

**Factoren die een rol spelen bij de vertaling van
resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten
naar praktijksituaties**
(Project O1 Taakstellend Plan)

Referentienummer 92-364
Dossiernummer 112322-22484
Datum oktober 1992
P

Auteurs
Ir. E. Mulder
Dr. J. Joziasse

Met medewerking van
G.J. Grootenboer
G. van der Made

Trefwoorden
— secundaire grondstoffen
— wegfundering
— uitloging
— vertaalfactoren

Bestemd voor
NOVEM
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Samenvatting

In het Mammoet-project is in een tweetal deelonderzoeken nagegaan hoe de relatie is tussen laboratorium-uitloogexperimenten en praktijksituaties door middel van kolom-uitloogproeven op grote schaal en een semi-praktijk uitloogonderzoek aan (mogelijke) wegfunderingsmaterialen. Hierbij is met name gekeken naar de uitloging als zodanig (gemeten concentraties en cumulatieve emissies), en niet zozeer naar deelaspecten. De belangrijkste vragen die overbleven, hadden betrekking op de mate van bevochtiging van de funderingspakketten, de bijdrage van verschillende uitloogmechanismen (percolatie en diffusie) en de effecten van het zandbed op de netto-uitloging. Doordat de proefbakken van het semi-praktijk onderzoek geconserveerd waren, bestond de mogelijkheid deze alsnog te bemonsteren en zowel fysisch als chemisch te analyseren. Op deze manier kon een aantal factoren die een rol spelen bij de vertaling van lab-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (met name de mate van bevochtiging en het uitloogmechanisme) nader worden onderzocht. In het voorliggende rapport worden de bevindingen van dit onderzoek beschreven.

Het experimentele onderzoek bestond uit (1) het bemonsteren van de proefbakken uit het Mammoet semi-praktijk uitloogonderzoek, (2) het meten van de vochtgehaltes en pH's in deze monsters en (3) het uitvoeren van chemische analyses en beschikbaarheidspoeven op een aantal van deze monsters. In dit rapport worden de onderzoeksresultaten gepresenteerd en wordt getracht relaties te leggen met onderzoeksresultaten van het Mammoet-onderzoek en andere beschikbare gegevens.

De uit het onderzoek verkregen resultaten en de vergelijking hiervan met eerder uitgevoerd onderzoek laten het niet toe om op basis hiervan eenduidige, kwantitatieve vertaalfactoren te formuleren. Wel zijn uit het onderzoek aanwijzingen verkregen voor de volgende (kwalitatieve) conclusies:

1. Naarmate een funderingsmateriaal grotere poriën heeft:
 - is het vochtgehalte lager;
 - is de permeabiliteit hoger;
 - treden er grotere verschillen in vochtgehalte op over de breedte van het funderingspakket (vooral in een natte periode).
2. Voor de berekening van de L/S-verhouding in een praktijksituatie is de 'doorslag' maatgevend. Dit is de fractie regenwater die door de totale funderingslaag percoleert. De grootte van deze doorslag wordt voornamelijk bepaald door de verhouding in permeabiliteit tussen het funderingsmateriaal en de eraanast gelegen grond of aanvulling.
3. De vertaalfactor voor de vertaling van de L/S-verhouding (= relatieve tijdschaal) uit een laboratorium-uitloogproef naar de tijd voor een wegfundering in de praktijk varieert (afhankelijk van de permeabiliteit van het materiaal) van 0,2 l/kg/jaar (voor een vliegascementstabilisatie, met een uiterst fijne poriestructuur) tot 1,5 l/kg/jaar (voor een loskorrelig materiaal met een grove poriestructuur). Hierbij is het gemiddeld neerslagniveau op 850 mm per jaar verondersteld.
4. In de vliegascementstabilisatie lijkt in het Mammoet semi-praktijk onderzoek een soort van versnelde diffusie te zijn opgetreden als gevolg van een gedwongen doorstroming. De in het semi-praktijk onderzoek **gemeten** emissies komen overeen met op basis van de diffusieproefresultaten **berekende** emissies over een periode die volgens een praktijkproef nodig is om een vergelijkbare L/S-verhouding te bereiken.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

5. Van de onderzochte componenten worden koper en, in mindere mate, chroom en sulfaat geadsorbeerd aan de zandlaag onder het funderingspakket.
6. Als gevolg van verhoging van de pH door verkleining van de deeltjes (ten behoeve van de laboratorium-kolomproef) en/of verlaging van de pH door cementering of carbonatatie (in de (semi-)praktijksituatie) is voor vrijwel alle onderzochte materialen de pH van de uitloogvloeistoffen in de laboratorium-situatie hoger dan in het semi-praktijk onderzoek. Dit kan aanleiding geven tot verschillen in uitloging van pH-gevoelige componenten.
7. Uitloging door diffusie is een continu proces, onafhankelijk van de regenval, maar wel afhankelijk van het vochtgehalte in het funderingsmateriaal, en daarmee samenhangend van de poriegrootte van het materiaal.
8. Uitloging door percolatie is niet in de eerste plaats afhankelijk van het vochtgehalte, maar veel meer van de 'doorslag'. Via de permeabiliteit van het materiaal is daarmee ook deze vorm van uitloging afhankelijk van de poriegrootte van het materiaal.
9. Het uitloogmechanisme (diffusie of percolatie) wordt vooral bepaald door de poriegrootte van het materiaal. Het is dus niet per definitie zo dat een gebonden (vorm gegeven) funderingsmateriaal uitloogt als gevolg van diffusie en een ongebonden (loskorrelig) materiaal als gevolg van percolatie. Deze conclusie heeft consequenties voor de vertaalbaarheid van de voorgeschreven uitloogproef (diffusieproef voor gebonden materiaal, kolomproef voor ongebonden materiaal) naar de praktijksituatie.

Tenslotte worden in het rapport enkele aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek met als doelstellingen (1) de vertaalfactor van de L/S-verhouding naar de tijd beter kwantificeerbaar te maken, (2) de relatie tussen de mate van verdichting van een fundering en het uitlooggedrag ervan nader te bestuderen en (3) meer inzicht te verkrijgen in percolatiepatronen en hiermee ook in de relatieve bijdragen van de uitloogmechanismen percolatie en diffusie.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Experimenten	7
2.1	Monsterneming	9
2.1.1	Monsternemingsmethode	9
2.1.2	Bevindingen bij de monsterneming	9
2.1.3	Monsterselectie	10
2.1.4	Monstervoorbewerking	11
2.2	Vocht- en pH-metingen	11
2.2.1	Methoden	11
2.2.2	Resultaten vochtmetingen in relatie tot Mammoet semi-praktijk onderzoek	12
2.2.3	Resultaten vochtmetingen voor verschillende doorsneden	13
2.2.4	Resultaten pH-metingen	14
2.3	Chemische karakterisering	14
2.3.1	Monsterselectie en analysemethoden	14
2.3.2	Resultaten	15
3	Vergelijking van laboratorium- en (semi)praktijksituatie	18
3.1	De vochtuishouding	18
3.1.1	Theoretische benadering	19
3.1.2	Bevochtiging als functie van de geometrie	19
3.1.3	Bevochtiging als functie van de tijd	21
3.1.4	Berekening van de L/S-verhouding voor een praktijksituatie	23
3.2	De effecten van het zandbed	24
3.3	Het verloop van de pH	25
3.4	Het uitloogmechanisme	27
3.4.1	Theoretische beschouwing van uitloogmechanismen	27
3.4.2	Globale vergelijking van laboratorium- en grootschalig uitloogonderzoek	28
3.4.3	Percolatie en diffusie als functie van de geometrie van de toepassing	31
3.4.4	Percolatie en diffusie in de praktijk	31
3.5	Overige (niet gemeten) aspecten	33
4	Conclusies/aanbevelingen	35
5	Literatuur	37
6	Verantwoording	38

Bijlagen 1 tot en met 9

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

1 Inleiding

In de periode 1985-1990 is gezamenlijk door NOVEM, RIVM, TNO, ECN en Intron het zogenaamde Mammoet-project uitgevoerd. In dit project is met name nagegaan welke milieuhygiënische implicaties te verwachten zijn, als in bouwmaterialen primaire (natuurlijke) grondstoffen worden vervangen door secundaire grondstoffen (reststoffen). Als onderdeel van dit project is door TNO-Milieu en Energie (destijds MT-TNO) gedurende 2 jaar op semi-praktijkschaal onderzoek uitgevoerd naar de uitloging van een achttal primaire en secundaire grondstoffen, toegepast als wegfunderingsmateriaal. Dit onderzoek gaf aan, dat de uitloging op (semi-)praktijkschaal weliswaar in grote lijnen overeen komt met de uitloging op laboratoriumschaal, maar dat er toch hier en daar verschillen optreden. Deze verschillen konden echter niet allemaal worden verklaard met behulp van de op dat moment beschikbare gegevens. Dit was aanleiding voor nader onderzoek aan die factoren, die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties.

Dit project: 'Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties' is vervolgens, in opdracht van NOVEM, uitgevoerd door TNO-Milieu en Energie. Het project is uitgevoerd als onderdeel van het projectenprogramma 'Taakstellend Plan'. Dit taakstellend plan is opgesteld voor het eenduidig bepalen van de chemische samenstelling en het uitlooggedrag van bouwmaterialen en afvalstoffen.

In het Mammoet-project is in een tweetal deelonderzoeken nagegaan hoe de relatie is tussen laboratorium-uitloogexperimenten en praktijksituaties door middel van kolom-uitloogproeven op grote schaal en een semi-praktijk uitloogonderzoek aan (mogelijke) wegfunderingsmaterialen. In dit Mammoet-onderzoek is met name gekeken naar de uitloging als zodanig (gemeten concentraties en cumulatieve emissies), en niet zozeer naar deelaspecten. De belangrijkste vragen die overbleven, hadden betrekking op de mate van bevochtiging van de funderingspakketten, de bijdrage van verschillende uitloogmechanismen (percolatie en diffusie) en de effecten van het zandbed op de netto uitloging. Doordat de proefbakken van het semi-praktijk onderzoek geconserveerd waren, bestond de mogelijkheid deze alsnog te bemonsteren en zowel fysisch als chemisch te analyseren. Op deze manier konden een aantal factoren die een rol spelen bij de vertaling van lab-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (met name de mate van bevochtiging en het uitloogmechanisme) nader worden onderzocht.

Het project kan opgesplitst worden gedacht in de volgende drie onderdelen:

1. Het bemonsteren van de proefbakken uit het Mammoet semi-praktijk uitloogonderzoek en het meten van de vochtgehaltes hierin;
2. Het uitvoeren van chemische analyses en beschikbaarheidspoeven op een aantal van deze monsters;
3. Het leggen van relaties van de onderzoeksresultaten met die van het Mammoet-onderzoek en andere beschikbare onderzoeksresultaten en de uitwerking hiervan in een rapport.

Over het eerste onderdeel is in een eerder stadium reeds in detail gerapporteerd middels een interim-rapport. In het voorliggende rapport zullen in hoofdstuk 2 de resultaten van het experimentele onderzoek (de onderdelen 1 en 2) worden gepresenteerd, evenals de meest relevante resultaten uit het Mammoet semi-praktijk

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

uitloogonderzoek. In hoofdstuk 3 zal vervolgens worden getracht een vergelijking te maken met de in het Mammoet-onderzoek verkregen meetgegevens van laboratorium-uitloogproeven. Hierbij zal de aandacht vooral gevestigd zijn op de mate van bevochtiging, effecten van het aanwezige zandbed in een wegfundering, pH-effecten en uitloogmechanismen. Tevens zal getracht worden op basis van deze vergelijking te komen tot de omschrijving en, zo mogelijk, de kwantificering van vertaalfactoren van lab-experimenten naar praktijksituaties. In hoofdstuk 4 volgen tenslotte enkele conclusies en aanbevelingen.

Als in dit rapport gesproken wordt over ‘de praktijksituatie’, wordt bedoeld op een wegfundering in de praktijk. Omdat de omgevingscondities van andersoortige toepassingen van bouwmaterialen in veel gevallen totaal verschillend zijn van die van een wegfundering, mogen de in dit rapport beschreven vertaalfactoren-voor-wegfunderingen niet zonder meer worden doorgetrokken naar andere toepassingen.

2 Experimenten

In dit hoofdstuk worden de gebruikte experimentele methoden omschreven. Er wordt kort aangegeven hoe de proefbakken bemonsterd zijn, welke monsters genomen zijn en welke zijn geselecteerd voor het onderzoek. Ook worden de resultaten vermeld van de vochtgehalte- en pH-bepalingen en van de chemische karakteriseringen (samenstelling en beschikbaarheid). Ter vergelijking hiermee worden ook de in het Mammoet semi-praktijk onderzoek gemeten cumulatieve emissies weergegeven.

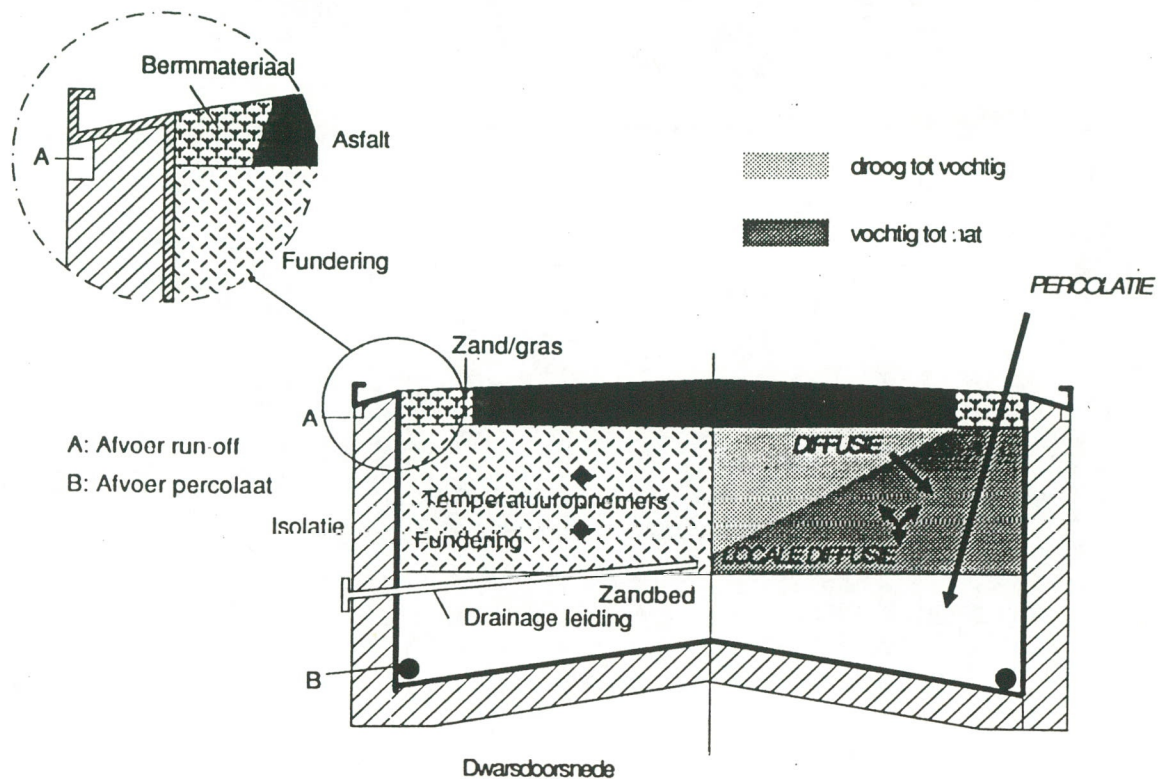
De 9 te bemonsteren proefbakken uit het Mammoet semi-praktijk uitloogonderzoek bevatten:

1. Slakken van een Afval-verbrandingsinstallatie (AVI-slak Rotterdam);
2. Bodemas van een elektriciteitscentrale (E-centrale bodemas);
3. Betongranulaat (ongewassen);
4. Lavaliet;
5. Mengsel van fosforslak (90%) en hoogovenslakkenzand (10%);
6. Mengsel van hoogovenslak (70%), staalslak (20%) en hoogovenslakkenzand (10%);
7. Stabilisatie van vliegashout (E-centrale, neutraal) en cement (13%);
8. Stabilisatie van zand en cement (10%);
9. Zand (als referentie).

De Mammoet-proefbakken waren twee meter lang, één meter breed, en een halve meter hoog. In figuur 1 (overgenomen uit [2]) is een dwarsdoorsnede gegeven. De proefbakken waren van onder naar boven opgebouwd uit een zandlaag van ongeveer 20 cm, een funderingslaag van ongeveer 20 cm en een asfaltdeklaag van 5 cm met aan weerszijden een 5 cm brede strook teelaarde met bermgras.

Twee van deze proefbakken (nr. 2 en 7) zijn ten behoeve van de vocht- en pH-metingen uitgebreid bemonsterd; bij de overige heeft een beperkte bemonstering plaatsgevonden. Voor de chemische karakterisering (samenstellings- en beschikbaarheidsonderzoek) is het aantal in het onderzoek betrokken monsters verder ingeperkt. De Mammoet-proefbakken zijn bemonsterd in de periode van 8 tot en met 11 oktober 1990. De ontmanteling van de proefbakken (waarbij ook nog enkele monsters zijn genomen) heeft plaatsgehad tussen 7 en 9 november 1990.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)



Figuur 1 Schematische weergave van de doorsnede van de Mammoetproefbakken

Voordat de proefbakken werden bemonsterd, werden ze gewogen, om zo een referentiepunt te hebben met het Mammoet-onderzoek. In het Mammoet-onderzoek is het gemiddelde vochtgehalte in de proefbakken berekend op basis van weging van de proefbakken.

In paragraaf 2.1 wordt de monsterneming beschreven, in paragraaf 2.2 de vocht- en pH-metingen, in paragraaf 2.3 de chemische karakterisering. In paragraaf 2.4 worden de cumulatieve emissies vermeld, die zijn gemeten in het Mammoet semi-praktijk uitloogonderzoek [3]. In hoofdstuk 3 wordt van deze gegevens gebruik gemaakt.

2.1 Monsterneming

2.1.1 Monsternemingsmethode

Het was de bedoeling de proefbakken dusdanig te bemonsteren dat de te meten parameters zowel in dwars- als in lengteprofielen uitgezet zouden kunnen worden. Het lag dus voor de hand van boven naar beneden te bemonsteren, bij voorkeur door middel van het boren van kernen. Uiteindelijk is gekozen voor bemonstering met behulp van een ramguts. De guts (inwendige diameter 67 mm) is een cilinder die aan de zijkant voor het grootste deel gesloten is. Hierdoor kan de boorkern in principe in z'n geheel uit het boorgat worden getrokken. Na het boren wordt de guts platgelegd, en wordt de kern in plakken uit de guts verwijderd. Een deel van deze plakken (zowel uit de funderingslaag als uit de zandlaag) wordt luchtdicht verpakt in polyetheen zakjes (voorzien van de monstercode); het restant wordt niet gebruikt.

Naderhand is bij het ontmantelen van de proefbakken het bovenste deel van de zandlaag nog extra bemonsterd door na het verwijderen van het funderingspakket deze zandlaag voorzichtig af te schrapen.

2.1.2 Bevindingen bij de monsterneming

Bij de bemonstering van een aantal proefbakken ontstonden problemen, vanwege de grove structuur van het funderingsmateriaal. Doordat de guts in het materiaal gedreven werd, en niet geboord of gezaagd, werden grotere brokken over het algemeen niet gebroken of doorgesneden. In een aantal gevallen bleek het hierdoor niet mogelijk te zijn ongestoorde monsters te verkrijgen. Ook kon de diepte van de deelmonsters dan niet met zekerheid worden vastgesteld. Bij de volgende proefbakken moesten de kernen met de hand worden opgeboord: 3 (betongranulaat), 4 (lavaliet), 5 (fosforslak) en voor een deel die van de proefbakken 1 (AVI-slak) en 6 (hoogovenslak).

Bij enkele proefbakken bleek de onderste zandfractie bij het verwijderen van de guts weer terug te vallen. Dit zand werd vervolgens met de handboor naar boven gehaald. Dit probleem trad op bij enkele kernen van de proefbakken 2 (E-centrale bodemas) en 7 (vliegas/cementstabilisatie).

Verder werd bij de bemonstering geconstateerd, dat van proefbak 2 (E-centrale bodemas) de onderste zandfractie verkleurd was (grijs-groen), dat de monsters uit proefbak 5 (fosforslak) een sulfidestank verspreidden en dat de zand/cementstabilisatie (proefbak 8) zo hard was, dat deze bij een aantal boringen met een beitel stukgeslagen moest worden, omdat de guts er niet doorheen kwam.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

2.1.3 Monstersselectie

Om zowel dwars- als lengteprofielen te kunnen uitzetten, zijn in principe 15 monsternemingspunten ('gaten') gekozen, zoals weergegeven in bijlage 1a. De proefbakken 2 (E-centrale bodemas) en 7 (vliegascementstabilisatie) zijn uitgebreid bemonsterd; dat wil zeggen dat alle vijftien gaten zijn uitgeboord. De keuze is op deze bakken gevallen om in ieder geval één type materiaal in gebonden en één in ongebonden toepassing te onderzoeken. Voorts is als argument meegewogen, dat de kernen van bak 2 en 7 probleemloos konden worden geboord. De beperkte bemonstering van de overige bakken bestond uit het boren van een zevental kernen (het dwarsprofiel in het midden van de bak).

Uit de funderingslaag zijn per boorkern steeds drie deelmonsters genomen en uit de zandlaag twee tot vier, afhankelijk van de dikte van de zandlaag ter plaatse van de bemonstering. In die gevallen, waarin de gaten met de hand zijn uitgeboord, is het niet altijd gelukt om alle gewenste deelmonsters te nemen. Het totaal aantal monsters bedroeg 480 (80 kernen * gemiddeld zes deelmonsters per kern).

De bovenste monsters uit de zandlaag zijn niet gebruikt voor de bepalingen van de vochtgehalten om voldoende materiaal over te houden voor de chemische analyses. Met name deze monsters zijn interessant voor chemische analyses vanwege mogelijke uitspoel- en adsorptie-effecten. Door de geringe monsterhoogte (1 cm) zijn de monsterhoeveelheden beperkt, zodat de volledige monsters nodig zijn voor de chemische karakterisering. In plaats van de bovenste monsters zijn voor de vochtgehaltebepalingen de monsters uit de tweede (direct daaronder liggende) laag gebruikt, zodat het verschil in vochtgehalte tussen deze beide lagen gering zal zijn.

Aangezien de proefbakken 2 en 7 uitgebreid waren bemonsterd, lag het voor de hand om van deze bakken gedetailleerde vochtprofielen op te stellen. Van proefbak 2 vertoonden beide zijden in het Mammoet-onderzoek eenzelfde uitlogingsbeeld. Daarom zijn voor deze bak halve dwarsprofielen (naast hele lengteprofielen) opgesteld. Van proefbak 7 vertoonden beide zijden niet eenzelfde beeld, zodat daar gekozen is voor een volledig dwarsprofiel.

Van de overige bakken met slakachtige materialen was bak 6 de enige, waarvan enkele kernen met de guts omhoog kwamen en waarvan de hoogte van de deelmonsters dus betrouwbaar was. Daarom is bak 6, evenals bak 9 (met het referentiemateriaal) geselecteerd om daarvan een half dwarsprofiel te maken.

Van de resterende proefbakken zijn alleen de monsters uit de kernen in het midden en aan de beide randen van het dwarsprofiel in het midden van de bak verder opgewerkt.

In totaal zijn 39 kernen, en daarmee ongeveer 235 monsters geselecteerd voor verdere opwerking. De niet-geselecteerde monsters worden nog enige tijd bewaard.

2.1.4 Monstervoorbewerking

Voor de beschikbaarheidsproeven (zie paragraaf 2.3) is het van belang de monsters niet te drogen, om te voorkomen dat daardoor ongewenste oxydatie-reacties optreden, met name als het gaat om monsters uit een min of meer reducerend milieu. De monsters, die mogelijk aan een beschikbaarheidsproef onderworpen zouden worden, zijn daarom vochtig opgewerkt. Dit zijn de monsters uit proefbak 7 en enkele monsters uit proefbak 5. De monsters, waarvan alleen het vochtgehalte en eventueel de chemische samenstelling bepaald moesten worden, zijn droog opgewerkt. In het hiernavolgende wordt aangegeven hoe de droge en vochtige opwerking is uitgevoerd.

Droge opwerking

Het niet verkleinde monster wordt uit het polyetheen zakje in een schaalpje overgebracht, gewogen en in tweeën verdeeld. Eén deel wordt gebruikt voor de bepaling van de pH; het andere deel, evenals het zakje met aanhangend vocht, wordt gebruikt voor de bepaling van het vochtgehalte. Na deze bepaling is het deelmonster droog en wordt het (zonder verkleining) opnieuw luchtdicht verpakt, voorzien van een code en weer opgeslagen.

Vochtige opwerking

Het monster wordt, indien nodig, met behulp van een kaakbreker verkleind tot deeltjesafmetingen kleiner dan 4 mm. Het monster wordt voor en na het verkleinen gewogen. Vervolgens wordt het verkleinde monster in vier gelijke deelmonsters verdeeld met behulp van een roterende monsterverdeler. Eén van de vier delen wordt daarna gebruikt voor de bepaling van de pH. Een ander deel wordt, evenals het polyetheen zakje van het oorspronkelijke monster, gebruikt voor de bepaling van het vochtgehalte. De overige twee verkleinde deelmonsters worden opnieuw luchtdicht verpakt, voorzien van een code en weer opgeslagen.

2.2 Vocht- en pH-metingen

2.2.1 Methoden

Voor het meten van de vochtgehaltes van de (deel)monsters worden het oorspronkelijke monster en het polyetheen zakje, zowel gezamenlijk vóór als afzonderlijk na uitgieten van het monster, gewogen op een bovenweger met een nauwkeurigheid van 0,01 g. Het monster wordt na verdeling nogmaals gewogen. Vervolgens worden het monster en het zakje beiden bij 40 °C gedroogd tot constant gewicht en nogmaals gewogen. Op deze wijze was het mogelijk om bij de berekening van het vochtgehalte een correctie aan te brengen voor het aanhangend vocht aan het monsterzakje.

Voor het meten van de pH-waarde van de monsters wordt het hiervoor apart gehouden deelmonster in een vloeistof/vaste-stof verhouding (L/S) van 2 l/kg gesuspenderd in gedemineraliseerd water (S is de massa van het vochtige monster).

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Vervolgens wordt de suspensie geroerd met behulp van een magneetroerder en wordt na 1 minuut en na 5 minuten de pH afgelezen. Als de pH van het materiaal wordt het gemiddelde van de pH-waarden na 1 en na 5 minuten genomen.

2.2.2 Resultaten vochtmetingen in relatie tot Mammoet semi-praktijk onderzoek

De vochtgehalten in de monsters, berekend op de in paragraaf 2.2.1 beschreven wijze, zijn in tabelvorm weergegeven in bijlage 2. Voor de betekenis van de monstercodes wordt verwezen naar bijlage 1. Per proefbak is vervolgens een gemiddeld vochtgehalte berekend, zowel voor het funderingspakket als voor het zandbed. Deze vochtgehalten en de gemiddelden per proefbak zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Uit weging van de proefbakken berekende over-all vochtgehalten

Nummer proefbak	Funderings-materiaal	Vochtgehalte in fundering	Vochtgehalte in zandbed	Gemiddeld vochtgehalte	Vochtgehalte weging bakken	Vochtgehalte Mammoet semi-praktijk
1	AVI- slak	13%	12%	13%	11%	18%
2	E-centrale bodemas	15%	11%	13%	11%	17%
3	Beton-granulaat	4%	12%	8%	10%	15%
4	Lavaliet	6%	14%	10%	7%	13%
5	Fosforslak/HSZ ¹⁾	4%	9%	6%	4%	8%
6	Hoogovenslak/Staalslak/HSZ ¹⁾	8%	10%	9%	8%	17%
7	Vliegas/cement-stabilis.	23%	11%	17%	18%	23%
8	Zand/cementstabilis.	7%	9%	8%	10%	14%
9	Zand	4%	12%	8%	10%	14%

¹⁾ HSZ = Hoogovenslakkenzand

In tabel 1 zijn ook de gemiddelde vochtgehalten opgenomen, die zijn berekend op basis van weging van de proefbakken. De in de laatste kolom vermelde gehalten zijn overgenomen uit [1] en zijn gemiddelden van een viertal wegingen, uitgevoerd gedurende de 2-jarige looptijd van het Mammoet-project. In de op één na laatste kolom zijn de gehalten opgenomen, berekend uit de wegingen, uitgevoerd vlak voor de monsterneming.

Deze uit wegingen berekende vochtgehalten vertonen onderling grote verschillen. Gedurende de looptijd van het Mammoet-project bevatten de proefbakken gemiddeld 15,4% vocht, tegen gemiddeld 9,9% vlak voor de monsterneming. De redenen voor dit verschil zijn de relatief natte zomers van 1987 en 1988 en de droge zomer van 1990. Blijkbaar is er gedurende het laatste half jaar een aanzienlijke uitdroging opgetreden (zie ook paragraaf 2.2.3).

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

De uit weging berekende en de in de monsters gemeten vochtgehaltes verschillen onderling tot maximaal 2,5% per proefbak, waarbij deze verschillen niet systematisch positief of negatief zijn. Het gemiddelde over alle proefbakken gemeten vochtgehalte is 10,2% en verschilt daarmee slechts 0,3% van het uit weging verkregen gehalte. De gevonden verschillen per proefbak kunnen veroorzaakt zijn door weegfouten of door het feit dat voor het berekenen van het gemiddelde vochtgehalte per proefbak alle beschikbare cijfers zijn gemiddeld, waarbij niet is gelet op een evenwichtige verdeling over buitenkant/binnenkant en onder/boven. Het vochtgehalte in de zandlaag is in alle bakken ongeveer even hoog. Er is geen eenvoudig verband aan te geven tussen het vochtgehalte in het funderingsmateriaal en dat in de zandlaag. In het Mammoet semi-praktijk onderzoek was wel uitgegaan van een dergelijke relatie [1]. De gemiddelde vochtgehaltes in de zandlaag variëren van 9 tot 14%. De vochtgehaltes in de funderingslagen variëren veel meer, van 4 tot 23%.

2.2.3 Resultaten vochtmetingen voor verschillende doorsneden

De in bijlage 2 in tabelvorm gegeven vochtgehaltes zijn in bijlage 3 weergegeven in de vorm van profielen, waarin de vochtgehaltes zijn uitgezet als functie van de dwarsdoorsnede. Op de in bijlage 3 getekende dwarsdoorsneden is door middel van de verschillende symbolen aangegeven uit welk deel van de proefbak de monsters afkomstig zijn. In het daarboven weergegeven bevochtigingsprofiel is door middel van dezelfde symbolen het vochtgehalte aangegeven. De vochtgehaltes van de op dezelfde hoogte genomen monsters zijn door middel van een lijn met elkaar verbonden.

Verwacht werd, dat het aan de zijanten van de proefbakken via de grasberm intredende regenwater door middel van percolatie (al dan niet schuin) naar beneden zou stromen (zie de rechterhelft van de dwarsdoorsnede in figuur 1). In het midden van de proefbakken, vlak onder het asfalt, zou dan volgens diezelfde verwachting het funderingsmateriaal vrijwel droog moeten blijven. Uit de geschetste dwarsprofielen in bijlage 3 blijkt dat dit niet, of slechts in zeer beperkte mate het geval is geweest. Er is blijkbaar sprake geweest van een dusdanige capillaire werking dat het gehele pakket bevochtigd werd (zie ook paragraaf 3.1 en 3.4).

Uit de profielen van proefbak 9, met alleen zand onder de asfaltlaag, blijkt dat het vochtgehalte van boven naar beneden toeneemt (van 2 tot 13%). Dit is het gevolg van twee verschillende aspecten, namelijk uitdroging aan de bovenkant (onder andere door onttrekking van vocht door het gras in de berm) en drukopbouw onderin de proefbak door percolaatvoer door middel van een drainagebuis en een kleppenstelsel. Bij een gelijke porositeit (poriën van dezelfde grootte) zou de zandlaag dus een hoger vochtgehalte moeten hebben dan de funderingslaag. Het feit dat voor enkele bakken het vochtgehalte in de funderingslaag hoger is dan in de zandlaag (proefbakken 7, 2 en 1), geeft dan ook aan dat de zandlaag een vrij grove poriestructuur had.

Uit het Mammoet-onderzoek bleek dat bij enkele proefbakken aan de ene kant meer percolaat uitstroomde dan aan de andere kant. Oorspronkelijk werd hierbij gedacht aan verstopping van de drainagebuis. Uit het bevochtigingsprofiel van bijvoorbeeld proefbak 7 blijkt echter dat juist aan die kant, waar minder percolaat

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

uitstroomde, het vochtgehalte het laagst was, terwijl verstopping geleid zou moeten hebben tot 'ophoping' van vocht. Het feit dat het vochtgehalte in het funderingsmateriaal wel aan beide kanten even hoog was, lijkt te wijzen in de richting van ongelijkmatige verdichting van de zandlaag. De meest verdichte kant heeft kleinere poriën, waardoor het water preferent naar de andere kant van de proefbak stroomt en wordt afgevoerd.

Slechts van één proefbak is een bevochtigingsprofiel gemaakt in de lengterichting van de proefbak, en wel van proefbak 2 (zie bijlage 3, het laatste blad). Uit dit profiel blijkt dat er, conform de verwachting, ook in de lengte-richting van de proefbak(ken) een gelijkmatige bevochtiging is opgetreden.

2.2.4 Resultaten pH-metingen

In bijlage 2 zijn, naast vochtgehaltenes, ook de gemeten gemiddelde pH-waarden weergegeven. Deze pH-waarden blijken over het algemeen een halve pH-eenheid hoger te liggen dan de pH-waarden, gemeten in de laatste percolaten uit de bijbehorende Mammoet-proefbakken [3]. De pH-waarden in het zandbed blijken niet veel af te wijken van die in het daarboven liggende funderingsmateriaal. Het funderingsmateriaal dringt dus zijn pH op aan het zandbed eronder. Er kunnen ruwweg twee categorieën materialen worden onderscheiden: De monsters uit de proefbakken 1, 2, 4, 5 en 9 hebben een pH tussen 7,5 en 9,5 ('neutraal') en die uit de proefbakken 3, 6, 7 en 8 tussen 9,5 en 12 ('basisch'). Voor een drietal proefbakken (3, 7 en 8) zijn de pH-waarden in bijlage 4 uitgezet als functie van de dwarsdoorsnede.

Uit de gemeten pH-waarden (en uit de pH-profielen in bijlage 4) blijkt dat in vrijwel alle proefbakken het materiaal aan de zijkant van de bak een lagere pH heeft dan in het midden. Het pH-profiel van proefbak 7 (vliegas/cementstabilisatie) vormt hierop een uitzondering. In proefbak 7 zijn de pH-waarden over de volle breedte van de proefbak vrijwel constant.

2.3 Chemische karakterisering

2.3.1 Monstersselectie en analysemethoden

Voor het samenstellingsonderzoek van de funderingsmaterialen zijn monsters uit de volgende vier bakken geanalyseerd: bak 1 (AVI-slak), 2 (E-centrale bodemas), 3 (betongranulaat) en 7 (vliegas/cementstabilisatie). Bak 1 is gekozen, omdat hier veel componenten in aanzienlijke concentraties aanwezig zijn; de bakken 2 en 7 omdat ze uitgebreid zijn bemonsterd; bak 3 omdat hier duidelijke verschillen in pH tussen de randen en het midden van de bak zijn waargenomen. De te analyseren componenten zijn geselecteerd op basis van de oorspronkelijke vaste-stofconcentraties en de cumulatieve emissies, die zijn gevonden in het semi-praktijk onderzoek. Hierbij geldt als overweging, dat er bij geringe uitloging twee grote getallen van elkaar worden afgetrokken, met als gevolg een grote onzekerheid in het verschil.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Voor de analyse van de samenstelling van de zandlagen zijn monsters uit de bakken 1 en 7 genomen. Bak 7 is gekozen vanwege de uitgebreide bemonstering en analyse van het funderingsmateriaal; bak 1 vanwege in het semi-praktijk onderzoek gerezen vermoedens dat hier bepaalde componenten (met name koper) in het zandbed konden zijn geadsorbeerd. Tevens is een tweetal grijs-groen gekleurde zandmonsters uit bak 2 geanalyseerd.

Voor de beschikbaarheidsproeven is alleen een half dwarsprofiel van het funderingsmateriaal van bak 7 gemaakt. De hierbij geanalyseerde componenten (geselecteerd op basis van de resultaten van het samenstellingsonderzoek) zijn Cr, Mo, chloride en sulfaat.

De monsters zijn verkleind met behulp van een kaakbreker (RVS bekken) tot een deeltjesgrootte kleiner dan 2 mm en vervolgens met behulp van een agaart mortier tot een deeltjesgrootte kleiner dan 0,125 mm. De gemalen monsters zijn met behulp van een roterende monsterverdeler in deelmonsters gescheiden, waarbij de monsterhoeveelheid voor de chemische analyses (samenstellingsonderzoek) is vastgesteld op circa 40 gram en voor de beschikbaarheidsproeven op circa 16 gram.

De gebruikte chemische analysemethoden zijn vermeld in bijlage 5. De beschikbaarheidsproeven zijn uitgevoerd volgens NEN 7341. Hierbij wordt de beschikbaarheid voor uitloging bepaald door het fijngemalen materiaal tweemaal achtereenvolgens te extraheren bij een vloeistof/vaste stof verhouding (L/S) van 50 l/kg. De eerste maal vindt de extractie plaats bij pH 7 (opgelegd), vervolgens wordt de suspensie gefiltreerd en wordt het residu opnieuw gesuspenderd, waarna de tweede extractie plaatsvindt bij pH 4 en de suspensie weer wordt gefiltreerd. Beide verkregen filtraten worden samengevoegd en geanalyseerd op de gewenste componenten.

