

NOBIS 95-1-44  
PROEFSANERING MEETSTATION 1, NAM  
SCHOONEBEEK

Fase 2: Interpretatie en rapportage

ir. L. Brouwer (IWACO B.V.)  
ing. G.C. van den Broek Humphrey (IWACO B.V.)  
ir. C.M. Breukink (IWACO B.V.)  
ir. H. Keidel (BLGG)  
dr.ir. A.M.T. Bongers (LUW)  
dr.ir. W. Ma (DLO-IBN)  
P. Meuldijk (NAM B.V.)

oktober 1998

Gouda, CUR/NOBIS

### **Auteursrechten**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CUR/NOBIS.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek - Fase 2: Interpretatie en rapportage", oktober 1998, CUR/NOBIS, Gouda."

### **Aansprakelijkheid**

CUR/NOBIS en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en CUR/NOBIS sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens CUR/NOBIS en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

### **Copyrights**

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of CUR/NOBIS.

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"Remediation Trial at Nam's Monitoring Station No. 1 in Schoonebeek - Phase 2: Interpretation and report", October 1998, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands."

### **Liability**

CUR/NOBIS and all contributors to this publication have taken every possible care by the preparation of this publication. However, it can not be guaranteed that this publication is complete and/or free of faults. The use of this publication and data from this publication is entirely for the user's own risk and CUR/NOBIS hereby excludes any and all liability for any and all damage which may result from the use of this publication or data from this publication, except insofar as this damage is a result of intentional fault or gross negligence of CUR/NOBIS and/or the contributors.

**Titel rapport**

Proefsanering Meetstation 1, NAM  
Schoonebeek  
Fase 2: Interpretatie en rapportage

**CUR/NOBIS rapportnummer**

95-1-44

**Project rapportnummer**

95-1-44 fase 2

---

**Auteur(s)**

ir. L. Brouwer  
ing. G.C. van den Broek Humphrey  
ir. C.M. Breuking  
ir. H. Keidel  
dr.ir. A.M.T. Bongers  
dr.ir. W. Ma  
P. Meuldijk

**Aantal bladzijden**

**Rapport:** 30  
**Bijlagen:** 37

---

**Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)**

IWACO B.V. (ir. L. Brouwer, 010-2865647)  
NAM B.V. (P. Meuldijk, 0524-539307)  
Landbouw Universiteit Wageningen (dr.ir. A.M.T. Bongers, 0317-482197)  
DLO-IBN (dr.ir. W. Ma, 0317-477700)

---

**Uitgever**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Samenvatting**

Het NOBIS-project 'Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek' richt zich op de afbraaksnelheid van minerale olie in grond onder 'in situ landfarm-omstandigheden'. Gekeken wordt naar de relatie tussen biologische afbraaksnelheid en ecologisch herstel. Er worden verschillende praktijkomstandigheden toegepast, waarbij onderscheid is gemaakt in mate van homogenisatie, toevoegingen en olieconcentraties. Voor meting van de aan afbraak gerelateerde parameters O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> worden nieuwe veldmeettechnieken toegepast.

Voor uitvoer van het project is gekozen voor een locatie van de NAM (MS1, Schoonebeek). Op de locatie zijn negen proefvelden aangelegd. Tevens zijn er 3 blanco's aangelegd om de resultaten goed te kunnen interpreteren.

Tijdens het onderzoek worden 8 activiteiten onderscheiden, te weten:

1. metingen olieconcentraties;
  2. veldmetingen landfill analyser (LFA);
  3. veldmetingen elektroden;
  4. biomonitoring nematoden;
  5. biomonitoring wormen;
  6. biomonitoring vegetatie-ontwikkeling;
  7. meting biobeschikbaarheid;
  8. uitwerking en implementatie van fytoremediatie (PhyRe).
- 

**Trefwoorden****Gecontroleerde termen:**

ecosystemen, landfarming, olie, veldonderzoek

**Vrije trefwoorden:****Titel project**

Proefsanering Meetstation 1, NAM  
Schoonebeek

**Projectleiding**

IWACO B.V.  
(ir. L. Brouwer, 010-2865647)

---

Dit rapport is verkrijgbaar bij:  
CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda

**Report title**

Remediation Trial at Nam's Monitoring  
Station No. 1 in Schoonebeek  
Phase 2: Interpretation and report

**CUR/NOBIS report number**

95-1-44

**Project report number**

95-1-44 phase 2

---

**Author(s)**

ir. L. Brouwer  
ing. G.C. van den Broek Humphrey  
ir. C.M. Breuking  
ir. H. Keidel  
dr.ir. A.M.T. Bongers  
dr.ir. W. Ma  
P. Meuldijk

**Number of pages**

**Report:** 30

**Appendices:** 37

---

**Executive organisation(s) (Consortium)**

IWACO B.V. (ir. L. Brouwer, 010-2865647)  
NAM B.V. (P. Meuldijk, 0524-539307)  
Landbouw Universiteit Wageningen (dr.ir. A.M.T. Bongers, 0317-482197)  
DLO-IBN (dr.ir. W. Ma, 0317-477700)

---

**Publisher**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Abstract**

The NOBIS project 'Remediation Trail at NAM's Monitoring Station No. 1 in Schoonebeek' focuses on the rate of degradation of mineral oil in the soil under 'in situ land farm conditions'. The relationship is examined between biological rate of degradation and ecological restoration. Different sets of natural conditions are applied whereby distinctions are made with respect to the measure of homogeneity, additives and oil concentrations. Novel methods for obtaining field measurements are used to measure the parameters O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>, which are related to degradation.

A location of the NAM (Netherlands Petroleum Company), Monitoring Station No. 1 in Schoonebeek, was selected for carrying out the project. At the location nine test areas were laid out. In addition three (untreated) reference areas were laid out to help with the interpretation of the results.

During the investigation 8 activities were distinguished:

1. measurements of oil concentrations;
  2. field measurements with the landfill analyser (LFA);
  3. field measurements with electrodes;
  4. biological monitoring using nematodes;
  5. biological monitoring using worms;
  6. biological monitoring using development of vegetation;
  7. measuring biological availability;
  8. developing and implementing phytoremediation (PhyRe).
- 

**Keywords****Controlled terms:**

ecosystems, field investigation, landfarming, oil

**Uncontrolled terms:****Project title**

Remediation Trial at NAM's Monitoring  
Station No. 1 in Schoonebeek

**Projectmanagement**

IWACO B.V.  
(ir. L. Brouwer, 010-2865647)

---

This report can be obtained by: CUR/NOBIS, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands  
Dutch Research Programme In-Situ Bioremediation (NOBIS)

## VOORWOORD

Het consortium, dat bestaat uit IWACO B.V. (penvoerder), NAM B.V. (eindgebruiker), LUW (kennisinstituut) en DLO-IBN (kennisinstituut), heeft in 1995 de krachten en kennis gebundeld om onderzoek te verrichten naar de afbraak van minerale olieverontreinigingen in grond.

De werkzaamheden worden uitgevoerd in een in situ landfarm, met als doel de kwalitatieve relatie tussen biologische afbraaksnelheid en ecologisch herstel te bepalen bij verschillende praktijkomstandigheden. Op een proeflocatie zijn hiertoe negen meetvelden en drie blanco's aangebracht, waar gedurende circa drie jaar volgens een intensief meetprogramma metingen zullen worden verricht.

Voor de uitvoering van het project is gekozen voor een locatie van de NAM. Het betreft de locatie Meetstation 1 te Schoonebeek. De grond op de locatie was - voordat het project in uitvoering ging - verontreinigd met minerale olie in concentraties variërend in de orde van grootte van 500 mg/kgds tot bijna 10.000 mg/kgds.

Dit rapport is het resultaat van de samenwerking tijdens het tweede jaar en beschrijft de resultaten van de metingen.

oktober 1998

# INHOUD

		SAMENVATTING	vi
		SUMMARY	x
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
Hoofdstuk	2	KORTE BESCHRIJVING VAN HET PROJECT	3
Hoofdstuk	3	DOEL VAN HET ONDERZOEK	5
Hoofdstuk	4	MEETVELDEN	7
Hoofdstuk	5	UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN FASE 2 EN MEETRESULTATEN	9
	5.1	Olieconcentraties	9
	5.1.1	Activiteit 1: Olieconcentraties	9
	5.2	Veldmetingen	10
	5.2.1	Activiteit 2: Landfill analyser (LFA)	10
	5.2.2	Activiteit 3: Elektrode	10
	5.3	Biomonitoring	11
	5.3.1	Activiteit 4: Nematoden	11
	5.3.2	Activiteit 5: Wormen	12
	5.3.3	Activiteit 6: Vegetatie-ontwikkeling	12
	5.4	Biobeschikbaarheid	14
	5.4.1	Activiteit 7: Biobeschikbaarheidstoets	14
	5.5	Phytoremediatie	15
	5.5.1	Activiteit 8: Phytoremediatie	15
Hoofdstuk	6	INTERPRETATIE MEETRESULTATEN FASE 2	17
	6.1	Olieconcentraties	17
	6.1.1	Activiteit 1: Olieconcentraties	17
	6.2	Veldmetingen	20
	6.2.1	Activiteit 2: Landfill analyser (LFA)	20
	6.2.2	Activiteit 3: Elektrode	21
	6.3	Biomonitoring	22
	6.3.1	Activiteit 4: Nematoden	22
	6.3.2	Activiteit 5: Wormen	23
	6.3.3	Activiteit 6: Vegetatie-ontwikkeling	24
	6.4	Biobeschikbaarheid	26
	6.4.1	Activiteit 7: Biobeschikbaarheidstoets	26
	6.5	Phytoremediatie	26
	6.5.1	Activiteit 8: Phytoremediatie	26
Hoofdstuk	7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	27
	7.1	Activiteit 1: Metingen olieconcentraties	27
	7.2	Activiteit 2: Metingen met de landfill analyser (LFA)	27
	7.3	Activiteit 3: Metingen met de elektrode	27
	7.4	Activiteit 4: Nematodenonderzoek	28

	7.5	Activiteit 5: Wormenonderzoek	28
	7.6	Activiteit 6: Vegetatie-ontwikkeling	28
	7.7	Activiteit 7: Biobeschikbaarheid	29
	7.8	Activiteit 8: Phytoremediatie (en risicostudie)	29
Bijlage	A	RESULTATEN VAN DE TELLINGEN VAN DE WORMENPOPULATIE	
Bijlage	B	LITERATUURSTUDIE PHYTOREMEDIATIE VAN OLIE VERONT- REINIGDE GRONDEN	
Bijlage	C	RAPPORTAGE (WERKDOCUMENT) IN SITU REINIGING VAN GRONDEN DIE MET OLIE VERVUILD ZIJN	

## SAMENVATTING

### **Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek**

In 1996 is begonnen met het NOBIS-project 'Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek'. Het project wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen NAM, DLO-IBN, LUW en IWACO

#### *Concept*

Het NOBIS-project 'Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek' richt zich op de afbraaksnelheid van minerale olie in grond onder 'in situ landfarm-omstandigheden'. Gekeken wordt naar de relatie tussen biologische afbraaksnelheid en ecologisch herstel. Er worden verschillende praktijkomstandigheden toegepast, waarbij onderscheid is gemaakt in mate van homogenisatie (grof, goed en zeer goed), toevoegingen (niets, kunstmest en organische stof) en olieconcentraties. Voor meting van de aan afbraak gerelateerde parameters O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> worden nieuwe veldmeettechnieken toegepast.

#### *Locatie*

Voor uitvoer van het project is gekozen voor een locatie van de NAM. Het betreft de locatie Meetstation 1 te Schoonebeek. Op de locatie zijn negen proefvelden aangelegd die een onderscheid kennen in mate van homogenisatie, toevoegingen en minerale olieconcentratie. Tevens zijn er 3 blanco's aangelegd om de resultaten goed te kunnen interpreteren.

#### *Activiteiten*

Tijdens het onderzoek worden 8 activiteiten onderscheiden, te weten:

1. metingen olieconcentraties;
2. veldmetingen landfill analyser (LFA);
3. veldmetingen elektroden;
4. biomonitoring nematoden;
5. biomonitoring wormen;
6. biomonitoring vegetatie-ontwikkeling;
7. meting biobeschikbaarheid;
8. uitwerking en implementatie van fytoremediatie (PhyRe).

#### *Olieconcentraties*

Gedurende de looptijd van de proef zijn met een vooraf vastgestelde tijdsinterval olieconcentraties in de grond bepaald met als doel het bepalen van de afbraaksnelheid van de minerale olie in de meetvelden. De gemeten concentraties worden vergeleken met de concentraties die tijdens eerdere meetronden zijn gemeten. Ten behoeve van een goede vergelijkbaarheid en betrouwbaarheid is de methode statistisch onderbouwd.

De resultaten laten voor alle meetvelden een duidelijke afname van de olieconcentraties zien. Er is geen duidelijk patroon te herkennen tussen de grootte van de afbraak, de bewerking van de velden, de toevoeging van stoffen of het verontreinigingsniveau. Het lijkt erop dat de verschillende voorbewerkingen en toevoegingen geen significante invloed op de afbraaksnelheid hebben.

#### *Veldmetingen landfill analyser en elektrode*

De veldmetingen met de landfill analyser en de elektroden worden toegepast met als doel het gehalte van de aan biologisch afbraak gerelateerde parameters O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> in het veld te meten. Hiermee worden waarden verzameld die worden gerelateerd aan de afbraaksnelheid van de



minerale olie in grond. De LFA meet de parameters  $O_2$  en  $CO_2$  in de bodemlucht, terwijl met de elektrode de parameter  $O_2$  in het bodemvocht wordt gemeten.

Uit de resultaten van de veldmetingen blijkt dat, gezien de gemeten concentraties  $O_2$  tot een diepte van circa 25 tot 50 cm, er naar verwachting sprake is van voldoende aërobe omstandigheden voor afbraak van minerale olie. Gezien de verhouding tussen  $O_2$  en  $CO_2$  kan er kennelijk nog steeds voldoende indringing van buitenlucht in de bovenste 0,5 m plaatsvinden. De gemeten afbraak bevestigt dit. Op een diepte groter dan 50 cm geldt dit niet meer.

#### *Biomonitoring nematoden, wormen en vegetatie-ontwikkeling*

Biomonitoring wordt uitgevoerd met als doel het ecologisch herstel van de met olie verontreinigde bodem te beschrijven. Daarbij wordt aandacht besteed aan twee relevante onderdelen van het bodem-ecosysteem: de bodembioïologie en de vegetatie. Bij vegetatie wordt vooral gedacht aan de ontwikkeling van de vegetatie en het belang van de worteldiepte; bij bodembioïologie betreft het nematoden en wormen.

#### *Nematoden*

Om de samenstelling en het herstel van de nematodenfauna in de verontreinigde meetvelden te bepalen, is een aantal bemonsteringsronden gehouden. Hierbij zijn grondmonsters uit de bovenste 50 cm genomen. Na elke bemonsteringsronde heeft het BLGG een nematodenanalyse uitgevoerd. Op basis van de resultaten van de nematodenanalyses zijn de volgende trends zichtbaar:

- De minerale olieverontreiniging heeft een negatief effect op de nematoden. Bij toenemende concentraties neemt de nematodendichtheid af.
- De bewerkingen van de velden hebben invloed op de nematodenfauna. Compost heeft bijvoorbeeld een positief effect op de diversiteit.
- De nematodenfauna lijkt zich te herstellen.
- Er is een aantal trends onderkent (dichtheden, Maturity Icapellendex, cp-driehoek en soorten-samenstelling) die goede kansen bieden om te worden gebruikt als 'barometer' voor het ecologisch herstel.

#### *Wormen*

Om de overleving, de ontwikkeling en het verspreidingsgedrag te bepalen van de wormenpopulatie in de meetvelden zijn per meetveld 3 soorten regenwormen uitgezet. Per soort zijn er 100 stuks centraal in de meetvelden geïnoculeerd. Het betreft de soorten *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus* en *Apporrectodea caliginosa*. Er is reeds 1 meetronde uitgevoerd, waarbij uit elk meetveld volgens een vast patroon graafmonsters zijn genomen. In grondmonsters zijn tellingen uitgevoerd om de verspreiding van de regenwormen te volgen.

Naast de veldproeven is ook een laboratoriumassay met regenwormen uitgevoerd. Aan een aantal toetsgronden (met een minerale olieconcentratie variërend tussen 240 en 8800 mg/kgds) zijn regenwormen toegevoegd. Vervolgens zijn metingen verricht aan de overleving, groei en reproductie van regenwormen na een incubatietijd van 4 weken. De resultaten zijn getoetst aan een IBN-standaardgrond. Ten opzichte van de referentiegrond vertoonden de wormen gemiddeld een lagere performance in de met minerale olie verontreinigde grond, waarbij de laagste reproductie werd gemeten in de grond met het hoogste gehalte aan minerale olie. De resultaten van de bioassay wijzen erop dat minerale olie een nadelig effect kan uitoefenen op de groei en reproductie van regenwormen. Het effect is afhankelijk van de soort.

### *Vegetatie-ontwikkeling*

Om de vegetatie-ontwikkeling te meten is de volgende bemonsteringsmethode ontwikkeld:

- per meetveld worden random (werpen ring) 2 locaties geselecteerd;
- vervolgens worden 2 rechthoeken van 0,5 bij 1,0 meter afgezet;
- het gras wordt bemonsterd door het af te knippen tot zo dicht mogelijk op het maaiveld;
- het gras wordt per rechthoek verzameld in een zak;
- het verzamelde gras wordt gedroogd in een oven voor een periode van tweemaal 24 uur;
- het gedroogde gras wordt gewogen en de dominantie van de gewassen wordt bepaald.

Naast de gewasopbrengst zal ook de ontwikkeling van de plantenwortels worden onderzocht. Hierbij zullen dwarsprofielen worden gegraven, waarmee een duidelijk inzicht wordt verkregen in de ontwikkeling van de plantenwortels in de diepte. Omdat dit onderzoek in deze fase van het project de meetvelden teveel zal verstoren, zal dit aan het einde van het project worden uitgevoerd.

### *Biobeschikbaarheid*

De biobeschikbaarheidstoets wordt uitgevoerd met als doel in het laboratorium de fractie minerale olie te meten die beschikbaar is voor biologische afbraak.

In het kader van dit project is een methode ontwikkeld om de biobeschikbaarheid te meten. Het betreft een ééntraps schudtest, waarbij  $\text{CaCl}_2$  als extractiemiddel wordt toegepast. Er wordt gedurende 16 uur geschud en de grond wordt gehomogeniseerd met een Hobart-menger. Vervolgens wordt de minerale olieconcentratie in het eluaat gemeten.

De resultaten laten tot nu toe zien dat de percentuele beschikbaarheid van minerale olie totaal varieert tussen de 0,1 en 3 %. Uit het onderzoek blijkt dat de meerderheid van de beschikbare olie wordt gevormd door de deelfracties met de ketenlengten tussen de  $\text{C}_{20}$  en  $\text{C}_{34}$ . Tevens is geconstateerd dat de beschikbaarheid van minerale olie voor biologische afbraak gemeten in de tijd afneemt.

### *Phytoremediatie*

De werkzaamheden ten aanzien van phytoremediatie worden uitgevoerd met als doel te bepalen of biologische afbraak in grond, verontreinigd met zware minerale olie, sneller verloopt en tot lagere eindconcentraties leidt, als de groei van (specifieke) gewassen wordt gestimuleerd. De volgende werkzaamheden zijn tijdens het onderzoek uitgevoerd, te weten:

- (I) uitvoeren van een literatuurstudie;
- (II) organiseren van een workshop.

Uit de literatuurstudie blijkt dat phytoremediatie veel wordt genoemd in recente literatuur. Resultaten van proeven met grond, verontreinigd met zware olie, zijn echter niet aangetroffen in de literatuur. Ook over de vraag of opname van olie in de planten plaatsvindt, is in de recente literatuur geen expliciete informatie te vinden.

Uit de eerder door consortiumleden uitgevoerde proeven en het parallel aan dit onderzoek opgestarte onderzoek (Extensieve herontwikkeling NAM Schoonebeek), blijkt dat het effect van olie op de gewassen erg klein is; derving vindt in beperkte mate plaats. Andere proeven geven aan dat de planten een positief effect op de afbraak hebben. Opname van olie in gewassen treedt naar verwachting niet op en risico's zijn zeer waarschijnlijk afwezig.

### *Conclusies*

De resultaten tot nu toe wijzen erop dat de afbraak van minerale olie in de zone van 0 tot 50 cm-mv substantieel is. De afbraak van minerale olie lijkt onafhankelijk te zijn van de bewerking van de velden dan wel de toevoeging van kunstmest of compost. Significante verschillen in olieconcentraties per meetveld konden niet worden aangetoond. Op een diepte groter dan 50 cm-mv lijkt afbraak van minerale olie, ten gevolge van een gebrek aan zuurstof, te stagneren.

Minerale olie heeft een negatief effect op de aanwezige organismen in de bodem (nematoden en regenwormen). Naarmate de olieconcentraties afnemen in de tijd lijkt het bodemleven zich te herstellen.

