



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

LANDFARMINGSONDERZOEK IN NEDERLAND

Workshop Biotechnologische bodemsanering  
20-21 maart 1986 RIVM, Bilthoven

dr. J. Hoeks\*, ir. M.J. Jansen\*\*, ir. J.F. de Kreuk\*\*\*,  
dr. W.M. Veerkamp\*\*\*\* en ir. C.A. Zewald\*\*\*\*\*

\*ICW, Wageningen

\*\*Grontmij, Zeist

\*\*\*TNO, Delft

\*\*\*\*IWACO, Rotterdam

\*\*\*\*\*De Ruiter Milieutechnologie, Halfweg

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-  
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen  
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek  
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking

## I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. OPZET VAN DE PROJECTEN	1
3. ENKELE VOORLOPIGE RESULTATEN	3
3.1. Zuurstofvoorziening	3
3.2. Bemesting	5
3.3. Uitspoeling van afbraakprodukten en nutriënten	6
3.4. Afname van het oliegehalte	8
4. CONCLUSIES	11

## 1. INLEIDING

Landfarming is een eenvoudige techniek voor biologische reiniging van vervuilde grond. De grond wordt in een laag van 30-40 cm uitgespreid op de bodem en de biologische afbraak wordt gestimuleerd door bemesting en bewerking van de grond. Landfarming wordt uitgevoerd op speciaal ingerichte terreinen met bodemafdicting, waarbij het drainwater wordt opgevangen en eventueel kan worden behandeld.

Het landfarmingsonderzoek in Nederland richt zich vooral op het creëren van optimale condities voor biologische afbraak onder praktijkomstandigheden. Belangrijke aspecten zijn omvang, aard en frequentie van bemesting en grondbewerking in verband met een optimale voorziening van nutriënten en zuurstof. Een belangrijk aandachtspunt betreft ook de milieuhygiënische aspecten, met name de uitspoeling van olie- en afbraakprodukten en de emissie van vluchtige koolwaterstoffen naar de atmosfeer. Toepassing op praktijkschaal is uiteraard afhankelijk van de snelheid, waarmee de olieprodukten worden afgebroken. Het onderzoek richt zich op meerdere oliesoorten, omdat verwacht mag worden dat de afbraaksnelheid per oliesoort verschilt.

In deze bijdrage worden de voorlopige resultaten van een viertal landfarmingsprojecten besproken. Het betreft projecten in Wijster (ICW/VAM), in Amsterdam-Oost (De Ruiter Milieutechnologie/IWACO), in Erp (Grontmij/Prov. Brabant) en in Delft (TNO/Rijks Univ. Groningen).

## 2. OPZET VAN DE PROJECTEN

### Project Wijster (ICW/VAM)

Het onderzoek is gestart in april/mei 1985 op 4 veldjes van elk 350 m<sup>2</sup>. Twee soorten vervuilde grond worden behandeld: 'crude' grond met ruwe olie en 'HBO' grond met gasolie met een aanvangsgehalte van

respectievelijk ca. 8000 mg.kg<sup>-1</sup> en 1800 mg.kg<sup>-1</sup>. Per oliesoort is één veldje ingezaaid met gras en één ligt braak en wordt regelmatig bewerkt met een cultivator. De grond is opgebracht in een laagdikte van ca. 35 cm en wordt bemest met kalkammonsalpeter en superfosfaat. Eén veldje werd bekalkt. Het veldonderzoek betreft zuurstofmetingen, temperatuurmetingen en bemonstering van grond en drainwater in verband met oliegehalten, afbraakprodukten en beschikbaarheid van nutriënten. Ter aanvulling wordt laboratoriumonderzoek uitgevoerd in samenwerking met de Landbouwhogeschool (Vakgroep Microbiologie).

#### Project Amsterdam-Oost (De Ruiter/IWACO)

Het onderzoek is gestart eind augustus 1985 op 12 proefvakken van elk 4 m<sup>2</sup>. Twee soorten grond worden behandeld: 'crude' grond met ruwe olie (ca. 35 000 mg.kg<sup>-1</sup>) en grond met fenolen. Bij alle handelingen van afgraven tot opbrengen van de grond is de fenol echter grotendeels vervluchtigd. Inmiddels wordt geprobeerd een andere grond met een hoger fenolgehalte te krijgen.

