

NOBIS 98-1-28
RISICOBEOORDELING VAN BODEM-
VERONTREINIGING MET BEHULP
VAN EEN TRIADE BENADERING
met chemische analyses, bioassays en
biologische veldinventarisaties

Eindrapportage

drs. J.J. van der Waarde (Bioclear BV)
ir. J.G.M. Derksen (AquaSense BV)
drs. A.F. Peekel (IWACO BV)
H. Keidel (Blgg BV)
J. Bloem (Alterra)
dr. H. Siepel (Alterra)

maart 2001

Gouda, CUR/NOBIS

Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In-situ Sanering

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, "©"Risicobeoordeling van bodemverontreiniging met behulp van een TRIADE benadering met chemische analyses, bioassays en biologische veldinventarisaties - eindrapportage ", maart 2001, 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, "©"Risk assessment of soil contamination with a TRIAD approach - final report", March 2001, 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

Risicobeoordeling van bodemverontreiniging met behulp van een TRIADE benadering met chemische analyses, bioassays en biologische veldinventarisaties
Eindrapportage

CUR/NOBIS rapportnummer

98-1-28

Project rapportnummer

98-1-28

Auteur(s)

drs. J.J. van der Waarde
ir. J.G.M. Derksen
drs. A.F. Peekel
H. Keidel
J. Bloem
dr. H. Siepel

Aantal bladzijden

Rapport: 34
Bijlagen: Separaat rapport

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

Bioclear BV (drs. J.J. van der Waarde, 050-571845), AquaSense BV (ir. J.G.M. Derksen), IWACO BV (drs. A.F. Peekel), Blgg BV (H. Keidel), Alterra (J. Bloem en dr. H. Siepel), Witteveen+Bos BV., GeoDelft, TTE Consultants BV, Vrije Universiteit Amsterdam, Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam, Provincie Gelderland, Provincie Groningen, Provincie Utrecht, Stichting Bodemsanering Nederlandse Spoorwegen, Ministerie van VROM, EPON, EDON, NAM

Uitgever

CUR/NOBIS, Gouda

Samenvatting

Bij bodemsanering ontstaat steeds meer behoefte aan locatiespecifieke beoordeling van actuele risico's die voortvloeien uit de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de bodem. Met behulp van biologische analyses kan direct inzicht in de actuele risico's van verontreinigingen worden verkregen. In dit project is een TRIADE benadering ontwikkeld, bestaande uit chemische analyses (standaard analyses en oliekaracterisatie), bioassays (Microtox, chronische bioassays met sla en regenwormen, substraatconsumptie in de bait lamina test, ecologisch herstel in mesocosms), en veldinventarisaties (microbiële groeisnelheid, microbiële biomassa, bodemmicroarthropoden, nematoden). De bodemkwaliteit op zes verontreinigde locaties is middels deze TRIADE beoordeeld: een voormalig kleiduivenschietterrein met loodverontreiniging in een natuurgebied, een energiecentrale met minerale olieverontreiniging, een op- en overslagterrein van brandstoffen verontreinigd met minerale olie, een locatie met een historische ruwe olie lozing, een voormalig rangeerterrein verontreinigd met PAK, zware metalen en minerale olie en een voormalig gasfabrieksterrein verontreinigd met een cocktail aan PAK, cyanides, zware metalen en brandstoffen.

De bodem-TRIADE is met succes toegepast bij het vaststellen van actuele ecologische effecten op diverse locaties met uiteenlopende bodemkarakteristieken en verontreiniging. De ontwikkelde bodem TRIADE heeft op iedere locatie aanvullende informatie opgeleverd die bruikbaar bleek bij het beoordelen van de bodemkwaliteit en op basis waarvan saneringsingrepen of bodembeheersmaatregelen konden worden voorgesteld. De ontwikkelde TRIADE is geschikt voor een breed scala aan bodemgebruikstypen en verontreinigen en kan een goede basis vormen voor locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen:**

biologische afbraak, biomonitoring, ecotoxicologie, olie, toxische effecten

Vrije trefwoorden:

bioassay, ecologische risicobeoordeling, ecotoets, TRIADE

Titel project

Risicobeoordeling van bodemverontreiniging met behulp van een TRIADE benadering met chemische analyses, bioassays en biologische veldinventarisaties

Projectleiding

Bioclear BV (drs. J.J. van der Waarde, 050-571845)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title
Risk assessment of soil contamination with a TRIAD approach

CUR/NOBIS report number
98-1-28

Final report

Project report number
98-1-28

Author(s)

drs. J.J. van der Waarde
ir. J.G.M. Derksen
drs. A.F. Peekel
H. Keidel
J. Bloem
dr. H. Siepel

Number of pages

Report: 34
Appendices: Separate report

Executive organisation(s) (Consortium)

Bioclear BV (drs. J.J. van der Waarde, 050-571845), AquaSense (ir. J.G.M. Derksen), IWACO (drs. A.F. Peekel), Blgg BV (H. Keidel), Alterra (J. Bloem en dr. H. Siepel), Witteveen+Bos BV, GeoDelft, TTE Consultants BV, Vrije Universiteit Amsterdam, Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam, Provincie Gelderland, Provincie Groningen, Provincie Utrecht, Stichting Bodemsanering Nederlandse Spoorwegen, Ministerie van VROM, EPON, EDON, NAM

Publisher

CUR/NOBIS, Gouda

Abstract

The interest in methods for determining actual effects and risk of soil contamination is increasing. Biological analyses can be used to assess actual ecological effects of contaminants. In this project a TRIAD approach was developed, consisting of chemical analyses (standard analyses and oil characterisation), bioassays (Microtox, chronic bioassays with lettuce and earth worms, substrate consumption in the bait lamina test, ecological recovery in mesocosms), and field studies (microbial growth rate, microbial biomass, soil microarthropodes, nematodes). The soil quality on six contaminated sites was determined with this TRIAD: a former clay pigeon shooting range contaminated with lead, a power plant with mineral oil contamination, a storage site for fuels, a site with a historic spill of crude oil, a former shunting-yard contaminated with PAH, heavy metals and mineral oil and a former city gas factory contaminated with a cocktail of PAH, cyanides, heavy metals and fuels.

The soil TRIAD was successfully applied for the assessment of ecological risks at several of sites with a variety in soil and contamination characteristics. The developed soil TRIAD supplied supportive information that was suitable for the assessing soil quality and allowed site specific soil remediation or soil management strategies to be proposed. The developed TRIAD is suitable for a wide range of types of soil use and can form a solid base for site specific ecological risk assessment. Attention should now be focussed on standardisation of the soil TRIAD, reference values and a framework for data interpretation.

The developed TRIAD can be used for assessment of urgency of remediation based on ecological risks, supporting site specific remediation targets, application of active soil management and assessment of the environmental effectiveness of soil (bio)remediation.

Keywords

Controlled terms:

biodegradation, biomonitoring, ecotoxicology, toxic effects

Uncontrolled terms

bioassay, ecological risk assessment, ecotoxicity test, TRIAD

Project title

Risk assessment of soil contamination with a TRIAD approach

Projectmanagement

Bioclear BV (drs. J.J. van der Waarde, 050-571845)

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

INHOUD

		SAMENVATTING	IV
		SUMMARY	VI
		BEGRIPPENLIJST	VII
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
Hoofdstuk	2	DOEL ONDERZOEK	4
Hoofdstuk	3	OPZET VAN HET ONDERZOEK	5
	3.1	Selectie locaties	5
	3.2	Beoordeling locaties	6
Hoofdstuk	4	RESULTATEN	10
	4.1	Beoordeling Bornia locatie	10
	4.2	Beoordeling EPON locatie	13
	4.3	Beoordeling Petroleumhaven locatie	16
	4.4	Beoordeling NAM Schoonebeek locatie	19
	4.5	Beoordeling Spekholzerheide rangeerterrein	22
	4.6	Beoordeling Gasfabrieksterrein Oude Pekela	24
Hoofdstuk	5	DISCUSSIE	28
Hoofdstuk	6	CONCLUSIES	33
		LITERATUUR	34

SEPARAAT BIJLAGENRAPPORT

Bijlage	A	RAPPORTAGE IWACO BV Bemonstering en chemische analyses
Bijlage	B	RAPPORTAGE TTE CONSULTANTS BV Oliekarakterisatie
Bijlage	C	RAPPORTAGE AQUASENSE BV Bioassays
Bijlage	D	RAPPORTAGE ALTERRA Veldinventarisaties van micro-organismen en microcosmosproeven
Bijlage	E	RAPPORTAGE ALTERRA Bodemmicroarthropoden
Bijlage	F	RAPPORTAGE BLGG BV Nematoden analyses

SAMENVATTING

Risicobeoordeling van bodemverontreiniging met behulp van een TRIADE benadering met chemische analyses, bioassays en biologische veldinventarisaties

Inleiding

Bij bodemsanering ontstaat steeds meer behoefte aan locatiespecifieke beoordeling van actuele risico's die voortvloeien uit de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de bodem. Chemische analyses geven op een indirecte wijze inzicht in de (potentiële) risico's. Als zodanig vormen chemische analyses een eerste lijnbenadering. Met behulp van biologische analyses kan daarnaast direct inzicht in de actuele risico's van verontreinigingen worden verkregen.

Veldmetingen waarin de omvang en samenstelling van populaties bodemorganismen worden vastgesteld geven inzicht in de in-situ ecologische effecten van de verontreiniging. Bioassays geven daarnaast informatie over de actuele toxiciteit van de verontreinigde bodem voor testorganismen.

Het gebruik van een combinatie van chemische analyses, veldinventarisaties en bioassays wordt samengevat als de TRIADE benadering. Deze benadering wordt in de beoordeling van de waterbodempkwaliteit reeds enige tijd toegepast.

Opzet van het onderzoek

In dit project is de TRIADE benadering toegepast voor het beoordelen van de kwaliteit van een zestal verontreinigde bodems. De bodem-TRIADE, die in dit project is ontwikkeld, bestaat uit chemische analyses (standaard analyses en oliekaracterisatie), bioassays (Microtox, chronische bioassays met sla en regenwormen, substraatconsumptie in de bait lamina test, ecologisch herstel in mesocosms), en veldinventarisaties (microbiële groeisnelheid, microbiële biomassa, bodemmicroarthropoden, nematoden).

Er zijn zes locaties onderzocht:

1. Kleiduivenschietterrein. Loodverontreiniging in een natuurgebied. Bestemming van het terrein is natuur.
2. Energiecentrale. Minerale olieverontreiniging, op deze locatie is een in-situ biorestauratie (bioventing/biosparging) in uitvoering.
3. Op -en overslagterrein brandstoffen. Actieve industriële locatie met minerale olieverontreiniging die op pilotschaal is gesaneerd middels in-situ bioventing.
4. Ruwe olie lozing. Locatie bevindt zich in een bos, waar enige tientallen jaren geleden een calamiteit heeft plaatsgevonden met ruwe olie.
5. Rangeerterrein. Het voormalige rangeerterrein is verontreinigd met PAK, zware metalen en minerale olie.
6. Gasfabrieksterrein. Voormalige gasfabrieksterreinen verontreinigd met een cocktail aan PAK, cyanides, zware metalen en brandstoffen.

Resultaten

Op het terrein van de kleiduivenschietvereniging zijn negatieve effecten van de loodverontreiniging in de bodem waarneembaar. Enkele van de TRIADE assays zijn op deze locatie minder geschikt, bijvoorbeeld de slatest functioneert matig op de zure zandgrond van deze locatie. De gevonden effecten hebben op deze locatie aanleiding gegeven tot verder onderzoek naar saneringsmogelijkheden, waarbij negatieve ecologische effecten van de sanering vermeden dienen te worden.

Op het terrein van de energiecentrale is een sterke olieverontreiniging aangetroffen, die duidelijke negatieve effecten te zien geeft in de TRIADE beoordeling. De olie is waarschijnlijk afkomstig van een drijfslag die als gevolg van extreem fluctuerende waterstanden over een bodempakket is uitgesmeerd. De concentraties worden op de overgang van de gesaneerde ophoogslag met

de tussenzandlagen aangetroffen. De toxische effecten zijn derhalve niet afkomstig van een restfractie na biologische sanering, maar geven wel aan dat de bodem op deze diepte geen acceptabele kwaliteit bezit in vergelijking tot een contactzone.

De opslagplaats voor brandstoffen laat een wisselend beeld zien met toxische effecten in bijvoorbeeld de slatest, maar geen enkel effect in de Microtox test dat te verklaren was op basis van minerale olie concentraties. Mogelijk heeft de biologische sanering, die op deze locatie is uitgevoerd, geleid tot een verminderde biologische beschikbaarheid.

Grond van de historische verontreiniging met ruwe olie blijkt nog steeds een veranderde bodemfauna te bezitten, die wordt gekenmerkt door een hoge biologische activiteit. Dit betekent dat de olie in de loop van de tijd dermate is verweerd, dat zij deel is geworden van het bodem(veen)pakket en via verhoogde bacterieaantallen leidt tot een rijkere bodemfauna. In de bioassays zijn in alle monsters effecten waargenomen die echter niet zijn te onderscheiden van een effect van de zeer lage pH (pH-KCl 2,6 - 3,1).

Het rangeerterrein laat, afgezien van groei in de slatest, slechts matige effecten zien van de aanwezige verontreinigingen. Aangezien de verontreinigingen sterk verschillen per monsters en zowel uit zware metalen als uit PAK bestaan, is het niet mogelijk een eenduidig verband te leggen tussen het type verontreiniging en de effecten in de TRIADE. Gezien de geringe waargenomen effecten bij het merendeel van de testen lijkt een groene inrichting van het terrein goed mogelijk zonder ingrijpende saneringsmaatregelen.

Grond van het voormalige gasfabrieksterrein blijkt zeer toxisch, waarbij sprake is van een duidelijke correlatie met de aanwezige cocktail van verontreinigingen (PAK, zware metalen en cyanides). Deze grond kan duidelijk niet dienen als ondergrond in een leeflaag voor een bodemecosysteem, aangezien acute ecologische effecten zijn te verwachten.

Conclusies

Concluderend kan worden gesteld, dat de bodem-TRIADE met succes is toegepast bij het vaststellen van actuele ecologische effecten op diverse locaties met uiteenlopende bodemkarakteristieken en verontreiniging. Per locatie blijken verschillende onderdelen van de TRIADE anders te reageren op het bodemtype en de aanwezige verontreiniging hetgeen nogmaals het belang van een testbatterij als de TRIADE onderstreept. Deze ontwikkelde TRIADE beoordeling kan worden gebruikt bij het bepalen van de ecologische saneringsurgentie van bodemverontreiniging, het onderbouwen van locatie-specifieke saneringsdoelstellingen, het toepassen van actief bodembeheer en het beoordelen van het milieurendement van (biologische) bodemsaneringen. De discussie kan zich nu richten op eventuele standaardisatie van de bodem-TRIADE en een daarbij behorend interpretatiekader.

