

Vliegass In Grofkeramische Produkten

Eindrapport

Auteur
R. Gerritsen

Eindredacteur
E. Mulder

Verantwoording:

Opdrachtgever: Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu (NOVEM)

Projectleiding: Hoofdafdeling Maatschappelijke Technologie TNO

Projectleider: R. Gerritsen

Uitvoerenden: ECN - Petten, H.A. van der Sloot, G.J. de Groot
KEMA - Arnhem, N. Bolt, M.J.M. Stam en P. Bloem
KNB - De Steeg, L.S. de Jonge
TPD-TNO, A.H. de Vries
MT-TNO, R. Gerritsen en E. Mulder

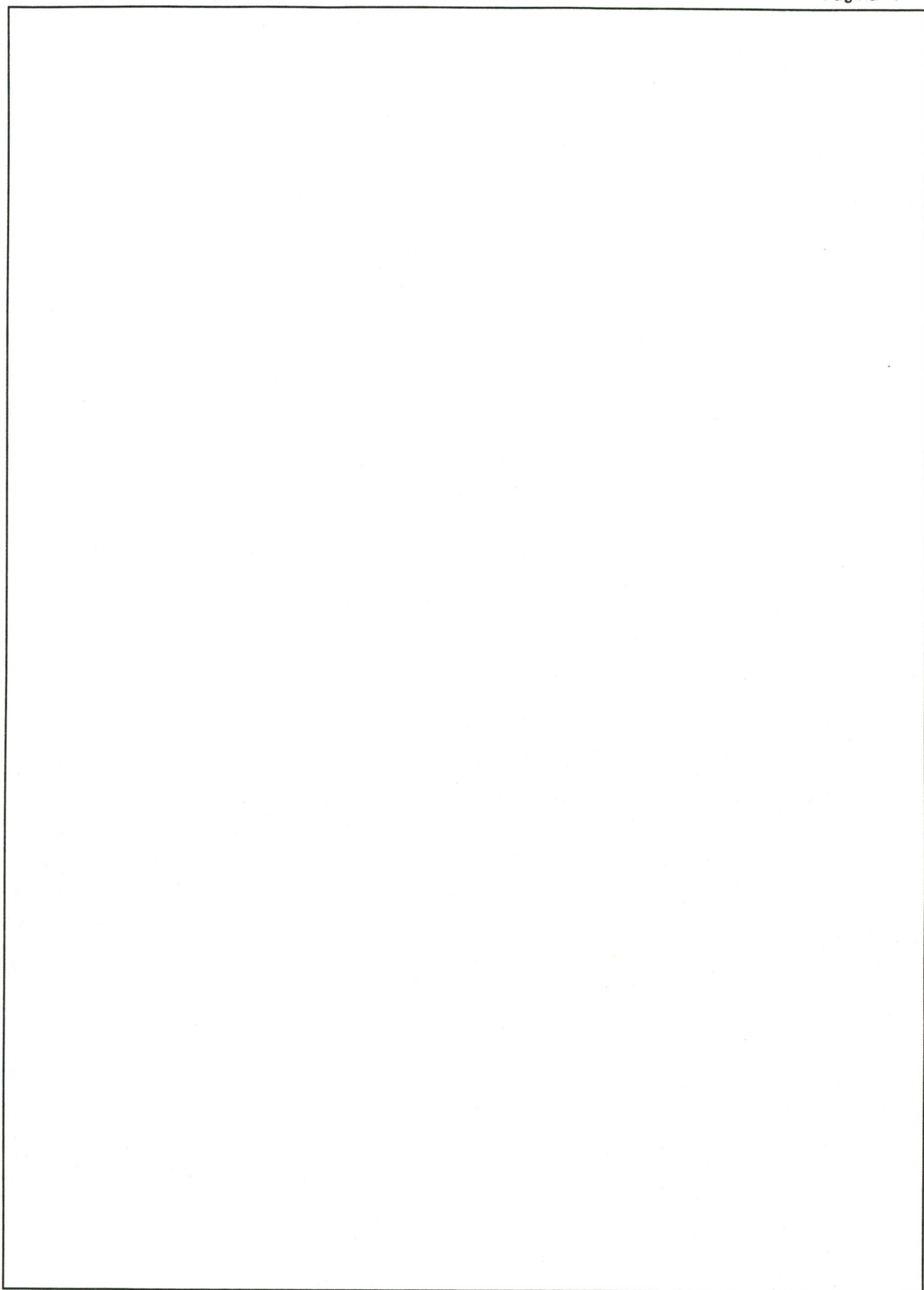
Datum rapport: december 1992

Rapport nummer: 90-014425

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	9
2. DOEL EN OPZET ONDERZOEK	11
3. LITERATUUR ONDERZOEK	13
4. RANGE ONDERZOEK	15
4.1 Doel en opzet range onderzoek	15
4.2 Uitvoering range onderzoek	16
4.3 Resultaten range onderzoek	17
4.4 Conclusies range onderzoek	20
5. PARAMETER ONDERZOEK	23
5.1 Doel en opzet parameter onderzoek	23
5.1.1 <i>Bepaling smeltgedrag, XRD/SEM-onderzoek</i>	23
5.2.2 <i>Bepaling vluchtigheid spoorelementen</i>	24
5.2.3 <i>Traceronderzoek aan produkten</i>	24
5.2 Uitvoering parameter onderzoek	24
5.2.1 <i>Bepaling smeltgedrag</i>	25
5.2.2 <i>Bepaling vluchtigheid spoorelementen</i>	26
5.2.3 <i>Traceronderzoek aan produkten</i>	26
5.3 Resultaten parameter onderzoek	27
5.3.1 <i>Bepaling smeltgedrag</i>	27
5.3.2 <i>Bepaling vluchtigheid spoorelementen</i>	27
5.3.3 <i>Traceronderzoek aan produkten</i>	28
5.4 Conclusies parameter onderzoek	29

6. AANMAAK PROEFPRODUKTEN, "BAKONDERZOEK"	31
6.1 Opzet bakonderzoek	31
6.2 Uitvoering bakonderzoek	31
6.3 Resultaten bakonderzoek	32
6.4 Conclusies bakonderzoek	33
7. UITLOOGONDERZOEK PROEFPRODUKTEN	35
7.1 Doel en opzet uitloogonderzoek	35
7.2 Uitvoering uitloogonderzoek	35
7.3 Resultaten uitloogonderzoek	36
7.3.1 <i>Beschikbaarheidstesten</i>	36
7.3.2 <i>Cascadetesten</i>	37
7.3.3 <i>Standtesten</i>	38
7.4 Conclusies uitloogonderzoek	40
8. EVALUATIE ONDERZOEKSRESULTATEN	41
8.1 Range onderzoek	41
8.2 Bak- en uitloogonderzoek	42
9. CONCLUSIES	45
10. AANBEVELINGEN	47
11. REFERENTIES	49
BIJLAGEN	51



SAMENVATTING

Bij de toepassing van vliegas uit poederkool gestookte centrales als toeslagstof in gebakken straatklinkers die bij Musis Sacrum in Arnhem zijn gebruikt voor aanleg van een plein, is een relatief hoge uitloging van arseen geconstateerd.

Dit is aanleiding geweest tot de start van onderzoek naar de voorwaarden waaronder uit mengsels van klei en vliegas keramische produkten kunnen worden vervaardigd welke een uitlooggedrag van milieubezwaarlijke elementen vertonen dat vergelijkbaar is met dat van keramische produkten die zijn vervaardigd uit traditionele grondstoffen. De opdracht voor dit onderzoek is gegeven door het Ministerie van Economische Zaken (EZ) en het Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kolen (NOK) dat wordt beheerd door het Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu (NOVEM).

Het project droeg de naam "**Vliegas In Grofkeramische Produkten**". De uitvoering van dit project berustte bij ECN, KEMA, KNB, MT-TNO en TPD-TNO.

Het project is in een aantal fasen uitgevoerd.

Als eerste onderdeel is een **literatuurstudie** uitgevoerd, gevolgd door een evaluatie op basis van de verkregen literatuurinformatie en van bestaande kennis. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat er ten aanzien van de milieuaspecten van de toepassing van vliegas in keramische produkten geen ervaring (ook niet in het buitenland) bestaat, anders dan de reeds aangewende literatuur. Ten aanzien van de keramisch technische en economische aspecten kon worden vastgesteld dat vliegas als vervanging van een gedeelte van de klei voordelen kan hebben in de vorm van energiebesparing tijdens drogen en nadelen in een slechtere beheersbaarheid van het bakproces, vooral bij hogere koolstofgehaltes (>3%) in het mengsel. Economisch gezien kan geen besparing op de grondstofkosten worden bereikt, aangezien deze kosten slechts $\pm 15\%$ van de kostprijs van grofkeramische produkten uitmaakt.

Het tweede onderdeel betrof het vaststellen van een **referentiekader** van uitloging van milieubezwaarlijke elementen uit gebakken straatklinker en metselbaksteen welke zijn vervaardigd uit **traditionele grondstoffen**. In dit deelonderzoek is van 16 produkten van Nederlandse baksteenfabrieken met

behulp van beschikbaarheidstesten en cascadetesten volgens NVN 2508 het uitlooggedrag vastgesteld van de elementen arseen, vanadium, molybdeen, cadmium, natrium en calcium. Daarbij bleek de spreiding in uitloging veel groter dan verwacht. Tevens bleek dat de uitloging van de klei/vliegas-steen die bij Musis Sacrum is toegepast binnen de range van traditionele produkten valt.

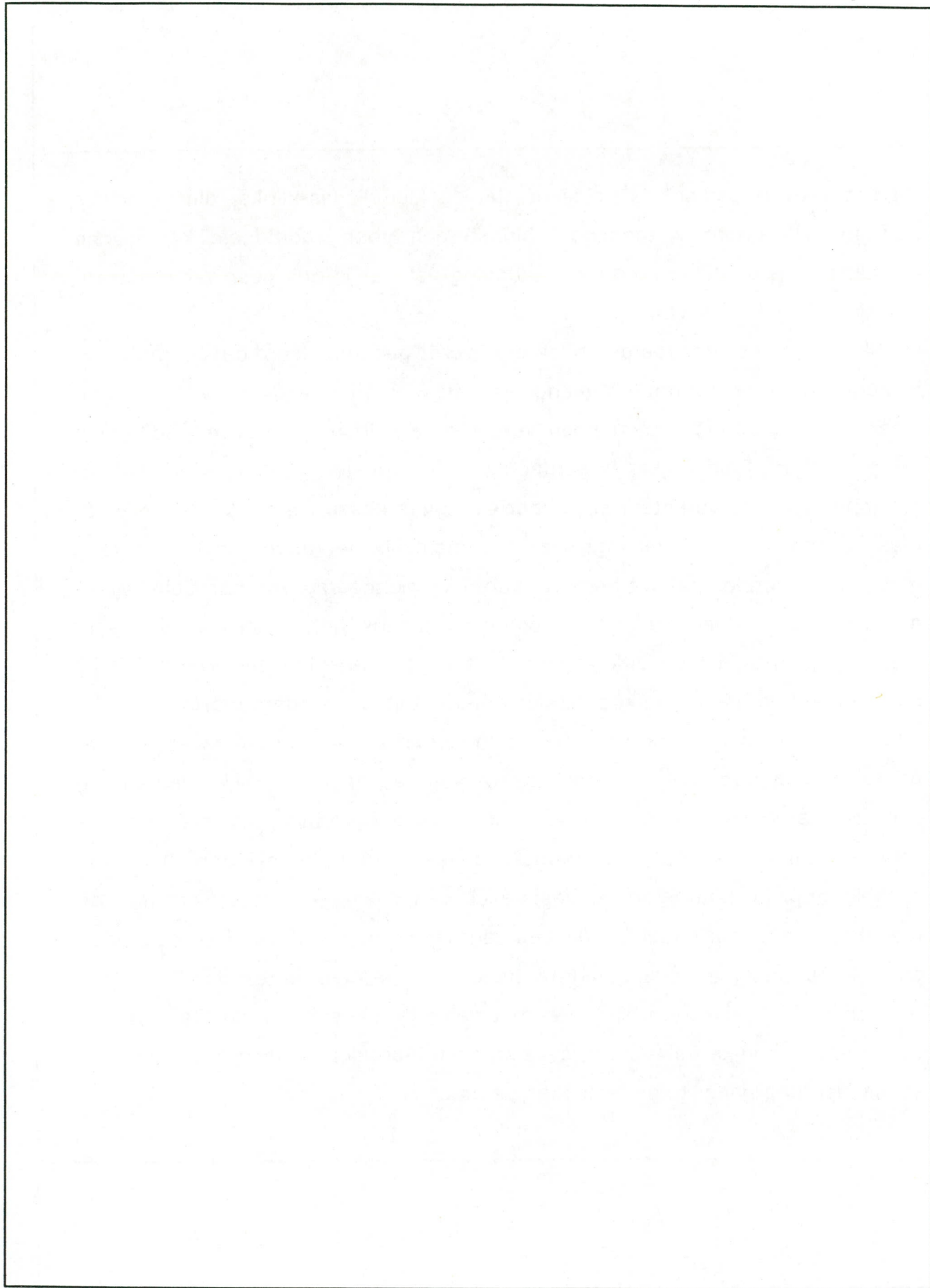
Als derde onderdeel is een **parameter onderzoek** uitgevoerd aan mengsels van een aantal kleisoorten en poederkoolvliegassen. Hierbij is zowel naar keramisch technische eigenschappen als naar milieuhygiënische eigenschappen onderzoek verricht. Uit het keramisch technisch onderzoek is gebleken dat bij een aantal mengsels een veel dichtere structuur wordt verkregen dan verwacht, hetgeen van invloed kan zijn op de uitloogeigenschappen. Voorts is vastgesteld dat ten aanzien van vluchtigheid van componenten die in vliegas wel (of meer) en in klei niet (of minder) voorkomen alleen een hogere SO_3 -emissie behoeft te worden verwacht. Vluchtige spoorelementen, zoals arseen, cadmium en lood komen bij het bakproces niet in aantoonbare hoeveelheden vrij. Uit het milieuhygiënisch parameter onderzoek, uitgevoerd met radiotracers, is gebleken dat toevoeging van calcium aan het mengsel de diffusie van arseen uit het klei/vliegas-produkt met een factor 10 kan verminderen. Er zijn aanwijzingen dat dit wordt veroorzaakt door de dichtere structuur die als gevolg van smeltpuntverlaging door de calciumtoevoeging wordt verkregen. Voorts is vastgesteld dat de kleisoort een belangrijke rol speelt in het uitlooggedrag van klei/vliegas-produkten.

Als laatste onderdeel is een **bakonderzoek** op samengestelde klei/vliegas-mengsels en een **uitloogonderzoek** op de vervaardigde proefstenen uitgevoerd. In het bakonderzoek zijn van 25 klei/vliegas mengsels en 6 kleien proefstenen gebakken onder omstandigheden die zich naar ovens bij baksteenfabrieken laten extrapoleren. Daarbij zijn zowel klinker-kwaliteit als metselbaksteen-kwaliteit produkten vervaardigd. De meeste produkten voldeden aan de gestelde eisen ten aanzien van wateropneming, bakkrimp e.d.; een klein aantal produkten had een te hoge bakkrimp. In het uitloogonderzoek op de proefstenen, wederom uitgevoerd met behulp van beschikbaarheids- en cascadetest en voor een klein aantal produkten tevens met behulp van een standtest, is ook een grote spreiding vastgesteld in uitloogkarakteristieken, evenals bij het range onderzoek.

Uit het VIGP-onderzoek is gebleken dat de klei/vliegas-klinker die bij Musis Sacrum in Arnhem is toegepast binnen een voor traditionele keramische produkten vastgestelde range van uitloging valt. Er is dus geen reden om de "Muis-klinker" te vervangen.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt geconcludeerd dat het mogelijk is keramische produkten uit mengsels van klei en vliegas te vervaardigen waarvan de uitloogeigenschappen vergelijkbaar zijn met die van traditionele klei-produkten. Belangrijker is echter dat is vastgesteld dat die uitloogeigenschappen sterk te verbeteren zijn door een juiste keuze van de klei en vliegas, maar vooral van de bereidingswijze (voornamelijk het bakproces). Door een gedegen vooronderzoek ter bepaling van het smeltgedrag van het klei/vliegas-mengsel (of de klei) kunnen de condities tijdens het bakproces dusdanig worden gekozen dat de uitloging van arseen en vanadium (en waarschijnlijk ook van andere, niet onderzochte elementen) sterk verminderd wordt.

Indien de keramische industrie in voldoende mate is geïnteresseerd in het gebruik van poederkoolvliegas als toevoeging aan of gedeeltelijke vervanging van klei, zal in het geplande vervolgonderzoek een verificatie van de op lab-schaal gevonden resultaten op fabrieksschaal moeten plaatsvinden. Daarbij is de belangrijkste parameter het vaststellen van de mogelijkheden om met de moderne ovens, die heden bij de fabricage van bakstenen worden toegepast, de bakomstandigheden zodanig te beheersen dat de labresultaten kunnen worden gedupliceerd. Hierbij speelt met name de beheersing van de temperatuur een belangrijke rol. Verder is de menging van klei en vliegas op fabrieksschaal een nog nader te onderzoeken parameter.



1. INLEIDING

Bij de toepassing van vlieggas uit poederkool gestookte centrales als toeslagstof in gebakken straatklinkers in het zogenaamde Musis Sacrum project is een relatief hoge uitloging van arseen geconstateerd. Vervolgens is door het Ministerie van Economische Zaken (EZ) en het Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) aan het toenmalige PEO verzocht om onderzoek te laten verrichten naar de voorwaarden waaronder uit mengsels van klei en vlieggas keramische produkten kunnen worden vervaardigd welke een uitlooggedrag van milieubezwaarlijke elementen zoals arseen vertonen dat vergelijkbaar is met dat van keramische produkten die zijn vervaardigd uit traditionele grondstoffen.

Tegen deze achtergrond is het project "**Vlieggas In Grofkeramische Produkten**" ter hand genomen. Het VIGP-project is onder begeleiding van de Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu, NOVEM uitgevoerd. De uitvoering van dit project berustte bij ECN, KEMA, KNB, MT-TNO (tevens projectleiding) en TPD-TNO.

De resultaten van het onderzoek moeten leiden tot een beter inzicht in de mogelijkheden om vlieggas van poederkool gestookte elektriciteitscentrales op commerciële schaal in grofkeramische produkten toe te passen, waarbij de uitloogeigenschappen van deze produkten vergelijkbaar zijn met die van grofkeramische produkten uit traditionele grondstoffen. De commerciële toepassing zelf maakt geen deel uit van het project; over de uitvoering hiervan zullen echter wel voorstellen worden gedaan.

Als eerste onderdeel is een **literatuurstudie** uitgevoerd, gevolgd door een evaluatie op basis van de verkregen literatuurinformatie en van bestaande kennis. Dit onderdeel is in december 1986 gerapporteerd in [1].

Het tweede onderdeel betrof het vaststellen van een **referentiekader** van uitloging van milieubezwaarlijke elementen uit gebakken straatklinker en metselbaksteen welke zijn vervaardigd uit **traditionele grondstoffen**. Dit onderdeel is in augustus 1988 gerapporteerd [2].

Als derde onderdeel is een **parameter onderzoek** uitgevoerd aan mengsels van een aantal kleisoorten en poederkoolvliegassen. Hierbij is zowel naar keramisch technische eigenschappen als naar milieuhygiënische eigenschappen onderzoek verricht. De resultaten van dit parameter onderzoek zijn in drie afzonderlijke rapporten opgenomen.

Het eerste rapport behandelt de keramisch technische aspecten van de genoemde mengsels en de afzonderlijke kleien en vliegassen, [3]. In het tweede rapport wordt aandacht besteed aan het meer of minder vrijkomen van vluchtige metalen tijdens het bakprocédé van de mengsels en afzonderlijke grondstoffen, [4]. Het laatste rapport in het derde onderdeel betreft uitloogonderzoek aan gebakken mengsels met behulp van tracers, [5].

Het voorliggende rapport is het **eindrapport** van het VIGP-project. In dit rapport worden de resultaten zoals beschreven in de eerder genoemde deelrapporten samengevat. Tevens wordt het laatste onderdeel van het project gerapporteerd dat de resultaten van het bakonderzoek en het uitloogonderzoek aan proefstenen behandelt.

In het rapport worden de deelonderzoek in chronologische volgorde behandeld. Elk hoofdstuk wordt, indien van toepassing, afgesloten met een aantal conclusies, dit om de overzichtelijkheid van het rapport te bevorderen. Aan het einde van het rapport wordt het totale onderzoek geëvalueerd en worden de belangrijkste conclusies nogmaals samengevat. Tenslotte worden in een afzonderlijk hoofdstuk een aantal aanbevelingen gedaan ten aanzien van het gebruik van de resultaten van het onderzoek op praktijkschaal.

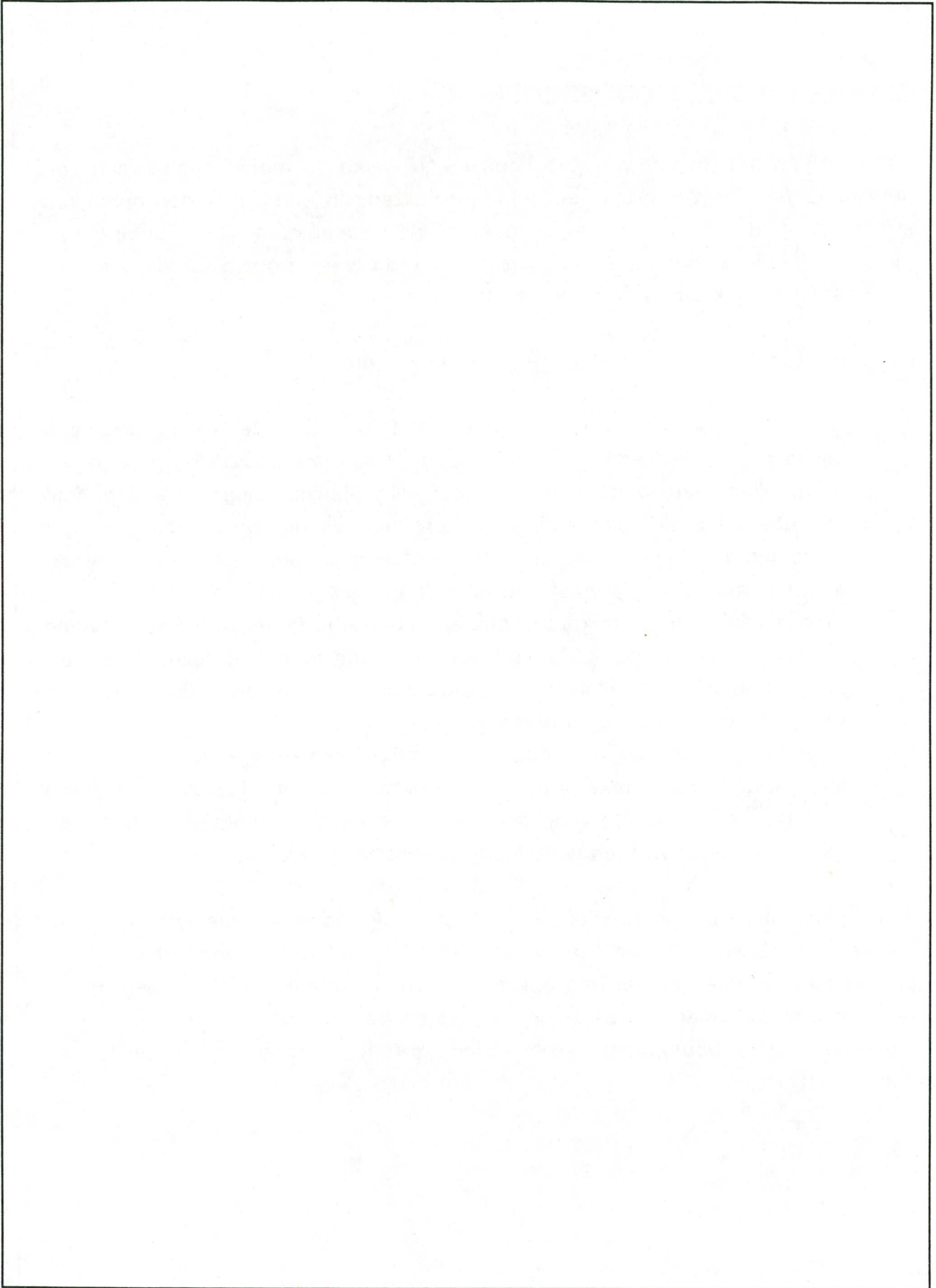
2. DOEL EN OPZET ONDERZOEK

Het doel van het project was te onderzoeken welke de mogelijkheden zijn van het vervaardigen van grofkeramische produkten, in het bijzonder gebakken straatklinker, uit mengsels van vliegashoudende klei, zodanig dat de uitloging van milieubezwaarlijke elementen van dezelfde orde van grootte is als die van keramische produkten uit traditionele grondstoffen.

Het project is volgens onderstaande opzet uitgevoerd:

1. Bestuderen van beschikbare informatie omtrent de toepassing van vliegassen in grofkeramische produkten (*literatuur onderzoek*);
2. Vaststellen van een referentiekader ten aanzien van uitloging van milieubezwaarlijke elementen uit grofkeramische produkten, in het bijzonder gebakken straatklinker en metselbaksteen, welke zijn vervaardigd uit traditionele grondstoffen (*range onderzoek*);
3. Inzicht verkrijgen in de keramische en chemische factoren die van invloed kunnen zijn op de uitloging van milieubezwaarlijke elementen uit vliegashoudende grofkeramische produkten, in het bijzonder gebakken straatklinker (*parameter onderzoek*);
4. Vaststellen van de uitloging van milieubezwaarlijke elementen uit vliegashoudende grofkeramische produkten, in het bijzonder gebakken straatklinker, waarbij vliegassoort, kleisoort, mengverhouding en baktemperatuur worden gevarieerd (*toepassingsonderzoek*).

Een vergelijking van de resultaten van het VIGP-onderzoek met het ontwerp "Bouwstoffenbesluit" in het kader van de Wet Bodembescherming is in het project niet voorzien en zal dan ook niet worden gemaakt. Wel worden indien relevant vergelijkingen gemaakt met resultaten van inventariserende onderzoeken aan andere bouwmaterialen of grondstoffen daarvoor, bijvoorbeeld het "Mammoet-project".



3. LITERATUUR ONDERZOEK

Om de uitgangspunten voor het VIGP-onderzoek vast te kunnen leggen is een literatuur recherche uitgevoerd naar de beschikbare informatie omtrent de toepassing van vliegassen van poederkool gestookte elektriciteitscentrales in grofkeramische produkten. De literatuur recherche is uitgevoerd door KNB en TPD-TNO (keramische en economische aspecten) en KEMA (milieuhygiënische aspecten). De resultaten zijn gerapporteerd in december 1986, [1].

De belangrijkste conclusies uit het literatuur onderzoek zijn:

Keramisch technische aspecten

De toepassing van vliegassen is vooral interessant als **vermageringsmiddel**. Op grond van ervaringen tot nu toe wordt gesteld dat een toevoeging van vliegas van 20% haalbaar is. Dit hangt mede af van koolstofgehalte van de vliegas en de korrelopbouw van het klei/vliegas-mengsel.

Gebruik van vliegas kan leiden tot verlaging van het **vormgevingswatergehalte**, hetgeen de maatvastheid bevordert en een **energiebesparing** tijdens het droogproces mogelijk maakt.

De bolvormige structuur van de vliegasdeeltjes heeft een positieve invloed op het **drooggedrag** terwijl de droogkrimp terugloopt.

Een te sterke variatie van het **koolstofgehalte** in de vliegas maakt de beheersing van het bakproces moeilijk of zelfs onmogelijk. Produkten van inferieure kwaliteit kunnen het resultaat zijn. Voor gebakken straatklinkers wordt een maximaal koolstofgehalte in het klei/vliegas-mengsel van 2 à 3 % genoemd.

Economische aspecten

Het aandeel van klei in de **kostprijs** van traditionele bakstenen bedraagt ongeveer 15%. Vervanging van een gedeelte van de klei door vliegas beïnvloedt de kostprijs van het produkt, gezien vanuit de grondstofkosten, nauwelijks.

Door toevoeging van vliegas kan het **droogproces** worden vergemakkelijkt waardoor kan worden bespaard op droogruimte. De beschikbare informatie is (nog) niet voldoende om de economische effecten te kunnen kwantificeren.

Het op praktijkschaal **mengen** van vliegas en klei is niet eenvoudig. De bij steenfabrieken beschikbare mengapparatuur is niet altijd geschikt. De kosten van aanpassing van de mengapparatuur kunnen nog niet worden overzien.

Milieuhygiënische aspecten

Er zijn geen buitenlandse ervaringen met **uitloging** van klei/vliegas bakstenen. Nederlandse ervaringen geven aan dat het uitlooggedrag sterk afhankelijk is van de kleisoort.

Tengevolge van toepassing van vliegas in bakstenen wordt een verhoogde emissie van **zwaveldioxyde** verwacht.

4. RANGE ONDERZOEK

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens doel en opzet, uitvoering en resultaten van het range onderzoek besproken. Aan het einde wordt afgesloten met een aantal conclusies.

4.1 Doel en opzet range onderzoek

Het range onderzoek is uitgevoerd met de volgende doelstelling:

"Vaststellen van een referentiekader ten aanzien van uitloging van milieu-bezwaarlijke elementen uit grofkeramische produkten, in het bijzonder gebakken straatklinker en metselbaksteen, welke zijn vervaardigd uit traditionele grondstoffen".

Door het realiseren van deze doelstelling wordt het mogelijk om keramische produkten waarin een deel van de klei door vliegashoudend materiaal is vervangen, te vergelijken met produkten die geheel uit klei zijn vervaardigd. Ook een onderlinge vergelijking van kleisoorten en/of produktrecepten behoort tot de mogelijkheden. Indien de benadering wordt gekozen waarin men ervan uitgaat dat produkten uit andere dan traditionele grondstoffen qua uitloging van milieubezwaarlijke elementen acceptabel zijn indien de uitloging van deze elementen van dezelfde orde is, ofwel "valt binnen de range van traditionele produkten" dan kan met een dergelijk "range onderzoek" worden volstaan.

Het onderzoek is uitgevoerd op 13 kleisoorten en daaruit vervaardigde produkten, indien mogelijk in twee kwaliteiten (sortering 0/4 en 12/20 bij gebakken straatklinkers en hard (A) en zacht (B) bij metselbaksteen). In totaal zijn 16 produkten in het onderzoek betrokken. De onderzochte produkten vormen een representatief beeld van de in Nederland vervaardigde klinkers en bakstenen.

Aan de monsters zijn codes toegekend volgens een coderingssysteem dat door het gehele VIGP-project is gebruikt. In bijlage 1 wordt dit coderingssysteem omschreven.

In het range onderzoek is ter vaststelling van het uitlooggedrag gebruik gemaakt van twee soorten uitloogtesten.