2.3.2 Resultaten

De verkregen analyseresultaten zijn opgenomen in bijlage 6; in bijlage 6a de concentraties in de vaste stoffen, in bijlage 6b de gemeten beschikbaarheden (in bak 7). In bijlage 6a zijn tevens de oorspronkelijke concentraties en de beschikbaarheden van de geanalyseerde componenten aangegeven, evenals de cumulatieve emissies uit het semi-praktijk onderzoek. De oorspronkelijke concentraties en beschikbaarheden zijn overgenomen uit [2] en [1]. De cumulatieve emissies zijn overgenomen uit [3] en tevens integraal opgenomen in bijlage 8.

Er is in de analyseresultaten van bijlage 6a een relatief groot aantal getallen te vinden, die onderling niet met elkaar overeenstemmen. Deels kan dit worden geweten aan inhomogeniteiten in de proefbakken (met name in proefbak 1 met AVI-slak als funderingsmateriaal), deels aan verschillen in analyse- en ontsluitingsmethoden. Zo zijn de oorspronkelijke gehalten aan de metalen As, Sb en V door ECN bepaald middels INAA (neutronenactiveringsanalyse), terwijl de in dit onderzoek gemeten gehalten door TNO zijn bepaald door ontsluiting met koningswater (As en Sb) of door middel van een natriumcarbonaat/natriumtetraboraatmelt (V), gevolgd door detectie met AAS (atomaire absorptiespectrometrie).

Toch is er uit de resultaten wel een aantal gevolgtrekkingen te maken. Deze worden hierna weergegeven.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Funderingsmaterialen

In bak 1 (AVI-slak) zijn er voor de geanalyseerde metaalionen (Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Sb, Ba) geen systematische effecten gevonden. Ook de cumulatieve emissies in het semi-praktijk onderzoek geven aan, dat er van de geanalyseerde metalen slechts een klein deel is uitgelooagd. Wel kan er voor het chloridegehalte een systematisch effect worden geconstateerd, namelijk dat de concentraties afnemen met toenemende diepte. Dit geldt voor beide monsterpunten 4 en 7, respectievelijk in het midden van de bak en aan de rand. Voorts zijn de chloridegehalten in het midden duidelijk hoger dan aan de rand. Dit laatste geldt ook voor de sulfaatgehalten.

In bak 2 (E-centrale bodemas) is er voor As, Cd en V geen duidelijk diepte-effect te zien. Voor Mo lijkt dit wel het geval te zijn. Hierbij neemt echter de concentratie toe met toenemende diepte (met uitzondering van de monsters aan de rand). Voor dit element was van de geanalyseerde componenten de in het semi-praktijk onderzoek gevonden cumulatieve emissie het hoogst (zowel relatief als absoluut). Voor bak 3 (betongranulaat) zijn er nauwelijks zinnige conclusies uit de analyse-resultaten te halen. Er lijkt voor wat betreft het calciumgehalte een trend te zijn naar afnemende concentraties met toenemende diepte, vooral aan de rand van de bak (monsterpunt 7), zie ook het pH-profiel (bijlage 4).

In bak 7 (vliegas/cementstabilisatie) zijn er voor As geen systematische effecten uit de analyseresultaten te vinden. De Cr-gehalten zijn met name voor de diepste monsters enigszins verlaagd. Dit geldt over de gehele breedte van de bak. Het concentratieniveau lijkt aan de rand van de bak iets lager dan in het midden. De Mo- en V-gehalten zijn tamelijk gelijkmatig verdeeld, zowel over de diepte als over de breedte. Voor Zn zijn de concentraties bij toenemende diepte lager (met uitzondering van de monsters uit het midden van de bak). Aan de rand van de bak lijkt er een aanrijking van het Zn-gehalte te zijn opgetreden (vooral bij het bovenste monster). Vermoedelijk houdt dit verband met adsorptie van Zn dat in het regenwater aanwezig is. Voor de Cl⁻-concentraties geldt, dat de waarden eveneens afnemen met toenemende diepte. Bij de gemeten SO₄²⁻-gehalten is het opvallend, dat deze aanzienlijk lager zijn dan op basis van de oorspronkelijke concentraties, de oorspronkelijke beschikbaarheid en de cumulatieve emissie in het Mammoet semi-praktijk onderzoek mocht worden verwacht. Dit geldt voor alle monsters, onafhankelijk van de plaats in de bak. Er is wellicht een trend waar te nemen van toename in de gehalten met toenemende diepte.

Bij de gemeten beschikbaarheden (bijlage 6b) moeten de volgende opmerkingen worden gemaakt:

De beschikbaarheid van SO₄²⁻ (in mg/kg droge stof) is ongeveer gelijk aan die in het oorspronkelijk monster. De beschikbaarheid van SO₄²⁻ in het oorspronkelijke monster (uitgedrukt als percentage van de in de droge stof aanwezige hoeveelheid) is onwaarschijnlijk laag. Dit zou erop kunnen duiden, dat het in het oorspronkelijke monster gemeten SO₄²⁻-gehalte te hoog is.

De gemeten beschikbaarheid van Cl⁻ (eveneens betrokken op de in de droge stof aanwezige hoeveelheid) is veel te hoog: een factor twee tot vier maal de oorspronkelijk aanwezige hoeveelheid is beschikbaar. Voor twee monsters (7-04-f-03 en 7-07-f-02) is de beschikbaarheidsproef opnieuw uitgevoerd. Er werden nu lagere chlorideconcentraties in de extracten gevonden, waaruit beschikbaarheden van 1,1 à 1,2 maal de aanwezige chloridegehalten worden berekend. Hieruit kan (mede gezien de onnauwkeurigheden in de metingen, doorwerkend in de bereken-

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

de waarden) worden geconcludeerd dat vrijwel al het aanwezige chloride beschikbaar is. Voor de bij de eerste beschikbaarheidsproeven gevonden hoge chloridegehalten is geen bevredigende verklaring gevonden. Heranalyse van de chloridegehalten in de vaste stof van bovengenoemde monsters leverde geen duidelijk afwijkende getallen op.

Voor Mo is het opvallend, dat de concentratie aanzienlijk is afgenomen ten opzichte van het oorspronkelijke monster, terwijl toch de procentuele beschikbaarheid gelijk blijft. Dit is hoogst waarschijnlijk veroorzaakt door een verschil in uitvoering van de beschikbaarheidsproef nu en in het verleden. In het Mammoet-onderzoek vond deze proef alleen plaats bij pH = 4, terwijl er nu achtereenvolgens bij pH = 7 en bij pH = 4 wordt uitgeloozd. In het Mammoet-onderzoek is er daardoor met name voor een amfoteer element als Mo een te lage beschikbaarheid gemeten. Het is dus aannemelijk, dat slechts een deel van het oorspronkelijk beschikbare Mo is uitgeloozd. Ook voor Cr blijkt er alleen een deel van de oorspronkelijk beschikbare fractie te zijn uitgeloozd.

Zandbedden

In bak 1 worden Cu-gehalten gevonden, die hoger zijn dan de oorspronkelijk gemeten concentratie. De Mn-gehalten nemen af met toenemende diepte. De Mo-gehalten liggen in de buurt van de detectiegrens. Ook de Sb-gehalten zijn niet duidelijk verhoogd ten opzichte van de oorspronkelijke concentratie. De Cl⁻-gehalten lijken met name aan de rand van de bak toe te nemen met toenemende diepte. De SO₄²⁻-concentraties zijn duidelijk verhoogd ten opzichte van de oorspronkelijke concentratie. Een diepte-effect is hier niet waargenomen. In bak 7 zijn voor As, Cr en Mo geen systematische effecten te vinden.

In de verkleurde zandmonsters blijken ten opzichte van het oorspronkelijke materiaal sterk verhoogde concentraties aan koper en (in iets mindere mate) chroom aanwezig te zijn. Het is derhalve aannemelijk, dat de verkleuring hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door het verhoogde kopergehalte.

3 Vergelijking van laboratorium- en (semi)praktijksituatie

In dit hoofdstuk zullen de in hoofdstuk 2 gepresenteerde gegevens worden vergeleken met de gegevens van laboratorium uitloogexperimenten uit het Mammoet-project. Dit zal worden toegespitst op een aantal aspecten, die verschillend (kunnen) zijn voor de laboratorium- en de praktijksituatie.

Naar aanleiding van de gemeten vochtgehalten, de daaruit berekende bevochtigingsgraden en bevochtigingsprofielen zal in paragraaf 3.1 worden ingegaan op de vertaling van de relatieve tijdschaal (de L/S-verhouding) in lab-experimenten naar de absolute tijdschaal in de praktijk.

Uit de karakteriseringsresultaten van het onderliggende zandpakket zal duidelijk worden of, en zo ja in hoeverre, er interactie is opgetreden van de uitgeloopte componenten met het onderliggende zandpakket. Tevens kan hieruit worden afgeleid of er sprake is van 'facilitated transport' van bepaalde componenten door middel van bijvoorbeeld cementdeeltjes. Hierop, en op het effect hiervan op de uitloging, wordt ingegaan in paragraaf 2.

In paragraaf 3 wordt nagegaan hoe het verloop van de pH is geweest, zowel in de laboratorium-uitloogproeven als in het semi-praktijk onderzoek. Tevens wordt geprobeerd een verklaring te vinden voor de geconstateerde verschillen.

De chemische analyses van de funderingsmaterialen, zoals beschreven in hoofdstuk 2, zijn uitgevoerd om na te kunnen gaan welk deel van de betreffende component is uitgeloopt gedurende de looptijd van het semi-praktijk uitloogonderzoek (3,5 jaar). Uit deze gegevens, gecombineerd met de gegevens over de vochthuishouding in de Mammoet-proefbakken, kan inzicht worden verkregen in de bijdrage van diffusie en percolatie aan de uitloging in de praktijksituatie. Hieraan zal in paragraaf 4 aandacht worden besteed.

In paragraaf 5 zullen enkele aspecten de revue passeren die wel een rol spelen bij 'de vertaling', maar waaraan geen experimenteel onderzoek is verricht in dit project. Deze aspecten zullen dan ook slechts globaal en beschouwend worden beschreven.

3.1 De vochthuishouding

Hoogst waarschijnlijk de belangrijkste verschillen tussen uitloging in laboratoriumproeven en uitloging in praktijksituaties worden veroorzaakt door verschillen in de bevochtiging van het materiaal. Het kan hierbij zowel gaan om de mate van bevochtiging (bevochtiging als functie van de geometrie) als om de verversingssnelheid ervan (bevochtiging als functie van de tijd). Na een meer theoretische benadering van dit probleem zal getracht worden, op basis van de meetgegevens uit hoofdstuk 2, wat meer te zeggen over afhankelijkheid van de bevochtiging van respectievelijk de geometrie en de tijd.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

3.1.1 Theoretische benadering

In laboratorium-uitloogexperimenten is in alle gevallen sprake van een volledige bevochtiging en van een regelmatige verversing van de vloeistof. In de (semi-)praktijksituatie is dit vrijwel nooit continu het geval, noch op macro-, noch op microschaal.

Op macroschaal kan dit onder meer het gevolg zijn van de volgende oorzaken:

- De aanwezigheid van een waterondoorlatend asfalt wegdek over een breedte van 9 meter of meer. Dit kan, in het geval van een geringe capillaire opstijging van het grondwater en/of een lage grondwaterstand, aanleiding geven tot de afwezigheid van vocht midden onder het wegdek.
- Weinig of geen verversing van bovenaf door weinig of geen regenval in een bepaalde periode. In extreme gevallen kan dit zelfs leiden tot uitdroging.

De eerder genoemde volledige bevochtiging wordt bijvoorbeeld in de laboratorium-kolomuitloogproef bewerkstelligd door de kolom niet in neerwaartse maar in opwaartse richting te doorstromen. In praktijksituaties zal er vrijwel nooit sprake zijn van opwaartse doorstroming, behalve in die gevallen waarin wegfunderingmateriaal wordt toegepast onder het maaiveld in een kwelgebied.

In de praktijksituatie kunnen (vanwege de neerwaartse doorstroming) ook op microschaal verschillen optreden:

- In capaciteit om het water (de uitloogvloeistof) vast te houden, vooral afhankelijk van de porositeit van het materiaal; in laboratoriumproeven is de deeltjesgrootte (en daarmee ook de porositeit) binnen nauwere grenzen gelimiteerd dan in de praktijksituatie.
- Tengevolge van voorkeursstroming (kanaalvorming), waardoor bepaalde delen met minder en andere delen met meer water in contact komen dan gemiddeld; in laboratoriumproeven wordt kanaalvorming voorkomen door de stromingsrichting opwaarts te kiezen; hier staat tegenover, dat bij laboratoriumproeven randeffecten een grotere invloed kunnen hebben.

3.1.2 Bevochtiging als functie van de geometrie

De in bijlage 3 gepresenteerde bevochtigingsprofielen laten zien dat er wel sprake is van lagere vochtgehalten midden onder de wegvakken in de proefbakken, maar dat er geen sprake is van afwezigheid van vocht. De capillaire werking is blijkbaar groot genoeg om al het funderingsmateriaal te bevochtigen.

In praktijksituaties is de breedte van het wegvak in veel gevallen tot 10 keer de breedte van de proefbakken uit het Mammoet semi-praktijk onderzoek. De capillaire werking in zijwaartse richting zal daardoor veel minder groot zijn. De hoogte van het funderingspakket is echter ongeveer gelijk, zodat in praktijksituaties in vrijwel alle gevallen capillaire opstijging vanuit het grondwater zal optreden.

Geconcludeerd kan worden dat voor het semi-praktijk onderzoek geldt, en dat voor de praktijksituatie in vrijwel alle gevallen verwacht mag worden dat het funderingsmateriaal in z'n totaliteit is bevochtigd. Wel zullen er verschillen optreden in de mate van bevochtiging, en als functie van de geometrie, en als functie van de tijd.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

De bevochtigingsprofielen uit bijlage 3 laten zien dat zowel het vochtgehalte als zodanig, als de mate van bevochtiging, als functie van de dwarsdoorsnede, verschillen van materiaal tot materiaal.

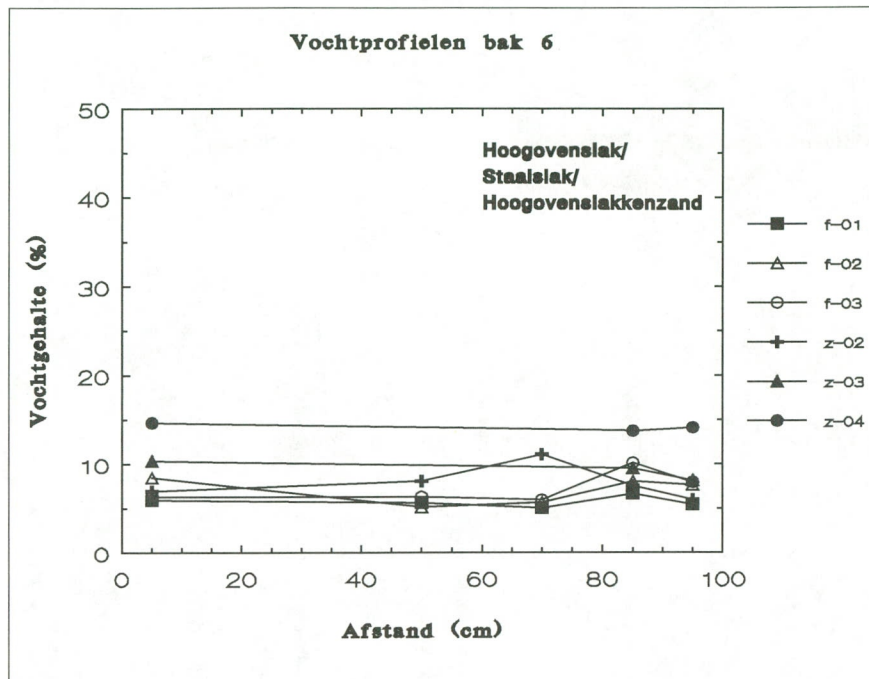
In het Mammoet semi-praktijk onderzoek was aangenomen dat er een relatie zou bestaan tussen het vochtgehalte als zodanig en de porositeit van het funderingsmateriaal. De meetresultaten bevestigen dit. Het gaat hierbij echter niet in de eerste plaats om de mate van porositeit (zoals was aangenomen), maar om de grootte van de poriën: hoe kleiner de poriën, des te hoger het vochtgehalte. Waarschijnlijk spelen hierbij niet alleen de poriën **tussen** de deeltjes een rol, maar ook de poriën **in** de deeltjes.

De volgorde van materialen in afnemend vochtgehalte, is (zie tabel 1): vliegas/cementstabilisatie, E-centrale bodemas, AVI-slak, hoogovenslak, zand/cementstabilisatie, lavaliet, zand (referentie), betongranulaat en fosforslak. Hoewel de grootte van de poriën niet is gemeten, lijkt het, gezien de korrelgrootteverdeling van de materialen [4], aannemelijk dat deze volgorde ook die van toenemende poriegrootte is. Opvallend hierbij is dat het al dan niet gebonden zijn van het materiaal niet van belang lijkt te zijn (de gebonden zand/cementstabilisatie heeft een lager vochtgehalte dan bijvoorbeeld de ongebonden AVI-slak of bodemas). Dit houdt in dat kanaalvorming (voorkeursstroming), als deze al is opgetreden, niet of nauwelijks van invloed is op het vochtgehalte van het materiaal.

Het bovenstaande verklaart tevens de constatering in paragraaf 2.2.2, dat de gemiddelde vochtgehalten in de zandlagen onder de funderingsmaterialen onderling relatief weinig verschillen (van 9 tot 14%). Bij een gelijke verdichting van de zandlaag in de verschillende proefbakken is immers ook de poriegrootte en -verdeling gelijk. Dat de gemeten verschillen niet aan verschillen tussen funderingsmaterialen toegeschreven mogen worden, volgt uit het feit dat ook binnen een proefbak (bak 7) over de breedte verschillen van 8 tot 15% zijn gemeten (zie paragraaf 2.2.2).

Ook de mate van bevochtiging als functie van de dwarsdoorsnede lijkt afhankelijk te zijn van de poriegrootte van het materiaal. De materialen met relatief grote poriën (onder andere betongranulaat en zand/cementstabilisatie) vertonen grotere verschillen in vochtgehalte aan de rand en midden onder het wegvak dan materialen met kleinere poriën (onder andere bodemas en vliegas/cementstabilisatie). Overigens blijkt uit figuur 2 (waarin het profiel van bak 6, hoogoven- en staalslak, is weergegeven), dat eventueel aanwezige verschillen niet tot uiting komen als alleen het midden van de proefbakken en de randen bemonsterd zijn (zie de linkerhelft van de figuur). De rechterhelft van de figuur laat zien dat er wel degelijk verschillen te zien zijn, maar dat die aan de rand teniet worden gedaan door een tegengesteld effect (waarschijnlijk uitdroging gedurende de laatste maanden voor monsterneming).

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)



Figuur 2 Vochtprofielen bak 6

Uit het bovenstaande lijkt te kunnen worden geconcludeerd, dat naarmate een materiaal grotere poriën heeft:

- het gemiddelde vochtgehalte lager is;
- er grotere verschillen in vochtgehalte optreden over de breedte van het pakket (met name in een natte periode).

3.1.3 Bevochtiging als functie van de tijd

Hierboven is aangegeven dat er over de breedte van de wegvakken in het Mammoet semi-praktijk onderzoek slechts geringe verschillen in vochtgehalte zijn geconstateerd. Dit wil echter nog niet zeggen dat het funderingsmateriaal (over de breedte van de proefbak) daarmee ook met evenveel vocht in aanraking is geweest (eenzelfde L/S-verhouding heeft). Dit is afhankelijk van de mate waarin het porievocht (de uitloogvloeistof) is verversd. Deze mate van verversing is afhankelijk van de hoeveelheid regenwater, die door de funderingslaag is gepercoleerd en van de manier waarop dit is gebeurd.

In de laboratorium-kolomuitloogproef komt al het materiaal met evenveel vocht in aanraking, met andere woorden: de L/S-verhouding is overal in de kolom gelijk. Meestal wordt de percolatiesnelheid zodanig ingesteld, dat in ongeveer drie weken een L/S-verhouding bereikt wordt van 10 l/kg. De percolatie vindt hier plaats in opwaartse richting. Er is dus sprake van een geforceerde (in tijd) en gedwongen (in richting) percolatie.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

In de semi-praktijksituatie is er weliswaar geen sprake geweest van een geforceerde percolatie, maar wel van een gedwongen percolatie. Vanwege de constructie en opbouw van de proefbakken heeft het regenwater, nadat het in de grasberm is terechtgekomen, geen stromingsvrijheid meer; het wordt gedwongen door het funderingsmateriaal te percoleren. In het Mammoet-onderzoek [1] is dan ook gevonden, dat gemiddeld 85% van het opvallende regenwater door het funderingsmateriaal is gepercoleerd, terwijl 5% is afgestroomd (afgevoerd als run-off) en ongeveer 10% is verdampt. Deze percolatie of 'doorslag' van 85% komt overeen met een gemiddelde L/S-verhouding van 2,3 liter per kilogram materiaal per jaar, variërend van 1,4 voor een zwaar materiaal (zand/cementstabilisatie) tot 3,3 voor een licht materiaal (bodemas). Bij de berekening van deze L/S-verhouding is geen rekening gehouden met de manier van percolatie, het percolatiepatroon. Het is daarmee een gemiddelde L/S-verhouding over de breedte van de proefbak. In paragraaf 3.4 zal verder worden ingegaan op percolatiepatronen.

Vanwege de gedwongen percolatie is de percolatiesnelheid in het semi-praktijk onderzoek niet representatief voor die in de praktijksituatie. In de praktijksituatie zal in veel gevallen een groot deel van het regenwater niet door de funderingslaag heen percoleren, maar afstromen in de naast de weg gelegen grond of (zand)aanvulling. De mate waarin dit gebeurt hangt voornamelijk samen met de permeabiliteit van het materiaal, en daarmee met de grootte van de poriën. Uitgaande van de eerder in deze paragraaf gegeven vermoedelijke volgorde van oplopende poriegrootte, mag worden verwacht dat voor een fundering van betongranulaat of fosforslak het regenwater bij voorkeur door het funderingsmateriaal percoleert en in de overige gevallen bij voorkeur door de aanvulling. Hierbij is ervan uitgegaan dat het zand, dat voor de aanvulling wordt gebruikt, dezelfde permeabiliteit heeft als het zand, dat in het semi-praktijk onderzoek is onderzocht.

Voor het geval van vliegas/cementstabilisatie als funderingsmateriaal (het materiaal met de laagste permeabiliteit) zijn gegevens beschikbaar van een werkelijke praktijkproef, namelijk die in Dinteloord/Stampersgat [5]. De hier gemeten doorslag of percolatie bedroeg slechts ongeveer 8% (minder dan één-tiende deel van het in het semi-praktijk onderzoek gemeten percentage). Ook de daar gemeten L/S-verhouding, uitgaande van een volledige en gelijkmatige bevochtiging, kwam uit op ongeveer 1/10 deel van de in het Mammoet-onderzoek gemeten waarde: 0,28 respectievelijk 2,7 liter per kilogram per jaar. Hierbij is uitgegaan van een dichtheid van de stabilisatie van 1400 kg/m³. Uit het bovengenoemde praktijkonderzoek volgt ook, dat de percolatiesnelheid 's zomers aanzienlijk lager ligt dan gemiddeld over het gehele jaar, voornamelijk als gevolg van verdamping.

Uit het bovenstaande blijkt dat het vochtgehalte, als functie van de tijd, afhankelijk is van met name de gemiddelde regenval per tijdseenheid, en de verhouding doorstroming/afstroming/verdamping. Voor de kwantificering van de L/S-verhouding kan, in plaats van deze laatstgenoemde verhouding, beter gerekend worden met de 'doorslag'. Dit is de fractie van het opvallende regenwater dat uiteindelijk door de fundering percoleert.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

3.1.4 Berekening van de L/S-verhouding voor een praktijksituatie

Voor de vertaling van de resultaten van een laboratorium-uitloogproef naar de praktijksituatie is het nodig om een schatting te maken van de L/S-verhouding in de praktijksituatie, als functie van de tijd. Uit de in de vorige paragraaf genoemde gegevens (gemiddelde regenval en 'doorslag') kan in principe een *gemiddelde* L/S-verhouding per jaar worden berekend. Voor differentiatie van de L/S-verhouding over de geometrie van de fundering is daarnaast ook kennis van het percolatiepatroon vereist.

In het hiernavolgende wordt getracht om voor de twee meest extreme voorbeelden (wat de bevochtiging betreft) uit het semi-praktijk onderzoek de vertaalslag te maken van gemiddelde L/S-verhouding naar de tijd. Als voorbeelden worden gekozen een vliegas/cementstabilisatie en een fosforslakfundering. Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van de volgende formule, waarin de totale hoeveelheid vloeistof (L) wordt gedeeld door de totale hoeveelheid vaste stof (S):

$$\frac{L}{S} * \frac{1}{t} = \frac{R * D * l * b}{1 * b * h * d}$$

Hierin is:

- L/S de vloeistof/vaste stofverhouding, in l/kg;
- t is het aantal jaren;
- R is de gemiddelde regenval, in m per jaar;
- D is de doorslag, d.i. de fractie van de regenval die door de funderingslaag percoleert, dimensieloos;
- l de lengte van het wegvak, in m;
- b de breedte van de fundering, in m;
- h de hoogte van de funderingslaag, in m;
- d is de schijnbare dichtheid van het funderingsmateriaal, in kg/m³.

Vliegas/cementstabilisatie

Uit het Mammoet semi-praktijk onderzoek [1] volgt een gemiddelde regenval van 0,85 meter per jaar. De in het praktijkonderzoek [5] gemeten doorslag voor een vliegas/cementstabilisatie is 0,08. De schijnbare dichtheid van het materiaal bedraagt ongeveer 1400 kg/m³ [1]. Als de hoogte van het funderingspakket wordt gesteld op bijvoorbeeld 0,25 meter, wordt met bovenstaande formule gevonden, dat de jaarlijkse toename van de L/S-verhouding ongeveer 0,2 l/kg bedraagt.

Fosforslakfundering

Voor de doorslag wordt de waarde uit het semi-praktijk onderzoek genomen, namelijk 0,85. In de praktijksituatie zou dit iets kleiner kunnen zijn, maar voor het berekenen van een extreem geval is deze waarde wel illustratief. Als schijnbare dichtheid wordt gerekend met 1900 kg/m³ [1]. Voor het overige worden dezelfde gegevens gebruikt als in het geval van de vliegas/cementstabilisatie. De op basis hiervan berekende jaarlijkse toename van de L/S-verhouding bedraagt ongeveer 1,5 l/kg.

3.2 De effecten van het zandbed

Het zandbed onder, of als onderdeel van de wegfundering heeft uiteraard geen rechtstreekse invloed op de uitloging van de verschillende componenten uit het gebruikte funderingsmateriaal. Wel kan het invloed hebben op de emissie naar de onderliggende bodem en/of het grondwater.

Eén van de meest relevante effecten is adsorptie van uit het funderingsmateriaal uitgeloopte componenten aan de zanddeeltjes. Hierdoor komt er (eventueel tijdelijk) een kleinere fractie van de uitlopende component in de onderliggende laag terecht. Dit effect wordt uiteraard niet gemeten in een laboratoriumexperiment, maar wel in de (semi-)praktijksituatie.

De resultaten van de zandbedanalyses (paragraaf 2.3.2 en bijlage 6a) geven aan dat met name voor koper, maar ook voor chroom (in bak 2; niet in bak 7) en sulfaat concentraties gemeten zijn in de zandbedden, die hoger zijn dan de oorspronkelijk in het zand aanwezige concentraties.

Aangezien de pH-waarden in het zand en in de funderingsmaterialen (althans voor AVI-slak en bodemas), ook oorspronkelijk [1], vrijwel gelijk waren, lijkt het hier niet te gaan om precipitatie, maar om adsorptie. Waarom het kopergehalte in het zandbed van proefbak 2 (E-centrale bodemas) zoveel hoger is dan in dat van proefbak 1 (AVI-slak) is niet duidelijk (respectievelijk circa 150 en circa 10 mg/kg). Dat het chroomgehalte in het zandbed van proefbak 7 (vliegascementstabilisatie) niet verhoogd is en in dat van proefbak 2 wel, kan veroorzaakt zijn door verschillen in de pH van het percolaat (zie ook paragraaf 3.3).

Door de vrij grove poriestructuur van het zandbed kunnen fijne deeltjes uit de funderingslaag in principe meespoelen met het percolaat, en daarmee in de onderliggende laag terecht komen. Indien deze fijne deeltjes milieubezwaarlijke componenten bevatten, zouden deze daarmee rechtstreeks in de onderliggende laag terechtkomen. In laboratorium-uitloogexperimenten worden deze deeltjes door een filter (van 0,45 µm) tegengehouden, terwijl deze in de (semi-)praktijksituatie wel door kunnen spoelen, tot in het zandbed of zelfs tot in het percolaat.

Op basis van de analyseresultaten van de zandmonsters kan het optreden van dit effect niet worden aangetoond. Voor met name de proefbakken 2 en 7 (E-centrale bodem- en vliegascement) geldt dat daarvoor ook de concentraties aan bijvoorbeeld arseen en vanadium verhoogd hadden moeten zijn, terwijl dit niet het geval is.

Wel is in het rapport over het Mammoet semi-praktijk onderzoek aangegeven dat in de eerste percolaat-monsters van vrijwel alle proefbakken, maar met name die van de proefbakken 1 (AVI-slak) en 5 (fosforslak en hoogovenslakkenzand) meegevoerde fijne deeltjes zijn aangetroffen. Blijkbaar zijn in de beginperiode wel fijne deeltjes uitgespoeld, maar daarna niet meer (althans niet meetbaar). Verder blijkt hieruit dat de poriestructuur van het zandbed niet fijn genoeg was om de uit de funderingslaag meegespoelde deeltjes vast te houden.

Een derde effect, dat in het semi-praktijk onderzoek naar voren kwam, is maskering van de uitloging uit het funderingsmateriaal door uitloging uit het zandbed. Uit de meetgegevens van het semi-praktijk onderzoek zou kunnen worden verondersteld, dat een bepaalde component uit het funderingsmateriaal uitloopt, terwijl deze in feite uit het zandbed afkomstig is. Dit wordt veroorzaakt door het feit, dat de percolaten in het semi-praktijk onderzoek afgetapt zijn na percolatie door en de funderingslaag en het zandbed. In het semi-praktijk onderzoek is dit maske-

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

ringseffect geconstateerd voor mangaan in vrijwel alle proefbakken en voor sulfaat in proefbak 2. De in bijlage 6a gegeven analyseresultaten van de zandbed-monsters bevestigen dit voor mangaan uit het zandbed van de proefbakken 1 en 2 en geven aan dat dit effect tevens opgetreden kan zijn voor antimoon uit het zandbed van proefbak 2.

3.3 Het verloop van de pH

De uitloging van vrijwel alle elementen/componenten is afhankelijk van de pH. Om deze reden is de pH, die een (funderings)materiaal oplegt aan zijn omgeving, van groot belang voor de feitelijke uitloging. Hiermee hangt samen de zogenaamde buffercapaciteit van een materiaal; dat wil zeggen de capaciteit van het materiaal om de eerder genoemde pH constant te houden. Meestal gaat het hierbij om het handhaven van de alkaliniteit (hoge pH) van het materiaal bij inwerking van zuren (bijvoorbeeld zure regen).

De pH van een materiaal wordt, in het geval van funderingsmaterialen, vooral bepaald door de aanwezigheid en de beschikbaarheid van (hydr)oxydes van met name (aard)alkalimetalen, zoals calcium, kalium, magnesium en natrium. Eventuele verschillen in uitloging tussen laboratorium-experimenten en praktijksituaties zijn dan ook vaak terug te voeren op verschillen in pH tengevolge van verschillen in met name de beschikbaarheid van de eerder genoemde (hydr)oxydes. Dit soort verschillen kunnen onder andere ontstaan door:

- Verkleining van het materiaal voor uitvoering van laboratorium-uitloogexperimenten, waardoor moeilijk doordringbare oxydehuidjes worden opengebroken en daarachter aanwezige stoffen bereikbaar worden en dus beschikbaar komen voor uitloging.
- Cementeringsreacties, die optreden in geval van cementgebonden funderingen; hierdoor wordt eventueel aanwezige vrije kalk (ook na een uithardings-tijd van 28 dagen) onttrokken aan de matrix en chemisch vastgelegd in de vorm van calciumsilicaten, wat een verlaging van de buffercapaciteit of van de pH tot gevolg heeft. Door verschillen in L/S-tijd-vertaling tussen laboratorium- en praktijksituatie kan dit aanleiding geven tot verschillen in uitloging. In de praktijk wordt een bepaalde L/S-verhouding pas na langere tijd bereikt, zodat cementeringsreacties in dat geval verder gevorderd zullen zijn.
- Carbonatatiereacties, die optreden als gevolg van aantasting van cementgebonden funderingen door CO₂ uit de lucht; ook hierdoor wordt eventueel aanwezige vrije kalk gebonden, waardoor deze niet meer beschikbaar is voor uitloging en waardoor de buffercapaciteit of de pH van het materiaal daalt.

In paragraaf 2.2.4 is aangegeven dat er, wat de pH van de materialen betreft, twee categorieën van materialen zijn toegepast in het Mammoet semi-praktijk onderzoek, namelijk neutrale en basische. De neutrale zijn AVI-slak, E-centrale bodemas, lavaliet, fosforslak en zand, de basische betongranulaat, hoogoven- en staalslak, vliegascementstabilisatie en zand/cementstabilisatie. In tabel 2 is voor deze twee categorieën van materialen een aantal ranges van gemeten pH-waarden bijeen gezet, namelijk de in het semi-praktijk onderzoek gemeten pH-waarden in de eerste [1] en de laatste [3] percolaten, en de pH-waarden, gemeten in de vaste stof (zowel in de funderingsmaterialen zelf als in het onderliggende zandbed).

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Tabel 2 Gemeten pH-waarden in percolaten en vaste stoffen

Type materiaal	Categorie neutrale materialen	Categorie basische materialen
Percolaten, begin	7,2 - 7,5	11,5 - 12,5
Percolaten, eind	8,0 - 8,5	10 - 11
Vaste stof, funderingsmateriaal	8,6 - 9,3	10,4 - 10,7
Vaste stof, zandbed	9,0 - 9,2	9,7 - 9,9

Uit tabel 2 blijkt, dat de pH-waarden van de neutrale materialen de neiging hebben te stijgen in de tijd, en die van de basische materialen te dalen. Een verklaring hiervoor is, dat na verloop van tijd uit de neutrale materialen (hydr)oxyden worden gemobiliseerd, die oorspronkelijk niet mobiel zijn. Mogelijk is dit een gevolg van het feit, dat chloride- en sulfaat-zouten van de (aard)alkalimetalen een hogere oplosbaarheid hebben dan de (hydr)oxyden. Hierdoor lossen de (hydr)oxyden pas op, als de voor uitloging beschikbare chlorides en sulfaten (voor het grootste deel) zijn uitgeloozd.

De pH van de basische materialen is in eerste instantie hoog tengevolge van het in oplossing gaan van hydroxyden van (aard)alkalimetalen. Na verloop van tijd treedt er uitputting op van deze hydroxyden, waardoor de pH zal dalen. Aan het eind van het semi-praktijk onderzoek (bij een L/S-verhouding variërend van 5 tot 9) was de pH in de percolaten minstens een eenheid gedaald.

De in de percolaten en in de vaste stoffen gemeten pH-waarden mogen niet rechtstreeks met elkaar worden vergeleken, vanwege de verschillende manier van meten.

Ten aanzien van de in de vaste stoffen gemeten pH-waarden is het frappant dat voor de neutrale materialen de pH in het zandbed vaak nog iets hoger is dan die in het funderingsmateriaal zelf (terwijl de pH in de proefbak met alleen zand lager was, namelijk 8,7). Het is niet duidelijk wat hiervan de oorzaak is.

In het samenvattende Mammoet-rapport [2] is aangegeven, dat bijvoorbeeld in het geval van AVI-slak de pH van de uitloogvloeistof uit de laboratorium-kolomproef aanzienlijk hoger is dan de pH van de uitloogvloeistof uit de grote kolommen of uit het semi-praktijk onderzoek. Deze pH-verschillen worden bij AVI-slak hoogst waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in uitloogbaarheid van (aard)-alkalimetaal(hydr)oxyden, zoals calcium, natrium, kalium en magnesium, als gevolg van het al dan niet verkleinen van het materiaal. Door de verkleining tot deeltjes kleiner dan 4 mm ten behoeve van de laboratorium-kolomproef komen de pH-bepalende componenten beter beschikbaar voor uitloging, waardoor de pH van het percolaat stijgt.

Als gevolg van verhoging van de pH door verkleining (lab-kolomproef) of van verlaging van de pH door cementering of carbonatie (in de (semi)praktijksituatie) is voor vrijwel alle onderzochte materialen de pH van de uitloogvloeistoffen in de lab-kolomproef hoger dan in het semi-praktijk onderzoek. Deze pH-verschillen tussen de laboratorium- en praktijksituatie kunnen aanleiding geven tot verschillen in uitloging van pH-afhankelijke componenten (zie paragraaf 3.4).

De resultaten van de pH-metingen aan de monsters uit het semi-praktijk onderzoek (zie paragraaf 2.2.2 en bijlage 4) laten voor de proefbakken 3 en 8 verschillen zien in pH-waarden in het midden van de proefbak en aan de rand. Hoewel het

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

vochtgehalte van het funderingsmateriaal in deze proefbakken vrij gelijkmatig is geweest (als functie van de geometrie), zijn er toch verschillen in pH te zien. Verondersteld mag worden dat er wel verschillen in verversingssnelheid van het percolaat zijn opgetreden, maar dat deze verschillen (mogelijk versterkt door de uitdroging gedurende de laatste zomer) niet hebben geleid tot verschillen in vochtgehalte (zie ook de paragrafen 3.1 en 3.4). Verwacht mag worden dat de hier gevonden verschillen in pH het gevolg zijn van verschillen in uitloging van de eerder genoemde pH-bepalende (hydr)oxyden van calcium, magnesium, kalium en natrium. Dit wijst in de richting van verschillen in uitloogmechanisme tussen het midden van de proefbak en de rand (zie paragraaf 3.4).