Wat betreft de vegetatie-ontwikkeling lijkt de toevoeging van kunstmest/compost een positieve bijdrage te leveren aan de gewasopbrengst. Homogenisatie van de grond daarentegen lijkt een negatief effect op de vegetatie-ontwikkeling te hebben.

## SUMMARY

### **Remediation Trial at NAM's Monitoring Station No. 1 in Schoonebeek**

The NOBIS project 'Remediation Trail at NAM's Monitoring Station No. 1 in Schoonebeek' was started in 1996. The project is being carried out within the framework of a cooperative agreement between NAM, DLO-IBN, LUW and IWACO.

#### *Concept*

The NOBIS project 'Remediation Trail at NAM's Monitoring Station Number 1 in Schoonebeek' focuses on the rate of degradation of mineral oil in the soil under 'in situ land farm conditions'. The relationship is examined between biological rate of degradation and ecological restoration. Different sets of natural conditions are applied whereby distinctions are made with respect to the measure of homogeneity (coarse, good and very good), additives (nothing, fertilizer and organic material) and oil concentrations. Novel methods for obtaining field measurements are used to measure the parameters O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>, which are related to degradation.

#### *Location*

A location of the NAM (Netherlands Petroleum Company), Monitoring Station No. 1 at Schoonebeek, was selected for carrying out the project. At the location nine test areas were laid out that are characterized by variations in the measure of homogeneity, amount of additives and mineral oil concentration. In addition three (untreated) reference areas were laid out to help with the interpretation of the results.

#### *Activities*

During the investigation 8 activities were distinguished:

1. measurements of oil concentrations;
2. field measurements with the landfill analyser (LFA);
3. field measurements with electrodes;
4. biological monitoring using nematodes;
5. biological monitoring using worms;
6. biological monitoring using development of vegetation;
7. measuring biological availability;
8. developing and implementing phytoremediation (PhyRe).

#### *Oil concentrations*

During the course of the experiment, oil concentrations were measured in the soil at pre-set intervals. The aim was to determine the rate of degradation of the mineral oil in the measurement areas. The concentrations measured are compared with the concentrations that were measured during earlier rounds of measurement. In order to achieve results that are reliable and can be compared with each other meaningfully, the methodology used was analyzed on the basis of statistics.

The results show a clear decrease in the concentration of oil in all the test areas. There is no clear relationship visible between the amount of degradation that occurs and the treatment of the measurement areas, the addition of ingredients or the level of contamination. It seems that the different treatments applied beforehand and the additions do not have a significant influence on the rate of degradation.

#### *Field measurements with landfill analyser and electrode*

The field measurements with the landfill analyser and the electrodes are used with the aim of measuring, under field conditions, the concentration of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>, both of which are related to biological degradation processes. In this way measurements are taken that are analyzed in relation to the rate of degradation in the soil. The LFA measures the parameters O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in the air inside the soil while the electrode measures the parameter O<sub>2</sub> in soil moisture.

In light of the concentrations of O<sub>2</sub> measured up to a depth of 25 to 50 cm, the field measurements demonstrate that conditions are expected to be sufficiently aerobic to allow the degradation of mineral oil in the soil. Taking into consideration the ratio of O<sub>2</sub> to CO<sub>2</sub>, it appears that sufficient oxygen can penetrate from the outside air into the top 0.5 m layer of soil. This is confirmed by the rates of degradation measured. At depths greater than 50 cm, this no longer holds true.

#### *Biological monitoring with nematodes, worms and development of vegetation*

Biological monitoring is carried out with the aim of describing the ecological restoration of the oil-contaminated soil. In doing so, attention is focused on two relevant components of the soil ecosystem: the soil biology and the vegetation. Under 'vegetation' we primarily refer to the development of vegetation and the importance of root depth; under 'soil biology' we refer to nematodes and worms.

#### *Nematodes*

Several rounds of measurements were carried out in order to determine the composition and recovery of the nematode fauna in the contaminated test areas. To this end soil samples were taken from the top 50 cm. After each round of sampling, the BLGG carried out an analysis of the nematodes. Based on the results of the nematode analyses, the following trends were apparent:

- Contamination with mineral oil has a negative effect on nematodes. As concentrations increase, the density of nematodes decreases.
- The manner of treatment of the fields influences the nematode fauna. Compost, for example, has a positive effect on diversity.
- It appears that the nematode fauna does recover.
- A number of trends have been identified (densities, maturity index, cp-triangle [colonizers and persisters] and species diversity) that show promise as indicators of ecological restoration.

#### *Worms*

In order to determine the survival rate, the development and the distribution of the worm population in the measurement areas, 3 species of worms were released per test area. Per species, 100 individuals were released in the centre of each test area. The species involved were *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus* and *Apporrectodes caliginosa*. One round of measurements has already been carried out, whereby soil samples were dug out from each test area according to a fixed pattern. In order to determine the distribution of the worms, counts were done in the soil samples.

In addition to the field experiments, a laboratory assay using worms was also carried out. Earthworms were added to a number of test soils (with mineral oil concentrations varying between 240 and 8800 mg/kg dry matter). Then measurements were done on survival, growth and reproduction of the worms after an incubation period of 4 weeks. The results were compared with those for an IBN standard soil sample. The average results for the worms in the soil contaminated with mineral oil were poorer than in the reference soil. The lowest reproduction was measured in the soil with the highest concentration of mineral oil. The results of the bio-

assay indicate that mineral oil can have a negative effect on the growth and reproduction of earthworms. The effect depends on the species.

#### *Development of vegetation*

In order to measure the development of the vegetation, the following sampling method has been worked out:

- per measurement area, two locations are selected at random (throwing a ring);
- next two rectangles of 0.5 by 1.0 meter are set out;
- the grass is sampled by cutting it as closely as possible to the ground;
- the grass from each rectangle is gathered into a separate sack;
- the grass that is gathered is dried in an oven for a period of twice 24 hours;
- the dried grass is weighed and the relative dominance of the various species is determined.

In addition to the amount of vegetation harvested, the development of the plant roots will also be examined. To do this, cross sections are dug out so that a clear picture is revealed of the development of the roots going downwards. Since carrying out this experiment at this stage of the project would disturb the measurement areas too much, this will be carried out at the end of the project.

#### *Biological availability*

The biological availability test is carried out in order to measure, in the laboratory, the mineral oil fraction that is biodegradable.

In the framework of this project a method was developed for measuring the biological availability. It involves a one step shaking test with  $\text{CaCl}_2$  being used as an extracting agent. The shaking is carried out for 16 hours and the soil is homogenized with a Hobart-mixer. The mineral oil concentration is then measured in the eluate. The results until now indicate that the percentage of total mineral oil that is available varies from 0.1 to 3 %. The experiments indicate that the major part of the available oil is composed of the sub-fractions with chain lengths between  $\text{C}_{20}$  and  $\text{C}_{34}$ . Also, the biodegradability of mineral oil appears to decrease with time.

#### *Phytoremediation*

The activities concerning phytoremediation were carried out with the aim of determining whether biological degradation in soil that is contaminated with heavy mineral oil, proceeds faster and leads to lower final concentrations if the growth of (specific) plants is stimulated. The following activities were carried out during the investigation:

- (I) a literature search;
- (II) organizing a workshop.

The literature search uncovered many references to phytoremediation in the recent literature. However, results of experiments with soil contaminated with mineral oil were not found in the literature. There is also no explicit information available in the recent literature on the question of whether oil is taken up by plants.

The experiments carried out earlier by the co-operating members as well as a parallel investigation (Extensive redevelopment NAM Schoonebeek) both indicate that the effect of oil on plants is very small; negative effects are limited. Other experiments indicate that plants have a positive effect on degradation. Uptake of oil by plants probably does not take place and it is very probable that risks are not present.

### *Conclusion*

The results until now indicate that the degradation of mineral oil in the zone from 0 to 50 cm under ground level is substantial. The degradation of mineral oil does not seem to be influenced by the treatment of the test areas or the addition of fertilizer or compost. Significant differences in oil concentration per measurement area could not be found. At depths greater than 50 cm under the ground, the degradation of mineral oil appears to stagnate due to the absence of oxygen.

Mineral oil has a negative effect on organisms present in the soil (nematodes and earthworms). As the oil concentration decreases over time life in the soil seems to recover.

As far as the development of vegetation is concerned, the addition of fertilizer/compost seems to have a positive influence on plant yield. Conversely, the more homogeneous the soil is, the slower the development of the vegetation will proceed.

## HOOFDSTUK 1

### **INLEIDING**

In 1996 is begonnen met fase 1 van het NOBIS-project 'Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek'. Voor details hierover wordt verwezen naar CUR/NOBIS-rapport 95-1-44 "Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek - Fase 1: Deelresultaten 1 t/m 4 en eindresultaat" (verschenen in september 1997).

In navolging op fase 1 is fase 2 ingezet. Fase 2 bestaat hoofdzakelijk uit opvolging van de metingen die in fase 1 zijn gedefinieerd en uitgewerkt. De opzet van fase 2 is uiteengezet in het 'Basisprojectplan fase 2' (1069300 d.d. 12 maart 1997).





## HOOFDSTUK 2

### KORTE BESCHRIJVING VAN HET PROJECT

#### Concept

Het onderhavige NOBIS-project richt zich op de afbraaksnelheid van minerale olie in grond onder 'in situ landfarm-omstandigheden'. Gekeken wordt naar de relatie tussen biologische afbraaksnelheid en ecologisch herstel (zie fig. 1). Er worden verschillende praktijkomstandigheden toegepast, waarbij onderscheid is gemaakt in mate van homogenisatie (grof, goed en zeer goed), toevoegingen (niets, kunstmest en organische stof) en olieconcentraties. Voor meting van de aan afbraak gerelateerde parameters  $O_2$  en  $CO_2$  worden nieuwe veldmeettechnieken toegepast.

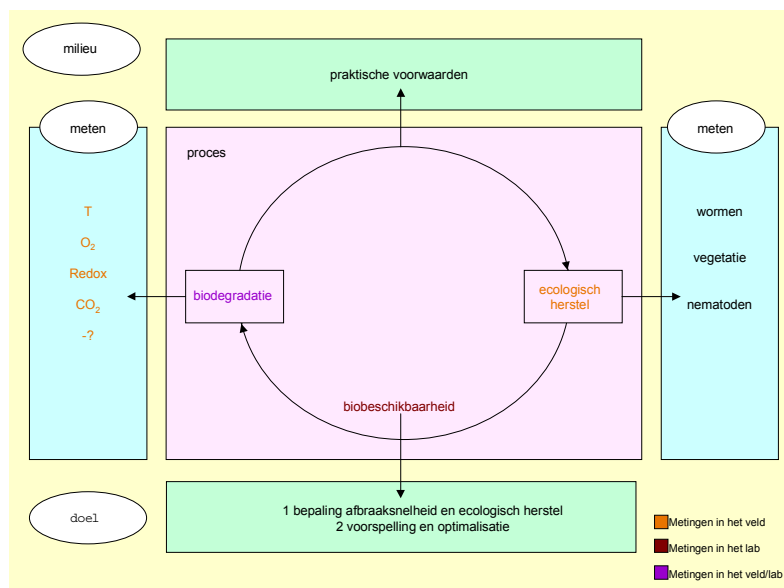


Fig. 1. Opzet van het onderzoek.

#### Locatie

Voor uitvoer van het project is gekozen voor een locatie van de NAM. Het betreft de locatie Meetstation 1 te Schoonebeek.

De grond op de locatie is bij aanvang verontreinigd met minerale olie in concentraties variërend in de orde van grootte van 500 mg/kgds tot bijna 10.000 mg/kgds.

#### Consortium

Het project wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband van de volgende partijen:

- IWACO B.V. (penvoerder);
- NAM B.V. (eindgebruiker);
- DLO-IBN (kennisinstituut);
- LUW (kennisinstituut).

Daarnaast is op onderdelen specialistische kennis ingebracht door derden.



## HOOFDSTUK 3

### **DOEL VAN HET ONDERZOEK**

Het project wordt uitgevoerd met als doel de afbraaksnelheid van minerale olie in grond te meten en tevens het ecologisch herstel van de bodem te meten, afhankelijk van een aantal praktijkomstandigheden onder extensieve landfarm-condities.



## HOOFDSTUK 4

### MEETVELDEN

Op de locatie zijn negen proefvelden aangelegd die een onderscheid kennen in mate van homogenisatie, toevoegingen en minerale olieconcentratie. Tevens zijn er 3 blanco's aangelegd om de resultaten goed te kunnen interpreteren.

In tabel 1 zijn de karakteristieken van de meetvelden samengevat. Voor een uitgebreidere beschrijving over de aanleg van de meetvelden wordt verwezen naar CUR/NOBIS-rapport 95-1-44 "Proefsanering Meetstation 1, NAM Schoonebeek - Fase 1: Deelresultaten 1 t/m 4 en eindresultaat" (verschenen in september 1997).

Tabel 1. Overzicht van de inrichting van de meetvelden.

meetveld	concentratieniveau	homogenisatie	toevoegingen
IX (1)	laag	grof	kunstmest
VIII (2)	middel	grof	compost
VII (3)	hoog	grof	geen
VI (4)	laag	goed	geen
V (5)	middel	goed	kunstmest
IV (6)	hoog	goed	compost
III (7)	laag	zeer goed	compost
II (8)	middel	zeer goed	geen
I (9)	hoog	zeer goed	kunstmest

Toelichting:

concentratie: laag = circa 500 mg/kgds;  
middel = circa 1.000 mg/kgds;  
hoog = circa 3.500 mg/kgds.  
homogenisatie: grof = omgooien met kraan;  
goed = omgooien met kraan en laagsgewijs frezen;  
zeer goed = zeven met sterzeef.



## HOOFDSTUK 5

### UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN FASE 2 EN MEETRESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de werkzaamheden beschreven die in fase 2 zijn uitgevoerd. Daarbij zijn de volgende activiteiten te onderscheiden:

1. metingen olieconcentraties;
2. veldmetingen landfill analyser (LFA);
3. veldmetingen elektroden;
4. biomonitoring nematoden;
5. biomonitoring wormen;
6. biomonitoring vegetatie-ontwikkeling;
7. meting biobeschikbaarheid;
8. uitwerking en implementatie van phytoremediatie (PhyRe).

In de navolgende paragrafen wordt per activiteit ingegaan op het doel, de uitgevoerde werkzaamheden en de wijze van uitvoering.

#### 5.1 Olieconcentraties

##### 5.1.1 *Activiteit 1: Olieconcentraties*

###### *Doel*

Gedurende de looptijd van de proef zullen met een vooraf vastgestelde tijdsinterval olieconcentraties in de grond worden bepaald met als doel het bepalen van de afbraaksnelheid van de minerale olie in de meetvelden. De gemeten concentraties worden vergeleken met de concentraties die tijdens eerdere meetronden zijn gemeten. Ten behoeve van een goede vergelijkbaarheid en betrouwbaarheid is de methode statistisch onderbouwd.

###### *Werkzaamheden*

In fase 2 zijn 3 meetronden uitgevoerd. De monsternamen ten behoeve van de 3 meetronden zijn uitgevoerd in week 18, week 33 en week 49. De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd door de, door STERLAB erkende, Milieutechnische Dienst van IWACO B.V. te Groningen. De werkwijze sluit geheel aan bij de werkwijze die in fase 1 is ontwikkeld.

###### *Toplaag*

Per meetveld zijn 50 steken genomen die zijn verdeeld over twee mengmonsters. Gekozen is voor twee mengmonsters per meetveld om een extra controle te hebben van de spreiding van de concentraties in de meetvelden. De steken zijn willekeurig verdeeld over het meetveld genomen, waarbij de diepte willekeurig is bepaald in het interval van 0 - 0,5 m-mv (toplaag).

In het veld is gewerkt met kleine gutsen om de grond te bemonsteren. Hiermee is een zo gering mogelijke hoeveelheid grond bemonsterd, zodat een zo representatief mogelijk monster kan worden geanalyseerd. Ook wordt niet onnodig veel bodemmateriaal van de locatie verwijderd en wordt de bodem zo min mogelijk verstoord.

Per meetronde zijn van de toplaag in totaal 24 mengmonsters samengesteld (2 per meetveld incl. blanco's). Deze mengmonsters zijn alle geanalyseerd op minerale olie GC (C<sub>10</sub> - C<sub>40</sub>) in het, door STERLAB erkende, IWACO-laboratorium te Rotterdam. Tevens is per meetveld één van de twee mengmonsters geanalyseerd op minerale olie IR. De monsters zijn voor analyse volledig



cryogeen vermalen (in afwijking van hetgeen gebruikelijk is) om invloed van heterogeniteit zoveel mogelijk uit te sluiten.

#### *Onderlaag*

Naast bemonstering van het traject van 0 - 0,5 m-mv is ook, conform het vastgestelde meetprogramma, de onderlaag van 0,5 - 1,0 m-mv bemonsterd. Hiertoe zijn per meetronde 2 meetvelden geselecteerd. Eén met een hoog concentratieniveau en één met een laag concentratieniveau. In de eerste meetronde waren dit de velden IV en VI, in de tweede meetronde I en IX en in de derde meetronde III en VII. De onderlaag is op dezelfde wijze bemonsterd als de toplaag.

## **5.2 Veldmetingen**

Er zijn metingen verricht met de landfill analyser (LFA) en de elektroden (EL). In respectievelijk 5.2.1 en 5.2.2 wordt dit behandeld; de resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 6.

### **5.2.1 Activiteit 2: Landfill analyser (LFA)**

#### *Doel*

De veldmetingen met de landfill analyser worden toegepast met als doel de gehalten van de aan biologische afbraak gerelateerde parameters O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> in het veld te meten. Hiermee worden waarden verzameld die worden gerelateerd aan de afbraaksnelheid van de minerale olie in de grond.

#### *Werkzaamheden*

Op basis van de resultaten en de afgeleide werkwijze uit de 1e fase zijn de metingen met de LFA in de 2e fase voortgezet. Met de LFA kan tijdens een meting een gasconcentratie in de bodem worden gemeten. Het apparaat zuigt een volume lucht uit de bodem en meet een gemiddeld gehalte O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> in dit volume. Voor het nemen van een luchtmonster wordt een sonde in de bodem gebracht, waaraan het apparaat via een slang wordt bevestigd.

In fase 2 zijn 3 meetronden met de LFA uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd in week 18, week 29 en week 49. Hierbij zijn alle 12 de meetvelden bemonsterd. Per meetveld zijn 3 meetpunten geselecteerd, waarin metingen zijn uitgevoerd om de gehalten O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> te bepalen. In elk meetpunt zijn op een diepte van 0,25, 0,5 en 0,75 m-mv metingen verricht. In totaal zijn hiermee 9 metingen per meetveld uitgevoerd.

### **5.2.2 Activiteit 3: Elektrode**

#### *Doel*

De veldmetingen met de elektrode worden toegepast met als doel de gehalten van de aan biologische afbraak gerelateerde parameter O<sub>2</sub> in het veld te meten. Hiermee worden waarden verzameld die worden gerelateerd aan de afbraaksnelheid van de minerale olie in de grond.

#### *Werkzaamheden*

In fase 2 is een zuurstofelektrode gekocht bij Microscale Measurements. De dimensies van de elektrode zijn aangepast aan de specifieke wensen die zijn geformuleerd na de resultaten van de 1e fase. Voor de aanvang van de metingen is de zuurstofelektrode eerst gevalideerd door het IWACO-laboratorium te Rotterdam. De resultaten van de validatie zijn tevens door Oranjewoud in het kader van het NOBIS-project 'Ontwikkeling zuurstofsonde' (NOBIS-projectnr. 97-1-12) bekeken. Het commentaar van Oranjewoud is bij de bespreking van de resultaten meegenomen.

Na de validatie zijn met de zuurstofelektrode twee meetronden uitgevoerd. De eerste meetronde heeft plaatsgevonden begin november 1997, de tweede rond eind januari 1998. Bij de uitvoering

van de metingen is onderscheid gemaakt tussen een bewerkt en een blanco meetveld. Binnen een bewerkt meetveld zijn op 6 plaatsen metingen verricht. Binnen een blanco meetveld zijn op 3 plaatsen metingen verricht (oppervlakte van de blanco meetvelden is kleiner). Bij ieder meetpunt zijn op een diepte van circa 10, 25, 50 en 75 cm metingen uitgevoerd. Na het uitvoeren van de metingen per meetveld zijn de elektroden steeds opnieuw gekalibreerd. Hierbij is gebruik gemaakt van een tweepunts kalibratie (kalibreren op 0 %-niveau en 100 %-niveau). Door de sonde steeds opnieuw te kalibreren, is het verloop van het signaal in de tijd te bepalen en kan er worden gecontroleerd of de elektroden niet zijn uitgevallen (door b.v. schade).

### 5.3 Biomonitoring

#### *Doel*

De biomonitoring wordt uitgevoerd met als doel het ecologisch herstel van de met olie verontreinigde bodem te beschrijven. Daarbij wordt aandacht besteed aan twee relevante onderdelen van het bodem-ecosysteem: de bodembioïologie en de vegetatie. Bij vegetatie wordt vooral gedacht aan het belang van de gewasopbrengst en de worteldiepte; bij bodembioïologie betreft het nematoden en wormen.

