

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 32 01

info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 96/059

**Massabalans en emissies van in Nederland
toegepaste crematieprocessen**

Datum	februari 1996
Auteurs	Ing. E.R. Smit
Projectnummer	25990/26335
Trefwoorden	- crematorium - massabalans - emissie - samenstelling - zware metalen - kwik
Bestemd voor	Ministerie van VROM Directoraat-Generaal Milieubeheer Directie Lucht en Energie, Afd. Bedrijven t.a.v. Ing. H.W. Holtring Postbus 30945 2500 GX 's-Gravenhage

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 onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In opdracht van de Directie Lucht en Energie van het Ministerie van VROM is door de afdeling Verbranding en Conversie van TNO-MEP een onderzoek verricht naar de emissies naar bodem en lucht afkomstig van crematieprocessen. Het doel hiervan was inzicht te verkrijgen in de verspreiding van milieu-schadelijke componenten naar de omgeving en de herkomst van deze componenten. In overleg met een begeleidingscommissie werd een onderzoeksprogramma opgesteld. Het onderzoek werd uitgevoerd bij twee in procesvoering verschillende crematoria, te weten het koude-start proces en het warme-start proces. Het grootste verschil tussen deze typen processen bestaat uit de oventemperatuur op het moment dat de kist wordt ingevoerd en de tijdsduur van het proces.

Bij zowel het warme- als het koude-start proces werden gedurende drie crematie processen metingen en monsternemingen uitgevoerd aan de uitgangsstromen (ovenas, vliegstof en rookgassen) ter bepaling van de samenstelling van deze stromen. De samenstelling van de ingangsstromen (kist, lichaam, aardgas, verbrandingslucht) werd geschat aan de hand van literatuurgegevens. Vervolgens werd met de hiermee bereikte resultaten voor iedere onderzochte component werd een massabalans over het crematieproces opgesteld.

Aan de hand van analyses van de ovenas, het vliegstof en de rookgassen werd de verdeling van iedere component over de genoemde drie uitgangsstromen bepaald.

Bijzondere aandacht binnen dit onderzoek ging uit naar de emissie van zware metalen, fosforverbindingen, stikstof, zwavel, chloor en fluor, vanwege hun milieubelastende eigenschappen. Tevens werd bepaald welke invloed het malen van de bij crematie-processen vrijkomende ovenas heeft op zware metalen gehalte van de ovenas.

In het kader van dit onderzoek is eveneens bepaald wat de invloed van de aanwezigheid van kwikamalgaam vullingen is op de kwik emissie. Hiertoe werd voorafgaande aan ieder proces een exact bepaalde hoeveelheid kwikamalgaam met bekend kwikgehalte aan de oven toegevoegd. De toegevoegde hoeveelheid kwikamalgaam kwam overeen met een hoeveelheid van 5 kwikamalgaamvullingen in het gebit.

Bij het koude-start proces wordt het grootste gedeelte (> 90%) van de zware metalen in de ovenas teruggevonden. Bij het warme-start proces bevindt 35% tot 65% van de zware metalen zich in de ovenas. Het aandeel zware metalen in het rookgas is bij beide typen processen minder dan 1,5%. De resterende hoeveelheid zware metalen is gebonden aan het vliegstof. Per zwaar metaal kunnen de verdelingspercentages over de diverse uitgangsstromen sterk verschillen onder andere als gevolg van de verschillen in vluchtigheden.

Het onderlinge verschil tussen beide typen ovens met betrekking op de verdeling van de zware metalen over de uitgangsströmen wordt veroorzaakt door het verschil in de oventemperatuur. Geconstateerd is dat de oventemperatuur bij de warme-start oven over het algemeen hoger is dan bij de koude-start oven. Als gevolg hiervan zullen de zware metalen bij het warme-start proces makkelijker uit de ovenas verdampen, om vervolgens te condenseren op de vliegstofdeeltjes.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat kwik voor meer dan 99,8% via de rookgassen wordt geëmitteerd. De hoeveelheid kwik die wordt geëmitteerd was bij alle onderzochte crematieprocessen vrijwel gelijk aan de aan het lichaam als kwikamalgam toegevoegde hoeveelheid. Hieruit blijkt dat de aanwezigheid van kwikamalgam de belangrijkste bron van kwikemissie bij crematieprocessen is.

Stikstof, zwavel, chloor en oplosbare fluoriden worden voornamelijk via de rookgassen en het vliegstof geëmitteerd. Fosfor is voornamelijk aan het ovenas gebonden.

De CO-, C_xH_y- en NO_x-concentratie in de rookgassen, betrokken op een O₂-gehalte van 11% in de rookgassen, is gemiddeld over het crematieproces bij het warme-start proces hoger dan bij het koude-start proces. De hogere CO- en C_xH_y-concentratie bij het warme-start proces wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de branders bij het warme-start proces gedurende langere tijd uitstaan, waardoor een minder goede menging van de verbrandingsgassen plaatsvindt, gecombineerd met een te lage naverbrandingstemperatuur.

Het verschil in NO_x-rookgasconcentratie tussen beide typen crematie-ovens kan aan de hand van de voor dit onderzoek beschikbare gegevens niet worden verklaard. Nader onderzoek hierover zou gewenst zijn.

De massabalans over de onderzochte crematieprocessen was voor de meeste componenten niet sluitend te krijgen. Dit moet worden toegeschreven aan een grote onnauwkeurigheid van de literatuurgegevens aangaande de samenstelling (van met name de sporen elementen) van de kist en het lichaam. De berekende recoveries (d.i. de procentuele verhouding uitgang/ingang) in de uitgangsströmen variëren afhankelijk van de onderzochte component tussen de één en enkele duizenden procenten.

Het vermalen van de ovenas door middel van bij crematoria toegepaste verkleiningsmachines leidt tot een toename van het zware metalen gehalte in de ovenas. De toename bedraagt afhankelijk van het toegepaste maalproces 200% tot 365%.

Met name het aluminium, mangaan, tin en nikkel gehalte van de ovenas neemt door het verkleiningsproces toe. Bij het onderzochte koude-start proces is tevens een toename waargenomen van het chroom en vanadiumgehalte van de ovenas.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
	Nomenclatuur	7
1.	Inleiding.....	9
2.	Procesbeschrijving.....	11
3.	Uitvoering.....	13
3.1	Algemeen	13
3.1.1	Ingangsstromen.....	14
3.1.2	Uitgangsstromen.....	15
3.2	Uitvoering bij koude-start oven	17
3.3	Uitvoering bij warme-start oven	18
4.	Resultaten	19
4.1	Algemeen	19
4.2	Samenstelling ingangsstromen.....	19
4.3	Resultaten koude-start oven	20
4.3.1	Ingangsstromen.....	21
4.3.2	Uitgangsstromen.....	22
4.3.3	Massabalans	26
4.4	Resultaten warme-start oven	29
4.4.1	Ingangsstromen.....	30
4.4.2	Uitgangsstromen.....	31
4.4.3	Massabalans	35
4.5	Invloed verkleiningsmachine op zware metalen gehalte ovenas.....	38
5.	Evaluatie	43
5.1	Procesvoering	43
5.2	Zware metalen	45
5.3	Kwik.....	49
5.4	Fosfor	49
5.5	Stikstof	51
5.6	Zwavel.....	51
5.7	Chloor.....	53
5.8	Oplosbaar fluor.....	54
5.9	Rookgasemissies	55
5.10	Vergelijking met eerdere onderzoeken	57
6.	Conclusies.....	61

7.	Literatuur	63
8.	Verantwoording	65

Bijlagen

A	Meetresultaten bepaling gehalten uitgangstromen
B	Schematische weergave crematie-ovens
C	Resultaten bedrijfsmetingen koude- en warme-start oven
D	Toegepaste meet- en monsternemingstechnieken
E	Kwaliteitsborging
F	Ledenlijst begeleidingscommissie crematoria

Nomenclatuur

ind in normaal toestand droog (273K, 1013 hPa)

h uur

m³ kubieke meters

g gram

1. Inleiding

In opdracht van de Directie Lucht en Energie van het Ministerie van VROM is door de afdeling Verbranding en Conversie van TNO-MEP een onderzoek verricht naar de emissies naar bodem en lucht als gevolg van crematieprocessen. Het doel hiervan was inzicht te verkrijgen in de verspreiding via de rookgassen en de ovenas van milieuschadelijke componenten naar de omgeving en de herkomst van deze componenten.

Het onderzoek was door het Ministerie van VROM geïnitieerd naar aanleiding van eerdere door TNO verrichtte emissie onderzoeken bij crematoria. Bij deze onderzoeken was gebleken dat met name de kwik emissie naar de atmosfeer niet altijd leek overeen te komen met de hoeveelheid kwik in het menselijk lichaam als gevolg van gebitsrestauraties. Tevens werd de vraag gesteld in welke mate en via welke stromen andere milieuschadelijke componenten naar de omgeving werden verspreid tijdens een crematieproces.

In overleg met een begeleidingscommissie is een onderzoeksprogramma opgesteld, welke inzicht zou moeten geven in de milieubelasting van crematieprocessen. Het onderzoeksprogramma bestond uit het opstellen van massabalansen over een crematieproces en het bepalen van de hoeveelheid en samenstelling van de ovenas en de rookgassen die ontstaan bij crematies. Hiertoe werden bij twee verschillende crematoria metingen en monsternemingen uitgevoerd.

In de begeleidingscommissie hadden de onderstaande instellingen zitting

- Directie Lucht en Energie, Afdeling Bedrijven van het Ministerie van VROM;
- Hoofdinspectie voor de Milieuhygiëne van het Ministerie van VROM;
- Infomil-NeR;
- Regionale Inspectie Milieuhygiëne Noord-Brabant;
- Vereniging Nederlandse Gemeenten;
- Gemeente De Bilt;
- Platform Uitvaartwezen.

In bijlage F is de ledenlijst van de begeleidingscommissie opgenomen.

Het onderzoek werd mede mogelijk gemaakt door de medewerking van:

- All Europe BV;
- TABO-INEX BV;
- Platform Uitvaartwezen;
- DELA uitvaartcentrum Eindhoven;
- Crematorium 'Den en Rust' te Bilthoven;
- Crematorium Heeze te Heeze;
- DELA Uitvaartverzorging BV.

De resultaten van het onderhavige onderzoek zullen worden gebruikt bij het vaststellen van een bijzondere regeling in de NER voor crematoria. Tot op heden zijn de vergunningverleners (bijvoorbeeld gemeentebesturen) vrij in het vaststellen van emissiebepalingen van crematieprocessen. De in te voeren NER richtlijn kan hierin meer duidelijkheid naar de vergunningverlener en de crematoria geven.

Het onderzoek werd uitgevoerd bij twee crematoria, die qua procesvoering representatief zijn voor de in Nederland toegepaste crematieprocessen, te weten het zogenaamde 'koude-type' proces en het 'warme-type' proces. De selectie van deze crematoria werd uitgevoerd door TNO in overleg met de begeleidingscommissie en met medewerking van het Platform Uitvaartwezen, DELA, TABO-INEX en All-Europe. De keuze is daarbij gevallen op Crematorium Den en Rust' te Bilthoven en het Crematorium te Heeze. In Bilthoven past men de zogenaamde koude-start crematie toe, terwijl in Heeze het warme-start principe wordt toegepast. In het hoofdstuk Procesbeschrijving zullen deze verschillende processen nader worden beschreven. De geselecteerde typen crematieprocessen zijn representatief voor de Nederlandse situatie, omdat ca. 90% van de Nederlandse crematoria één van deze processen toepast en omdat de in Bilthoven en Heeze geïnstalleerde ovens vrij modern en volgens de huidige stand der techniek zijn ontworpen.

De uitvoering van het onderzoek wordt in dit rapport beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de onderzoeksresultaten bij de beide typen onderzochte processen. Deze resultaten worden in hoofdstuk 5 nader geëvalueerd. In hoofdstuk 6 staan de conclusies van het onderzoek vermeld.

2. Procesbeschrijving

Koude-start oven

Bij crematorium Den en Rust te Bilthoven staan twee crematie-ovens van het koude-start type opgesteld, elk voorzien van een eigen regeling en rookgasafvoer systeem. De crematie-ovens zijn geleverd door de firma All Europe BV. De crematie-oven bestaat uit een ovenruimte en een naverbrandingsruimte, ieder voorzien van een aardgas gestookte brander.

Voorafgaande aan het eerste crematieproces van de dag wordt de naverbrander gestart. Als de temperatuur van de naverbrandingsruimte 450 °C is, wordt de kist met het stoffelijk overschot in de ovenruimte ingevoerd en wordt de hoofdbrander in de ovenruimte gestart. De naverbrander regelt de naverbrandingstemperatuur modulerend op 850 °C. De hoofdbrander begint terug te regelen als de oventemperatuur 600 °C is en wordt uitgeschakeld op het moment dat de oventemperatuur 950 °C is.

De hoeveelheid secundaire lucht wordt geregeld aan de hand van een zuurstofmeting na de naverbrandingsruimte.

Het crematieproces duurt, afhankelijk van het ingevoerde gewicht en de samenstelling, 1,75 tot 2,5 uur. Na afloop van het proces wordt de hoofdbrander uitgeschakeld en wordt de oven geruimd. De asresten worden in een aslade opgevangen en koelen daarin af tot kamertemperatuur. Een volgend crematieproces wordt gestart als de ovenruimte is afgekoeld tot 300 °C. In bijlage B.3 is een schematische tekening opgenomen van de crematie-oven.

De na de crematie overgebleven asresten worden met behulp van een magneet ontijzerd. De aslade met daarin de ontijzerde as wordt vervolgens gelegeerd in een hamermolen, waarmee de as wordt verkleind.

De bij de crematie ontstane rookgassen worden vervolgens direct vanuit de naverbrandingsruimte ontkoeld via een 6,9 meter hoge geïsoleerde schoorsteen op de atmosfeer geloosd.

Warme-start oven

Bij crematorium Heeze te Heeze staan drie crematie-ovens opgesteld van het warme-start type. De oven waaraan het onderzoek is uitgevoerd is voorzien van een automatische stookregeling en een van de andere ovens gescheiden rookgas afvoersysteem. De bij dit crematorium opgestelde ovens zijn geleverd door TABO-INEX BV.

De crematie-oven bestaat uit een ovenruimte en een naverbrandingsruimte, ieder voorzien van een aardgas gestookte brander. Voorafgaande aan de eerste crematie van de dag wordt de ovenruimte opgewarmd tot 700 °C en de naverbrandingsruimte wordt verhit tot 850 °C. Op het moment dat de gewenste temperaturen zijn bereikt

wordt de ovenbrander uitgeschakeld en wordt de kist ingevoerd. Door de stralingshitte van de ovenwanden ontbrandt de kist spontaan. Het crematie-proces wordt geregeld via een stookautomaat, die gedurende het proces een stappen programma uitvoert. Dit stookprogramma staat vermeld in bijlage B. De oventemperatuur wordt gedurende het proces geregeld op een aantal vaste waarden variërend tussen 700 °C en 950 °C. In de praktijk wordt de ovenbrander alleen aan het einde van het proces gebruikt als het verbrandingsproces moeizamer begint te verlopen. De naverbrander wordt geregeld tussen 700 °C en 850 °C. (Zie bijlage B.2.)

De hoeveelheid verbrandingslucht wordt geregeld door middel van een zuurstofmeter geplaatst na de naverbrandingsruimte. De hoeveelheid verbrandingslucht is zodanig geregeld, dat het zuurstofgehalte na de naverbrander tussen 8 en 10 vol% ligt.

De benodigde schoorsteentrek wordt opgewekt door een luchtinjector in het schoorsteen kanaal. Deze injector zorgt tevens voor koeling van de rookgassen tot ca. 300 °C, waarna deze direct via de schoorsteen op de atmosfeer worden geloosd. In bijlage B.1 is een schematische tekening opgenomen van de crematie-oven.

Aan het einde van het crematie-proces, dat ca. 1 - 1,5 uur duurt, wordt de oven geruimd en worden de asresten opgevangen in een aslade. Een volgend crematie-proces kan hierna direct worden gestart, mits de ovenruimte een temperatuur heeft van 700 °C. De ovenassen laat men vervolgens afkoelen. Vervolgens wordt de ovenas ontijzerd met behulp van een magneet. De aslade met daarin het ontijzerde as wordt vervolgens in een kogelmolen geplaatst, waarmee de as wordt verkleind. Het verkleiningsproces duurt ca. 20 minuten.

3. Uitvoering

3.1 Algemeen

In overleg met de Begeleidingscommissie werd een onderzoeksprogramma vastgesteld dat ten doel had meer inzicht te verkrijgen in de emissies van vaste en gasvormige stoffen naar de omgeving en de herkomst van deze componenten. Hiertoe werden door middel van metingen, analyses en monsternemingen de in- en uitgangsstromen van een crematie-proces gekarakteriseerd op hun samenstelling. Aan de hand van deze bepalingen werd vervolgens voor een aantal componenten een massabalans opgesteld over het crematie-proces. Bij het opstellen van de massabalans zijn de volgende in- en uitgangsstromen te onderscheiden:

Ingangsstromen: lichaam
kist
aardgas
verbrandingslucht

Uitgangsstromen: rookgas
vliegias
ovenas

Bij de karakterisering van de in- en uitgangsstromen lag de nadruk op het bepalen van milieubelastende stoffen als kwik, zware metalen en verzurende stoffen als fosfor- en stikstofverbindingen.

Van kwik is bekend dat dit in het menselijk lichaam voornamelijk voorkomt in de vorm van kwikamalgam vullingen. De gemiddelde hoeveelheid bedraagt ca. 5 gram amalgaam per persoon, wat overeenkomt met ca. 2,5 gram kwik. Teneinde een betrouwbare massabalans voor kwik op te stellen was het noodzakelijk dat het te cremeren lichaam geen kwikamalgam vullingen bevatte. Aan het te onderzoeken proces werd voorafgaande aan de crematie een exact bekende hoeveelheid kwikamalgam toegevoegd overeenkomend met 5 amalgaamvullingen (= 5 gram).

Zware metalen komen voor in het menselijk lichaam, de kleding (kleurstoffen, brandvertragers) en het kistmateriaal. Door middel van literatuur gegevens [1] werd een schatting gemaakt van de concentratie aan zware metalen hierin. Om deze schatting een zo groot mogelijke nauwkeurigheid te geven was het noodzakelijk dat het in te voeren lichaam geen botprothesen, pacemakers en sieraden, horloges bevatte. Via de actieve medewerking van de betrokken uitvaartondernemers kon door TNO worden gecontroleerd of aan deze voorwaarden werd voldaan.

Fosfaten ontstaan als gevolg van verbranding van in het menselijk lichaam aanwezige fosfor. Een lichaam van 70 kg bevat volgens de literatuur [1] 700 gram fosfor. De emissie van fosfaten heeft een verzurende werking op de atmosfeer en de bodem.

Het onderzoek werd uitgevoerd op twee lokaties, te weten:

- Crematorium Den en Rust te Bilthoven (koude-start oven).
- Crematorium Heeze te Heeze (warme-start oven).

3.1.1 Ingangsstromen

Aan de hand van literatuur gegevens werd een schatting gemaakt van de samenstelling van de ingangsstromen. Tevens werd vastgesteld hoe groot de betreffende ingangsstroom was (massa c.q. debiet).

Lichaam

Voor de karakterisering van het lichaam was de actieve medewerking noodzakelijk van de betrokken uitvaartondernemers. Door middel van een vragenlijst die door de uitvaartondernemer werd ingevuld, werd vastgesteld of het lichaam aan de gestelde voorwaarden voldeed. Deze voorwaarden waren:

- afwezigheid van botprothesen. Dit kon worden vastgesteld aan de hand van aanwezige littekens als gevolg van de implantatie.
- afwezigheid van pacemakers. In verreweg de meeste gevallen worden deze voorafgaande aan de crematie verwijderd. Mocht dit desondanks niet gebeurd zijn, dan kon dit door de uitvaart ondernemer op eenvoudige wijze worden vastgesteld.
- afwezigheid van sieraden en horloge.
- afwezigheid van kwikamalgaam vullingen.

Aan de hand van literatuurgegevens werd een schatting gemaakt van de samenstelling van het menselijk lichaam, inclusief de sporen elementen (zware metalen).

Teneinde vast te stellen wat kwikamalgaam vullingen voor effect hebben op de emissies werd door de uitvaartondernemer in aanwezigheid van een TNO medewerker een exact bekende hoeveelheid kwikamalgaam met bekend kwikgehalte aan het lichaam toegevoegd door de uitvaartondernemer

Kist

Over het algemeen is de kist gemaakt van gelakt spaanplaat, aan de binnenzijde voorzien van een kunstofsatijs bekleding met een papieren bodembekleding en een kussen van houtkrullen. Aan de hand van opgaven van de uitvaartondernemer aangaande het type kist dat gebruikt wordt kan aan de hand van binnen direct TNO beschikbare literatuur gegevens een schatting worden gemaakt van de samenstelling van de kist.