In het project zijn naast een groot aantal onderzoekende partijen (7) het Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam, SBNS, EPON, EDON, NAM, de Provincies Gelderland, Groningen en Utrecht en het Ministerie van VROM betrokken als eindgebruikers. Door deze samenwerking vindt een goede afstemming plaats tussen de verschillende belangen van deze partijen bij risicobeoordeling van verontreinigde grond en worden de kansen vergroot dat bij een succesvol project de resultaten inderdaad in de praktijk worden toegepast.

SUMMARY

Risk assessment of soil contamination with a TRIAD approach

The interest in methods for determining actual effects and risk of soil contamination is increasing. Chemical analyses give information about potential risks of contaminants.

Biological analyses can be used to assess actual ecological effects of contaminants. In this project a TRIAD approach was developed, consisting of chemical analyses (standard analyses and oil characterisation), bioassays (Microtox, chronic bioassays with lettuce and worms, substrate consumption in the bait lamina test, ecological recovery in mesocosms), and field studies (microbial growth rate, microbial biomass, soil microarthropodes, nematodes). The soil quality on six contaminated sites was determined with this TRIAD: a former clay pigeon shooting range contaminated with lead, a power plant with mineral oil contamination, a storage site for fuels, a site with a historic spill of crude oil, a former shunting-yard contaminated with PAH, heavy metals and mineral oil and a former city gas factory contaminated with a cocktail of PAH, cyanides, heavy metals and fuels.

The soil TRIAD was successfully applied for the assessment of ecological risks at several of sites with a variety in soil and contaminant characteristics. The developed soil TRIAD supplied supportive information that was suitable for the assessing soil quality and allowed site specific soil remediation or soil management strategies to be proposed. The developed TRIAD can be used for assessment of urgency of remediation based on ecological risks, supporting site specific remediation targets, application of active soil management and assessment of the environmental effectiveness of soil (bio)remediation.

The developed TRIAD is suitable for a wide range of types of soil use and can form a solid base for site specific ecological risk assessment. Attention should now be focussed on standardisation of the soil TRIAD, reference values and a framework for data interpretation.

BEGRIPPENLIJST

NOEC: No Observed Effect Concentration
BKI: Bodem Kwaliteits Index
MI: Maturity Index nematoden

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

In het kader van NOBIS wordt een onderzoek uitgevoerd naar de ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging met behulp van de TRIADE benadering, het NOBIS TRIADE project. Deze benadering bestaat uit chemische analyses, bioassays en biologische veldinventarisaties. Het project is een gezamenlijke onderzoeksinspanning die zich richt op het ontwikkelen en valideren van een methodiek voor ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging op basis van actuele biologische effecten van verontreinigingen in het ecosysteem. Het project wordt uitgevoerd door Bioclear BV, AquaSense BV, IWACO BV, Blgg BV, Alterra, Witteveen+Bos BV, GeoDelft, TTE Consultants BV en de Vrije Universiteit Amsterdam.

Het project wordt financieel ondersteund door NOBIS, het Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam, de Stichting Bodemsanering Nederlandse Spoorwegen, de Provincie Gelderland, de Provincie Groningen, de Provincie Utrecht, het Ministerie van VROM, EPON, EDON en NAM.

Dit rapport is het eindrapport van het NOBIS TRIADE project. In dit rapport staan de resultaten beschreven van de analyse en beoordeling van zes locaties: het voormalige kleiduiven schietterrein Bornia te Zeist, de EPON energiecentrale Nijmegen, het Petroleumhaventerrein in Amsterdam, een NAM locatie in Schoonebeek, het rangeerterrein Spekholzerheide in Kerkrade en het oude gasfabrieksterrein in Oude Pekela.

Achtergrond

De ecologische risico's van bodemverontreiniging worden tot op heden voornamelijk modelmatig afgeleid op basis van chemische analyses van de verontreiniging. Deze benadering heeft een aantal nadelen.

Ten eerste kunnen in de bodem andere componenten dan de gedefinieerde verontreiniging aanwezig zijn die een deel van de toxiciteit en risico's bepalen. Chemische monitoring geeft in dit geval geen goed beeld van de werkelijke actuele risico's.

Daarnaast worden de biologische effecten van een verontreiniging mede bepaald door de mate van beschikbaarheid van de verontreiniging. Indien de verontreiniging sterk gebonden is aan de organische fractie in de bodem (gehumificeerd) kunnen de biologische effecten beperkt zijn. In het geval van in-situ biorestauratie bijvoorbeeld blijft vaak een persistente restfractie over die, ondanks stimulerende maatregelen voor biodegradatie, niet verwijderd wordt. De normering vereist doorgaans dat deze restfractie eveneens wordt verwijderd, hetgeen tot een aanzienlijk kostenstijging leidt en de toepassing van in-situ biorestauratie beperkt.

Mogelijk is deze restfractie persistent doordat ze niet biologisch beschikbaar is. In dit geval zou ook de directe toxiciteit voor bodemorganismen laag moeten zijn en dus de saneringsurgentie laag. Chemische analyses die conform de NEN voorschriften worden uitgevoerd houden slechts zeer beperkt rekening met biologische beschikbaarheid en geven geen informatie over dit probleem.

Een derde probleem wordt gevormd door het versterkende of verzwakkende effect dat toxische verbindingen op elkaars toxiciteit kunnen hebben bij complexe verontreinigingen. Chemische analyses laten deze effecten buiten beschouwing en modelmatig kunnen deze effecten niet goed worden meegenomen omdat zeer weinig informatie beschikbaar is waardoor een onder- of overschatting van de werkelijke risico's op kan treden.

Deze tekortkomingen zouden voor een deel kunnen worden ondervangen door de chemische beoordeling aan te vullen met biologische methoden voor karakterisatie en beoordeling van bodemkwaliteit. Hiermee kunnen actuele risico's van bodemverontreiniging daadwerkelijk worden gemeten. Een methode om dit te doen is de TRIADE benadering.

De TRIADE benadering is een methode om het ecologisch risico van een verontreiniging te bepalen op basis van drie onderdelen:

- Chemische analyses;
- Bioassays;
- Biologische veldinventarisaties.

De eerste poot bestaat uit chemische analyses die inzicht geven in de aanwezigheid van verontreinigingen en daarmee in de potentiële ecologische effecten. Naast chemische analyses op grondmonsters kunnen ook gehalten aan verontreinigingen in (bodem)organismen worden bepaald. De mate waarin opname en bioaccumulatie in deze organismen optreedt is van belang bij doorgifte van de verontreiniging in de voedselketen en eventuele negatieve effecten op populatieniveau en het ecosysteem als geheel.

De tweede poot bestaat uit bioassays. Bioassays zijn laboratorium experimenten waarbij de toxiciteit van een milieumonster wordt bepaald met behulp van lagere diersoorten zoals de regenworm, planten of bacteriën. Bij het bepalen van de toxiciteit wordt naar verschillende effecten gekeken zoals reproductie, groeiremming, enzymactiviteit en sterfte. Om een goed beeld van de toxiciteit van een milieumonster te krijgen wordt aanbevolen gebruik te maken van een testbatterij van minimaal drie verschillende bioassays waarbij organismen worden gebruikt met een verschillende ecologische functie. Uit eerder onderzoek [1] is gebleken dat een testbatterij met de Microtox (een bacterie test), een chronische bioassay met sla en een chronische bioassay met regenwormen goede resultaten oplevert voor een landbodempoot.

Bij het bepalen van de toxiciteit van een milieumonsters wordt altijd een verontreinigd monster vergeleken met een niet-verontreinigd monster van dezelfde locatie met vergelijkbare bodemsamenstelling en fysisch-chemische karakteristieken (zuurgraad, nutriënten e.d.).

Het laatste onderdeel van de TRIADE benadering is de biologische veldinventarisatie. Bij de veldinventarisatie worden de effecten van een verontreiniging direct in het veld bepaald. Hierbij wordt de bodemkwaliteit van de verontreinigde locatie wederom vergeleken met een schone referentie. De bodemkwaliteit kan op verschillende manieren bepaald worden. Zo kunnen de populaties nematoden (bodemaaltjes) en de populaties regenwormen in kaart gebracht worden. Door de gegevens van de chemische analyses, de bioassays en de biologische veldinventarisaties te combineren, kan een goed gefundeerde risicobeoordeling gemaakt worden. Deze benadering sluit aan bij de TRIADE benadering zoals de methodiek voor locatie specifieke ecologische risicobeoordeling zoals voorgesteld door een PGBO werkgroep [2] en diverse uitwerkingen hiervan [3, 4 en 5] en het indicatorsysteem voor bodemkwaliteit dat is voorgesteld door het RIVM [6].

Opbouw van het onderzoek

In het kader van het NOBIS project "Effectiviteit van bioassays bij het monitoren en beoordelen van het milieurendement van in-situ biorestauratie" is een selectie gemaakt van bioassays die kunnen worden toegepast bij het beoordelen en monitoren van toxische effecten van bodemverontreiniging met minerale olie. De set bioassays die in het "Bioassays" project is opgezet is ook in dit vervolgproject ingezet bij het beoordelen van toxische effecten van bodemverontreiniging. Daarnaast is in dit project op beperkte schaal een nieuwe bioassay uitgevoerd die is ontwikkeld door Alterra voor ecotoxicologisch onderzoek van diepere gronden waarin van nature weinig bodemorganismen voorkomen. Deze bioassay is gebaseerd op het vaststellen van de potentie tot rekolonisatie van een grondmonster na beënting met een set bodemorganismen (voedselweb). Deze bioassay verschilt van de andere bioassays in het feit dat meerdere soorten tegelijk worden getest (multispecies bioassay) en zo biologische interacties kunnen plaatsvinden in het systeem.

Organismen die in de vochtfase van de grond leven kunnen een goede indicatie geven over de biologische beschikbaarheid van een verontreiniging in het bodemmilieu. Micro-organismen, protozoën en nematoden zijn daartoe bijzonder geschikt. Binnen het landelijk meetnet bodemkwaliteit worden de omvang en/of activiteit van de populaties van diverse bodemorganismen vastgesteld. Op deze wijze komt een uitgebreid referentiekader voor biologische meetdata van (niet verontreinigde) bodems beschikbaar.

Door in de bodem TRIADE benadering enkele van deze analyses op te nemen kan eenvoudig gebruik worden gemaakt van elders gegenereerde referentiedata.

De veldinventarisatiemetingen die in dit project zijn uitgevoerd betreffen de bepaling van de bacteriële biomassa en groeisnelheid (thymidine/leucine inbouw), potentiële nitrificatie, protozoa, nematoden, springstaarten en mijten. Bio-accumulatietesten en analyse van gehalten in organismen (bijvoorbeeld regenwormen) die in het veld zijn verzameld zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

Integratie tot een TRIADE benadering voor beoordeling bodemkwaliteit

De drie onafhankelijke methoden, chemische analyses, bioassays en biologische veldinventarisaties, zijn geïntegreerd om een totaalbeeld van de ecologische effecten en actuele milieurisico's van een bodemverontreiniging te krijgen. Integratie vond in dit project plaats door de resultaten van de verschillende methoden in dit onderzoek te combineren en per locatie een beeld te krijgen van de risico's en effecten van de bodemverontreiniging. Daarnaast is een voorzet gegeven voor de wijze waarop de bodem TRIADE kan worden toegepast bij de beoordeling van de ecologische effecten van bodemverontreiniging.

HOOFDSTUK 2

DOEL ONDERZOEK

De doelstelling van het hier voorgestelde onderzoek is om de ecologische effecten en risico's van bodemverontreiniging te bepalen met behulp van een set parameters in een TRIADE benadering. Deze TRIADE benadering dient op de volgende wijze te kunnen worden toegepast:

- Bij het beoordelen van de kwaliteit van verontreinigde grond op de deelnemende locaties. Op deze wijze kan de risico beoordeling en saneringsurgentie mede worden gebaseerd op (eco)toxiciteit;
- Bij het beoordelen van het eindresultaat van een (in-situ) sanering op enkele van de deelnemende locaties, zodat naast een chemische analyse van een eventuele restfractie eveneens een waarde kan worden toegekend aan de toxiciteit van deze restfractie;
- Bij de keuze van het toepassen en invullen van actief bodembeheer van verontreinigde bodems op de deelnemende locaties.

Dit project dient als voorbeeld om het nut en de bruikbaarheid van de gevolgde benadering bij de bepaling van actuele ecologische risico's beter bekend te maken waardoor de methode bij gebleken succes vaker wordt toegepast in vergelijkbare situaties.

HOOFDSTUK 3

OPZET VAN HET ONDERZOEK

3.1 Selectie locaties

In overleg met de eindgebruikers en onderzoekers zijn een aantal verschillende locaties geselecteerd voor het onderzoek. Hierbij zijn een aantal criteria gehanteerd om een brede evaluatie van de TRIADE benadering mogelijk te maken.

Uitgangspunten bij de selectie waren:

- Het betreft een locatie waar (één van de) eindgebruikers een belang bij heeft of belang in ziet;
- Er zijn verschillende bodemtypen vertegenwoordigd in het project;
- Er zijn verschillende typen verontreinigingen vertegenwoordigd in het project;
- Er zijn verschillende bodemgebruikstypen vertegenwoordigd in het project.

Uit deze selectie zijn de volgende locaties naar voren gekomen:

1. Schietterrein Bornia

Deze locatie is gelegen in een natuurgebied en was in gebruik bij een kleiduiven schietvereniging. De locatie is verontreinigd met lood en betreft een bebost terrein op schrale zandgrond. Bestemming van het terrein is natuur.

2. EPON locatie

Deze locatie is gelegen in een uiterwaardengebied en betreft een actieve energiecentrale. De verontreiniging bestaat uit minerale olie vanaf ca. 6 m-mv in een kleiige bodem. In de ophooglaag is recentelijk een in-situ biorestauratie (bioventing/airsparging) uitgevoerd. Bij deze locatie is middels een TRIADE bepaald of de sanering heeft geleid tot een acceptabele bodemkwaliteit.

3. Petroleumhaven Amsterdam

De locatie bestaat uit een zand-klei bodem die in de bovenste 4 meter is verontreinigd met minerale olie. Het betreft een actieve industriële locatie die op pilotschaal is gesaneerd middels in-situ bioventing. Deze sanering kan leiden tot een restfractie. Door het toepassen van de TRIADE kan worden bepaald in hoeverre deze restfractie ecotoxicologische effecten heeft en daarmee wat het milieurendement van de sanering is. De locatie maakte eerder deel uit van het NOBIS Bioassay project waardoor veel achtergrondinformatie over de locatie beschikbaar is.

4. Olie/gas winningslocatie Schoonebeek NAM

Deze locatie betreft een perceel naast een oude spoorlijn bij Schoonebeek waar enige tientallen jaren geleden een calamiteit heeft plaatsgevonden met ruwe olie. Op de locatie staat een bos en er vinden geen industriële activiteiten plaats op het terrein. De locatie is kort na de bemonstering ontgraven. Het gebruiksdoel is nog niet vastgesteld maar het wordt geen industriële toepassing.

5. Rangeerterrein Kerkrade SBNS

Het rangeerterrein te Kerkrade maakt onderdeel uit van het miljoenenlijntje en is verontreinigd met PAK, zware metalen en minerale olie. Het terrein is al langere tijd niet meer in gebruik en is verruigt, er staan bomen en struiken. NS vastgoed is eigenaar en heeft

woningbouw gepland, binnen dit plan is ruimte voor openbaar groen. De locatie is groot (0,5 km²) en er loopt nog een spoor dat in gebruik is voor een toeristische stoomtrein.

