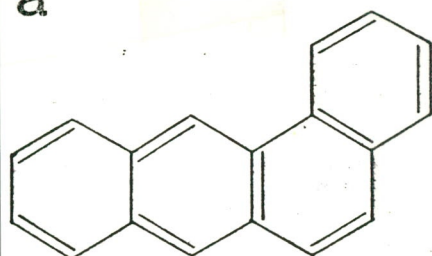




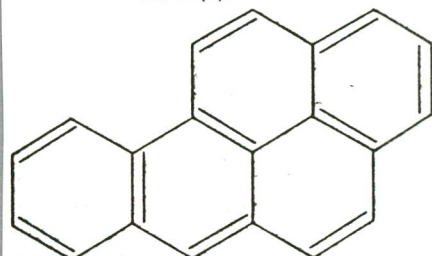
Experimentele werfeldoven dij TNO

ONT_TM
13907
fig. 3

a

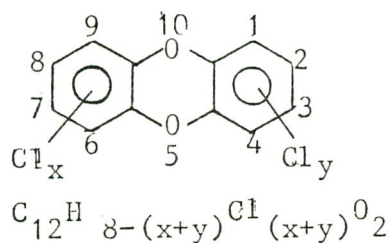


benzo(a)antraceen

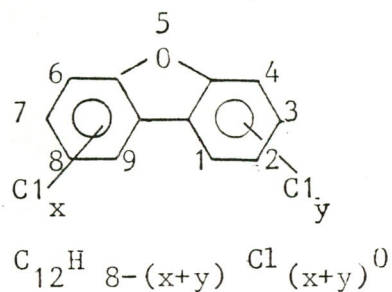


benzo(a)pyreen

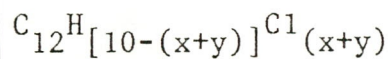
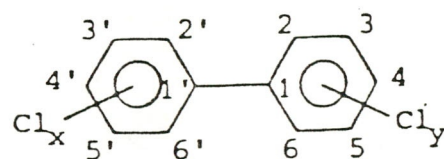
b



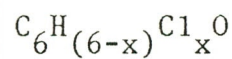
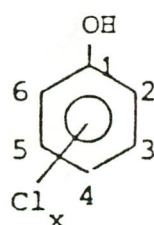
Polychloordibenzo-para-dioxinen (PCDD)



Polychloordibenzofuranen (PCDF)



Polychloorbifenylen (PCB)