#### 5.3.1 *Activiteit 4: Nematoden*

##### *Doel*

Het doel van het nematodenonderzoek is het bepalen van de samenstelling en het herstel van de nematodenfauna met de tijd in de met zware olie verontreinigde meetvelden.

##### *Werkzaamheden*

In fase 2 is conform de in fase 1 bepaalde werkwijze 1 meetronde uitgevoerd. Deze meetronde heeft plaatsgevonden in het voorjaar van 1997 (week 18). Bij de bemonstering is elk meetveld onderverdeeld in twee diepte-intervallen (5 tot 20 cm en 30 tot 50 cm). Van elk interval zijn twee mengmonsters samengesteld, die ieder bestaan uit acht deelmonsters. In totaal zijn er 48 mengmonsters samengesteld (4 mengmonsters per meetveld). De monsternamen voor deze metingen is uitgevoerd door de Milieutechnische Dienst (MTD) van IWACO te Groningen. De nematodenanalyses zijn uitgevoerd door het Bedrijfslaboratorium voor Grond en Gewasonderzoek (BLGG) in Oosterbeek.

In tabel 2 is de codering weergegeven die is toegepast tijdens de monsternamen.

Tabel 2. Codering meetronden.

behandeling	codering meetronde	
blanco hoog (12)	201 a/b	202 a/b
blanco middel (11)	203 a/b	204 a/b
blanco laag (10)	205 a/b	206 a/b
I (9)	207 a/b	208 a/b
II (8)	209 a/b	210 a/b
III (7)	211 a/b	212 a/b
IV (6)	213 a/b	214 a/b
V (5)	215 a/b	216 a/b
VI (4)	217 a/b	218 a/b
VII (3)	219 a/b	220 a/b
VIII (2)	221 a/b	222 a/b
IX (1)	223 a/b	224 a/b

Wanneer achter de codering een 'a' is aangebracht, geeft dit aan dat het monster genomen is op een diepte van 0,05 tot 0,20 m-mv. De monsterdiepte 0,30 tot 0,50 m-mv is aangegeven met een 'b' achter de codering.

### 5.3.2 *Activiteit 5: Wormen*

#### *Doel*

Het doel van de wormenproef is het bepalen van het herstel en de ontwikkeling van de wormenpopulatie in de meetvelden. Tevens worden dosiseffectproeven uitgevoerd met als doel om de overleving, groei en reproductie van een aantal soorten wormen te bepalen.

#### *Werkzaamheden*

In het kader van fase 1 zijn medio oktober 1996 in de proefvelden regenwormen uitgezet ter bepaling van de overleving en het verspreidingsgedrag onder veldomstandigheden. Per proefvak zijn volwassen exemplaren van drie soorten regenwormen uitgezet in aantallen van 100 per soort. Het betreft de veldsoorten *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus* en *Apporrectodea caliginosa*. De entingen hebben centraal in de proefvakken plaatsgevonden.

In fase 2 is medio juni 1997 de eerste terugbemonstering uitgevoerd. Daarbij zijn per proefvak vanuit de centrale entplaats op onderlinge afstand van 1 meter monsters genomen in twee raaien met de entplaats als kruispunt. De wijze van bemonstering bestond uit het nemen van een graafmonster met een oppervlak van 25 × 25 cm en een diepte van 25 cm. In figuur A1 (zie bijlage A) zijn de monsterplekken aangegeven. In elk proefvak zijn aldus 16 monsters genomen. In de grondmonsters zijn tellingen uitgevoerd. Zowel de monsternamen als de telling is uitgevoerd door IBN-DLO. De resultaten van de telling zijn opgenomen in bijlage A.

Als tweede onderdeel van het onderzoek is door IBN-DLO een laboratoriumassay met regenwormen uitgevoerd. De toetsgronden zijn voor dit doel in juni 1996 door IWACO aangeleverd en vervolgens opgeslagen in een klimaatkamer bij 10 °C tot het moment van de bioassay in oktober 1996. Het gehalte aan minerale olie in de toetsgronden varieerde van 240 tot 8800 mg/kgds. Als voorbereiding voor het uitvoeren van de bioassay zijn de grondmonsters gezeefd (5 mm), gemengd en is een bepaling gedaan op het vochtgehalte. Als referentie is een IBN-standaardgrond meegenomen. Metingen zijn verricht aan de overleving, groei en reproductie na een incubatietijd van 4 weken bij een constante temperatuur van 15 °C. Als toetssoort zijn drie soorten wormen gebruikt, namelijk *Lumbricus rubellus*, *Eisenia veneta* en *Aporrectodea caliginosa*. De proefopzet bestond uit een gewarde blokkenproef met complete blokken in drie herhalingen.

### 5.3.3 *Activiteit 6: Vegetatie-ontwikkeling*

Vegetaties kunnen een positieve rol spelen bij microbiologische afbraak van olie in grond. Wortels zorgen voor bioturbatie. Daar waar wortels zijn, is/zijn:

- zuurstof;
- wortellexudanten die kunnen dienen als oplosmiddel;
- meer micro-organismen.

Om de vegetatie-ontwikkeling te meten, is onderzocht of hiervoor 'toepasbare' methoden beschikbaar zijn of kunnen worden ontwikkeld. Na de inventarisatie bij verschillende partijen is gekozen voor het meten van de gewasopbrengst. Bij de selectie van de methode is rekening gehouden met de criteria die zijn opgenomen in het basisprojectplan. Onderstaand is dit verder uitgewerkt. Tevens is in deze fase voor alle meetvelden de bemestingstoestand bepaald.

Naast het meten van de gewasopbrengst en de bemestingstoestand zou volgens het basisprojectplan van fase 2 in fase 2 ook worden bepaald hoe de ontwikkeling van wortels in de diepte plaatsvindt. Bij nader inzien is hiervan afgeweken; dit zou in deze fase van het onderzoek de meetvelden teveel verstoren. Voorgesteld wordt om deze proef daarom aan het eind van het project uit te voeren om verstoring van de meetvelden zoveel mogelijk te beperken.

### *Doel*

De vegetatie-ontwikkeling wordt bepaald met als doel - naast andere biologische en ecologische parameters - het ecologisch herstel te kunnen beschrijven en een relatie te kunnen leggen met de gemeten afbraak van olie en de behandelingen in de meetvelden.

### *Criteria*

De volgende eisen zijn gesteld aan de methode voor meting van de vegetatie-ontwikkeling:

- met de metingen zijn kwalitatieve uitspraken over het ecologisch herstel in termen van vegetatie-ontwikkeling mogelijk;
- de methode moet in kort tijdsbestek uitvoerbaar zijn (max. enkele uren per meetveld);
- de analysekosten moeten in de orde van grootte van enkele honderende guldens per meetveld per meetronde bedragen;
- de methode moet onderscheidend en reproduceerbaar zijn;
- bij voorkeur is een onafhankelijk toetsingskader beschikbaar. Als alternatief worden de resultaten per meetveld met elkaar vergeleken.

### *Methode*

Navraag binnen IWACO en bij verschillende externe contacten (onder andere BLGG, LUW en DLO) heeft aangetoond dat weinig verschillende 'standaard'methoden beschikbaar zijn die aan het beoogde doel en criteria voldoen.

Na overleg is gekozen voor de volgende methode:

- per meetveld worden 2 rechthoeken van 0,5 bij 1,0 meter afgezet (stokjes en touw);
- het gras wordt bemonsterd door het af te knippen tot zo dicht mogelijk op het maaiveld;
- het gras wordt per rechthoek verzameld in een zak;
- het verzamelde gras wordt gedroogd in een oven voor een periode van tweemaal 24 uur;
- het gedroogde gras wordt gewogen.

Bij vergelijking met de genoemde criteria blijkt dat vrijwel aan alle criteria wordt voldaan. Alleen bij het laatste criterium wordt opgemerkt dat geen onafhankelijk toetsingskader beschikbaar is. Vergelijking tussen de meetvelden onderling is echter wel mogelijk.

In aanvulling op deze methode wordt per meetveld steeds in het veld bepaald welke gewassen dominant aanwezig zijn.

### *Werkzaamheden*

Op 30 juli 1997 is op het MS1-veld de bovengrondse plantenmassa verzameld voor elk meetveld volgens bovenstaande methode. Per proefveld is een raster uitgezet, waarbinnen de daarop groeiende vegetatie is afgeknipt. Daarbij is de vegetatie zo dicht mogelijk tegen de grond afgeknipt (0 - 10 mm boven de grond). Dit plantenmateriaal, bestaande uit een combinatie van beemdgras, rode klaver, witte klaver en lucerne, is verzameld en tweemaal 24 uur gedroogd bij 70 °C. Daarna is het gewicht van de massa bepaald. Tevens is indicatief bepaald in welke mate (in fracties van 25 %) de dominante vegetatie aanwezig was. De gewasopbrengst en samenstelling zijn weergegeven in tabel 7 (zie 6.3.3).

### *Bemestingsonderzoek*

Als onderdeel van de vegetatie-ontwikkeling is gekeken naar de cultuurtechnische randvoorwaarden van de meetvelden. Hierbij is per meetveld het kalkgehalte en de bemestingstoestand bepaald. Op basis van deze gegevens is een bemestingsadvies opgesteld.

In week 19 zijn alle proefvelden bemonsterd (inclusief blanco's). Bemonstering heeft plaatsgevonden in de laag van 0 tot 0,05 m-mv. Uit elk proefveld zijn 40 steken genomen waarvan vervolgens 1 mengmonster is samengesteld. De steken zijn diagonaal over het veldje genomen. De 12 grondmengmonsters zijn geanalyseerd op stikstof, fosfaat, kalium en natrium. Tevens zijn de zuurgraad en het organische stofgehalte bepaald. De analyses zijn uitgevoerd door BLGG-Oosterbeek. Op basis van de resultaten van de analyse heeft BLGG-Oosterbeek een bemestingsadvies gegeven.

In tabel 3 is de codering weergegeven die is toegepast tijdens de monsternamen.

Tabel 3. Codering bemestingsadvies.

behandeling	codering meetronde
blanco hoog (12)	230
blanco middel (11)	231
blanco laag (10)	232
I (9)	233
II (8)	234
III (7)	235
IV (6)	236
V (5)	237
VI (4)	238
VII (3)	239
VIII (2)	240
IX (1)	241

## 5.4 Biobeschikbaarheid

### 5.4.1 *Activiteit 7: Biobeschikbaarheidstoets*

#### *Doel*

De biobeschikbaarheidstoets wordt uitgevoerd met als doel in het laboratorium de fractie minerale olie te meten die beschikbaar is voor biologische afbraak; een en ander conform eerder vastgestelde methode.

#### *Werkzaamheden*

In fase I is een methode ontwikkeld om de biobeschikbaarheid te meten. Het betreft een één-traps schudtest, waarbij  $\text{CaCl}_2$  als extractiemiddel wordt toegepast. Er wordt gedurende 16 uur geschud en de grond wordt gehomogeniseerd met een Hobart-menger. Aan de hand van de op te bouwen meetreeks kan een uitspraak worden gedaan over de biobeschikbaarheid van de verontreiniging in de proefvelden in relatie tot de afbraaksnelheid.

In fase 2 zijn 3 meetronden uitgevoerd. De meetronden zijn uitgevoerd in week 18, 33 en 49. Per meetveld zijn uit het interval 0 - 0,5 m-mv 50 steken genomen. Uit deze 50 steken is een mengmonster samengesteld. Per meetronde zijn 12 mengmonsters samengesteld. Van elk meng-

monster is, voorafgaand aan de schudtest, het gehalte aan minerale olie in de 'vaste fase' bepaald.

## 5.5 **Phytoremediatie**

### 5.5.1 *Activiteit 8: Phytoremediatie*

#### *Doel*

De werkzaamheden ten aanzien van phytoremediatie worden uitgevoerd met als doel te bepalen of biologische afbraak in grond, verontreinigd met zware minerale olie, sneller verloopt en tot lagere eindconcentraties leidt, als de groei van (specifieke) gewassen wordt gestimuleerd. Tevens worden werkzaamheden uitgevoerd met als doel te bepalen of functioneel gebruik en inpassing van de verontreinigde locatie in de (natuurlijke) omgeving mogelijk is tijdens de periode van phytoremediatie.

#### *Werkzaamheden*

Bij fase 2 is phytoremediatie nadrukkelijker ingebracht in het onderzoek. Zoals is beschreven in het basisprojectplan zijn hiervoor de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- (I) uitvoeren van een literatuurstudie;
- (II) organiseren van een workshop;
- (III) eventuele verdere uitwerking van de toepassing van phytoremediatie.

Deze activiteiten worden in deze paragraaf gerapporteerd.

#### *Literatuurstudie*

Het literatuuronderzoek is uitgevoerd op basis van de volgende uitgangspunten:

- om het aantal referenties hanteerbaar en toepasbaar te houden, is gericht gezocht naar toepassingen van phytoremediatie voor *zware* minerale olie (zoals ook aanwezig op MS1);
- gezocht is naar resultaten van reeds uitgevoerde proeven (laboratorium, praktijk) en naar informatie over opname van de olieverontreinigingen in de planten. Ten slotte is ook nog aandacht besteed aan micro-aërofiële afbraak van minerale olie;
- gezocht is op internet en in aanvulling hierop in enkele recente tijdschriften. Tevens is navraag gedaan binnen IWACO bij 'insiders';
- verder is gebruik gemaakt van informatie die binnen het consortium aanwezig is over proeven die in het verleden in andere kaders zijn uitgevoerd, maar die wel veel relevante informatie hebben opgeleverd. Ook is informatie verwerkt uit een project dat parallel aan het onderhavige project in samenwerking tussen NAM en IWACO is opgestart (1076690, 'Extensieve herontwikkeling NAM Schoonbeek')<sup>1</sup>. Het gaat dan bijvoorbeeld over gewasderving en de invloed van planten op de afbraaksnelheid.

De literatuurstudie is apart gerapporteerd. Een exemplaar hiervan is opgenomen als bijlage B van dit rapport.

#### *Workshop*

Het doel van de workshop was om het draagvlak nader te bepalen en een gezamenlijk inzicht op te stellen met betrekking tot de toepassing van PhyRe. De werkwijze ten aanzien van de workshop is om strategische redenen iets anders uitgevoerd dan oorspronkelijk was beoogd.

---

<sup>1</sup> Dit betreft een project van NAM dat in 1997 is opgestart parallel aan dit NOBIS-project, waarmee wordt getracht de data en ervaringen, opgedaan met onder andere MS1, in een breder kader toe te passen.

Met een workshop, waarbij NAM, IWACO en AB-DLO aanwezig waren, is eerst een streefbeeld geschetst voor de wijze waarop in de toekomst met sanering van de nog circa 300 resterende NAM-locaties in Schoonebeek zou moeten worden omgegaan. Hierbij stond de vraag centraal wat de plaats van phytoremediatie hierin is, of kan zijn. Het rapport van deze workshop is ter achtergrondinformatie reeds aan NOBIS beschikbaar gesteld (vooralsnog vertrouwelijk).

De volgende stap is nu een workshop met het bevoegd gezag, waarbij dit streefbeeld centraal staat; deze workshop zal in fase 3 worden georganiseerd. Hierbij zal ook NOBIS aanwezig moeten zijn. Met de 1<sup>e</sup> workshop is nog een aantal acties gedefinieerd, die verder moeten worden uitgezocht ter onderbouwing van het streefbeeld. Dit betreft vooral bepaling van de afbraaksnelheid bij relatief hoge concentraties, het uitvoeren van een risico-evaluatie en het bepalen van de invloed van vorstwerking op kluitvorming. Momenteel wordt dit uitgewerkt binnen het betreffende project ('Extensieve herontwikkeling NAM Schoonebeek'). De resultaten van MS1 vormen tevens een belangrijk element in de onderbouwing van het streefbeeld.

## HOOFDSTUK 6

### INTERPRETATIE MEETRESULTATEN FASE 2

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de interpretatie van de meetresultaten.

#### 6.1 **Olieconcentraties**

##### 6.1.1 *Activiteit 1: Olieconcentraties*

Nu fase 2 is afgerond, zijn er resultaten beschikbaar van vijf meetronden. Om een uitspraak te kunnen doen over de afbraak van minerale olie zijn de resultaten van deze meetronden met elkaar vergeleken. Hierbij is een statistische analyse uitgevoerd om de interpretatie van de resultaten te onderbouwen. De statistische analyse is uitgevoerd conform de methodiek die in fase 1 is ontwikkeld.

##### *Gegevensbewerking*

De gegevensbewerking is gericht op het berekenen van afbraakconstanten. De afbraak kan worden benaderd door een bepaald afbraakverloop in de tijd te kiezen. Een voor de hand liggend model is de 1e orde afbraak:

$$C = C_0 \cdot e^{-kt}$$

waarin:

- $C$  is de gemeten olieconcentratie;
- $C_0$  is de beginconcentratie;
- $t$  is de tijd;
- $k$  is de afbraakconstante.

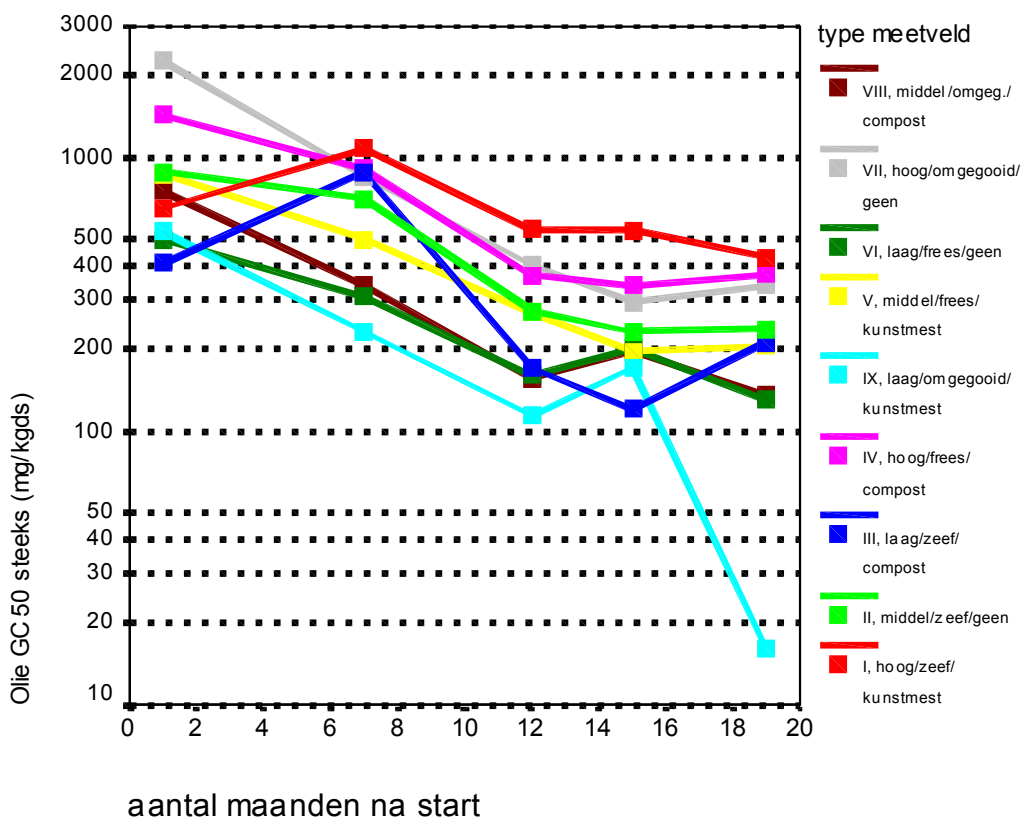
Als de natuurlijke logaritme van beide kanten van de vergelijking wordt genomen, wordt een lineaire relatie met de richtingscoëfficiënt  $k$  verkregen:

$$\ln C = \ln C_0 - k \cdot t$$

Allereerst is voor alle meetvelden en de blanco velden het concentratieverloop in de tijd uitgezet in figuur 2. De meetvelden I t/m IX hebben vijf waarnemingen in de tijd, omdat hier ook de metingen van fase 1 ronde 1 zijn meegenomen. Deze meetronde heeft een minder betrouwbare schatting van de olieconcentratie, omdat deze is gebaseerd op enkele 'losse' steken in plaats van op een mengmonster van 50 steken.

In tabel 4 zijn de afbraakconstanten voor de blanco velden en proefvelden weergegeven; in deze tabel is ook het 90 % betrouwbaarheidsinterval van de afbraakconstante weergegeven ('in 90 van de 100 gevallen ligt de afbraakconstante in dit interval'). In de figuren 3 en 4 zijn de regressielijnen door de meetpunten weergegeven.





\* Let op de logaritmische schaal op de y-as

Fig. 2. Tijdreeksen of afbraakcurves van de olie op verschillende meetvelden.

