



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems POSW

Deel 2 **Landfarming van baggerspecie:**

laboratorium- en praktijkonderzoek

eindrapport

POSW *Fase II (1992-1996)*



Dit rapport is te bestellen bij Hageman Verpakkers,
Postbus 281, 2700 AG Zoetermeer à f 25,- per stuk.
Betaling na levering; een acceptgiro wordt bijgevoegd.
Het rapport is gratis voor dienstonderdelen van het Ministerie van
Verkeer en Waterstaat.

This publication can be ordered through Hageman Verpakkers,
PO Box 281, 2700 AG Zoetermeer, The Netherlands at DFL 25,-
per copy. Payment on delivery.

**Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW)
fase II (1992-1996)**

projectleiding en secretariaat:

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)

Postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200-70456/70533

**LANDFARMING VAN BAGGERSPECIE: LABORATORIUM- EN
PRAKTIJKONDERZOEK**

EINDRAPPORT

auteurs:

M. de Groot

W.E. van Lierop

opdrachtgevers:

Rijkswaterstaat:

Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW)

Directie Zeeland

uitvoering:

DHV Milieu en Infrastructuur

maart 1995

RIZA Nota: 95013

ISBN: 9036901057

VOORWOORD

Het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW) van de Rijkswaterstaat beoogt het ontwikkelen - uit technisch, milieuhygiënisch en economisch opzicht - van toepasbare technieken voor de sanering van verontreinigde waterbodems.

Het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) is belast met de coördinatie van het POSW. Hiertoe is een programmabureau ingesteld waaronder drie werkgroepen functioneren:

- *techniekoperationalisering*, gericht op haalbaarheidsstudies, opschaling en praktijkproeven van veelbelovende technieken binnen de saneringsprocessen baggeren, scheiden, chemisch of biologisch reinigen en immobiliseren;
- *pilotsaneringen*, waarin de toepasbaarheid van technieken in een integrale saneringsketen op praktijkschaal wordt beproefd;
- *beoordeling* van (ketens van) technieken op milieu-effecten en financieel-economische aspecten.

In de eerste fase van het programma (POSW-I, 1989-1991) is een groot aantal technieken onderzocht op de technische toepasbaarheid en de kosten. Bij afronding waren slechts enkele technieken operationeel en diverse andere veelbelovend. In de huidige tweede fase (POSW-II, 1992-1996) ligt de nadruk op techniekoperationalisering en proefprojecten waarin ketens van technieken op praktijkschaal worden getest.

In het voorliggende rapport worden resultaten en conclusies weergegeven van een onderzoek naar biologische reiniging van baggerspecie door middel van de techniek van landfarming. Van dit onderzoek zijn in de eerste fase van POSW de tussentijdse resultaten gepubliceerd (POSW-I, 1991, deel 10: 'Landfarming van baggerspecie').

Het doel van het onderzoek was het vaststellen van de toepasbaarheid van landfarming voor de natte waterbodems, waarbij met name het verkrijgen van een aëroob milieu in de waterige specie bepalend is voor de biologische afbraak. Het onderzoek werd in de periode december 1989 - augustus 1993 uitgevoerd door DHV Milieu en Infrastructuur in samenwerking met en onder begeleiding van RWS Directie Zeeland en POSW. Omdat de reinigingsresultaten sterk afhankelijk zijn van de specie, zijn twee verschillende species gebruikt: Geulhavenspecie te Rotterdam (zandig, 71 mg PAK/kg ds, 8.100 mg olie/kg ds) en specie uit de Oude Haven 't Sas te Zierikzee (kleïg, 113 mg PAK/kg ds).

Het project bestond uit twee delen: een laboratoriumfase waarin gezocht werd naar optimale condities (bewerkingen en toeslagstoffen) en een praktijkproef waarin de afbraak onder veldcondities gevolgd werd. Dit laatste gebeurde op een proeflocatie nabij de Kreekraksluizen in Zeeland op semi-praktijkschaal (ca. 500 m³).

Het laboratoriumonderzoek heeft niet geleid tot duidelijke aanbevelingen voor optimale condities, vanwege fluctuaties in de gevonden waarden. Daarom is anderhalf jaar na start van de veldproef besloten om twee opties te testen: een 'minimum optie'

(geen bewerkingen, geen toeslagstoffen) en een 'maximum optie' (regelmatig ploegen en toevoegen van houtchips, compost en entslib).

De meeste afbraak bleek op te treden in het eerste half jaar, waarna de afbraak langzamer verliep. Voor de verwijdering van PAK waren de resultaten na een en drieënehalf jaar respectievelijk 80% en 93% (tot 5 mg/kg ds) voor Geulhavenspecie en 60% en 80% (tot 22 mg/kg ds) voor Zierikzeespecie. In de Geulhavenspecie was het oliegehalte na drieënehalf jaar teruggebracht tot ca. 250 mg/kg ds. Ondanks het feit dat de optimale procescondities pas na anderhalf jaar waren aangelegd, was een effect te zien in snellere reiniging (Geulhavenspecie) of verdergaande reiniging (Zierikzeespecie). Omdat ook organische stof werd afgebroken, heeft deze afbraak alleen voor Geulhavenspecie geleid tot een verlaging van de klasse-indeling (klasse 4 naar 3).

Een restconcentratie is bij biologische reiniging van bodem en sedimenten een algemeen voorkomend verschijnsel en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door sterke binding van de verontreinigingen aan de bodemmatrix. Of deze gebonden verontreinigingen schadelijk zijn voor het milieu, moet nog nader met eco(toxico)logische testen worden vastgesteld.

De kosten voor landfarming worden geschat tussen de 50 en 75 gulden per ton droge stof, afhankelijk van de benodigde verblijftijd. De conclusie hiervan is dat met landfarming, tegen een schappelijke prijs, een goede afbraak van olie en PAK in baggerspecie mogelijk is. Voor toepassing in de praktijk blijven nog twee punten van optimalisatie over: het verlagen van restconcentraties en het versnellen van de afbraak in de eerste periode. De afbraaksnelheden (en dus verblijftijden) en bereikte eindconcentraties zijn afhankelijk van de te behandelen specie.

Om de restconcentratie te verlagen worden de Zierikzee- en Geulhavenspecie in een aansluitend POSW project (1993 - 1996) nabehandeld in een zogenaamde 'extensieve landfarm'. Hierbij worden geen behandelingen uitgevoerd en wordt veel tijd gegund om de afbraak plaats te laten vinden. Voorts is een nieuw POSW-project gestart op de velden nabij de Kreekraksluizen, waarbij speciale aandacht zal worden besteed aan de ontwatering van het slib in de eerste periode. Het zo snel mogelijk verkrijgen van een aërobe structuur is bepalend voor de afbraak en de verblijftijd. Er wordt gewerkt met een sterk en een licht verontreinigde specie, waarbij voor beide species de effecten van bewerken en beplanten worden bekeken.

Lelystad, 1994

dr. M.M.A. Ferdinandy
Projectgroep Biologisch Reinigen POSW-II

Inhoud

	Blz.
Samenvatting	3
Inleiding en doel	3
Laboratoriumonderzoek	3
Veldonderzoek	4
Resultaten van het veldonderzoek	5
Conclusies	6
1 Inleiding	7
2 Doelstelling	9
3 Werkwijze	11
3.1 Het opbrengen van de baggerspecie op de proefvelden van de landfarmingslocatie	12
3.2 Voorbereidingen voor het laboratoriumonderzoek	15
3.3 Uitvoering van het vóór-laboratoriumonderzoek	15
3.4 Uitvoering van het laboratoriumonderzoek	17
3.4.1 Het drogen/ontwateren van de baggerspecie	17
3.4.2 Simulatie van een aantal proefcondities	17
3.4.3 Aanvullend verdampingsonderzoek	21
3.4.4 Bacterietellingen	22
3.5 Uitvoering van het veldonderzoek	23
3.5.1 Activiteiten gedurende fase 1	23
3.5.2 Activiteiten gedurende fase 2	27
3.5.3 Overzicht van tijdens het veldonderzoek uitgevoerde monsternamen en bewerkingen	28
4 Resultaten	31
4.1 Vóór-laboratoriumonderzoek	31
4.2 Laboratoriumonderzoek	32
4.2.1 Simulatie van een aantal proefcondities	32
4.2.2 Aanvullend verdampingsonderzoek	40
4.2.3 Bacterietellingen	41

4.3	Veldonderzoek	42
4.3.1	Monstername/analyse-procedure	42
4.3.2	Analyseresultaten	43
4.3.3	Bespreking van de resultaten van fase 1	51
4.3.4	Bespreking van de resultaten van fase 2	53
4.3.5	Bespreking van de resultaten m.b.t. het gehele veldonderzoek	54
5	Discussie en conclusies	59
5.1	Afbraak van PAK's en minerale olie	59
5.2	Effekt van bewerking op de afbraak van verontreinigingen	60
5.3	Geulhaven- versus Zierikzeespecie	60
5.4	Uitloging PAK's	61
5.5	Landfarming op laboratoriumschaal	61
5.6	Optimalisatie van de wijze van bemonsteren	61
5.7	Aanbevelingen voor optimalisatie landfarmingstechniek voor baggerspecie	62
5.8	Aanbeveling voor de afronding van het landfarmingsproces	63

BIJLAGEN:

1	Analysepakketten en -methoden
2	Bepaling van een nieuwe monstername/analyseprocedure
3	Analyseresultaten van de startmonsters en de toeslagstoffen
4	Niet-genormeerde analyseresultaten van de tussentijdse en de eindmonsters in de 14 kolommen
5	Niet genormeerde analyseresultaten veldonderzoek

Samenvatting

Inleiding en doel

In opdracht van Rijkswaterstaat, RIZA en directie Zeeland, is door DHV Milieu & Infrastructuur in het kader van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW), fase 1, een onderzoek uitgevoerd naar de biologische reiniging van verontreinigde baggerspecie volgens het systeem van landfarming.

Het doel van het onderzoek was na te gaan of op kleinschalige wijze verontreinigde baggerspecie, afkomstig uit de haven van Zierikzee en de Geulhaven, door middel van het systeem van landfarming kan worden gereinigd. Hierbij zouden uit de specie uit de haven van Zierikzee PAK's verwijderd moeten worden en uit de specie uit de Geulhaven olie en PAK's.

Het onderzoek bestond uit 2 delen: een laboratoriumonderzoek en een veldonderzoek. In dit rapport zijn de in de proefperiode (december 1989 - augustus 1993) uitgevoerde activiteiten en de verkregen onderzoeksresultaten beschreven. De in 1991 verschenen tussenrapportage (POSW fase 1, deelrapport 10; Landfarming van Baggerspecie) m.b.t. dit project is integraal in dit eindrapport verwerkt.

Laboratoriumonderzoek

In een eerste fase, het vóór-laboratoriumonderzoek, zijn enkele eenvoudige proeven uitgevoerd om een beeld te krijgen van een aantal specie-eigenschappen. Uit de proeven is gebleken, dat de specie gedroogd moest worden vóór gebruik bij de simulatie van een aantal proefcondities in het laboratorium. Deze condities zouden mogelijk in een later stadium tijdens het veldonderzoek op grotere schaal kunnen worden toegepast. De tweede fase van het laboratoriumonderzoek startte in februari 1990 met de simulatie van verschillende proefcondities in veertien proefkolommen, waarbij diverse toeslagstoffen en proefparameters in verschillende combinaties zijn toegepast.

Het bleek dat er nauwelijks sprake was van een verticale zuurstofgradiënt over de kolommen en dat het zuurstofgehalte vrijwel overal 20 à 21 % bedroeg, zodat er van zuurstoflimitatie in de speciemaassa in de kolommen geen sprake was. Het is echter wel waarschijnlijk dat bij de slibachtige Zierikzeespecie op microschaal (binnen de specieklonten) zuurstoflimitatie is opgetreden met een beperkte PAK-afbraak als gevolg. Verder is gebleken dat er nauwelijks uitspoeling van PAK's met drainage-/percolatiewater optreedt.

De PAK-en oliegehaltes in de Geulhavenspecie zijn in de loop van het laboratoriumonderzoek tot ca. 15 % van de oorspronkelijke gehalten (startconcentraties: minerale olie 8100 mg/kg d.s., PAK's 71 mg/kg d.s.) gedaald. Hierbij kon geen aanwijsbaar verschil tussen de verschillende geteste condities aangetoond worden. Onder anaërobe condities was daarentegen geen duidelijke afname waarneembaar. De interpretatie van de resultaten werd bemoeilijkt door fluctuaties in de gevonden waarden. Afname van de PAK-gehalten in de Zierikzeespecie kon daarom niet worden vastgesteld (start concentratie PAK's 113 mg/kg d.s.). Bij Zierikzeespecie kon evenmin onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende geteste condities. Vanwege de geringe hoeveelheid specie in de kolommen konden deze fluctuaties niet worden uitgemiddeld door een uitgebreide monsternamen uit te voeren, zoals tijdens het veldonderzoek heeft plaatsgevonden.

Veldonderzoek

In het veldonderzoek zijn 3 perioden te onderscheiden:

- Opbrengen en drogen van de specie gedurende 4 tot 6 maanden (onderdeel van fase 1)
- Bewerking en monitoring van de velden gedurende circa 12 maanden (onderdeel van fase 1)
- Inrichting van de velden volgens een minimum en maximum optie, bewerking en monitoring gedurende circa 24 maanden (fase 2)

Bij de start van het veldonderzoek is in februari 1990 op 8 velden Zierikzeespecie (laagdikte ca. 15 cm) en in december 1989 op 2 velden Geulhavenspecie (laagdikte ca. 30 cm) gebracht. Op enkele van deze velden heeft gedurende ca. 1,5 jaar eenmaal omzetting van het slib plaatsgevonden en zijn twee velden gedurende 6 weken onder water gezet. Ook tijdens het veldonderzoek bleken de PAK-gehaltenes, voornamelijk bij de velden met Zierikzeespecie, sterk te fluctueren. Gedurende de eerste weken nam het PAK-gehalte sterk af. Daarna bleef ongeveer hetzelfde peil gehandhaafd, voorzover dit vastgesteld kon worden bij de sterk fluctuerende waarden. Om de genomen monsters beter te kunnen homogeniseren zijn zij vanaf juni 1990 voor analyse cryogeen vermalen.

Om de fluctuaties in de PAK-gehaltenes zoveel mogelijk uit te middelen is daarna een uitgebreide monsternamen uitgevoerd om een nieuwe monsternamen/analyse-procedure vast te kunnen stellen. Uit op de resultaten gebaseerde berekeningen bleek dat om een gemiddeld PAK-gehalte te verkrijgen met een maximale afwijking van het gemiddelde van 20 % 400 mengmonsters geanalyseerd zouden moeten worden. Omdat dit geen reële optie was, is besloten om van het principe van mengmonsters af te stappen en het verloop van het PAK-gehalte vanaf juli 1991 te volgen aan de hand van een aantal van steekmonsters per veld.

Begin juli 1991 is gestart met fase 2 van het veldonderzoek door middel van het verder inrichten van een aantal velden. Er zijn slechts 4 velden ingericht in plaats van de oorspronkelijk geplande 10. Vergelijking tussen verschillende proefcondities zou naar verwachting nauwelijks mogelijk zijn vanwege de te kleine concentratieverschillen tussen de condities ten opzichte van de fluctuaties. Voor beide speciesoorten (Geulhaven- en Zierikzeespecie) is daarom gekozen voor een minimum en een maximum optie, waarvan verwacht werd dat de concentratieverschillen tussen deze condities maximaal zouden zijn. Op 2 velden, waarop als referentie de minimum optie is uitgevoerd, is de specie gedurende het onderzoek niet bewerkt. De maximum optie op de overige 2 velden bestond uit het toevoegen van GFT-compost, houtchips en entslib en het regelmatig omzetten van de specie. De monsternamen op de velden met de minimum en maximum optie en de analyse van de monsters hebben plaatsgevonden door middel van de tijdens het project vastgestelde nieuwe procedure.

Tijdens de proefperiode bleek afbraak in de winter niet of nauwelijks plaats te vinden. In de zomerperiode kwam de afbraak weer op gang.

Resultaten van het veldonderzoek

Bij de start van het veldonderzoek bevatte de Geulhavenspecie 71 mg/kg d.s. PAK's, 8100 mg/kg d.s. minerale olie en 7,1 % d.s. organische stof. Zierizeespecie bevatte 113 mg/kg d.s. PAK's en 6,2 % d.s. organische stof. Zowel de Zierikzee- als de Geulhavenspecie vielen in klasse 4.

Vlak voor de start van fase 2 was het gehalte aan minerale olie op de bewerkte velden met Geulhavenspecie afgenomen tot 1500 mg/kg d.s. en op de niet bewerkte tot 2500 mg/kg. Het PAK-gehalte op deze velden is afgenomen tot ca. 10 à 20 mg/kg d.s., waarbij de waarden voor de bewerkte velden enigszins lager bleken. Bij Zierikzeespecie waren de PAK-gehalten in dezelfde periode gedaald tot ca. 55 mg/kg d.s. (deze waarde was reeds na 18 weken bereikt). Het gemeten organisch stof gehalte in de Zierikzeespecie was op dat moment ongeveer gelijk aan de startwaarde. Bij Geulhavenspecie was dit gedaald tot ca. 4,5 % d.s. voor zowel de bewerkte als de niet bewerkte velden. De Zierikzeespecie viel nog altijd in klasse 4, de Geulhaven specie op de grens tussen klasse 3 en klasse 4.

Aan het eind van de totale proefperiode was het gehalte minerale olie op de Geulhavenvelden afgenomen tot 200 à 300 mg/kg d.s. (2,5 à 3,5 % van de startwaarde). Het PAK-gehalte is verder gedaald tot ca. 5 mg/kg d.s. (7 % van de startwaarde). Bij Zierikzeespecie waren de PAK-gehalten verder gedaald tot 20 à 25 mg/kg d.s. (18 à 22 % van de startwaarde). De laatste analyseresultaten gaven een enigszins positiever beeld te zien dan de trend van de daaraan voorgaande resultaten deed verwachten. Velden, waarop de maximum optie was uitgevoerd, gaven een lagere eindwaarde voor het gehalte aan organische verontreinigingen te zien (Zierikzeespecie) of bereikten deze eindwaarde in een eerder stadium (Geulhavenspecie) dan de velden met de minimum optie. Het gemeten organisch stof gehalte van de Zierikzeespecie met de minimum optie is licht afgenomen tot ca. 6,3 % d.s.. Bij de maximumoptie was dit afgenomen tot ca. 4,6 % d.s.. Bij Geulhavenspecie was het gemeten organisch stof gehalte afgenomen tot ca. 4,2 % d.s.. Ondanks de sterke afname van het gehalte aan verontreinigingen moet Zierikzeespecie ook na reiniging volgens de minimum optie nog gekwalificeerd worden als klasse 4 specie als gevolg van een overschrijding van de norm door een zwarte lijst stof. De overschrijding van de klassegrens is echter zeer gering. Na bewerking volgens de maximum optie valt de specie in klasse 3. Geulhavenspecie is na reiniging in kwaliteit verbeterd van klasse 4 naar klasse 3 (wat minerale olie betreft zelfs klasse 1). Hierbij wordt de grens van klasse 2 slechts minimaal overschreden.

Bij het vaststellen van de klasse-indeling wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van het TOC-gehalte ter berekening van het organische stof gehalte van de specie. Omdat het TOC-gehalte in tegenstelling tot het gemeten organisch stof gehalte aan het einde van de proefperiode ongeveer gelijk is aan de startwaarde wordt mogelijk een te positief beeld gekregen van de klasse-indeling. Bij toepassing van het gemeten organisch stof gehalte bij de vaststelling van de klasse-indeling wordt voor Zierikzeespecie de grens tussen klasse 3 en 4 en voor Geulhavenspecie de grens tussen klasse 2 en 3 zowel voor de minimum als voor de maximum optie aanzienlijk overschreden.

Conclusies

De belangrijkste conclusie uit het onderzoek is, dat met landfarming een aanzienlijke afname van het PAK- en oliegehalte te bereiken is in zowel Zierikzee- als Geulhavenspecie. Tevens kan geconcludeerd worden dat bewerking van de velden in een verdergaande reiniging resulteert ofwel een in een vroeger stadium bereiken van deze eindwaarden tot gevolg heeft. Hierbij kan tevens worden opgemerkt dat bewerking van de specie ophoping van PAK's in specifieke delen van de specie kan verminderen en daarmee een gunstige invloed kan hebben op de totale afbraak van de verontreinigingen.

Bij Geulhavenspecie is een aanzienlijk snellere en verdergaande PAK-afbraak geconstateerd dan bij Zierikzeespecie. De twee belangrijkste oorzaken hiervan zijn de structuur van de specie en het gehalte aan "zware" PAK's in de Geulhavenspecie. De Geulhavenspecie bestond uit grovere deeltjes dan Zierikzeespecie, met als gevolg een beter zuurstoftransport. Tevens was het gehalte aan "zware" PAK's bij Geulhavenspecie lager dan bij Zierizeehavenspecie, waardoor minder PAK's aan het eind van de proefperiode overbleven.

Er is nauwelijks of geen transport van de verontreiniging uit de baggerspecie naar bodem en grondwater geconstateerd.

Door het nemen en analyseren van steekmonsters i.p.v. mengmonsters is de interpretatie van de analyseresultaten aanzienlijk vereenvoudigd. "Extreme" PAK-gehalten kunnen zo namelijk geïsoleerd worden.

Aan het eind van een landfarmingsperiode is de afnamesnelheid van de gehalten aan verontreinigingen nog slechts zeer laag. De verontreinigingen komen nog slechts zeer langzaam beschikbaar voor afbraak. Het verdient aanbeveling nader te onderzoeken of het zinvol is in deze fase over te gaan op een arbeidsextensievere wijze van landfarming, waarbij de specie in een dikkere laag wordt opgehoopt en met een lagere frequentie wordt bewerkt.

Voor verdere optimalisatie van de landfarmingstechniek is onderzoek naar het effect van een verbeterde toevoeging en vermenging van toeslagstoffen met specie wenselijk. Conditie die de afbraak van de verontreinigingen kunnen versterken zijn:

- Menging van de specie met toeslagstoffen direct bij opbrenging op de velden.
- Zeving en menging vóór het opbrengen van de specie op de velden.
- Bewerking van de velden

De grootste tijdswinst in de afbraak naar aanleiding van deze optimalisatiemogelijkheden wordt verwacht in het begin van de reinigingsperiode.

Naast bovenstaande mogelijkheden tot optimalisatie, die tijdens het project naar voren zijn gekomen, lijken de volgende condities eveneens mogelijkheden te bieden:

- Begroeiing van de velden met diepwortelende gewassen
- Afdekken van de velden met folie.

1 Inleiding

In opdracht van Rijkswaterstaat, RIZA en directie Zeeland, is door DHV Milieu & Infrastructuur BV in december 1989 gestart met het onderzoek naar de biologische reiniging van verontreinigde baggerspecie volgens het systeem van landfarming. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in het kader van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW).

De verwerking van sterk verontreinigde baggerspecie (specie die valt onder de Wca en klasse IV specie) is momenteel nog niet operationeel. Methoden die nu beschikbaar zijn, zoals bijvoorbeeld thermische reiniging, zijn naar het zich laat aanzien weliswaar effectief doch kostbaar. Dit laatste is mede de reden te zoeken naar goedkope reinigingsmethoden waarbij verontreinigde baggerspecie op een doeltreffende wijze gereinigd wordt tegen kosten die lager zijn dan de kosten van andere beschikbare reinigingstechnieken. Ingeval van verontreiniging met micro-verontreinigingen is het daarnaast belangrijk te zoeken naar methoden waarbij sprake is van een afbraak van deze micro-verontreinigingen in plaats van een concentrering, zoals bijvoorbeeld bij extractieve technieken het geval is. In het laatste geval komt immers een sterk verontreinigde, geconcentreerde speciestroom vrij die alsnog moet worden verwerkt.

De landfarmingsmethode is mogelijk zo'n methode gekenmerkt door lage uitvoeringskosten. Bij landfarming wordt het materiaal in een dunne laag uitgespreid, waarbij de verontreinigingen in het materiaal door micro-organismen onder aërobe condities worden afgebroken. Behalve voor de bewerkingen bij het uitspreiden, het eventueel mengen en het omzetten van de baggerspecie wordt verder geen energie gebruikt en heeft het proces nauwelijks aandacht nodig. Voor baggerspecie is het echter een betrekkelijk nieuwe reinigingstechniek. Landfarming van baggerspecie zonder enige voorbehandeling heeft in Nederland nog niet eerder plaatsgevonden. Wel is in Nederland en in het buitenland ervaring opgedaan met landfarming van terrestrische bodems. De reiniging is hierbij met name gericht op met PAK's en olie verontreinigde grond. Landfarming van baggerspecie moet dan ook gezien worden als een nieuwe veelbelovende techniek die echter allereerst op proefschaal onderzocht moet worden.

In het kader van het saneringsproject Oosterscheldehavens is verontreinigde baggerspecie uit de havens van Zierikzee, Bruinisse, Colijnsplaat en Yerseke verwijderd. Voor een klein deel van de te bergen verontreinigde klasse IV baggerspecie - 625 m³ afkomstig uit de Oude haven 't Sas te Zierikzee - worden bij wijze van proef de mogelijkheden van landfarming onderzocht. Naast deze hoeveelheid wordt 100 m³ klasse IV specie afkomstig uit de Geulhaven te Rotterdam behandeld.

Het onderzoek is in de volgende 2 delen opgesplitst:

- het laboratoriumonderzoek (waaronder het vóór-labonderzoek)
- het veldonderzoek op de proeflocatie

Voor het veldonderzoek met landfarming is nabij de Kreekraksluizen een proeflocatie bestaande uit 10 velden ingericht. De inrichting heeft plaatsgevonden volgens het bestek "Sanering waterbodems Oosterschelde havens", besteknr. Z- 2923. De exploitatie van deze velden is omstreeks januari 1990 gestart en heeft geduurd tot omstreeks augustus 1993.

Voorafgaand aan de veldproeven is het laboratoriumonderzoek uitgevoerd, waarbij geprobeerd is een beeld te krijgen van de eigenschappen van de specie en waarbij een aantal proefcondities, die oorspronkelijk tevens voor het veldonderzoek gepland waren, zijn gesimuleerd.

Bij het onderzoek is DSM Research betrokken geweest als adviseur. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van de kennis en ervaring van DSM Research op het gebied van landfarming van met PAK's verontreinigde grond. Het onderzoek is begeleid door een begeleidingscommissie bestaande uit deskundigen afkomstig van het RIVM/LAE, het Staring Centrum, de Landbouwuniversiteit Wageningen (vakgroep microbiologie) en de Universiteit van Amsterdam (Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium). Analyses zijn uitgevoerd door het milieulaboratorium Alcontrol BV, een laboratorium met ster-kwalificatie.

In deze rapportage is de oorspronkelijke opzet van het onderzoek beschreven, zoals uitgebreid is vastgelegd in het rapport "Plan voor de proef met landfarming van verontreinigde baggerspecie op de locatie nabij de Kreekraksluizen" (DHV, november 1989). Verder zijn de in de proefperiode (december 1989 - augustus 1993) uitgevoerde activiteiten met de wijzigingen en aanvulling op dit plan weergegeven. Tevens zijn de onderzoeksresultaten opgenomen en geëvalueerd. Het rapport wordt tenslotte afgerond met conclusies van het onderzoek en met aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

In 1991 is reeds een tussenrapportage verschenen met betrekking tot dit project, waarbij de activiteiten en resultaten in de periode december 1989 t/m juli 1991 zijn beschreven (POSW fase 1, deelrapport 10: Landfarming van baggerspecie). Deze tussenrapportage is integraal in dit eindrapport verwerkt.

2 Doelstelling

Het onderzoek had tot doel na te gaan of op kleine en semi-praktijkschaal (ca. 800 m³), verontreinigde baggerspecie, afkomstig uit de haven van Zierikzee en de Geulhaven middels het systeem van landfarming kan worden gereinigd. Dit komt neer op de verwijdering van PAK's uit de specie afkomstig uit de haven van Zierikzee en van olie en PAK's uit de specie uit de Geulhaven.

Hiervoor diende inzicht te worden verkregen in de belangrijkste procestechnische parameters die er voor zorgen dat de biologische reinigingsprocessen plaats vinden. Door optimalisering van deze parameters kunnen de reinigingsprocessen worden geïntensiveerd.

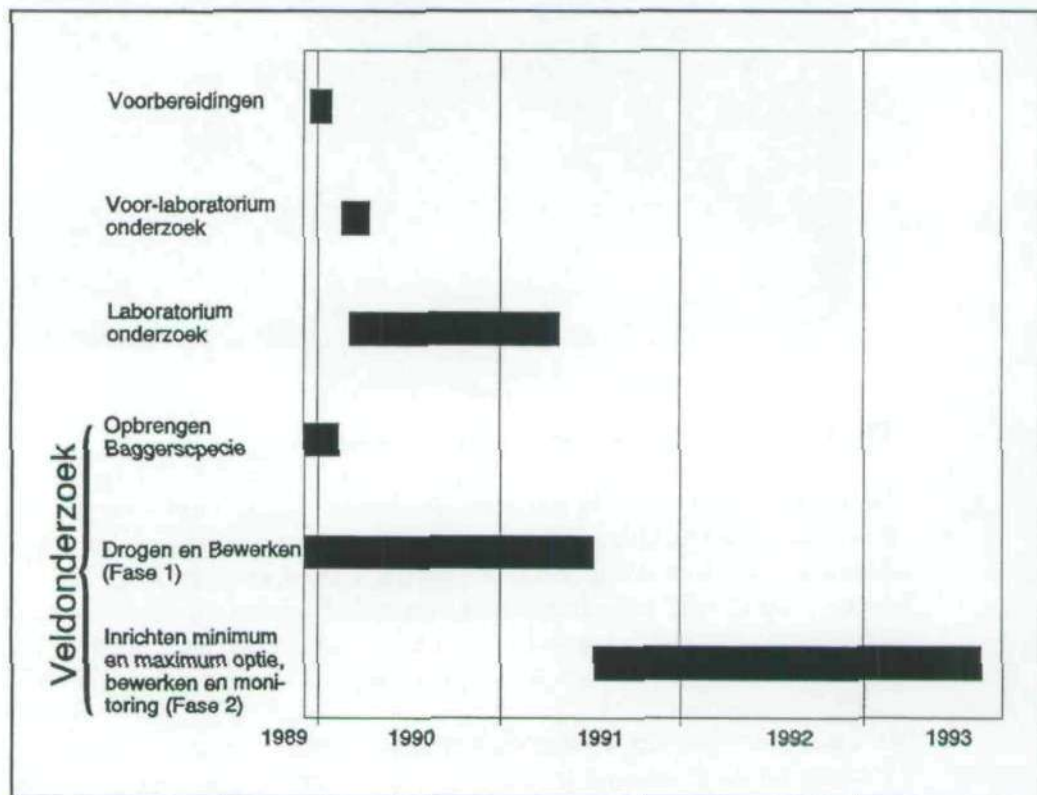
Verder moest inzicht worden verkregen in de kwantiteit en kwaliteit van het vrijkomende drainagewater/percolaat uit de baggerspecie om te voorkomen dat er verschuiving optreedt van een verontreiniging uit de baggerspecie naar bodem of grondwater.