In de eerste plaats is dit de **beschikbaarheidstest**. Met behulp van deze test, die deel uitmaakt van de gestandaardiseerde uitloogprocedure zoals voorgeschreven in NVN 2508 [6], wordt de maximale uitloogbaarheid bepaald. Op dit resultaat hebben fysische bindingsvorm en de aanwezigheid van Ph-bufferende stoffen geen invloed. De test wordt vaak gebruikt om materialen onderling te vergelijken en om effecten van chemische binding bij toevoegingen vast te stellen. In het onderhavige onderzoek kan de beschikbaarheidstest zowel voor onderlinge vergelijking van traditionele produkten, als voor vaststellen van het effect van klei-vervanging door vlieggas worden gebruikt.

In de tweede plaats wordt gebruik gemaakt van de **cascadetest**. Deze test maakt eveneens deel uit van de gestandaardiseerde procedure. De cascadetest dient ter vaststelling van het uitlooggedrag van korrelvormige materialen op lange termijn. Binnen het VIGP-project is de cascadetest toegepast om onderscheid in het tijdseffect van de uitloging van verschillende produkten vast te leggen.¹

4.2 Uitvoering range onderzoek

De te onderzoeken produkten en kleien zijn direct bij de steenfabrieken bemonsterd volgens de in de keramische industrie toegepaste richtlijnen. Van de produkten zijn monsters van 15-25 stenen genomen met een totaal gewicht van 30-50 kg. Van de 4 soorten klei die in de volgende fase van het onderzoek voor de vervaardiging van klei/vlieggas-produkten gebruikt zouden gaan worden is tevens een hoeveelheid van enkele honderden kilo's bemonsterd in de vorm van gedroogde klei-vormelingen (ongebakken "stenen").

De monsters gebakken produkt zijn ieder afzonderlijk voorverkleind in een kaakbreker en vervolgens na deelmonsterneming met behulp van een roterende monsterverdeler naverkleind tot <0.15 mm in een centrifugaalmolen. Uit de naverkleinde monsters zijn deelmonsters genomen met een roterende monsterverdeler. De deelmonsters, elk 80-100 gram, zijn vervolgens verpakt in

¹Voor het vastleggen van het tijdseffect van de uitloging uit voorgevormde produkten wordt tegenwoordig de **standtest** gebruikt. Bij deze test kan het te onderzoeken produkt in intacte toestand worden onderzocht, hetgeen een veel getrouwer beeld geeft van de werkelijke milieubelasting door uitloging. Bij de start van het VIGP-project was de standtest nog niet ver genoeg ontwikkeld om voor de beoogde doelen binnen het project te worden toegepast.

plastic zakjes en verzonden naar de deelnemende instituten ten behoeve van chemische analyses en uitloogexperimenten.

De opwerking van de monsters gedroogde klei wordt beschreven in §6.2.

De chemische analyses zijn uitgevoerd door ECN, grotendeels met behulp van Instrumentele Neutronen Activerings Analyse. Een aantal monsters zijn tevens op de in de keramische industrie gebruikelijke wijze door KNB (Technisch Centrum voor de Keramische Industrie) geanalyseerd [2].

Het uitloogonderzoek is uitgevoerd door KEMA, KNB en MT-TNO. Voor een deel zijn uitloogtesten door deze instituten op dezelfde produkten uitgevoerd. Ten behoeve van het uitloogonderzoek is na ontvangst van de verzendmonsters een deelmonster genomen van ca. 40 gram voor de cascadetest en ca. 8 gram voor de beschikbaarheidstest. De beschikbaarheidstest (Ph-test) en cascadetest zijn door alle instituten volgens de standaard procedure uitgevoerd [2,6].

4.3 Resultaten range onderzoek

In dit rapport worden niet alle resultaten van het range onderzoek vermeld. Voor de volledige resultaten wordt naar de deelrapportage van dit onderdeel verwezen [2]. De belangrijkste resultaten worden onderstaand samengevat.

Op basis van de resultaten van een oriënterend onderzoek naar de chemische samenstelling en de uitloogeigenschappen van een 'Musis-steen' en een referentie-steen uit dezelfde klei [12], is een keuze gemaakt ten aanzien van de te analyseren elementen. Op grond van de concentraties in de monsters en de uitloogvloeistoffen en op basis van hun potentiële milieu-schadelijkheid, zijn de elementen arseen, molybdeen en vanadium gekozen. Cadmium is op grond van het hoge uitloogpercentage meegenomen. Op grond van hun rol bij de beschrijving van het uitloogproces zijn in een aantal gevallen respectievelijk calcium, kalium en/of natrium in de analyses betrokken.

Chemische karakterisering

In bijlage 2 zijn de resultaten van de chemische karakterisering opgenomen. In tabel 4.1 zijn de resultaten (gemiddelden en standaard deviatie) van de analyses samengevat.

Tabel 4.1: Gemiddelde analyseresultaten kleimonsters en gebakken produkten

		Klei		Geb.produkten		Vliegas	
As	mg/kg	11,9	± 3,1	13,2	± 3,3	77	± 28
Mo	mg/kg	7	± 3	47	± 31	25	± 10
V	mg/kg	82	± 25	97	± 49	343	± 87
Cd	mg/kg	0,6	± 0,4	0,5	± 0,2	0,9	± 0,4
Ca	%	2,7	± 1,9	3,3	± 2,1	NA	± NA
Na	%	0,6	± 0,15	0,67	± 0,14	0,40	± 0,15
K	%	1,7	± 0,13	1,89	± 0,24	1,50	± 0,64

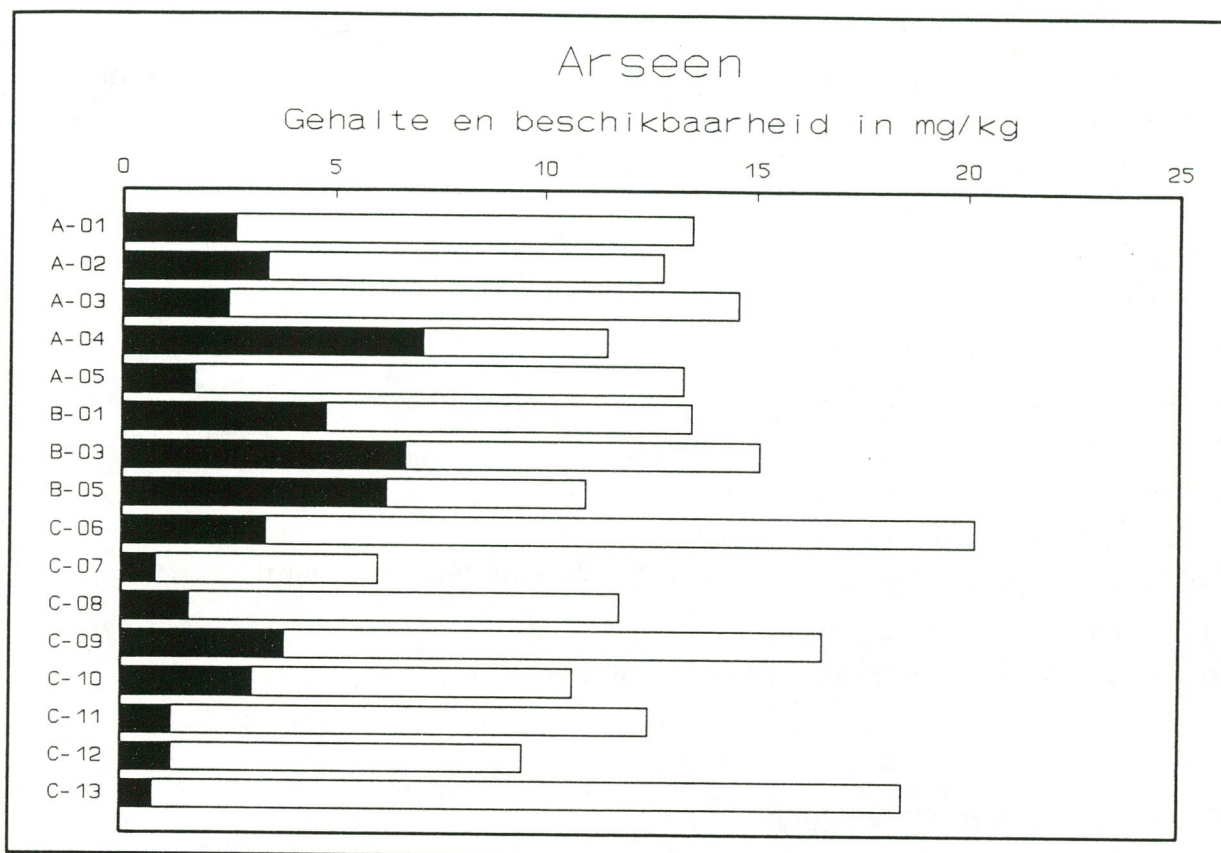
Ter vergelijking is in de laatste kolom de gemiddelde chemische samenstelling van de 4 vliegasmonsters die voor de vervaardiging van klei/vliegas-stenen zijn gebruikt vermeld.

Als de gemiddelde samenstelling van de klei met die van de gebakken produkten wordt vergeleken, valt op dat de gehalten in de gebakken produkten gemiddeld 5-10% hoger zijn ten opzichte van de klei. Dit is het gevolg van verbranding van organische componenten uit de klei, tijdens het bakproces. Een verhoogde concentratie aan molybdeen in de gebakken produkten t.o.v. de klei laat zich niet verklaren uit contaminatie tijdens de verkleining. De juiste oorzaak kon niet worden achterhaald.

Bij een beschouwing van de resultaten van de chemische karakterisering valt direct op dat de spreiding in concentratie van de onderzochte componenten onverwacht hoog is. Alleen de kalium-concentratie vertoont weinig spreiding. Ter illustratie is in figuur 4.1 in een staafdiagram de concentratie in de onderzochte produkten weergegeven. Tevens is in deze figuur met een donker gearceerd gedeelte de gemeten beschikbaarheid aangegeven.

Uitloogtesten

Tijdens de uitvoering van het uitloogonderzoek is gebleken dat de resultaten van de cascadetesten worden beïnvloed door de wijze van uitvoering. Uit een aanvullend onderzoek, dat eveneens in het deelrapport [2] van onderdeel 2 wordt beschreven, is gebleken dat opname van CO₂ daarbij een zeer grote rol speelt. Vooral in het gebied tussen pH 6 en 9 wordt de pH van de suspensie sterk beïnvloed door de wijze van agiteren. De pH-verschillen beïnvloeden op hun beurt de uitloging van arseen, vanadium etc.



Figuur 4.1: Samenstelling en beschikbaarheid traditionele producten

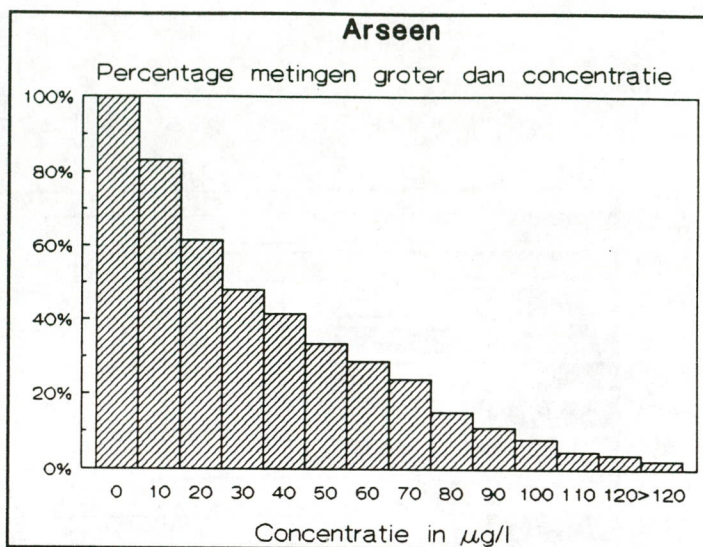
De verschillen tussen uitvoerende instituten kunnen worden beperkt door een nauwkeuriger omschrijving in het voorschrift voor de cascadetest. In het zeer gevoelige pH-gebied tussen pH 6 en 9, zal door verschil in uitvoering een ander tijdseffect van uitloging worden gemeten.

Bovenstaande heeft er mede toe geleid dat de resultaten van de beschikbaarheidstest als basis voor de onderlinge vergelijking binnen het range onderzoek hebben gediend. Bovendien is gebleken dat voor alle onderzochte materialen de cumulatieve emissie in de cascadetest bij $L/S = 100$ l/kg vrijwel gelijk was aan de beschikbaarheid. Door de toch al geringe relatie tussen de cascadetest en uitloging van keramische producten in praktijksituaties heeft een uitgebreide evaluatie op basis van de cascadetest resultaten geen zin.

In bijlage 3 worden de resultaten van het range onderzoek samengevat. In deze bijlage is volstaan met de resultaten van beschikbaarheidstesten. De resultaten van het range-onderzoek zijn in [2] naast volgens de gebruikelijke weergave, ook nog in zogenaamde frequentieverdelingen verwerkt, om een indicatie van het niveau van uitloging van traditionele producten te kunnen geven. Daarbij wordt meer dan alleen een minimaal en maximaal niveau aangegeven.

In §4.1 is gesteld dat met een range onderzoek kan worden volstaan om een referentiekader van traditionele produkten vast te stellen bij een keuze voor de "produktnorm"-benadering. De weergave in frequentie-verdelingen geeft meer informatie over de waarde die aan een dergelijk referentiekader moet worden toegekend. Een uitschieter, vooral naar boven, kan veel beter worden beoordeeld dan in een cijfer reeks van minima en maxima.

Een voorbeeld van een "frequentie-verdeling" wordt in figuur 4.2 gegeven.



Figuur 4.2: Voorbeeld frequentieverdeling

4.4 Conclusies range onderzoek

De belangrijkste conclusies van het range onderzoek zijn:

Samenstelling klei en produkten:

Uit de chemische karakterisering van de kleimonsters en de gebakken produkten kan worden opgemaakt dat de spreiding in gehaltes van een aantal elementen vrij hoog is. Alleen het gehalte aan kalium is in alle monsters vrij stabiel. De gehaltes aan arseen variëren van 5 tot 19 mg/kg, vanadium komt voor in concentraties tussen 60 en 150 mg/kg en de cadmiumconcentraties variëren van 0.2 tot 1.3 mg/kg. Bij de hoofdcomponenten valt de grote variatie in de calciumconcentratie op. Het gehalte aan calcium in de monsters varieert van 0.5 tot 7.2%.

Beschikbaarheidstest:

Evenals bij de samenstelling het geval is, wordt ook in de beschikbaarheid een vrij grote spreiding in de onderzochte produkten geconstateerd. Bij arseen varieert de beschikbaarheid tussen 4 en 62%, vanadium is tussen 0.4 en 12% uitloogbaar. Bij molybdeen blijft de beschikbaarheid onder de 3%. Bij de hoofdcomponenten is de beschikbaarheid van natrium en kalium gering, evenals

de spreiding in de resultaten. De beschikbaarheid van calcium is voor alle monsters minder dan 10%, met uitzondering van monster C-13, waaruit meer dan de helft van het calcium uitloogbaar is. De spreiding in beschikbaarheid is zeer groot.

Cascadetest:

De constatering bij de samenstelling en beschikbaarheid ten aanzien van de spreiding in resultaten geldt ook voor de resultaten van de cascadetesten. De pH van de stappen 1 t/m 5 van de cascadetest varieert van iets meer dan pH 3 tot bijna pH 11. Bij arseen variëren de gemeten concentraties tussen <10 en 150 microgram per liter, bij vanadium tussen 5 en 250 microgram per liter. Cadmium en molybdeen logen uit in zeer lage concentraties, grotendeels onder de detectiegrens van 0.1 microgram per liter voor cadmium en 1 microgram per liter voor molybdeen. De uitloging van de hoofdcomponenten vertoont voor natrium en kalium, met uitzondering van monster C-13, een geringe spreiding. Bij calcium is de spreiding wel groot. Een duidelijke relatie tussen de gemeten uitloogeigenschappen en de chemische samenstelling kan niet worden vastgesteld.

Vergelijking uitloogtesten:

De cumulatieve uitloging bij $L/S = 100$ l/kg in de cascadetest komt in grote lijnen overeen met de gemeten beschikbaarheid. Anders gezegd: de voor uitloging beschikbare hoeveelheden zullen op lange termijn ook daadwerkelijk in het milieu geraken. Over het tempo waarin dit gebeurt kunnen met de resultaten van de cascadetest geen uitspraken worden gedaan. Dit houdt in dat de cascadetest weinig extra informatie oplevert ten opzichte van de beschikbaarheidstest. Voor dit doel is standtest ook in vergelijkend onderzoek aan produkten in het vervolg te verkiezen boven de cascadetest.

Vergelijking produkten:

Het monster C-13 vertoont een duidelijk afwijkend uitlooggedrag ten opzichte van de andere monsters, vooral ten aanzien van de beschikbaarheid van de hoofdcomponenten. Dit is het gevolg van het gebruik van mijnsteen en vliegias als vervanging van een deel van de klei. Opvallend is dat dit produkt ten aanzien van de resultaten voor arseen en vanadium de laagste beschikbaarheid oplevert. Op basis van de toevoeging van vliegias zou van dit monster een verhoogde uitloging aan arseen, molybdeen en vanadium mogen worden verwacht. Dit

blijkt echter geenszins het geval, hetgeen wellicht aanknopingspunten biedt voor beïnvloeding van het uitlooggedrag van produkten waarin vliegias is verwerkt. Een vergelijking tussen drie harde en zachte kwaliteiten gebakken produkten heeft laten zien dat de harder gebakken produkten voor alle gemeten elementen een significant hogere uitloging vertonen ten opzichte van de zachter gebakken produkten. Vooral bij de elementen arseen en vanadium is het verschil vrij groot, soms meer dan een factor 2 in concentratie, of zelfs een factor 5 in beschikbaarheid. Een hogere baktemperatuur betekent dus niet zonder meer, zoals op grond van eerdere onderzoeken verwacht, een betere insluiting van uitloogbare elementen.

Gebruik resultaten range onderzoek

Uit de resultaten van het range onderzoek kan worden afgeleid dat de oorspronkelijke doelstelling van het range-onderzoek wellicht bijstelling behoeft. De spreiding in samenstelling en uitloogeigenschappen van de traditionele produkten is, vooral voor de twee belangrijkste elementen, arseen en vanadium, veel groter dan verwacht. Bovendien bevinden zich de concentraties en beschikbaarheden voor deze twee elementen op een relatief hoog niveau in vergelijking met andere traditionele produkten [11], zie ook bijlage 8.1. In deze bijlage wordt de cumulatieve arseen- en vanadium-uitloging in de cascade-test (bij $L/S = 100$) van de onderzochte traditionele bakstenen vergeleken met die van andere produkten en grondstoffen.

5. PARAMETER ONDERZOEK

5.1 Doel en opzet parameter onderzoek

Het parameter onderzoek heeft als doel:

"Het verkrijgen van inzicht in de keramische en chemische factoren die van invloed zijn op de uitloging van milieubezwaarlijke elementen uit vliegashoudende grofkeramische produkten, in het bijzonder gebakken straatklinker."

Ter verwezenlijking van deze doelstelling is het parameter onderzoek uitgevoerd in drie deelonderzoeken door achtereenvolgens TPD-TNO, KEMA en ECN.

Met behulp van de opgedane ervaring in het parameter onderzoek dienen de klei/vliegas-mengsels voor het laatste gedeelte van het onderzoek te worden samengesteld. De keramisch technische optimale condities en de optima met betrekking tot het uitlooggedrag, moeten dan het inzicht kunnen verschaffen om de juiste combinaties klei en vliegas en de optimale bereidingswijze te kunnen vastleggen.

In de navolgende paragrafen worden doel en opzet van deze deelonderzoeken besproken.

5.1.1 *Bepaling smeltgedrag, XRD/SEM-onderzoek*

Mengsels van 4 soorten klei en 4 soorten vliegas en tevens de kleien en vliegassen afzonderlijk, zijn onderworpen aan een zogenoemd dilatometer onderzoek. Daarin worden een aantal kernpunten in het temperatuurtraject vastgelegd. Deze kernpunten geven inzicht in de (on)mogelijkheid om op fabrieksschaal uit de betreffende mengsels goede produkten te maken.

Om dit onderdeel te ondersteunen zijn van een aantal onbehandelde mengsels en dezelfde mengsels in gebakken vorm opnamen met een Scanning Elektronen Microscoop (SEM) gemaakt. Met behulp van deze opnamen moeten verschillen in structuur zichtbaar worden gemaakt. Tevens zijn Röntgendiffractie analyses uitgevoerd ter vaststelling van de kristalstructuur van de mengsels en daaruit vervaardigde produkten.

5.2.2 *Bepaling vluchtigheid spoorelementen*

Van 6 mengsels klei en vliegas, 4 soorten klei en 4 soorten vliegas is de vluchtigheid van spoorelementen onderzocht bij omstandigheden die zich bij de bereiding van bakstenen in een oven voordoen. Daarbij zijn de afgassen van de oven geanalyseerd op de aanwezigheid van vluchtige spoorelementen, zoals arseen, cadmium, lood, zwavel en fluor. Het gedrag van de klei/vliegas-mengsels is met name van belang om te bezien of bij toepassing van vliegas op verhoging van emissies van vluchtige elementen rekening dient te worden gehouden.

5.2.3 *Traceronderzoek aan produkten*

Om het mechanisme van uitloging van met name arseen uit gebakken mengsels van klei en vliegas te doorgronden, is op een aantal speciaal daarvoor aangemaakte produkten een uitloogonderzoek uitgevoerd met behulp van radiotracers. Daarbij bestaat de mogelijkheid om het gedrag van een specifieke chemische vorm van een element te bestuderen om zodoende onder meer de herkomst van uitgeloopte componenten vast te kunnen leggen.

5.2 Uitvoering parameter onderzoek

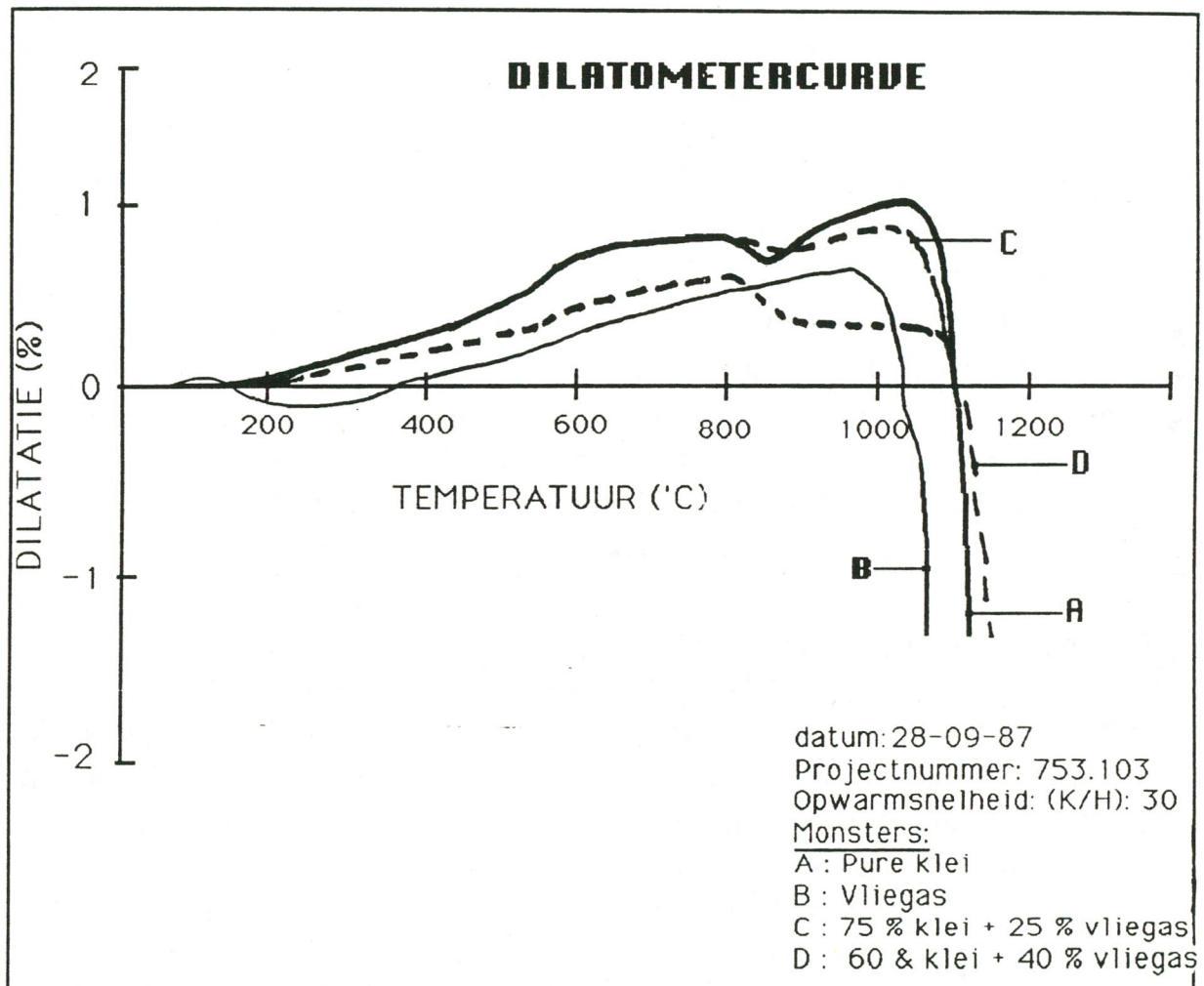
De voor het parameter onderzoek gebruikte klei/vliegas-mengsels zijn op dezelfde wijze aangemaakt als de mengsels ten behoeve van het bakonderzoek. Voor de wijze van aanmaken wordt verwezen naar §6.2.

Voor het parameter onderzoek is uitgegaan van 4 kleien waarvan in Nederland momenteel gebakken straatklinkers worden vervaardigd en 4 vliegassen die qua samenstelling, zuur/base-gedrag, smeltgedrag en fijnheid een goed overzicht van de beschikbare Nederlandse vliegassen geven. De keuze van de kleien is in nauw overleg met KNB, de keuze van de vliegassen in nauw overleg met de Vliegasunie uitgevoerd.

De mengsels zijn door MT-TNO aangemaakt ten behoeve van de eerste twee deelonderzoeken. Voor het traceronderzoek zijn de mengsels door ECN aangemaakt, vanwege de eventuele toevoeging van radiotracers aan één van de samenstellende componenten van het mengsel. Voor het traceronderzoek is bovendien nog een andere kleisoort gebruikt, waarmee bij ECN in het kader van andere onderzoeken ervaring aanwezig was.

5.2.1 Bepaling smeltgedrag

Van de aangeleverde monsters klei, vliegas en mengsels daarvan is telkens 21 gram afgewogen, waarvan proefblokjes zijn geperst met een diameter van 22 mm en een hoogte van 25 mm. Op deze proefblokjes zijn dilatometerproeven uitgevoerd met als uiteindelijk resultaat een temperatuur-dilatatie curve. Een voorbeeld van een dergelijk curve is weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1: Voorbeeld van dilatometercurve

Een aantal punten op de curve zijn van belang. Allereerst is dat de dilatatie bij 570 °C. Bij deze temperatuur heeft de kwartsomzetting plaats. Het α -kwarts wordt omgezet in β -kwarts. Deze omzetting gaat gepaard met een volume vermeerdering. Hoe meer kwarts er in de massa aanwezig is, des te groter is de volumeverandering en daarmee de kans op scheurvorming in het produkt. Ook de snelheid waarmee deze temperatuur gepasseerd kan worden wordt bepaald door de hoeveelheid kwarts.

Vervolgens is de temperatuur waarbij de sintering begint van belang en de dilatatie bij deze temperatuur. Als laatste zijn de temperaturen bij 0% dilatatie en -4% dilatatie (4% krimp) van belang. Hoe verder deze temperaturen uit elkaar liggen, des te groter is de toegestane spreiding van temperatuur tijdens het bakproces.

Bij het röntgendiffractie (XRD) onderzoek werd vooral gelet op de aanwezigheid van andere dan de normale klei-mineralen. Het SEM-onderzoek is geconcentreerd op een visuele controle van het mengeffect en de waarneming van verschillende structuren van de verschillende gebakken monsters.

5.2.2 *Bepaling vluchtigheid spoorelementen*

De vliegasklei-mengsels, kleien en vliegasen zijn in dit onderdeel volgens een representatieve bakcurve verhit tot 1050 °C in een stationaire buisoven. Vóór en na verhitting werden de monsters geanalyseerd op de elementen arseen, cadmium, lood, zwavel en fluor. Bovendien werden de afgassen van de oven door een meervoudig wassysteem met zuur en loog gevoerd. De wasvloeistoffen werden na samenvoeging op dezelfde elementen geanalyseerd.

Voor een uitgebreide omschrijving van de wijze van uitvoering wordt verwezen naar de deelrapportage van dit onderzoek [4].

5.2.3 *Traceronderzoek aan produkten*

Om het gedrag van arseen te kunnen testen is het in de vorm van ^{74}As toegevoegd aan een klei/vliegas-mengsel, zowel in de vorm van arseniet als arsenaat (As^{3+} en As^{5+}). Vervolgens zijn de mengsels gebakken volgens een op basis van de dilatometer vastgestelde bakcurve. In een afzonderlijk experiment werd vastgesteld dat het bakgedrag door de toevoeging niet werd beïnvloed en dat een gelijke kwaliteit werd verkregen als in het bakonderzoek met gelijke mengsels kon worden verwacht.

Aan de mengsels is vervolgens een standtest uitgevoerd ter bepaling van de arseen-uitloging uit het intacte produkt. De gevolgde procedure is voor wat de uitvoering betreft conform NVN 5432, de analyse is uiteraard afwijkend [7]. Verder zijn tevens diffusie-metingen uitgevoerd met een door ECN gemodificeerde methode [8] en zijn ter vergelijking met de resultaten van het range onderzoek een aantal cascadetesten uitgevoerd.

Om de invloed van verschillende intrinsieke en extrinsieke factoren op de arseen-uitloging te meten zijn aan mengsels toegevoegd: ferri- en ferrochloride en calciumoxide 1-5%. Voorts is een tracer toegevoegd aan zowel de klei als de

vlieggas afzonderlijk, alvorens de mengsels werden samengesteld. Aan één monster is chromaat toegevoegd (^{51}Cr).

5.3 Resultaten parameter onderzoek

5.3.1 Bepaling smeltgedrag

De resultaten van de dilatometer-proeven zijn gebruikt om de optimale bakomstandigheden voor de mengsels vast te stellen. Voor de exacte resultaten wordt naar de deelrapportage verwezen.

Bij het röntgendiffractie (XRD) onderzoek worden in de klei de structuren α -kwarts ($\alpha\text{-SiO}_2$), calciëet (CaCO_3) en muskoviet, $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ gevonden. De vliegassen bevatten naast α -kwarts nog mulliet ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) en hematiet ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Gezien de ontstaanswijze van beide materialen zijn dit geen uitzonderlijke resultaten.

In de gebakken mengsels zijn naast α -kwarts, mulliet en hematiet nog $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (anortiet) en $\text{NaAlO}_2 \cdot 3\text{SiO}_2$ (albiet) gevonden.

De SEM-opnamen van de mengsels laten zien dat de menging van klei en vlieggas goed is uitgevoerd. De duidelijk herkenbare vliegassbolletjes zijn homogeen over het produkt verdeeld. Verder is bij een aantal gebakken mengsels een dichte, glasachtige structuur te zien. Met name is dit het geval bij de gebakken mengsels M-03-000-C25 en M-05-000-C25, beiden gebakken bij 1100°C .

