



# Landfarming: van verontreinigde baggerspecie naar bruikbare grond

Biobeschikbaarheid en ecotoxiciteit als indicatoren  
voor het omgaan met verontreinigde baggerspecie

RIZA rapport 2001.011

AKWA rapport 01.001

ISBN 9036953642

Auteurs: L.R.M. de Poorter (RIZA)

J. Harmsen (Alterra)

J. van Peperstraten (Bosschout, bureau voor  
milieucommunicatie)

RIZA

Lelystad, maart 2001



Advies- en Kenniscentrum Waterbodems



**ALTEERRA**

RESEARCH INSTITUUT VOOR DE GROENE RUIJTE

---

# Voorwoord

---

Dit rapport is tot stand gekomen door een intensieve samenwerking tussen de auteurs. Joop Harmsen is als projectleider namens Alterra vanaf 1994 betrokken bij het landfarmproject Kreekraksluizen. Zijn ervaringen en kennis van landfarming zijn in dit overzichtsrapport geïntegreerd. Jaap van Peperstraten van Bosschout, bureau voor milieucommunicatie, heeft als tekstschrijver bijgedragen aan het tot stand komen van dit rapport. De coördinatie van het opstellen van dit rapport was in handen van ondergetekende, die sinds 1994 betrokken was bij de uitvoering van het project-onderdeel bioassays en sinds 1999 als projectleider bij RIZA voor de monitoring.

Naast de auteurs hebben medewerkers van diverse onderdelen van Rijkswaterstaat een waardevolle bijdrage geleverd aan dit rapport door commentariëring van de conceptversies. Dit waren Gerard Cornelissen, Marijke Ferdinandy, Klaas Groen, Kees van de Guchte en Jos Vink (allen AKWA/RIZA), Sandra Mulder (AKWA/DWW) en Kees-Jan Meeuse (Rijkswaterstaat, Directie Zeeland). De auteurs hebben hun reacties zeer op prijs gesteld.

Leon de Poorter

Lelystad, maart 2001

---

## Inhoudsopgave

---

Samenvatting 4

### **1 Inleiding 7**

1.1 Waarom dit rapport 7

1.2 Leeswijzer 8

### **2 Landfarming: achtergrond en onderzoek 9**

2.1 Biologische reiniging door middel van landfarming 9

2.1.1 Randvoorwaarden voor biologische reiniging 9

2.1.2 Wat houdt landfarming in? 10

2.1.3 Biobeschikbaarheid de fasen in landfarming 11

2.1.4 Uitvoeringsvormen van landfarming 12

2.2 Het landfarmingonderzoek op de proeflocatie Kreekraksluizen 12

2.2.1 Beschrijving van het onderzoek 12

2.2.2 Resultaten 13

### **3 Biobeschikbaarheid als graadmeter voor afbraak en effecten 18**

3.1 Biobeschikbaarheid afbraak 18

3.2 Biobeschikbaarheid milieu-effecten 20

3.2.1 Verspreiding 20

3.2.2 Ecotoxiciteit: van aquatische naar terrestrische risico's 21

3.3 Biobeschikbaarheid omgaan met verontreinigde  
specie in de praktijk 26

### **4 De toekomst van landfarming 28**

### **5 Hoe verder? 31**

**Literatuur 32**

---

# Samenvatting

---

Dit rapport gaat over landfarming en de rol van de biobeschikbaarheid van verontreinigingen bij biologische reiniging van en bij het omgaan met verontreinigde baggerspecie. Onder de biobeschikbaarheid van een verontreiniging wordt dat deel van de verontreiniging verstaan, dat in een zodanige vorm aanwezig is dat afbraak door geschikte micro-organismen mogelijk is en effecten op andere organismen dan de afbraakorganismen kunnen optreden. Het rapport gaat in op de randvoorwaarden voor biologische reiniging, de uitvoeringsvormen van landfarming, de rol van biobeschikbaarheid en het nut van biologische effectmetingen. Op basis hiervan worden de mogelijkheden van landfarming in de praktijk aangegeven. Met dit rapport wordt beoogd de kennis over deze aspecten over te dragen aan andere partijen, zoals probleembezitters, beleidsontwikkelaars en onderzoeksinstituten.

Landfarming is een reinigingstechniek, waarbij verontreinigde baggerspecie in een dunne laag (enkele tientallen centimeters tot een meter) wordt verspreid op een speciaal daartoe ingerichte lokatie. Door ontwatering en rijping wordt in de loop van de tijd een zuurstofrijke specielaag verkregen, waarin microbiële afbraak van organische verontreinigingen kan plaatsvinden. Door machinale bewerking (frozen en ploegen) en het beplanten van de specielaag kunnen de ontwatering en rijping versneld worden, waardoor ook de afbraakprocessen eerder op gang kunnen komen.

Landfarming is vooral geschikt voor zandige tot matig zandige baggerspecie, die verontreinigd is met PAK en/of minerale olie. Door landfarming worden geen metalen verwijderd. Na de verwijdering van PAK en/of minerale olie kunnen metalen echter bepalend zijn voor de toepassingsmogelijkheden van het verkregen materiaal. Omdat veel baggerspecie zware metalen in een verhoogd gehalte bevat, kan landfarming in zijn huidige vorm voor een deel van de Nederlandse baggerspecie worden ingezet.

Dit rapport is voornamelijk gebaseerd op een tienjarig onderzoek naar biologische reiniging van baggerspecie door middel van landfarming op een onderzoekslokatie bij de Kreekraksluizen (provincie Zeeland). Daarbij is speciaal gekeken naar de afbraak van minerale olie en PAK en de milieurisico's tijdens landfarming. Het onderzoek met vier verschillende species heeft duidelijkheid geschapen over mogelijkheden en onmogelijkheden om verontreinigde baggerspecie via landfarming te reinigen. Deze kennis kan in de praktijk worden toegepast.

Uit het onderzoek is gebleken dat landfarming voor sommige baggerspecies met succes kan worden ingezet en dat vooraf bepaald kan worden voor welke species dat geldt. Daarnaast is er veel geleerd over de risico's voor het milieu (verspreiding van stoffen, ecotoxicologische effecten) en over het rijpingsproces gedurende de verandering van baggerspecie naar bodem.

Zowel zoete als zoute baggerspecie verontreinigd met PAK- en/of minerale olie kunnen door middel van landfarming gereinigd worden. Gebleken is dat het verwijderingsrendement van PAK en minerale olie tussen 70 en 90% ligt. Uit het onderzoek is verder gebleken dat de afbraak in elke specie volgens

---

hetzelfde patroon verloopt: namelijk een snelle fase, gevolgd door een trage fase. Ook is gebleken dat snelheid en duur van die twee fasen per specie-type kunnen variëren. Duidelijk is ook dat het voor PAK mogelijk is om binnen één tot drie jaar een speciekwaliteit te bereiken die voldoet aan de samenstellingswaarde van het Bouwstoffenbesluit. Voor met minerale olie verontreinigde species kunnen echter perioden tot circa tien jaar vereist zijn.

Het onderzoek heeft tot het besef geleid dat kennis van de biobeschikbaarheid een essentiële rol speelt in de biologische reiniging. De via chemische weg bepaalde biobeschikbare fractie van PAK - en vermoedelijk ook van minerale olie - is indicatief voor de daadwerkelijke afbraak van de verontreiniging. Daarmee is biobeschikbaarheid een nuttig beslisinstrument bij de biologische reiniging van baggerspecie of bij het omgaan met verontreinigde baggerspecie. Het bepaalt of landfarming zinvol is en of het zinvol is de baggerspecie te bewerken om de afbraak te versnellen. Uit aanvullend onderzoek (kasfarming, de inzet van schimmels en van planten) is gebleken dat de biobeschikbaarheid niet te versnellen is. Voordat landfarming plaatsvindt, is het raadzaam de biobeschikbaarheid te bepalen. Voor PAK kan dit gemeten worden door twee chemische technieken: extractie met azijnzuur of adsorptie aan Tenax.

Biobeschikbaarheid van een verontreiniging kan ook inzicht geven in de risico's voor negatieve milieu-effecten (verspreiding naar omgeving en effecten op organismen). Bij een landfarm moet zowel aandacht geschonken worden aan verspreidingsrisico's als aan ecotoxicologische risico's. Uitloogtesten en analyses van drainwater op Kreekraksluizen hebben aangetoond dat het landfarmen van de verontreinigde baggerspecies niet leidt tot aantoonbare risico's voor verspreiding van de verontreinigingen. Ook is gebleken dat wanneer de biobeschikbaarheid laag is, de risico's van landfarming voor het milieu eveneens beperkt zijn. Met behulp van bioassays is vanaf 1994 de toxiciteit in de behandelde species onderzocht. Hieruit bleek dat de effecten voor organismen verschillend van omvang waren, maar na verloop van jaren afnamen. Inzicht in de verspreidingsrisico's van verontreinigingen bij en ecotoxicologische risico's van baggerspeciebehandeling is benodigd voor de implementatie van het huidige waterbodembesluit, waarbij verontreinigde baggerspecies worden verwerkt door middel van eenvoudige technieken.

Dit rapport pleit voor meer onderzoek gericht op methodiekontwikkelingen op meer inzicht in de risico's en in de combinatiemogelijkheden van landfarming met andere gebruiksfuncties. Vanwege het grote ruimtebeslag van landfarming over een langere periode is het zinvol landfarming te combineren met een nuttig gebruik, zoals energieteelt (wilgen) of natuurontwikkeling. Dit bevordert ook de maatschappelijke acceptatie van landfarming.

Op de proeflocatie Kreekraksluizen zijn de vier baggerspecies (met verschillende eigenschappen) momenteel nog steeds aanwezig en gaat het afbraakproces verder. Door de langdurige monitoring gedurende vijf tot tien jaar kan de proeflocatie als uniek voor Nederland worden getypeerd. De opgebouwde datareeksen zijn zowel nationaal als internationaal zeer waardevol. De resultaten van de jarenlange monitoring heeft Rijkswaterstaat recent gebruikt ter onderbouwing van keuzes voor het beleid op het gebied van verwerking van verontreinigde baggerspecie. Het onderzoek op de proeflocatie is aanleiding geweest om baggerspecie van de sanering van de haven van Wemeldinge op praktijkschaal met landfarming te gaan reinigen.

---

Zowel nationaal als internationaal worden de resultaten van het onderzoek regelmatig gepresenteerd aan mensen die geïnteresseerd zijn in behandeling en risico's van verontreinigde baggerspecie en grond. Vanwege de aanwezigheid van zowel (inmiddels) licht als zwaar verontreinigde baggerspecie kan onderzoek op de proeflocatie Kreekraksluizen ook de komende jaren een belangrijke rol spelen bij beleidsvoorbereidingen -ontwikkeling, verwerking en het beheer op het gebied van verontreinigde baggerspecie en grond.

---

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Waarom dit rapport?

Gedurende tien jaar is op een proeflocatie in Zeeland onderzoek verricht naar biologische reiniging van baggerspecie door middel van de techniek landfarming. Speciaal hierbij is gekeken naar de afbraak van minerale olie en PAK.

Het onderzoek heeft veel informatie opgeleverd:

- Gebleken is dat de techniek landfarming voor sommige baggerspecies met succes ingezet kan worden en dat vooraf bepaald kan worden welke species dat zijn;
- Daarnaast is veel geleerd over de risico's voor het milieu (verspreiding van stoffen, ecotoxicologische effecten) die bij het op het land brengen van baggerspecie kunnen optreden;
- Inzicht is verkregen in de rijpsprocessen die gedurende het veranderingproces van baggerspecie naar bodem optreden.

Het onderzoek heeft vooral tot het besef geleid dat kennis over de bio-beschikbaarheid van verontreinigingen een essentiële rol speelt bij biologische reiniging. Recent ontwikkelde methoden zijn toegepast, waardoor beter inzicht verkregen is in de reinigbaarheid van verontreinigde baggerspecie met behulp van landfarming. Het begrip biobeschikbaarheid komt in dit rapport dan ook regelmatig aan de orde. Dit rapport pleit tevens voor het schenken van aandacht aan ecotoxicologische effecten bij het reinigen van en omgaan met verontreinigde baggerspecie.

De resultaten van het onderzoek zijn tot nog toe met name gepubliceerd in rapportages voor techniekontwikkelaars (rapportages van POSW en DLO-Staring Centrum/Alterra) en voor beleidsontwikkelaars op het gebied van verwerking (AKWA-rapport Verwerking van baggerspecie).

Het voorliggende, samenvattende rapport is samengesteld om de kennisoverdracht naar andere partijen te realiseren:

- praktische reinigingsmogelijkheden van landfarming:  
⇒ naar probleembezitters (waterschappen, regionale directies, adviesbureaus);
- bodemprocessen en risico's bij het omgaan met verontreinigd materiaal (baggerspecie, riviersediment):  
⇒ naar beleidsontwikkelaars en andere betrokkenen op dit terrein;
- hiaten in kennis en mogelijkheden van vervolgonderzoek:  
⇒ naar onderzoeksinstituten.

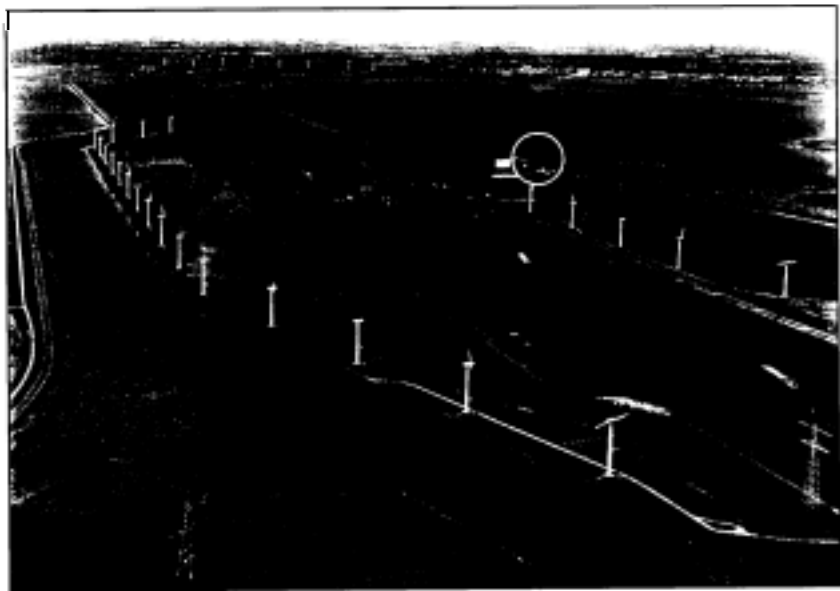
De uitvoeringsvormen van en de processen die optreden tijdens landfarming vertonen gelijkenis met andere manieren van omgaan met baggerspecie. Voorbeelden hiervan zijn het op de kant zetten van specie, het direct toepassen van specie of het gebruik van specie in natuurbouw. Voor deze vormen van omgaan met specie wordt momenteel gewerkt aan beleidsontwikkeling en aan ondersteuning bij de uitvoering. Dit rapport schenkt ook aandacht aan de resultaten van het landfarmonderzoek op Kreekraksluizen in relatie

## Proeflocatielandfarm Kreekraksluizen

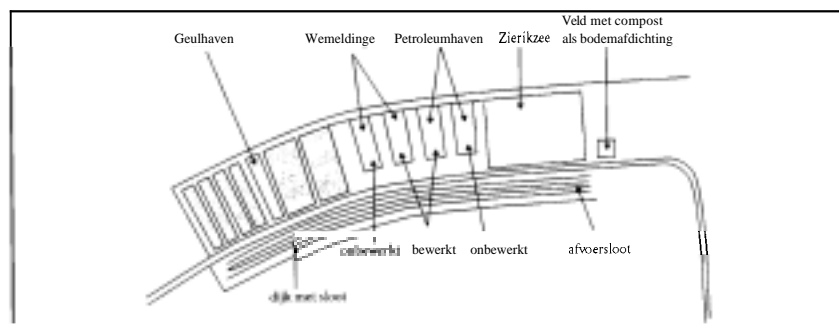
Ligging Kreekraksluizen-complex



Luchtopname Kreekraksluizen-complex met aanduiding van de landfarm-proeflocatie (foto: Rijkswaterstaat, Directie Zeeland)



Schematisch overzicht van de proeflocatie





---

tot andere activiteiten waarbij wordt omgegaan met verontreinigde baggerspecie.

## 1.2 Leeswijzer

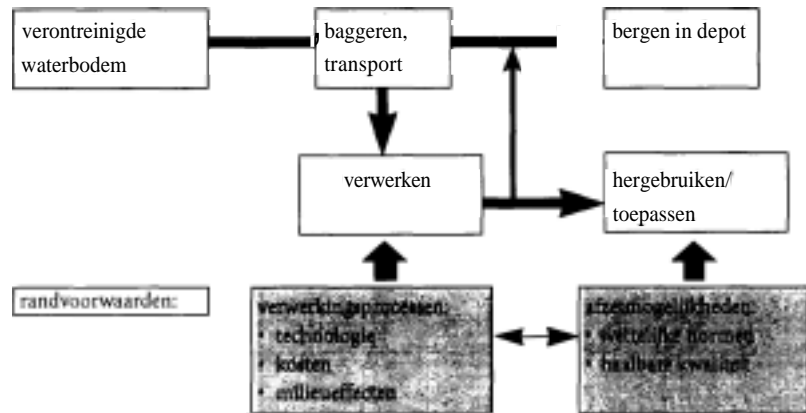
Dit rapport is opgedeeld in een hoofdtekst en delen met informatieve aanvullende tekst. De hoofdtekst staat op de rechterpagina's, terwijl de toelichtende tekstdelen telkens op de linkerpagina's staan.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de techniek landfarming. De werkwijze, randvoorwaarden en verschillende fasen worden beschreven evenals de afbraakresultaten op de lokatie Kreekraksluizen. Hoofdstuk 3 beschrijft de relatie tussen de biobeschikbaarheid en de afbraak respectievelijk de ecotoxicologische risico's. Tevens worden de consequenties van de biobeschikbaarheid voor het omgaan met verontreinigde baggerspecie in de praktijk beschreven. In hoofdstuk 4 wordt in de toekomst vooruitgeblikt voor wat betreft landfarming en andere activiteiten met verontreinigde specie, met daarbij een veranderend normeringsstelsel in het achterhoofd. Hoofdstuk 5 geeft aanbevelingen hoe verder te gaan met kennisontwikkeling ter verdere optimalisatie van landfarming.