6. Gasfabrieksterrein Oude Pekela

De locatie ligt aan de rand van de dorpskern in landelijk gebied. Deze locatie is typerend voor voormalige gasfabrieksterreinen en is verontreinigd met een cocktail aan PAK, cyanides, zware metalen en brandstoffen. De locatie is tot aan het oppervlak verontreinigd, de bodem is zandig van opbouw. De bestemming is industrieterrein.

3.2 **Beoordeling locaties**

De wijze van uitvoering en de resultaten van de verschillende onderdelen van de TRIADE bemonstering staan in detail beschreven in de aparte rapportages van de onderzoekers. Er werden telkens 12 monsters genomen voor chemische analyses. Uit deze 12 monsters werden zes monsters geselecteerd die tezamen een gradiënt in verontreiniging vormden en deze werden onderworpen aan de biologische analyses. De microcosmosproef werd op twee locaties uitgevoerd die relevant waren ten aanzien van de mogelijk tot herkolonisatie van grond. Microbiologische analyses en bodemmicroarthropoden bepalingen werden op drie locaties uitgevoerd waar een goed ontwikkeld bovengronds ecosysteem aanwezig was (zie tabel 1).

Tabel 1. Overzicht metingen.

Locatie	Bornia	EPON	Petroleum- haven	NAM	Kerkrade	Oude Pekela
Parameter						
Milieuchemie						
Organisch stof (%)	+	+	+	+	+	+
Lutum (%)	+	+	+	+	+	+
Fractie <50 µ (%)	+	+	+	+	+	-
Fractie < 1 mm (%)	+	-	-	-	-	-
CEC (meq/kg ds)	+	+	+	+	+	-
pH (KCl)	+	+	+	+	+	+
Minerale olie	-	+	+	+	+	+
Oliekarakterisatie	-	+	+	+	-	-
PAK (mg/kg ds)	-	-	+	+	+	+
EOX (mg/kg ds)	-	-	+	-	+	+
CN vrij (mg/kg ds)	-	-	-	-	-	+
CN thiocynaat (mg/kg ds)	-	-	-	-	-	+
CN complex (mg/kg ds)	-	-	-	-	-	+
Sb (mg/kg ds)	+	-	-	-	-	-
Arseen (mg/kg ds)	+	-	+	-	+	+
Cadmium (mg/kg ds)	-	-	+	-	+	+
Chroom (mg/kg ds)	-	-	+	-	+	+
Koper (mg/kg ds)	-	-	+	-	+	+
Kwik (mg/kg ds)	-	-	+	-	+	+
Nikkel (mg/kg ds)	-	-	+	-	+	+
Zink (mg/kg ds)	+	-	+	-	+	+
Lood (mg/kg ds)	+	-	+	-	+	+
Loodkorrels (g)	+	-	-	-	-	-
Ecotoxicologie						
Microtox	+	+	+	+	+	+
Sla kieming	+	+	+	+	+	+
Sla biomassa	+	+	+	+	+	+
Regenworm overleving	+	+	+	+	+	+
Regenworm biomassa	+	+	+	+	+	+
Regenworm reproductie	+	+	+	+	+	+
Bait lamina	+	+	+	+	+	+
Microcosmos proef	-	+	-	-	-	+
Veldinventarisaties						
Bacteriële biomassa	+	-	-	+	+	-
Bacteriële groeisnelheid	+	-	-	+	+	-
Specifieke groeisnelheid	+	-	-	+	+	-
Nitrificatie	+	-	-	+	+	-
Protozoën	+	-	-	-	-	-
Microarthropoden	+	-	-	+	+	-
Nematoden aantallen	+	+	+	+	+	+
Nematoden MI	+	+	+	+	+	+

+: uitgevoerd

-: niet uitgevoerd

De resultaten zijn samengevat en worden per locatie besproken in de volgende rapportages:

1. Milieuchemie
Resultaten veldbemonstering en chemische analyses (zie bijlage A, IWACO BV);
Resultaten oliekarakterisatie (zie bijlage B, TTE Consultants BV).
2. Toxicologie
Er werden op basis van de resultaten van de chemische analyses 6 monsters uitgekozen die gezamenlijk een gradiënt aan verontreiniging vormden en deze werden onderworpen aan bioassays;
Resultaten acute en chronische bioassays (zie bijlage C, AquaSense BV);
Resultaten microcosmosproeven (zie bijlage D, Alterra).
3. Veldinventarisaties
Resultaten microbiologische analyses en bodemfauna (zie bijlage D, Alterra);
Resultaten bodemmicroarthropoden (zie bijlage E, Alterra);
Resultaten nematoden analyses (zie bijlage F, Blgg).

De resultaten zijn beoordeeld volgens onderstaande criteria (tabel 2):

Tabel 2. Criteria voor beoordeling TRIADE parameters.

Parameter	geen effect	matig negatief effect ³⁾	sterk negatief effect
Chemie	< T-waarde	>T, <l-waarde	> l-waarde
Microtox EC ₂₀	> 90 vol. %	>11.25 vol.%, ≤ 90 vol. %	≤ 11.25 vol. %
Sla kieming	≥80%	50 - 80%	<50%
Sla biomassa ¹⁾	< s.d.	<50%	≥50%
Wormen overleving	≥90%	75-90%	<75%
Wormen biomassa ¹⁾	n.s. ²⁾	<25%	≥25%
Wormen reproductie ¹⁾	n.s. ²⁾	<50%	≥50%
Bait lamina ¹⁾	n.s. ²⁾	<50%	≥50%
Nematoden aantallen ¹⁾	0-25 %	25-50 %	> 50%
Nematoden MI ¹⁾	< 5 %	5-10 %	> 10%

1) % Verschil ten opzichte van lokale referentie

2) n.s.: niet significant

3) Matige en sterke negatieve effecten worden alleen als zodanig beoordeeld als de verschillen significant zijn.

De microbiologische parameters zijn beoordeeld op basis van expert judgement.

De verschillen in biologische analyses (onderdeel 2 en 3 van de TRIADE) tussen de niet-verontreinigde referentie en het meest verontreinigde monster zijn per locatie zichtbaar gemaakt in een amoëbe figuur. Hierbij wordt de niet-verontreinigde lokale referentie op 100% gesteld, en elke indicator afgebeeld als percentage van de referentie. De resultaten zijn afgebeeld op een logaritmische schaal omdat verschillen dan goed zichtbaar zijn. Indicatoren die in een statistische toets significant verschillen zijn gemerkt met een *. Significante correlaties van de nematoden zijn niet gemerkt met een * omdat hierbij het verschil tussen twee monsters (schoon en vuil) niet getoetst kan worden. Alle indicatoren behalve bait lamina zijn gebruikt en even zwaar gewogen.

Verder zijn de resultaten voor alle indicatoren samengevat in een bodemkwaliteitsindex (BKI) of soil quality index (SQI). Deze werd als volgt berekend:

$$SQI = 10^{\frac{\sum_{i=1}^n |\log m - \log n_i|}{n}}$$

Hierbij is m de referentie (op 100 % gesteld) en n zijn de meetwaarden, als percentage van de referentie. Een BKI (SQI) van 50% betekent een gemiddelde afwijking van een factor 2. Dit kan zowel groter als kleiner zijn.

De Amoebe en BKI benadering worden toegepast bij het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit van het RIVM [7].

HOOFDSTUK 4

RESULTATEN

4.1 Beoordeling Bornia locatie

De resultaten van de TRIADE beoordeling staan schematisch weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Samenvatting resultaten Bornia locatie.

parameter	monster						
	28	31	4	3	8	11	119+120
Milieuchemie							
Lood (mg/kg ds)	11	21	220	290	460	620	880
Ecotoxicologie							
Microtox	l.r.	+	++	++	++	++	++
Sla kieming	l.r.						
Sla biomassa	l.r.						++
Regenworm overleving	l.r.						++
Regenworm biomassa	l.r.				++	++	
Regenworm reproductie	l.r.	+	++	++	++	++	++
Bait lamina	l.r.						
Veldinventarisaties							
Bacteriële biomassa	l.r.						
Bacteriële groeisnelheid	l.r.						
Specifieke groeisnelheid	l.r.			+			+
Nitrificatie	l.r.						
Protozoën	l.r.						
Microarthropoden	l.r.			+			+
Nematoden aantallen	l.r.		++		+	+	++
Nematoden MI	l.r.		++	++	+	+	++

-	blauw- positief effect
	groen geen negatief effect/lager dan T-waarde
+	lila+matig negatief effect/overschrijding T-waarde
++	rood ++sterk negatief effect/overschrijding I-waarde
l.r.	locale referentie
n.b.	niet bepaald

Milieuchemische bodemkwaliteit

Lood is de enige geanalyseerde parameter die in concentraties boven de streefwaarde aanwezig is. De interventiewaarde voor lood gecorrigeerd voor organisch stof en lutum gehalte varieert in de monsters van 319 tot 336 mg/kg ds. Deze interventiewaarde wordt op 4 monsterpunten overschreden, waarvan 3 monsters waar ook biologische analyses mee zijn uitgevoerd. De gemeten concentraties lood in de bodem zijn gemiddeld een stuk lager dan in een eerdere bemonsteringsronde uit 1995 die door Grontmij is uitgevoerd. Ook de hoeveelheid loodkorrels in de bodem is laag. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat in de huidige bemonstering de strooisellaag is verwijderd voorafgaande aan de bemonstering.

De bodem is vanuit de lucht verontreinigd waardoor de hoogste concentraties worden verwacht in de toplaag. De chemische parameter in de TRIADE scoort negatief, omdat waarden boven de interventiewaarde zijn gemeten.

Ecotoxicologische bodemkwaliteit

De aanwezige loodverontreiniging heeft duidelijke en meetbare effecten op de toxicologische bodemkwaliteit. Bijna alle toegepaste bioassays geven bij hogere concentraties lood negatieve

effecten te zien, wat er op duidt dat meerdere lagen (trofische niveaus) binnen het bodemvoedselweb waarschijnlijk last ondervinden van de aanwezige verontreiniging. De effecten vinden al plaats bij concentraties ruim onder de interventiewaarde. Dit duidt op een hoge biologische beschikbaarheid van het aanwezige lood hetgeen tevens tot uitdrukking komt in de gehalten lood die in het elutriaat voor de Microtoxtest zijn gemeten. Deze hoge beschikbaarheid kan verklaard worden door het lage organisch stof gehalte in de bodem, waardoor weinig binding van de metalen optreedt, en de lage pH, die leidt tot uitspoeling.

Er is getracht de gemeten effecten te vertalen in een waardeoordeel over de ecotoxiciteit (lees: gezondheid) van de bodem. De bacteriële bioassay Microtox en de reproductie van regenwormen waren het meest gevoelig voor de loodverontreiniging. De chronische bioassay met sla werd beïnvloed door de lage pH en deze plantensoort is wellicht minder geschikt voor het testen van dit type grond. Toch waren binnen de monsters verschillen waarneembaar die kunnen worden toegeschreven aan een effect van de verontreiniging. Ook in de bait lamina test was een trend naar toenemend effect bij hogere concentratie lood.

Uit deze beoordeling volgt dat sterke remming in de bioassays wordt gevonden bij loodconcentraties vanaf 220 mg/kg ds en dat bij toenemende loodconcentratie de effecten sterker worden en het aantal biologische parameters dat wordt beïnvloedt ook toeneemt. Samenvattend kan gesteld worden dat de bodemverontreiniging negatieve effecten veroorzaakt op bodemorganismen, waarbij het omslagpunt voor sterk negatieve effecten ligt tussen 200 en 600 mg/kg ds.

De ecotoxicologische parameter in de TRIADE scoort negatief.

Biologische bodemkwaliteit

De bodem op de Bornia locatie bestaat uit een voedselarme zure zandgrond. In deze zandgrond is een zeer arme bodemflora en fauna aanwezig, getuige de lage aantallen bacteriën, nematoden, protozoën, arthropoden. De bacteriële groeisnelheid en nitrificatie zijn zeer laag, hetgeen er op duidt dat de biologische omzettingsprocessen in de bodem zeer traag verlopen. Het is niet eenvoudig een algemeen oordeel te geven over de biologische kwaliteit van de bodem op de Bornia locatie.

Voedselarme en zure gronden kunnen in principe plaats bieden aan waardevolle natuurterreinen waar plant en diersoorten voorkomen die alleen gedijen op voedselarme bodems. Om hierover uitsluitel te krijgen dient een planten en dieren inventarisatie te worden gedaan op het terrein. Binnen het huidige TRIADE onderzoek is hier geen aandacht aan geschonken en is met name gekeken naar de kwaliteit van het ecosysteem in de bodem en niet naar die van het ecosysteem daarboven.

De resultaten van de TRIADE zijn vergeleken tussen de verontreinigde monsters en een locatie-specifieke referentie met lage concentraties verontreiniging. De meeste parameters die zijn gerelateerd aan bodemmicrobiologie laten zeer lage activiteiten zien die niet lijken te zijn beïnvloed door de zware metalen verontreiniging. De specifieke groeisnelheid van de bodembacteriën neemt wel af met toenemende verontreinigingsgraad waardoor de biologische mineralisatie van organisch afval in de bodem vertraagd kan worden. Ook de aantallen bacterie-etende nematoden zijn juist in deze monsters verlaagd, hetgeen eveneens duidt op een verminderde actieve bacteriepopulatie. De aantallen nematoden en de MI nematoden reageren gevoelig op de verontreiniging en laten effecten zien bij loodconcentraties vanaf 220 mg/kg ds. Ook zijn binnen de bodemmicroarthropoden samenstelling aanwijzingen gevonden voor verstoringen van de bodempopulaties door de aanwezige loodverontreiniging. Deze verstoringen zijn eerder gevonden in verontreinigde bodems en kunnen goed verklaard worden aan de hand van de gemeten gehalten aan lood en organisch stof. De veldinventarisatie parameter in de TRIADE scoort negatief.

Locatie specifieke TRIADE beoordeling van de Bornia locatie (zie figuur 1)

De BodemKwaliteitsIndex voor de locatie Bornia is 39% in de matig verontreinigde bodem en 23% in de sterk verontreinigde bodem wat betekent dat de biologische indicatoren in de vervuilde bodem een factor 4 verschillen van de niet-verontreinigde referentie.

Er zijn significante negatieve effecten (gemarkt met een sterretje bij de naam van de indicator in de Amoebe) bij de Microtox, sla biomassa, regenworm overleving, regenworm reproductie, specifieke DNA synthese van bacteriën. Er is een significant positief effect op de nitrificatie. Dit hangt mogelijk samen met een verhoogde bacteriële biomassa.