Het pH-profiel van proefbak 7 (bijlage 6) toont niet de hierboven omschreven verschillen in pH tussen het midden en de rand van de proefbak. Waarschijnlijk liet de poriestructuur of de poriegrootte van deze stabilisatie geen echte percolatie toe, waardoor een zekere dispersie naar alle zijden optrad. Hierdoor werden de verversingssnelheid en daarmee de uitloging van pH-bepalende componenten genivelleerd. Dit bevestigt de in paragraaf 3.1 getrokken conclusies ten aanzien van de relatie tussen vochtgehalte, verversingssnelheid en poriegrootte.

3.4 Het uitloogmechanisme

In eerdere paragrafen is al aangegeven, dat de uitloging uit een wegfunderingsmateriaal onder andere afhangt van de mate en manier van bevochtiging (paragraaf 3.1) en van de pH van het materiaal (paragraaf 3.3). Met name de manier van bevochtiging is bepalend voor het mechanisme, volgens welke de feitelijke uitloging plaatsvindt. Na een korte beschouwing over mogelijk optredende uitloogmechanismen zal met behulp van het verkregen cijfermateriaal worden nagegaan of er in algemene zin iets te zeggen valt over optredende verschillen in uitloogmechanisme tussen laboratorium- en praktijksituaties.

3.4.1 Theoretische beschouwing van uitloogmechanismen

Bij uitloging hangt het niveau van de gemeten emissies in sterke mate af van het uitloogmechanisme dat in die bepaalde situatie overheerst. In principe zijn hierbij twee mechanismen te onderscheiden:

- a) percolatie: de emissie hangt voornamelijk af van de verversingssnelheid van het porievocht, die in dit geval wordt bepaald door de percolatiesnelheid van de uitloogvloeistof door het materiaal;
- b) diffusie: de emissie wordt voornamelijk bepaald door de diffusiesnelheid van de uitlogende component in het materiaal (de vaste-stofmatrix).

In de laboratorium-uitloogproeven treden deze beide mechanismen in tamelijk zuivere vorm op. Mechanisme a) overheerst bijvoorbeeld in de laboratorium-kolomproeven en -cascadeproeven aan korrelvormige materialen, terwijl mechanisme b) de bepalende factor is bij de laboratorium-diffusieproef aan intacte produkten.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

De doorstroming van de kolom, zowel bij de laboratorium-kolomproef als bij uitloogonderzoek in kolommen op grotere schaal, is een gedwongen percolatiestroming. Dit betekent, dat er alleen in de vaste-stofdeeltjes sprake is van diffusie. Eenmaal buiten het deeltje, worden de uitloegende componenten meteen door de vloeistofstroom meegenomen.

In de stand- of diffusieproef wordt de vaste stof (het produkt) omgeven door de uitloegvloeistof. De feitelijke uitloging wordt hier bepaald door de snelheid waarmee de uitloegende component diffundeert vanuit de vaste-stofmatrix naar het grensvlak tussen produkt en uitloegvloeistof.

Verwacht mag worden, dat in de praktijksituatie in de meeste gevallen voornamelijk sprake zal zijn van het diffusiemechanisme. Het van het wegdek afstromende regenwater zal niet volledig door de fundering heen percoleren, maar er grotendeels via de naastgelegen grond langsstromen (zie paragraaf 3.1). Er treedt dus geen zuivere percolatiestroming op, maar het funderingsmateriaal wordt wel bevochtigd, waardoor er diffusie kan optreden. Hierbij is de diffusiesnelheid mogelijk afhankelijk van de mate van bevochtiging van het materiaal (het deel van de poriën dat gevuld is met vocht).

In het semi-praktijk onderzoek is hoogst waarschijnlijk een combinatie van beide mechanismen opgetreden. Dit is veroorzaakt door het feit, dat in elke proefbak de wegfundering over de gehele breedte van de bak aanwezig was (van zijwand tot zijwand). Hierdoor kon er **geen** omstroming plaatsvinden en werd het water gedwongen om na het passeren van de grasberm door de funderingslaag heen te gaan. Dit is schematisch weergegeven in de rechterhelft van figuur 1 (hoofdstuk 1). Van het gearceerde gedeelte van de fundering is aangenomen dat hier percolatie is opgetreden tijdens en na een regenperiode. In een droge periode, waarin er geen gedwongen percolatiestroming was, zal er alleen sprake zijn geweest van diffusie vanuit de vaste stof naar het poriewater. Alleen in natte perioden werd in dat deel van de funderingslaag het poriewater ververst en werd het transport van de uitloegende componenten vanuit de poriën naar het scheidingsvlak met het zandpakket dus versneld door de gedwongen percolatiestroming. Van het midden van de funderingslaag onder de asfaltlaag is aangenomen, dat er hier geen gedwongen percolatie is opgetreden, zodat er hier zowel in droge als in natte perioden alleen sprake is geweest van een diffusie-gecontroleerde afgifte. In paragraaf 3.4.3 moet nog blijken of deze aanname juist is geweest, en vooral waar de grens tussen percolatie en diffusie heeft gelegen, met andere woorden hoe het percolatiepatroon er heeft uitgezien.

3.4.2 Globale vergelijking van laboratorium- en grootschalig uitloogonderzoek

Om de resultaten van laboratorium- en grootschalig uitloogonderzoek eenduidig te kunnen vergelijken, zijn voor een beperkt aantal componenten (per materiaal de meest relevante) de cumulatieve emissies bij $L/S = 5$ naast elkaar gezet, zoals die zijn gemeten in de verschillende uitloogonderzoeken: lab-kolomproef, lab-diffusieproef, grote-kolommenonderzoek (zowel up- als down-flow) en semi-praktijk onderzoek. Deze cumulatieve emissies zijn verzameld in bijlage 7.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Om de resultaten van de uitgevoerde lab-diffusieproeven te kunnen vergelijken met de overige resultaten, zijn de emissies, uitgedrukt in mg/m^2 , omgerekend naar emissies in mg/kg , en is er een omrekening gemaakt van de tijdschaal naar een L/S-schaal. Voor deze omrekening is vermenigvuldigd met het uitloogoppervlak (het grensvlak tussen funderingslaag en zandbed in het semi-praktijk onderzoek) en is gedeeld door de bevochtigde massa. De omrekening van de tijd- naar de L/S-schaal is uitgevoerd op basis van in het semi-praktijk onderzoek gevonden L/S-verhoudingen per jaar (zie ook paragraaf 3.1), waarna de emissiewaarde is geëxtrapoleerd naar de tijd, behorend bij de L/S-waarde van 5 l/kg.

Bij het vergelijken van de cijfers uit bijlage 7 moet men zich realiseren, dat de relatieve fout in de afzonderlijke waarden een sommatie is van de fouten, gemaakt bij monsterneming van de vaste stof, monsterneming van de uitloogvloeistoffen en analyse van de uitloogvloeistoffen. Daarbij liggen veel analyseresultaten rond de onderste bepalingsgrens, zodat de totale fout in sommige (vooral lage) waarden in bijlage 7 op kan lopen tot zeker 50%. Dit betekent dat verschillen van een factor 2 à 3 niet significant behoeven te zijn.

Naast een aantal specifieke, niet-systematische verschillen (waarvoor in het Mammoet-evaluatierapport [2] is getracht een verklaring te geven) volgen uit bijlage 7 twee meer systematische verschillen. In de eerste plaats is dit de arseen-emissie, die voor vrijwel alle materialen in het semi-praktijk onderzoek systematisch hoger is dan in de andere onderzoeken. Hiervoor is geen bevredigende verklaring gevonden. In de tweede plaats is dit het verschijnsel, dat de in het semi-praktijk onderzoek *gemeten* emissies systematisch hoger zijn dan de uit de laboratorium-standproeven *berekende* emissies. De in het semi-praktijk onderzoek gemeten emissies zijn globaal van dezelfde ordegrootte als de in de kolommen gemeten emissies. In het hiernavolgende zal worden getracht hiervoor een verklaring te geven.

In paragraaf 3.4.1 werd aannemelijk gemaakt, dat de uitloging uit de semi-praktijk proefbakken verlopen zou zijn volgens een combinatie van het percolatie- en diffusiemodel. In de praktijksituatie zou het diffusiemodel overheersen. Uit bijlage 7 blijkt, dat de uitloging in het semi-praktijk onderzoek ongeveer het niveau had van uitloging volgens het percolatiemodel, of zelfs nog hoger (met name voor de stabilisaties, waarvan gedacht was dat vooral daar diffusie het uitloogmechanisme zou zijn).

De verklaring ligt in de gedwongen percolatie door de funderingslagen in de proefbakken in het semi-praktijk onderzoek. Twee effecten vertekenen het beeld:

- Vergelijking van de emissies uit de stabilisaties (vliegascement en zand/cement) tussen het semi-praktijk onderzoek en de kolomproeven wordt bemoeilijkt door het feit, dat voor uitloging in de kolommen de stabilisaties zijn opgebroken. Hoewel er in beide gevallen sprake is van gedwongen doorstroming, kan de emissie toch beduidend verschillen. In het semi-praktijk onderzoek is er sprake van gedwongen *doorstroming* van de stabilisatie als zodanig, terwijl er in de kolommen sprake is van gedwongen *omstroming* van de brokstukken. In het eerste geval gaat het dus om percolatie door de poriën van de stabilisatie zelf, in het tweede geval om percolatie door de poriën tussen de stabilisatiebrokstukken. In het semi-praktijk onderzoek is er dan ook geen sprake van 'zuivere' percolatie.
- Ook de vergelijking van de emissies uit de stabilisaties (vliegascement en zand/cement) tussen het semi-praktijk onderzoek en de lab-diffusieproeven wordt bemoeilijkt. In de diffusieproef bevindt het materiaal (het produkt) zich

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

in stilstaand water, waardoor er geen vloeistoftransport door het materiaal plaatsvindt. In het semi-praktijk onderzoek is er wel sprake van vloeistoftransport door het materiaal. De uitloging vindt dan ook niet plaats op basis van 'zuivere' diffusie.

De bevochtigings- en pH-profielen van de twee in het semi-praktijk onderzoek onderzochte stabilisaties lijken aan te geven, dat voor de zand/cementstabilisatie (relatief grote poriën) het uitloogmechanisme meer wordt bepaald door percolatie en voor de vliegascementstabilisatie (relatief kleine poriën) meer door diffusie. In het laatste geval zou, vanwege het watertransport door de stabilisatie, kunnen worden gesproken van een 'versnelde' diffusie. Met behulp van de gegevens uit het op praktijkschaal uitgevoerde onderzoek aan een vliegascementstabilisatie [5] is getracht hierover duidelijkheid te krijgen.

Zoals al eerder is aangegeven, zijn in bijlage 7 de in de diffusieproef gemeten emissies, als gevolg van uitloging door diffusie, uitgedrukt in massa per oppervlakte-eenheid (mg/m^2), omgerekend naar massa per gewichtseenheid (mg/kg). Vervolgens zijn deze getallen geëxtrapoleerd naar een emissie na ongeveer 1,5 jaar (de tijd die in het semi-praktijk onderzoek nodig was om een L/S-verhouding van 5 l/kg te bereiken). In tabel 3 zijn voor de vliegascementstabilisatie deze waarden en de in het semi-praktijk onderzoek gemeten cumulatieve emissies nog eens bij elkaar gezet. Hieraan zijn toegevoegd de op dezelfde wijze uit de diffusieproef berekende emissies, nu geëxtrapoleerd naar ongeveer 18 jaar (de tijd die volgens de praktijkproef nodig zou zijn om een L/S-verhouding van 5 te bereiken. Ook hierbij gaat het om uitloging als gevolg van diffusie.

Tabel 3 Vergelijking van uit de diffusieproef berekende en in het semi-praktijk onderzoek gemeten emissies (vliegascementstabilisatie)

Gemeten en berekende emissies	Ca	SO ₄ ²⁻	As	Cr	Mo
Gemeten in de diffusieproef (mg/m^2)	8280	10700	1,8	58	81
Extrapolatie naar 1,5 jaar (semi-praktijksituatie) (mg/kg)	83	107	0,02	0,58	0,81
Extrapolatie naar 18 jaar (praktijksituatie) (mg/kg)	287	370	0,07	2,01	2,81
Gemeten in het Mammoet semi-praktijk onderzoek (mg/kg)	310	590	0,88	1,87	3,81

Uit tabel 3 blijkt dat, behalve voor arseen (zie eerder gemaakte opmerking), de over 18 jaar berekende emissie door diffusie goed overeenkomt met de in het semi-praktijk onderzoek gemeten emissie. Als gevolg van de gedwongen doorstroming is in het semi-praktijk onderzoek in ongeveer 1,5 jaar de hoeveelheid uitgelooft die in een praktijksituatie, als gevolg van diffusie, pas na 18 jaar zou zijn uitgelooft. De veronderstelling van 'versnelde' diffusie als gevolg van de gedwongen doorstroming lijkt hiermee, althans voor de vliegascementstabilisatie, bevestigd.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

3.4.3 Percolatie en diffusie als functie van de geometrie van de toepassing

In paragraaf 3.1 werd geconstateerd dat de vochtgehalten weinig varieerden als functie van de geometrie (de dwarsdoorsnede van de proefbakken). Uit de pH-profielen (paragraaf 3.3) bleek echter, dat er voor sommige materialen wel verschillen in pH te zien waren als functie van de geometrie, voor andere materialen niet.

Op basis van de pH-profielen van bijvoorbeeld de proefbakken 3 (betongranulaat) en 8 (zand/cementstabilisatie) werd de verwachting uitgesproken, dat door uitloging als gevolg van percolatie de concentratie aan sommige, pH-bepalende componenten na verloop van tijd aan de randen al afnam, terwijl die in het midden (waar alleen uitloging als gevolg van diffusie kon optreden) nog vrijwel constant bleef. Hiertegenover staat dat het profiel van proefbak 7 (vliegascementstabilisatie) juist een gelijkmatige pH als functie van de geometrie te zien gaf, wat lijkt te wijzen op uitloging alleen als gevolg van diffusie. Dit laatste is in de voorgaande paragraaf min of meer bevestigd.

Het verschil tussen de pH-profielen van de proefbakken 7 en 8 aan de ene kant en de overeenkomst tussen die van de proefbakken 8 en 3 aan de andere kant lijkt aan te geven, dat ook het uitloogmechanisme (evenals het vochtgehalte) niet wordt bepaald door het al dan niet gebonden zijn van het funderingsmateriaal, maar door de grootte van de poriën.

De concentratieprofielen (bijlage 9) wijzen in dezelfde richting, althans voor die elementen, die in aanzienlijke hoeveelheden zijn uitgeloozd gedurende de looptijd van het semi-praktijk onderzoek (onder andere calcium, sulfaat, molybdeen). De emissie uit de vliegascementstabilisatie (bak 7) is gelijkmatig geweest, terwijl de emissies uit de AVI-slak (bak 1) en betongranulaat (bak 3) verschillen laten zien tussen het midden van de proefbak en de rand. In de vliegascementstabilisatie (met kleine poriën) is er dus alleen sprake geweest van (een weliswaar versnelde) diffusie; in de funderingsmaterialen AVI-slak en betongranulaat is er sprake geweest van diffusie en aan de randen tevens van percolatie.

Het blijkt vrijwel onmogelijk, om op basis van de concentratieprofielen in bijlage 9 een zodanig gedetailleerde uitspraak te doen over het percolatiepatroon, dat wordt aangegeven in welk deel van de fundering nog wel (voor een deel van de tijd) percolatie is opgetreden en in welk deel niet. Voor een dergelijke, verfijnde uitspraak zijn de cumulatieve onzekerheden in de analysecijfers te groot. Deze grote cumulatieve onzekerheden worden voor een belangrijk deel veroorzaakt door de heterogeniteit van de onderzochte materialen en door de niet altijd goed gedefinieerde monsterneming (zie paragraaf 2.1.2).

3.4.4 Percolatie en diffusie in de praktijk

Uit het voorgaande (de paragrafen 3.1, 3.3 en 3.4) valt ten aanzien van percolatie en diffusie in een praktijksituatie af te leiden, dat:

- het vochtgehalte van het funderingsmateriaal afhankelijk is van de poriegrootte;
- uitloging door diffusie in de tijd gezien een continu proces is, onafhankelijk van de regenval, maar waarschijnlijk wel afhankelijk van het vochtgehalte in het funderingsmateriaal, en daarmee van de poriegrootte;

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

- uitloging door percolatie niet zozeer afhankelijk is van het vochtgehalte, maar veel meer van de verversingssnelheid van het poriewater; en daarmee van en de regenval en de verhouding afstroming/doorstroming van de funderingslaag als gevolg van verschillen in permeabiliteit tussen het funderingsmateriaal en de aanvulling daarnaast;
- het uitloogmechanisme (percolatie of diffusie) niet zozeer afhangt van het al dan niet gebonden zijn van het materiaal, maar veel meer van de poriegrootte;
- het uitloogmechanisme (percolatie of diffusie) niet zozeer afhangt van het al dan niet gebonden zijn van het materiaal, maar veel meer van de poriegrootte;
- uitloging door diffusie rechtstreeks een functie is van de tijd, terwijl uitloging door percolatie in de eerste plaats een functie is van de L/S-verhouding, en daardoor slechts indirect een functie van de tijd;
- voor het berekenen van de L/S-verhouding ten behoeve van percolatie in feite alleen dat deel van de vaste stof mag worden meegenomen, dat ook werkelijk wordt doorstroomd.

Aan de hand van een drietal voorbeelden zal getracht worden aan te geven wat deze afleiding concreet (hoewel *niet* kwantitatief) betekent. Achtereenvolgens zullen worden besproken de uitloging uit:

- een funderingsmateriaal met grote poriën (zoals vermoedelijk voor fosforslak geldt);
- een funderingsmateriaal met kleinere poriën (zoals vermoedelijk geldt voor bijvoorbeeld AVI-slak en een mengsel van hoogoven- en staalslakken en hoogovenslakkenzand);
- een funderingsmateriaal met uiterst kleine poriën (zoals een vliegascementstabilisatie).

Een funderingsmateriaal met grote poriën

In een fundering met grote poriën tussen de deeltjes zal na een regenbui een goede en gemakkelijke percolatie optreden. Vrijwel al het van de weg afstromende water zal door de buiten de asfaltlaag uitstekende funderings-‘schouder’ heen percoleren. Er zal dus vrijwel niets om de funderingslaag heen, door de ernaast aangebrachte aanvulling stromen. Vanwege de geringe percolatieweerstand zal het regenwater niet in zijwaartse richting percoleren. De grote poriën zijn er tevens de oorzaak van dat de capillaire werking gering zal zijn, met als gevolg een laag vochtgehalte in de fundering.

De uitloging uit deze fundering zal voornamelijk plaats hebben door percolatie. Er zullen in vrij korte tijd hoge L/S-verhoudingen worden bereikt vanwege een hoge L (al het van de weg afstromende regenwater komt door de fundering) en een lage S (slechts een beperkt deel van het funderingsmateriaal komt met regenwater in contact). Dit betekent, ook in de tijd gezien, een vrij hoge emissie aan uitlogende componenten. Naast uitloging als gevolg van percolatie zal er ook uitloging optreden als gevolg van diffusie. Het aandeel hiervan in de totale emissie zal echter gering zijn vanwege het lage vochtgehalte in de fundering, waardoor de porie-diffusiesnelheid gering zal zijn.

Door de hoge L/S-waarden als functie van de tijd zal de uitloging door percolatie al vrij snel terug lopen, als gevolg van uitputting (het voor uitloging beschikbare deel is dan reeds uitgelooft uit de percolatie-zone). De (geringe) uitloging door diffusie zal daarentegen nog lang doorgaan, juist vanwege de lage snelheid. Met andere woorden: een funderingsmateriaal met grote poriën zal gedurende een kor-

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

te tijd een hoge uitlogging te zien geven en vervolgens gedurende een lange tijd een (zeer) geringe uitlogging.

Een funderingsmateriaal met kleinere poriën

In een dergelijke fundering zal het regenwater aanzienlijk moeilijker binnendringen; dit zal eerder door de aanvulling stromen. Vanwege de kleinere poriën zal de percolatiesnelheid eveneens lager zijn, waardoor er gemakkelijker een percolatie in zijwaartse richting ontstaat. De bevochtigde hoeveelheid funderingsmateriaal neemt toe met toenemende diepte. Het bovenstaande houdt in dat de L/S-verhouding, en daarmee de emissie, minder snel toeneemt als functie van de tijd, ten opzichte van de fundering met grote poriën (L is minder groot, S is juist groter). Door de grotere capillaire werking als gevolg van de kleinere poriën zal het vochtgehalte in de totale fundering hoger zijn, waardoor de uitlogging tengevolge van diffusie groter zal zijn dan in het eerder genoemde geval.

Vanwege de lagere emissie als functie van de tijd zal het langer duren voordat er uitputting zal optreden. De emissie blijft dus langer op een hoog niveau gehandhaafd, zij het minder hoog dan in het eerste geval. De daarna overblijvende emissie als gevolg van diffusie is hoger dan in het eerste geval, maar zal minder lang voortduren.

Een funderingsmateriaal met uiterst kleine poriën

In een dergelijke fundering zal vrijwel al het regenwater niet door, maar langs de fundering heen stromen. Het instromende vocht wordt echter vanwege de grote capillaire werking wel goed vastgehouden. Er zal dus slechts een geringe uitlogging als gevolg van percolatie optreden, terwijl de uitlogging als gevolg van diffusie aanzienlijk zal zijn (waarschijnlijk zelfs groter dan die als gevolg van percolatie). Doordat vrijwel de gehele fundering gelijkmatig bevochtigd is en er ook in de tijd gezien weinig variatie optreedt, zal de uitlogging op ongeveer hetzelfde (relatief lage) niveau doorgaan totdat de gehele fundering is 'uitgeput'.

3.5 Overige (niet gemeten) aspecten

In deze paragraaf zullen enkele aspecten de revue passeren die wel een rol spelen bij 'de vertaling', maar waaraan geen experimenteel onderzoek is verricht in dit project. Deze aspecten zullen dan ook slechts globaal en beschouwend worden beschreven.

Stromingsrichting

In de standaard uitloogproef is voor opwaartse doorstroming van de kolom gekozen om de proef beter reproduceerbaar te maken, in verband met kanaalvorming bij neerwaartse doorstroming. In de praktijk zal er, behalve in het geval van grondwaterdoorstroming in kwelgebieden, meestal sprake zijn van neerwaartse doorstroming. In het Mammoet grote-kolommenonderzoek is met name gekeken naar mogelijke effecten tengevolge van verschillen in stromingsrichting. In het Mammoet-onderzoek [2] is geconcludeerd, dat een verschil in stromingsrichting zowel de pH als de oxydatietoestand kan beïnvloeden. Een voorbeeld van de beïnvloeding van de oxydatietoestand is de aanwezigheid van driewaardig chroom in

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

reducerend milieu (opwaartse doorstroming) en zeswaardig chroom in oxyderend milieu (neerwaartse doorstroming). In het semi-praktijk onderzoek, waar ook sprake is van neerwaartse doorstroming, is dit effect niet aangetoond, maar dit is mogelijk een gevolg van de aanwezigheid van het zandbed (zie paragraaf 3.2).

Verkleining

Voorschrift voor de standaard uitloogproef (kolomproef) is dat het uit te logen materiaal verkleind (gebroken) wordt tot een korrelgrootte < 4 mm. Dit betekent in de eerste plaats een vergroting van het specifiek oppervlak, waardoor in principe een toename van de uitloging veroorzaakt zou kunnen worden. In ander verband uitgevoerd onderzoek [6] heeft als conclusie opgeleverd, dat dit slechts voor weinig materialen geldt en dan nog in zeer beperkte mate, omdat de bijdrage van de grove deeltjes aan het totale specifiek oppervlak niet significant is, zodat de vergroting van dit specifiek oppervlak ook niet significant is. Ook in het Mammoet-onderzoek [2] werd geconcludeerd dat dit effect niet of nauwelijks is aangetoond in het grote-kolommenonderzoek. Hier staat tegenover, dat wel is aangetoond, dat er zich pH-wijzigingen kunnen voordoen, als gevolg van verkleining (zie paragraaf 3.3).

Temperatuur

De temperatuur is belangrijk verschillend voor de laboratoriumsituatie ten opzichte van de praktijksituatie. In de lab-situatie is deze constant, rond de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, terwijl in de praktijksituatie schommelingen optreden, afhankelijk van de toepassingssituatie. Voor sommige elementen kan dit, direct of indirect, gevolgen hebben voor het uitlooggedrag.

4 Conclusies/aanbevelingen

De uit het onderzoek verkregen resultaten en de vergelijking hiervan met eerder uitgevoerd onderzoek laten het niet toe om op basis hiervan eenduidige, kwantitatieve vertaalfactoren te formuleren. Wel zijn uit het onderzoek aanwijzingen verkregen voor de volgende (kwalitatieve) conclusies:

1. Naarmate een funderingsmateriaal grotere poriën heeft:
 - is het vochtgehalte lager;
 - is de permeabiliteit hoger;
 - treden er grotere verschillen in vochtgehalte op over de breedte van het funderingspakket (vooral in een natte periode).
2. Voor de berekening van de L/S-verhouding in een praktijksituatie is de ‘doorslag’ maatgevend. Dit is de fractie regenwater die door de totale funderingslaag percoleert. De grootte van deze doorslag wordt voornamelijk bepaald door de verhouding in permeabiliteit tussen het funderingsmateriaal en de eraan gelegen grond of aanvulling.
3. De vertaalfactor voor de vertaling van de L/S-verhouding (= relatieve tijdschaal) uit een laboratorium-uitloogproef naar de tijd voor een wegfundering in de praktijk varieert (afhankelijk van de permeabiliteit van het materiaal) van 0,2 l/kg/jaar (voor een vliegascementstabilisatie, met een uiterst fijne poriestructuur) tot 1,5 l/kg/jaar (voor een loskorrelig materiaal met een grove poriestructuur). Hierbij is het gemiddeld neerslagniveau op 850 mm per jaar verondersteld.
4. In de vliegascementstabilisatie lijkt in het Mammoet semi-praktijk onderzoek een soort van versnelde diffusie te zijn opgetreden als gevolg van een gedwongen doorstroming. De in het semi-praktijk onderzoek *gemeten* emissies komen overeen met op basis van de diffusieproef-resultaten *berekende* emissies over een periode die volgens een praktijkproef nodig is om een vergelijkbare L/S-verhouding te bereiken.
5. Van de onderzochte componenten worden koper en, in mindere mate, chroom en sulfaat geadsorbeerd aan de zandlaag onder het funderingspakket.
6. Als gevolg van verhoging van de pH door verkleining van de deeltjes (ten behoeve van de laboratorium-kolomproef) en/of verlaging van de pH door cementering of carbonatatie (in de (semi-)praktijksituatie) is voor vrijwel alle onderzochte materialen de pH van de uitloogvloeistoffen in de laboratoriumsituatie hoger dan in het semi-praktijk onderzoek. Dit kan aanleiding geven tot verschillen in uitloging van pH-gevoelige componenten.
7. Uitloging door diffusie is een continu proces, onafhankelijk van de regenval, maar wel afhankelijk van het vochtgehalte in het funderingsmateriaal, en daarmee van de poriegrootte van het materiaal.
8. Uitloging door percolatie is niet in de eerste plaats afhankelijk van het vochtgehalte, maar veel meer van de ‘doorslag’. Via de permeabiliteit van het materiaal is daarmee ook deze vorm van uitloging afhankelijk van de poriegrootte van het materiaal.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

9. Het uitloogmechanisme (diffusie of percolatie) wordt vooral bepaald door de poriegrootte van het materiaal. Het is dus niet per definitie zo dat een gebonden (vorm gegeven) funderingsmateriaal uitlooft als gevolg van diffusie en een ongebonden (loskorrelig) materiaal als gevolg van percolatie. Deze conclusie heeft consequenties voor de vertaalbaarheid van de voorgeschreven uitloogproef (diffusieproef voor gebonden materiaal, kolomproef voor ongebonden materiaal) naar de praktijksituatie.

Hieronder worden enkele aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek:

1. Het verdient aanbeveling om de poriegrootte(verdeling) en de permeabiliteit van de verschillende, in het Mammoet semi-praktijk onderzoek meegenomen materialen te bepalen en de afhankelijkheid van het vochtgehalte hiervan nader te onderzoeken. Hiermee wordt de vertaalfactor van de L/S-verhouding naar de tijd beter kwantificeerbaar.
2. Gezien het effect van de poriegrootte(verdeling) van het funderingsmateriaal op de uitloging, verdient het aanbeveling om de relatie tussen de mate van verdichting van een fundering en het uitlooggedrag ervan nader te bestuderen.
3. In dit onderzoek is getracht op indirecte wijze (via chemische analyses achteraf) inzicht te verkrijgen in percolatiepatronen en hiermee ook in de relatieve bijdragen van de uitloogmechanismen percolatie en diffusie. Deze indirecte benadering heeft niet tot een bevredigend resultaat geleid. Om dit inzicht in percolatiepatronen te verkrijgen verdient het aanbeveling een specifiek op dit doel gericht onderzoek uit te voeren. Hiervoor kan worden gedacht aan een kunstmatige berekening van twee of drie funderingsmaterialen in transparante (perspex) modellen.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

5 Literatuur

- [1] Mulder, E. en R. Gerritsen;
Semi-praktijk onderzoek naar het uitlooggedrag van primaire en
secundaire grondstoffen als wegfundering, Mammoet-deelrapport 11.
TNO-rapport 90/006721, Apeldoorn, mei 1990.

- [2] Versluijs, C.W., I.H. Anthonissen en E.A. Valentijn;
Mammoet '85, integrale evaluatie van de deelonderzoeken, Mammoet-
deelrapport 13;
RIVM-rapport 738504008, Bilthoven, juli 1990.

- [3] Mulder, E.;
Verlenging Mammoet semi-praktijk uitloogonderzoek;
TNO-rapport 92-174, Apeldoorn, mei 1992.

- [4] Wilde, P.G.M. de, A.I.M. van de Beek, J. Keijzer en Th.G. Aalbers;
Bepaling van de deeltjesgrootte en de oppervlakte van de grondstoffen,
Mammoet-deelrapport 5.
RIVM-rapport 738504005, Bilthoven, juli 1990.

- [5] Bolt, N.;
Poederkoolvliegass in met cement gestabiliseerde wegfunderingen; project
Dinteloord-Stampersgat;
KEMA-rapport WSK/21766-2, Arnhem, mei 1984.

- [6] Steen, J.J.D. van der, en G.J. Grootenboer;
De invloed van deeltjesverkleining op het uitlooggedrag van
bouwmaterialen en afvalstoffen.
TNO-rapport nr. 92-214, Apeldoorn, juli 1992.

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

NOVEM
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers

Dr. J. Joziasse - onderzoeksleider
Ir. E. Mulder - wetenschappelijk medewerker
G.J. Grootenboer - researchmedewerker
G. van der Made - researchmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Niet van toepassing

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
oktober 1990 - juni 1992

Ondertekening

Dr. J. Joziasse
onderzoeksleider

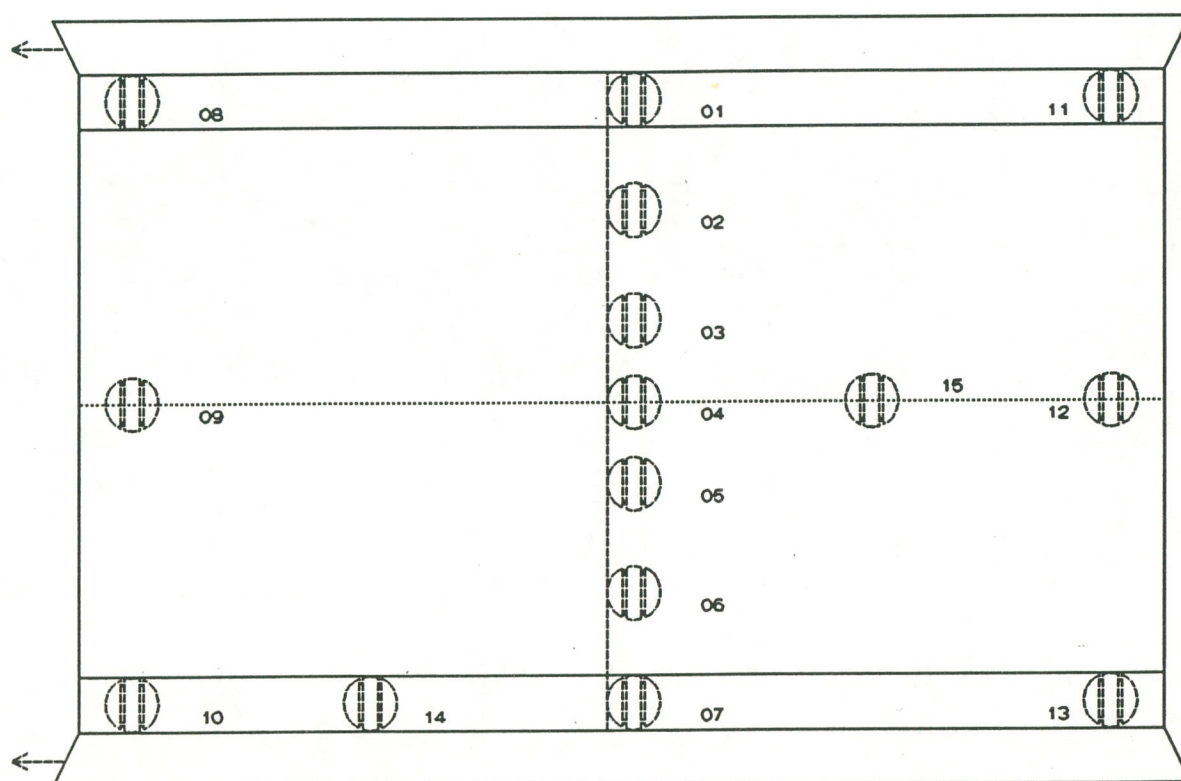
Goedgekeurd door

Ir. C. van Deelen
werkgroepsleider

*Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten
naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)*

**Bijlage 1a Bovenaaanzicht + nummering van de geboorde
kernen**

Bijlage 1a: Bovenaanzicht + nummering van de geboorde kernen



Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

**Bijlage 1b Zijaanzicht van de geboorde kernen +
nummering van de deelmonsters**

Bijlage 1b: Zijaanzicht van de geboorde kernen + nummering van deelmonsters

asfalt	cm
	0
f01	
	4
	8
f02	
	12
	16
f03	
	20
z01	
	1
z02	
	4
	8
z03	
	12
	16
z04	
	20

*Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten
naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)*

Bijlage 2 Berekende vochtgehaltes en gemeten pH-waarden

Bijlage 2: Berekende vochtgehaltes en gemeten pH-waarden, blad 1

Monstercode	vocht.	pH gem.
1-01-f-01	12.2%	8.5
1-01-f-02	14.1%	9.1
1-01-z-02	12.6%	9.1
1-01-z-03	15.4%	8.3
1-04-f-01	11.4%	8.5
1-04-f-02	12.1%	8.5
1-04-f-03	9.6%	8.5
1-04-z-02	9.2%	9.2
1-07-f-01	12.7%	8.8
1-07-f-02	16.1%	9.1
1-07-f-03	14.9%	9.0
1-07-z-02	8.7%	9.3
1-07-z-03	13.7%	8.8
1-07-z-04	15.1%	8.9
2-04-f-01	10.7%	9.4
2-04-f-02	16.1%	9.5
2-04-f-03	16.8%	9.5
2-04-z-02	7.5%	9.4
2-04-z-03	10.0%	9.3
2-04-z-04	11.4%	9.1
2-05-f-01	10.9%	9.3
2-05-f-02	16.8%	8.9
2-05-f-03	17.7%	9.0
2-05-z-02	8.4%	9.2
2-05-z-03	13.2%	8.9
2-05-z-04	15.7%	8.3
2-06-f-01	10.4%	8.3
2-06-f-02	16.5%	7.4
2-06-f-03	17.2%	7.9
2-06-z-02	7.8%	8.7
2-06-z-03	12.8%	8.7
2-06-z-04	15.8%	8.0
2-07-f-01	15.2%	6.9
2-07-f-02	16.7%	7.3
2-07-f-03	15.5%	7.8
2-07-z-02	7.6%	8.8
2-07-z-03	11.9%	8.8
2-07-z-04	15.2%	8.7
2-09-f-01	11.9%	9.3

Monstercode	vocht.	pH gem.
2-09-f-01	11.9%	9.3
2-09-f-02	16.8%	9.0
2-09-f-03	16.4%	9.4
2-09-z-02	8.2%	9.3
2-09-z-03	13.4%	9.0
2-10-f-01	10.7%	6.8
2-10-f-02	13.6%	7.3
2-10-f-03	16.8%	8.1
2-10-z-02	7.9%	8.6
2-10-z-03	10.5%	8.7
2-10-z-04	15.9%	8.7
2-12-f-01	10.1%	9.5
2-12-f-02	15.3%	9.4
2-12-f-03	15.4%	9.5
2-12-z-02	7.8%	9.2
2-12-z-03	11.4%	9.1
2-13-f-01	12.3%	7.4
2-13-f-02	14.7%	8.1
2-13-f-03	16.2%	8.6
2-13-z-02	8.1%	9.1
2-13-z-03	12.3%	9.4
2-13-z-04	14.7%	9.1
2-14-f-01	12.9%	8.5
2-14-f-02	16.4%	8.2
2-14-f-03	14.0%	8.8
2-14-z-02	8.9%	9.2
2-14-z-03	12.6%	9.2
2-14-z-04	16.2%	8.6
2-15-f-01	11.6%	9.2
2-15-f-02	16.0%	9.0
2-15-f-03	14.2%	9.2
2-15-z-02	7.7%	9.2
2-15-z-03	11.5%	9.0
3-01-f-01	2.9%	9.5
3-01-f-02	3.2%	9.6
3-01-f-03	5.8%	9.8
3-01-z-02	9.6%	9.7
3-01-z-03	13.3%	9.6
3-01-z-04	15.9%	9.6