## Problematieken oplossingsrichtingen verontreinigde waterbodems

Nederland heeft veel oppervlaktewater. Om de bevaarbaarheid op peil te houden en om de waterafvoer veilig te stellen, moet er regelmatig gebaggerd worden. De hierbij vrijkomende baggerspecie is vaak vervuild. Daarnaast moet ook regelmatig verontreinigde baggerspecie verwijderd worden vanuit milieuhygiënisch oogpunt. Naar verwachting komt er tot het jaar 2010 ongeveer 235 miljoen m<sup>3</sup> baggerspecie van klasse 3 of 4 vrij. Deze species moeten gereinigd of in een depot geborgen worden.

### Mogelijkheden voor baggerspecie



De rijksoverheid hecht een groot belang aan de verwerking van baggerspecie. Verwerking dringt het beroep op depots terug evenals het gebruik van primaire grondstoffen. Het beleid is gericht op het verwerken van 20% van de niet-verspreidbare baggerspecie, het liefst met eenvoudige technieken als zandscheiding, rijping en landfarming. Om de verwerking van verontreinigde baggerspecie een duidelijke impuls te geven, stelt de regering de komende jaren maximaal 160 miljoen gulden beschikbaar voor een stimuleringsregeling voor baggerspecieverwerking en voor het uitvoeren van een proefproject voor verwerking in de provincie Zeeland.

## 2 Landfarming: achtergrond en onderzoek

---

### 2.1 Biologische reiniging door middel van landfarming

Dit deel van dit rapport gaat in op de achtergrond van landfarming. Aan de orde komen de randvoorwaarden voor biologische reiniging, de fasen in het reinigingsproces en verschillende methoden van landfarming.

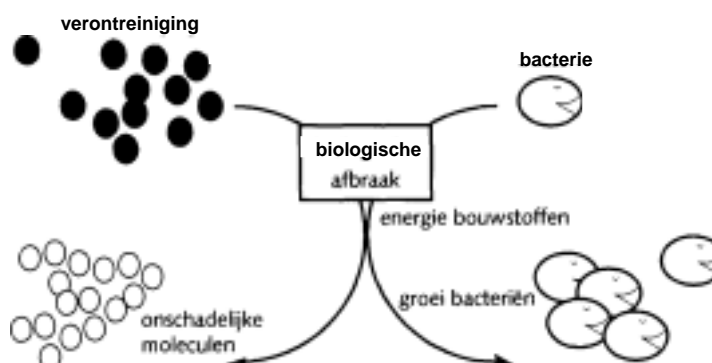
#### 2.1.1 Randvoorwaarden voor biologische reiniging

Landfarming is een biologische reinigingstechniek. Bij biologische reiniging worden organische verontreinigingen afgebroken door bacteriën. Om van dit natuurlijke proces gebruik te kunnen maken, moet aan een aantal eisen worden voldaan.

- 1) de verontreinigingen moeten in principe biologisch afbreekbaar zijn;
- 2) de juiste bacteriën moeten aanwezig zijn;
- 3) de juiste procescondities moeten gewaarborgd zijn, waarbij lucht, temperatuur, voedingsstoffen de belangrijkste zijn.

Om de biologische activiteit op gang te brengen, is een goed leefmilieu voor de bacteriën nodig. Hierbij spelen de zuurgraad (pH) en de temperatuur een belangrijke rol. De meest bepalende factor voor de afbraak van PAK en minerale olie, is de aanwezigheid van lucht.

Figuur 1  
Principe van biologische afbraak.



De micro-organismen kunnen de organische verontreinigende stoffen omzetten tot (nagenoeg) onschadelijke stoffen. Dit gebeurt vaak in meerdere stappen, waarbij intermediairen kunnen ontstaan. Bij volledige omzetting tot koolzuur en water en andere anorganische verbindingen, wordt gesproken van 'mineralisatie'.

Niet alle stoffen kunnen door bacteriën worden afgebroken. Zware metalen bijvoorbeeld zijn niet afbreekbaar. Minerale olie, PAK, PCB's en chloorbenzenen zijn wel biologisch afbreekbaar. Meestal zijn de juiste bacteriën van nature in de specie aanwezig, zij het in inactieve vorm en in kleine getale. Door het aanbrengen van de juiste procescondities worden zij geactiveerd, start de afbraak en nemen ze in aantal toe. Hiermee wordt de afbraak weer extra gestimuleerd.

## Onderzoek naar verwerking van verontreinigde baggerspecie

Om gericht onderzoek te doen naar de verwerkingsmogelijkheden van verontreinigde baggerspecie heeft het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in 1989 het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW) in het leven geroepen. Dit programma is in 1996 afgerond. Het was bedoeld om praktisch toepasbare verwerkingsmethoden in handen te krijgen die tegen aanvaardbare kosten kunnen worden uitgevoerd en geen of slechts geringe negatieve milieueffecten hebben. Aandacht is besteed aan het localiseren van verontreinigde specie, milieuvriendelijk baggeren, scheiden in deelstromen, thermische en chemische reiniging, biologische reiniging, vastleggen in producten, beoordeling van milieueffectenscenario's en aan omgevingsfactoren voor grootschalige verwerking.

Onderdeel van POSW was dus het onderzoek naar biologische reinigingsmethoden van verontreinigde baggerspecie. Het onderzoek dat in dit rapport beschreven wordt, heeft plaatsgevonden op een proeflocatie bij de Kreekraksluizen in Zeeland. Het aanvankelijk vanuit POSW opgezette onderzoek is in de jaren erna overgenomen door AKWA/RIZA.

In de periode 1989-1993 is de uitvoering van het onderzoek aan twee species uitbesteed aan het Amersfoortse ingenieursbureau DHV. Vanaf 1993 is het onderzoek uitbesteed aan het Staring Centrum (SC-DLO) in Wageningen (recent opgegaan in Alterra, onderdeel van Wageningen-UR). Toen zijn tevens een tweetal nieuwe species toegevoegd aan het onderzoek.

## Accentverschuiving in onderzoeksperiode

In de loop van de onderzoeksperiode is het accent van het onderzoek verschoven. Dit was niet alleen het gevolg van voortschrijdend inzicht, maar ook van ontwikkelingen in het rijksbeleid.

Begin jaren negentig was het onderzoek gericht op het optimaliseren van landfarming als techniek en op het vergaand reinigen van de biologisch moeilijk beschikbare fractie. De reinigingstechniek moest ook snel resultaat boeken. Deze onderzoeksopdracht hield verband met het rijksbeleid volgens welke gereinigde grond of baggerspecie alleen mocht worden hergebruikt als de grond voldeed aan de eisen van multifunctionaliteit. Lange landfarmingperiodes om multifunctionaliteit te bereiken, werden als ongewenst beschouwd. In de loop van het onderzoek veranderden de eisen van de overheid omtrent de snelheid waarmee multifunctionaliteit bereikt moest worden. Daartoe werden lange periodes steeds meer aanvaardbaar geacht.

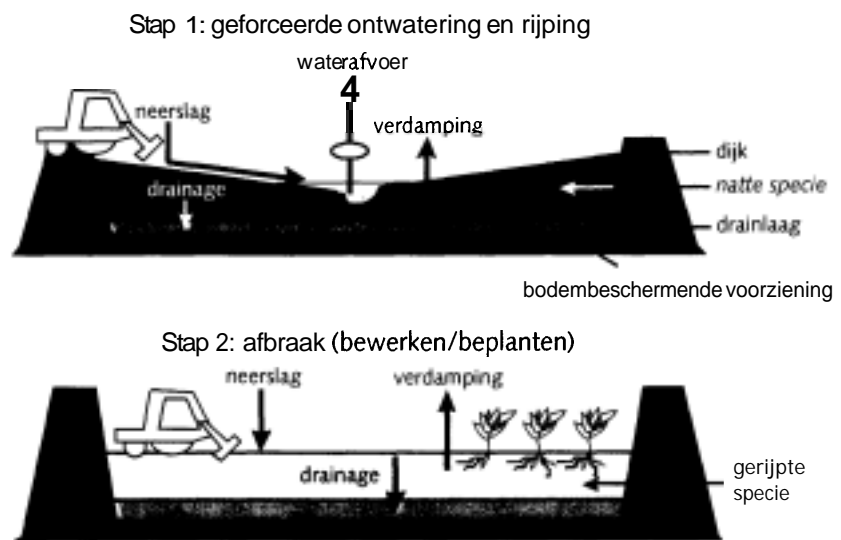
Sinds 1997 werden de toepassingscriteria van het Bouwstoffenbesluit als uitgangspunt genomen bij hergebruik en is het behalen van de streefwaarde minder urgent. Het bereiken van de toepassingscriteria ging ook in het onderzoek een rol spelen. Daarnaast is in de loop van het onderzoek het accent verschoven van een technologische benadering naar een benadering die uitgaat van autonome reinigingsprocessen in de verontreinigde baggerspecie. Ook is het accent komen te liggen op een risicobenadering in plaats van **verontreinigingsgehalte** die regelgeving centraal stelt. De onderzoekers kwamen steeds meer tot het inzicht dat gemeten **verontreinigingsgehalten** onvoldoende zeggen over de werkelijke risico's. Als de verontreiniging niet beschikbaar is, is er geen of veelal beperkt sprake van risico.

## 2.1.2 Wat houdt landfarming in?

### Werkwijze

Landfarming is gericht op specie die verontreinigd is met PAK en minerale olie. Bij landfarming wordt baggerspecie in dunne lagen (tot 1 meter) op speciale terreinen aangebracht die zijn voorzien van een drainage-systeem. Hierdoor kan de specie ontwateren, kan er lucht in binnendringen en kunnen bacteriën de organische verontreinigingen afbreken. Door eventueel te bewerken tijdens en na de ontwatering kunnen zowel de ontwatering en de afbraak van de organische verontreinigingen worden gestimuleerd. Afhankelijk van de specie kan de reinigingsduur variëren van enkele jaren tot tientallen jaren. Gedurende de jaren verandert de specie geleidelijk in grond, waardoor de drainerende eigenschappen van het materiaal meestal sterk verbeteren. Om verspreiding van verontreinigingen vanuit een landfarm naar de omringende bodem te voorkomen, wordt gezorgd voor een bodembeschermende voorziening.

.....  
**Figuur 2**  
Reiniging in landfarms.



### Ontwatering

Voor een goede start van landfarming is ontwatering van de specie van groot belang. Ontwatering betekent dat het water uit de grondporiën verdwijnt en plaats maakt voor lucht. Hierdoor verandert de omgeving voor de micro-organismen van anaëroob naar aëroob. Voor een goede ontwatering moet eerst gezorgd worden voor de afvoer van het op de specie staand water, dat ontstaat door neerslag en uitzakking van de specie. Vervolgens kan het water uit de grondporiën verdwijnen. Ontwateren kan plaatsvinden via oppervlakte-afspoeling, drainage en verdamping. Water op de specie kan worden afgevoerd door de landfarm onder afschot aan te leggen met een centrale ontwateringssloot. Het leeg houden van deze sloot stimuleert de ontwatering. Het resterende water kan, mits de speciestructuur daartoe geschikt is, worden afgevoerd via een drainagesysteem. Tevens kan spontaan opgekomen of aangeplante vegetatie leiden tot opname en verdamping wat weer leidt tot verdere ontwatering van de specie. Ook het bewerken van de specie kan bijdragen aan een versnelde ontwatering.

### Fasen in biologische afbraak in relatie tot beschikbaarheid van verontreinigingen

Een aantal factoren bepaalt het onderscheid tussen de snelle en langzame fase van biologische afbraak. In de eerste fase vindt ontwatering van de specie plaats en wordt het makkelijk biobeschikbare deel van de verontreiniging afgebroken.

Bewerking van de specie tijdens landfarming is dan zinvol ter optimalisatie van de omstandigheden die de afbraak versnellen. In de tweede fase is de verontreiniging matig tot slecht beschikbaar en daardoor gaat de afbraak van het resterende deel van de verontreinigingen langzaam. In deze situatie is intensieve bewerking niet zinvol, aangezien de lagere beschikbaarheid in de tweede (langzame) fase de snelheid van het proces bepaalt.

Eerste snelle fase:

- bacterie eet beschikbaar deel verontreiniging op
- variaties in restgehalten en snelheid in snelle fase



bodem 1  
hoog restgehalte na snelle fase

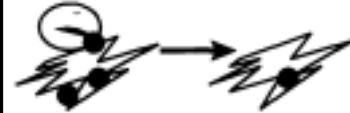
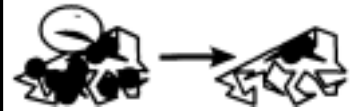


bodem 2

laag restgehalte na snelle fase

Tweede trage fase:

- bacterie wacht op vrijkomen verontreiniging
- variaties in snelheid in trage fase



*Illustratie van de snelle en langzame afbraakfase: bodem 1 bevat minder beschikbare verontreiniging dan bodem 2, zodat na de eerste, snelle fase in bodem 2 minder restverontreiniging achterblijft dan in bodem 1. Vervolgens worden de restgehalten tijdens de tweede, trage fase verder afgebroken, doordat het minder beschikbare deel van de verontreiniging ook vrijkomt. Ook hierbij kan weer sprake zijn van verschillen in snelheid tussen beide bodems.*

Ontwatering bevordert ook de structuurvorming van de specie (rijping). Met een goede ontwatering kan in één jaar een volledig aërobe structuur ontstaan. Door rijping, mede veroorzaakt door de oxidatie van de organische stof, ontstaan stabiele bodemaggregaten met voldoende stevigheid voor een structuur met grote en kleine poriën. Zuurstof kan via de poriestructuur diffunderen naar de plekken waar de afbraak moet plaatsvinden. Al tijdens de ontwatering start de afbraak van de verontreiniging.

### Bewerking en vegetatie

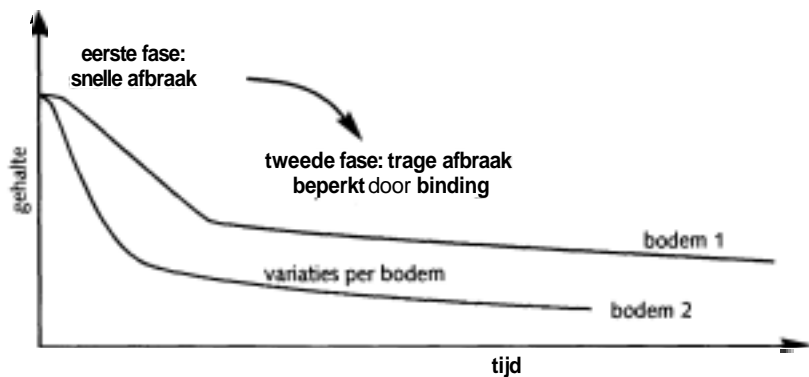
Tijdens of na de ontwatering kan bewerking van de specie plaatsvinden. Bewerking door middel van harken, frezen of ploegen kan, naast een verbeterde ontwatering, leiden tot een snellere afbraak van de verontreinigingen als gevolg van een betere aëratie. Het nut van de intensiteit van de bewerking wordt bepaald door specifieke eigenschappen van zowel de verontreiniging als van de specie.

Ook vegetatie kan middels haar beworteling bijdragen aan de aëratie van de bodem en daarmee een positieve invloed uitoefenen op het landfarmproces.

### 2.1.3. Biobeschikbaarheid de fasen in landfarming

Biologische reiniging (in landfarms of in bioreactoren) vertoont steeds een vergelijkbaar patroon (figuur 3; zie ook de linker pagina).

.....  
 Figuur 3  
 Een karakteristiek beeld van biologische  
 reiniging van bodems.



Uit de figuur blijkt dat:

- de afbraak voor alle species in twee fasen verloopt: een snelle fase, gevolgd door een trage fase;
- de snelheid en de duur van de twee fasen per specie kan variëren.

Sinds vele jaren bestaat de hypothese dat de aanvankelijk snelle afbraak gevolgd door langzame afbraak, veroorzaakt wordt door binding van de verontreinigingen aan de matrix van het sediment. Verontreinigingen zijn voor een deel gebonden aan de matrix en voor een deel in de waterfase aanwezig. Alleen het deel in de waterfase is voor de bacteriën beschikbaar en kan worden afgebroken. Dit geldt ook voor het deel geadsorbeerd aan het oppervlak van gronddeeltjes, wat snel kan oplossen of bereikbaar is voor 'grazende' micro-organismen. Afbraak van het beschikbare deel gebeurt in de eerste, snelle afbraakfase. Vervolgens kan het resterende deel (langzaam) uit de matrix desorberen en (langzaam) worden afgebroken.

Doordat de mate van binding wordt beïnvloed door zowel de eigenschappen van de specie als die van de verontreiniging, en **ook door** de tijdsduur van de verontreiniging van de specie, varieert het afbraakpatroon per specie. De fasen in de landfarming en het variërend afbraakpatroon per specie zijn van invloed op de landfarm.

### Waar is naar gekeken?

Op de proefvelden zijn de volgende parameters onderzocht sinds de start van de landfarm met de diverse species: dit was eind '89/begin '90 voor de species van Geulhaven en Zierikzee en medio '94 voor de species van Wemeldinge en Petroleumhaven.

	1990-1994	1994-1999
	.....	.,.....
Afbraak PAK	x	x
Afbraak olie	x	x
Metaalgehalte bodem	x	x
Beschikbaarheid PAK		x
Beschikbaarheid metalen / gehalte in poriewater		x
Korrelgrootteverdeling	x	x
Lutum	x	x
Organisch stofgehalte	x	x
Laagdikte anaëroob		x
Bedekkingsgraad vegetatie		x
Bewortelingsdiepte		x
Poriënverdeling		x
Rijpingsgraad		x
Chloridegehalte		x
Sulfaatgehalte		x
Gehalten in bodem-/drainwater		x
Waterbodembioassays - ecotoxiciteit		x
Bioassay aquatische wormen - bioaccumulatie PAK en metalen		x
Bodembioassays - ecotoxiciteit		x
Regenwormbioassay - bioaccumulatie PAK en metalen		x
Veldvegetatie - bioaccumulatie PAK en metalen		x



---

#### 2.1.4 Uitvoeringsvormen van landfarming

Op basis van het karakteristieke, sterk aan de biobeschikbaarheid gerelateerde afbraakpatroon, zijn meerdere uitvoeringsvormen van landfarming mogelijk. De biobeschikbaarheid (zie hoofdstuk 3) is in feite bepalend voor het management van de landfarm.

Landfarming kent hoofdzakelijk twee praktische uitvoeringsvormen: intensieve en extensieve landfarming. Het onderscheid wordt bepaald door de mate waarin bewerking van de specie zinvol is om de afbraak te versnellen. Die zinvolheid wordt **op** zijn beurt bepaald door de biobeschikbaarheid.