3 Werkwijze

Het onderzoek landfarming is begin december 1989 gestart. De volgende activiteiten hebben plaatsgevonden tijdens de proefperiode, die in augustus 1993 beëindigd is:

- Het opbrengen van de baggerspecie op de proefvelden van de landfarmingslocatie (nabij de Kreekraksluizen)
- Voorbereidingen voor het laboratoriumonderzoek
- Uitvoering van het vóór-laboratoriumonderzoek
- Uitvoering van het laboratoriumonderzoek
- Uitvoering van het veldonderzoek (fase 1 en 2)

In dit hoofdstuk staan de verschillende uitgevoerde werkzaamheden beschreven. Het tijdschema waarin deze werkzaamheden hebben plaatsgevonden is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 - Tijdschema van de tijdens de proefperiode uitgevoerde werkzaamheden

3.1 Het opbrengen van de baggerspecie op de proefvelden van de landfarmingslocatie

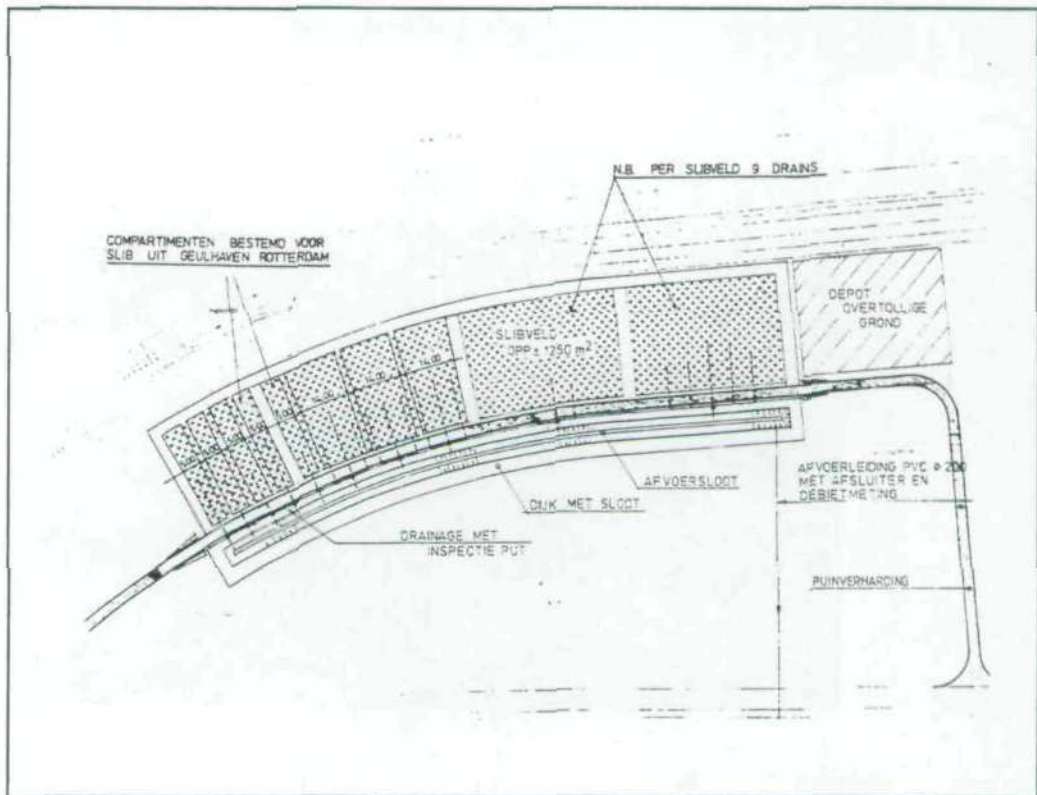
Ter voorbereiding van het veldonderzoek is de baggerspecie op de proefvelden (voor foto zie figuur 2) op de landfarmingslocatie bij de Kreekraksluizen opgebracht. De landfarmingslocatie is ingedeeld in 10 compartimenten (zie figuur 3).



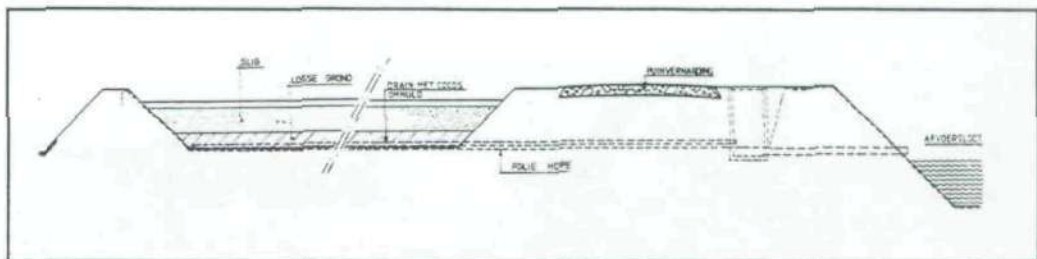
Figuur 2 - Overzichtsfoto van de proefvelden

In figuur 4 is schematisch een dwarsdoorsnede van een veld weergegeven. De bodem van elk slibveld is bedekt met HDPE-folie om weglekken van het percolaat/-drainagewater naar de bodem te voorkomen. Op deze folie is een 30 centimeter dikke drainagelaag aangebracht met daarin drainagebuizen om het water (via een monsternameput) af te kunnen voeren naar een afvoersloot (voor foto zie figuur 5). Op deze drainagelaag is het slib opgebracht.

In december 1989 zijn twee compartimenten gevuld met totaal ca. 100 m³ specie afkomstig uit de Geulhaven in een laagdikte van ca. 30 cm. Van de opgebrachte specie is ca. 0,5 m³ verzameld voor gebruik ten behoeve van het laboratoriumonderzoek. Hiervoor zijn uit verschillende ladingen van de op de velden te brengen specie periodiek monsters genomen. Deze deelmonsters zijn vervolgens intensief gemengd. Op deze wijze is voor het laboratoriumonderzoek een goed gehomogeniseerd speciemonster verkregen, dat als representatief beschouwd kan worden voor de specie op de velden.



Figuur 3 - Schema slibvelden op de landfarmingslocatie



Figuur 4 - Dwarsdoorsnede van een slibveld

In februari 1990 is de specie uit de haven van Zierikzee in de overige acht compartimenten gebracht in een laagdikte van ca. 15 cm. Totaal is ca. 700 m³ specie uit Zierikzee opgebracht (voor foto zie figuur 6). Tijdens het opbrengen van de specie is gelet op een goede homogenisatie van de specie in en over de compartimenten en is een zodanige werkwijze gevolgd, dat de drainagelaag (zand) zo min mogelijk met baggerspecie werd vermengd. Tijdens het opbrengen is op dezelfde wijze als bij de specie uit de Geulhaven een monster van 1 m³ specie samengesteld ten behoeve van het laboratoriumonderzoek.



Figuur 5 - Foto van de afvoersloot



Figuur 6 - Foto van het opbrengen van de baggerspecie

3.2 Voorbereidingen voor het laboratoriumonderzoek

Vanaf half december 1989 zijn voorbereidingen getroffen voor het laboratoriumonderzoek. Hierbij zijn onder andere materialen besteld en geselecteerd, die benodigd waren voor het opstellen van de proefkolommen en het realiseren van de verschillende proefcondities (kolommen, houtchips, entslib, compost, chemicalien, UV-lamp e.d.)

Bij de selectie van toeslagstoffen is er rekening mee gehouden dat de aan te leveren hoeveelheid (de beschikbaarheid) van deze stoffen groot genoeg is om in een later stadium gebruikt te kunnen worden voor het veldonderzoek.

3.3 Uitvoering van het vóór-laboratoriumonderzoek

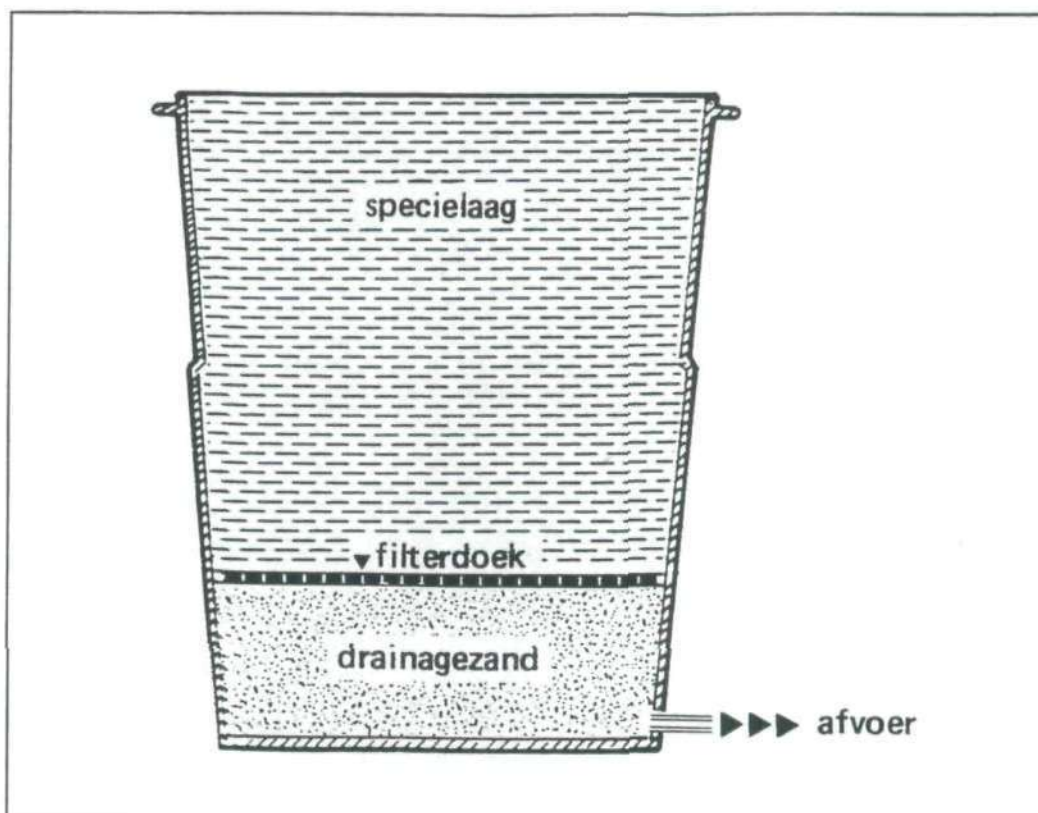
Het vóór-laboratoriumonderzoek is medio februari 1990 gestart op het moment dat zowel specie uit de Geulhaven als uit Zierikzee beschikbaar was en duurde twee weken. De speciemonsters zijn intensief gemengd met een mobiele betonmixer. Verdere homogenisatie vond plaats door de gemengde specie gelijk te verdelen over diverse emmers. Enkele eenvoudige kolomproeven zijn uitgevoerd om een beeld te krijgen van de volgende specie-eigenschappen:

- structuur van de specie vóór en na droging (visuele beoordeling)
- zuurstofhuishouding over een kolom gevuld met specie
- effect van omzetten en van de toevoeging van toeslagstoffen op de structuur van de specie
- consistentie van de specie

De specie uit de verschillende experimenten is tijdens deze proeven geanalyseerd op droge stof percentage en zuurstofgehalte. Verder zijn de structuurveranderingen van de specie tijdens de diverse proeven visueel beoordeeld.

De kolomproeven zijn met natte Zierikzee-specie uitgevoerd in 6 proefkolommen. De opbouw van een kolom is schematisch weergegeven in figuur 7. Tijdens het vóór-laboratoriumonderzoek is gewerkt met Zierikzeespecie in de veronderstelling dat, gezien het kleiachtige karakter van de specie, daardoor de meest ongunstige situatie getest werd.

Alle kolommen hadden een diameter van ca. 45 cm. Elke kolom was voorzien van een 15 tot 20 cm laag drainagezand. Op deze laag waren 2 lagen non-woven filterdoek aangebracht om te voorkomen dat een vermenging kon optreden tussen de drainagelaag en de hierboven aangebrachte laag baggerspecie. Bovenop het filterdoek was tenslotte de specielaag aangebracht. Elke kolom had een afvoermogelijkheid voor eventueel vrijkomend drainagewater.



Figuur 7 - Schematische weergave van de opbouw van een proefkolom

De proeven zijn onder de volgende condities uitgevoerd:

- Kolom 1:
De specie is in een laag van 50 cm aangebracht. In deze kolom heeft om de twee à drie dagen menging plaatsgevonden.
- Kolom 2:
De specie is in een laag van 15 cm aangebracht. Ook in deze kolom heeft om de twee à drie dagen menging plaatsgevonden.
- Kolom 3:
Voor deze kolom gelden dezelfde condities als voor kolom 2. Bij deze kolom heeft echter tevens beregening van het materiaal plaatsgevonden.
- Kolom 4:
De specie is in een laag van 15 cm aangebracht. Deze kolom is verder met rust gelaten om de specie te laten indrogen.
- Kolom 5:
De specie is in een laag van 15 cm aangebracht. Boven de kolom is een hitte-lamp aangebracht om droging te versnellen. Vanwege een te grote warmte ontwikkeling en het doorbranden van deze lamp is de opzet gewijzigd. De kolom is in de buitenlucht geplaatst onder een overkapping.
- Kolom 6:
De specie is gemengd met 2,5 gewichtsprocenten (op basis van droge stof) van zowel hout als compost. Vervolgens is het mengsel in een laag van 15 cm in de kolom aangebracht.

De kolomproeven zijn bij kamertemperatuur uitgevoerd. Kolom 5, die in de buitenlucht geplaatst was, heeft temperatuurwisselingen ondergaan tussen 5 en 15 °C.

Naast deze kolomproeven zijn enkele eenvoudige experimenten uitgevoerd met het mengen van zowel Zierikzee als Geulhavenspecie met compost en houtchips, met het geforceerd drogen van beide speciesoorten bij ca. 50°C en het weer bevochtigen van de geforceerd gedroogde specie.

Omdat bleek, dat beide speciesoorten slecht ontwateren, is besloten, dat voor het starten van het eigenlijke laboratoriumonderzoek (de simulatie van een aantal proefcondities) beide speciesoorten op natuurlijke wijze vergaand gedroogd dienden te worden (zie paragraaf 4.1). Gezien de te verwachten lange ontwateringstijd, is besloten hier na de geplande twee weken van het vóór-laboratoriumonderzoek mee te beginnen. Tijdens deze ontwateringsperiode zijn de eigenschappen van de specie in de 6 ingezette kolommen nog enkele weken extra gevolgd.

De resultaten van het vóórlaboratoriumonderzoek zijn in paragraaf 4.1 weergegeven.

3.4 Uitvoering van het laboratoriumonderzoek

3.4.1 Het drogen/ontwateren van de baggerspecie

Omdat uit het vóór-laboratoriumonderzoek bleek (zie paragraaf 3.3), dat beide speciesoorten slecht ontwateren en gezien het lage droge stofgehalte van deze speciesoorten is voor de start van het feitelijke laboratoriumonderzoek een natuurlijke droging uitgevoerd. Geulhavenspecie is gedroogd door uitspreiding in een dunne laag in een geventileerde ruimte. Zierikzeespecie is in de buitenlucht gedroogd. De specie is in een dunne laag op een folie gebracht. Regelmatig is de specie omgezet en zijn gevormde speciebrokken handmatig verkleind ter vergroting van het oppervlak. Na ca. 6 weken werd het voor aërobe afbraak gewenste droge stof gehalte van circa 70 % d.s. bereikt (voldoende vocht en voldoende zuurstoftransport) en was de specie gereed om in de proefkolommen te worden gebracht.

3.4.2 Simulatie van een aantal proefcondities

Het feitelijke laboratoriumonderzoek is gestart in april 1990. Op het laboratorium van DHV zijn 14 proefkolommen opgesteld: 4 kolommen voor Geulhavenspecie en 10 kolommen voor Zierikzeespecie. Hiervoor zijn dezelfde kolommen gebruikt als tijdens het vóór-laboratoriumonderzoek (zie figuur 7). Bij 11 kolommen (8 kolommen met Zierikzee- en 3 kolommen met Geulhavenspecie) waren aërobe condities gewenst. Deze zijn gevuld met de gedroogde baggerspecie. In de overige 3 kolommen (2 kolommen met Zierikzee- en 1 kolom met Geulhavenspecie) waren anaërobe condities gewenst. In deze kolommen is niet gedroogde specie ingebracht en is nitraat als electronenacceptor toegevoegd. De volgende toeslagstoffen en omstandigheden zijn in verschillende combinaties gebruikt om verschillende proefcondities te simuleren:

- Hoogte van de sliblaag:
De specie (gedroogd of niet-gedroogd) is in een laag van 15 of 50 cm in de kolom aangebracht. Verwacht werd, dat met het dikker worden van de specielaag de zuurstoftoevoer naar de onderste gedeelten van de laag moeilijker zou worden, waardoor een lager zuurstofgehalte zou ontstaan.
- Entslib:
In 9 kolommen zijn micro-organismen aan de baggerspecie toegevoegd in de vorm van entslib. Gekozen is voor slib van twee rioolwaterzuiveringsinstallaties: de RWZI-Hulst en de RWZI-Bath. Het slib uit Hulst bevat denitrificerders. Het slib uit Bath is geadapteerd aan PAK's door de behandeling van PAK-houdende afvalwaterstromen door de RWZI. Aan de specie is ca. 1% entslib op droge stofbasis toegevoegd voordat de specie in de kolommen is gebracht. Bij de anaërobe kolommen is het entslib met de specie gemengd na inbrenging van de baggerspecie vóór toevoeging van de chemicaliën (nitraat en peroxide).
- Compost en hout:
GFT-compost en houtchips zijn bij enkele kolommen gezamenlijk toegevoegd om de structuur van de specie te verbeteren. Van elk materiaal is ca. 2,5 % op droge stofbasis toegevoegd (gemengd met de specie, voordat deze in de kolommen is gebracht).
- Nitraat:
Nitraat is om twee redenen toegevoegd. Ingeval van anaërobe omstandigheden is een hoge dosis nitraat (verhouding nitraat (op N basis) : CZV als 1 : 5) toegevoegd om te fungeren als electronenacceptor. Verder kan er een lage dosis nitraat noodzakelijk zijn onder aërobe omstandigheden om voor het microbiële afbraakproces een optimale C/N/P-verhouding van het materiaal te creëren. Het P-gehalte bleek geen problemen op te leveren. Een kleine N-toevoeging bleek wel noodzakelijk bij Geulhavenspecie. Nitraat is toegevoegd na inbrenging van de specie in de kolommen. Bij gecombineerde toevoeging met entslib is eerst het entslib toegevoegd.
- Waterstofperoxide:
Peroxide is in twee doseringen toegevoegd: een hoge (verhouding H_2O_2 : CZV als 1 : 1) en een lage dosering (verhouding H_2O_2 : CZV als 1 : 10). Bij een hoge dosering van waterstofperoxide wordt organisch materiaal en dus organische microverontreinigingen geoxideerd en op deze wijze afgebroken. Bij een lage dosering heeft waterstofperoxide meer de functie van aanvullende zuurstofbron. De peroxide is toegevoegd na inbrenging van de specie in de kolommen en de toevoeging is na 12 weken herhaald. Bij gecombineerde toevoeging van entslib, een hoge dosis nitraat en een lage dosis waterstofperoxide is eerst de peroxide toegevoegd.
- UV-licht:
Twee kolommen zijn met UV-licht bestraald met een UV-lamp op 50 cm afstand van het oppervlak 1 uur per dag om fotochemische afbraak te bevorderen. De specie in beide kolommen is regelmatig omgezet om het te belichten oppervlak te vernieuwen (dit heeft bij de overige kolommen niet plaatsgevonden).

De procescondities, de hoogte van de specielaag in de kolom en de aard van de toelagmaterialen zijn voor de verschillende kolommen samengevat in tabel 1.

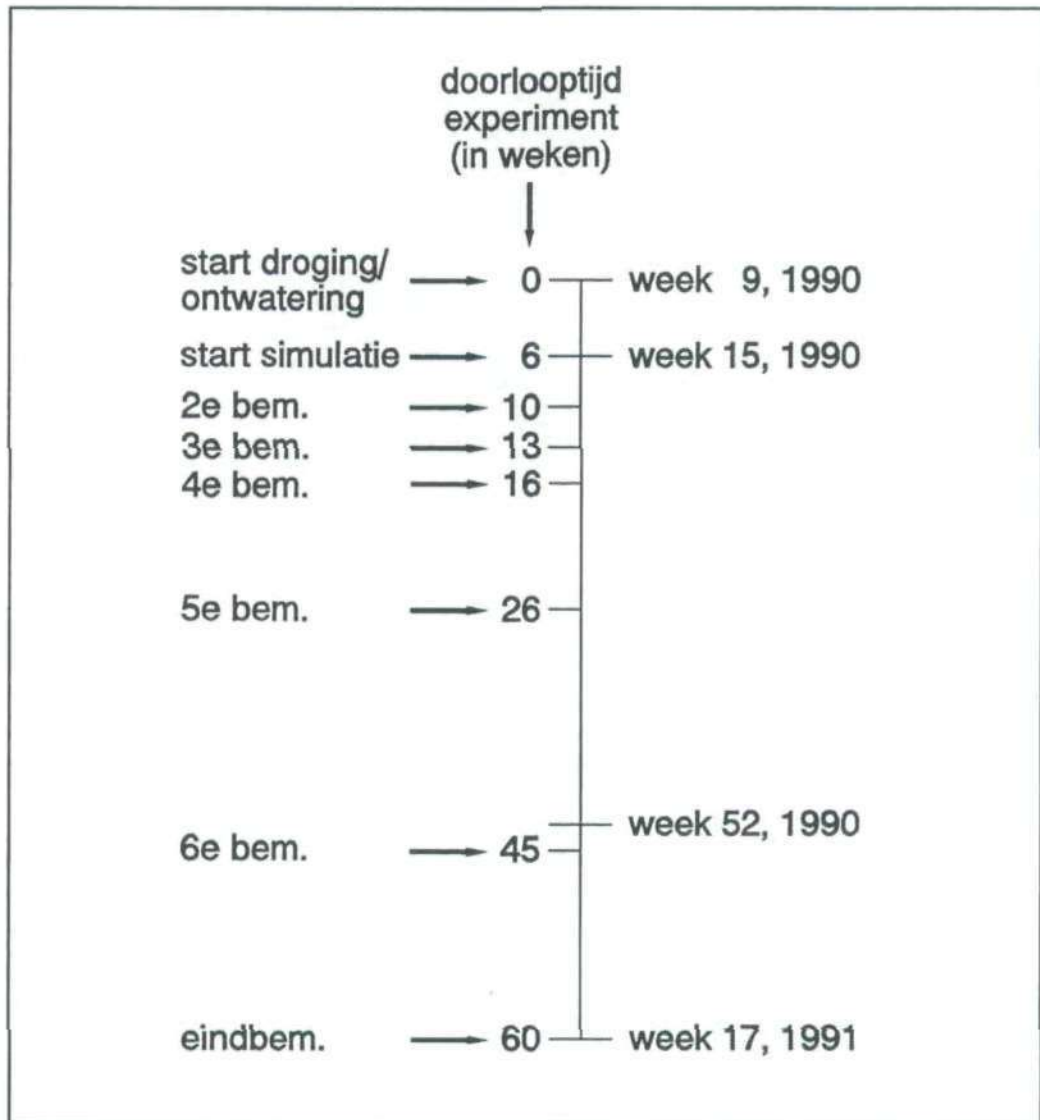
Tabel 1 - Procescondities van de 14 kolommen							
Kolomnummer	Slibsoort	Hoogte van de sliblaag	Entslib ¹	Compost + hout ¹	Nitraat ²	Waterstofperoxide ²	UV-licht ¹
1	ZZ	15 cm					
2	ZZ	50 cm					
3	ZZ	15 cm	x				
4	ZZ	15 cm	x	x			
5	ZZ	50 cm	x	x			
6	ZZ	50 cm	x		hoog		
7	ZZ	15 cm				hoog	
8	ZZ	50 cm	x		hoog	laag	
9	ZZ	50 cm	x			laag	
10	ZZ	15 cm					x
11	GH	50 cm	x	x	laag		
12	GH	50 cm	x		hoog		
13	GH	50 cm	x		laag	laag	
14	GH	15 cm			laag		x

¹ Gebruik van de toeslagstof of omstandigheid bij de simulatie van een proefconditie in een kolom is aan gegeven met een "x" achter het kolomnummer.
² Gebruik van de toeslagstof in een kolom is aangegeven met "hoog" bij een hoge dosering en "laag" bij een lage dosering achter het kolomnummer.

Bij alle kolommen is neerslag gesimuleerd door periodiek een vooraf bepaalde hoeveelheid leidingwater te sproeien over het bovenoppervlak van de kolom (eerste drie maanden 3 l per maand, volgende maanden 1 l per maand).

Begin april 1990 zijn alle kolommen gevuld met de specie en de toeslagstoffen. Op dat moment is gestart met de monitoringperiode van aanvankelijk 3 maanden. Gezien de aard van de resultaten die binnen die 3 maanden zijn verkregen, is besloten het laboratoriumonderzoek te verlengen met 9 maanden tot totaal 12 maanden. Eind april 1991 is het laboratoriumonderzoek beëindigd met een laatste bemonstering. Aan de kolommen met baggerspecie is gedurende de gehele monitoringperiode niets veranderd. Wel heeft een aanvullende dosering van waterstofperoxide plaatsgevonden.

In figuur 8 staat het bemonsteringsschema weergegeven, dat bij het laboratoriumonderzoek is gevolgd.



Figuur 8 - Bemonsteringsschema van het laboratoriumexperiment

Bij het begin van de simulatie van 14 condities in de kolommen zijn de volgende bemonsteringen op het uitgangsmateriaal uitgevoerd:

- bemonstering van niet ontwaterde/gedroogde specie (Zierikzee en Geulhaven), in enkelvoud
- bemonstering van ontwaterde/gedroogde specie (Zierikzee en Geulhaven) zoals deze in de proefkolommen is gebracht, in tweevoud (start simulatie).
- bemonstering van de toeslagstoffen als compost, houtchips en entslib, in enkelvoud (start simulatie).

Bij de rest van de bemonsteringen (2° tot en met eindbemonstering) is de specie in de kolommen bemonsterd door met een grondboor een aantal steekmonsters te nemen over zowel de breedte als de hoogte van de kolom en daarvan een mengmonster samen te stellen. Het vrijkomende percolaat/drainagewater is, indien dat mogelijk was (indien er voldoende aanwezig was), eveneens bemonsterd. Analyse van de speciemonsters heeft bij de start- en de eindbemonsteringen plaatsgevonden volgens analysepakket I, en bij de overige bemonsteringen volgens analysepakket II (zie bijlage 1). Bij analyse van de startmonsters en van de monsters van anaërobe kolommen zijn de analysepakketten uitgebreid met analyses op ammonium, nitraat, nitriet en N-kjeldahl. Bij analyse van de kolommen met Geulhavenspecie zijn de analysepakketten uitgebreid met een analyse op minerale oliën. Beschikbare watermonsters zijn geanalyseerd volgens analysepakket III, eventueel uitgebreid met analyses op ammonium, nitraat, nitriet en N-kjeldahl (anaërobe kolommen) en met analyse op minerale oliën (kolommen met Geulhavenspecie). Daar er niet altijd voldoende water uit de kolommen vrijkwam, was de omvang van de watermonsters regelmatig onvoldoende om alle analyses uit het analysepakket uit te voeren. In dergelijke gevallen zijn enkele analyses geschrapt. Van de 5° en 6° bemonsteringsronde in resp. de 26° en 45° week van het laboratoriumonderzoek zijn niet alle monsters geanalyseerd, daar dit voor enkele kolommen minder zinvol geacht werd.

Om te zorgen dat de mengmonsters zo goed mogelijk homogeen van samenstelling zijn, zijn de speciemonsters van de 5e bemonstering en later cryogeen vermalen.

Naast deze analyses zijn regelmatig zuurstofmetingen uitgevoerd in de kolommen met een zuurstofmeter, de zogenaamde "Sniffer". Deze "Sniffer" zuigt lucht tussen de speciekorrels op en bepaalt de zuurstofconcentratie in deze lucht met behulp van een zuurstofcel. Bij kolommen met een speciehoogte van 15 cm is het zuurstofgehalte tussen de speciekorrels bepaald op een hoogte van ca. 8 cm, bij een speciehoogte van 50 cm op een hoogte van 8 en 42 cm.

De resultaten van de simulatie van de proefcondities zijn in paragraaf 4.2.1 weergegeven.

3.4.3 Aanvullend verdampingsonderzoek

Uit het laboratoriumonderzoek is naar voren gekomen dat tijdens de droogfase van de Zierikzeespecie ca. 30 % van de aanwezige PAK's is verdwenen (zie paragraaf 4.2.1). Dit is mogelijk veroorzaakt door biologische afbraak naast verdamping. Besloten is een beperkt onderzoek op te zetten naar de mogelijkheid van verdamping van PAK's tijdens de droogfase. Er is onderzocht in welke mate de afname bij Zierikzeespecie heeft plaats gevonden door foto-chemische afbraak, biologische afbraak, verdamping of een combinatie van deze factoren.

Een deel van de specie is hiertoe behandeld met natriumazide om de biologie in de specie uit te schakelen zodat er geen biologische afbraak kan plaatsvinden. Halverwege de proef is deze behandeling herhaald om eventueel in de tussentijd aangewaarde micro-organismen uit te schakelen. De specie is gedurende 6 weken onder 3 verschillende condities weggezet:

- 1) Met natriumazide behandelde specie is in een dunne laag uitgespreid en in een donkere ruimte ter droging gelegd, waarbij de specie evenals tijdens de oorspronkelijke droging regelmatig is omgezet en handmatig bewerkt. Op deze wijze is de biologische en fotochemische afbraak uitgeschakeld en zou de PAK-afname alleen veroorzaakt kunnen worden door verdamping.
- 2) Onder dezelfde condities als bij 1 is de specie buiten in het zonlicht gedroogd. Alleen de biologische afbraak is nu uitgeschakeld en de PAK-afname zou nu veroorzaakt kunnen worden door verdamping en/of fotochemische afbraak.
- 3) Specie is in het zonlicht ter droging gelegd zonder met natriumazide behandeld te zijn. PAK-afname zou nu veroorzaakt kunnen worden door zowel verdamping, fotochemische afbraak als biologische afbraak.

Ten behoeve van dit aanvullende verdampingsonderzoek zijn 5 monsters genomen (allen in enkelvoud):

- Twee beginmonsters: één monster van de niet gedroogde Zierikzeespecie, en één monster van de specie na menging met Natriumazide.
- Drie eindmonsters: van elk van de 3 condities waaronder de specie is weggezet is na 6 weken een monster genomen. Deze 3 monsters zijn cryogeen vermalen.

De resultaten van het aanvullend verdampingsonderzoek zijn in paragraaf 4.2.2 weergegeven.

3.4.4 Bacterietellingen

Om te onderzoeken of er micro-organismen in de specie aanwezig zijn, die in principe PAK's kunnen afbreken, zijn op 4 speciemonsters bacterietellingen uitgevoerd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen:

- totaal aanwezige populatie:
 - . telling op een rijkmedium (nutriëntenbroth (NB)) (verdunningsreeks 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5})
 - . telling op een verdund (1/10) rijkmedium (verdunningsreeks 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5})
 - . telling volgens de MPN (Most Probable Number) methode (verdunningsreeks 10^{-1} t/m 10^{-10})
- benzoëzuur-afbrekers: telling op een mineraal medium (MM) met benzoëzuur (verdunningsreeks 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4})
- naftaleen-afbrekers: telling op een mineraal medium (MM) met naftaleen (verdunningsreeks 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3})
- anthraceen-afbrekers: telling op een mineraal medium (MM) met anthraceen (verdunningsreeks 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3})

Deze tellingen zijn uitgevoerd op de volgende 4 speciemonsters:

- Niet-gedroogde Zierikzeespecie
- Zierikzeespecie waaraan entslib en een hoge dosering nitraat is toegevoegd (Kolom 6 met anaërobe specie)
- Niet-gedroogde Geulhavenspecie
- Geulhavenspecie waaraan entslib en een hoge dosering nitraat is toegevoegd (Kolom 12 met anaërobe specie)

De niet-gedroogde specie had op het moment van de tellingen 10 maanden in opslag gezeten onder anaerobe omstandigheden, de specie uit de proefkolommen 6 en 12 had 7 maanden in de kolommen gezeten (na 3 maanden in opslag).

De resultaten van de bacterietellingen zijn in paragraaf 4.2.3 weergegeven.

3.5 Uitvoering van het veldonderzoek

Binnen het veldonderzoek zijn 3 opeenvolgende perioden te onderscheiden:

- Opbrengen en droging van de specie gedurende 4 tot 6 maanden
- Bewerking en monitoring van de velden gedurende circa 12 maanden
- Inrichting van de velden volgens een minimum en maximum optie, bewerking en monitoring gedurende circa 24 maanden

De werkzaamheden gedurende de eerste 2 perioden worden samen beschouwd als fase 1 van het veldonderzoek en zijn in paragraaf 3.5.1 beschreven. De tijdens de derde periode (fase 2) uitgevoerde werkzaamheden zijn in paragraaf 3.5.2 beschreven. In paragraaf 3.5.3 tenslotte is een totaaloverzicht gegeven van de bewerkingen en monsternamen, die gedurende het gehele veldonderzoek zijn uitgevoerd.