Bijlage 2: Berekende vochtgehaltes en gemeten pH-waarden, blad 2

Monstercode	vocht.	pH gem.
3-04-f-01	2.9%	11.6
3-04-f-02	3.2%	11.6
3-04-f-03	4.0%	11.4
3-04-z-02	8.5%	10.2
3-07-f-01	2.7%	9.6
3-07-f-02	6.0%	9.9
3-07-f-03	6.7%	9.9
3-07-z-02	8.6%	10.1
3-07-z-03	16.0%	9.5
4-01-f-01	3.5%	7.8
4-01-f-02	7.0%	9.0
4-01-z-02	13.5%	9.0
4-04-f-01	5.8%	9.1
4-04-f-02	6.3%	9.1
4-04-f-03	7.6%	9.1
4-04-z-02	12.6%	9.1
4-07-f-01	7.4%	7.8
4-07-f-02	7.5%	8.2
4-07-z-02	14.3%	8.9
4-07-z-03	16.8%	9.2
5-01-f-01	2.8%	9.3
5-01-f-02	5.0%	9.4
5-01-f-03	3.6%	9.4
5-01-z-02	10.3%	9.3
5-01-z-03	11.6%	9.2
5-04-f-01	4.0%	9.5
5-04-f-02	5.5%	9.2
5-04-f-03	3.6%	9.1
5-04-z-01	6.5%	9.2
5-04-z-02	8.5%	9.3
6-01-f-01	5.9%	9.6
6-01-f-02	8.5%	9.4
6-01-f-03	6.3%	9.8
6-01-z-02	6.9%	9.9
6-01-z-03	10.4%	9.9
6-01-z-04	14.6%	9.9
6-04-f-01	5.6%	10.9
6-04-f-02	5.1%	10.9
6-04-f-03	6.3%	11.3

Monstercode	vocht.	pH gem.
6-04-z-02	8.0%	10.1
6-05-f-01	5.0%	10.9
6-05-f-02	5.7%	10.7
6-05-f-03	6.0%	10.8
6-05-z-02	11.1%	10.3
6-06-f-01	6.6%	10.4
6-06-f-02	8.0%	10.6
6-06-f-03	10.1%	10.8
6-06-z-02	7.6%	10.1
6-06-z-03	9.5%	9.6
6-06-z-04	13.7%	9.7
6-07-f-01	5.4%	9.3
6-07-f-02	7.6%	10.0
6-07-f-03	7.9%	10.4
6-07-z-02	6.0%	10.1
6-07-z-03	8.1%	9.8
6-07-z-04	14.1%	9.7
7-01-f-01	23.5%	10.0
7-01-f-02	22.7%	10.7
7-01-f-03	22.5%	11.1
7-01-z-02	6.4%	10.0
7-01-z-03	9.1%	9.9
7-01-z-04	14.7%	10.2
7-02-f-01	22.5%	10.5
7-02-f-02	24.1%	10.8
7-02-f-03	22.6%	10.6
7-02-z-02	6.0%	10.0
7-02-z-03	7.9%	9.9
7-02-z-04	14.9%	10.0
7-03-f-01	19.2%	9.8
7-03-f-02	26.4%	11.1
7-03-f-03	21.9%	10.8
7-03-z-02	5.6%	10.0
7-03-z-03	8.4%	9.7
7-04-f-01	24.0%	10.2
7-04-f-02	26.5%	11.0
7-04-f-03	22.3%	11.0
7-04-z-02	8.7%	9.8
7-05-f-01	23.1%	10.9

Monstercode	vocht.	pH gem.
7-05-f-02	26.6%	11.0
7-05-f-03	23.3%	10.9
7-05-z-02	11.5%	9.5
7-06-f-01	21.1%	10.1
7-06-f-02	26.0%	10.9
7-06-f-03	21.4%	10.8
7-06-z-02	12.0%	10.0
7-06-z-03	14.9%	10.0
7-07-f-01	23.0%	10.7
7-07-f-02	25.5%	10.8
7-07-f-03	20.6%	11.0
7-07-z-02	9.8%	10.0
7-07-z-03	14.7%	9.8
8-01-f-01	7.3%	9.8
8-01-f-02	9.2%	9.8
8-01-f-03	9.1%	10.3
8-01-z-02	7.3%	9.8
8-04-f-01	5.9%	10.4
8-04-f-02	4.9%	12.2
8-04-f-03	5.7%	12.1
8-04-z-02	6.4%	10.1
8-04-z-03	7.8%	9.8
9-01-z-01	2.2%	6.6
9-01-z-02	4.3%	8.1
9-01-z-03	5.1%	8.3
9-01-z-04	8.5%	8.5
9-01-z-05	10.7%	8.6
9-01-z-06	13.2%	8.7
9-01-z-07	12.5%	8.7
9-02-z-01	1.4%	8.4
9-02-z-02	3.3%	8.3
9-02-z-03	5.5%	8.5
9-02-z-04	8.4%	8.6
9-02-z-05	9.2%	8.8
9-02-z-06	12.1%	8.6
9-03-z-01	0.5%	8.7
9-03-z-02	0.2%	8.5
9-03-z-03	5.6%	8.8
9-03-z-04	10.1%	8.7

Monstercode	vocht.	pH gem.
9-03-z-05	11.6%	8.9
9-03-z-06	13.9%	8.6
9-04-z-01	1.3%	8.4
9-04-z-02	4.0%	8.5
9-04-z-03	6.2%	8.6
9-04-z-04	8.4%	8.8
9-04-z-05	9.9%	8.7

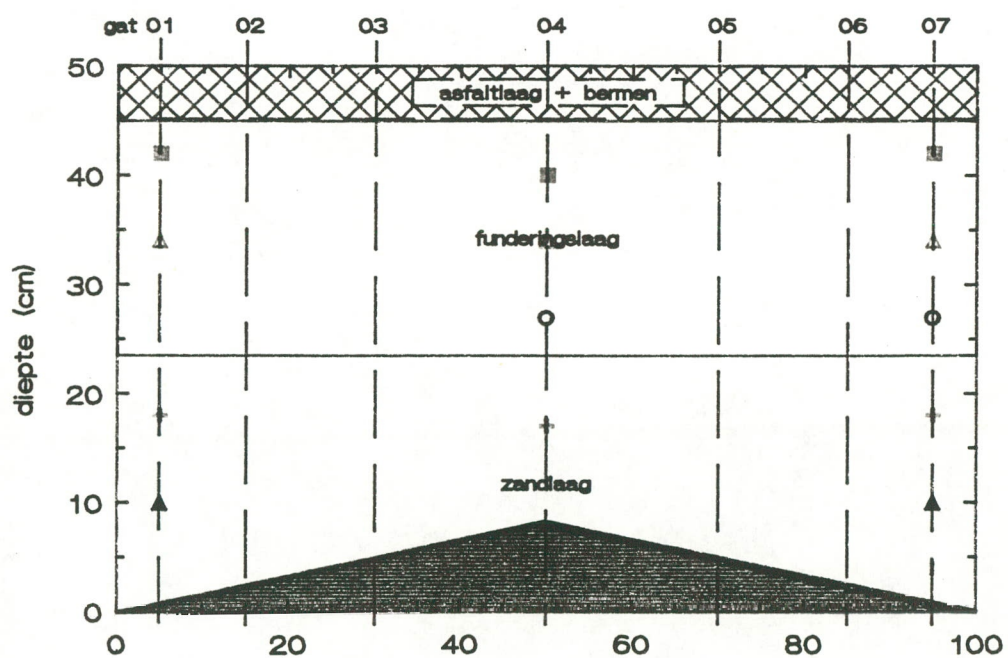
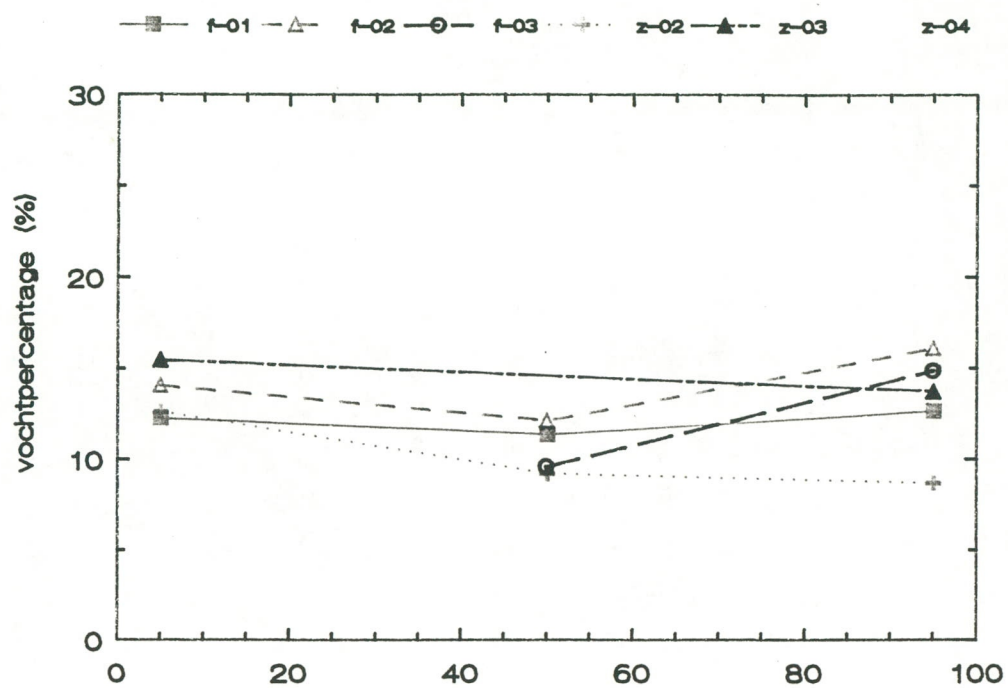
Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Bijlage 3 Vochtprofielen

De hierna volgende vochtprofielen worden achtereenvolgens per blad gegeven:

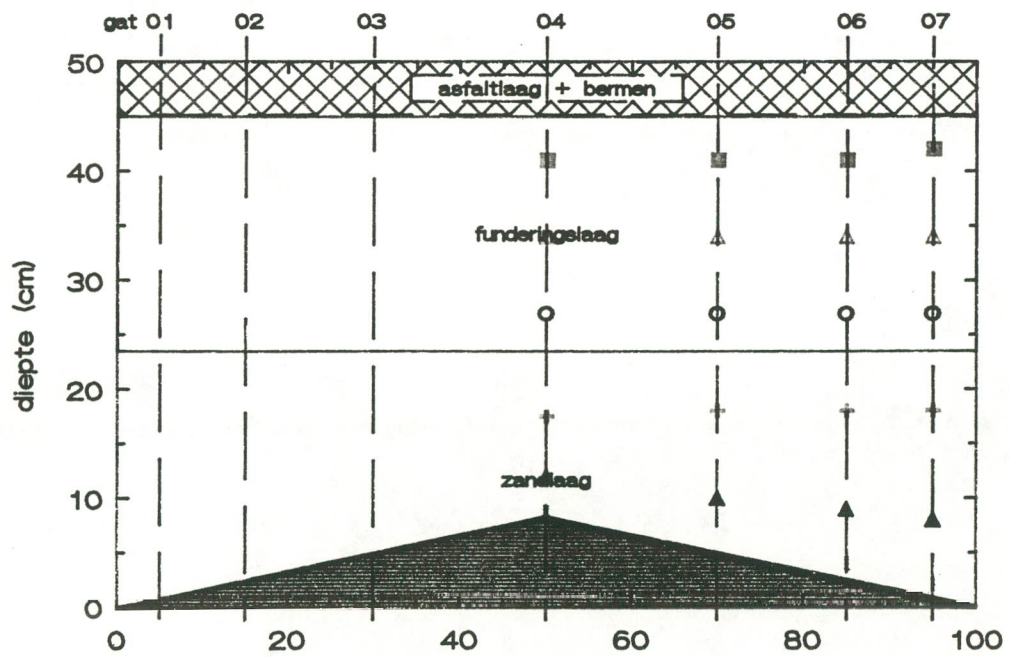
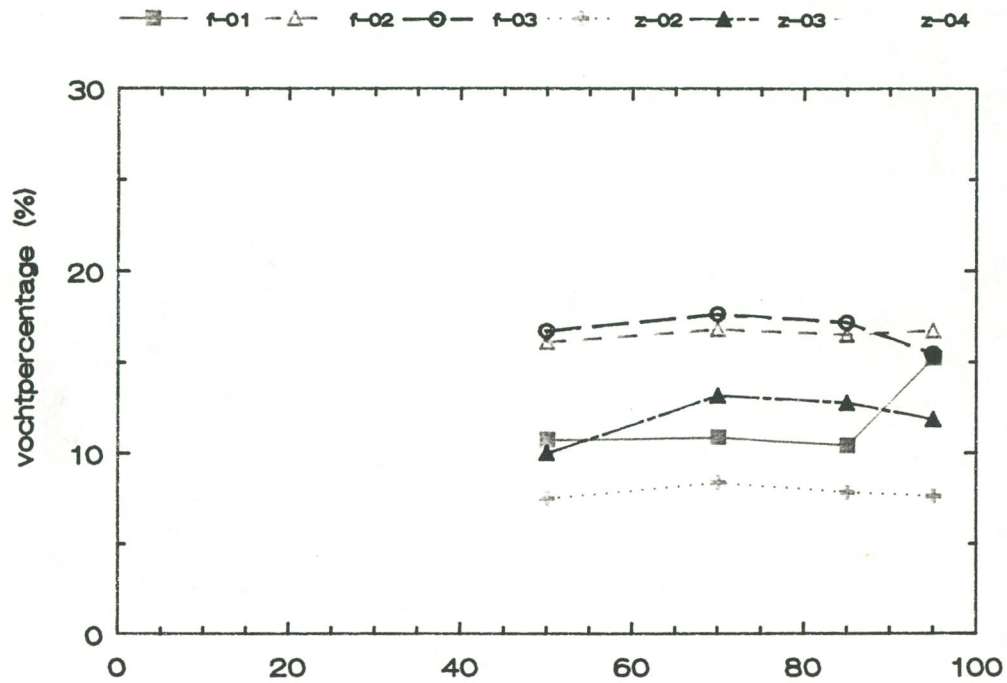
- Dwarsprofiel van proefbak 1: AVI-slak
- Dwarsprofiel van proefbak 2: E-centrale bodemas
- Dwarsprofiel van proefbak 3: Betongranulaat
- Dwarsprofiel van proefbak 4: Lavaliet
- Dwarsprofiel van proefbak 5: Fosforslak (met hoogovenslakkenzand)
- Dwarsprofiel van proefbak 6: Hoogovenslak (met staalslak en hoogovenslakkenzand)
- Dwarsprofiel van proefbak 7: Vliegas/cement-stabilisatie
- Dwarsprofiel van proefbak 8: Zand/cement-stabilisatie
- Dwarsprofiel van proefbak 9: Zand (als referentie)
- Lengteprofiel van proefbak 2: E-centrale bodemas

Bevochtigingsprofielen Bak 1: AVI-slak

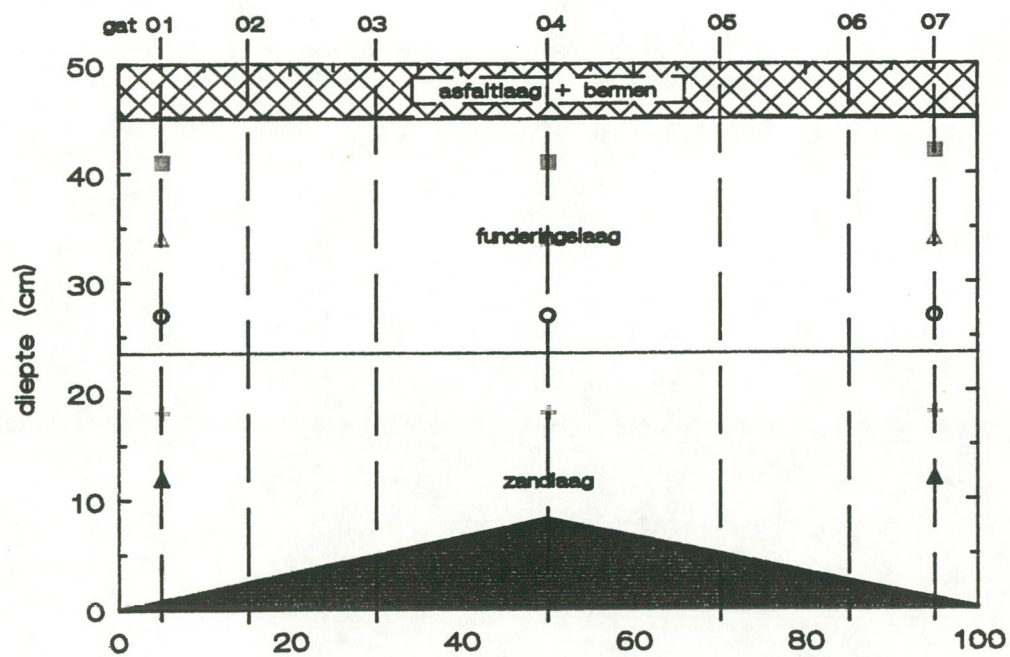
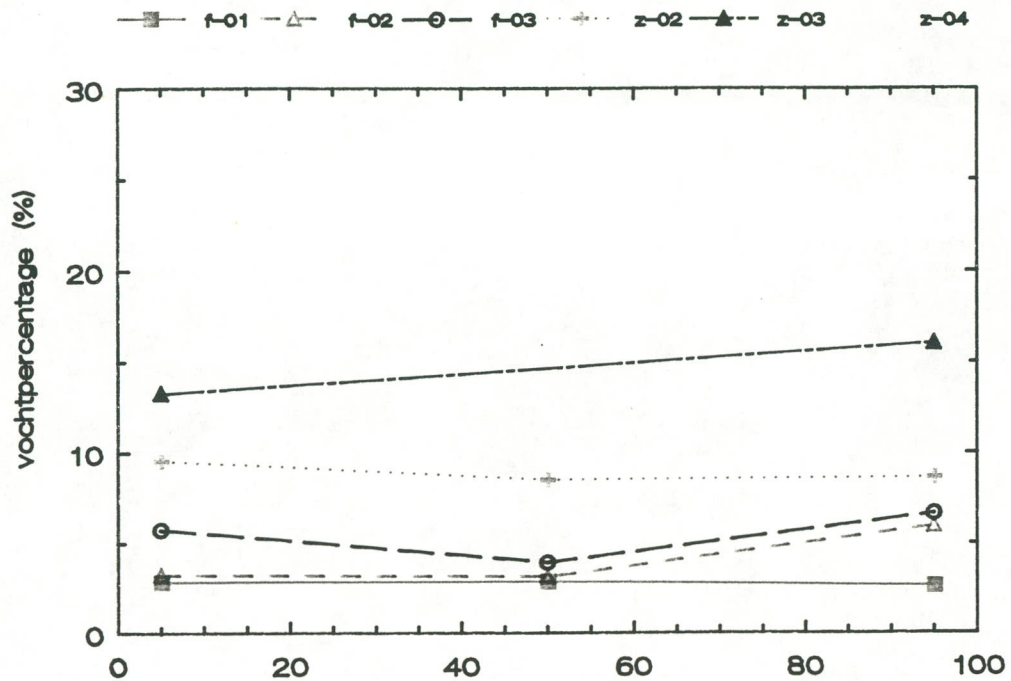


Bevochtigingsprofielen

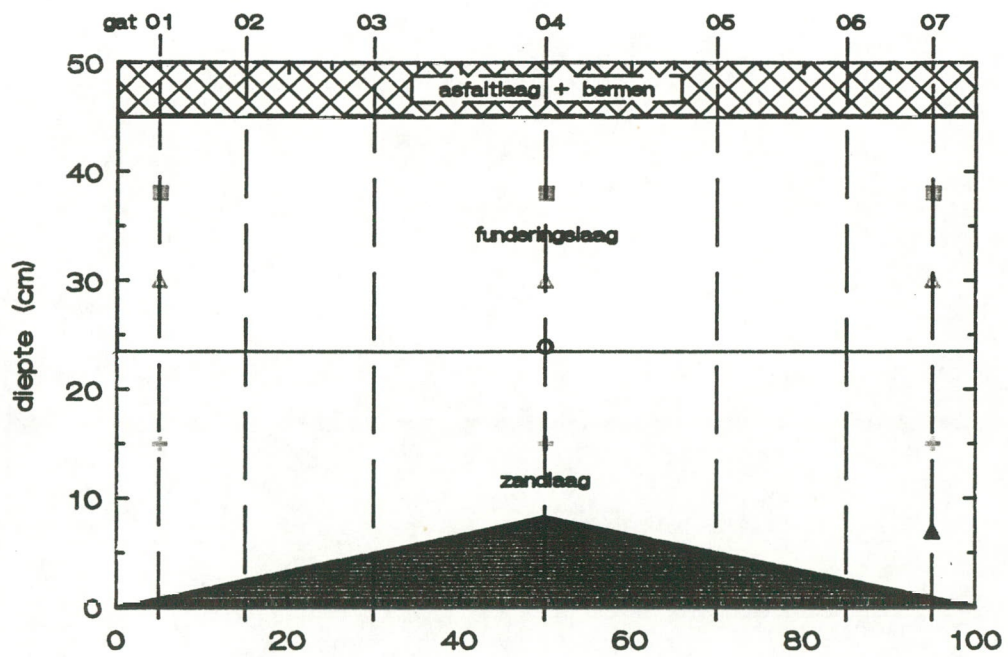
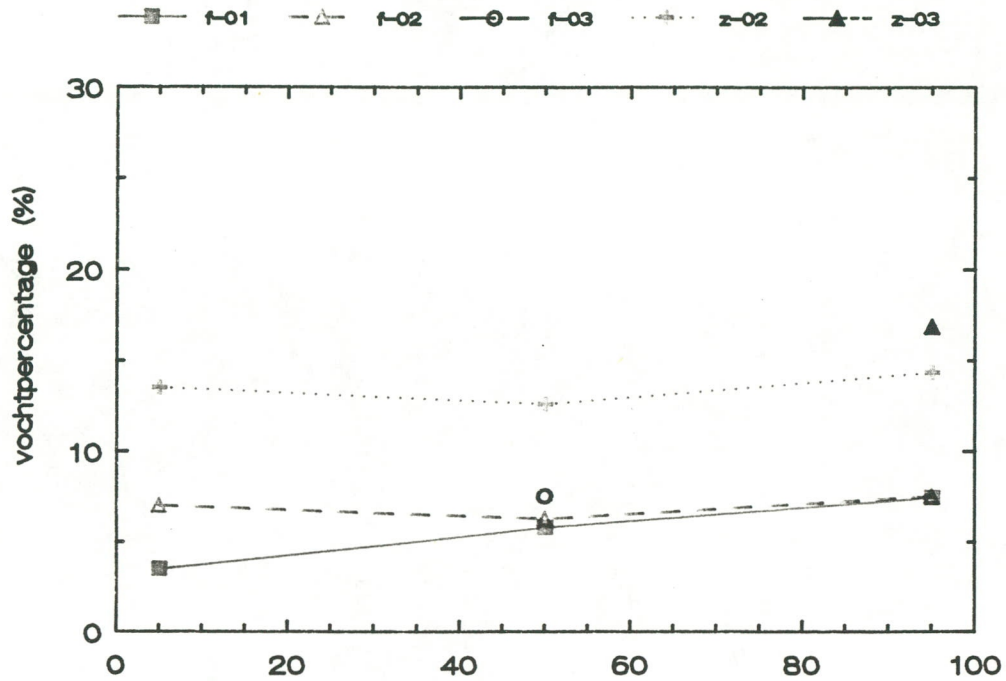
Bak 2: E-centrale Bodemas



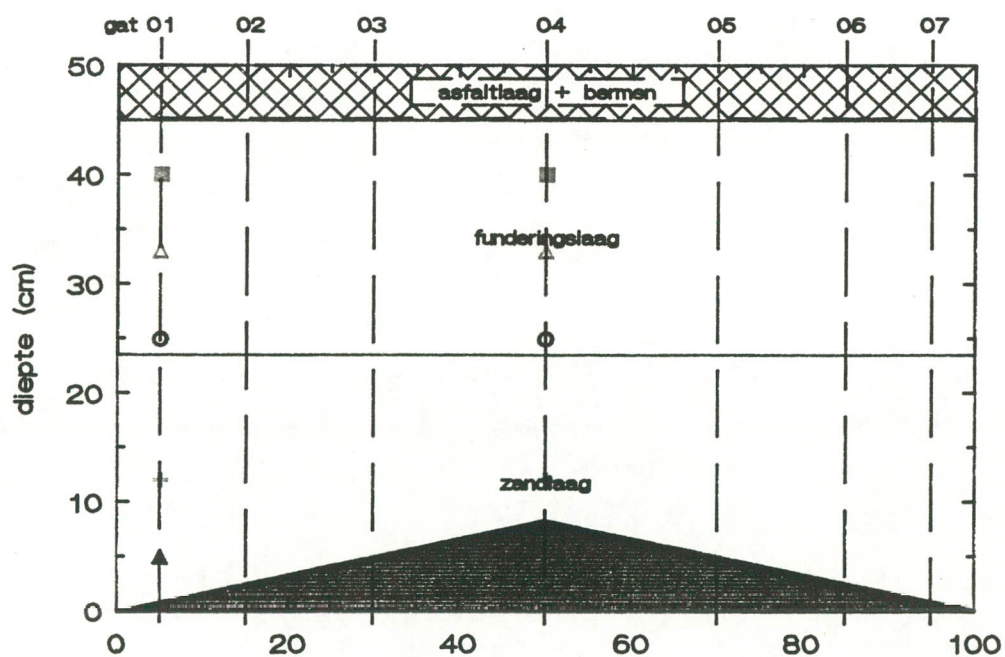
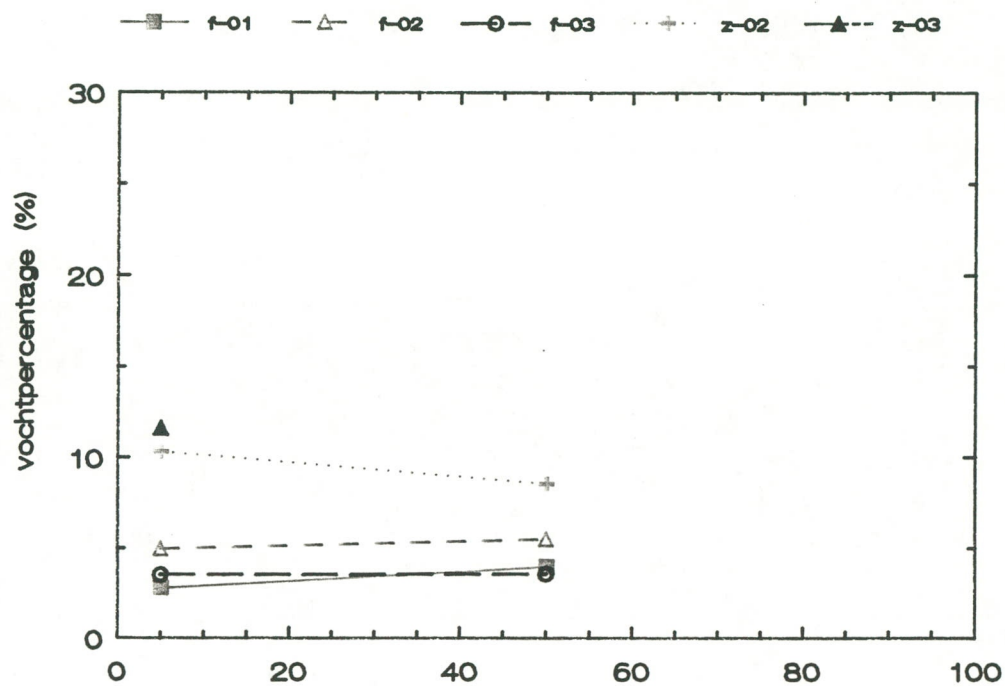
Bevochtigingsprofielen Bak 3: Betongranulaat



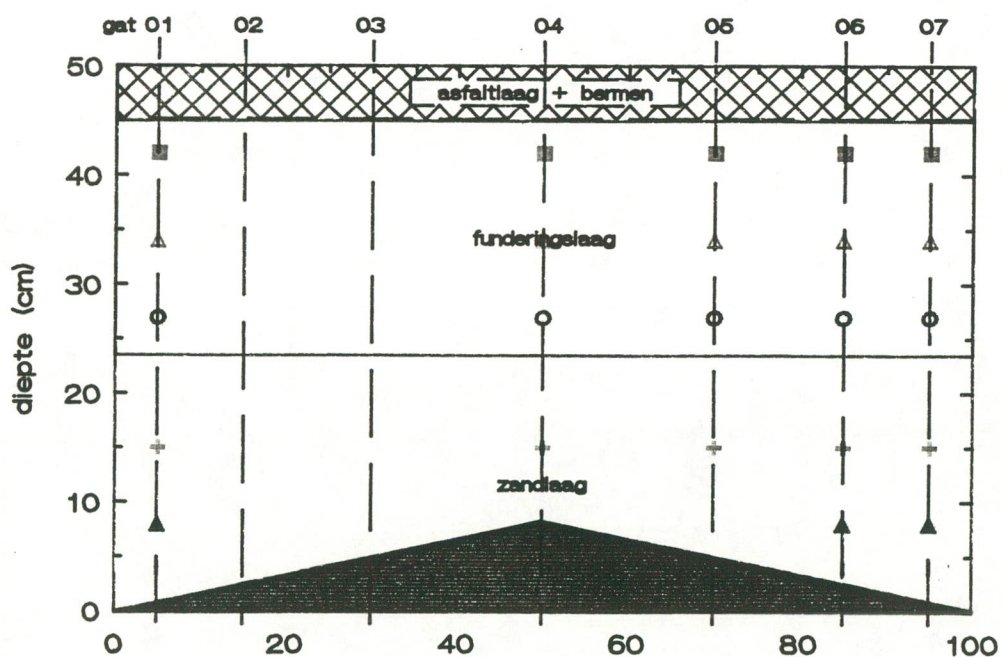
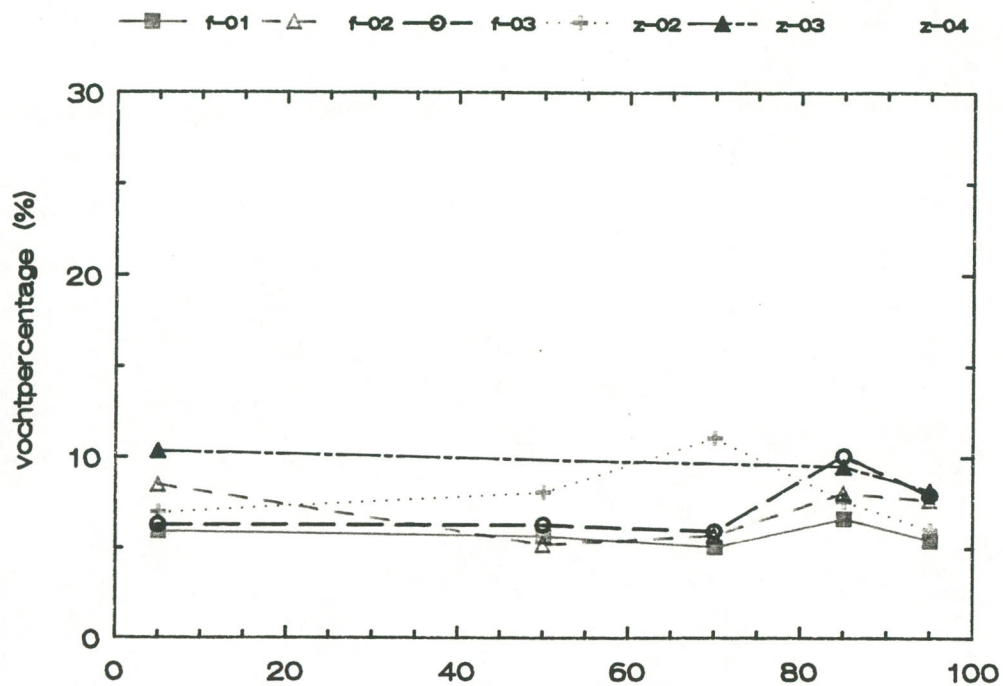
Bevochtigingsprofielen Bak 4: Lavaliet



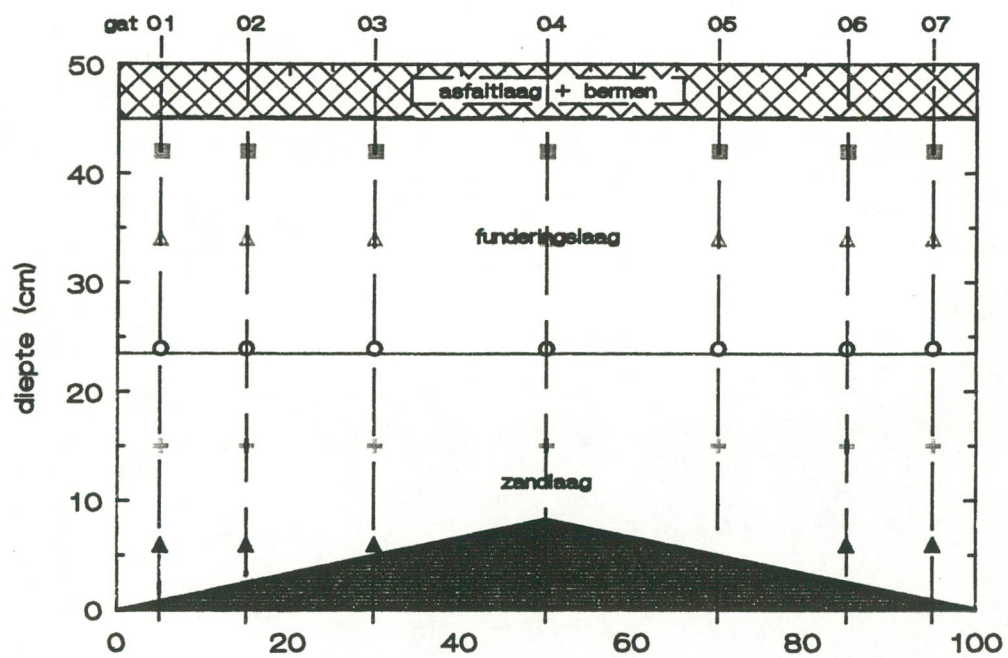
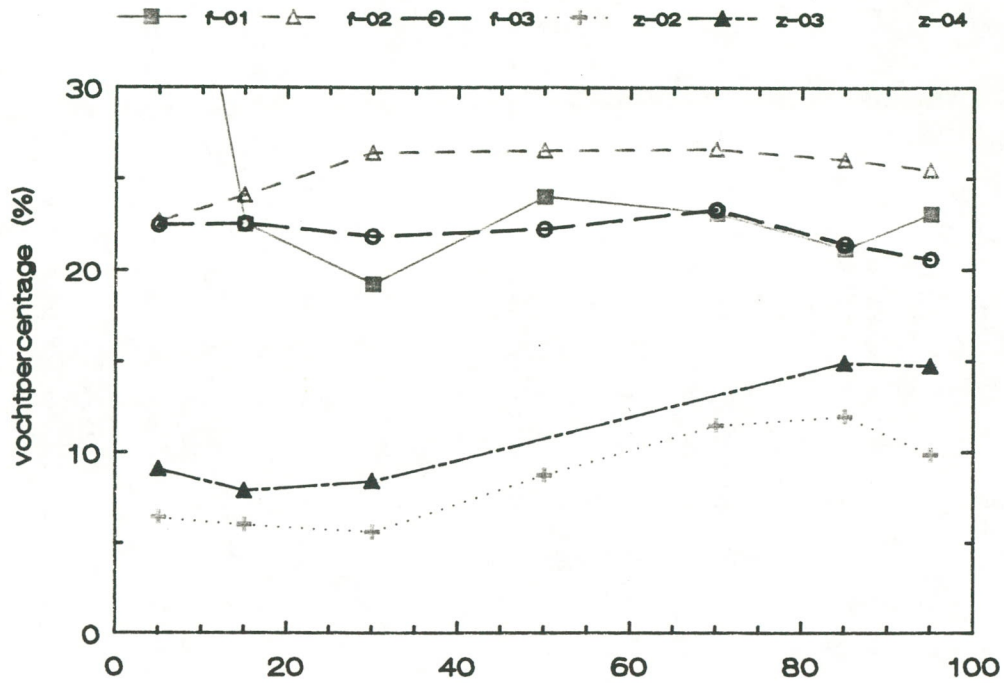
Bevochtigingsprofielen Bak 5: Fosforslak