De twee genoemde uitvoeringsvormen kunnen op verschillende wijzen worden toegepast. Bij de start van de landfarming kan men kiezen uit intensieve landfarming of meteen extensieve landfarming toepassen. Intensieve landfarming is zinvol wanneer de biobeschikbaarheid hoog is en de wens bestaat om de afbraak te versnellen (bijvoorbeeld wegens tijd- en ruimedruk). Bij de start van de landfarm kan men ook meteen kiezen voor de extensieve vorm. Deze optie kan zinvol zijn wanneer de biobeschikbaarheid laag is of wanneer tijd geen kritieke factor vormt.

Intensieve landfarming betekent bewerking van de verontreinigde baggerspecie. Bewerking bevordert in de eerste fase de afbraak van de verontreiniging onder voorwaarde dat de beschikbaarheid hoog genoeg is en bacteriën en lucht aanwezig zijn. Bewerking komt **hoofdzakelijk** neer op ploegen en frezen en kan plaatsvinden zodra de specie beloopbaar is. Daarvoor is doorgaans een korte droge zomerse periode noodzakelijk. Intensieve landfarming duurt ongeveer twee jaar. Dan blijft er een restconcentratie over waarbij bewerking niet meer zinvol is, omdat het de afbraak van de dan nog aanwezige verontreiniging niet versnelt.

Bij extensieve landfarming vindt er geen of minimale bewerking plaats. Als er bewerking plaatsvindt, is dat gericht op optimalisering van de randvoorwaarden, zodat de afbraak doorgaat op een zo hoog mogelijk, doch verhoudingsgewijs lager niveau dan in de snelle afbraakfase. Extensieve landfarming is geschikt om de resterende concentratie af te breken. Hiervoor is wel minimaal drie jaar vereist, doch voor sommige species een veelvoud daarvan. Ook moeten de aërobe omstandigheden gehandhaafd blijven. Extensieve landfarming doet over een lange termijn een groot beroep op ruimte. De factor tijd is bepalend voor de afbraak en het bereiken van de gewenste productkwaliteit. **Als** er voldoende tijd beschikbaar is, kan zelfs de streefwaarde bereikt worden. Extensieve landfarming kan ook een zinvolle optie zijn als de landfarm gecombineerd kan worden met andere functies (energieteelt, natuurontwikkeling).

## 2.2 Het landfarmingonderzoek op de proeflocatie Kreekraksluizen

### 2.2.1 Beschrijving van het onderzoek

De ontwikkeling van de techniek landfarming vond onder meer plaats in het kader van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Daarna is het onderzoek voortgezet middels aanvullende opdrachten van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA).

In 1989 is begonnen met de aanleg van de proeflocatie bij de Kreekraksluizen in Zeeland. **Als** onderafdichting werd een HDPE-folie gebruikt, waarop een drainagesysteem was aangebracht.

### **Een droge zomer is niet genoeg**

In het eerste jaar van het onderzoek aan de species van Wemeldinge en Petroleumhaven zou ontwatering via drainage en verdamping geschieden. Door vergunningsmoeilijkheden was bewerking het eerste jaar niet mogelijk, waardoor de verdamping aanzienlijk werd vertraagd. Dit heeft wel tot het besef geleid dat alleen een droge zomer onvoldoende is om specie te ontwateren. De natte herfst van 1994 heeft geleid tot een specie die volledig verzadigd was met water. Voor ontwatering waren er aanvullende maatregelen nodig, zoals de voorgenomen bewerking en afvoer van regenwater via begreppeling.

### **Pas op voor konijnen**

Als beplanting verdamping moet bevorderen, wordt dit pas effectief na één jaar. Dan pas is het veld volledig bedekt. Dit is een extensievere wijze van ontwatering, maar leidt met een vertraging van één jaar tot vrijwel hetzelfde resultaat. Zorgen voor een vegetatie die de landfarm volledig bedekt en diep wortelt, geeft dezelfde mate van rijping en reinigingsgraad als bewerking. Sturing van de gewasgroei is niet altijd eenvoudig. In het onderzoek was uitgegaan van riet uit een brak gebied. Baggerspecie uit de haven van Wemeldinge was zeer zout (zee) en die uit de Petroleumhaven brak. Door de hete zomer van 1994 kwam er naar verhouding meer zout in de bovengrond. Voor een goede gewasgroei moet dit eerst worden afgevoerd.

Inzaaien met landbouwgewassen was op Kreekraksluizen niet effectief gezien het grote aantal konijnen en het weinig concurrerende voedselaanbod voor deze dieren. De spontaan opgekomen vegetatie bleek effectief te zijn, groeide goed en zorgde voor ontwatering van de gehele laag baggerspecie. Uit modelmatige berekeningen blijkt dat het bij voldoende beworteling in principe mogelijk moet zijn een laag natte baggerspecie tot 1,8 meter dikte via beplanting te ontwateren.

Eind 1989 en begin 1990 zijn de eerste twee species aangebracht. Ze waren afkomstig uit de Geulhaven in Rotterdam en uit de Oude Haven 't Sas van Zierikzee. In 1994 kwamen er twee andere bij uit de haven van Wemeldinge en uit de Petroleumhaven in Amsterdam. Alle species waren verontreinigd met PAK en minerale olie en vielen in klasse 4. Specie uit de Petroleumhaven werd zelfs beschouwd als chemisch afval<sup>1</sup>.

Conform de Wvo-vergunning werd drainage- en regenwater opgevangen in een verzamelsloot en bemonsterd, alvorens tot lozing op het oppervlaktewater mocht worden overgegaan.

De species uit de Geulhaven en uit Zierikzee zijn vanaf 1990 drie jaar met intensieve landfarming behandeld en daarna zeven jaar met extensieve landfarming. De species van Wemeldinge en de Petroleumhaven zijn eveneens drie jaar met intensieve landfarming behandeld, doch in een latere periode (vanaf 1994).

Van de species van Wemeldinge en van Petroleumhaven is een veld wél bewerkt en een veld niet bewerkt om het effect van bewerking op de ontwatering en de afbraak waar te kunnen nemen. Na drie jaar werd niet meer geploegd en raakten alle velden begroeid, onder andere met grassen, kamille en zuring. Nadat 's winters de begroeiing deels was afgestorven, kwam deze in het voorjaar weer op.

Vanaf het najaar van 1994, toen de species van Geulhaven en Zierikzee al bijna vijf jaar en de beide andere species enige maanden in behandeling waren, zijn alle species op eenzelfde wijze gemonitord. Er werd een uitgebreid monitoringspakket toegepast, gericht op het volgen van ontwatering en rijping van de species, de afbraak van PAK en minerale olie en het volgen van ecotoxicologische effecten in bioassays.

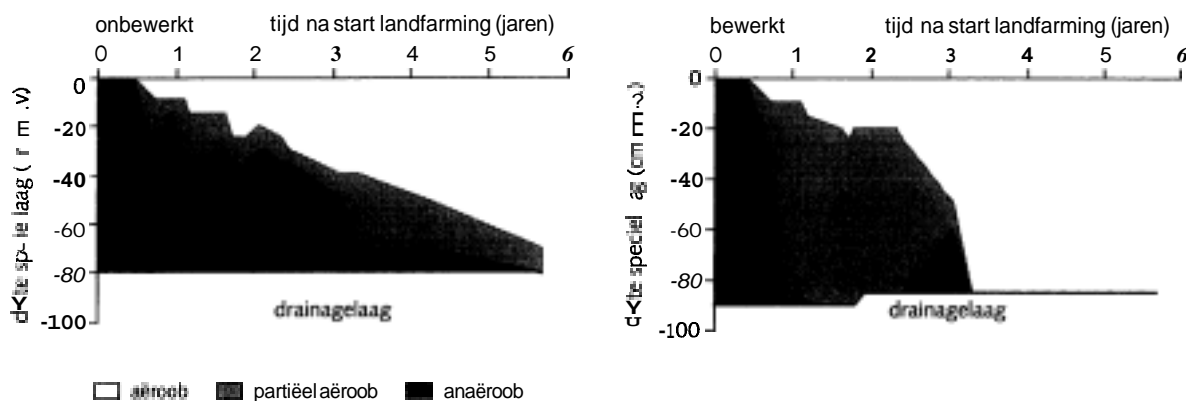
## 2.2.2 Resultaten

### Ontwatering

De ontwatering is voor species van Wemeldinge en Petroleumhaven, voor zowel de bewerkte als de onbewerkte velden, intensief gevolgd. Figuur 4 toont de resultaten van de mate van luchtdoordringing in de bodem voor de specie van Wemeldinge als gevolg van de ontwatering.

.....  
**Figuur 4**

Mate van zuurstofdoordringing in de onbewerkte en bewerkte specie van Wemeldinge.



.....  
<sup>1</sup> Het extreem hoge oliegehalte in de Petroleumhavenspecies is ontstaan doordat in mei 1940 veel olie de haven is ingestroomd als gevolg van oorlogsschade.

### Ontwatering van de landfarm: praktijkervaringen

Ondanks het drainagesysteem onder de specielaag leidde hevige neerslag in het najaar van 1994, in combinatie met de slechte doorlatendheid van de species, tot wateroverlast op de specievelden.



*Onvoldoende mogelijkheden voor afvoer van neerslag als gevolg van een specifieke speciestructuur zorgt voor een natte landfarm in de winter.*



*Versnelde afvoer van neerslag door aanleg van een sloot en wegpompen van overtollig water leidt tot een betere specie-ontwatering.*

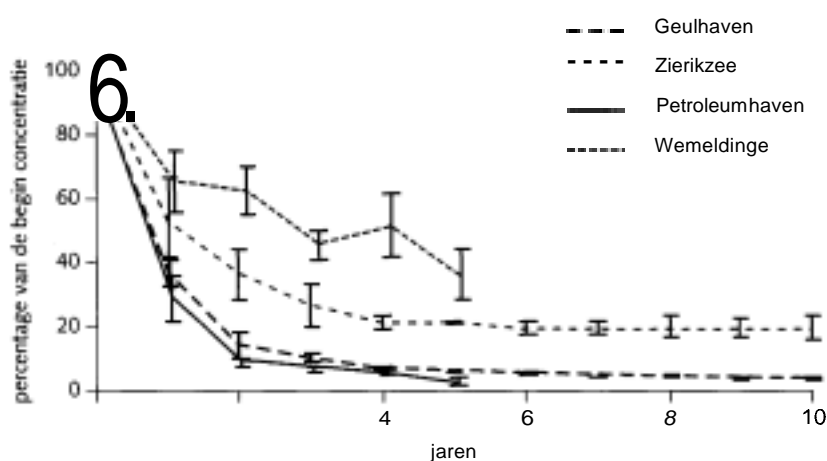
De ontwatering verliep in alle onbewerkte velden trager dan in de bewerkte velden. Het verschil in tijd tot het bereiken van een geheel zuurstofrijke specielaag (van circa 1 meter) bedroeg ongeveer één jaar voor de specie van Petroleumhaven en ongeveer twee jaar voor de specie van Wemeldinge. Dit laatste was waarschijnlijk te wijten aan de bijzondere korrelvorm van die specie<sup>2</sup>.

#### Afbraakverloop

Afbraak van PAK

Figuur 5 laat de afbraakresultaten van PAK zien voor de vier species. De species van Geulhaven en Petroleumhaven laten een vergelijkbare, snellere afbraak zien in de eerste jaren in vergelijking met de beide andere species. Bij de species van Zierikzee en Wemeldinge is de afbraak aanzienlijk minder, waardoor de aanvankelijk zeer sterk verontreinigde specie van Petroleumhaven na circa vijf jaar een vergelijkbaar PAK-gehalte heeft met de bij aanvang veel minder sterk verontreinigde species.

**Figuur 5**  
Afbraakpatroon van PAK in de vier behandelde species (PAK-gehalten procentueel t.o.v. gehalten bij start van de landfarm). In de tabel zijn de gesommeerde PAK-gehalten weergegeven (mg/kg d.s.) Betreft data voor som van 10 VROM-PAK (doch zonder naftaleen); echter voor Petroleumhavensom van 9 van Staring (omvat 10 VROM-PAK met fluoreen en benzo[b]fluoranteen eraan toegevoegd, doch zonder naftaleen, benzo[ghi]peryleen en indeno[1,2,3-cd]pyreen).



PAK-gehalten <sup>a</sup>	begin	na 1 jaar	na 5 jaar	na 10 jaar
Geulhaven	52	7,7	2,9	2,0
Zierikzee	65	31	16	16
Petroleumhaven <sup>b</sup>	527	152	16	16
Wemeldinge <sup>b</sup>	53	35	19	19

<sup>a</sup> Betreft de gemeten gehalten; de naar standaardwaterbodemp gecorrigeerde gehalten zijn identiek, aangezien het organische stofgehalte minder dan 10% bedraagt.

<sup>b</sup> Voor Petroleumhaven en Wemeldinge zijn de gehalten alleen voor de bewerkte velden weergegeven.

De species van Geulhaven en Zierikzee vertonen na vijf jaar landfarmen een sterk afgevlakt afbraakpatroon bij respectievelijk circa 2,5 en 16 mg PAK/kg d.s. met een geringe, doch voortschrijdende afname van de PAK-gehalten. De species van Petroleumhaven en Wemeldinge lijken na vijf jaar landfarming nog meer in beweging te zijn qua afname van PAK dan de beide andere species. Na vijf jaar liggen de gehalten tussen 15 en 20 mg/kg d.s. De eerstvolgende monitoring, die op zijn vroegst in 2001 (twee jaar na de laatst uitgevoerde metingen) realiseerbaar is, zal moeten uitwijzen in hoeverre de gehalten nog steeds afnemen.

<sup>2</sup> De specie had sterk afgeronde korrels wat vermoedelijk het gevolg is van de invloed van de getijdewerking op dit mariene sediment. Hierdoor sloeg deze specie na sterke neerslag steeds opnieuw dicht met een zuurstofloze onderlaag als gevolg.

### **Wat is nog meer mogelijk?**

In aanvulling op het landfarmingonderzoek is gekeken naar andere mogelijkheden om afbraak van PAK en minerale olie te bereiken dan wel te versnellen. Gebleken is dat daartoe weinig praktische mogelijkheden zijn buiten landfarming. Wel kan door middel van intensivering van de bewerking van landfarmvelden enige tijd-winst geboekt worden. De winst van de extra inspanning was op Kreekraksluizen qua afbraakresultaat ongeveer een jaar op een mogelijke behandelingsstermijn van tien jaar. Met andere woorden: als je niets doet, bereik je hetzelfde resultaat, alleen duurt het dan tien jaar in plaats van negen jaar. Dit komt door de (beperkte) beschikbaarheid van de organische verontreiniging. Als de verontreiniging niet beschikbaar is, heeft het geen zin om het landfarmingproces te optimaliseren.

### *Schimmels redden het niet*

Uit aanvullend onderzoek met schimmels (de normale champignon *Agaricus bisporus* en de oesterzwam *Pleurotus spp.*) bleek dat deze schimmels de afbraak van moeilijk biologisch beschikbare PAK niet versnellen **op** een landfarm. De schimmels waren toegevoegd middels champost, een restproduct uit de champignon-teelt. Ook voor schimmels **is** de biobeschikbaarheid de beperkende factor. Bovendien is de concurrentie van andere organismen in een landfarm groot waardoor de overlevingskans van grote hoeveelheden schimmels klein is. Dit in tegenstelling tot een gesloten hal waarin de omstandigheden (vocht, temperatuur) volledig onder controle zijn. Hier overleven de schimmels wel beter, maar zorgen toch niet voor een versnelde afbraak.

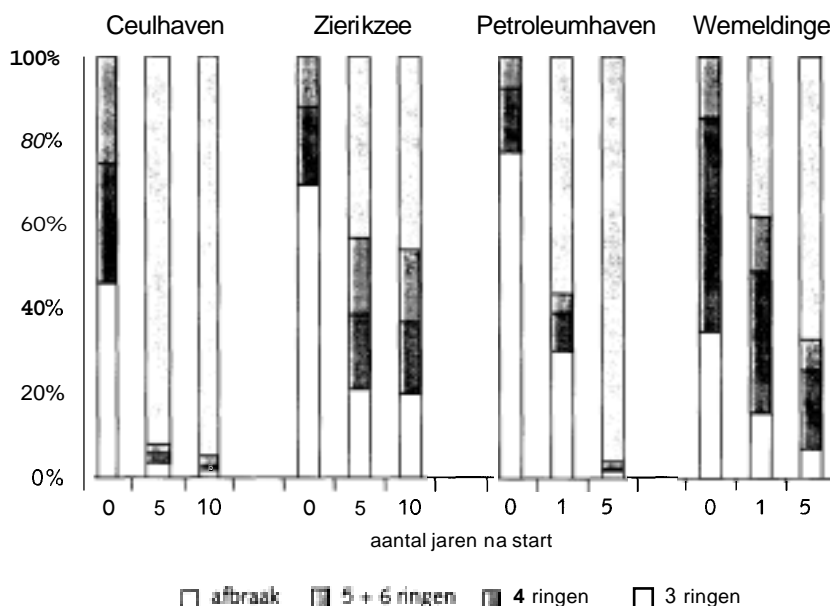
### *De inzet van planten: het helpt wel, maar breekt niet extra af*

De inzet van planten bij het reinigen van vervuilde bodems (fytoremediatie) staat steeds meer in de belangstelling. Gebleken is dat gewassen zorgen voor een goede bodemstructuur, de noodzakelijke aërobe omstandigheden creëren en verdamping bevorderen. Planten stimuleren de microbiële activiteit in de bodem waardoor de afbraak van PAK en minerale olie kan versnellen (biodegradatie). Uit aanvullende experimenten met specie uit de Petroleumhaven en uit de haven van Wemeldinge is niet gebleken dat op de specie aangebrachte begroeiing (lucerne, gras) leidt tot een lagere restconcentratie. Dit in vergelijking met een niet begroeide, maar wel aërobe specie. Wel lijkt het er op dat de biologisch beschikbare fractie sneller **verdwijnt**. Planten hebben, zoals vermeld, wel een indirect effect op de afbraak doordat ze een positief effect hebben op de ontwatering en handhaving van aërobe **omgeving**.