Aardgas

De samenstelling van aardgas wordt vastgesteld aan de hand van algemene gegevens van de Gasunie NV [3].

Verbrandingslucht

De samenstelling van lucht is exact bekend. De relatieve vochtigheid van de verbrandingslucht werd vastgesteld door middel van een steekproefgewijze meting tijdens de onderzochte crematieprocessen.

3.1.2 Uitgangsstromen

De hoeveelheid en de samenstelling van de uitgangsstromen werd vastgesteld door middel van on-line metingen, integrale monsternemingen en chemische analyses. In onderstaande tabel 3.1 staat per uitgangsstroom vermeld welke componenten werden bepaald.

Tabel 3.1 Karakterisering uitgangsstromen.

Component	Ovenas	Vliegstof	Rookgas
Aluminium (Al)	X	X	X
Arseen (As)	X	X	X
Goud (Au)	X	X	X
Barium (Ba)	X	X	X
Cadmium (Cd)	X	X	X
Kobalt (Co)	X	X	X
Chroom (Cr)	X	X	X
Koper (Cu)	X	X	X
Kwik (Hg)	X	X	X
Mangaan (Mn)	X	X	X
Molybdeen (Mo)	X	X	X
Nikkel (Ni)	X	X	X
Lood (Pb)	X	X	X
Antimoon (Sb)	X	X	X
Seleen (Se)	X	X	X
Tin (Sn)	X	X	X
Telluur (Te)	X	X	X
Vanadium (V)	X	X	X
Zink (Zn)	X	X	X
Chloor (Cl)	X	X	
Zwavel (S)	X	X	
Fosfor (P)	X	X	
Oplosbaar orthofosfaat (als P ₂ O ₅)	X	X	
Oplosbaar chloor (Cl ⁻)	X	X	X
Oplosbaar fluor (F ⁻)	X	X	X
Kjeldahl stikstof (N)	X	X	
Stikstofoxiden (NO _x)			X
Zwavedioxide (SO ₂)			X
Koolwaterstoffen (C _x H _y)			X
Koolmonoxyde (CO)			X
Kooldioxyde (CO ₂)			X
Zuurstof (O ₂)			X

Het gehalte van de componenten SO₂, NO_x, C_xH_y, CO, CO₂ en O₂ in de rookgassen werd continu en on-line gemeten. Het gehalte van de overige in tabel 3.1 genoemde componenten in de drie uitgangsstromen werd integraal gedurende één crematie proces bepaald. Naast de in tabel 3.1 genoemde componenten werden tevens bepaald:

- hoeveelheid ovenas;
- hoeveelheid vliegafval;
- temperatuur rookgassen;
- vochtgehalte rookgassen.

Het gemiddelde rookgasdebiet werd berekend aan de hand van het aardgasverbruik, het gemiddelde zuurstofgehalte in de rookgassen tijdens de crematie, het gewicht van de kist en het lichaam en de gemiddelde samenstelling van kist en lichaam. De gemiddelde concentratie van de componenten over het crematieproces werd bepaald

uit continu registrerende metingen of uit integrale monsternemingen over gehele crematieproces. Door vermenigvuldiging van de gemiddelde concentratie met het gemiddelde rookgasdebiet werd de absolute hoeveelheid aan componenten in de rookgassen berekend.

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 wordt na afloop van het crematie-proces de ovenas verkleind door middel van een verkleiningsmachine. De met de ovenas in aanraking komende onderdelen van deze machine zijn geconstrueerd van metaallegeringen, waarin zware metalen zijn verwerkt. Bij het verkleiningsproces kunnen zware metalen vanuit de machine in de ovenas terecht komen. Om de grootte hiervan vast te stellen werden zowel de gemalen als de ongemalen ovenassen afkomstig uit hetzelfde crematie-proces geanalyseerd op het gehalte aan zware metalen.

Gedurende de crematieprocessen worden een aantal procesgegevens door instrumenten behorende bij het crematorium geregistreerd en opgeslagen. Deze zogenaamde bedrijfsgegevens, welke gedurende de onderzochte processen bij beide typen ovens werden geregistreerd zijn opgenomen in bijlage C.

3.2 Uitvoering bij koude-start oven

Het onderzoek aan de koude-start type oven werd uitgevoerd bij crematorium Den en Rust te Bilthoven op 17 en 18 mei 1995. Bij crematorium Den en Rust staan twee identieke crematie-ovens opgesteld, elk voorzien van een eigen regeling en rookgasafvoersysteem. Het onderzoek werd uitgevoerd aan de rechteroven (gezien vanaf de invoerzijde van de oven). De metingen aan de rookgassen vond plaats in het schoorsteen kanaal van deze oven. Ten behoeve hiervan was een niet geïsoleerd schoorsteen opzetstuk geconstrueerd, voorzien van de benodigde meetopeningen, dat bovenop het bestaande schoorsteen kanaal werd geplaatst.

Aangezien crematorium Den en Rust lichamen aangeleverd krijgt van diverse uitvaartondernemers, vond visuele inspectie van de lichamen en de kisten plaats bij het crematorium. Tevens werd ter plekke het van te voren gewogen kwikamalgaam bij het lichaam gevoegd ter hoogte van het hoofd. Voorafgaande aan de crematie werd de kist en het lichaam te zamen gewogen. Uit ervaringscijfers betreffende het gewicht van de kist (zie § 3.3) kon het gewicht van het lichaam worden bepaald. Vanwege het feit dat diverse uitvaartondernemingen betrokken zijn bij toelevering aan crematorium Den en Rust bleek het niet mogelijk op voorhand het gewicht van de kist en het lichaam separaat vast te stellen.

Het onderzoek werd uitgevoerd aan drie crematie-processen. Per crematie-proces werd als startpunt van de metingen het moment van het invoeren van de kist in de oven genomen. Als eindpunt van de metingen werd het moment genomen dat het regelsysteem van de oven het afkoelprogramma startte. Het aardgasverbruik werd gemeten met behulp van een gasverbruiksmeter die reeds bij het crematorium aanwezig was. Ten tijde van de metingen was de andere oven niet in gebruik.

In bijlage D staan de toegepaste meet- en monsternemingstechnieken in detail beschreven.

Een monster van de ovenas werd genomen direct nadat deze was vermalen in de verkleiningsmachine.

3.3 Uitvoering bij warme-start oven

Het onderzoek aan de warme-start type oven werd uitgevoerd bij crematorium Heeze te Heeze op 11 en 12 juli 1995. Bij dit crematorium staan drie ovens opgesteld, waarvan twee van een ouder type regeling gebruik maken. De oven waaraan het onderzoek werd uitgevoerd wordt bestuurd door middel van een moderne stookregeling. De rookgassen van deze oven worden via een apart rookgaskanaal geëmitteerd. Op de uitstroomopening van dit kanaal was een voor dit doel geconstrueerd ongeïsoleerd opzetstuk geplaatst, voorzien van de benodigde meetopeningen.

Ca. vijf dagen voorafgaande aan de metingen werd bij Uitvaartcentrum Eindhoven een visuele inspectie uitgevoerd op de lichamen die tijdens de te onderzoeken processen zouden worden gecremeerd. Deze inspectie kon reeds bij het uitvaartcentrum plaatsvinden, omdat het merendeel van de in Heeze te cremere stoffelijke overschotten afkomstig zijn uit dit uitvaartcentrum.

In het uitvaartcentrum werd een tevoren gewogen hoeveelheid kwikamalgaam van ca. 5 gram toegevoegd in de kist ter hoogte van het hoofd. Tevens werd gecontroleerd of het lichaam voldeed aan de randvoorwaarden zoals genoemd in § 3.1.1.

In het uitvaartcentrum werd tevens van te voren de lege kist gewogen kort voordat het lichaam erin werd gelegd. Op de dag van de crematie werd vervolgens door weging het gewicht van kist en lichaam tezamen vastgesteld.

N.B. Het in Heeze bepaalde gemiddelde gewicht van de lege kist werd gebruikt als parameter bij het onderzoek in Bilthoven

Het onderzoek werd uitgevoerd aan drie crematie-processen. Per crematie-proces werd als startpunt van de metingen het moment van het invoeren van de kist in de oven genomen. Als eindpunt van de metingen werd het moment genomen dat het regelsysteem van de oven het afkoelprogramma startte. Het aardgasverbruik werd gemeten met behulp van een gasverbruiksmeter die reeds bij het crematorium aanwezig was. Ten tijde van de metingen waren de andere ovens niet in gebruik.

In bijlage D staan de toegepaste meet- en monsternemingstechnieken in detail beschreven.

Een monster van de ovenas werd genomen direct nadat deze was vermalen in de verkleiningsmachine.

4. Resultaten

4.1 Algemeen

In het kader van dit onderzoek was het noodzakelijk aan de hand van literatuur gegevens een aantal schattingen te maken van de samenstelling van de ingangsstromen (aardgas, kist, lichaam). De gemaakte schatting houdt met name voor de micro-componenten een grote mate van onnauwkeurigheid in. De concentraties hiervan kunnen per lichaam en kist verschillen. De opgegeven gehalten van deze componenten in het kistmateriaal en het lichaam geven meer een orde van grootte aan, dan dat zij de werkelijke concentratie aangeven. De gehalten aan koolstof, stikstof, fosfor en zwavel variëren daarentegen veel minder en zullen een grotere mate van betrouwbaarheid hebben. De onnauwkeurigheid hierin wordt geschat op ca. 10% van de opgegeven waarde.

Omdat voorafgaande aan de crematie een bekende hoeveelheid kwik aan het proces werd toegevoegd is het gehalte aan kwik in de ingangsstromen nauwkeurig bekend.

De samenstelling van de uitgangsstromen is door middel van monsternemingen en analyses nauwkeurig bekend.

In de onderstaande hoofdstukken wordt per massastroom de samenstelling gepresenteerd. Vervolgens wordt aan de hand van deze samenstellingen een massabalans voor iedere onderzochte component opgesteld. In bijlage A staan de meetgegevens in detail weergegeven

4.2 Samenstelling ingangsstromen

Bij een crematieproces zijn de volgende ingangsstromen te onderscheiden:

- lichaam;
- kist;
- aardgas;
- verbrandingslucht.

Aan de hand van literatuurgegevens [1, 2, 3, 4] kan de in tabel 4.1 weergegeven geschatte samenstelling van de ingangsstromen worden gegeven. De geraadpleegde literatuur bevatte geen informatie aangaande de spreiding van de gehalten in het menselijk lichaam. De in tabel 4.1 gegeven gehalten kunnen per individueel lichaam variëren. Voor een aantal componenten die met name in het kistmateriaal kunnen voorkomen bleek binnen TNO geen gegevens beschikbaar.

Tabel 4.1 Samenstelling ingangsstromen.

Component	Eenheid	Lichaam	Kist	Aardgas
Al	ppm	1,4	N.B.	--
As	ppm	0,2	0	--
Au	ppm	< 0,01	N.B.	--
Ba	ppm	0,23	N.B.	--
Cd	ppm	0,43	0,290	--
Co	ppm	< 0,04	N.B.	--
Cr	ppm	< 0,09	0,966	--
Cu	ppm	1,4	9,662	--
Mn	ppm	0,3	77,294	--
Mo	ppm	< 0,07	N.B.	--
Ni	ppm	< 0,14	0,483	--
Pb	ppm	1,1	6,763	--
Sb	ppm	< 1,3	0	--
Se	ppm	A	0	--
Sn	ppm	0,43	N.B.	--
Te	ppm	A	N.B.	--
V	ppm	0,3	N.B.	--
Zn	ppm	33	21,256	--
Hg	ppm	A	0	--
Cl	m%	0,15	0,15	--
S	m%	0,25	0,0155	--
P	m%	1,0	N.B.	--
F	m%	0,02	0,290 ppm	--
N	m%	3,0	3,0	21,6
C	m%	18,0	42,5	57,5

A = Aanwezig in het menselijk lichaam, echter wegens gebrek aan data niet gekwantificeerd.

N.B. = Niet bekend.

-- = Niet aanwezig.

Voor de uitgevoerde berekeningen is de volgende samenstelling voor droge lucht aangehouden:

- Stikstof (N₂): 78,10 vol%
- Zuurstof (O₂): 20,94 vol%
- Kooldioxyde (CO₂): 0,03 vol%

4.3 Resultaten koude-start oven

Het onderzoek bij de koude-start crematie-oven werd uitgevoerd aan drie crematie-processen. In tabel 4.2 staan het invoergewicht, het geslacht van het stoffelijk over-schot, het gasverbruik en de tijdsduur van ieder proces vermeld.

Tabel 4.2 Invoergegevens koude-start oven.

Proces-nummer	Kist [kg]	Lichaam [kg]	Geslacht	Gasverbruik [m ³ /proces]	Procesduur [min]
1	44	61,55	V	83,1	150
2	44	57,65	M	53,7	127
3	44	59,95	M	57,0	130

4.3.1 Ingangsstromen

Aan de hand van de algemene samenstellingsgegevens zoals vermeld in tabel 4.1 kan gecombineerd met het invoergewicht en het gasverbruik de totale ingangsstroom worden berekend. Het resultaat van deze berekening staat vermeld in tabel 4.3. De hoeveelheid kwik in de ingangsstromen is gebaseerd op de gegevens zoals vermeld in tabel 4.4, waarin de hoeveelheid kwik staat vermeld dat per proces werd toegevoegd.

Tabel 4.3 Koude-start oven, Samenstelling ingangsstroom per proces.

Component	Eenheid	Proces 1	Proces 2	Proces 3
Al	mg	88	82	86
As	mg	12	12	12
Au	mg	1	1	1
Ba	mg	14	13	14
Cd	mg	39	37	38
Co	mg	3	2	3
Cr	mg	48	48	48
Cu	mg	513	507	511
Mn	mg	3419	3417	3418
Mo	mg	4	4	4
Ni	mg	30	29	30
Pb	mg	368	363	366
Sb	mg	80	75	78
Se	mg	N.B.	N.B.	N.B.
Sn	mg	26	25	26
Te	mg	N.B.	N.B.	N.B.
V	mg	18	16	17
Zn	mg	2958	2829	2905
Hg	mg	2857	2856	2853
Cl	g	158,3	152,5	156,0
S	g	160,7	151,0	156,7
P	g	615,5	576,5	599,5
F	g	12,3	11,5	12,0
N	kg	17,98	12,62	13,23
C	kg	69,20	54,54	56,40

N.B. = Niet bekend.

Tabel 4.4 Hoeveelheid toegevoegd kwik en kwikamalgaam.

Procesnummer	Hoeveelheid kwikamalgaam [g]	Hoeveelheid kwik [g]
1	5,013	2,857
2	5,011	2,856
3	5,006	2,853

4.3.2 Uitgangstromen

Bij crematieprocessen kunnen de volgende uitgangstromen worden onderscheiden:

- ovenas;
- vliegass;
- rookgas.

In tabel 4.5 staan de hoeveelheden van iedere stroom per proces vermeld. Het rookgasdebiet is berekend aan de hand van het aardgasverbruik, het gemeten O₂-gehalte van de rookgassen en het gewicht en samenstelling van lichaam en kist.

Tabel 4.5 Koude-start oven, hoeveelheden per uitgangsstroom per proces.

Procesnummer	Ovenas [g]	Vliegass [g]	Rookgassen [m ³ ind]
1	2152	61	2241
2	3149	29	1742
3	3634	24	1901

In tabel 4.6 tot en met tabel 4.8 staan voor de drie onderzochte processen de resultaten vermeld van de bepaling van het gehalte van de onderzochte componenten per uitgangsstroom.

Tabel 4.6 Resultaten koude-start oven, bepaling gehalte componenten proces 1.

Component	Ovenas [mg/kg]	Vliegas [mg/kg]	Rookgassen [mg/m ³ ind]
Al	12000	3487	0,012
As	3,5	6	0,001
Au	170	16	0,002
Ba	290	396	0,0007
Cd	2,3	66	0,0002
Co	2	8	0,0004
Cr	92,5	198	0,0039
Cu	360	269	0,0069
Mn	410	1086	0,0008
Mo	3	24	0,0031
Ni	97	86	0,0039
Pb	3	864	0,0038
Sb	5	158	0,002
Se	5	24	0,0022
Sn	17	197	0,0028
Te	5	30	0,009
V	460	147	0,002
Zn	1135	8082	0,0063
Hg	0,21	76	1,442
Cl	3350	226624	--
S	3900	43582	--
P	155000	7845	--
fosfaten (als P ₂ O ₅)	12000	23772	--
opl. F	2,25	404	--
opl. Cl	4150	226624	--
N	590	792	--
Cl ⁻	--	--	13,7
F ⁻	--	--	0,045

-- = Niet geanalyseerd.

Tabel 4.7 Resultaten koude-start-oven, bepaling gehalte componenten proces 2.

Component	Ovenas [mg/kg]	Vliegas [mg/kg]	Rookgassen [mg/m ³ ind]
Al	5750	1860	0,0093
As	3	34	0,001
Au	5	27	0,002
Ba	445	296	0,0006
Cd	0,3	63	0,0002
Co	2,5	13	0,0004
Cr	185	728	0,0018
Cu	185	472	0,0018
Mn	560	472	0,0009
Mo	3	39	0,0018
Ni	56	61	0,0013
Pb	3	1321	0,0035
Sb	5	104	0,002
Se	5	28	0,002
Sn	99	1927	0,0042
Te	5	24	0,009
V	170	17	0,002
Zn	375	12264	0,009
Hg	0,05	34	0,874
Cl	1550	308625	--
S	3150	47170	--
P	165000	6604	--
fosfaten (als P ₂ O ₅)	7450	28302	--
opl. F	1,5	512	--
opl. Cl	430	308625	--
N	1350	1348	--
Cl ⁻	--	--	20,9
F ⁻	--	--	0,054

-- = Niet geanalyseerd.

Tabel 4.8 Resultaten koude-start oven, bepaling gehalte componenten proces 3.

Component	Ovenas [mg/kg]	Vliegast [mg/kg]	Rookgassen [mg/m ³ ind]
Al	4100	10339	0,012
As	3	28	0,001
Au	18	34	0,002
Ba	410	1237	0,0007
Cd	0,3	81	0,0002
Co	5,5	32	0,0004
Cr	65	729	0,0034
Cu	52	475	0,0057
Mn	535	2475	0,0015
Mo	3	42	0,0013
Ni	23,5	61	0,0039
Pb	3	1390	0,0053
Sb	5	154	0,002
Se	5	42	0,002
Sn	13	559	0,0031
Te	5	74	0,008
V	37,5	86	0,002
Zn	775	13898	0,013
Hg	0,05	229	1,481
Cl	3100	164407	--
S	4050	74576	--
P	160000	17627	--
fosfaten (als P ₂ O ₅)	18000	22881	--
opl. F	1,5	441	--
opl. Cl	1100	164407	--
N	1750	1695	--
Cl ⁻	--	--	18,4
F ⁻	--	--	0,051

-- = Niet geanalyseerd.

Tijdens het onderzoek zijn tevens continu registrerende metingen uitgevoerd ter bepaling van het gehalte O₂, CO₂, C_xH_y, NO_x en SO₂ en de rookgastemperatuur. In tabel 4.9 staan de gemiddelde concentraties en de gemiddelde rookgastemperatuur per proces vermeld. Tevens staat in deze tabel het resultaat vermeld van de vliegstofgehalte bepaling in de rookgassen.

Tabel 4.9 Resultaten koude-start oven, procesgemiddelde concentratie rookgascomponenten en rookgastemperatuur.

Component	Eenheid	Proces 1	Proces 2	Proces 3
O ₂	vol%	12,0	12,3	12,7
CO ₂	vol%	5,5	5,6	5,2
CO	mg/m ³ ind	22	23	25
C _x H _y	mg/m ³ ind	1,2	1,0	0,9
NO _x	mg/m ³ ind	164	255	257
SO ₂	mg/m ³ ind	31	79	80
Vliegstof	mg/m ³ ind	27	17	12
Temperatuur	°C	622	652	649

In bijlage A.10 tot en met A.12 is het verloop van de concentraties in de tijd grafisch weergegeven.

4.3.3 Massabalans

Met de verkregen resultaten voor de samenstelling van de in- en uitgangsstromen kan er per component een massabalans worden opgesteld over de crematie-oven. In tabel 4.10 tot en met tabel 4.12 staan per component de in- en uitganghoeveelheid bij ieder onderzocht proces vermeld. Aan de hand van deze gegevens is de zogenaamde recovery berekend. Dit is het percentage van de ingangshoeveelheid dat in de uitgangsstromen wordt teruggevonden.

Tabel 4.10 Massabalans koude-start oven proces I.