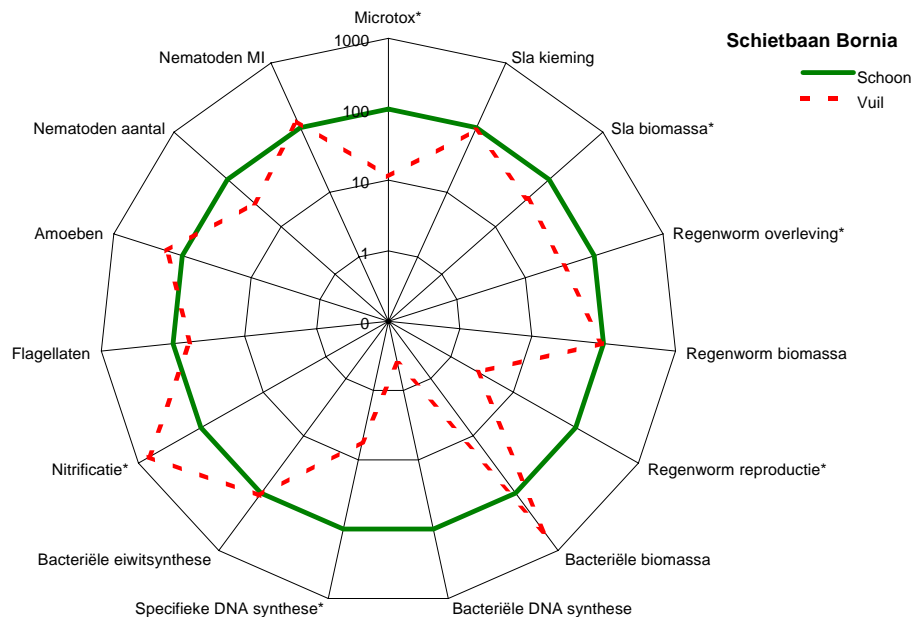


Fig. 1. Amoebe weergave van de resultaten van de Bornia locatie. Schoon is lokale referentie, vuil is sterkst verontreinigde monster.

De Bornia locatie ligt in de ecologische hoofdstructuur en de bestemming van de locatie is natuur. Om deze reden is een goede bodemkwaliteit die een gezond bodemecosysteem kan onderhouden gewenst. De huidige bodemkwaliteit lijkt niet te voldoen aan die eisen, aangezien de drie TRIADE parameters (chemie, toxicologie, veldinventarisatie) negatief scoren. Onbekend is nog in hoeverre de begroeiing boven de grond (planten, bomen) en hogere organismen zoals vogels negatieve effecten ondervinden van de verontreiniging. Indien bioaccumulatie optreedt in bijvoorbeeld wormen kan doorvergiftiging optreden naar hogere organismen. Echter, doordat de bodem voedselarm is kan het aantal bodembewonende organismen laag zijn en de flux van voedingsstoffen naar hogere lagen in het voedselweb gering. Dit dient nader onderzocht te worden. De verontreiniging is biologisch niet afbreekbaar en het lijkt niet waarschijnlijk dat de bodemkwaliteit van nature zal verbeteren binnen afzienbare termijn. Ingrijpen (saneren) lijkt daarom in eerste instantie de beste oplossing om de gesignaleerde negatieve effecten te overkomen.

Als saneringsoptie vallen biologische technieken af omdat lood niet in-situ biologisch kan worden verwijderd.

Technisch gezien is ontgraven van de toplaag en verwijdering van de verontreinigde laag waarin negatieve effecten zijn waargenomen het meest geschikte saneringsalternatief. Hiermee wordt echter ook de laag met organisch stof verwijderd, waardoor een humusarm zandpakket aan de oppervlakte komt. Als ook de bomen worden verwijderd kan een zandvlakte/verstuiving ontstaan. Indien dit past binnen de geplande natuurontwikkeling, kan dit een geschikt saneringsalternatief vormen. Anders is het noodzakelijk te onderzoeken wat het effect zal zijn van het verwijderen van de organische laag en daarin aanwezige zaadbank op het ontwikkelen van nieuwe natuur op deze locatie. Een andere optie is het inmengen van immobilisatoren waarmee de biologische beschikbaarheid van het lood sterk wordt beperkt.

De TRIADE beoordeling heeft duidelijk gemaakt dat de huidige verontreinigingssituatie ongewenste effecten veroorzaakt en daarom beter gesaneerd kan worden. Nu dient een afweging gemaakt te worden tussen enerzijds de positieve en negatieve effecten van saneren en anderzijds de positieve en negatieve effecten van niet ingrijpen. Hiervoor dient aanvullend onderzoek te worden uitgevoerd.

4.2 Beoordeling EPON locatie

De resultaten van de TRIADE benadering staan schematisch weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. Samenvatting resultaten EPON locatie.

parameter	monster						
	Pb205	HB7	Pb217	SB3.1	Pb203	Pb24	Pb207
Milieuchemie							
Minerale olie (mg/kg ds)	<25	79	160	440	1800	3000	6800
Oliekarakterisatie							
Minerale olie (mg/kg ds)					3200	4300	10300
Ecotoxicologie							
Microtox	l.r.				+	+	+
Sla kieming	l.r.			++	++	++	++
Sla biomassa	l.r.				++	++	++
Regenworm overleving	l.r.						++
Regenworm biomassa	l.r.						++
Regenworm reproductie	l.r.				++	++	++
Bait lamina	l.r.	+	+	++	++	++	++
Microcosmosproef	l.r.						
Veldinventarisaties							
Nematoden MI	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb
Nematoden aantallen	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb

-	blauw- positief effect
	groen geen negatief effect/lager dan T-waarde
+	lila+matig negatief effect/overschrijding T-waarde
++	rood ++sterk negatief effect/overschrijding I-waarde
l.r.	locale referentie
n.b.	niet bepaald

Milieuchemische bodemkwaliteit

De interventiewaarde voor minerale olie wordt op 3 monsterpunten overschreden. Op basis van de hoogtes van de aangetroffen oliegehaltes kan worden verondersteld dat de olie grotendeels biologisch beschikbaar is. De verwachting is dat na een dergelijke sanering een restfractie overblijft die niet goed biologisch beschikbaar is doordat deze fractie bijvoorbeeld sterk gebonden is aan de bodemmatrix. Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat olieconcentraties tot 6,000 mg/kg ds niet biologisch beschikbaar zijn, uitgaande van een beginconcentratie rond 15,000-20,000 mg/kg ds. De biorestauratie bij EPON heeft zich met name gericht op de ophooglaag, terwijl de genomen monsters alle afkomstig zijn van de hieronder gelegen tussenzandlaag en dus géén rest-

fractie betreffen. Dit is ook de reden dat plaatselijk dergelijke sterk verhoogde gehalten aan olie worden gevonden met nog veel kleine fracties.

Ook uit het chromatogram blijkt dat deze hoge concentraties niet alleen bestaan uit de hogere fractie minerale olie maar dat ook lagere, beter wateroplosbare en waarschijnlijk biologisch afbreekbare, componenten aanwezig zijn. Ook uit de oliekaracterisatie blijkt dat de olie goed oplosbaar is in water en dat de oplosbare fractie over het algemeen theoretisch goed biologisch afbreekbaar is onder aërobe condities.

De olie is waarschijnlijk afkomstig van een drijfslaag die als gevolg van extreem fluctuerende waterstanden over een bodempakket is uitgesmeerd. De concentraties worden op de overgang van de gesaneerde ophooglaag met de tussenzandlagen aangetroffen.

De chemische parameter in de TRIADE scoort negatief.

Ecotoxicologische bodemkwaliteit

De niet-verontreinigde bodem van de EPON locatie is gezond en geeft in de meeste bioassays vergelijkbare resultaten als de OECD-kunstgrond (een standaardmedium). Zo groeien sla en wormen net zo goed in de EPON grond als in OECD kunstgrond. De aanwezigheid van verontreiniging heeft een duidelijke negatieve invloed op deze bodemkwaliteit. De bodem geeft in de meeste bioassays een eenduidig beeld waarbij duidelijke negatieve effecten van de minerale olie worden gevonden bij hogere concentraties. Al bij concentraties van 440 mg/kg ds worden sterk negatieve effecten gemeten, en vanaf 1800 mg/kg ds wordt in de meeste bioassays sterke remming gemeten. Het is uit deze toxicologische beoordeling duidelijk dat de minerale oliefractie in de bodem toxisch is voor de onderzochte modelorganismen en dus tevens biologisch beschikbaar is. Het feit dat de Microtox bioassay deze resultaten bevestigt geeft aan dat de verontreiniging ook wateroplosbaar is en daarmee in principe beschikbaar voor bacteriën en biologische sanering.

De bodemkwaliteit op de EPON locatie zoals gemeten in de microcosmosproef daarentegen lijkt niet te worden beïnvloed door de aanwezige olieverontreiniging. Herkolonisatie van de grond na beënting met een standaard ecosysteem leidt weliswaar niet tot de ontwikkeling van een bodemecosysteem maar dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat de grond van grotere diepte kwam en niet door de aanwezige verontreiniging. Deze resultaten wijken derhalve sterk af van de overige bioassay resultaten. De ecotoxicologische parameter in de TRIADE scoort negatief.

Biologische bodemkwaliteit

De verontreiniging op de EPON locatie zit vrij diep, enkele meters beneden maaiveld. Hoewel weinig literatuurgegevens voorhanden zijn, wordt door de onderzoekers geen goed ontwikkeld ecosysteem verwacht op die diepte. Dit betekent dat monitoring van biologische populaties op die diepte en het bepalen van eventuele effecten van de verontreiniging op die populaties als weinig zinvol werd beschouwd. Toch zijn monsters geanalyseerd op het voorkomen van nematoden, om inzicht te krijgen in het voorkomen van deze organismen op die diepte.

Inderdaad zijn de aantallen nematoden te laag om uitspraken te doen over populatieopbouw, maar het feit dat organismen zijn gevonden duidt op de aanwezigheid van een ecosysteem op die diepte. Mogelijk is ten gevolge van beluchting zuurstof beschikbaar en leven de nematoden van de bacteriepopulatie die de olie afbreekt.

Er zijn te weinig referentiedata om deze gedachte te onderbouwen, maar duidelijk is wel dat de MI nematoden op deze diepte niet geschikt is als TRIADE parameter. De veldinventarisatie parameter in de TRIADE is op deze locatie niet bepaald.

Locatie specifieke TRIADE beoordeling van de EPON locatie (zie figuur 2)

De BKI in de matig verontreinigde grond is 21% en in de zwaarst verontreinigde grond 5% en verschilt daarmee een factor 20 van de referentie. Significante negatieve effecten zijn gevonden voor sla kieming, sla biomassa, regenworm overleving, regenworm biomassa, regenworm reproductie en specifieke DNA synthese van bacteriën. Significante positieve effecten op bacteriële biomassa, bacteriële eiwitsynthese, N mineralisatie, amoeben en nematoden.

De verontreiniging in de bodem van de EPON locatie is biologisch beschikbaar en geeft bij blootstelling negatieve effecten op diverse bodemorganismen in bioassays. De meeste van deze organismen komen echter niet of nauwelijks voor op de diepte waar de verontreiniging zit.

Daarom is in een multispecies bioassay (microcosmosproef) onderzocht of de grond wel geschikt is voor herkolonisatie. In deze test, die voornamelijk is gericht op het lagere (microbiële) bodemleven, werden geen negatieve effecten gemeten. Dit kan betekenen dat de testorganismen in deze test minder gevoelig reageren op bodemverontreinigingen maar er kan ook biodegradatie zijn opgetreden gedurende de langere incubatietijd. Gezien het feit dat de verontreiniging biologisch beschikbaar is, betekent dat ze ook biologisch afbreekbaar moet zijn in een biologische sanering. De olie is waarschijnlijk afkomstig van een drijf laag die als gevolg van extreem fluctuerende waterstanden over een bodempakket is uitgesmeerd. De concentraties worden op de overgang van de gesaneerde ophooglaag met de tussenzandlagen aangetroffen. De toxische effecten zijn derhalve niet afkomstig van een restfractie na biologische sanering maar geven wel aan dat de bodem op deze diepte geen acceptabele kwaliteit bezit in vergelijking tot een contactzone.

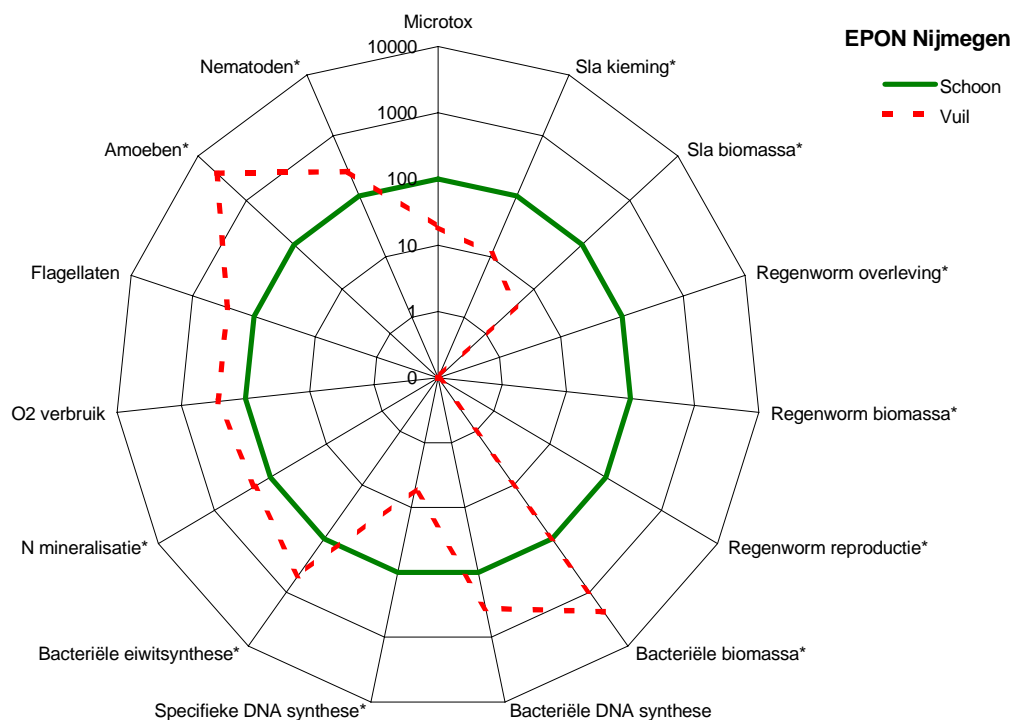


Fig. 2. Amoebe weergave van de resultaten van de EPON locatie. Schoon is lokale referentie, vuil is sterkst verontreinigde monster.

Eerder onderzoek in de Petroleumhaven Amsterdam heeft geleerd dat een restfractie minerale olie (+- 1000 mg/kg ds) na biologische sanering (in kolomproeven) inderdaad geen of geringe toxische effecten heeft in bioassays. In deze proeven werd echter een goede biologische afbraak van de lichte oliefractie verkregen, waardoor de restfractie bestond uit minder goed biologisch beschikbare componenten [1].

Op de EPON locatie is het aannemelijk dat in de onderzochte, met olie verontreinigde, bodemlaag nog geen biologische sanering plaatsgevonden, zodat nog geen uitsluitsel kan worden gegeven over de eventuele toxische effecten van een restfractie na sanering. Er kunnen derhalve nog geen uitspraken worden gedaan over de toxicologische effecten van een eventuele biologische restfractie na biologische sanering op deze locatie.