5.3.2 Bepaling vluchtigheid spoorelementen

Het blijkt niet eenvoudig om een goede stofbalans op te stellen tussen enerzijds het verschil tussen de vaste stof analyses vóór en na uitgloeien en anderzijds de analyse van de samengevoegde wasvloeistoffen. Nadere controle levert op dat in de verbinding tussen de buisoven en de wasflessen al condensatie van verdampte elementen plaatsvindt. Na correctie voor deze gecondenseerde dampen is de balans redelijk kloppend te krijgen.

Uit de monsters blijken alleen duidelijk aanwijsbare hoeveelheden zwavel en fluor te verdampen, de eerste waarschijnlijk in de vorm van zwaveloxide, de tweede als fluorzout. Van de drie onderzochte metalen is geen verdamping geconstateerd die zich uitstrekt boven de meetfout van de gehanteerde methode. Overigens treedt de verdamping bij zowel de klei, de vliegass als de mengsels op. Bij fluor levert dit een vergelijkbare emissie in de rookgassen op. De SO_2 -emissie bij gebruik van vliegass zal echter enigszins toenemen, gezien de

hogere concentratie aan zwavel (sulfaat) in de vlieg-as ten opzichte van de toegepaste kleien.

5.3.3 Traceronderzoek aan produkten

In bijlage 4 zijn de resultaten van het traceronderzoek in tabelvorm en een aantal grafieken weergegeven. Onderstaand worden de belangrijkste resultaten beknopt besproken.

De produkten die in het traceronderzoek zijn aangemaakt blijken qua technisch keramische eigenschappen vergelijkbaar met de door TPD-TNO aangemaakte produkten. De toevoeging van ^{74}As leidt niet tot wijziging in de uitloogeigenschappen van arseen, zoals bepaald met de standtest. Met andere woorden: de resultaten van de tracerexperimenten zijn representatief voor de mengsels die in het laatste onderdeel worden onderzocht.

Uit de standtesten blijkt dat de chemische vorm waarin het arseen wordt toegevoegd geen invloed heeft op de uitloogeigenschappen. Tijdens het bakproces wordt kennelijk As^{3+} geoxideerd tot As^{5+} . Ook de toevoeging van ijzerchloride heeft nauwelijks effect op de arseen-uitloging. De gevormde ijzerarsenieten en -arsenaten zijn bij hoge temperaturen niet stabiel en vallen uiteen in ijzeroxyde en arseenoxyde.

De toevoeging van calcium blijkt wel degelijk effect te hebben, vooral op de effectieve diffusie coëfficiënt (een maat voor de snelheid van uitloging uit het intacte produkt). Een toevoeging van 3% heeft meer effect dan 1%. Een toevoeging van 5% heeft nauwelijks meer effect dan 3% toevoeging. De beschikbaarheid neemt wel verder af bij verhoging van de toevoeging van 3% naar 5% CaO-toevoeging. De afgifte van arseen blijkt na een initiële oppervlakte afgifte diffusie gecontroleerd.

Het mechanisme van de gemeten uitloging van natrium laat zien dat dit element, dat bij koudgebonden produkten wordt gemeten ter bepaling van de tortuositeit van een produkt, bij gebakken produkten deze functie niet kan vervullen. Natrium wordt bij hoge temperaturen teveel aan de matrix gebonden, waardoor het zich anders gedraagt dan bij koudgebonden produkten het geval is. Hierdoor kan voor de onderzochte produkten geen goed beeld van de tortuositeit en met name de onderlinge verhouding in tortuositeit worden verkregen. Een oordeel over de invloed van de structuur van de met verschillende toevoegingen gebakken produkten kan dan ook niet worden gegeven.

Cascadetesten aan 3 monsters (klei, klei + vlieg-as 13 en klei + vlieg-as D) laten een opmerkelijk effect zien. Het verschil in arseen-uitloging door toevoeging van

vliegass 13 aan de klei is nihil, zowel in beschikbaarheid als bij de cascadetest. Aangezien de gebruikte vliegass een laag (met klei vergelijkbaar) arseengehalte heeft, neemt de absolute uitloging niet toe. Bij toevoeging van vliegass D, waarbij het arseengehalte met ongeveer 60% toeneemt, nemen ook de beschikbaarheid en de cumulatieve uitloging in de cascadetest met ongeveer 60% toe. De relatieve uitloging blijft vrijwel gelijk. Het mechanisme van uitloging wijzigt zich dus niet door toevoeging van vliegass. Alleen de absolute uitloging vermeerderd door de hogere arseenconcentratie in vliegass ten opzichte van de gebruikte kleisoort.

Uit de mobiliteitsmetingen blijkt een vergelijkbaar effect. Bovendien wordt hier nog een ander, minstens zo belangrijk, effect waargenomen. Dezelfde vliegass, maar nu gemengd met een andere klei, blijkt een geheel andere uitlooggedrag te vertonen. In termen van snelheid van uitloging uit het intacte produkt is er een factor 10 verschil. Dit toont aan dat de klei verantwoordelijk is voor het uitlooggedrag van het klei/vliegass-mengsel, terwijl de vliegass alleen de absolute hoogte van de uitloging bepaalt door de hoge arseenconcentratie ten opzichte van klei.

5.4 Conclusies parameter onderzoek

Aan het **technisch keramisch** onderzoek zijn geen directe conclusies te verbinden. De resultaten van de dilatometer-proeven zijn gebruikt om de optimale bakomstandigheden voor de mengsels vast te stellen.

Het onderzoek naar de **vluchtigheid van spoorelementen** heeft geleerd dat arseen, cadmium en lood niet in aantoonbare hoeveelheden uit de mengsels verdampen tijdens het bakproces. Bij zwavel en fluor is wel een verlies door verdamping aangetoond. De absolute hoeveelheden beperken zich tot maximaal 100 mg/kg en zullen alleen ten aanzien van SO₂ toenemen als gevolg van de toepassing van vliegass. Bij fluor blijft de absolute emissie vergelijkbaar.

Uit het **traceronderzoek** zijn de belangrijkste conclusies:

- Het verschil in uitlooggedrag dat tussen de onderzochte kleien bestaat is vele malen groter dan het verschil in uitlooggedrag als gevolg van de toevoeging van vliegass. De klei bepaalt dus het uitlooggedrag. Toevoeging van vliegass verandert alleen het absolute niveau van de arseen-uitloging door de hogere arseen-concentratie in vliegass.

- Toevoeging van calcium aan het klei/vliegas-mengsel (in de vorm CaCO_3) leidt tot afname van de arseen-uitloging, vermoedelijk door de vorming van een alkalisch calcium-arsenaat. Deze slecht oplosbare arseen-verbinding ontleeft aan de lucht bij de aanwezigheid van CO_2 , hetgeen de oplosbaarheid van arseen verhoogd. De toevoeging van calcium beïnvloed ook de structuur van het gebakken produkt omdat het als smeltpuntverlager werkt. Hierdoor wordt een dichtere structuur verkregen die ook voor een remming in uitloging verantwoordelijk kan zijn.
- Toevoeging van ijzer-zouten die onder andere voor de binding van arseen in klei (ijzer-arsenaten) verantwoordelijk zijn, hebben geen invloed op de uitloging van arseen. De ijzer-arsenaten zijn bij hoge temperaturen niet stabiel en vallen uiteen in arseen- en ijzeroxyde.
- Het gebruik van de diffusie van natrium voor vaststelling van de tortuositeit van gebakken produkten is door de binding van natrium aan de matrix niet mogelijk. Of de waargenomen verschillen in uitlooggedrag van arseen een chemische, dan wel fysische oorzaak hebben kan daardoor niet met zekerheid worden geoordeeld.

6. AANMAAK PROEFPRODUKTEN, "BAKONDERZOEK"

6.1 Opzet bakonderzoek

In het bakonderzoek zijn mengsels uit 4 soorten klei en 4 soorten vliegas samengesteld. Vervolgens werden bij 1 of 2 temperaturen proefsteentjes gebakken ten behoeve van keramisch technisch en uitloogonderzoek. In de aanmaak van de mengsels en de bakomstandigheden zijn zoveel mogelijk de conclusies van het parameter onderzoek verwerkt.

Bij de bepaling van de bakcondities van de mengsels is aangestuurd op het bereiken van een bepaald kwaliteit produkt. De baktemperatuur voor de verschillende mengsels is op basis van het dilatometer onderzoek zodanig gekozen dat een bakkrimp van 1-2% (metselbaksteen) of 4-6% (klinker) kon worden verwacht.

6.2 Uitvoering bakonderzoek

De klei is bemonsterd door ongebakken stenen, na drogen, te bemonsteren. De produkten en 'klei-stenen' zijn bemonsterd op statistisch verantwoorde wijze (zie [2]). Na bemonstering bij de steenfabrieken door KNB en TPD-TNO, zijn de monsters getransporteerd naar MT-TNO te Apeldoorn.

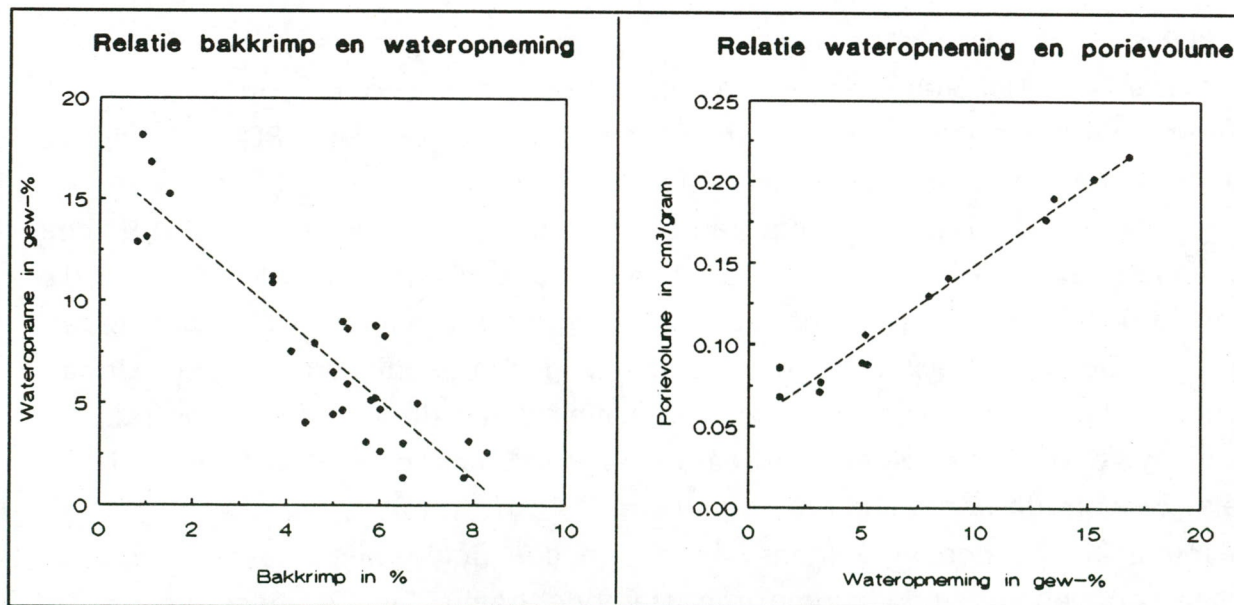
De gedroogde klei is met behulp van een kaakbreker verkleind tot $< 0,5$ mm. Vervolgens zijn mengsels aangemaakt met droge vliegas in hoeveelheden die voor de bereiding van de proefsteentjes nodig waren (minimaal 5 kg, maximaal 40 kg). De mengsels werden vervolgens gehomogeniseerd in een Hobart menger, waarbij tevens nog enige naverkleining van de kleideeltjes optrad. De menging vond plaats tot een visueel homogeen mengsel was verkregen. In de praktijk kwam dit neer op een mengtijd van ± 15 minuten.

De mengsels werden vervolgens verpakt in een poly-etheen zak en na dicht sealen voorzien van een label met monstercode, hoeveelheid en bestemming. De verzendmonsters werden na verpakking naar de uitvoerende instituten verzonden ter bepaling van een aantal keramische parameters (smeltgedrag, korrelverdeling etc.) en de aanmaak van proefstenen.

6.3 Resultaten bakonderzoek

De resultaten van het bakonderzoek worden in de deelrapportage van dit onderdeel uitgebreid gerapporteerd [9]. In deze paragraaf wordt volstaan met de bespreking van de belangrijkste resultaten die bij de beoordeling van het uitlooggedrag van belang kunnen zijn.

In bijlage 5 worden deze resultaten in tabelvorm weergegeven. In deze bijlage worden van de onderzochte proefsteentjes het porievolume, de specifieke wateropneming, de bakkrimp, het scherfgewicht en een aantal kerngegevens van de dilatometercurve weergegeven. Allereerst valt de grote spreiding in de kwaliteiten op. Voorts valt op dat de monsters die bij hoge temperatuur (meestal 1135 °C) zijn gebakken allen een lage (specifieke) wateropneming hebben en tevens (indien gemeten) een laag porievolume. Er blijkt een relatie te bestaan tussen de (specifieke) wateropneming en het scherfgewicht, de bakkrimp en het porievolume. Bij stijging van de bakkrimp, dalen de wateropneming en het porievolume en stijgt het scherfgewicht. In figuur 6.1 is het verband tussen bakkrimp en wateropneming en tussen de wateropneming en het porievolume grafisch weergegeven.



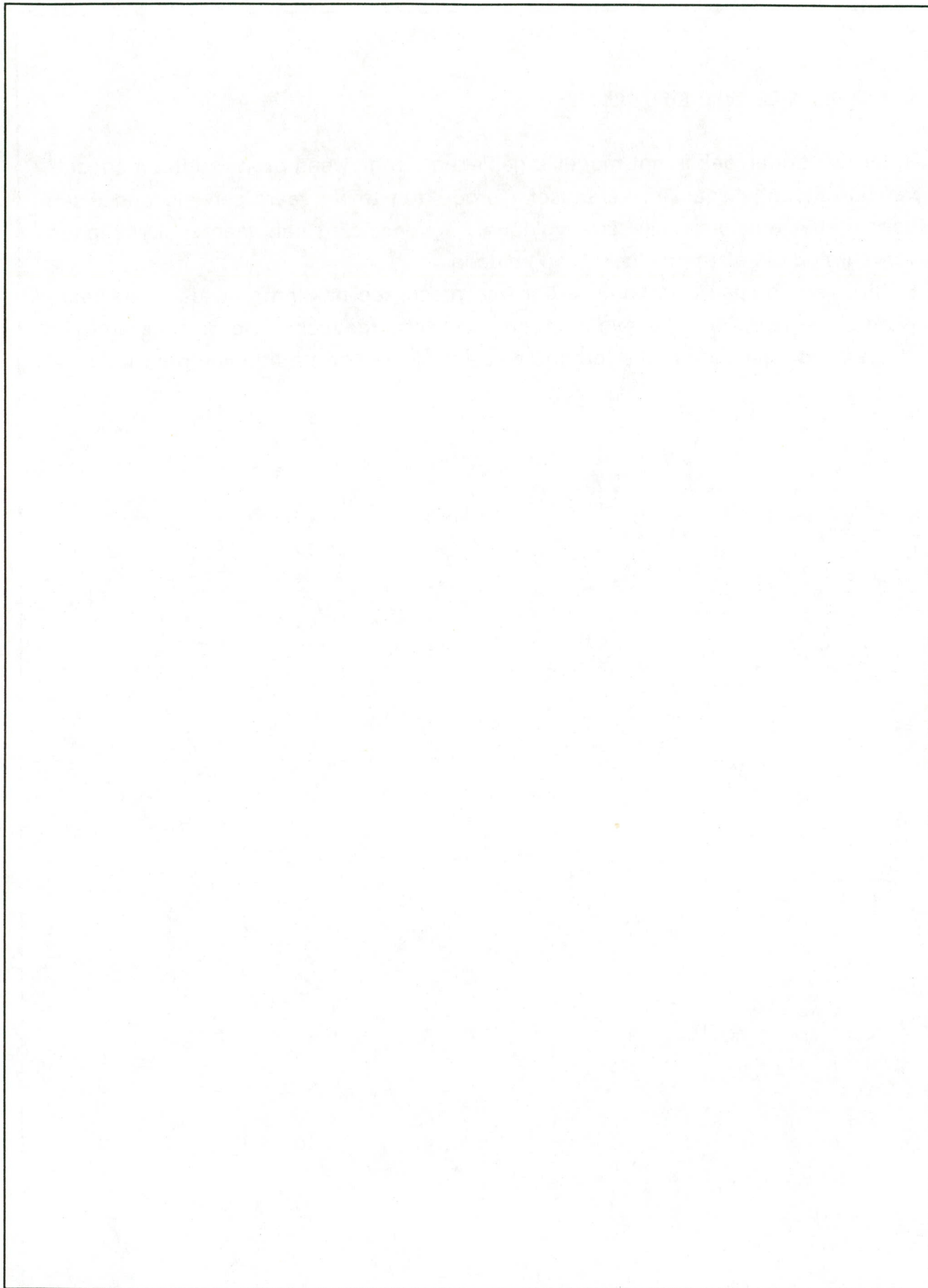
Figuur 6.1: Relatie tussen keramisch technische parameters

Voor klinker kwaliteit voldoen de produkten met een wateropneming van 0-4%, voor gebruik als metselbaksteen die met 12-20% wateropneming.

6.4 Conclusies bakonderzoek

In het bakonderzoek is het mogelijk gebleken om met een groot aantal mengsels van kleien en vliegassen keramische produkten te vervaardigen die aan eisen voor gebakken straatklinkers voldoen. Tevens zijn een aantal kwaliteiten vervaardigd die als metselbaksteen voldoen.

Er blijkt een duidelijk verband te bestaan tussen de bakkrimp en de (specifieke) wateropneming, het porievolume en het scherfgewicht. De produkten met vliegas gedragen zich in dit verband niet anders dan de traditionele produkten.



7. UITLOOGONDERZOEK PROEFPRODUKTEN

7.1 Doel en opzet uitloogonderzoek

Het doel van het uitloogonderzoek is het vastleggen van de uitloogkarakteristieken van de aangemaakte proefstenen. Vervolgens zal worden getracht om relaties te vinden tussen uitloogparameters en keramisch technische parameters. Indien deze relaties gevonden kunnen worden is het mogelijk om recepten op te stellen waarmee uit klei/vliegas-mengsels gebakken klinkers (en wellicht metselbakstenen) vervaardigd kunnen worden die aan de keramisch technische eisen voldoen en zich qua uitloging van milieubezwaarlijke elementen op een zo laag mogelijk niveau bevinden.

De resultaten van het uitloogonderzoek zullen worden vergeleken met die van het range onderzoek, om vast te stellen of de produkten zich binnen de range van uitloging van traditionele keramische produkten bevinden.

7.2 Uitvoering uitloogonderzoek

Het uitloogonderzoek op de proefsteentjes is op dezelfde wijze uitgevoerd als in het range onderzoek aan de traditionele produkten (zie §4.2). Na verkleining van de proefsteentjes door MT-TNO zijn met behulp van een roterende monsterverdeler verzendmonsters gereed gemaakt voor de uitvoerende instituten. In tegenstelling tot de wijze van aanmaak van de verzendmonsters zijn nu deelmonsters genomen welke direct bruikbaar zijn in de juiste hoeveelheid. Er behoefde dus geen deelmonsterneming door de uitvoerenden te worden verricht. De monsters werden in poly-etheen zakjes verpakt en dichtgeseald voor verzending.

Op de ontvangen monsters zijn de beschikbaarheidstest en cascadetest uitgevoerd. Op grond van de opgedane ervaringen in het traceronderzoek is besloten om tevens een zestal standtesten uit te voeren. Voor de uitvoering van de standtest in telkens één proefsteentje gebruikt. De wijze van uitvoering was geheel conform NVN 5432, de methode die tevens door ECN is gebruikt is het parameter onderzoek.

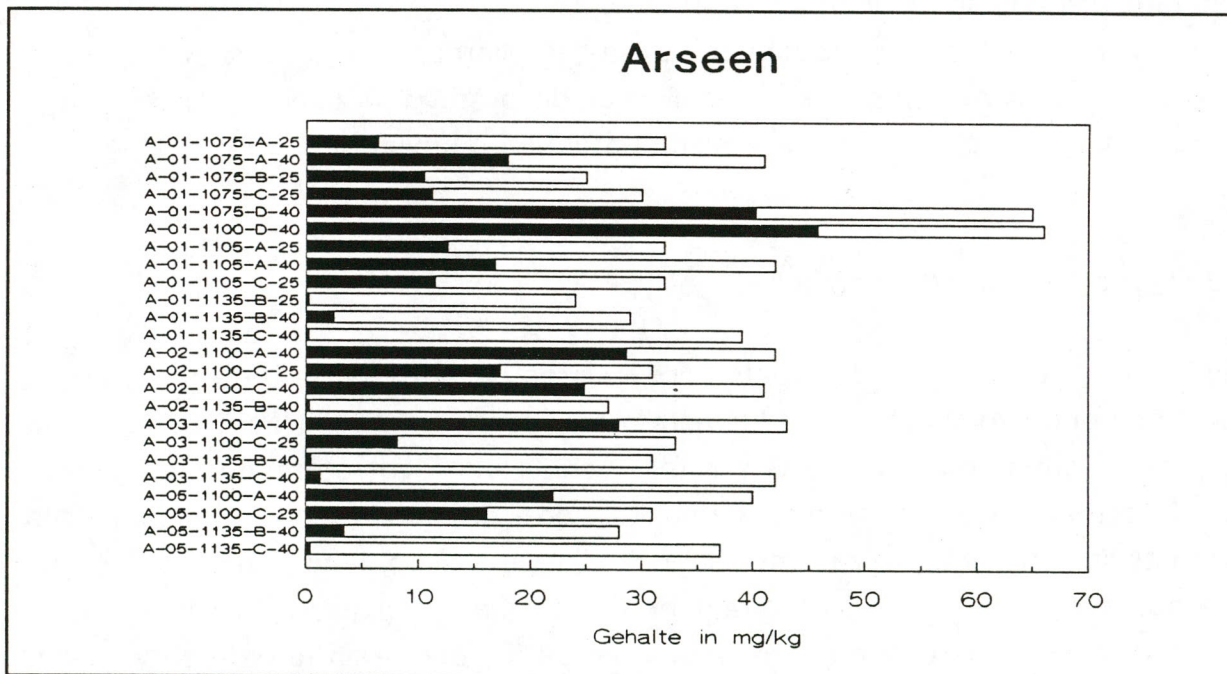
In bijlage 6 wordt de wijze van uitvoering nog eens schematisch weergegeven.

7.3 Resultaten uitloogonderzoek

De resultaten van de beschikbaarheidstesten, cascadetesten en standtesten worden in bijlage 7 in tabelvorm en in grafische vorm weergegeven. De bespreking wordt onderstaand in afzonderlijke paragrafen uitgevoerd.

7.3.1 Beschikbaarheidstesten

Bijlage 7.1 bevat de resultaten van de beschikbaarheidstesten. In grafische vorm is in deze bijlage aangegeven hoe de beschikbaarheid zich verhoudt tot het vaste stof gehalte. Hiervoor zijn de staafdiagrammen gebruikt die in het range onderzoek zijn geïntroduceerd (zie figuur 4.1). De staafdiagram voor arseen is onderstaand nogmaals weergegeven in figuur 7.1.



Figuur 7.1: Samenstelling en beschikbaarheid proefstenen

De figuur bevat niet alle proefstenen, doch alleen de vliegassbevatende. Opvallend is het grote verschil in beschikbaarheid, zowel absoluut als procentueel. De laagst gemeten beschikbaarheid is 0,2 mg/kg voor het produkt van klei 1, 25% vliegass B en gebakken bij 1135 °C. Ook de beschikbaarheid van de andere elementen is voor dit monster zeer laag. De keramisch technische parameters voor dit produkt zijn redelijk. Een wateropneming van 1,4 gew-% duidt op klinker kwaliteit, de bakkrimp is met 6,5% aan de hoge kant.

Van de 25 onderzochte produkten met vliegass hebben er 6 een beschikbaarheid voor uitlooging van arseen van minder dan 2 mg/kg. Van de traditionele

produkten hadden 6 van de 16 onderzochte produkten een beschikbaarheid voor arseen van minder dan 2 mg/kg.

De twee proefstenen met vliegas D springen er, zowel wat arseen-concentratie als beschikbaarheid betreft, uit ten opzichte van de andere proefstenen. Het arseen-gehalte in vliegas D is met 122 mg/kg dan ook zeer hoog, hetgeen dit type vliegas ongeschikt maakt voor toepassing met hoger vervangingspercentages (de totale As-concentratie licht zelfs boven de WCA-grens van 50 mg/kg).

De proefstenen met de laagste beschikbaarheid voor arseen zijn aangemaakt met vliegas B of C. Niet alle produkten met deze typen vliegas hebben echter een lage beschikbaarheid. De produkten met vliegas A hebben allen een beschikbaar tussen 5 en 30 mg/kg.

Kijkend naar de beschikbaarheid van de andere onderzochte elementen valt op dat, behoudens enkele uitschieters, er een goede relatie bestaat tussen de arseen-beschikbaarheid en die van molybdeen en vanadium. Van de 25 onderzochte produkten met vliegas hebben er 12 een vanadium-beschikbaarheid lager dan 5 mg/kg. Bij de traditionele produkten hadden 12 van de 16 onderzochte produkten een beschikbaarheid voor vanadium van minder dan 5 mg/kg. Bij molybdeen hebben 9 van de 25 proefstenen met vliegas een beschikbaarheid van minder dan 1 mg/kg tegenover alle 16 onderzochte traditionele produkten. Gezien de zeer lage concentratie van molybdeen in klei was dit een te verwachten resultaat.

De in de gebakken stenen gemeten gehalten aan cadmium zijn, achteraf bezien, onwaarschijnlijk hoog (dit geldt niet alleen voor de klei/vliegas-stenen maar ook voor de uit pure klei gebakken stenen). Het is niet meer te achterhalen wat hiervan de oorzaak is geweest. Door deze hoge gehalten lijkt de beschikbaarheid voor uitloging extreem laag (zie bijlage 7.1).

Bij natrium wordt een beeld waargenomen dat zich zeer goed laat vergelijken met de natrium-uitloging uit traditionele produkten. De spreiding is veel kleiner dan bij de andere elementen. De beschikbaarheid bevindt zich rond de 40 mg/kg ten teken dat natrium zich zeer goed aan de matrix bindt.

De calcium-uitloging, zoals gemeten met de beschikbaarheidstest, vertoont een veel grotere spreiding, doch laat zich absoluut gezien zeer goed met de traditionele produkten uit het range onderzoek vergelijken. Opvallend is dat produkten met een lage beschikbaarheid voor arseen tevens een lage calcium-beschikbaarheid hebben. Het omgekeerde is niet altijd het geval.

7.3.2 Cascadetesten

De resultaten van de cascadetesten worden in bijlage 7.2 weergegeven, zowel in gemeten concentraties als in berekende cumulatieve uitloging in mg/kg.

In grafische vorm is voor arseen, vanadium en molybdeen het verband aangegeven tussen de cumulatieve uitloging bij $L/S = 100$ l/kg van de cascadetest en de beschikbaarheid. Zoals ook in het range onderzoek al waargenomen, is ook nu zichtbaar dat slechts in enkele incidentele gevallen de gemeten beschikbaarheid hoger is dan de cumulatieve uitloging aan het einde van de cascadetest (bij $L/S = 100$). Dit houdt enerzijds in dat de beschikbaarheidstest niet altijd de maximale uitloging bepaalt en anderzijds dat de cascadetest weinig extra informatie oplevert als het resultaat van de beschikbaarheidstest bekend is.

Ten aanzien van de eerste opmerking zijn reeds voorstellen gedaan voor aanpassing van het voorschrift van de beschikbaarheidstest [10]. De tweede opmerking is in hoofdstuk 4 bij de bespreking van het range onderzoek al eens gemaakt, zodat er hier verder niet op wordt ingegaan.

De resultaten van de cascadetesten geven geen nieuwe inzichten ten opzichte van de resultaten van de beschikbaarheidstesten.

7.3.3 Standtesten

Op een achttal monsters is een standtest uitgevoerd. De resultaten van deze testen zijn in bijlage 7.3 opgenomen.

Door de geringe afmeting van de onderzochte proefsteentjes is de standtest uitgevoerd in 16 dagen (i.p.v. in 64 dagen, zoals voorgeschreven in ontwerp NVN 5432), waarna in de figuren is geëxtrapoleerd naar 64 dagen. Een voorwaarde voor het uitvoeren van berekeningen is namelijk dat het eerste-orde-diffusiemodel opgeld doet. Uit de figuren blijkt dat al bij 16 dagen voor sommige elementen uitputting begint op te treden (waarna de diffusie niet meer volgens het eerste-orde-diffusiemodel verloopt).

Verder dient te worden opgemerkt dat bij de interpretatie van de resultaten van een standtest bij de tot nu toe onderzochte produkten het element natrium is gebruikt om vast te stellen welke fysische belemmeringen bij de uitloging door diffusie optreden. Door de gemeten diffusie van natrium te vergelijken met de diffusie in vrij water kan de fysische obstructie in het produkt in een getal worden uitgedrukt, de zogenoemde *tortuositeit*. Des te hoger de tortuositeit, des te langer is de weg die de uitgeloopte stoffen vanaf het centrum van een produkt naar de oppervlakte moeten afleggen. Bij het interpreteren van de

resultaten van de standtesten op de proefstenen is gebleken dat natrium zich zodanig aan de matrix van het produkt bindt, dat geen sprake meer is van alleen fysische oorzaken voor de vertraging in diffusie. Het is dus niet mogelijk om de tortuositeit te berekenen op basis van natrium.

Bovenstaande bemoeilijkt de interpretatie van de gevonden verschillen in effectieve diffusiecoëfficiënten voor de onderzochte elementen, omdat niet kan worden vastgesteld of de verschillen worden veroorzaakt door een andere structuur in het produkt (en dus een andere tortuositeit) of door chemische bindingen die bij de bereikte temperaturen zijn opgetreden. Om dienaangaande toch een schatting van de gevonden effecten te kunnen maken is de tortuositeit berekend op basis van de molybdeen-diffusie (de snelst uitlogende component, die daarom hoogst waarschijnlijk ook de minste interactie met de matrix zal hebben).

Uitgaande van de op deze manier berekende tortuositeit zijn vervolgens retentiefactoren berekend. De retentie-factor geeft aan in hoeverre de uitloging is vertraagd door chemische binding van het betreffende element met de matrix. Bij de berekening van de tortuositeiten op basis van de molybdeen-uitloging, is de chemische retentie daarvan verwaarloosd. Deze is daarom per definitie 1. De overige, berekende retentiefactoren zijn vermeld in bijlage 7.3.

Kijkend naar arseen en vanadium springen 3 produkten er uit met een retentiefactor groter dan 5. Dit zijn de produkten A-01-1075-A-25, A-01-1075-B-25 en A-01-1105-C-25. Opvallend is dat dit produkten zijn met een hoge beschikbaarheid voor arseen en vanadium. Kennelijk treedt er bij hoge concentraties in het produkt een betere binding op dan bij lage concentraties. Door het grote verschil in beschikbaarheid mag niet de conclusie worden getrokken dat een hoge retentie tevens inhoudt dat deze produkten een lagere uitloging zullen vertonen dan produkten met een lage retentie. De retentie zegt alleen iets over de mate waarin het uitloogbare deel in het produkt wordt vastgehouden.