De grond is opgebracht in een laagdikte van 40 cm, ligt braak en wordt meer of minder frequent bewerkt (1 x per maand of 1 x per week). Bemesting is nog niet uitgevoerd omdat de grond voldoende nutriënten bevatte. Voorts wordt hier het effect van afdekking en geforceerde beluchting onderzocht. Per proefvak worden zuurstofgehalten en bodemtemperaturen gemeten. Op de afgedekte proefvakken wordt bovendien de emissie naar de lucht gemeten.

#### Project Erp (Grontmij/Prov. Brabant)

Het onderzoek is gestart begin juli 1985 op een veld van 400 m<sup>2</sup>. De behandelde grond bevatte aanvankelijk 6800 mg.kg<sup>-1</sup> stookolie. De grond is opgebracht in een laagdikte van ca. 15 cm op een relatief dikke laag (70 cm) ter plaatse afgegraven zandondergrond. In een voorafgaand laboratoriumonderzoek werd onderzocht welke micro-organismen verantwoordelijk waren voor de afbraak en wat het effect van toevoeging van nutriënten en teelaarde was.

De grond is bemest met kalkammonsalpeter, superfosfaat en patentkali. Bovendien werd de grond bekalkt om de pH op peil te brengen. De grondbewerking is uitgevoerd met een cultivator.

De drainafvoer is gemeten in verband met de waterbalans en het drainwater is bemonsterd in verband met de chemische kwaliteit.

### Project Delft (TNO/RUG)

Het onderzoek is gestart in oktober 1985 op 15 proefvakken van elk  $10 \text{ m}^2$ . Twee soorten verontreinigde grond worden behandeld, één met wasbenzine en één met snijolie van metaalbewerkingsindustrieën. De wasbenzine is echter tijdens het mengen van de grond al grotendeels vervluchtigd. De verontreinigde grond is opgebracht in een laag van 30 cm. Op de 15 proefvakken zullen variaties in bemesting en grondbewerking worden onderzocht. Ook het toevoegen van entmateriaal (compost, bast) wordt bestudeerd. Op laboratoriumschaal wordt onderzoek gedaan naar de afbreekbaarheid van PCA's, chloorkoolwaterstoffen en chloorfenolen, waarbij in het bijzonder de toepassing van bioreactoren en het enten/kweken van specifieke micro-organismen wordt onderzocht.

## 3. ENKELE VOORLOPIGE RESULTATEN

### 3.1. Zuurstofvoorziening

Bij landfarming geschiedt de zuurstofvoorziening door diffusie van zuurstof vanaf het bodemoppervlak. Volgens HOEKS (1985) kan de dikte van de geaëreerde laag worden berekend als:

$$L = \sqrt{\frac{2DC_o}{\alpha}} \quad (1)$$

waarin: L = dikte geaëreerde laag (cm)  
D = diffusiecoëfficiënt voor zuurstof in grond ( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 $C_o$  = zuurstofgehalte aan bodemoppervlak ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )  
 $\alpha$  = zuurstofconsumptiesnelheid ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ )

In fig. 1 is het verloop van het zuurstofgehalte met de diepte gegeven voor verschillende zuurstofconsumptiesnelheden.

Berekeningen met vergelijking (1) voor een vochtige zandgrond ( $D = 0,010 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) met  $10\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ruwe olie ( $\alpha = 2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ) tonen aan dat L ongeveer 46 cm bedraagt. Voor oliegehalten lager dan  $10\,000 \text{ ppm}$  zijn daarom in het algemeen geen aeratieproblemen te verwachten,