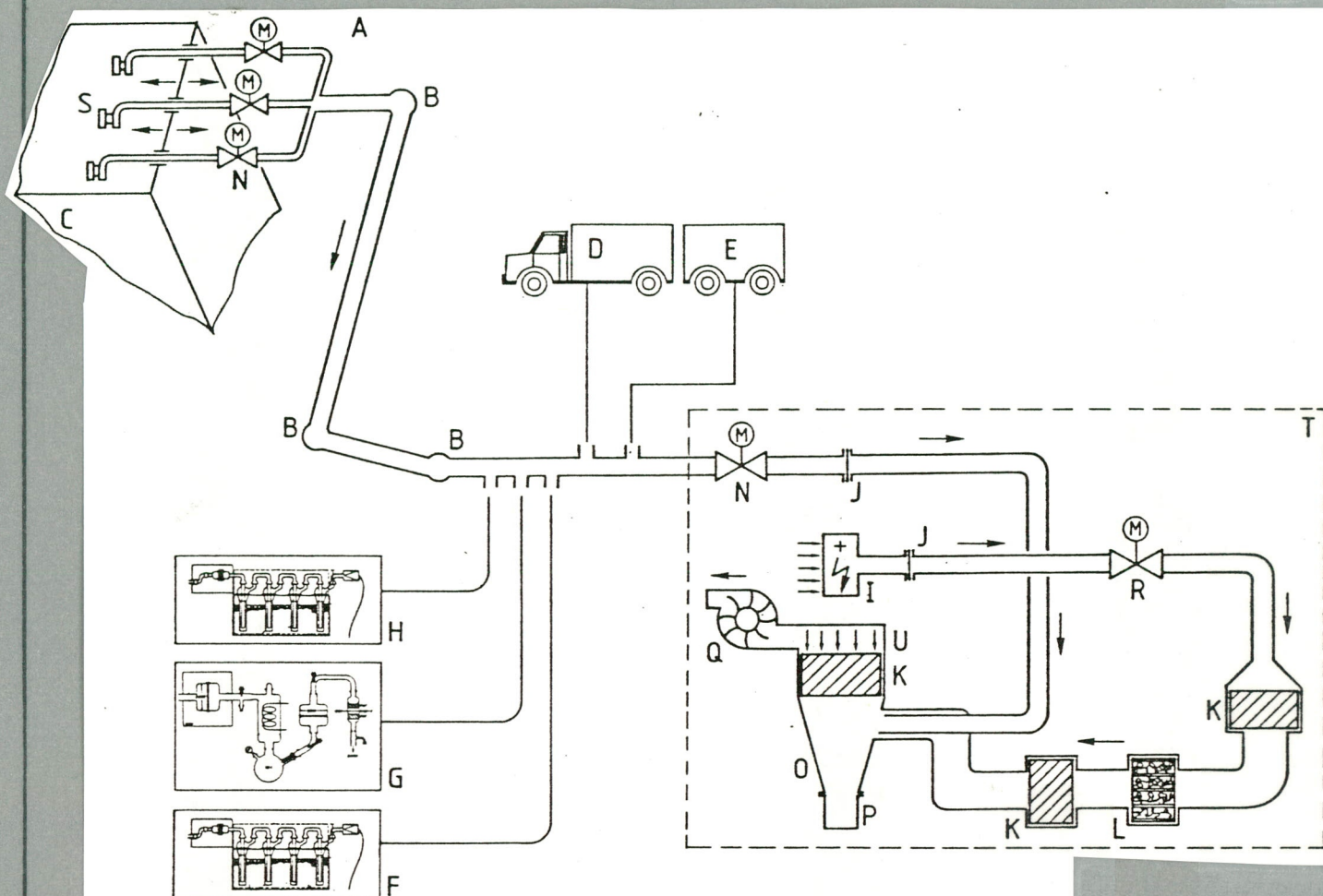


Polychloorfenolen



ONT_TM
13907
Fig. 4

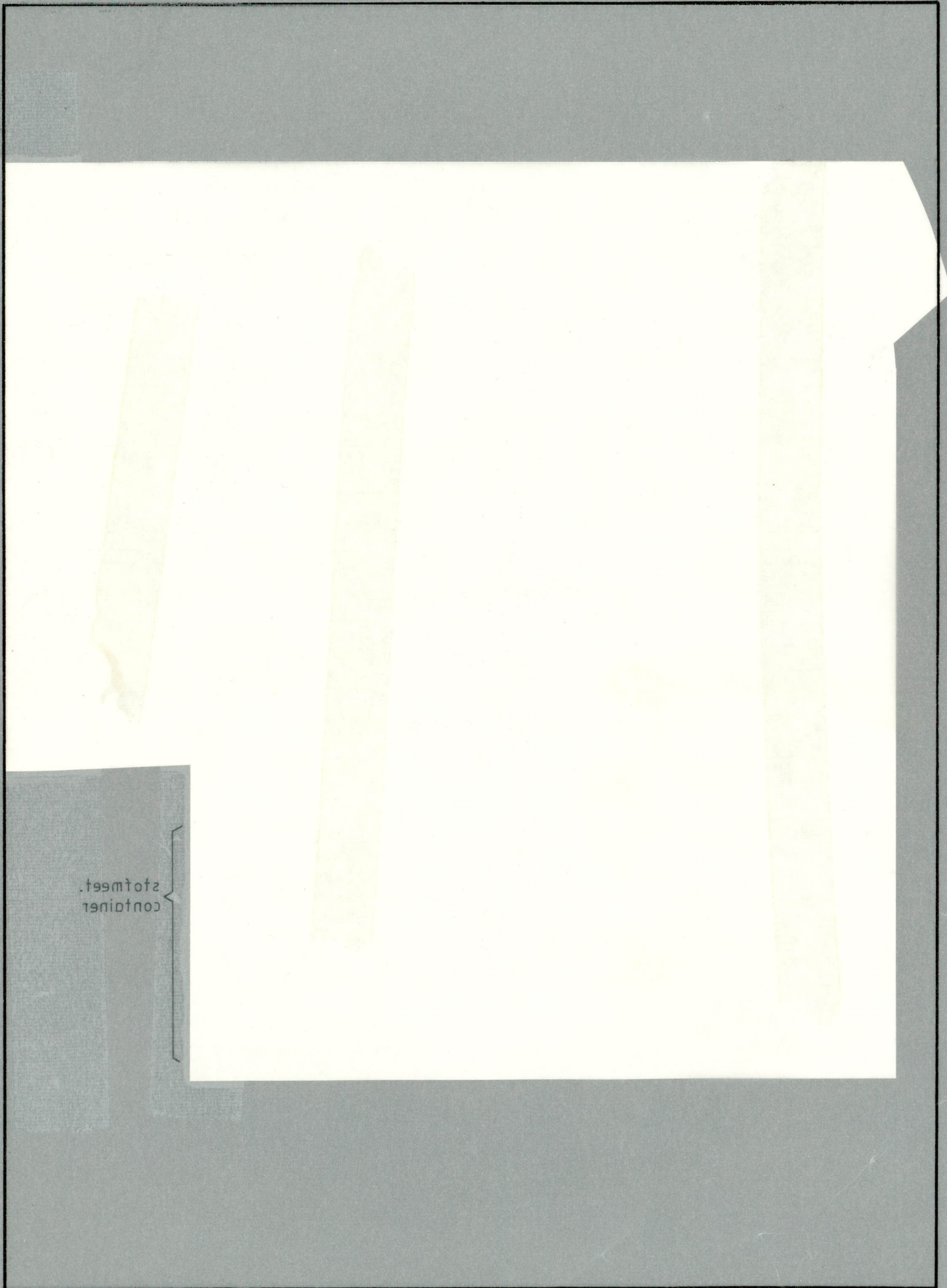
Structuur van een aantal organische microcomponenten



A Bewegende monsternamenvork
 B Kniegewricht
 C Dwarsdoorsnede schoorsteenkanaal
 ca. 8 meter boven de grond
 D Meetauto, rookgascompositie
 E Registrerende HCl-meter in aanhanger
 F Impingerset gasvormige metalen
 G Glazen monsternameset
 H Impingerset halogenen
 I Luchtverhitter

J Meetflens
 K Absoluutfilter
 L Actief koolfilter
 N Rookgas regelklep
 O Trechter
 P Stofverzamelpot
 Q Ventilator
 R Luchtregelklep
 S Dubbele nuldruksonde
 T Stofmeetcontainer
 U Terugblaassysteem

stofmeet.
container



stofmet.
container

MT_TNO
13907
Fig. 2

Uitgebreide opstelling voor emissiemetingen