In de drie figuren in bijlage 7.3 is de emissie in mg/m^2 produkt als functie van de contacttijd weergegeven voor de elementen arseen, vanadium en molybdeen. De nummering van de produkten komt overeen met de tabel in bijlage 7.3. Uit de figuren blijkt dat de rangorde in gemeten emissie voor de onderzochte elementen vrijwel dezelfde is. Dit zou duiden op een verschil in structuur (tortuositeit) van de onderzochte produkten en niet op een meer of minder chemische binding. Verder blijkt dat de vier produkten met de laagste emissie tevens de laagste beschikbaarheid vertonen. Van deze vier produkten is er één die uit louter klei is vervaardigd. De andere drie echter zijn produkten waarin 40% vliegashouding is

verwerkt, en waarin dientengevolge relatief veel arseen, molybdeen en vanadium aanwezig is. Het gaat hierbij om produkten die bij hogere temperatuur zijn gebakken. Blijkbaar is het bij klei-vliegasstenen wel zo dat het bij hogere temperatuur bakken een verandering van de structuur tot gevolg heeft, waardoor zowel de beschikbaarheid voor uitloging als de uitloging als functie van de tijd (resultaat standtest) lager is. (Dit in tegenstelling tot wat gevonden is in het range-onderzoek, paragraaf 4.4)

7.4 Conclusies uitloogonderzoek

Allereerst dient te worden gesteld dat een groot aantal van de vervaardigde proefstenen een uitloging hebben die valt binnen de range van onderzochte traditionele produkten.

Verder is gebleken dat er een significant aantal produkten uit klei/vliegas-mengsels een uitloging van de onderzochte elementen en met name arseen en vanadium, vertonen die ten opzichte van traditionele produkten laag te noemen is. Met name is dit het geval bij produkten die bij hogere temperaturen zijn gebakken.

8. EVALUATIE ONDERZOEKSRESULTATEN

8.1 Range onderzoek

De uitloging van onder andere arseen en vanadium uit de onderzochte traditionele produkten vertoont een veel grotere spreiding dan verwacht. De vastgestelde range is ten aanzien van de arseen-uitloging hoger dan van andere, niet gebakken, produkten. In bijlage 8.1 wordt een vergelijking gemaakt met produkten en (primaire en secundaire) grondstoffen die in het kader van het Mammoet-project [11] zijn onderzocht voor de elementen arseen en vanadium. Hieruit blijkt dat de hoogste arseen-uitloging van een traditioneel gebakken produkt zich bevindt op het niveau van de poriso-stenen, terwijl de laagste arseen-uitloging uit een traditionele baksteen ligt op het niveau van neutrale en alkalische vliegassen. Koudgebonden produkten, zowel met als zonder vliegas hebben een meer dan 10 maal lagere uitloogbaarheid dan de gemiddelde baksteen. Bij vanadium ligt dit duidelijk anders. Daar is de uitloogbaarheid van de traditionele baksteen aanzienlijk lager, op een niveau, vergelijkbaar met dat van bijvoorbeeld beton en kalkzandsteen en lager dan bijvoorbeeld lavaliet en hoogovenslak.

Om te kunnen bepalen of de bij Musis Sacrum toegepaste klinker valt binnen de range van uit traditionele grondstoffen vervaardigde produkten, wordt in tabel 8.1 de samenstelling en de middels de cascadetest bepaalde uitloging van de Musis-klinker gegeven [12].

Tabel 8.1: Samenstelling en uitloging Musis-klinker

Element / eenheid	Samenstelling	Uitloging	
		L/S = 20	cascadetest Cum L/S = 100
Calcium mg/kg	40500	130	210
Natrium mg/kg	6000	20	40
Arseen mg/kg	19	4,8	6,2
Cadmium mg/kg	0,5	0,01	0,02
Molybdeen mg/kg	< 5	0,4	< 3
Vanadium mg/kg	112	1,7	2,3

Met betrekking tot het in tabel 8.1 vermelde arseengehalte van de Musis-steen dient te worden opgemerkt dat een referentiesteen uit dezelfde fabriek (dus zonder vlieggas-toevoeging) 16 mg/kg arseen bevatte, dus vrijwel net zoveel als de Musis-steen.

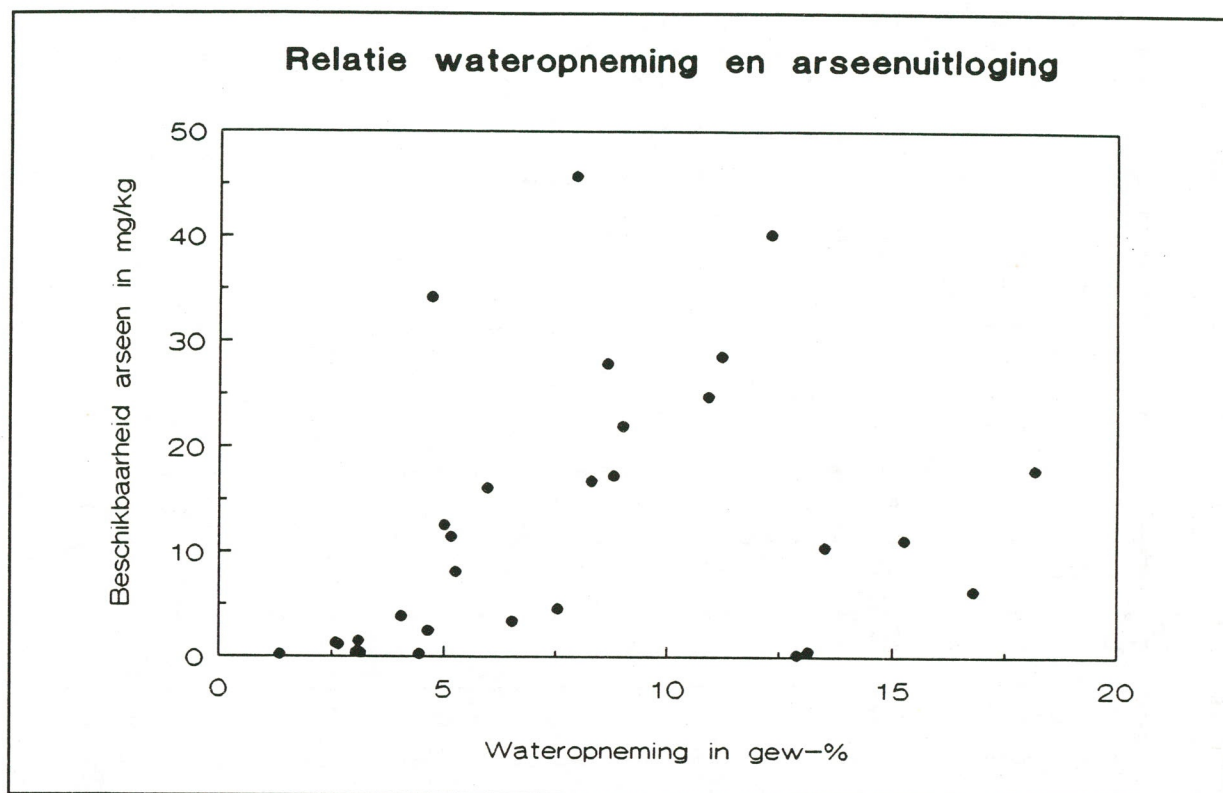
De hier gepresenteerde uitloogresultaten wijken af van wat indertijd door KEMA is gepubliceerd [13] (KEMA meldde een uitloging die een factor 3 hoger lag). Deze verschillen zijn voor een deel terug te voeren op een verschil in berekeningsmethode van de cumulatieve uitloging bij de cascadetest, maar voornamelijk op verschillen in uitvoering van de cascadetest (pH-effect door verschillen in wijze van agiteren). Dit is ook geconstateerd bij de uitvoering van het range-onderzoek (zie paragraaf 4.3). De in tabel 8.1 getoonde resultaten zijn verkregen na uitvoering van de cascadetest volgens de momenteel genormaliseerde methode.

In bijlage 8.2 is de range van de cumulatieve uitloging in de cascadetest tot en met $L/S = 100$ van arseen en vanadium weergegeven in de frequentieverdeling. Daarin is de uitloging van de klinker die is toegepast bij Musis Sacrum ingetekend. Vastgesteld kan worden dat de arseen uitloging van de Musis-klinker lager is dan 40% van de onderzochte traditionele produkten. De vanadium-uitloging is lager dan 80% van de onderzochte traditionele produkten.

8.2 Bak- en uitloogonderzoek

Gebleken is dat een aantal van de vervaardigde proefstenen een ten opzichte van andere proefstenen en tevens ten opzichte van de onderzochte traditionele produkten lage uitloogbaarheid van arseen, vanadium enz. hebben. Bij een nadere bestudering van deze monsters valt op dat ze allen bij een hogere temperatuur zijn gebakken, of dat het verschil tussen de baktemperatuur en de temperatuur bij 0% dilatatie klein is. Dit houdt in dat de structuur van het produkt waarschijnlijk dichter zal zijn dan van de andere produkten. De dichtere structuur wordt door verkleining tot $<0,15$ mm niet aangetast, getuige de resultaten van de beschikbaarheidstesten.

De vraag is nu of deze produkten ook keramisch technisch bezien voldoen. Het antwoord daarop is: een aantal wel, een aantal ook niet. Als we als maat voor de toepasbaarheid van de vervaardigde proefstenen de wateropneming nemen, kan de grafiek worden geconstrueerd die in figuur 8.1 is weergegeven.



Figuur 8.1: Relatie tussen wateropneming en arseenuitloging

In deze figuur is de wateropneming op de x-as uitgezet tegen de beschikbaarheid voor arseen op de y-as. Interessant zijn de produkten met een wateropneming van 0-4% (klinker-kwaliteit) en die met 12-20% wateropneming en een arseen-uitloogbaarheid van minder dan 5 mg/kg. In de categorie klinkerkwaliteit vallen de 8 produkten, die in tabel 8.2 zijn weergegeven.

Van de 8 in tabel 8.2 genoemde produkten zijn er 3 uit alleen klei en 5 uit klei/vliegas-mengsels. Opvallend is dat al deze produkten een bakkrimp hebben groter dan 4%, hetgeen de maatvastheid negatief beïnvloed. De vraag is dan ook of deze produkten op fabrieksschaal wel gemaakt kunnen worden, gezien de hoogstwaarschijnlijk grote uitval bij kleine temperatuurschommelingen.

In de categorie metselsteenkwaliteit vallen 2 produkten met een beschikbaarheid lager dan 5 mg/kg, nl. K-01-1075-0-00 en K-02-1075-0-00, beiden 100%-klei produkten met een bakkrimp van respectievelijk, 1,0% en 0,8%. Het betreft hier produkten die reeds op fabrieksschaal worden vervaardigd en die qua uitloging onder in de vastgestelde range liggen.

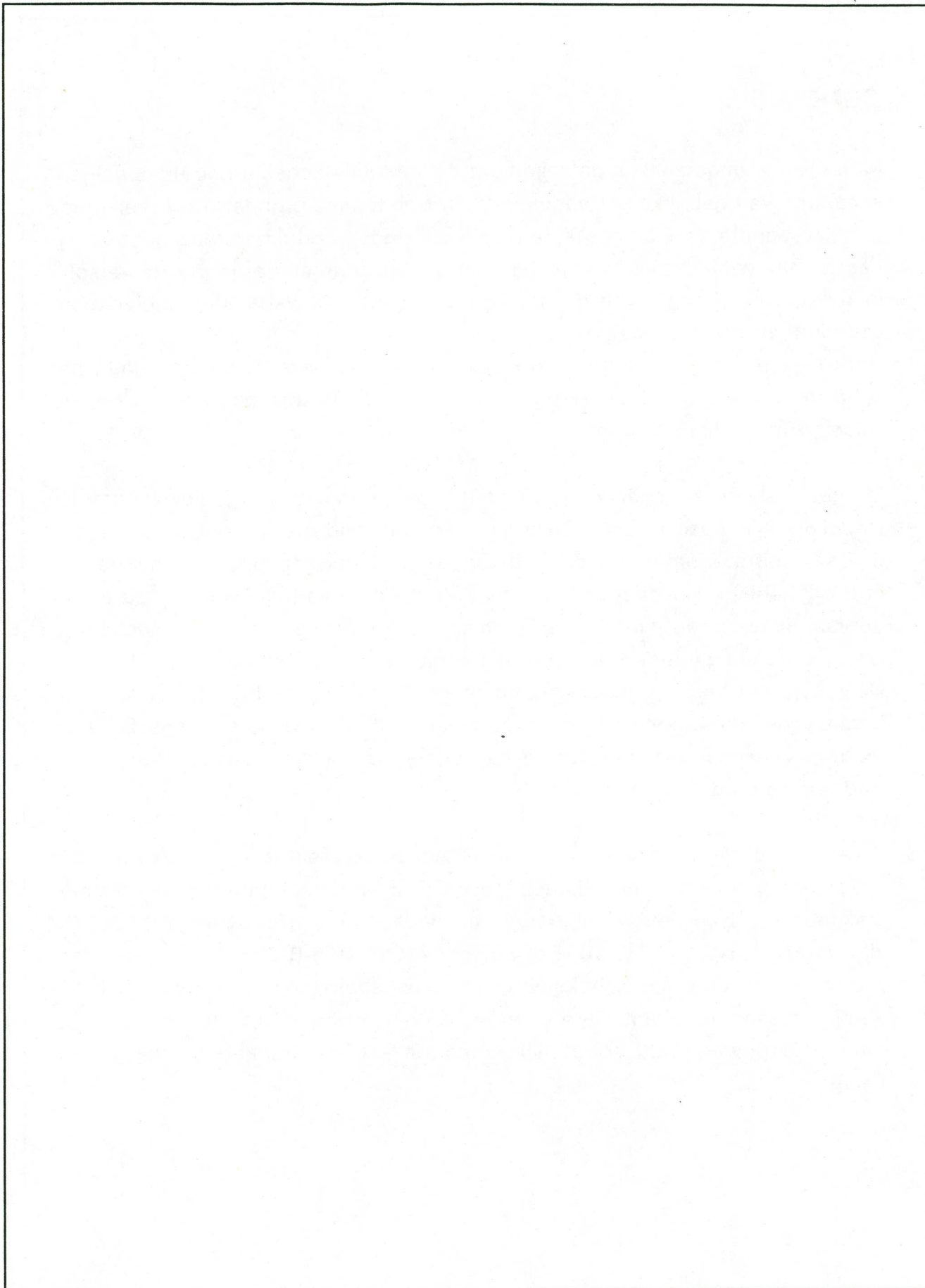
Tabel 8.2: Klinker-kwaliteit stenen met lage uitloging

Proefsteen	Wateropneming gew-%	Beschikbaarheid Arseen mg/kg
K-01-1097-0-00	3,1	1,5
K-02-1097-0-00	2,7	1,2
K-05-1100-0-00	4,1	3,9
A-01-1135-B-25	1,4	0,2
A-01-1135-C-40	1,4	0,3
A-03-1135-B-40	3,1	0,5
A-03-1135-C-40	2,6	1,3
A-05-1135-C-40	3,2	0,4

Drie produkten uit klei en vliegas hebben een beschikbaarheid rond de 10 mg/kg en een wateropneming die ze geschikt maken voor metselstenen. Dit zijn A-01-1075-A-25, A-01-1075-B-25 en A-01-1075-C-25. De eerste twee van deze produkten zijn waarschijnlijk het meest interessant, vanwege een aanvaardbare bakkrimp van respectievelijk 1,1% en 0,0%. Aangezien het hier om metselsteenkwaliteit handelt zijn deze produkten ook markttechnisch bezien interessant.

9. CONCLUSIES

1. In het range onderzoek is gebleken dat de verscheidenheid in de uitloogeigenschappen van gebakken straatklinkers uit traditionele grondstoffen zeer groot is. Met behulp van uitloogtesten op verkleinde produkten (cascadetest en beschikbaarheidstest) is vastgesteld dat er meer dan een ordegrootte verschil in maximale uitloogbaarheid van de stoffen arseen, vanadium, molybdeen, cadmium en calcium bestaat.
Voorts is in het range-onderzoek gebleken dat de 'Muis-klinker' binnen het op deze wijze verkregen referentiekader valt. Er is dus geen reden om de 'Muis-klinkers' te vervangen.
2. In het parameter onderzoek en het bakonderzoek is gebleken dat er klei/vliegas-mengsels kunnen worden samengesteld die, na gebakken te zijn in een laboratorium-oven, een uitloogbaarheid van de onder 1 genoemde stoffen hebben die overeenkomt met de uitloogbaarheid van uit pure klei vervaardigde produkten. Daarbij spelen de keuze van klei en vliegas, de mengverhouding en met name de baktemperatuur een belangrijke rol.
De resultaten bieden uitzicht op de mogelijkheid om technisch acceptabele keramische produkten te vervaardigen uit klei/vliegas-mengsels met uitloogeigenschappen die zich in het onderste gedeelte van de range van traditionele produkten bevinden.
3. Twee van de 25 proefstenen uit klei/vliegas-mengsels leveren een kwaliteit baksteen op die als metselsteen geschikt is en een uitloging van arseen vertonen die zich binnen de range van onderzochte produkten bevindt. Dit zijn de produkten A-01-1075-A-25 en A-01-1075-B-25. Gezien de veel grotere markt voor metselbaksteen dan voor gebakken straatklinker [1] is dit een interessant resultaat, dat echter niet in het licht van het VIGP-project kan worden uitgewerkt. Dit houdt zich immers alleen met klinkerkwaliteit stenen bezig.



10. AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten van het VIGP-onderzoek bevelen wij aan om de inzetbaarheid van vlieggas als vervanger van een deel van de klei op praktisch-schaal nader te onderzoeken. Dat laat onverlet het standpunt van het VIGP-projectteam, dat er geen reden is om de bestaande bestrating bij Musis Sacrum te vervangen, zoals in de brief van dr. Winsemius wordt voorgesteld. De noodzaak tot koppeling van fase 4 van het VIGP-project aan deze vervanging kan daarmee tevens vervallen.

De doelstelling van de geplande fase 4 van het project behoeft daardoor enige aanpassing. Daarbij dient te worden uitgegaan van de huidige inzichten ten aanzien van de inzet van vlieggas in grofkeramische producten. Uiteraard speelt de opvatting van de keramische industrie en de vlieggasproducenten, respectievelijk vertegenwoordigd door KNB en de Vliegasunie hierin een belangrijke rol. Dat standpunt zal mede bepaald worden door ontwikkelingen in de regelgeving t.a.v. toepassing van reststoffen als bouwmaterialen (o.a. Bouwstoffenbesluit).

Bij herziening van de invulling van fase 4 zijn twee recente ontwikkelingen van groot belang.

1. De baksteenindustrie is een onderzoek gestart naar de bruikbaarheid van primaire en secundaire grondstoffen voor de modificatie van kleisoorten die niet direct voor de vervaardiging van keramische producten geschikt zijn. Vlieggas van kolengestookte E-centrales wordt in dit onderzoek als één van de mogelijke kleimodificatie middelen gezien. Bij dit onderzoek wordt echter de nadruk gelegd op de technische mogelijkheden en worden vooralsnog de milieuhygiënische aspecten buiten beschouwing gelaten.
2. Nieuwe kolengestookte E-centrales maken gebruik van zgn. low-NOx-branders. De vlieggas die door deze centrales geproduceerd wordt, is van mindere kwaliteit dan de vlieggas van de centrales met conventionele branders. Vooral het hogere koolstofgehalte wordt gezien als een belemmering voor de huidige vliegastoepassingen. Nieuwe toepassingen voor vlieggas, waarbij dit hogere koolstofgehalte geen bezwaar is, zijn dus welkom. Bovendien zal bij toekomstige aanpassing van oudere E-centrales steeds minder vlieggas met laag koolstofgehalte worden geproduceerd. De beschikbaarheid van vlieggas voor gebakken straatklinkers (minder dan 4% koolstof

nodig) is dus twijfelachtig. Vliegassen met een hoger koolstofgehalte kunnen wel worden toegepast in keramische produkten met metselsteenkwaliteit.

Gegeven de bovengenoemde ontwikkelingen en de resultaten van het laboratorium gedeelte van het VIGP-project, wordt de volgende voorstellen gedaan ten aanzien van de invulling van een mogelijke van het project op (semi)-praktijkschaal:

Aanvullend onderzoek aan klei/vliegas-mengsels:

In fase 3 van het VIGP-project zijn een aantal mengselsamenstellingen gevonden die een produkt van metselsteenkwaliteit opleveren, waarbij de uitloogbaarheid van arseen sterk gereduceerd is. Deze produkten bevatten steeds vliegas met een hoge 'verwekingstemperatuur'. Van belang is om vast te stellen of deze eigenschap geschikt is om een selectie van vliegassen uit te voeren. De temperatuur waarbij de mengsels dienen te worden gebakken, alsmede de spreiding in deze temperatuur, is van grote invloed gebleken op het uitlooggedrag ten aanzien van arseen. Een nauwkeuriger inzicht in het verloop van de uitloging met de baktemperatuur is noodzakelijk, om in te kunnen schatten welke spreiding in de steenfabrieken acceptabel is.

Onderzoek aan de invloed van de menging op de uitlooeigenschappen

De mengsels in fase 3 van het project zijn aangemaakt door een ideale menging van gedroogde grondstoffen op een schaal van max. 80 kg in een laboratorium-menger. Bij gebruik van vliegas op fabrieksschaal zal een menging van vochtige klei met droge of aangevochtigde vliegas plaatsvinden. Vastgesteld dient te worden of het daarbij te bereiken mengresultaat van invloed is op de kwaliteit van het eindprodukt, zowel keramisch als qua uitloogbaarheid.

Demonstratieproef op (semi-)praktijkschaal

Mits de resultaten van de twee voornoemde onderdelen daartoe voldoende aanleiding geven, kan een proef onder optimale omstandigheden in een lopende produktie van een steenfabriek worden uitgevoerd. Aan de produkten van deze demonstratieproef wordt dan, zowel op labschaal als op praktijkschaal, uitloogonderzoek uitgevoerd. Deze proef moet een bevestiging leveren van de mogelijkheid om vliegas in te zetten als grondstof voor keramische produkten, waarbij een technisch en milieuhygiënisch volledig geaccepteerd produkt kan worden geleverd.

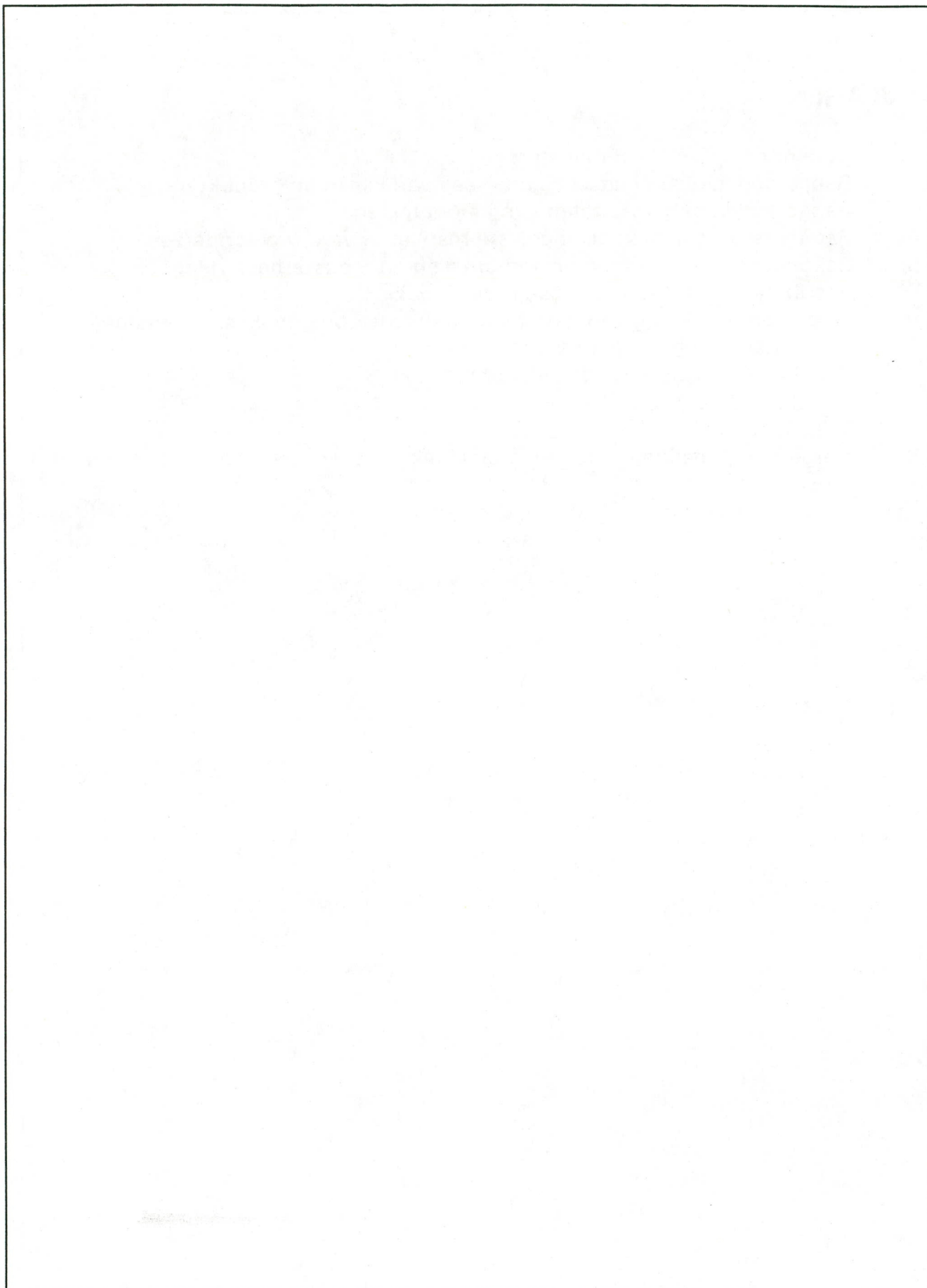
11. REFERENTIES

1. Dr.Ir. W.J.Th. van Gemert e.a.
VIGP-project, werkrapport I: Literatuurrecherche
MT-TNO-rapport nr. 86-246, december 1986
2. Ing. R. Gerritsen e.a.
VIGP-project, werkrapport II: Bepalen van grenzen van uitloging van milieubezwaarlijke elementen uit traditionele produkten (range onderzoek)
MT-TNO-rapport nr. 88-266, augustus 1988
3. A.H. de Vries e.a.
VIGP-project, deelrapport "Bepaling smeltgedrag"
TPD-TNO rapport nr. 753.103/a, juni 1988
4. M.J.M. Stam
VIGP-project, deelrapport "Bepaling vluchtigheid van spoorelementen"
KEMA-rapport nr. 62032-SBA-8, april 1989
5. H.A. van der Sloot e.a.
VIGP-project, deelrapport "Tracer studies aan grofkeramische produkten"
ECN-rapport nr. ECN-89-49, juni 1989
6. NVN 2508, Bepaling van de uitloogkarakteristieken van kolenreststoffen
NNI, 1^e druk, februari 1988
7. Ontwerp NVN 5432, Bepaling van de maximaal uitloogbare fractie en de afgifte van de hoeveelheid potentieel schadelijke componenten uit produkten waarin (kolen)reststoffen zijn verwerkt
8. H.A. van der Sloot e.a.
Contaminant diffusion in sediment soil and waste materials
TNO/BMFT conference Contaminated Soil, Hamburg, April 1988
9. A.H. de Vries
VIGP-project, deelrapport "Bakonderzoek"
10. SOSUV-publikatie
Onderzoek aan beschikbaarheidstest.
Intron, 1989, rapport nr. 95360

11. R. Gerritsen
Karakterisering van het uitlooggedrag van verkleinde produkten
Mammoet-deelrapport nr. 8, TNO-rapport nr. 90/06720, mei 1990
- 12 H.A. van der Sloot e.a.
VIGP-project, deelrapport "Oriënterend onderzoek naar elementen"
ECN-rapport van 16 juni 1986
- 13 N. Bolt
Uitloging van klei/vliegas-bakstenen
KEMA-rapport WSK/2780-242, Arnhem, oktober 1984

BIJLAGEN

1. Codering van de VIGP-monsters
2. Range onderzoek: chemische analyses van kleien en produkten
3. Range onderzoek: resultaten van uitloogtesten
4. Parameter onderzoek: belangrijkste resultaten van traceronderzoek
5. Bakonderzoek: schema monsterverdeling en monsterbewerking
Resultaten keramisch technisch onderzoek
6. Wijze van uitvoering van het uitloogonderzoek op gebakken proefstenen.
7. Resultaten van het uitloogonderzoek op gebakken proefstenen.
 - 7.1 Samenstelling en beschikbaarheidstest
 - 7.2 Cascadetest
 - 7.3 Standtest
8. Vergelijking resultaten range onderzoek met andere produkten en met Muis-klinker



BIJLAGE 1**Codering van de VIGP-monsters**

Aan alle monsters zijn codes toegekend volgens een coderingssysteem dat door het gehele VIGP-project in gebruik is geweest.

De code is als volgt samengesteld:

1 - 2 3 - 4 5 6 - 7 - 8 9

Positie 1: Code voor soort monster

K = klei*

V = vliegas

A = gebakken straatklinker 'harde' kwaliteit (0-4)*

B = gebakken straatklinker 'zachte' kwaliteit (12-20)*

C = metselbaksteen 'gemengde kwaliteit'

D = metselbaksteen 'harde kwaliteit' (0-4)

E = metselbaksteen 'zachte kwaliteit' (12-20)

M = droog mengsel van klei en vliegas

Posities 2 3: Code voor steenfabriek en plaats

01: DDO 05: GTM 09: AHU 13: GCS

02: EKO 06: OST 10: RVY

03: LBY 07: RSV 11: OLU

04: MMB 08: MHU 12: KLI

Posities 4 5 6: Code voor baktemperatuur

Baktemperatuur * 10 'C (vb: 1050 'C --> 105, 950 'C --> 095).