## PAK-patronen

Figuur 6 toont het aandeel PAK met een verschillend aantal ringen in de loop van de tijd. Hieruit blijkt dat de volgens de verwachting best afbreekbare PAK (de lichtere PAK, die uit 3 ringen bestaan) ook relatief het sterkst afnemen in de tijd. De zwaardere PAK (4, 5 en 6 ringen) nemen over het algemeen minder sterk af in alle species. Door landfarming kan het relatieve aandeel van de hogere PAK in de loop van de behandeling dus toenemen, waardoor een minder snel afbreekbare concentratie van PAK resteert. Uit figuur 6 kan mogelijk het overeenkomstige PAK-afbraakpatroon voor de species van Ceulhaven en Petroleumhaven verklaard worden. Doordat in deze species naast de 3-rings-PAK ook de 4-, 5- en 6-rings-PAK in aandeel afnamen in de tijd door afbraak, bleef er een lagere restconcentratie aan minder goed afbreekbare PAK achter in vergelijking met de species van Wemeldinge en Zierikzee. Bij de laatstgenoemde twee species blijkt er namelijk in veel mindere mate sprake te zijn geweest van afbraak van hogere PAK. Nu resteert echter nog de vraag waarom de zwaardere PAK's soms wel en soms niet afbreken.

**Figuur 6**  
Afbraak- en samenstellingspercentage van PAK gedurende landfarming.



## Afbraak van minerale olie

Ondanks de veel hogere beginconcentratie van minerale olie in de specie van Ceulhaven in vergelijking met de specie van Zierikzee werden na vijf en tien jaar landfarming qua ordegrrootte overeenkomstige gehalten gevonden (tabel 1). In de specie van Ceulhaven was het gehalte na tien jaar afgenomen tot circa 2%, terwijl dit voor de specie van Zierikzee 14% was.

**Tabel 1**  
Verloop van de minerale olieconcentraties (mg/kg ds) in de verschillende species.

	bij aanvang	na 1 jaar	na 5 jaar	na 10 jaar
Geulhaven	8100	n.b.	ca. 300	180 <sup>a</sup>
Zierikzee	700	n.b.	ca. 300	ca. 100 <sup>a</sup>
Petroleumhaven <sup>b</sup>	13400	6420	3440 <sup>a</sup>	n.b.
Wemeldinge <sup>b</sup>	2020	830	245 <sup>a</sup>	n.b.

<sup>a</sup> Organische stofgehalte (%): Ceulhaven 4,3; Zierikzee 6,0; Petroleumhaven 7,4; Wemeldinge 6,0.

<sup>b</sup> Voor Petroleumhaven en Wemeldinge zijn de gehalten alleen voor de *bewerkte* velden weergegeven.

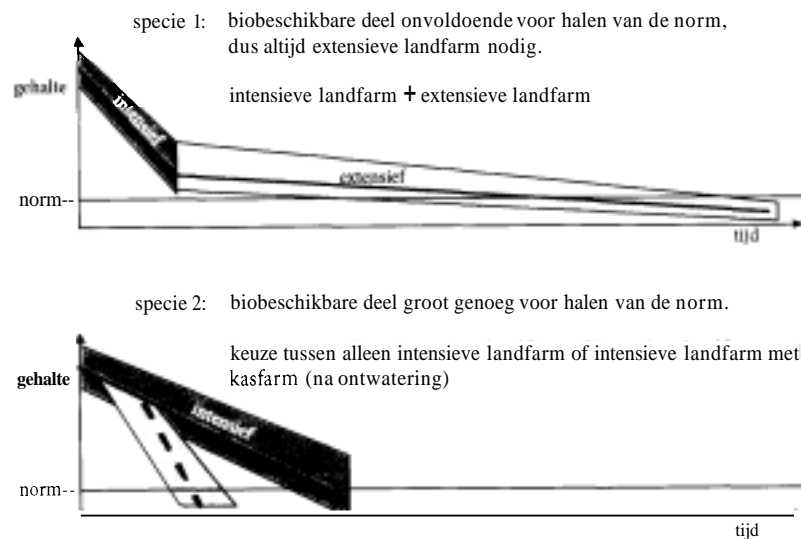
## Kasfarming

In het kader van POSW is ook onderzoek gedaan naar kasfarming. Daarbij is specie gebruikt uit de Petroleumhaven en uit de haven van Wemeldinge. Bij kasfarming wordt specie in kassen of loodsen ondergebracht en de afbraak versneld via verwarming en beluchting. Er zijn twee vormen van kasfarming: directe en indirecte kasfarming. Bij directe kasfarming gaat de specie direct zonder ontwatering de kas in. Bij indirecte kasfarming gebeurt dat na ontwatering.

Gebleken is dat directe kasfarming niet zinvol is. Dit komt omdat er nauwelijks afbraak plaatsvindt in de niet-ontwaterde specie en er veel tijd en geld gemoeid is om via geforceerde verwarming en beluchting de afbraak op gang te helpen. Directe kasfarming kost veel geld en inspanning en levert heel weinig op.

Indirecte kasfarming kan de afbraak aanzienlijk versnellen. Het kan een methode zijn om na intensieve landfarming de gewenste productkwaliteit sneller te bereiken. Door het te koppelen aan een intensieve landfarm, kan het terrein van die farm weer worden benut zodra de specie in kassen is ondergebracht. Conclusie van indirecte kasfarming is dat het op korte termijn wel tijdwinst oplevert wegens snellere reiniging.

Op de proeflocatie Kreekraksluizen werd zonder toepassing van kasfarming binnen hetzelfde jaar eenzelfde reinigingsresultaat bereikt als met indirecte kasfarming. Als tijd en ruimte geen beperkende factoren vormen, levert indirecte kasfarming dus soms slechts een beperkt voordeel op.



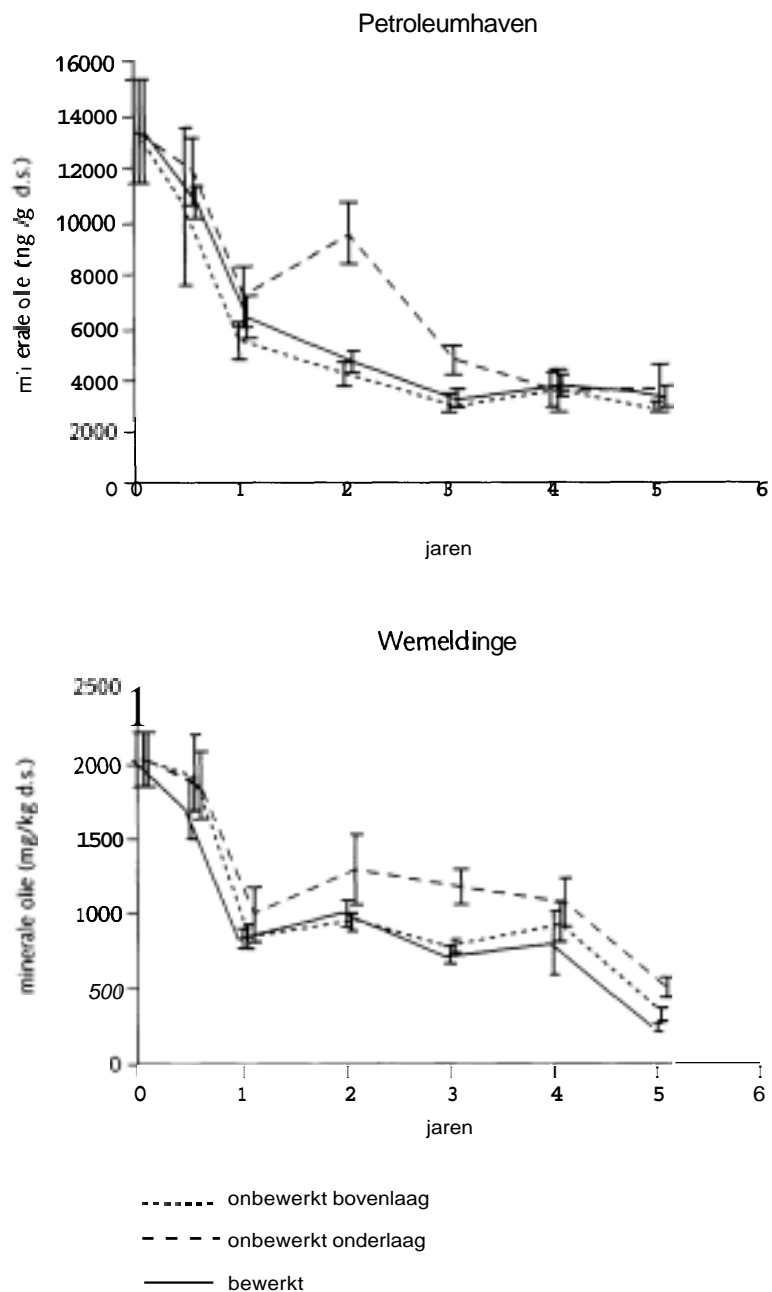
*Invloed van biobeschikbaarheid op in te zetten opeenvolgende reinigingstechnieken*



De afbraak van minerale olie in de specie van Petroleumhaven verliep trager dan de afname van PAK. De volgende data zijn gebaseerd op de resultaten van de bewerkte velden (figuur 7). Daar waar het PAK-gehalte na vijf jaar gereduceerd was tot circa 3%, resteerde nog circa 25% van het aanvankelijke oliegehalte. Voor de specie van de haven van Wemeldinge was sprake van het omgekeerde patroon: na vijf jaar resteerde 12% van het oliegehalte en 36% van het PAK-gehalte.

In figuur 7 valt op dat in de onderlaag van de onbewerkte velden, waar de luchtdoordringing pas na een aantal jaren plaatsvindt, de oliegehalten duidelijk trager afnemen. Na vijf jaar is bij de Petroleumhavenspecietussen de velden en de lagen slechts een beperkt verschil in oliegehalte zichtbaar.

.....  
**Figuur 7**  
 Afbraak van minerale olie in het onbewerkte en het bewerkte veld voor twee species.



## Het Bouwstoffenbesluit

Baggerspecie krijgt door ontwatering een vaste structuur en wordt daarom binnen het Bouwstoffenbesluit beschouwd als grond. Bij toepassing van de baggerspecie in een werk moet dan ook worden voldaan aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit. Dit houdt in dat voor toepassing van baggerspecie de erin aanwezige stoffen de samenstellings- en immisiewaarden van het besluit niet mogen overschrijden. De eisen van het Bouwstoffenbesluit voor niet-schone grond voor PAK en minerale olie staan in onderstaande tabel.

*Samenstellingswaarden (mg/kg droge stof) voor niet-schone grond voor PAK en minerale olie voor standaardbodem (25% lutum en 10% organische stof) volgens het Bouwstoffenbesluit.*

naftaleen	5
fenantreen	20
antraceen	10
fluoranteen	35
chryseen	10
benzo(a)antraceen	40
benzo(a)pyreen	10
benzo(k)fluoranteen	40
indeno(1,2,3-cd)pyreen	40
benzo(ghi)peryleen	40
<b>PAK</b> totaal (som 10VROM)	<b>40</b>
minerale olie	500

Bij de huidige vorm van landfarming worden geen zware metalen verwijderd, dus is landfarming momenteel alleen mogelijk wanneer de verkregen grond voldoet aan de eisen die het Bouwstoffenbesluit stelt aan grond van categorie 1 dan wel categorie 2. Kritische parameters voor baggerspecie zijn onder andere sulfaat, chloride en fluoride. Bij baggerspecie blijkt dat op basis van sulfaatuitlogingde baggerspecie vaak slechts voldoet aan categorie 2 materiaal of zelfs niet toepasbaar is. De aanwezige sulfaten ontstaan met name als gevolg van oxidatie van sulfiden. In de meeste species is van nature al veel sulfide aanwezig.

Momenteel is er grote politieke druk om het storten van baggerspecie te beperken en juist in te zetten op vooral eenvoudige verwerkingstechnieken. Toepassing van deze verwerkingstechnieken lijkt veel perspectief te bieden, waarbij echter het Bouwstoffenbesluit beperkingen oplegt. Daarom zijn de ministeries van VROM en van Verkeer en Waterstaat een project gestart dat is gericht op het onderzoeken van de mogelijkheden om deze problematiek op te lossen.

Voor toepassing van gereinigde baggerspecie mag volgens het Bouwstoffenbesluit het gehalte aan minerale olie niet hoger zijn dan 500 mg/kg. Minerale olie in baggerspecie bevat veel zware oliecomponenten met vertakte ketens, die moeilijker afbreekbaar zijn dan PAK. Momenteel voert het RIVM een studie uit naar de normering voor minerale olie in sediment, omdat het huidige Maximaal Toelaatbare Risiconiveau (MTR) niet op ecotoxicologische effectgegevens is gebaseerd. Inmiddels zijn er nieuwe experimentele effectgegevens over olie beschikbaar die een ecotoxicologisch onderbouwde normering wellicht wel mogelijk maken. In hoeverre dit consequenties heeft voor de huidige samenstellingswaarde voor minerale olie in grond volgens het Bouwstoffenbesluit zal in de toekomst moeten blijken. Verder geldt dat de aanwezigheid van organische stof het meten van het daadwerkelijke oliegehalte in de grond bemoeilijkt. Organische stof wordt bij de bepaling van het minerale oliegehalte gedeeltelijk meegeëxtraheerd, waardoor soms een vermeend hoger oliegehalte wordt vastgesteld.

---

### **Speciekwaliteit en Bouwstoffenbesluit**

#### *Geulhaven en Zierikzee*

Na drie jaar intensief landfarmen van de Geulhaven- en Zierikzeespecies voldeden deze voor PAK nog niet aan het destijds gewenste eindresultaat van de reiniging, namelijk de streefwaardekwaliteit (multifunctionaliteit). Deze species voldeden binnen één respectievelijk drie jaar na aanvang van de reiniging voor PAK reeds, doch niet voor minerale olie, aan de samenstellingswaarde van het Bouwstoffenbesluit (zie tabel op linker pagina). Dit besluit was toen echter nog niet van kracht. Na tien jaar landfarming voldoet de behandelde Geulhavenspecie (2 mg/kg d.s.) voor som-PAK (multifunctionaliteit) bijna aan de streefwaarde (1 mg/kg d.s.). Voor minerale olie wordt na tien jaar voor beide species voldaan aan het Bouwstoffenbesluit, wat na acht jaar nog niet het geval was.

In 1999 is oriënterend onderzoek gedaan naar sulfaat in de species van Geulhaven en Zierikzee. Het sulfaat is inmiddels grotendeels uitgespoeld. Er bevindt zich na tien jaar landfarming tussen de 100 en 500 mg water-extraheerbaar sulfaat/kg d.s. in de specie. Nog beoordeeld moet worden of de species qua sulfaat aan het Bouwstoffenbesluitvoldoen.

#### *Wemeldinge en Petroleumhaven*

De species uit Wemeldinge en uit de Petroleumhaven voldeden beide na respectievelijk één en drie jaar intensieve landfarming voor wat betreft het PAK-gehalte aan de samenstellingswaarde van het Bouwstoffenbesluit (40 mg/kg d.s.). Voor het oliegehalte daarentegen werd voor de Wemeldingenspecie pas na vier jaar hieraan voldaan. Voor de sterk met olie verontreinigde Petroleumhavenspecie ligt het oliegehalte na vijf jaar nog ver boven de samenstellingswaarde van het Bouwstoffenbesluit.

Het sulfaat in de species van Wemeldinge en Petroleumhaven is na vijf jaar bovenin de onbewerkte specie nog duidelijk aanwezig. Het water-extraheerbaar sulfaatgehalte loopt van 3000-5000 bovenin naar minder dan 1000 mg/kg d.s. onderin de specie. Sulfaat wordt gevormd door oxidatie van in de baggerspecie aanwezige sulfiden. Door verdamping, veroorzaakt door het gewas, kan het sulfaatgehalte bovenin de specie nog verder toenemen doordat aanvoer plaatsvindt vanuit de diepere specielaag als gevolg van opwaarts watertransport. Onderin kan bij anaërobe omstandigheden sulfaat worden gereduceerd tot sulfide wat aanleiding geeft tot lagere gehalten. In het kader van het Bouwstoffenbesluit is sulfaat in baggerspecie problematisch. In baggerspecie wordt op natuurlijke wijze veel sulfaat vastgelegd, wat bij landfarming vervolgens weer op natuurlijke wijze vrijkomt. De vraag is of hierbij daadwerkelijk sprake is van onaanvaardbare milieurisico's. Dit is een punt van verder onderzoek.

### **De azijnzuurextractie- of Tenaxmethode**

Meetmethoden zijn meestal gericht op het meten van de totale hoeveelheid van een stof. Vanuit de landbouw is al heel lang bekend dat het totaalgehalte aan fosfaat niets zegt over de groei van gewassen. Hiervoor zijn partiële extracties ontwikkeld waarvan de resultaten gecorreleerd kunnen worden aan de gewasgroei. Voor de bepaling van effecten van zware metalen in de bodem wordt al lang gewerkt aan een soortgelijke benadering. Dit is moeilijker voor organische verontreinigingen.

Bij het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van twee recente ontwikkelingen op dit gebied: de azijnzuur-extractie en de Tenaxmethode. Beide methoden verschillen principieel van elkaar, maar leveren resultaten op die goed overeenkomen met de waargenomen biologische afbraak, en met de waargenomen effecten bij bioassays en bioaccumulatie.

De azijnzuur-extractie is een extractie met een mild extractiemiddel van de baggerspecie gedurende een beperkte tijd. Hierdoor wordt alleen de PAK geëxtraheerd die gemakkelijk bereikbaar is voor dit extractiemiddel.

Bij de Tenaxmethode wordt alle in de waterfase opgeloste PAK geadsorbeerd aan een vast materiaal (de Tenax). De makkelijk beschikbare PAK van de baggerspecie lost op in de waterfase en wordt dus vervolgens geadsorbeerd aan de Tenax. Na een bepaalde tijd is al de beschikbare PAK aanwezig in de Tenax. De Tenax wordt dan gescheiden van de specie en het PAK-gehalte in de Tenax wordt gemeten.

---

## 3 Biobeschikbaarheid als graadmeter voor afbraak en effecten

---

Het biobeschikbare deel van een verontreiniging kan gedefinieerd worden als dat deel dat vrijkomt van de sedimentmatrix en beïnvloed wordt door afbraakorganismen en invloed kan uitoefenen op andere organismen.

Biobeschikbaarheid betekent dus dat het biobeschikbare deel van een verontreiniging:

- zodanig met een afbraakorganisme in contact komt, dat de verontreiniging vrij van de matrix is of komt, en in principe afgebroken kan worden (mits ook aan andere randvoorwaarden voldaan wordt);
- na het vrijkomen van de matrix zodanig in contact komt met andere dan afbraakorganismen, dat effecten van de verontreiniging op die andere organismen kunnen optreden.