Tabel 4. Afbraakconstanten per meetveld en het 90 % betrouwbaarheidsinterval van de afbraakconstante.

meetveld	karakteristieken (verontreiniging/bewerking/toevoeging)	afbraakconstante (gem. per dag)	90 % betrouwbaarheidsinterval van de afbraakconstante
I	hoog/zeef/kunstmest	-0,001	-0,08 - +0,02*
II	middel/zeef/geen	-0,003	-0,13 - -0,04
III	laag/zeef/compost	-0,002	-0,20 - +0,04*
IV	hoog/frees/compost	-0,003	-0,13 - -0,04
V	middel/frees/kunstmest	-0,002	-0,2 - +0,04*
VI	laag/frees/geen	-0,002	-0,11 - -0,04
VII	hoog/omgegooid/geen	-0,004	-0,17 - -0,06
VIII	middel/omgegooid/compost	-0,003	-0,14 - -0,05
IX	laag/omgegooid/kunstmest	-0,16	-0,28 - -0,04
blanco laag	laag	-0,007	-0,38 - -0,01
blanco middel	middel	-0,001	-0,37 - +0,37*
blanco hoog	hoog	-0,002	-0,3 - +0,17*

\* niet significant van nul afwijkende afbraakconstante bij 90 % betrouwbaarheid.

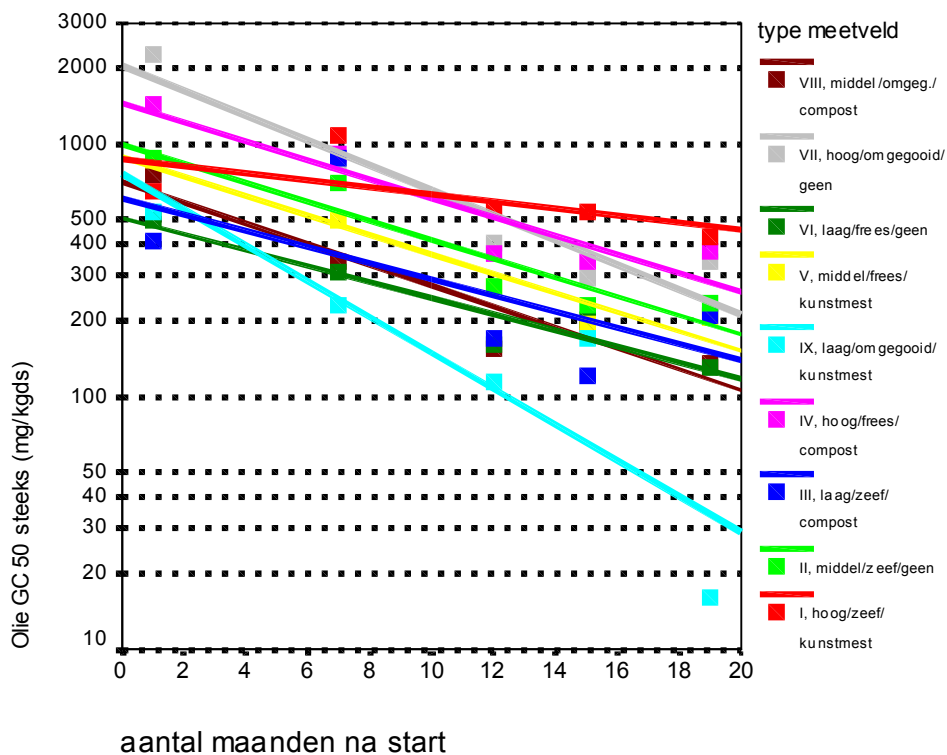


Fig. 3. Lineaire regressielijnen door de olieconcentratie metingen ter bepaling van de 1<sup>e</sup> orde afbraakconstante.

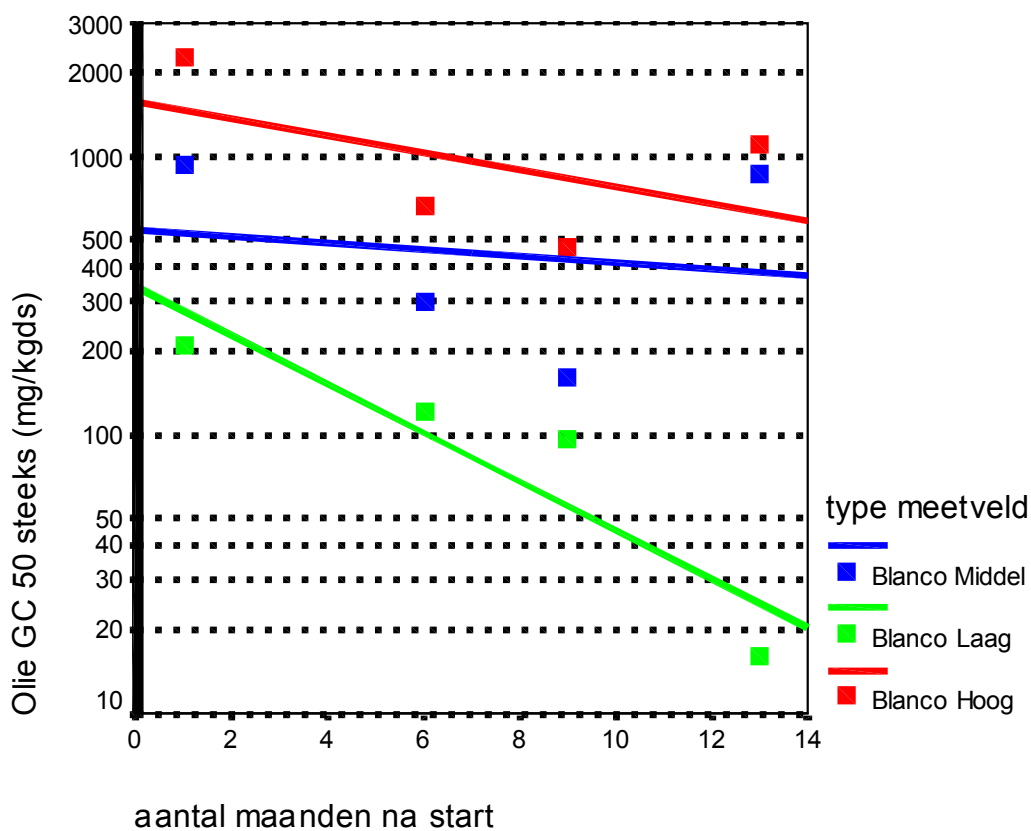


Fig. 4. Lineaire regressielijnen door de olieconcentratie metingen ter bepaling van de 1<sup>e</sup> orde afbraakconstante in de blanco velden.

Alle afbraaklijnen, inclusief die van de blanco velden, hebben een negatieve hellingshoek, alhoewel ze niet allemaal een significante correlatie hebben. De grootste afbraak op meetveld IX wordt veroorzaakt door de detectiegrenswaarneming in de laatste meetronde. Omdat in de laatste meetronde de gemeten waarden van de blanco meetvelden afwijken van de algemene trend zijn deze grondmengmonsters opnieuw geanalyseerd. De resultaten van de heranalyse gaven echter hetzelfde beeld als de eerder uitgevoerde analyse.

Er is geen patroon te herkennen tussen de grootte van de afbraak en de bewerking, toepassing van stoffen of verontreinigingsniveau. Het lijkt er tot op heden op dat de verschillende voorbewerkingen en toevoegingen geen significante invloed op de afbraaksnelheid hebben.

#### *Relatie olie IR- en olie GC-metingen*

Olie IR is alleen in een 25-steeks monster geanalyseerd. Als we de gemeten concentraties vergelijken met die van de gaschromatograafconcentraties wordt er meer dan tweemaal zoveel olie gemeten met de IR-methode dan met de gaschromatograaf. De olie IR-metingen laten echter geen duidelijke afbraak zien: het tijdreeksverloop is sterk fluctuerend.

#### *Afbraak van olie in het traject van 0,5 tot 1 m diepte*

In het diepere deel van de bodem is slechts tweemaal in de tijd een olieconcentratie bepaald. Het is dus niet zinvol om hier naar de afbraak te kijken. De meetvelden III, IV en VII hebben een lagere olieconcentratie in een latere meetronde; het meetveld VI heeft een stijging van 300 naar 600 mg/kgds (GC).

#### *Aanbevelingen*

Het is interessant om te kijken of er een differentiatie van concentraties en afbraaksnelheden is opgetreden binnen de eerste halve meter. De verwachting is dat de bovenste tientallen centimeters nu bijna 'schoon' zijn en de afbraak zich naar de diepte verplaatst. Dit kan worden uitgevoerd door onderscheid te maken in verschillende trajecten. In fase 3 wordt dit meegenomen.

## **6.2 Veldmetingen**

### **6.2.1 Activiteit 2: Landfill analyser (LFA)**

#### *Veldmetingen*

Uit de resultaten van metingen met de landfill analyser blijken de volgende kwalitatieve trends:

#### **O<sub>2</sub>-metingen**

- Met toenemende diepte neemt het O<sub>2</sub>-gehalte af. Op een diepte van 25 cm beneden maaiveld worden veldgemiddelden gemeten van circa 15 à 20 %. Op 50 cm-mv worden veldgemiddelden gemeten in de range van 5 à 15 % en op 75 cm-mv in de range van 0 à 5 %.
- In de tijd lijkt het O<sub>2</sub>-gehalte op gelijke diepte af te nemen.
- Gedurende de eerste meetronde (april 1997) is de zuurstofconcentratie over een diepte van 0 tot 75 cm-mv redelijk constant. De concentratie varieert tussen 10 en 20 % (met uitzondering van de meetvelden V, VIII en IX).
- Vanaf de tweede meetronde (juli 1997) daalt de zuurstofconcentratie, waarbij op een diepte tussen 50 en 75 cm-mv in het algemeen bijna geen zuurstof meer wordt aangetroffen (met uitzondering van de meetvelden II en VIII).

#### **CO<sub>2</sub>-metingen**

- Met toenemende diepte neemt het CO<sub>2</sub>-gehalte toe. Op een diepte van 75 cm-mv worden gehalten gemeten van 15 à 20 %.
- In de tijd neemt het CO<sub>2</sub>-gehalte op gelijke diepte toe.

### *Interpretatie*

Gezien de gemeten O<sub>2</sub>-concentraties tot een diepte van circa 25 tot 50 cm is er naar verwachting sprake van voldoende aërobe omstandigheden voor afbraak van minerale olie. Gezien de verhouding tussen O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> kan er kennelijk nog steeds voldoende indringing van buitenlucht in de bovenste 0,5 m plaatsvinden. De gemeten afbraak (zie 6.1) bevestigt dit. Op een diepte groter dan 50 cm geldt dit niet meer.

In de tijd neemt op een diepte van 25 cm het O<sub>2</sub>-gehalte geleidelijk af. Het CO<sub>2</sub>-gehalte neemt geleidelijk toe. Dit kan worden veroorzaakt doordat de toevoer van buitenlucht afneemt door verandering van de doorlatendheid van de bodem (consolidatie) of dat consumptie van O<sub>2</sub> door afbraak toeneemt. Gezien de waargenomen olieconcentraties en afbraaksnelheid (zie 6.1) lijkt het eerste het geval te zijn. Mogelijk dat verhoging van de O<sub>2</sub>-toevoer zal leiden tot grotere afbraak.

Op een diepte groter dan circa 25 cm neemt het O<sub>2</sub>-gehalte sneller af. Op een diepte van 75 cm zijn in de laatste meetronden voornamelijk gehalten gemeten kleiner dan 5 %. Kennelijk is er wel O<sub>2</sub>-verbruik, maar onvoldoende aanvoer van O<sub>2</sub>.

### *Relatie met de samenstelling van de meetvelden*

De zuurstofmetingen variërend in tijd en diepte zijn onderling vergeleken (per meetveld). Uit deze vergelijking konden geen significante verschillen in zuurstofconcentraties en in verloop in de tijd worden afgeleid die zijn terug te voeren op de verschillen in bewerkingsmethoden.

## 6.2.2 *Activiteit 3: Elektrode*

### *Resultaten van de validatie*

De (on)nauwkeurigheid van de zuurstofelektrode blijkt minimaal 10 % van het meetbereik te bedragen. Hierdoor is de meter wel geschikt voor het vaststellen van enerzijds aërobe/anaërobe omstandigheden en anderzijds om gradiëntprofielen te bepalen voor zuurstofgehalten in vochtige bodems. Nauwkeurige metingen zijn echter minder goed mogelijk; hiervoor is de spreiding te groot.

Met betrekking tot de (on)nauwkeurigheid wordt opgemerkt dat de elektroden wel volstaan voor de beoogde metingen. Gezien de opbouw van de landfarm (verontreinigde grond in de bovenste 0,5 m) is het in principe voldoende om vast te stellen of voor het bodemprofiel ter plaatse van de verontreinigde grond sprake is van voldoende aërobe omstandigheden; de exacte O<sub>2</sub>-concentraties zijn hierbij van minder belang.

### *Veldmetingen*

Uit de resultaten van de metingen met de elektroden valt het volgende op te maken:

- De gemeten O<sub>2</sub>-concentratie neemt af met toenemende diepte.
- In de eerste meetronde van fase 2 variëren de gemeten gehalten tussen de 3 elektroden per meetpunt sterk. Over het algemeen wijken de resultaten van elektrode 3 af van elektrode 1 en 2.
- In de tweede meetronde komen de resultaten van de metingen van elektrode 1 en 2 redelijk overeen. De resultaten van elektrode 3 wijken echter wel af van de resultaten van elektrode 1 en 2.
- Het tussentijds ijken is vooral nodig om te controleren of de elektroden nog wel goed werken.
- De significante afwijkingen van de resultaten van elektrode 3 ten opzichte van de resultaten van elektrode 1 en 2 duiden op een beschadiging van elektrode 3 ten tijde van de metingen.

### Beoordeling van de resultaten door Oranjewoud

Door Oranjewoud zijn de resultaten van de validatie en enkele veldmetingen in het kader van het NOBIS-project 'Ontwikkeling zuurstofsonde' (NOBIS-projectnr. 97-1-12) beoordeeld. Op basis van de resultaten van de validatie is door Oranjewoud geconcludeerd dat de membranen van de elektroden 1 en 2 tijdens de validatie waarschijnlijk niet in optimale conditie verkeerden en dat het membraan van elektrode 3 vermoedelijk kapot was.

Tevens heeft Oranjewoud enkele resultaten van de zuurstofmetingen geïnterpreteerd. Het betreft de metingen in de meetvelden II en IV, uitgevoerd op 4 november 1997. Oranjewoud heeft hier eveneens het vermoeden dat elektrode 3 was beschadigd tijdens de uitvoer van de metingen. Voorts komt Oranjewoud tot de conclusie dat de overige resultaten van de elektroden een enigszins overeenstemmend verloop laten zien en het mogelijk is om de grens van de aërobe en anaërobe zone te bepalen.

## 6.3 Biomonitoring

### 6.3.1 Activiteit 4: Nematoden

#### Nematoden

In tabel 5 is een samenvatting gegeven van de in fase 2 gemeten Maturity Index en percentage cp-1 nematoden. Omdat verwacht wordt dat de microbiële activiteit - als gevolg van de minerale olie - is verhoogd, is de MI(1-5) weergegeven (en niet de MI(2-5)).

Tabel 5. Resultaten van de nematodenanalyses.

behandeling	diepte (m-mv)	meetronde fase 2			
		MI(1-5)		cp-1 (%)	
blanco hoog	0,05 - 0,20	1,75	1,72	28,6	30,4
	0,30 - 0,50	1,51	1,40	48,6	60
blanco middel	0,05 - 0,20	1,43	1,39	59,3	66,4
	0,30 - 0,50	1,82	1,77	20,9	22,7
blanco laag	0,05 - 0,20	1,92	1,80	30,2	31,4
	0,30 - 0,50	1,79	1,74	26,3	33,3
I	0,05 - 0,20	1,33	1,33	66,7	66,7
	0,30 - 0,50	1,29	1,36	70,6	64,3
II	0,05 - 0,20	1,13	1,32	86,7	68,2
	0,30 - 0,50	1,09	1,33	91,2	91,7
III	0,05 - 0,20	1,49	1,49	68,9	63,6
	0,30 - 0,50	1,11	1,08	92,4	96,2
IV	0,05 - 0,20	1,29	1,15	76,9	85,3
	0,30 - 0,50	1,02	1,24	97,6	76,3
V	0,05 - 0,20	1,45	1,21	61,3	78,6
	0,30 - 0,50	1,09	1,10	90,9	90,5
VI	0,05 - 0,20	1,38	1,50	56,8	55,6
	0,30 - 0,50	1,41	1,52	58,6	58,1
VII	0,05 - 0,20	1,52	1,57	47,8	52,4
	0,30 - 0,50	1,21	1,32	83,7	71,4
VIII	0,05 - 0,20	1,45	1,33	61,3	73,1
	0,30 - 0,50	1,32	1,24	81,3	82,8
IX	0,05 - 0,20	1,52	1,52	47,6	48,3
	0,30 - 0,50	1,37	1,37	63,2	63,2

### *Interpretatie van de meetresultaten*

De interpretatie van de meetresultaten is uitgevoerd door BLGG-Oosterbeek en door de Landbouw Universiteit Wageningen. De rapportage is opgenomen in bijlage C. Onderstaand is een samenvatting van de belangrijkste conclusies weergegeven.

Olie heeft effect op nematoden:

- de dichtheden en de MI(1-5) nemen af bij toenemende concentraties.

Bewerkingen hebben invloed op de nematodenfauna:

- de velden, die met compost zijn behandeld, scoren aan het einde vaak de hoogste MI(2-5) waarden. Dit heeft een positief effect op de diversiteit.

De cp-driehoeken laten in de tijd een lichte verbetering zien:

- de monsters vertonen een lichte trend om zich te bewegen naar rechtsonder. Dit indiceert een herstel;
- drie meetronden zijn onvoldoende om deze trend goed duidelijk te maken.

De nematodenfauna is in alle monsters niet gelijk.

Cuticuleria oxycera (cp-klasse 1) ontbreekt in het onbehandelde veld met een lage beginconcentratie. In de overige velden is de soort wel aanwezig.

Prismatolaimus (cp-klasse 3) komt in augustus 1996 alleen voor in veld BL, maar neemt in de loop van de tijd toe. In mei 1997 wordt de soort ook gevonden in de velden BH, I, IV en VIII.

Het aantal plantenparasieten neemt toe in de tijd, zowel in absolute aantallen als in aantal soorten. Dit zal te maken hebben met de vegetatie-ontwikkeling.

Er is een aantal trends zichtbaar die goede kansen bieden om te worden gebruikt als 'barometer' voor het ecologisch herstel, te weten:

- dichtheden;
- Maturity Index;
- cp-driehoek;
- soortensamenstelling.

### 6.3.2 *Activiteit 5: Wormen*

#### *Veldmetingen*

Er is tot nu toe 1 veldmeting uitgevoerd. De bemonsterde aantallen zijn per soort per proefvak samengevat in tabel A1 (zie bijlage A). Aangezien het de eerste veldmeting betreft, is het nog niet mogelijk om een uitspraak te doen over de verspreiding en overleving van de wormen in de proefvakken. Hiervoor zijn diverse metingen in de tijd noodzakelijk; in fase 3 zal hierop worden ingaan.

#### *Bioassay*

Bij alle drie de gebruikte toetssoorten is sprake van 100 % overleving na 4 weken incubatie. De gemiddelde reproductie en lichaamsgroei zijn samen met de bijbehorende standaarddeviaties weergegeven in figuur A2 en A3 (zie bijlage A). In de figuren is tevens per toetsgrond het gehalte aan minerale olie weergegeven. Ten opzichte van de referentiegrond vertonen de wormen gemiddeld een lagere performance in de met minerale olie verontreinigde grond, waarbij de laagste reproductie is gemeten in de grond met het hoogste gehalte aan minerale olie. De gemiddelde lichaamsgroei is positief voor Lumbricus rubellus en Aporetodea caliginosa, doch negatief voor Eisenia veneta. Eisenia veneta lijkt het lichaamsgewicht beter op peil te houden naarmate het oliegehalte hoger is.

De resultaten van het bioassay wijzen erop dat minerale olie een nadelig effect kan uitoefenen op de groei en de reproductie van regenwormen. Het effect is afhankelijk van de soort. Voor *Lumbricus rubellus* en *Aporrectodea caliginosa* is het effect negatief voor zowel de reproductie als de lichaamsgroei. De resultaten zijn het meest consistent voor *Lumbricus rubellus*. Voor *Eisenia veneta* lijkt er sprake te zijn van een 'trade-off' tussen groei en reproductie, dat wil zeggen dat een geringere reproductie in zekere mate wordt gecompenseerd door een betere groeiperformance.

### 6.3.3 Activiteit 6: Vegetatie-ontwikkeling

#### Resultaten

In tabel 6 en 7 zijn de resultaten van het vegetatieonderzoek samengevat. In tabel 6 is de gewasopbrengst weergegeven in relatie tot de bewerking van de meetvelden en de olieconcentraties (GC, C<sub>10</sub> - C<sub>40</sub>) van de uitgangssituatie en de laatste meetronde. In tabel 7 is de dominantie van de vegetatie per meetveld weergegeven.