Bevochtigingsprofielen Bak 6: Hoogoven- + Staalslak

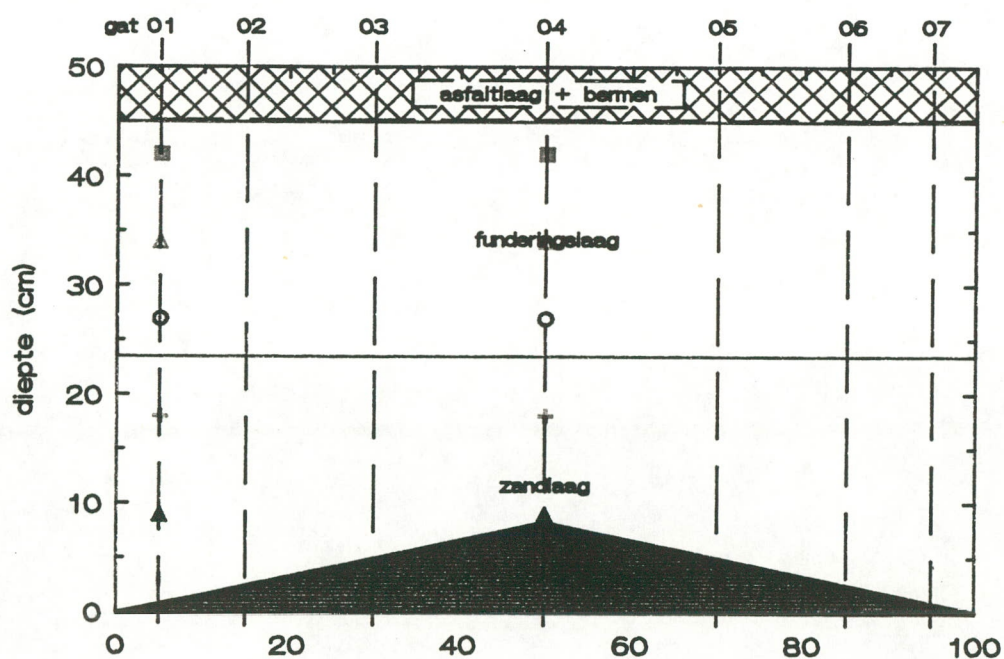
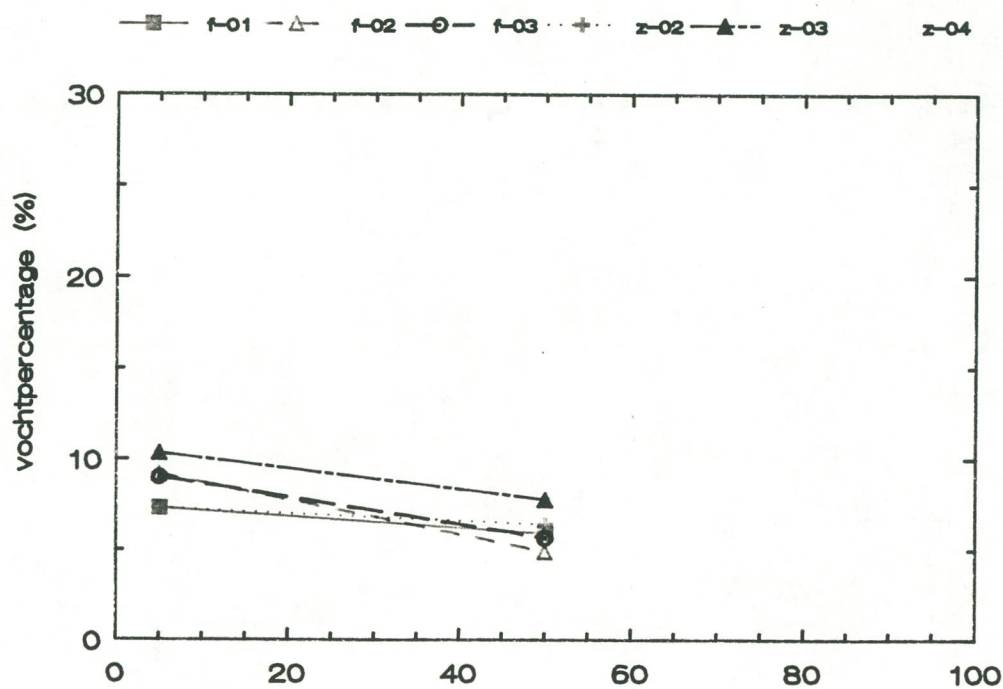


Bevochtigingsprofielen **Bak 7: Vlieg-as-cement-stabilisatie**

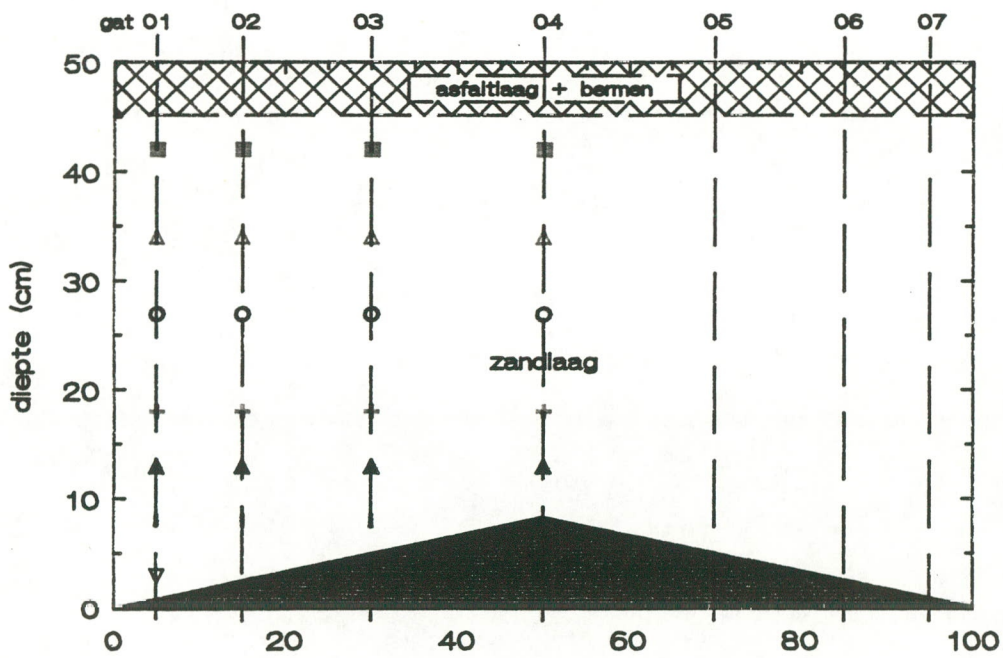
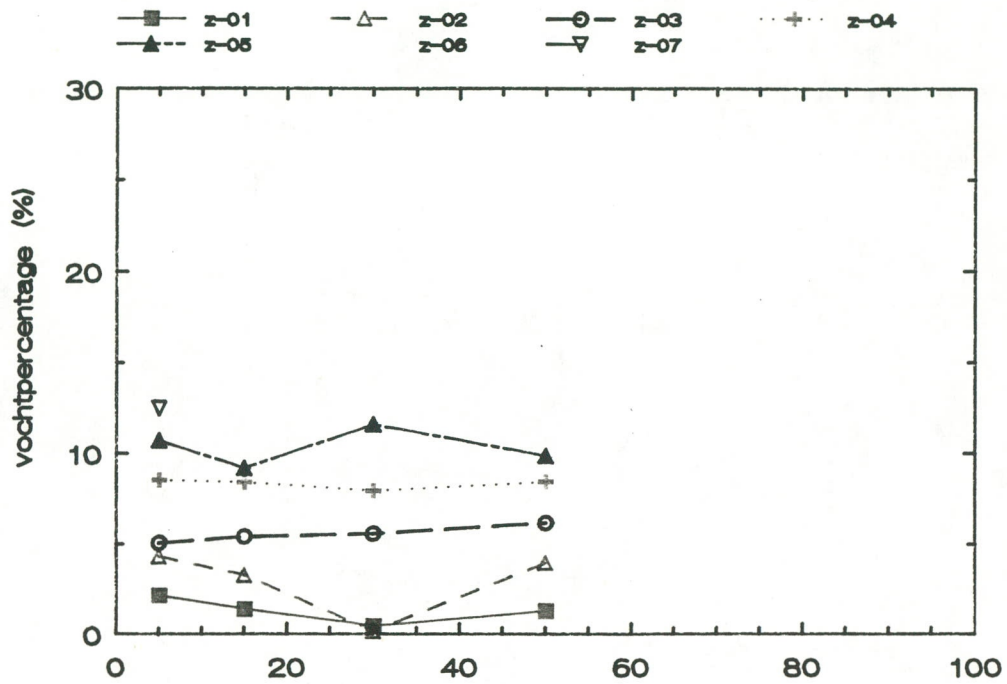


Bevochtigingsprofielen

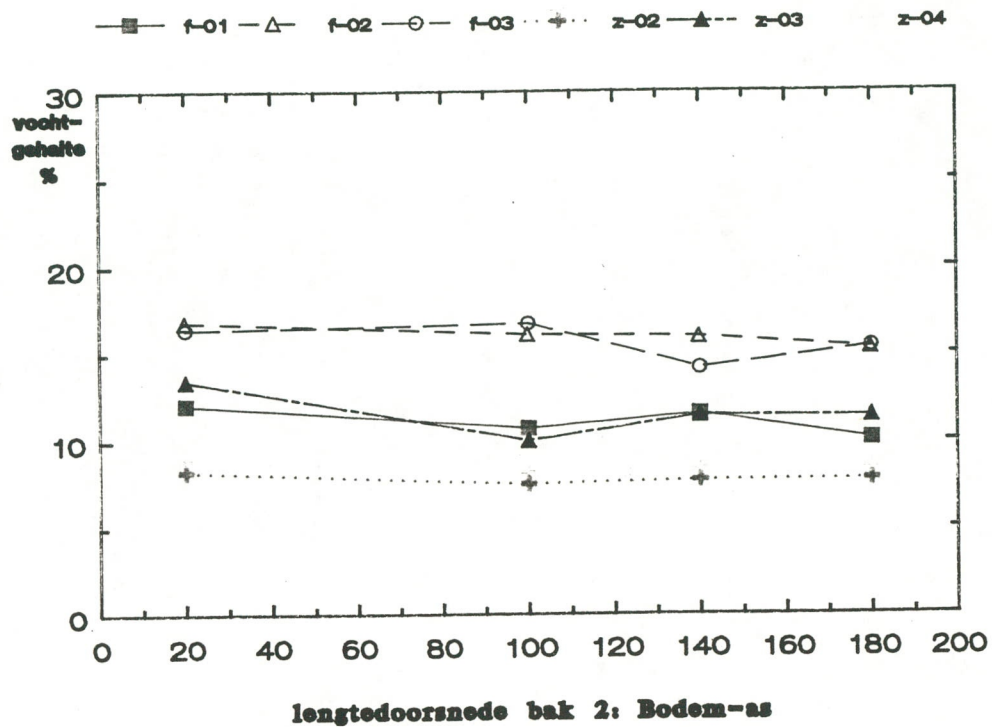
Bak 8: Zand-cement-stabilisatie



Bevochtigingsprofielen Bak 9: Blanco (zand)



Lengtedoorsnede Bevochtigingsprofielen Bak 2: E-centrale Bodemas



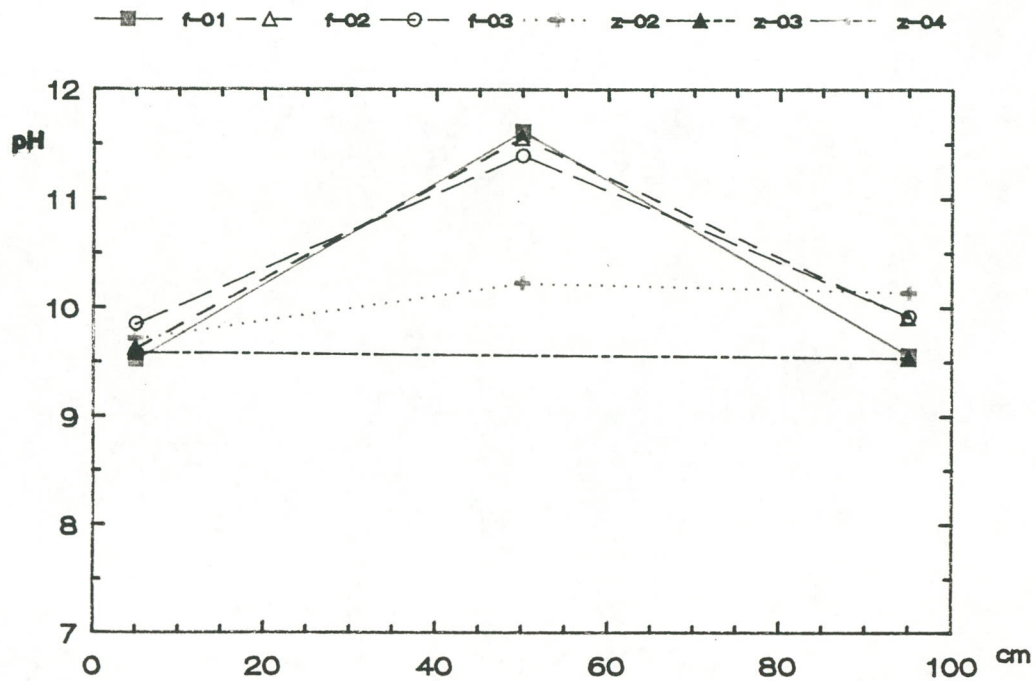
Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Bijlage 4 pH-profielen

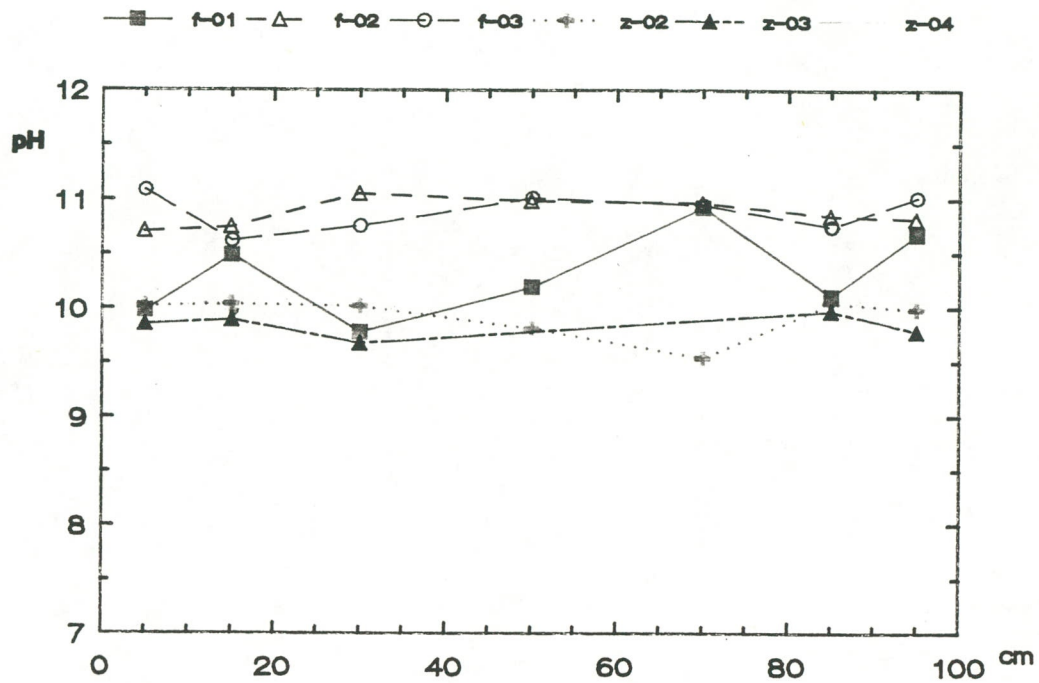
De hierna volgende pH-profielen worden achtereenvolgens per blad gegeven:

- Dwarsprofiel van proefbak 3: Betongranulaat
- Dwarsprofiel van proefbak 7: Vliegas/cement-stabilisatie
- Dwarsprofiel van proefbak 8: Zand/cement-stabilisatie

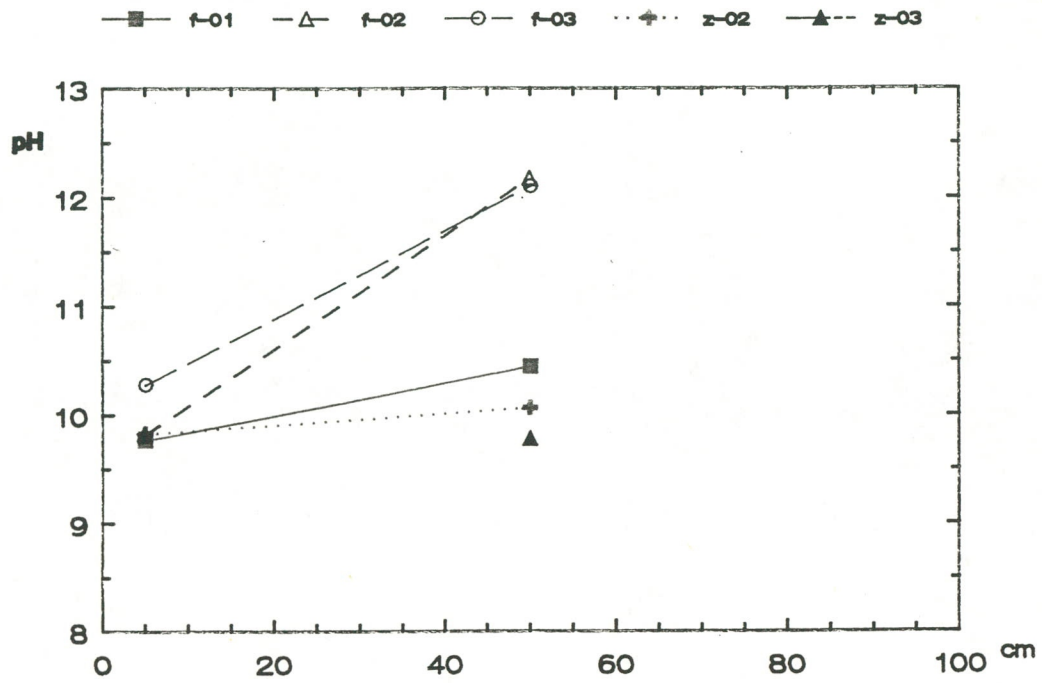
pH-profielen
Bak 3: Betonggranulaat



pH-profielen
Bak 7: Vlegas-oement-stabilisatie



pH-profielen
Bak 8: Zand-cement-stabilisatie



*Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten
naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)*

Bijlage 5 Analysemethoden

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Analyses vaste stoffen (bijlage 6a):

Parameter(s)	Ontsluitingsmethode	Detectiemethode
As	Koningswater (NEN 6465)	ETAAS (NEN 6457)
Sb	Koningswater (NEN 6465)	Hydride AAS (NVN 6433)
Ca	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	Vlam AAS (NEN 6446)
Cr	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	ETAAS (NEN 6444)
Ba	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	ETAAS (NEN 6436)
V	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	ETAAS (NEN 6463)
Cd	HF/Boorzuur (Silbermann-Fischer) (NVN 2507)	ETAAS (NEN 6458)
Cu	HF/Boorzuur (Silbermann-Fischer) (NVN 2507)	ETAAS (NEN 6454)
Mn	HF/Boorzuur (Silbermann-Fischer) (NVN 2507)	Vlam AAS (NEN 6461)
Mo	HF/Boorzuur (Silbermann-Fischer) (NVN 2507)	ETAAS
Zn	HF/Boorzuur (Silbermann-Fischer) (NVN 2507)	Vlam AAS (NEN 6443)
Cl en SO ₄	Pyrohydrolyse bij 1400 °C; absorptie in 0,1 M NaOH/3% H ₂ O ₂	Ionchromatografie (NEN 6588)
Analyse verkleurde zandmonsters (voor zover methoden afwijken)		
Cd	Koningswater (NEN 6465)	ETAAS (NEN 6458)
Cr	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	Vlam AAS (NEN 6448)
Cu	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	Vlam AAS (NEN 6451)
Mn	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	Vlam AAS (NEN 6461)
Mo	Natriumcarbonaat/natriumtetraboraatsmelt (NEN 3106.6)	ETAAS

Analyses extracten (bijlage 6b):

Cr, Mo, Cl en SO₄ volgens detectiemethode in bovenstaande tabel.

*Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten
naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)*

Bijlage 6a Analyseresultaten

baknr.	plaats- code	diepte- code	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Sb (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Cl- (mg/kg)	SO4= (g/100g)
AVI- slak	1	oorspr. conc.	2	248	669	600	7	27.8	1275	2405	1.02
		oorspr. beschikb.	0.48	1	11.5		< 1.0		84	2790	1.35
		cum. emiss. Mamm.	<0.011	<0.046	0.37	< 1.2	0.55	0.31	1.1	1323	0.62
	04	01	6	300	2100	509	7	8.6	1330	3800	1.47
		02	3	265	3500	740	16	13.5	1180	1700	1.39
		03	22	236	620	650	7	12.0	1240	1100	1.14
	05	01									
		02									
		03									
	06	01									
		02									
		03									
	07	01	3	310	2400	660	7	6.9	1350	480	0.36
		02	3	196	430	590	7	7.3	1210	400	0.40
		03	4	350	890	610	12	7.7	1260	240	0.37

baknr.	plaats- code	diepte- code	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Mo (mg/kg)	V (mg/kg)
E-cen- trale bodemas	2	oorspr. conc.	2.1	0.1	2.5	175.5
		oorspr. beschikb.	< 0.2	< 0.1	< 0.2	0.65
		cum. emiss. Mamm.	< 0.15	<0.039	0.24	<0.095
	04	01	3.7	0.2	0.7	167
		02	5.6	0.1	0.9	196
		03	3.1	0.2	1.0	173
	05	01	3.1	0.2	0.7	174
		02	5.4	0.3	0.9	199
		03	< 2	0.2	0.9	207
	06	01	2.3	0.2	0.9	177
		02	2.9	0.1	1.2	201
		03	5.0	0.1	1.1	206
	07	01	2.8	0.3	0.9	205
		02	3.4	0.2	1.4	206
		03	3.0	< 0.05	1.0	201

baknr.	plaats- code	diepte- code	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ca (g/100g)
Beton- granu- laat	3 oorspr. conc.		7.4	0.2	2.5	64	7.9
	oorspr. beschikb.		0.8	< 0.02	< 1	11	5.0
	cum. emiss. Mamm.		0.12	<0.019	<0.086	0.34	0.11
	04	01	4.3	0.4	2.0	60	7.8
		02	5.0	0.3	1.8	71	7.1
		03	5.4	0.4	1.9	69	7.4
	05	01					5.6
		02					7.2
	06	01					6.8
		02					6.7
	07	01	10.9	0.2	1.8	54	7.1
		02	5.7	0.4	2.1	91	6.7
		03	4.8	0.2	1.5	75	4.9

baknr.	plaats- code	diepte- code	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mo (mg/kg)	V (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cl- (mg/kg)	SO4= (g/100g)
Vliegas/ cement- stabil.	7 oorspr. conc.		53	150	15.7	329	164	< 200	5.08
	oorspr. beschikb.		12	18	7.7	45	12	< 73	1.05
	cum. emiss. Mamm.		0.94	3.6	5.0	1.8	0.26	110	0.14
	04	01	38	142	11.2	300	158	82	0.95
		02	51	143	9.8	315	158	90	0.81
		03	40	138	10.0	298	153	41	1.04
	05	01	40	151	9.8	280	155	52	0.92
		02	38	157	13.1	302	141	69	1.10
		03	46	132	8.5	289	123	48	0.96
	06	01	39	135	8.2	262	161	54	0.59
		02	45	143	11.1	333	147	61	0.97
	07	01	50	134	9.0	310	286	76	0.78
		02	44	144	8.8	315	167	46	0.85
		03	49	127	8.0	298	129	55	0.97

baknr.	plaats- code	diepte- code	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Sb (mg/kg)	Cl- (mg/kg)	SO4= (g/100g)
1	oorspr. conc.		2	70	< 2	0.3	< 500	0.01
	oorspr. beschikb.		< 1		< 1		182	0.01
	04	01	22	90	< 0.4	0.6	106	0.12
		02	9	55	0.7	0.2	107	0.07
	07	01	10	69	< 0.4	0.4	78	0.06
		02	11	60	< 0.4	0.2	84	0.05
		03	9	62	< 0.4	0.3	107	0.04
		04	9	47	0.4	0.3	148	0.05

baknr.	plaats- code	diepte- code	As (ppm)	Cr (ppm)	Mo (ppm)
7	oorspr. conc.		4.1	17	< 1
	oorspr. beschikb.		< 0.4	< 1	< 1
	04	02	4.5	11	< 0.4
Vlieg- gas/ cement- stabil.	07	02	4.4	14	< 0.4
		03	3.9	13	< 0.4

Monsters uit verkleurde zandlaag van bak 2:

monster- nr.	Cr (ppm)	Mo (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Sb (ppm)	V (ppm)
oorspr. conc.	17	< 1	4.1	0.01	2	70	0.28	9.8
monster 1	36	0.56	3.6	0.03	154	53	0.10	9.4
monster 2	40	1.90	4.6	0.04	159	58	0.09	9.5

*Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten
naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)*

Bijlage 6b Resultaten beschikbaarheidsproeven

Bijlage 6b: RESULTATEN BESCHIKBAARHEIDSPROEVEN

Monster- code	Gehaltes in produkt (mg/kg)				Gemeten concentraties in extracten (ug/l):				Berekende beschikbaarheden (mg/kg)				Beschikbaarheid in % van in d.s. aanw. hoeveelh.			
	Cr	Mo	Cl	SO4	Cr	Mo	Cl	SO4	Cr	Mo	Cl	SO4	Cr	Mo	Cl	SO4
oorspr.	150.3	15.66	< 200	50844					18	7.7	< 73	10500	12%	49%	n.b.	21%
7-04-f-01	142	11.2	82	9500	73	57	1100	68000	10.0	7.8	150	9279	7%	69%	183%	98%
7-04-f-02	143	9.8	90	8100	96	40	1120	81000	13.6	5.7	159	11479	10%	58%	176%	142%
7-04-f-03	138	10.0	41	10400	92	40	1160	74000	12.3	5.4	155	9898	9%	54%	378%	95%
7-05-f-01	151	9.8	52	9200	84	26			11.4	3.5			8%	36%		
7-05-f-02	157	13.1	69	11000	115	80			16.3	11.4			10%	87%		
7-05-f-03	132	8.5	48	9600	104	34			14.1	4.6			11%	54%		
7-06-f-01	135	8.2	54	5900	58	30			7.6	3.9			6%	48%		
7-06-f-02	143	11.1	61	9700	85	38			11.9	5.3			8%	48%		
7-06-f-03					64	44			8.4	5.8						
7-07-f-01	134	9.0	76	7800	66	37	1400	59000	8.9	5.0	188	7918	7%	55%	247%	102%
7-07-f-02	144	8.8	46	8500	78	44	960	72000	10.8	6.1	133	9940	7%	69%	288%	117%
7-07-f-03	127	8.0	55	9700	87	26	1200	85000	11.3	3.4	156	11085	9%	42%	285%	114%

Herhaling proeven beschikbaarheid van chloride:

7-04-f-03	41	350	46	113%
7-07-f-02	46	420	58	126%

n.b. = niet te berekenen

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Bijlage 7 Resultaten lab- en grote-schaaluitloogproeven

Bijlage 7: Cumulatieve emissies in mg/kg (L/S = 5) gemeten bij laboratoriumproeven vergeleken met semi-praktijkresultaten

Bak Omschrijving nr. materiaal		Ca	S04	As	Cr	Cu	Mo	Zn	pH
1 AVI-slak	lab.kolomtest	3560	2787	0.02	0.09	4.29	0.63	0.35	11.7
	gr.kolom OP	2286	4645	0.03	0.05	3.50	0.52	0.25	9.6
	gr.kolom NR	1802	3940	0.04	0.26	5.35	0.42	0.25	9.9
	semi-prakt. 1)	1461	3493	< 0.03	< 0.03	0.24	0.27	0.33	8.1
2 Bodemas E-centrale	lab.kolomtest	104	96	0.06	0.01	0.03	0.04	1.36	8.3
	semi-prakt. 1)	444	651	0.05	<0.007	< 0.08	0.19	n.b.	8.4
3 Betongranulaat	lab.kolomtest	3115	68	0.02	0.05	0.05	0.05	0.25	12.4
	semi-prakt. 1)	788	173	0.10	0.05	n.b.	< 0.08	0.19	11.6
4 Lavaliet	lab.kolomtest	22	25	0.02	0.01	0.02	0.07	0.02	8.2
	semi-prakt. 1)	327	539	0.06	<0.008	n.b.	0.05	< 0.10	8.4
5 Fosforslak	lab.kolomtest	684	708	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	9.9
	gr.kolom OP	822	1903	0.02		0.25		0.25	9.5
	gr.kolom NR	997	1938	0.02		0.25		0.25	9.0
	semi-prakt. 1)	1023	2725	0.15	0.01	n.b.	< 0.07	n.b.	10.1
6 Hoogoven- en staalslak	lab.kolomtest	1110	1413	0.01	0.02	0.05	0.07	0.09	12.1
	semi-prakt. 1)	946	1158	< 0.14	< 0.02	n.b.	< 0.07	n.b.	11.6
7 Vliegascement stabilisatie	semi-prakt. 2)	83	107	0.02	0.58	< 0.01	0.81	< 0.01	11.2
	lab.kolomtest	53	275	0.09	1.76	0.02	1.40	0.05	12.3
	gr.kolom NR	227	427	0.21	1.99	0.25	5.56	0.25	12.6
	semi-prakt. 1)	310	590	0.88	1.87	< 0.29	3.81	0.07	11.7
8 Zand-cement stabilisatie	semi-prakt. 2)	94	6	< 0.01	< 0.03	< 0.01	< 0.01	< 0.02	11.2
	lab.kolomtest	3204	45	0.01	0.26	0.03	0.05	0.05	12.5
	gr.kolom NR	3817	15	0.02	0.05	0.24		0.25	12.9
	semi-prakt. 1)	>1546	> 229	(0.13)	> 0.08	n.b.	(0.05)	(0.14)	11.7

a) Emissiewaarde gemeten bij semi-praktijkonderzoek

b) Emissiewaarde uit lab.standtest omgerekend naar semi-praktijkonderzoek bij L/S = 5

n.b.: niet beschikbaar

Getallen tussen haakjes zijn geschatte waarden (L/S = 5 niet helemaal bereikt)

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

Bijlage 8 Cumulatieve emissies Mammoet semi-praktijk onderzoek

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.05	36	18	54	< 0.1	54
01/05/87	0.10	72	45	127	< 0.2	118
01/06/87	0.34	208	100	254	< 0.4	353
01/07/87	0.56	317	145	317	< 0.6	652
01/08/87	0.80	453	172	371	< 0.9	1141
01/09/87	0.94	525	190	407	< 1.0	1340
01/10/87	1.16	607	199	471	< 1.2	1575
01/11/87	1.49	706	217	534	< 1.5	1874
01/12/87	1.87	797	235	570	< 1.9	2064
01/01/88	2.13	860	244	598	< 2.2	2200
01/02/88	2.70	978	263	634	< 2.8	2417
01/03/88	3.01	1041	272	652	< 3.1	2553
01/04/88	3.47	1150	290	715	< 3.5	2780
01/05/88	3.48	1159	290	715	< 3.5	2789
01/06/88	3.51	1159	290	724	< 3.6	2807
01/07/88	3.54	1168	290	724	< 3.6	2825
01/08/88	4.00	1258	299	797	< 4.1	3060
01/09/88	4.18	1304	308	797	< 4.2	3142
01/10/88	4.39	1349	317	815	< 4.4	3223
01/11/88	4.56	1385	326	833	< 4.6	3305
01/12/88	4.73	1412	335	851	< 4.8	3377
01/01/89	5.13	1485	362	905	< 5.2	3549
01/02/89	5.23	1503	362	914	< 5.3	3594
01/03/89	5.32	1521	371	923	< 5.4	3631
01/04/89	5.44	1603	398	951	< 5.8	3775
06/04/89	5.62	1669	419	995	< 6.1	3938
04/05/89	5.70	1703	429	1014	< 6.2	4010
01/06/89	5.71	1707	430	1015	< 6.2	4013
04/07/89	5.92	1823	465	1060	< 6.6	4191
24/07/89	5.92	1823	465	1060	< 6.6	4191
05/09/89	6.17	1948	503	1113	< 7.0	4396
10/10/89	6.36	2042	531	1153	< 7.3	4550
06/11/89	6.41	2086	544	1161	< 7.4	4589
04/12/89	6.42	2092	546	1162	< 7.4	4594
01/01/90	6.65	2286	603	1199	< 7.9	4766
05/02/90	6.90	2393	610	1215	< 8.3	4982
27/02/90	7.06	2462	613	1225	< 8.6	5123
06/04/90	7.28	2563	619	1244	< 8.9	5338
04/05/90	7.30	2570	620	1246	< 8.9	5355
01/06/90	7.36	2598	622	1251	< 9.0	5414
06/07/90	7.78	2806	638	1304	< 9.6	5887
03/08/90	7.81	2817	639	1306	< 9.7	5911
07/09/90	7.92	2865	642	1313	< 9.9	6009
05/10/90	8.08	2934	645	1323	< 10.1	6150

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Barium mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Koper mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Antimoon mg/kg	Vanadium mg/kg	Zink mg/kg
01/04/87											
16/04/87	0.05	< 0.000	0.02	< 0.0000	< 0.000	0.006	0.20	0.00	0.000	< 0.001	0.002
01/05/87	0.10	< 0.001	0.04	< 0.0001	< 0.001	0.016	0.38	0.01	0.000	< 0.002	0.024
01/06/87	0.34	< 0.001	0.08	< 0.0003	< 0.002	0.037	0.57	0.03	0.001	< 0.007	0.030
01/07/87	0.56	< 0.002	0.11	< 0.0005	< 0.003	0.058	0.71	0.05	0.002	< 0.013	0.033
01/08/87	0.80	< 0.002	0.15	< 0.0005	< 0.003	0.076	0.80	0.08	0.004	< 0.021	0.036
01/09/87	0.94	< 0.002	0.17	< 0.0006	< 0.004	0.085	0.81	0.09	0.006	< 0.025	0.037
01/10/87	1.16	< 0.003	0.19	< 0.0006	< 0.006	0.101	0.81	0.11	0.010	< 0.027	0.043
01/11/87	1.49	< 0.003	0.22	< 0.0007	< 0.008	0.120	0.82	0.13	0.014	< 0.029	0.059
01/12/87	1.87	< 0.007	0.24	< 0.0007	< 0.011	0.136	0.82	0.15	0.018	< 0.037	0.155
01/01/88	2.13	< 0.009	0.25	< 0.0008	< 0.013	0.148	0.82	0.16	0.022	< 0.043	0.215
01/02/88	2.70	< 0.014	0.28	< 0.0013	< 0.017	0.177	0.83	0.18	0.030	< 0.052	0.268
01/03/88	3.01	< 0.016	0.31	< 0.0015	< 0.019	0.185	0.83	0.19	0.034	< 0.057	0.289
01/04/88	3.47	< 0.019	0.36	< 0.0020	< 0.021	0.200	0.84	0.21	0.047	< 0.062	0.300
01/05/88	3.48	< 0.020	0.36	< 0.0020	< 0.021	0.201	0.84	0.21	0.048	< 0.062	0.301
01/06/88	3.51	< 0.020	0.36	< 0.0020	< 0.021	0.202	0.84	0.21	0.049	< 0.062	0.302
01/07/88	3.54	< 0.020	0.36	< 0.0020	< 0.021	0.203	0.85	0.21	0.050	< 0.063	0.302
01/08/88	4.00	< 0.024	0.40	< 0.0024	< 0.023	0.216	0.86	0.23	0.072	< 0.068	0.315
01/09/88	4.18	< 0.026	0.42	< 0.0026	< 0.024	0.220	0.87	0.24	0.080	< 0.071	0.318
01/10/88	4.39	< 0.027	0.45	< 0.0028	< 0.025	0.226	0.87	0.25	0.091	< 0.074	0.322
01/11/88	4.56	< 0.027	0.47	< 0.0029	< 0.025	0.231	0.88	0.26	0.103	< 0.077	0.325
01/12/88	4.73	< 0.028	0.48	< 0.0031	< 0.026	0.235	0.88	0.26	0.114	< 0.079	0.329
01/01/89	5.13	< 0.030	0.51	< 0.0035	< 0.027	0.247	0.88	0.28	0.142	< 0.085	0.336
01/02/89	5.23	< 0.030	0.52	< 0.0036	< 0.028	0.250	0.88	0.28	0.149	< 0.087	0.338
01/03/89	5.32	< 0.031	0.53	< 0.0036	< 0.028	0.253	0.88	0.29	0.153	< 0.089	0.339
01/04/89	5.44	< 0.037	0.61	< 0.0037	< 0.029	0.265	< 0.89	0.30	0.167	< 0.099	0.343
06/04/89	5.62	< 0.038	0.64	< 0.0040	< 0.031	0.276	< 0.89	0.32	0.193	< 0.104	0.350
04/05/89	5.70	< 0.039	0.65	< 0.0042	< 0.031	0.281	< 0.89	0.32	0.203	< 0.107	0.354
01/06/89	5.71	< 0.039	0.65	< 0.0042	< 0.031	0.281	< 0.89	0.32	0.203	< 0.107	0.354
04/07/89	5.92	< 0.040	0.70	< 0.0045	< 0.033	0.295	< 0.90	0.34	0.225	< 0.115	0.362
24/07/89	5.92	< 0.040	0.70	< 0.0045	< 0.033	0.295	< 0.90	0.34	0.225	< 0.115	0.362
05/09/89	6.17	< 0.042	0.75	< 0.0048	< 0.035	0.310	< 0.91	0.37	0.251	< 0.124	0.372
10/10/89	6.36	< 0.044	0.79	< 0.0050	< 0.037	0.322	< 0.91	0.38	0.270	< 0.131	0.379
06/11/89	6.41	< 0.044	0.81	< 0.0051	< 0.038	0.326	< 0.91	0.39	0.272	< 0.133	0.381
04/12/89	6.42	< 0.044	0.81	< 0.0051	< 0.038	0.326	< 0.91	0.39	0.272	< 0.134	0.381
01/01/90	6.65	< 0.045	0.88	< 0.0052	< 0.040	0.343	< 0.92	0.42	0.279	< 0.146	0.391
05/02/90	6.90	< 0.052	0.92	< 0.0053	< 0.041	0.348	< 0.97	0.44	0.284	< 0.153	0.401
27/02/90	7.06	< 0.056	0.95	< 0.0053	< 0.042	0.351	< 1.00	0.46	0.287	< 0.157	0.407
06/04/90	7.28	< 0.062	0.99	< 0.0060	< 0.043	0.356	< 1.05	0.48	0.292	< 0.164	0.434
04/05/90	7.30	< 0.062	0.99	< 0.0062	< 0.043	0.356	< 1.05	0.48	0.292	< 0.164	0.441
01/06/90	7.36	< 0.064	1.00	< 0.0065	< 0.043	0.357	< 1.06	0.48	0.293	< 0.166	0.450
06/07/90	7.78	< 0.072	1.06	< 0.0106	< 0.045	0.369	< 1.12	0.52	0.302	< 0.182	0.586
03/08/90	7.81	< 0.072	1.06	< 0.0106	< 0.045	0.369	< 1.13	0.52	0.302	< 0.182	0.587
07/09/90	7.92	< 0.075	1.08	< 0.0107	< 0.045	0.371	< 1.15	0.53	0.305	< 0.185	0.591
05/10/90	8.08	< 0.080	1.10	< 0.0107	< 0.046	0.374	< 1.18	0.55	0.308	< 0.190	0.598