3.5.1 Activiteiten gedurende fase 1

Opbrengen en drogen van de specie

Nadat de Geulhaven- en Zierikzeespecie in resp. week 48 van 1989 en de weken 6 en 7 van 1990 op de tien proefvelden is gebracht heeft zij enkele maanden ter ontwatering op deze velden gelegen. Tijdens deze periode is per slibsoort (Geulhaven- en Zierikzeespecie) éénmaal een mengmonster samengesteld van het drainagewater (week 17 van 1990) en éénmaal een mengmonster van de specie zelf (week 24 van 1990).

Het lag oorspronkelijk in de bedoeling aansluitend op het laboratoriumonderzoek na evaluatie van de gegevens te beginnen met het veldonderzoek, waarbij verschillende proefcondities op de 10 velden zouden worden uitgetest. Zoals reeds vermeld, was het na 3 maanden niet mogelijk voor de uitvoering van het veldonderzoek relevante conclusies te verbinden aan de resultaten van het laboratoriumonderzoek en is deze periode verlengd naar 12 maanden. Zodoende is de geplande start van het veldonderzoek uitgesteld tot na het eind van het laboratoriumonderzoek in april 1991.

Bewerking en monitoring van de velden

Gedurende de extra periode van 9 maanden, die het laboratoriumonderzoek in beslag nam is wel de invloed van uitsluitend bewerking (omzetten) van de velden op de afbraak van PAK's onderzocht. Verwacht werd, dat door de bewerking de structuur van de specie zou worden verbeterd, waardoor er als gevolg een betere zuurstofdiffusie een betere PAK-afbraak kan optreden. Het omzetten heeft eenmalig plaatsgevonden in juli 1990 (week 28) op de helft van de van de velden. Vier velden met Zierikzeespecie en 1 met Geulhavenspecie zijn hierbij omgezet. De overige 5 velden (4 Zierikzee, 1 Geulhaven) zijn als referentie ongemoeid gelaten.

Voordat bewerking plaatsvond zijn mengmonsters per speciesoort (in duplo) genomen. Deze mengmonsters zijn samengesteld door per veld 10 steekmonsters te nemen en deze per speciesoort samen te voegen. Enerzijds zijn de steekmonsters van de 2 Geulhavenvelden samengevoegd en anderzijds de steekmonsters van de 8 Zierikzeevelden. Na menging van de steekmonsters zijn per speciesoort uit het gemengde materiaal 2 mengmonsters samengesteld.

Vóór bewerking van de velden in week 28 van 1990 is eveneens nagegaan wat de spreiding van de PAK-concentraties per veld was. Hiervoor zijn van elk van 2 aselekt gekozen velden 10 monsters genomen, verspreid over het gehele veld. Het doel van deze monsternamen was een beeld te krijgen van de mate van de menging, die had plaatsgevonden bij het aanbrengen van de specie op de velden.

Na de zomerperiode is wederom bemonsterd (week 38 van 1990) om de invloed van de bewerking te kunnen vaststellen. Hierbij zijn 4 duplobemonsteringen uitgevoerd:

- één op de 4 bewerkte Zierikzeevelden
- één op de 4 niet-bewerkte Zierikzeevelden
- één op het bewerkte Geulhavenveld
- één op het niet-bewerkte Geulhavenveld

Per veld zijn 10 steekmonsters genomen, die vervolgens per bovenstaande 4 opties zijn samengevoegd. Na menging van de steekmonsters zijn per optie uit het gemengde materiaal 2 mengmonsters samengesteld.

In week 38 was tevens een bemonstering van het drainagewater gepland om de invloed van de bewerking op de uitspoeling van de PAK's te kunnen vaststellen. Deze bemonstering heeft geen doorgang gevonden, omdat de bemonsteringsputjes droog stonden.

Tijdens de winterperiode is de stand van zaken van dat moment opgenomen door in week 3 van 1991 van elk veld 10 steekmonsters te nemen en te mengen en vervolgens per veld uit het gemengde materiaal 2 mengmonster (duplomonsers) samen te stellen.

Onderwater zetten van 2 velden

Van twee velden met Zierikzeespecie (één bewerkt en één niet-bewerkt veld) zijn in week 3 van 1991 tevens watermonsters genomen. Deze velden zijn namelijk in week 5 onder water gezet om te proberen op deze wijze de biologische beschikbaarheid van de PAK's te verhogen. In de periode, dat de specie onder water

stond, zou transport van PAK's en micro-organismen over de specie mogelijk moeten zijn. Na de ontwatering van de specie zou dan weer afbraak moeten plaatsvinden. Na 6 weken (week 11) zijn de drainagesystemen van beide onder water gezette velden weer open gezet om ontwatering van de specie mogelijk te maken. Tevens zijn er in week 11 mengmonsters (in enkelvoud) en watermonsters genomen van deze velden.

Vaststelling nieuwe monstername- en analyseprocedure

Zoals in paragraaf 4.3.2 vermeld, vertonen de analyseresultaten aanzienlijke schommelingen met in enkele gevallen extreme uitschieters. Dit bemoeilijkt het volgen van de PAK-gehalten van de specie en zou het onmogelijk maken om bij het uittesten van verschillende proefcondities op de velden een vergelijking tussen de PAK-afbraak op deze velden te maken. Om deze reden is in week 20 van 1991 op twee velden een uitgebreide monstername uitgevoerd om een nieuwe monstername/analyse-procedure vast te kunnen stellen. Per veld zijn dertig steekmonsters genomen. Algemeen wordt aangenomen dat dit aantal voldoende is om een goede karakterisering te verkrijgen van de samenstelling van grond (en in dit geval baggerspecie) in een veld, zelfs als de verontreinigingen zeer inhomogeen verdeeld zijn. Elk steekmonster werd handmatig verkleind en goed gemengd. Uit de 30 steekmonsters zijn mengmonsters samengesteld door van elk steekmonster een deel te nemen en deze delen goed met elkaar te mengen. Op deze wijze werden per veld uiteindelijk 30 mengmonsters verkregen. Per veld werden 10 van deze mengmonsters cryogeen vermalen en geanalyseerd. De overige 20 monsters zijn gekoeld bewaard (voor eventuele latere analyse, indien noodzakelijk). Vervolgens is met de resultaten het voor een betrouwbare analyse benodigde aantal monsters berekend met behulp van de formules, die in bijlage 2 vermeld staan. Uit dit berekende aantal (zie paragraaf 4.3.2.1) bleek dat de spreiding van de PAK-concentraties zodanig was, dat het samenstellen van een goed mengmonster van een veld baggerspecie geen haalbare kaart was. Om deze reden is besloten geen mengmonsters van de velden meer te nemen, maar voor de rest van het onderzoek uit te gaan van 10 steekmonsters (+ 10 steekmonsters als reserve, die gekoeld bewaard worden) per monstername per veld, die het PAK-gehalte van het desbetreffende veld aangeven.

Overzicht van uitgevoerde werkzaamheden en analyses tijdens fase 1

Een overzicht van de tijdens fase 1 uitgevoerde werkzaamheden is weergegeven in tabel 2.

Alle slibmonsters, die vanaf week 28 van 1990 genomen zijn (vanaf de eerste bewerking van de velden) zijn cryogeen vermalen. De volgende analyses zijn tot aan de inrichting van de velden met een minimum en maximum optie uitgevoerd (voor analysepakketten zie bijlage 1):

- Drainagewateranalyse in week 17 van 1990 volgens pakket III.
- Slibanalyse in week 24 volgens pakket I.
- Slibanalyse in week 28 volgens pakket II, voor de spreidingsmetingen volgens pakket V.
- Slibanalyse in week 38 volgens pakket II.
- Slibanalyse in week 3 van 1991 volgens pakket I, drainagewateranalyse volgens pakket III.

- Slibanalyse in week 11 volgens pakket II, drainagewateranalyse volgens pakket III.
- Slibanalyse in week 20 voor de vaststelling van een nieuwe monsternamen/analyse-procedure alleen op PAK's.

Tabel 2 - Overzicht van werkzaamheden op de velden A1 t/m D tot aan de inrichting van de velden met een minimum en maximum optie (Een schema van de velden op de locatie is weergegeven in figuur 3)

Weeknummer	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C	D
week 48, 1989: • Opbrengen Geulhavenspecie				☼				☼		
week 6 en 7, 1990: • Opbrengen Zierikzeespecie	☼	☼	☼		☼	☼	☼		☼	☼
week 17: • watermonsters	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼
week 24: • Bemonstering in enkelvoud	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼
week 28: • Bepaling van de spreiding van PAK's over een veld • Bemonstering in duplo • Bewerking velden									☼	☼
	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼
		☼		☼	☼	☼				☼
week 38: • Bemonstering in duplo	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼
week 3, 1991: • Bemonstering van elk veld separaat in duplo • Watermonsters	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼	☼
							☼			☼
week 5: • Onder water zetten van velden							☼			☼
week 11: • Water van velden laten lopen • Bemonstering in enkelvoud • Watermonsters							☼			☼
							☼			☼
							☼			☼
week 20: • Bemonstering t.b.v. de bepaling van de monsternamen/analyse-procedure								☼	☼	

3.5.2 **Aktiviteiten gedurende fase 2**

Inrichting, bewerking en monitoring volgens de minimum en maximum optie

In de weken 26 en 27 van 1991 heeft verdere inrichting plaatsgevonden van een aantal velden. Verwacht werd dat vergelijking tussen proefcondities nauwelijks mogelijk zou zijn, omdat de tussen de condities optredende concentratieverschillen te klein zouden zijn ten opzichte van de schommelingen in de analysesresultaten (zie paragraaf 4.3.2). Om deze reden zijn slechts 4 velden verder ingericht (voor foto zie figuur 9) in plaats van de geplande 10. Voor beide speciesoorten is gekozen voor een minimum en een maximum optie in de verwachting dat de concentratieverschillen tussen deze condities het grootst zouden zijn.

Voor deze verdere inrichting is gebruik gemaakt van de velden A4, B4, B1 en C (zie figuur 3). De velden A4 en B4 waren de enige velden met Geulhavenspecie. De velden B1 en C zijn gekozen voor verdere proefnemingen met Zierikzeespecie. Deze velden zijn gekozen, omdat zij een relatief groot oppervlak hebben. De velden B3 en D waren niet geschikt, omdat deze al gebruikt waren voor het onder water zetten van de velden, wat afwijkt van de normale bewerkingen, die de velden hebben ondergaan.



Figuur 9 - Foto van het inrichten van de velden volgens een minimum en maximum optie

De specie op één Zierikzee- (veld B4) en één Geulhavenveld (veld C) is gedurende het verdere projectverloop niet bewerkt (de minimum optie). Beide velden zijn ook tijdens fase 1 niet bewerkt. Deze velden dienen als referentieveld. Op de overige 2 velden, waarop als procesconditie de maximum optie is uitgevoerd, zijn GFT-compost, houtchips en entslib aan de specie toegevoegd. Van alle 3 de toeslagstoffen is een mengmonster genomen voor analyse. Van zowel GFT-compost als de houtchips is evenals bij het laboratoriumexperiment (zie paragraaf 3.4.2) ca. 2,5 % op droge stof basis toegevoegd als structuurverbeteraar. Van het entslib is ca. 1 % op droge stof basis toegevoegd om de hoeveelheid micro-organismen in de baggerspecie te verhogen. Het entslib is afkomstig uit de RWZI-Bath, waardoor de micro-organismen geïmpregeerd zijn aan PAK's vanwege de behandeling van PAK-houdende afvalwaterstromen door deze RWZI. De 2 velden zijn na toevoeging van deze toeslagstoffen tevens bewerkt met een zogenaamde "Rotaro", die de specielaag over de volle diepte mengt en losmaakt met behulp van in de specie gestoken ronddraaiende stalen punten.

Voordat tot de inrichting werd overgegaan, heeft een startbemonstering op de velden plaatsgevonden. Vanaf inrichting van de velden in week 27 van 1991 zijn de velden, waarop de maximum optie is gevolgd, bewerkt in de weken 37 en 48 van 1991 en in de weken 2, 11, 19, 28, 38 en 45 van 1992. Bemonstering van alle 4 gevolgde velden heeft plaatsgevonden in week 48 van 1991, in de weken 11 en 28 van 1992 en in week 12 van 1993.

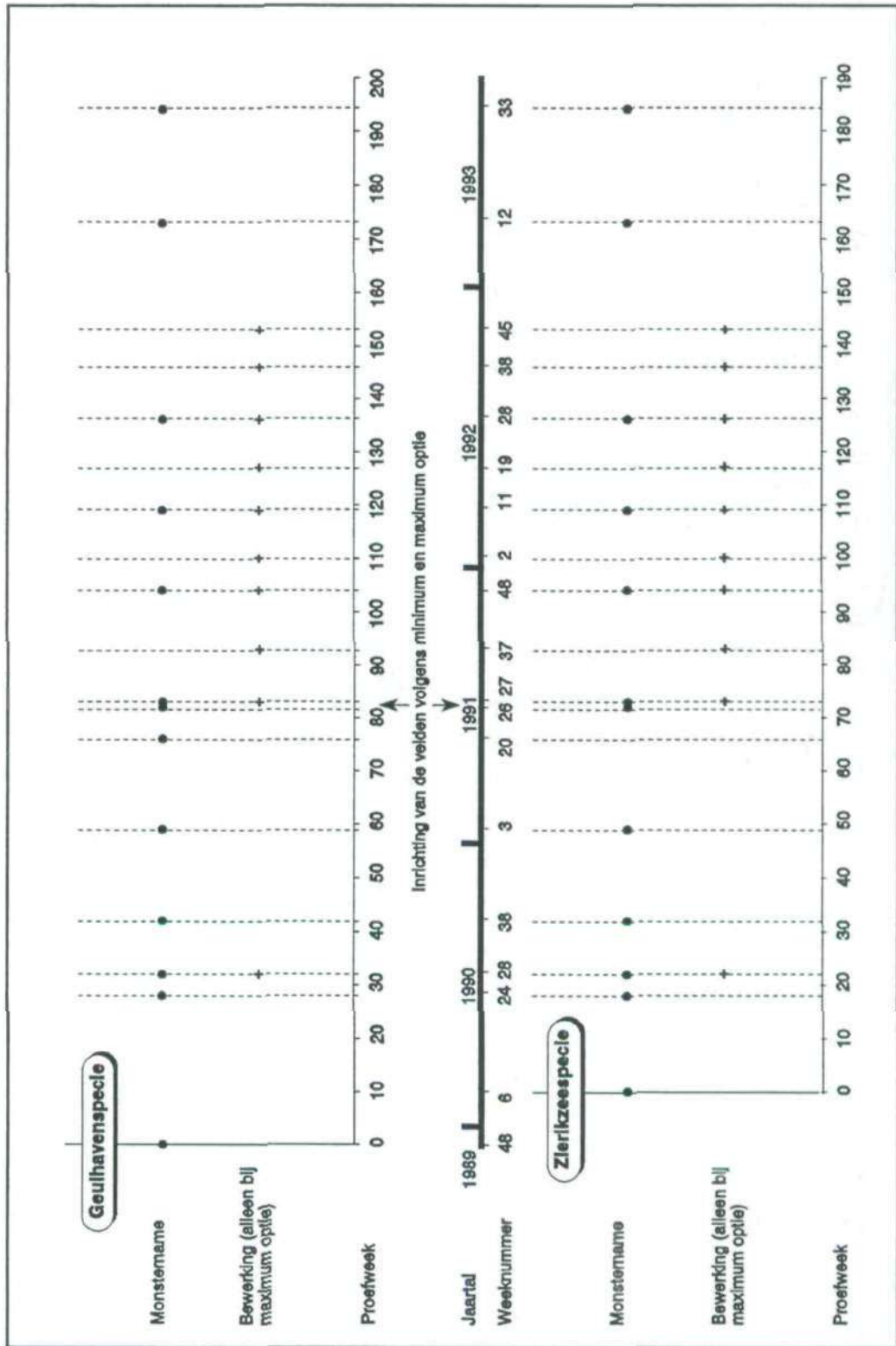
Bij de monsternamen zijn 20 steekmonsters per veld genomen, waarvan er 10 na cryogene maling zijn geanalyseerd op PAK's (bij Geulhavenspecie tevens op minerale olie) en droge stof gehalte. Per veld is per monsternamen tevens een mengmonster samengesteld. Bij de start- en eindmonsters zijn deze geanalyseerd volgens pakket I, bij de overige monsters op pakket II. Op de mengmonsters heeft echter geen PAK- en minerale olie analyse plaatsgevonden, omdat deze al separaat werd uitgevoerd.

Overdracht aan het Staringcentrum

Het Staringcentrum zal een onderzoek uitvoeren naar extensieve landfarming met het eindmateriaal afkomstig van het in dit rapport beschreven onderzoek. Om een goede vergelijking van de analyseresultaten met die van het door DHV Milieu en Infrastructuur uitgevoerde onderzoek mogelijk te maken is in week 33 van 1993 een extra monsternamen uitgevoerd. De monsternamen en analyse van de monsters hebben op dezelfde wijze plaatsgevonden als van de start en tussentijdse monsters. Tussen de monsternamen in week 12 en week 33 heeft geen bewerking van het veld meer plaatsgevonden.

3.5.3 Overzicht van tijdens het veldonderzoek uitgevoerde monsternamen en bewerkingen

In figuur 10 is een overzicht gegeven van alle bewerkingen en monsternamen (van het slib) die tijdens de verschillende perioden van het veldonderzoek hebben plaatsgevonden. Hierbij is tevens aangegeven hoe de weeknummers in de verschillende proefjaren corresponderen met de proefweken.



Figuur 10 - Overzicht van de tijdens de verschillende perioden van het veldonderzoek uitgevoerde bewerkingen en monsternamen

4 Resultaten

4.1 Vóór-laboratoriumonderzoek

De belangrijkste resultaten, die in het vóór-laboratoriumonderzoek verkregen zijn, zijn als volgt samen te vatten:

- Het droge stofgehalte van beide speciesoorten, zoals dat op de velden van de landfarmingslocatie is opgebracht en zoals dat voor het (vóór-)laboratoriumonderzoek is gebruikt, bedroeg 40 - 45 gewichtsprocenten.
- Specie uit de Geulhaven sedimenteert aanzienlijk. Na afgieten van het bovenstaande water bedraagt het droge stof gehalte ca. 67 gewichtsprocenten. Zierikzeespecie sedimenteert daarentegen nauwelijks. Geulhavenspecie ontwaterd daardoor veel beter als Zierikzeespecie
- Uit de tijdens het vóór-laboratoriumonderzoek uitgevoerde kolomproeven is gebleken dat de natuurlijke ontwatering slecht verloopt. Het droge stof percentage in de kolommen steeg tijdens de proeven, die in totaal ca. 1 maand geduurd hebben van ca. 45 tot ca. 50 gewichtsprocenten. Hierbij was nauwelijks verschil waar te nemen tussen de verschillende kolommen.
De kolommen waarin menging plaatsvond leken iets beter te drogen. Dit geldt eveneens voor de kolom, die in de buitenlucht geplaatst was. Aan het bovoppervlak van deze kolom was de specie duidelijk droger (droge stof percentage ca. 70 %). Daaronder was de specie vergelijkbaar met die in de rest van de kolommen. De kolom waarin een laag van 50 cm specie was aangebracht droogde nog aanmerkelijk langzamer.
- Verhoging van het droge stofgehalte is wel te bereiken door verdamping. Bij geforceerd drogen van Zierikzeespecie bij een temperatuur van ca. 50 °C worden harde speciebrokken gevormd die moeilijk te verkleinen zijn. Deze structuur is ongunstig voor zuurstofoverdracht. Geulhavenspecie is zanderig van aard. Droging van deze specie geeft een rul materiaal (betere structuur). Voor de begaanbaarheid van de specie (in de proefvelden bijv.) dient de specie zeker ontwaterd te zijn (tot ca. 70 % d.s.) om enige consistentie te krijgen.
- De specie in de kolommen bevatte geen meetbare hoeveelheid zuurstof. Door het hoge watergehalte heerst in de specie een anaëroob milieu. Er treedt dan ook geen verloop van de zuurstofconcentratie op in het verticale vlak. Om aërobe omstandigheden te creëren moet het vochtgehalte van de specie verlaagd worden.
- Bij berekening van kunstmatig verregaand (tot ca. 95 % d.s.) gedroogde Zierikzeespecie verandert de structuur nauwelijks. Er wordt slecht een kleine hoeveelheid van het toegevoegde water door capillaire werking in de gedroogde specie opgenomen.

- Met betrekking tot de menging van beide speciesoorten met toeslagstoffen, zoals houtsnippers, zijn geen problemen of bijzonderheden geconstateerd.

De belangrijkste conclusie van deze resultaten is, dat om aërobe omstandigheden te creëren in de specie deze aanzienlijk gedroogd dient te worden.

4.2 Laboratoriumonderzoek

In deze paragraaf worden de resultaten beschreven, die tijdens het laboratoriumonderzoek zijn verkregen.

4.2.1 Simulatie van een aantal proefcondities

Tijdens de simulatie van een aantal proefcondities d.m.v. kolomproeven zijn de volgende resultaten verkregen:

- **Gegevens startsituatie**

Het uitgangsmateriaal (niet ontwaterd, niet gedroogd) had de volgende samenstelling:

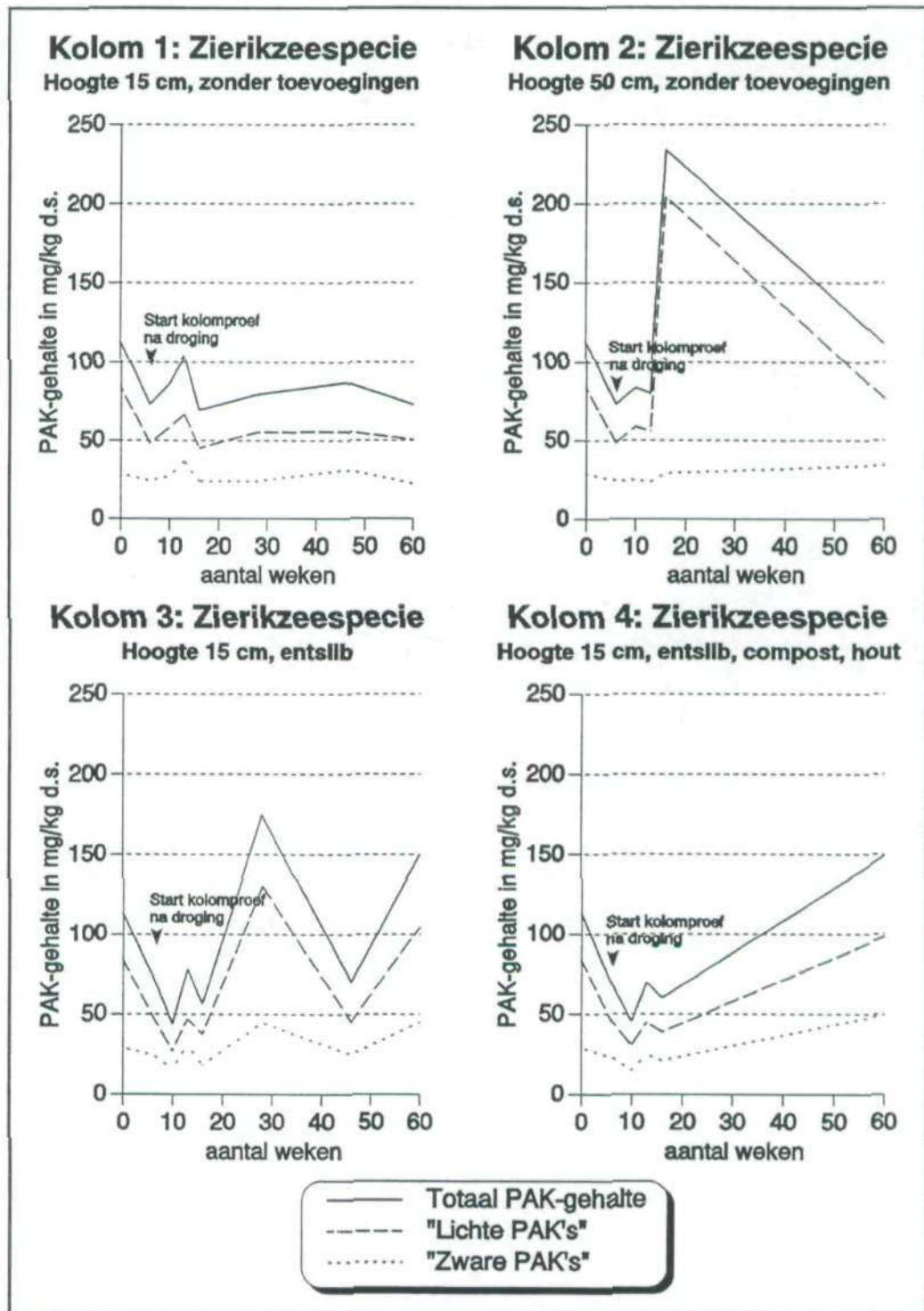
• Zierikzee specie:	droge stof	45 %
	PAK's	113 mg/kg d.s.
	org. stof	7,1 % d.s.
	korrelgrootte	75 % < 2 μ m
• Geulhavenspecie:	droge stof	67 %
	PAK's	71 mg/kg d.s.
	minerale olie	8100 mg/kg d.s.
	org. stof	6,2 % d.s.
	korrelgrootte	28 % < 2 μ m

Het gemeten totaal PAK-gehalte van het uitgangsmateriaal was hoger dan oorspronkelijk verwacht.

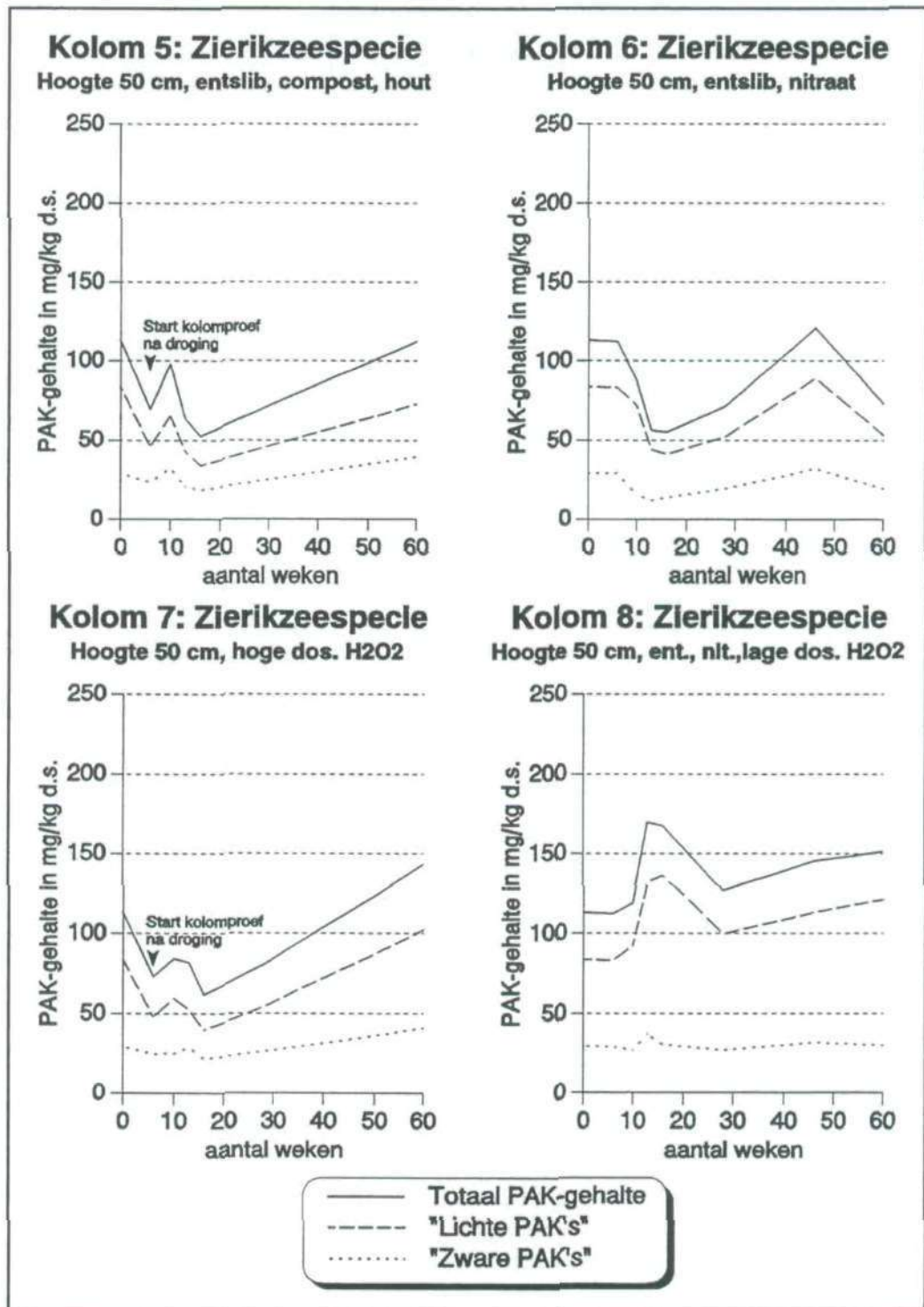
- **Droging**

Na 6 weken natuurlijke droging had het gedroogde materiaal de volgende samenstelling:

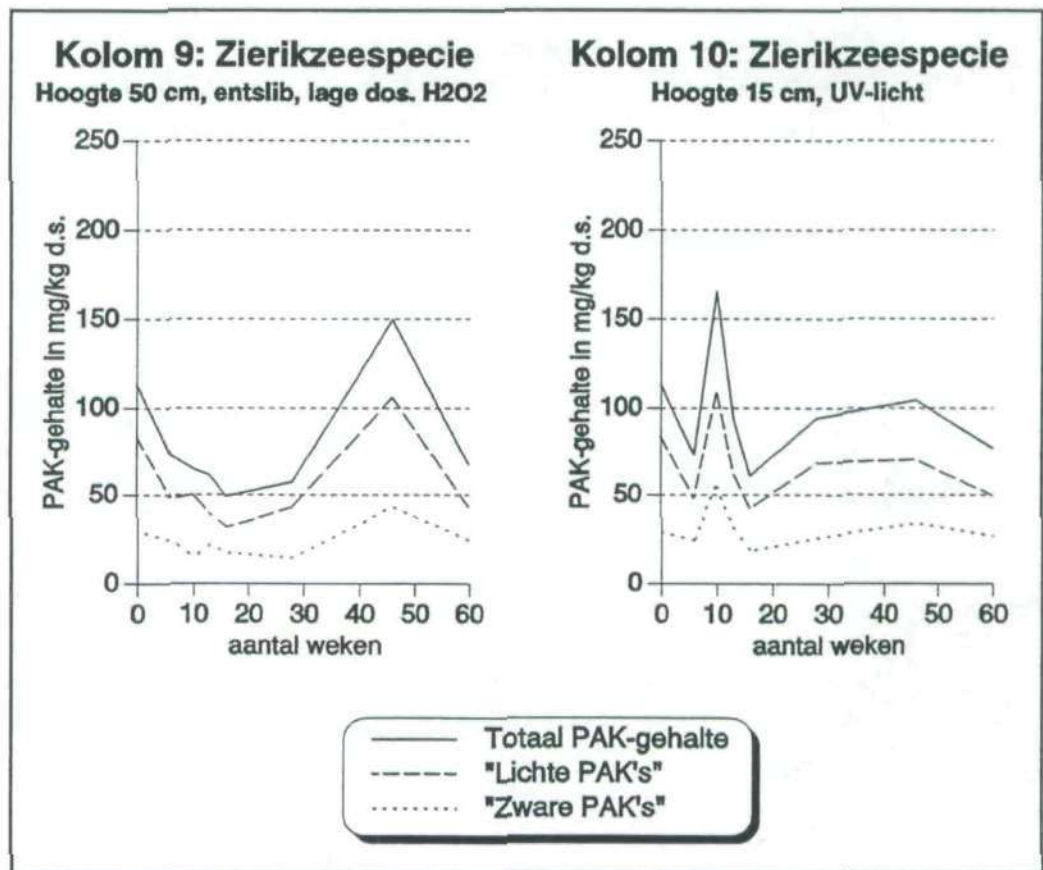
• Zierikzee specie:	droge stof	70 %
	PAK's	73 mg/kg d.s. (tussen 66 en 80)
	org. stof	7,0 % d.s.
	korrelgrootte	82 % < 2 μ m
• Geulhavenspecie:	droge stof	74 %
	PAK's	37 mg/kg d.s. (tussen 35 en 38)
	minerale olie	5500 mg/kg d.s. (tussen 4600 en 6300)
	org. stof	5,4 % d.s.
	korrelgrootte	23 % < 2 μ m