4.3 Beoordeling Petroleumhaven locatie

De resultaten van de TRIADE benadering staan schematisch weergegeven in onderstaande tabel 5.

Tabel 5. Samenvatting resultaten Petroleumhaven locatie.

parameter	monster							
	T11	T12	T2	T5	T10	T7	T8	
Milieuchemie								
Minerale olie (mg/kg ds)	< 25	68	171	284	500	707	1203	
Oliekarakterisatie								
Minerale olie (mg/kg ds)					3700	1000	1800	
Lood (mg/kg ds)	47	121	80	44	57	263	49	
Zink (mg/kg ds)	86	363	110	84	172	345	92	
Ecotoxicologie								
Microtox	l.r.				+			
Sla kieming	l.r.		++	++	++	++	++	
Sla biomassa	l.r.	+	+	++	++	NB	NB	
Regenworm overleving	l.r.							
Regenworm biomassa	l.r.							
Regenworm reproductie	l.r.						++	
Bait lamina	l.r.						++	
Veldinventarisaties								
Nematoden MI		- ¹⁾	-	-	-	-	-	
Nematoden aantallen			+	+		+	+	

-	blauw- positief effect
	groen geen negatief effect/lager dan T-waarde
+	lila+matig negatief effect/overschrijding T-waarde
++	rood ++sterk negatief effect/overschrijding I-waarde
l.r.	locale referentie
n.b.	niet bepaald
1)	MI niet betrouwbaar vanwege lage aantallen nematoden

Milieuchemische bodemkwaliteit

De verontreinigingsgraad is laag ten opzichte van eerdere monitoringsrondes [1]. De concentratie minerale olie in monsters uit de pilot in-situ biorestauratie (T2, T5) geven lage concentraties, hetgeen kan wijzen op een goede biologische afbraak. Deze concentraties zijn lager dan die welke eerder in de pilot zijn gemeten. Ook de concentraties minerale olie buiten de pilot zijn beduidend lager dan tijdens eerdere metingen. De concentraties olie zoals bepaald middels de olie karakterisatie liggen hoger dan de NEN olie bepaling en de olie is op basis van deze karakterisatie matig (30%) biologische afbraakbaar. De olie bevat weinig tot geen vluchtige of goed oplosbare componenten. De milieuchemische parameter in de TRIADE scoort neutraal.

Ecotoxicologische bodemkwaliteit

De niet-verontreinigde bodem van de Petroleumhaven locatie is gezond en geeft in de meeste bioassays vergelijkbare resultaten als de OECD-kunstgrond (een standaardmedium). Zo is de kieming van sla net zo goed als in OECD kunstgrond en groeien wormen zelfs beter in Petroleumhaven grond dan in OECD kunstgrond. De geteste bioassays reageren zeer verschillend op de aanwezigheid van verontreiniging. De Microtox bioassay en de bait lamina test reageren niet of nauwelijks op de aanwezige olie verontreiniging. De slatoets daarentegen reageert zeer gevoelig en geeft al bij lage concentraties olie (100-300 mg/kg ds) sterk negatieve effecten te zien. De resultaten van de regenwormtest geven aanwijzingen dat, hoewel niet significant, de reproductie vanaf 500 mg olie/kg lijkt te worden beïnvloed. Er kan geconcludeerd worden dat de aanwezige verontreiniging geen negatieve effecten heeft op bodemorganismen maar wel op planten.

De ecotoxicologische parameter in de TRIADE scoort neutraal.

Biologische bodemkwaliteit

De enige veldparameter die is gemeten betreft de nematodenanalyse, en deze geeft voor de meeste monsters zeer lage aantallen. Door deze lage aantallen is het niet mogelijk om de MI nauwkeurig vast te stellen. De aantallen nematoden lijken niet te correleren met de olieverontreiniging.

De monsterpunten 1 t/m 6 zijn afkomstig van een pilot in-situ bioventing waar tengevolge van biologische activiteit verhoogde aantallen bacterie-etende nematoden konden worden verwacht. Dit blijkt niet het geval, waarschijnlijk waren de nematoden aantallen niet verhoogd of waren reeds afgenomen doordat de pilot reeds enige tijd (maanden) was beëindigd.

Monsterpunten 7 t/m 9 zijn afkomstig van plaatsen op het terrein die niet begroeid zijn en waar regelmatig overslag van grond plaatsvindt. Blijkbaar belemmert dit een ontwikkeling van de nematodenpopulaties.

Monsterpunten 10 t/m 12 zijn afkomstig van uithoeken van het terrein waar spontane begroeiing is ontstaan en van een monster onder een bloemperk. Deze monsterpunten kennen waarschijnlijk minder fysieke verstoring en hebben plantenbegroeiing wat de hogere aantallen nematoden in het algemeen en de aantallen plantenparasieten in het bijzonder kan verklaren. Deze effecten zijn allen sterker dan een eventueel effect van de olieverontreiniging.

De biologische parameter in de TRIADE scoort neutraal.

Locatie specifieke TRIADE beoordeling van de Petroleumhaven locatie (zie figuur 3)

De BKL van het matig verontreinigde monster is 53%, van het sterk verontreinigde monster is 7%.

Significante negatieve effecten zijn gevonden met sla kieming en sla biomassa, er zijn geen significant positieve effecten gevonden.

De concentraties olie op de locatie zijn relatief laag hetgeen deels wordt veroorzaakt doordat enkele monsters van een afgeronde pilotsanering afkomstig waren. Deze olie bestaat uit een relatief zware fractie en deze is conform de oliekarakterisatie slecht wateroplosbaar en slecht biologisch afbreekbaar. De olie is waarschijnlijk sterk verweerd en het gaat om een restfractie van langdurige verwerking in de grond of door de sanering.

Deze fractie geeft in de meeste bioassays weinig effect, alleen de bioassay met sla reageert sterk op de verontreinigde grond. De resultaten van de regenwormtest geven aanwijzingen dat, hoewel niet significant, de reproductie vanaf 500 mg olie/kg lijkt te worden beïnvloed. In een eerder onderzoek met grond van deze locatie werden sterk negatieve effecten aangetoond bij olieconcentraties hoger dan 1000-1500 mg/kg. Dit betekent dat biologische sanering van olie-

verontreinigde grond inderdaad leidt tot afname van olieconcentraties en dat daarmee ook de toxische effecten van de grond worden weggenomen.

Het monster met de hoogste concentratie in dit onderzoek was niet afkomstig van de pilot en is dus niet gesaneerd, deze olie kan lagere oliefracties bevatten die beter biologisch beschikbaar zijn en daardoor meer toxisch zijn dan een restfractie na biologische sanering.

Aangezien alle monsters uit de pilot lage concentraties olie bevatten kan niet worden getoetst dat een restfractie na biologische sanering inderdaad minder toxisch is dan een vergelijkbare olieconcentratie voorafgaande aan sanering. Duidelijk is dat op de locatie Petroleumhaven weinig toxische effecten zijn gemeten en na afloop van de pilotsanering lage olieconcentraties en geen toxische effecten zijn gemeten.

Dit ondersteunt de saneringsaanpak die is gekozen voor deze locatie. De bodemecologie is maar zeer beperkt bepaald op deze locatie maar duidelijk is wel dat de nematodenanalyse meer wordt beïnvloed door fysieke verstoring van de toplaag (vergraving, transport, beplanting) dan door de olieverontreiniging.

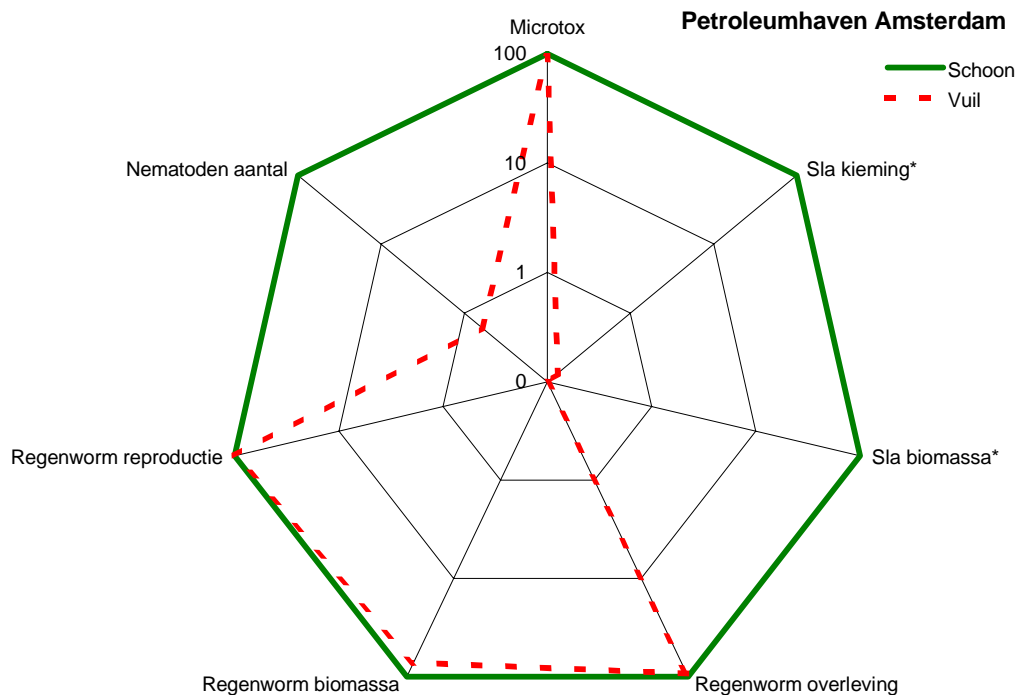


Fig. 3. Amoebe weergave van de locatie Petroleumhaven. Schoon is lokale referentie, vuil is sterkst verontreinigde monster.

4.4 Beoordeling NAM Schoonebeek locatie

De resultaten van de TRIADE benadering staan schematisch weergegeven in tabel 6.

Tabel 6. Samenvatting resultaten NAM Schoonebeek locatie.

parameter	monster						
	039	006	037	010	B1	016	013
Milieuchemie							
Minerale olie (mg/kg ds)	< 25	1600	2700	3600	5500	9900	14000 ³⁾
Oliekarakterisatie							
Minerale olie (mg/kg ds)					7900	17300	88800
Ecotoxicologie							
Microtox	l.r.	1)					
Sla kieming	l.r.	2) +	+	+	+	+	+
Sla biomassa	l.r.	2) +	+	+	+	NB	NB
Regenworm overleving	l.r.	2)					
Regenworm biomassa	l.r.	2)					
Regenworm reproductie	l.r.	2)					
Bait lamina	l.r.	2)					
Veldinventarisaties							
Bacteriële biomassa	l.r.			-			-
Bacteriële groeisnelheid	l.r.						
Specifieke groeisnelheid	l.r.						
Nitrificatie	l.r.						
Protozoën	n.b.			n.b.			n.b.
Microarthropoden	l.r.						
Nematoden MI		-	-	-	-	-	-
Nematoden aantallen		-	-	-	-	-	-

-	blauw- positief effect
groen	geen negatief effect/lager dan T-waarde
+	lila+matig negatief effect/overschrijding T-waarde
++	rood ++sterk negatief effect/overschrijding I-waarde

l.r. lokale referentie

n.b. niet bepaald

1) Alle monsters inclusief de lokale referentie gaven een negatief effect

2) De pH is te laag om testresultaat te kunnen beoordelen, gegeven beoordeling is indicatief

3) Gezien het hoge organisch stof gehalte ligt de interventiewaarde op 15000 mg/kg ds

Milieuchemische bodemkwaliteit

De minerale olie concentraties in grondmonsters van de NAM Schoonebeek locatie zijn erg hoog: tot 14000 mg/kg ds in de NEN analyse. Het bodemmateriaal bestaat uit veen en de olie is als een zwarte kleuring zichtbaar. Gezien het hoge organisch stofgehalte is geen van de monsters verontreinigd boven de interventiewaarde (15000 mg/kg ds) maar wordt de tussenwaarde wel overschreden.

De olie karakterisatie geeft veel hogere olieconcentraties te zien, waarschijnlijk doordat in deze analyse geen florisyl clean up wordt uitgevoerd en humusachtige verbindingen meegerekend worden in de oliekwantificering. De olie bestaat uit zwaardere fracties en is matig tot niet oplosbaar en nauwelijks biologisch afbreekbaar. De milieuchemische parameter in de TRIADE scoort neutraal.

Ecotoxicologische bodemkwaliteit

Geen van de toegepaste bioassays lijkt geschikt voor het beoordelen van grond van de NAM Schoonebeek locatie. De Microtox bioassay scoort negatief in alle monsters inclusief de referentie en reageert daarmee op andere parameters dan de olie verontreiniging. Ook de slatest en de regenworm test voldoen niet, waarschijnlijk is de zuurgraad van de grond te laag voor normaal

functioneren van sla en wormen. Wel lijkt er in de slatest een additioneel effect van olieverontreiniging. De bait lamina test tenslotte is niet onafhankelijk van de regenwormtoets maar gezien de extreem lage activiteit is waarschijnlijk ook de activiteit van de overige bodemfauna geremd door de lage pH. Hoewel veel bioassays niet kunnen worden gescoord door overschrijding van randvoorwaarden zijn er geen aanwijzingen gevonden dat de olieverontreiniging negatieve effecten heeft op de bodembioologie. De ecotoxicologische parameter in de TRIADE scoort op de NAM Schoonebeek locatie neutraal.

Biologische bodemkwaliteit

De microbiologische parameters die zijn gemeten in de veldwaarnemingen lijken niet of nauwelijks te zijn beïnvloed door de aanwezige verontreiniging. De bacterieaantallen nemen toe bij hogere verontreinigingsgraad maar dit effect kan ook zijn veroorzaakt door het hogere organisch stof gehalte in deze monsters. De nitrificatie was in alle monsters laag wat kan samenhangen met de lage zuurgraad van de grond. Ook de bodemmicroarthropoden samenstelling gaf geen duidelijke aanwijzingen dat er effecten optreden van de verontreiniging. De meest afwijkende resultaten werden gevonden in de lokale referentie wat er op duidt dat eventuele effecten niet worden veroorzaakt door de verontreiniging. Dit monster was op het oog niet verschillend van de overige monsters wat betreft bodemtype en begroeiing. Bij de nematodenanalyse was dit beeld omgekeerd en weken alle monsters in negatieve zin af van de lokale referentie en waren aantallen nematoden hoger.

De veldinventarisatie parameter in de TRIADE scoort neutraal tot positief.

Locatie specifieke TRIADE beoordeling van de NAM Schoonebeek locatie (zie figuur 4)

De BKI in de matig verontreinigde grond is 10% en in de meest verontreinigde grond 11% en verschilt daarmee gemiddeld een factor 10 van de referentie. Significante negatieve effecten zijn gevonden met specifieke DNA synthese bacteriën en nitrificatie, significante positieve effecten zijn gevonden op bacteriële biomassa.