Component	Ingang [mg]	Uitgang [mg]	Recovery [%]
Al	88	26.10 ³	30000
As	12	11	88
Au	1	372	42000
Ba	14	650	4600
Cd	39	9	24
Co	3	6	22
Cr	48	220	460
Cu	513	807	160
Mn	3419	950	28
Mo	4	15	340
Ni	30	223	740
Pb	368	68	18
Sb	80	25	32
Se	N.B.	17	--
Sn	26	55	21
Te	N.B.	32	--
V	18	1004	5700
Zn	2958	2950	100
Hg	2857	3236	110
Cl	158.10 ³	52.10 ³	33
S	161.10 ³	45.10 ³	28
P	615.10 ³	35.10 ³	56
F	12.10 ³	0,1.10 ³	1
N	18.10 ⁶	0,1.10 ⁶	1
C	69.10 ⁶	64.10 ⁶	93

-- = Niet geanalyseerd.

N.B. = Niet bekend.

Tabel 4.11 Massabalans koude-start oven proces 2.

Component	Ingang [mg]	Uitgang [mg]	Recovery [%]
Al	82	18.10 ³	22000
As	12	13	110
Au	1	20	2500
Ba	13	1411	11000
Cd	37	3	8
Co	2	9	370
Cr	48	607	1300
Cu	507	599	120
Mn	3417	1779	52
Mo	4	14	340
Ni	29	180	610
Pb	363	54	15
Sb	75	23	30
Se	N.B.	20	--
Sn	25	374	1500
Te	N.B.	32	--
V	16	540	3300
Zn	2829	1549	55
Hg	2856	1523	53
Cl	152.10 ³	50.10 ³	33
S	151.10 ³	79.10 ³	53
P	576.10 ³	530.10 ³	92
F	11.10 ³	0,1.10 ³	1
N	13.10 ⁶	0,1.10 ⁶	1
C	55.10 ⁶	51.10 ⁶	95

-- = Niet geanalyseerd.

N.B. = Niet bekend.

Tabel 4.12 Massabalans koude-start oven proces 3.

Component	Ingang [mg]	Uitgang [mg]	Recovery [%]
Al	86	15.10 ³	18000
As	12	14	120
Au	1	70	8200
Ba	14	1520	11000
Cd	38	3	9
Co	3	22	840
Cr	48	260	540
Cu	511	211	41
Mn	3418	2005	59
Mo	4	14	340
Ni	30	94	320
Pb	366	54	15
Sb	78	26	33
Se	N.B.	23	--
Sn	26	66	260
Te	N.B.	36	--
V	17	142	830
Zn	2905	3169	109
Hg	2853	2820	99
Cl	156.10 ³	50.10 ³	32
S	157.10 ³	91.10 ³	58
P	599.10 ³	611.10 ³	102
F	12.10 ³	0,1.10 ³	1
N	13.10 ⁶	0,2.10 ³	1
C	56.10 ⁶	52.10 ⁶	92

-- = Niet geanalyseerd.

N.B. = Niet bekend.

4.4 Resultaten warme-start oven

Het onderzoek bij de warme-start crematie-oven werd uitgevoerd aan drie crematie-processen. In tabel 4.13 staan het invoergewicht, het geslacht, het gasverbruik en de tijdsduur van ieder proces vermeld.

Tabel 4.13 Invoergegevens warme-start oven.

Proces-nummer	Kist [kg]	Lichaam [kg]	Geslacht	Gasverbruik [m ³ /proces]	Procesduur [min]
1	43,78	49,97	M	17,3	68
2	43,96	79,94	V	7,0	74
3	44,20	62,40	V	3,4	69

4.4.1 Ingangstromen

Aan de hand van de algemene samenstellingsgegevens zoals vermeld in tabel 4.1 kan gecombineerd met het invoergewicht en het gasverbruik de totale ingangsstroom worden berekend. Het resultaat van deze berekening staat vermeld in tabel 4.14. De hoeveelheid kwik in de ingangstromen is gebaseerd op de gegevens zoals vermeld in tabel 4.15, waarin de hoeveelheid kwik staat vermeld dat per proces werd toegevoegd.

Tabel 4.14 Warme-start oven, Samenstelling ingangsstroom per proces.

Component	Eenheid	Proces 1	Proces 2	Proces 3
Al	mg	71	114	89
As	mg	10	16	12
Au	mg	1	1	1
Ba	mg	11	18	14
Cd	mg	34	47	40
Co	mg	2	3	3
Cr	mg	47	50	48
Cu	mg	494	539	516
Mn	mg	3400	3421	3434
Mo	mg	4	6	4
Ni	mg	28	33	30
Pb	mg	353	389	370
Sb	mg	65	104	81
Se	mg	N.B.	N.B.	N.B.
Sn	mg	21	34	27
Te	mg	N.B.	N.B.	N.B.
V	mg	14	23	18
Zn	mg	2570	3561	2990
Hg	mg	2468	2469	2472
Cl	g	74,96	119,9	93,60
S	g	124,9	199,9	156,0
P	g	499,7	799,4	624,0
F	g	10,01	16,00	12,49
N	kg	4,67	3,73	2,57
C	kg	34,71	35,29	30,52

N.B. = Niet bekend.

Tabel 4.15 Warme-start oven, Hoeveelheid toegevoegd kwik en kwikamalgaam.

Procesnummer	Hoeveelheid kwikamalgaam [g]	Hoeveelheid kwik [g]
1	5,006	2,468
2	5,009	2,469
3	5,014	2,472

4.4.2 Uitgangstromen

Bij crematieprocessen kunnen de volgende uitgangstromen worden onderscheiden:

- ovenas;
- vliegas;
- rookgas.

In tabel 4.16 staan de hoeveelheden van iedere stroom per proces vermeld. Het rookgasdebit is berekend aan de hand van het aardgasverbruik, het gemeten O₂-gehalte van de rookgassen en het gewicht en samenstelling van lichaam en kist.

Tabel 4.16 *Warme-start oven, hoeveelheden per uitgangstroom per proces.*

Procesnummer	Ovenas [g]	Vliegas [g]	Rookgassen [m ³ ind]
1	2811	112	2674
2	3183	117	2101
3	2141	99	2223

In tabel 4.17 tot en met tabel 4.19 staan voor de drie onderzochte processen de resultaten vermeld van de bepaling van het gehalte van de onderzochte componenten per uitgangstroom.

Tabel 4.17 Resultaten warme-start oven, bepaling gehalte componenten proces I.

Component	Ovenas [mg/kg]	Vliegas [mg/kg]	Rookgassen [mg/m ³ ind]
Al	1210	6052	0,00003
As	0,76	135	0,0001
Au	0,15	14	0,0001
Ba	67	476	0,0007
Cd	0,12	86	0,0001
Co	1,5	14	0,0005
Cr	15	331	0,0069
Cu	780	1160	0,0039
Mn	220	973	0,0049
Mo	1,1	58	0,0008
Ni	170	173	0,027
Pb	2,6	3026	0,0010
Sb	1,3	259	0,0001
Se	0,1	7	0,0001
Sn	3,6	115	0,0001
Te	0,2	14	0,0001
V	8,4	43	0,0014
Zn	250	29539	0,017
Hg	0,25	22	0,860
Cl	523	245677	--
S	373	48271	--
P	159000	9366	--
fosfaten (als P ₂ O ₅)	7,5	9692	--
opl. F	0,76	223	--
opl. Cl	99	245677	--
N	490	1297	--
Cl ⁻	--	--	11,7
F ⁻	--	--	0,075

-- = Niet geanalyseerd.

Tabel 4.18 Resultaten warme-start-oven, bepaling gehalte componenten proces 2.

Component	Ovenas [mg/kg]	Vliegas [mg/kg]	Rookgassen [mg/m ³ ind]
Al	890	2284	0,00001
As	0,84	221	0,0001
Au	48	11	0,0001
Ba	31	265	0,0004
Cd	0,12	152	0,0001
Co	1,6	12	0,0001
Cr	17	325	0,0032
Cu	187	492	0,0023
Mn	240	1109	0,0013
Mo	1,7	87	0,0003
Ni	29	168	0,006
Pb	5,8	5087	0,0004
Sb	0,87	509	0,0001
Se	0,1	8	0,0002
Sn	28	498	0,0001
Te	0,2	11	0,0001
V	8,9	32	0,0018
Zn	46	62229	0,012
Hg	0,25	16	0,935
Cl	582	115801	--
S	357	99026	--
P	162000	9199	--
fosfaten (als P ₂ O ₅)	7,5	3235	--
opl. F	0,55	157	--
opl. Cl	84	115801	--
N	990	308	--
Cl ⁻	--	--	9,81
F ⁻	--	--	0,12

-- = Niet geanalyseerd.

Tabel 4.19 Resultaten warme-start oven, bepaling gehalte componenten proces 3.

Component	Ovenas [mg/kg]	Vliegas [mg/kg]	Rookgassen [mg/m ³ ind]
Al	3000	2113	0,00001
As	0,72	140	0,0001
Au	0,15	12	0,0001
Ba	147	239	0,0005
Cd	0,12	119	0,0001
Co	2,8	12	0,0001
Cr	28	525	0,0028
Cu	250	1278	0,003
Mn	580	531	0,0017
Mo	1,9	26	0,0002
Ni	100	107	0,0081
Pb	1,04	3027	0,0014
Sb	1,9	352	0,0001
Se	0,1	6	0,0001
Sn	19	430	0,0001
Te	0,2	12	0,0001
V	13,6	24	0,0014
Zn	96	41194	0,020
Hg	0,25	18	0,778
Cl	448	140299	--
S	433	81791	--
P	159000	11940	--
fosfaten (als P ₂ O ₅)	7,5	8121	--
opl. F	1,26	167	--
opl. Cl	50	140299	--
N	730	549	--
Cl ⁻	--	--	9,27
F ⁻	--	--	0,087

-- = Niet geanalyseerd.

Tijdens het onderzoek zijn tevens continu registrerende metingen aan de rookgassen na de luchtinjector uitgevoerd ter bepaling van het gehalte O₂, CO₂, C_xH_y, NO_x en SO₂ en de rookgastemperatuur. In tabel 4.20 staan de gemiddelde concentraties en de gemiddelde rookgastemperatuur per proces vermeld. Tevens staat in deze tabel de resultaten van de bepaling van het vliegstof gehalte van de rookgassen vermeld.

Tabel 4.20 Resultaten warme-start oven, procesgemiddelde concentratie rookgascomponenten en rookgastemperatuur.

Component	Eenheid	Proces 1	Proces 2	Proces 3
O ₂	vol%	17,4	16,8	17,7
CO ₂	vol%	2,6	3,0	2,5
CO	mg/m ³ ind	48	28	15
C _x H _y	mg/m ³ ind	167	101	24
NO _x	mg/m ³ ind	179	148	160
SO ₂	mg/m ³ ind	71	132	56
vliegstof	mg/m ³ ind	39	51	41
Temperatuur	°C	291	338	312

In bijlage A.7 tot en met A.9 is het verloop van de concentraties in de tijd grafisch weergegeven.

4.4.3 Massabalans

Met de verkregen resultaten voor de samenstelling van de in- en uitgangsstromen kan per component een massabalans worden opgesteld over de crematie-oven. In tabel 4.21 tot en met tabel 4.23 staan per component de in- en uitganghoeveelheid bij ieder onderzocht proces vermeld. Aan de hand van deze gegevens is de zogenaamde recovery berekend. Dit is het percentage van de ingangshoeveelheid dat in de uitgangsstromen wordt teruggevonden.

Tabel 4.21 Massabalans warme-start oven proces 1.

Component	Ingang [mg]	Uitgang [mg]	Recovery [%]
Al	71	3993	5590
As	10	16	156
Au	1	2	299
Ba	11	237	2070
Cd	34	9	27
Co	2	7	320
Cr	47	93	199
Cu	494	2316	469
Mn	3400	727	21
Mo	4	11	305
Ni	28	567	2010
Pb	353	306	87
Sb	65	29	45
Se	N.B.	1	--
Sn	21	22	101
Te	N.B.	2	--
V	14	32	222
Zn	2570	3635	141
Hg	2468	2301	93
Cl	$75 \cdot 10^3$	$57 \cdot 10^3$	76
S	$125 \cdot 10^3$	$103 \cdot 10^3$	82
P	$500 \cdot 10^3$	$448 \cdot 10^3$	90
F	$10 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$	2
N	$4,7 \cdot 10^6$	$0,2 \cdot 10^6$	3
C	$35 \cdot 10^6$	$38 \cdot 10^6$	110

N.B. = Niet bekend.

Tabel 4.22 *Massabalans warme-start oven proces 2.*

Component	Ingang [mg]	Uitgang [mg]	Recovery [%]
Al	114	3096	2710
As	16	28	178
Au	1	154	13500
Ba	18	130	712
Cd	47	18	38
Co	3	7	195
Cr	50	98	198
Cu	539	657	122
Mn	3421	894	26
Mo	6	16	280
Ni	33	125	383
Pb	389	605	156
Sb	104	62	59
Se	N.B.	2	--
Sn	34	147	428
Te	N.B.	2	--
V	23	36	157
Zn	3561	7342	206
Hg	2468	1966	80
Cl	120.10 ³	36.10 ³	30
S	200.10 ³	160.10 ³	80
P	799.10 ³	517.10 ³	65
F	16.10 ³	0,3.10 ³	2
N	3,7.10 ⁶	0,1.10 ⁶	3
C	35.10 ⁶	37.10 ⁶	104

N.B. = Niet bekend.

Tabel 4.23 Massabalans warme-start oven proces 3.

Component	Ingang [mg]	Uitgang [mg]	Recovery [%]
Al	89	6634	7440
As	12	16	126
Au	1	2	198
Ba	14	340	2380
Cd	40	12	31
Co	3	7	278
Cr	48	119	245
Cu	516	670	130
Mn	3434	1298	38
Mo	4	7	159
Ni	30	243	802
Pb	370	307	83
Sb	81	39	48
Se	N.B.	1	--
Sn	27	84	313
Te	N.B.	2	--
V	18	35	195
Zn	2990	4356	146
Hg	2468	1731	70
Cl	$93 \cdot 10^3$	$36 \cdot 10^3$	38
S	$156 \cdot 10^3$	$79 \cdot 10^3$	50
P	$624 \cdot 10^3$	$342 \cdot 10^3$	55
F	$12 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$	2
N	$2,6 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^6$	5
C	$30 \cdot 10^6$	$33 \cdot 10^6$	108

N.B. = Niet bekend.

4.5 Invloed verkleiningsmachine op zware metalen gehalte ovenas

Het gebruik van een verkleiningsmachine voor het vermalen van de ovenas kan een invloed hebben op het zware metalen gehalte van de ovenas. Om een indicatie van deze invloed te verkrijgen werd zowel bij de warme-start oven als de koude-start oven bij het tweede crematie-proces een monster genomen van de gemalen en de ongemalen ovenas, afkomstig uit hetzelfde crematieproces. In onderstaande tabel 4.24 staan voor deze monsters de analyse resultaten vermeld.

Tabel 4.24 Invloed verkleiningsmachine op gehalte zware metalen van de ovenas.

Component	Koude-start oven		Warme-start oven	
	Ongemalen [mg/kg]	Gemalen [mg/kg]	Ongemalen [mg/kg]	Gemalen [mg/kg]
Al	2050	5750	164	890
As	3	3	0,41	0,84
Au	5	5	0,15	48
Ba	88	445	32	31
Cd	0,3	0,3	0,12	0,12
Co	2	2,5	0,38	1,6
Cr	62	185	2,8	17
Cu	79	185	4,2	187
Mn	115	560	48	240
Mo	3	3	0,26	1,7
Ni	10,5	56	3,1	29
Pb	3	3	0,92	5,8
Sb	5	5	0,87	0,87
Se	5	5	0,1	0,1
Sn	8,5	99	2,4	28
Te	5	5	0,2	0,2
V	39,5	170	8,2	8,9
Zn	140	375	62	46
Hg	0,05	0,05	0,25	0,25
Totaal	2624	7857	330	1536

Uit de resultaten zoals vermeld in tabel 4.24 blijkt dat door het malen van de ovenas het zware metalen gehalte in de assen toeneemt. Er dient echter een kanttekening te worden gemaakt ten aanzien van de representativiteit van deze resultaten. De ongemalen as is voorafgaande aan de monsterneming met behulp van een magneet ontdaan van magnetiseerbare delen. Vervolgens is van deze ongemalen (en ontijzerde) as een willekeurig steekmonster genomen. Vervolgens is de rest van de ovenas vermalen in de verkleiningsmachine en daarvan is eveneens een steekmonster genomen. De samenstelling van deze twee monsters kunnen, indien het effect van het verkleinen buiten beschouwing wordt gelaten, onderling van elkaar verschillen.

Het is opvallend dat de absolute toename van het zware metalen gehalte in de ovenas dermate grote is (1 - 5 g/kg as), dat indien deze toename volledig aan slijtage van de verkleiningsmachine is te wijten, deze machines een relatief korte levensduur zullen hebben. Het is dan ook waarschijnlijk dat in het steekmonster ongemalen ovenas nog metalen voorkomen, afkomstig van bijvoorbeeld spijkers, ritsen, knopen etc.

De resultaten zoals vermeld in tabel 4.24 laten echter wel zien dat er sprake is van een verhoging van het zware metalen gehalte, echter een harde uitspraak over de exacte toename van de hoeveelheid zware metalen valt in dit kader niet te maken. In onderstaande tabel 4.25 staan voor ieder oventype de relatieve toename in het gehalte aan zware metalen vermeld.

Tabel 4.25 *Relatieve toename zware metalen gehalte in ovenas als gevolg van malen.*

Component	Koude-start oven [%]	Warme-start oven [%]
Al	180	443
As	0	105
Au	0	31900
Ba	406	-3
Cd	0	0
Co	25	321
Cr	198	507
Cu	134	4352
Mn	387	400
Mo	0	554
Ni	433	835
Pb	0	530
Sb	0	0
Se	0	0
Sn	1065	1067
Te	0	0
V	330	9
Zn	168	-26
Hg	0	0
Totaal	199	365

Het blijkt dat bij het warme-start proces het zware metalen gehalte van de ovenas bijna 2 maal zoveel toeneemt als bij het koude-start proces. Dit zou verklaard kunnen worden uit het verschil in tijdsduur van beide vermalingstechnieken. Bij het koude-start proces wordt een hamermolen toegepast en duurt het maalproces ca. 1 minuut. Bij het warme-start proces wordt een kogelmolen gebruikt waarin de ovenas in ca. 20 minuten wordt verkleind. Wanneer echter naar de absolute toename van zware metalen wordt gekeken is het verschil in toename omgekeerd.

Aangezien het gebruik van een verkleiningsmachine het zware metalen gehalte in de ovenas doet toenemen, heeft dit effect op de berekening van de massabalans voor zware metalen. In onderstaande tabel 4.26 staan de zware metalen recoveries vermeld voor beide typen ovens betrokken op de gemalen en de ongemalen ovenas van proces 2.

Tabel 4.26 *Vergelijking recovery massabalans gemalen en ongemalen ovenas.*

Component	Koude-start oven		Warme-start oven	
	Recovery (gemalen as) [%]	Recovery (ongemalen as) [%]	Recovery (gemalen as) [%]	Recovery (ongemalen as) [%]
Al	22100	7920	2710	688
As	111	111	178	169
Au	2480	2480	13500	177
Ba	10700	2180	712	730
Cd	8	8	38	38
Co	366	302	195	82
Cr	1270	460	198	107
Cu	118	52	122	14
Mn	52	11	26	8
Mo	335	335	280	200
Ni	612	126	383	131
Pb	15	15	156	152
Sb	30	30	59	59
Se	--	--	--	--
Sn	1520	362	428	191
Te	--	--	--	--
V	3280	782	157	147
Zn	55	29	206	208
Hg	53	53	80	80
Totaal	260	101	161	106

Teneinde een beter inzicht te verkrijgen in het effect van het gebruik van verkleiningsmachines op het zware metalen gehalte van de ovenas zal het nodig zijn om over meerdere crematieprocessen analyses uit te voeren op het zware metalen gehalte van zowel de gemalen als de ongemalen ovenas.

5. Evaluatie

Uit de resultaten van de emissie onderzoeken aan de beide typen ovens blijkt dat de massabalans voor de meeste componenten niet sluitend te krijgen is. Eén van de hoofdoorzaken hiervoor is hoogstwaarschijnlijk gelegen in het feit dat er geen exacte cijfers voorhanden zijn voor de samenstelling van de ingangsstromen kist en lichaam. Met name het zware metalen gehalte in het lichaam kan per proces sterk verschillen ten opzichte van de literatuurgegevens. Tevens kan de ingangskoncentratie aan zware metalen verhoogd zijn vanwege de aanwezigheid van zware metalen in de kleding.