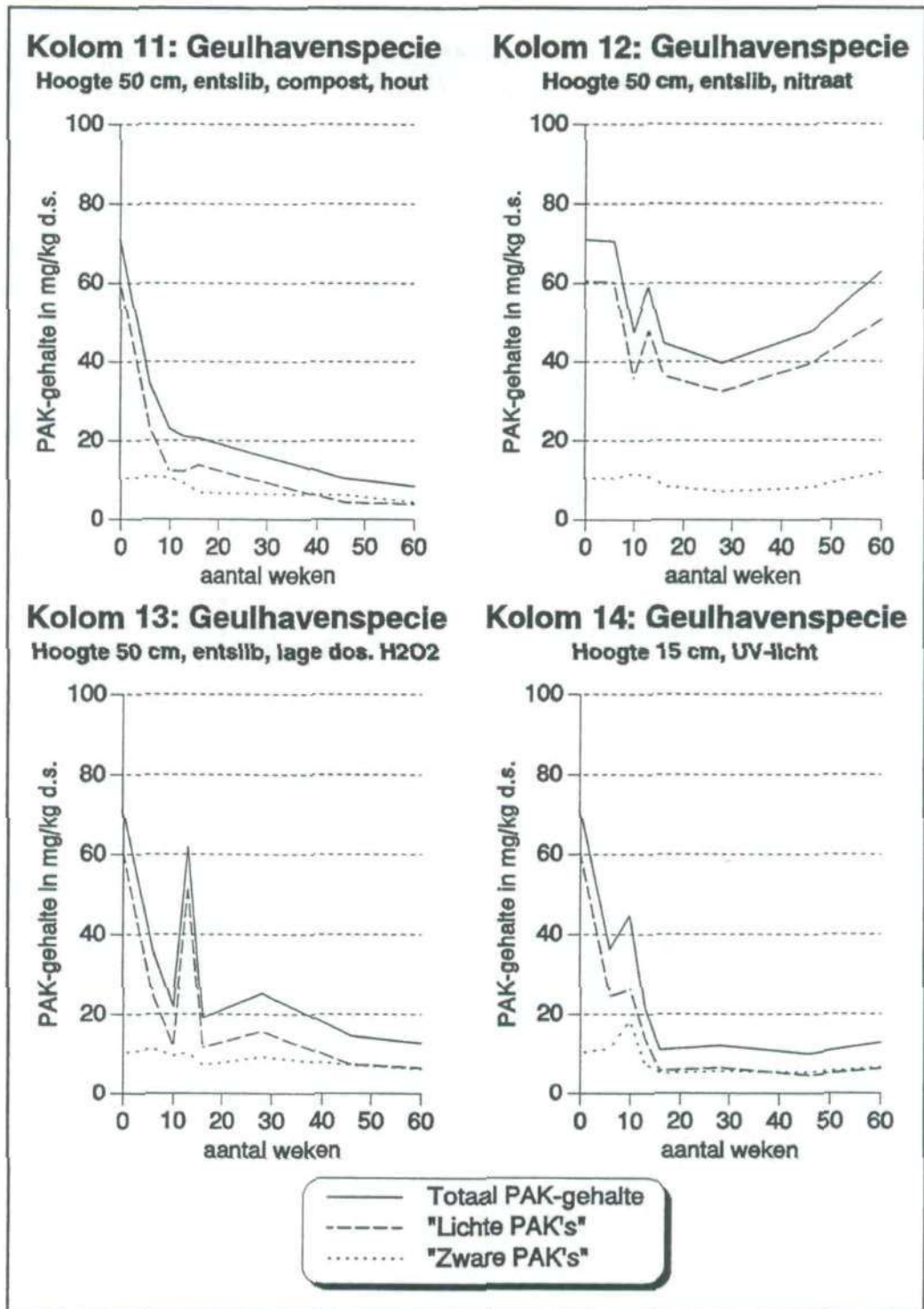
Figuur 11 - Verloop van het totaal PAK-gehalte, het gehalte aan "lichte" PAK's en het gehalte aan "zware" PAK's in de kolommen 1 t/m 4



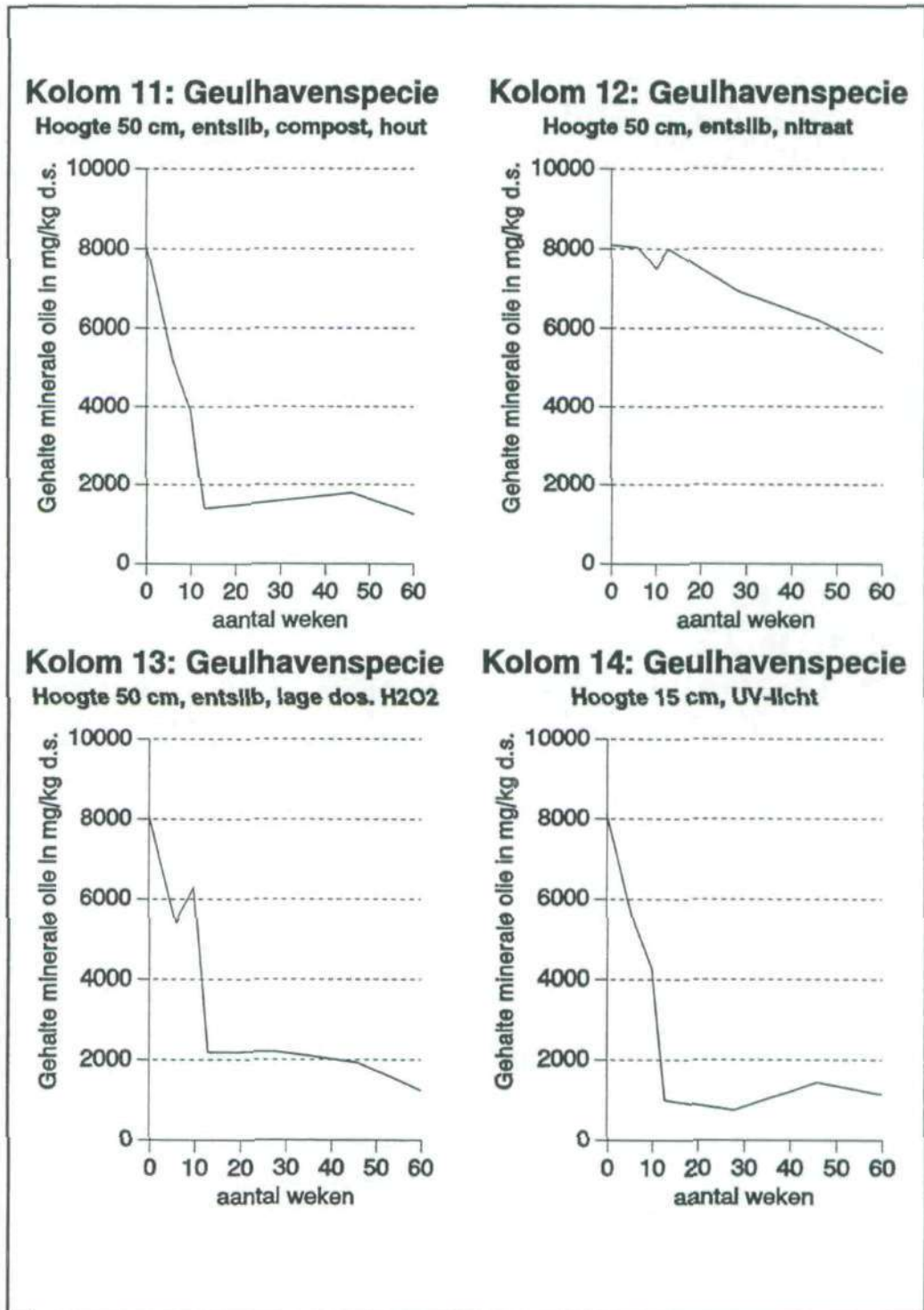
Figuur 12 - Verloop van het totaal PAK-gehalte, het gehalte aan "lichte" PAK's en het gehalte aan "zware" PAK's in de kolommen 5 t/m 8



Figuur 13 - Verloop van het totaal PAK-gehalte, het gehalte aan "lichte" PAK's en het gehalte aan "zware" PAK's in de kolommen 9 en 10



Figuur 14 - Verloop van het totaal PAK-gehalte, het gehalte aan "lichte" PAK's en het gehalte aan "zware" PAK's in de kolommen 11 t/m 14



Figuur 15 - Verloop van het gehalte aan minerale olie in de kolommen 11 t/m 14

De PAK- en oliegehalten bleken na droging afgenomen te zijn. De afname van het PAK-gehalte bleek bij Geulhavenspecie geheel en bij Zierikzeespecie hoofdzakelijk veroorzaakt te zijn door een afname in het gehalte aan laagmoleculaire PAK-verbindingen. Gezien de verderop in deze paragraaf ter sprake komende fluctuerende analyseresultaten m.b.t. de PAK-concentraties is het de vraag of aan deze resultaten veel waarde gehecht moet worden, indien tevens de beperkte hoeveelheid monsters, die in dit stadium geanalyseerd zijn, in ogenschouw genomen worden.

- **Berekening**

Berekening van de kolominhoud van de diverse kolommen geeft nauwelijks een verandering van de consistentie van de specie. Het toegevoegde water infiltreert en kan bij de kolommen zonder toeslagstoffen vrijwel direct opgevangen worden als percolaat. Bij de kolommen waarbij houtchips, compost en entslib in combinatie zijn toegevoegd vindt een grotere absorptie plaats van het toegevoegde water (ca. 0,5 l per berekening). De vrijkomende hoeveelheid percolaat is veelal te beperkt om analyse (volgens analysepakket III of IV, zie bijlage 1) uit te laten voeren.

- **Aërobie**

In de aërobe kolommen was nauwelijks sprake van een zuurstofgradiënt. Het zuurstofgehalte van de lucht tussen de speciekorrels was vrijwel overal 20 tot 21 % (in de buitenlucht is het zuurstofgehalte 21 %). Alleen bij de kolommen 11 en 13 (Deze kolommen bevatten een 50 cm dikke laag Geulhavenspecie) daalde het zuurstofgehalte op ca. 42 cm diepte tot tussen de 14 en 18 % afhankelijk van de vochtigheid van de kolom. Deze specie had tijdens het laboratoriumonderzoek in gedroogde toestand een fijnere structuur dan de Zierikzeespecie (als gevolg van klontvorming bij de Zierikzeespecie) en bemoeilijkte daardoor het zuurstoftransport door de kolom. De fijnere structuur zal echter tevens als gevolg hebben gehad dat zuurstof beter in de speciekorrels heeft kunnen diffunderen, waardoor relatief zuurstof ter beschikking van de PAK-afbrekende microorganismen is gekomen dan bij Zierikzeespecie het geval is geweest. De lage zuurstofgehalten bij de Geulhavenspecie wijzen op het plaatsvinden van biologische afbraak. Het verbruik van de zuurstof als gevolg van de afbraak vindt in dat geval sneller plaats dan de toevoer door diffusie.

In geen enkele kolom daalde het zuurstofgehalte tussen de speciekorrels zodanig dat er van zuurstoflimitatie sprake kon zijn. Als gevolg van klontvorming is er bij Zierikzeespecie echter in de speciekorrels waarschijnlijk wel zuurstoflimitatie opgetreden. De microorganismen, die voor afbraak verantwoordelijk zijn, hebben hierdoor onvoldoende zuurstof gekregen om hun werk te kunnen verrichten. Als gevolg hiervan is de afbraak van PAK's bij Zierikzeespecie merkbaar bemoeilijkt.

- **PAK- en minerale olie-analyses**

De analyseresultaten van de startmonsters en van de toeslagstoffen zijn weergegeven in bijlage 3. In bijlage 4 staan de gegevens van de tussentijdse en de eindmonsters van de baggerspecie in de kolommen weergegeven. In de figuren 11 t/m 14 wordt het verloop van de totaal PAK-gehalten, het gehalte aan "lichte" PAK's t/m Chryseen (d.w.z. PAK's met maximaal 4 ringen, waarbij Chryseen het hoog Moleculaire gewicht heeft) en het gehalte aan "zware" PAK's in de 14 kolommen weergegeven. In figuur 15 wordt het verloop van het gehalte aan minerale olie in de kolommen met Geulhavenspecie (kolommen 11 t/m 14) weergegeven.

Uit deze analyseresultaten blijkt het volgende:

- Analyseresultaten Zierikzee-specie:

De analyseresultaten met betrekking tot de PAK's fluctueren sterk (faktor 1,5 tot 2) en hebben bij de kolommen met Zierikzeespecie enkele stevige uitschieters naar boven (faktor 3 tot 4). Als gevolg hiervan kan voor Zierikzeespecie niet vastgesteld worden welke condities de beste resultaten opleveren. Deze fluctuaties zijn voornamelijk terug te vinden in de gehalten aan "lichte" PAK's. Er is bij geen van de condities een duidelijke afname in het PAK-gehalte waarneembaar.

De fluctuaties zijn niet verminderd door toepassing van cryogene maling. Deze spreiding is dus inherent aanwezig in het te analyseren materiaal en kon tijdens het samenstellen van mengmonsters niet voldoende uitgemiddeld worden. Vanwege de geringe hoeveelheid specie, die in de kolommen aanwezig was, was het niet mogelijk om de hoeveelheid te analyseren monsters drastisch te verhogen zoals bij het veldonderzoek wel is gedaan. De monsternamen/analyse-methode kon, behalve door het uitvoeren van cryogene malingen, tijdens het laboratoriumonderzoek daarom niet verbeterd worden.

- Resultaten PAK's-analyses Geulhaven-specie:

Bij de kolommen met Geulhavenspecie zijn de fluctuaties in de analyseresultaten een stuk minder. Bij de 3 aërobe kolommen (kolommen 11, 13 en 14) is een sterke afname in het PAK-gehalte waarneembaar tot 10 à 20 % van het oorspronkelijke gehalte van de specie voor droging (tot 25 à 35% van het gehalte van de specie na droging). Deze afname is over alle PAK's waarneembaar maar voornamelijk in de laag-moleculaire PAK's (tot 7 à 11 % van het oorspronkelijke gehalte van de specie voor droging). Het PAK-gehalte in kolom 11 vertoont de grootste afname. Het verschil ten opzichte van de kolommen 13 en 14 is echter te gering om hier een conclusie aan te verbinden. In de anaërobe Geulhavenkolom (kolom 12) is geen duidelijke afname waarneembaar. Het is echter wel duidelijk dat afbraak van PAK's in Geulhavenspecie onder aërobe omstandigheden aanzienlijk beter verloopt dan onder anaërobe omstandigheden.

Resultaten olie-analyses Geulhaven-specie:

Het oliegehalte in de Geulhavenspecie is in de loop van het onderzoek verder afgenomen. In de aërobe kolommen 11, 13 en 14 is het gehalte gedaald tot ca. 15 % van het oorspronkelijke gehalte voor droging, waarbij de afname in kolom 14 (kolom met UV-licht bestraling) in het beginstadium het snelst verliep. In de anaërobe kolom 12 is het gehalte gedaald tot ca. 70 % van het oorspronkelijke gehalte. In het oliegehalte treden slechts in geringe mate schommelingen op. De olie zit dus veel gelijkmatiger over de specie verdeeld dan de PAK's.

Uitloging PAK's:

Uit de bemonsteringen van het percolaat/drainagewater uit de kolommen blijkt dat PAK's nauwelijks uitgespoeld worden. De gehalten variëren van 0 tot 0,3 $\mu\text{g/l}$ met uitschieters tot maximaal 3 $\mu\text{g/l}$. Dit betekent dat er in totaal maximaal slechts ca. 55 μg aan PAK's per kolom is uitgeloozd (uitgaande van een totale doorzet van ca. 18 l per kolom en van het maximale gehalte). Dit is te verwaarlozen ten opzichte van de gehalten in het slib (maximaal 0,01 tot 0,1 % van het gehalte in het slib).

4.2.2 Aanvullend verdampingsonderzoek

Bij het onderzoek naar de mogelijkheid van verdamping van PAK's tijdens droging bedroeg het PAK-gehalte van het niet gedroogde materiaal 103 mg/kg d.s.. Direct nadat natriumazide was toegevoegd bedroeg het gehalte 67 mg/kg d.s.. Deze afname met 35 % is zichtbaar over alle PAK's en niet alleen bij de lichte PAK's. De reden hiervan is niet duidelijk, maar kan verklaard worden door het optreden van sterke fluctuaties in de PAK-gehaltenes.

Nadat het materiaal 6 weken gedroogd was onder 3 verschillende condities, zoals vermeld in paragraaf 3.4.3 werden de volgende PAK-gehaltenes (na cryogene maling) gemeten:

- 77 mg/kg d.s. in de situatie waarin PAK-afname alleen door verdamping zou kunnen zijn veroorzaakt. De specie is hierbij met natriumazide behandeld en in het donker ter droging gelegd.
- 88 mg/kg d.s. in het geval waarin PAK-afname door foto-chemische afbraak en verdamping zou kunnen zijn veroorzaakt. De specie is hierbij eveneens met natriumazide behandeld, maar nu in het licht ter droging gelegd.
- 102 mg/kg d.s. in het geval waarin de PAK-afname door verdamping, biologische en foto-chemische afbraak zou kunnen zijn veroorzaakt. De specie is hierbij niet met natriumazide behandeld, maar wel in het licht ter droging gelegd.

Er mocht echter worden verwacht, dat, indien alleen verdamping de oorzaak zou kunnen zijn van de PAK-afname, alle drie de condities een even grote afname in het PAK-gehalte zouden vertonen. Indien alleen fotochemische afbraak de oorzaak zou kunnen zijn, mocht verwacht worden dat alleen bij de twee eerste condities een afname waarneembaar zou zijn. Indien tenslotte alleen biologische afbraak de oorzaak van de PAK-afname zou kunnen zijn, werd alleen in het eerste geval een

afname verwacht. Dit betekent dat de afname in het eerste geval minimaal gelijk, zo niet meer, zou moeten zijn dan bij de andere 2 condities. De waarden zijn dus niet verklaarbaar uit te verwachten effecten. Tevens zijn ze niet in overeenstemming met de afname van 113 naar 73 mg/kg d.s., zoals bij droging van de Zierikzeespecie voor het laboratoriumonderzoek te zien was. Dit is wederom te verklaren door het optreden van de al eerder genoemde sterke fluctuaties in de PAK-gehalten.

Afnames door verdamping, (foto-)chemische afbraak en/of microbiologische afbraak zijn door middel van het verdampingsonderzoek niet aangetoond.

4.2.3 Bacterietellingen

De resultaten die tijdens de uitvoering van de bacterietellingen op verschillende media zijn verkregen staan vermeld in tabel 3.

Uit het aantal gevonden microorganismen blijkt het volgende:

- Er zitten microorganismen in de specie.
- Aanvankelijk bevatte de specie bacteriën die in potentie naftaleen en anthraceen kunnen afbreken: respectievelijk $3 \cdot 10^3$ en $5 \cdot 10^2$ per gram Zierikzeespecie en $25 \cdot 10^3$ en $25 \cdot 10^3$ per gram Geulhavenspecie. De milieu-omstandigheden bepalen of ze functioneren.
- Door toevoeging van entmateriaal en nitraat worden de omstandigheden kennelijk ongunstig voor naftaleen- en anthraceen-afbrekende microorganismen. Slechts in Geulhavenspecie zijn dan nog naftaleen- en anthraceenafbrekers aanwezig (resp. 15 en 5 per gram specie). Er kan niet worden vastgesteld of de toevoeging van entmateriaal of van nitraat de oorzaak is geweest van het geringe aantal microorganismen.

Tabel 3 - Hoeveelheid bacteriën, die tijdens de bacterietellingen per gram slib (ca. 40 % d.s.) gevonden zijn op verschillende media

	ZZ-specie (niet ge- droogd)	ZZ-specie (kolom 6) ¹	GH-specie (niet ge- droogd)	GH-specie (kolom 2) ¹
NB (rijkmedium)	$75 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$70 \cdot 10^4$	$65 \cdot 10^2$
Verdund (1/10) NB	$15 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^2$	$10 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$
MM + Benzoëzuur	$45 \cdot 10^2$	0	$15 \cdot 10^3$	20
MM + Naftaleen	$30 \cdot 10^2$	0	$25 \cdot 10^3$	15
MM + Anthraceen	$5 \cdot 10^2$	0	$25 \cdot 10^3$	5
MPN-methode	$5 \cdot 10^4$	-	$5 \cdot 10^5$	-

¹ Anaërobe kolom waaraan entslib en een hoge dosis nitraat is toegevoegd.

4.3 Veldonderzoek

In deze paragraaf worden de resultaten beschreven, die tijdens het veldonderzoek zijn verkregen. In paragraaf 4.3.1 wordt aandacht besteed aan de resultaten van de proefnemingen, uitgevoerd om de monstername/analyse-procedure te optimaliseren. Deze proefnemingen zijn uitgevoerd naar aanleiding van de in fase 1 van het veldonderzoek geconstateerde fluctuaties in de analyseresultaten. In paragraaf 4.3.2 worden de analyseresultaten m.b.t. het gehele veldonderzoek in tabellen en figuren weergegeven. In de paragrafen 4.3.3 en 4.3.4 worden vervolgens de resultaten van resp. de fasen 1 en 2 van het veldonderzoek besproken. De overall-resultaten van het gehele veldonderzoek worden tenslotte in paragraaf 4.3.5 toegelicht.

4.3.1 Monstername/analyse-procedure

Tijdens het laboratoriumonderzoek en fase 1 van het veldonderzoek is geconstateerd dat de PAK-gehalten in de speciemonsters sterk fluctueren. Interpretatie van de analyseresultaten wordt daardoor ernstig bemoeilijkt. Om de genoemde fluctuaties zoveel mogelijk uit te middelen en een betere interpretatie van de analyseresultaten mogelijk te maken is een uitgebreide monstername uitgevoerd om een nieuwe monstername/analyse-procedure vast te kunnen stellen. Hiertoe zijn van een veld met Zierikzeespecie en met Geulhavenspecie elk 10 mengmonsters op PAK's geanalyseerd (zie bijlage 2). De resultaten van deze analyses staan vermeld in tabel 4. In de tabel zijn tevens de gemiddelden van deze resultaten, de variantie en het daaruit volgende aantal monsters weergegeven, die met behulp van de in bijlage 2 vermelde methode zijn berekend.

Tabel 4 - Resultaten van de proefnemingen met betrekking tot de optimalisatie van de monstername/analyse-procedure		
Slibsoort	GH-specie	ZZ-specie
PAK-gehalten in mg/kg ds	12	46
	159	55
	16	46
	71	33
	13	46
	17	43
	13	53
	15	55
	77	348
	14	36
Gemiddelde in mg/kg ds	41	76
Variantie	2345	9187
Aantal monsters	374	422

Uit deze resultaten blijkt dat om een gemiddeld PAK-gehalte te verkrijgen met een maximaal toegestane afwijking van het gemiddelde van 20 % (betrouwbaarheidsinterval 99%) er per veld circa 400 mengmonsters geanalyseerd moeten worden. De hoge waarden voor de noodzakelijke aantallen monsters (zie tabel 4) worden voornamelijk veroorzaakt door de extreme uitschieters (tot een factor 10 maal zo hoog als de rest van de bepaalde waarden) die in de analyseresultaten voorkomen. Deze waarden hebben een dusdanige invloed op de gemiddelden dat middeling van de analyseresultaten niet zinvol lijkt. Als de uitschieters buiten beschouwing worden gelaten komen de gemiddelde PAK-gehalten voor GH- en ZZ-specie op resp. 14 en 46 mg/kg ds.

Het zal duidelijk zijn, dat dit geen reële optie is. Om deze reden is besloten om van het principe van de mengmonsters af te stappen en het verloop van het PAK-gehalte in de rest van het onderzoek te volgen aan de hand van analyses van steekmonsters. Zoals eerder in deze paragraaf al vermeld zullen in het veld op bepaalde plekken aanzienlijk hogere PAK-concentraties aanwezig zijn dan in de rest van het veld, als gevolg van plaatselijke verontreiniging met PAK-houdende stoffen in de gebaggerde havens. Bij het nemen van steekmonsters zal nu en dan een monster op een dergelijke plek genomen worden met een bijbehorend hoog PAK-gehalte. Als van een aantal steekmonsters mengmonsters samengesteld worden, zal een deel van deze mengmonsters "besmet" worden met PAK's uit het steekmonster met de extreem hoge PAK-concentratie. De verwachting is dat dit in de eerste periode van het veldonderzoek geleid heeft tot de sterke fluctuaties in de analyseresultaten, waardoor de resultaten van fase 1 van het veldonderzoek met enig voorbehoud bekeken moeten worden. Door geen mengmonsters samen te stellen, maar de steekmonsters individueel te analyseren, wordt de variatie expliciet zichtbaar gemaakt. Naar verwachting zal een dergelijke extreme waarde hoger liggen dan de uitschieters bij mengmonsters. De extreme waarden kunnen op deze wijze snel geïdentificeerd worden en zonodig buiten beschouwing gelaten worden zonder dat ze invloed hebben op de overige resultaten.

4.3.2 Analyseresultaten

In figuur 16 is ter verduidelijking het overzicht van de tijdens het gehele veldonderzoek uitgevoerde bewerkingen en monsternamen uit paragraaf 3.5.3. herhaald. De analyseresultaten van het veldonderzoek (fase 1 en fase 2) zijn weergegeven in bijlage 5. Daar voor de laboratoriumproeven dezelfde specie is gebruikt als voor het veldonderzoek wordt aangenomen dat het PAK-gehalte van de specie bij het inbrengen op het veld gelijk was aan de niet-gedroogde specie uit het laboratoriumonderzoek. Bij het inbrengen van de Zierikzeespecie was het PAK-gehalte dus ca. 113 mg/kg d.s. Hiervan bestond 74 % uit de "lichte" PAK's t/m Chryseen. Voor Geulhavenspecie was het PAK-gehalte bij het inbrengen ca. 71 mg/kg d.s., waarvan 85 % uit "lichte" PAK's t/m Chryseen bestond.

De afname van het PAK-gehalte in de tijd in het veld voor Geulhaven- en Zierikzeespecie is weergegeven in de figuren 17 (totaal PAK's met individuele monsters) en 18 (totaal, "lichte" en "zware" PAK's). De gehalten aan minerale olie zijn weergegeven in figuur 19. De velden met geulhavenspecie zijn 82 weken na het opbrengen van de specie ingericht volgens de minimum en maximum optie (fase 2), de velden met Zierikzeespecie na 72 weken. De gehalten aan PAK's (niet-genormeerd), minerale olie, droge stof en organische stof zijn tevens in de tabellen 5 en 6 vermeld.

De velden, die tijdelijk onder water gezet zijn, zijn na inrichting van de 4 velden niet meer verder bemonsterd en bewerkt. Het verloop van het PAK-gehalte in deze velden is weergegeven in figuur 20.

Tabel 5 - Overzicht van gehalten aan PAK's (niet-genormeerd), minerale olie, droge stof en organische stof gedurende het veldonderzoek (fase 1 en 2) voor Geulhavenspecie voor de minimum en de maximum optie

proef- week	PAK's (mg/kg d.s.)		minerale olie (mg/kg d.s.)		organische stof (gew. % d.s)		droge stof (gew. %)	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0	71		8100		6,2		67	
28	41		-		3,8		76	
32 ¹	17		3930		-		76	
42	20	11	2110	1380	-	-	77	76
59	14	11	2560	1560	4,4	3,9	74	74
76	15	-	-	-	-	-	76	-
82 ²	12	14	2400	2200	4,6	4,9	74	72
104	7	8	2000	500	4,1	4,6	75	75
119	6	7	940	490	3,9	3,8	76	75
136	9	8	310	230	2,3	2,7	76	79
173	8	8	640	420	4,4	4,1	75	78
194	5	5	330	150	4,2	4,2	76	78

¹ In proefweek 32 heeft voor de eerste maal bewerking plaatsgevonden op de velden, waarop in de later stadium de maximum optie is gevolgd.

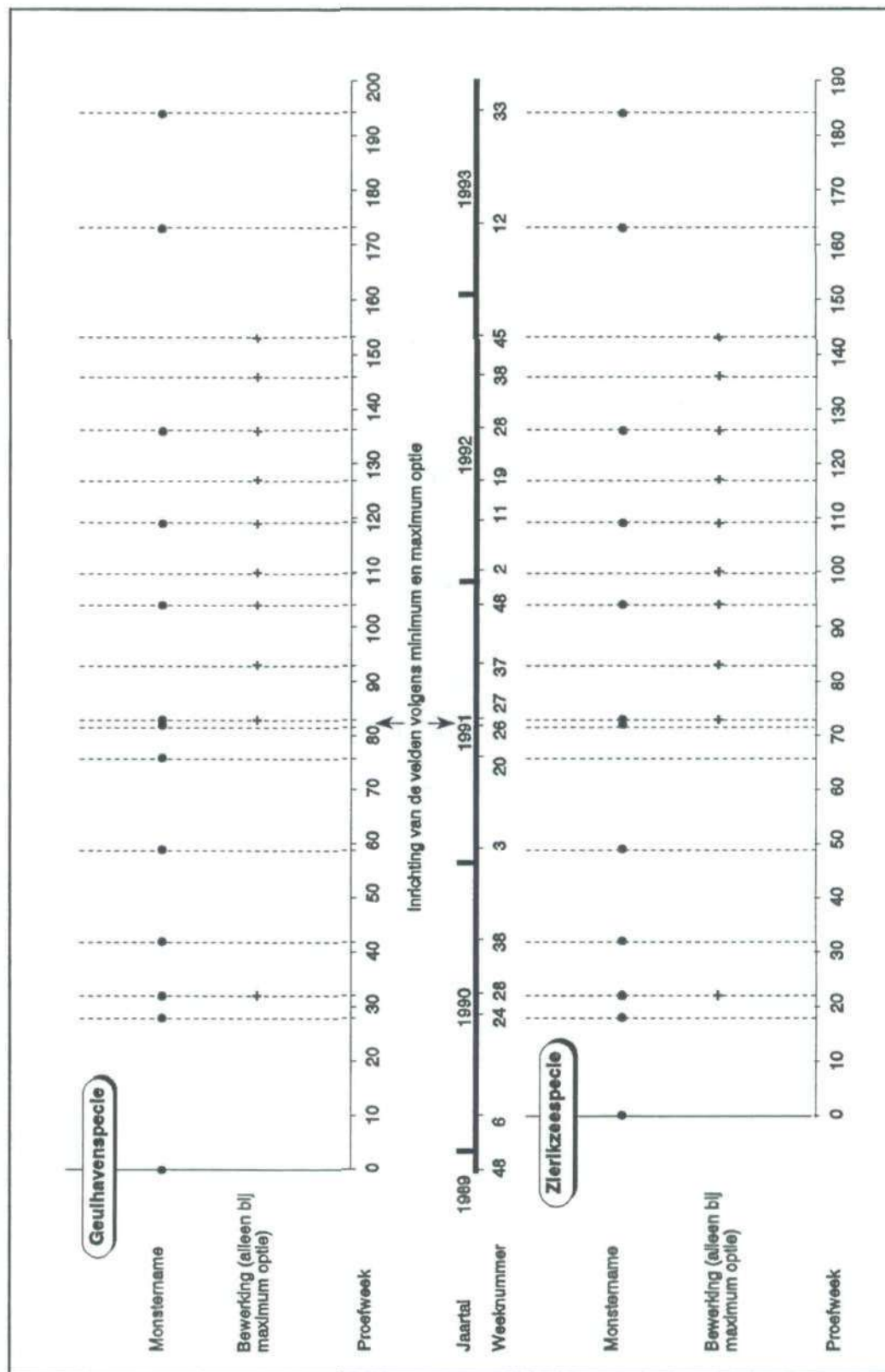
² In proefweek 82 zijn een tweetal velden met Geulhavenspecie volgens de minimum en de maximum optie ingericht (start fase 2).