Er is een groot verschil met de referentie maar niet alle effecten zijn negatief. De oorzaak van het verschil hoeft niet alleen de olieverontreiniging te zijn omdat de BKI van matig en sterk verontreinigd gelijk was. Het verschil met de referentie kan ook zijn veroorzaakt doordat de verontreinigde grond een lagere pH (2.8 versus 3.5) en een hoger organische stofgehalte (60-80% versus 20%) had dan de referentie.

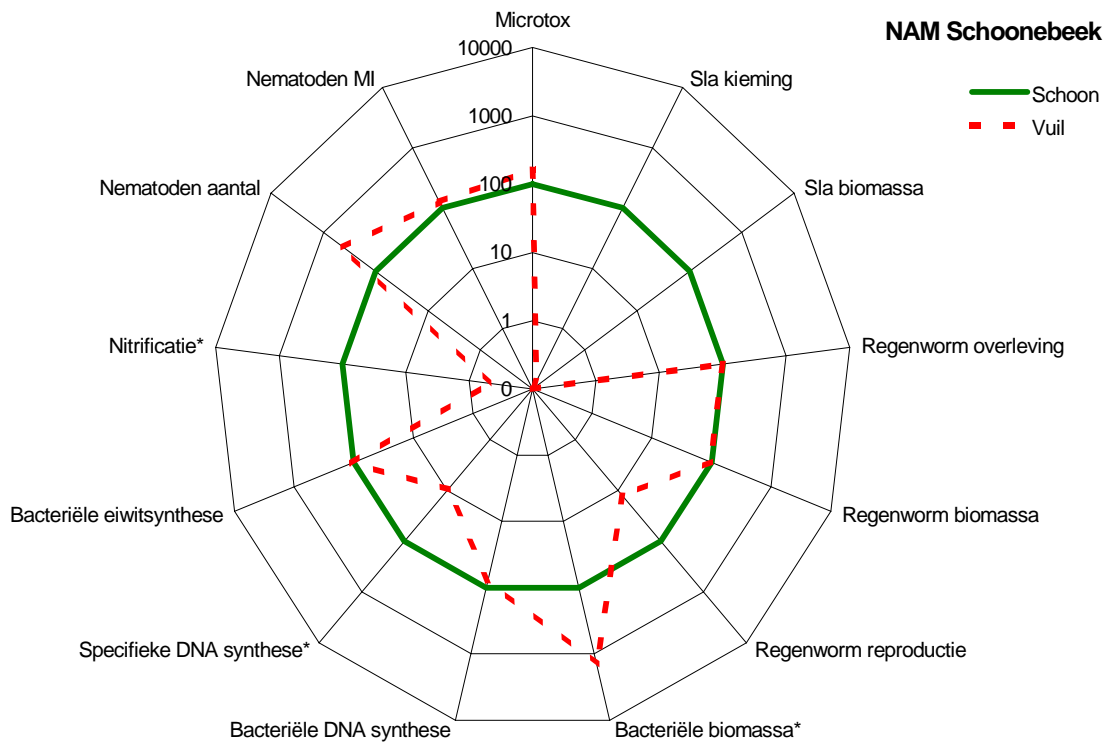
De verontreiniging op de locatie is oud en lijkt voor een groot deel te zijn geabsorbeerd aan het veen. De olie bestaat grotendeels uit een zware en vertakte fractie alkanen die slecht wateroplosbaar en slecht biologisch afbreekbaar zijn. Door het extreem hoge organisch stofgehalte wordt de interventiewaarde niet overschreden.

In bioassays is geen duidelijke aanwijzing te vinden dat de olie negatieve effecten veroorzaakt, maar dit kan niet met zekerheid worden gesteld omdat de meeste bioassays slecht functioneren in de zure veengrond. Een beter alternatief voor deze locatie is testen met locatie relevante organismen zoals planten en wormen die van nature voorkomen in deze zure gronden. Deze testen zijn echter niet voorhanden.

Bij de inventarisatie van veldparameters zijn, uitgezonderd de nematoden analyse, in de verontreinigde monsters geen negatieve effecten meetbaar ten opzichte van de locatiespecifieke referentie.

Ook bij het bezichtigen van de locatie waren op het oog geen duidelijke verschillen waarneembaar tussen de verontreinigde stukken en de niet-verontreinigde stukken: er stond een bos van gelijke samenstelling, dichtheid en onderbegroeiing. De bodembioologie is waarschijnlijk deels geïmagineerd aan de olie verontreiniging omdat bijvoorbeeld de nematoden populaties vergroot

zijn en wellicht prederen op olieafbrekende bacteriën. De olie is waarschijnlijk grotendeels geabsorbeerd aan het veen en de biologisch beschikbare fractie die voor eventuele negatieve effecten kan zorgen is in de tijd reeds verweerd en afgebroken. De restfractie die nu nog aanwezig is



veroorzaakt geen duidelijke negatieve effecten en maakt sanering op basis van ecologische gronden niet noodzakelijk.

Fig. 4. Amoebe weergave van de NAM Schoonebeek locatie. Schoon is lokale referentie, vuil is sterkst verontreinigde monster.

4.5 Beoordeling Spekholzerheide rangeerterrein

De resultaten van de TRIADE benadering staan schematisch weergegeven in tabel 7.

Tabel 7. Samenvatting resultaten Spekholzerheide locatie.

parameter	monster						
	T9v2	T8v4	T8v6	T8v5	T8v2	T7v4	T9v3
Milieuchemie							
PAK (mg/kg ds)	2,2	3,9	13	27	33	73	260
EOX (mg/kg ds)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,82	<0,3	21	< 0,3
Arseen (mg/kg ds)	6,2	110	20	57	3	71	18
Koper (mg/kg ds)	13	140	60	180	13	560	72
Kwik (mg/kg ds)	0,07	0,12	0,09	2,1	<0,03	16	0,33
Lood (mg/kg ds)	71	510	220	1100	28	830	190
Nikkel (mg/kg ds)	15	69	26	69	12	100	32
Zink (mg/kg ds)	75	7400	490	100	100	1300	340
Ecotoxicologie							
Microtox	l.r.				n.b.		
Sla kieming	l.r.				n.b.		
Sla biomassa	l.r.	+		++	n.b.	++	++
Regenworm overleving	l.r.				n.b.		
Regenworm biomassa	l.r.				n.b.		
Regenworm reproductie	l.r.			++	n.b.		
Bait lamina	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Veldinventarisaties							
Bacteriële biomassa	l.r.					+	
Bacteriële groeisnelheid	l.r.					+	
Specifieke groeisnelheid	l.r.						
Nitrificatie	l.r.					+	
Microarthropoden	l.r.		?			?	
Nematoden MI		+		+	+	++	+
Nematoden aantallen						++	

-	blauw- positief effect
	groen geen negatief effect/lager dan T-waarde
+	lila+matig negatief effect/overschrijding T-waarde
++	rood ++sterk negatief effect/overschrijding I-waarde
l.r.	locale referentie
n.b.	niet bepaald
21	er bestaat geen interventiewaarde voor EOX maar deze concentratie ligt ver boven de streefwaarde

Milieuchemische bodemkwaliteit

In de bodem van het rangeerterrein Spekholzerheide is een groot aantal verontreinigingen aanwezig, vaak in concentraties boven de interventiewaarde. De verontreiniging is niet homogeen verdeeld over de locatie en vaak wordt een cocktail aan zware metalen, PAK en/of EOX gevonden. De milieuchemische parameter in de TRIADE scoort negatief.

Ecotoxicologische bodemkwaliteit

De bioassays geven over het algemeen een zeer lage respons op de aanwezige verontreiniging. Alleen de parameter sla biomassa lijkt soms te reageren op de aanwezigheid van met name zware metalen maar de Microtox toets en regenworm toets reageren niet of nauwelijks. Dit betekent dat de aanwezige verontreinigingen op het rangeerterrein Spekholzerheide over het algemeen niet toxisch zijn voor bodemorganismen. De ecotoxicologische parameter in de TRIADE positief tot neutraal.

Biologische bodemkwaliteit

De locale referentie bleek een zeer verschillend bodemtype te bevatten dan de andere monsters en is daarom niet meegenomen in de beoordeling. Binnen de twee geanalyseerde vervuilde

monsters lijken effecten meetbaar van de verontreiniging, alle gemeten microbiologische parameters zijn lager in het meest vervuilde monster. Deze waarden liggen echter hoger dan in de bedoelde lokale referentie, zodat op deze locatie eventuele effecten van de verontreiniging minder sterk zijn dan effecten van bodemtype.

Ook bij de bodemmicroarthropoden zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de verontreinigingen effect hebben. Het meest verontreinigde monster lijkt te zijn beïnvloed door zware metalen, hetgeen inderdaad de dominante verontreiniging is, maar bevat wel hogere aantallen organismen. De nematodenaantallen en MI zijn in enkele monsters beïnvloed en scoren alleen in het meest verontreinigde monster sterk negatief.

De veldinventarisatie parameter in de TRIADE scoort neutraal tot negatief.

Locatie specifieke TRIADE beoordeling van het Spekholzerheide rangeerterrein

(zie figuur 5)

Het niet-verontreinigde referentiemonster (pH 3.9, organische stof 3.1%) verschilde teveel van de matig (T8v6) en sterk verontreinigde monsters (T7v4, pH 6.1, organische stof 15%), daarom is het matig verontreinigde monster als referentie gebruikt. De BKI van het sterk verontreinigde monster was 43% en verschilt een factor 2.3 van het matig verontreinigde monster. Significante negatieve effecten zijn gevonden op biomassa sla, bacteriële biomassa, bacteriële DNA synthese, bacteriële eiwitsynthese, nitrificatie, er zijn geen significante positieve effecten gevonden.

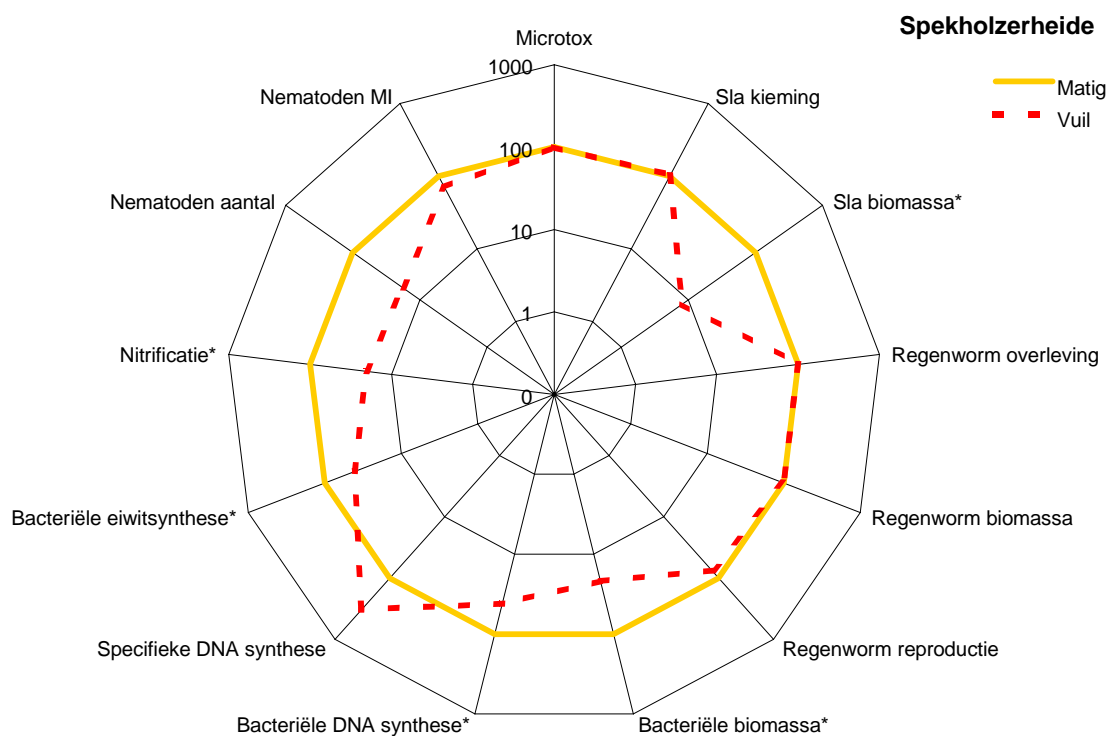


Fig. 5. Amoebe weergave van de locatie Spekholzerheide. Schoon is lokale referentie, vuil is sterkst verontreinigde monster.

De verontreiniging op de locatie is zeer diffuus en is waarschijnlijk in de loop van de laatste 100 jaar door overslag van kolen (PAK) en door de spoorweginfrastructuur (zware metalen) in de bodem gekomen. De meeste monsters zijn in een toplaag genomen die in de loop van de tijd door begroeiing is aangereikt met organisch materiaal. Ook inspoeling van minerale en organische bestanddelen kan een rol hebben gespeeld bij de bodemvorming bovenop de het steenbeslag van de oude railbedden. Het rangeerterrein is uitgegraven uit een heuvel en wordt omsloten door steilwanden wat inspoeling bevordert. Boven op deze nieuwe bodem heeft zich een spontane vegetatie ontwikkeld.

De lokale referentie ligt vlak bij de steilwand en is relatief rijk aan zand en organisch materiaal. De meeste verontreinigde monsters zijn genomen op de oude railbedden waar de bodemlaag maximaal 0,5 meter dik is. Het meest vervuilde monster (T7v4) bevindt zich dicht bij de moestuinen van de woningen naast het rangeerterrein in een stukje weiland dat wordt begraaasd.

Juist op deze locatie was de organische bodemlaag zeer dun en bevond de het steenbeslag zich op 5 cm beneden maaiveld.

Waarschijnlijk is hierdoor in het onderzoek onbedoeld een effect meegenomen van een schone laag boven op een vervuilde ondergrond. Blijkbaar heeft de natuurlijke ontwikkeling van de locatie geleid tot de vorming van een toplaag die niet tot matig is verontreinigd en waar geen toxische effecten of veranderingen in veldpopulaties optreden. Alleen in het sterk verontreinigde monster zijn duidelijke effecten meetbaar. Het is niet duidelijk of de ondergrond hier zo sterk is verontreinigd dat zich geen spontane vegetatie heeft ontwikkeld, of dat andere factoren (minder inspoeling, actieve inrichting en beheer als weiland) hebben geleid tot de huidige ontwikkeling. Duidelijk is wel dat op het enige monsterpunt dat wordt gebruikt door de lokale bewoners sterke negatieve effecten zijn gemeten, dit gebruik vraagt nadere aandacht. De rest van de locatie laat geen effecten zien die ingrepen op basis van ecologische gronden noodzakelijk maken. Overigens kan het zijn dat de stenige ondergrond de inrichtingsmogelijkheden van de locatie sterk beperken. Saneringsmogelijkheden op de locatie zijn beperkt, de PAK is waarschijnlijk zeer slecht biologisch afbreekbaar door de granulaire vorm (kool) en de zware metaalverontreiniging is niet biologisch afbreekbaar. Eventueel kan toevoeging van verbindingen die een immobiliserende werking hebben op zware metalen worden overwogen, anders lijkt afgraven of het aanbrengen van een leeflaag de enige optie. In dat geval dient een afweging te worden gemaakt tussen de positieve effecten die sanering heeft op toekomstige inrichtingsmogelijkheden versus de waarde van het huidige ecosysteem en de effecten van sanering hierop.