Een tweede reden is de invloed van het gebruik van de verkleiningsmachine op het zware metalen gehalte in de ovenas. Indien een massabalans wordt opgesteld, gebruik makend van de samenstellingsgegevens van de ongemalen ovenas blijkt dat de recoveries lager zijn dan bij gebruikmaking van de gemalen as. Teneinde meer duidelijkheid te verkrijgen in de samenstelling van de ingangsstromen zullen praktijkproeven nodig zijn, waarbij daadwerkelijk chemische analyses op het kistmateriaal en de kleding worden uitgevoerd.

Hieronder zal allereerst de procesvoering bij beide typen onderzochte ovens worden besproken. Vervolgens worden de onderzoeksresultaten per component geëvalueerd. Samenvattende tabellen zijn opgenomen in bijlage A.13 en bijlage A.14

5.1 Procesvoering

Tijdens het onderzoek bleek dat bij typen ovens het bedienend personeel de oveninstallatie conform de door de leverancier gestelde voorschriften bediende. Het personeel voert regelmatig gedurende het proces een visuele inspectie uit van het verloop van het proces om zonedig handmatig in te grijpen.

Bij zowel de koude- als de warme-start oven werd de oven- en de naverbrandingstemperatuur continu geregistreerd met behulp van bij de installatie behorende thermokoppels. De resultaten hiervan (met uitzondering van warme-start proces 1 wegens een storing in de registratie-apparatuur) zijn opgenomen in bijlage C. Hieruit blijkt dat de naverbrandingstemperatuur bij de warme-start oven gedurende het proces kan variëren tussen ca. 750 °C en ca. 1030°. In onderstaande tabel 5.1 staan de percentages vermeld ten opzichte van de procestijd dat de naverbrandingstemperatuur bij de warme-start oven lager was dan respectievelijk 850 °C en 800 °C.

Tabel 5.1 Naverbrandingstemperatuur warme-start oven, percentage van procestijd dat temperatuur lager is dan 850 °C en 800 °C.

Warme-start proces	Percentage van procestijd dat naverbrandingstemperatuur lager dan 850 °C is	Percentage van procestijd dat naverbrandingstemperatuur lager dan 800 °C is
Proces 2	48%	32%
Proces 3	62%	30%

Bij de koude-start oven varieert de naverbrandingstemperatuur gedurende de drie onderzochte processen tussen ca. 500 °C en 995 °C. Hierbij moet opgemerkt worden dat de genoemde 500 °C alleen bij de start van het proces optreedt waarna deze binnen ca. 5 tot 10 minuten is gestegen tot ca. 800 °C.

In onderstaande tabel 5.2 staan de percentages vermeld ten opzichte van de procestijd dat de naverbrandingstemperatuur bij de koude-start oven lager was dan respectievelijk 850 °C en 800 °C.

Tabel 5.2 Naverbrandingstemperatuur koude-start oven, percentage van procestijd dat temperatuur lager is dan 850 °C en 800 °C.

Koude-start proces	Percentage van procestijd dat naverbrandingstemperatuur lager dan 850 °C	Percentage van procestijd dat naverbrandingstemperatuur lager dan 800 °C
Proces 1	97%	16%
Proces 2	92%	3%
Proces 3	89%	3%

Uit bovenstaande blijkt dat de naverbrandingstemperatuur bij de onderzochte koude-start oven over het algemeen lager is dan de voor een goede naverbranding vereiste 850 °C. De naverbrandingstemperatuur is gedurende het proces echter gedurende een zeer korte tijd lager dan 800 °C. Bij de onderzochte warme-start oven is de naverbrandingstemperatuur 38 tot 52% van de procestijd hoger dan 850 °C. Echter bij deze oven daalt de naverbrandingstemperatuur gedurende circa een derde van de procestijd tot zelfs onder de 800 °C.

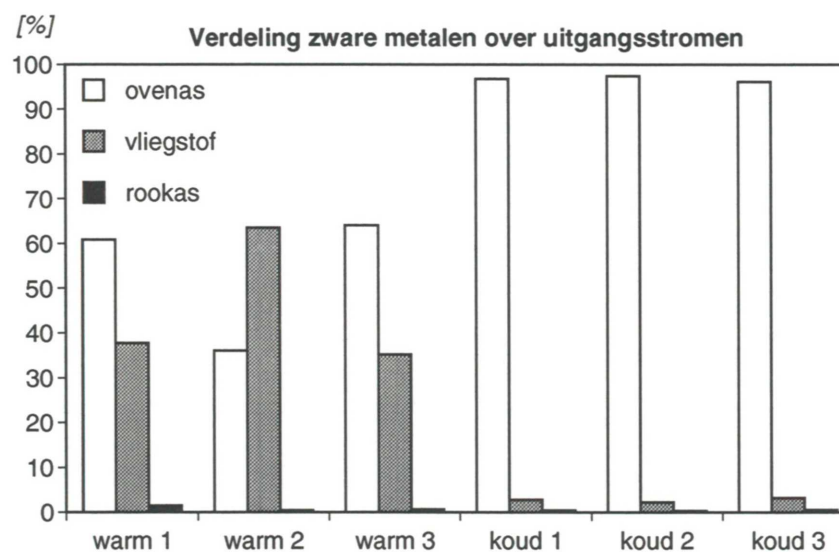
Voor beide typen ovens geldt dat de temperatuurregeling van de naverbrandingsruimte aangepast dient te worden om zodoende een goede naverbranding te waarborgen. Hierbij dient er op gelet te worden dat de naverbrandingsruimte voorafgaande aan het invoeren van de kist reeds opgewarmd is tot minimaal 850 °C.

Uit bestudering van de oventemperaturen van beide typen ovens (zie bijlage C) blijkt dat de ovenruimte temperatuur van de warme-start oven over het algemeen hoger is dan van de koude-start oven. Zoals uit de hiernavolgende evaluatie van de resultaten

zal blijken kan dit consequenties hebben voor de samenstelling van de ovenas en het vliegstof. Een hogere oventemperatuur kan tot gevolg hebben dat componenten uit de ovenas verdampen om vervolgens in het rookgaskanaal (lagere temperatuur) te condenseren op de vliegstofdeeltjes.

5.2 Zware metalen

In onderstaande figuur 5.1 staat de procentuele verdeling van de zware metalen over de uitgangsstromen voor ieder onderzocht proces weergegeven. Als zware metalen wordt hier bedoeld: Al, As, Au, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, V en Zn.



Figuur 5.1 Verdeling zware metalen over uitgangsstromen.

Uit figuur 5.1 valt op te maken dat de zware metalen bij de koude-start type oven voor meer dan 95% worden geëmitteerd via de ovenas. Bij de warme-start type oven wordt ca. 60 - 65% geëmitteerd via de ovenas en ca. 35% via het vliegstof in de rookgassen. In onderstaande tabellen 5.3 en 5.4 staan de procentuele verdelingen van de zware metalen over de uitgangsstromen per proces vermeld.

Tabel 5.3 Procentuele verdeling zware metalen over uitgangstromen, warme-start oven.

Metaal	Proces 1			Proces 2			Proces 3		
	Oven-as [%]	Vlieg-stof [%]	Rook-gas [%]	Oven-as [%]	Vlieg-stof [%]	Rook-gas [%]	Oven-as [%]	Vlieg-stof [%]	Rook-gas [%]
Al	83,4	16,6	0,0	91,4	8,6	0,0	96,8	3,2	0,0
As	12,2	86,0	1,9	9,3	89,6	1,1	9,8	88,4	1,8
Au	17,8	68,2	14,0	99,0	0,8	0,2	18,0	66,4	15,7
Ba	77,2	21,9	0,9	75,5	23,8	0,7	92,7	7,0	0,3
Cd	3,3	93,5	3,2	2,1	97,0	0,9	2,1	96,8	1,1
Co	58,9	22,6	18,6	75,9	21,7	2,4	80,3	15,9	3,8
Cr	42,5	37,4	20,1	54,4	38,3	7,3	50,3	43,9	5,8
Cu	93,9	5,6	0,5	90,4	8,8	0,8	79,8	18,9	1,3
Mn	83,4	14,7	1,9	85,2	14,5	0,3	95,6	4,1	0,3
Mo	26,0	54,4	19,6	33,4	62,6	4,0	57,3	36,8	5,9
Ni	83,1	3,4	13,6	72,9	15,5	11,5	87,6	4,4	8,1
Pb	2,1	97,1	0,9	3,0	96,8	0,2	0,7	98,2	1,1
Sb	11,0	87,9	1,1	4,4	95,3	0,3	10,4	89,3	0,4
Se	18,7	53,7	27,6	19,8	55,1	25,1	18,5	51,3	30,2
Sn	43,3	55,3	1,4	60,3	39,5	0,2	48,6	51,1	0,3
Te	23,0	66,1	10,9	30,8	61,4	7,8	24,4	67,6	8,0
V	72,4	14,9	12,7	78,3	10,5	11,2	83,2	6,8	10,0
Zn	17,3	81,5	1,2	2,0	97,7	0,4	4,7	94,2	1,1
Totaal	60,8	37,7	1,5	36,0	63,5	0,5	64,1	35,2	0,7

Tabel 5.4 Procentuele verdeling zware metalen over uitgangstromen, koude-start oven.

Metaal	Proces 1			Proces 2			Proces 3		
	Oven-as [%]	Vlieg-stof [%]	Rook-gas [%]	Oven-as [%]	Vlieg-stof [%]	Rook-gas [%]	Oven-as [%]	Vlieg-stof [%]	Rook-gas [%]
Al	99,1	0,8	0,1	99,6	0,3	0,1	98,2	1,6	0,2
As	69,9	3,1	26,9	74,1	7,6	18,3	78,1	4,8	17,1
Au	98,4	0,3	1,3	77,2	3,8	19,0	93,2	1,1	5,7
Ba	96,0	3,7	0,2	99,3	0,6	0,1	98,0	1,9	0,1
Cd	52,4	42,5	5,1	29,9	57,8	12,3	32,0	56,3	11,7
Co	74,8	8,4	16,8	87,1	4,3	8,6	92,8	3,4	3,7
Cr	90,5	5,5	4,0	96,0	3,5	0,5	90,9	6,6	2,5
Cu	96,0	2,0	1,9	97,2	2,3	0,5	89,6	5,3	5,1
Mn	92,8	7,0	0,2	99,2	0,8	0,1	97,0	2,9	0,1
Mo	43,1	9,7	47,2	68,5	8,2	23,3	76,1	7,0	17,0
Ni	93,7	2,3	4,0	97,7	1,0	1,3	90,7	1,5	7,8
Pb	9,5	77,8	12,7	17,6	71,0	11,4	20,3	61,1	18,6
Sb	42,7	38,2	19,2	69,6	13,2	17,1	70,4	14,1	15,5
Se	63,1	8,5	28,4	77,0	4,0	19,0	78,5	4,3	17,2
Sn	66,7	22,0	11,3	83,3	14,8	1,9	71,3	19,9	8,9
Te	33,7	5,8	60,6	49,3	2,2	48,5	50,6	4,9	44,5
V	98,6	0,9	0,5	99,2	0,1	0,7	95,8	1,4	2,8
Zn	82,8	16,7	0,5	76,2	22,8	1,0	88,9	10,3	0,8
Totaal	96,8	2,8	0,4	97,4	2,2	0,4	96,2	3,3	0,6

Uit tabel 5.3 en 5.4 en figuur 5.1 is op te maken dat bij het onderzochte koude-start proces de zware metalen voornamelijk in de ovenas voorkomen, terwijl bij het warme-start proces de zware metalen zowel in de ovenas als in het vliegstof aanwe-

zig zijn. Dit verschil tussen beide typen ovens wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door een hogere oventemperatuur tijdens de crematie in de onderzochte warme-start oven. In deze oven verdampen met name de zogenaamde vluchtige zware metalen en vluchtige metaalverbindingen uit de ovenas om vervolgens te condenseren op de vliegstofdeeltjes in het rookgaskanaal (lagere temperatuur). Als vluchtige zware metalen kunnen worden aangemerkt: As, Cd, Mo, Pb, Sb, Se, Sn en Te. Chroom en zink kunnen in iets mindere mate als vluchtig worden aangemerkt.

Het zware metalen gehalte van de ovenas wordt beïnvloed door het gebruik van een verkleiningsmachine. Als gekeken wordt naar de verdeling van de zware metalen over de uitgangsstromen, gebruik makend van de analyseresultaten voor de ongemalen ovenas bij proces 2 van zowel de koude- als warme-start oven blijkt dat bij het warme-start proces de zware metalen voornamelijk in het vliegstof voorkomen. In tabel 5.5 staat een en ander weergegeven

Tabel 5.5 *Procentuele verdeling zware metalen over uitgangsstromen zonder gebruikmaking van verkleiningsmachine.*

Component	Warme-start oven, proces 2			Koude-start oven, proces 2		
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Al	66,1	33,9	0,0	98,9	0,8	0,2
As	4,7	94,1	1,2	74,1	7,6	18,3
Au	23,1	61,3	15,7	77,2	3,8	19,0
Ba	76,1	23,2	0,7	96,7	3,0	0,4
Cd	2,1	97,0	0,9	29,9	57,8	12,3
Co	42,7	51,5	5,7	84,4	5,2	10,4
Cr	16,4	70,1	13,4	89,0	9,5	1,5
Cu	17,5	75,7	6,8	93,7	5,1	1,2
Mn	53,5	45,5	1,0	96,0	3,6	0,4
Mo	7,1	87,3	5,6	68,5	8,2	23,3
Ni	22,4	44,6	33,1	89,0	4,7	6,3
Pb	0,5	99,3	0,2	17,6	71,0	11,4
Sb	4,4	95,3	0,3	69,6	13,2	17,1
Se	19,8	55,1	25,1	77,0	4,0	19,0
Sn	11,5	88,0	0,5	29,9	62,0	8,1
Te	30,8	61,4	7,8	49,3	2,2	48,5
V	76,9	11,2	11,9	96,6	0,4	3,0
Zn	2,6	97,0	0,4	54,5	43,6	1,9
Totaal	10,8	88,5	0,7	92,6	6,4	1,1

Uit tabel 5.5 blijkt duidelijk dat indien de ovenas niet wordt vermalen, de zware metalen bij het warme-start type proces voornamelijk in het vliegstof voorkomen en bij het koude-start proces voornamelijk in de ovenas aanwezig is. Het verschil in verdeling is, zoals hiervoor reeds is opgemerkt, hoogstwaarschijnlijk te wijten aan een hogere procestemperatuur in de ovenruimte van het onderzochte warme-start proces.

De massabalans is voor de zware metalen, inclusief het verkleiningsproces, niet sluitend te krijgen. Als men kijkt naar het totaal van alle zware metalen, blijkt dat de recovery, inclusief de invloed van het vermalen van de ovenas, hiervoor varieert tussen 161% en 350%. In onderstaande tabel 5.6 staan de recoveries voor het totaal aan zware metalen vermeld.

Tabel 5.6 Recovery zware metalen.

	Warme-start oven	Koude-start oven
Proces 1	168%	350%
Proces 2	161%	260%
Proces 3	185%	247%

In onderstaande tabel 5.7 staat de recovery-range vermeld voor ieder zwaar metaal bij beide type crematie-processen

Tabel 5.7 Recovery-range zware metalen voor beide typen crematie-ovens.

Component	Koude-start oven Recovery [%]	Warme-start oven Recovery [%]
Al	17700 - 29600	2730 - 7460
As	88 - 116	137 - 191
Au	2470 - 42300	214 - 13500
Ba	4620 - 10700	727 - 2400
Cd	8 - -24	29 - -41
Co	218 - 838	199 - 330
Cr	458 - 1270	205 - 258
Cu	41 - -118	123 - 470
Mn	28 - -59	21 - -38
Mo	335 - 340	165 - 322
Ni	316 - 742	391 - 2030
Pb	15 - -18	91 - -168
Sb	30 - -33	48 - -64
Se	--	--
Sn	208 - 1520	106 - 442
Te	--	--
V	831 - 3280	160 - 226
Zn	55 - -109	141 - 206

Uit tabel 5.7 valt op te maken dat de hoeveelheden Al, Au, Ba en Mn in de uitgangsstroom stelselmatig enkele duizenden procenten hoger zijn dan in de ingangsstroom. Dit is deels te verklaren door de invloed van de verkleiningsmachine op het zware metalen gehalte. Uit tabel 4.25 blijkt dat de verkleiningsmachine bijdraagt aan een verhoging van vooral het Al, Ba, Mn, Sn en Ni gehalte in de uitgangsstroom. De hoge recoveries voor vanadium (V) en chroom (Cr) zijn waarschijnlijk te wijten aan het gebruik van chroom-vanadium legeringen in de verkleiningsmachine.

5.3 Kwik

In onderstaande tabel 5.8 staat de procentuele verdeling van kwik over de uitgangsstromen per onderzocht proces vermeld.

Tabel 5.8 Procentuele verdeling kwik over uitgangsstromen.

	Warme-start oven			Koude-start oven		
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Proces 1	0,03	0,10	99,87	0,01	0,14	99,85
Proces 2	0,04	0,09	99,87	0,01	0,06	99,93
Proces 3	0,03	0,09	99,88	0,01	0,19	99,80

Uit tabel 5.8 blijkt dat kwik voor meer dan 99,8% in gasvormige toestand wordt geëmitteerd via de rookgassen. In tabel 5.9 staan de recoveries voor kwik vermeld.

Tabel 5.9 Recovery kwik

	Warme-start oven	Koude-start oven
Proces 1	101%	113%
Proces 2	86%	53%
Proces 3	77%	99%

De recoveries voor kwik kunnen gezien de omstandigheden goed worden genoemd. Ook kan worden geconcludeerd dat de aanwezigheid van kwik amalgaam de belangrijkste bron van kwikemissie bij het crematie-proces is. Deze emissie zal, uitgaande van 5 kwikamalgaamvullingen per lichaam en betrokken op 11% O₂ in de rookgassen, voor de warme-start ovens 2,0 tot 2,5 mg/m³ ind bedragen en voor de koude-ovens 1,5 tot 2,0 mg/m³ ind bedragen. (Zie ook bijlage A.1 tot en met A.6.)

Het is uit de literatuur [8] bekend dat kwik een zeer stabiele verbinding met seleen aan kan gaan, waarbij kwikselenide (een vaste stof bij hoge temperaturen) wordt gevormd. Aanwezigheid van seleen zou daarom kunnen leiden tot een lagere kwik-recovery. Echter in dit onderzoek kon geen eventuele relatie tussen de concentratie seleen en de kwikrecovery worden aangetoond. Tevens wordt de ontsluiting en analyse van kwikcomponenten in de rookgassen en de ovenassen zodanig uitgevoerd dat ook aan seleen gebonden kwik geanalyseerd kan worden.

5.4 Fosfor

In onderstaande tabel 5.10 staat de procentuele verdeling van totaal fosfor over de uitgangsstromen per onderzocht proces vermeld. Het fosforgehalte werd alleen bepaald in de ovenas en het vliegstof, omdat het aannemelijk is dat fosfor niet in gas-

vormige toestand in het rookgaskanaal zal voorkomen. Fosfor komt voornamelijk als vaste stof in een verbinding met calcium voor. Geoxideerd fosfor (fosfaten) komt voornamelijk in de vorm $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ voor, hetgeen een vaste stof is bij de schoorsteen-temperatuur. Overige fosfaten zijn bepaald als zijnde oplosbaar orthofosfaat (P_2O_5).

Tabel 5.10 Procentuele verdeling totaal fosfor over uitgangstromen.

	Warme-start oven		Koude-start oven	
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]
Proces 1	99,8	0,2	99,9	0,1
Proces 2	99,8	0,2	99,9	0,04
Proces 3	99,7	0,3	99,9	0,1

Uit deze resultaten blijkt dat fosfor nagenoeg kwantitatief wordt geëmitteerd via de ovenas. Als echter wordt gekeken naar de emissie van fosfaten in plaats van totaal fosfor blijkt dat fosfaten afhankelijk van het type oven respectievelijk via de ovenas danwel het vliegstof vrijkomt. Deze fractie is echter klein ten opzichte van de totale fosfor emissie. Het aandeel fosfaten ten opzichte van de totale hoeveelheid fosfor bedraagt minder dan 0,1%. De oorzaak van het verschil in verdeling van de fosfaten over de uitgangstromen tussen de beide typen ovens moet waarschijnlijk gezocht worden in het verschil in procesvoering. Zoals vermeld in § 5.1 is de gemiddelde oventemperatuur bij de warme-start oven hoger dan bij de koude-start oven, met als gevolg dat fosfaten uit de ovenas verdampen en vervolgens in het rookgaskanaal condenseren op het vliegstof.

Tabel 5.11 Procentuele verdeling fosfaten (als P_2O_5).