Bij niet gebakken monsters wordt de code '000'

Positie 7: Code voor herkomst vliegas

A: Zure vliegas

D: Neutrale vliegas 'fijn'

B: Neutrale vliegas

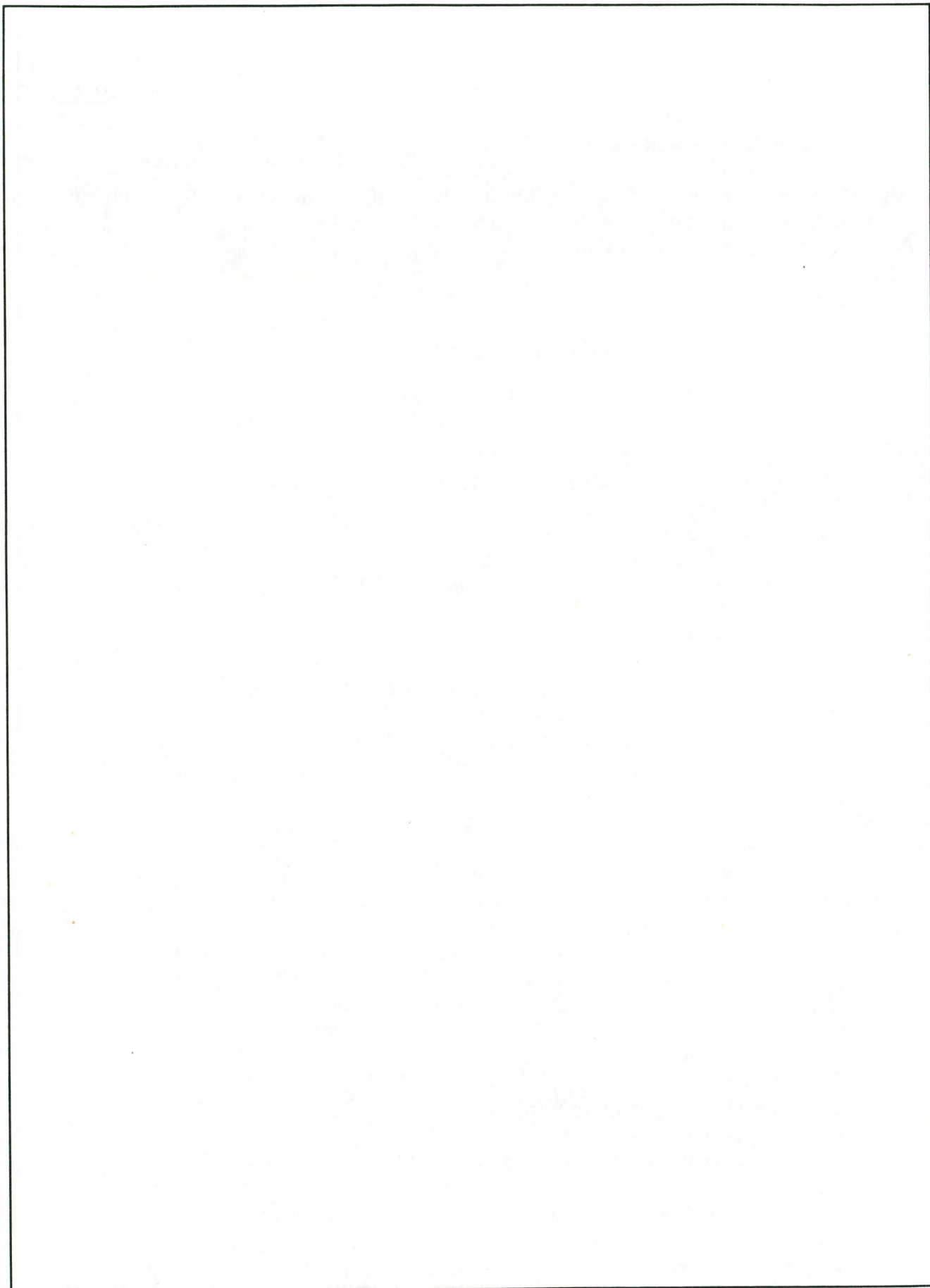
E: Neutrale vliegas 'grof'

C: Basische vliegas

Posities 8 9: Vliegaspercentage

(vb: 40 = 40% vliegas in monster)

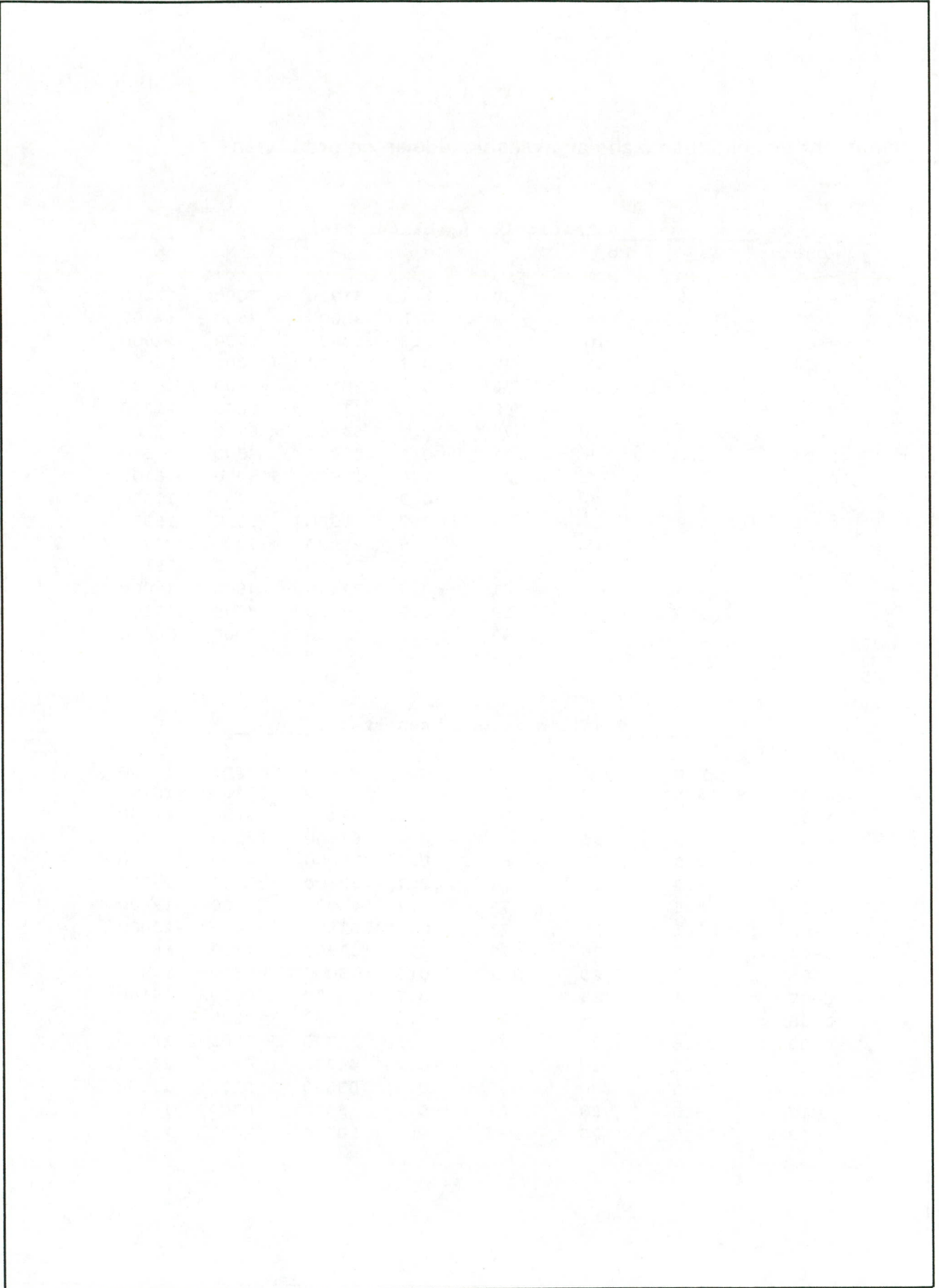
*: Indien de kwaliteit niet bekend is wordt voor gebakken produkten ook de codering 'K-....' aangehouden. Het onderscheid met klei is het aangeven van een baktemperatuur op de posities 4-6 (bij klei staat hier '000').



BIJLAGE 2**Range onderzoek: chemische analyses van kleien en produkten**

Monster	Gehalten in ongebakken klei						K
	As	Mo	V	Cd	Ca	Na	
--	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-01	12.5	<5	60	1.1	31900	7000	17200
A-02	11.0	<5	99	0.5	33000	7600	17200
A-03	13.5	10	70	0.6	54400	6700	17600
A-04	11.5	<5	77	0.4	24700	5800	16500
A-05	12.2	10	76	0.2	30400	6800	18100
B-01	12.5	<5	60	1.1	31900	7000	17200
B-03	13.5	5	70	0.6	54400	6700	17600
B-05	12.2	5	76	0.2	30400	6800	18100
C-06	18.8	<5	120	1.0	13900	5000	16100
C-07	5.0	<5	65	0.3	4500	5200	17300
C-08	12.9	15	83	0.9	9300	6300	15900
C-09	13.3	<5	60	0.5	28600	7200	17300
C-10	9.3	<5	75	<0.2	37300	6200	15600
C-11	10.3	<5	81	<0.2	72400	4500	16000
C-12	9.8	<5	59	0.8	4700	7800	17300
C-13	15.2	<5	147	1.3	9300	2000	20800

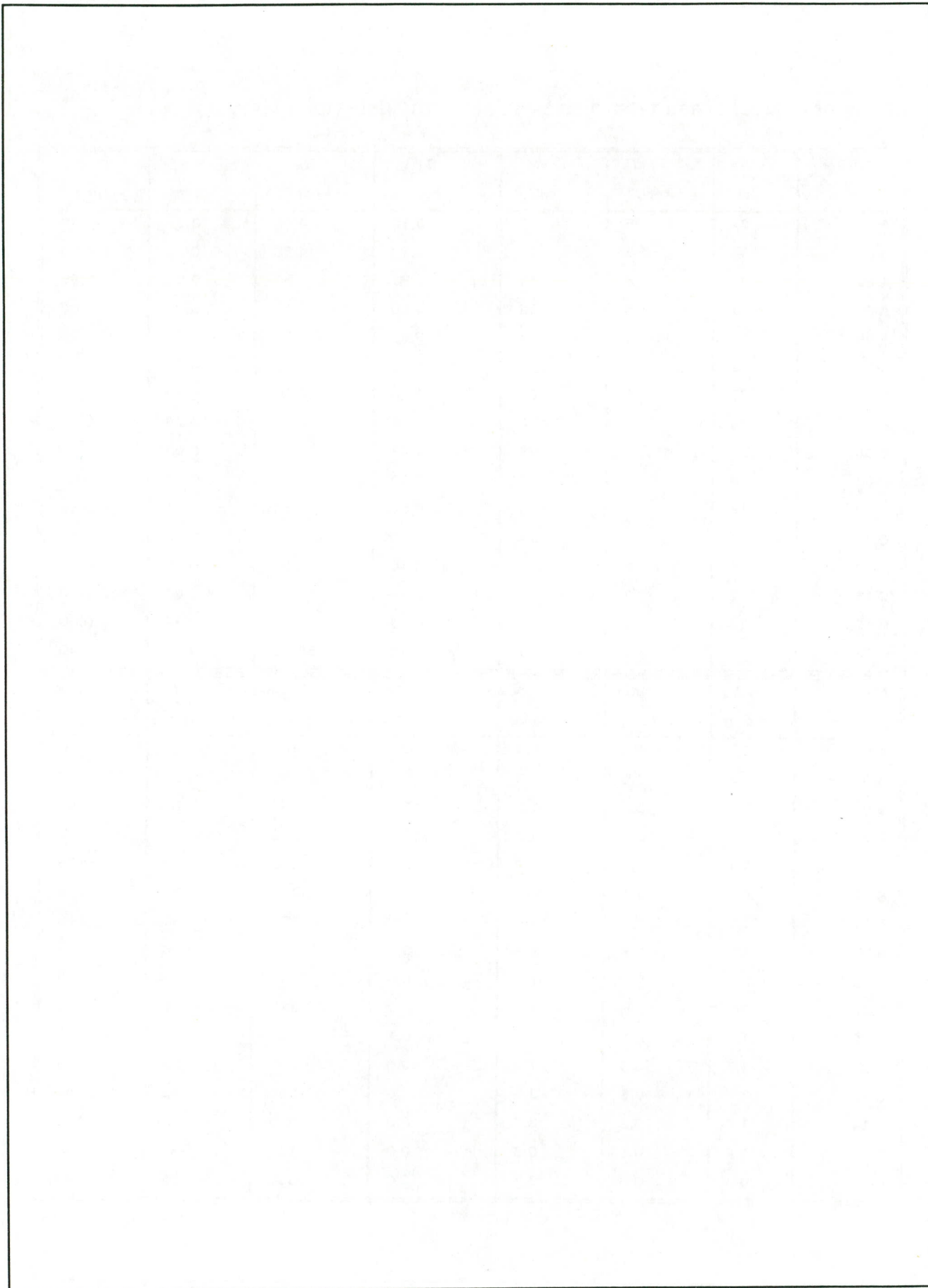
Monster	Gehalten in gebakken stenen						K
	As	Mo	V	Cd	Ca	Na	
--	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-01	13.5	50	69	0.5	36500	7400	18400
A-02	12.8	110	89	0.6	37100	8200	18300
A-03	14.6	90	76	0.6	61800	7500	18800
A-04	11.5	90	68	0.3	25000	6300	17700
A-05	13.3	90	81	0.7	32800	7500	19300
B-01	13.5	30	75	0.7	34700	7500	19800
B-03	15.1	30	73	0.4	61600	7400	20000
B-05	11.0	70	79	<0.2	32600	7300	18800
C-06	20.2	20	252	0.4	15000	5600	17400
C-07	6.1	35	75	0.7	4600	4800	19100
C-08	11.8	25	104	0.6	11200	7200	16500
C-09	16.6	20	75	1.1	31200	7700	18700
C-10	10.7	20	87	0.2	41700	6900	16600
C-11	12.5	20	92	0.7	83300	5200	17900
C-12	9.5	20	67	<0.2	5300	8000	17600
C-13	18.5	25	191	<0.7	10700	2800	27500



BIJLAGE 3**Range onderzoek: resultaten van beschikbaarheidstesten [2]**

Monster --	As ppb	Mo ppb	V ppb	Cd ppb	Ca ppm	Na ppm	K ppm
A-01	27	5	13	0,10	4,83	0,31	0,80
A-02	34	5	23	0,10	4,98	0,30	0,92
A-03	25	8	18	0,93	6,50	0,00	0,95
A-04	71	5	32	0,10	7,10	0,26	0,00
A-05	17	1	7	0,02	3,00	0,00	1,25
B-01	48	4	63	0,10	14,85	0,30	1,14
B-03	67	8	86	0,00	19,55	0,60	1,19
B-05	63	5	38	0,10	6,85	0,26	0,00
C-06	34	1	75	0,42	11,60	0,00	1,15
C-07	8	5	12	0,10	3,15	0,27	0,00
C-08	16	1	9	0,83	1,60	0,00	0,85
C-09	39	3	74	0,10	29,80	0,36	1,13
C-10	31	5	35	0,10	12,60	0,42	0,00
C-11	12	3	35	0,18	13,20	0,00	1,50
C-12	12	5	6	0,10	1,20	0,37	0,00
C-13	8	6	7	0,10	55,50	0,88	5,40

Monster --	As mg/kg	Mo mg/kg	V mg/kg	Cd mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	K mg/kg
A-01	2,7	0,5	1,3	0,0	483	31	80
A-02	3,4	0,5	2,3	0,0	498	30	92
A-03	2,5	0,8	1,8	0,1	650	NA	95
A-04	7,1	0,5	3,2	0,0	710	26	NA
A-05	1,7	0,1	0,7	0,0	300	NA	125
B-01	4,8	0,4	6,3	0,0	1485	30	114
B-03	6,7	0,8	8,6	NA	1955	60	119
B-05	6,3	0,5	3,8	0,0	685	26	NA
C-06	3,4	0,1	7,5	0,0	1160	NA	115
C-07	0,8	0,5	1,2	0,0	315	27	NA
C-08	1,6	0,1	0,9	0,1	160	NA	85
C-09	3,9	0,3	7,4	0,0	2980	36	113
C-10	3,1	0,5	3,5	0,0	1260	42	NA
C-11	1,2	0,3	3,5	0,0	1320	NA	150
C-12	1,2	0,5	0,6	0,0	120	37	NA
C-13	0,8	0,6	0,7	0,0	5550	88	540

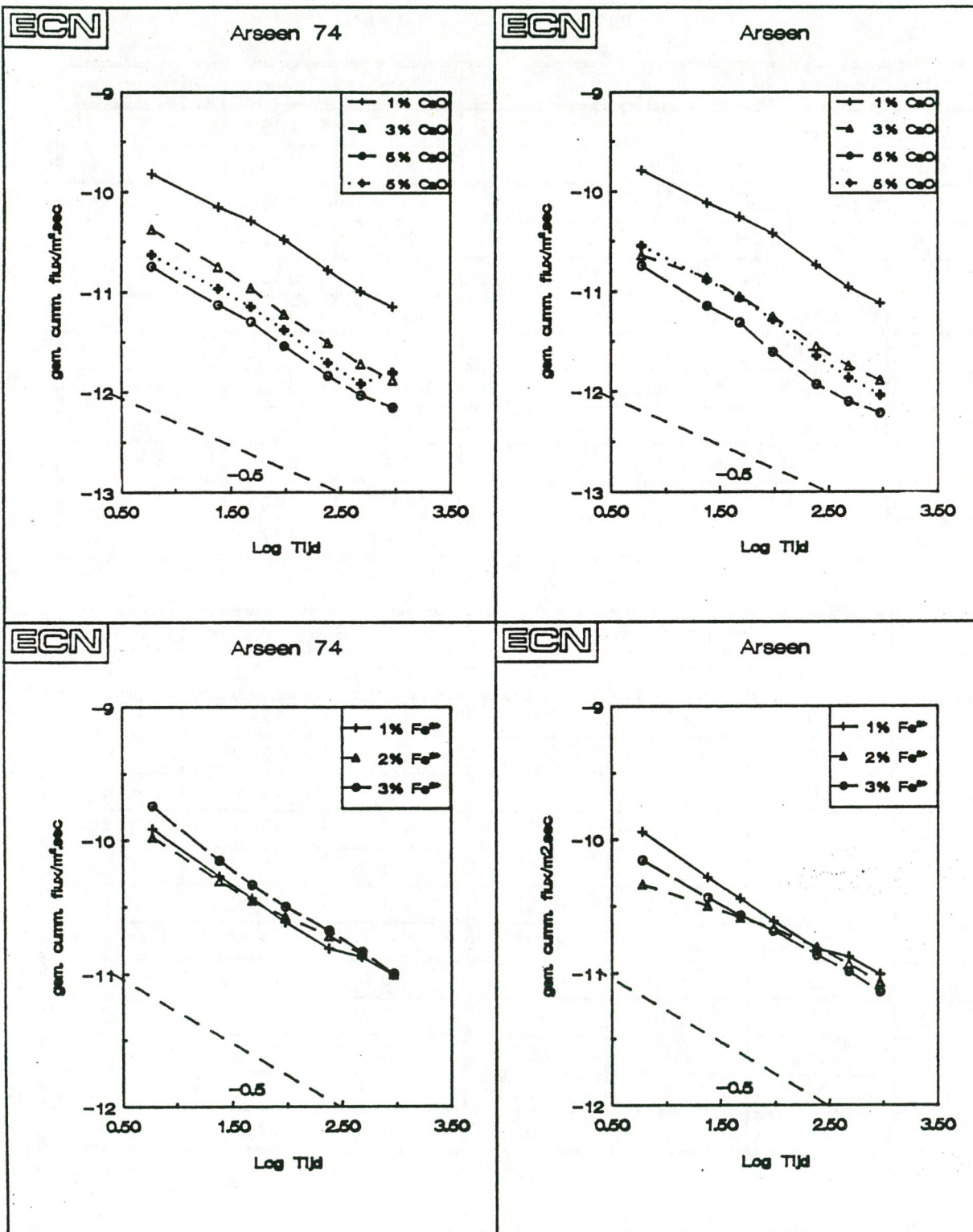


BIJLAGE 4**Parameter onderzoek: belangrijkste resultaten van traceronderzoek**

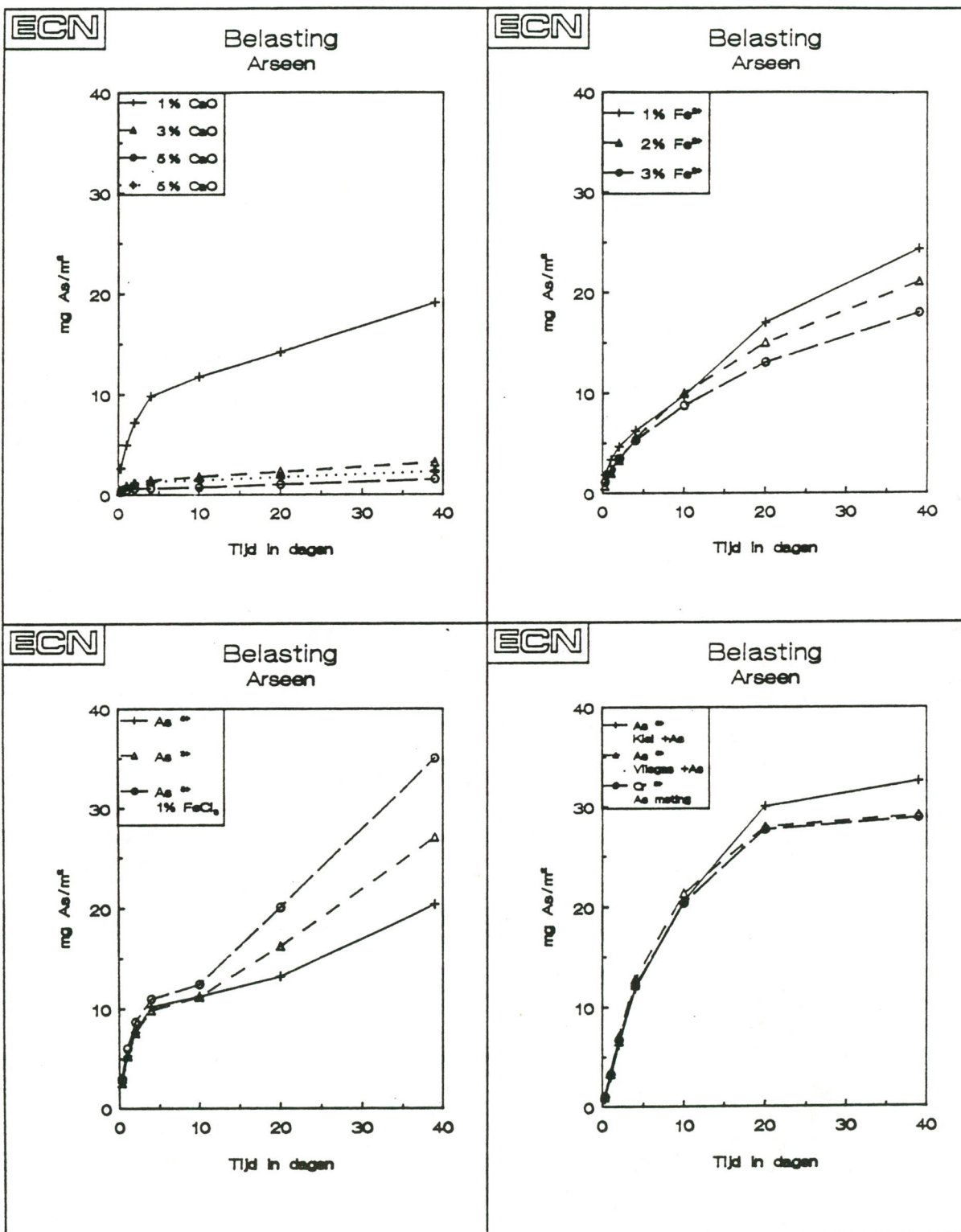
No.	Toeslag	Opm.	Gewicht	Extra water
1	-		496	-
2	Ascorbinezuur + sulfiet	As (III)	499	-
3	5 g FeCl ₃ -opl.		503	-
4	20 g FeCl ₂ ·4H ₂ O	1% Fe	524	-
5	40 g FeCl ₂ ·4H ₂ O	2% Fe	565	-
6	60 g FeCl ₂ ·4H ₂ O	3% Fe	577	- 10
7	20 g CaO	3% Ca	519	+ 40
8	30 g CaO	5% Ca	540	+ 65
9	6 g CaO	1% Ca	501	+ 10
10	30 g CaO poeder	5% Ca	530	+ 65
11		As klei	465	-
12		As vliegass	447	-

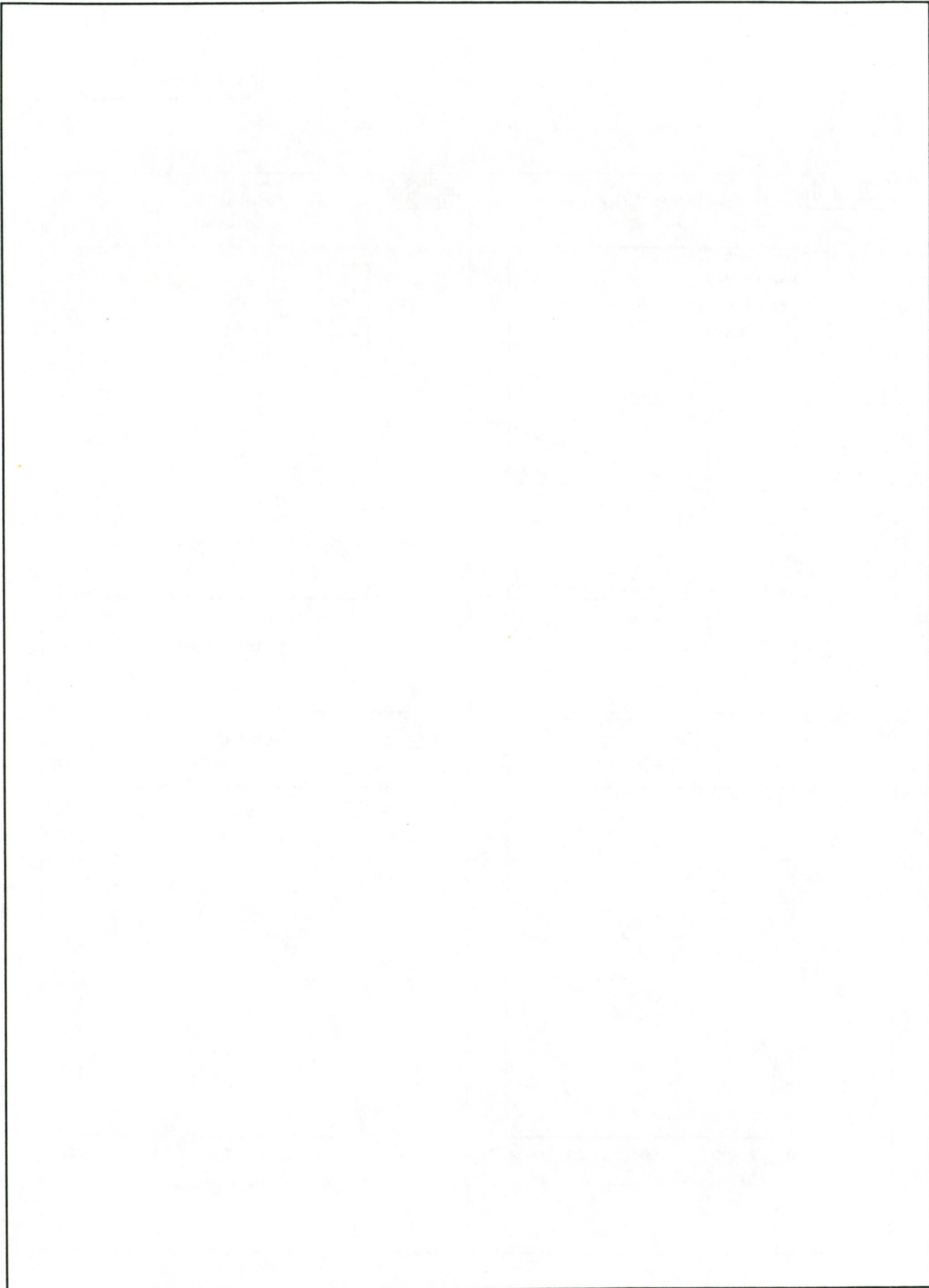
No.	Tracergegevens			Stabiel As meting		
	BSH	pD _e	RC	BSH	pD _e	RC
1	59	12.26	-0.62	63	12.36	-0.63
2	62	12.27	-0.56	66	12.25	-0.57
3	60	12.10	-0.54	63	11.96	-0.55
4	58	12.13	-0.50	63	12.21	-0.49
5	48	11.94	-0.45	49	12.09	-0.33
6	48	11.93	-0.56	48	12.23	-0.44
7	50	13.72	-0.71	56	13.83	-0.61
8	27	13.66	-0.67	30	13.88	-0.70
9	60	12.46	-0.62	68	12.52	-0.62
10	26	12.97	-0.61	30	13.52	-0.71
11	78	12.41	-0.23	78	12.18	-0.25
12	77	12.37	-0.31	78	12.32	-0.31

BIJLAGE 4 (vervolg)



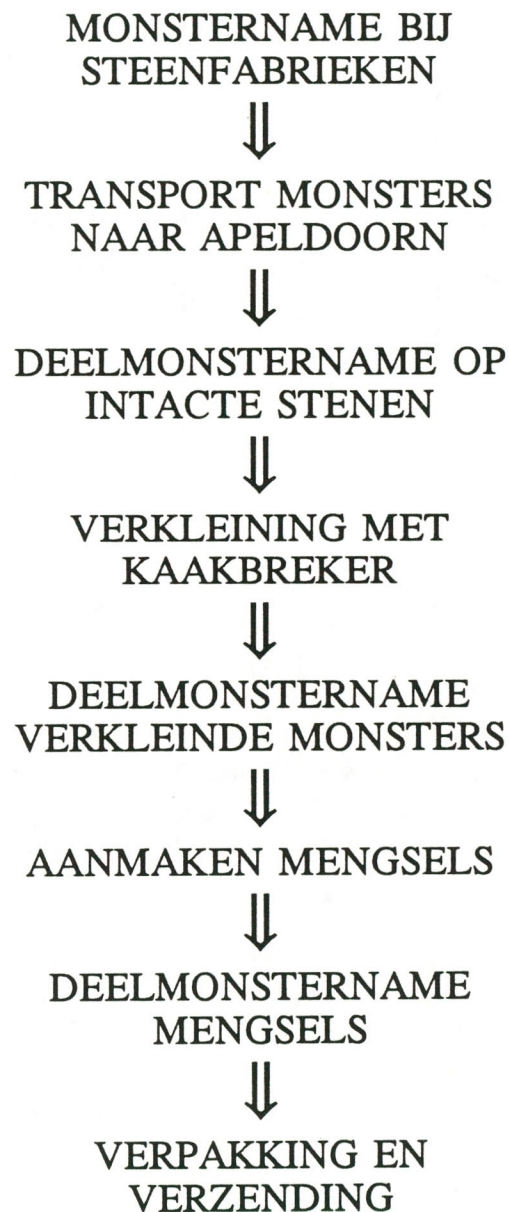
BIJLAGE 4 (vervolg)