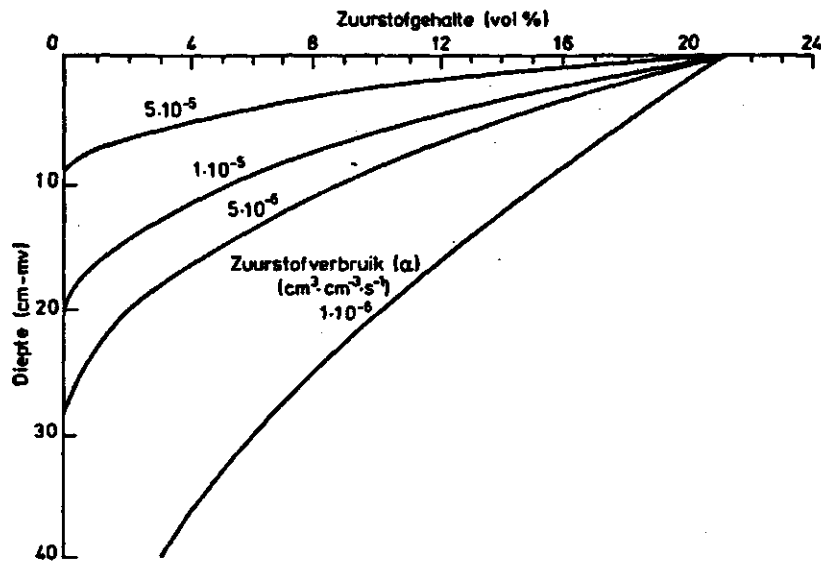


Fig. 1. Verloop van het zuurstofgehalte in de bodem met de diepte als functie van de zuurstofconsumptiesnelheid, berekend volgens HOEKS (1985)

mits de bodemstructuur goed blijft. Dit is in overeenstemming met de veldgegevens van de projecten Wijster en Erp. In het project Wijster zijn een tweetal veldjes ingezaaid met gras om aldus een goede structuur te handhaven. Het zuurstofverbruik in de grond neemt daardoor natuurlijk wel toe, naar schatting met ca.  $5 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ . In bovenstaand rekenvoorbeeld neemt de dikte van de geaëreerde laag daardoor af tot 41 cm. Het effect is dus slechts gering. Wel heeft de begroeiing een belangrijk effect op de waterbalans (minder neerslagoverschot).

Uit oogpunt van zuurstofvoorziening is grondbewerking dus alleen nodig als de bovengrond is verslempd (slechte structuur, lage D). Echter, grondbewerking lijkt ook om andere redenen gewenst. Vooral bij hoge oliegehalten zal niet alle olie in de grond optimaal bereikbaar zijn voor micro-organismen. Grondbewerking is dan gewenst om olie en nutriënten her te verdelen, zodat nieuwe aangrijpingsoppervlakken ontstaan voor de micro-organismen. Fig. 2 laat het positieve effect van mengen op de bacterie-activiteit in potproeven zien. Dit pleit dus voor een frequent uitvoeren van grondbewerking. In de lopende experimenten wordt de grondbewerking steeds uitgevoerd met een cultivator.

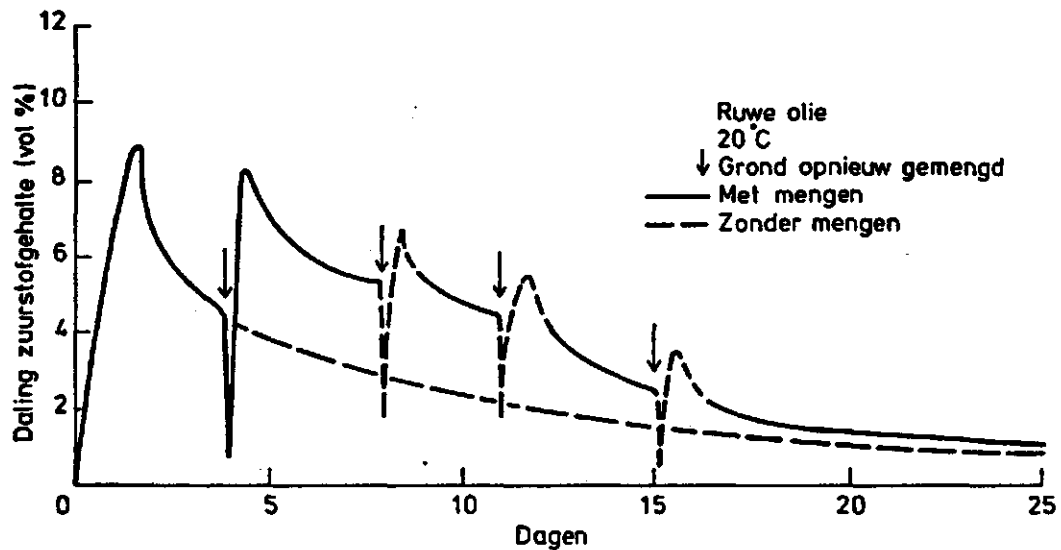


Fig. 2. Effect van mengen op het zuurstofverbruik, gemeten als daling van het zuurstofgehalte op 25 cm diepte in de pot met grond, weergegeven als vol. % ten opzichte van het zuurstofgehalte in de buitenlucht