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.31	125	17	18	2.0	284
01/05/87	0.36	136	18	21	< 2.0	307
01/06/87	0.67	201	30	36	< 2.3	442
01/07/87	1.03	237	37	43	< 2.6	497
01/08/87	1.36	267	40	44	< 2.8	527
01/09/87	1.65	285	42	45	< 2.9	547
01/10/87	1.96	300	44	46	< 3.1	564
01/11/87	2.42	318	49	48	< 3.3	577
01/12/87	2.83	342	50	51	< 3.5	590
01/01/88	3.02	350	51	52	< 3.5	596
01/02/88	3.58	369	65	56	< 3.8	611
01/03/88	3.96	385	67	57	< 4.0	620
01/04/88	4.57	418	70	59	< 4.3	638
01/05/88	4.60	420	70	59	< 4.3	639
01/06/88	4.73	428	71	59	< 4.3	643
01/07/88	4.78	431	71	59	< 4.4	644
01/08/88	5.49	473	73	62	< 4.7	665
01/09/88	5.77	488	74	62	< 4.9	673
01/10/88	6.13	504	80	65	< 5.2	687
01/11/88	6.30	512	84	66	< 5.4	693
01/12/88	6.47	519	87	67	< 5.5	700
01/01/89	6.62	525	91	68	< 5.7	706
01/02/89	6.77	531	94	69	< 5.8	711
01/03/89	6.89	537	95	70	< 6.0	715
01/04/89	7.44	558	99	72	< 6.5	727
06/04/89	7.28	574	104	74	< 7	742
04/05/89	7.43	585	109	77	< 7	753
01/06/89	7.43	586	109	77	< 7	754
04/07/89	7.77	613	114	79	< 8	770
24/07/89	7.78	613	114	79	< 8	770
05/09/89	8.18	645	123	83	< 9	794
10/10/89	8.48	669	129	86	< 9	811
06/11/89	8.78	693	133	88	< 10	825
04/12/89	8.83	696	134	88	< 10	827
01/01/90	8.84	698	134	88	< 10	828
05/02/90	9.17	698	134	95	< 10	846
27/02/90	9.51	698	134	102	< 10	864
24/03/90	9.51	698	134	102	< 10	864
06/04/90	9.51	698	134	102	< 10	864
04/05/90	10.14	746	138	114	< 10	895
01/06/90	10.14	746	138	114	< 10	895
06/07/90	10.79	746	138	127	< 11	932
03/08/90	10.84	746	138	128	< 11	935
07/09/90	11.19	746	138	135	< 11	955
05/10/90	11.50	746	138	142	< 11	971

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Barium mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Koper mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Vanadium mg/kg
01/04/87									
16/04/87	0.31	0.00	< 0.01	< 0.000	< 0.002	0.005	0.21	0.01	< 0.006
01/05/87	0.36	0.00	< 0.01	< 0.000	< 0.002	0.006	0.32	0.01	< 0.007
01/06/87	0.67	0.00	0.02	< 0.000	< 0.002	0.008	0.71	0.03	< 0.008
01/07/87	1.03	0.01	0.08	< 0.001	< 0.003	0.008	0.77	0.08	< 0.009
01/08/87	1.36	0.01	0.11	< 0.001	< 0.003	0.012	0.79	0.09	< 0.011
01/09/87	1.65	0.02	0.14	< 0.001	< 0.003	0.015	< 0.81	0.11	< 0.012
01/10/87	1.96	0.02	0.16	< 0.001	< 0.004	< 0.018	< 0.81	0.11	< 0.014
01/11/87	2.42	0.02	0.20	< 0.001	< 0.004	< 0.022	< 0.81	0.11	< 0.016
01/12/87	2.83	0.02	0.23	< 0.002	< 0.004	< 0.030	< 0.82	0.12	< 0.018
01/01/88	3.02	0.03	0.23	< 0.002	< 0.004	< 0.034	< 0.82	0.12	< 0.018
01/02/88	3.58	0.03	0.26	< 0.002	< 0.005	< 0.045	< 0.83	0.13	< 0.020
01/03/88	3.96	0.03	0.27	< 0.002	< 0.005	< 0.053	< 0.84	0.14	< 0.021
01/04/88	4.57	0.04	0.30	< 0.002	< 0.006	< 0.065	< 0.85	0.17	< 0.022
01/05/88	4.60	0.04	0.30	< 0.002	< 0.006	< 0.066	< 0.85	0.17	< 0.023
01/06/88	4.73	0.04	0.31	< 0.002	< 0.006	< 0.068	< 0.86	0.18	< 0.023
01/07/88	4.78	0.04	0.31	< 0.002	< 0.006	< 0.069	< 0.86	0.18	< 0.023
01/08/88	5.49	0.05	0.35	< 0.002	< 0.007	< 0.084	< 0.87	0.20	< 0.025
01/09/88	5.77	0.05	0.36	< 0.002	< 0.007	< 0.089	< 0.88	0.20	< 0.026
01/10/88	6.13	0.06	0.38	< 0.002	< 0.007	< 0.096	< 0.89	0.20	< 0.027
01/11/88	6.30	0.06	0.39	< 0.002	< 0.007	< 0.100	< 0.89	0.20	< 0.028
01/12/88	6.47	0.06	0.39	< 0.002	< 0.008	< 0.103	< 0.89	0.20	< 0.028
01/01/89	6.62	0.06	0.40	< 0.003	< 0.008	< 0.106	< 0.89	0.20	< 0.029
01/02/89	6.77	0.06	0.41	< 0.003	< 0.008	< 0.109	< 0.90	0.20	< 0.029
01/03/89	6.89	0.07	0.41	< 0.004	< 0.008	< 0.112	< 0.90	0.21	< 0.029
01/04/89	7.44	0.08	0.44	< 0.008	< 0.009	< 0.123	< 0.92	0.21	< 0.031
06/04/89	7.28	0.08	0.46	< 0.009	< 0.009	< 0.130	< 0.94	0.21	< 0.032
04/05/89	7.43	0.08	0.48	< 0.010	< 0.009	< 0.136	< 0.95	0.21	< 0.033
01/06/89	7.43	0.08	0.48	< 0.010	< 0.009	< 0.137	< 0.95	0.21	< 0.033
04/07/89	7.77	0.10	0.50	< 0.017	< 0.010	< 0.150	< 0.97	0.22	< 0.035
24/07/89	7.78	0.10	0.50	< 0.017	< 0.010	< 0.150	< 0.97	0.22	< 0.035
05/09/89	8.18	0.11	0.54	< 0.022	< 0.011	< 0.166	< 1.00	0.22	< 0.038
10/10/89	8.48	0.12	0.57	< 0.027	< 0.011	< 0.179	< 1.02	0.22	< 0.039
06/11/89	8.78	0.13	0.59	< 0.033	< 0.012	< 0.190	< 1.03	0.23	< 0.041
04/12/89	8.83	0.13	0.59	< 0.033	< 0.012	< 0.192	< 1.03	0.23	< 0.041
01/01/90	8.84	< 0.13	0.59	< 0.034	< 0.012	< 0.193	< 1.03	0.23	< 0.042
05/02/90	9.17	< 0.13	0.62	< 0.034	< 0.012	< 0.195	< 1.07	0.23	< 0.048
27/02/90	9.51	< 0.14	0.65	< 0.035	< 0.013	< 0.196	< 1.11	0.23	< 0.055
24/03/90	9.51	< 0.14	0.65	< 0.035	< 0.013	< 0.196	< 1.11	0.23	< 0.055
06/04/90	9.51	< 0.14	0.65	< 0.035	< 0.013	< 0.196	< 1.11	0.23	< 0.055
04/05/90	10.14	< 0.14	0.69	< 0.036	< 0.013	< 0.203	< 1.17	0.23	< 0.068
01/06/90	10.14	< 0.14	0.69	< 0.036	< 0.013	< 0.203	< 1.17	0.23	< 0.068
06/07/90	10.79	< 0.14	0.75	< 0.038	< 0.014	< 0.206	< 1.25	0.24	< 0.081
03/08/90	10.84	< 0.14	0.75	< 0.038	< 0.014	< 0.206	< 1.25	0.24	< 0.082
07/09/90	11.19	< 0.15	0.78	< 0.038	< 0.015	< 0.207	< 1.29	0.24	< 0.089
05/10/90	11.50	< 0.15	0.80	< 0.039	< 0.015	< 0.210	< 1.33	0.24	< 0.095

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.08	27	4	3	< 0.1	56
01/05/87	0.11	32	5	4	< 0.1	60
01/06/87	0.31	66	9	6	< 0.2	68
01/07/87	0.51	97	13	9	< 0.3	77
01/08/87	0.72	103	18	10	< 0.4	81
01/09/87	0.89	128	20	11	< 0.5	85
01/10/87	1.07	154	22	12	< 0.6	89
01/11/87	1.32	194	25	14	< 0.7	94
01/12/87	1.61	243	26	17	< 0.9	98
01/01/88	1.82	281	28	21	< 0.9	101
01/02/88	2.25	356	31	28	< 1.1	107
01/03/88	2.49	391	33	32	< 1.4	110
01/04/88	2.82	438	35	34	< 1.7	116
01/05/88	2.83	440	35	34	< 1.7	117
01/06/88	2.92	448	36	35	< 1.8	119
01/07/88	2.96	452	36	35	< 1.8	119
01/08/88	3.37	498	40	38	< 2.2	128
01/09/88	3.54	515	43	39	< 2.4	131
01/10/88	3.74	537	46	41	< 2.6	135
01/11/88	3.87	556	46	42	< 2.8	138
01/12/88	4.02	577	47	44	< 2.9	140
01/01/89	4.34	613	49	47	< 3.2	147
01/02/89	4.42	620	50	48	< 3.3	148
01/03/89	4.50	628	51	49	< 3.4	149
01/04/89	4.66	663	54	50	< 3.7	154
06/04/89	4.66	715	59	54	< 4.2	163
04/05/89	4.75	733	61	55	< 4.3	165
01/06/89	4.75	734	61	55	< 4.3	165
04/07/89	4.98	785	66	57	< 4.8	173
24/07/89	4.99	786	67	58	< 4.8	173
05/09/89	5.26	844	72	61	< 5.4	182
10/10/89	5.45	888	77	63	< 5.8	189
06/11/89	5.61	919	80	66	< 6.1	194
04/12/89	5.65	926	80	66	< 6.1	196
01/01/90	5.91	971	85	72	< 6.7	206
05/02/90	6.15	1005	89	77	< 6.7	217
27/02/90	6.39	1041	93	82	< 6.8	230
06/04/90	6.61	1071	96	86	< 6.8	240
04/05/90	6.65	1078	97	87	< 6.9	243
01/06/90	6.68	1082	97	87	< 6.9	244
06/07/90	6.81	1101	99	90	< 6.9	251
03/08/90	6.83	1103	100	90	< 6.9	252
07/09/90	6.86	1107	100	91	< 6.9	254
05/10/90	6.87	1108	100	91	< 6.9	255

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Vanadium mg/kg	Zink mg/kg
01/04/87								
16/04/87	0.08	0.001	< 0.0001	< 0.000	0.17	0.001	< 0.002	0.007
01/05/87	0.11	0.002	< 0.0001	< 0.001	0.18	0.001	< 0.002	0.007
01/06/87	0.31	0.010	< 0.0002	0.001	< 0.18	0.009	0.005	0.008
01/07/87	0.51	0.016	< 0.0002	0.002	< 0.18	0.014	0.008	0.009
01/08/87	0.72	0.030	< 0.0005	0.004	< 0.19	0.024	0.015	0.019
01/09/87	0.89	0.038	< 0.0006	0.005	< 0.19	0.028	0.019	0.029
01/10/87	1.07	0.041	< 0.0006	0.006	< 0.19	0.037	0.022	0.040
01/11/87	1.32	0.047	< 0.0007	0.008	< 0.19	0.048	0.028	0.042
01/12/87	1.61	0.052	< 0.0007	0.010	< 0.20	0.052	0.033	0.045
01/01/88	1.82	0.055	< 0.0007	0.012	< 0.20	0.055	0.038	0.048
01/02/88	2.25	0.060	< 0.0008	0.015	< 0.20	0.059	0.047	0.071
01/03/88	2.49	0.062	< 0.0008	0.017	< 0.21	0.062	0.050	0.083
01/04/88	2.82	0.067	< 0.0009	0.019	< 0.22	0.069	0.059	0.088
01/05/88	2.83	0.067	< 0.0010	0.020	< 0.22	0.069	0.060	0.088
01/06/88	2.92	0.068	< 0.0010	0.021	< 0.22	0.069	0.062	0.090
01/07/88	2.96	0.069	< 0.0011	0.021	< 0.22	0.070	0.064	0.090
01/08/88	3.37	0.073	< 0.0014	0.025	< 0.23	0.075	0.076	0.098
01/09/88	3.54	0.076	< 0.0015	0.027	< 0.23	0.075	0.082	0.101
01/10/88	3.74	0.078	< 0.0017	0.028	< 0.23	< 0.076	0.088	0.105
01/11/88	3.87	0.080	< 0.0018	0.030	< 0.24	< 0.076	0.092	0.108
01/12/88	4.02	0.083	< 0.0019	0.031	< 0.24	< 0.076	0.096	0.110
01/01/89	4.34	0.087	< 0.0042	0.034	< 0.25	< 0.077	0.103	0.134
01/02/89	4.42	0.088	< 0.0053	0.035	< 0.25	< 0.077	0.105	0.145
01/03/89	4.50	0.088		0.036	< 0.25	< 0.077	0.107	0.147
01/04/89	4.66	0.090		0.039	< 0.26	< 0.078	0.113	0.153
06/04/89	4.66	0.094	< 0.0065	0.043	< 0.26	< 0.079	0.123	0.169
04/05/89	4.75	0.095	< 0.0067	0.044	< 0.27	< 0.079	0.127	0.173
01/06/89	4.75	0.095	< 0.0067	0.045	< 0.27	< 0.079	0.127	0.173
04/07/89	4.98	0.098	< 0.0075	0.049	< 0.28	< 0.080	0.137	0.187
24/07/89	4.99	0.098	< 0.0076	0.049	< 0.28	< 0.080	0.137	0.187
05/09/89	5.26	0.102	< 0.0084	0.054	< 0.29	< 0.081	0.148	0.201
10/10/89	5.45	0.105	< 0.0090	0.057	< 0.29	< 0.082	0.157	0.212
06/11/89	5.61	0.108	< 0.0108	0.060	< 0.30	< 0.083	0.163	0.232
04/12/89	5.65	0.108	< 0.0116	0.061	< 0.30	< 0.083	0.165	0.240
01/01/90	5.91	0.114	< 0.0184	0.066	< 0.31	< 0.084	0.177	0.307
05/02/90	6.15	0.115	< 0.0186	0.072	< 0.31	< 0.084	0.191	0.316
27/02/90	6.39	0.117	< 0.0187	0.077	< 0.31	< 0.085	0.207	0.326
06/04/90	6.61	0.118	< 0.0188	0.082	< 0.31	< 0.085	0.220	0.334
04/05/90	6.65	0.118	< 0.0188	0.083	< 0.31	< 0.085	0.223	0.336
01/06/90	6.68	0.118	< 0.0188	0.084	< 0.31	< 0.085	0.224	0.337
06/07/90	6.81	0.119	< 0.0189	0.087	< 0.31	< 0.086	0.232	0.343
03/08/90	6.83	0.119	< 0.0189	0.087	< 0.31	< 0.086	0.233	0.343
07/09/90	6.86	0.120	< 0.0189	0.088	< 0.31	< 0.086	0.235	0.344
05/10/90	6.87	0.120	< 0.0189	0.088	< 0.31	< 0.086	0.236	0.344

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.03	14	1	1	< 0.0	32
01/05/87	0.06	32	3	3	< 0.1	74
01/06/87	0.29	112	13	15	< 0.3	271
01/07/87	0.52	131	18	16	0.4	305
01/08/87	0.74	155	22	17	0.6	335
01/09/87	0.93	167	25	18	0.7	348
01/10/87	1.15	181	27	19	0.8	363
01/11/87	1.45	195	30	20	1.0	370
01/12/87	1.78	207	34	21	1.3	378
01/01/88	2.02	215	37	22	1.5	382
01/02/88	2.52	228	41	23	1.8	391
01/03/88	2.80	236	43	25	2.0	413
01/04/88	3.18	250	46	27	2.3	443
01/05/88	3.21	251	46	27	2.3	445
01/06/88	3.26	254	47	28	2.4	449
01/07/88	3.30	255	47	28	2.4	452
01/08/88	3.75	279	51	31	2.7	487
01/09/88	3.94	288	53	32	2.9	497
01/10/88	4.17	299	57	33	3.1	508
01/11/88	4.34	307	59	34	3.3	516
01/12/88	4.53	316	61	34	3.5	524
01/01/89	4.88	325	66	39	3.8	537
01/02/89	4.98	327	68	41	3.9	539
01/03/89	5.07	329	69	42	4.0	541
01/04/89	5.29	335	74	49	4.4	551
06/04/89	5.29	344	81	58	4.9	563
04/05/89	5.40	360	83	62	5.1	569
01/06/89	5.40	360	83	62	5.1	569
04/07/89	5.63	393	87	70	5.5	581
24/07/89	5.63	393	87	70	5.5	581
05/09/89	5.91	433	92	80	6.1	595
10/10/89	6.12	463	95	88	6.5	606
06/11/89	6.31	492	99	95	6.9	617
04/12/89	6.37	497	99	97	7.0	619
01/01/90	6.98	583	110	119	8.2	650
05/02/90	7.21	625	116	123	8.4	664
27/02/90	7.39	657	121	127	8.6	675
06/04/90	7.50	675	124	129	8.7	682
04/05/90	7.62	696	127	131	8.8	689
01/06/90	7.69	709	129	133	8.9	694
06/07/90	8.04	770	139	139	9.2	715
03/08/90	8.09	780	140	140	9.2	718
07/09/90	8.31	819	146	145	9.5	732
05/10/90	8.49	852	151	148	9.6	743

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Barium mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Vanadium mg/kg	Zink mg/kg
01/04/87									
16/04/87	0.03	< 0.000	0.00	< 0.0000	< 0.000	0.02	< 0.000	< 0.001	0.000
01/05/87	0.06	< 0.000	0.01	< 0.0001	< 0.000	0.07	< 0.001	< 0.001	0.001
01/06/87	0.29	< 0.001	0.05	< 0.0002	< 0.001	0.21	0.004	< 0.004	0.005
01/07/87	0.52	0.005	0.08	< 0.0003	< 0.001	0.22	0.009	< 0.005	< 0.006
01/08/87	0.74	0.008	0.10	< 0.0004	< 0.003	0.25	0.013	< 0.006	< 0.008
01/09/87	0.93	0.011	0.12	< 0.0005	< 0.003	0.26	0.016	< 0.007	< 0.009
01/10/87	1.15	0.013	0.13	< 0.0005	< 0.004	0.27	0.018	< 0.008	< 0.011
01/11/87	1.45	0.015	0.16	< 0.0005	< 0.004	0.30	0.021	< 0.010	< 0.013
01/12/87	1.78	0.018	0.17	< 0.0005	< 0.005	0.32	0.024	< 0.012	< 0.016
01/01/88	2.02	0.020	0.19	< 0.0006	< 0.005	0.32	0.026	< 0.012	< 0.021
01/02/88	2.52	0.029	0.21	< 0.0006	< 0.006	0.33	0.029	< 0.014	< 0.031
01/03/88	2.80	0.033	0.27	< 0.0006	< 0.006	0.34	0.031	< 0.015	< 0.037
01/04/88	3.18	0.038	0.29	< 0.0007	< 0.006	0.37	0.036	< 0.016	< 0.052
01/05/88	3.21	0.039	0.29	< 0.0007	< 0.006	0.37	0.036	< 0.016	< 0.053
01/06/88	3.26	0.039	0.29	< 0.0008	< 0.006	0.38	0.037	< 0.016	< 0.057
01/07/88	3.30	0.040	0.29	< 0.0008	< 0.006	0.39	0.037	< 0.016	< 0.060
01/08/88	3.75	0.046	0.32	< 0.0009	< 0.007	0.46	0.044	< 0.017	< 0.082
01/09/88	3.94	0.049	0.34	< 0.0010	< 0.007	0.48	0.045	< 0.017	< 0.084
01/10/88	4.17	0.052	0.38	< 0.0010	< 0.007	0.50	0.046	< 0.018	< 0.087
01/11/88	4.34	0.054	0.41	< 0.0010	< 0.007	0.52	0.046	< 0.018	< 0.088
01/12/88	4.53	0.057	0.44	< 0.0011	< 0.008	0.53	0.047	< 0.018	< 0.090
01/01/89	4.88	0.061	0.46	< 0.0016	< 0.008	< 0.54	0.048	< 0.019	< 0.097
01/02/89	4.98	0.062	0.46	< 0.0018	< 0.008	< 0.55	0.048	< 0.019	< 0.100
01/03/89	5.07	0.064	0.46	< 0.0020	< 0.008	< 0.55	0.049	< 0.020	< 0.102
01/04/89	5.29	0.068	0.47	< 0.0027	< 0.009	< 0.55	0.050	< 0.020	< 0.112
06/04/89	5.29	< 0.074	0.49	< 0.0037	< 0.009	< 0.55	0.051	< 0.021	< 0.125
04/05/89	5.40	< 0.075	0.50	< 0.0040	< 0.009	< 0.58	0.052	< 0.023	< 0.138
01/06/89	5.40	< 0.075	0.50	< 0.0040	< 0.009	< 0.58	0.052	< 0.023	< 0.138
04/07/89	5.63	< 0.076	0.53	< 0.0048	< 0.009	< 0.64	0.053	< 0.028	< 0.165
24/07/89	5.63	< 0.076	0.53	< 0.0048	< 0.009	< 0.64	0.053	< 0.028	< 0.166
05/09/89	5.91	< 0.078	0.56	< 0.0056	< 0.010	< 0.71	0.055	< 0.034	< 0.199
10/10/89	6.12	< 0.079	0.58	< 0.0063	< 0.010	< 0.77	0.057	< 0.038	< 0.224
06/11/89	6.31	< 0.081	0.61	< 0.0070	< 0.010	< 0.82	0.058	< 0.042	< 0.248
04/12/89	6.37	< 0.081	0.61	< 0.0071	< 0.010	< 0.83	0.059	< 0.042	< 0.252
01/01/90	6.98	< 0.084	0.68	< 0.0090	< 0.011	< 0.99	0.063	< 0.054	< 0.324
05/02/90	7.21	< 0.091	0.72	< 0.0091	< 0.011	< 1.03	0.066	< 0.059	< 0.329
27/02/90	7.39	< 0.097	0.75	< 0.0092	< 0.011	< 1.06	0.069	< 0.063	< 0.333
06/04/90	7.50	< 0.100	0.76	< 0.0092	< 0.011	< 1.08	0.071	< 0.065	< 0.335
04/05/90	7.62	< 0.103	0.78	< 0.0093	< 0.011	< 1.10	0.072	< 0.067	< 0.337
01/06/90	7.69	< 0.106	0.79	< 0.0093	< 0.011	< 1.11	0.074	< 0.069	< 0.338
06/07/90	8.04	< 0.116	0.84	< 0.0095	< 0.012	< 1.18	0.079	< 0.075	< 0.345
03/08/90	8.09	< 0.118	0.85	< 0.0095	< 0.012	< 1.19	0.080	< 0.077	< 0.346
07/09/90	8.31	< 0.124	0.89	< 0.0097	< 0.012	< 1.22	0.083	< 0.081	< 0.351
05/10/90	8.49	< 0.130	0.91	< 0.0097	< 0.012	< 1.26	0.086	< 0.085	< 0.354

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.08	184	181	618	0	122
01/05/87	0.11	249	225	719	0	156
01/06/87	0.29	463	437	1089	4	460
01/07/87	0.48	576	567	1193	7	754
01/08/87	0.67	642	662	1246	11	1019
01/09/87	0.82	685	730	1276	14	1185
01/10/87	1.00	717	783	1295	18	1323
01/11/87	1.24	746	834	1302	21	1413
01/12/87	1.51	768	878	1310	25	1516
01/01/88	1.70	798	927	1315	28	1640
01/02/88	2.11	849	1016	1323	34	1895
01/03/88	2.35	879	1066	1326	37	2017
01/04/88	2.69	902	1111	1331	42	2139
01/05/88	2.71	903	1114	1331	43	2143
01/06/88	2.77	907	1128	1332	44	2159
01/07/88	2.80	909	1134	1332	45	2167
01/08/88	3.16	931	1215	1336	51	2240
01/09/88	3.32	940	1246	1338	54	2265
01/10/88	3.50	949	1273	1340	58	2293
01/11/88	3.63	954	1303	1341	60	2314
01/12/88	3.78	959	1325	1343	63	2328
01/01/89	4.09	967	1345	1346	68	2342
01/02/89	4.17	969	1350	1347	70	2346
01/03/89	4.25	972	1359	1348	71	2362
01/04/89	4.45	983	1392	1352	75	2443
06/04/89	4.45	983	1393	1352	75	2443
04/05/89	4.54	990	1408	1354	78	2492
01/06/89	4.54	990	1408	1354	78	2492
04/07/89	4.75	1005	1440	1359	84	2597
24/07/89	4.75	1005	1441	1359	84	2599
05/09/89	5.00	1023	1480	1365	91	2725
10/10/89	5.18	1036	1510	1370	96	2820
06/11/89	5.28	1043	1525	1372	99	2871
04/12/89	5.28	1043	1525	1372	99	2871
01/01/90	5.29	1043	1525	1372	99	2871
05/02/90	5.56	1066	1568	1378	110	2934
27/02/90	5.56	1066	1568	1378	110	2934
06/04/90	6.06	1109	1644	1390	130	3050
04/05/90	6.17	1119	1662	1392	134	3078
01/06/90	6.24	1124	1673	1394	137	3093
06/07/90	6.53	1149	1718	1401	149	3162
03/08/90	6.58	1154	1726	1402	151	3174
07/09/90	6.75	1169	1753	1406	158	3214
05/10/90	6.90	1181	1776	1409	164	3249

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Vanadium mg/kg
01/04/87							
16/04/87	0.08	< 0.000	0.0001	< 0.000	0.16	0.00	0.006
01/05/87	0.11	< 0.000	< 0.0001	< 0.001	0.22	0.00	0.007
01/06/87	0.29	< 0.001	< 0.0002	0.001	0.36	0.03	0.016
01/07/87	0.48	0.003	< 0.0002	0.002	0.44	0.03	0.036
01/08/87	0.67	0.005	< 0.0002	0.002	0.49	0.04	0.044
01/09/87	0.82	0.007	< 0.0002	0.003	0.50	0.04	0.048
01/10/87	1.00	0.013	< 0.0003	0.003	0.51	0.05	0.051
01/11/87	1.24	0.020	< 0.0003	0.003	0.51	0.05	0.056
01/12/87	1.51	0.033	< 0.0003	0.004	0.51	0.05	0.061
01/01/88	1.70	0.035	< 0.0003	0.004	0.53	0.05	0.082
01/02/88	2.11	0.041	< 0.0005	0.005	0.55	0.06	0.121
01/03/88	2.35	0.045	< 0.0008	0.006	0.55	0.06	0.140
01/04/88	2.69	0.060	< 0.0012	0.006	< 0.56	0.06	0.153
01/05/88	2.71	0.061	< 0.0012	0.006	< 0.56	< 0.060	0.153
01/06/88	2.77	0.064	< 0.0014	0.006	< 0.56	< 0.060	0.156
01/07/88	2.80	0.066	< 0.0014	0.006	< 0.56	< 0.060	0.157
01/08/88	3.16	0.085	< 0.0023	0.008	< 0.57	< 0.061	0.171
01/09/88	3.32	0.093	< 0.0026	0.008	< 0.57	< 0.061	0.177
01/10/88	3.50	0.102	< 0.0027	0.009	< 0.58	< 0.062	0.186
01/11/88	3.63	0.108	< 0.0027	0.009	< 0.58	< 0.062	0.193
01/12/88	3.78	0.113	< 0.0028	0.009	< 0.58	< 0.062	0.198
01/01/89	4.09	0.122	< 0.0031	0.009	< 0.59	< 0.063	0.202
01/02/89	4.17	0.124	< 0.0032	0.009	< 0.59	< 0.063	0.203
01/03/89	4.25	0.126	< 0.0032	0.010	< 0.59	< 0.063	0.206
01/04/89	4.56	0.133	< 0.0033	0.010	< 0.60	< 0.064	0.221
06/04/89	4.45	0.133	< 0.0033	0.010	< 0.60	< 0.064	0.221
04/05/89	4.54	0.135	< 0.0036	0.011	< 0.60	< 0.064	0.234
01/06/89	4.54	0.135	< 0.0036	0.011	< 0.60	< 0.064	0.234
04/07/89	4.75	0.140	< 0.0044	0.011	< 0.61	< 0.064	0.263
24/07/89	4.75	0.140	< 0.0044	0.011	< 0.61	< 0.064	0.263
05/09/89	5.00	0.146	< 0.0053	0.012	< 0.61	< 0.065	0.297
10/10/89	5.18	0.150	< 0.0059	0.012	< 0.61	< 0.065	0.323
06/11/89	4.45	0.152	< 0.0063	0.012	< 0.62	< 0.065	0.337
04/12/89	4.45	0.152	< 0.0063	0.012	< 0.62	< 0.065	0.337
01/01/90	4.46	0.152	< 0.0063	0.012	< 0.62	< 0.065	0.337
05/02/90	4.46	0.160	< 0.0067	0.013	< 0.63	< 0.066	0.375
27/02/90	4.46	0.160	< 0.0067	0.013	< 0.63	< 0.066	0.375
06/04/90	6.06	0.174	< 0.0074	0.015	< 0.65	< 0.067	0.444
04/05/90	6.17	0.177	< 0.0076	0.015	< 0.65	< 0.067	0.460
01/06/90	6.24	0.179	< 0.0077	0.015	< 0.65	< 0.067	0.469
06/07/90	6.53	0.187	< 0.0081	0.016	< 0.67	< 0.068	0.510
03/08/90	6.58	0.189	< 0.0082	0.016	< 0.67	< 0.068	0.517
07/09/90	6.75	0.194	< 0.0085	0.017	< 0.67	< 0.068	0.541
05/10/90	6.90	0.198	< 0.0087	0.017	< 0.68	< 0.069	0.562

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.03	12	45	46	< 0.0	57
01/05/87	0.06	19	103	107	< 0.1	122
01/06/87	0.26	51	356	344	< 0.2	386
01/07/87	0.46	89	495	440	< 0.3	544
01/08/87	0.69	106	569	514	< 0.4	639
01/09/87	0.86	123	601	553	< 0.5	692
01/10/87	1.06	146	627	572	< 0.6	730
01/11/87	1.32	183	683	588	< 0.7	759
01/12/87	1.61	246	704	604	< 0.9	791
01/01/88	1.81	279	744	618	< 1.0	798
01/02/88	2.25	375	789	650	< 1.2	828
01/03/88	2.49	446	820	668	< 1.3	866
01/04/88	2.82	510	849	691	< 1.5	917
01/05/88	2.84	512	850	692	< 1.5	920
01/06/88	2.92	524	857	698	< 1.5	933
01/07/88	2.96	529	860	699	< 1.6	937
01/08/88	3.34	584	892	712	< 2.0	990
01/09/88	3.50	605	903	718	< 2.1	1012
01/10/88	3.69	648	918	729	< 2.3	1027
01/11/88	3.83	680	928	737	< 2.5	1035
01/12/88	3.97	713	938	746	< 2.6	1044
01/01/89	4.24	771	958	763	< 2.9	1060
01/02/89	4.32	781	963	768	< 2.9	1065
01/03/89	4.39	790	968	772	< 3.0	1070
01/04/89	4.55	827	990	791	< 3.3	1088
06/04/89	4.55	854	1005	804	< 3.5	1101
04/05/89	4.64	871	1009	814	< 3.7	1112
01/06/89	4.64	872	1009	815	< 3.7	1112
04/07/89	4.87	919	1023	843	< 4.2	1142
24/07/89	4.88	921	1024	844	< 4.2	1143
05/09/89	5.14	975	1039	876	< 4.7	1176
10/10/89	5.34	1016	1051	900	< 5.1	1201
06/11/89	5.51	1050	1061	920	< 5.4	1223
04/12/89	5.54	1056	1062	924	< 5.5	1227
01/01/90	5.82	1125	1094	948	< 6.1	1292
05/02/90	6.06	1158	1113	963	< 6.2	1348
27/02/90	6.34	1202	1164	1007	< 6.4	1425
06/04/90	6.60	1238	1189	1027	< 6.5	1487
04/05/90	6.74	1262	1220	1054	< 6.6	1529
01/06/90	6.84	1278	1241	1072	< 6.6	1557
06/07/90	7.27	1346	1322	1142	< 6.9	1676
03/08/90	7.35	1360	1340	1158	< 6.9	1701
07/09/90	7.62	1405	1397	1207	< 7.1	1778
05/10/90	7.84	1441	1445	1249	< 7.2	1843

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Barium mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Seleen mg/kg	Vanadium mg/kg
01/04/87									
16/04/87	0.03	0.01	0.00	< 0.0000	0.000	0.02	0.001	0.000	0.00
01/05/87	0.06	0.01	0.00	< 0.0001	0.000	0.03	0.002	0.000	0.01
01/06/87	0.26	0.04	0.04	< 0.0002	0.002	< 0.12	0.011	0.001	0.04
01/07/87	0.46	0.07	0.08	< 0.0002	0.003	< 0.13	0.017	0.002	0.07
01/08/87	0.69	0.07	0.08	< 0.0004	0.004	< 0.13	0.022	0.003	0.09
01/09/87	0.86	0.08	0.08	< 0.0005	0.004	< 0.13	0.025	0.004	0.10
01/10/87	1.06	0.08	0.09	< 0.0005	0.006	< 0.13	0.027	0.005	0.10
01/11/87	1.32	0.09	0.11	< 0.0005	0.007	< 0.13	0.036	0.006	0.11
01/12/87	1.61	0.10	0.13	< 0.0006	0.008	< 0.14	0.038	0.007	0.14
01/01/88	1.81	0.11	0.17	< 0.0006	0.008	< 0.14	0.043	0.010	0.15
01/02/88	2.25	0.11	0.26	< 0.0007	0.010	< 0.15	0.051	< 0.015	0.16
01/03/88	2.49	0.12	0.33	< 0.0007	0.010	< 0.15	0.055	< 0.015	0.17
01/04/88	2.82	0.12	0.41	< 0.0007	0.010	< 0.16	0.059	< 0.016	0.19
01/05/88	2.84	0.12	0.41	< 0.0007	0.010	< 0.16	0.059	< 0.016	0.20
01/06/88	2.92	0.12	0.43	< 0.0007	0.010	< 0.16	0.060	< 0.017	0.21
01/07/88	2.96	0.12	0.44	< 0.0007	0.010	< 0.16	0.060	< 0.017	0.21
01/08/88	3.34	0.13	0.52	< 0.0008	0.011	< 0.17	0.063	< 0.018	0.26
01/09/88	3.50	0.13	0.55	< 0.0008	0.011	< 0.17	0.064	< 0.018	0.27
01/10/88	3.69	0.13	0.60	< 0.0008	< 0.011	< 0.18	0.065	< 0.019	0.30
01/11/88	3.83	0.13	0.65	< 0.0008	< 0.011	< 0.18	0.066	< 0.019	0.33
01/12/88	3.97	0.13	0.69	< 0.0008	< 0.011	< 0.18	0.067	< 0.020	0.35
01/01/89	4.24	0.13	0.76	< 0.0008	< 0.012	< 0.19	0.068	< 0.021	0.40
01/02/89	4.32	0.13	0.77	< 0.0008	< 0.012	< 0.19	0.068	< 0.021	0.41
01/03/89	4.39	0.13	0.78	< 0.0008	< 0.012	< 0.19	0.068	< 0.021	0.42
01/04/89	4.55	0.13	0.81	< 0.0009	< 0.012	< 0.20	0.069	< 0.022	0.47
06/04/89	4.55	< 0.13	0.84	< 0.0009	< 0.012	< 0.20	< 0.070	< 0.023	0.50
04/05/89	4.64	< 0.13	0.85	< 0.0009	< 0.013	< 0.20	< 0.070	< 0.023	0.54
01/06/89	4.64	< 0.13	0.85	< 0.0009	< 0.013	< 0.20	< 0.070	< 0.023	0.54
04/07/89	4.87	< 0.14	0.89	< 0.0010	< 0.017	< 0.21	< 0.071	< 0.024	0.65
24/07/89	4.88	< 0.14	0.89	< 0.0010	< 0.017	< 0.21	< 0.071	< 0.024	0.65
05/09/89	5.14	< 0.14	0.92	< 0.0011	< 0.020	< 0.21	< 0.072	< 0.025	0.78
10/10/89	5.34	< 0.14	0.95	< 0.0012	< 0.023	< 0.22	< 0.072	< 0.026	0.88
06/11/89	5.51	< 0.14	0.98	< 0.0013	< 0.025	< 0.22	< 0.073	< 0.026	0.96
04/12/89	5.54	< 0.14	0.98	< 0.0013	< 0.025	< 0.22	< 0.073	< 0.027	0.97
01/01/90	5.82	< 0.14	1.05	< 0.0013	< 0.027	< 0.23	< 0.076	< 0.028	1.03
05/02/90	6.06	< 0.14	1.08	< 0.0015	< 0.034	< 0.24	< 0.077	< 0.029	1.20
27/02/90	6.34	< 0.14	1.12	< 0.0016	< 0.039	< 0.24	< 0.080	< 0.030	1.34
06/04/90	6.60	< 0.15	1.14	< 0.0017	< 0.046	< 0.25	< 0.081	< 0.031	1.52
04/05/90	6.74	< 0.15	1.16	< 0.0018	< 0.049	< 0.25	< 0.083	< 0.032	1.59
01/06/90	6.84	< 0.15	1.18	< 0.0018	< 0.050	< 0.25	< 0.084	< 0.032	1.63
06/07/90	7.27	< 0.15	1.24	< 0.0020	< 0.058	< 0.26	< 0.089	< 0.034	1.84
03/08/90	7.35	< 0.15	1.25	< 0.0021	< 0.060	< 0.26	< 0.090	< 0.034	1.89
07/09/90	7.62	< 0.15	1.29	< 0.0022	< 0.064	< 0.27	< 0.093	< 0.035	2.01
05/10/90	7.84	< 0.15	1.32	< 0.0023	< 0.068	< 0.27	< 0.096	< 0.036	2.11

Bak 7: Vlieg-as-cement-stabilisatie Cumulatieve emissies van hoofdcomponenten en anionen:
Bevochtigde vaste stof: 593 kg.