	Warme-start oven		Koude-start oven	
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]
Proces 1	1,9	98,1	94,7	5,3
Proces 2	5,9	94,1	96,6	3,4
Proces 3	1,9	98,1	99,2	0,8

De massabalans voor fosfor blijkt niet in alle gevallen kloppend. In tabel 5.12 staan de recoveries voor fosfor vermeld. Het verschil in recoveries is waarschijnlijk te wijten aan de spreiding in fosfor gehalten in het menselijk lichaam. Fosfor komt voornamelijk voor in spierweefsel. De verhouding bot/spierweefsel heeft daardoor een invloed op het fosforgehalte van het menselijk lichaam.

Tabel 5.12 *Recovery fosfor.*

	Warme-start oven	Koude-start oven
Proces 1	90%	56%
Proces 2	65%	92%
Proces 3	55%	102%

5.5 Stikstof

In onderstaande tabel 5.13 staat de procentuele verdeling van stikstof (exclusief N₂) over de uitgangsströmen per onderzocht proces vermeld.

Tabel 5.13 *Procentuele verdeling stikstof over uitgangsströmen.*

	Warme-start oven			Koude-start oven		
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Proces 1	0,9	0,10	99,0	1,2	0,04	98,8
Proces 2	3,0	0,03	96,9	3,1	0,03	96,9
Proces 3	1,3	0,05	98,7	4,2	0,03	95,8

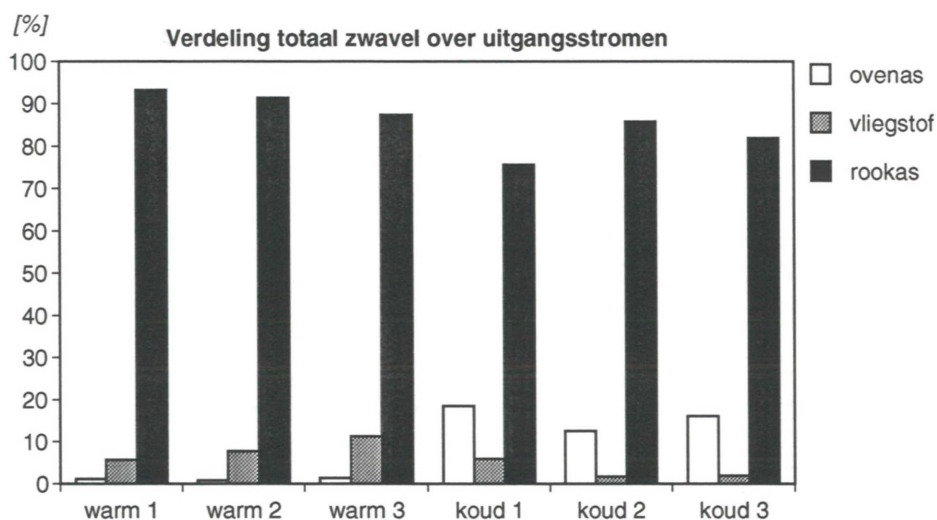
Uit tabel 5.13 blijkt dat stikstof voornamelijk in gasvormige toestand wordt geëmitteerd via de rookgassen. Het stikstof in de rookgassen wordt geëmitteerd in de vorm van stikstofdioxiden en N₂ (in tabel 5.13 is het aandeel N₂ niet verdisconteerd). In tabel 5.14 staan de recoveries voor stikstof vermeld. Het blijkt dat de recoveries zeer laag zijn, hetgeen te verklaren is als men aanneemt dat het merendeel van in de ingangsströmen aanwezige stikstof, vrijkomt als N₂.

Tabel 5.14 *Recovery stikstof (exclusief N₂)*

	Warme-start oven	Koude-start oven
Proces 1	3%	1%
Proces 2	5%	1%
Proces 3	5%	1%

5.6 Zwavel

In onderstaande figuur 5.2 staan de procentuele verdeling weergegeven van de zwavel emissie over de uitgangsströmen voor ieder onderzocht proces.



Figuur 5.2 Verdeling zwavel over uitgangsstromen.

Zwavel wordt voornamelijk geëmitteerd via de rookgassen in de vorm van SO_2 . Opvallend in de verdeling van het zwavel is dat bij de koude-start oven het aandeel zwavel in de ovenas hoger is dan bij de warme-start oven en dat bij deze laatste oven zwavel nauwelijks in de ovenas voorkomt. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hogere oventemperatuur bij de warme-start oven. In tabel 5.15 staan de procentuele verdelingen vermeld.

Tabel 5.15 Procentuele verdeling zwavel over uitgangsstromen.

	Warme-start oven			Koude-start oven		
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Proces 1	1,0	5,2	93,8	18,5	5,9	75,7
Proces 2	0,7	7,2	92,1	12,5	1,7	85,8
Proces 3	1,2	10,4	88,5	16,1	1,9	82,0

De berekende recoveries voor zwavel staan genoteerd in onderstaande tabel 5.16.

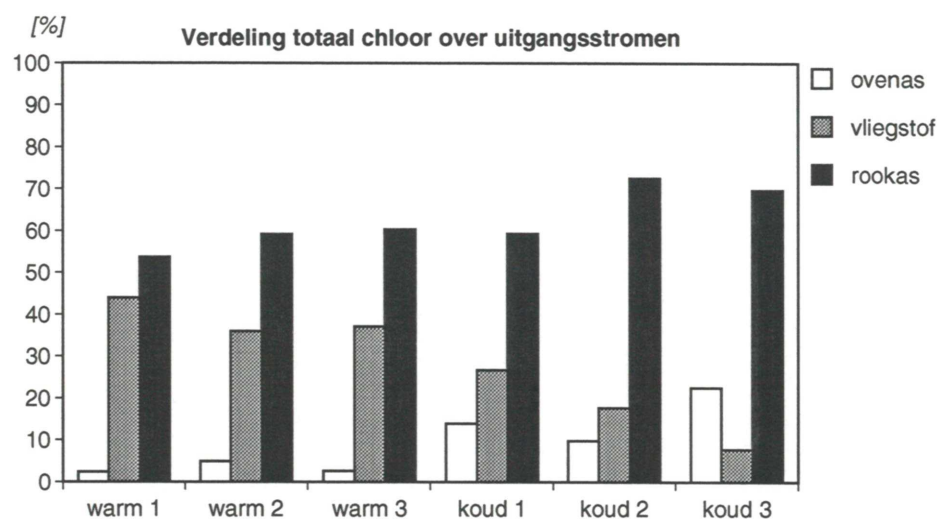
Tabel 5.16 Recovery zwavel.

	Warme-start oven	Koude-start oven
Proces 1	83%	28%
Proces 2	81%	53%
Proces 3	51%	58%

Minimaal de helft van de geschatte hoeveelheid zwavel in de ingangsstromen wordt in de uitgangsstromen teruggevonden. Het restverschil in de massabalans is net als bij de overige componenten waarschijnlijk terug te voeren op de onnauwkeurigheid van de schatting van de samenstelling van de ingangsstromen.

5.7 Chloor

In onderstaande figuur 5.3 staat de procentuele verdeling weergegeven van totaal chloor over de uitgangsstromen voor alle onderzochte processen.



Figuur 5.3 Verdeling totaal chloor over uitgangsstromen.

Uit de figuur blijkt dat chloor bij beide processen voor meer dan de helft via de rookgassen wordt geëmitteerd. Verder kan opgemerkt worden dat bij het 'warme-start' proces het aandeel chloor in de ovenas minimaal is, hetgeen verklaard kan worden uit de hogere gemiddelde oventemperatuur bij de 'warme-start' oven (zie § 5.1). In onderstaande tabel 5.17 staat de procentuele verdeling van chloor over de verschillende uitgangsstromen vermeld.

Tabel 5.17 Procentuele verdeling chloor over uitgangsstromen.

	Warme-start oven			Koude-start oven		
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Proces 1	2,4	44,0	53,7	13,9	26,7	59,3
Proces 2	4,9	35,9	59,2	9,7	17,7	72,6
Proces 3	2,6	37,1	60,3	22,5	7,7	69,7

Uit de analyse resultaten blijkt verder dat het aandeel chloor in de vliegvas voor 100% uit oplosbare chloorverbindingen (chloriden) bestaat. Het chloridegehalte in de rookgassen is geanalyseerd als zijnde Cl^- .

Uit de massabalans blijkt dat in de meeste gevallen minder dan de helft van de geschatte hoeveelheid chloor in de ingangsstromen wordt teruggevonden in de uitgangsstromen. De oorzaak is waarschijnlijk dat het werkelijke percentage chloor in de ingangsstromen afwijkt van de literatuurgegevens hierover. De kans dat chloor in de vorm van Cl_2 , hypochloriet of gechloreerde koolwaterstoffen vrijkomt wordt nihil geacht.

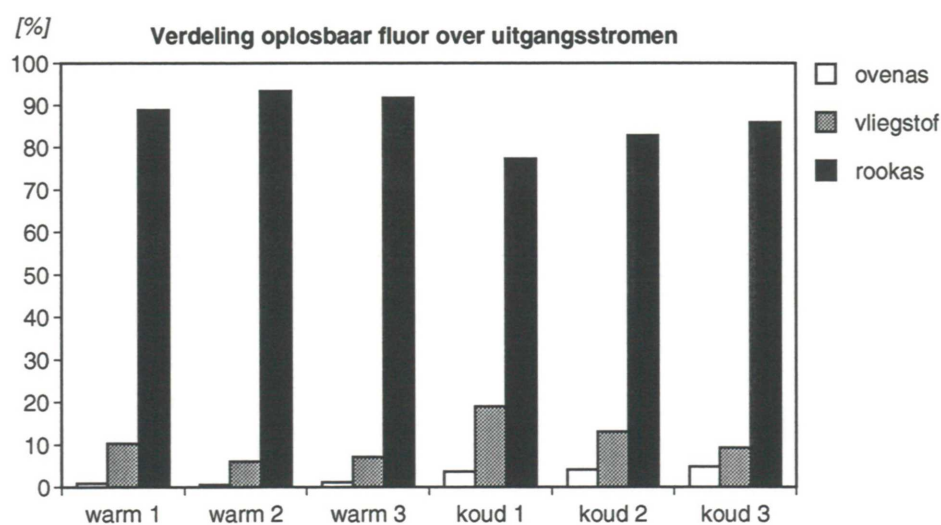
In onderstaande tabel 5.18 staan de recoveries vermeld van chloor voor alle onderzochte processen.

Tabel 5.18 Recovery chloor.

	Warme-start oven	Koude-start oven
Proces 1	81%	33%
Proces 2	32%	32%
Proces 3	42%	32%

5.8 Oplosbaar fluor

In onderstaande figuur 5.4 staat de procentuele verdeling van oplosbaar fluor over de uitgangsstromen weergegeven.



Figuur 5.4 Verdeling oplosbaar fluor over uitgangsstromen.

Uit bovenstaande figuur 5.4 blijkt dat oplosbaar fluor voor het grootste deel via de rookgassen wordt geëmitteerd. Het aandeel oplosbaar fluor in de ovenas is vooral bij de warme-start oven nihil. In onderstaande tabel 5.19 staat de procentuele verdeling van oplosbaar fluor vermeld.

Tabel 5.19 Procentuele verdeling oplosbaar fluor over uitgangsstromen.

	Warme-start oven			Koude-start oven		
	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Proces 1	0,9	10,3	88,9	3,7	19,0	77,3
Proces 2	0,6	6,1	93,3	4,2	13,0	82,8
Proces 3	1,2	7,2	91,7	4,9	9,2	85,9

De massabalans over de crematieprocessen laat zien dat slechts een kleine fractie van de geschatte hoeveelheid oplosbaar fluor in de ingangsstromen wordt teruggevonden in uitgangsstromen. Een verklaring hiervoor kan zijn dat fluor met name in de ovenas kan voorkomen in de vorm van niet-oplosbaar fluor, met name in de vorm van calciumfluoride (maximum oplosbaarheid 0,016 gram CaF_2 per liter water [7]). Verder speelt de onnauwkeurigheid van de schatting van de ingang samenstelling een rol. In tabel 5.20 staan de recoveries voor oplosbaar fluor vermeld.

Tabel 5.20 Recovery oplosbaar fluor.

	Warme-start oven	Koude-start oven
Proces 1	2%	1%
Proces 2	2%	1%
Proces 3	2%	1%

5.9 Rookgasemissies

In onderstaande tabel 5.21 staan de gemiddelde CO , NO_x en C_xH_y concentraties in de rookgassen weergegeven zoals gemeten bij de onderzochte typen ovens. De concentraties zijn terugerekend naar 11% O_2 in de rookgassen.

Tabel 5.21 Gemiddelde rookgasconcentratie CO, NO_x en C_xH_y; betrokken op 11% O₂.

	Warme-start oven			Koude-start oven		
	CO [mg/m ³ ind]	NO _x [mg/m ³ ind]	C _x H _y [mg/m ³ ind]	CO [mg/m ³ ind]	NO _x [mg/m ³ ind]	C _x H _y [mg/m ³ ind]
Proces 1	174	508	544	25	181	1
Proces 2	217	432	441	27	282	1
Proces 3	46	487	73	32	293	1

Uit de in tabel 5.21 vermelde resultaten blijkt dat de emissies van NO_x, CO en C_xH_y bij de warme-start oven beduidend hoger zijn dan bij de koude-start oven.

De hoge gemiddelde CO-concentratie bij het warme-start proces wordt voornamelijk veroorzaakt door momentaan hogere CO-gehalten tegen het einde van het crematieproces. Uit een analyse van de procestemperaturen zoals gemeten door de bedrijfsmeters bij de warme-start oven blijkt dat de CO-pieken voornamelijk optreden in die gevallen dat de hoofdbrander en/of de naverbrander zijn uitgeschakeld, hetgeen tegen het einde van het crematieproces regelmatig het geval is. Dit uitschakelen gebeurt indien de procestemperatuur hoger is dan de in het stookprogramma (zie bijlage B.2) opgegeven temperaturen. Mogelijk wordt de verhoging van de CO-concentratie in die gevallen veroorzaakt door een slechte menging van de rookgassen, gecombineerd met lokaal te lage temperaturen (< 850 °C) en lokaal een laag O₂-gehalte (< 6%) in de rookgassen. Tevens speelt een grote rol dat de naverbrandingstemperatuur in met name het laatste half uur van het warme-start proces te laag is (< 850 °C tot een gemeten minimum van ca. 760 °C) om een volledige verbranding van onverbrande componenten te waarborgen.

Bij de koude-start oven is het CO-gehalte laag vanwege het feit dat de (modulerende) naverbrander ten allen tijden in werking is, met daarbij een voldoende hoge naverbrandingstemperatuur.

Voor de hogere C_xH_y-concentratie bij de warme-start oven geldt in principe dezelfde redenering als voor de hogere CO-concentratie zoals hiervoor gegeven. Betrokken op een O₂-gehalte van 11% in de rookgassen is te zien dat het C_xH_y-gehalte van de rookgassen tegen het einde van het crematieproces stijgt.

Voor de hogere NO_x emissie bij het warme-start proces is vooralsnog geen eenduidige verklaring te geven. Mogelijk speelt een hogere gemiddelde oventemperatuur bij de warme-start oven hierin een rol. Een toekomstig onderzoek naar de oorzaken van NO_x vorming bij crematieprocessen zal hier mogelijk meer uitsluitsel over geven.

Het verloop van de NO_x-concentratie in de tijd bij het onderzochte warme-start proces (zie bijlage A.7 tot en A.9) laat zien dat er globaal sprake is van twee NO_x-concentratie pieken. De eerste piek wordt veroorzaakt door de ontbranding van het lichaam. De tweede piek wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat op dat moment de hoofdbrander wordt ingeschakeld, waardoor de verbranding van lichaamsresten sterk wordt aangewakkerd.

5.10 Vergelijking met eerdere onderzoeken

Teneinde een beter beeld te krijgen van de representativiteit van de onderzochte processen staan in onderstaande tabellen 5.22 tot en met 5.24 een aantal meetresultaten (voor zover bekend) vermeld van in het verleden uitgevoerd onderzoek aan vergelijkbare typen ovens. In tabel 5.22 en 5.23 staan de gemiddelde resultaten van rookgas emissiemetingen vermeld. Resultaten van de emissie van zware metalen zijn alleen bekend van het koude-start proces. In tabel 5.24 staan de resultaten vermeld van eerdere metingen naar de samenstelling van ovenas.

Tabel 5.22 Gemiddelde resultaten van eerdere rookgasemissie metingen aan warme-start processen.

Component	Eenheid	1	2	3	4	Dit onderzoek
type	--	warm	warm	warm	warm	warm
tijdsduur	min	72	81	123	89	68 - 74
debiet	m ³ /proces	2592	4393	3793	4747	2101 - 2674
Hg	mg/proces				3.3	1731 - 2300 ¹⁾
Cl ⁻	mg/proces	41500			66400	20610 - 31154
F ⁻	mg/proces	778				194 - 260
NO _x	mg/proces	306000	606000	440000		311000 - 480000
SO ₂	mg/proces	109000	360000	152000		125000 - 278000
C _x H _y	mg/proces	5180	22000	11400	19000	53000 - 447000
CO	mg/proces	93300	198000	60700	161000	33000 - 128000
CO ₂	vol%	2,6		2,8	2,4	2,5 - 3,0
O ₂	vol%	17,7	18,8	17,2	17,9	16,8 - 17,4
stof	mg/proces	90700	101000	91000		91000 - 107000

¹⁾ Ca. 5 g kwikamalgaam toegevoegd.

Opvallend is dat de in dit onderzoek geconstateerde C_xH_y emissie vele malen hoger is dan bij eerdere metingen aan vergelijkbare ovens. Verder is in dit onderzoek de chloride en fluoride emissie lager dan bij eerdere onderzoeken.

Tabel 5.23 Gemiddelde resultaten van eerdere rookgasemissie metingen aan koude-start processen.

Component	Eenheid	5	6	7	8	Dit Onderzoek
type	--	koud	koud	koud	koud	koud
procesduur	min	142	83	129	143	127-150
debiet	m ³ /proces	1671	4019	1613	1916	1742 - 2241
As	mg/proces				7,3	3
Cd	mg/proces				3,6	2 - 4
Co	mg/proces				0,6	1 - 2
Cr	mg/proces				10	21 - 24
Cu	mg/proces				18	17 - 32
Hg	mg/proces				0,6	1523 - 3236 ¹⁾
Mn	mg/proces				12	15 - 68
Ni	mg/proces				2,1	4 - 14
Pb	mg/proces				113	43 - 61
Se	mg/proces				1,9	5 - 6
Sn	mg/proces				7,3	18 - 63
Te	mg/proces				3,6	16 - 21
V	mg/proces				7,3	4 - 14
Cl ⁻	mg/proces		34200	66000	99642	30700 - 36500
F ⁻	mg/proces		764			94 - 100
NO _x	mg/proces	342000	394000			367000 - 488000
SO ₂	mg/proces	199000	253000			69500 - 152000
C _x H _y	mg/proces	6700	16100	9680		1710 - 2690
CO	mg/proces	120000	108000	56400		40100 - 49300
CO ₂	vol%	6,2	2,2	6,3		5,2 - 5,6
O ₂	vol%	12,0	17,7	11,7	11,1	12,0 - 12,7
stof	mg/proces	57000	(145000)			22800 - 60500

¹⁾ Ca. 5 g kwikamalgam toegevoegd.

In bovenstaande tabel 5.23 is oven nr. 6 bedreven volgens een afwijkende procesvoering, waarbij de trek door het systeem verhoogd was en analoog aan het warmestart proces lucht in de rookgassen werd geïnjecteerd. Door de grotere trek door het systeem is de stofemissie niet representatief voor de in dit onderzoek onderzochte koude-start oven.

Over het algemeen komen de in dit onderzoek gemeten emissies redelijk overeen met eerdere onderzoeken.

De CO- en C_xH_y-emissie zijn in dit onderzoek lager dan bij eerdere onderzoeken. De Sn- en Te-emissies zijn hoger dan bij een eerder onderzoek aan een koude-start-oven.

In onderstaande tabel 5.24 staan de resultaten vermeld van eerdere bepalingen van de samenstelling van ovenas afkomstig van crematie-processen. Van de in tabel 5.24 vermelde bepalingen nr. 1 en 3 is niet bekend van welk type oven de ovenas afkomstig is. Evenzo is niet bekend welke analysemethoden voor bepaling nr. 1 en 3 gebruikt zijn. Bepaling nummer 2 is afkomstig van een uit enkele tientallen crematieprocessen verkregen mengmonster.

Tabel 5.24 Resultaten bepaling samenstelling ovenas bij eerdere onderzoeken.