### 3.2. Bemesting

De bemesting op de proefprojecten is in alle gevallen gebaseerd op de verhouding C:N:P en bij het project Erp is bovendien nog K toegevoegd. Niettemin verschillen de aangehouden verhoudingen per project. Afgezien van de totaal benodigde meststof is van belang in hoeveel doseringen en met welke frequentie deze hoeveelheid wordt toegediend.

Uitgaande van een verhouding C:N:P = 100:10:1 in bacteriecelmateriaal en aannemende dat 40-50% van de beschikbare C wordt gebruikt voor opbouw van biomassa, dan is de optimale verhouding C:N:P = 200-250:10:3 in de grond. Het P-aandeel is hierbij iets hoger genomen omdat fosfaat in grond wordt vastgelegd in slecht oplosbare vorm.

Bij het project Wijster lag de C/N-verhouding na de eerste bemesting in de orde van 19-34 en na de tweede bemesting was dit 10-17. Gezien het voorgaande lijkt dit meer dan voldoende.

Bij het project Erp is de totale bemesting gebaseerd op een verhouding C:N:P:K = 100:4:0,75:1. Besloten werd deze hoeveelheid in drie

keer toe te dienen. Inmiddels is twee keer een bemesting uitgevoerd.

Eerder onderzoek bij de LH-Microbiologie liet zien dat bemesting zelfs remmend kan werken (VEERKAMP en ZEWARD, 1985). Uit de gegevens blijkt echter, dat in dat geval sprake is van een duidelijke overdosering. De C/N-verhouding waarbij belangrijke remming optrad lag in de buurt van 7. Ook bij optimale C/N-verhouding kan echter de bemesting zo hoog worden (vooral bij hoge oliegehalten) dat remming optreedt, mogelijk door te hoge zoutconcentraties in de grond. HOEKS (1985) constateert remming, zij het alleen tijdelijk bij de start, op grond van onderzoek van TEN HOLDER (1980) en VAN DRUMPT (1983).

Ook zonder bemesting blijkt echter in veel gevallen een gestage afbraak op te treden. In zijn onderzoek berekent VAN GESTEL (1981) dat er stikstofbinding door bacteriën moet hebben plaatsgevonden. Van sommige alkaan-oxyderende bacteriën is inderdaad bekend dat zij hiertoe in staat zijn.

### 3.3. Uitspoeling van afbraakprodukten en nutriënten

De vorming van in water oplosbare afbraakprodukten kon op laboratoriumschaal worden vastgesteld door meting van totaal organisch koolstof (TOC) in waterextracten van oliehoudende grond. In tabel 1 zijn enkele resultaten weergegeven, waaruit blijkt dat bij hogere bemesting en daarmee gepaard gaande snellere afbraak meer oplosbare afbraakprodukten

Tabel 1. Totaal organische koolstofgehalte (TOC) in waterextracten van met ruwe olie verontreinigde grondmonsters na een afbraakperiode van 20 dagen (zie TEN HOLDER, 1980)

Monster	Bemesting (kg.ha <sup>-1</sup> )		TOC (mg.C.l <sup>-1</sup> )
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
1	0	0	40
2	200	120	49
3	400	240	82
4	800	470	163
5	400	0	82
6*	0	0	15