4.6 Beoordeling Gasfabrieksterrein Oude Pekela

De eerste bemonsteringsronde op de locatie Oude Pekela leverde nauwelijks verontreinigde monsters op, slechts één monster was boven de interventiewaarde verontreinigd. Daarop is nogmaals bemonsterd op grotere diepte omdat daar naar verwachting hogere concentraties verontreiniging aanwezig was. Ook deze ronde leverde maar één verontreinigd monster. Op al deze monsters zijn nematoden analyses uitgevoerd. Voor de overige biologische analyses is besloten geen analyses uit te voeren en eerst een extra bemonstering uit te voeren. Deze derde bemonstering is begin 2000 uitgevoerd op 20-40 cm - mv en de resultaten staan hieronder weergegeven in tabel 8.

Tabel 8. Samenvatting resultaten Oude Pekela locatie.

Parameter	monster							
	O.P.6	O.P.8	O.P.7	O.P.5	O.P.2	O.P.1	O.P.4	O.P.3
Milieuchemie								
PAK (mg/kg ds)	16	1,9	42	190	400	240	170	4400
CN vrij (mg/kg ds)	<1	1,3	1,4	2,1	62	210	81	320
CN thiocynaat (mg/kg ds)	1,3	4,1	<0,5	3,1	61	190	98	380
CN complex (mg/kg ds)	1,2	1,4	1,8	6,2	1400	2700	5500	21000
Koper (mg/kg ds)	13	15	2,7	22	3,6	21	23	190
Ecotoxicologie								
Microtox	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
Sla kieming	l.r.				++			NB
Sla biomassa	l.r.	-	++	-	NB	++	++	NB
Regenworm overleving	l.r.				++	NB	++	++
Regenworm biomassa	l.r.				NB	NB	NB	NB
Regenworm reproductie	l.r.				NB	NB	NB	NB
Bait lamina	l.r.				++	NB	++	++
Microcosmosproef		l.r.					++	++
Veldinventarisaties								
Nematoden MI	1)							
Nematoden aantallen	1)							

-	blauw- positief effect
	groen geen negatief effect/lager dan T-waarde
+	lila+matig negatief effect/overschrijding T-waarde
++	rood ++sterk negatief effect/overschrijding I-waarde
l.r.	locale referentie
n.b.	niet bepaald
1)	Niet bepaald op deze monsters, resultaten van andere monsters worden besproken in de tekst

Milieuchemische bodemkwaliteit

De grond op voormalig gasfabrieksterrein Oude Pekela is sterk verontreinigd met PAK en cyaniden. Zware metalen komen nauwelijks voor en ook minerale oliecontaminatie komt niet boven de tussenwaarde. Enkele monsters zijn 100 tot 1000 * boven de interventiewaarde verontreinigd. In monsters OP1 t/m OP4 was de cyanideverontreiniging zichtbaar door blauwkleuring. De milieuchemische parameter in de TRIADE scoort negatief.

Ecotoxicologische bodemkwaliteit

De niet-verontreinigde bodem van de Oude Pekela locatie is gezond en geeft in de meeste bioassays vergelijkbare resultaten als de OECD-kunstgrond. Zo groeien wormen net zo goed in de Oude Pekela grond als in OECD kunstgrond en sla soms zelfs beter. De aanwezigheid van verhoogde concentraties PAK verontreiniging lijkt geen effecten te hebben bij concentraties tot 200 mg/kg ds. De aanwezigheid van cyanides echter geeft zeer sterke respons en zowel de sla test als de wormentest geven ernstig negatieve effecten te zien.

Met toenemend cyanidegehalte neemt ook de pH af tot lage pH-waarden. Het effect van cyanide is daarom niet te onderscheiden van een pH-effect. Vanwege het mogelijke risico van het ontstaan van blauwzuurgas is de Microtoxtest niet uitgevoerd. Het is echter duidelijk dat met name cyanides en/of de lage pH op de locatie een sterk negatieve invloed hebben op de bodemkwaliteit. Dit beeld wordt bevestigd door de resultaten van de microcosmosproef. Herkolonisatie van de verontreinigde grond tot een goed ontwikkeld bodemecosysteem is niet mogelijk en in de sterkst vervuilde monsters is geen leven meer meetbaar na afloop van de incubatieperiode. De ecotoxicologische parameter in de TRIADE scoort negatief.

Biologische bodemkwaliteit

De enige veldinventarisatie die is uitgevoerd op de locatie Oude Pekela betreft de nematoden-analyse. Deze analyses zijn alleen uitgevoerd op monsters uit de toplaag van de locatie maar deze bleek niet verontreinigd. Er is dus geen correlatie gelegd tussen verontreinigingsgraad en het voorkomen van nematoden. De aantallen zijn over het algemeen laag. De veldinventarisatie parameter in de TRIADE is op deze locatie niet bepaald.

Locatie specifieke TRIADE beoordeling van het gasfabrieksterrein Oude Pekela

(zie figuur 6)

De BKI van het matig verontreinigde monster is 4% en die van het sterk verontreinigde monster is 0% ten opzichte van de referentie. Significante negatieve effecten zijn gevonden met alle indicatoren.

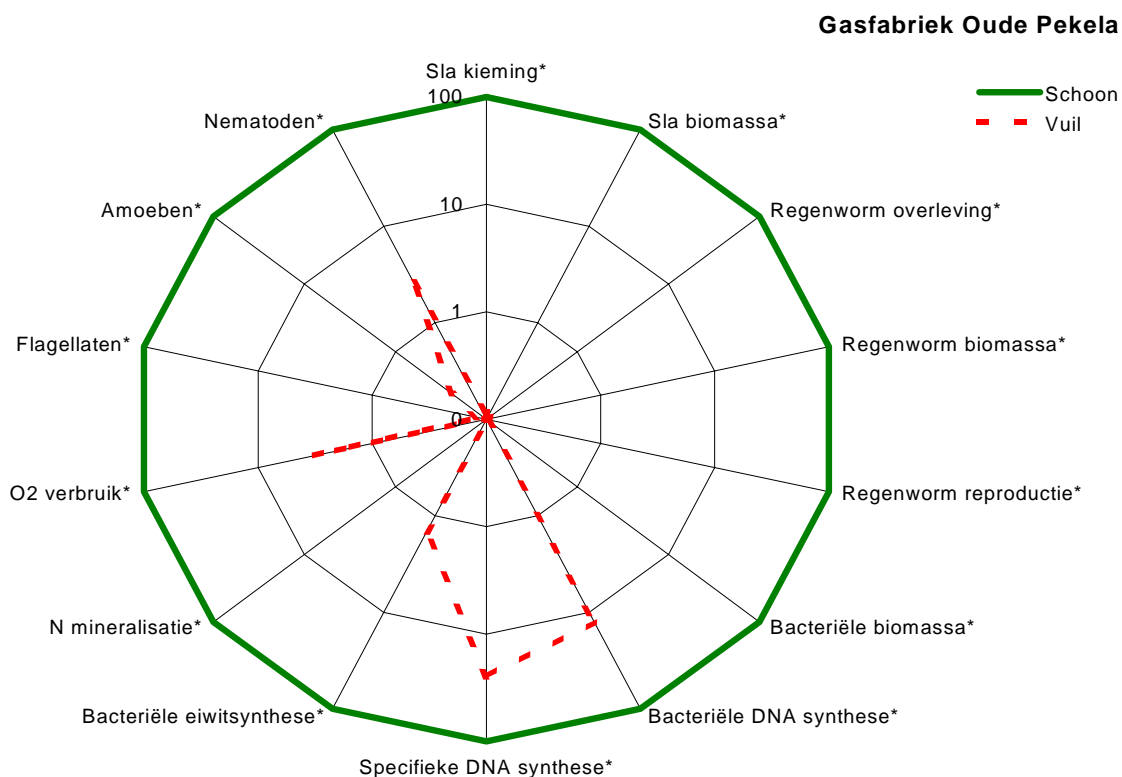


Fig. 6. Amoebe weergave van de locatie Oude Pekela. Schoon is lokale referentie, vuil is sterkst verontreinigde monster.

De verontreiniging op het gasfabrieksterrein is zeer lokaal waardoor maar liefst drie bemonsteringsronden nodig waren om een gradiënt aan verontreinigingen te verkrijgen. De toplaag is niet sterk verontreinigd maar is door sloopwerkzaamheden sterk verstoord en niet begroeid. Dit kan de lage aantallen nematoden verklaren, de locaties met hogere aantallen nematoden waren allen niet verstoord en waren begroeid. De lokale referentie bestaat uit een braakliggend stukje land op een belendend agrarisch perceel. Wellicht dat deze grond in het verleden agrarisch is bewerkt en bemest waardoor de grond net zo goed reageert in de bioassays als de OECD kunstgrond. Ook op de locatie zelf echter worden goede resultaten behaald in de bioassays als geen verontreiniging aanwezig is. Sterk negatieve effecten worden gevonden in zowel de bioassays als de microcosmosproef zodra de typische gasfabrieksverontreinigingen, cyaniden met

daarbij behorende lage pH aanwezig zijn. Deze grond is ook zeer zuur wat de negatieve effecten ook kan hebben bepaald. Duidelijk is dat deze grond sterk negatieve ecologisch effecten veroorzaakt en zonder ingrepen niet geschikt is voor gebruiksfuncties waar kans op blootstelling bestaat.

HOOFDSTUK 5

DISCUSSIE

Evaluatie TRIADE opzet

Uit het onderzoek blijkt dat de gekozen opzet goed voldoet om een ecologische risicobeoordeling uit te voeren op de onderzochte locaties. De geselecteerde bioassays hebben allen uitgegeven bruikbare informatie op te leveren over toxische effecten van de bodemverontreiniging. De veldinventarisaties hebben onafhankelijke en ondersteunende informatie opgeleverd die in de meeste gevallen tot een eenduidige interpretatie leidde over actuele ecologische effecten van de verontreiniging op de locatie.

De aparte onderdelen van de TRIADE worden hieronder besproken.

Chemie

De chemische analyses waren standaard NEN analyses en gaven geen aanleiding tot discussie. In de oliekaracterisatie werd vaak een hogere olieconcentratie gemeten, waarschijnlijk veroorzaakt door organische componenten die in de NEN door de florisyl clean up worden verwijderd. De oliekaraterisatie kan worden gebruikt om ondersteunende informatie te krijgen over biologische beschikbaarheid en eventuele toxische fracties hierin.

Bioaccumulatie is in dit project niet meegenomen maar kan extra informatie geven over doorvergiftiging en was bijvoorbeeld op de Bornia locatie (lood) een interessante aanvulling geweest.

Toxiciteit

De Microtox bioassay reageerde in de meeste gronden gevoelig op verontreinigingen. Alleen op de veengrond in Schoonebeek bleek de Microtox niet bruikbaar doordat de test in alle monsters op een niet aan verontreiniging gerelateerde factor reageerde.

De slatest reageerde redelijk gevoelig op bodemverontreinigingen op de meeste locaties, maar bleek tevens sterk gevoelig voor pH hetgeen ook beschreven is in de literatuur [8]. Op de sterk zandige grond van Bornia bleek de slatest niet geschikt ten gevolge van snelle uitdroging van het zand en op de veengrond van Schoonebeek was de zuurgraad te laag. Ook in andere monsters stoorde de lage zuurgraad vaak de interpretatie van de slatest. Voor zure gronden is deze test niet geschikt en dient een vervangende test te komen.

De regenwormtest reageerde gevoelig op de meeste locaties en was bovendien redelijk robuust in verschillende bodemtypen. De toets lijkt redelijk universeel inzetbaar. Discussie bestaat nog over het type worm dat getest dient te worden, bijvoorbeeld voorkeur voor *Lumbricus* op kleiige grond omdat dit organisme een hogere ecologische relevante heeft voor de Nederlandse bodem dan de geteste *Eisenia*.

De microcosmos bioassay bleek geschikt om de mogelijkheid voor herkolonisatie van verontreinigde grond te bepalen.

Veldinventarisaties

De microbiologische veldinventarisatie is van belang omdat de microbiologie de basis van het bodemvoedselweb vormt. De gemeten parameters reageerden vaak verschillend en meten derhalve verschillende microbiologische processen. Er zijn in het onderzoek geen duidelijke voordelen of nadelen gevonden voor een bepaalde microbiologische parameter en bij het opstellen van een locatiespecifieke TRIADE kan daarom een keuze gemaakt worden die aansluit bij de lokale vraagstelling.

De microarthropoden analyse lijkt een geschikte analyse omdat verschillen in samenstelling terug te voeren zijn op verstoring van bodemkwaliteit. Een nadeel van de methode is dat ze zeer

specialistisch is en in Nederland nauwelijks mensen zijn die de analyse kunnen uitvoeren en interpreteren.

Aantallen nematoden bleken een eenduidige correlatie te vertonen met milieucondities en vormen een geschikt monitoringsinstrument. De samenstelling van de nematodenfauna zoals bepaald met de Maturity Index kan mogelijk gevoeliger zijn doordat binnen de totale populaties verschuivingen in soorten ten gevolge van verstoring meetbaar zijn. Voordelen van de nematoden analyse zijn dat de organismen makkelijk te bemonsteren zijn, de uitslag is snel beschikbaar, de analyse is relatief goedkoop en de nematoden reageren aanwijsbaar op verontreinigingen. Een nadeel is dat nog weinig bekend is over veldvariaties e.d.

Alleen de protozoën analyse bleek minder goed bruikbaar doordat deze bewerkelijk is en weinig relevante informatie opleverde.

Ecologie

De ecologische waarde van de flora en fauna bovengronds is in dit NOBIS TRIADE project niet meegenomen. Voor de meeste locaties bleek dit een handicap bij het interpreteren van de veldwaarnemingen. Veel van de onderzochte parameters (nematoden, microarthropoden) zijn niet alleen afhankelijk van bodemtype maar worden ook beïnvloed door het wel of niet aanwezig zijn van begroeiing. Daardoor wordt het zeer lastig een lokale referentie te vinden die niet alleen niet-verontreinigd is maar tevens vergelijkbaar wat betreft bodemtype, begroeiing, waterhuishouding en andere ecologisch relevante parameters. Beter is dan ook om een goede beschrijving van de monsterlocatie te maken die gebruikt kan worden bij de interpretatie.

Een tweede, wellicht meer doorslaggevend argument om de bovengrondse ecologie in de beoordeling te betrekken is om een indruk te krijgen van de relatieve waarde van dit ecosysteem.

Op de NAM Schoonebeek locatie, het Bornia terrein en het rangeerterrein Spekholzerheide is een ecosysteem aanwezig dat een rol kan spelen in de besluitvorming over al dan niet saneren. De Bornia locatie ligt in de Ecologische Hoofdstructuur en afgraven van dit terrein betekent verlies van de aanwezige ecologie. De waarde van deze ecologie en de mogelijkheid om een gewenst natuurdoeltype weer terug te krijgen na sanering is dan ook van belang bij het nemen van een saneringsbesluit.