Component	Eenheid	1	2	3	Dit onderzoek	Dit onderzoek
type	--	?	warm	?	warm	koud
As	mg/kg	< 0,1			0,72 - 0,84	3 - 3,5
Ba	mg/kg		510		31 - 147	290 - 445
Cd	mg/kg	< 0,1			0,12	0,3 - 2,3
Cr	mg/kg	82	84	50 - 150	15 - 28	65 - 185
Cu	mg/kg	164	270	50 - 180	187 - 780	52 - 360
Hg	mg/kg	0,055		0,05 - 0,06	0,25 ¹⁾	0,05 - 0,21 ¹⁾
Ni	mg/kg	1,1	67	1,1 - 15	29 - 170	23,5 - 97
Pb	mg/kg	< 5			1,04 - 5,8	3
Zn	mg/kg	415	860	300 - 1950	46 - 250	375 - 1135
Cl	mg/kg		1700		448 - 582	1550 - 3350
S	mg/kg		6667		373 - 433	3150 - 4050
P	mg/kg		150000		159000 - 162000	155000 - 165000
P ₂ O ₅	mg/kg	20000		20000 - 22500	7,5	7450 - 12000
N	mg/kg	3		4	490 - 990	590 - 1750

¹⁾ Ca. 5 g kwikamalgaam toegevoegd.

Het in dit onderzoek gemeten chroom-, zink-, zwavel- en chloor-gehalte van de warme-start ovenas is lager dan eerder bij een warme-start oven gemeten. Het stikstofgehalte van de ovenas blijkt in dit onderzoek vele malen hoger te zijn dan bij eerdere metingen.

6. Conclusies

Massabalans

- Uit het onderzoek is gebleken dat er veel onduidelijkheid bestaat over de chemische samenstelling van met name de sporen elementen van de kist en het lichaam. De voor dit onderzoek beschikbare literatuur hierover lijkt in dit opzicht volstrekt ontoereikend. Deze onduidelijkheid is gebleken uit de uit de massabalans berekende recoveries, die variëren tussen 1% en enkele duizenden procenten. Het is aan te bevelen om bij een eventueel toekomstige vergelijkbare studie een uitgebreider onderzoek uit te laten voeren naar de samenstelling van de ingangsstromen.

Invloed verkleiningsmachine

- Het vermalen van de ovenas door middel van verkleiningsmachines kan leiden tot een verhoging van het zware metalen gehalte van de ovenas en daarmee tot een verhoging van de massabalans recovery. Het blijkt dat in de onderzochte ovenassen de concentratie zware metalen als gevolg van het verkleiningsproces toeneemt met 200 - 365%, afhankelijk van de toegepaste verkleiningstechniek. Deze verhoging is voornamelijk toe te schrijven aan een verhoging van het Al-, Mn-, Sn- en Ni-gehalte bij beide typen processen. Tevens werd bij het koude-start proces een toename waargenomen van het vanadium en chroomgehalte van de ovenas.
- Bij het verkleiningsproces zoals toegepast bij het warme-start proces neemt relatief gezien het zware metalen gehalte in de ovenas ca. twee maal zoveel toe als bij het verkleiningsproces toegepast bij het koude-start proces. De oorzaak is mogelijk gelegen in de veel langere vermalingstijd bij het warme-start proces en het feit dat de aslade in de verkleiningsmachine wordt geplaatst.

Samenstelling ovenas

- Uit het onderzoek is gebleken dat de ovenas bij het warme-start proces een lager gehalte aan zware metalen, fosfor, zwavel, chloor en oplosbaar fluor bevat vergeleken met de ovenas van het koude-start proces. Daarentegen is bij het 'warme-start' proces de hoeveelheid van genoemde componenten in het vliegstof hoger dan bij de koude-start oven. Dit verschil in ovenas en vliegstof samenstelling tussen beide typen oven wordt veroorzaakt doordat de gemiddelde oventemperatuur bij de warme-start oven hoger is dan bij de koude-start oven.

Kwik

- Kwik wordt kwantitatief (> 99,8%) in gasvormige toestand via de rookgassen uitgestoten. De hoeveelheid kwik die wordt geëmitteerd was bij alle onderzochte crematieprocessen vrijwel gelijk aan de aan het lichaam als kwikamalgaam toegevoegde hoeveelheid. Hieruit blijkt dat de aanwezigheid van kwikamalgaam de belangrijkste bron van kwikemissie bij crematieprocessen is.

Fosfor

- Fosfor is kwantitatief (> 99%) aan de ovenas gebonden. Circa 0,1% van de totale hoeveelheid fosfor wordt als fosfaten (P_2O_5) via de rookgassen of het vliegstof geëmitteerd.

Stikstof

- Stikstof wordt voornamelijk als N_2 en als NO_x geëmitteerd via de rookgassen. Minder dan 5% van de totale hoeveelheid stikstof is als N-Kjeldahl aan de ovenas gebonden.

Zwavel

- Zwavel wordt voornamelijk (75% - 94%) via de rookgassen geëmitteerd als SO_2 . Het aandeel zwavel dat gebonden is aan de ovenas is bij het koude-start proces hoger dan bij het warme-start proces. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een hogere crematietemperatuur van het warme-start proces.

Chloor

- Chloor wordt voornamelijk (78% - 98%) in de vorm van anorganische oplosbare chloriden geëmitteerd via de rookgassen en gebonden aan vliegstof. Het aandeel chloor in de ovenas is bij het warme-start proces lager dan bij het koude-start proces. Dit wordt eveneens waarschijnlijk veroorzaakt door een hogere crematietemperatuur van het warme-start proces.

Oplosbaar fluor

- Oplosbaar fluor (fluoriden) is voor 7 -18% gebonden aan het vliegstof en wordt voor 77 tot 93% in gasvormige toestand geëmitteerd via de rookgassen.

Rookgasemissies

- De gemiddelde CO , C_xH_y en NO_x emissie via de rookgassen is bij de warme-start oven hoger dan bij de koude-start oven. Het verschil ontstaat voornamelijk aan het einde van het crematieproces, waarbij de (hoog-laag) branders van de warme-start oven afwisselend op vollast of op deellast draaien, dan wel afgeschakeld zijn. Hierdoor kan het voorkomen dat op die momenten dat de branders uit dan wel op laagstand staan de menging van de rookgassen onvoldoende is, met als gevolg verhoogde CO en C_xH_y emissies. Bij de koude-start ovens staan de (modulerende) branders aan het einde van het crematieproces continu bij.
- De naverbrandingstemperatuur varieerde bij het koude-start proces over het algemeen tussen 800 °C en 850 °C. Bij het warme-start proces werd geconstateerd dat de naverbrandingstemperatuur gedurende circa de helft tot circa tweederde van de procestijd lager is dan 850 °C. Binnen deze periode was de naverbrandingstemperatuur zelfs gedurende langere tijd lager dan 800 °C. Als gevolg van naverbrandingstemperaturen die lager zijn dan 850 °C kan volledige verbranding van onverbrande componenten (CO , C_xH_y) niet gewaarborgd zijn. Met name bij de warme-start oven leidt dit tot hoge CO en C_xH_y concentraties in de rookgassen.

7. Literatuur

- [1] H.A. Schroeder; The biological trace elements; J. chron. Dis. 1965, vol. 18, pp. 217-228.
- [2] VDI 3891; Emissionsminderung einascherungsanlagen; 1992.
- [3] Physical properties of natural gases; N.V. Nederlandse Gasunie; 1980.
- [4] P. Eggels, S. van Loo; Milieu-effecten van de energiewinning uit (afval)hout; TNO rapport nr. 94-372; april 1995.
- [5] E. Smit; Onderzoek naar de rookgasemissies van Crematorium 'Den en Rust' te Bilthoven; TNO rapport nr. 95-232; juli 1995.
- [6] A.H.B. Schuurs, C.L. Davidson; Amalgam, II Kwikbronnen; Ned. Tijdschr. Tandheelkunde 100, (1993) januari, pp. 7 - 9.
- [7] CRC Handbook of Chemistry and Physics; CRC Press inc.; 60th edition; 1979-1980.
- [8] William K.H. Hogland; Usefulness of selenium for the reduction of mercury emissions from crematoria; J. Environ. Qual 23; 1364 - 1366; (1994).
- [9] J.G. de Molenaar; Effecten van verstrooien van crematie-as; Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO), Wageningen; IBN-rapport 095; ISSN:0928-6888; 1994.

8. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Ministerie van VROM
Directoraat-Generaal Milieubeheer
Directie Lucht en Energie, Afd. Bedrijven
t.a.v. Ing. H.W. Holtring
Postbus 30945
2500 GX 's-Gravenhage

Namen en functies van de projectmedewerkers

Ing. E.R. Smit	researchmedewerker/onderzoekleider
E. Kuiper	researchmedewerker
F.C. Poot	kwaliteitsfunctionaris
J. Timmer	researchmedewerker
A.E.A. van Velde	researchmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Analytische Chemie, TNO-MW, Delft
Analytische Chemie, TNO-MW, Apeldoorn
Laboratorium BCO, Breda

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

Crematorium Den en Rust: 17 en 18 mei 1995
Crematorium Heeze: 11 en 12 juli 1995

Ondertekening



Ing. E.R. Smit
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. J. de Koning
afdelingshoofd

Bijlage A Meetresultaten bepaling gehalten uitgangsströmen

- A.1 Meetresultaten koude-start oven, proces 1
- A.2 Meetresultaten koude-start oven, proces 2
- A.3 Meetresultaten koude-start oven, proces 3
- A.4 Meetresultaten warme-start oven, proces 1
- A.5 Meetresultaten warme-start oven, proces 2
- A.6 Meetresultaten warme-start oven, proces 3
- A.7 Verloop continu registrerende metingen; warme-start oven, proces 1
- A.8 Verloop continu registrerende metingen; warme-start oven, proces 2
- A.9 Verloop continu registrerende metingen; warme-start oven, proces 3
- A.10 Verloop continu registrerende metingen; koude-start oven, proces 1
- A.11 Verloop continu registrerende metingen; koude-start oven, proces 2
- A.12 Verloop continu registrerende metingen; koude-start oven, proces 3
- A.13 Procentuele verdeling componenten over uitgangsströmen bij koude-start en warme-start proces
- A.14 Recovery-range voor koude-start proces en warme-start proces

A.1 Meetresultaten koude-start oven, proces 1

Component	Aan vliegstof gebonden [mg]	Aan vliegstof gebonden [mg/kg]	Gasvormig [mg]	Ovenas [mg/kg]	Aan vliegstof gebonden [mg/m ³ ind]	Gasvormig [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind] bij 11%O ₂	Per proces in rookgas [mg]	Totaal per proces [mg]
Al	0,22	3487	0,027	12000	0,0949	0,0117	0,1066	0,1185	239	26063
As	0,00035	6	0,003	3,5	0,0002	0,0013	0,0014	0,0016	3	11
Au	0,001	16	0,005	170	0,0004	0,0022	0,0026	0,0029	6	372
Ba	0,025	396	0,0016	290	0,0108	0,0007	0,0115	0,0128	26	650
Cd	0,00415	66	0,0005	2,3	0,0018	0,0002	0,0020	0,0022	4	9
Co	0,0005	8	0,001	2	0,0002	0,0004	0,0006	0,0007	1	6
Cr	0,0125	198	0,00915	92,5	0,0054	0,0039	0,0093	0,0104	21	220
Cu	0,017	269	0,016	360	0,0073	0,0069	0,0142	0,0158	32	807
Mn	0,0685	1086	0,00185	410	0,0296	0,0008	0,0304	0,0337	68	950
Mo	0,0015	24	0,0073	3	0,0006	0,0031	0,0038	0,0042	9	15
Ni	0,0054	86	0,00915	97	0,0023	0,0039	0,0063	0,0070	14	223
Pb	0,0545	864	0,0089	3	0,0235	0,0038	0,0274	0,0304	61	68
Sb	0,00995	158	0,005	5	0,0043	0,0022	0,0065	0,0072	14	25
Se	0,0015	24	0,005	5	0,0006	0,0022	0,0028	0,0031	6	17
Sn	0,01245	197	0,0064	17	0,0054	0,0028	0,0081	0,0090	18	55
Te	0,0019	30	0,02	5	0,0008	0,0086	0,0094	0,0105	21	32
V	0,00925	147	0,005	460	0,0040	0,0022	0,0061	0,0068	14	1004
Zn	0,51	8082	0,0145	1135	0,2201	0,0063	0,2263	0,2516	507	2950
Hg	0,0048	76	0,975	0,21	0,0021	1,4417	1,4438	1,6051	3236	3236
Cl	14,3	226624	--	3350	6,17	--	6,17	6,86	13828	21037
S	2,75	43582	--	3900	1,19	--	1,19	1,32	2659	11052
P	0,495	7845	--	155000	0,21	--	0,21	0,24	479	334039
P ₂ O ₅	1,5	23772	--	12000	0,65	--	0,65	0,72	1450	27274
opl. F	0,0255	404	--	2,25	0,01	--	0,01	0,01	25	30
opl. Cl	14,3	226624	--	4150	6,17	--	6,17	6,86	13828	22759
N	0,05	792	--	590	0,02	--	0,02	0,02	48	1318
Cl ⁻	--	--	11	--	--	13,70	13,70	15,23	30699	30699
F ⁻	--	--	0,036	--	--	0,045	0,045	0,050	100	100

A.2 Meetresultaten koude-start oven, proces 2

Component	Aan vliegstof gebonden [mg]	Aan vliegstof gebonden [mg/kg]	Gasvormig [mg]	Ovenas [mg/kg]	Aan vliegstof gebonden [mg/m ³ ind]	Gasvormig [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind] bij 11%O ₂	Per proces in rookgas [mg]	Totaal per proces [mg]
Al	0,069	1860	0,021	5750	0,0307	0,0093	0,0401	0,0461	70	18177
As	0,00125	34	0,003	3	0,0006	0,0013	0,0019	0,0022	3	13
Au	0,001	27	0,005	5	0,0004	0,0022	0,0027	0,0031	5	20
Ba	0,011	296	0,0013	445	0,0049	0,0006	0,0055	0,0063	10	1411
Cd	0,00235	63	0,0005	0,3	0,0010	0,0002	0,0013	0,0015	2	3
Co	0,0005	13	0,001	2,5	0,0002	0,0004	0,0007	0,0008	1	9
Cr	0,027	728	0,00415	185	0,0120	0,0018	0,0139	0,0160	24	607
Cu	0,0175	472	0,00415	185	0,0078	0,0018	0,0096	0,0111	17	599
Mn	0,0175	472	0,00195	560	0,0078	0,0009	0,0087	0,0100	15	1779
Mo	0,00145	39	0,00415	3	0,0006	0,0018	0,0025	0,0029	4	14
Ni	0,00227	61	0,003	56	0,0010	0,0013	0,0023	0,0027	4	180
Pb	0,049	1321	0,00785	3	0,0218	0,0035	0,0253	0,0291	44	54
Sb	0,00385	104	0,005	5	0,0017	0,0022	0,0039	0,0045	7	23
Se	0,001055	28	0,005	5	0,0005	0,0022	0,0027	0,0031	5	20
Sn	0,0715	1927	0,00935	99	0,0318	0,0042	0,0360	0,0414	63	374
Te	0,0009	24	0,02	5	0,0004	0,0089	0,0093	0,0107	16	32
V	0,00063	17	0,005	170	0,0003	0,0022	0,0025	0,0029	4	540
Zn	0,455	12264	0,02	375	0,2026	0,0089	0,2115	0,2433	368	1549
Hg	0,00125	34	0,54	0,05	0,0006	0,8737	0,8743	1,0056	1523	1523
Cl	11,45	308625	--	1550	5,10	--	5,10	5,86	8879	13759
S	1,75	47170	--	3150	0,78	--	0,78	0,90	1357	11276
P	0,245	6604	--	165000	0,11	--	0,11	0,13	190	519775
P ₂ O ₅	1,05	28302	--	7450	0,47	--	0,47	0,54	814	24274
opl. F	0,019	512	--	1,5	0,01	--	0,01	0,01	15	19
opl. Cl	11,45	308625	--	430	5,10	--	5,10	5,86	8879	10233
N	0,05	1348	--	1350	0,02	--	0,02	0,03	39	4290
Cl ⁻	--	--	14	--	--	20,93	20,93	24,08	36463	36463
F ⁻	--	--	0,036	--	--	0,054	0,054	0,062	94	94

A.3 Meetresultaten koude-start oven, proces 3

Component	Aan vliegstof gebonden [mg]	Aan vliegstof gebonden [mg/kg]	Gasvormig [mg]	Ovenas [mg/kg]	Aan vliegstof gebonden [mg/m ³ ind]	Gasvormig [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind] bij 11%O ₂	Per proces in rookgas [mg]	Totaal per proces [mg]
Al	0,305	10339	0,029	4100	0,1281	0,0122	0,1403	0,1692	267	15166
As	0,00084	28	0,003	3	0,0004	0,0013	0,0016	0,0019	3	14
Au	0,001	34	0,005	18	0,0004	0,0021	0,0025	0,0030	5	70
Ba	0,0365	1237	0,00165	410	0,0153	0,0007	0,0160	0,0193	30	1520
Cd	0,0024	81	0,0005	0,3	0,0010	0,0002	0,0012	0,0015	2	3
Co	0,00093	32	0,001	5,5	0,0004	0,0004	0,0008	0,0010	2	22
Cr	0,0215	729	0,00805	65	0,0090	0,0034	0,0124	0,0150	24	260
Cu	0,014	475	0,0135	52	0,0059	0,0057	0,0116	0,0139	22	211
Mn	0,073	2475	0,00355	535	0,0307	0,0015	0,0322	0,0388	61	2005
Mo	0,00125	42	0,00305	3	0,0005	0,0013	0,0018	0,0022	3	14
Ni	0,0018	61	0,0092	23,5	0,0008	0,0039	0,0046	0,0056	9	94
Pb	0,041	1390	0,0125	3	0,0172	0,0053	0,0225	0,0271	43	54
Sb	0,00455	154	0,005	5	0,0019	0,0021	0,0040	0,0048	8	26
Se	0,00125	42	0,005	5	0,0005	0,0021	0,0026	0,0032	5	23
Sn	0,0165	559	0,00735	13	0,0069	0,0031	0,0100	0,0121	19	66
Te	0,00219	74	0,02	5	0,0009	0,0084	0,0093	0,0112	18	36
V	0,00255	86	0,005	37,5	0,0011	0,0021	0,0032	0,0038	6	142
Zn	0,41	13898	0,032	775	0,1722	0,0134	0,1857	0,2239	353	3169
Hg	0,00675	229	1	0,05	0,0028	1,4807	1,4836	1,7893	2820	2820
Cl	4,85	164407	--	3100	2,04	--	2,04	2,46	3872	15138
S	2,2	74576	--	4050	0,92	--	0,92	1,11	1756	16474
P	0,52	17627	--	160000	0,22	--	0,22	0,26	415	581855
P ₂ O ₅	0,675	22881	--	18000	0,28	--	0,28	0,34	539	65951
opl. F	0,013	441	--	1,5	0,01	--	0,01	0,01	10	16
opl. Cl	4,85	164407	--	1100	2,04	--	2,04	2,46	3872	7870
N	0,05	1695	--	1750	0,02	--	0,02	0,03	40	6399
Cl ⁻	--	--	13	--	--	18,35	18,35	22,13	34878	34878
F ⁻	--	--	0,036	--	--	0,051	0,051	0,061	97	97

A.4 Meetresultaten warme-start oven, proces 1

Component	Aan vliegstof gebonden [mg]	Aan vliegstof gebonden [mg/kg]	Gasvormig [mg]	Ovenas [mg/kg]	Aan vliegstof gebonden [mg/m ³ ind]	Gasvormig [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind] bij 11%O ₂	Per proces in rookgas [mg]	Totaal per proces [mg]
Al	0,84	6052	5.10 ⁻⁵	1210	0,2212	0,00003	0,2212	0,6278	591	3993
As	0,0187	135	0,0002	0,76	0,0049	0,0001	0,0050	0,0143	13	16
Au	0,002	14	0,0002	0,15	0,0005	0,0001	0,0006	0,0018	2	2
Ba	0,066	476	0,0013	67	0,0174	0,0007	0,0181	0,0514	48	237
Cd	0,012	86	0,0002	0,12	0,0032	0,0001	0,0033	0,0093	9	9
Co	0,002	14	0,0008	1,5	0,0005	0,0005	0,0010	0,0028	3	7
Cr	0,046	331	0,012	15	0,0121	0,0069	0,0190	0,0540	51	93
Cu	0,161	1160	0,0067	780	0,0424	0,0039	0,0463	0,1313	124	2316
Mn	0,135	973	0,0086	220	0,0355	0,0049	0,0405	0,1149	108	727
Mo	0,008	58	0,0014	1,1	0,0021	0,0008	0,0029	0,0083	8	11
Ni	0,024	173	0,047	170	0,0063	0,0271	0,0334	0,0947	89	567
Pb	0,42	3026	0,0018	2,6	0,1106	0,0010	0,1116	0,3168	298	306
Sb	0,036	259	0,00022	1,3	0,0095	0,0001	0,0096	0,0273	26	29
Se	0,001	7	0,00025	0,1	0,0003	0,0001	0,0004	0,0012	1	1
Sn	0,016	115	0,0002	3,6	0,0042	0,0001	0,0043	0,0123	12	22
Te	0,002	14	0,00016	0,2	0,0005	0,0001	0,0006	0,0018	2	2
V	0,006	43	0,0025	8,4	0,0016	0,0014	0,0030	0,0086	8	32
Zn	4,1	29539	0,03	250	1,0796	0,0173	1,0969	3,1129	2933	3635
Hg	0,003	22	0,275	0,25	0,0008	0,8595	0,8603	2,4414	2300	2301
Cl	34,1	245677	--	523	8,98	--	8,98	25,48	24006	25476
S	6,7	48271	--	373	1,76	--	1,76	5,01	4717	5765
P	1,3	9366	--	159000	0,34	--	0,34	0,97	915	447864
P ₂ O ₅	1,35	9692	--	7,5	0,35	--	0,35	1,01	947	968
opl. F	0,031	223	--	0,76	0,01	--	0,01	0,02	22	24
opl. Cl	34,1	245677	--	99	8,98	--	8,98	25,48	24006	24284
N	0,18	1297	--	490	0,05	--	0,05	0,13	127	1504
Cl ⁻	--	--	3,88	--	--	11,65	11,65	33,07	31154	31154
F ⁻	--	--	0,025	--	--	0,075	0,075	0,213	201	201