De resultaten van het vegetatieonderzoek geven geen 'harde' correlaties. Toch vallen de volgende zaken op:

#### Vergelijking blanco's onderling

- Bij toenemende olieconcentraties neemt de gewasopbrengst af (laag: 421 gram, middel: 243 gram, hoog: 156 gram).
- Op de velden met een hoog concentratieniveau is met name beemdgras (75 %) en witte klaver (25 %) aangetroffen, op de velden met een laag en middel concentratieniveau wordt voornamelijk een gelijke verdeling (25 %) van beemdgras, rode klaver, witte klaver en lucerne waargenomen.

Tabel 6. Gewasopbrengst in relatie tot olieconcentraties.

meetveld	bewerking	toevoeging	concentratieniveau uitgangssituatie	conc. huidige situatie (dec. '97) (mg/kgds)	gewasopbrengst (grammen)
V	goed	kunstmest	820	190 - 220	362 - 368
III	zeer goed	compost	395	170 - 250	265 - 368
VI	goed	geen	475	130	276 - 368
VIII	grof	compost	720	130 - 140	272 - 305
IV	goed	compost	1.425	360 - 390	202 - 248
IX	grof	kunstmest	530	180	207 - 244
VII	grof	geen	2.250	290 - 390	102 - 298
II	zeer goed	geen	885	210 - 260	156 - 190
I	zeer goed	kunstmest	650	380 - 480	113 - 138
blanco laag	-	-	180 *	< 25	421
blanco middel	-	-	890 *	780 - 960	243
blanco hoog	-	-	2.200 *	890 - 1.300	156

\* Resultaten meetronde december 1996 (individuele monsters).

Tabel 7. Het drooggewicht van de bovengrondse productie en de dominantie van beemdgras (bg), rode klaver (rk), witte klaver (wk) en lucerne (lu).

meetveldcode	monstercode	drooggewicht totaal verzamelde vegetatie (gram)	dominantie vegetatie (%)			
			beemdgras	rode klaver	witte klaver	lucerne
blanco laag	A	421	25	25	25	25
blanco middel	A	243	25	25	25	25
blanco hoog	A	156	75		25	
I	A	113	50	25	25	
	B	138	50		50	
II	A	190	25		75	
	B	156	25		50	25
III	A	368	25	25	50	
	B	265	25		75	
IV	A	202	25	25	25	25
	B	248	25		75	
V	A	362	75	25		
	B	368				
VI	A	276	25		50	25
	B	362	50		50	
VII	A	298	25		50	25
	B	102			100	
VIII	A	272	50		50	
	B	305	50		50	
IX	A	244	50		25	25
	B	207	50		50	

#### *Vergelijking overige meetvelden*

- De gemeten olieconcentratie in december 1997 ligt voor alle meetvelden I tot en met IX onder de concentratie gemeten in het blanco meetveld, gemiddelde concentratie.
- De volgorde van de meetvelden ten aanzien van de gewasopbrengst (van hoge naar lage opbrengst) is: V, III/VI, VIII, IV/IX, VII, II en I. Ten opzichte van de 'blanco laag' ligt de gewasopbrengst in alle gevallen lager, ten opzichte van de 'blanco hoog' ligt alleen de opbrengst van veld I nog lager.
- Als deze volgorde wordt vergeleken met de concentratieniveaus, bewerkingen en toevoegingen valt op dat met name de lage en middelhoge concentratieniveaus in combinatie met compost, dan wel kunstmest, voor de hoogste opbrengst zorgen. Een hoog concentratieniveau zonder toevoeging van kunstmest/compost lijkt voor een lagere opbrengst te zorgen.
- Een zeer goede bewerking (zeven van de grond) lijkt geen goede basis te zijn voor gewasgroei. Dit is te verklaren vanwege het feit dat de structuur van de grond hiermee verloren gaat (scheiding van grove/fijne delen).



## 6.4 Biobeschikbaarheid

### 6.4.1 Activiteit 7: Biobeschikbaarheidstoets

Uit de resultaten van de biobeschikbaarheidsproeven blijkt dat de beschikbaarheid van minerale olie totaal ( $C_{10}$  -  $C_{40}$ ) in de onderzochte monsters varieert tussen de 0 en 10 mg/kgds. De procentuele beschikbaarheid varieert tussen de 0,1 % en 3 %. Tijdens de laatste meetronde zijn in de velden blanco hoog en blanco middel afwijkende waarden (t.o.v. de gemiddelde waarde) gemeten. De meerderheid van de beschikbare minerale olie wordt gevormd door de deelfracties met ketenlengten tussen de  $C_{20}$  en  $C_{34}$ .

Uit de resultaten van de biobeschikbaarheidsproeven blijkt dat de biobeschikbaarheid in alle meetvelden ongeveer gelijk is (tussen 0,1 % en 3 %). Hierdoor wordt verwacht dat de afbraak in alle meetvelden ongeveer gelijk zal zijn. Dit beeld wordt bevestigd door de gemeten afname van de olieconcentraties in de meetvelden (zie 6.1). Er is echter tot nu toe nog geen duidelijke relatie af te leiden tussen de mate van biobeschikbaarheid en de afbraaksnelheid.

## 6.5 Phytoremediatie

### 6.5.1 Activiteit 8: Phytoremediatie

#### *Resultaten van de literatuurstudie*

Uit de literatuurstudie blijkt dat phytoremediatie veel wordt genoemd in recente literatuur; het is 'in'. Een aantal processen wordt toegeschreven aan phytoemediatie. Resultaten van proeven met grond verontreinigd met zware olie zijn niet aangetroffen in de literatuur. Ook over de vraag of opname van olie in de planten plaatsvindt, is in de recente literatuur geen expliciete informatie te vinden.

Uit de eerder door consortiumleden uitgevoerde proeven, en het parallel aan dit onderzoek opgestarte onderzoek, blijkt dat het effect van olie op de gewassen erg klein is; derving vindt in beperkte mate plaats. Andere proeven geven aan dat de planten een positief effect op de afbraak hebben. Opname van olie in gewassen treedt naar verwachting niet op en risico's zijn zeer waarschijnlijk afwezig. Een en ander wordt nog nader onderbouwd in een ander kader.

#### *Micro-aërofiel*

Naast phytoremediatie is ook bestudeerd of micro-aërofiële afbraak van minerale olie in de bodem zou kunnen optreden.

#### *Algemeen*

Micro-aërofiel treedt alleen op bij lage zuurstofconcentraties. Micro-aërofiële omstandigheden kunnen ervoor zorgen dat initiële oxidatie van stoffen (b.v. benzeen) optreedt. Hierdoor ontstaan tussenproducten die beter afbreekbaar zijn via (anaërobe) biodegradatie, bijvoorbeeld met behulp van nitraat.

Voor persistente stoffen, zoals benzeen, kan dit dus net de opstap zijn om überhaupt afbraak te krijgen. De behoefte aan zuurstof wordt zo niet volledig weggenomen, maar wel grotendeels gesupplementeerd door alternatieve elektronenacceptoren.

#### *Locatie MS1*

Bij MS1 gaat het met name om een verontreiniging met minerale olie. De afbraak van deze stof is zuurstof gelimiteerd. Op basis van tot op heden opgedane ervaringen zijn er vooralsnog geen aanwijzingen dat afbraak onder anaërobe omstandigheden optreedt. Bovendien geldt dat, gezien de betrekkelijk ondiepe behandlungszone van 0,5 m, er al sprake is van aërobe omstandigheden (zuurstofconcentraties in de bovenste 0,5 m 10 tot 20 %). De functie van micro-aërofiel voor de locatie MS1 wordt om deze redenen dan ook sterk betwijfeld.



### CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In deze notitie zijn de conclusies en aanbevelingen weergegeven naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek 'Meetstation 1, fase 2'. De conclusies en aanbevelingen zijn per activiteit aangegeven.

#### 7.1 **Activiteit 1: Metingen olieconcentraties**

##### *Conclusies*

De resultaten tot nu toe wijzen erop dat de afbraak van minerale olie in de zone van 0 tot 50 cm-mv substantieel is. De afbraak van minerale olie lijkt vooralsnog onafhankelijk te zijn van de bewerking van de velden dan wel de toevoeging van kunstmest of compost. Significante verschillen in olieconcentraties per meetveld zijn niet aangetoond. Op een diepte groter dan 50 cm-mv lijkt de afbraak te stagneren.

##### *Aanbevelingen*

Aanbevolen wordt het aantal veldmetingen met betrekking tot de olieconcentraties terug te brengen van 3 naar 2 meetronden. Voorgesteld wordt één meetronde uit te voeren aan het begin van fase 3; hierbij wordt alleen de laag van 0 tot 0,5 m-mv bemonsterd. De andere meetronde wordt uitgevoerd aan het eind van fase 3. Bij deze laatste meetronde worden op drie diepten monsters genomen. De monsternamediepte wordt afhankelijk gesteld van de ontwikkeling van de wortels (in de wortelzone, direct onder de wortelzone en op grotere diepte).

#### 7.2 **Activiteit 2: Metingen met de landfill analyser (LFA)**

##### *Conclusies*

Op basis van de metingen met de landfill analyser blijkt er tot 50 cm-mv sprake te zijn van voldoende aërobe omstandigheden voor de afbraak van minerale olie. Op een diepte groter dan 50 cm-mv geldt dit niet meer. Gemeten in de tijd neemt de zuurstofconcentratie op gelijke diepte af. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat de toevoer van buitenlucht afneemt, terwijl wel zuurstof wordt gebruikt voor afbraak.

Er treden geen significante verschillen op in de zuurstofconcentraties en -profielen die zijn terug te voeren op de verschillen in bewerkingsmethoden.

##### *Aanbevelingen*

Aanbevolen wordt het aantal metingen met de landfill analyser terug te brengen van 3 naar 1 meetronde, uit te voeren aan het eind van fase 3. Ook hiervoor geldt dat voorgesteld wordt de metingen uit te voeren op drie diepten, te weten in de wortelzone, direct onder de wortelzone en op grotere diepte.

#### 7.3 **Activiteit 3: Metingen met de elektrode**

##### *Conclusies*

De zuurstofelektrode is gevalideerd in het IWACO-laboratorium. De (on)nauwkeurigheid van de elektrode bedraagt circa 10 % van het meetbereik. Met de meter is het mogelijk om vast te stellen of in de bodem aërobe of anaërobe omstandigheden aanwezig zijn. Daarnaast is de meter geschikt om gradiëntprofielen te bepalen voor zuurstofgehalten in vochtige bodems. Nauwkeurige metingen van het zuurstofgehalte zijn minder goed mogelijk.

Uit de metingen met de elektrode blijkt dat het zuurstofgehalte met toenemende diepte afneemt. Uit de resultaten blijkt tevens dat het membraam van elektrode 3 was beschadigd.

#### *Aanbevelingen*

Aanbevolen wordt het aantal metingen met de elektrode terug te brengen van 3 naar 1 meetronde, uit te voeren aan het eind van fase 3. Ook hiervoor geldt dat voorgesteld wordt de metingen uit te voeren op drie diepten, te weten in de wortelzone, direct onder de wortelzone en op grotere diepte.

### **7.4 Activiteit 4: Nematodenonderzoek**

#### *Conclusies*

De beschikbare resultaten van de tot nu toe uitgevoerde meetronden zijn tussentijds geïnterpreteerd.

De belangrijkste conclusies die na 3 meetronden zijn vast te stellen, zijn:

- de minerale olieverontreiniging heeft effect op de nematoden;
- de bewerking van de meetvelden is van invloed op de nematodenfauna;
- de cp-driehoeken laten in de tijd een licht herstel zien;
- de nematodenfauna varieert in de meetvelden.

Er is een aantal trends zichtbaar die goede kansen bieden om het ecologisch herstel, van met minerale olie verontreinigde grond, te monitoren (dichtheden, Maturity Index, cp-driehoek en soortensamenstelling).

#### *Aanbevelingen*

Aanbevolen wordt de biomonitoring aan de hand van nematoden, zoals uitgevoerd in fase 2, voort te zetten.

### **7.5 Activiteit 5: Wormenonderzoek**

#### *Conclusies*

Voor de monitoring met wormen is de eerste terugbemonstering uitgevoerd. Op basis van deze resultaten (1 enkele meting) zijn nog geen uitspraken te doen over de verspreiding en de overleving van de wormen in de proefvelden. Hiervoor zijn diverse metingen in de tijd noodzakelijk.

Als tweede onderdeel is door IBN-DLO een laboratoriumassay met regenwormen uitgevoerd. De resultaten van het bioassay wijzen erop dat minerale olie een nadelig effect kan uitoefenen op de groei en reproductie van regenwormen. Het effect is afhankelijk van de soort.

#### *Aanbevelingen*

Aanbevolen wordt de biomonitoring aan de hand van wormen, zoals uitgevoerd in fase 2, voort te zetten.

### **7.6 Activiteit 6: Vegetatie-ontwikkeling**

#### *Conclusies*

Voor de meting van vegetatie-ontwikkeling is een methode ontwikkeld die goed toepasbaar is en voldoet aan de vooraf gestelde criteria. Het betreft een methode waarbij per meetveld 2 rasters zijn uitgezet, waarbinnen de daarop groeiende vegetatie wordt afgeknipt. Vervolgens wordt het plantenmateriaal gedroogd en gewogen, waarna de gewasopbrengst wordt bepaald. Tevens wordt de dominantie van de gewassen per raster vastgesteld.

Daar het de eerste meting betreft, geven de resultaten van het vegetatieonderzoek nog geen duidelijke trends. Wel vallen de volgende zaken op:

- bij toenemende olieconcentraties neemt de gewasopbrengst af;
- toevoeging van kunstmest/compost levert een positieve bijdrage aan de gewasopbrengst;
- homogenisatie van de grond lijkt een negatief effect op de vegetatie-ontwikkeling te hebben.

#### *Aanbevelingen*

Aanbevolen wordt om in fase 3 één meetronde met betrekking tot de vegetatie-ontwikkeling uit te voeren. De nadruk ligt hierbij met name op de gewasopbrengst per veld. Daarnaast wordt aanbevolen om aan het eind van het groeiseizoen voor elk veld 1 à 2 bodemprofielen te graven. Aan de hand hiervan kan de bewortelingsdiepte van de verschillende velden worden vergeleken en kunnen gericht monsters worden genomen uit de verschillende lagen voor bepaling van olie-, O<sub>2</sub>- en CO<sub>2</sub>-concentraties (zie voorgaande aanbevelingen). Tevens wordt voorgesteld om in fase 3 wederom een bemestingsadvies op te stellen (zoals ook uitgevoerd in fase 2). Op basis hiervan kan mogelijk een relatie worden vastgesteld tussen vegetatie-ontwikkeling en beschikbaarheid van nutriënten.

### **7.7 Activiteit 7: Biobeschikbaarheid**

#### *Conclusies*

In fase 2 is gestart met het opbouwen van een meetreeks. Uit de resultaten van de biobeschikbaarheidproeven blijkt dat de biobeschikbaarheid in alle velden ongeveer gelijk is. De procentuele beschikbaarheid ligt in de range van 0,1 % tot 3 %. Vanwege het feit dat de beschikbaarheid in alle velden ongeveer gelijk is, is te verwachten dat de afbraak in alle velden ongeveer gelijk zal verlopen. Dit beeld wordt bevestigd door de gemeten afbraakconstanten. Er is tot nu toe nog geen duidelijke relatie af te leiden tussen de mate van biobeschikbaarheid en de afbraaksnelheid.

#### *Aanbevelingen*

Het uitvoeren van biobeschikbaarheidsmetingen in fase 3 wordt niet zinvol geacht, gezien de resultaten van fase 2.

### **7.8 Activiteit 8: Phytoremediatie (en risicostudie)**

#### *Conclusies*

In fase 2 is door middel van een literatuurstudie de rol van phytoremediatie voor het MS1-project bepaald. Uit de literatuurstudie blijkt dat het toepassen van planten om verontreinigde gronden schoon te krijgen wereldwijd wordt gezien als de meest kosteneffectieve benadering van menige verontreinigde locatie. Resultaten van proeven met zware minerale olie zijn niet in de literatuur aangetroffen, maar de algemene mening is dat planten door verschillende processen een positieve invloed zullen hebben op de afbraak van zware olie. Het wordt daarom aanbevolen zoveel mogelijk plantengroei toe te staan en te stimuleren.

Uit proeven die door consortiumleden parallel aan dit onderzoek zijn uitgevoerd, blijkt dat het effect van olie op gewassen erg klein is en dat derving maar in beperkte mate plaatsvindt.

Naast phytoremediatie is ook bekeken of micro-aërofiële afbraak een rol kan spelen bij de afbraak van minerale olie. Geconcludeerd wordt dat door de ondiepe behandelingszone er sprake is van voldoende aërobe omstandigheden, waardoor de functie van micro-aërofiel voor de locatie MS1 sterk wordt betwijfeld.

### *Aanbevelingen*

Tijdens fase 2 is door NAM, IWACO en AB-DLO een workshop georganiseerd, waarin een streefbeeld is geschetst voor de wijze waarop in de toekomst met de sanering van (een deel van) de overige NAM-locaties in Schoonebeek zou moeten worden omgegaan (extensieve herinrichting). Voorgesteld wordt om tijdens fase 3 ook zo'n workshop te organiseren, waarbij ook het bevoegd gezag en NOBIS aanwezig zijn. Het doel van deze workshop is het in fase 2 geschetste streefbeeld nader te onderbouwen, waarbij met name wordt ingegaan op een aantal onderzoeksaspecten die naar aanleiding van de workshop in fase 2 naar voren zijn gekomen.

Eén van de aspecten die van belang is bij het nadenken over extensieve herinrichting is het aspect van risico's van minerale olie voor mens en vee. Wil het concept van 'in situ landfarming' in praktijk worden gebracht dan is het noodzakelijk dat er voldoende inzicht is in dit aspect. Dit aspect zal vermoedelijk een doorslaggevende factor zijn bij de besluitvorming over het al dan niet (grootschalig) toepassen van extensieve herinrichting. Voorgesteld wordt door middel van aanvullend onderzoek zoveel mogelijk de meest recent ontwikkelde kennis op het gebied van risicobeoordeling in relatie tot minerale olie op tafel te krijgen. Een belangrijke vraag hierbij is in hoeverre minerale olie wordt opgenomen door gewassen. Aanvullend onderzoek naar dit aspect aan de hand van een aantal praktijkproeven wordt mede aanbevolen.

Voorgesteld wordt aan het eind van fase 3 de resultaten van het onderzoek van MS1 door middel van een artikel te publiceren in een nader te bepalen vaktijdschrift.

BIJLAGE A

**RESULTATEN VAN DE TELLINGEN VAN DE WORMENPOPULATIE**

Tabel A1. Aantallen en biomassa van wormen bemonsterd in de proefvlakken.

proefvak	soort worm	totaal aantal	gewicht in mg
I	Lumbricus rubellus	1	561
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	1	821
II	Aporrectodea caliginosa tuberculata	1	678
III	Lumbricus rubellus	3	3091
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	1	849
	Allolobophora chlorotica	1	490
IV	Lumbricus rubellus	1	994
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	4	3592
V	Lumbricus rubellus	5	4030
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	3	2334
VI	Lumbricus rubellus	2	1921
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	2	1499
	Aporrectodea longa	1	972
VII	Lumbricus rubellus	4	3879
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	1	573
VIII	Lumbricus rubellus	5	5514
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	4	2558
IX	Lumbricus rubellus	8	6923
	Aporrectodea caliginosa tuberculata	6	4718
	Aporrectodea longa	1	819
	Allolobophora chlorotica	1	382
O	Aporrectodea caliginosa tuberculata	1	762

Fig. A1. Proefveld NAM.



Fig. A2.

Fig. A3.

## BIJLAGE B

### LITERATUURSTUDIE PHYTOREMEDIATIE VAN OLIE VERONTREINIGDE GRONDEN

#### B1 Inleiding

In opdracht van de NOBIS is door IWACO onderzocht welke rol fytoremediatie kan worden toegeschreven binnen het project MS1. Hiertoe is een literatuurstudie uitgevoerd naar de interactie tussen restanten ruwe olie in grond en de aanwezige vegetatie. Het betreft de eliminatie via microbiële afbraak en via opname in de plant. Daarbij dienen ook de mogelijke consequenties te worden beschouwd indien planten daarna dienen als menselijke en dierlijke consumptie. Ook wordt op risico via uitloging ingegaan.

Het toepassen van planten in het algemeen of van bepaalde vegetaties om verontreinigde gronden schoon te krijgen, met andere woorden in situ te saneren, wordt - anno 1997- wereldwijd gepredikt als de meest kosteneffectieve benadering van menige verontreinigde locatie [Boyajian en Devedjian, 1997]. Aan de microbiële consortia rondom plantenwortels, de rhizosfeerpopulatie, wordt een zeer breed afbrekend vermogen toegeschreven [o.a. Anderson et al., 1993]. Ook de opname van zware metalen in planten wordt gedefinieerd als fytoremediatie. Bedrijven als Phytotechnology of Phytokinetics schieten als paddestoelen uit de grond.