Tabel 6 - Overzicht van gehalten aan PAK's (niet-genormeerd), droge stof en organische stof gedurende het veldonderzoek (fase 1 en 2) voor Zierikzeespecie voor de minimum en de maximum optie

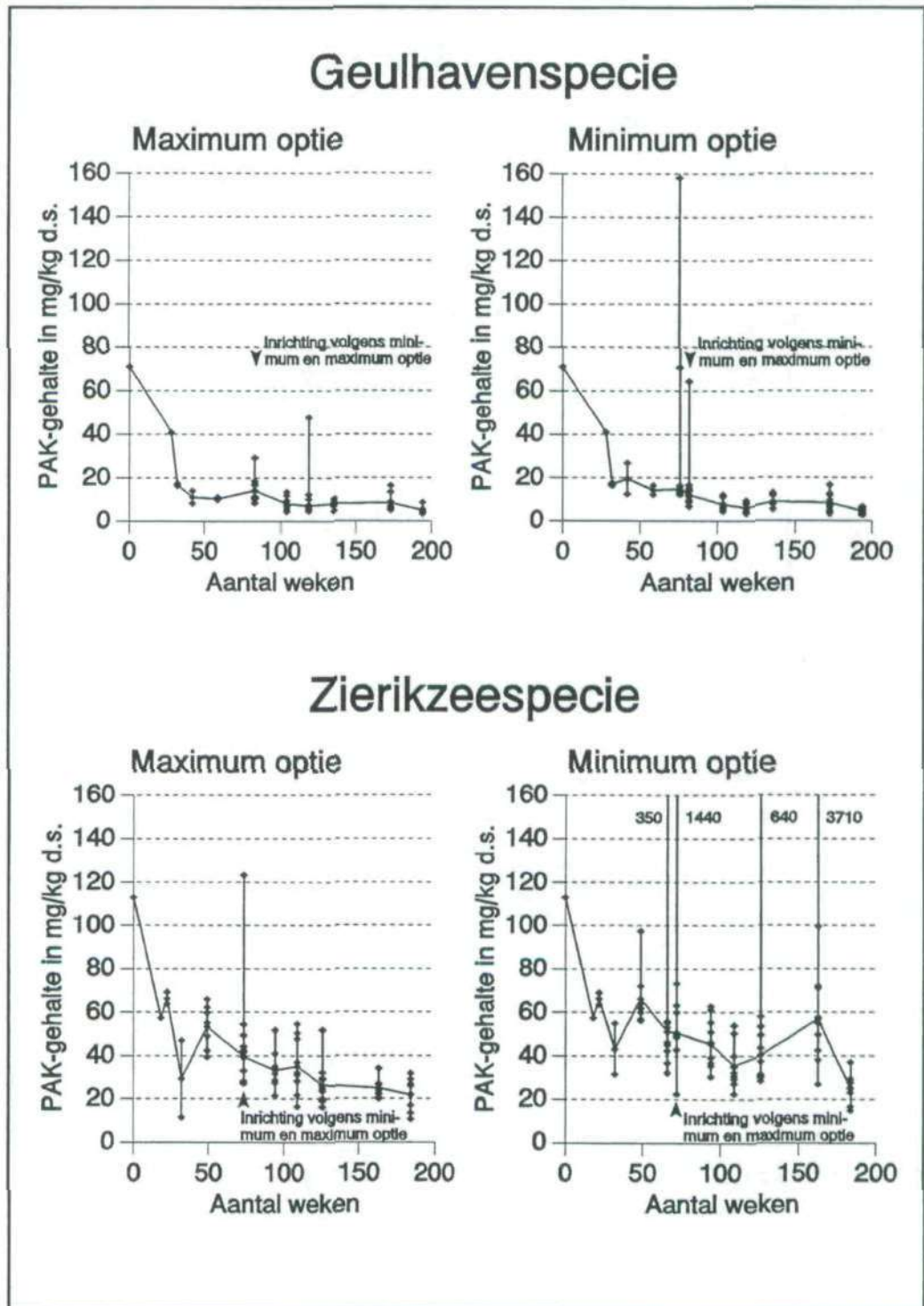
proefweek	PAK's (mg/kg d.s.)		organische stof (gew. % d.s)		droge stof (gew. %)	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0		113		7,1		45
18		58		5,8		71
22 ¹		66		-		73
32	43	29	-	-	72	76
49	67	53	5,9	5,4	69	72
66	51	-	-	-	72	-
72 ²	51	40	6,2	6,0	71	70
94	46	33	5,0	5,4	71	72
109	36	35	5,8	5,0	72	74
126	40	26	3,2	3,2	76	79
163	57	25	6,3	4,5	73	79
184	25	22	6,3	4,6	72	76

¹ In proefweek 22 heeft voor de eerste maal bewerking plaatsgevonden op de velden, waarop in de later stadium de maximum optie is gevolgd.

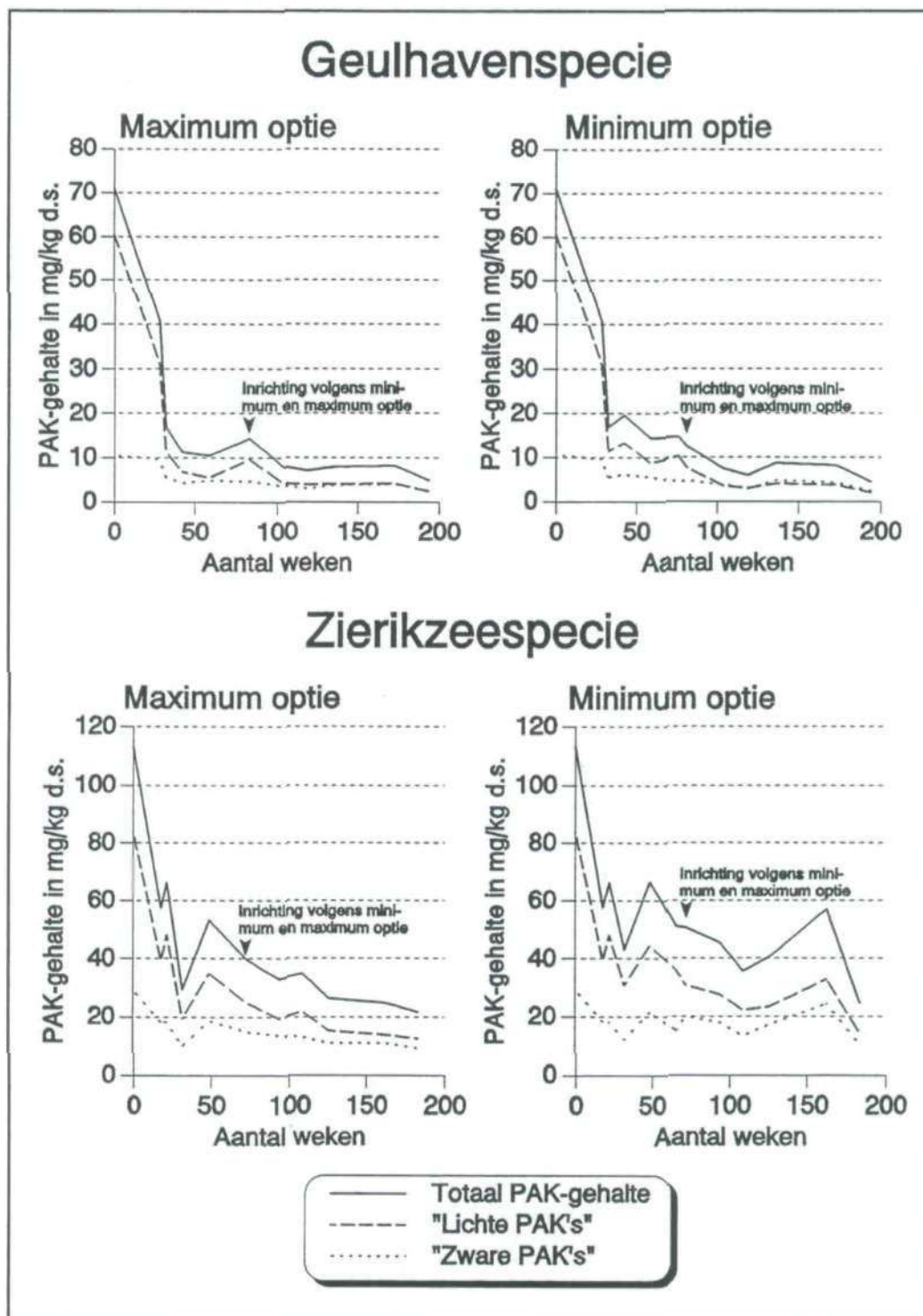
² In proefweek 72 zijn een tweetal velden met Zierikzeespecie volgens de minimum en de maximum optie ingericht (start fase 2).



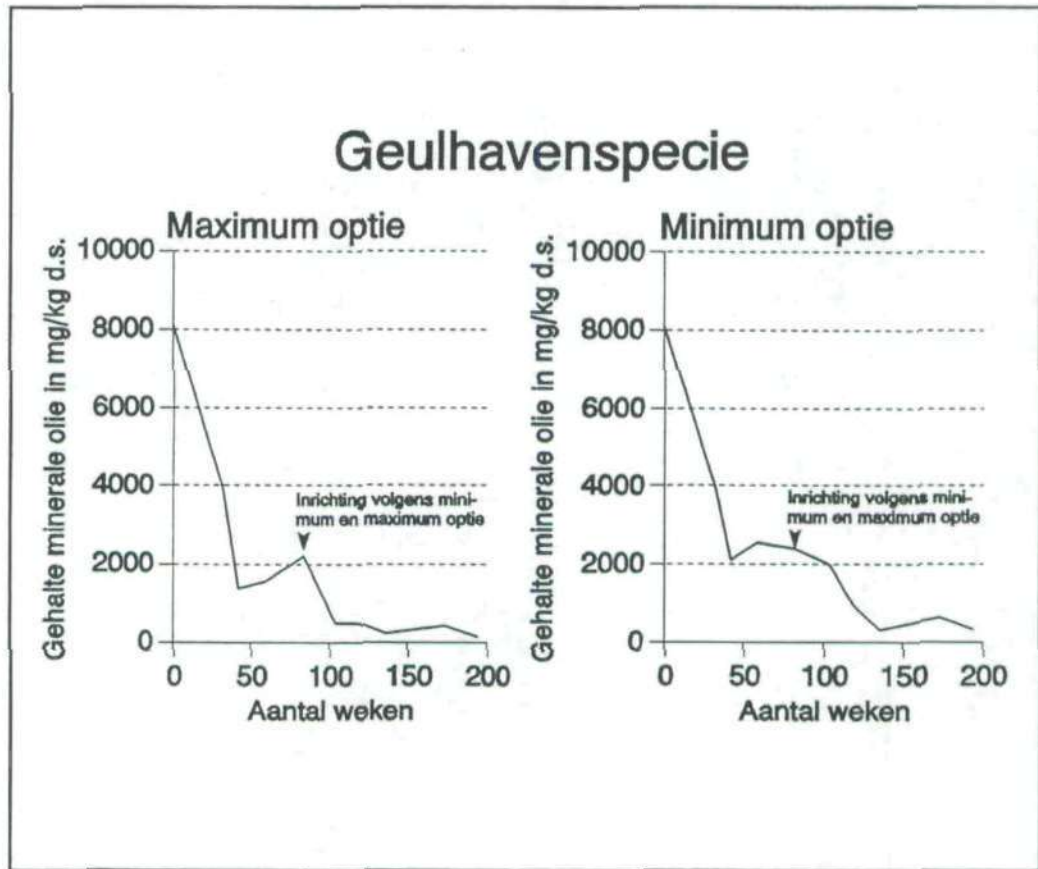
Figuur 16 - Overzicht van de tijdens de verschillende perioden van het veldonderzoek uitgevoerde bewerkingen en monsternamen



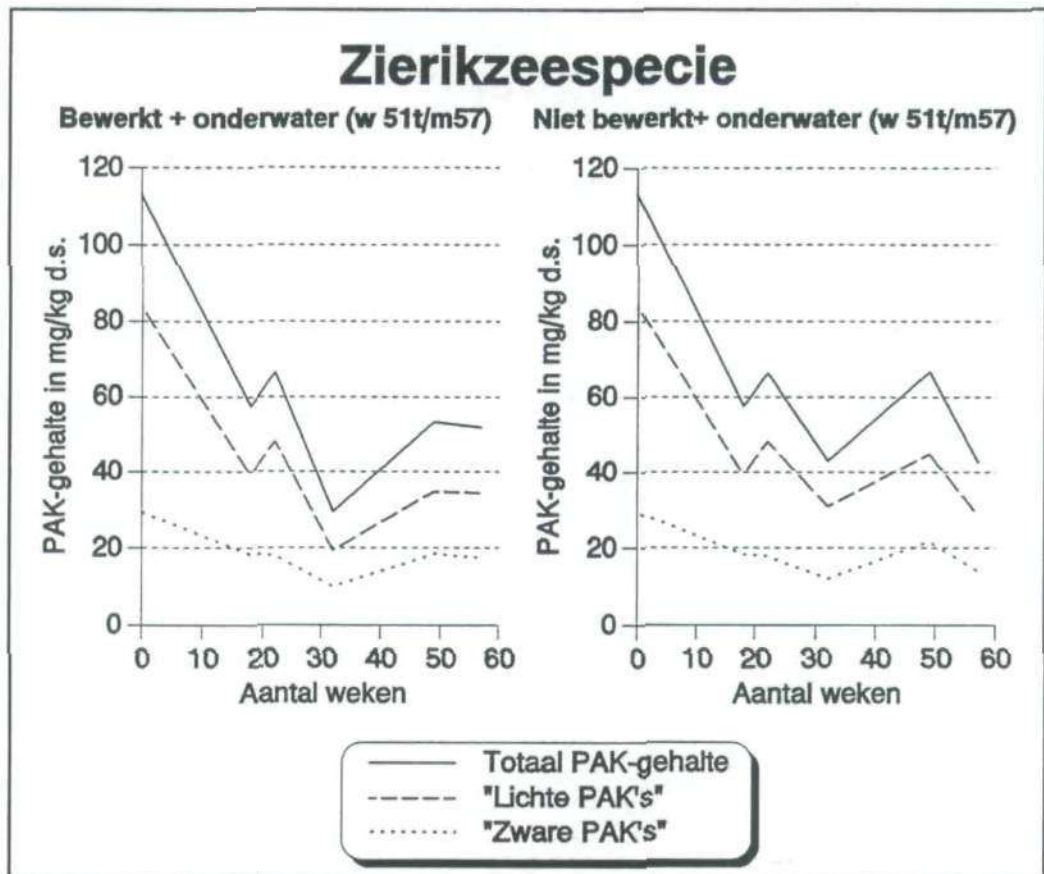
Figuur 17 - Verloop van het totaal PAK-gehalte (16 EPA) aan de hand van individuele monsters



Figuur 18 - Verloop van het totaal PAK-gehalte (16 EPA), het gehalte aan "lichte" PAK's en het gehalte aan "zware" PAK's



Figuur 19 - Verloop van het gehalte aan minerale olie



Figuur 20 - Verloop van het totaal PAK-gehalte (16 EPA), het gehalte aan "lichte" PAK's en het gehalte aan "zware" PAK's voor twee tijdelijk onder water gezette proefvelden

4.3.3 Bespreking van de resultaten van fase 1

Droging

De specie in het veld is vergaand ontwaterd/gedroogd tot een droge stof percentage van 70 à 75 %. Deze percentages zijn bereikt na resp. 18 en 28 proefweken voor Zierikzee- en Geulhavenspecie. Voor die tijd heeft geen bemonstering van de velden plaatsgevonden.

Uitloging

In het percolaat/drainagewater blijken nauwelijks PAK's te zitten (maximaal 0,3 µg per liter aan PAK's, waarvan Fluorantheen de lichtste is; gebaseerd op alle genomen watermonsters). De algemene milieukwaliteit voor fluorantheen van het water van 0,07 µg/l wordt hierbij slechts in een zeer beperkt aantal gevallen licht overschreden.

Analyseresultaten

Opgemerkt dient te worden dat in deze fase van het veldonderzoek de velden niet afzonderlijk bemonsterd zijn. Van velden, waarop dezelfde conditie werd getest, zijn gezamenlijke mengmonsters (eventueel in duplo) samengesteld. In paragraaf 3.5 is beschreven hoe de monsternames zijn uitgevoerd. Uit de analyseresultaten en de daarbij behorende figuren zijn de volgende resultaten af te leiden:

- Fluctuaties in PAK-gehalten:
Ook tijdens het veldonderzoek blijken de gemeten PAK-gehalten sterk te fluctueren. Dit is niet verminderd na introductie van cryogene maling als voorbehandeling van de monsters. Verwacht wordt dat deze fluctuaties ontstaan, doordat in het veld op bepaalde plekken hogere PAK-concentraties aanwezig zijn dan in de rest van het veld, als gevolg van plaatselijke verontreiniging met PAK-houdende stoffen in de gebaggerde havens. Hier zal verderop in deze paragraaf (bij de resultaten van het vaststellen van een nieuwe monsternamenanalyse-procedure) nader op worden ingegaan.
- PAK-gehalten in Zierikzeespecie:
Voor Zierikzeespecie zijn tot aan de inrichting van de velden met een minimum en een maximum optie geen grote verschillen waarneembaar tussen velden, die bewerkt zijn, onderwater gezet zijn of waar geen bewerkingen op zijn uitgevoerd. In de eerste 18 weken is sprake van een sterke afname in het PAK-gehalte van ca. 110 tot ca. 55 mg/kg d.s. In het verdere verloop van fase 2 blijven de PAK-gehalten, voorzover waarneembaar met het oog op de fluctuaties, ongeveer op hetzelfde peil. De bewerkte velden lijken een iets sterkere afname te vertonen. Bij de PAK-gehalten voor de onbewerkte velden met Zierikzeespecie is 66 weken na het opbrengen van de specie (vlak voor inrichting van de velden) een extreem hoge waarde waarneembaar. Door de op dat moment inmiddels gewijzigde monsternamenanalyse-procedure is duidelijk dat van één monster het PAK-gehalte ongeveer een factor 8 hoger ligt dan van de andere 7 monsters. Als de genoemde extreme waarde weggelaten wordt, bedraagt het gemiddelde PAK-gehalte ca. 50 mg/kg d.s. en ligt het in lijn met de gehalten in de andere velden.

- PAK-gehalten Geulhavenspecie:
Voor Geulhavenspecie zijn evenmin grote verschillen waarneembaar tussen de bewerkte en de onbewerkte velden. De PAK-gehalten fluctueren in veel mindere mate dan bij de Zierikzeespecie. In de eerste 32 weken is het PAK-gehalte sterk afgenomen van ca. 70 tot 10 à 20 mg/kg d.s., waarbij de waarden voor de bewerkte velden enigszins lager lijken te liggen dan die voor de bewerkte. In de rest van de tijd in fase 1 is geen duidelijke afname waarneembaar. Evenals bij Zierikzeespecie is er bij het onbewerkte veld met Geulhavenspecie aan het eind sprake van één monster met een relatief hoog PAK-gehalte (wederom een faktor 8 hoger dan de overige waarden).
- Afname gehalte "lichte" PAK's vs. "zware" PAK's :
De afname van het PAK-gehalte in de loop van de tijd wordt, zeker in het geval van Geulhavenspecie, voornamelijk veroorzaakt door de afname van het gehalte aan "lichte" PAK's. Het gehalte aan "lichte" PAK's neemt in de periode tot aan de definitieve inrichting af tot ca. 15 % van de startwaarde voor Geulhavenspecie en tot ca. 30 % voor Zierikzeespecie. Het gehalte aan zware PAK's neemt in dezelfde periode slechts af tot ca. 50 % van de startwaarde voor Geulhavenspecie en tot ca. 65 % voor Zierikzeespecie.
- Gehalte minerale olie in Geulhavenspecie:
Het gehalte aan minerale olie neemt in de periode tot aan de definitieve inrichting af van ca. 8000 mg/kg d.s. tot 1500 mg/kg d.s. bij de bewerkte velden en tot ca. 2500 mg/kg d.s. bij de niet-bewerkte velden. De gehalten aan minerale olie vertonen in tegenstelling tot de PAK-gehalten nauwelijks piekwaarden.
- Onderwater zetten van velden:
Het onder water zetten van de velden heeft geen invloed laten zien op de afbraak. Besloten is de proefneming met het onderwater zetten van de velden niet verder door te zetten maar een aantal velden volgens een minimum en maximum optie op te zetten (zie paragraaf 4.3.2.). Als gevolg hiervan zijn eventuele verdere effecten van het onder water zetten niet gevolgd.

Spreading PAK-gehaltenes binnen een proefveld

In 2 aselekt gekozen velden met Zierikzeespecie zijn in week 28 van 1990 (na 22 proefweken) op 10 verschillende plaatsen monsters genomen om de spreading van de PAK-gehaltenes in het veld te onderzoeken. De spreading (na cryogene maling) is weergegeven in tabel 7.

Het gemiddelde voor veld 1 ligt inclusief de uitschieter van ruim 400 op ca. 100 mg/kg d.s., exclusief deze uitschieter op ca. 60 mg/kg d.s.. Voor veld 2 ligt het gemiddelde op ca. 70 mg/kg d.s.. Deze waarden komen overeen met het gemiddelde PAK-gehalte van de overall mengmonsters van Zierikzeespecie uit week 28 (ca. 65 mg/kg d.s.).

Het is duidelijk dat ondanks de pogingen om een goede menging in het veld te bewerkstelligen er een grote spreading in PAK-gehaltenes aanwezig is.

Tabel 7 - Spreiding van de PAK-gehalten (mg/kg d.s.) in 2 aselechte velden met Zierikzeespecie (week 28 van 1990)

monsternummer	Veld 1	Veld 2
1	90,5	52,7
2	55,7	56,6
3	63,8	43,3
4	41,1	77,8
5	43,3	116,6
6	102,6	143,2
7	434,7	55,9
8	59,3	53,2
9	47,6	40,5
10	48,2	66,6

4.3.4 Bespreking van de resultaten van fase 2

Vanaf week 27 van 1991 (inrichting van de velden) is de bemonstering op de in paragraaf 4.3.1 beschreven wijze uitgevoerd. Per veld zijn 10 steekmonsters ter analyse aangeleverd. De analyseresultaten (niet-genormeerd) van deze monsters zijn in bijlage 5 weergegeven.

Extreme PAK-gehalten

De resultaten bevatten, zoals de verwachting was, enkele extreme waarden met als uitersten PAK-gehalten van ca. 1400 en 3700 mg/kg d.s. voor het veld met Zierikzeespecie, waarop de minimum optie is uitgevoerd. Deze extreme waarden zijn niet in de gemiddelden opgenomen. Uit de resultaten blijkt dat de extreme waarden alleen bij de velden, waarop de minimum optie wordt uitgevoerd, waarneembaar zijn. De bewerking, die op de velden met de maximum optie wordt uitgevoerd, mengt de specie klaarblijkelijk dusdanig dat de in havenbodems aanwezige ophoping van PAK's verspreid wordt. Bij velden met Geulhavenspecie zijn de extreme waarden slechts in beperkte mate waarneembaar.

Verloop PAK-gehalten

In de periode na inrichting van de velden met een minimum en een maximum optie is een verdere daling van de PAK-gehalten waarneembaar. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door een verdere afname van het gehalte aan "lichte" PAK's. Het gehalte aan "zwarte" PAK's neemt niet of nauwelijks verder af.

Minimum vs. maximum optie

Bij Zierikzeespecie is in deze periode een duidelijk verschil ontstaan tussen de minimum (voorheen niet-bewerkt) en de maximum optie (voorheen bewerkt). Dit verschil lijkt ook tijdens fase 1 waarneembaar, maar mag vanwege de fluktuaties in die periode niet als zodanig beschouwd worden.

Gedurende de gehele proefperiode heeft het PAK-gehalte bij de minimum optie circa 10 mg/kg d.s. hoger gelegen dan bij de maximum optie. Aan het eind van de proefperiode lag het PAK-gehalte voor de maximum optie op circa 20 mg/kg d.s.

en voor de minimum optie op circa 25 mg/kg d.s.. Beide waarden zijn enigzins lager dan op grond van de daaraan voorafgaande analyseresultaten verwacht werd. Eindwaarden van resp. 25 en 35 mg/kg d.s.. lagen meer in de lijn der verwachting. De analyseresultaten van de één na laatste bemonstering (proefweek 163) van de Zierikzeespecie, behandeld volgens de minimum optie lagen aanzienlijk boven de trend. Omdat de laatste resultaten weer aan de verwachtingen voldeden heeft geen verder onderzoek naar de oorzaken hiervan plaatsgevonden.

Bij de velden met Geulhavenspecie zijn extreme waarden wat betreft de minimum optie slechts in beperkte mate zichtbaar. Bij deze specie zijn in de laatste periode van het project de verschillen in PAK-gehalte verdwenen. Zowel de minimum als de maximum optie hebben een eindwaarde voor het PAK-gehalte van net onder 5 mg/kg d.s.. Deze waarden zijn uiteindelijk in geringe mate lager uitgevallen dan op grond van de analyseresultaten van de laatste circa 90 proefweken verwacht werd. De verwachting was met een eindwaarde voor het PAK-gehalte bij zowel de minimum als de maximum optie van ca. 8 mg/kg d.s. te eindigen.

Oliegehaltenes Geulhavenspecie

Het gehalte aan minerale olie is in de periode na definitieve inrichting verder afgenomen tot een waarde van circa 200 mg/kg d.s. voor de maximum optie en tot circa 300 mg/kg d.s. voor de minimum optie. Bij de maximum optie wordt de eindwaarde eerder bereikt. Ook hier lijkt een homogener verdeling als gevolg van het bewerken van de velden een positieve invloed te hebben op de afname van de verontreiniging.

4.3.5 Bespreking van de resultaten m.b.t. het gehele veldonderzoek

Seizoensinvloeden

Uit de grafieken in de figuren 18 en 19 lijkt een seizoensinvloed waarneembaar. De zomerperiodes tijdens het project vielen rond de 25^e, 75^e en 125^e week na het opbrengen van de specie. Zeker gedurende de eerste twee jaar is vanaf de zomerperiode tijdelijk een sterkere afname van het PAK- en oliegehalte te constateren. Tijdens het eerste jaar wordt de afname tevens beïnvloed door de droging van de specie na het opbrengen. Tijdens de winterperiode blijkt er nauwelijks of geen afname plaats te vinden. In het derde jaar vond er bij Geulhavenspecie niet of nauwelijks meer afbraak plaats, vanwege de reeds zeer lage concentraties. Er was dan ook geen seizoensinvloed meer merkbaar.

"Lichte" versus "zware" PAK's

Zoals in paragraaf 4.3.1 al is beschreven kan uit de figuren afgeleid worden dat de afname van het PAK-gehalte in de loop van de tijd, in sterke mate is veroorzaakt door de afname van het gehalte aan "lichte" PAK's. Bij Geulhavenspecie neemt het gehalte aan "lichte" PAK's gedurende de gehele proefperiode af tot minder dan 10 % van het startgehalte. Bij Zierikzeespecie vindt afname plaats tot 15 à 20 % van het startgehalte aan "lichte" PAK's. Het gehalte aan "zware" PAK's neemt gedurende dezelfde periode slechts af tot 30 à 40 % van de startwaarde voor Geulhavenspecie en tot ca. 35 à 45 % voor Zierikzeespecie.

Het oorspronkelijke overwicht aan "lichte" PAK's in de specie is hierdoor volledig verdwenen. Bij de start lag voor Geulhavenspecie het gehalte aan "lichte" PAK's 6 maal zo hoog als het gehalte aan "zware" PAK's. Bij Zierikzeespecie bedroeg deze verhouding ca. 3 maal. Aan het einde van de proefperiode lag de verhouding voor beide speciesoorten op 1. Het gehalte aan "zware" PAK's in een specie is daarom in grote mate bepalend voor de restconcentratie die uiteindelijk in de specie achterblijft.

Klasse-indeling

Indien de tijdens het project verkregen analyseresultaten (na omrekening) getoetst worden aan de "3^e nota waterhuishouding (door middel van het omrekenings- en toetsingsprogramma "LAWABO") kan een indruk worden verkregen van de klasse waarin de specie moet worden ingedeeld. Hierbij kunnen de volgende klassen worden onderscheiden:

- . klasse 1: voldoet aan kwaliteitsdoelstelling 2000
- . klasse 2: voldoet aan toetsingswaarde
- . klasse 3: voldoet aan signaleringswaarde
- . klasse 4: overschrijdt de signaleringswaarde

De klasse-indeling wordt over het algemeen gebaseerd op de overschrijding van de norm door meer dan 2 componenten. De klasse-indeling kan echter ook gebaseerd worden op overschrijding van de norm door een zwarte lijst stof.

In tabel 8 en 9 worden de genormeerde PAK-gehalten weergegeven voor resp. Geulhaven- en Zierikzeespecie bij de start van het project, na ca. een jaar proefperiode (resp. 59 en 49 weken) en aan het eind van de proefperiode (resp. 194 en 184 weken).

Bij de start van het project vielen zowel Geulhaven- als Zierikzeespecie ruimschoots in klasse 4. Ondanks de sterke afname van de PAK-gehalten viel Zierikzeespecie na een periode van 49 weken nog steeds in klasse 4. Aan het eind van de proefperiode viel de met de minimum optie behandelde Zierikzeespecie in klasse 4 enkel als gevolg van een overschrijding van de norm door een zwarte lijst stof (Benzo(b)fluorantheen). De overschrijding van de klassegrens is echter zeer gering. De met de maximum optie behandelde specie viel in klasse 3. Deze resultaten zijn gunstig in vergelijking met de resultaten bij de overige monsternames bij Zierikzeespecie. Tijdens de laatste monsternamen zijn namelijk, in tegenstelling tot bij de overige monsternamen, organische stof gehalten geconstateerd, die in dezelfde orde grootte liggen als bij de startmonsters. Bij de overige monsternames liggen de organische stof gehalten een factor 1,5 tot maximaal 2 lager. Voor de normering van de analyseresultaten, die plaatsvindt om vergelijking met de klasse-indeling te kunnen laten plaatsvinden, betekent een lager organisch stof gehalte een relatief hoger genormeerde PAK-gehalte (bij halvering van het organisch stof gehalte verdubbelt het genormeerde PAK-gehalte). Een daling in het organisch stofgehalte heeft dus een negatieve invloed op de klasse, waarin de specie valt. Indien ook bij de laatste monsternamen een laag organisch stofgehalte was vastgesteld zou de overschrijding van de grens tussen klasse 3 en 4 groter zijn geweest.

Geulhavenspecie zat na 59 weken wat het PAK- en oliegehalte betreft op de grens van klasse 3 (maximum optie) en 4 (minimum optie). Aan het eind van de totale proefperiode is voor beide opties klasse 3 bereikt. De overschrijding van de grens tussen klasse 2 en 3 is minimaal. Ook hier zijn tijdens de tussentijdse monsternamen lage organisch stof gehalten geconstateerd, die de klasse-indeling van deze monsters nadelig beïnvloeden. Met betrekking tot het olie-gehalte was Geulhavenspecie aan het eind van de proefperiode tot klasse 1 specie gedaald.

Met betrekking tot de wisselende waarden voor organisch stofgehalten moet nog worden opgemerkt dat het omrekeningsprogramma "LAWABO" bij voorkeur gebruik maakt van het TOC-gehalte om het organische stof gehalte te berekenen (Organisch stof gehalte is $1,724 * \text{TOC}$). Indien het TOC-gehalte niet bekend is wordt pas gebruik gemaakt van het gemeten organisch stof gehalte. In het begin van het project kan een verhouding tussen de gemeten TOC- en organisch stof gehalten van ca. 1,7 inderdaad aangetoond worden. Aan het eind van het project wordt de verhouding tussen de gemeten gehalten echter lager. De gemeten organische stof gehalten liggen aan het eind van het project een faktor 1,5 tot 2 lager dan in het begin van het project. Dit betekent dat indien de klasse-indeling in LAWABO gebaseerd wordt op het gemeten organisch stof gehalte een aanmerkelijk ongunstiger beeld wordt verkregen dan wanneer dit gebaseerd wordt op het TOC-gehalte. Aan het eind van het project overschrijdt Zierikzeespecie in die situatie de grens tussen klasse 3 en 4 en Geulhavenspecie de grens tussen klasse 2 en 3 aanzienlijk.