\*blanco = niet verontreinigde grond



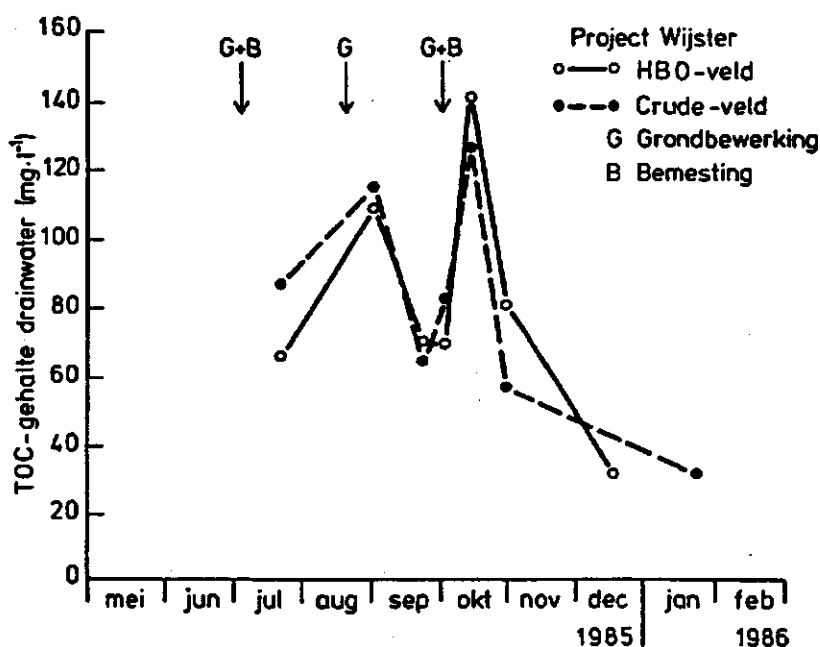


Fig. 3. Verloop van het TOC-gehalte ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) in het drainwater als functie van de tijd (Project Wijster, ICW)

voorkomen in het waterextract. Ook onder veldomstandigheden werd op het proefveld Wijster een toename van het TOC-gehalte in het drainwater geconstateerd (zie fig. 3). In de winter neemt het TOC-gehalte sterk af door verminderde afbraak en versterkte uitspoeling. Het oliegehalte in het drainwater varieert van 20-400  $\mu\text{g/l}$  (proefobjecten Wijster, Erp en Rijswijk). Vermoedelijk betreft het hier vooral afbraakproducten en niet of nauwelijks oorspronkelijke oliecomponenten. Op het proefobject Wijster bleken in ieder geval geen aromaten aanwezig te zijn in het drainwater.

De uitspoeling van nutriënten, met name nitraat, blijkt aanzienlijk te zijn, zelfs bij optimale bemesting. Nitraatgehalten van 150-250  $\text{mg.l}^{-1}$  blijken normaal te zijn (projecten Wijster en Erp). Op het proefveld in Wijster is geconstateerd dat de nitraatuitspoeling het hoogst is op de braakliggende veldjes. Redenen voor de nitraatuitspoeling kunnen zijn een inefficiënte N-benutting als gevolg van heterogene verdeling in de grond en mineralisatie van eerder in de biomassa vastgelegde stikstof. Uitspoeling van fosfaat blijkt verwaarloosbaar te zijn.

### 3.4. Afname van het oliegehalte

Enkele projecten zijn nog te kort in uitvoering om al conclusies te trekken met betrekking tot de reiniging van de grond. Van andere projecten kunnen alleen voorlopige resultaten worden vermeld.

Het verloop van de reiniging wordt vastgesteld aan de hand van het totaal gehalte aan minerale olie in de grond. De daarvoor gebruikte extractie- en analysetechnieken zijn echter volop in discussie. Vooral extractie van vochtige grond kan problemen geven in verband met de moeilijke bereikbaarheid van de olie. Een analyse volgens de IR-methode kan te hoog uitvallen, met name in humeuze en venige gronden. Het effect van verschillende extractie- en analysemethoden is geïllustreerd in tabel 2 voor een zeer humeus grondmonster.

Op het proefveld in Wijster is een duidelijke afname in oliegehalte (hexaan/GC) geconstateerd op het 'HBO' veld met gasolie. Voor de 'crude' grond met ruwe olie is de terugloop veel minder duidelijk, hoewel hier wel behoorlijke afbraak heeft plaatsgevonden gezien de zuurstofmetingen. Er bestaan geen significante verschillen tussen begroeide en braakliggende veldjes. De afname van oliegehalten is weergegeven in fig. 4.

Bij het landfarm-project Erp is een relatief snelle afname van het oliegehalte geconstateerd (hexaan/GC methode). De gegevens zijn, te zamen met pH-waarden en bodemtemperaturen, weergegeven in fig. 5.