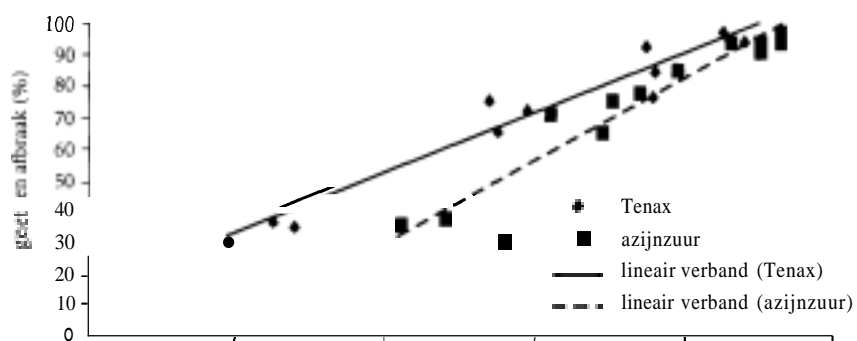
De biologische beschikbaarheid van een verontreiniging voor afbraak wordt bepaald door de mogelijkheid tot contact tussen de verontreiniging en het afbraakorganisme. De beschikbaarheid komt in feite overeen met de mate van binding van de verontreiniging aan de matrix van de specie: de van de matrix vrijgekomen verontreinigingen worden afgebroken, dus de minder sterk gebonden fractie bepaalt de biobeschikbaarheid. De traag van de sedimentmatrix vrijkomende fractie (dus de complementaire fractie van de biobeschikbare fractie) van een aantal organische verontreinigingen is door diverse onderzoekers onderzocht: er bleken behoorlijke verschillen te bestaan in de omvang van de traag desorberende fractie van de verontreinigingen bij sedimenten van eenzelfde locatie en van verschillende locaties in Nederland (zie linker pagina bij pagina 26).

### 3.1 Biobeschikbaarheid en afbraak

De biobeschikbaarheid bepaalt in sterke mate de maximale afbraak van minerale olie en PAK in baggerspecie. De biobeschikbaarheid van PAK kan bepaald worden door middel van twee chemische technieken: extractie met azijnzuur of met een Tenax-analyse. Figuur 8 toont de resultaten voor de behandelde species in 1997. Ze zijn vergeleken met de metingen verricht aan de onbehandelde species, die sinds de aanvang van de landfarm anaëroob bewaard zijn. De beschikbaarheid van PAK in een specie verschilt sterk per individuele PAK-verbinding. Lichtere PAK-verbindingen (3-ringen) zijn beter beschikbaar dan de zwaardere PAK-verbindingen (5- en 6-ringen). De onderlaag van de onbewerkte species van Wemeldinge en Petroleumhaven (waar de minste afbraak heeft plaatsgevonden als gevolg van de slechte luchtdoordringing) bevat nog steeds het hoogste gemiddelde percentage biobeschikbare PAK.

### Relatie tussen de azijnzuurextractiemethode en de Tenax-methode

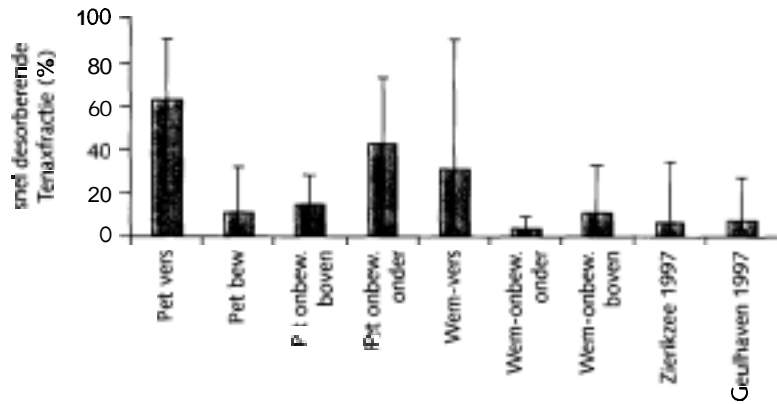
De azijnzuurextractie-methode en de Tenax-methode geven vergelijkbare resultaten voor de voorspelling van PAK-atbraak. Het is met beide methoden mogelijk te kijken naar individuele PAK. In onderstaande figuur is dit voor beide methoden weergegeven voor verschillende individuele PAK in verse Petroleumhavenspecie. De Tenax-methode blijkt over alle PAK gezien een betere voorspelling van de waargenomen afbraak in het veld te geven.



*Relatie tussen de daadwerkelijke afbraak van individuele PAK (monitoringperiode 1997) en de op twee manieren bepaalde biobeschikbare PAK-fractie voor specie van het bewerkte Petroleumhavenveld. Helemaal rechts in de figuur staan met name de kleine ringsystemen, helemaal links de 6-ringen.*

**Figuur 8**

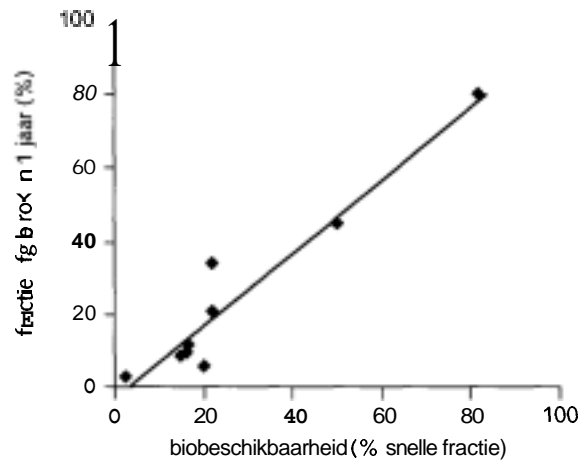
Biologisch beschikbare PAK-fractie (gemiddelde van de individuele PAK-verbindingen met minimum-maximum-range voor set van 12 PAK) in de onbehandelde en in de verschillende behandelde species gemeten als snel desorberende fractie bij de Tenax-analyse (data van 1997 voor de behandelde species).



De gemeten fracties (zoals weergegeven) voorspellen goed de afbraak in één jaar landfarming. Hiervoor is de afbraak genomen gedurende 1997 of voor de oorspronkelijke specie de afbraak in het eerste jaar van landfarming (figuur 9). Een vergelijkbare relatie tussen biobeschikbaarheid en PAK-afbraak is ook in andere studies aangetoond.

**Figuur 9**

Verband tussen de biobeschikbaarheid (gemeten met de Tenaxmethode) en de afbraak op de landfarms op Kreekraksluizen gedurende 1 jaar (voor som-PAK).



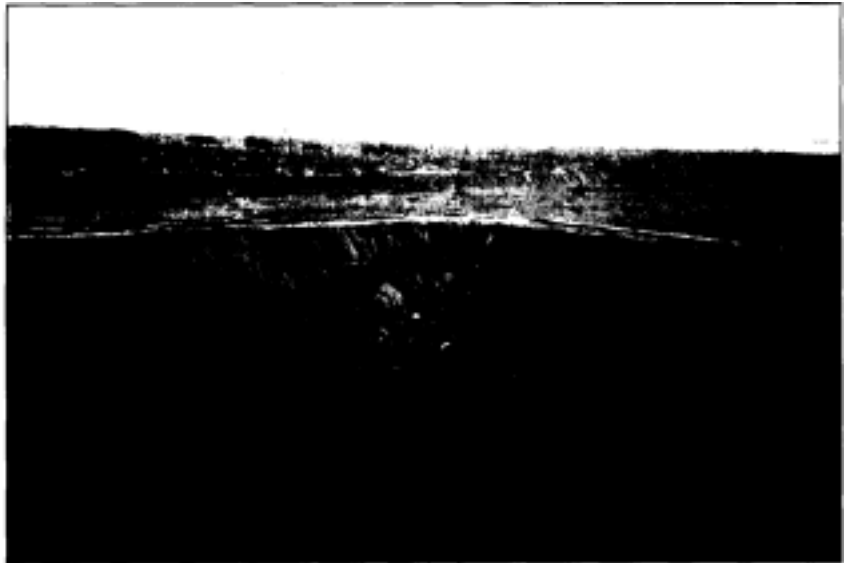
Voor minerale olie is nog niet specifiek gekeken naar de mogelijke relatie tussen de biobeschikbare fractie en daadwerkelijke afbraak. In oriënterend onderzoek in een ander kader zijn middels een azijnzuurextractie (50%) in de verse en in de circa vijf jaar met landfarming behandelde species van Petroleumhavens Wemeldinge zwak gebonden (biobeschikbare) oliefracties van 4-22% gevonden. Dit onderzoek toonde bovendien een goede relatie aan tussen de biobeschikbare fractie en toxische effecten van minerale olie (zie linker pagina naast pagina 23). Dit wijst erop dat het mogelijk moet zijn een goede relatie aan te tonen tussen de afbraak van minerale olie en biobeschikbaarheid.

De biobeschikbare fractie van PAK - en mogelijk ook van minerale olie - blijkt dus indicatief te zijn voor de daadwerkelijke afbraak van de verontreiniging. Daarmee is biobeschikbaarheid een nuttig beslisinstrument bij de biologische reiniging van baggerspecie of bij het omgaan met verontreinigde baggerspecie.

### **Alternatieve materiaalkeuze voor een bodembeschermendelaag**

Om verspreidingsrisico's tegen te gaan, wordt veelal HDPE-folie gebruikt als onderafdichting van de landfarmvelden. In het kader van het onderzoek is modelmatig nagegaan in hoeverre een onderlaag, verrijkt met organische stof, ook effectief kan zijn om uitspoeling van verontreinigingen te voorkomen. In vergelijking met HDPE-folie bleek het verrijken van de ondergrond met compost een goed alternatief. Toepassing van dit concept op alle in 1994 aan te leggen velden was qua vergunning nog niet mogelijk. Op een proefveldje van vijf bij vijf meter is compost als onderafdichting gebruikt om dit alternatief te kunnen testen. In dit veldje is geen uitspoeling van PAK en minerale olie geconstateerd. Het gebruik van compost levert bovendien een aanzienlijke kostenbesparing op.

Op basis van de bovenstaande bevindingen is op de later nabij aangelegde praktijklandfarm als bodembeschermende maatregel geen HDPE-folie aangebracht, maar is het organisch stofgehalte in de ondergrond verhoogd. De onderzoeksgegevens werden tevens gebruikt voor de inrichting van het gecombineerde landfarmings- en energieteeltproject op de Oostwaardhoeve in Noord-Holland. Op basis van het feit dat de ondergrond daar voldoende organische stof bevatte, werd het niet noodzakelijk geacht om aanvullende bodembeschermende maatregelen voor te schrijven.



*Aanbrengen van een bodembeschermende compostlaag als alternatief voor HDPE-folie.*

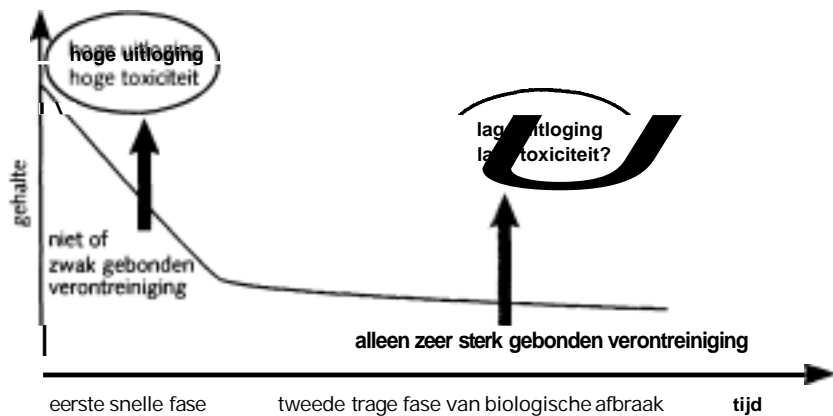


### 3.2 Biobeschikbaarheden milieu-effecten

Verontreinigde baggerspecie kan aanleiding geven tot ongewenste effecten op de omgeving. Met reiniging wordt beoogd de risico's op effecten tot een aanvaardbaar niveau te reduceren. Ook wanneer baggerspecie niet gereinigd wordt, maar anders wordt toegepast of gebruikt, kan door bewust handelen ook gestreefd worden naar risicoreductie.

Biobeschikbaarheid van een verontreiniging kan inzicht geven in de risico's voor negatieve milieu-effecten (verspreiding naar omgeving en effecten op organismen). Immers, de mate en snelheid waarmee een verontreiniging kan vrijkomen van verontreinigde baggerspecie zijn van invloed op de effecten op de omgeving.

.....  
Figuur 10  
Hypothetisch verband tussen biobeschikbaarheid enerzijds en uitloging en toxiciteit anderzijds.



#### 3.2.1 Verspreiding

Nadat een verontreiniging van de specie is vrijgekomen, kan het zich door uitspoeling verspreiden naar het naburige oppervlakte- of grondwater en daarmee eerder niet-aangetaste milieucompartimenten verontreinigen. De snel desorberende fractie van de verontreiniging (die tevens als maat voor biobeschikbaarheid wordt gebruikt) geeft voor een specifieke baggerspecie inzicht in de hoeveelheid verontreiniging die op korte termijn uit de vaste fase kan vrijkomen. Bij gebruik van specie-specifieke gegevens over de snel desorberende fractie (in plaats van generieke verdelingscoëfficiënten van de verontreinigende stoffen), verkrijgt men een betere indicatie over het risico voor ongewenste verspreiding van de verontreiniging.

Informatie over de minder sterk gebonden fractie van verontreinigingen via azijnzuurextractie of Tenax-analyse levert voor organische verontreinigingen, zoals PAK, dus betere indicaties op over de verspreidingsrisico's dan totaalgehalten.

Voor de species van Wemeldinge en Petroleumhaven zijn drainwatermonsters genomen om een indruk te krijgen over de mate van verspreiding van de verontreinigingen. PAK werden hierin niet gedetecteerd of de gehalten lagen ruim onder  $1 \mu\text{g/l}$ . Minerale olie was niet aantoonbaar. Op basis hiervan is geconcludeerd dat er geen onaanvaardbare risico's waren voor uitspoeling van verontreinigingen. In een goed functionerende landfarm moet dit ook het geval zijn: PAK of minerale olie in de waterfase is niet alleen beschikbaar voor uitspoeling, maar ook voor biologische afbraak. Dus voor er sprake kan zijn van uitspoeling, is de verontreiniging al afgebroken.

## Toegepaste bioassays en bioaccumulatiemetingen

Effecten van verontreinigingen in baggerspecie kunnen direct gemeten worden door middel van bioassays. Hierin wordt het gezamenlijke overall-effect van alle verontreinigingen in een baggerspecie op een testorganisme gemeten. De tabel toont de in het kader van het landfarmproject uitgevoerde biologische testen.

### *Overzicht van de uitgevoerde bioassays en bioaccumulatietoetsen (zowel aquatische als terrestrische testmethoden)*

	Zoute species Petroleumhaven, Wemeldinge	Zoete species Geulhaven, Zierikzee
<b>Bioassay</b>		
Aquatisch	<i>Vibrio fischeri</i> (bacterie) <i>Crassostrea gigas</i> (oesterlarve) <i>Corophium volutator</i> (slijkgarnaal)	<i>Vibrio fischeri</i> (bacterie) <i>Daphnia magna</i> (watervlo) <i>Chironomus riparius</i> (muggelarve)
Terrestrisch	<i>Vibrio fischeri</i> (bacterie) <i>Lumbricus rubellus</i> (regenworm)	<i>Vibrio fischeri</i> (bacterie) <i>Lumbricus rubellus</i> (regenworm)
<b>Bioaccumulatietest</b>		
Aquatisch	<i>Oligochaeten</i> (worm)	<i>Oligochaeten</i> (worm)
Terrestrisch	<i>Lumbricus rubellus</i> (regenworm)	<i>Lumbricus rubellus</i> (regenworm)

De bioassays met de bacterie en de watervlo zijn uitgevoerd met poriewater of een waterig extract van de sedimentdeeltjes; alle overige testen zijn uitgevoerd in aanwezigheid van sedimentdeeltjes. Alle organismen van deze overige testen hebben een levenswijze waarbij ze zich voornamelijk in het sediment of in de grond bevinden, met uitzondering van de oesterlarve. Hierdoor is er intensiever contact met de sedimentdeeltjes.

De terrestrische bioassays met de zoute species zijn uitgevoerd in het stadium van reiniging met een zodanig laag zoutgehalte, dat geen negatieve effecten als gevolg daarvan meer te verwachten waren.

---

### 3.2.2 Ecotoxiciteit: aquatische en terrestrische risico's

Verhoogde gehalten in het poriewater of oppervlakte- en grondwater of de bodem zelf kunnen leiden tot ongewenste effecten (ecotoxiciteit) op de organismen die in contact komen met de verontreiniging. Directe effecten in de vorm van minder goed functioneren of sterven van die organismen zijn daardoor mogelijk. Het bepalen van directe effecten van verontreinigde baggerspecie kan door middel van bioassays. De verontreiniging kan zich ook ophopen in de weefsels van organismen die als voedselbron van andere organismen fungeren, zonder dat directe negatieve gevolgen voor de eerstgenoemde (voedsel)organismen tot gevolg heeft. Indien een sterke concentrering van nadelige stoffen binnen een voedselketen optreedt (bioaccumulatie), kunnen de organismen hoger of bovenaan de keten vervolgens wél nadelige effecten ondervinden.

#### Directe effecten

Het meten van het biobeschikbare deel van een verontreiniging, bijvoorbeeld **PAK**, geeft inzicht in het deel van de **PAK** dat vrijkomt van de sedimentmatrix. Echter, niet alle **PAK** zijn even goed afbreekbaar of even toxisch. Dus geeft het biobeschikbare deel aan welk gedeelte van de totale verontreiniging in principe kan afbreken, maar ook tot toxische effecten kan leiden. Of dit ook daadwerkelijk plaatsvindt, hangt ook af van de eigenschappen van elke afzonderlijke stof (mate van persistentie en toxiciteit).

Naast effecten van het biobeschikbare deel, zijn er ook organismen die extra effecten kunnen ondervinden doordat ze zelf verontreinigingen van de sedimentmatrix vrijmaken, bijvoorbeeld in hun darmkanaal. Hierdoor zal de daadwerkelijk voor deze organismen beschikbare fractie mogelijk groter zijn dan de middels chemische weg bepaalde biobeschikbare fractie.

Bioassays geven een beeld van de mogelijke biologische risico's van een verontreiniging. Een bioassay is hier gedefinieerd als een test, waarbij een representatief geacht testorganisme wordt blootgesteld aan een verontreinigd milieumonster (bijvoorbeeld een baggerspecie). Met behulp van een bioassay worden de directe toxische effecten van de verontreinigingen bepaald op een testorganisme: het geeft een beeld van de integrale werking van alle stoffen in de specie die een effect hebben op dat organisme. Een negatief effect kan veroorzaakt zijn door **PAK**, door minerale olie, of door een combinatie van beiden. Ook metalen kunnen bijdragen aan de gemeten effecten, terwijl ze niet bepalend zijn voor de verontreinigingsclassificatie van een specie. Verder kunnen andere stoffen, die niet chemische geanalyseerd zijn wegens het toegepaste analysepakket of stoffen (die op dit moment binnen het chemisch milieu-onderzoek nog onbekend zijn), ook bijdragen aan de effecten.