In dit rapport wordt allereerst samenvattend ingegaan op fytoremediatie in het algemeen, recente ervaringen in andere projecten (uit literatuur) en de relevante interacties tussen bodem, verontreiniging en planten (zie B2). Daarna wordt dieper ingegaan op de specifieke relatie ruwe olie verontreinigde grond en planten (zie B3 en verder); hierbij is naast algemene informatie uit literatuur vooral ook gebruik gemaakt van - verwante - kennis die bij dit consortium aanwezig is.

#### B2 Fytoremediatie 'in het algemeen'

Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar recente toepassingen van planten om, direct of indirect, verontreinigingen uit bijvoorbeeld grond en grondwater te verwijderen (= fytoremediatie). Er is hierbij specifiek gekeken naar verontreinigingen met zware minerale olie (ruwe olie). Het onderzoek is uitgevoerd in september/oktober 1997. Gebleken is dat fytoremediatie sterk in de belangstelling staat: er zijn vrij veel recente ontwikkelingen op dit gebied (o.a. IBC's Second Annual International Conference on Phytoremediation, juni 1997, Seattle, USA). Concreete resultaten voor specifieke grond, verontreinigd met zware olie, zijn vooralsnog maar in zeer beperkte mate aangetroffen. De werkzaamheden op MS1 lijken ons een duidelijke stap verder te brengen.

Eerst wordt samengevat welke vormen van fytoremediatie worden beschreven in de recente literatuur en daarna wordt ingegaan op enkele recente praktijkvoorbeelden en ervaringen met fytoremediatie bij verontreinigingen met zware olie in grond.

##### B2.1 *Wat is fytoremediatie?*

Onder fytoremediatie worden de processen verstaan waarvan planten gebruik maken om verontreinigingen in de bodem, het grondwater, het oppervlaktewater, het sediment en de lucht te verwijderen.

Onder phytoremediatie vallen de volgende mechanismen:

#### *Gestimuleerde rhizosfeerbiodegradatie*

Gestimuleerde rhizosfeerbiodegradatie vindt plaats in de omgeving van de plantenwortels. Natuurlijke stoffen, die door plantenwortels worden afgescheiden, zorgen voor voldoende nutriënten voor de micro-organismen; dit helpt de micro-organismen bij de afbraak van verontreinigingen. Daarnaast zorgen plantenwortels voor een verbeterde structuur, waardoor transport van water en lucht wordt bevorderd.

#### *Phyto-extractie*

Onder phyto-extractie wordt verstaan de opname van verontreinigingen door plantenwortels en de verplaatsing van verontreinigingen naar takken en bladeren. Wanneer verontreinigingen in planten worden opgeslagen, kan de verontreiniging door middel van het oogsten van de planten worden verwijderd. Dit geldt met name voor zware metalen in wortels.

#### *Phytodegradatie*

Onder phytodegradatie worden stofwisselingsprocessen verstaan die in de weefsels van de planten plaatsvinden. Deze processen kunnen een bijdrage leveren aan de afbraak van verontreinigingen na opname. Daarnaast produceren planten enzymen die de afbraak katalyseren.

#### *Verdamping*

Verdamping treedt op wanneer planten water opnemen met daarin organische verontreinigingen; de verontreinigingen komen in de atmosfeer terecht via de bladeren.

#### *Phytostabilisatie*

Het gebruikt van planten om te voorkomen dat verontreinigingen in grond en grondwater zich verspreiden door de onttrekking van grondwater via de wortels.

### B2.2 *Beperkende factoren*

Phytoremediatie is niet zonder meer toepasbaar. In de literatuur worden de enkele beperkende factoren voor phytoremediatie genoemd:

- de toepassing is beperkt tot ondiepe bodems, oppervlaktewater en ondiep grondwater;
- hoge concentraties verontreinigingen kunnen toxisch zijn voor de planten;
- deze methode is langzamer dan overige behandelingsmethoden (met name in koude perioden);
- de methode is niet effectief voor zeer sterk en zeer zwak geadsorbeerde verbindingen;
- de toxiciteit en de biobeschikbaarheid van verontreinigingen is niet altijd bekend;
- afbraakproducten kunnen worden gemobiliseerd, waardoor ze in het grondwater of in dieren terechtkomen (verplaatsen van verontreinigingen);
- het is een werkveld dat sterk in ontwikkeling is;
- het is niet algemeen geaccepteerd en bekend als (sanerings)beheersmethode.

### B2.3 *Recente praktijkvoorbeelden*

#### *Alfalfa*

Door middel van een praktijkproef is vastgesteld dat het oliegehalte in proefvelden met ruwe olie afneemt wanneer alfalfa wordt gekweekt op het veld [Bing, 1996; Rooney et al., 1995; Schnoor et al., 1995]. Alfalfa heeft diepe wortels en een nitraatfixerend vermogen wat de afbraak bevordert.

#### *Hybrid poplars*

Door middel van een praktijkproef is aangetoond dat gebruik van populieren als afdekoptie voor een stortplaats goed werkt. Tevens is het door de diepe beworteling mogelijk de verontreiniging

te beheersen. Voordelen van populieren zijn de snelle groei (naar het grondwater), de lange levensduur, tolerantie voor organische verontreinigingen (ook ruwe olie), hardy, perennial en hun flood tolerance [Bing, 1996; Schnoor et al., 1995]. In bepaalde gevallen is een geul gegraven om er zeker van te zijn dat de populieren grondwater opnemen in plaats van regenwater.

#### *Grassen*

Net als alfalfa hebben grassen (St. Augustin gras, Bermuda gras) diepe wortels die sterk uiteenlopen in kleinere wortels. Grassen worden genoemd als saneringsoptie voor petroleumkoolwaterstoffen. Een praktijkvoorbeeld is de toepassing van gras ter plaatse van de US Gulf Coast om een ruwe olie verontreinigingen te saneren [Bing, 1996; Kim, 1996].

In B6 zijn de literatuurverwijzingen opgenomen.

### **B3 Nadere uitwerking: Interactie bodem, verontreinigingen en planten**

Het gedrag, het gehele netwerk van interacties, of het frame van transformaties van verontreinigingen in de bodem wordt in beeld gebracht in figuur B1.

Fig. B1. Het geschematiseerde netwerk van bodemtransformaties [Goring en Hamaker, 1972].

De som van deze interacties (zie fig. B1) bepaalt de milieuconsequenties. Factoren als pH, organisch stofgehalte, kleigehalte, watergehalte, soort en ouderdom van plant en dergelijke beïnvloeden de mate van deze interacties.

#### **B3.1 Rol van plantenwortels**

Binnen het complete netwerk van transformaties en de consequenties daarvan wordt in dit rapport de nadruk gelegd op de rol van plantenwortels, die direct en indirect kan zijn.

Onder het directe effect verstaan we de (eventuele) opname via de wortels van de verontreiniging door planten en de consequenties daarvan. De opname door planten via de wortels is direct gerelateerd aan de vochtopname van wortels. Dit wil zeggen dat van de verontreiniging de

vocht oplosbare fractie opneembaar is. De eigenschappen van de celwand en de celmembranen bepalen de permeabiliteit voor het type verontreiniging. Daarna kan er sprake zijn van transport, afbraak en/of accumulatie naar/in specifieke plantendelen.

Het indirecte effect is het rhizosfeereffect en de consequenties daarvan. In het algemeen nemen plantenwortels water op met mineralen (zouten) daarin. Hun afscheidingsproducten, de wortel-exudaten, zijn in het algemeen organische verbindingen als suikers en zuren, als aminozuren, maar ook mierenzuur, azijnzuur of succinaatzuur. Deze hoeveelheid organisch materiaal zorgt ervoor dat de microbiële biomassa daar 20 tot 100 keer hoger kan zijn dan verder weg van de wortel (dus ook grotere afbraakpotentie). Die genoemde zuren kunnen ook als organisch oplosmiddel dienen en daarmee verontreinigingen beter beschikbaar maken voor afbraak. Wezenlijk is dat die verhoogde beschikbaarheid in veel gevallen eerder de microflora ten goede komt dan de plant. Dit wordt veroorzaakt door een andere samenstelling van celwanden en celmembranen van bacteriën en een andere functie van de organismen.

Wortels hebben ook een bioturbatiefunctie: ze maken fysische entrees vanwege hun doordringingsvermogen in bodemkorrels, waardoor de structuur van de grond kan worden verbeterd, vandaar dat wortels ook als milieu-indicator kunnen worden gebruikt. Immers, in het algemeen functioneren wortels alleen daar waar een aëroob regiem heerst. Het milieu-indicatoraspect wordt duidelijk gemaakt aan de hand van twee verschillende wortelstelsels, zoals geschetst in figuur B2 [Van der Werff, 1992].

Plantenwortels hebben ook effect op het vochtgehalte van de bodem. Verder zal ook het zuurstofgehalte worden beïnvloed door de groei van plantenwortels; daar waar wortels zijn is altijd sprake van aëratie.

Specifieke planten zullen (ten opzichte van andere planten) een relatief grote bijdrage kunnen leveren aan het afbraakproces. De diepte van de wortels is primair bepalend voor de diepte waarin phytoremediatie een rol kan spelen (hierin wordt voorbijgegaan aan de wortelverlengende rol die vasiculaire arbusculaire mycorrhiza's kunnen spelen).

### B3.3 *Plantenwortels en soorten verontreinigingen*

De bodemverontreinigingen worden ingedeeld in anorganische (zoals zware metalen), in organische (zoals gechloreerde koolwaterstoffen) en in *gewone* koolwaterstoffen (als oliën). Om de vraagstelling ten aanzien van zware minerale olie inzichtelijk te maken, wordt hieronder eerst kort ingegaan op zware metalen, waarover relatief veel informatie beschikbaar is.

#### *Zware metalen*

De eliminatie van zware metalen uit gronden via planten berust in principe op het begrip *extractie*. De metalen moeten via de wortels uit de grond worden geëxtraheerd. Daarna dient het plantaardig materiaal te worden afgevoerd, daar zware metalen per definitie niet verder elimineerbaar zijn en de metalen weer in de grond terug zouden komen bij de mineralisatie en humificatie van het organisch materiaal. Vooral de gewassen zinkboerenkers, hallers steenkers, blaassilene, voorjaars veldmuur en Engels gras zijn zware metalen-accumuleerders (met name Zn, Cd, Pb en Cu). In tabel B1 is van een aantal gewassen weergegeven wat de maximale concentraties van zware metalen daarin kunnen zijn.

Fig. B2. Het wortelbeeld van luzerne (links) en van Engels raaigras (rechts).

Vanuit tabel B1 wordt duidelijk dat de accumulatie van het ene metaal niet direct inhoudt dat ook het ander metaal zo sterk wordt geaccumuleerd. De accumulatie van Cd en Pb blijft in het algemeen sterk achter bij die van Zn. Zn en Cu zijn voor de plant noodzakelijke sporelementen. De accumulatie van Cd en Pb moet ook voor de plant dus een soort detoxificatie van zijn leefmilieu zijn. De plant moet het vermogen hebben om het metaal bij zichzelf ergens schadevrij op te slaan.

Tabel B1. De maximale concentratie van zware metalen in de plant [Ernst, 1995] in mg/kgds.

	Zn	Cd	Cu	Pb
zinkboerenkers	13.580	560	90	560
hallers steenkers	25.000	56	8	172
blaassilene	2.350	120	374	195
voorjaars veldmuur	5.300	80	1.030	670
Engels gras	2.560	250	585	460
gewoon struisgras	1.185	4	72	100
schapengras	1.120	2	11	90
pijpestrootje	310	1	6	17
andijvie	311	13	niet gemeten	1
spinazie	180	4	niet gemeten	3
sla	133	6	niet gemeten	2
spruitjes	71	1	niet gemeten	6

Om gronden, verontreinigd tot boven de C-waarde, met behulp van planten te reinigen tot de A-waarde, zijn honderden jaren nodig. Professor Wilfried Ernst van de VU schrijft: *'gelet op de lange tijdsduur, die de biologische decontaminatie van bodem bij jaarlijks maaien nodig heeft, is de inzetbaarheid van hogere planten voor bodemverontreiniging erg beperkt'* [Ernst, 1995].

#### *Organische verontreinigingen*

De opname van organische verbindingen door de wortel is een complex proces en eigenlijk een tegendraads proces: de rol van wortels is dominant gericht op absorptie van water en mineralen. Onzeker is daarbij in hoeverre organische verbindingen worden opgenomen; de literatuur geeft hierover weinig aanvullende informatie. Er is dan ook geen tabel te produceren, analoog aan tabel B1, over de concentratie van bepaalde organische verbindingen als pesticiden of oliën in bepaalde vegetaties. Vandaar dat we kort ingaan op de processen die een rol spelen bij transport van organische verbindingen naar binnen in een wortel.

Bij de specifieke opname/absorptie van organische verbindingen spelen met name de eigenschappen van de verontreiniging een rol in relatie tot de oplosbaarheid in water en in octanol: de  $\text{Log } K_{ow}$ . Polaire verbindingen, die nogal goed in water oplossen, hebben een lage  $\text{Log } K_{ow}$ . Bij bacteriën, die lipoproteïnen hebben in hun celwanden, neemt de accumulatie toe met toenemende  $\text{Log } K_{ow}$ . Ook bij plantenwortels zou dit kunnen en dan wordt dit ook door het vetgehalte van de celwanden bepaald. In het algemeen hebben plantenwortels geen vet (lipoproteïnen) in hun celwanden. Ook de vitaliteit van de wortel is bepalend voor de wortelconcentratiefactor. Als de wortel uiteenvalt of macereert, verdwijnt de selectieve opnamecapaciteit en zou er meer organisch materiaal kunnen worden opgenomen.

Na opname moet sprake zijn van transport, anders stagneert de opname direct. Dit wordt de transpiratiestroom concentratiefactor genoemd (TSCF). Als deze waarde toeneemt van zeer laag tot circa 2 is er een toename van translocatie door de wortel, daarna is er een steeds lagere opname bij een hogere waarde (3 naar 5 en verder) [Ryan et al., 1988]. Opnieuw, het vetgehalte in de membranen van plantencellen speelt hierin een cruciale rol. Vandaar dat de planten worden ingedeeld in normal en lipid-containing plants [Topp et al., 1986]. Tevens is er sprake van oil-containing plants (oil-channels; cress, carrot, parsnip).

De molecuulgrootte van de verontreiniging is de eerste beperkende stap voor transport naar binnen in de plant. Daarna gaan de lipid en oil-containment een rol spelen. Uiteindelijk gaat het erom of de plant in staat is de opgenomen verontreiniging af te breken of voor zichzelf onschuldig op te slaan. Voor gechlorideerde organische verbindingen als Drins en PCB's is hierover



mechanistisch veel bekend. Weinig is bekend over de ecotoxicologische consequenties. Hoe het hiermee staat voor grote ruwe oliemoleculen wordt in B4 nader besproken.

#### **B4 Interactie ruwe olie bodemverontreiniging en planten**

Dit onderdeel van het rapport gaat in op de volgende vragen:

- zijn restanten ruwe olie in grond een probleem voor de kwaliteit van water?
- is het restant verder microbiologisch afbreekbaar?
- kunnen planten de afbreekbaarheid positief beïnvloeden?
- kunnen planten oliecomponenten opnemen en kan dit leiden tot negatieve effecten op de plant of op de consumenten van planten?
- bij welke concentratie is alleen nog minimale monitoring nodig?

Deze vragen benoemen de kernpunten voor gecontroleerde toepassing van phytoremediatie bij grond verontreinigd met zware olie<sup>1</sup>. Om verder te gaan dan alleen een theoretische onderbouwing is gezocht naar praktijkgegevens om een antwoord op deze vragen te geven; onderstaand is dit uitgewerkt.

Ruwe olie is een uitmengsel van diverse olie-achtige componenten, zoals aromaten, polycyclische aromaten, korte en lange vertakte ketens en onvertakte ketens. Dit kan bijvoorbeeld worden uitgedrukt in een cumulatieve distillatiecurve. Van Schoonebeekse ruwe olie is bekend dat bij 125 °C 25 % destilleert; bij 200 °C is 9 % gedestilleerd en bij 300 °C 23 % [De Haan, 1986]. Behalve C en H bevatten de ruwe oliën ook vaak S (1 %). De samenstelling van ruwe olie uit het Schoonebeekse veld zal anders zijn dan dat uit een Kuweit-veld.

De fysisch/chemische eigenschappen van de diverse ruwe oliecomponenten zijn bepalend voor hun gedrag. Dit wordt vooral bepaald door het massagewicht, de  $K_p$ , de opl-w, de opl-oct, de Henri-constante en de  $\text{Log } K_{ow}$ .

Als eerste zullen de kleinere moleculen via verdamping worden geëlimineerd (Henri-constante) en via oplosbaarheid. De oplosbaarheid in water gaat gepaard met verspreiding, microbiële afbraak en eventuele opname door planten en bodembiota. De oplosbaarheid in octanol speelt hierin tevens een rol, zoals in B3 is uiteen gezet.

##### **B4.1 Uitloging van ruwe oliecomponenten**

Direct nadat olieverontreiniging intreedt in grond zal sprake zijn van uitloging, afhankelijk van de oplosbaarheid en van de snelheid waarmee de bodemmicroflora die componenten afbreekt. In een aëroob bodemmilieu is de afbraakpotentie in het algemeen zo hoog dat er geen sprake is van uitloging (MER-NAM). In de praktijk is de eerste indicatie van mogelijke uitloging altijd gemeten aan verhoging van het TOC-gehalte in grondwater. Omdat verwerking of afbraak van weinig materiaal ook tot verhoging van het TOC-gehalte leidt, is het daadwerkelijk meten van olie eigenlijk een noodzaak voor werkelijk aantonen. Alleen onder anaërobe omstandigheden is dit aangetoond. Dit is begrijpelijk daar micro-organismen onder aërobe omstandigheden de oplosbare fractie direct zouden hebben afgebroken (MER-NAM). Aangenomen mag worden dat beschikbare oliefracties tussen pH 4 en pH 10 in gangbare gronden worden afgebroken [Dalyan et al., 1990].

---

<sup>1</sup> Zie onder meer verslag workshop 'Extensieve herontwikkeling NAM Schoonebeek'.

Voor specifiek Schoonebeekse ruwe olie is mogelijke uitloging via diverse experimenten bepaald in de periode 1975 - 1978. De resultaten zijn nooit officieel gepubliceerd, maar via André de Boer (NAM) bij Peter Doelman (IWACO) terechtgekomen. Voor een deel van dit rapport vormen deze experimenten de hoekstenen.

Via experimenten met akkerbouwgrond (dalgrond 6 - 12 % organisch materiaal) uit Schoonebeek, gemengd met respectievelijk 0, 0,25, 0,50, 1, 2, 5 en 10 gewichtsprocenten ruwe olie werd bepaald wanneer er spraken was van uitloging via percolatiewater. Van een aparte grond met 16 % ruwe olie werd ook de uitloging bepaald. De gronden werden beteeld met een bepaald gewas en na elk gewas (haver) werd de grond doorgespoeld en het percolatiewater geanalyseerd op olie. Gewas 1 werd ingezaaid op 18-09-1975, gewas 2 op 02-03-1976 en gewas 3 op 09-11-1976. Het betrof dus experimenten op laboratoriumschaal. In tabel B2 zijn de uitloogresultaten samengevat.

Tabel B2. Mg olie per liter percolatiewater.

	olie in de grond							
	0	0,25	0,5	1	2	5	10	16
gewas 1	0,13	0,03	0,27	0,39	0,79	1,25	1,04	1,83
gewas 2	5,2	6,4	4,8	7,2	9,6	7,2	12	55
gewas 3	1,3	1,0	1,3	1,0	1,0	1,3	1,2	1,6

In het begin is er geen verschil tussen de blanco en 2.500 mg ruwe olie per kg. Na een tweede gewas is er al geen verschil meer tussen de blanco en 5.000 mg ruwe olie per kg. Bij het derde gewas blijken ook de extreem hoogste verontreinigingen geen uitloging meer te veroorzaken.

Experimenten uitgevoerd met veengrond (in lagen van respectievelijk 5, 45 en 95 cm) onder de met olie verontreinigde grond leidde nooit tot uitloging van olie.

Conclusie van de proeven was dat er geen uitspoeling is te verwachten van oliecomponenten uit ruwe olie als de milieu-omstandigheden aëroob zijn<sup>2</sup>.

#### B4.2 *Microbiologische afbraak van resten ruwe olie*

In tabel B3 zijn de resultaten van een eerder uitgevoerde proef samengevat. Het betreft de afbraak van zware olie in een periode van drie jaar. Hieruit blijkt dat alleen in de bovenste laag van de grond sprake is van significante afbraak; bij ompsitten van de grond in de bovenste laag (aanvankelijk de onderste laag) wordt telkens weer een hogere olieconcentratie gemeten, waardoor een zogenoemd zigzag-effect ontstaat.

Dit betekent dat een goede landfarm (afhankelijk van aëratie) maximaal circa 75 cm diep mag zijn en niet 200 cm, zoals in de originele NAM-VAM-proef.

Omdat in de NAM-VAM-proef om de ongeveer 6 weken werd omgespit, werd toch een concentratieverlaging van 20.000 naar 6.000 mg ruwe olie per kg bereikt in drie jaar.