Bij het project Amsterdam-Oost is sinds de start eind augustus 1985 nog geen significante afname van het oliegehalte geconstateerd voor de 'crude' grond met ruwe olie. In de eerste twee maanden is het oliegehalte eerder toegenomen dan afgenomen. Mogelijk neemt aanvankelijk het extractierendement toe door gedeeltelijke afbraak. Een oriënterende

Tabel 2. Effect van extractie- en analysemethoden op het oliegehalte in een humeus grondmonster met ruwe olie

Extractiemiddel	Extractiemethode	Analyse	Oliegehalte (mg.kg <sup>-1</sup> )
hexaan	Soxhlet	GC	1400
tetra	Soxhlet	GC	1340
tetra	Soxhlet	IR	8400
tetra	schudden	IR	3600
aceton + pentaan*	schudden	GC	7800

\*nieuwe richtlijn Ministerie VROM

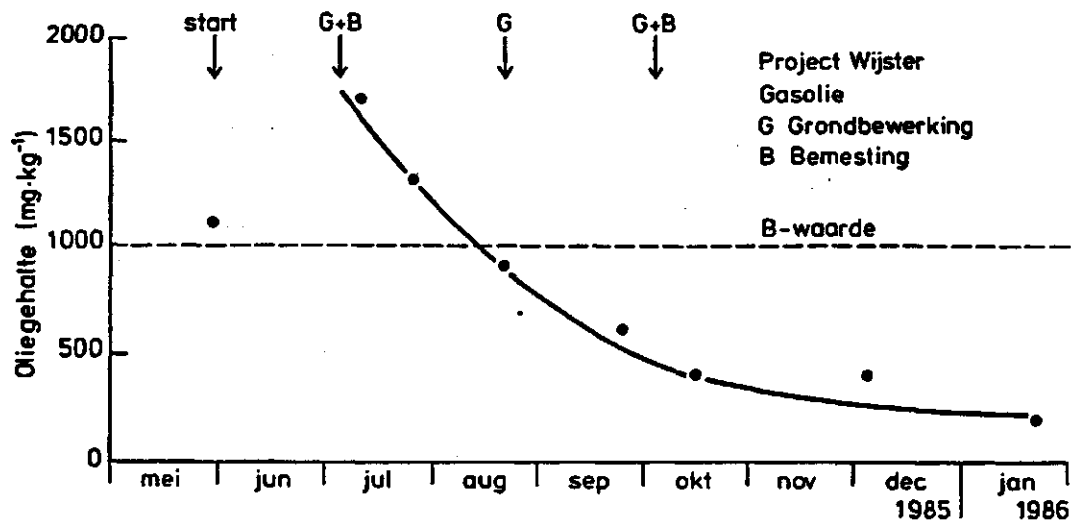


Fig. 4. Afname van het oliegehalte in de verontreinigde grond als functie van de tijd (Project Wijster, ICW)

analyse na twee maanden liet zien dat ca. 20% van het totale oliegehalte bestond uit polaire verbindingen, die met een clean-up methode konden worden verwijderd.

In fig. 6 is de afname van het oliegehalte in een eerder uitgevoerd landfarmproject in Rijswijk (VEERKAMP en ZEWARD, 1985) weergegeven. In de loop van een jaar liep het oliegehalte terug tot ruim beneden de B-waarde van 1000 ppm (Ministerie VROM). Voorlopig wordt aangenomen dat de grond voldoende is gereinigd als het oliegehalte tot ruim beneden deze B-waarde is gedaald, bijvoorbeeld tot 500-750 ppm.

Als wordt uitgegaan van een eerste-orde afbraakreactie dan liggen de halfwaarde tijden voor gasolie en stookolie in de orde van 1 à 2 maanden bij een bodemtemperatuur van ca. 15°C. Voor ruwe olie is op grond van de nu beschikbare gegevens nog geen uitspraak te doen met betrekking tot de afbraaksnelheid. Op het ICW-laboratorium werd in potproeven wel een snelle afbraak gevonden voor ruwe olie met een halfwaarde tijd van 1 à 1,5 maand bij 20°C.

In hoeverre de afname van het oliegehalte op de genoemde proefobjecten mede is veroorzaakt door vervluchtiging is niet bekend.