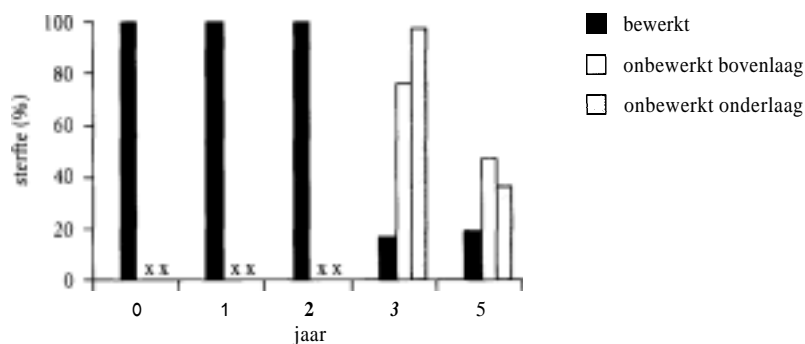
Een bioassay levert dus informatie op over het overall-resultaat van alle stoffen die daadwerkelijk een effect uitoefenen op het testorganisme. Dit in tegenstelling tot de meting van de biobeschikbaarheid, waarvan de informatie veelal beperkt is tot een afzonderlijke stof (bijvoorbeeld individuele **PAK**) of tot een stofgroep (bijvoorbeeld **PAK** of minerale olie).

Naast informatie over het overall-effect van alle stoffen in een monster, is het van belang om een voor het milieu representatief beeld te krijgen. Daarom worden bioassays gebruikt met representatieve soorten testorganismen. De in bioassays gebruikte testorganismen zijn, net zoals organismen in het milieu zelf, niet allen even gevoelig voor verontreinigingen. Daarom wordt er bij voorkeur gewerkt met een set van meerdere bioassays (ook wel testbatterij genoemd).

### Ecotoxiciteit: effecten van Petroleumhavenspecie op de slijkgarnaal en oesterlarven

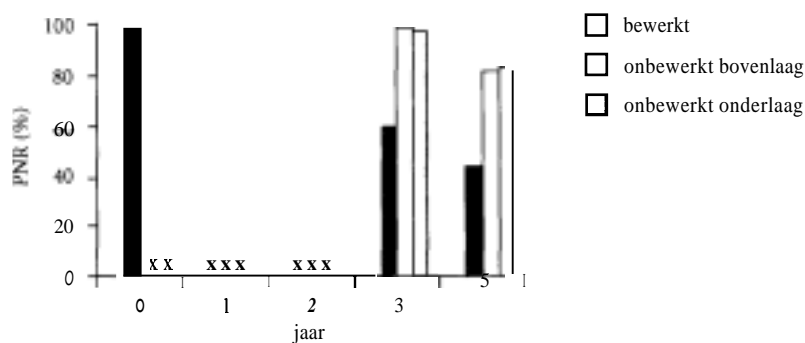
Ter illustratie van de resultaten van de bioassays zijn de resultaten voor de slijkgarnaal *Corophium volutator* en de larven van de oester *Crassostrea gigas* weergegeven voor verse en behandelde baggerspecie van Petroleumhaven. Bij de behandelde specie is onderscheid gemaakt tussen het bewerkte en het onbewerkte veld.

De volledige sterfte van de slijkgarnaal na blootstelling aan de verse specie is na drie jaar landfarmen bij de specie van het bewerkte veld gereduceerd tot een niveau, dat kwalitatief als niet-toxisch voor dit organisme wordt geclassificeerd. De specie van de boven- en onderlaag van het onbewerkte veld leidt daarentegen na drie en vijf jaar nog steeds tot een zodanige sterfte, dat deze specielaagen nog als matig-toxisch voor dit organisme worden geclassificeerd. De beide specielaagen van het onbewerkte veld, waar de afbraak van stoffen minder snel verloopt, geeft duidelijk een tragere afname van de sterfte te zien. Dit zal het gevolg zijn van een groter aandeel biobeschikbare verontreiniging in die lagen in vergelijking met het bewerkte veld.



Effect van Petroleumhavenspecie op de slijkgarnaal in de tijd (x: geen data beschikbaar).

Ook bij oesterlarven werd een afname in toxiciteit in de tijd waargenomen. Na vijf jaar behandeling werd het gecombineerde effect op overleving en morfologische ontwikkeling van deze organismen echter kwalitatief nog als matig toxisch geclassificeerd voor de bewerkte specie. De boven- en onderlaag van de onbewerkte specie lieten op dat moment nog steeds als ernstig toxisch geklassificeerde effecten zien.



Effect van Petroleumhavenspecie op oesterlarven in de tijd (PNR: gecombineerde parameter voor effecten op overleving en morfologische ontwikkeling; x: geen data beschikbaar).

---

#### *Van een natte naar een droge bodem*

In de loop van het landfarmonderzoek is de verontreinigde baggerspecie langzamerhand veranderd in een landbodem. Bij aanvang van het onderzoek konden alleen aquatische testmethoden worden toegepast om de ecotoxicologische risico's te beoordelen (regenwormen zouden namelijk een verblijf in een schone baggerspecie al niet eens overleven). Dit gebeurde met de destijds reeds gangbare methoden voor de beoordeling van verontreinigde waterbodems. De toepassing van waterbodembioassays is - voor zover nog effecten werden waargenomen - gedurende het onderzoek steeds doorgezet. Het toepassen van deze aquatische assays is daarentegen niet gangbaar bij het toetsen van landbodems. Het is denkbaar dat het opnieuw in een waterig milieu brengen van een landbodem leidt tot veranderingen in gehalten en beschikbaarheid van stoffen, met een mogelijke toename in toxiciteit als gevolg. Naarmate de baggerspecie zich meer tot een bodem ontwikkelde, is daarom ook gebruik gemaakt van testmethoden die specifiek gericht zijn op de beoordeling van verontreinigde landbodems.

#### *Waterbodembioassays*

Met de monsters van de landfarm zijn vanaf 1994 testen uitgevoerd met testbatterijen voor zoete waterbodems (Geulhaven en Zierikzee) en zoute waterbodems (Petroleumhaven en Wemeldinge). Dit was noodzakelijk wegens het hoge zoutgehalte in de laatstgenoemde species, waartegen de zoetwaterorganismen van de andere bioassays niet bestand zijn.

De beoordeling van verontreinigde baggerspecies met waterbodembioassays gebeurt met een systematiek waarbij de waargenomen kwantitatieve effecten in meerdere bioassays worden omgezet in een kwalitatief oordeel. De specie wordt hiermee geklassificeerd als niet toxisch, matig toxisch of ernstig toxisch, zodat hiermee een prioritering van verontreinigde locaties voor sanering kan plaatsvinden.

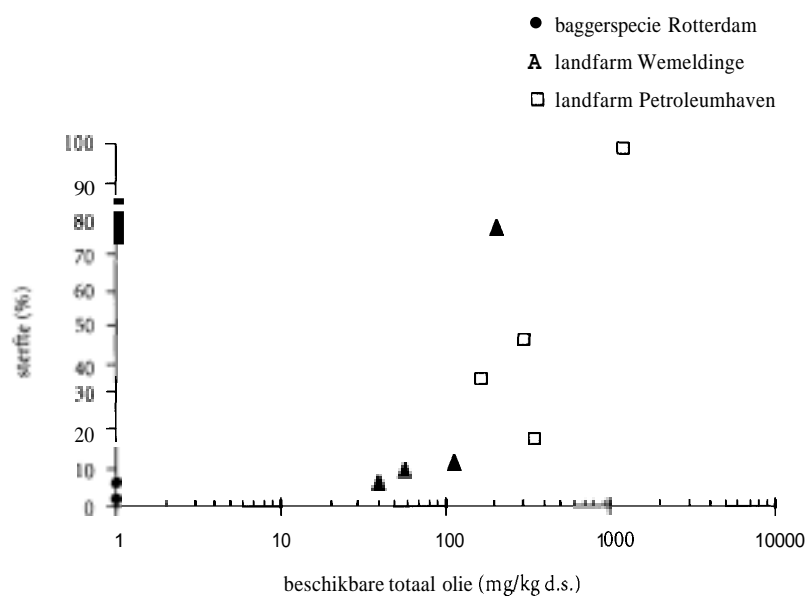
Tabel 2 toont de reductiepercentages voor **PAK** en minerale olie voor de periode 1994-1999. Ook zijn daarbij de reductiepercentages vermeld van de gemeten effecten in de bioassays. Voor de species uit Wemeldinge en uit de Petroleumhaven zijn gegevens beschikbaar over de eerste vijf jaar landfarming vanaf de start met verse specie. Voor de beide andere species betreft het de periode van vijf tot tien jaar landfarming, dus niet vanaf de start van de landfarm in 1989/1990.

Sommige bioassays lieten reeds geen effecten zien bij aanvang van de meetperiode, bijvoorbeeld de watervlo voor de specie van Geulhaven en Zierikzee en de bacterie voor de specie van Wemeldinge. De afbraak van de verontreinigingen was bij de specie van Geulhaven en Zierikzee blijkbaar reeds zodanig ver gevorderd dat er in de geteste waterfase geen beschikbare toxische stoffen voor de watervlo aanwezig waren. Het ontbreken van de toxiciteit in de verse specie van Wemeldinge voor de bacterie duidt erop dat de aanwezige verontreinigingen of niet toxisch of niet beschikbaar waren. De andere testorganismen ondervonden echter wel negatieve effecten van de verse Wemeldingefspecie.

De overige bioassays daarentegen laten wel, parallel aan de afname van de verontreinigingsconcentraties, aanzienlijke afnamen zien van toxiciteit. In een enkel geval neemt de toxiciteit enigszins toe (muggelarve voor specie van Geulhaven), waardoor de specie volgens de gehanteerde systematiek in 1999 als ernstig toxisch wordt gekwalificeerd. Op basis van de ruwe gegevens blijkt dat het effectniveau hier echter op het grensvlak van matig

### Biobeschikbaarheid en effecten van minerale olie

Inmiddels is in het kader van een onderzoek naar ecotoxicologische effecten van minerale olie (Lourens *et al.*, 2000) ook oriënterend onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid om de biobeschikbaarheid van minerale olie te bepalen. Door extractie met 50% azijnzuur **kon** beschikbare olie in kunstmatig verontreinigd sediment en in gelandfarmde monsters van Kreekraksluizen worden aangetoond. Voor de gecombineerde data van de oliebeschikbaarheid van alle monsters tezamen werd een goede dosis-effectrelatie verkregen.



*Relatie tussen de sterfte van de slijkgarnaal *Corophium volutator* en de beschikbare minerale olie (voor onbehandelde en gelandfarmde specie van Wemeldinge en Petroleumhaven, en voor baggerspeciemonsters uit het Rotterdamse havengebied).*

en ernstig toxisch ligt. Voor het merendeel van de toegepaste bioassays worden bijna alle baggerspecies in 1999 (sommige zelfs al in 1997) als niet-toxisch gekwalificeerd.

Het feit dat organismen, die tijdens de bioassays niet direct in contact waren geweest met sedimentdeeltjes van de species, in het laatste monitoringjaar (1999) nauwelijks of geen toxische effecten lieten zien, is in overeenstemming met het eerder gemelde feit dat geen uitspoeling vanuit de species is geconstateerd. In een goed functionerende landfarm worden de verontreinigingen meteen afgebroken zodra ze beschikbaar komen voor de afbrekende bacteriën, zodat er geen risico's ontstaan op het optreden van effecten na uitspoeling. Organismen anders dan de afbraakbacteriën, die ook in nauw contact zijn met de sedimentdeeltjes, zouden door het beschikbaar komen van de verontreinigingen, echter wel beïnvloed kunnen worden. De nog steeds aanwezige effecten voor de specie van Ceulhaven en Zierikzee bij de muggelarf kunnen hiervan een gevolg zijn.

**Tabel 2**

Reductiepercentages voor PAK- en minerale oliegehalten in speciemonsters met de bijbehorende wijziging in de kwalitatieve toxiciteitsbeoordeling in 1994 en in 1999 (tenzij anders vermeld). Tevens is voor de toxiciteit de reductie van de grootte van het effect per bioassay vermeld (als percentage in 1999 ten opzichte van 1994). In 1994 betreft het voor Petroleumhavenen Wemeldinge de verse onbehandelde specie en voor Ceulhaven en Zierikzee de reeds 5 jaar behandelde specie.

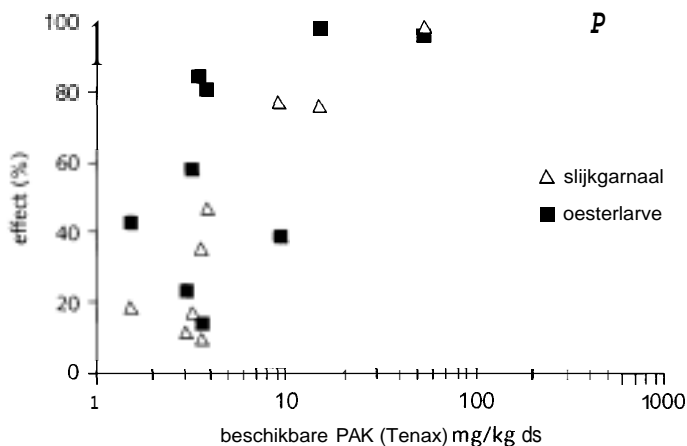
Reductie van:	Gehalten		Effecten		Muggelarve <sup>a</sup>		
	PAK %	Olie %	Bacterie '94 / '99	Watervlo %	% '94 / '99	%	
Geulhaven	31	40	matig / niet	>70	niet / niet	0	matig / ernstig -120
Zierikzee	10	67	matig / niet	>26	niet / niet	0	matig / matig 15
Petroleumhaven (bewerkt)	97	74	ernstig / niet	>81	ernstig / matig	57	ernstig / niet 81
Wemeldinge (bewerkt)	64	88	niet / niet	0	matig / niet ('97)	67	ernstig / niet ('97) 92

<sup>a</sup> Voor de muggelarve is het reductiepercentage weergegeven voor de bioassayparameter die bepalend was voor de kwalitatieve beoordeling in 1999.

Ook de resultaten van de bioassays kunnen in verband worden gebracht met de biologisch beschikbare fractie. Figuur 11 toont de relatie tussen de biobeschikbaarheid van PAK (door middel van de Tenaxmethode gemeten als de snel beschikbare fractie) en de effecten op de slijkgarnaal en oesterlarven (op basis van de species van Wemeldinge en Petroleumhaven; data 1997 en 1999). Er blijkt sprake te zijn van een redelijk goede dosis-effect relatie voor beide organismen. Voor de voorspelling van directe effecten lijkt het beschikbare PAK-gehalte met name voor de slijkgarnaal een goede parameter.

**Figuur 11**

Effecten van landfarmspeciemonsters op de slijkgarnaal (*Corophium volutator*) en larven van de oester (*Crassostrea gigas*) als functie van de beschikbare PAK-fractie (o.b.v. data voor de verse en behandelde species van Wemeldinge en Petroleumhaven). Effecten tot maximaal 25 en 35% effect zijn voor de slijkgarnaal respectievelijk de oesterlarve als niet-toxisch geklassificeerd.



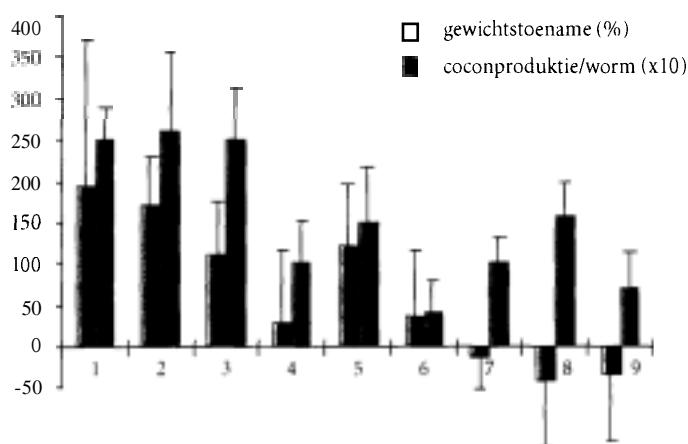
## Effecten op de regenworm *Lumbricus rubellus*

De effecten van de verschillende species zijn in 1999 vastgesteld door middel van een gestandaardiseerde bioassay met de regenworm *Lumbricus rubellus*. Hierbij werden regenwormen, afkomstig van een bekende referentielocatie in het veld, gedurende vier weken blootgesteld aan de verschillende baggerspecies. Hierbij werd voedsel in overvloed toegevoegd aan de monsters om verschillen hierdoor te voorkomen.

De onderstaande figuur toont de gewichtstoename en de omvang van de voortplanting (coconvorming) van de wormen aan het eind van de bioassay. Tevens zijn de bijbehorende (beschikbare) PAK- en minerale oliegehalten vermeld.

In de grond van de referentielocatie en in de relatief schone speciemonsters van Geulhaven en Zierikzee worden vergelijkbare resultaten voor de regenwormen gevonden, die min of meer representatief zijn voor een normale bodem. De verschillend behandelde speciemonsters van de Petroleumhaven, die nog een aanzienlijke hoeveelheid minerale olie en tevens (beschikbare) PAK bevatten, laten sterk negatieve effecten op de regenwormen zien. De speciemonsters van Wemeldinge, die qua verontreiniging in het middengebied van de andere species zitten, vormen op basis van de effecten op de regenwormen eveneens de middenmoot. Het voorgaande patroon geldt vooral voor de gewichtstoename van de wormen.