Bij Zierikzeespecie kan geconstateerd worden dat het lutumgehalte ($< 2\mu\text{m}$) daalt in de loop van de proefperiode. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het samenklonteren van de kleinste deeltjes. Deze deeltjes worden vervolgens tijdens de deeltjesgroottebepaling niet voldoende van elkaar losgemaakt.

Tabel 8: Genormeerde PAK-gehalten en klasse-indelingen (met overschrijding van de voorgaande klasse) voor Geulhavenspecie bij de start van het project, na 59 weken en aan het eind van de proefperiode

	Bij start		Na 59 weken		Na 194 weken	
	Min. + max. optie	Min. optie	Max. optie	Min. optie	Max. optie	
Droge stof (gew. %)	67	74	74	76	78	
Organisch stof (mg/kg d.s.)	6,2	4,8	4,3	6,2	7,1	
Lutum < 2 µm (gew. %)	28,2	21	23	-	-	
PAK's (mg/kg d.s.)	klasse ²	klasse ²	klasse ²	klasse ²	klasse ²	
Benzo(a)anthraceen	8,2 4 (174)	1,7 3 (107)	1,2 3 (45)	0,3 2 (544)	0,4 2 (625)	
Benzo(ghi)peryleen	2,1 3 (162)	2,1 3 (159)	2,6 3 (219)	1,0 3 (21)	0,9 3 (13)	
Benzo(a)pyreen	3,7 4 (24)	2,7 3 (237)	2,1 3 (161)	0,6 2 (1189)	0,7 2 (1350)	
Fenantreen	17,7 4 (491)	1,2 3 (55)	1,4 3 (74)	0,5 2 (867)	0,7 2 (1350)	
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	2,4 3 (202)	1,7 3 (107)	2,1 3 (161)	1,0 3 (21)	1,1 3 (36)	
Pyreen	11,3 4 (276)	6,2 4 (107)	2,6 3 (219)	0,5 2 (867)	0,7 2 (1350)	
Dibenz(h)anthraceen	1,9 3 (142)	0,6 2 (1143)	1,4 3 (74)	0,3 2 (544)	0,5 2 (988)	
Anthraceen	12,1 4 (303)	1,2 3 (55)	0,9 3 (16)	0,3 2 (544)	0,4 2 (625)	
Benzo(b)fluorantheen	4,5 4 (50)	3,1 4 (4)	2,6 3 (219)	1,0 3 (21)	1,1 3 (36)	
Benzo(k)fluorantheen	2,3 3 (182)	1,2 3 (55)	1,2 3 (45)	0,3 2 (61)	0,4 2 (81)	
Chryseen	11,1 4 (271)	3,1 4 (4)	1,6 3 (103)	0,6 2 (1189)	0,7 2 (1350)	
Fluorantheen	24,2 4 (245)	3,7 3 (86)	2,6 3 (28)	0,5 2 (61)	0,9 2 (202)	
PAK's Borneff (6)	39,2 4 (130)	14,5 3 (222)	13,0 3 (189)	4,4 2 (625)	5,1 3 (13)	
Minerale olie (IR) (mg/kg d.s.)	13050 4 (161)	5290 4 (6)	3630 3 (21)	530 1	270 1	
Eendoordeel Klasse	4	4	3	3	3	

¹ Organisch stof gehalte berekend in Lawabo op basis van 1,724 * TOC

² Tussen haken is de overschrijding (in procenten) van de voorgaande klasse aangegeven

Tabel 9: Genormeerde PAK-gehalten en klasse-indelingen (met overschrijding van de voorgaande klasse) voor Zierikzee-specie bij de start van het project, na 49 weken en aan het eind van de proefperiode

	Bij start		Na 49 weken		Na 184 weken									
	Min. + max. optie	Min. optie	Max. optie	Min. optie	Max. optie	Min. optie	Max. optie							
Droge stof (gew. %)	45	69	72	72	72	76								
Organisch stof ¹ (mg/kg d.s.)	7,1	7,6	6,4	6,4	9,0	7,8								
Lutum < 2 µm (gew. %)	75,2	52,2	38,5	38,5	-	-								
PAK's (mg/kg d.s.)	klasse ²	klasse ²	klasse ²	klasse ²	klasse ²	klasse ²	klasse ²							
Benzo(a)anthraceen	9,1	6,7	6,7	4	(124)	6,7	4	(125)	2,2	3	(179)	2,2	3	(174)
Benzo(ghi)peryleen	5,4	5,0	5,0	4	(67)	5,0	4	(67)	2,1	3	(165)	2,1	3	(158)
Benzo(a)pyreen	9,8	6,9	6,9	4	(129)	6,9	4	(130)	2,7	3	(235)	2,8	3	(254)
Fenantreen	14,2	7,8	7,8	4	(159)	6,7	4	(125)	1,6	3	(95)	1,7	3	(109)
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	7,8	4,4	4,4	4	(45)	4,6	4	(52)	2,3	3	(193)	2,5	3	(206)
Pyreen	18,4	13,2	13,2	4	(339)	12,4	4	(313)	3,8	4	(26)	3,7	4	(25)
Dibenz(h)anthraceen	4,2	1,5	1,4	3	(81)	1,4	3	(76)	0,2	2	(346)	0,4	2	(673)
Anthraceen	6,5	2,8	2,5	3	(246)	2,5	3	(214)	0,9	3	(12)	0,8	2	(1447)
Benzo(b)fluorantheen	9,8	7,5	7,8	4	(150)	7,8	4	(161)	3,1	4	(2)	2,8	3	(254)
Benzo(k)fluorantheen	4,8	3,3	3,3	4	(10)	3,3	4	(10)	1,2	3	(53)	1,2	3	(45)
Chryseen	10,2	7,7	7,4	4	(155)	7,4	4	(146)	2,7	3	(235)	2,6	3	(222)
Fluorantheen	24,1	15,6	14,4	4	(122)	14,4	4	(106)	4,1	3	(106)	4,1	3	(106)
PAK's Borneff (6)	61,54	42,6	42,0	4	(150)	42,0	4	(147)	13,2	3	(193)	13,0	3	(189)
Eindeordeel Klasse	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3

¹ Organisch stof gehalte berekend in Lawabo op basis van 1,724 * TOC

² Tussen haken is de overschrijding (in procenten) van de voorgaande klasse aangegeven

5 Discussie en conclusies

5.1 Afbraak van PAK's en minerale olie

De belangrijkste conclusie uit het onderzoek is, dat met de landfarmingstechniek aanzienlijke afname van het PAK- en oliegehalte in zowel Zierikzee- als Geulhavenspecie te bereiken is.

Bij Zierikzeespecie zijn de PAK-gehalten tijdens het veldonderzoek uiteindelijk afgenomen tot 20 à 25 mg/kg d.s. (18 à 22 % van de startwaarden) afhankelijk van de condities, die op de velden zijn getest. Dit is enigszins lager dan uit het verloop van de PAK-gehalten verwacht werd, omdat deze aan het eind van de proefperiode sterker daalde dan daarvoor het geval was. Bij Geulhavenspecie nam het PAK-gehalte af tot net onder 5 mg/kg d.s. (ca. 7 % van de startwaarde). Ook deze waarde is enigszins lager dan de trend gedurende de laatste 90 proefweken deed vermoeden. De verwachting was met een eindgehalte van ca. 8 mg/kg d.s. te eindigen. Het gehalte aan minerale olie nam sterker af dan het PAK-gehalte tot 200 à 300 mg/kg d.s. (2,5 à 3,5 % van de startwaarde) afhankelijk van de geteste conditie.

Zierikzeespecie valt na bewerking volgens de minimum optie net in klasse 4 als gevolg van een overschrijding van de norm door een zwarte lijst stof (Benzo(b)-fluorantheen). De overschrijding van de klassegrens is echter zeer gering. Na bewerking volgens de maximum optie valt de specie in klasse 3. Aan het eind van de proefperiode is het organisch stof gehalte, indien berekend op basis van het TOC-gehalte gelijk aan de startwaarde. Dit is gunstig voor de vastgestelde klasse-indeling. Bij tussentijdse monsters is echter sprake van aanmerkelijk lagere organisch stof gehalten met een ongunstigere klasse-indeling als gevolg. Indien het organisch stof gehalte gebaseerd zou worden op het gemeten organische stof gehalte i.p.v. het TOC-gehalte zou Zierikzeespecie zowel bij de minimum als de maximum optie de grens tussen klasse 3 en 4 aanzienlijk overschrijden. Bij de start van het project had Zierikzeespecie een gemeten organisch stofgehalte van ca. 7,1 % d.s.. Dit is in de loop van het project gedaald tot ca. 4,6 bij de maximum en 6,3 bij de minimum optie.

Geulhavenspecie is van klasse 4 gedaald naar klasse 3 (m.b.t. minerale olie zelfs klasse 1). De overschrijding van de grens tussen klasse 2 en 3 is minimaal. Bij Geulhavenspecie geldt wat de invloed van de variatie in het organisch stof gehalte betreft hetzelfde als voor Zierikzeespecie. Bij de start van het project had Geulhavenspecie een organisch stofgehalte van ca. 6,2 % d.s.. In de loop van het project is dit gedaald tot ca. 4,2 bij zowel de maximum als de minimum optie. De grens tussen klasse 2 en 3 wordt slechts minimaal overschreden.

De afname van het PAK-gehalte in de loop van de tijd wordt voornamelijk veroorzaakt door de afname van het gehalte aan "lichte" PAK's. Het gehalte aan "zwarte" PAK's in een specie is daarom, naast de structuur van de specie, in grote mate bepalend voor de restconcentratie die uiteindelijk in de specie achterblijft en daardoor voor de klasse die met behandeling d.m.v. landfarming te bereiken is.

5.2 Effect van bewerking op de afbraak van verontreinigingen

De sterkste afname van het gehalte aan verontreinigingen tijdens het veldonderzoek is geconstateerd bij de velden, waarop de maximum optie is uitgevoerd. Aan de specie op deze velden zijn compost, houtsnippers en zuiveringsslib als toeslagstoffen toegevoegd. Tevens heeft regelmatig menging van de specie plaatsgevonden.

De maximum optie heeft vergeleken met de minimum optie bij de Zierikzeespecie geleid tot lagere eindwaarden voor de PAK-gehalten en bij Geulhavenspecie tot het eerder bereiken van de eindwaarden voor zowel de PAK- als de oliegehalten waarbij de eindwaarden voor de PAK-gehalten lager zijn dan die van Zierikzeespecie.

De bewerkingen bij de maximum optie hebben geleid tot een betere structuur van de specie en dardoor tot een betere zuurstoftoevoer naar de plaatsen, waar afbraak van de organische componenten plaatsvindt. Bij het uitvoeren van de bewerkingen zal daarom minder snel sprake zijn van zuurstoflimitatie.

Door landfarmingsvelden te bewerken zullen plekken met extreem hoge PAK-gehalten niet gefixeerd blijven op een bepaalde plaats, maar over de omgeving van de oorspronkelijke plekken verspreid worden. De mogelijkheid van afbraak van de PAK's wordt hiermee vergroot als gevolg van het inbrengen van zuurstof in de PAK-houdende plekken en vergroting van het oppervlak van deze plekken. De specie in deze plekken zal gemengd worden met relatief schone specie waardoor het optreden van pieken vermindert en door de betere beschikbaarheid van de PAK's het uiteindelijke, werkelijke PAK-gehalte van de specie lager zal liggen dan bij niet bewerkte specie.

5.3 Geulhaven- versus Zierikzeespecie

Bij Geulhavenspecie is een aanzienlijk snellere en verdergaande PAK-afbraak geconstateerd dan bij Zierikzeespecie. De twee belangrijkste oorzaken hiervan zijn de betere structuur en het lagere gehalte aan "zware" PAK's van de Geulhavenspecie.

Geulhavenspecie bestaat uit grovere deeltjes dan Zierikzeespecie. Als gevolg hiervan verloopt het zuurstoftransport in Geulhavenspecie makkelijker en is het risico van het optreden van zuurstoflimitatie beperkt. De aërobe afbraak van PAK's kan als gevolg hiervan bij Geulhavenspecie sneller en vergaander verlopen.

Het gehalte aan "zware" PAK's is in Zierikzeespecie hoger dan in Geulhavenspecie. Daar de "zware" PAK's in grote mate bepalend zijn voor de restconcentratie aan PAK's kan Zierikzeespecie niet zo vergaand gereinigd worden als Geulhavenspecie.

5.4 Uitloging PAK's

PAK's in de geteste baggerspecie blijken nauwelijks uitgespoeld worden. De gehalten variëren van 0 tot 0,3 $\mu\text{g/l}$ met uitschieters tot maximaal 3 $\mu\text{g/l}$. Dit is te verwaarlozen ten opzichte van de gehalten in het slib (maximaal 0,01 tot 0,1 % van het gehalte in het slib).

5.5 Landfarming op laboratoriumschaal

Het is voor Zierikzeespecie niet mogelijk gebleken de resultaten van de laboratoriumproeven te vergelijken met de resultaten van de veldproeven. Kennelijk waren de omstandigheden tijdens het laboratoriumonderzoek niet vergelijkbaar met de omstandigheden tijdens het veldonderzoek. Voor Geulhavenspecie was het afbraakpatroon bij het veld- en laboratoriumonderzoek in grote lijnen wel vergelijkbaar.

Als gevolg van de weersinvloeden en de bewerkingen kreeg het slib in het veld een duidelijk andere structuur dan in het laboratorium. In het laboratorium trad in veel grotere mate klontvorming op, dan in het veld het geval was. Deze klontvorming heeft wellicht zuurstoflimitatie en waarschijnlijk zelfs anaërobie veroorzaakt, waardoor PAK-afbraak werd vertraagd of verhinderd. Waarschijnlijk zijn door de andere structuur de condities in het veld zodanig beter geweest, dat daar wel een forse afname in het PAK-gehalte bereikt is.

Tijdens het laboratoriumonderzoek konden geen effecten op de afname van de PAK- en oliegehalten geconstateerd worden als gevolg van toevoeging van toeslagstoffen als compost, houtchips, zuiveringsslib, waterstofperoxide en nitraat. Evenmin was de invloed meetbaar van omzetten van het materiaal. Dit is veroorzaakt door de geringe afbraak en de grote schommelingen in de analysesresultaten, die zijn opgetreden. Zoals hiervoor beschreven is het tijdens het veldonderzoek in beperkte mate wel mogelijk geweest om effecten van bewerkingen te onderscheiden.

5.6 Optimalisatie van de wijze van bemonsteren

Gebleken is dat bij baggerspecie het verloop van PAK-gehalten in de tijd beter gevolgd kan worden aan de hand van steekmonsters dan aan de hand van mengmonsters. Bij het nemen van steekmonsters verspreid over een landfarmingsveld kan incidenteel een monster verkregen worden met een zeer hoog PAK-gehalte. De velden zijn op de plaatsen, waar deze monsters genomen worden, zeer sterk verontreinigd als gevolg van plaatselijke verontreiniging met PAK-houdende stoffen in de gebaggerde havens. Dit kan deels voorkomen worden door gebaggerde specie bij de start van een landfarmingsperiode goed te mengen. Het maximale gehalte aan PAK's, dat in dit onderzoek in een dergelijk "extreem" steekmonster gevonden is, ligt een factor 100 hoger dan het gemiddelde van dezelfde monsternamen, waarbij het extreme gehalte buiten beschouwing is gelaten. Bij opmenging van een "extreem" steekmonster met enkele normale steekmonsters zal een mengmonster ontstaan, dat "besmet" is met PAK's afkomstig uit het extreme steekmonster. Vanwege

het grote concentratieverschil tussen het extreme steekmonster en de andere, zal het daaruit samengestelde mengmonster eveneens aanzienlijk verontreinigd zijn, met sterke fluctuaties in de analyseresultaten als mogelijk gevolg. Met de tijdens het project ingestelde aangepaste monsternamen/analyse-procedure kunnen de extreme waarden snel geïdentificeerd en zonodig buiten beschouwing gelaten worden, waardoor ze niet van invloed zijn op de gemiddelde waarden en fluctuaties in de analyseresultaten voor een groot deel voorkomen kunnen worden.

5.7 Aanbevelingen voor optimalisatie landfarmingtechniek voor baggerspecie

Uit de proefresultaten is gebleken dat landfarming toe te passen is bij zowel kleiachtige speciesoorten (zoals Zierikzeespecie) als bij zandachtige (zoals Geulhavenspecie). Bij de kleiachtige speciesoorten moet extra aandacht besteed worden aan het verbeteren van de structuur van de specie om zuurstoflimitatie te voorkomen.

Gebleken is dat bij inrichting van velden volgens de maximum optie de afbraak van PAK's sneller en verdergaand is verlopen dan bij inrichting volgens de minimum optie. Daar inrichting van de velden volgens deze opties niet bij de start van de veldproeven is uitgevoerd wordt verwacht dat de in dit onderzoek geconstateerde afname van organische verontreinigingen nog versneld kan worden. Door de specie reeds bij het opbrengen op landfarmingsvelden te mengen met toeslagstoffen als compost, houtsnippers en zuiveringsslib en zo snel mogelijk met bewerking van de specie te beginnen wordt reeds in een vroeg stadium een goede structuur van de specie bereikt. Daardoor zal reeds in een vroeg stadium geen sprake meer zijn van zuurstoflimitatie. Dit zal voornamelijk van invloed zijn op slibachtige speciesoorten zoals de gebruikte Zierikzeespecie, die door een slechte structuur gekenmerkt wordt.

Door een goede zeving en menging van de specie vóór het opbrengen op de velden worden ophopingen van verontreinigingen in de baggerspecie verspreid en kan voorkomen worden dat er plekken in het veld ontstaan met extreme concentraties aan deze organische verontreinigingen. Hierdoor zal een groter deel van de verontreinigingen beschikbaar kunnen komen voor afbraak door micro-organismen, waardoor een beter rendement verwacht kan worden. De grootste tijdswinst in de afbraak wordt verwacht in het begin van de reinigingsperiode.

Door rekening te houden met het seizoen bij het opbrengen van de baggerspecie kan de benodigde reinigingsduur bekort worden. Op deze wijze kan namelijk optimaal gebruik worden gemaakt van de warmere en drogere seizoenen bij droging van de specie en bij afbraak van de PAK's.

Naast de tijdens het project geteste procescondities lijken de volgende condities mogelijkheden te bieden:

- Door begroeiing (diepwortelende gewassen) kan de structuur van de specie mogelijk op een eenvoudige, arbeidsextensieve wijze verbeterd worden.
- Door de specie op de landfarmingsvelden met folie af te dekken kan een temperatuursverhoging en een verbeterde vochthuishouding in de specie gecreëerd worden. Gezien de resultaten van het uitgevoerde onderzoek kan verwacht worden dat afbraak sneller en gedurende een langere periode in het jaar plaats kan vinden. Beproeving van deze condities in vervolgonderzoeken is zeker aan te bevelen.

5.8 Aanbeveling voor de afronding van het landfarmingsproces

Aan het eind van de landfarmingsperiode verloopt de afname van de verontreinigingen steeds langzamer. Mogelijk komen de dan nog aanwezige PAK's niet meer volledig of slechts langzaam beschikbaar voor de micro-organismen. De afname van het PAK-gehalte zal hierdoor nog slechts langzaam verlopen. Op dat moment zal de afbraak nauwelijks meer versneld door de specie geregeld te bewerken, daar er dan sprake zal zijn van een substraatlimitatie en niet meer van een zuurstoflimitatie. Het verdient daarom aanbeveling om onderzoek te verrichten naar verdere behandeling van de specie op een nog arbeidsextensievere wijze. Hierbij kan gedacht worden aan het ophopen van de specie in dikkere lagen en het met een lagere frequentie bewerken van de specie. Het Staringcentrum zal een dergelijk onderzoek uitvoeren met het eindmateriaal afkomstig van het in deze rapportage beschreven onderzoek.

Ook het bij "aanbevelingen voor optimalisatie van de landfarmingstechniek voor baggerspecie" besproken aanbrengen van diepwortelende gewassen op de specie zou zeker een rol van betekenis kunnen spelen tijdens een arbeidsextensieve nabewerking.

Bijlage 1: analysepakketten en -methoden

Analysepakket I (specie):

korrelverdeling
organische stof
TOC
CZV
calciet
droge stof
PAK's (EPA reeks)
9 metalen (Fe 2+, Fe-totaal, Hg, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb)
minerale olie (alleen bij Geulhavenspecie)
Cl-
EC
pH
N-kjeldahl, P-totaal, K

Analysepakket II (specie):

organische stof
TOC (vanaf juli 1990 opgenomen)
droge stof
PAK's (EPA reeks)
minerale olie (alleen bij Geulhavenspecie)
Cl-
EC (na juli 1990 vervallen)
pH

Analysepakket III (drainagewater/percolaat):

suspended solids (na juli 1990 vervallen)
CZV en BZV
organisch stof
PAK's (EPA reeks)
9 metalen (Fe 2+, Fe-totaal, Hg, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb)
olie (Geulhavenspecie)
Cl-
EC
pH
N-kjeldahl, P-totaal en K

Analysepakket IV (drainagewater/percolaat):

CZV
suspended solids
Cl-
pH

Analysepakket V (specie):

korrelverdeling (vervallen na juli 1990)

droge stof

PAK's - EPA reeks

pH

Aanvullende analyses:

Voor de kolommen, waaraan een hoge dosering nitraat is toegevoegd zijn de analysepakketen uitgebreid met ammonium, nitraat en nitriet.

Analysenormen en -methoden voor slibmonsters

cryogene maling	onder toevoeging van talk en natriumsulfaat
korrelverdeling	I.B.-methode (1979)
organische stof	I.B.-methode (1979) (destruktie met kaliumbichromaat)
TOC	NEN 6522
CZV	NEN 6633
calciet	I.B.-methode (1979), later volgens ontwerp NEN 5757
droge stof	NEN 3235-4.2.
PAK's (EPA reeks)	VPR C85-11
Fe 2+ (ijzer 2+)	NEN 6482
Hg (kwik)	Ontsluiting volgens NEN 6465 (mikrogolfoven), analyse m.b.v. koude damp techniek
As (arseen)	Ontsluiting volgens NEN 6465, analyse m.b.v. AAS (hydride-techniek)
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb,	
Fe-tot.	Ontsluiting volgens NEN 6465, analyse m.b.v. AAS
minerale olie (IR)	NEN 6673 (freon i.p.v. tetrachloormethaan) na drogen van monster met magnesiumsulfaat
Cl-	NEN 6476 na extractie met water
pH	I.B.-methode (1979)
N-kjeldahl	NEN 6641
P-totaal	VPR C85-09/NEN 6479 na ontsluiting volgens NEN 6465
kalium (K)	ontsluiting volgens NEN 6465, analyse m.b.v. AAS
nitraat	NEN 6440
nitriet	NEN 6474
ammonium	NEN 6472 na stoomdestillatie

Analysenormen en -methoden voor drainagewatermonsters

suspended solids	NEN 6484
CZV	NEN 6633
PAK's (EPA-reeks)	VPR C85-11
Hg (kwik)	Ontsluiting volgens NEN 6465 (mikrogolfoven), analyse m.b.v. koude damp-techniek
As (arseen)	Ontsluiting volgens NEN 6465, analyse m.b.v. AAS (hydride-techniek)
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb	Ontsluiting volgens NEN 6465, analyse m.b.v. AAS (grafiet-oventechniek)
olie	VPR C85-19
Cl-	NEN 6476
EC	NEN 6412
pH	NEN 6411
N-kjeldahl	NEN 6481 resp. NEN 6472
P-totaal	NEN 6479
K (kalium)	Ontsluiting volgens NEN 6465, analyse m.b.v. AAS
nitraat	NEN 6440
nitriet	NEN 6474
ammonium	NEN 6472

**Bijlage 2: Bepaling van een nieuwe
monstername/analyseprocedure**

1 Inleiding

Op basis van het rapport "Een keuringsmethode voor procesmatig gereinigde grond" (reeks bodembescherming nr. 79; R. Bosman, J.W. de Kwaadsteniet, F.P.L. Lane, C.W. Versluijs; SDU; 1990) is een experiment opgezet om te komen tot een nieuwe monstername/analyse-procedure, waardoor de fluctuaties in de PAK-concentraties tijdens het onderzoek uitgemiddeld zouden kunnen worden. In deze bijlage wordt een korte beschrijving gegeven van dit experiment en worden de resultaten besproken.

2 Proefopzet

Bij bodemonderzoeken worden 30 tot 40 steekmonsters verspreid over het veld voldoende geacht om een goede karakterisering van de bodemsamenstelling op dat veld te verkrijgen, zelfs als de verontreinigingen zeer inhomogeen verdeeld zijn. Na verkleining en menging van deze monsters kunnen dan een aantal mengmonsters worden samengesteld, waarvan er een aantal cryogeen vermalen en op PAK's geanalyseerd moeten worden en de overige gekoeld bewaard.

De verkregen PAK-waarden worden gemiddeld (\bar{x}_{10}) en aan de hand van de variantie (S_{10}^2) kan vervolgens bepaald worden of het aantal geanalyseerde monsters (n) voldoende is geweest om een betrouwbaar gemiddelde te verkrijgen. Dit vindt plaats met behulp van de formule:

$$n = 264 * S_{10}^2 / \bar{x}_{10}^2$$

Als n groter is dan 10 moet het aantal cryogeen vermalen en geanalyseerde monsters aangevuld worden tot n en moet het gemiddelde opnieuw bepaald worden. Het getal 264 geldt bij analyse van 10 monsters, een maximaal toegestane afwijking van het gemiddelde van 20 % en een gewenst betrouwbaarheidsinterval van 99 %.

3 Uitvoering en resultaten

Bij het vaststellen van een nieuwe verbeterde monstername/analyseprocedure zijn per veld (één veld met Zierikzeespecie en één met Geulhavenspecie) 30 steekmonsters genomen. Na handmatige verkleining en een goede menging van deze monsters zijn per slibsoort 30 mengmonsters samengesteld, waarvan er 10 per slibsoort cryogeen vermalen en geanalyseerd zijn. De overige 20 zijn gekoeld bewaard.

**Bijlage 3: Analyseresultaten van de startmonsters
 en de toeslagstoffen**

Startbemonsteringen	ZZ-slib voor ontwatering	GH-slib voor ontwatering	ZZ-slib bij start labon.	GH-slib bij start labon.	ZZ-slib bij start labon.	GH-slib bij start labon.	Compost bij start labon.	Hout bij start labon.	entslib bij start labon.
Chloride	16000	6600	24000	15300	26500	345	4990		8560
CZY	104000	92400	98800	91200	68700	66600	324000		776000
Fe2+	15000	10000	5400	5400	5400	4400	2500		<0.5
Ammonium	200	140	75	75		7	42		22000
N-kj	2160	1050	2520	2430	1390	1360	16700		104900
Nitriet	0.1	< 0.1		0.3		0.2	3.4		2.9
Nitraat	8.3	4.1		<2		<2	2700.0		120.0
Olie(IR)		8100			4600	6300			
org.stof	7.1	6.2	7.2	6.9	5.4	5.4	28.0		45.0
D.s.	45	67	68	73	76	73	65		4
TOC	4.1	3.8	4.2	4.0	3.1	3.1	16.0		26.0
pH(KCl)	8.1	7.5	7.6	7.7	7.4	7.4	7.6		7.1
Fosf.(tot)	3000	3700	5400	2700	3000	3200	13000		45000
Calcief	12.8	9.6	11.8	12.0	11.0	11.0	4.6		7.7
EC-	1600	410	3000	3600	620	740	1490		480
(Zware) Metalen									
Arseen	31	30	23	21	28	33	4		5
Kwik	0.8	1.5	0.6	0.6	1.4	1.6	<0.2		1.3
Cadmium	0.9	3.4	0.8	0.9	3.3	3.7	<0.5		2.0
Chroom	31	72	39	41	70	87	20		37
Koper	44	60	50	42	60	74	23		440
Ijzer	19000	14000	23000	22000	14000	15000	5000		13000
Kalium	400	260	2700	2400	880	700	10000		67000
Nikkel	14	24	19	18	22	24	10		22
Lood	110	160	110	100	120	140	27		130
PAK's in mg/kgds									
Naftaleen	18.0	2.1	1.4	1.6	0.6	0.7	<0.1		0.6
Acenafyleen	0.3	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1
Acenaftheen	4.2	1.1	<1.0	1.3	3.4	2.7	<0.1		<0.1
Fluoreen	3.1	3.9	0.8	0.6	1.3	1.0	0.2		1.4
Fenanthreen	10.0	11.0	5.6	5.1	1.9	2.6	0.1		0.5
Anthraceen	4.6	7.5	3.4	3.0	1.6	2.1	0.1		0.2
Fluoranthreen	17.0	15.0	13.0	15.0	5.3	5.8	0.2		0.7
Pyreeen	13.0	7.0	9.9	12.0	4.9	5.1	0.2		<2.0
Benzo(a)anthraceen	6.4	5.1	5.2	6.8	1.6	1.4	<0.9*		0.6
Chryseen	7.2	6.9	5.2	6.7	4.4	3.0	<2.0*		<2.0
Benzo(b)fluoranthreen	6.9	2.8	4.7	6.2	3.0	2.4	0.3		1.2
Benzo(k)fluoranthreen	3.3	1.4	2.4	3.2	1.3	0.9	0.1		0.4
Benzo(a)pyreeen	6.9	2.3	5.2	6.9	2.2	1.8	0.3		0.9
Dibenz(ah)anthraceen	3.0	1.2	2.0	2.4	2.0	1.9	<2.0*		0.5
Benzo(ghi)peryleen	3.8	1.3	2.8	4.0	1.7	1.4	0.3		0.6
Indeno(123-cd)pyreeen	5.5	1.5	4.0	5.5	2.4	2.0	0.3		0.6
Totaal	113.2	71.1	65.6	80.3	37.6	34.7	2.1		8.0
Totaal t/m Chryseen	83.8	60.6	44.5	52.1	25.0	24.3	0.8		3.8
"Zware" PAK's	29.4	10.5	21.1	28.2	12.6	10.4	1.3		4.1
Deelfjesgrootte									
< 2 µm	75.2	28.2	82.5	82.7	23.7	22.1	27.7		0.0
< 16 µm	84.9	60.5	88.6	90.1	39.5	39.3	39.2		niet bep. **
< 63 µm	89.1	85.1	89.1	90.7	73.6	76.7	48.4		niet bep. **
< 210 µm	90.1	96.5	90.3	91.0	95.8	95.3	64.0		niet bep. **
> 210 µm	9.9	3.5	9.7	9.0	4.2	4.7	36.0		100.0