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.10	5	52	4	< 0.1	68
01/05/87	0.13	15	62	5	< 0.2	104
01/06/87	0.40	18	224	14	< 0.4	146
01/07/87	0.68	23	366	21	< 0.5	163
01/08/87	0.94	33	436	25	< 0.6	199
01/09/87	1.16	39	500	28	< 0.7	226
01/10/87	1.42	46	563	30	< 0.9	253
01/11/87	1.77	59	607	32	< 1.1	288
01/12/87	2.14	68	637	34	< 1.4	307
01/01/88	2.41	78	647	35	< 1.7	321
01/02/88	2.98	123	672	37	< 2.3	344
01/03/88	3.30	144	681	39	< 2.6	381
01/04/88	3.72	177	693	42	< 3.0	444
01/05/88	3.75	179	693	42	< 3.0	447
01/06/88	3.84	187	696	42	< 3.1	460
01/07/88	3.88	191	697	43	< 3.2	467
01/08/88	4.44	237	711	46	< 3.7	549
01/09/88	4.67	266	719	48	< 4.0	567
01/10/88	4.94	302	729	50	< 4.2	586
01/11/88	5.13	328	736	51	< 4.4	600
01/12/88	5.34	346	742	53	< 4.6	615
01/01/89	5.71	380	752	55	< 5.0	642
01/02/89	5.82	390	755	56	< 5.1	650
01/03/89	5.92	397	757	57	< 5.2	657
01/04/89	6.11	427	766	60	< 5.6	685
06/04/89	6.11	427	766	60	< 5.6	685
04/05/89	6.22	433	772	61	< 5.8	701
01/06/89	6.22	433	772	61	< 5.8	701
04/07/89	6.48	469	784	65	< 6.3	738
24/07/89	6.48	469	784	65	< 6.3	739
05/09/89	6.78	503	799	69	< 6.9	783
10/10/89	7.00	529	811	72	< 7.4	815
06/11/89	7.21	568	818	75	< 7.8	846
04/12/89	7.27	574	821	76	< 7.9	854
01/01/90	7.58	607	837	80	< 8.5	900
05/02/90	7.86	674	846	85	< 8.6	973
27/02/90	8.15	744	855	89	< 8.7	1049
06/04/90	8.45	818	864	94	< 8.8	1128
04/05/90	8.59	853	868	96	< 8.8	1166
01/06/90	8.67	872	871	98	< 8.8	1187
06/07/90	9.03	962	882	103	< 9.0	1285
03/08/90	9.08	973	883	104	< 9.0	1297
07/09/90	9.32	1034	890	107	< 9.0	1364
05/10/90	9.53	1090	897	110	< 9.1	1426

Datum	L/S l/kg	Arseen mg/kg	Barium mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Koper mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Antimoon mg/kg	Vanadium mg/kg	Zink mg/kg
01/04/87											
16/04/87	0.10	0.05	0.00 < 0.0001		0.00	0.03	0.001	0.01	0.000	0.06	0.002
01/05/87	0.13	0.05	0.00 < 0.0001		0.00	0.03	0.011	0.01	0.000	0.06	0.002
01/06/87	0.40	0.40	0.01 < 0.0003		0.02	0.11 < 0.015		0.03	0.001	0.20	0.013
01/07/87	0.68	0.70	0.04 < 0.0004		0.05	0.16 < 0.020		0.15	0.003	0.26	0.020
01/08/87	0.94	0.73	0.06 < 0.0016		0.24	0.18 < 0.023		0.95	0.004	0.36	0.022
01/09/87	1.16	0.76	0.07 < 0.0022		0.44	0.20 < 0.025		1.53	0.006	0.46	0.024
01/10/87	1.42	0.78	0.09 < 0.0025		0.69	0.21 < 0.027		1.96	0.007	0.57	0.026
01/11/87	1.77	0.81	0.12 < 0.0025		0.86	0.22 < 0.031		2.32	0.009	0.65	0.029
01/12/87	2.14	0.82	0.14 < 0.0026		0.94 < 0.23	< 0.035		2.58	0.011	0.72	0.033
01/01/88	2.41	0.83	0.15 < 0.0026		0.98 < 0.23	< 0.037		2.70	0.012	0.74	0.036
01/02/88	2.98	0.84	0.23 < 0.0027		1.06 < 0.24	< 0.043		2.99 < 0.015		0.80	0.042
01/03/88	3.30	0.85	0.26 < 0.0027		1.10 < 0.25	< 0.048		3.10 < 0.015		0.83	0.045
01/04/88	3.72	0.86	0.29 < 0.0027		1.26 < 0.26	< 0.057		3.28 < 0.016		0.87	0.050
01/05/88	3.75	0.86	0.29 < 0.0027		1.27 < 0.26	< 0.057		3.29 < 0.016		0.87	0.050
01/06/88	3.84	0.86	0.29 < 0.0028		1.32 < 0.26	< 0.059		3.32 < 0.016		0.87	0.052
01/07/88	3.88	0.86	0.30 < 0.0028		1.34 < 0.26	< 0.060		3.34 < 0.016		0.88	0.053
01/08/88	4.44	0.87	0.32 < 0.0028		1.61 < 0.27	< 0.071		3.57 < 0.016		0.91	0.062
01/09/88	4.67	0.87	0.40 < 0.0028		1.72 < 0.28	< 0.076		3.67 < 0.016		0.94	0.067
01/10/88	4.94	0.88	0.50 < 0.0029		1.84 < 0.28	< 0.081		3.78 < 0.017		0.97	0.073
01/11/88	5.13	0.89	0.57 < 0.0029		1.93 < 0.29	< 0.085		3.87 < 0.017		0.99	0.078
01/12/88	5.34	0.89	0.61 < 0.0029		1.99 < 0.29	< 0.089		3.91 < 0.017		1.02	0.083
01/01/89	5.71	0.89	0.68 < 0.0029		2.09 < 0.30	< 0.097		4.00 < 0.018		1.05	0.091
01/02/89	5.82	0.90	0.71 < 0.0030		2.12 < 0.30	< 0.099		4.03 < 0.018		1.06	0.094
01/03/89	5.92	0.90	0.73 < 0.0030		2.13 < 0.30	< 0.101		4.04 < 0.018		1.07	0.096
01/04/89	6.31	0.90	0.82 < 0.0030		2.17 < 0.31	< 0.109		4.09 < 0.018		1.10	0.105
06/04/89	6.11	0.90	0.82 < 0.0030		2.17 < 0.31	< 0.109		4.09 < 0.018		1.10	0.105
04/05/89	6.22	0.90	0.90 < 0.0030		2.21 < 0.32	< 0.113		4.12 < 0.018		1.12	0.107
01/06/89	6.22	0.90	0.90 < 0.0030		2.21 < 0.32	< 0.113		4.12 < 0.018		1.12	0.107
04/07/89	6.48	0.91	1.03 < 0.0031		2.28 < 0.33	< 0.123		4.19 < 0.019		1.16	0.118
24/07/89	6.48	0.91	1.03 < 0.0031		2.28 < 0.33	< 0.123		4.19 < 0.019		1.16	0.118
05/09/89	6.78	0.91	1.20 < 0.0031		2.36 < 0.34	< 0.135		4.27 < 0.019		1.21	0.128
10/10/89	7.00	0.91	1.33 < 0.0032		2.42 < 0.35	< 0.144		4.33 < 0.020		1.25	0.136
06/11/89	7.21	0.92	1.41 < 0.0032		2.47 < 0.36	< 0.153		4.38 < 0.020		1.28	0.148
04/12/89	7.27	0.92	1.44 < 0.0032		2.48 < 0.36	< 0.155		4.39 < 0.020		1.29	0.150
01/01/90	7.58	0.92	1.63 < 0.0033		2.57 < 0.37	< 0.167		4.48 < 0.021		1.35	0.160
05/02/90	7.86	0.93	1.72 < 0.0034		2.71 < 0.37	< 0.173		4.55 < 0.022		1.41	0.175
27/02/90	8.15	0.93	1.81 < 0.0035		2.85 < 0.37	< 0.179		4.62 < 0.022		1.47	0.192
06/04/90	8.45	0.93	1.91 < 0.0036		3.00 < 0.37	< 0.185		4.70 < 0.023		1.54	0.208
04/05/90	8.59	0.93	1.95 < 0.0037		3.07 < 0.38	< 0.187		4.73 < 0.023		1.58	0.216
01/06/90	8.67	0.93	1.98 < 0.0037		3.11 < 0.38	< 0.189		4.75 < 0.023		1.59	0.221
06/07/90	9.03	0.94	2.09 < 0.0039		3.29 < 0.38	< 0.196		4.85 < 0.024		1.68	0.240
03/08/90	9.08	0.94	2.11 < 0.0039		3.32 < 0.38	< 0.197		4.86 < 0.024		1.69	0.242
07/09/90	9.32	0.94	2.18 < 0.0040		3.45 < 0.38	< 0.202		4.92 < 0.025		1.75	0.253
05/10/90	9.53	0.94	2.25 < 0.0041		3.58 < 0.38	< 0.206		4.98 < 0.025		1.81	0.262

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.09	16	15	5	< 0.2	68
01/05/87	0.12	17	20	5	< 0.2	79
01/06/87	0.28	32	40	7	< 0.3	99
01/07/87	0.47	102	50	8	< 0.4	107
01/08/87	0.68	155	67	9	< 0.5	109
01/09/87	0.83	213	77	10	< 0.5	111
01/10/87	1.02	265	94	10	< 0.6	112
01/11/87	1.26	373	104	11	< 0.7	113
01/12/87	1.49	512	107	12	< 0.7	114
01/01/88	1.65	600	108	13	< 0.8	114
01/02/88	1.94	752	109	14	< 1.1	116
01/03/88	2.06	826	113	15	< 1.2	116
01/04/88	2.24	882	117	16	< 1.4	117
01/05/88	2.25	885	117	16	< 1.4	117
01/06/88	2.29	895	117	16	< 1.5	117
01/07/88	2.30	900	118	16	< 1.5	117
01/08/88	2.52	947	120	17	< 1.7	122
01/09/88	2.59	960	120	18	< 1.8	125
01/10/88	2.66	972	121	18	< 1.8	128
01/11/88	2.75	998	122	18	< 1.9	130
01/12/88	2.85	1011	124	19	< 2.0	133
01/01/89	2.99	1030	127	20	< 2.2	136
01/02/89	3.03	1039	127	20	< 2.2	137
01/03/89	3.04	1045	128	20	< 2.2	138
01/04/89	3.04	1080	130	21	< 2.4	142
06/04/89	3.04	1065	129	21	< 2.3	140
04/05/89	3.05	1071	129	21	< 2.4	141
01/06/89	3.05	1071	129	21	< 2.4	141
04/07/89	3.19	1115	131	22	< 2.6	147
24/07/89	3.19	1115	131	22	< 2.6	147
05/09/89	3.30	1155	133	24	< 2.9	153
10/10/89	3.39	1185	135	25	< 3.1	157
06/11/89	3.55	1231	137	26	< 3.4	164
04/12/89	3.58	1240	138	27	< 3.4	166
01/01/90	3.82	1342	143	30	< 3.9	178
05/02/90	4.00	1378	146	32	< 3.9	186
27/02/90	4.16	1408	149	35	< 4.0	192
06/04/90	4.30	1437	152	37	< 4.0	198
04/05/90	4.34	1445	153	38	< 4.0	200
01/06/90	4.36	1451	153	38	< 4.0	202
06/07/90	4.52	1487	157	40	< 4.0	212
03/08/90	4.56	1496	158	40	< 4.0	215
07/09/90	4.66	1517	160	41	< 4.0	221
05/10/90	4.78	1546	162	43	< 4.0	229

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Vanadium mg/kg	Zink mg/kg
01/04/87								
16/04/87	0.09	0.022	< 0.0001	0.001	0.021	0.003	0.025	0.001
01/05/87	0.12	0.035	< 0.0001	0.001	< 0.021	0.004	0.037	< 0.001
01/06/87	0.28	0.067	< 0.0002	0.003	< 0.022	0.008	0.056	< 0.002
01/07/87	0.47	0.075	< 0.0002	0.004	< 0.024	0.013	0.065	< 0.003
01/08/87	0.68	0.089	< 0.0002	0.005	< 0.026	0.017	0.074	< 0.005
01/09/87	0.83	0.091	< 0.0002	0.006	< 0.028	0.019	0.078	< 0.006
01/10/87	1.02	0.094	< 0.0002	0.006	< 0.030	0.021	0.080	< 0.007
01/11/87	1.26	0.096	< 0.0003	0.007	< 0.032	0.022	0.082	< 0.009
01/12/87	1.49	0.097	< 0.0003	0.007	< 0.035	0.024	0.084	< 0.011
01/01/88	1.65	0.098	< 0.0003	0.008	< 0.038	0.026	0.086	< 0.023
01/02/88	1.94	0.098	< 0.0003	0.008	< 0.043	0.029	0.088	< 0.046
01/03/88	2.06	0.099	< 0.0003	0.008	< 0.046	0.031	0.090	< 0.056
01/04/88	2.24	0.099	< 0.0004	0.009	< 0.050	0.033	0.092	< 0.060
01/05/88	2.25	0.099	< 0.0004	0.009	< 0.050	0.033	0.092	< 0.060
01/06/88	2.29	0.099	< 0.0004	0.009	< 0.050	0.034	0.092	< 0.061
01/07/88	2.30	0.099	< 0.0004	0.009	< 0.051	0.034	0.092	< 0.061
01/08/88	2.52	0.099	< 0.0004	0.009	< 0.055	0.036	0.096	< 0.064
01/09/88	2.59	0.100	< 0.0004	0.010	< 0.057	0.036	0.097	< 0.066
01/10/88	2.66	0.100	< 0.0004	0.010	< 0.058	0.036	0.099	< 0.067
01/11/88	2.75	0.100	< 0.0004	0.010	< 0.060	0.037	0.100	< 0.069
01/12/88	2.85	0.101	< 0.0004	0.010	< 0.062	0.037	0.101	< 0.071
01/01/89	2.99	0.102	< 0.0004	0.010	< 0.064	0.038	0.103	< 0.073
01/02/89	3.03	0.102	< 0.0004	0.011	< 0.065	0.038	0.104	< 0.074
01/03/89	3.04	0.102	< 0.0004	0.011	< 0.066	0.038	0.104	< 0.074
01/04/89	3.04	0.102	< 0.0005	0.012	< 0.069	0.038	0.106	< 0.077
06/04/89	3.04	0.102	< 0.0005	0.012	< 0.068	< 0.038	0.106	< 0.077
04/05/89	3.05	0.102	< 0.0005	0.012	< 0.068	< 0.038	0.106	< 0.077
01/06/89	3.05	0.102	< 0.0005	0.012	< 0.068	< 0.038	0.106	< 0.077
04/07/89	3.19	0.105	< 0.0005	0.015	< 0.072	< 0.039	0.110	< 0.080
24/07/89	3.19	0.105	< 0.0005	0.015	< 0.072	< 0.039	0.110	< 0.080
05/09/89	3.30	< 0.107	< 0.0005	0.018	< 0.075	< 0.039	0.113	< 0.082
10/10/89	3.39	< 0.108	< 0.0006	0.021	< 0.078	< 0.040	0.116	< 0.084
06/11/89	3.55	< 0.111	< 0.0006	0.024	< 0.081	< 0.040	0.120	< 0.087
04/12/89	3.58	< 0.112	< 0.0006	0.025	< 0.082	< 0.040	0.121	< 0.088
01/01/90	3.82	< 0.115	< 0.0007	0.031	< 0.090	< 0.042	< 0.127	< 0.092
05/02/90	4.00	< 0.117	< 0.0008	0.039	< 0.093	< 0.044	< 0.132	< 0.101
27/02/90	4.16	< 0.118	< 0.0009	0.045	< 0.097	< 0.045	< 0.136	< 0.106
06/04/90	4.30	< 0.119	< 0.0011	0.052	< 0.099	< 0.047	< 0.140	< 0.114
04/05/90	4.34	< 0.120	< 0.0011	0.054	< 0.100	< 0.047	< 0.141	< 0.117
01/06/90	4.36	< 0.120	< 0.0011	0.056	< 0.101	< 0.048	< 0.142	< 0.119
06/07/90	4.52	< 0.122	< 0.0013	0.066	< 0.104	< 0.049	< 0.148	< 0.131
03/08/90	4.56	< 0.123	< 0.0014	0.069	< 0.105	< 0.050	< 0.149	< 0.135
07/09/90	4.66	< 0.124	< 0.0015	0.075	< 0.106	< 0.051	< 0.153	< 0.142
05/10/90	4.78	< 0.126	< 0.0016	0.083	< 0.109	< 0.053	< 0.157	< 0.152

Bak 9: Blanco (zand)

Cumulatieve emissies van hoofdcomponenten en anionen:
Bevochtigde vaste stof: 1311 kg

Datum	L/S-verh. l/kg	Calcium mg/kg	Natrium mg/kg	Chloride mg/kg	Fluoride mg/kg	Sulfaat mg/kg
01/04/87						
16/04/87	0.07	40	4	4	< 0.1	83
01/05/87	0.09	50	5	4	< 0.1	95
01/06/87	0.21	81	8	7	< 0.1	154
01/07/87	0.32	104	9	7	< 0.1	205
01/08/87	0.44	126	10	8	< 0.1	250
01/09/87	0.54	137	11	8	< 0.1	274
01/10/87	0.65	149	11	9	< 0.1	281
01/11/87	0.81	160	11	9	< 0.2	290
01/12/87	0.98	172	12	10	< 0.2	301
01/01/88	1.11	179	12	11	< 0.2	307
01/02/88	1.37	191	12	12	< 0.2	315
01/03/88	1.52	198	13	13	< 0.2	321
01/04/88	1.71	209	13	14	< 0.4	346
01/05/88	1.71	210	13	14	< 0.4	347
01/06/88	1.74	213	14	14	< 0.5	351
01/07/88	1.76	214	14	14	< 0.5	353
01/08/88	1.97	230	15	15	< 0.7	368
01/09/88	2.06	237	15	15	< 0.8	375
01/10/88	2.19	247	16	15	< 0.9	384
01/11/88	2.27	251	17	16	< 1.0	390
01/12/88	2.35	270	18	17	< 1.1	394
01/01/89	2.53	334	22	19	< 1.3	403
01/02/89	2.57	336	23	19	< 1.3	405
01/03/89	2.62	339	23	20	< 1.4	407
01/04/89	2.79	347	27	22	< 1.5	415
06/04/89	2.79	366	30	24	< 1.8	432
04/05/89	2.84	373	31	25	< 1.9	439
01/06/89	2.84	373	31	25	< 1.9	439
04/07/89	2.96	390	32	25	< 2.2	456
24/07/89	2.96	390	32	25	< 2.2	456
05/09/89	3.09	407	33	27	< 2.2	472
10/10/89	3.19	419	34	29	< 2.2	484
06/11/89	3.29	431	35	30	< 2.2	497
04/12/89	3.32	434	35	31	< 2.2	500
01/01/90	3.46	452	36	33	< 2.3	517
05/02/90	3.59	468	38	35	< 2.3	533
27/02/90	3.72	485	39	37	< 2.3	549
06/04/90	3.87	504	41	39	< 2.3	570
04/05/90	3.93	512	42	39	< 2.3	580
01/06/90	3.96	516	42	40	< 2.4	584
06/07/90	4.15	540	45	42	< 2.4	611
03/08/90	4.17	542	45	42	< 2.4	613
07/09/90	4.28	557	47	43	< 2.4	629
05/10/90	4.36	567	48	44	< 2.4	640

Datum	L/S-verh. l/kg	Arseen mg/kg	Cadmium mg/kg	Chroom mg/kg	Mangaan mg/kg	Molybdeen mg/kg	Vanadium mg/kg
01/04/87							
16/04/87	0.07	0.000	< 0.0001	< 0.0004	0.064	< 0.001	< 0.001
01/05/87	0.09	0.000	< 0.0001	< 0.0005	0.092	< 0.001	< 0.002
01/06/87	0.21	0.000	< 0.0001	< 0.0006	0.162	0.003	< 0.003
01/07/87	0.32	0.002	< 0.0001	< 0.0008	0.172	0.004	< 0.004
01/08/87	0.44	0.003	< 0.0002	< 0.0009	0.183	0.006	< 0.005
01/09/87	0.54	0.003	< 0.0002	< 0.0010	0.189	0.007	< 0.005
01/10/87	0.65	0.004	< 0.0002	< 0.0011	0.195	0.008	< 0.006
01/11/87	0.81	0.005	< 0.0009	< 0.0013	0.197	0.008	< 0.007
01/12/87	0.98	0.006	< 0.0010	< 0.0015	0.200	0.009	< 0.008
01/01/88	1.11	0.006	< 0.0010	< 0.0016	< 0.202	0.009	< 0.008
01/02/88	1.37	0.007	< 0.0010	< 0.0019	< 0.204	0.011	< 0.009
01/03/88	1.52	0.007	< 0.0010	< 0.0020	< 0.206	0.011	< 0.010
01/04/88	1.71	0.008	< 0.0010	< 0.0022	< 0.208	0.016	< 0.010
01/05/88	1.71	0.008	< 0.0010	< 0.0022	< 0.208	0.016	< 0.010
01/06/88	1.74	0.008	< 0.0010	< 0.0022	< 0.209	0.016	< 0.010
01/07/88	1.76	0.008	< 0.0010	< 0.0022	< 0.209	0.016	< 0.010
01/08/88	1.97	0.010	< 0.0011	< 0.0025	< 0.216	0.019	< 0.011
01/09/88	2.06	0.011	< 0.0012	< 0.0025	< 0.219	0.019	< 0.011
01/10/88	2.19	0.012	< 0.0014	< 0.0027	< 0.223	0.020	< 0.011
01/11/88	2.27	0.012	< 0.0015	< 0.0028	< 0.225	0.020	< 0.012
01/12/88	2.35	0.013	< 0.0016	< 0.0028	< 0.226	0.020	< 0.012
01/01/89	2.53	0.014	< 0.0018	< 0.0030	< 0.230	0.020	< 0.012
01/02/89	2.57	0.014	< 0.0018	< 0.0031	< 0.231	0.020	< 0.013
01/03/89	2.62	0.014	< 0.0019	< 0.0031	< 0.232	0.020	< 0.013
01/04/89	2.79	0.014	< 0.0021	< 0.0033	< 0.235	0.021	< 0.013
06/04/89	2.79	0.015	< 0.0021	< 0.0036	< 0.243	< 0.021	< 0.014
04/05/89	2.84	< 0.016	< 0.0022	< 0.0036	< 0.244	< 0.022	< 0.015
01/06/89	2.84	< 0.016	< 0.0022	< 0.0036	< 0.244	< 0.022	< 0.015
04/07/89	2.96	< 0.016	< 0.0022	< 0.0037	< 0.246	< 0.022	< 0.017
24/07/89	2.96	< 0.016	< 0.0022	< 0.0037	< 0.246	< 0.022	< 0.017
05/09/89	3.09	< 0.017	< 0.0024	< 0.0039	< 0.249	< 0.022	< 0.020
10/10/89	3.19	< 0.018	< 0.0026	< 0.0040	< 0.251	< 0.023	< 0.022
06/11/89	3.29	< 0.018	< 0.0027	< 0.0041	< 0.253	< 0.023	< 0.024
04/12/89	3.32	< 0.018	< 0.0027	< 0.0041	< 0.254	< 0.023	< 0.025
01/01/90	3.46	< 0.019	< 0.0029	< 0.0043	< 0.257	< 0.024	< 0.028
05/02/90	3.59	< 0.020	< 0.0031	< 0.0044	< 0.259	< 0.024	< 0.030
27/02/90	3.72	< 0.021	< 0.0033	< 0.0046	< 0.262	< 0.025	< 0.033
06/04/90	3.87	< 0.022	< 0.0034	< 0.0047	< 0.273	< 0.025	< 0.036
04/05/90	3.93	< 0.022	< 0.0035	< 0.0048	< 0.279	< 0.025	< 0.037
01/06/90	3.96	< 0.023	< 0.0036	< 0.0048	< 0.281	< 0.025	< 0.038
06/07/90	4.15	< 0.024	< 0.0038	< 0.0050	< 0.294	< 0.026	< 0.041
03/08/90	4.17	< 0.024	< 0.0038	< 0.0050	< 0.296	< 0.026	< 0.042
07/09/90	4.28	< 0.025	< 0.0039	< 0.0052	< 0.304	< 0.026	< 0.044
05/10/90	4.36	< 0.026	< 0.0040	< 0.0053	< 0.308	< 0.027	< 0.046

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

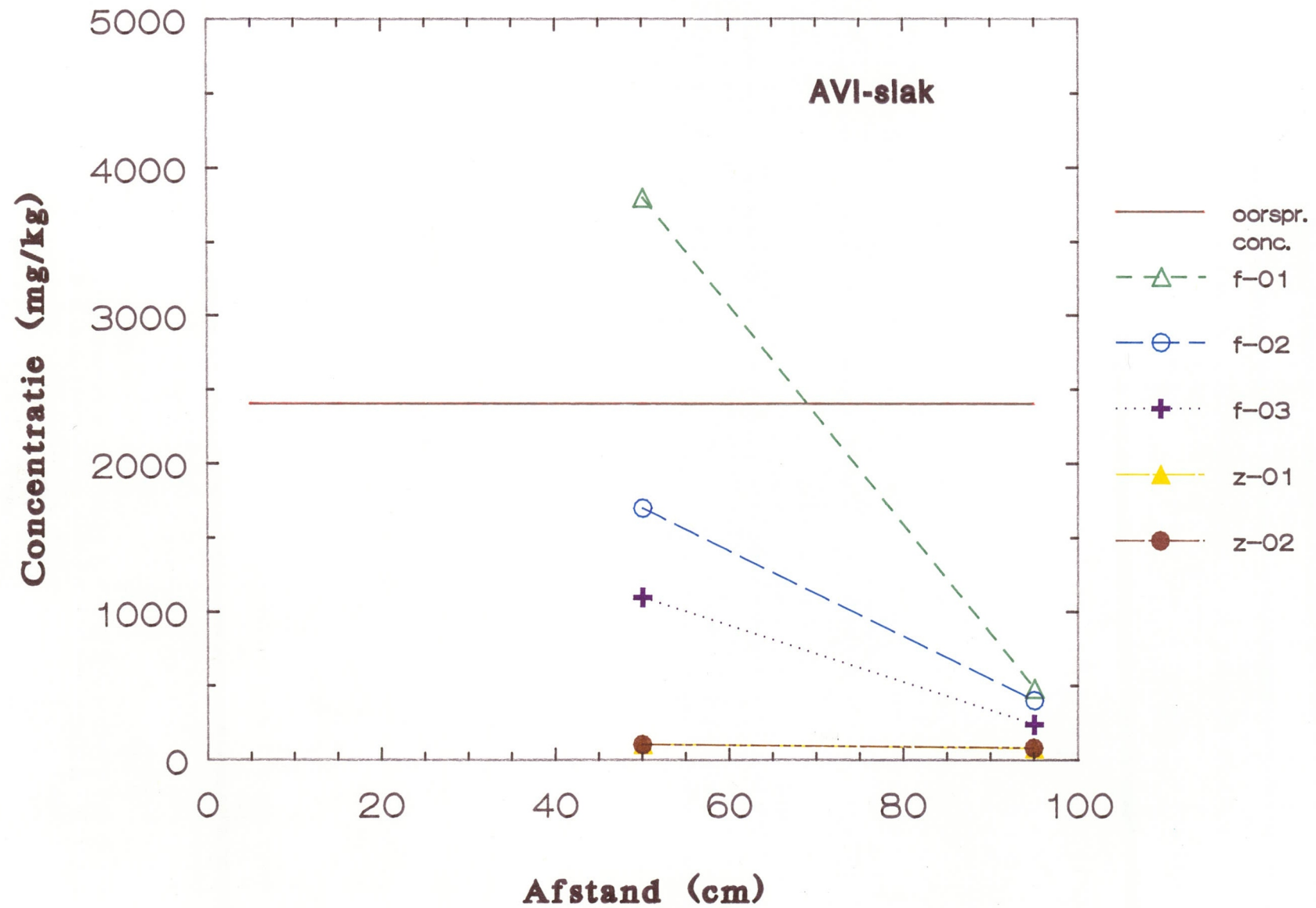
Bijlage 9 Concentratieprofielen

Factoren die een rol spelen bij de vertaling van resultaten van laboratorium-uitloogexperimenten naar praktijksituaties (Project O1 Taakstellend Plan)

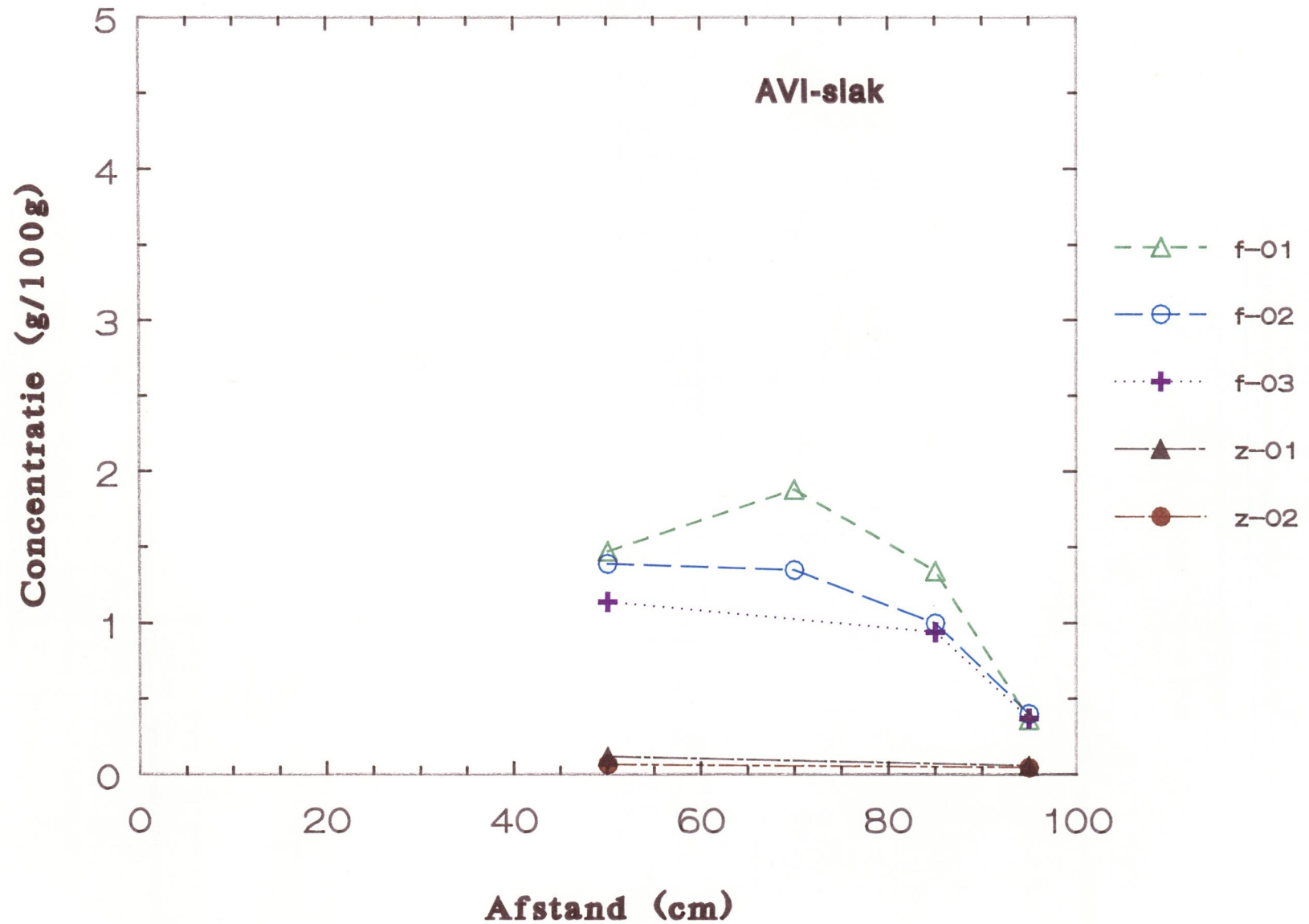
De hierna volgende concentratieprofielen worden achtereenvolgens per blad gegeven:

- Concentratieprofielen chloride bak 1
- Concentratieprofielen sulfaat bak 1
- Concentratieprofielen arseen bak 2
- Concentratieprofielen cadmium bak 2
- Concentratieprofielen molybdeen bak 2
- Concentratieprofielen vanadium bak 2
- Concentratieprofielen calcium bak 3
- Concentratieprofielen arseen bak 7
- Concentratieprofielen chroom bak 7
- Concentratieprofielen molybdeen bak 7
- Concentratieprofielen vanadium bak 7
- Concentratieprofielen zink bak 7
- Concentratieprofielen chloride bak 7
- Concentratieprofielen sulfaat 7