BIJLAGE 5

Bakonderzoek: schema monsterverdeling en monsterbewerking

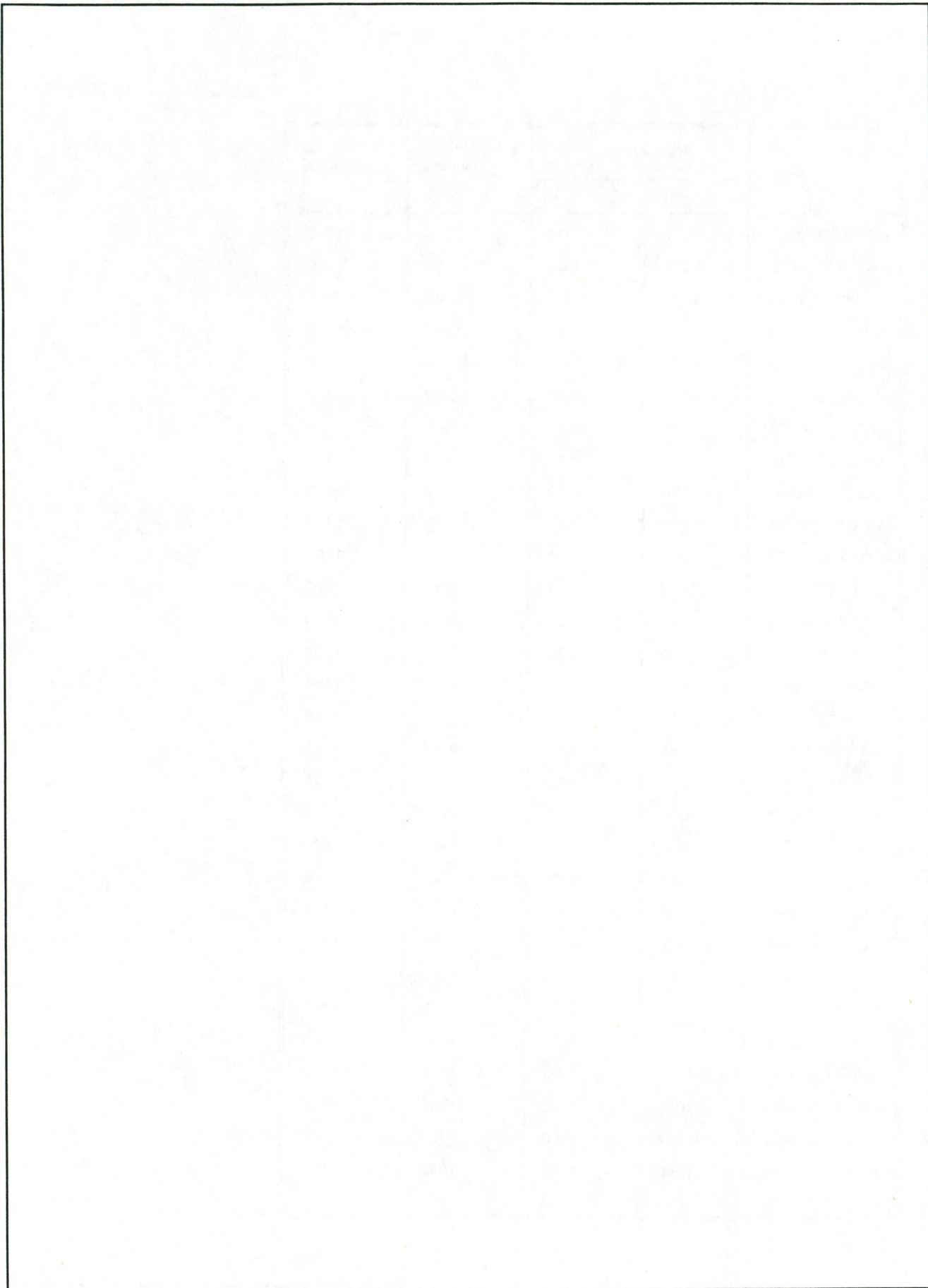


BIJLAGE 5 (vervolg)**Bakonderzoek: Resultaten keramische analyses op proefstenen**

Monster	Porievolumen	Wateropneming		Bakrimp	Scherfge- wicht	Spec. wa- teropn.
----	cm ³ /g	gew. %	vol. %	%	kg/m ³	g/mm ² .min
K-01-1075-0-00	0,177	13,2	23,5	1,0	1785	37
K-01-1097-0-00	0,071	3,1	6,6	5,7	2110	4
A-01-1075-A-25	0,216	16,8	27,6	1,1	1645	56
A-01-1105-A-25	0,089	5,0	10,0	6,8	1995	12
A-01-1075-A-40	0,000	18,2	29,0	0,9	1600	66
A-01-1105-A-40	0,000	8,3	15,6	6,1	1870	24
A-01-1135-B-25	0,086	1,4	2,8	6,5	2060	1
A-01-1075-B-25	0,190	13,5	23,3	0,0	1715	38
A-01-1135-B-40	0,000	4,7	8,9	5,2	1910	10
A-01-1075-C-25	0,202	15,3	25,9	1,5	1700	49
A-01-1105-C-25	0,106	5,2	10,5	5,8	2025	9
A-01-1135-C-40	0,068	1,4	2,9	7,8	2130	2
A-01-1075-D-40	0,000	12,3	21,8	0,0	1770	38
A-01-1100-D-40	0,130	8,0	15,2	4,6	1900	24
K-02-1097-0-00	0,000	2,7	5,7	6,0	2135	3
K-02-1075-0-00	0,000	12,9	23,2	0,8	1800	39
A-02-1100-A-40	0,000	11,2	20,0	3,7	1785	39
A-02-1135-B-40	0,000	4,5	8,5	5,0	1905	10
A-02-1100-C-25	0,141	8,8	16,6	5,9	1875	26
A-02-1100-C-40	0,000	10,9	19,9	3,7	1820	37
K-03-1100-0-00	0,000	7,6	14,5	4,1	1925	14
A-03-1100-A-40	0,000	8,7	16,0	5,3	1860	25
A-03-1135-B-40	0,000	3,1	6,0	6,5	1985	4
A-03-1100-C-25	0,088	5,3	10,5	5,9	1990	12
A-03-1135-C-40	0,000	2,6	5,4	8,3	2095	3
K-05-1100-0-00	0,000	4,1	8,4	4,4	2070	6
A-05-1100-A-40	0,000	9,0	16,3	5,2	1810	26
A-05-1135-B-40	0,000	6,5	11,5	5,0	1850	15
A-05-1100-C-25	0,000	6,0	11,7	5,3	1970	13
A-05-1135-C-40	0,077	3,2	6,5	7,9	2055	4
A-05-1135-D-40	0,000	4,7	9,4	6,0	2000	10

BIJLAGE 5 (vervolg)

Monster ---	Begin sintering bij temp. dilatatie		T bij 0% dilatatie °C	T bij -4% dilatatie °C
	°C	%		
K-01-1075-0-00	1065	1,06	1115	1170
K-01-1097-0-00	1065	1,06	1115	1170
A-01-1075-A-25	1040	0,42	1085	1155
A-01-1105-A-25	1040	0,42	1085	1155
A-01-1075-A-40	1090	-0,52	NA	1140
A-01-1105-A-40	1090	-0,52	NA	1140
A-01-1135-B-25	1080	-0,54	860	1145
A-01-1075-B-25	1080	-0,54	860	1145
A-01-1135-B-40	1070	-0,30	920	1150
A-01-1075-C-25	1070	0,78	1010	1190
A-01-1105-C-25	1070	0,78	1010	1190
A-01-1135-C-40	1065	0,38	1095	1170
A-01-1075-D-40	1070	-0,30	920	1150
A-01-1100-D-40	1070	-0,30	920	1150
K-02-1097-0-00	1060	1,06	1110	1165
K-02-1075-0-00	1060	1,06	1110	1165
A-02-1100-A-40	1065	0,18	1085	1165
A-02-1135-B-40	1040	0,30	1090	1180
A-02-1100-C-25	1065	0,80	1110	1195
A-02-1100-C-40	1060	0,76	1100	1205
K-03-1100-0-00	1065	0,88	1100	1140
A-03-1100-A-40	1065	0,18	1055	1145
A-03-1135-B-40	1075	-0,10	1045	1160
A-03-1100-C-25	1060	0,74	1100	1195
A-03-1135-C-40	1090	0,22	1105	1215
K-05-1100-0-00	1055	0,90	1105	1150
A-05-1100-A-40	1065	0,08	1080	1165
A-05-1135-B-40	1035	0,16	1080	1175
A-05-1100-C-25	1025	0,80	1110	1150
A-05-1135-C-40	1060	0,36	1095	1175
A-05-1135-D-40	1075	-0,24	1005	1160

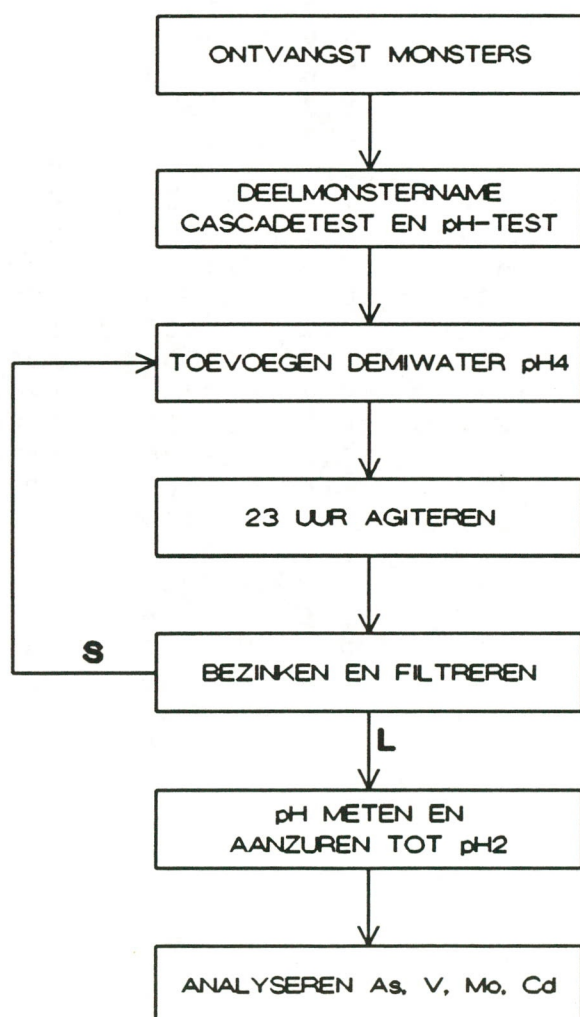


BIJLAGE 6

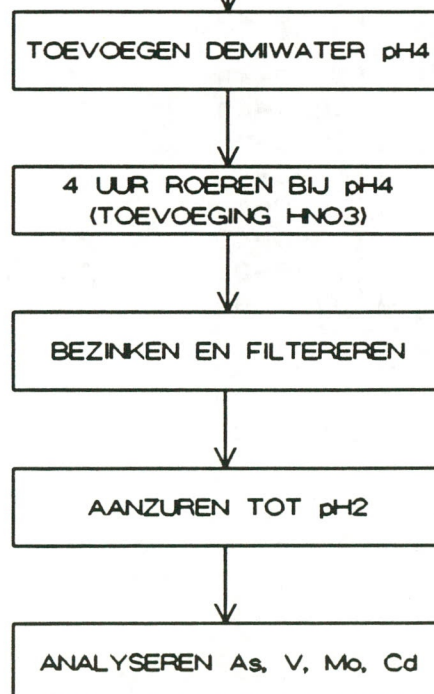
Wijze van uitvoering van het uitloogonderzoek op gebakken proefstenen.

VLIEGAS IN GROFKERAMISCHE PRODUCTEN

SCHEMA UITLOOGEXPERIMENTEN: CASCADETEST EN pH-TEST

CASCADETEST**pH-TEST**

(Beschikbaarheidstest)



BIJLAGE 7.1**Resultaten van CHEMISCHE ANALYSES op gebakken proefstenen**

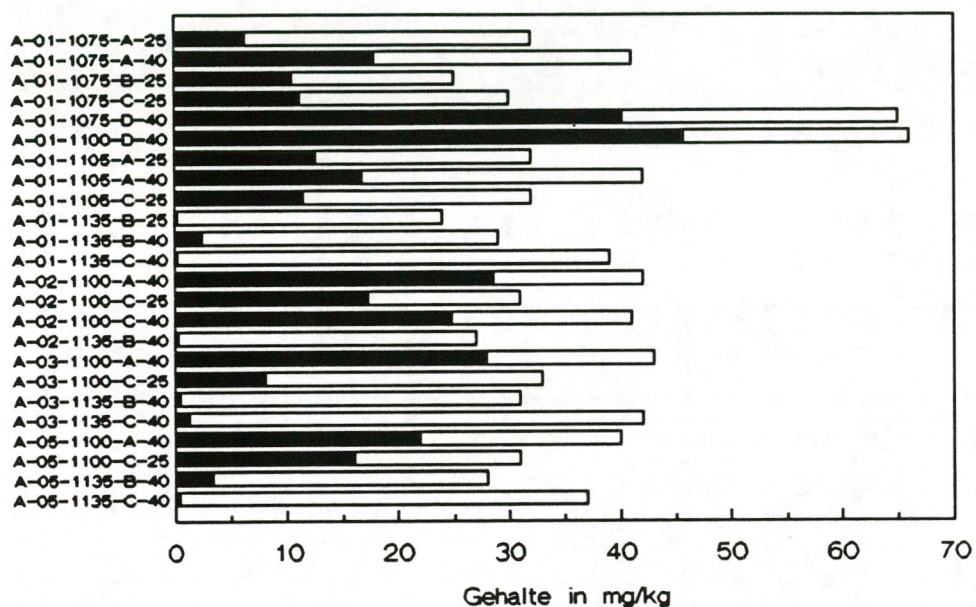
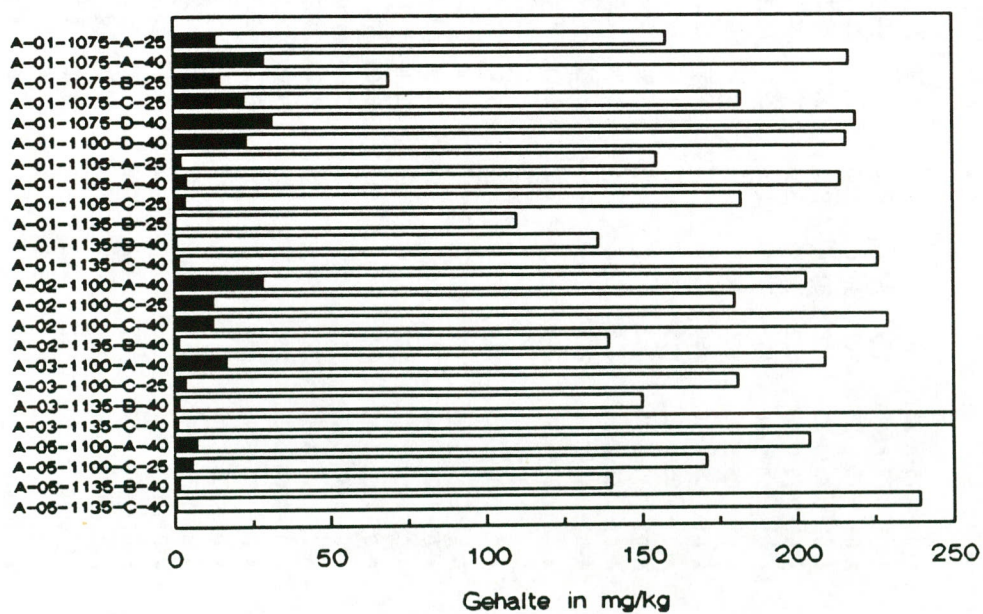
Monster	Gehalten in gebakken stenen					
	As	Mo	V	Cd	Ca	Na
--	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-01-1075-A-25	32	3	158	9.3	34800	6300
A-01-1075-A-40	41	5	217	10.5	33100	5900
A-01-1075-B-25	25	<1	69	6.8	28600	5500
A-01-1075-C-25	30	3	182	7.8	34100	5800
A-01-1075-D-40	65	15	219	10.4	28200	6000
A-01-1100-D-40	66	17	216	10.1	27700	6000
A-01-1105-A-25	32	6	155	9.0	34900	6000
A-01-1105-A-40	42	6	214	10.2	33900	5800
A-01-1105-C-25	32	5	182	7.7	32600	5500
A-01-1135-B-25	24	3	110	7.6	28500	5400
A-01-1135-B-40	29	4	136	8.3	23900	4700
A-01-1135-C-40	39	11	226	8.2	30300	4700
A-02-1100-A-40	42	6	203	10.1	34900	6500
A-02-1100-C-25	31	4	180	7.7	32100	6100
A-02-1100-C-40	41	8	229	8.3	30800	5200
A-02-1135-B-40	27	2	139	8.3	24800	5400
A-03-1100-A-40	43	11	209	10.5	32300	5800
A-03-1100-C-25	33	8	181	8.1	31900	5400
A-03-1135-B-40	31	6	150	8.9	25100	4900
A-03-1135-C-40	42	21	329	10.7	28700	4200
A-05-1100-A-40	40	189	204	10.2	31800	5700
A-05-1100-C-25	31	5	171	7.2	29200	5400
A-05-1135-B-40	28	1	140	8.0	23300	5000
A-05-1135-C-40	37	13	239	8.1	28400	4800
A-05-1135-D-40	67	8	217	9.6	26500	6300
K-01-1075-0-00	15	<1	77	5.0	37000	6900
K-01-1097-0-00	15	<1	76	5.9	36600	6600
K-02-1075-0-00	14	1	91	7.3	36500	7400
K-02-1097-0-00	14	<1	87	6.7	35300	7100
K-03-1100-0-00	16	<1	74	6.7	34200	6300
K-05-1100-0-00	16	<1	94	6.1	33000	6400

BIJLAGE 7.1 (vervolg)

Resultaten van BESCHIKBAARHEIDSTESTEN op gebakken proefstenen.

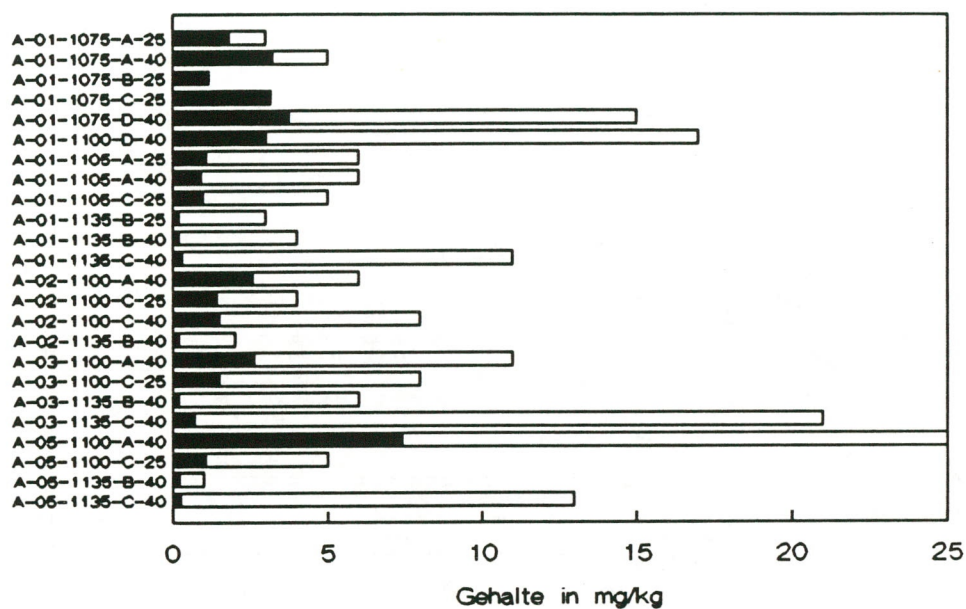
Monster	Conc. beschikbaarheidstest					Berekende beschikbaarheid						
	As µg/l	Mo µg/l	V µg/l	Cd µg/l	Ca mg/l	Na mg/l	As mg/kg	Mo mg/kg	V mg/kg	Cd mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg

A-01-1075-A-25	63	18.2	135	0.30	37.0	0.42	6.3	1.8	13.5	0.030	3700	42
A-01-1075-A-40	179	32.2	288	1.74	40.7	0.33	17.9	3.2	28.8	0.174	4070	33
A-01-1075-B-25	105	11.6	150	0.05	28.0	0.83	10.5	1.2	15.0	0.005	2800	83
A-01-1075-C-25	112	31.6	225	1.35	33.5	0.63	11.2	3.2	22.5	0.135	3350	63
A-01-1075-D-40	402	37.6	313	1.79	24.3	0.36	40.2	3.8	31.3	0.179	2430	36
A-01-1100-D-40	457	30.1	231	4.28	15.3	0.38	45.7	3.0	23.1	0.428	1530	38
A-01-1105-A-25	126	10.7	24	0.20	9.2	0.71	12.6	1.1	2.4	0.020	920	71
A-01-1105-A-40	168	9.0	40	1.59	7.7	0.35	16.8	0.9	4.0	0.159	768	35
A-01-1105-C-25	115	9.7	37	0.64	7.9	0.45	11.5	1.0	3.7	0.064	785	45
A-01-1135-B-25	2	<2	5	0.58	4.4	1.06	0.2	0.2	0.5	0.058	440	106
A-01-1135-B-40	25	<2	8	0.24	2.5	0.53	2.5	0.2	0.8	0.024	250	53
A-01-1135-C-40	<2.5	<3	<15	6.22	2.8	0.72	0.3	0.3	1.5	0.622	284	72
A-02-1100-A-40	286	25.7	282	1.09	15.5	0.32	28.6	2.6	28.2	0.109	1550	32
A-02-1100-C-25	173	14.1	123	1.62	10.7	0.39	17.3	1.4	12.3	0.162	1070	39
A-02-1100-C-40	248	15.1	125	0.93	9.2	0.32	24.8	1.5	12.5	0.093	924	32
A-02-1135-B-40	3	<2	<15	1.96	2.1	0.24	0.3	0.2	1.5	0.196	214	24
A-03-1100-A-40	279	26.1	167	14.50	17.3	0.52	27.9	2.6	16.7	1.450	1730	52
A-03-1100-C-25	81	15.0	36	<0.20	NA	NA	8.1	1.5	3.6	0.020	ERR	ERR
A-03-1135-B-40	5	<2	<15	2.66	1.8	0.24	0.5	0.2	1.5	0.266	175	24
A-03-1135-C-40	13	7.0	11	0.30	NA	NA	1.3	0.7	1.1	0.030	ERR	ERR
A-05-1100-A-40	220	74.4	71	8.70	9.2	0.40	22.0	7.4	7.1	0.870	918	40
A-05-1100-C-25	161	10.5	58	<0.05	7.5	0.43	16.1	1.1	5.8	0.005	750	43
A-05-1135-B-40	34	2.1	<15	5.96	3.1	0.34	3.4	0.2	1.5	0.596	306	34
A-05-1135-C-40	4	2.5	<5	1.91	1.9	0.48	0.4	0.3	0.5	0.191	191	48
A-05-1135-D-40	342	14.4	75	1.94	9.1	0.41	34.2	1.4	7.5	0.194	912	41
K-01-1075-0-00	6	<2	13	0.13	58.0	0.49	0.6	0.2	1.3	0.013	5800	49
K-01-1097-0-00	15	<2	12	0.13	13.5	0.41	1.5	0.2	1.2	0.013	1350	41
K-02-1075-0-00	<2.5	<2	30	5.48	45.8	0.53	0.3	0.2	3.0	0.548	4580	53
K-02-1097-0-00	12	<2	<15	0.86	9.2	0.35	1.2	0.2	1.5	0.086	916	35
K-03-1100-0-00	46	5.9	54	1.97	18.8	0.31	4.6	0.6	5.4	0.197	1880	31
K-05-1100-0-00	39	2.9	31	4.19	11.8	0.40	3.9	0.3	3.1	0.419	1180	40

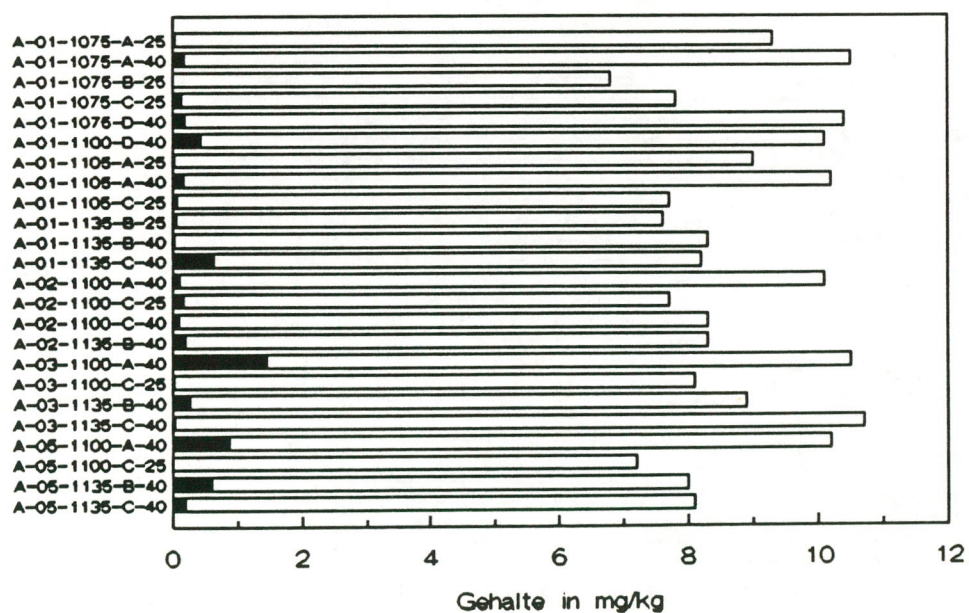
BIJLAGE 7.1 (vervolg)**Arseen****Vanadium**

BIJLAGE 7.1 (vervolg)

Molybdeen

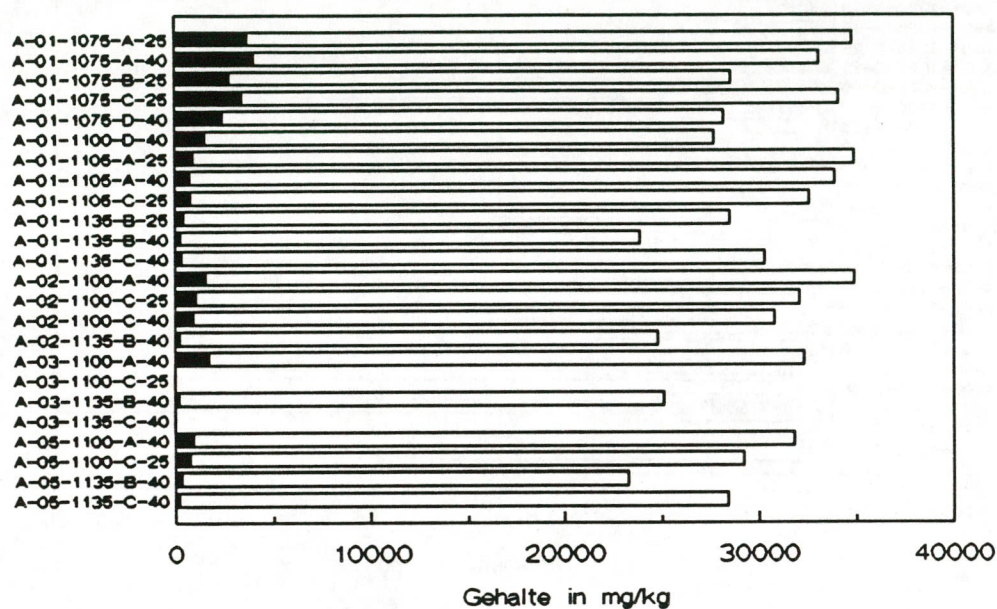


Cadmium

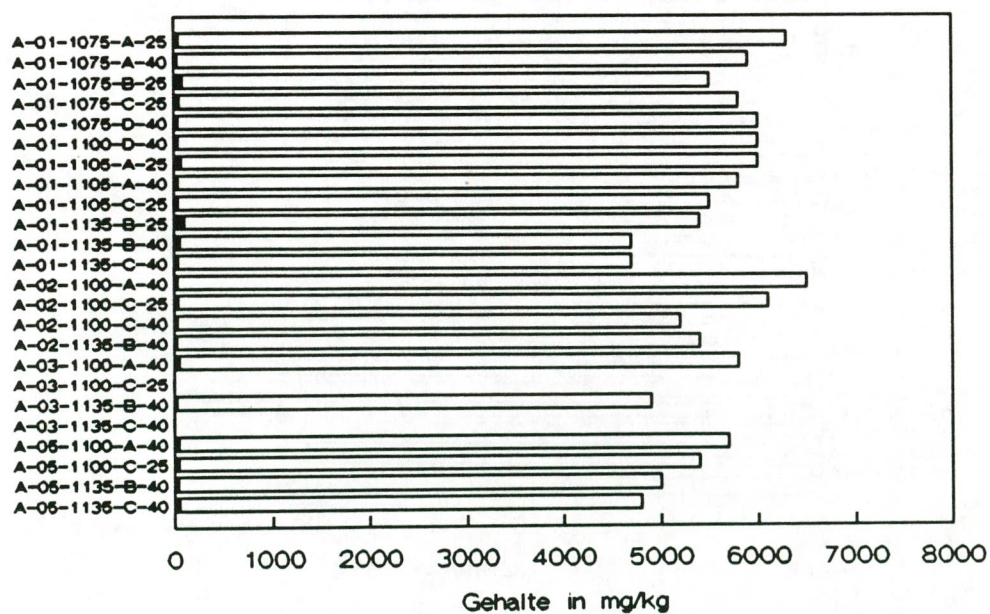


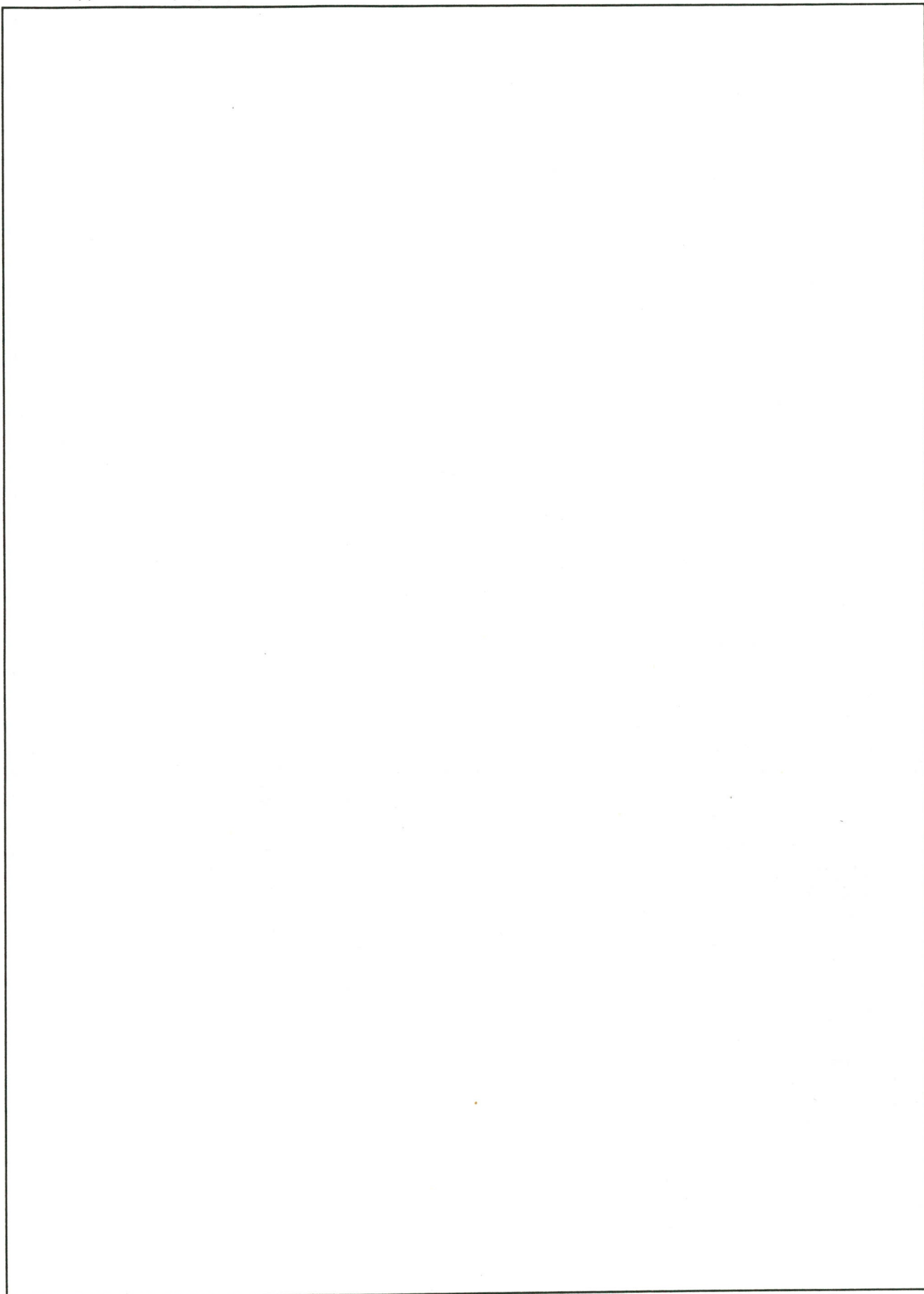
BIJLAGE 7.1 (vervolg)