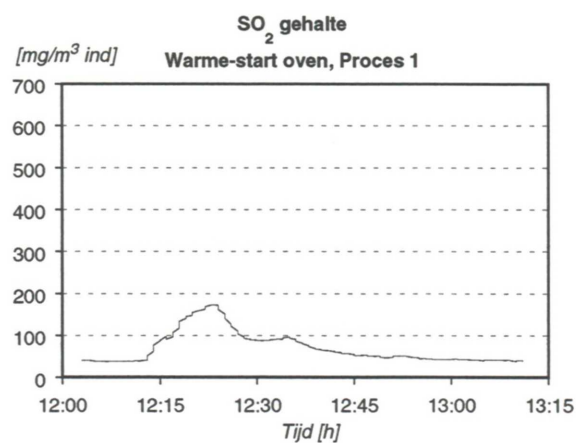
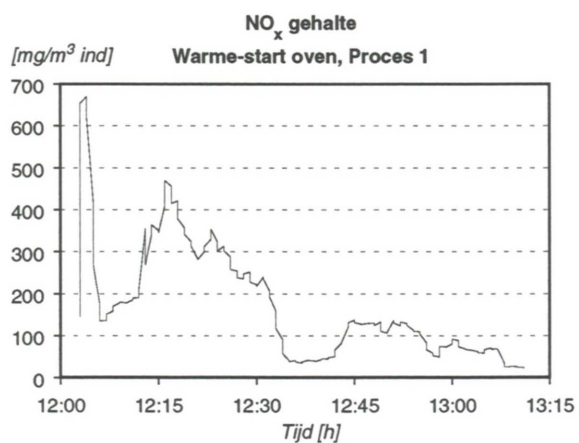
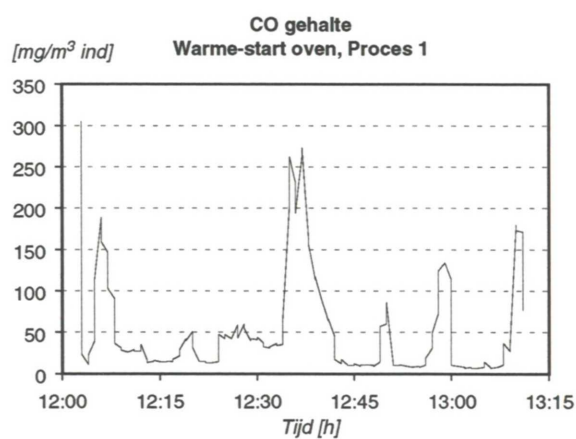
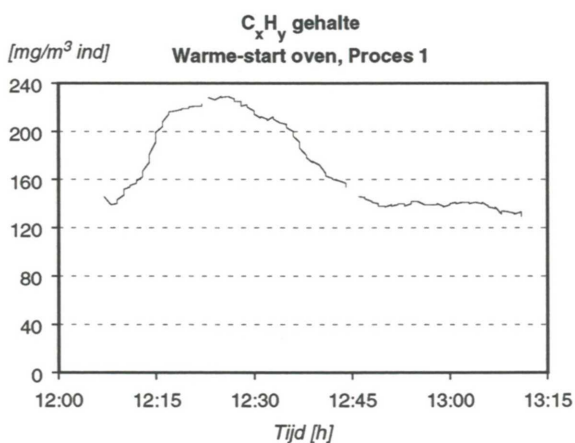
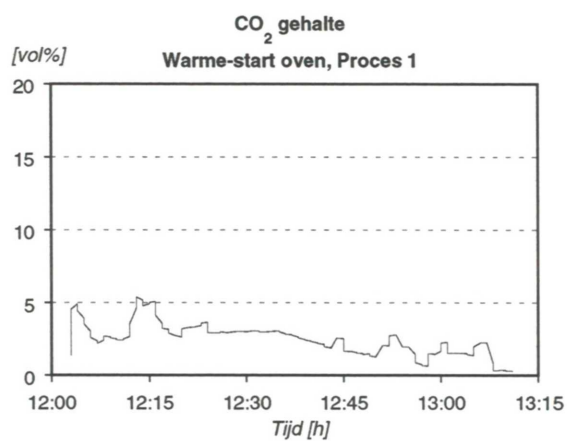
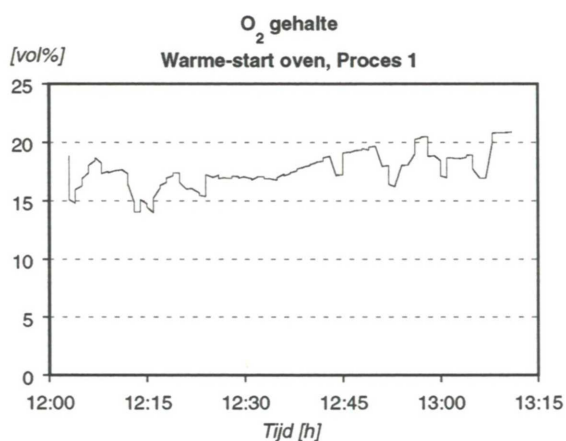
A.5 Meetresultaten warme-start oven, proces 2

Component	Aan vliegstof gebonden [mg]	Aan vliegstof gebonden [mg/kg]	Gasvormig [mg]	Ovenas [mg/kg]	Aan vliegstof gebonden [mg/m ³ ind]	Gasvormig [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind] bij 11%O ₂	Per proces in rookgas [mg]	Totaal per proces [mg]
Al	0,422	2284	2.10 ⁻⁵	890	0,1252	0,00001	0,1253	0,3034	263	3096
As	0,0408	221	0,0002	0,84	0,0121	0,0001	0,0123	0,0297	26	28
Au	0,002	11	0,0002	48	0,0006	0,0001	0,0007	0,0018	2	154
Ba	0,049	265	0,0006	31	0,0145	0,0004	0,0150	0,0363	31	130
Cd	0,028	152	0,0001	0,12	0,0083	0,0001	0,0084	0,0203	18	18
Co	0,0023	12	0,0001	1,6	0,0007	0,0001	0,0008	0,0018	2	7
Cr	0,06	325	0,0045	17	0,0178	0,0032	0,0210	0,0509	44	98
Cu	0,091	492	0,0032	187	0,0270	0,0023	0,0293	0,0709	62	657
Mn	0,205	1109	0,0018	240	0,0608	0,0013	0,0621	0,1505	131	894
Mo	0,016	87	0,0004	1,7	0,0047	0,0003	0,0050	0,0122	11	16
Ni	0,031	168	0,009	29	0,0092	0,0064	0,0156	0,0378	33	125
Pb	0,94	5087	0,0006	5,8	0,2790	0,0004	0,2794	0,6768	587	605
Sb	0,094	509	0,0001	0,87	0,0279	0,0001	0,0280	0,0678	59	62
Se	0,0014	8	0,00025	0,1	0,0004	0,0002	0,0006	0,0014	1	2
Sn	0,092	498	0,0002	28	0,0273	0,0001	0,0274	0,0665	58	147
Te	0,002	11	0,0001	0,2	0,0006	0,0001	0,0007	0,0016	1	2
V	0,006	32	0,0025	8,9	0,0018	0,0018	0,0036	0,0086	7	36
Zn	11,5	62229	0,017	46	3,4130	0,0121	3,4251	8,2972	7196	7342
Hg	0,003	16	0,302	0,25	0,0009	0,9346	0,9355	2,2661	1965	1966
Cl	21,4	115801	--	582	6,35	--	6,35	15,39	13343	15195
S	18,3	99026	--	357	5,43	--	5,43	13,16	11410	12546
P	1,7	9199	--	162000	0,50	--	0,50	1,22	1060	516706
P ₂ O ₅	0,60	3235	--	7,5	0,18	--	0,18	0,43	373	397
opl. F	0,029	157	--	0,55	0,01	--	0,01	0,02	18	20
opl. Cl	21,4	115801	--	84	6,35	--	6,35	15,39	13343	13610
N	0,057	308	--	990	0,02	--	0,02	0,04	36	3187
Cl ⁻	--	--	3,09	--	--	9,8184	9,82	23,7847	20627	20627
F ⁻	--	--	0,039	--	--	0,124	0,124	0,300	260	260

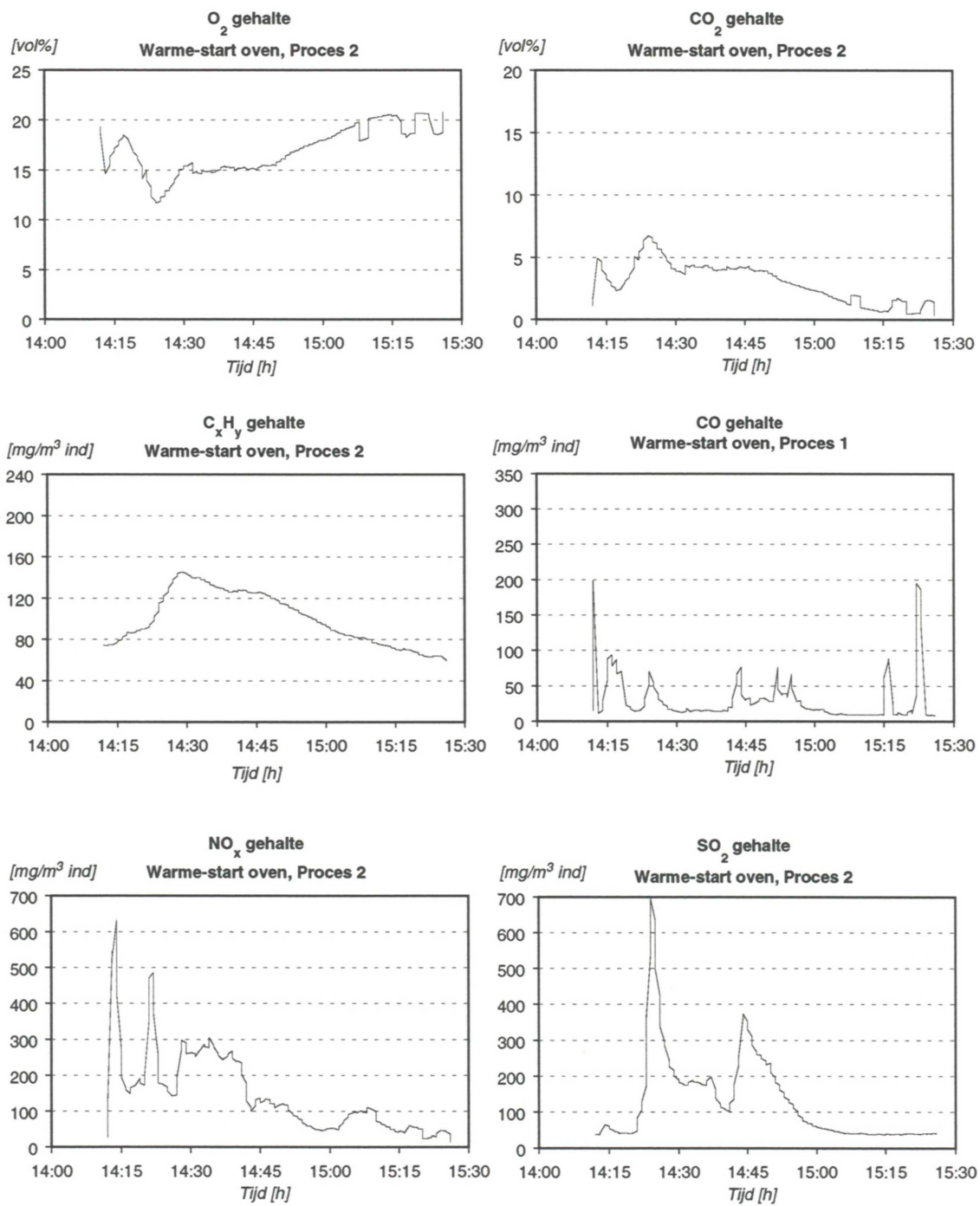
A.6 Meetresultaten warme-start oven, proces 3

Component	Aan vliegstof gebonden [mg]	Aan vliegstof gebonden [mg/kg]	Gasvormig [mg]	Ovenas [mg/kg]	Aan vliegstof gebonden [mg/m ³ ind]	Gasvormig [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind]	Totaal in rookgas [mg/m ³ ind] bij 11%O ₂	Per proces in rookgas [mg]	Totaal per proces [mg]
Al	0,354	2113	2.10 ⁻⁵	3000	0,0948	0,00001	0,0948	0,2895	211	6634
As	0,0234	140	0,0002	0,72	0,0063	0,0001	0,0064	0,0195	14	16
Au	0,002	12	0,0002	0,15	0,0005	0,0001	0,0007	0,0020	1	2
Ba	0,04	239	0,0008	147	0,0107	0,0005	0,0112	0,0341	25	340
Cd	0,02	119	0,0001	0,12	0,0054	0,0001	0,0054	0,0165	12	12
Co	0,002	12	0,0002	2,8	0,0005	0,0001	0,0007	0,0020	1	7
Cr	0,088	525	0,0049	28	0,0236	0,0028	0,0264	0,0805	59	119
Cu	0,214	1278	0,006	250	0,0573	0,0034	0,0607	0,1855	135	670
Mn	0,089	531	0,0029	580	0,0238	0,0017	0,0255	0,0779	57	1298
Mo	0,0044	26	0,0003	1,9	0,0012	0,0002	0,0014	0,0041	3	7
Ni	0,018	107	0,0141	100	0,0048	0,0081	0,0129	0,0394	29	243
Pb	0,507	3027	0,0024	1,04	0,1358	0,0014	0,1371	0,4188	305	307
Sb	0,059	352	0,0001	1,9	0,0158	0,0001	0,0159	0,0484	35	39
Se	0,001	6	0,00025	0,1	0,0003	0,0001	0,0004	0,0013	1	1
Sn	0,072	430	0,0002	19	0,0193	0,0001	0,0194	0,0592	43	84
Te	0,002	12	0,0001	0,2	0,0005	0,0001	0,0006	0,0018	1	2
V	0,004	24	0,0025	13,6	0,0011	0,0014	0,0025	0,0076	6	35
Zn	6,9	41194	0,035	96	1,8475	0,0201	1,8676	5,7039	4151	4356
Hg	0,003	18	0,265	0,25	0,0008	0,7779	0,7787	2,3784	1731	1731
Cl	23,5	140299	--	448	6,29	--	6,29	19,22	13985	14944
S	13,7	81791	--	433	3,67	--	3,67	11,20	8153	9080
P	2	11940	--	159000	0,54	--	0,54	1,64	1190	341609
P ₂ O ₅	1,40	8121	--	7,5	0,36	--	0,36	1,11	809	825
opl. F	0,028	167	--	1,26	0,01	--	0,01	0,02	17	19
opl. Cl	23,5	140299	--	50	6,29	--	6,29	19,22	13985	14092
N	0,092	549	--	730	0,02	--	0,02	0,08	55	1618
Cl ⁻	--	--	3,19	--	--	9,27	9,27	28,32	20610	20610
F ⁻	--	--	0,03	--	--	0,087	0,087	0,266	194	194

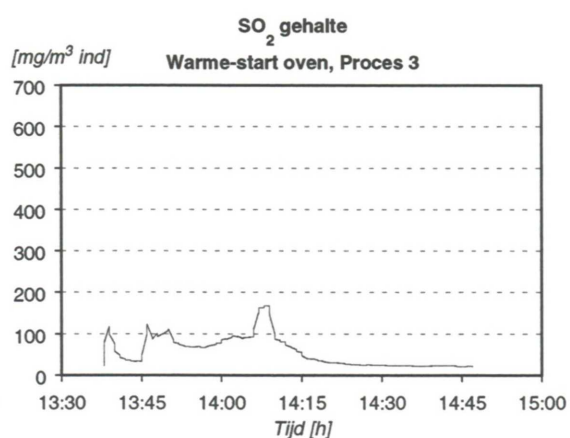
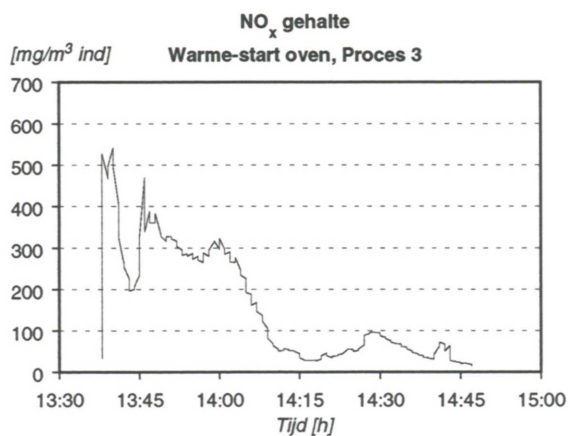
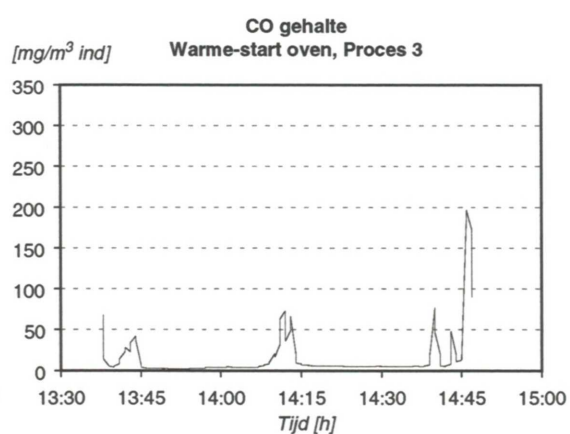
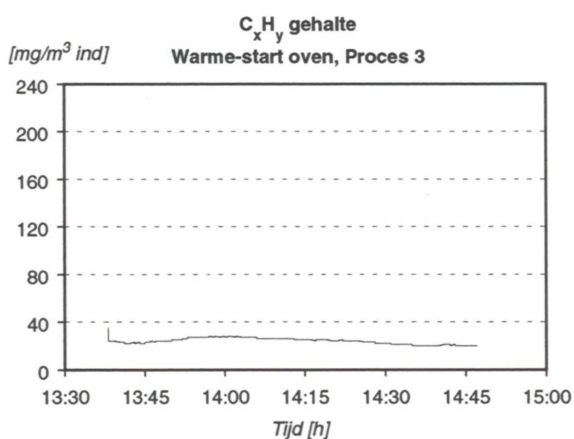
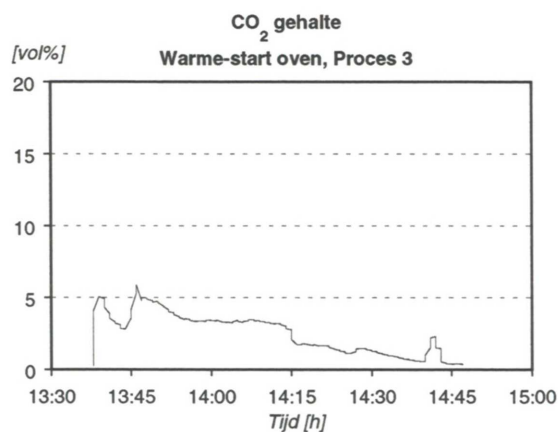
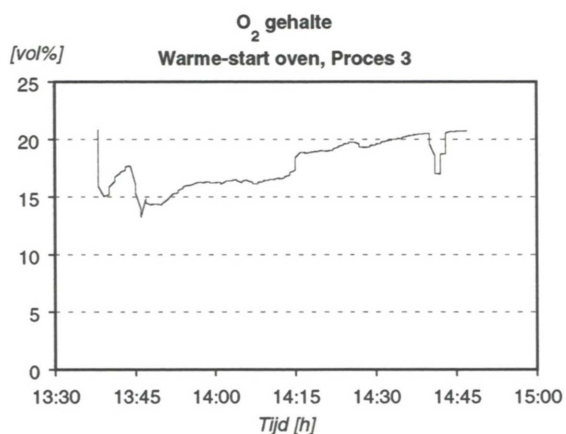
A.7 Verloop continu registrerende metingen; warme-start oven, proces 1