Bij de resultaten kan opgemerkt worden dat gewichtstoename en coconproductie geen onafhankelijke parameters zijn: meer energie steken in voortplanting betekent immers dat er minder energie resteert voor groei. Voortplanting bij een afname in wormgewicht, zoals waargenomen bij de wormen in de Petroleumhavenmonsters, kan gezien worden als een ultieme overlevingspoging van een wormenpopulatie onder zeer ongunstige omstandigheden.



specie mg/kd ds	referentie (1)	Geulhaven (2)	Zierikzee (3)	Wemeldinge bewerkt (4)	Wemeldinge onbew. boven (5)	Wemeldinge onbew. onder (6)	Petroleum- haven bewerkt (7)	Petroleum- haven onbew. boven (8)	Petroleum- haven onbew. onder (9)
PAK	n.b.	2	16	19	24	25	16	24	35
olie	n.b.	180	100	250	340	510	3400	3000	3700
beschikbare PAK	n.b.	0.2	0.8	0.6	1.9	3.8	1.1	3.6	3.5

*Relatieve groei en voortplantingsomvang van regenwormen (Lumbricus rubellus) in een bioassay met monsters van de behandelde baggerspecies en in een referentiegrond (KOBG) (dutinajaar 1999).*



---

### **Terrestrische bioassays**

Wanneer baggerspecie gelandfarmd wordt, treedt er op termijn een overgang van natte specie naar gerijpte specie op, wat uiteindelijk resulteert in een grond als eindmateriaal. Dit betekent dat, om de toxiciteit van een specie in een landfarm te volgen, er in de beginfase aquatische en naarmate de specie in grond verandert, terrestrische bioassays gebruikt moeten worden.

Met speciemonsters uit 1999 zijn in het laboratorium met alle vier species bioassays uitgevoerd om zicht te krijgen op de eventuele effecten op terrestrische organismen. De regenworm *Lumbricus rubellus* bleek in de specie van Geulhaven en Zierikzee geen enkel aantoonbaar effect te onderkennen. De specie van Wemeldinge had een aantoonbaar effect op groei, doch niet op overleving of coconproductie. De specie van Petroleumhaven tuste zowel groei als coconproductie aan (zie linker pagina). Tevens werd de bacterietest met *Vibrio fischeri* uitgevoerd met een monstervoorbehandelingsmethode die kort ervoor ontwikkeld en succesvol toegepast was voor het testen van verontreinigde landbodemmonsters. Met deze testmethode werden echter geen effecten waargenomen in de landfarmmonsters.

### **Indirecte effecten**

Door blootstelling van relevante testorganismen aan verontreinigd materiaal of door bemonstering van organismen die in het verontreinigde materiaal leven, kan het gehalte aan verontreinigingen in het lichaamsweefsel worden bepaald. De mate waarin verontreinigingen in de weefsels worden aangetroffen ten opzichte van het gehalte in het verontreinigde materiaal, kan worden gezien als een maat voor de biobeschikbaarheid. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat sommige organismen in staat zijn verontreinigingen uit hun lichaam te verwijderen, al dan niet na omzetting van de verontreiniging in het lichaam. Hierdoor kan het gemeten gehalte afwijken van het aanvankelijke, werkelijk opgenomen gehalte.

### **Accumulatie in waterbodemorganismen**

Voor de behandelde monsters van Kreekraksluizen zijn de gehalten van PAK geanalyseerd in wormen die in waterbodems leven. De gelandfarmde monsters zijn hiertoe weer onder water gezet en na vier weken is de ophoping van PAK en metalen in de wormen gemeten. De accumulatie van PAK na blootstelling aan diverse species vertoont een goed verband met de via chemische weg gemeten PAK-biobeschikbaarheid (figuur 12). Verder valt het relatief grote aandeel van pyreen en fluoranteen in de wormen op: deze relatief langzaam afbrekende 4-rings-PAK zijn beter oplosbaar dan de overige PAK en bleken bovendien snel te desorberen, zodat de wormen een groter aandeel van deze beide stoffen opgehoopt hebben dan verwacht zou worden op basis van de gehalten van de overige PAK in de specie.

## Waarnemingen aan de bodemorganismen in het veld

Waarnemingen aan de samenstelling van de bodemflora en -fauna op de onderzoekslocatie kunnen laten zien in hoeverre de behandelde species zijn te beschouwen als een normaal bodemsysteem. In het najaar van 1999 is hier via een beperkte monitoring voor het eerst naar gekeken.

### Nematoden

De op de specievelden aangetroffen nematodenaantallen lagen soms binnen de gangbare range voor bewerkte landbouwakkers en weilanden (2000-5000 per 100 g veldvochtige grond) (Zierikzee, haven van Wemeldinge (onbewerkt-bovenlaag en bewerkt) of ruim er boven (Geulhaven, Petroleumhaven (bewerkt))). Aantallen beneden deze range werden aangetroffen in het onbewerkte veld met Petroleumhavenspecie (zowel boven- als onderlaag) en onderin het onbewerkte veld van specie uit de haven van Wemeldinge. In de oorspronkelijke onbehandelde anaërobe baggerspecie werden nauwelijks nematoden aangetroffen. De in 1999 aangetroffen aantallen nematoden lijken een verband te hebben met het al dan niet bewerken van de velden en/of de gehalten van nog resterende verontreinigingen.

Op basis van de samenstelling van de nematodenfauna blijken de species van Geulhaven en van Zierikzee na tien jaar landfarming 'gezonde grond' te zijn. Ze hebben een stabiele en voldoende gevarieerde nematodenpopulatie. De species van Petroleumhaven en van Wemeldinge zijn nog niet zo ver, wat onder andere blijkt uit het bij deze species nog ontbreken van predatoren en omnivoren onder de nematoden. Maar zij hadden anno 1999 dan ook een geringer aantal jaren landfarming achter de rug. Het bacterivore en fungivore deel van de nematoden is in alle species nog niet sterk ontwikkeld, wat duidt op een nog beperkte aanwezigheid van goed afbreekbare organische stof in de behandelde species.

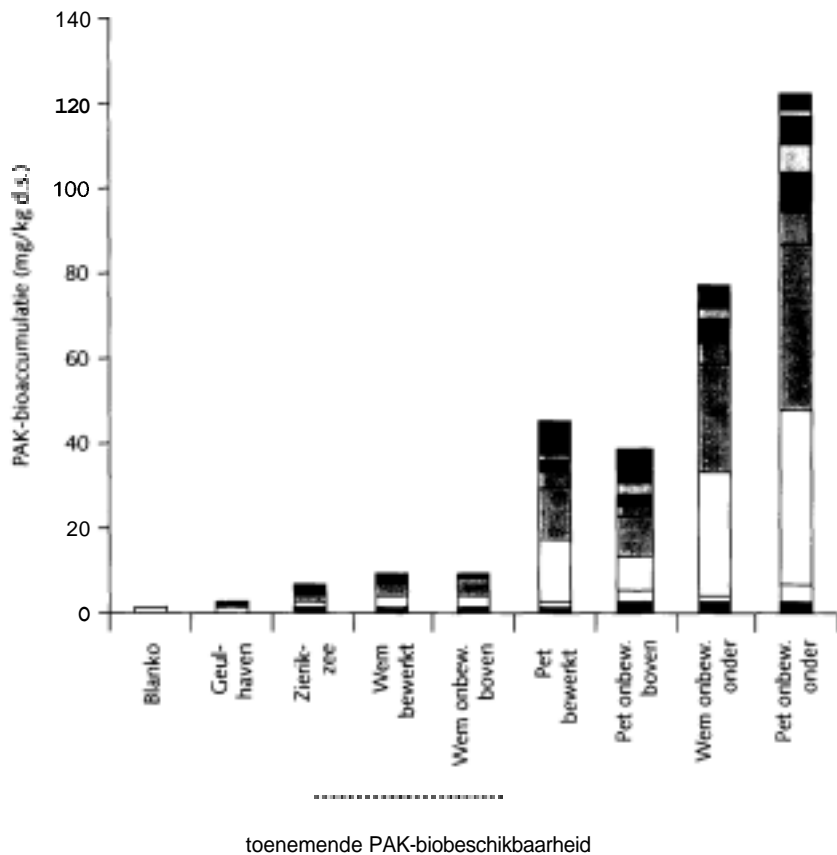
### Regenwormen

Voor de uitvoering van bioassays met regenwormen in het laboratorium zijn monsters van de diverse species voorafgaand gecontroleerd op de aanwezigheid van eicocons of wormen. Dit is gedaan om te voorkomen dat ze de resultaten van de bioassay zouden verstoren. In de gecontroleerde monsters werden noch eicocons noch wormen aangetroffen. Wel werd na afloop van de bioassay met de Geulhavenspecie één exemplaar van een andere wormensoort aangetroffen in het geteste monster. Het lijkt er dus op dat wormen dus nog nauwelijks kans gezien hebben zich te vestigen of langdurig te overleven in de diverse species.

De ontwikkeling van de bodemflora en -fauna zal, naast de gehalten van de verontreinigingen, ook bepaald worden door aanvoer van organismen van buiten de landfarmlocatie (via luchttransport en via vogels en andere organismen). Daarom zal de factor tijd hier ook van invloed zijn geweest op de waargenomen verschillen in ontwikkeling van de bodemflora en -fauna in de behandelde specie van Geulhaven en Zierikzee enerzijds en de behandelde specie Wemeldinge en Petroleumhaven anderzijds.

.....  
**Figuur 12**  
 PAK-gehalten in waterbodembewonende wormen (oligochaeten) na blootstelling aan diverse behandelde species (data 1997). De species zijn geordend op basis van een oplopende concentratie biobeschikbare PAK in de speciemonsters.

- Indeno[1,2,3-cd]pyreen
- Benzo[ghi]peryleen
- Dibenzo[a,h]antraceen
- Benzo[a]pyreen
- Benzo[k]fluorantheen
- Benzo[b]fluorantheen
- Cryseen
- Benz[a]antraceen
- Pyreen
- Fluorantheen
- Antraceen
- Fenantreen
- Fluoreen



#### *Accumulatie in bodemorganismen*

De gehalten van PAK en metalen zijn in 1999 eveneens gemeten in de regenwormen van de uitgevoerde bioassay en in de vegetatie van de landfarmvelden.

De regenwormen bleken na blootstelling aan specie van Geulhaven, Zierik-zee, Wemeldinge (bewerkt en onbewerkt-bovenlaag) en Petroleumhaven (onbewerkt-onderlaag) verhoogde PAK-gehalten te hebben ten opzichte van het bioassay-referentiesediment (een voor deze regenwormen zeer geschikte zandgrond). Bij de overige species was dit niet het geval. Vergelijking van de gehalten in de bioassaywormen met die van regenwormen uit de Waalwaterwaarden (10 VROM-PAK: 0,3 - 1,9 mg/kg d.s.; niet-gepubliceerde data, W. Ma (Alterra)), liet zien dat de gehalten in wormen uit de speciemonsters van Zierikzee, Wemeldinge (bewerkt en onbewerkt-bovenlaag) en Petroleumhaven (onbewerkt-onderlaag) boven deze range uitkwamen. Alle overige specie- en laagmonsters lagen wel in deze range. Van PAK in uiterwaarden is bekend dat de biobeschikbaarheid over het algemeen zeer laag is.

Het gehalte aan zware metalen in de onderzochte baggerspecies was niet hoog (klasse 2). Afbraak van PAK en minerale olie moet echter niet leiden tot grotere risico's veroorzaakt door zware metalen, als gevolg van een hogere beschikbaarheid. Voor metalen leek de bioaccumulatie in Zierikzeespecie sterk op die in het zandige bioassay-referentiesediment. De wormen uit de overige species hadden echter allemaal een overeenkomstig hoger metaalgehalte dan die uit het referentiesediment. Uit een andere vergelijking (met metaalgehalten in wormen uit een schone kleihoudende

### Omvang van de slecht biobeschikbare fractie van organische verontreinigingen in Nederlandse veldsedimenten

De traag desorberende fractie oftewel de niet direct biologisch beschikbare fractie van organische verontreinigingen kan gemeten worden door middel van een Tenax-analyse. De traag desorberende fractie blijkt in diverse veldmonsters een beperkt tot een aanzienlijk deel van het totaalgehalte te kunnen beslaan. De verschillen binnen een herkomstlocatie en tussen verschillende locaties kunnen groot zijn. In veel gevallen is zelfs meer dan **90%** van de organische verontreinigingen niet beschikbaar. Beoordeling van risico's op basis van totaalgehalten zal hier dan ook leiden tot een overschatting.

### Traag desorberende (slecht biobeschikbare) fracties voor verschillende stoffen in Nederlandse sedimenten

Locatie	stoffen	Traag desorberend deel* (%)
Ketelmeer, Flevoland (0-30 cm)	PCB Chloorbenzenen	60-87 67-90
Ketelmeer, Flevoland (40-120 cm)	di- en trichloorbenzenen PCB en PAK	88-99 90-99,9
Petroleumhaven, Amsterdam	PAK	4-72
Voonvetering, Nieuwkoop	PAK	20-90
Overschie, Rotterdam	PAK	45-90
Haven van Delfzijl	Dichloorbenzenen Hexachloorbenzenen	36-76 47-98
Wemeldinge, Zeeland	PAK	62-93
Haven van Middelburg	PAK	70-97
Kanaal Gent-Terneuzen, Zeeland	PAK	30-80
Hollands Diep, Zuid-Holland	PAK PCB Chloorbenzenen	27-91 33-80 82-98
IJzendoorn, Waal, Gelderland	PAK Chloorbenzenen PCB	50-95 80-95 27-68

\*: De intervallen geven de variatie tussen de verschillende onderwachte stoffen, en de verschillende submonsters van dezelfde locatie.

Bron tabel: Van Steenwijk *et al.* (1999)

grond uit de Flevopolder) bleek dat de gehalten in de wormen van de meeste gelandfarmde species hiervan nauwelijks afweken.

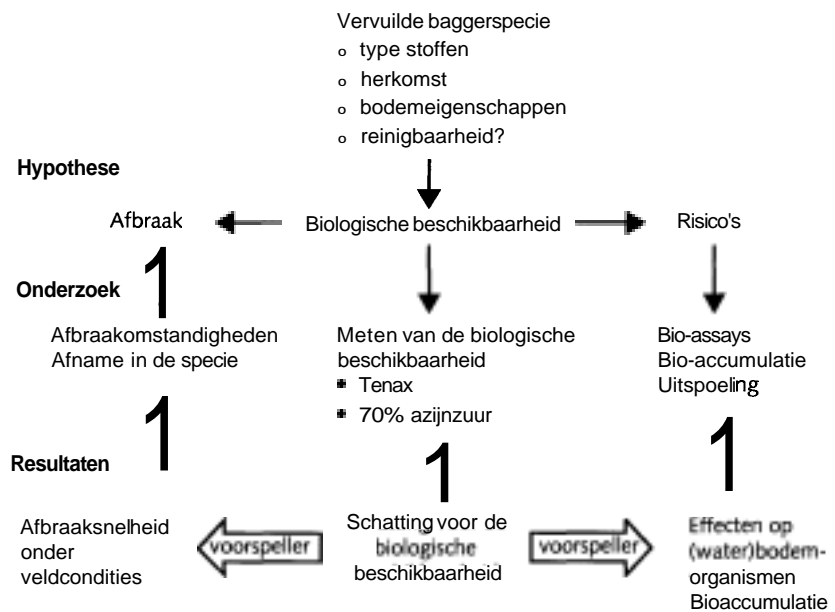
Het gehalte aan diverse zware metalen is gemeten in de bovengrondse delen van de vegetatie en in het poriewater van de baggerspecie. Via een onderbouwd rekenmodel is het mogelijk het gehalte van zink en cadmium te voorspellen in op de specie geteelde landbouwgewassen. De gemeten opname door de vegetatie op de landfarm was ongeveer gelijk aan de modelmatig berekende opname in de verschillende landbouwgewassen.

Naast inzicht in de biobeschikbaarheid kan op basis van metaalgehalten in organismen bepaald worden of er risico's zijn van doorvergiftiging op een hoger niveau in de voedselketen. Deze risico's kunnen worden bepaald door gemeten metaalgehalten in organismen te vergelijken met risicogrenswaarden voor doorvergiftiging van organismen hogerop in de voedselketen. Een dergelijke evaluatie dient nog te worden uitgevoerd.

### 3.3 Biobeschikbaarheid en omgaan met verontreinigde specie in de praktijk

Het landfarmonderzoek op de proeflokatie Kreekraksluizen heeft zich onder meer gericht op de rol van de biologische beschikbaarheid bij de afbraak en de milieurisico's. Figuur 13 toont een schematische samenvatting van de belangrijkste aspecten, die in het onderzoek aan bod zijn gekomen.

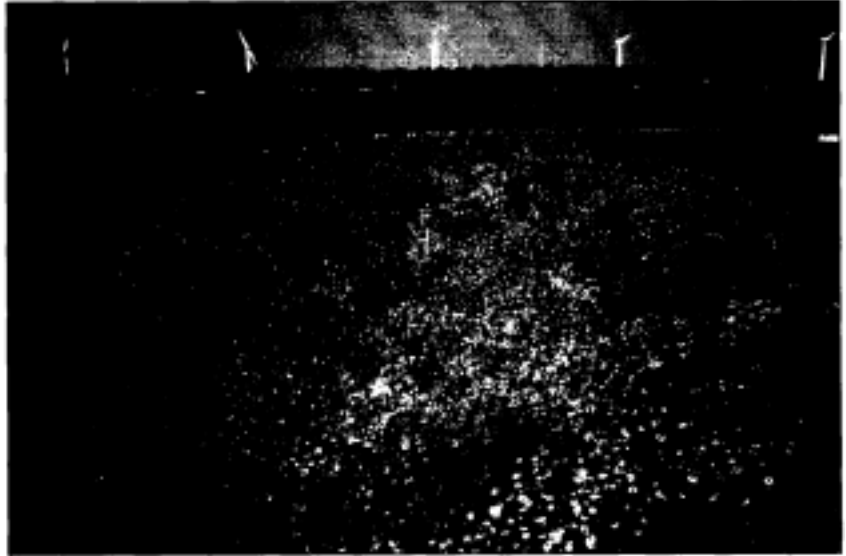
.....  
**Figuur 13**  
 Samenvattend overzicht van het landfarmonderzoek: hypothese, onderzoeksparameters en resultaten. Naast het onderzoek aan de afbraak van PAK en minerale olie is veel aandacht besteed aan de mogelijke risico's van landfarming. Hierbij is de belangrijke rol van de biologische beschikbaarheid van PAK en de schatting ervan naar voren gekomen voor zowel afbraak als risico's.



Het onderzoek heeft belangrijke kennis over de bepaling van de biologische beschikbaarheid van PAK opgeleverd en tevens is de belangrijke rol van de biologische beschikbaarheid ervan gebleken. Een hoge beschikbaarheid kan leiden tot snelle afbraak van de verontreiniging, indien aan de overige randvoorwaarden voor afbraak wordt voldaan. Indien dit laatste niet het geval is, kan er sprake zijn van milieurisico's (risico voor verspreiding en toxiciteit). Een lage biobeschikbaarheid geeft - zelfs onder optimale omstandigheden - een langzame afbraak, doch de bijbehorende risico's zijn ook gering.