Op andere locaties speelt dit niet, zoals het Petroleumhaven terrein, de EPON locatie en het gasfabrieksterrein: de bestemming van deze grond laat geen ruimte voor een natuurlijk ontwikkeld ecosysteem. De ecologische risicobeoordeling zoals die is uitgevoerd is hier van belang bij de mogelijkheid van het aanleggen van siergroen (perken, singels).

Dat betekent dat de TRIADE afhankelijk van het gebruiksdoel van de locatie dient te worden uitgebreid met inventarisaties van de bovengrondse ecologie.

Beoordeling onderdelen TRIADE

In de TRIADE worden drie verschillende typen analysegegevens met elkaar vergeleken om te komen tot een waardeoordeel over de bodemkwaliteit. De resultaten van de chemische en toxicologische analyses zijn relatief eenvoudig met elkaar te vergelijken. De chemische analyses worden herleid tot referentie-, tussen- en interventiewaarden. Analoog aan in deze indeling is in dit project ook geprobeerd de mate van remming in bioassays in te delen in geen, matige en sterke negatieve effecten. Deze indeling is voor het project zeer bruikbaar gebleken en kan als voorbeeld dienen voor andere methoden voor ecologische risicobeoordeling. Over de ligging van de grenswaarden van de klassen kan nog gediscussieerd worden. In afwijkende gevallen, bijvoorbeeld als geen geschikte lokale referentie gevonden is of als pH-invloeden niet uit te sluiten zijn, blijft expert-judgement gewenst.

Voor bioassays is een 'absolute' referentiewaarde beschikbaar in de vorm van het resultaat in standaard media (een standaardmengsel van water met zouten) of kunstgrond, (een standaardmengsel van turf, kaolineklei en zand). Deze referentie is nodig om de geldigheid van het testresultaat te bepalen en dient altijd meegenomen te worden.

In dit project is gekozen om naast deze referentie een locatiespecifieke referentie, gedefinieerd als een niet-toxisch en relatief schoon monster met vergelijkbare bodemsamenstelling van de locatie, mee te nemen. Op deze manier wordt de bodemkwaliteit bepaald op basis van wat men kan verwachten op deze locatie. Een significant verschil met de lokale referentie duidt op een effect van de verontreiniging. In de praktijk bleek het moeilijk een geschikte lokale referentie te vinden. Ook referentielocaties die op het oog vergelijkbaar leken bleken na analyse dat soms niet te zijn.

De veldinventarisaties worden op dezelfde manier beoordeeld als de bioassays, maar laten zich niet eenvoudig vangen in een waarde of getal. In dit onderzoek is bijvoorbeeld de nematoden Maturity Index gebruikt als kwantitatieve maat om effecten van de verontreiniging te bepalen.

De criteria op basis waarvan het onderscheid als een effect werd beoordeeld of niet zijn afkomstig uit een groot aantal referentieprojecten en lijken gerechtvaardigd. Nader onderzoek zal echter moeten uitwijzen of de absolute waarde van de Maturity Index inderdaad gebruikt kan worden als maat voor bodemkwaliteit zoals zal worden getoetst in het SKB project Analyse Nematoden Bestand [9].

Het relatieve gewicht dat wordt toegekend aan de verschillende parameters in de TRIADE staat niet vast.

Locatie specifieke beoordeling

Er bestaat nog geen algemeen geaccepteerde wijze van beoordeling van resultaten van TRIADE analyse in bodems. In dit project zijn drie methoden gehanteerd: expert judgement, bepaling van BodemKwaliteitsIndex (BKI) en de amoëbe weergave.

De BodemKwaliteitsIndex en de amoëbe benadering geven duidelijk inzicht in de mate waarin de verschillende biologische indicatoren verschillen tussen schone en verontreinigde monsters. Het is in principe mogelijk om hier een getalsmatige beoordeling aan te koppelen, deze bestaat echter niet. Een nadeel van deze methoden is dat ze alleen biologische informatie meenemen, chemische bodemkwaliteit wordt niet meegenomen in de berekening van BKI of weergave van de amoëbe. De expert judgement die is uitgevoerd op basis van de tabellen neemt de chemische bodemkwaliteit wel mee en heeft bovendien rekening gehouden met toekomstig bodemgebruik. De meest geschikte TRIADE beoordeling zal zowel rekening moeten houden met chemische bodemkwaliteit, eventueel afgestemd op bodemgebruik (bv BGW), als biologische bodemkwaliteit (bv BKI) en gericht moeten zijn op besluitvorming in de lokale situatie.

Het voert buiten het kader van dit project om een concrete richtlijn voor beoordeling van TRIADE resultaten te presenteren en er zijn momenteel meerdere initiatieven die werken aan een dergelijke richtlijn (bv RIVM, Aktief bodembeheer de Kempen, Krimpenerwaard). De gegevens van het TRIADE project kunnen bij deze initiatieven worden gebruikt ter referentie.

Randvoorwaarden TRIADE

De TRIADE zoals toegepast in dit project heeft enkele duidelijke randvoorwaarden. De zuurgraad van de grond is van belang en effecten van verontreinigingen kunnen alleen worden beoordeeld binnen een pH range van ongeveer pH 4 tot pH 8. De exactere pH-grenzen dienen voor de verschillende testorganismen door nader onderzoek te worden vastgesteld. Buiten deze pH range reageren onderdelen van de TRIADE op de zuurgraad en is geen effect van de verontreiniging te onderscheiden. Overigens zal deze zuurgraad ook een effect hebben op de aanwe-

zige ecologie. Voor gebieden die van nature zuur zijn dienen andere TRIADE parameters te worden te worden ontwikkeld.

Een tweede randvoorwaarde is de diepte. Bij oppervlakkige verontreinigingen is de gehele TRIADE inzetbaar maar bij diepere (> 1 m -mv) verontreinigingen vervallen de ecologische parameters. Deze parameters (nematoden, microarthropoden) zijn alleen relevant voor de top laag en komen op grotere diepte voor in aantallen die te klein zijn om een effect van verontreiniging waarneembaar te kunnen maken.

Toepassingsgebied TRIADE

Binnen dit project is de ontwikkelde TRIADE met succes toegepast op locaties met organische (olie, PAK, cyanides) en anorganische (zware metalen) verontreinigingen. Deze locaties omvatten zowel diepe als ondiepe verontreinigingen en ook het bodemgebruik varieerde van industrie via braakliggend terrein (brownfield) tot natuur. Het toepassingsgebied van de TRIADE is derhalve breed en de methode in principe toepasbaar op iedere verontreinigde locatie.

Opzet TRIADE onderzoek

De TRIADE zoals getest in dit onderzoek bleek op alle locaties toepasbaar. Echter gezien het verschil in relatief belang dat aan onderdelen uit de TRIADE werd gegeven per locatie is een locatie specifieke invulling van de TRIADE toegespitst op de lokale situatie en vraagstelling gewenst. Een TRIADE onderzoek voor het bepalen van ecologische risico's kan worden gekarakteriseerd naar bodemgebruikstype en diepte van de verontreiniging. Indien mogelijk dient altijd een parameter uit elk van de TRIADE onderdelen te worden geanalyseerd.

Bij de chemische poot van de TRIADE dient verontreinigingsgraad, organisch stof, lutum en zuurgraad altijd te worden bepaald. Chemische analyse van de grond is en blijft bepalend bij het identificeren van een potentieel ecologisch risico.

Bij de toxicologische poot van de TRIADE kan een acute bioassay zoals de Microtox standaard worden opgenomen in iedere TRIADE, deze bioassay reageert goed onder de meeste omstandigheden. De chronische bioassays met sla (als vertegenwoordiger van planten) en regenworm zijn relevant vanwege het verschil in blootstelling en de verschillende rol in het ecosysteem die ze vervullen, andere bioassays kunnen worden ingezet indien deze meer relevant zijn voor het ecosysteem dat wordt onderzocht. Overigens verdient het aanbeveling om een plantenbioassay op te zetten met een ecologisch relevantere soort dan sla.

Als veldinventarisatie is de nematoden analyse het meest uitgewerkt en voor de meeste locaties geschikt. Microbiologische parameters worden veel gemeten in bodems met een agrarische functie en daar zijn ook veel referentiegegevens voorhanden. Voor specifieke ecosystemen kunnen ook andere organismen worden geïnventariseerd zoals bijvoorbeeld wormen.

Inventarisatie van het bovengrondse ecosysteem levert niet alleen informatie op over mogelijke effecten van bodemverontreiniging maar ook over de algemene kwaliteit van een ecosysteem en over de mogelijkheden voor ontwikkeling van dit ecosysteem. Hier koppelt de TRIADE andere beoordelingsystemen aan zoals bijvoorbeeld mogelijkheden voor natuurontwikkeling of agrarische bodemgebruik. De TRIADE zal in de praktijk onderdeel uitmaken van deze beoordelingsystemen en vormt daarin een instrument voor het bepalen van actuele risico's van bodemverontreiniging.

Kennisleemten en onderzoeksbehoeften

De volgende kennislacunes zijn tijdens het project geïdentificeerd:

Er is duidelijk behoefte aan bioassays die relevant zijn en stabiel zijn in zure bodems, de regenwormtoets en met name de slatoets voldoen niet in deze bodems. Deze bioassays zijn wellicht reeds beschikbaar of dienen te worden ontwikkeld.

De chronische bioassay met springstaarten lijkt ook geschikt voor analyse van bodemverontreinigingen en kan getoetst worden als TRIADE onderdeel.

Onderzoek met Enchytraeidae (potwormen) is ook gewenst als veldparameter omdat deze groep duidelijk is ondergewaardeerd, maar goede potenties lijkt te bieden.

Er dienen meer referentiegegevens te komen voor biologische analyses zoals bioassays en veldinventarisaties.

Deze gegevens zijn nodig bij de beoordeling van de resultaten: wanneer is een resultaat duidelijk afwijkend van wat verwacht mag worden in een bepaalde situatie. Hiervoor dienen biologische analyses te worden uitgevoerd in een scala aan bodemtypen en bijvoorbeeld bodemgebruikstypen.

De beoordeling van TRIADE parameters is nog niet vastgelegd in een systematiek en is daarmee afhankelijk van expert judgement. Hoewel dit binnen dit project niet tot problemen leidde vormt het wel een beperking bij een bredere toepassing van de TRIADE buiten het project. Er dient daarom aandacht te worden gegeven aan de ontwikkeling van criteria, rekenregels of richtlijnen bij de interpretatie van resultaten van bodem TRIADE resultaten.

HOOFDSTUK 6

CONCLUSIES

In dit project zijn de volgende conclusies getrokken:

- Het is mogelijk om ecologische effecten en risico's van bodemverontreiniging te bepalen met behulp van een set parameters in een TRIADE benadering;
- De chemische analyses, Microtox bioassay, chronische bioassay met sla, chronische bioassay met regenwormen, bait lamina bioassay, nematoden veldinventarisatie, bodemmicroarthropoden veldinventarisatie en microbiële veldinventarisaties zijn allen geschikte monitoring instrumenten in de bodem TRIADE beoordeling;
- De protozoën analyse is binnen de gekozen onderzoeksopzet niet geschikt als monitoring instrument in TRIADE;
- Afhankelijk van het gebruiksdoel van de locatie dient de TRIADE te worden uitgebreid met inventarisaties van de bovengrondse ecologie;
- De ontwikkelde bodem-TRIADE is met succes toegepast bij het vaststellen van actuele ecologische effecten op diverse locaties met uiteenlopende bodemkarakteristieken en typen verontreiniging;
- Per locatie blijken verschillende onderdelen van de TRIADE anders te reageren op het bodemtype en de aanwezige verontreiniging hetgeen nogmaals het belang van een testbatterij als de TRIADE onderstreept;
- De TRIADE beoordeling is in het project toegepast bij het beoordelen van de kwaliteit van verontreinigde grond op de deelnemende locaties;
- Op basis van deze beoordeling konden uitspraken worden gedaan over saneringsurgentie, beoordeling van het eindresultaat van een (in-situ) sanering en keuze van het toepassen en invullen van actief bodembeheer van verontreinigde bodems op de deelnemende locaties;
- Het project heeft het nut en de bruikbaarheid van de TRIADE benadering voor het bepalen van actuele ecologische risico's aangetoond;
- Het project heeft enkele kennislacunes geïdentificeerd die opgelost dienen te worden om brede toepassing van de techniek te stimuleren.

LITERATUUR

- 1 Bioclear, AquaSense, Witteveen+Bos, Vrije Universiteit Amsterdam, 2000. Effectiviteit van bioassays bij het monitoren en beoordelen van het milieurendement van biorestauratie. Eindrapport. CUR-NOBIS.
- 2 Rutgers, M., J. Faber, J. Postma en H. Eijsackers. Locatiespecifieke ecologische risico's: een basisbenadering voor functiegerichte beoordeling van bodemverontreiniging. 1998. PGBO deel 16.
- 3 De Zwart, D., M. Rutgers en J. Noteboom. 1999. Bepaling van het locatiespecifieke ecologische risico van bodemverontreiniging: een opzet voor een beoordelingssystematiek. RIVM rapport 711701011.
- 4 Rutgers, M., J.F. Postma en J.H. Faber. Uitwerking van de Basisbenadering voor de locatiespecifieke, functiegerichte, ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging voor de praktijk. 2000a. PGBO, deel 29.
- 5 Rutgers, M., T. Aldenburg, R.O.G. Franken, D.T. Jager, J.P.A. Lijzen, W.J.G.M. Pijenburg, A.J. Schouten, T.P. Traas, D. de Zwart en L. Posthuma. 2000b. Ecologische risicobeoordeling van verontreinigde (water)bodem- voorstellen ter verbetering van de urgentiesystematiek. RIVM rapport 711701018.
- 6 Schouten, A.J., L. Brussaard, P.C. de Ruiter, H. Siepel en N.V. van Stralen. Een indicator-systeem voor life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. 1997. RIVM rapport 712910005.
- 7 Schouten, A.J., J. Bloem, W.A.M. Didden, M. Rutgers, H. Siepel, L. Posthuma and A.M. Breure. 2000. Development of a Biological Indicator for Soil Quality. SETAC Globe 1, 30-32.
- 8 Van Gestel, C.A.M., E.M. Dirven-van Breemen, J.W. Kamerman. 1992. Beoordeling van verontreinigde grond. IV. Toepassing van bioassays met planten en regenwormen op referentiegronden. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM rapportnummer 216402004, februari 1992, Bilthoven.
- 9 Bioclear, IWACO, RIVM en Blgg. 2000b. Analyse Nematoden Bestand, basisprojectplan SKB. Bodem 10:13-15.

Overig literatuur

Van der Waarde, J.J., A. Derksen, E. van der Hoek, M. Veul, C.A.M. van Gestel, S. Bouwens, R. Kronenburg and G. Stokman. 1999. Soil toxicity assessment using acute and chronic bioassays. In: In-situ bioremediation of petroleum hydrocarbon and other organic compounds. A. Leeson and B. Alleman Eds. Battelle press.

Van der Waarde, J.J. en D. Holwerda. Ecologische risicobeoordeling in de praktijk: de locatie Kollum chemie. 2000.