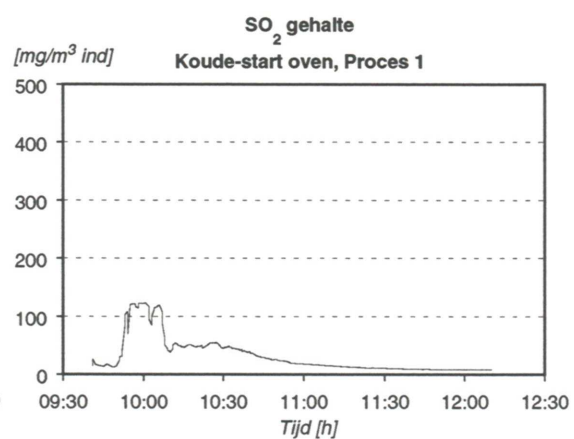
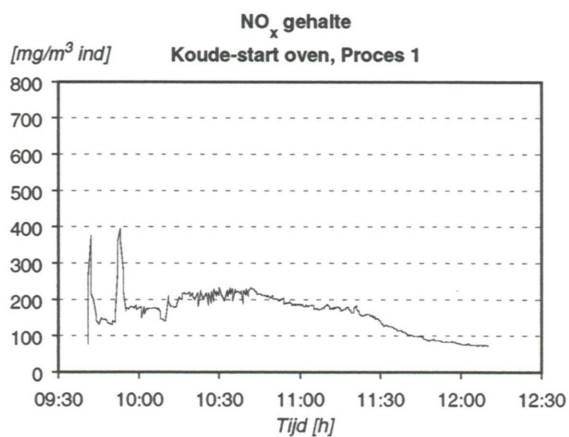
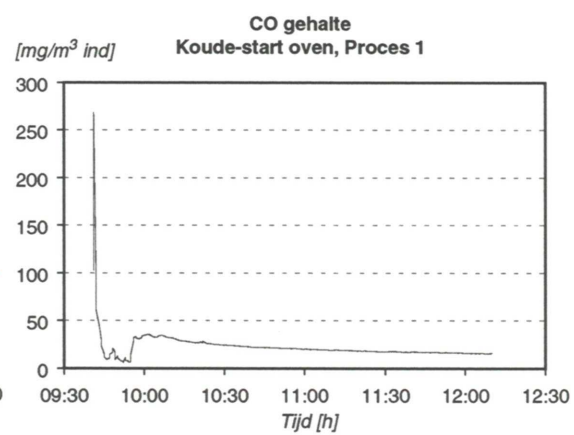
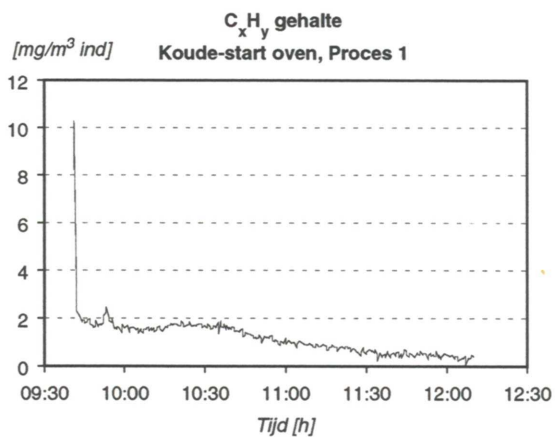
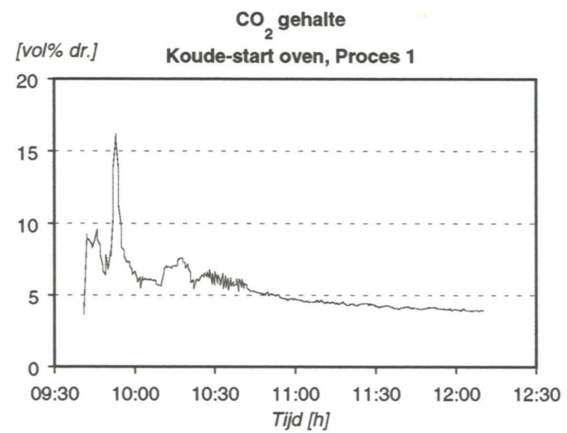
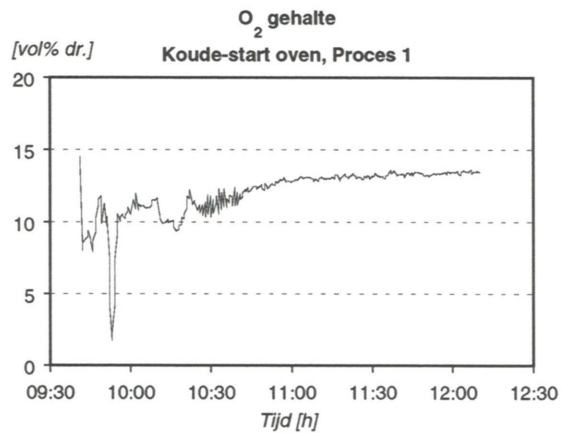
A.8 Verloop continu registrerende metingen; warme-start oven, proces 2



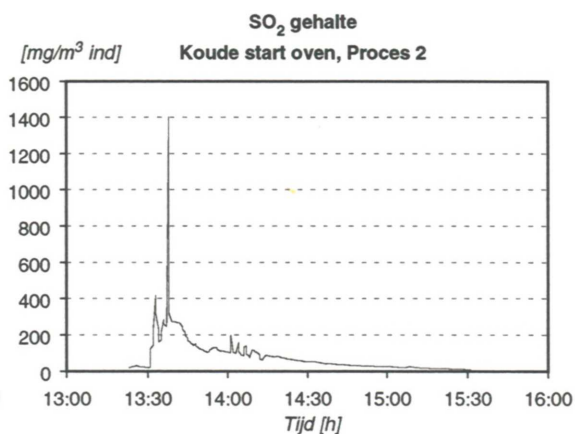
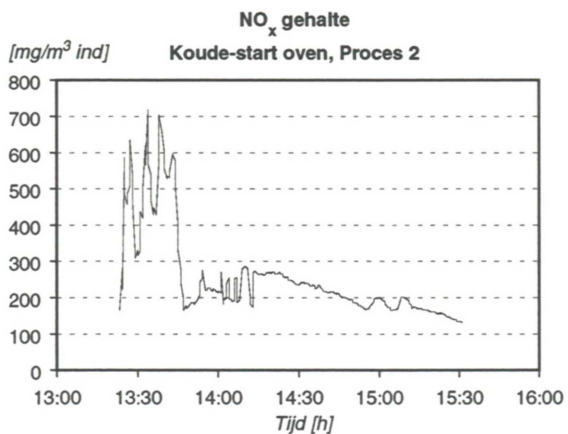
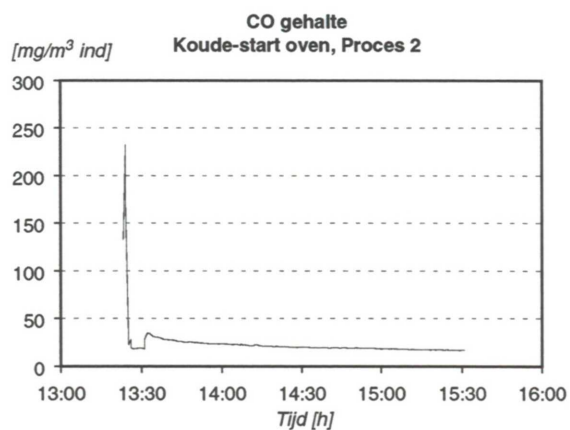
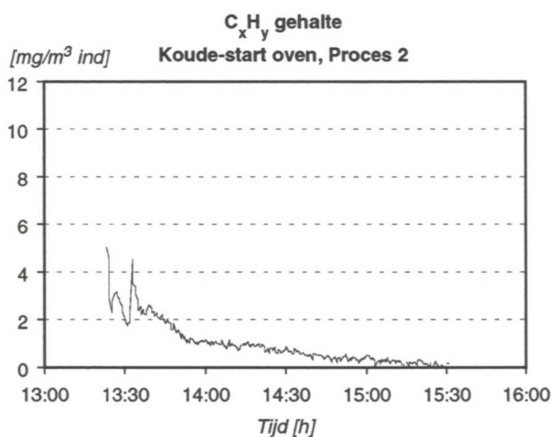
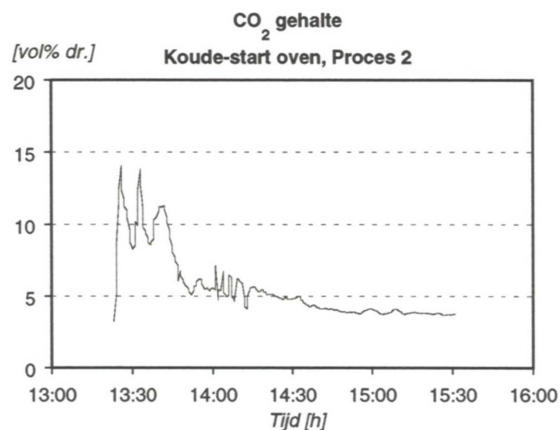
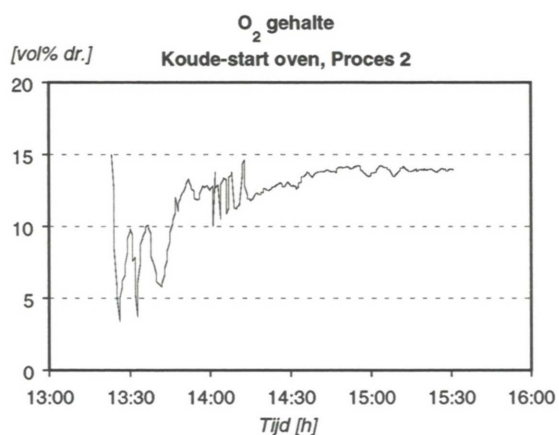
A.9 Verloop continu registrerende metingen; warme-start oven, proces 3



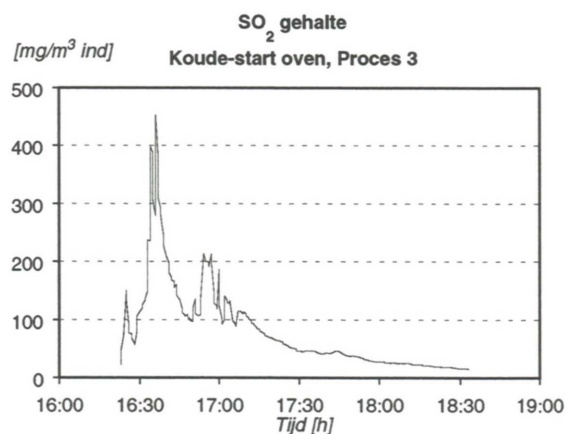
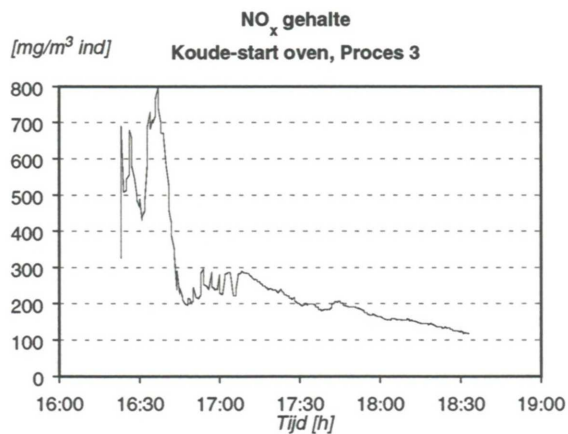
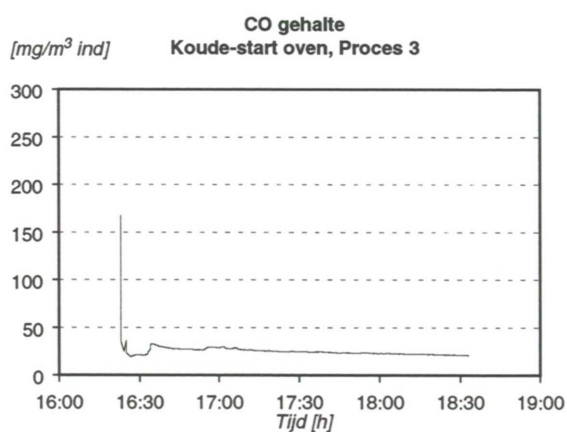
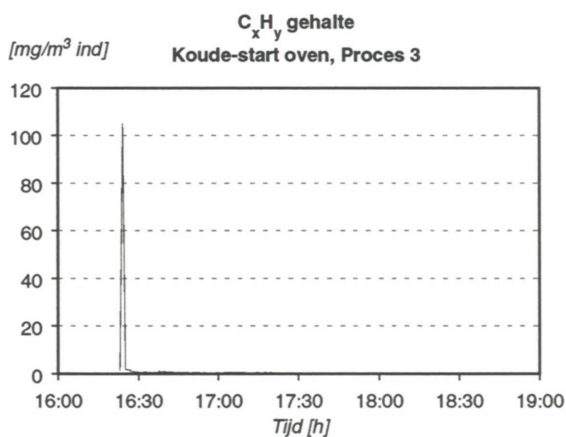
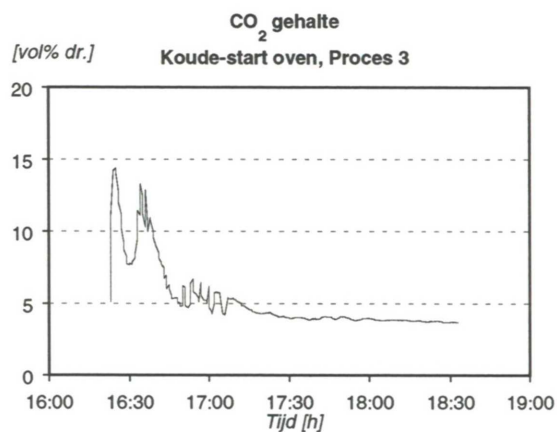
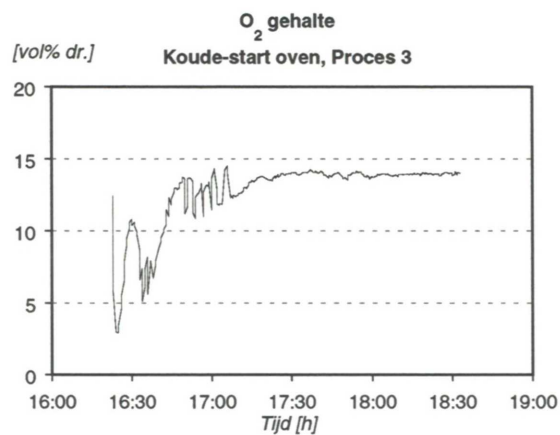
A.10 Verloop continu registrerende metingen; koude-start oven, proces 1



A.11 Verloop continu registrerende metingen; koude-start oven, proces 2



A.12 Verloop continu registrerende metingen; koude-start oven, proces 3



A.13 Procentuele verdeling componenten over uitgangsstromen bij koude-start en 'warme-startstart' proces

Tabel A Procentuele verdeling componenten over uitgangsstromen; warme-start oven.

Component	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Al	83,4 - 96,8	3,2 - 16,6	0,0 - 0,0
As	9,3 - 12,2	86,0 - 89,6	1,1 - 1,9
Au	17,8 - 99,0	0,8 - 68,2	0,2 - 15,7
Ba	75,5 - 92,7	7,0 - 23,8	0,3 - 0,9
Cd	2,1 - 3,3	93,5 - 97,0	0,9 - 3,2
Co	58,9 - 80,3	15,9 - 22,6	2,4 - 18,6
Cr	42,5 - 54,4	37,4 - 43,9	5,3 - 20,1
Cu	79,8 - 93,4	5,6 - 18,9	0,5 - 1,3
Mn	83,4 - 95,6	4,1 - 14,7	0,3 - 1,9
Mo	26,0 - 57,3	36,8 - 62,6	4,0 - 19,6
Ni	72,9 - 87,6	3,4 - 15,5	8,1 - 13,6
Pb	0,7 - 3,0	96,8 - 98,2	0,2 - 1,1
Sb	4,4 - 11,0	87,9 - 95,3	0,3 - 1,1
Se	18,5 - 19,8	51,3 - 55,1	25,1 - 30,2
Sn	43,3 - 60,3	39,5 - 55,3	0,2 - 1,4
Te	23,0 - 30,8	61,4 - 67,6	7,8 - 10,9
V	72,4 - 83,2	6,8 - 14,9	10,0 - 12,7
Zn	2,0 - 17,3	81,5 - 97,7	0,4 - 1,2
Hg	0,03 - 0,04	0,09 - 0,10	99,87 - 99,88
P	99,6 - 99,8	0,21 - 0,35	
P ₂ O ₅	1,9 - 5,9	94,1 - 98,1	
N	0,92 - 3,04	0,03 - 0,10	96,9 - 99,0
S	0,71 - 1,18	5,23 - 10,4	88,5 - 93,8
Cl	2,35 - 4,90	35,9 - 44,0	53,7 - 60,3
F	0,58 - 1,16	6,08 - 10,3	88,9 - 93,3

Tabel B Procentuele verdeling componenten over uitgangsströmen; koude-start oven.

Component	Ovenas [%]	Vliegstof [%]	Rookgas [%]
Al	98,2 - 99,1	0,3 - 1,6	0,1 - 0,2
As	69,9 - 78,1	3,1 - 7,6	17,1 - 26,9
Au	77,2 - 98,4	0,3 - 3,8	1,3 - 19,0
Ba	96,0 - 99,3	0,6 - 3,7	0,1 - 0,2
Cd	29,9 - 52,4	42,5 - 57,8	5,1 - 12,3
Co	74,8 - 92,8	3,4 - 8,4	3,7 - 16,8
Cr	90,5 - 96,0	3,5 - 6,6	0,5 - 4,0
Cu	89,6 - 97,2	2,0 - 5,3	0,5 - 5,1
Mn	92,8 - 99,2	0,8 - 7,0	0,1 - 0,2
Mo	43,1 - 76,1	7,0 - 9,7	17,0 - 47,2
Ni	90,7 - 97,7	1,0 - 2,3	1,3 - 7,8
Pb	9,5 - 20,3	61,1 - 77,8	11,4 - 18,6
Sb	42,7 - 70,4	13,2 - 38,2	15,5 - 19,2
Se	63,1 - 78,5	4,0 - 8,5	17,2 - 28,4
Sn	66,7 - 83,3	14,8 - 22,0	1,9 - 11,3
Te	33,7 - 50,6	2,2 - 5,8	44,5 - 60,6
V	95,8 - 99,2	0,1 - 1,4	0,5 - 2,8
Zn	76,2 - 88,9	10,3 - 22,8	0,5 - 1,0
Hg	0,01 - 0,01	0,06 - 0,19	99,80 - 99,93
P	99,9 - 99,9	0,04 - 0,14	
P ₂ O ₅	94,7 - 99,2	0,8 - 5,3	
N	1,15 - 4,18	0,03 - 0,04	95,8 - 98,8
S	12,5 - 18,5	1,71 - 5,85	75,7 - 85,8
Cl	9,7 - 22,5	7,7 - 26,7	59,3 - 72,6
F	3,73 - 4,85	9,23 - 19,0	77,3 - 85,9

A.14 Recovery-range voor koude-start proces en warme-start proces

Component	Warme-start oven Recovery [%]	Koude-start oven Recovery [%]
Al	2730 - 7460	17700 - 29600
As	137 - 191	88 - 116
Au	214 - 13500	2470 - 42300
Ba	727 - 2400	4620 - 10700
Cd	29 - 41	8 - 24
Co	199 - 330	218 - 838
Cr	205 - 258	458 - 1270
Cu	123 - 470	41 - 118
Mn	21 - 38	28 - 59
Mo	165 - 322	335 - 340
Ni	391 - 2030	316 - 742
Pb	91 - 168	15 - 18
Sb	48 - 64	30 - 33
Se	--	--
Sn	106 - 442	208 - 1520
Te	--	--
V	160 - 226	831 - 3280
Zn	141 - 206	55 - 109
Hg	77 - 101	53 - 113
P	55 - 90	56 - 102
N	3 - 5	1 - 1
S	51 - 83	28 - 58
Cl	32 - 81	32 - 33
F	2 - 2	1 - 1