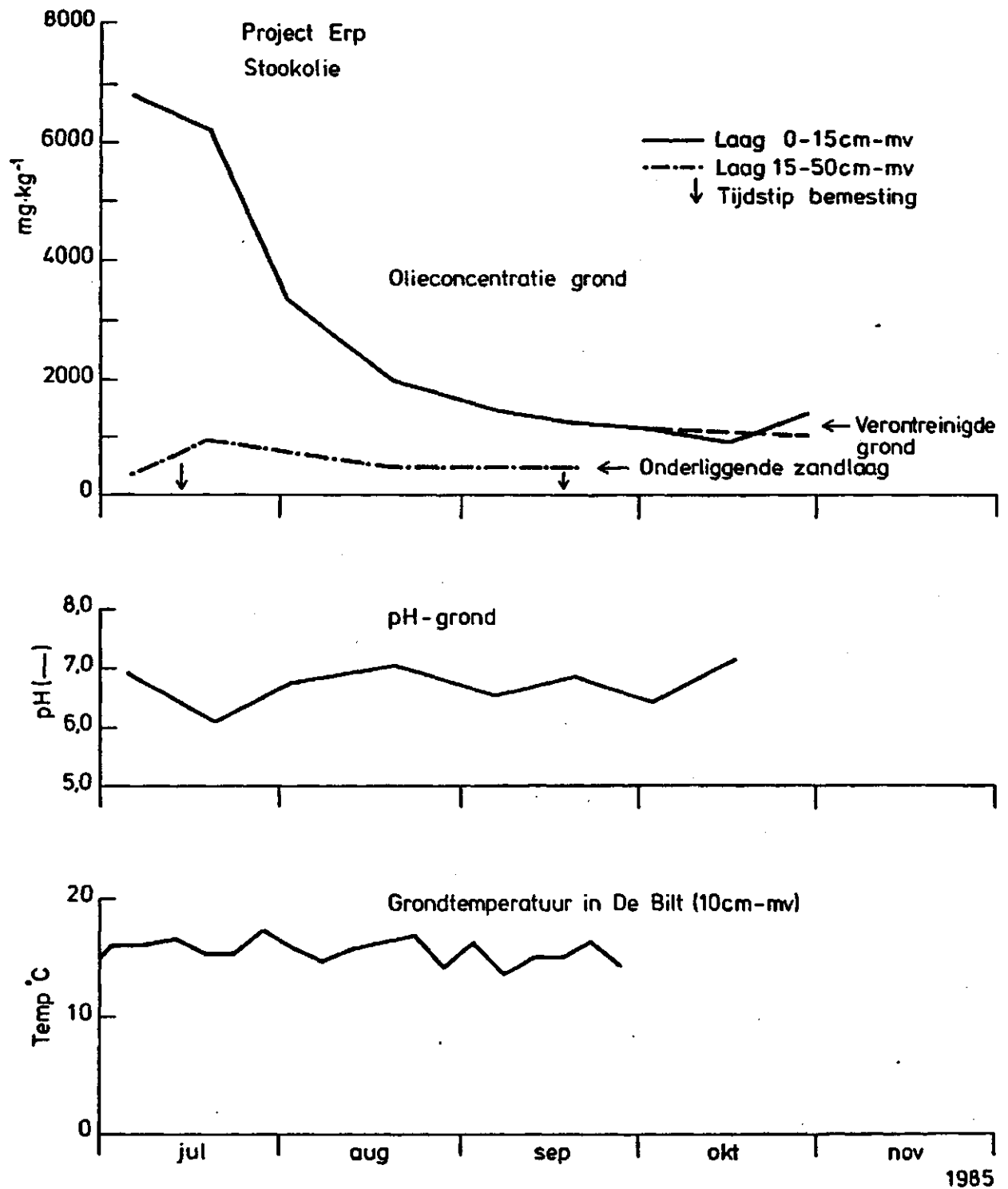


Fig. 5. Afname van het oliegehalte in de tijd in relatie met de pH en de bodemtemperatuur (Project Erp, Grontmij)