Concentratieprofielen bak 1 Chloride

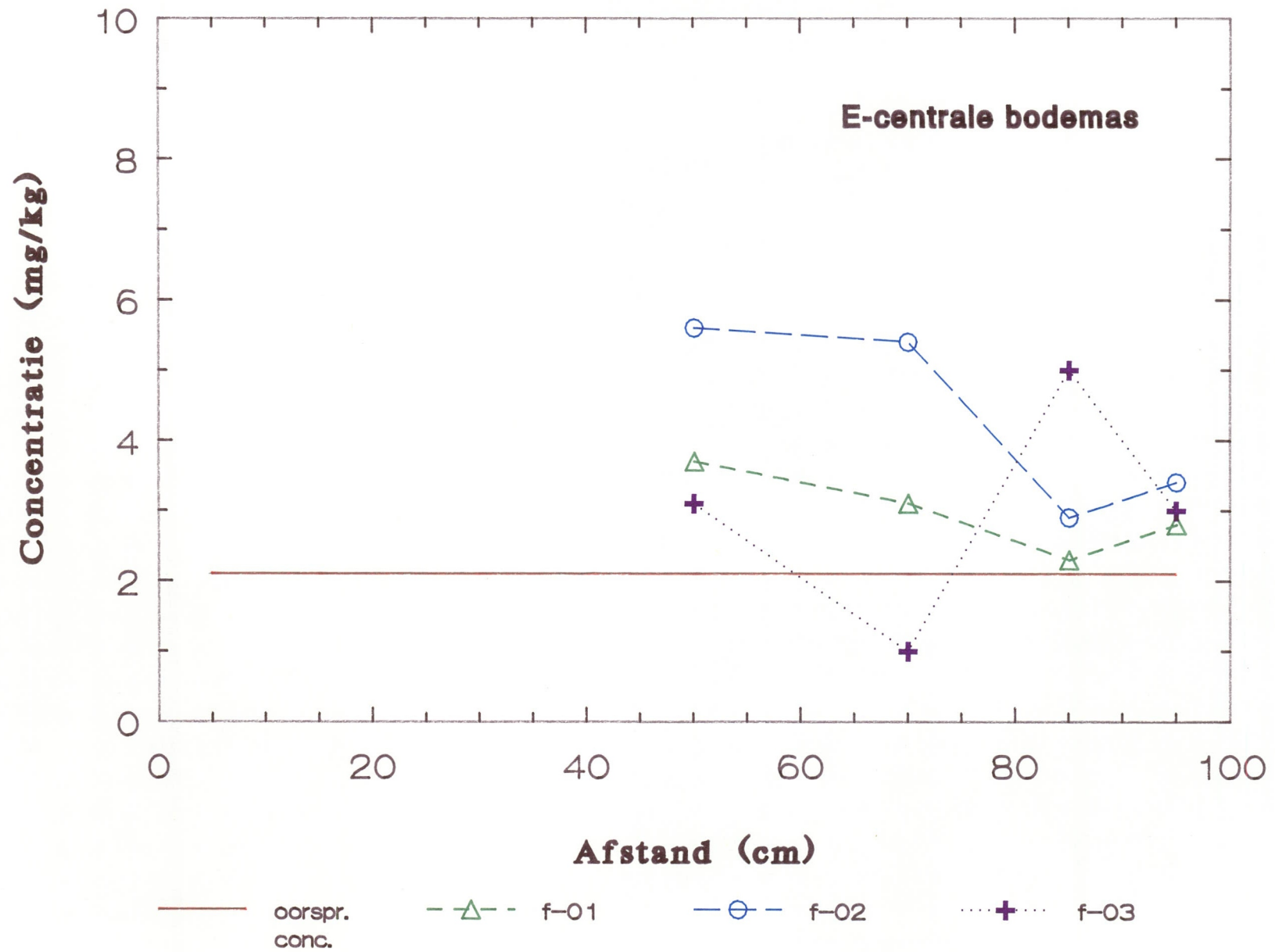


Concentratieprofielen bak 1 Sulfaat

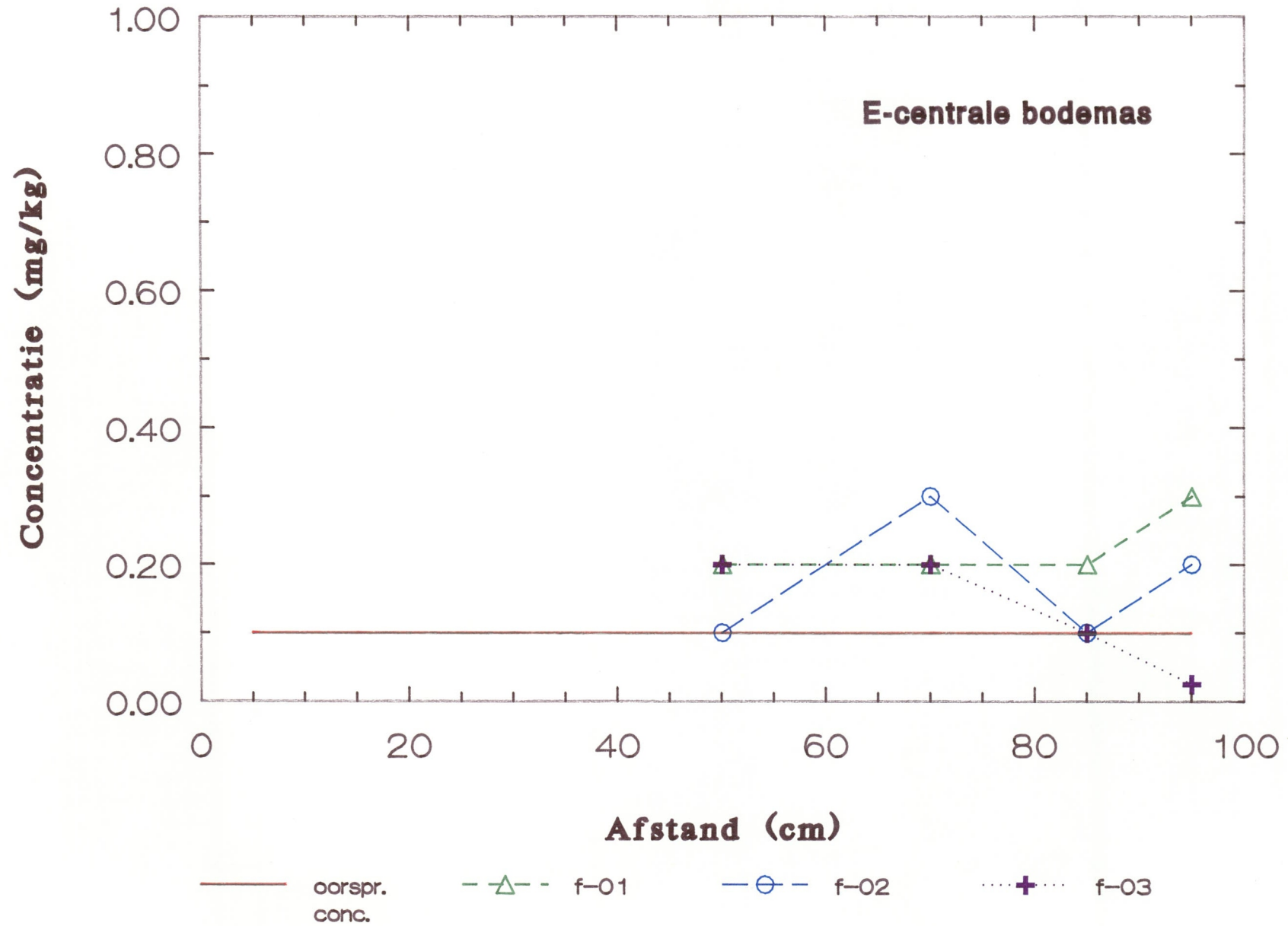


Concentratieprofielen bak 2

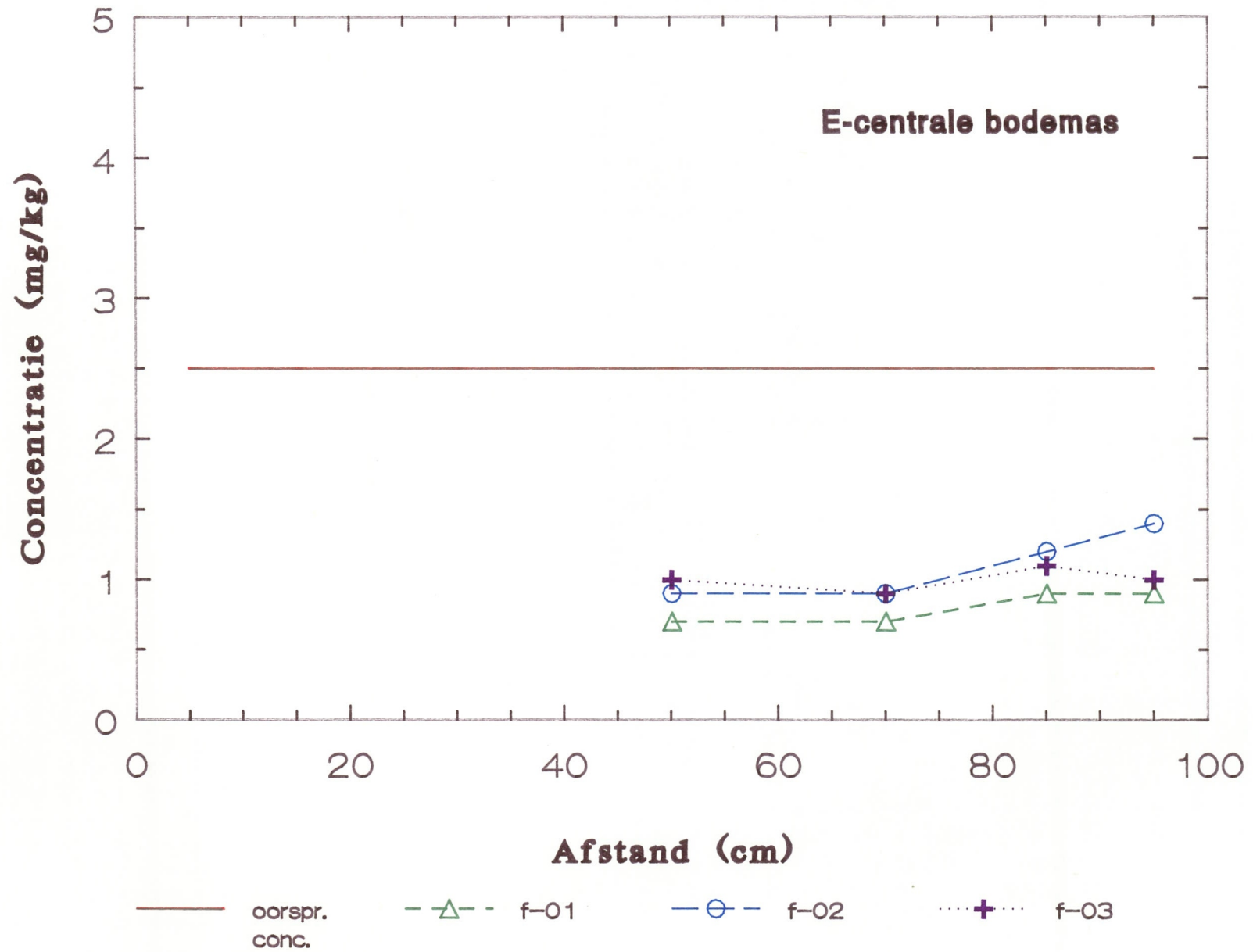
Arseen



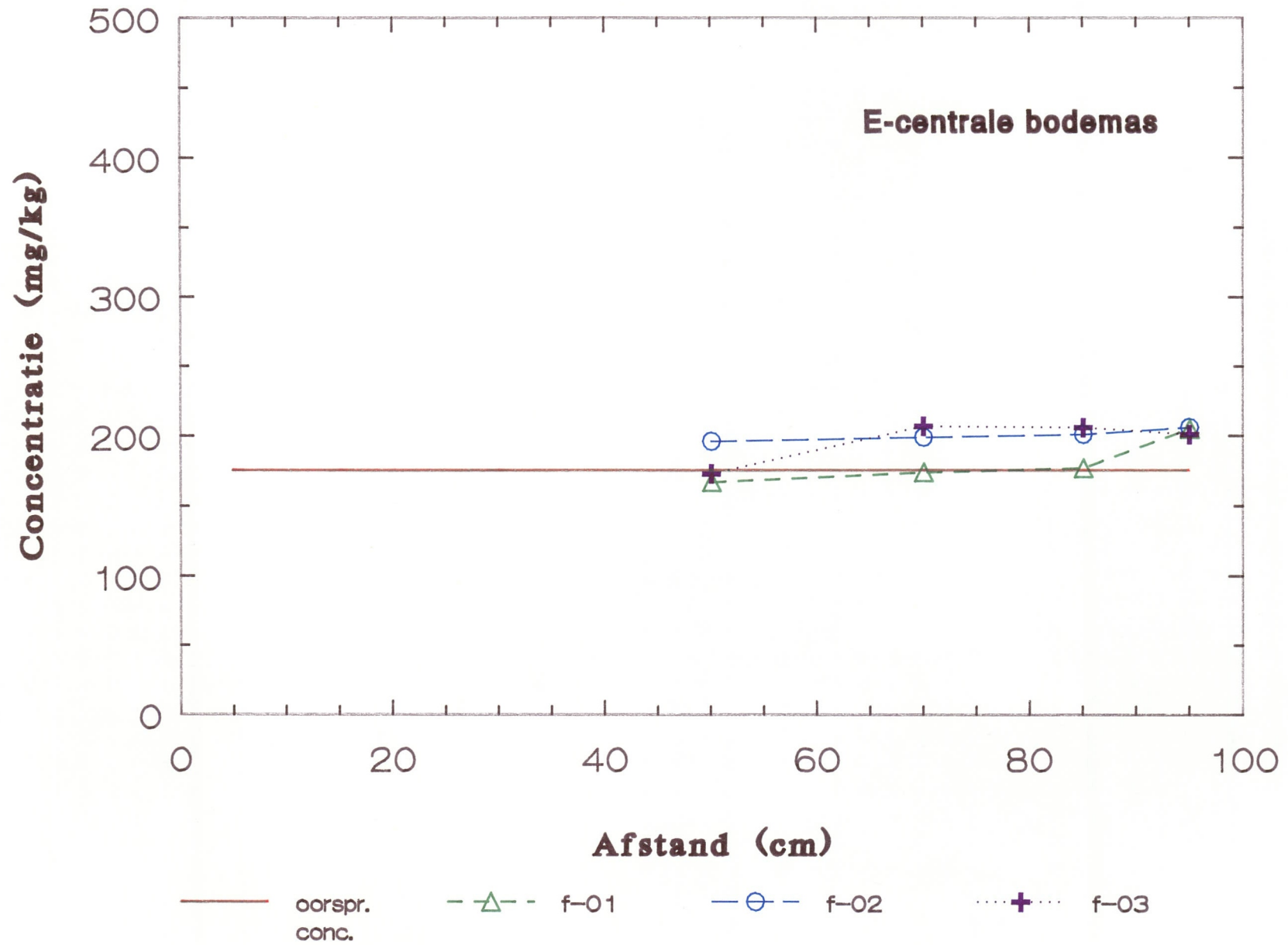
Concentratieprofielen bak 2 Cadmium



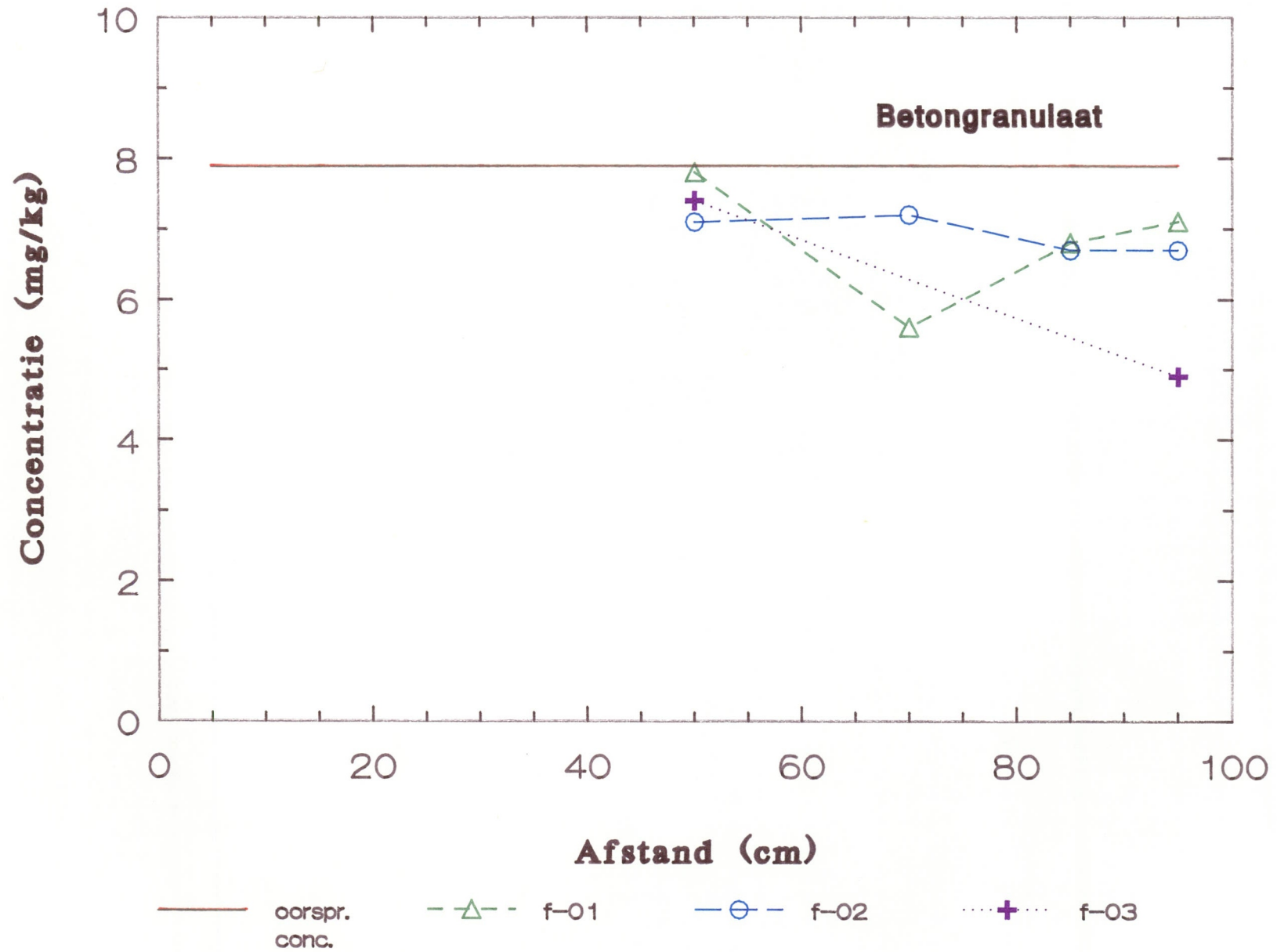
Concentratieprofielen bak 2 Molybdeen



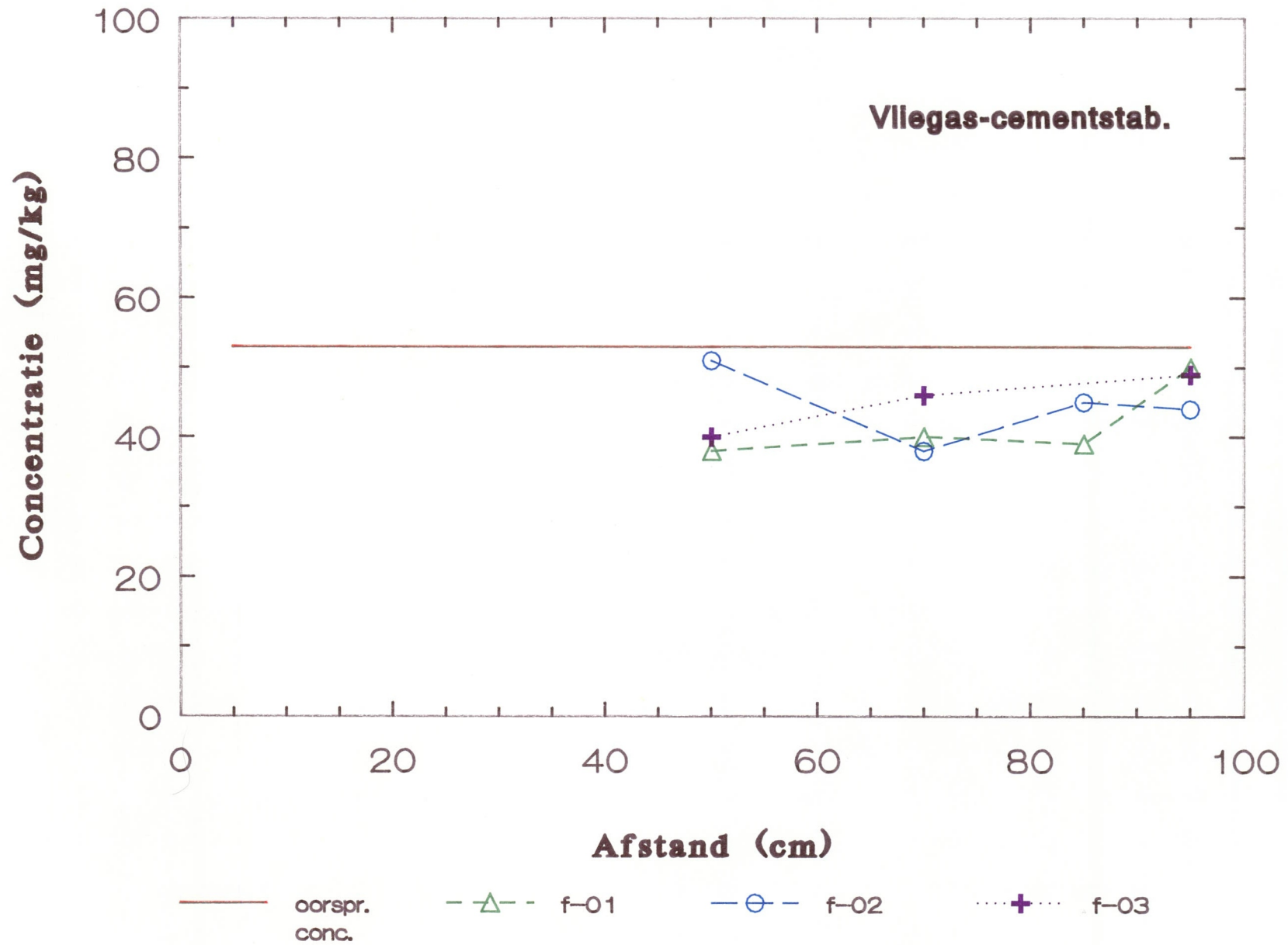
Concentratieprofielen bak 2 Vanadium



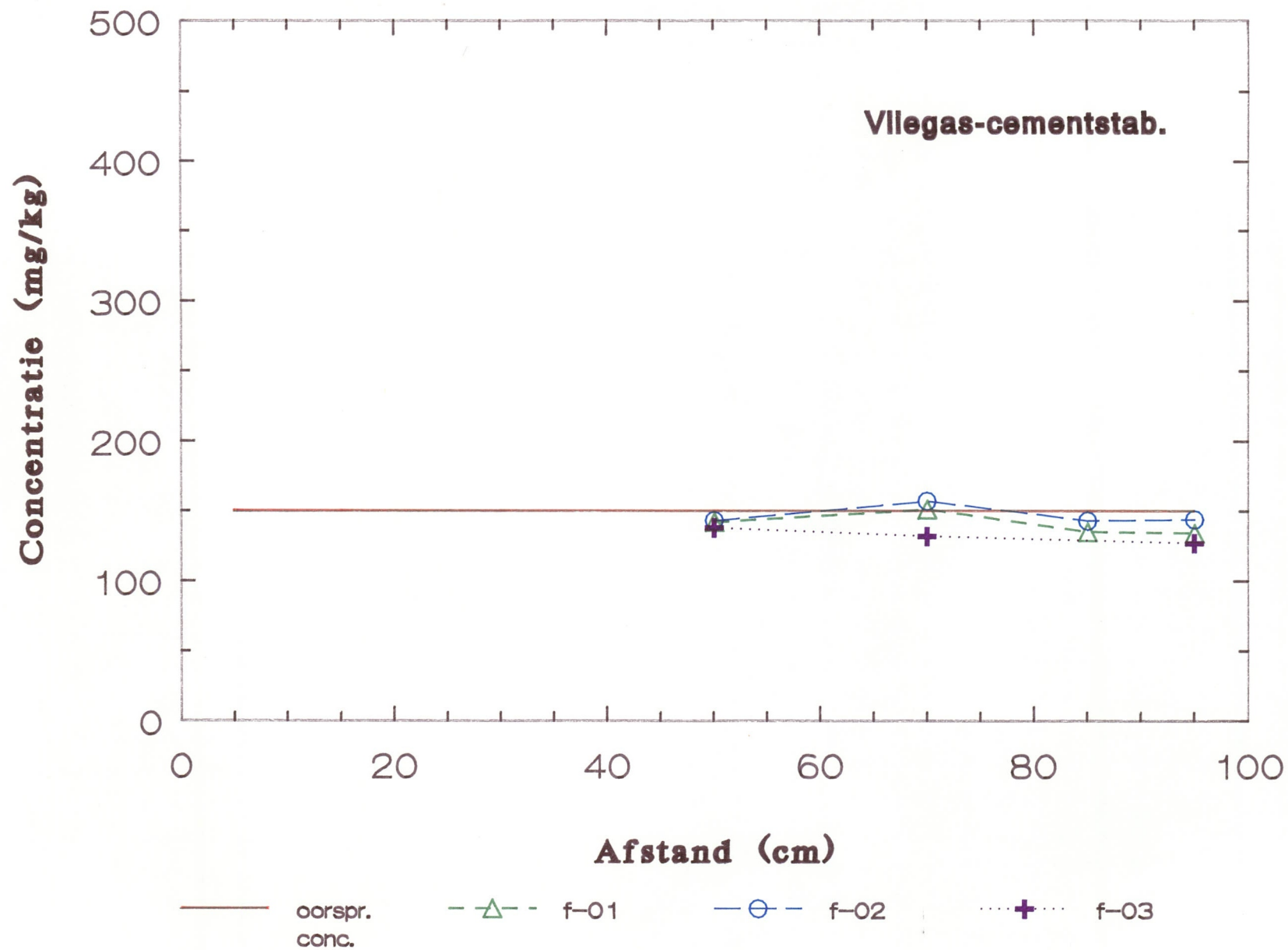
Concentratieprofielen bak 3 Calcium



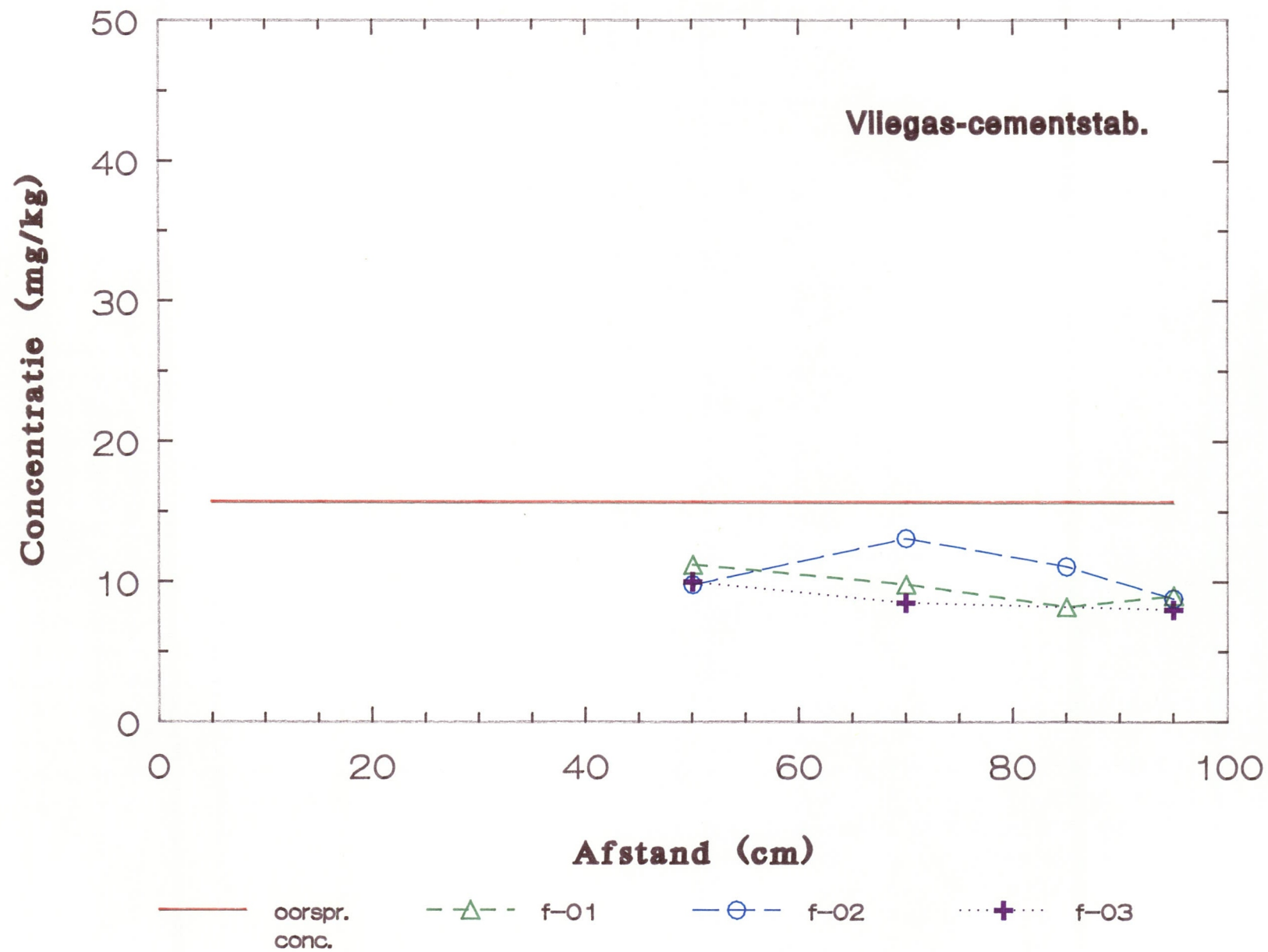
Concentratieprofielen bak 7 Arseen



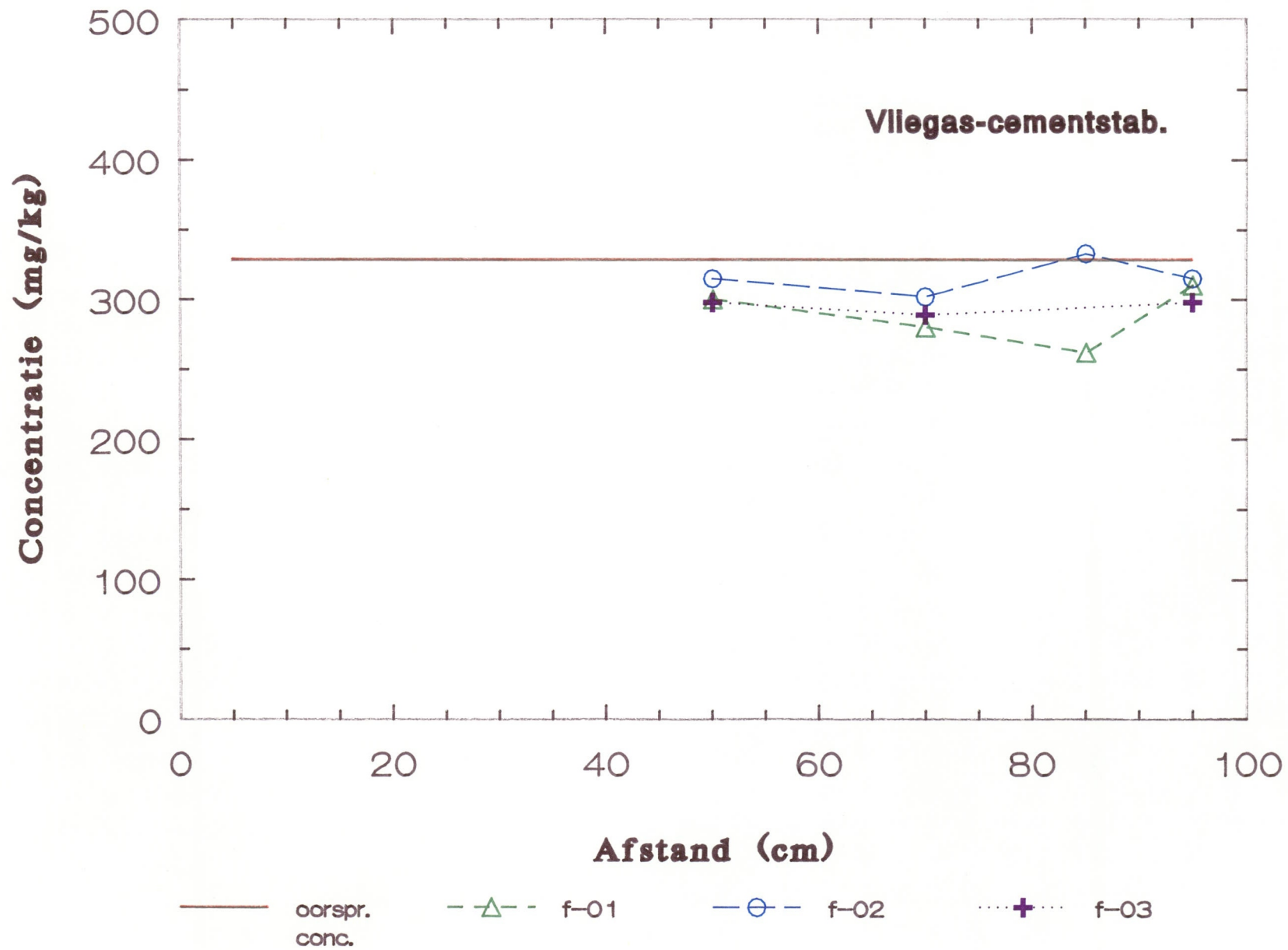
Concentratieprofielen bak 7 Chroom



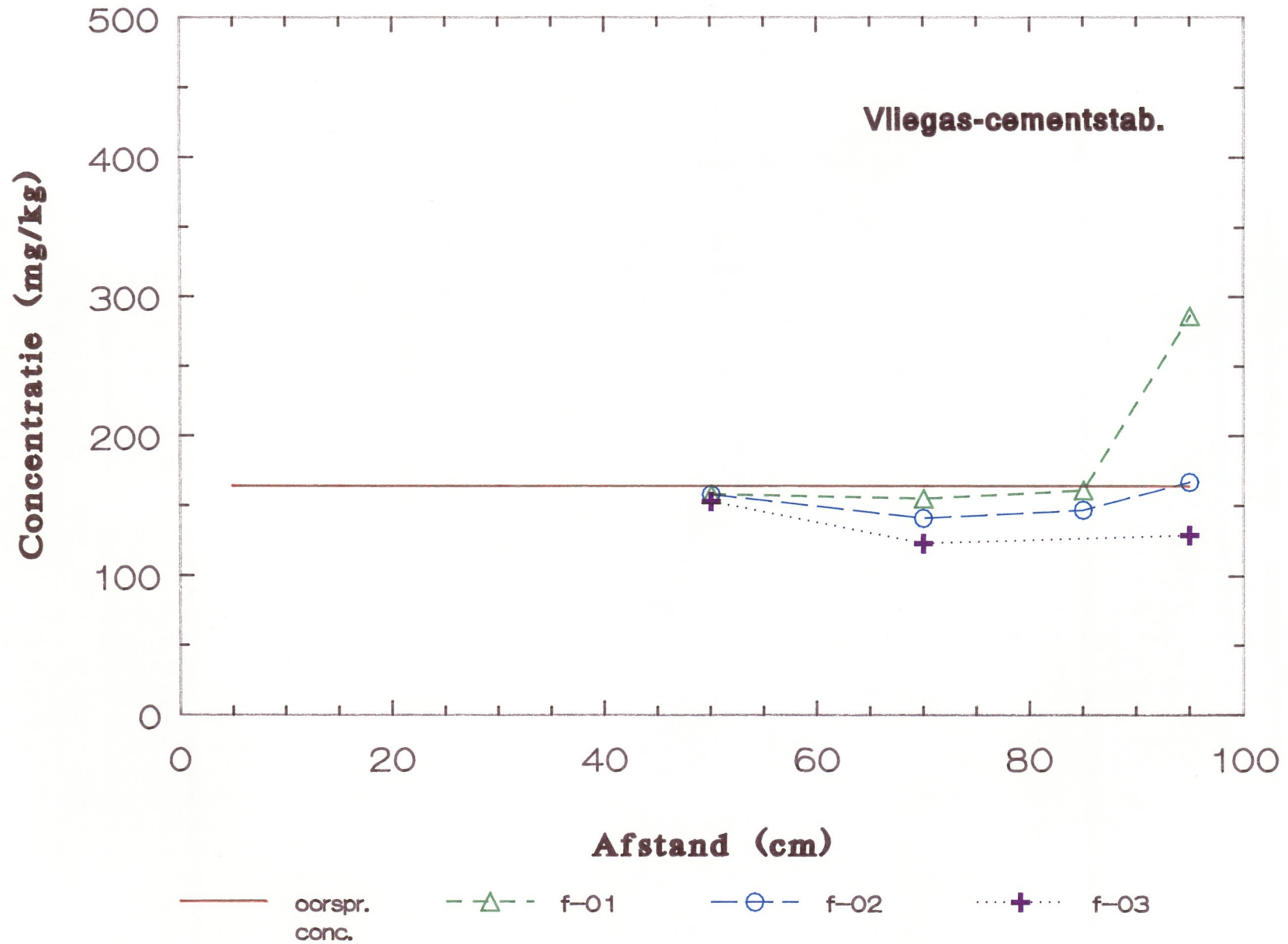
Concentratieprofielen bak 7 Molybdeen



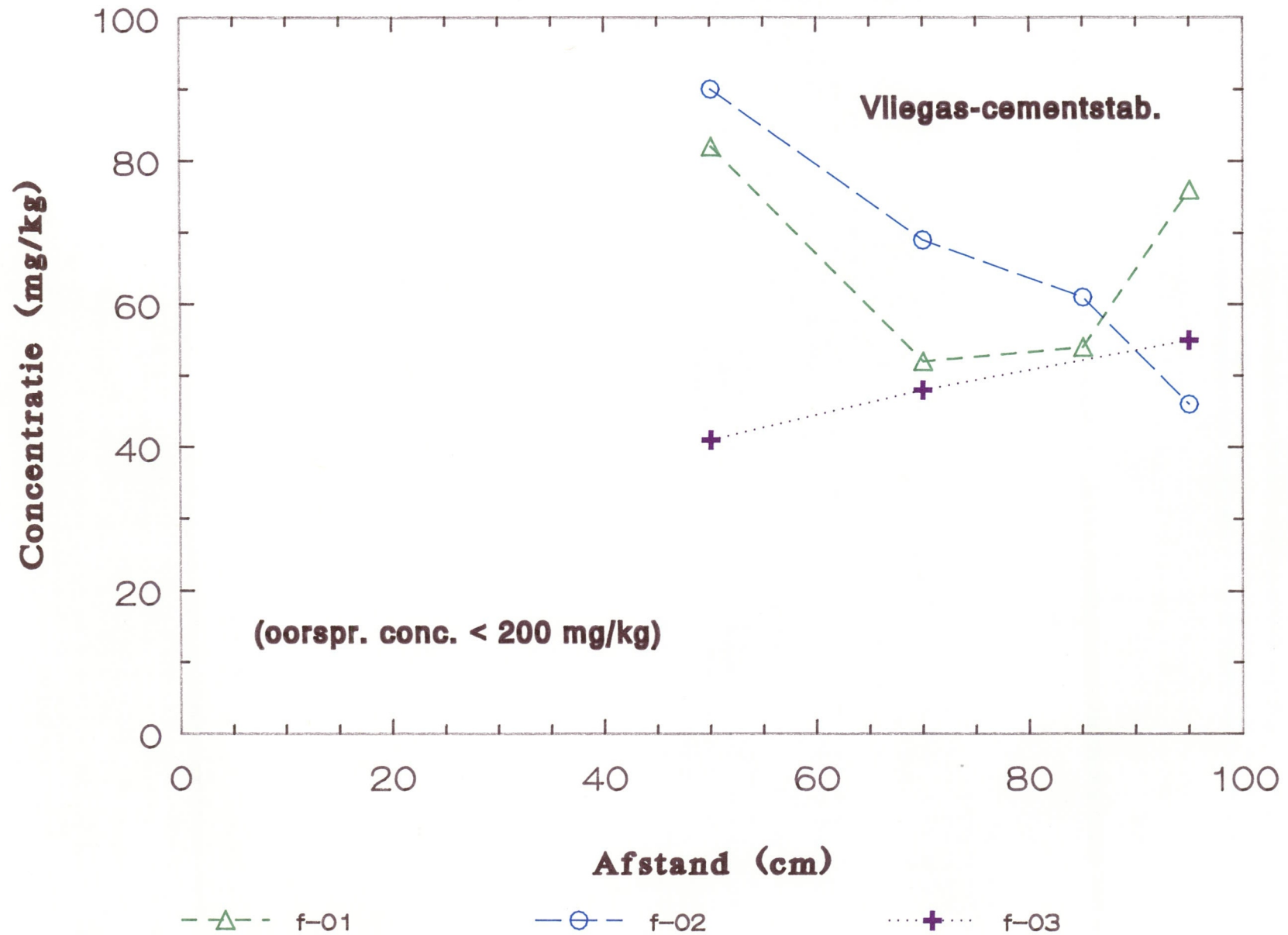
Concentratieprofielen bak 7 Vanadium



Concentratieprofielen bak 7 Zink



Concentratieprofielen bak 7 Chloride



Concentratieprofielen bak 7 Sulfaat