Calcium



Natrium





BIJLAGE 7.2

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
(gemeten concentraties)

Monster	Arseen				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
A-01-1075-A-25	71	72	74	87	89
A-01-1075-A-40	150	191	211	180	130
A-01-1075-B-25	110	62	118	80	90
A-01-1075-C-25	87	87	83	85	97
A-01-1075-D-40	427	571	369	302	153
A-01-1100-D-40	647	930	506	199	78
A-01-1105-A-25	228	380	183	60	30
A-01-1105-A-40	430	353	136	72	17
A-01-1105-C-25	371	399	81	22	12
A-01-1135-B-25	<2	<2	<2	<2	<2
A-01-1135-B-40	205	81	24	11	<2
A-01-1135-C-40	14	6	3	<2	<2
A-02-1100-A-40	327	411	295	187	100
A-02-1100-C-25	313	395	150	52	23
A-02-1100-C-40	643	587	141	66	42
A-02-1135-B-40	24	7	<2.5	<2.5	<2.5
A-03-1100-A-40	398	441	289	157	79
A-03-1100-C-25	360	370	270	84	38
A-03-1135-B-40	5	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
A-03-1135-C-40	53	13	7	11	<2
A-05-1100-A-40	442	477	181	76	41
A-05-1100-C-25	304	346	127	27	15
A-05-1135-B-40	88	16	7	11	4
A-05-1135-C-40	54	15	7	2	<2
A-05-1135-D-40	772	806	281	54	38
K-01-1075-0-00	40	39	31	26	27
K-01-1097-0-00	58	41	58	45	27
K-02-1075-0-00	38	27	33	44	43
K-02-1097-0-00	56	55	45	28	20
K-03-1100-0-00	100	102	124	85	29
K-05-1100-0-00	102	147	91	28	16

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
(gemeten concentraties)

Monster	Molybdeen				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
A-01-1075-A-25	128	22	13	13	11
A-01-1075-A-40	199	29	13	10	6
A-01-1075-B-25	65	22	14	6	5
A-01-1075-C-25	149	25	16	13	13
A-01-1075-D-40	212	124	32	13	9
A-01-1100-D-40	188	85	32	12	9
A-01-1105-A-25	71	34	11	5	6
A-01-1105-A-40	83	14	7	4	2
A-01-1105-C-25	90	35	12	6	6
A-01-1135-B-25	9	<2	<2	<2	<2
A-01-1135-B-40	23	4	<2	<2	<2
A-01-1135-C-40	11	<6	<3	<3	<3
A-02-1100-A-40	105	52	17	11	6
A-02-1100-C-25	77	23	8	2	<2
A-02-1100-C-40	89	23	9	5	3
A-02-1135-B-40	14	<2	<2	<2	<2
A-03-1100-A-40	144	62	26	17	9
A-03-1100-C-25	120	68	12	<5	<5
A-03-1135-B-40	4	<2	<2	<2	<2
A-03-1135-C-40	67	17	12	6	<5
A-05-1100-A-40	1763	376	214	141	101
A-05-1100-C-25	70	22	3.4	<2	<2
A-05-1135-B-40	13	<2	<2	<2	<2
A-05-1135-C-40	32	4	2	<2	<2
A-05-1135-D-40	120	25	8	4	<2
K-01-1075-O-00	22	3	2	2	2
K-01-1097-O-00	10	3	<2	<2	<2
K-02-1075-O-00	14	3	<2	2	2
K-02-1097-O-00	17	5	3	3	5
K-03-1100-O-00	28	17	7	3	<2
K-05-1100-O-00	12	5	<2	<2	<2

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
(gemeten concentraties)

Monster	Vanadium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
A-01-1075-A-25	237	69	60	69	75
A-01-1075-A-40	351	158	162	159	131
A-01-1075-B-25	260	83	91	101	96
A-01-1075-C-25	332	91	72	74	86
A-01-1075-D-40	429	294	283	197	123
A-01-1100-D-40	328	280	2113	98	59
A-01-1105-A-25	73	47	35	20	14
A-01-1105-A-40	101	47	27	33	15
A-01-1105-C-25	107	53	24	12	11
A-01-1135-B-25	<5	<5	<5	<5	<5
A-01-1135-B-40	30	12	7	6	<5
A-01-1135-C-40	<9	<9	<8	<8	<8
A-02-1100-A-40	355	274	213	154	96
A-02-1100-C-25	221	159	79	47	23
A-02-1100-C-40	303	180	60	55	68
A-02-1135-B-40	<15	<15	<15	<15	<15
A-03-1100-A-40	248	165	129	82	48
A-03-1100-C-25	160	110	100	49	24
A-03-1135-B-40	<15	<15	<15	<15	<15
A-03-1135-C-40	24	12	9	6	<5
A-05-1100-A-40	143	95	42	33	25
A-05-1100-C-25	130	100	42	16	15
A-05-1135-B-40	18	<15	<15	<15	<15
A-05-1135-C-40	14	5.5	<5	<5	<5
A-05-1135-D-40	105	79.8	49.3	27.4	20.8
K-01-1075-0-00	220	63	53	34	43
K-01-1097-0-00	40	19	23	22	15
K-02-1075-0-00	183	58	45	70	59
K-02-1097-0-00	53	31	26	20	<15
K-03-1100-0-00	122	86	78	48	38
K-05-1100-0-00	88.6	70.9	70.9	27.2	25

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
 (gemeten concentraties)

Monster	Cadmium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
A-01-1075-A-25	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A-01-1075-A-40	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-01-1075-B-25	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05
A-01-1075-C-25	<0.12	<0.11	<0.24	<0.21	<0.14
A-01-1075-D-40	<0.06	<0.06	0.08	<0.06	<0.06
A-01-1100-D-40	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-01-1105-A-25	0.58	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A-01-1105-A-40	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-01-1105-C-25	<0.10	<0.10	<4.72	<0.24	<0.29
A-01-1135-B-25	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A-01-1135-B-40	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A-01-1135-C-40	<0.12	<0.64	<0.21	<0.27	<0.20
A-02-1100-A-40	<0.06	0.07	<0.06	<0.06	<0.06
A-02-1100-C-25	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-02-1100-C-40	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-02-1135-B-40	<0.06	0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-03-1100-A-40	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-03-1100-C-25	2	0.2	4.9	0.5	0.5
A-03-1135-B-40	0.08	0.09	<0.06	<0.06	<0.06
A-03-1135-C-40	<0.2	63	2.1	0.6	1.9
A-05-1100-A-40	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
A-05-1100-C-25	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A-05-1135-B-40	<0.06	<0.06	0.09	<0.06	<0.06
A-05-1135-C-40	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
A-05-1135-D-40	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	0.11
K-01-1075-0-00	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
K-01-1097-0-00	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
K-02-1075-0-00	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
K-02-1097-0-00	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
K-03-1100-0-00	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
K-05-1100-0-00	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
(gemeten concentraties)

Monster	Calcium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
A-01-1075-A-25	42.0	19.7	17.5	14.3	10.8
A-01-1075-A-40	72.0	26.8	12.0	9.4	7.1
A-01-1075-B-25	46.0	29.0	13.2	8.9	8.0
A-01-1075-C-25	30.8	18.9	16.9	15.2	13.2
A-01-1075-D-40	39.7	30.9	10.7	6.1	4.1
A-01-1100-D-40	24.9	14.8	6.6	4.1	3.8
A-01-1105-A-25	21.0	7.8	3.4	2.0	1.8
A-01-1105-A-40	15.9	5.7	3.0	3.6	3.1
A-01-1105-C-25	16.0	6.1	2.9	2.3	2.1
A-01-1135-B-25	5.1	1.3	0.9	0.8	0.8
A-01-1135-B-40	5.1	1.8	1.1	1.1	1.1
A-01-1135-C-40	4.6	2.3	1.4	1.4	1.3
A-02-1100-A-40	18.3	11.4	6.3	4.9	3.9
A-02-1100-C-25	16.0	7.8	3.8	3.0	2.4
A-02-1100-C-40	11.6	6.3	3.3	3.3	4.4
A-02-1135-B-40	4.3	2.8	1.4	1.9	1.3
A-03-1100-A-40	19.9	11.8	5.4	3.5	3.7
A-03-1100-C-25	NA	NA	NA	NA	NA
A-03-1135-B-40	3.5	1.9	1.2	1.2	1.5
A-03-1135-C-40	NA	NA	NA	NA	NA
A-05-1100-A-40	13.3	6.7	3.4	3.6	4.0
A-05-1100-C-25	14.2	5.4	2.6	1.7	1.6
A-05-1135-B-40	4.9	2.9	1.8	1.5	1.9
A-05-1135-C-40	2.4	1.5	1.0	1.1	1.1
A-05-1135-D-40	17.8	5.5	2.9	3.9	3.8
K-01-1075-0-00	49.0	45.0	41.0	27.0	17.1
K-01-1097-0-00	27.0	12.4	7.0	3.4	2.5
K-02-1075-0-00	47.8	32.7	15.9	12.8	11.5
K-02-1097-0-00	23.6	10.4	4.7	3.0	2.4
K-03-1100-0-00	34.0	21.5	11.3	7.2	5.0
K-05-1100-0-00	20.2	11.1	5.7	3.1	2.9

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
(gemeten concentraties)

Monster	Natrium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
A-01-1075-A-25	0.63	0.22	0.23	0.25	0.34
A-01-1075-A-40	0.64	0.20	0.14	0.14	0.11
A-01-1075-B-25	0.73	0.27	0.21	0.18	0.21
A-01-1075-C-25	0.89	0.30	0.24	0.21	0.22
A-01-1075-D-40	0.71	0.25	0.15	0.16	0.14
A-01-1100-D-40	0.66	0.23	0.22	0.20	0.19
A-01-1105-A-25	0.77	0.26	0.23	0.24	0.28
A-01-1105-A-40	0.73	0.31	0.21	0.23	0.23
A-01-1105-C-25	0.66	0.29	0.26	0.24	0.28
A-01-1135-B-25	0.49	0.26	0.24	0.21	0.22
A-01-1135-B-40	0.43	0.26	0.26	0.27	0.20
A-01-1135-C-40	0.72	0.36	0.27	0.24	0.22
A-02-1100-A-40	0.56	0.26	0.21	0.17	0.14
A-02-1100-C-25	0.60	0.24	0.17	0.16	1.48
A-02-1100-C-40	0.59	0.30	0.20	0.20	0.21
A-02-1135-B-40	0.62	0.36	0.22	0.19	0.14
A-03-1100-A-40	0.53	0.21	0.19	0.17	0.14
A-03-1100-C-25	NA	NA	NA	NA	NA
A-03-1135-B-40	0.61	0.28	0.15	0.13	0.15
A-03-1135-C-40	NA	NA	NA	NA	NA
A-05-1100-A-40	0.63	0.26	0.21	0.20	0.27
A-05-1100-C-25	0.59	0.22	0.26	0.21	2.30
A-05-1135-B-40	0.62	0.31	0.21	0.12	0.17
A-05-1135-C-40	0.56	0.34	0.36	0.33	0.33
A-05-1135-D-40	0.66	0.38	0.32	0.34	0.28
K-01-1075-0-00	0.89	0.29	0.25	0.24	0.25
K-01-1097-0-00	0.20	0.27	0.24	0.26	0.28
K-02-1075-0-00	1.01	0.36	0.26	0.19	0.17
K-02-1097-0-00	0.93	0.33	0.21	0.18	0.15
K-03-1100-0-00	0.73	0.24	0.19	0.17	0.14
K-05-1100-0-00	0.74	0.32	0.27	0.22	0.16

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
 (berekende emissies, cumulatief)

Monster	Arseen				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-01-1075-A-25	1.4	2.9	4.3	6.1	7.9
A-01-1075-A-40	3.0	6.8	11.0	14.6	17.2
A-01-1075-B-25	2.2	3.4	5.8	7.4	9.2
A-01-1075-C-25	1.7	3.5	5.2	6.9	8.8
A-01-1075-D-40	8.5	20.0	27.3	33.4	36.4
A-01-1100-D-40	12.9	31.5	41.7	45.6	47.2
A-01-1105-A-25	4.6	12.2	15.8	17.0	17.6
A-01-1105-A-40	8.6	15.7	18.4	19.8	20.2
A-01-1105-C-25	7.4	15.4	17.0	17.4	17.7
A-01-1135-B-25	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2
A-01-1135-B-40	4.1	5.7	6.2	6.4	6.5
A-01-1135-C-40	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
A-02-1100-A-40	6.5	14.8	20.7	24.4	26.4
A-02-1100-C-25	6.3	14.2	17.2	18.2	18.7
A-02-1100-C-40	12.9	24.6	27.4	28.7	29.6
A-02-1135-B-40	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8
A-03-1100-A-40	8.0	16.8	22.6	25.7	27.3
A-03-1100-C-25	7.2	14.6	20.0	21.7	22.4
A-03-1135-B-40	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
A-03-1135-C-40	1.1	1.3	1.5	1.7	1.7
A-05-1100-A-40	8.8	18.4	22.0	23.5	24.3
A-05-1100-C-25	6.1	13.0	15.5	16.1	16.4
A-05-1135-B-40	1.8	2.1	2.2	2.4	2.5
A-05-1135-C-40	1.1	1.4	1.5	1.6	1.6
A-05-1135-D-40	15.4	31.6	37.2	38.3	39.0
K-01-1075-0-00	0.8	1.6	2.2	2.7	3.3
K-01-1097-0-00	1.2	2.0	3.1	4.0	4.6
K-02-1075-0-00	0.8	1.3	2.0	2.8	3.7
K-02-1097-0-00	1.1	2.2	3.1	3.7	4.1
K-03-1100-0-00	2.0	4.0	6.5	8.2	8.8
K-05-1100-0-00	2.0	5.0	6.8	7.4	7.7

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
 (berekende emissies, cumulatief)

Monster	Molybdeen				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-01-1075-A-25	2.6	3.0	3.3	3.5	3.7
A-01-1075-A-40	4.0	4.6	4.8	5.0	5.1
A-01-1075-B-25	1.3	1.7	2.0	2.1	2.2
A-01-1075-C-25	3.0	3.5	3.8	4.1	4.3
A-01-1075-D-40	4.2	6.7	7.4	7.6	7.8
A-01-1100-D-40	3.8	5.5	6.1	6.3	6.5
A-01-1105-A-25	1.4	2.1	2.3	2.4	2.5
A-01-1105-A-40	1.7	1.9	2.1	2.2	2.2
A-01-1105-C-25	1.8	2.5	2.7	2.9	3.0
A-01-1135-B-25	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
A-01-1135-B-40	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7
A-01-1135-C-40	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5
A-02-1100-A-40	2.1	3.1	3.5	3.7	3.8
A-02-1100-C-25	1.5	2.0	2.1	2.2	2.2
A-02-1100-C-40	1.8	2.2	2.4	2.5	2.6
A-02-1135-B-40	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
A-03-1100-A-40	2.9	4.1	4.7	5.0	5.2
A-03-1100-C-25	2.4	3.8	4.0	4.1	4.2
A-03-1135-B-40	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
A-03-1135-C-40	1.3	1.7	1.9	2.0	2.1
A-05-1100-A-40	35.3	42.8	47.1	49.9	51.9
A-05-1100-C-25	1.4	1.8	1.9	1.9	2.0
A-05-1135-B-40	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
A-05-1135-C-40	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9
A-05-1135-D-40	2.4	2.9	3.1	3.1	3.2
K-01-1075-0-00	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
K-01-1097-0-00	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
K-02-1075-0-00	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5
K-02-1097-0-00	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
K-03-1100-0-00	0.6	0.9	1.0	1.1	1.1
K-05-1100-0-00	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5

BIJLAGE 7.2 (vervolg)**Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.**

(berekende emissies, cumulatief)

Monster	Vanadium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-01-1075-A-25	4.7	6.1	7.3	8.7	10.2
A-01-1075-A-40	7.0	10.2	13.4	16.6	19.2
A-01-1075-B-25	5.2	6.9	8.7	10.7	12.6
A-01-1075-C-25	6.6	8.5	9.9	11.4	13.1
A-01-1075-D-40	8.6	14.5	20.1	24.1	26.5
A-01-1100-D-40	6.6	12.2	54.4	56.4	57.6
A-01-1105-A-25	1.5	2.4	3.1	3.5	3.8
A-01-1105-A-40	2.0	3.0	3.5	4.2	4.5
A-01-1105-C-25	2.1	3.2	3.7	3.9	4.1
A-01-1135-B-25	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
A-01-1135-B-40	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2
A-01-1135-C-40	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9
A-02-1100-A-40	7.1	12.6	16.8	19.9	21.8
A-02-1100-C-25	4.4	7.6	9.2	10.1	10.6
A-02-1100-C-40	6.1	9.7	10.9	12.0	13.3
A-02-1135-B-40	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
A-03-1100-A-40	5.0	8.3	10.8	12.5	13.4
A-03-1100-C-25	3.2	5.4	7.4	8.4	8.9
A-03-1135-B-40	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
A-03-1135-C-40	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1
A-05-1100-A-40	2.9	4.8	5.6	6.3	6.8
A-05-1100-C-25	2.6	4.6	5.4	5.8	6.1
A-05-1135-B-40	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6
A-05-1135-C-40	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
A-05-1135-D-40	2.1	3.7	4.7	5.2	5.6
K-01-1075-0-00	4.4	5.7	6.7	7.4	8.3
K-01-1097-0-00	0.8	1.2	1.6	2.1	2.4
K-02-1075-0-00	3.7	4.8	5.7	7.1	8.3
K-02-1097-0-00	1.1	1.7	2.2	2.6	2.9
K-03-1100-0-00	2.4	4.2	5.7	6.7	7.4
K-05-1100-0-00	1.8	3.2	4.6	5.2	5.7

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
 (berekende emissies, cumulatief)

Monster	Cadmium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-01-1075-A-25	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
A-01-1075-A-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-01-1075-B-25	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
A-01-1075-C-25	<0.002	<0.004	<0.009	<0.013	<0.016
A-01-1075-D-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-01-1100-D-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-01-1105-A-25	0.012	<0.013	<0.014	<0.015	<0.016
A-01-1105-A-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-01-1105-C-25	<0.002	<0.004	<0.099	<0.103	<0.109
A-01-1135-B-25	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
A-01-1135-B-40	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
A-01-1135-C-40	<0.002	<0.015	<0.019	<0.025	<0.029
A-02-1100-A-40	<0.001	<0.003	<0.004	<0.005	<0.006
A-02-1100-C-25	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-02-1100-C-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-02-1135-B-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-03-1100-A-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-03-1100-C-25	0.040	0.044	0.142	0.152	0.162
A-03-1135-B-40	<0.002	<0.003	<0.005	<0.006	<0.007
A-03-1135-C-40	0.004	1.264	1.306	1.318	1.356
A-05-1100-A-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
A-05-1100-C-25	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
A-05-1135-B-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.007
A-05-1135-C-40	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
A-05-1135-D-40	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.007
K-01-1075-0-00	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
K-01-1097-0-00	<0.001	<0.002	<0.003	<0.004	<0.005
K-02-1075-0-00	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
K-02-1097-0-00	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
K-03-1100-0-00	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006
K-05-1100-0-00	<0.001	<0.002	<0.004	<0.005	<0.006

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
 (berekende emissies, cumulatief)

Monster	Calcium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-01-1075-A-25	840	1234	1584	1870	2086
A-01-1075-A-40	1440	1976	2216	2404	2547
A-01-1075-B-25	920	1500	1764	1942	2102
A-01-1075-C-25	615	992	1329	1633	1897
A-01-1075-D-40	794	1412	1626	1747	1830
A-01-1100-D-40	498	794	925	1008	1083
A-01-1105-A-25	420	576	644	684	720
A-01-1105-A-40	318	432	493	564	626
A-01-1105-C-25	320	442	501	547	588
A-01-1135-B-25	102	128	145	162	178
A-01-1135-B-40	102	138	161	184	205
A-01-1135-C-40	92	138	166	194	220
A-02-1100-A-40	366	594	719	816	894
A-02-1100-C-25	320	476	552	612	660
A-02-1100-C-40	232	358	424	491	579
A-02-1135-B-40	85	142	169	208	233
A-03-1100-A-40	398	634	743	814	887
A-03-1100-C-25	NA	NA	NA	NA	NA
A-03-1135-B-40	70	108	131	155	184
A-03-1135-C-40	NA	NA	NA	NA	NA
A-05-1100-A-40	266	400	468	541	621
A-05-1100-C-25	284	392	444	478	510
A-05-1135-B-40	97	155	190	220	257
A-05-1135-C-40	48	79	99	122	144
A-05-1135-D-40	356	466	524	602	678
K-01-1075-0-00	980	1880	2700	3240	3582
K-01-1097-0-00	540	788	928	995	1046
K-02-1075-0-00	956	1610	1928	2184	2414
K-02-1097-0-00	472	680	774	834	881
K-03-1100-0-00	680	1110	1336	1480	1581
K-05-1100-0-00	404	626	740	802	860

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
 (berekende emissies, cumulatief)

Monster	Natrium				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A-01-1075-A-25	12.6	17.0	21.6	26.6	33.4
A-01-1075-A-40	12.8	16.8	19.6	22.3	24.5
A-01-1075-B-25	14.6	20.0	24.2	27.8	32.0
A-01-1075-C-25	17.9	23.9	28.6	32.9	37.3
A-01-1075-D-40	14.3	19.3	22.3	25.5	28.2
A-01-1100-D-40	13.2	17.8	22.2	26.1	30.0
A-01-1105-A-25	15.4	20.6	25.2	30.0	35.6
A-01-1105-A-40	14.6	20.9	25.0	29.7	34.3
A-01-1105-C-25	13.1	18.9	24.2	29.1	34.6
A-01-1135-B-25	9.8	15.0	19.8	24.0	28.4
A-01-1135-B-40	8.6	13.8	19.0	24.4	28.4
A-01-1135-C-40	14.4	21.6	27.0	31.7	36.1
A-02-1100-A-40	11.2	16.4	20.7	24.2	27.0
A-02-1100-C-25	11.9	16.8	20.3	23.5	53.1
A-02-1100-C-40	11.7	17.6	21.6	25.6	29.7
A-02-1135-B-40	12.5	19.6	24.0	27.8	30.6
A-03-1100-A-40	10.6	14.9	18.7	22.1	25.0
A-03-1100-C-25	NA	NA	NA	NA	NA
A-03-1135-B-40	12.2	17.8	20.9	23.4	26.3
A-03-1135-C-40	NA	NA	NA	NA	NA
A-05-1100-A-40	12.6	17.7	21.9	26.0	31.3
A-05-1100-C-25	11.8	16.2	21.4	25.6	71.6
A-05-1135-B-40	12.4	18.5	22.7	25.1	28.4
A-05-1135-C-40	11.2	18.0	25.2	31.8	38.4
A-05-1135-D-40	13.3	20.9	27.2	34.0	39.6
K-01-1075-0-00	17.8	23.6	28.6	33.4	38.4
K-01-1097-0-00	4.0	9.4	14.2	19.4	25.0
K-02-1075-0-00	20.2	27.3	32.4	36.2	39.7
K-02-1097-0-00	18.5	25.0	29.3	32.9	35.8
K-03-1100-0-00	14.5	19.3	23.1	26.5	29.3
K-05-1100-0-00	14.8	21.2	26.5	30.9	34.1

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

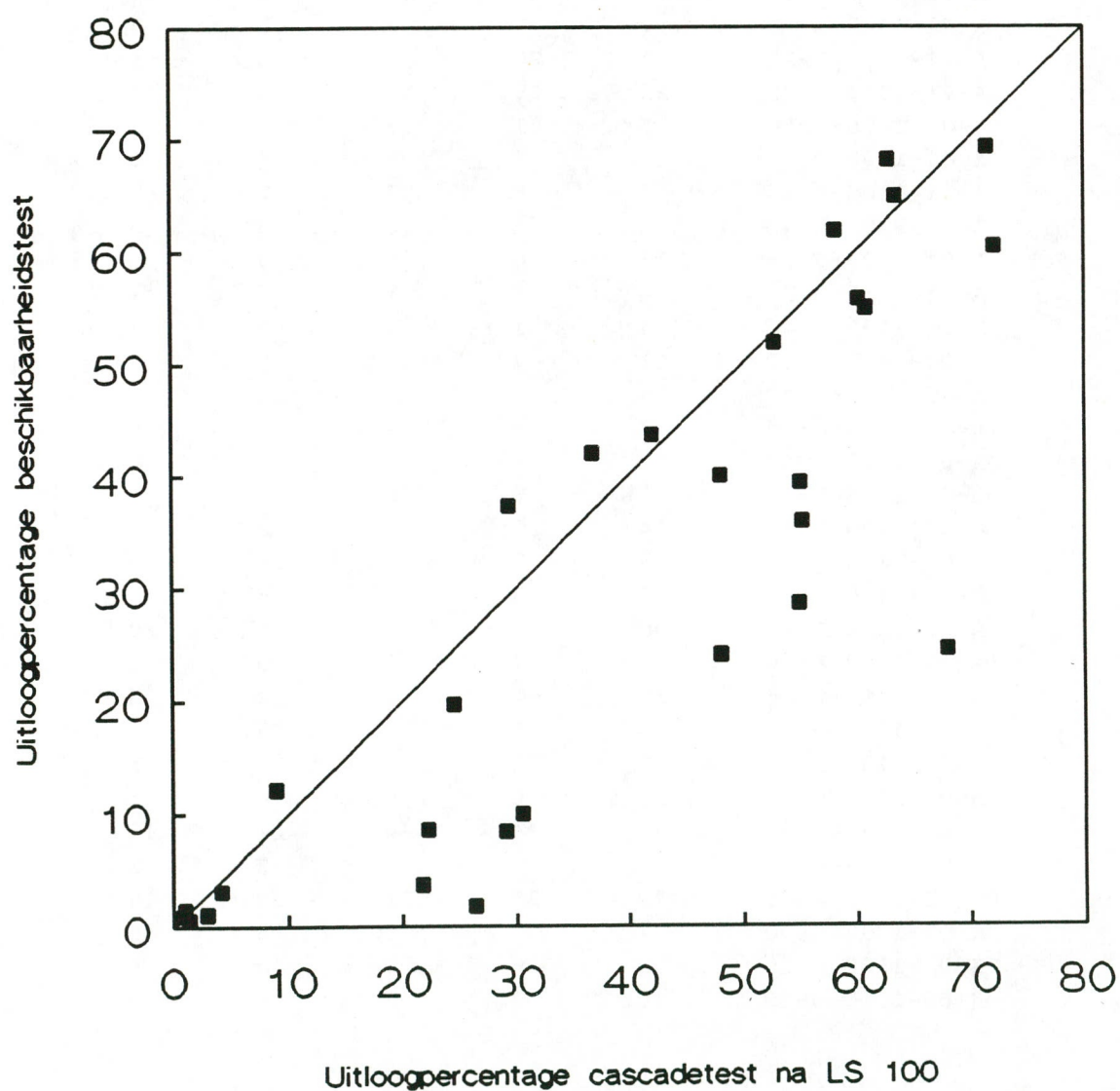
Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
(gemeten waarden)

Monster	pH filtraat				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	--	--	--	--	--
A-01-1075-A-25	11.0	10.6	10.6	10.4	10.0
A-01-1075-A-40	11.8	10.3	10.0	10.0	9.8
A-01-1075-B-25	11.2	11.0	10.5	10.3	10.2
A-01-1075-C-25	10.4	10.0	9.9	10.0	9.9
A-01-1075-D-40	10.4	10.2	9.4	9.5	9.5
A-01-1100-D-40	10.1	9.6	7.5	7.9	7.4
A-01-1105-A-25	10.5	9.9	9.6	9.6	9.9
A-01-1105-A-40	9.7	9.1	8.2	7.3	6.4
A-01-1105-C-25	10.0	8.8	7.7	6.2	4.0
A-01-1135-B-25	8.4	7.2	6.8	6.3	5.8
A-01-1135-B-40	9.7	7.6	7.0	6.5	6.1
A-01-1135-C-40	7.5	5.5	4.8	4.7	4.6
A-02-1100-A-40	10.2	9.8	9.6	9.7	9.3
A-02-1100-C-25	10.0	9.0	9.3	8.4	7.8
A-02-1100-C-40	9.8	9.0	7.9	6.9	5.5
A-02-1135-B-40	7.0	5.3	4.7	4.7	4.6
A-03-1100-A-40	10.1	9.3	8.9	7.8	7.6
A-03-1100-C-25	10.2	9.6	8.8	9.2	8.3
A-03-1135-B-40	6.5	4.4	4.5	4.4	4.4
A-03-1135-C-40	6.3	5.6	5.9	5.5	5.7
A-05-1100-A-40	9.5	8.9	7.2	6.6	7.0
A-05-1100-C-25	10.5	9.7	9.5	9.5	9.7
A-05-1135-B-40	6.9	4.9	4.6	4.5	4.5
A-05-1135-C-40	7.9	7.1	6.9	6.8	6.5
A-05-1135-D-40	9.6	8.6	7.1	5.2	5.2
K-01-1075-0-00	11.3	11.2	11.2	11.0	10.6
K-01-1097-0-00	11.0	10.5	10.0	9.7	9.5
K-02-1075-0-00	11.1	10.7	9.9	9.7	10.0
K-02-1097-0-00	10.6	10.0	9.7	9.6	9.5
K-03-1100-0-00	10.7	10.5	9.8	9.4	8.7
K-05-1100-0-00	10.5	9.6	9.2	9.0	8.6

BIJLAGE 7.2 (vervolg)