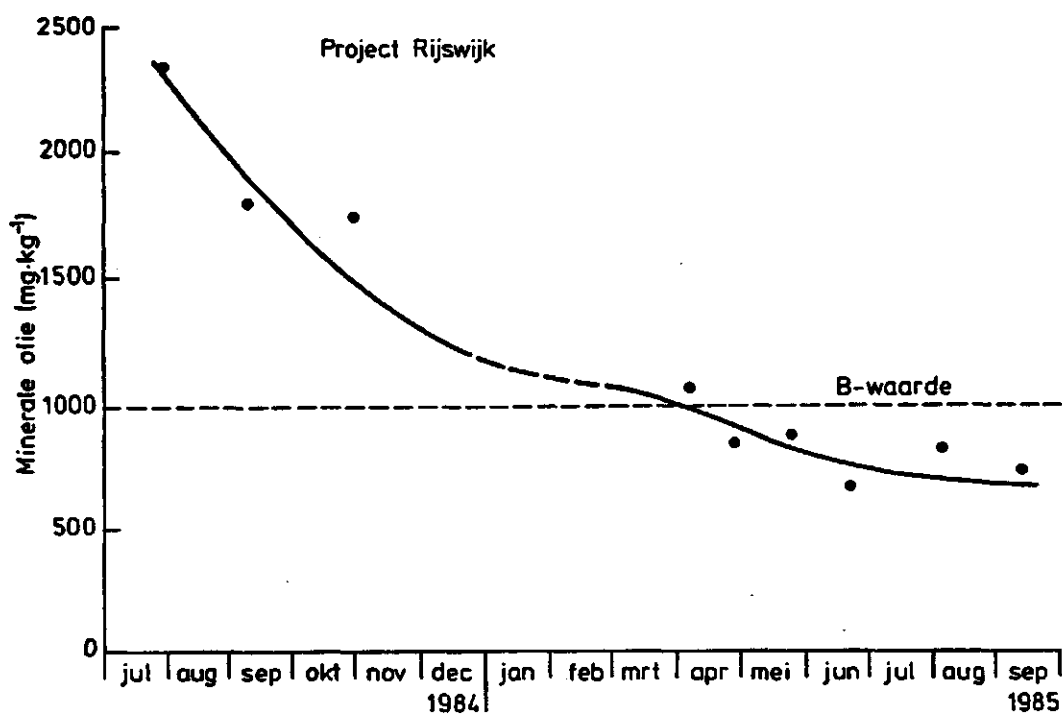


Fig. 6. Afname van het oliegehalte in de tijd (Project Rijswijk, VEERKAMP en ZEWALD, 1985)

Alleen in het project Amsterdam-Oost van De Ruiter/IWACO zullen te zijner tijd gegevens beschikbaar komen van de afgedekte proefvakken. Voor de andere projecten zal het aandeel van vervluchtiging moeten worden geschat aan de hand van dampspanningsevenwichten en diffusie door de bodem.

#### 4. CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies uit het lopende onderzoek zijn:

- grondbewerking is belangrijk in verband met herverdeling van olie en nutriënten door de grond;
- bij laagdikten van 30-40 cm ontstaan doorgaans geen aeratieproblemen;
- de ideale C:N:P verhouding in de grond is 200-250:10:3;
- uitspoeling van olie en afbraakprodukten lijkt gering;
- uitspoeling van nitraat is aanzienlijk;
- de afbraak van gemakkelijk afbreekbare oliesoorten, als gasolie en stookolie verloopt snel met halfwaarde tijden van 1-2 maanden;
- meer aandacht is nodig voor emissie van vluchtige stoffen.

## LITERATUUR

- DRUMPT, H. VAN, 1983. Onderzoek naar de afbraak van olie in verontreinigde grond afkomstig uit de gemeente Emmen. Nota 1416, ICW, Wageningen.
- HOEKS, J., 1985. Biologische reiniging van vervuilde grond volgens de 'Landfarming' methode. PATO-cursus 'Bodemverontreiniging met olie, preventie en sanering', TH, Delft.
- HOLDEN, M. TEN, 1980. Sludge farming: een methode van landbehandeling om olieprodukten microbiologisch af te breken. Nota 1206, ICW, Wageningen.
- VEERKAMP, W. en C.A. ZEWARD, 1985. Praktijkervaringen met biologische sanering van met olie verontreinigde grond. Zand + Water-nu/ Milieutechniek, okt. 1985.