### **Vegetatie op de landfarm**

Op de langer in gebruik zijnde landfarmvelden ontwikkelde zich een spontane begroeiing. Deze vegetatie gaf de velden niet alleen een aantrekkelijker aanzien, maar was bovendien ook bevorderlijk voor het handhaven van de voor de afbraak belangrijke aerobe omstandigheden.



---

Op basis van kennis over de biobeschikbaarheid van de verontreinigingen kan dus besloten worden hoe met een bepaalde partij baggerspecie om te gaan. Dit kan zowel in het geval van biologische reiniging of in andere situaties, waarbij gewerkt wordt met verontreinigde specie (bijvoorbeeld actief bodembeheer, op de kant zetten van specie).

Bij biologische reiniging van baggerspecie via landfarming moet de keuze voor de uitvoeringswijze gebaseerd worden op de biobeschikbaarheid van de verontreinigingen. Dit betekent dat voor aanvang en tijdens de reiniging regelmatig de biobeschikbare fractie bepaald moet worden. Hierdoor kan het landfarmproces geoptimaliseerd worden. Bij hoge biobeschikbaarheid levert een intensieve vorm van landfarming het meeste resultaat op, mits dus aan de overige randvoorwaarden voor afbraak wordt voldaan.

Zodra de biobeschikbaarheid is afgenomen tijdens het reinigingsproces, is het voordeliger om over te stappen op een extensieve vorm van landfarming. Ook species die bij aanvang van de reiniging al een lage biobeschikbaarheid hebben, dienen extensief gereinigd te worden. Immers, zolang de biobeschikbaarheid de beperkende factor is, is optimalisering van de overige randvoorwaarden niet zinvol. Doordat extensieve reiniging een relatief groot aantal jaren kan omvatten, kan deze reiniging het beste in combinatie met een andere gebruiksfunctie worden uitgevoerd. Zo wordt voorkomen dat het landfarminggebied alleen voor de reiniging in gebruik is en daarmee ruimte beslaat die ook vereist is voor andere activiteiten.

Ook voor de beoordeling van een gereinigde specie kan de biobeschikbaarheid op langere termijn wellicht een belangrijke rol gaan spelen als in de normering meer rekening met actuele risico's gehouden zou worden. Voor species, waarvan aangetoond is dat het biobeschikbare gehalte van de verontreinigingen zodanig laag is dat geen milieurisico's te verwachten zijn, zou het behandelingsproces dan eerder gestaakt kunnen worden dan op basis van de huidige normering op totaalgehalten.

In andere situaties waarbij met verontreinigde baggerspecie wordt gewerkt, kan de kennis over de biobeschikbaarheid worden ingezet voor de wijze van hanteren en toepassen van het materiaal. Hierbij kan gedacht worden aan direct toepassen, het op de kant zetten van baggerspecie en toepassingen in het kader van Actief Bodembeheer Rivierbed. Ook hier kunnen uit oogpunt van risicominimalisatie (verspreiding, effecten op organismen) keuzes gemaakt worden op basis van de biobeschikbaarheid. Hiermee kunnen afwijkingen van de huidige normering en het anders hanteren van het verontreinigde materiaal onderbouwd worden. De biobeschikbaarheid kan dan de toepassingswijze en de vereiste voorzieningen (afdichting) bepalen.





---

## 4 De toekomst van landfarming

---

### **Afbraak van PAK en minerale olie**

Op basis van de ervaringen op de proeflocatie Kreekraksluizen kan gesteld worden dat het in principe mogelijk is om zowel zoete als zoute baggerspecie met PAK- en/of minerale olie te reinigen door middel van landfarming. De specie dient hiervoor matig zandig tot zandig van karakter te zijn en de metaalgehalten dienen te voldoen aan de concentraties zoals genoemd in het Bouwstoffenbesluit. Het onderzoek heeft aangetoond dat het verwijderingsrendement van PAK en minerale olie tussen 70 en 90% ligt. Uit het onderzoek op Kreekraksluizen is gebleken dat het reinigen van sterk verontreinigde specie niet langer hoeft te duren dan het reinigen van minder verontreinigde specie. Het bleek mogelijk om binnen één tot drie jaar een speciekwaliteit voor de behandelde monsters te bereiken die voldoet aan de samenstellingswaarden voor PAK van het Bouwstoffenbesluit. Het verloop van de PAK-afbraak is binnen een zekere marge voorspelbaar. Op basis van de ervaringen met de specie uit de Geulhaven lijkt het erop dat het bereiken van de streefwaarde voor PAK minimaal een tiental jaren vereist.

Voor species verontreinigd met minerale olie ligt de periode tot het voldoen aan het Bouwstoffenbesluit in de orde grootte van vier tot tien jaar, met uitzondering van extreem verontreinigde species (zoals de specie van Petroleumhaven). Bij species met een gecombineerde verontreiniging van PAK en minerale olie zal minerale olie dus vaak de bepalende factor zijn voor het al dan niet voldoen aan het Bouwstoffenbesluit.

De hiervoor genoemde perioden gelden wanneer aan de randvoorwaarden voor afbraak wordt voldaan. Onder die voorwaarden is het perspectief wellicht totale reiniging van met PAK en minerale olie verontreinigde specie, mits voldoende tijd voor reiniging beschikbaar is.

### **Selectie van species en management van landfarms**

De potentiële afbraak van PAK, en wellicht in de toekomst ook van minerale olie, kan met behulp van chemische technieken, zoals azijnzuur-extractie en Tenaxanalyse, worden bepaald. Hierdoor kunnen op voorhand species worden geselecteerd om te reinigen door middel van intensieve of extensieve landfarming. Het management van een landfarm kan gedurende de reinigingsperiode worden aangepast op basis van de gemeten biobeschikbare fractie. Indien een langdurige (voortzetting van de) reiniging via extensieve landfarming noodzakelijk blijkt, zal vanuit oogpunt van ruimtebenutting gestreefd moeten worden naar een combinatie van verschillende gebruiksfuncties (bijvoorbeeld door combinatie met teelt voor energie uit biomassa).

### **Risico's tijdens en na behandeling van specie**

De bepaling van de biobeschikbaarheid met behulp van chemische technieken leidt tot een indicatie over de mogelijke risico's van effecten op organismen en verspreiding. Echter, deze informatie is vooralsnog onvoldoende om deze risico's goed in te schatten. De relatie tussen de gemeten biobeschikbaarheid en effecten moet nog beter worden onderbouwd. Daarom zijn bioassays en bioaccumulatiemetingen gewenst om de actuele risico's van het behandelde materiaal tijdens en na de reiniging te bepalen. Indien via deze biologische technieken voldoende zekerheid is verkregen over de risico's van het behandelde materiaal, kan op basis van de afwezig-

### **Combinatie van landfarming van baggerspecie met andere functies**

Landfarming kan gaan gelden als een positief element in de ruimtelijke planning. In plaats van een "probleemgebied" kan een extensieve landfarm beschouwd worden als een gebied met goede mogelijkheden voor bijvoorbeeld natuurontwikkeling of energieteelt.

Op de Oostwaardhoeve in de provincie Noord-Holland wordt bijvoorbeeld geëxperimenteerd met de combinatie van landfarming en de teelt van biomassa voor energie-opwekking. Naast onderzoek naar de technische mogelijkheden en de invloed van wilgen op de reiniging, wordt aandacht besteed aan de risico's.



*Na oogsten van de wilgenbiomassa en voor aanbrengen van baggerspecie*



*Aanvoer van verontreinigde baggerspecie op het veld met wilgenstobben*



*Biomassa op de baggerspecie*

---

heid van onaanvaardbare risico's besloten worden om de reiniging te beëindigen. Toepassing van dergelijk materiaal is echter onder de huidige wet- en regelgeving niet mogelijk als niet aan de vereisten daarvan worden voldaan.

Verspreiding van verontreinigingen door uitspoeling vindt niet plaats als een landfarm goed functioneert. De eventuele risico's voor verspreiding kunnen verder worden beperkt door er voor te zorgen dat de verontreiniging adsorbeert in de bodem. Dit kan worden bevorderd door aanwezigheid van voldoende organische stof in de grond onder de baggerspecie. **PAK** en minerale olie adsorberen namelijk zeer goed aan organische stof. Het mengen van turf of compost met de ondergrond is een goed alternatief om verspreidingsrisico's te voorkomen indien onvoldoende organische stof in de ondergrond aanwezig is. Bovendien is dit in financieel opzicht gunstiger dan toepassing van HDPE-folie.

#### **Belemmeringen en risico's van landfarming**

Naast de positieve effecten van landfarming dienen ook de mogelijke belemmeringen of nadelen in de gaten gehouden te worden.

Het energiegebruik van landfarming is laag, maar het ruimtebeslag hoog. Dat ruimtebeslag vindt plaats over een langere periode. Dit kan op gespannen voet staan met andere gebruiksfuncties van grond in het dichtbevolkte Nederland. Dit kan worden gecompenseerd door landfarming te combineren met een nuttig gebruik, zoals energieteelt (wilgen) of natuurontwikkeling. Nuttig gebruik van de bodem kan samengaan met het opnieuw (multi)functioneel maken van de verontreinigde grond. Het resulteert bovendien in opbrengsten en drukt dus de kosten. Daarnaast heeft een nuttig gebruik een positief effect op de belevingswaarde van de landfarm. Het bevordert de maatschappelijke acceptatie. Een ander voordeel is dat de beschikbare tijd voor reiniging toeneemt. Dit geeft de mogelijkheden om verder te extensiveren, bijvoorbeeld stimulatie van ontwatering door beplanting.

Doordat een landfarm, als niet-hermetisch afgesloten ruimte, onderdeel uitmaakt van het leef- en fourageergebied van organismen, moet gekeken worden naar de risico's die de verontreinigde specie kan opleveren. Reiniging van baggerspecie vanwege ongewenste effecten voor watersystemen zou immers niet mogen leiden tot ongewenste effecten in de nabijheid van de landfarm.

Behalve de gehalten van verontreinigingen als **PAK** en minerale olie kan het sulfaatgehalte van gereinigde specie een probleem vormen indien niet wordt voldaan aan de huidige norm van het Bouwstoffenbesluit. Voor sulfaat wordt wellicht de komende tijd gekeken naar mogelijke aanvullende criteria in het kader van het Bouwstoffenbesluit. Die criteria zouden in sommige gevallen de toepassing van dergelijke species mogelijk maken.

#### **Invloed nieuwe ontwikkelingen op praktijkmogelijkheden**

Mogelijke toekomstige aanvullingen op het Bouwstoffenbesluit kunnen leiden tot een gemakkelijkere acceptatie van gereinigde baggerspecie als bouwstof. Hiermee kan de toepassing van landfarming in de praktijk een extra impuls krijgen, omdat de produkten sneller toegepast kunnen worden. Momenteel is nog onduidelijk of en wanneer deze aanvullingen tot stand komen en wat ze in houden.

## Maatschappelijke acceptatie

Zodra een stuk land als potentiële landfarmlocatie bestempeld wordt, is de kans groot dat het NIMBY-effect opduikt (Not In My BackYard). Niemand is tegen landfarming zolang het maar uit de buurt is. Het verdient aanbeveling bij het maken van plannen voor een landfarm aandacht te schenken aan de maatschappelijke acceptatie. De acceptatie is geen constante in de tijd. Hij kan sterk negatief zijn bij aanvang van de extensieve landfarm en afnemen tot nul en vervolgens positief worden wanneer de verontreiniging is opgeruimd.

De maatschappelijke acceptatie kan worden bevorderd door:

- aan te tonen dat de risico's beperkt en beheersbaar zijn;
- landfarming te combineren met energieteelt of natuurontwikkeling;
- de landfarm te vestigen in de nabije omgeving van de locatie waar de verontreinigde baggerspecie is "gewonnen" (geen gesleep met baggerspecie);
- in een **zo** vroeg mogelijk stadium middels een zogenoemd open planproces met omwonenden en belanghebbenden in gesprek te treden, waarbij de milieuwinst wordt benadrukt evenals de beheersbaarheid van de risico's.

---

Momenteel wordt er gewerkt aan een nieuwe normering, die meer risico-gericht zal zijn. Dit kan betekenen dat op termijn niet zozeer gekeken zal worden naar de totaalgehalten van een specie om deze als gereinigd en toepasbaar te verklaren, maar naar de resterende risico's van een specie. Met andere woorden: een specie met een gering biobeschikbaar gehalte aan verontreinigingen en/of geringe biologische effecten (in relevante bio-assays of in de veldsituatie) zou dan als voldoende gereinigd beschouwd kunnen worden, terwijl het totaalgehalte van de verontreinigingen niet voldoet aan de nu daarvoor geldende norm. Een dergelijke beleidswijziging zou tegemoet komen aan het pleidooi in dit rapport.

---

## 5 Hoe verder?

---

De regering heeft onlangs landfarming genoemd als één van de kansrijke technieken voor de verwerking van verontreinigde baggerspecie. Door verwerking van baggerspecie is er minder stortcapaciteit nodig in de vorm van grootschalige depots. Hoewel in de afgelopen tien jaar veel kennis en ervaring is opgedaan met landfarming, zijn er nog enkele belangrijke zaken die verder uitgewerkt moeten worden voordat landfarming als reinigingstechniek op grotere schaal in de praktijk kan worden toegepast:

- onderzoek naar biobeschikbaarheid in relatie tot afbraak en risico's (verspreiding, toxiciteit, bioaccumulatie, inclusief vaststelling van kritische grenzen voor doorvergiftigingsrisico's);
- evaluatie van de risico's van landfarming voor het terrestrische milieu, zowel op als rond een landfarmlocatie.

Daarnaast zijn de volgende punten van belang:

- verder onderzoek naar de bepaling van de biobeschikbaarheid van minerale olie in relatie tot afbraak en risico's;
- onderzoek naar het effect van toepassen van bepaalde gewassen op de snelheid van bodemrijping en daarmee de afbraaksnelheid van de verontreinigingen (bijvoorbeeld de toepassing van riet);
- onderzoek naar de mogelijkheden van landfarming in combinatie met andere gebruiksfuncties, zoals energieteelt, natuurontwikkeling, recreatie en waterbergingscapaciteit;
- onderzoek naar de mogelijkheid tot het landfarming van tevens met metalen verontreinigde specie door het toepassen van immobilisatietechnieken;
- methodiekontwikkeling voor de inschatting van afbraaksnelheden en afvlakkingsniveau's van de afbraakcurve voor PAK op lange termijn.

Momenteel bevinden zich op de proefvelden bij Kreekraksluizen vier baggerspecies met sterk uiteenlopende eigenschappen in verschillende stadia van extensieve landfarming. Door de langdurige monitoring gedurende de uitvoering van het landfarming kan de proeflocatie als uniek voor Nederland worden getypeerd. Zowel nationaal als internationaal zijn de verkregen datasets zeer waardevol te noemen. Vanwege de aanwezigheid van zowel (inmiddels) licht als zwaar verontreinigde baggerspecie kan voortzetting van het onderzoek op de proeflocatie Kreekraksluizen ook de komende jaren een belangrijke rol spelen bij beleidsvoorbereidingen -ontwikkeling, verwerking en het beheer op het gebied van verontreinigde baggerspecie respectievelijk grond.

---

# Literatuur<sup>1</sup>

---

AKWA (2000). Verwerking van baggerspecie. Basisdocument voor besluitvorming. AKWA-rapport 00.006.

Anonymus (1999). Handboek Bodemsaneringstechnieken. Aflevering 14. Deel H, behandelen en bestemmen van baggerspecie.

Doddema, H.J., M.P. Cuypers, G.B. Derksen, J.T.C. Grotenhuis, M.P. Harkes, J. Harmsen, W.H. Rulkens en A.J. Zweers (1998). Karakterisering van met PAK verontreinigde baggerspecie voor biologische reiniging. STOWA-rapport 98-32.

Harmsen, J., H.J.J. Wieggers, J.J.H. van den Akker, O.M. van Dijk-Hooyer, A. van den Toorn and A.J. Zweers (1997b). Intensive and Extensive Treatment of Dredged Sediments on Landfarms. In: In Situ and On-Site Bioremediation: Volume 2: pp. 153-158. Battelle Press, Columbus.

Harmsen, J. en M. Ferdinandy (1999). Measured bioavailability as a tool for managing clean-up and risks on landfarms. In: A. Leeson and B.C. Alleman (eds.), Bioremediation Technologies for Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Compounds, 57-62. Battelle Press, Columbus.

Harmsen, J., A. van den Toorn, O.M. van Dijk-Hooyer, H.J.J. Wieggers en A.J. Zweers (2000). Haalbare productkwaliteit en restricties bij extensieve landfarming van baggerspecie, Alterra-rapport 044.

Lourens, J.M., L.R.M. de Poorter, J.W. Dulfer en M. Ferdinandy (2000). Effecten van minerale olie in zoute sedimenten. Onderzoek t.b.v. de afleiding van risicogrenzen voor ecosystemen. RIKZ-rapport 2000.035 / RIZA-rapport 2000.029.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (1997). Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems, Eindrapport POSW-II, RIZA rapport 97026.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1998). Vierde Nota Waterhuishouding, Regeringsbeslissing.

---

<sup>1</sup> Deze literatuurlijst omvat een selectie van alle geproduceerde rapporten over het onderzoek op de proflokatie Kreekraksluizen en enige aanverwante literatuur.

---

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rapporten van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems<sup>2</sup>:

*POSW Fase I*

Deel 10: Landfarming van baggerspecie, *DHV*, rapport 91063, 1997

*POWS Fase II*

Deel 2: Landfarming van baggerspecie: laboratorium- en praktijkonderzoek, Eindrapport, *DHV*; RIZA rapport 95013, 1995

Deel 20: Biologische technieken voor reiniging van baggerspecie, Basisrapport, RIZA rapport 98011, 1999

Deel 21: immobilisatietechnieken voor verontreinigde baggerspecie, Eindrapport, RIZA rapport 98012, 1998

Deel 27: Bioassays: het orakel van de ecotoxicologie?, *AquaSense*, RIZA rapport 97048, 1997

Deel 32: intensieve landfarming van verontreinigde baggerspecie: ontwatering en afbraak, *DLO Staring Centrum*, RIZA rapport 97071, 1997

Deel 33: Mogelijkheden van extensieve landfarming voor biologische reiniging van baggerspecie, *DLO Staring Centrum*, RIZA rapport 97072, 1997

Deel **34**: Biologische technieken voor reiniging van baggerspecie, Eindrapport, RIZA rapport 97083, 1997

Steenwijk, J.M. van, G. Cornelissen en Th.E.M. ten Hulscher (1999). Omgaan met verdelingscoëfficiënten voor organische verbindingen, RIZA nota 99.023/ AKWA nota 99.004.

.....  
2 Een volledige lijst van POSW-rapporten kan worden aangevraagd bij het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.