**Bijlage 4: Analyseresultaten van de tussentijdse en
de eindmonsters in de 14 kolommen**

Kolom 1: Zierikzee – specie, 15 cm, zonder toevoegingen	Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride mg/kgds	16000	19523	12000	20100	9240	9590		9900
CZY mg/kgds	104000	92462						93100
Fe2+ mg/kgds	15000	5400						4900
Ammonium mgN/kgds	200	75						2500
N-kj mg/kgds	2160	2474						
Nitriet mg/kgds	0.1	0.3						
Nitraat mg/kgds	8.3	<2						
Olief(R) mg/kgds	7.1	7.0	76	75	71	81	7.3	6.6
org.stof gew.% d.s	45	70	5.5	6.5	7.1	6.9	88	88
D.s. gew.% d.s.	4.1	4.1	7.8	7.8	7.6	8.7		8.0
pH(KCl)	8.1	7.7						760
Fosf. (tot) mg/kgds	3000	4011						15.9
Calciet gew.% d.s	12.8	11.9						
EC- µS/cm	1600	3300	7200	3200	4300			
(Zware) Metalen								
Arseen mg/kgds	31	22						25
Kwik "	0.8	0.6						0.7
Cadmium "	0.9	0.9						1.6
Chroom "	31	40						35
Koper "	44	46						40
Ijzer "	19000	22485						26000
Kallium "	400	2546						2500
Nikkel "	14	18						15
Lood "	110	105						100
PAK's in mg/kgds								
Nattaleen	18.0	1.5	1.9	2.9	0.9	2.2	1.4	2.4
Acenafyleen	0.3	0.0	0.2	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Acenathheen	4.2	0.7	1.4	2.3	1.0	1.3	4.0	1.1
Fluoreen	3.1	0.7	0.9	1.3	0.5	1.0	0.8	0.7
Fenanthreen	10.0	5.3	6.4	8.2	4.4	7.1	6.4	6.0
Anthraceen	4.6	3.2	2.6	2.6	2.0	2.2	2.4	2.1
Fluorantheen	17.0	14.0	17.0	17.0	12.0	14.9	14.9	13.1
Pyreen	13.0	11.0	14.0	16.0	13.0	14.0	11.3	12.0
Benzo(a)anthraceen	6.4	6.0	7.0	7.8	5.7	6.2	6.9	6.2
Chryseen	7.2	6.0	7.1	8.2	6.0	6.4	7.3	6.9
Benzo(b)fluorantheen	6.9	5.5	6.1	9.0	5.9	6.7	8.4	6.9
Benzo(k)fluorantheen	3.3	2.8	3.0	3.9	2.6	3.1	3.6	3.0
Benzo(a)pyreen	6.9	6.1	7.2	8.7	5.1	6.0	6.9	3.0
Dibenz(e,h)anthraceen	3.0	2.2	2.5	4.7	3.4	0.5	2.4	0.9
Benzo(ghi)peryleen	3.8	3.4	4.4	5.0	4.8	4.2	5.3	5.1
Indeno(123-cd)pyreen	5.5	4.8	4.6	6.0	2.4	4.0	5.3	3.9
Totaal	113.2	73.2	86.3	103.6	69.7	79.8	87.5	73.2
Totaal t/m Chryseen	83.8	48.4	58.5	66.3	45.5	55.3	55.5	50.5
Zware PAK's	29.4	24.8	27.8	37.3	24.2	24.5	32.0	22.7
Deeltjesgrootte								
< 2 µm gew.%	75.2	82.6						42.0
< 16 µm "	84.9	89.4						73.0
< 63 µm "	89.1	89.9						86.0
< 210 µm "	90.1	90.7						94.0
> 210 µm "	9.9	9.3						6.3

Kolom 2: Zierikzee - specie, 50 cm, zonder toevoegingen	Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	16000	19523	16600	108200	11800			12000
CZV	104000	92462						91400
Fe2+	15000	5400						5000
Ammonium	200	75						2500
N-kj	2160	2474						
Nitriet	0.1	0.3						
Nitraat	8.3	<2						
Olie(IR)	7.1	7.0	74	76	74			6.5
org.stof	45	70	6.7	6.3	7.4			7.3
D.s.	4.1	4.1	7.8	7.6	7.6			8.0
TOC	8.1	7.7						8.0
pH(KCl)	3000	4011						870
Fosf.(tot)	12.8	11.9						15.8
Calciet	1600	3300	6000	3100	4800			
EC-								
(Zware) Metalen								
Arsen	31	22						25
Kwik	0.8	0.6						0.7
Cadmium	0.9	0.9						1.1
Chroom	31	40						35
Koper	44	46						45
IJzer	19000	22485						22000
Kalium	400	2546						3900
Nikkel	14	18						20
Lood	110	105						100
PAK's in mg/kgds								
Nafaleen	18.0	1.5	1.6	2.1	82.0			2.6
Acenafyleen	0.3	0.0	<0.1	<0.1	0.1			0.4
Acenaftheen	4.2	0.7	1.6	3.1	1.2			1.7
Fluoreen	3.1	0.7	0.9	2.0	0.8			2.0
Fenantreen	10.0	5.3	6.4	8.0	68.0			10.9
Anthraceen	4.6	3.2	2.4	3.7	2.8			4.7
Fluorantheen	17.0	14.0	14.0	14.0	15.0			18.7
Pyreeen	13.0	11.0	17.0	11.0	19.0			18.0
Benzo(a)anthraceen	6.4	6.0	7.0	5.9	7.4			8.8
Chryseer	7.2	6.0	7.8	6.4	8.2			9.5
Benzo(b)fluorantheen	6.9	5.5	6.2	5.6	6.2			8.8
Benzo(k)fluorantheen	3.3	2.8	2.9	2.7	4.0			3.8
Benzo(a)pyreeen	6.9	6.1	7.1	5.4	8.0			9.5
Dibenz(ah)anthraceen	3.0	2.2	<5.0	2.4	2.2			1.3
Benzo(ghi)peryleen	3.8	3.4	5.0	3.6	7.3			6.6
Indeno(123-cd)pyreeen	5.5	4.8	4.0	4.2	2.1			4.7
Totaal	113.2	73.2	83.9	80.1	234.3	0.0	0.0	112.0
Totaal v/m Chryseer	83.8	48.4	58.7	56.2	204.5	0.0	0.0	77.3
"Zware" PAK's	29.4	24.8	25.2	23.9	29.8	0.0	0.0	34.7
Deeltjesgrootte								
< 2 µm	75.2	82.6						42.0
gew.%	84.9	89.4						72.0
< 16 µm	89.1	89.9						86.0
< 63 µm	90.1	90.7						93.0
< 210 µm	9.9	9.3						7.2

Kolom 3: Zierikzee – specie, 15 cm, ent – slijbtoevoeging		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	16000	19458	9760	18100	9130	10210	9590	9100
CZV	mg/kgds	104000	96534						102000
Fe2+	mg/kgds	15000	5368						4800
Ammonium	mgN/kgds	200	206						3000
N-kj	mg/kgds	2160	3084						
Nitriet	mg/kgds	0.1	0.3						
Nitraat	mg/kgds	8.3	0.7						
Olief(IR)	mg/kgds	0	0						
org.stof	gew.% d.s	7.1	7.3	7.1	7.4	7.2	8.3	7.9	7.6
D.s.	gew.%	45	64	6.5	7.3	7.1	7.7	90	91
TOC	gew.% d.s.	4.1	4.2	7.7	7.6	7.5	8.7		7.2
pH(KCl)		8.1	7.6						7.9
Fosf (tot)	mg/kgds	3000	4255						840
Calciet	gew.% d.s	12.8	11.9						15.2
EC –	µS/cm	1600	3018	3800	2800	4100			
(Zware) Metalen									
Arseen	mg/kgds	31	22						25
Kwik	"	0.8	0.6						0.1
Cadmium	"	0.9	0.9						1.4
Chroom	"	31	40						40
Koper	"	44	48						45
Ijzer	"	19000	22429						19000
Kalium	"	400	2930						3000
Nikkel	"	14	19						20
Lood	"	110	105						120
PAK's in mg/kgds									
Naftaleen		18.0	1.5	1.5	2.3	1.3	11.1	1.2	3.8
Acenafyleen		0.3	0.0	<0.1	<0.1	0.1	0.9	<0.1	0.4
Acenaftheen		4.2	0.7	0.8	1.4	1.2	<5.0	1.7	4.4
Fluoreen		3.1	0.7	0.6	1.1	0.6	4.9	0.6	2.7
Fenantreen		10.0	5.3	2.8	5.3	3.6	22.1	4.9	16.0
Anthraceen		4.6	3.2	1.5	2.3	2.4	7.1	2.1	4.4
Fluorantheen		17.0	13.9	7.2	12.0	9.9	28.7	12.1	25.2
Pyreen		13.0	10.9	5.5	10.0	8.9	30.9	10.6	23.1
Benzo(a)entraceen		6.4	6.0	3.8	6.3	4.8	12.2	6.0	12.0
Chryseen		7.2	5.9	3.7	6.2	4.8	12.2	6.0	12.0
Benzo(b)fluorantheen		6.9	5.4	3.5	7.7	4.9	11.5	6.4	12.0
Benzo(k)fluorantheen		3.3	2.8	1.7	3.0	2.0	4.9	2.6	5.3
Benzo(e)pyreen		6.9	6.0	3.8	7.0	4.5	13.9	6.0	11.4
Dibenz(ah)anthraceen		3.0	2.2	1.6	3.9	1.2	1.1	1.0	0.9
Benzo(ghi)peryleen		3.8	3.4	3.4	4.4	3.2	7.1	5.5	8.6
Indeno(123-cd)pyreen		5.5	4.7	2.4	4.9	2.8	6.4	3.6	6.7
Totaal		113.2	72.8	43.8	77.8	56.2	174.8	70.2	149.0
Totaal t/m Chryseen		83.8	48.1	27.4	46.9	37.6	129.9	45.2	104.1
"Zware" PAK's		29.4	24.6	16.4	30.9	18.6	44.8	25.0	44.9
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	75.2	82.6						43.0
< 16 µm	"	84.9	89.4						75.0
< 63 µm	"	89.1	89.9						88.0
< 210 µm	"	90.1	90.7						94.0
> 210 µm	"	9.9	9.3						6.3

Kolom 4: Zierikzee -- specie, 15 cm, toev. entslib, compost, hou	Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	16000	18676	14300	14900	10800			8500
CzV	104000	99254						105000
Fe2+	15000	5176						5500
Ammonium	200	200						3000
N-kj	2160	3318						
Nitriet	0.1	0.4						
Nitraat	8.3	59.5						
Olle(IR)		0						7.4
org.stof	7.1	9.7	71	73	70			88
D.s.	45	63	12.6	6.6	8.2			8.4
TOC	4.1	5.6	7.5	7.6	7.5			7.8
pH(KCl)	8.1	7.3						9.40
Fosf. (tot)	3000	4348						15.2
Calciet	12.8	11.4						
EC-	1600	2880	7600	3200	4100			
(Zware) Metalen								
Arseen	31	21						25
Kwik	0.8	0.6						0.8
Cadmium	0.9	0.9						1.3
Chroom	31	39						35
Koper	44	47						50
Izer	19000	21511						19000
Kalium	400	3021						3200
Nikkel	14	18						20
Lood	110	101						110
PAK's in mg/kgds								
Naftaleen	18.0	1.4	0.8	2.4	1.2			5.3
Acenafyleen	0.3	0.0	<0.1	<0.1	0.1			0.2
Acenaftheen	4.2	0.6	0.6	1.0	1.1			2.1
Fluoreen	3.1	0.7	0.5	0.7	0.5			1.4
Fenantreen	10.0	5.1	3.3	4.5	3.6			11.7
Anthraceen	4.6	3.0	1.8	2.0	2.3			4.5
Fluorantheen	17.0	13.3	8.9	11.0	10.0			25.6
Pyreen	13.0	10.4	6.9	10.0	9.4			23.5
Benzo(a)anthraceen	6.4	5.7	4.0	6.5	5.7			11.7
Chyseen	7.2	5.7	3.8	6.8	5.2			12.6
Benzo(b)fluorantheen	6.9	5.2	3.6	6.8	5.2			13.7
Benzo(k)fluorantheen	3.3	2.7	1.7	2.9	2.3			5.6
Benzo(a)pyreen	6.9	5.8	3.9	6.5	5.1			12.2
Dibenz(a,h)anthraceen	3.0	2.1	1.0	2.3	2.2			1.4
Benzo(ghi)peryleen	3.8	3.3	2.6	2.3	3.9			9.8
Indeno(123-cd)pyreen	5.5	4.5	2.4	4.1	2.8			7.7
Totaal	113.2	69.5	45.8	69.8	60.6	0.0	0.0	149.0
Totaal v/m Chyseen	83.8	46.0	30.6	44.9	39.1	0.0	0.0	98.7
"Zware" PAK's	29.4	23.5	15.2	24.9	21.5	0.0	0.0	50.3
Deeltjesgrootte								
< 2 µm	75.2	79.4						42.0
< 16 µm	84.9	86.1						75.0
< 63 µm	89.1	86.8						89.0
< 210 µm	90.1	87.9						92.0
> 210 µm	9.9	12.1						7.6

Kolom 5: Zierikzee- specie, 50 cm, toev. entslib, compost, hou		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	16000	18670	12900	14200	9340			11000
CZV	mg/kgds	104000	99137						108000
Fe2+	mg/kgds	15000	5175						4900
Ammonium	mgN/kgds	200	197						3100
N-kj	mg/kgds	2160	3305						
Nitriet	mg/kgds	0.1	0.4						
Nitraat	mg/kgds	8.3	59.5						
Olief(IR)	mg/kgds		0						
org.stof	gew.% d.s	7.1	9.7	67	67	68			7.4
D.s.	gew.%	45	63	6.7	6.3	7.4			73
TOC	gew.% d.s.	4.1	5.6	7.4	7.6	7.4			10.7
pH(KCl)		8.1	7.3						7.9
Fosf.(tot)	mg/kgds	3000	4342						1100
Calciet	gew.% d.s	12.8	11.4						13.7
EC-	µS/cm	1600	2883	6500	2700	550			
(Zware) Metalen									
Arseen	mg/kgds	31	21						25
Kwik	"	0.8	0.6						0.8
Cadmium	"	0.9	0.9						1.1
Chroom	"	31	39						30
Koper	"	44	47						45
Ijzer	"	19000	21504						21000
Kalium	"	400	3012						4000
Nikkel	"	14	18						10
Lood	"	110	101						110
PAK's in mg/kgds									
Naftaleen		18.0	1.4	3.0	2.5	1.3			3.9
Acenafyleen		0.3	0.0	0.3	0.1	0.1			0.3
Acenaftheen		4.2	0.6	2.0	1.1	1.1			1.2
Fluoreen		3.1	0.7	1.9	0.7	0.5			1.0
Fenanthreen		10.0	5.1	9.9	4.4	3.4			7.7
Anthraceen		4.6	3.0	6.2	2.1	1.9			3.9
Fluorantheen		17.0	13.3	16.0	11.0	8.8			18.6
Pyreen		13.0	10.4	11.0	10.0	8.0			16.6
Benzo(a)anthraceen		6.4	5.7	7.1	5.5	4.7			9.4
Chryseen		7.2	5.7	8.1	5.6	4.2			10.4
Benzo(b)fluorantheen		6.9	5.2	6.9	5.6	4.7			10.6
Benzo(k)fluorantheen		3.3	2.7	3.3	2.3	2.0			4.6
Benzo(a)pyreen		6.9	5.8	7.3	5.4	4.2			9.9
Dibenz(ah)anthraceen		3.0	2.1	3.4	1.7	1.4			1.3
Benzo(ghi)peryleen		3.8	3.2	7.2	2.5	3.6			7.7
Indeno(123-cd)pyreen		5.5	4.5	4.4	3.1	2.6			5.8
Totaal		113.2	69.5	98.0	63.6	52.6	0.0	0.0	112.6
Totaal Vm Chryseen		83.8	45.9	65.5	43.0	34.1	0.0	0.0	72.8
"Zware" PAK's		29.4	23.5	32.5	20.6	18.5	0.0	0.0	39.8
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	75.2	79.4						49.0
< 16 µm	"	84.9	86.1						75.0
< 63 µm	"	89.1	86.8						89.0
< 210 µm	"	90.1	87.9						93.0
> 210 µm	"	9.9	12.1						6.7

Kolom 6: Zierikzee – specie, 50 cm, toev. entslib, nitraat		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	16000	15955	12300	12800	9400	4910		9300
CZV	mg/kgds	104000	108089						89600
Fe2+	mg/kgds	15000	14909						1300
Ammonium	mgN/kgds	200	333	290	250	140	282		120
N-kj	mg/kgds	2160	2785	1510	3500	3010	3528		2900
Nitriet	mg/kgds	0.1	0.1	70.0	98.0	160.0	44.1		18.0
Nitraat	mg/kgds	8.3	92483.4	2200.0	1900.0	390.0	11172.0		8000.0
Olief(IR)	mg/kgds		0						
org.stof	gew.% d.s	7.1	7.3		48	48	49	7.1	5.9
D.s.	gew.%	45	40	6.7	7.5	9.5	9.1	56	62
TOC	gew.% d.s.	4.1	4.2	7.8	8.1	8.0	9.0		9.9
pH(KCl)		8.1							8.3
Fosf. (tot)	mg/kgds	3000	3256						850
Calciet	gew.% d.s	12.8	12.8						14.0
EC-	µS/cm	1600	1524	13700	3600	10000			
(Zware) Metalen									
Arseen	mg/kgds	31	31						20
Kwik	"	0.8	0.8						0.8
Cadmium	"	0.9	0.9						1.1
Chroom	"	31	31						25
Koper	"	44	46						40
Ijzer	"	19000	18963						17000
Kalium	"	400	805						2400
Nikkel	"	14	14						10
Lood	"	110	110						80
PAK's in mg/kgds									
Nafaleen		18.0	17.9	10.0	6.8	6.7	7.6	4.6	4.8
Acenafityleen		0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1
Acenathteen		4.2	4.2	4.4	2.8	2.0	3.8	4.9	2.6
Fluoreen		3.1	3.1	3.1	1.8	1.6	2.2	4.3	1.6
Fenantreen		10.0	9.9	11.0	6.4	6.0	7.9	17.1	8.2
Anthraceen		4.6	4.6	4.2	2.4	2.2	2.1	5.9	3.2
Fluorantheen		17.0	16.9	12.0	8.9	8.0	11.5	21.2	12.2
Pyreen		13.0	12.9	17.0	8.2	7.7	8.5	14.4	11.2
Benzo(a)anthraceen		6.4	6.4	4.8	3.3	3.5	4.4	7.9	4.8
Chryseen		7.2	7.2	5.0	3.5	3.6	4.4	8.7	5.1
Benzo(b)fluorantheen		6.9	6.9	3.5	3.2	3.7	5.3	8.4	5.3
Benzo(k)fluorantheen		3.3	3.3	1.6	1.5	1.5	2.3	3.5	2.2
Benzo(e)pyreen		6.9	6.9	4.6	3.6	3.0	4.4	7.9	4.8
Dibenz(ah)anthraceen		3.0	3.0	1.0	0.8	1.4	0.8	2.5	0.6
Benzo(ghi)peryleen		3.8	3.8	2.8	1.0	1.8	3.5	5.7	3.7
Indeno(123-cd)pyreen		5.5	5.5	2.0	2.2	2.4	2.9	4.3	2.7
Totaal		113.2	112.5	87.3	56.5	55.2	71.7	121.3	72.9
Totaal t/m Chryseen		83.8	83.3	71.8	44.2	41.4	52.5	89.0	53.6
"Zware" PAK's		29.4	29.2	15.5	12.3	13.8	19.3	32.3	19.3
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	75.2	75.2						46.0
< 16 µm	"	84.9	84.9						71.0
< 63 µm	"	89.1	89.1						84.0
< 210 µm	"	90.1	90.1						87.0
> 210 µm	"	9.9	9.9						13.0

Kolom 7: Zierikzee- specie, 15 cm, toev. H2O2		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	16000	19523	18500	11800	6710	10898		8100
CZV	mg/kgds	104000	92462						76600
Fe2+	mg/kgds	15000	5400						5400
Ammonium	mgN/kgds	200	75						2000
N-kj	mg/kgds	2160	2474						
Nitriet	mg/kgds	0.1	0.3						
Nitraat	mg/kgds	8.3	<2						
Olle(IR)	mg/kgds	7.1	7.0	75	67	66	72		5.1
org.stof	gew.% d.s.	45	58	8.7	6.0	6.4	7.2		92
D.s.	gew.% d.s.	4.1	4.1	7.5	7.6	7.6	8.8		6.2
TOC		8.1	7.7						7.8
pH(KCl)		3000	4011						850
Fosf.(tot)	mg/kgds	12.8	11.9	9400	2100	2600			13.7
Calciet	gew.% d.s.	1600	3300						
EC-	µS/cm								
(Zware) Metalen									
Arseen	mg/kgds	31	22						20
Kwik	"	0.8	0.6						0.6
Cadmium	"	0.9	0.9						1.4
Chroom	"	31	40						35
Koper	"	44	46						45
Ijzer	"	19000	22485						23000
Kalium	"	400	2546						2300
Nikkel	"	14	18						15
Lood	"	110	105						100
PAK's in mg/kgds									
Naftaleen		18.0	1.5	2.0	1.2	1.3	2.9		2.5
Acenafyleen		0.3	0.0	<0.1	<0.1	<0.1	0.4		0.8
Acenathleen		4.2	0.7	1.8	1.2	1.7	<0.30		5.7
Fluoreen		3.1	0.7	1.3	0.5	0.8	2.0		4.0
Fenantreen		10.0	5.3	6.8	3.8	4.3	8.1		17.6
Anthraceen		4.6	3.2	2.4	2.0	2.0	2.9		5.9
Fluorantheen		17.0	14.0	13.0	14.0	10.0	12.9		23.1
Pyreen		13.0	11.0	19.0	13.0	9.4	12.2		21.0
Benzo(e)anthraceen		6.4	6.0	6.5	8.6	5.0	6.2		10.5
Chryseen		7.2	6.0	6.9	8.8	5.5	6.7		11.3
Benzo(b)fluorantheen		6.9	5.5	5.5	8.0	4.8	6.9		11.1
Benzo(k)fluorantheen		3.3	2.8	2.5	2.7	2.2	2.9		4.6
Benzo(e)pyreen		6.9	6.1	6.8	7.6	4.9	7.2		10.1
Dibenz(ah)anthraceen		3.0	2.2	1.7	2.3	4.0	0.6		1.1
Benzo(ghi)peryleen		3.8	3.4	4.9	3.9	3.6	4.5		8.0
Indeno(123-cd)pyreen		5.5	4.8	3.6	4.4	2.4	4.1		6.1
Totaal		113.2	73.2	84.7	82.0	61.9	80.5	0.0	143.2
Totaal t/m Chryseen		83.8	48.4	59.7	53.1	40.0	54.3	0.0	102.3
"Zware" PAK's		29.4	24.8	25.0	28.9	21.9	26.2	0.0	40.9
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	75.2	82.6						46.0
< 16 µm	"	84.9	89.4						75.0
< 63 µm	"	89.1	89.9						87.0
< 210 µm	"	90.1	90.7						93.0
> 210 µm	"	9.9	9.3						7.1

Kolom 8: Zierikzee - specie, 50 cm, toev. entslib, nitraat, H2O2		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	16000	15955	10600	12700	8870	4199		14000
CZV	mg/kgds	104000	108089						85500
Fe2+	mg/kgds	15000	14909						1300
Ammonium	mgN/kgds	200	333	300	280	190	342		170
N-kj	mg/kgds	2160	2785	1980	2800	3270	3545		2700
Nitriet	mg/kgds	0.1	0.1	41.0	31.0	80.0	34.2		17.0
Nitraat	mg/kgds	8.3	92483.4	2200.0	1800.0	530.0	10885.0		8500.0
Olle(IR)	mg/kgds		0					8.0	6.1
org.stof	gew.% d.s	7.1	7.3	48	49	48	46	50	59
D.s.	gew.%	45	39	7.8	7.5	8.9	9.3		9.8
TOC	gew.% d.s.	4.1	4.2	7.8	8.2	7.9	9.0		8.4
pH(KCl)		8.1	8.0	7.8					8.4
Fosf. (tot)	mg/kgds	3000	3256						870
Calciet	gew.% d.s	12.8	12.8						5.2
EC-	µS/cm	1600	1524	10800	3900	7100			
(Zware) Metalen									
Arseen	mg/kgds	31	31						20
Kwik	"	0.8	0.8						0.7
Cadmium	"	0.9	0.9						1.2
Chroom	"	31	31						30
Koper	"	44	46						35
Ijzer	"	19000	18963						17000
Kalium	"	400	805						2900
Nikkel	"	14	14						15
Lood	"	110	110						110
PAK's in mg/kgds									
Nafaleen		18.0	17.9	18.0	26.0	19.0	16.8	8.3	7.8
Acenafyleen		0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.1	<0.1	<0.1
Acenaftheen		4.2	4.2	7.4	12.0	12.0	8.1	8.9	6.8
Fluoreen		3.1	3.1	3.8	6.8	6.1	4.4	4.8	23.0
Fenantreen		10.0	9.9	16.0	22.0	28.0	17.4	21.7	20.0
Anthraceen		4.6	4.6	3.3	10.0	9.4	5.6	7.1	6.5
Fluorantheen		17.0	16.9	17.0	26.0	26.0	18.3	22.3	21.9
Pyreen		13.0	12.9	14.0	11.0	20.0	15.6	22.3	19.7
Benzo(a)anthraceen		6.4	6.4	6.3	9.3	7.8	6.8	8.6	7.8
Chryseen		7.2	7.2	6.2	8.8	8.0	6.8	9.2	7.8
Benzo(b)fluorantheen		6.9	6.9	6.0	9.5	8.0	7.2	8.6	7.8
Benzo(k)fluorantheen		3.3	3.3	2.7	4.4	3.1	3.0	3.9	3.2
Benzo(a)pyreen		6.9	6.9	5.8	7.4	7.0	6.8	8.0	8.1
Dibenz(ah)anthraceen		3.0	3.0	2.7	3.4	2.6	0.7	1.9	1.0
Benzo(ghi)peryleen		3.8	3.8	6.0	5.3	5.1	5.0	5.4	5.7
Indeno(123-cd)pyreen		5.5	5.5	3.8	7.1	4.9	4.4	4.5	4.3
Totaal		113.2	112.5	119.3	169.4	167.4	126.9	145.4	151.4
Totaal 1/1m Chryseen		83.8	83.3	92.3	132.3	136.7	99.8	113.2	121.2
"Zware" PAK's		29.4	29.2	27.0	37.1	30.7	27.1	32.2	30.1
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	75.2	75.2						46.0
< 16 µm	"	84.9	84.9						74.0
< 63 µm	"	89.1	89.1						86.0
< 210 µm	"	90.1	90.1						90.0
> 210 µm	"	9.9	9.9						10.0

Kolom 9: Zierikzee - specie, 50 cm, toev. entislib, H2O2	Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	16000	19455	14000	14600	10400	10492		9800
CZV	104000	96737						95700
Fe2+	15000	5366						4800
Ammonium	200	212						2400
N-kj	2160	3114						
Nitriet	0.1	0.3						
Nitraat	8.3	0.8						
Olief(R)	7.1	7.3					6.5	6.0
org.stof	45	62	68	66	71	69	74	75
D.s.	4.1	4.2	5.6	6.4	7.4	7.6		7.2
TOC	8.1	7.6	7.7	7.6	7.5	8.8		7.8
pH(KCl)	3000	4267						1100
Fosf.(tot)	12.8	11.9						14.6
Calciet	1600	3005	8800	2600	4400			
EC-								
(Zware) Metalen								
Arseen	31	22						20
Kwik	0.8	0.6						0.9
Cadmium	0.9	0.9						1.4
Chroom	31	40						30
Koper	44	48						40
Ijzer	19000	22426						18000
Kalium	400	2949						2700
Nikkel	14	19						15
Lood	110	105						100
PAK's in mg/kgds								
Naftaleen	18.0	1.5	0.8	2.2	0.9	2.7	2.9	2.6
Acenafyleen	0.3	0.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.4	<0.1
Acenanthteen	4.2	0.7	2.6	1.0	1.3	1.9	2.4	1.0
Fluoreen	3.1	0.7	1.6	0.8	0.7	0.8	3.6	0.7
Fenanthreen	10.0	5.3	11.0	4.3	3.2	6.8	19.1	4.7
Anthraceen	4.6	3.2	2.2	2.1	1.8	2.7	4.8	2.2
Fluorantheen	17.0	13.9	14.0	9.9	8.5	10.5	26.6	10.8
Pyreen	13.0	10.9	9.6	9.2	7.3	9.5	22.2	9.8
Benzo(a)antitraceen	6.4	6.0	4.3	5.2	4.4	4.1	11.6	5.8
Chryseen	7.2	5.9	4.4	5.2	4.0	4.1	11.1	5.8
Benzo(b)fluorantheen	6.9	5.4	3.6	5.7	4.3	4.1	10.6	6.8
Benzo(k)fluorantheen	3.3	2.8	1.7	2.5	1.9	1.9	4.8	2.8
Benzo(a)pyreen	6.9	6.0	3.8	5.2	4.0	3.7	11.6	5.8
Dibenz(ah)anthraceen	3.0	2.2	0.7	1.9	1.2	0.2	2.4	0.8
Benzo(ghi)peryleen	3.8	3.4	2.5	3.1	3.6	2.4	7.7	4.7
Indeno(123-cd)pyreen	5.5	4.7	2.4	3.8	2.3	2.4	6.3	3.7
Totaal	113.2	72.8	65.2	62.1	49.4	57.9	149.4	67.8
Totaal t/m Chryseen	83.8	48.1	50.5	39.9	32.1	43.2	105.9	43.1
"Zware" PAK's	29.4	24.6	14.7	22.2	17.3	14.7	43.5	24.7
Deeltjesgrootte								
< 2 µm	75.2	82.6						50.0
< 16 µm	84.9	89.4						76.0
< 63 µm	89.1	89.9						89.0
< 210 µm	90.1	90.7						93.0
> 210 µm	9.9	9.3						7.4

Kolom 10: Zierikzee – specie, 15 cm, UV – licht		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	16000	19523	14000	17000	10600	10546		9900
CZV	mg/kgds	104000	92462						87000
Fe2+	mg/kgds	15000	5400						5100
Ammonium	mgN/kgds	200	75						
N-kj	mg/kgds	2160	2474						2400
Nitriet	mg/kgds	0.1	0.3						
Nitraat	mg/kgds	8.3	<2						
Olie(IR)	mg/kgds		0						6.1
org.stof	gew.% d.s	7.1	7.0	77	78	78	86	6.9	89
D.s.	gew.%	45	70	5.6	6.6	7.2	8.2	92	7.1
TOC	gew.% d.s.	4.1	4.1	7.6	7.8	7.6	8.7		7.8
pH(KCl)		8.1	7.7						740
Fosf.(tot)	mg/kgds	3000	4011						15.4
Calciet	gew.% d.s	12.8	11.9						
EC –	µS/cm	1600	3300	9100	3600	4600			
(Zware) Metalen									
Arsen	mg/kgds	31	22						20
Kwik	"	0.8	0.6						0.8
Cadmium	"	0.9	0.9						1.6
Chroom	"	31	40						35
Koper	"	44	46						35
IJzer	"	19000	22485						21000
Kaillium	"	400	2546						3000
Nikkel	"	14	18						15
Lood	"	110	105						95
PAK's in mg/kgds									
Nafaleen		18.0	1.5	4.8	2.5	2.2	3.0	2.4	2.1
Acenafyleen		0.3	0.0	0.5	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Acenathteen		4.2	0.7	3.4	1.4	1.6	3.5	2.1	1.1
Fluoreen		3.1	0.7	2.4	0.9	1.1	1.6	1.1	0.6
Fenantreen		10.0	5.3	14.0	6.8	5.0	8.2	8.6	5.5
Anthraceen		4.6	3.2	5.6	2.7	2.0	2.1	1.8	2.3
Fluorantheen		17.0	14.0	31.0	17.0	11.0	17.4	17.6	13.2
Pyreen		13.0	11.0	22.0	17.0	10.0	16.3	19.1	11.9
Benzo(a)anthraceen		6.4	6.0	13.0	7.3	5.0	6.5	8.8	6.4
Chryseen		7.2	6.0	13.0	7.3	4.5	9.8	8.8	7.0
Benzo(b)fluorantheen		6.9	5.5	13.0	7.8	4.9	7.8	8.4	7.5
Benzo(k)fluorantheen		3.3	2.8	5.9	3.5	2.1	3.0	3.9	3.2
Benzo(a)pyreen		6.9	6.1	13.0	7.7	4.4	7.2	9.0	6.2
Dibenz(ah)anthraceen		3.0	2.2	3.6	2.4	1.2	0.5	1.4	0.8
Benzo(ghi)peryleen		3.8	3.4	11.0	3.7	3.7	4.1	5.6	5.3
Indeno(123-cd)pyreen		5.5	4.8	9.2	6.0	2.7	3.5	6.0	4.3
Totaal		113.2	73.2	165.4	94.0	61.5	94.5	104.6	77.5
Totaal Vm Chryseen		83.8	48.4	109.7	62.9	42.5	68.4	70.3	50.3
"Zware" PAK's		29.4	24.8	55.7	31.1	19.0	26.1	34.3	27.2
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	75.2	82.6						49.0
< 16 µm	"	84.9	89.4						73.0
< 63 µm	"	89.1	89.9						86.0
< 210 µm	"	90.1	90.7						91.0
> 210 µm	"	9.9	9.3						9.4