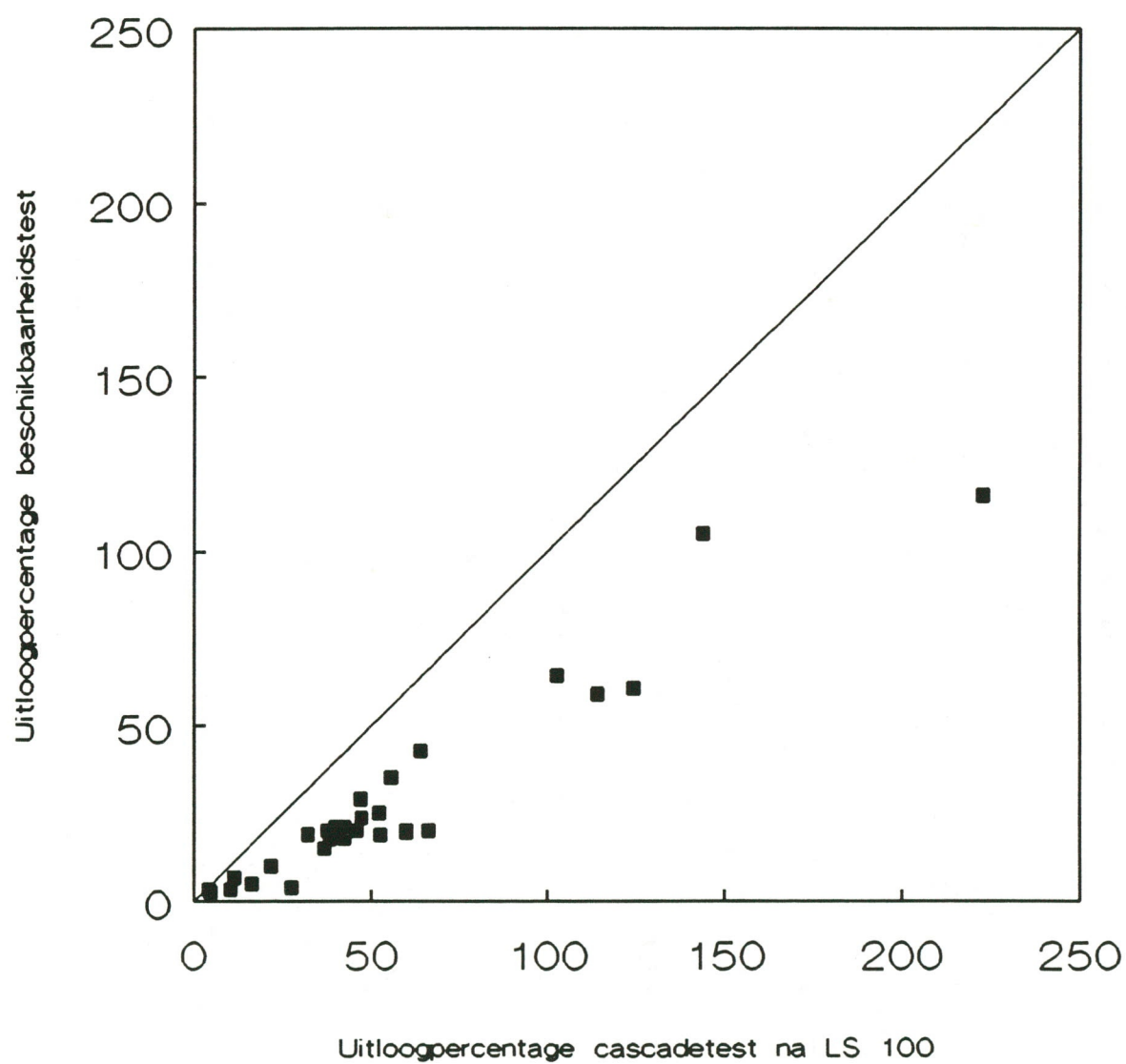
Resultaten van CASCADETESTEN op gebakken proefstenen.
(gemeten waarden)

Monster	Gel. filtraat				
	LS 20	LS 40	LS 60	LS 80	LS 100
--	mS/m	mS/m	mS/m	mS/m	mS/m
A-01-1075-A-25	29	14	12	10	7
A-01-1075-A-40	17	9	6	5	5
A-01-1075-B-25	32	20	9	6	5
A-01-1075-C-25	22	15	12	12	11
A-01-1075-D-40	26	21	8	7	7
A-01-1100-D-40	17	10	7	6	6
A-01-1105-A-25	14	5	3	2	3
A-01-1105-A-40	13	7	6	6	5
A-01-1105-C-25	14	6	5	5	5
A-01-1135-B-25	4	1	1	1	1
A-01-1135-B-40	4	1	1	1	1
A-01-1135-C-40	13	7	6	5	5
A-02-1100-A-40	14	9	17	12	8
A-02-1100-C-25	12	8	7	6	6
A-02-1100-C-40	14	8	8	6	5
A-02-1135-B-40	7	5	5	6	6
A-03-1100-A-40	14	10	6	6	6
A-03-1100-C-25	125	70	25	25	25
A-03-1135-B-40	5	5	5	6	5
A-03-1135-C-40	30	20	20	35	20
A-05-1100-A-40	10	7	7	5	5
A-05-1100-C-25	10	4	2	2	3
A-05-1135-B-40	7	5	5	5	5
A-05-1135-C-40	2	1	1	1	1
A-05-1135-D-40	13	6	5	6	5
K-01-1075-0-00	39	34	30	21	11
K-01-1097-0-00	23	9	5	3	3
K-02-1075-0-00	40	27	12	10	10
K-02-1097-0-00	22	10	6	5	5
K-03-1100-0-00	28	16	9	7	6
K-05-1100-0-00	15	9	7	6	6

BIJLAGE 7.2 (vervolg)**Arseen**

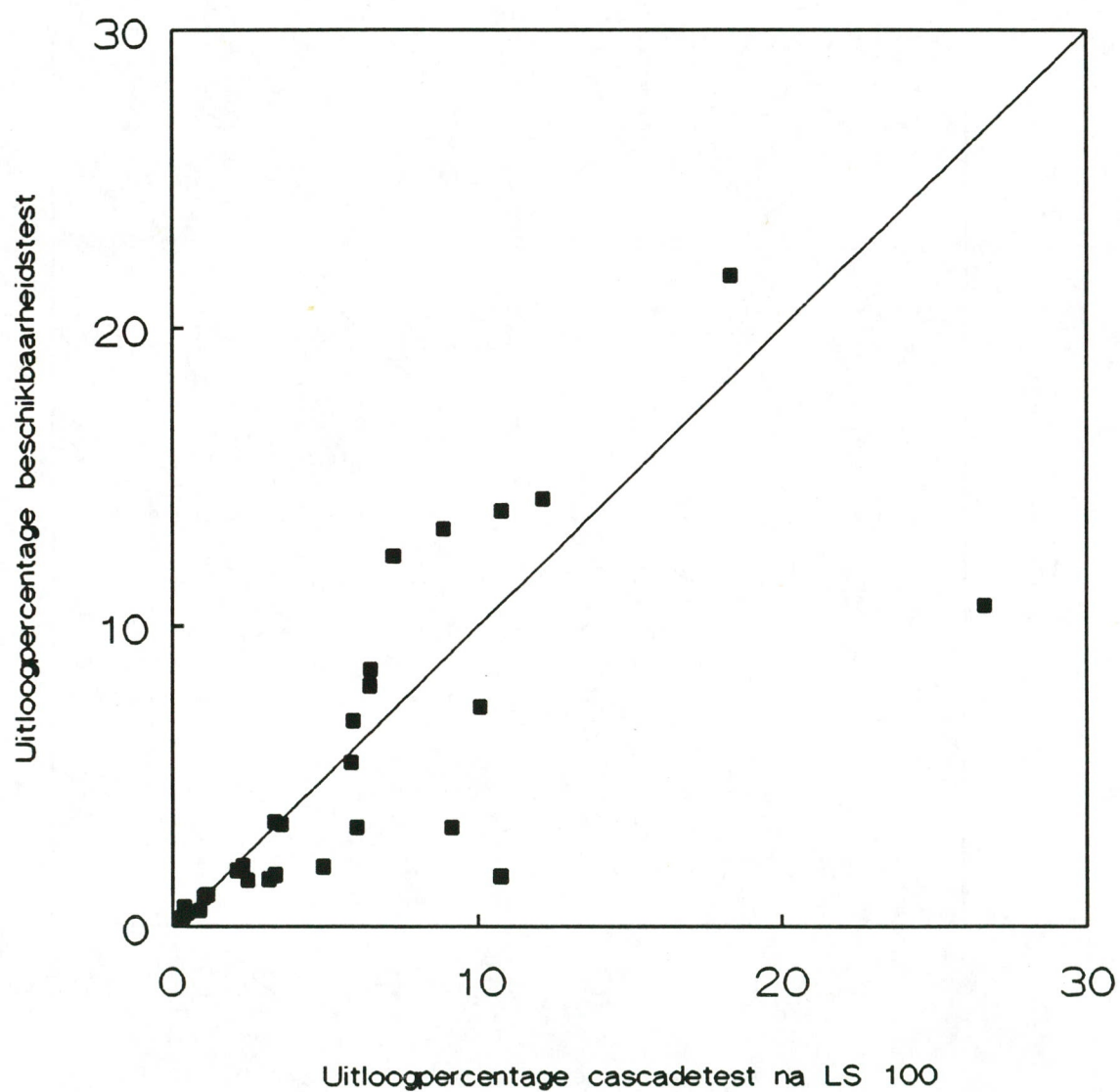
BIJLAGE 7.2 (vervolg)

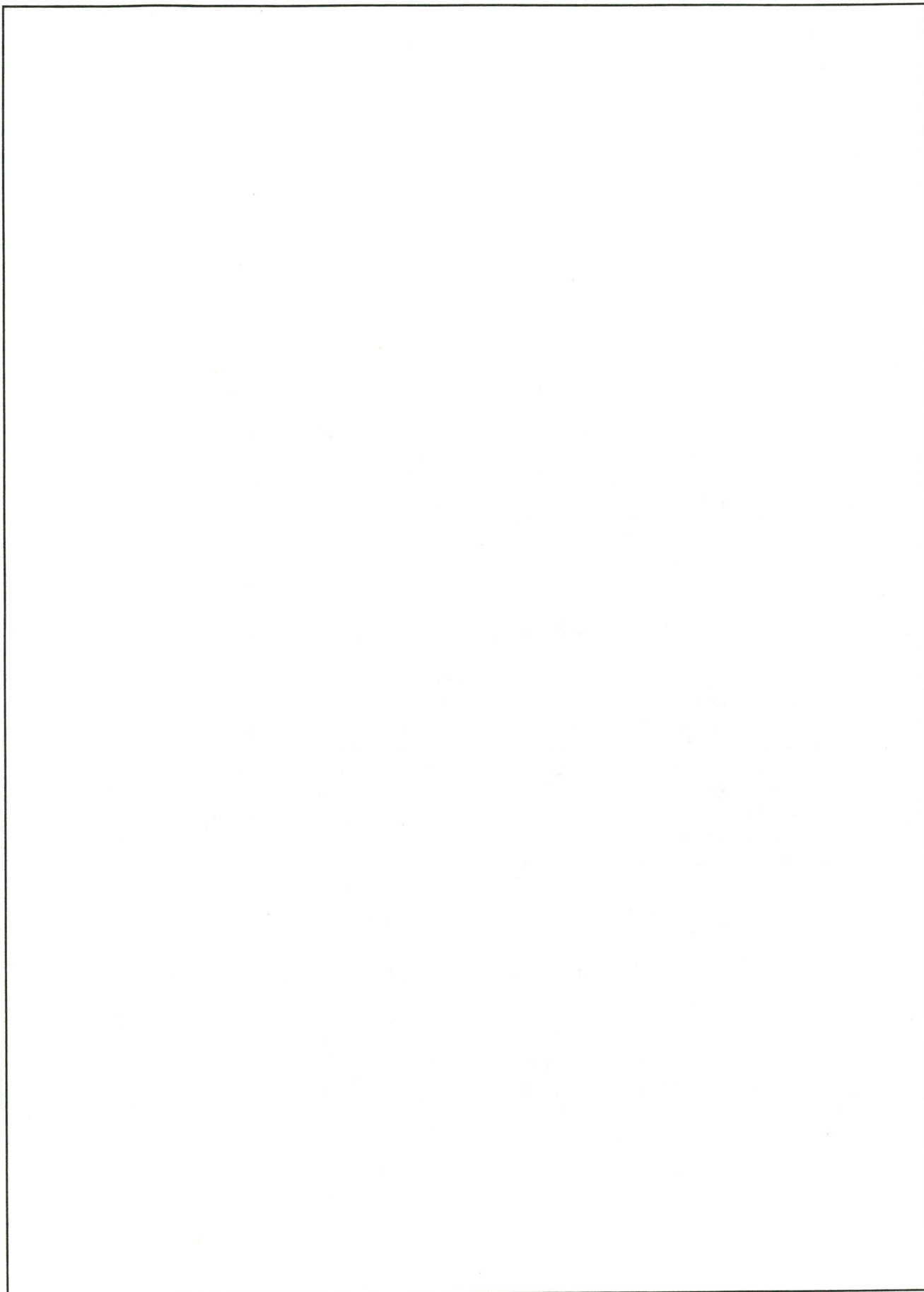
Molybdeen



BIJLAGE 7.2 (vervolg)

Vanadium





BIJLAGE 7.3**Resultaten van STANDTESTEN op gebakken proefstenen.****-- Beschikbaarheid bij pH4 in mg/kg --**

Nr.	Code	Na	Ca	As	Mo	V
1.	K-01-1075-O-00	49	5800	0.55	0.20	1.3
2.	A-01-1075-A-25	42	3700	6.30	1.82	13.5
3.	A-01-1075-B-25	83	2800	10.50	1.16	15.0
4.	A-01-1075-C-25	63	3350	8.00	2.30	15.0
5.	A-01-1105-C-25	45	785	11.80	0.83	3.1
6.	A-01-1135-C-40	72	284	0.31	0.20	0.5
7.	A-03-1135-C-40	NA	NA	1.30	0.70	1.1
8.	A-05-1135-C-40	48	191	0.42	0.25	0.5

- Diffusiecoëfficiënten: pD (D in m²/s) -

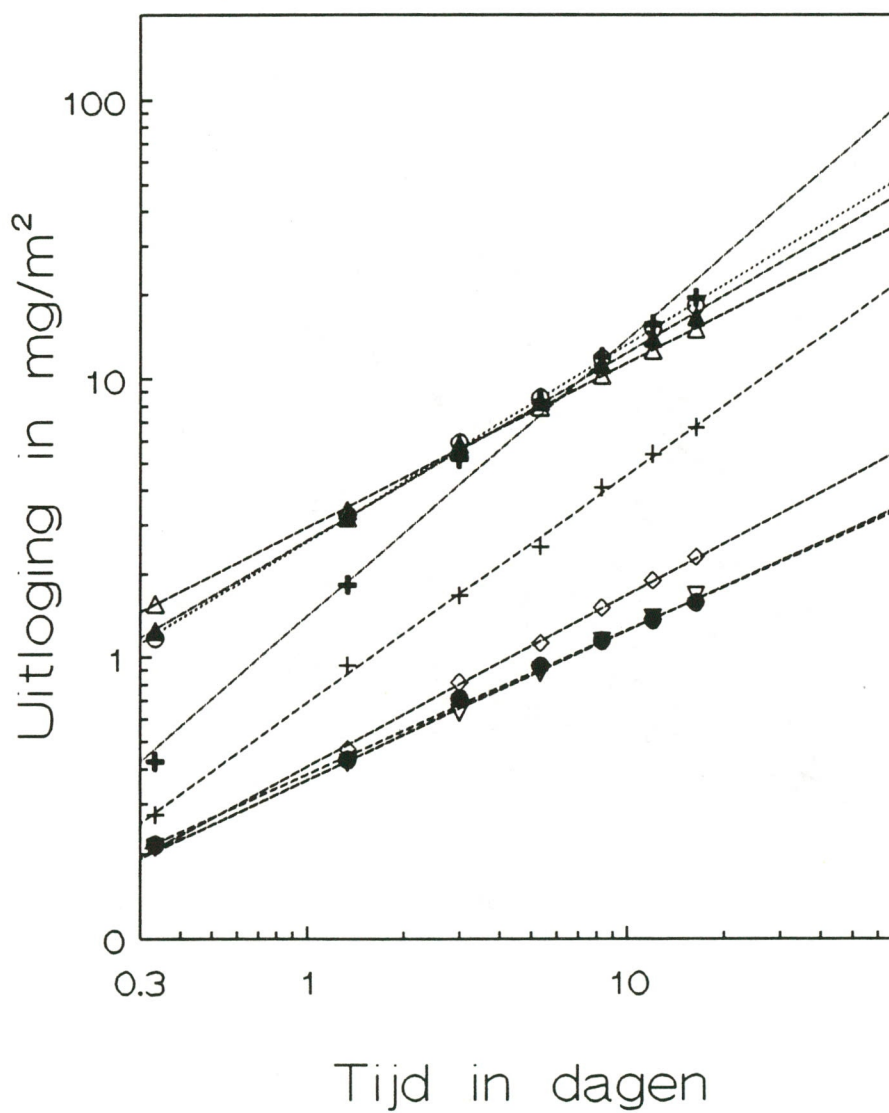
Nr.	Code	Na	Ca	As	Mo	V
1.	K-01-1075-O-00	11.8	12.1	10.2	10.6	10.1
2.	A-01-1075-A-25	11.7	11.9	11.7	10.4	11.5
3.	A-01-1075-B-25	12.7	11.7	11.9	10.8	11.9
4.	A-01-1075-C-25	12.2	11.4	11.5	10.8	11.5
5.	A-01-1105-C-25	12.6	12.4	12.1	10.8	11.7
6.	A-01-1135-C-40	13.3	13.0	11.1	11.4	10.8
7.	A-03-1135-C-40	NA	NA	12.3	11.6	11.2
8.	A-05-1135-C-40	12.7	12.5	10.9	10.7	10.6

- Retentie factor (basis: Mo) -

Nr.	Code	Na	Ca	As	V
1.	K-01-1075-O-00	12	26	0	0
2.	A-01-1075-A-25	19	35	20	14
3.	A-01-1075-B-25	73	9	14	15
4.	A-01-1075-C-25	22	4	6	5
5.	A-01-1105-C-25	48	32	19	7
6.	A-01-1135-C-40	73	38	1	0
7.	A-03-1135-C-40	NA	NA	4	0
8.	A-05-1135-C-40	84	60	2	1

BIJLAGE 7.3

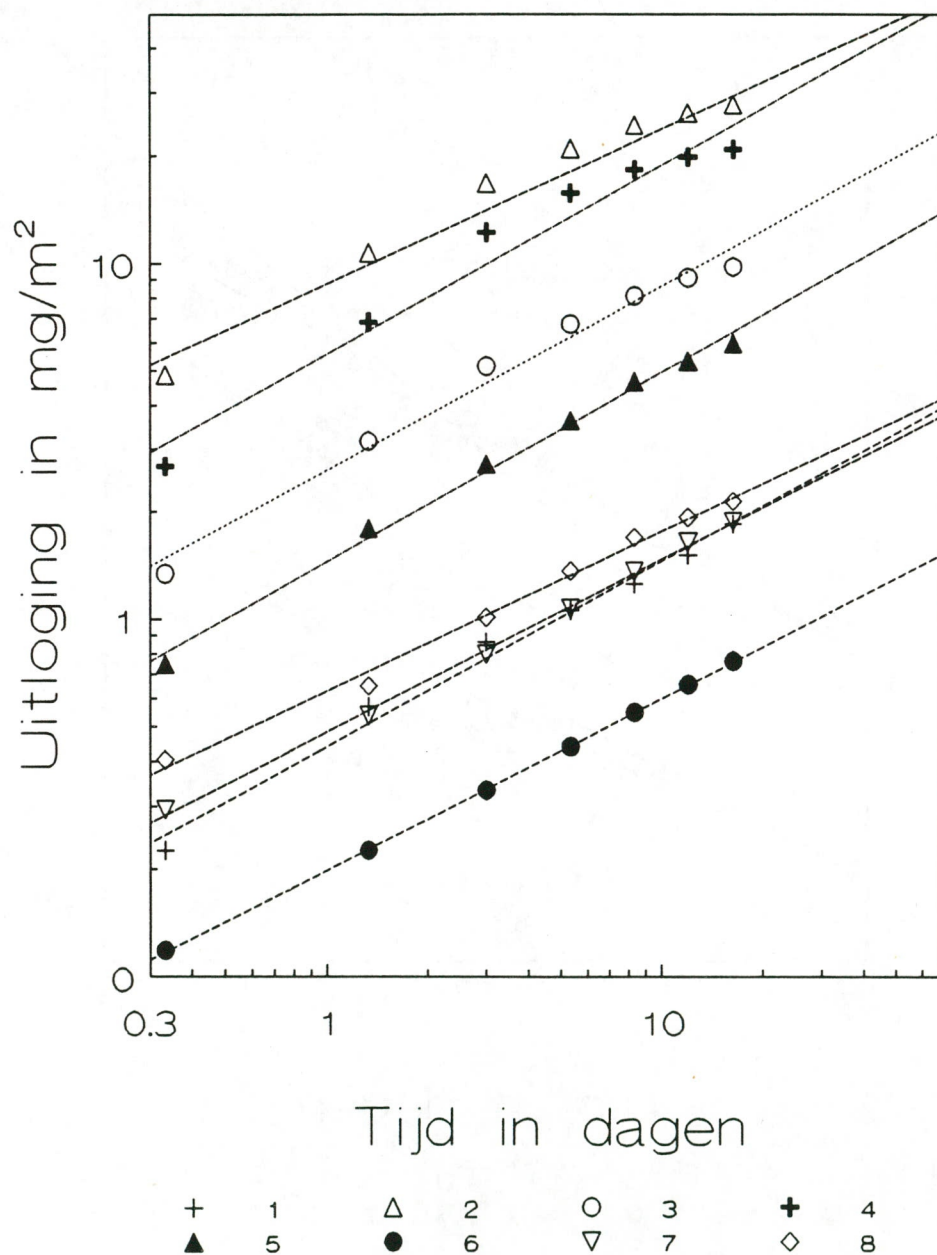
Cumulative uitloging standtest Arseen



+	1	△	2	○	3	+	4
▲	5	●	6	▽	7	◇	8

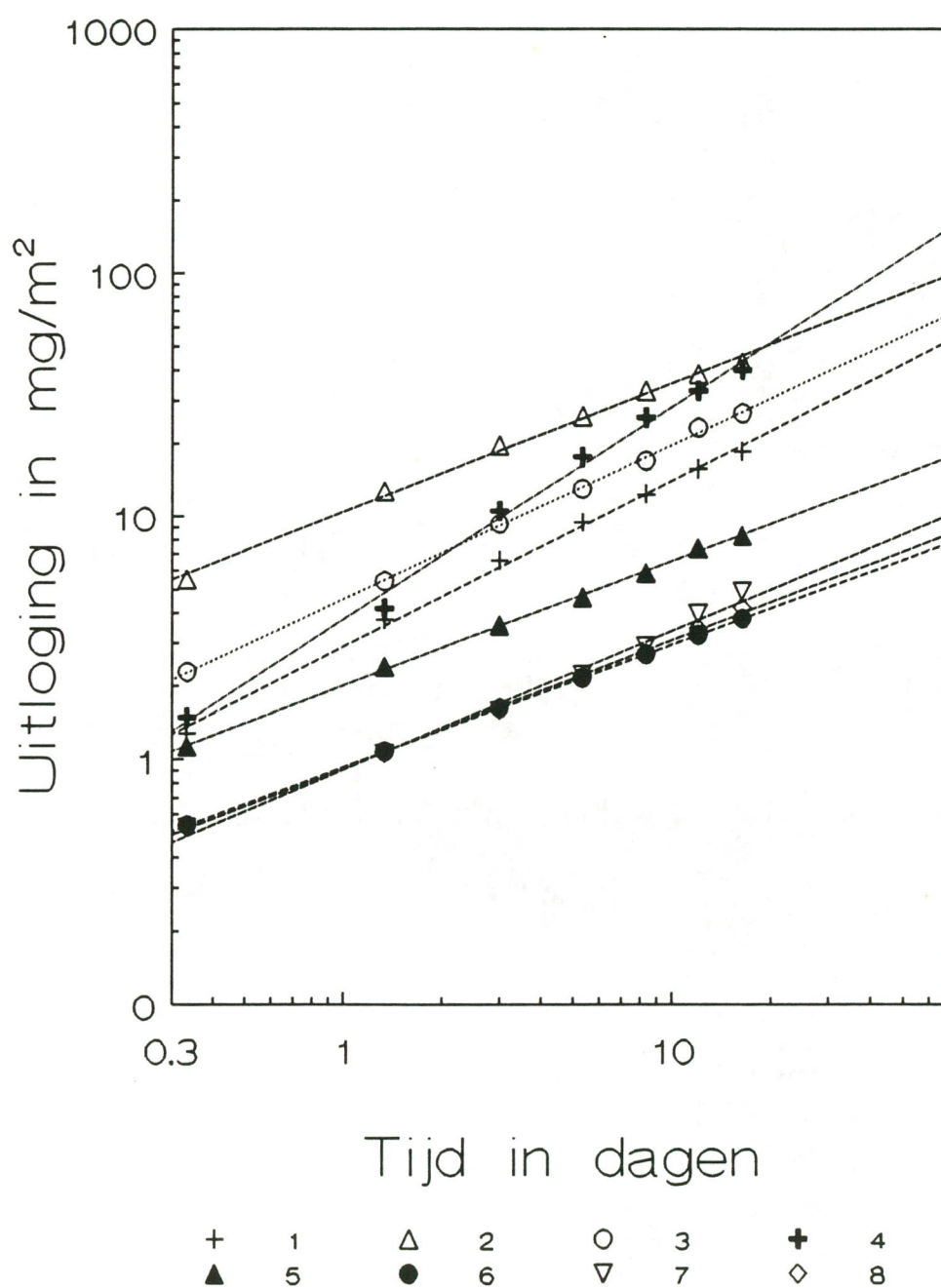
BIJLAGE 7.3

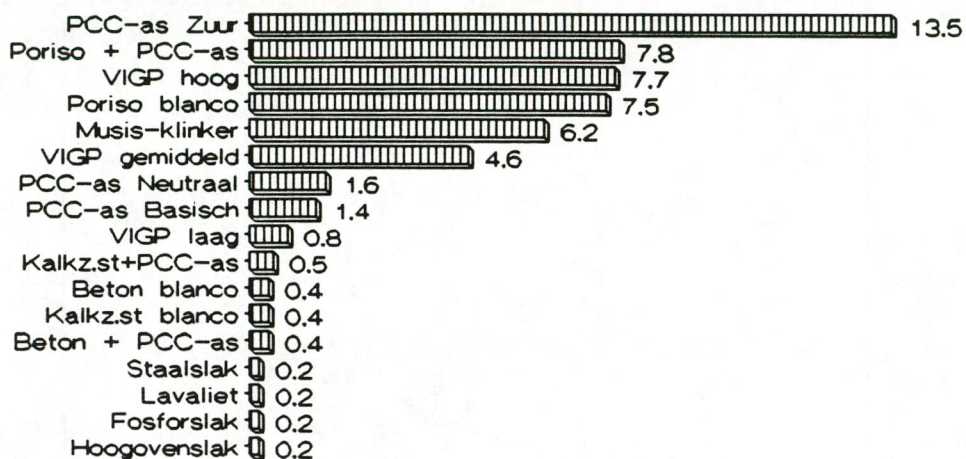
Cumulative uitloging standtest Molybdeen



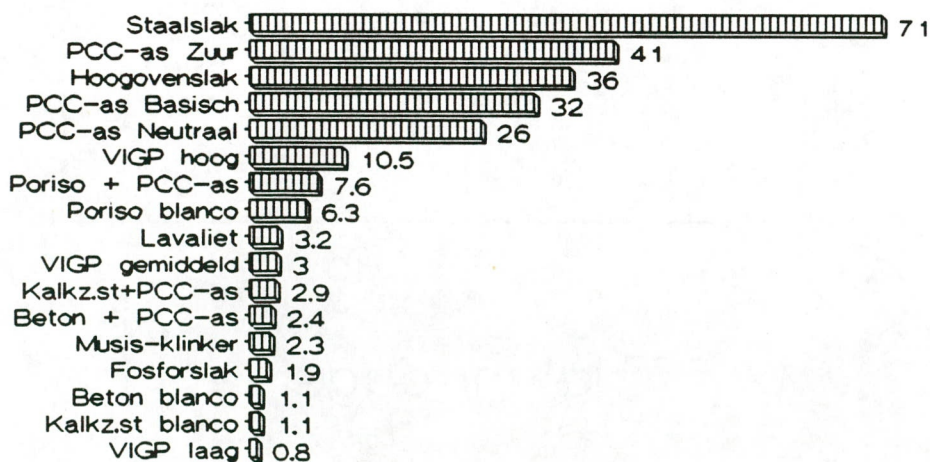
BIJLAGE 7.3

Cumulative uitloging standtest Vanadium



BIJLAGE 8.1**Vergelijking resultaten range onderzoek met andere produkten en grondstoffen****Vergelijking materialen
Arseen**

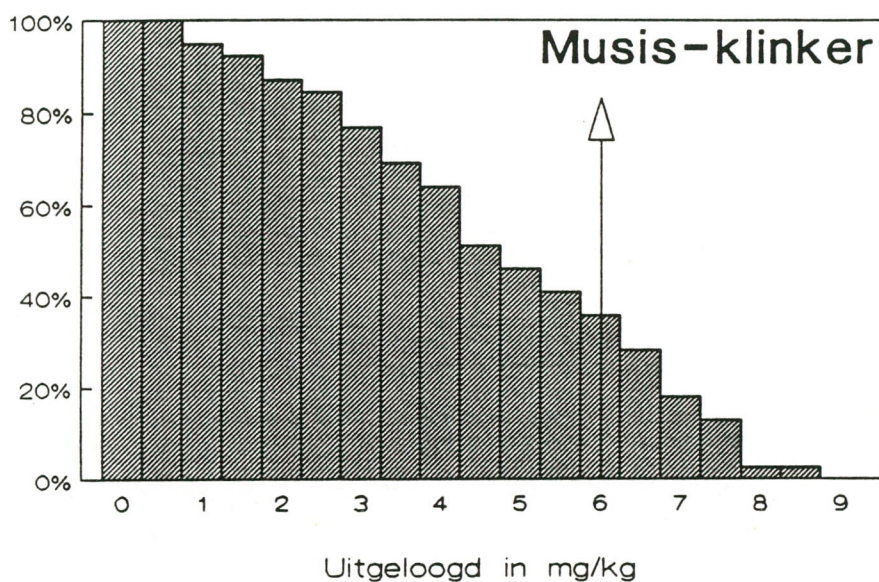
Cumulatieve uitloging bij LS100 in mg/kg

**Vergelijking materialen
Vanadium**

Cumulatieve uitloging bij LS100 in mg/kg

BIJLAGE 8.2

Vergelijking Muis-klinker met range onderzoek aan traditionele produkten
(cumulatieve uitloging tot en met $L/S = 100$ in de cascadetest, in mg/kg)

Arseen**Vanadium**