<sup>2</sup> Hierbij wordt impliciet verondersteld dat een bepaalde mate van uitloging inderdaad optreedt.

Tabel B3. Resultaten van de NAM-VAM-proef.

1993	1994	1995	
	0 - 15 cm	0 - 15 cm	14 - 50 cm
IR-GC	IR-GC	IR-GC	IR-GC
520	260 - 110	73 - 48	1400 - 870
	210 - 86	170 - 83	290 - 170
	140 - 49	170 - 86	370 - 190
	380 - 130	40 - 32	99 - 94
	380 - 140	370 - 170	170 - 110
	300 - 130	170 - 72	720 - 350
	390 - 140	470 - 210	1200 - 400
	750 - 290	540 - 240	400 - 200
	420 - 180	540 - 240	590 - 290
	230 - 92		
	346 - 134	280 - 130	582 - 325

#### B4.3 *Interactie tussen planten en de afbraak van ruwe olie*

Een intensief literatuuronderzoek leverde wel veel titels op over de rol van planten op de afbraak van organisch materiaal, maar bij nadere screening bleek het gehele spectrum van ruwe olie nooit bestudeerd te zijn. Het betrof vaak een specifieke voorbeeldstof of enkele PAK's. Uiteindelijk blijken alleen de onderzoeken van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid relevant [De Haan, 1986].

Via groei-experimenten van gewassen op akkerbouwgrond uit Schoonebeek, gemengd met respectievelijk 0, 0,25, 0,50, 1, 2, 5 en 10 gewichtspercenten ruwe olie en een aparte grond met 16 % werd bepaald wanneer er sprake was van negatieve effecten op de groei. In tabel B4 is de invloed van ruwe olie weergegeven op het droge stof van gerst.

Tabel B4. De opbrengst van drie opeenvolgende gewassen in relatie tot concentratie (gewas 1, gewas 2 en gewas 3) in gronden met verschillende percentages ruwe olie (droge stof in gram per pot).

	gewichtsperscentage olie							
	0	0,25	0,5	1	2	5	10	16
gewas 1	6,11	5,98	5,64	4,78	3,31	0,73	0,13	0,00
gewas 2	35,5	36,7	36,3	36,3	35,1	30,2	14,8	19,5
gewas 3	13,9	13,7	13,4	12,9	13,1	13,2	14,7	12,0

Het eerste jaar is er sprake van een significante oogstderving bij 10.000 mg/kg ruwe olie in de grond. Een gewas later is dit bij 20.000 mg/kg en weer een gewas later is dit bij 10 % (= 100.000 mg/kg) nog niet significant. Opgemerkt dient te worden dat deze gronden optimaal bemest zijn met NPK en een optimale watervoorziening hadden. Enerzijds leidt dit tot microbiële afbraak of anderzijds tot humificatie van de beschikbare oliefracties. Hier betrof het experimenten in kassystemen.

Ook in een drie jaar durende veldproef (3,3 % ruwe olie) werd bepaald wat de oogstderving zou kunnen zijn. De resultaten zijn samengevat in tabel B5.

Tabel B5. De invloed van ruwe olie op de opbrengst van landbouwgewassen in relatie tot controle gedurende drie opeenvolgende jaren (droge stof in gram per pot).

	onbehandeld		3,3 %	
1978				
zomergerst korrel kg/are ds	41,0	(100 %)	13,7	(33 %)
stoppelknollen kg/are ds	18,6	100	11,7	63
1979				
zomergerst korrel kg/are ds	28,0	100	11,4	43
stoppelknollen kg/are ds	14,5	100	11,6	80
1980				
aardappel knol kg/are (+ jaarlijks bemesten)	524,6	100	566,5	108

Het is niet duidelijk waarom er het derde jaar weer niet opnieuw zomergerst werd gebruikt. Immers, na twee jaar was er nog oogstderving. Vermoedelijk heeft verplichte vruchtwisseling een rol gespeeld. Na drie jaar is er geen verschil gemeten in de aardappelopbrengst.

In het onderzoek van De Haan [1986] werd geen speciale aandacht aan PAK's besteed, hoewel deze componenten wel een inclusief onderdeel waren van de ruwe oliën. Dat planten een positieve invloed hebben op de afbraak van PAK's is als eerste duidelijk gemaakt door Aprill en Sims [1990]. De invloed van planten op de afbraak van PAK's als onderdeel van ruwe olie werd bestudeerd door Schwab en Banks [1994]. In een ruwe olie-grond werd de invloed van diverse gewassen gemeten via de afbraak van gelabeld <sup>14</sup>C pyreen. De resultaten zijn samengevat in tabel B6.

Tabel B6. De invloed van planten op de afbraak van pyreen in ruwe olie houdende grond.

plantensoort	pyreen mg/kg na 4 weken	pyreen mg/kg na 24 weken
geen	12,6	2,36
alfalfa	9,89	1,67
fescua	10,2	1,49
switch gras	10,8	1,48
sudan gras	10,7	1,32

Hoewel de verschillen significant zijn, zijn ze kwantitatief niet indrukwekkend.

#### B4.4 Opname van ruwe oliecomponenten van planten en de consequenties

Onderzoek naar de opname van olieproducten vanuit de grond naar plantenwortels hebben we niet kunnen vinden. We menen het zeer aannemelijk te kunnen maken dat als olieproducten in de grond aanwezig zijn, deze eerder door micro-organismen zullen worden opgenomen dan door plantenwortels. Dit gezien de functie en de chemische samenstelling van de celwanden van micro-organismen en planten. Om dit verder te onderbouwen kunnen eventueel nog aanvullende experimenten worden uitgevoerd; gedacht wordt aan een aantal eenvoudige veldexperimenten. Uitgebreid (en duur) laboratoriumonderzoek met bijvoorbeeld labeling-technieken gaat in dit geval te ver en wordt derhalve niet nodig geacht<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Er wordt een apart voorstel voor de veldexperimenten ingediend bij NOBIS.

In bodemprofielen boven de grondwaterspiegel, waarin de ruwe olie al een aantal jaren aanwezig is, zal er geen sprake zijn van uitloging van oliecomponenten of van opname van die componenten in planten.

Bij verlaging van het grondwater zal naar verwachting in enkele jaren de beschikbare fractie onzichtbaar geworden zijn, dat wil zeggen microbiëel zijn afgebroken. Uitloging of opname via planten zal worden beschermd door microbiële afbraak.

## **B5 Conclusies en aanbevelingen**

Het toepassen van planten in het algemeen of van bepaalde vegetaties om verontreinigde gronden schoon te krijgen, met andere woorden in situ te saneren, wordt anno 1998 wereldwijd gepredikt als de meest kosteneffectieve benadering van menige verontreinigde locatie. Aan de microbiële consortia rondom plantenwortels, de rhizosfeerpopulatie, wordt een zeer breed afbrekend vermogen toegeschreven.

Planten zullen door verschillende processen (rhizosfeer, vergroting beschikbaarheid, bioturbatie, opname bodemvocht) een positieve invloed hebben op de afbraak van zware minerale olie. De bijdrage van specifieke soorten kan relatief groot zijn. Het wordt daarom aanbevolen zoveel mogelijk plantengroei toe te staan en te stimuleren op grond die verontreinigd is met zware minerale olie.

In Schoonebeekse gronden die enkele jaren geleden zijn verlaten en waar de olieconcentratie beneden 5.000 mg/kg ligt, de grond reeds is gecultiveerd en waar bewust of onbewust vegetatie groeide, zal geen sprake zijn van oogstderiving bij teelt van landbouwgewassen. Zeer vermoedelijk zal ook geen sprake zijn van anomalieën. Omdat we het plantenziektkundige aspect niet hebben beschouwd en we niet weten hoe bodempathogenen meer of minder dominant worden bij een betrekkelijk hoge olieconcentratie in de grond, lijkt het goed voor een bepaalde periode de opbrengst en kwaliteit te monitoren, ervan uitgaande dat het optimale vakmanschap van de landbouwer wordt toegepast.

Opname van olie in gewassen wordt niet verwacht. Hierover is echter weinig informatie beschikbaar; enig aanvullend onderzoek hiernaar is aanbevolen.

## **B6 Literatuur**

Anderson, T.A., E.A. Guthrie en B.A. Walton, 1993.

Bioremediation.

Environmental Science and Technology, 27: 2631- 2635, 1993.

Aprill, W. en R.C. Sims, 1990.

Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil.

Chemosphere 20: 253-266, 1990.

Bing, M., 1996.

Back to Nature. Reclaiming land through phytoremediation proves that sometimes the most high-tech solution is actually low-tech.

Mining Voice, pp 31-33, juli/augustus 1996.

Boyajian, G.E. en D.L. Devedjian, 1997.

Phytoremediation: It grows on you.

Soil and Groundwater Clean-up, pp. 22-26, februari/maart 1997.

Dalyan, U., H. Harder en T. Hopner, 1990.  
Hydrocarbon biodegradation in sediments and soils.  
Wiissenschaft und Technik bd 43, Heft 11: 337-342, 1990.

Ernst, W.H.O., 1995.  
Inzetbaarheid van vegetaties bij grondreiniging in-situ.  
Cursus Bodemsanering, NRC, 1995.

Goring, C.A.I. en J.W. Hamaker, 1972.  
Organic chemicals in the soil environment.  
Marcel Dekker Inc., New York, 1972.

Haan, S. de, 1986.  
Onderzoek naar de invloed van ruwe aardolie uit Schoonebeek op de groei van gewassen en de kwaliteit grondwater.  
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 3-86; 79 pp, 1986.

Kim, I., 1996.  
Harnessing the green clean, phytoremediation is taking root in contaminated sites.  
Chemical Engineering, Newsfront, pp 39-41, december 1996.

Rooney, W.L. et al., 1995.  
Performance of Alfalfa clones in crude oil contaminated soils.  
Conference proceedings, internet, 1995.

Ryan, J.A., R.M. Bell, J.M. Davidson en G.A. O'Connor, 1988.  
Plant uptake of non-ionic chemicals from soils.  
Chemosphere 17: 2299-2323, 1988.

Schnoor, J.L. et al., 1995.  
Phytoremediation of organic and nutrient contaminants.  
Environmental Science and Technologie, Vol. 29, No. 7, pp 318-323, 1995.

Schwab, A.P. en M.K. Banks, 1994.  
Biologically mediated dissipation of polyaromatic hydrocarbons in the root zone.  
In: 'Bioremediation through rhizosphere technology', Anderson, T.A. en J.R. Coates (eds ACs symposium series 563, pp 132-141), 1994.

Topp, E., I. Scheunert, A. Attar en F. Korte, 1986.  
Factors affecting the uptake of <sup>14</sup>C-labeled organic chemicals by plants from soil.  
Ecotox. Environ. Safety 11: 219-228, 1986.

Werff, P.A. van der, 1992.  
Toegepaste bodemecologie in de alternatieve landbouw.  
Collegedictaat F800-205 Vakgroep Alternatieve Landbouw, 1992.

#### *Geraadpleegde literatuur*

AA 1629, 1977.  
Oriënterend onderzoek naar de gevolgen van de olieverontreiniging door de stoomruptie van put s457 te Schoonebeek op het natuurlijke milieu.

Bakker, S.B., E. Clijisen, J. van Gelder en C. Vriezen, 1995.  
Afbraak van xenobiotica in de rhizosfeer, bioremediatie en perspectief.  
1995 (in het kader van capita selecta).

Cunningham, S.D. et al., 1995.  
Phytoremediation of contaminated soils.  
Tibtech, Vol. 13, pp 393-397, september 1995.

Cunningham, S.D. en D.W. Ow, 1996.  
Promises and prospects of phytoremediation.  
Plant Physiology, 110, pp 715-719, 1996.

Kling, J.  
Phytoremediation of organics moving rapidly into field trials.  
Environmental Science and Technology, Vol. 31, No. 3, pp 129.

Nyer, E.K. en E.G. Gatliff, 1996.  
Phytoremediation.  
GWMR winter, pp 58-62, 1996.

Salt, D.E. et al., 1995.  
Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants.  
Biotechnology, Vol. 13, pp 468-474, mei 1995.

Workshop on Phytoremediation of Organic Contaminants, 1996. Texas.

## BIJLAGE C

### RAPPORTAGE (WERKDOCUMENT) IN SITU REINIGING VAN GRONDEN DIE MET OLIE VERVULD ZIJN

#### Inleiding

BLGG-Oosterbeek heeft voor IWACO-Rotterdam een serie grondmonsters geanalyseerd op de nematodenfauna. Dit maakt onderdeel uit van een NOBIS-project naar de mogelijkheid om oliehoudende gronden in situ te reinigen. In deze opzet zijn een aantal proefvelden aangelegd waarop al dan niet bewerkingen zijn uitgevoerd. In tabel C1 is hiervan een samenvatting gegeven.

Tabel C1. Samenvatting van de proefvelden.

concentratie	homogenisatie	toevoeging	veld	nr.	monster 1 (a + b)	monster 2 (a + b)
laag	grof	kunstmest	ix	1	23	24
laag	goed	geen	vi	4	17	18
laag	zeer goed	compost	iii	7	11	12
laag	geen	geen	BL	10	05	06
middel	grof	compost	viii	2	21	22
middel	goed	kunstmest	v	5	15	16
middel	zeer goed	geen	ii	8	09	10
middel	geen	geen	BM	11	03	04
hoog	grof	geen	vii	3	19	20
hoog	goed	compost	iv	6	13	14
hoog	zeer goed	kunstmest	i	9	07	08
hoog	geen	geen	BH	12	01	02

Per veld zijn 2 mengmonsters genomen (1 en 2, 3 en 4, enz.) op twee diepten (diepte a = 0,05 - 0,20m, diepte b = 0,30 - 0,50 m). Er zijn drie meetronden voor nematoden geweest: augustus 1996 (meetronde 1, nummering 01 t/m 24), december 1996 (meetronde 2, nummering 101 t/m 124) en mei 1997 (meetronde 3, nummering 201 t/m 224). Voor een uitgebreide proefopzet wordt verwezen naar de oorspronkelijke rapporten van IWACO.

Voor de verwerking van de resultaten zijn de twee mengmonsters van hetzelfde veld en dezelfde diepte samengenomen. Dit is zowel voor de nematoden- als oliedata gedaan. Alleen de monsters van de laag 0,05 - 0,20 m ('a-monsters') zijn in de interpretatie meegenomen.

Aan het eind van deze bijlage is het overzicht opgenomen van de MI(1-5)'s en MI(2-5)'s per veld en per laag (zie tabel C3 en C4). Tevens is aangegeven op hoeveel individuen de berekening betrekking had.

**Het zal duidelijk zijn dat door het aanleggen van de proefvelden het bodemsysteem werd verstoord.** Het heeft tijd nodig om zich te gaan herstellen. Het is onduidelijk hoeveel tijd dit vergt. Vermoedelijk is de tijdreeks, zoals die nu voor het nematodenonderzoek is gebruikt, hiervoor te kort. Een ander belangrijk punt voor het herstel is de **dispersie/kolonisatiemogelijkheden** van nematoden. Soorten die oorspronkelijk niet aanwezig waren (door olie/bewerkingen e.d.) kunnen alleen van buitenaf binnenkomen. De ligging van



een proefveld kan dan belangrijk zijn (grenst het veld aan een berm of weiland of wordt het omsloten door andere proefvelden?).

Naast de analyses van de nematoden zijn ook een aantal fysische parameters bepaald, zoals het zuurstofgehalte, kooldioxidegehalte en de olieconcentraties. Van deze laatste zijn de resultaten van de eerste meetronde fase 1 onbetrouwbaar gebleken (rapportage IWACO). In tabel C2 is het tijdschema gegeven van de diverse bemonsteringen.

Tabel C2. Tijdschema van de bemonsteringen.

fase	meetronde	datum	nematoden	olie
1	1	juni 1996	-	x
1	1	augustus 1996	x	-
1	2	december 1996	x	x
2	1	mei 1997	x	x
2	2	augustus 1997	-	x
2	3	december 1997	-	x

**Dit rapport is niet een eindrapport. Het is een werkdocument waarin een aantal gedachten geventileerd zijn en 'voor de voet' zijn opgeschreven. Het moet dienen als kapstok voor verdere uitwerking en onderzoek.**

De volgende onderdelen komen aan de orde:

1. Olieafbraak en nematoden in de onbehandelde velden (BL, BM, BH).
2. Olieafbraak en nematoden in de velden met een lage beginconcentratie (BL, iii, vi, ix).
3. Olieafbraak en nematoden in de velden met een middelhoge beginconcentratie (BM, ii, v, viii).
4. Olieafbraak en nematoden in de velden met een hoge beginconcentratie (BH, i, iv, vii).
5. cp-driehoeken.
6. Samenvatting van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

#### 1. Olieafbraak en nematoden in de onbehandelde velden (BL, BM, BH)

Op drie velden zijn geen bewerkingen uitgevoerd. Ze hebben de codes BL (beginconcentratie laag, < 500 mg/kg), BM (beginconcentratie gemiddeld, 1.000 mg/kg) en BH (beginconcentratie hoog, 3.500 mg/kg). Deze drie velden verschillen dus alleen in olieconcentratie. Ook de lage olieconcentraties kunnen effecten geven op het bodemsysteem (nematoden). In figuur C1 zijn de gemeten olieconcentraties in de tijd uitgezet.

##### *Olieafbraak*

De afbraak van de olie gaat tot aan augustus 1997 volgens het verwachte patroon (afname in de tijd). Opmerkelijk is dat in de velden BM en BH de concentraties in december 1997 weer gaan oplopen (**verklaring?**), maar wel onder het niveau blijven van december 1996. Interessant is hoe deze ontwikkeling zich in de tijd voortzet.

##### *Nematoden*

Ook nematologisch blijken er verschillen te bestaan tussen de onbehandelde velden. Omdat deze velden alleen in olieconcentraties verschillen, kunnen deze verschillen hieraan worden geweten.

Uit figuur C2 blijkt een negatieve correlatie tussen de **aantallen nematoden (per 100 g grond) en de olieconcentraties**. Dit komt overeen met datgene wat Anja Derksen vond. Dit wijst of op

een toxische werking van olie op nematoden, of op een effect van de olie op bacteriën waardoor de nematoden worden beïnvloed, of op een combinatie van de effecten. De aanvangsconcentratie van de olie bepaalt dus de nematodenfauna.

Fig. C1.

Fig. C2.

In de velden BM en BH zijn de aantallen in mei 1997 iets hoger dan in december 1996; dit is niet het geval bij BL. Mogelijk dat hier een hersteleffect optreedt doordat de olieconcentraties in de loop van de tijd afnemen.

De dichtheden zijn laag tot zeer laag. Onder 'normale' omstandigheden (b.v. graslanden) bedragen de dichtheden al gauw enkele duizenden nematoden per 100 g grond. Onder eutrofe omstandigheden kunnen dit al snel tienduizenden zijn.

#### *Verdeling over de cp-groepen*

BL	aug. '96	dec. '96	mei '97	BM	aug. '96	dec. '96	mei '97	BH	aug. '96	dec.'96	mei '97
cp1	13,6	25,1	25,7	cp1	64,8	63,1	52,8	cp1	46,0	73,7	26,3
cp2	78,5	71,7	62,6	cp2	33,0	35,7	43,4	cp2	53,1	26,3	70,2
cp3-5	7,9	3,1	11,7	cp3-5	2,1	1,2	3,8	cp3-5	0,9	0	1,5

Behalve de aantallen blijkt ook de verdeling over de cp-groepen verschillend te zijn tussen de velden. Daarmee verschillen ook de MI(1-5)'s (zie fig. C3). BL scoort tijdens alle meetronden het 'beste'. Vooral het aandeel cp3-5 is gerelateerd aan de concentraties: BL > BM > BH. In de tijd neemt het aandeel van de cp3-5 groep zelfs iets toe. Dit kan wijzen op **herstel**. De MI(1-5)'s in mei 1997 liggen voor de velden ook dichter bij elkaar.

De cp-driehoek is als punt 5 opgenomen.

Opmerkelijk is dat in alle gevallen de waarden van de MI(1-5) in december 1996 iets lager liggen ten opzichte van augustus 1996. Vermoedelijk is dit een seizoenseffect (winter).

Fig. C3.

De velden BM en BH scoren met betrekking tot de MI(1-5) in mei 1997 ten opzichte van augustus 1996 iets beter. Dit valt samen met het toenemen van de dichtheden in deze velden en kan wijzen op een hersteleffect. **Interessant is de vraag in hoeverre dit zich in 1998 voortzet.** In alle gevallen blijven BM en BH onder het niveau van BL. Ten opzichte van BL lijkt er een concentratie-effect te bestaan. Tussen BM en BH komt dit echter niet tot uitdrukking.

Het beeld dat bij MI(1-5) naar voren komt, wordt ook bij MI(2-5) gevonden (zie fig. C4). In alle gevallen scoort BL 'beter' dan de andere velden en er is bij alle meetronden een concentratie-effect te zien: MI(2-5) BL > BM > BH. Dit lijkt te wijzen op een toxisch effect van de olie. Ook nu is in december 1996 een daling te zien, gevolgd door een **herstel** in mei 1997. BM en BH blijven echter achter bij BL en het is interessant om te weten hoe dit verder gaat in de loop van de tijd en of BM en BH het niveau van BL gaan halen.