Kolom 11: Geulhaven specie, 50 cm, toev. entslib, compost, hou		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	6600	13129	1000	1550	1140			490
CZV	mg/kgds	92400	75124						80000
Fe2+	mg/kgds	10000	4720						4800
Ammonium	mgN/kgds	140	123						1900
N-kj	mg/kgds	1050	2204						
Nitriet	mg/kgds	< 0.1	0.2						
Nitraat	mg/kgds	4.1	2293.5						
Olie(IR)	mg/kgds	8100	5169	3900	1400		1790		1258
org.stof	gew.% d.s	6.2	8.0				6.0		5.0
D.s.	gew.%	67	67	72	72	72	79		80
TOC	gew.% d.s.	3.6	4.6	4.0	5.2	4.5			4.4
pH(KCl)		7.5	7.1	7.2	7.7	7.5			7.8
Fosf.(tot)	mg/kgds	3700	3452						1000
Calciet	gew.% d.s	9.6	10.6						7.4
EC-	µS/cm	410	656	3000	910	1300			
(Zware) Metalen									
Arsenen	mg/kgds	30	29						35
Kwik	"	1.5	1.4						2.0
Cadmium	"	3.4	3.3						3.5
Chroom	"	72	75						75
Koper	"	60	67						60
IJzer	"	14000	13953						15000
Kalium	"	260	1312						550
Nikkel	"	24	22						15
Lood	"	160	125						130
PAK's in mg/kgds									
Naftaleen		2.1	0.6	0.6	0.6	1.0		0.3	0.5
Acenatyleen		1.0	0.0	0.1	<0.1	0.1		<0.1	<0.1
Acenathteen		1.1	2.9	<0.1	<0.1	0.3		<0.1	<0.1
Fluoreen		3.9	1.1	0.5	0.5	0.7		<0.05	0.2
Fenantreen		11.0	2.1	1.4	1.5	2.0		0.4	0.7
Anthraceen		7.5	1.8	1.2	0.9	1.2		0.4	0.4
Fluorantheen		15.0	5.3	2.4	2.3	2.4		0.8	0.7
Pyreen		7.0	4.8	2.5	2.8	2.9		1.0	0.7
Benzo(a)anthraceen		5.1	1.4	1.3	1.2	1.0		0.5	0.3
Chryseen		6.9	3.5	2.4	2.4	2.3		0.9	0.6
Benzo(b)fluorantheen		2.8	2.6	2.3	2.2	1.9		1.3	1.1
Benzo(k)fluorantheen		1.4	1.1	0.9	0.7	0.5		0.5	0.2
Benzo(a)pyreen		2.3	1.9	1.9	1.6	1.3		1.2	0.8
Dibenz(ah)anthraceen		1.2	1.9	2.2	1.8	0.9		0.2	0.3
Benzo(ghi)perylene		1.3	1.5	2.1	1.2	1.0		1.5	1.1
Indeno(123-cd)pyreen		1.5	2.1	1.4	1.4	1.2		1.5	0.8
Totaal		71.1	34.5	23.1	21.1	20.6	0.0	10.5	8.4
Totaal t/m Chryseen		60.6	23.5	12.4	12.2	13.8	0.0	4.3	4.0
"Zware" PAK's		10.5	11.0	10.8	8.9	6.8	0.0	6.2	4.3
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	28.2	22.5						31.0
< 16 µm	"	60.5	38.5						49.0
< 63 µm	"	85.1	72.8						75.0
< 210 µm	"	96.5	92.7						95.0
> 210 µm	"	3.5	7.3						5.3

Kolom 12: Geulhaven specie, 50 cm, toev. entslib, nitraat		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	6600	6612	983	881	659	540		740
CZV	mg/kgds	92400	96459						87000
Fe2+	mg/kgds	10000	9941						1300
Ammonium	mgN/kgds	140	270	210	180	120	182		110
N-kj	mg/kgds	1050	1667	1730	2000	1960	2100		1800
Nitriet	mg/kgds	< 0.1	0.0	64.0	110.0	75.0	7.0		9.3
Nitraat	mg/kgds	4.1	82947.2	1400.0	1300.0	360.0	10560.0		6400.0
Olie(R)	mg/kgds	8100	8052	7500	8000		6960	6201	5391
org.stof	gew.% d.s.	6.2	6.4					5.7	5.4
D.s.	gew.%	67	61	67	65	68	67	69	74
TOC	gew.% d.s.	3.6	5.5	4.6	5.5	5.8	6.7	7.2	7.2
pH(KCl)		7.5	7.5	7.3	7.7	7.7	8.8		8.1
Fosf.(tot)	mg/kgds	3700	3945						980
Calciet	gew.% d.s.	9.6	9.6						10.4
EC-	µS/cm	410	417	5500	3400	8300			
(Zware) Metalen									
Arseen	mg/kgds	30	30						30
Kwik	"	1.5	1.5						1.9
Cadmium	"	3.4	3.4						4.0
Chroom	"	72	72						70
Koper	"	60	62						55
Ijzer	"	14000	13994						15000
Kalium	"	260	656						550
Nikkel	"	24	24						15
Lood	"	160	160						130
PAK's in mg/kgds									
Naftaleen		2.1	2.1	1.0	1.3	0.5	0.9	0.8	1.3
Acenafyleen		1.0	1.0	<0.8	0.7	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
Acenaftheen		1.1	1.1	1.4	1.0	0.7	0.9	1.2	1.5
Fluoreen		3.9	3.9	4.0	3.3	1.2	2.9	<0.8	3.8
Fenantreen		11.0	10.9	7.6	9.2	6.0	6.2	9.3	10.8
Anthraceen		7.5	7.5	5.4	4.7	5.7	4.3	6.4	7.0
Fluoranthreen		15.0	14.9	6.7	9.6	7.3	6.2	7.4	10.1
Pyreen		7.0	7.0	4.1	8.3	7.6	5.3	7.9	8.9
Benzo(a)anthraceen		5.1	5.1	2.2	3.5	2.3	2.1	2.6	2.8
Chrysean		6.9	6.9	3.4	6.3	4.8	3.6	4.1	4.7
Benzo(b)fluoranthreen		2.8	2.8	2.3	2.3	2.6	2.3	2.4	3.5
Benzo(k)fluoranthreen		1.4	1.4	0.9	1.2	0.9	0.9	1.0	1.3
Benzo(a)pyreen		2.3	2.3	1.9	2.8	1.8	1.5	1.9	2.3
Dibenz(ah)anthraceen		1.2	1.2	2.8	1.1	0.9	0.7	0.5	1.0
Benzo(ghi)peryleen		1.3	1.3	2.5	1.2	1.2	1.0	1.2	2.2
Indeno(123-cd)pyreen		1.5	1.5	1.3	1.7	1.0	0.8	1.1	1.7
Totaal		71.1	70.7	47.5	58.9	44.8	39.6	47.7	62.8
Totaal t/m Chrysean		60.6	60.2	35.8	47.9	36.4	32.4	39.6	50.8
"Zware" PAK's		10.5	10.5	11.7	11.0	8.4	7.2	8.1	12.0
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	28.2	28.2						24.0
< 16 µm	"	60.5	60.5						39.0
< 63 µm	"	85.1	85.1						64.0
< 210 µm	"	96.5	96.5						97.0
> 210 µm	"	3.5	3.5						3.2

Kolom 14: Geulhaven specie, 15 cm, UV-licht		Bij Start	Na 6 weken	Na 10 weken	Na 13 weken	Na 16 weken	Na 28 weken	Na 46 weken	Na 60 weken
Chloride	mg/kgds	6600	13650	1860	1240	839	977		1000
CZV	mg/kgds	92400	67688						61400
Fe2+	mg/kgds	10000	4909						4000
Ammonium	mgN/kgds	140	7						1500
N-kj	mg/kgds	1050	1375						
Nitriet	mg/kgds	< 0.1	0.2						
Nitraat	mg/kgds	4.1	2352.4						
Ollel(R)	mg/kgds	8100	5435	4300	1000		760	1448	1158
org.stof	gew.% d.s	6.2	5.4						4.5
D.s.	gew.%	67	74	83	78	74	89	93	94
TOC	gew.% d.s.	3.6	3.1	3.1	3.5	5.8	4.2		3.8
pH(KCl)		7.5	7.4	7.3	7.6	7.5	8.6		7.8
Fosf.(tot)	mg/kgds	3700	3098						930
Calciet	gew.% d.s	9.6	11.0						9.8
EC-	µS/cm	410	680	1400	580	860			
(Zware) Metalen									
Arseen	mg/kgds	30	30						35
Kwik	"	1.5	1.5						2.0
Cadmium	"	3.4	3.5						4.0
Chroom	"	72	78						70
Kopet	"	60	67						55
Ijzer	"	14000	14491						14000
Kallium	"	260	792						990
Nikkel	"	24	23						20
Lood	"	160	130						110
PAK's in mg/kgds									
Nafaleen		2.1	0.6	0.5	0.8	0.4	0.6	0.6	0.7
Acenafyleen		1.0	0.0	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Acenaftheen		1.1	3.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Fluoreen		3.9	1.1	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.3
Fenatreen		11.0	2.2	1.5	1.5	0.6	1.0	0.6	1.0
Anthraceen		7.5	1.8	1.6	1.0	0.4	0.5	0.4	0.9
Fluoranthreen		15.0	5.5	6.3	2.9	0.7	1.2	0.8	1.0
Pyreen		7.0	5.0	6.7	3.4	1.3	1.6	0.9	1.1
Benzo(a)anthraceen		5.1	1.5	3.5	1.3	0.6	0.5	0.4	0.5
Chryseen		6.9	3.7	5.8	2.6	1.3	1.0	0.8	0.8
Benzo(b)fluoranthreen		2.8	2.7	4.8	2.0	1.6	1.4	1.1	1.7
Benzo(k)fluoranthreen		1.4	1.1	1.7	0.8	0.5	0.5	0.4	0.5
Benzo(a)pyreen		2.3	2.0	3.7	1.6	1.1	1.2	1.0	1.1
Dibenz(ah)anthraceen		1.2	2.0	2.5	0.9	0.3	0.5	0.3	0.7
Benzo(ghi)peryleen		1.3	1.6	3.9	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6
Indeno(123-cd)pyreen		1.5	2.2	1.9	1.4	1.1	1.0	1.2	1.2
Totaal		71.1	36.2	44.8	21.9	11.2	12.3	10.2	13.2
Totaal t/m Chryseen		60.6	24.7	26.3	14.2	5.8	6.5	4.8	6.4
"Zware" PAK's		10.5	11.5	18.5	7.7	5.4	5.7	5.4	6.7
Deeltjesgrootte									
< 2 µm	gew.%	28.2	22.9						
< 16 µm	"	60.5	39.4						
< 63 µm	"	85.1	75.1						
< 210 µm	"	96.5	95.6						
> 210 µm	"	3.5	4.4						

Bijlage 5: Analyseresultaten veldonderzoek

Zienkziesailb	Bij start	Na 18 weken	Na 22 weken	Na 32 weken	Na 49 weken	Na 66 weken	Na 79 weken	Na 94 weken	Na 109 weken	Na 126 weken	Na 163 weken	Na 184 weken
Minimum optie												
Chloride	16000	10600	13936	9277	272							
CZV	104000	108600			76048							
Fe2+	15000											
Armonium	200											
N-kj	2160	2420			2178							
Nitraat	0.1											
Nitraat	8.3											
Olies(IR)	7.1	5.8			5.9							
org.stof	45	71	73	72	69							
D.s.	4.1	6.9	7.0	6.2	4.4							
TOC	8.1	8.1	9.1	8.9	7.6							
pH(KCl)	3000	2500			791							
Fost.(tot)	12.8	12.8			14.9							
Calciet	1600											
EC-												
(Zware) Metalen												
Arseen	31											
Kwik	0.8											
Cadmium	0.9											
Chroom	31											
Koper	44											
IJzer	19000											
Kalium	400	1585			2570							
Nikkel	14											
Lood	110											
PAK's in mg/kgds												
Naftaleen	18.0	2.8	3.1	0.8	1.7							
Acenafyleen	0.3	0.1	0.2	<0.1	<0.1							
Acenaftheen	4.2	1.7	2.4	4.2	1.4							
Fluoreen	3.1	0.9	1.5	0.5	0.9							
Fenaftheen	10.0	4.6	7.8	3.7	5.9							
Anthraceen	4.6	2.0	2.3	1.3	2.1							
Fluorantheen	17.0	9.2	12.7	8.0	11.8							
Pyreen	13.0	9.8	8.8	5.8	10.0							
Benzo(a)anthraceen	6.4	3.9	4.5	3.2	5.1							
Chyseen	7.2	4.2	5.0	3.4	5.8							
Benzo(b)fluorantheen	6.9	3.6	4.7	3.0	5.7							
Benzo(k)fluorantheen	3.3	1.7	2.3	2.3	2.5							
Benzo(a)pyreen	6.9	3.7	4.1	1.7	5.2							
Dibenz(ah)anthraceen	3.0	3.2	0.8	0.6	1.1							
Benzo(ghi)peryleen	3.8	3.2	3.3	2.2	3.8							
Indeno(123-cd)pyreen	5.5	2.9	2.9	2.4	3.3							
Totaal	113.2	57.5	66.3	43.1	66.5							
Totaal t/m Chyseen	83.8	39.2	48.2	30.9	44.8							
Zware PAK's	29.4	18.3	18.1	12.2	21.7							
Deeljesgrootte												
< 2 µm	75.2	37.0			52.2							
< 16 µm	84.9	66.5			74.4							
< 63 µm	89.1	78.8			83.9							
< 210 µm	90.1	84.4			87.6							
> 210 µm	9.9	15.6			12.6							

Zierkzeeislib	Bij start	Na 18 weken	Na 22 Weken	Na 32 weken	Na 49 weken	Na 73 weken	Na 94 weken	Na 109 weken	Na 126 weken	Na 163 weken	Na 184 weken
Maximum optie											
Chloride	16000	10600	13936	5324	77233	110100	<200	<200	<200	<200	<200
CZV	104000	108600				3100				70500	12
Fe2+	15000										1600
Ammonium	200	2420			1769	2300					
N-kj	2160										
Nitriet	0.1										
Nitraat	8.3										
Oil(e)(r)											
org.stof	7.1	5.8			5.4	6.0	5.4	5.0	3.2	4.5	4.6
D.s.	45	71		76	72	70	72	74	79	79	76
TOC	4.1	6.9		5.3	3.7	4.1	4.7	3.3	1.8	2.5	4.5
pH(KCl)	8.1	8.1		9.0	7.5	7.4	7.5	7.6	9.0	7.5	7.7
Fosf.(tot)	3000	2500			733	820				850	
Calciet	12.8	12.8			13.8	12.2				10.2	
EC--	1600									230	
(Zware) Metalen											
Arseen	31					15				15	
Kwikk	0.8					*				0.4	
Cadmium	0.9					0.7				0.8	
Chroom	31					9				40	
Koper	44					35				35	
IJzer	19000					18000				22000	
Kalium	400	1585			2341	1900				1300	
Nikkel	14					<5				15	
Lood	110					80				75	
PAK's in mg/kgds											
Naitaleen	18.0	2.8		0.6	1.4	1.4	0.7	1.1	1.1	0.3	0.5
Acenafyleen	0.3	0.1		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.02
Acenathreen	4.2	1.7		2.4	0.9	0.3	0.3	0.3	0.3	<0.1	<0.02
Fluoreen	3.1	0.9		0.3	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2
Fenantreen	10.0	4.6		2.1	4.3	2.6	2.3	2.8	1.5	1.4	1.3
Anthraceen	4.6	2.0		0.7	1.6	1.4	1.0	1.1	0.8	0.9	0.6
Fluoranthreen	17.0	9.2		5.3	9.2	6.4	5.0	5.9	4.0	3.6	3.2
Pyreen	13.0	9.8		3.5	7.9	5.3	4.1	4.8	3.2	3.4	2.9
Benzo(a)anthraceen	6.4	3.9		2.1	4.3	3.5	2.7	2.6	1.9	1.9	1.7
Chyseeen	7.2	4.2		2.2	4.7	3.6	2.8	2.9	2.1	2.0	2.0
Benzo(b)fluoranthreen	6.9	3.6		2.8	5.0	4.2	3.6	3.2	2.8	2.5	2.2
Benzo(k)fluoranthreen	3.3	1.7		1.8	2.1	1.7	1.4	1.4	1.0	1.0	0.9
Benzo(a)pyreen	6.9	3.7		2.1	4.4	3.1	3.2	3.0	2.6	3.0	2.2
Dibenz(en)anthraceen	3.0	3.2		0.3	0.9	0.7	0.4	0.5	0.5	0.1	0.3
Benzo(ghi)peryleen	3.3	3.2		1.5	3.2	2.8	2.4	2.8	2.1	2.5	1.6
Indeno(123-cd)pyreen	5.5	2.9		1.5	2.9	2.4	2.6	2.2	1.9	1.8	1.9
Totaal	113.2	57.5		29.4	53.4	39.7	33.0	34.9	26.4	24.8	21.6
Totaal t/m Chyseeen	83.8	39.2		19.3	34.9	24.9	19.4	21.9	15.3	13.8	12.5
"Zware" PAK's	29.4	18.3		10.0	18.5	14.9	13.6	13.1	11.0	11.0	9.1
Deeltjesgrootte											
< 2 µm	75.2	37.0			38.3	39.0				20.0	
< 15 µm	84.9	66.5			63.7	59.0				35.0	
< 63 µm	89.1	76.8			73.7	70.0				46.0	
< 210 µm	90.1	84.4			78.5	77.0				66.0	
> 210 µm	9.9	15.6			21.6	23.0				34.0	

Geulfaarslab Minimum optie	Bij start	Na 28 weken	Na 32 weken	Na 42 weken	Na 59 weken	Na 76 weken	Na 82 weken	Na 104 weken	Na 119 weken	Na 136 weken	Na 173 weken	Na 194 weken
Chloride	6600	267	231	582	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
CZV	92400	76900			59700			72500			57900	
Fe2+	10000				2900			18				
Ammonium	140				1200			1100				
N-hj	1050	1040										
Nitriet	<0.1											
Nitriet	mg/kgds		3927	2111	2555			2000	940	310		330
Oilier(f)	mg/kgds	3.8			4.4			4.1	4.4	2.3		4.2
org.stof	gew.% d.s	76	76	77	74	76		75	76	76		75
D.s.	gew.%	3.4	3.6	3.7	2.8			4.0	2.8	2.0		2.7
TOC	gew.% d.s.	7.5	8.8	8.8	7.7			7.6	7.8	8.8		7.8
pH(KCl)	mg/kgds	3700			830			770	1000			
Fosf. (tot)	gew.% d.s	2200			13.3			12.8				
Calciet	µS/cm	10.3						380				
EC-	410											
(Zware) Metalen												
Arseen	mg/kgds	30						20				
Kwik	*	1.5						1.4				
Cadmium	*	3.4						3				
Chroom	*	72						40				
Koper	*	60						45				
Lijzer	*	14000						13000				
Kalium	*	260			922			620				
Nikkel	*	24						20				
Lood	*	160						100				
PAK's in mg/kgds												
Naftaleen	2.1	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.2	0.5	0.1	0.2
Acenatyleen	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.02
Acenathheen	1.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.02
Fluoreen	3.9	1.8	0.5	2.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
Fenantheen	11.0	5.7	1.3	3.8	0.6	3.1	0.9	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3
Anthraceen	7.5	4.2	1.1	0.9	0.6	0.6	1.0	0.4	0.2	0.5	0.8	0.2
Fluoranthheen	15.0	7.0	2.8	2.2	1.8	1.8	1.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.3
Pyreen	7.0	5.3	2.8	1.8	3.0	1.9	1.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.3
Benzo(a)anthraceen	5.1	2.3	0.9	0.8	0.8	0.5	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
Chyseen	6.9	3.6	1.5	1.2	1.5	1.2	1.1	0.7	0.6	0.3	0.6	0.4
Benzo(b)fluoranthheen	2.8	2.7	1.7	1.4	1.5	1.3	1.4	1.0	0.7	1.1	1.0	0.6
Benzo(k)fluoranthheen	1.4	1.1	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2
Benzo(a)pyreen	2.3	1.9	1.1	1.0	1.3	1.0	1.0	0.8	0.5	0.9	0.9	0.4
Dibenz(ah)anthraceen	1.2	1.1	0.4	0.6	0.3	0.2	0.4	0.1	0.1	0.4	0.4	0.2
Benzo(ghi)peryleen	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	0.8	0.9	0.8	0.7	1.1	1.1	0.6
Indeno(123-cd)pyreen	1.5	1.3	0.7	1.0	0.8	0.7	0.7	0.8	0.6	0.9	0.7	0.6
Totaal	71.1	40.8	16.9	19.6	14.4	14.7	12.3	7.4	6.0	8.9	8.3	4.5
Totaal I/m Chyseen	60.6	31.1	11.4	13.4	8.9	10.2	7.5	3.6	3.1	4.1	3.8	2.0
"Zware" PAK's	10.5	9.7	5.5	6.2	5.5	4.5	4.8	3.8	2.9	4.8	4.4	2.5
Deeltjesgrootte												
< 2 µm	gew.%	28.2			21.0			21.0			11.0	
< 16 µm	*	60.5			34.0			33.0			19.0	
< 63 µm	*	85.1			66.0			64.0			33.0	
< 210 µm	*	96.5			96.0			96.4			93.4	
> 210 µm	*	3.5			4.5			3.6			6.6	

Geulhavenslib	Bij start	Na 28 weken	Na 32 weken	Na 42 weken	Na 59 weken	Na 83 weken	Na 104 weken	Na 119 weken	Na 136 weken	Na 173 weken	Na 194 weken
Maximum oplos											
Chloride	6600	267	231	78	<20	<20	<200	<200	<200	<200	<200
CZV	92400	76900			53600	59500	59500	59500	60700	60700	60700
Fe2+	10000				3300	3300	3300	3300	41	41	41
Ammonium	140	1040			1300	1500	1500	1500	1200	1200	1200
N-kj	1050										
Nitriet	<0.1										
Nitraat	4.1										
Oilier(I)	8100	3.8	3927	1381	1564	2200	500	490	230	420	150
org.stof	6.2	76	76	76	3.9	4.9	4.6	3.8	2.7	4.1	4.2
D.s.	67	3.4	3.6	3.2	7.4	72	75	75	79	78	78
TOC	3700	7.5	8.8	8.8	2.5	3.5	3.9	2.7	2.1	2.6	3.2
pH(KCl)		7.7	8.8		7.7	7.7	7.7	7.8	8.8	7.7	7.8
Fost.(tot)		2200			810	810	810	810	1200	1200	1200
Calciet	9.6	10.3			13.3	12.8	12.8	12.3	12.3	12.3	12.3
EC-	410							220			
(Zware) Metalen											
Arseen	30										
Kwik	1.5										
Cadmium	3.4										
Chroom	72										
Koper	60										
IJzer	14000										
Kalium	280	396			1100	12000	760	670	17000	670	20
Nikkel	24										20
Lood	160										140
PAK's in mg/kgds											
Naftaleen	2.1	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.2	0.4	0.4	0.1	0.3
Acenatyleen	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.02
Acenanthreen	1.1	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.02
Fluoreen	3.9	1.8	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Fenanthreen	11.0	5.7	1.3	1.0	0.6	1.1	0.4	0.5	0.6	0.9	0.4
Anthraaceen	7.5	4.2	1.1	0.8	0.4	1.3	0.3	0.4	0.5	0.9	0.2
Fluoranthreen	15.0	7.0	2.8	1.6	0.9	2.1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.5
Pyreen	7.0	5.3	2.8	1.5	1.1	1.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.4
Benzo(a)anthraaceen	5.1	2.3	0.9	0.8	0.5	0.9	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2
Chyseen	6.9	3.6	1.5	0.8	0.7	1.3	0.8	0.6	0.5	0.6	0.4
Benzo(b)fluoranthreen	2.8	2.7	1.7	1.4	1.1	1.4	1.0	0.8	1.0	0.9	0.6
Benzo(k)fluoranthreen	1.4	1.1	0.7	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
Benzo(e)pyreen	2.3	1.9	1.1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.6	0.7	0.8	0.4
Dibenz(ah)anthraaceen	1.2	1.1	0.4	0.3	0.6	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3
Benzo(ghi)peryleen	1.3	1.6	1.0	0.8	1.1	0.9	0.7	0.8	0.9	1.1	0.5
Indeno(123-cd)pyreen	1.5	1.3	0.7	0.6	0.9	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6
Totaal	71.1	40.8	16.9	11.2	10.5	14.4	8.0	7.1	8.0	8.3	4.9
Totaal t/m Chyseen	60.6	31.1	11.4	6.9	5.5	9.7	4.3	4.0	4.1	4.2	2.4
Zware PAK's	10.5	9.7	5.5	4.3	5.0	4.7	3.8	3.1	3.9	4.1	2.5
Deeltjesgrootte											
< 2 µm	28.2	20.8			23.0	20.0				9.9	
< 16 µm	60.5	33.8			36.0	33.0				17.0	
< 63 µm	85.1	67.8			69.0	64.0				27.0	
< 210 µm	96.5	96.1			97.0	94.9				93.0	
> 210 µm	3.5	3.9			3.3	5.1				7.0	

Zienkzaamheids bewerkt onderwater (w. 51 t/m 57)	Bij start	Na 18 weken	Na 22 weken	Na 32 weken	Na 49 weken	Na 57 weken
Chloride	16000	10600	13936	5324	77233	200
CZV	104000	108600				
Fe2+	15000					
Ammonium	200				1769	
N-kj	2160	2420				
Nitriet	0.1					
Nitriet	8.3					
Olief(R)	7.1	5.8			5.4	5.2
org.stof	45	71	73	76	72	62
D.s.	4.1	6.9	7.0	5.3	3.7	5.8
TOC	8.1	8.1	9.1	9.0	7.5	7.7
pH(KCl)	3000	2500			733	
Fosf.(tot)	12.8	12.8			13.8	
Calciet	1600					
EC-						
(Zware) Metalen						
Arsen	31					
Kwik	0.8					
Cadmium	0.9					
Chroom	31					
Koper	44					
IJzer	19000					
Kalium	400	1585			2341	
Nikkel	14					
Lood	110					
PAK's in mg/kgds						
Nafaleen	18.0	2.8	3.1	0.6	1.4	1.6
Acenaftheen	0.3	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
Fluoreen	4.2	1.7	2.4	2.4	0.9	1.0
Fenantreen	3.1	0.9	1.5	0.3	0.7	0.7
Anthraceen	10.0	4.6	7.8	2.1	4.3	3.5
Fluorantheen	4.6	2.0	2.3	0.7	1.6	1.6
Pyreen	17.0	9.2	12.7	5.3	9.2	9.0
Benzo(a)anthraceen	13.0	9.8	6.8	3.5	7.9	8.2
Chyseen	6.4	3.9	4.5	2.1	4.3	4.4
Benzo(b)fluorantheen	7.2	4.2	5.0	2.2	4.7	4.4
Benzo(k)fluorantheen	6.9	3.6	4.7	2.8	5.0	5.0
Benzo(a)pyreen	3.3	1.7	2.3	1.8	2.1	2.1
Dibenz(ah)anthraceen	6.9	3.7	4.1	2.1	4.4	4.1
Benzo(ghi)perylene	3.0	3.2	0.8	0.3	0.9	0.5
Indeno(123-cd)pyreen	3.8	3.2	3.3	1.5	3.2	2.6
Totaal	5.5	2.9	2.9	1.5	2.9	3.2
Totaal t/m Chyseen	113.2	57.5	66.3	29.4	53.4	52.0
"Zware" PAK's	83.8	39.2	48.2	19.3	34.9	34.4
	29.4	18.3	18.1	10.0	18.5	17.5
Deeltjesgrootte						
< 2 µm	75.2	37.0			38.3	
< 16 µm	84.9	66.5			63.7	
< 63 µm	89.1	78.8			73.7	
< 210 µm	90.1	84.4			78.5	
> 210 µm	9.9	15.6			21.6	

Zienkzoeslib nial-bewerkt onderwater (w. 51 t/m 57)	Bij start	Na 18 weken	Na 22 weken	Na 32 weken	Na 49 weken	Na 57 weken
Chloride	16000 mg/kgds	10600 mg/kgds	13936	9277	272	550
CZV	104000 mg/kgds	108600			76048	
Fe2+	15000 mg/kgds					
Ammonium	200 mgN/kgds					
N-kj	2160 mg/kgds	2420			2178	
Nitriet	0.1 mg/kgds					
Nitraat	8.3 mg/kgds					
Olief(R)	7.1 mg/kgds	5.8			5.9	5.5
org.stof	45 gew.% d.s.	71	73	72	69	56
D.s.	4.1 gew.% d.s.	6.9	7.0	6.2	4.4	4.6
TOC	8.1	8.1	9.1	8.9	7.6	7.7
pH(KCl)						
Fosf. (tot)	3000 mg/kgds	2500			791	
Calciet	12.8 µS/cm	12.8			14.9	
EC-	1600					
(Zware) Metalen						
Arsen	31 mg/kgds					
Kwik	0.8					
Cadmium	0.9					
Chroom	31					
Koper	44					
IJzer	19000					
Kalium	400	1585			2570	
Nikkel	14					
Lood	110					
PAK's in mg/kgds						
Nafaleen	18.0	2.8	3.1	0.8	1.7	2.0
Acenafyleen	0.3	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
Acenaftheen	4.2	1.7	2.4	4.2	1.4	<0.3
Fluoreen	3.1	0.9	1.5	0.5	0.9	0.3
Fenantreen	10.0	4.6	7.8	3.7	5.9	3.4
Antracceen	4.6	2.0	2.3	1.3	2.1	1.3
Fluorantheen	17.0	9.2	12.7	8.0	11.8	7.7
Pyreen	13.0	9.8	8.8	5.8	10.0	7.1
Benzo(a)anthraceen	6.4	3.9	4.5	3.2	5.1	3.4
Chyseen	7.2	4.2	5.0	3.4	5.8	3.4
Benzo(b)fluorantheen	6.9	3.6	4.7	3.0	5.7	4.0
Benzo(k)fluorantheen	3.3	1.7	2.3	2.3	2.5	1.7
Benzo(e)pyreen	6.9	3.7	4.1	1.7	5.2	3.3
Dibenz(ah)anthraceen	3.0	3.2	0.8	0.6	1.1	0.3
Benzo(ghi)peryleen	3.8	3.2	3.3	2.2	3.8	2.2
Indeno(123-cd)pyreen	5.5	2.9	2.9	2.4	3.3	2.6
Totaal	113.2	57.5	66.3	43.1	66.5	42.7
Totaal t/m Chyseen	83.8	39.2	48.2	30.9	44.8	28.5
**Zware* PAK's	29.4	18.3	18.1	12.2	21.7	14.2
Deeltjesgrootte						
< 2 µm	75.2 gew. %	37.0			52.2	
< 16 µm	84.9	66.5			74.4	
< 63 µm	89.1	78.8			83.9	
< 210 µm	90.1	84.4			87.5	
> 210 µm	9.9	15.6			12.6	

**Programma Ontwikkeling
Saneringsprocessen Waterbodems (POSW)
fase II (1992-1996)**

**Deel 2 Landfarming van baggerspecie:
laboratorium- en praktijkonderzoek.**

Dit POSW-eindrapport beschrijft de resultaten van een drie en een half jaar durend onderzoek naar de mogelijkheden van landfarming voor verontreinigde baggerspecie. Met name het veldonderzoek heeft interessante resultaten opgeleverd. Naast de voor biologische reiniging bekende gefaseerde activiteit (snelle afbraak in beginperiode, daarna langzamer) bleek dat regelmatig bewerken en toevoegen van compost, houtsnippers en entmateriaal de afbraak van olie en PAK positief beïnvloedde. Het positieve effect uitte zich ofwel in een snellere (specie A), ofwel in een grotere (specie B) afbraak. Uiteindelijk was 80-93% van de verontreiniging verwijderd. Rekening houdend met de lage proceskosten (50-75 gulden per ton droge stof) biedt landfarming daarom een goede optie voor reiniging van met olie en PAK verontreinigde baggerspecie.

RIZA-nota nummer: 95013
ISBN: 9036901057
Lelystad, maart 1995

Nota in de reeks van eindrapportages van de tweede fase van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW-II).

colofon

Tekst: DHV Milieu en Infrastructuur
Vormgeving: Bureau Beekvisser [bNO], Amsterdam
Druk: Drukkerij Smeink, Amsterdam