Fig. C4.

Het aandeel plantenparasieten is in BL duidelijk hoger (zie fig. C5). Het voorkomen van plantenparasieten is vooral gekoppeld aan de vegetatie. De daling in BL in december 1996 is waarschijnlijk een seizoensinvloed (winter, minder planten), gevolgd door een toename in mei 1997 (uitlopen vegetatie). **Hoe is de begroeiing van BM en BH in augustus 1996 en december 1996?** Het hogere aandeel in mei 1997 zal ook voor de velden BM en BH te maken hebben met een rijkere begroeiing. Een ander punt is dat de olie ook toxisch voor plantenparasieten kan zijn en daardoor bij de hogere concentraties de aantallen lager zijn.

Fig. C5.

## 2. Olieafbraak en nematoden in de velden met een lage beginconcentratie (BL, iii, vi, ix)

Binnen de proef zijn, naast veld BL, nog drie velden aangelegd met een lage beginconcentratie olie. Deze velden zijn vervolgens bewerkt (zie 'inleiding'). Ten opzichte van BL verschillen deze velden dus alleen in de bewerking en niet in olieconcentraties. Het is dus interessant om de afbraak van olie in deze velden te vergelijken met het veld BL om te zien in hoeverre bewerkingen effecten hebben. In figuur C6 is dit zichtbaar gemaakt.

### *Olieafbraak*

Het patroon van de olieafbraak in veld BL wordt door de andere velden niet duidelijk gevolgd. Geen van de andere velden met een lage beginconcentratie bereikt in december 1997 het eindniveau van BL. Dit lijkt er op te wijzen dat de bewerkingen bij lage beginconcentraties niet de olieafbraak bevorderen en deze eerder negatief beïnvloeden. **Niets doen is dan ook waarschijnlijk beter voor de olieafbraak.** Een verklaring hiervoor kan zijn dat door de intensieve bewerkingen het bodemsysteem verstoord raakt en tijd nodig heeft om zich te herstellen. Zo zijn alleen vertegenwoordigers uit de nematodenfamilie Trichodoridae, die bekend staan om hun gevoeligheid voor (mechanische) verstoring, alleen in veld BL gevonden (tijdens alle drie meetronden over alle velden).

Opmerkelijk is dat in een aantal gevallen de olieconcentraties weer gaan stijgen (**verklaring?**).

### *Nematoden*

Zoals verwacht verschillen de velden iii, vi en ix ook nematologisch duidelijk van veld BL. In figuur C7 is dit voor de aantallen gegeven.

Fig. C6.

Fig. C7.

De aantallen in de velden blijven duidelijk achter bij die in veld BL. De trend dat de aantallen in de loop van de tijd afnemen is nu ook zichtbaar, hoewel veld vi en ix in december 1996 een maximum bereiken van de drie meetronden maar toch nog altijd duidelijk achterblijven bij BL. In mei 1997 verschillen de aantallen niet noemenswaardig tussen de verschillende bewerkingen; ze blijven wel allemaal een factor 5 achter bij het onbewerkte veld BL. Opmerkelijk en onverklaarbaar is dat de compost geen effect laat zien op de aantallen nematoden. Verwacht mocht worden dat door de afbraak van de compost met name bacterie-eters toe zouden nemen; dit wordt niet gezien.

De bewerkingen hebben dus een negatieve invloed op de nematodenaantallen. **Is het mischien hierdoor dat de afbraak van olie in deze velden ook slechter verloopt ten opzichte van veld BL?**

Het onbehandelde veld onderscheidt zich van de bewerkte velden door het hoger aandeel cp2 en cp3-5. **De bewerkingen hebben invloed op de nematodenfauna.**

#### *Verdeling over de cp-groepen*

BL	aug. '96	dec. '96	mei '97	iii	aug. '96	dec. '96	mei '97
cp1	13,6	25,1	25,7	cp1	69,2	77,1	58,5
cp2	78,5	71,7	62,6	cp2	30,0	20,0	38,0
cp3-5	7,9	3,1	11,7	cp3-5	0,8	2,9	3,5
vi	aug. '96	dec. '96	mei '97	ix	aug. '96	dec. '96	mei '97
cp1	65,1	65,7	56,1	cp1	71,1	48,7	47,7
cp2	34,1	30,6	42,8	cp2	26,7	48,7	52,3
cp3-5	0,8	3,7	1,1	cp3-5	2,2	2,6	0

De verschillen in de cp-verdeling komt terug in de MI(1-5)'s (zie fig. C8). Tijdens alle meetronden is deze voor veld BL hoger dan de andere velden.

De MI(2-5) geeft een grillig verloop (zie fig. C9). Tijdens de eerste meetronde (augustus 1996) is deze voor BL het hoogst en de velden iii en vi liggen duidelijk lager. Veld ix ligt dicht bij de waarde van BL. Opmerkelijk is dat tijdens de december 1996-meting het veld BL het laagste scoort. Dit komt doordat bij de MI(2-5) gecorrigeerd wordt voor het aandeel cp = 1. Verder waren er voor de MI(2-5)-berekeningen voor de bewerkte velden maar weinig dieren beschikbaar. Dit heeft invloed op de betrouwbaarheid.

Plantenparasieten ontbreken vrijwel bij het begin van de proef (augustus 1996) in de bewerkte velden (zie fig. C10). **Vermoedelijk is dit een gevolg van de bewerkingen waardoor de plantengroei is verstoord.** In de loop van de tijd neemt het aandeel plantenparasieten toe. Dit wordt vooral gezien in veld ix. Dit veld is behandeld met kunstmest en mogelijk dat planten hiervan profiteren waardoor ook de plantenparasieten worden bevoordeeld.



Fig. C8.

Fig. C9.

Fig. C10.

### 3. **Olieafbraak en nematoden in de velden met een middelhoge beginconcentratie (BM, ii, v, viii)**

#### *Olieafbraak*

De afbraak van olie verloopt tot aan augustus 1997 voor de velden ongeveer gelijk. In december 1997 vertoont veld BM echter **een opvallende stijging**. In alle gevallen blijven de eindresultaten echter achter bij veld **BL**.

Het verschil tussen de velden is vooral in december 1996 zichtbaar, waarbij de afbraak in viii het verst is gevorderd (zie fig. C11); dit is overigens het veld dat grof gehomogeniseerd is en daardoor misschien het minst verstoord is. In december 1997 zijn de verschillen tussen de bewerkte velden voor een belangrijk deel weggevallen, zodat de soort bewerking op termijn vermoedelijk weinig verschil uit maakt voor de olieafbraak.

#### *Nematoden*

**De dichtheden vertonen een afname in de tijd over de drie meetronden.** In augustus 1996 zijn de dichtheden in de velden ii en v lager (zie fig. C12) dan in de andere twee velden (BM en viii). Dit kan te maken hebben met de verstoring door de bewerkingen; de velden BM en viii zijn namelijk niet en slechts grof bewerkt. Het verschil in dichtheden wordt later duidelijk minder. Mogelijk dat de bewerkingsinvloeden in de velden ii en v door de tijd minder worden en steeds meer op elkaar gaan lijken.

Fig. C11.

Fig. C12.

*Verdeling over de cp-groepen*

BM	aug. '96	dec. '96	mei '97	ii	aug. '96	dec. '96	mei '97
cp1	64,8	63,1	52,8	cp1	75,5	78,3	67,8
cp2	33,0	35,7	43,4	cp2	21,3	21,7	30,0
cp3-5	2,1	1,2	3,8	cp3-5	3,2	0	2,2
v	aug. '96	dec. '96	mei '97	viii	aug. '96	dec. '96	mei '97
cp1	82,1	77,0	67,3	cp1	86,8	72,7	63,8
cp2	17,9	23,0	30,9	cp2	12,1	26,8	29,5
cp3-5	0	0	1,9	cp3-5	1,1	0,5	6,7

De verdeling over de cp-groepen van de bewerkte velden ten opzichte van het onbewerkte veld zijn minder duidelijk dan bij de vorige serie. **Toch onderscheidt veld BM zich nog door het geringere aandeel cp = 1 en het hogere aandeel cp = 2.** In de loop van de tijd wordt dit echter minder duidelijk en gaan de bewerkte velden meer lijken op het onbewerkte veld, doordat het aandeel cp = 1 gaat afnemen en het aandeel cp = 2 gaat toenemen. De bewerkingen bevoor- delen in het begin met name de taxa uit de cp = 1-groep.

Het verschil in de verdeling over de cp-groepen weerspiegelt zich in de MI(1-5) (zie fig. C13). **De MI(1-5)'s van het veld BM zijn in alle drie meetronden het hoogste van de velden met een middelhoge beginconcentratie.** De bewerkingen hebben dus ook een invloed op de MI(1-5) en werken verlagend. In de loop van de tijd is er een trend dat de MI(1-5)'s toenemen.

Fig. C13.

Het is jammer dat over augustus 1997 en december 1997 geen nematodendata beschikbaar zijn. Vooral voor veld BM is het interessant om te weten hoe de nematoden reageerden op de piek in de olieconcentratie.

Het veld dat behandeld is met compost (veld viii) scoort in mei 1997 het hoogste; dit geldt zowel voor de MI(1-5) als de MI(2-5) (zie fig. C14). **Ook vaker blijkt dat de velden die behandeld zijn met compost 'beter scoren' dan andere bewerkte velden en soms beter dan de onbehandelde velden.**

Fig. C14.

Het aandeel plantenparasieten is in augustus 1996 op alle velden nihil (zie fig. C15). Ongetwijfeld zal dit te maken hebben met de aanwezigheid (beter afwezigheid) van vegetatie en de aanwezige olie. Voor de bewerkte velden is dit logisch. Onduidelijk is waarom ook op het onbewerkte veld vrijwel geen plantenparasieten voorkomen. **Ontbrak hier de vegetatie of is er een olie-effect?**

Fig. C15.

#### 4. Olieafbraak en nematoden in de velden met een hoge beginconcentratie (BH, i, iv, vii)

##### *Olieafbraak*

Ook bij de velden met een hoge uitgangssituatie loopt de afbraak van de olie tot aan augustus 1997 min of meer volgens de verwachtingen (zie fig. C16). Opmerkelijk is ook nu dat in december 1997 bij een aantal velden de concentraties weer gaan oplopen.

De eindniveaus van de overige velden blijven duidelijk boven de eindwaarde van het veld **BL**, maar ook boven de eindconcentraties van de velden die bij aanvang een middelhoge concentratie hadden.

Op een bepaald moment kan de afbraak zo ver gevorderd zijn dat de concentratie gelijk wordt aan één van de beginconcentraties van een vorige serie (middelhoge of lage beginsituaties). **Een vraag is of op dat moment de ontwikkelingen vergelijkbaar gaan.**

##### *Nematoden*

De dichtheden nemen over het algemeen af in de loop van de tijd (zie fig. C17). Alleen veld iv laat in december 1996 duidelijk een toename zien ten opzichte van augustus 1996. Dit veld is behandeld met compost. Het kan zijn dat de compost hier een gunstige uitwerking heeft op de aantallen nematoden. In mei 1997 is dit 'voordeel' weer voorbij en liggen de dichtheden dichtbij elkaar.

Fig. C16.

Fig. C17.

*Verdeling over de cp-groepen*

BH	aug. '96	dec. '96	mei '97	j	aug. '96	dec. '96	mei '97
cp1	46,0	73,7	28,3	cp1	68,1	73,4	65,7
cp2	53,1	26,3	70,2	cp2	29,5	25,7	33,6
cp3-5	0,9	0	1,5	cp3-5	2,4	0,9	0,7
iv	aug. '96	dec. '96	mei '97	vii	aug. '96	dec. '96	mei '97
cp1	85,8	71,5	71,0	cp1	70,1	48,0	55,1
cp2	13,0	17,9	26,7	cp2	29,1	48,0	42,0
cp3-5	1,2	10,6	2,3	cp3-5	0,7	4,0	2,9

De verdeling over de cp-groepen in de tijd is vooral voor de velden BH en vii grillig. Hoge aandelen cp = 1 wisselen af met hoge aandelen cp = 2. Bij de andere twee velden is dit veel constanter. **Het is onduidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt.**

Fig. C18.



De hoge waarde van MI(2-5) (zie fig. C19) in veld iv in december 1996 komt omdat op dat moment de nematodenfauna uit meer dan 10 % dieren bestaat die vallen in de cp3-5 groep. Het betreft hier voornamelijk juveniele individuen die alleen tot op superfamilie (Dorylaimoidea) konden worden gedetermineerd.

Verondersteld wordt dat dit gevoelige soorten zijn, maar er zijn gevallen bekend dat vertegenwoordigers uit deze groep snel kunnen reageren op specifieke veranderingen in hun milieu (b.v. plotselinge algengroei), ondanks aanwezige stress. **Opmerkelijk dat ook dit veld weer behandeld is met compost.** Omdat deze soorten hoog ingeschaald zijn op de cp-schaal, hebben ze grote invloed op de hoogte van de Maturity Index en dit kan een vertekend beeld geven.

Fig. C19.

Het aandeel plantenparasieten neemt vooral in mei 1997 toe (zie fig. C20). Het veld dat met kunstmest is behandeld (veld i) vertoont duidelijk het hoogste relatieve aandeel. Het ligt voor de hand dat de kunstmest de vegetatie-ontwikkeling beïnvloedt, waardoor de plantenparasieten worden bevoordeeld.

Fig. C20.

## 5. cp-driehoeken

De monsters zijn per beginconcentratie in cp-driehoeken ingetekend. Bij de series met een middelhoge en hoge beginconcentratie zijn tevens de monsters van het onbehandelde veld met een lage beginconcentratie ingetekend. Deze dienen als een soort referentie.

Uit de driehoeken valt direct af te lezen dat de monsters van het veld BL afwijken van de overige monsters. Vrijwel alle monsters worden in augustus gedomineerd door nematoden uit de cp = 1 klasse. Hoewel deze dominantie in mei nog voor de meeste monsters aanwezig is, is ze wel minder geworden. De monsters zijn in de mei-driehoek iets naar onderen en naar rechts geschoven ten opzichte van augustus. Dit zijn aanwijzingen dat de nematodenfauna zich beweegt naar een meer stabiele situatie (herstel).

## 6. Samenvatting van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen

### 1. *Olie heeft effecten op nematoden*

- \* de dichtheden nemen af bij toenemende concentraties.  
→ **te gebruiken als graadmeter (?)**
- \* de MI(1-5) neemt af bij toenemende concentraties.  
→ **te gebruiken als graadmeter (?)**
- \* geldt het omgekeerde ook: nematoden hebben invloed op de olieafbraak?  
→ **hoe gaat de afbraak als er geen nematoden aanwezig zijn?**

## 2. *Bewerkingen hebben invloed op de olieafbraak*

- \* deze invloed is negatief als de beginconcentraties laag zijn (< 500 mg/kg).  
→ **dan kun je beter niets doen**
- \* deze invloed is positief als de beginconcentraties hoog zijn (> 1.000 mg/kg).
- \* velden die met compost zijn behandeld hebben vaak een laagste eindconcentratie.

## 3. *Bewerkingen hebben invloed op de nematodenfauna*

- \* de velden, die met compost zijn behandeld, scoren aan het einde vaak de hoogste MI(2-5)-waarden.  
→ **positief effect op de diversiteit**
- \* **zijn er ook bacterietellingen uitgevoerd?**

## 4. *De cp-driehoeken laten in de tijd een lichte verbetering zien*

- \* de monsters vertonen een lichte trend om zich te bewegen naar rechtsonder.  
→ **dit indiceert een herstel**  
→ vergelijk de positie van veld BL
- \* drie meetronden zijn onvoldoende om deze trend goed duidelijk te maken.

## 5. *De nematodenfauna is in alle monsters niet gelijk*

- \* *Cuticularia oxycerca* (cp-klasse 1) ontbreekt in het onbehandelde veld met een lage beginconcentratie. In de overige velden is de soort wel aanwezig.
- \* *Prismatolaimus* (cp-klasse 3) komt in augustus 1996 alleen in veld BL voor, maar neemt in de loop van de tijd toe. In mei 1997 wordt de soort ook gevonden in de velden BH, i, iv en viii.
- \* Het aandeel plantenparasieten neemt toe in de tijd.  
→ zowel absolute aantallen als aantal soorten  
→ dit zal te maken hebben met de vegetatie-ontwikkeling
- \* **de verdeling van de soorten en voedingstypen moet verder uitgewerkt worden.**

## 6. *Er zijn een aantal trends zichtbaar die goede kansen bieden om te worden gebruikt als 'barometer' voor het ecologisch herstel*

- \* dichtheden.
- \* maturity index.
- \* cp-driehoek.
- \* soortensamenstelling.

## 7. *Het aantal meetronden voor nematoden is te gering om deze trends nu te kwantificeren*

- \* voorgesteld wordt om in ieder geval in mei 1998 een bemonstering uit te voeren en serieus in overweging te nemen om de bemonstering in december 1998 en eventueel mei 1999 te herhalen.

## 8. *Als besloten wordt om in mei 1998 te bemonsteren, moet gewacht worden tot na deze bemonstering met een gedetailleerde uitwerking van de data*

- \* een aantal zaken zijn niet in dit werkdocument aan de orde geweest, maar kunnen goede informatie geven.

Tabel C3. MI(1-5) als resultaat van 2 mengmonsters. Tussen ( ) aantal betrokken dieren.

veld	nr.	aug. '96	dec. '96	mei '97	aug. '96	dec. '96	mei '97
		diepte 0,05 - 0,20 m			diepte 0,30 - 0,50 m		
ix	1	1,33 (45)	1,58 (115)	1,52 (111)	1,60 (35)	1,57 (42)	1,40 (62)
viii	2	1,16 (190)	1,29 (205)	1,48 (149)	1,09 (254)	1,41 (83)	1,24 (85)
vii	3	1,32 (134)	1,64 (25)	1,51 (69)	1,20 (34)	1,30 (17)	1,21 (97)
vi	4	1,36 (129)	1,43 (134)	1,46 (180)	1,19 (82)	1,62 (40)	1,43 (111)
v	5	1,18 (169)	1,23 (148)	1,40 (162)	1,24 (81)	1,15 (60)	1,15 (194)
iv	6	1,18 (246)	1,54 (151)	1,34 (217)	1,13 (81)	1,60 (63)	1,12 (178)
iii	7	1,33 (240)	1,28 (70)	1,51 (200)	1,28 (106)	1,23 (49)	1,09 (198)
li	8	1,35 (214)	1,21 (83)	1,38 (90)	1,09 (174)	1,07 (42)	1,25 (113)
i	9	1,39 (168)	1,28 (109)	1,35 (143)	1,17 (63)	1,18 (33)	1,29 (103)
BL	10	2,00 (214)	1,78 (191)	1,97 (179)	1,88 (107)	1,78 (217)	1,78 (179)
BM	11	1,40 (233)	1,39 (84)	1,57 (235)	1,23 (287)	1,50 (36)	1,78 (167)
BH	12	1,55 (113)	1,27 (57)	1,74 (205)	1,24 (66)	1,16 (12)	1,44 (103)

Tabel C4. MI(2-5) als resultaat van 2 mengmonsters. Tussen ( ) aantal betrokken dieren.

veld	nr.	aug. '96	dec. '96	mei '97	aug. '96	dec. '96	mei '97
		diepte 0,05 - 0,20 m			diepte 0,30 - 0,50 m		
ix	1	2,16 (13)	2,12 (59)	2,00 (58)	2,00 (21)	2,41 (17)	2,08 (23)
viii	2	2,20 (25)	2,03 (56)	2,32 (54)	2,00 (21)	2,17 (29)	2,25 (16)
vii	3	2,07 (40)	2,24 (13)	2,13 (31)	2,00 (7)	2,00 (5)	2,17 (18)
vi	4	2,05 (45)	2,24 (46)	2,05 (79)	2,00 (15)	2,05 (24)	2,07 (46)
v	5	2,00 (32)	2,00 (34)	2,13 (53)	2,00 (20)	2,00 (9)	2,00 (29)
iv	6	2,23 (35)	2,91 (43)	2,16 (63)	2,00 (10)	2,08 (35)	2,00 (22)
iii	7	2,07 (80)	2,25 (16)	2,21 (83)	2,00 (29)	2,00 (11)	2,28 (14)
ii	8	2,40 (53)	2,00 (18)	2,17 (29)	2,14 (15)	2,00 (3)	2,86 (15)
i	9	2,23 (53)	2,07 (29)	2,02 (49)	2,00 (11)	2,00 (6)	2,00 (30)
BL	10	2,18 (185)	2,06 (143)	2,31 (133)	2,34 (70)	2,20 (140)	2,07 (130)
BM	11	2,15 (82)	2,04 (31)	2,21 (111)	2,00 (64)	2,13 (16)	2,04 (126)
BH	12	2,02 (61)	2,00 (15)	2,04 (147)	2,00 (16)	2,00 (2)	2,00 (45)