

NOBIS 96-2-01
INTRINSIEKE BIODEGRADATIE EN BIOREAC-
TIEVE SCHERMEN BIJ BODEMVERONTREINI-
GING BIJ TEXTIELREINIGINGSBEDRIJVEN

Fase 2 en 3

ing. J.H. van den Berg (TNO-RT)
dr.ir. T.N.P. Bosma (TNO-MEP)
drs. L.A. Hamerlinck (EMN)
ir. P.C.J. Leijten (EMN)
ir. H.C. van Liere (TNO-MEP)
ir. T.F. Praamstra (IWACO)
ir. L. Schipper (IWACO)
drs. B.P.A. Schippers (TNO-RT)
dr.ir. C.B.M. te Stroet (NITG-TNO)

juli 1998

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, "©"Intrinsieke biodegradatie en bioreactieve schermen bij bodemverontreiniging bij textielreinigingsbedrijven - Fase 2 en 3", juli 1998, CUR/NOBIS, Gouda."

Aansprakelijkheid

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

Copyrights

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

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"Intrinsic biodegradation and bioscreens for remediation of soil at laundry sites - Phase 2 and 3", July 1998, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands."

Liability

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

Titel rapport

Intrinsieke biodegradatie en bioreactieve schermen
bij bodemverontreiniging bij textielreinigingsbedrijven
Fase 2 en 3

CUR/NOBIS rapportnummer

96-2-01

Project rapportnummer

96-2-01 fase 2 en 3

Auteur(s)

ing. J.H. van den Berg
dr.ir. T.N.P. Bosma
drs. L.A. Hamerlinck
ir. P.C.J. Leijten
ir. H.C. van Liere
ir. T.F. Praamstra
ir. L. Schipper
drs. B.P.A. Schippers
dr.ir. C.B.M. te Stroet

Aantal bladzijden

Rapport: 20

Bijlagen: 9

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

TNO Reinigingstechnieken (drs. B.P.A. Schippers, 015-2696916)
TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (dr.ir. T.N.P. Bosma, 055-5493920)
Eerland Milieutechniek Nederland (ir. P.C.J. Leijten, 0180-463330)
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (dr.ir. C.B.M. te Stroet, 015-2697160)
IWACO (ir. L. Schipper, 010-2865581)
Provincie Utrecht (ir. P.W.M. van Mullekom, 030-2583115)
Provincie Noord-Holland (drs. R. Zonneveld, 023-5143219)
Gemeente Rotterdam (dr. J. Corten, 010-4897019)
VENOTEX: dhr. H. Daems/voorheen Wasserij De Zwaan (H. Daems, 040-2019789)
Newasco Wasserij Van Houten B.V. (R. van Houten, 023-5285026)
Hovo-De Maas B.V. (ing. G.E. van der Straaten, 010-4826771)
Neproma Textiel Service B.V. (J. van der Linden, 026-3488140)
Textielreiniging Nic Lamme B.V. (N. Lamme, 0294-258525)

Uitgever

CUR/NOBIS, Gouda

Samenvatting

Het doel van dit NOBIS-project was het inschatten van de mogelijkheden voor het inperken van de verspreiding van de verontreiniging met behulp van natuurlijke afbraak gecombineerd met extensieve stimulatie. Het onderzoek werd uitgevoerd op 6 locaties in 3 fasen:

1. Een historische analyse van elke locatie.
2. Aanvullende metingen voor de beoordeling van natuurlijke afbraak.
3. Het aangeven van 'oplossingsrichtingen' per locatie.

De resultaten van fase 1 zijn reeds gerapporteerd in mei 1997. Deze samenvattende eindrapportage bevat de algemene bevindingen van fase 2 en 3. De oplossingsrichtingen per locatie zijn weergegeven in 6 afzonderlijke rapporten.

De algemene conclusie van dit project is dat natuurlijke afbraak al verrassend veel doet. Voor de 6 deelnemende locaties zijn oplossingsrichtingen voorgesteld, waarbij gebruik wordt gemaakt van natuurlijke afbraak. Voor 3 van de 6 locaties lijkt natuurlijke afbraak zelfs voldoende om verdere verspreiding van de verontreiniging te voorkomen.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen:**

afbreekbaarheid, bodemverontreiniging, chloorkoolwaterstoffen, trichlooretheen, etheen

Vrije trefwoorden:

biodegradatie, bioschermen, natuurlijke afbraak, tetrachlooretheen, textielreiniging

Titel project

Intrinsieke biodegradatie en bioreactieve schermen
bij bodemverontreiniging bij textielreinigingsbedrijven

Projectleiding

TNO Reinigingstechnieken
(drs. B.P.A. Schippers, 015-2696916)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title

Intrinsic biodegradation and bioscreens for remediation
of soil at laundry sites
Phase 2 and 3

CUR/NOBIS report number

96-2-01

Project report number

96-2-01 phase 2 and 3

Author(s)

ing. J.H. van den Berg
dr.ir. T.N.P. Bosma
drs. L.A. Hamerlinck
ir. P.C.J. Leijten
ir. H.C. van Liere
ir. T.F. Praamstra
ir. L. Schipper
drs. B.P.A. Schippers
dr.ir. C.B.M. te Stroet

Number of pages

Report: 20

Appendices: 9

Executive organisation(s) (Consortium)

TNO Reinigingstechnieken (drs. B.P.A. Schippers, 015-2696916)
TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (dr.ir. T.N.P. Bosma, 055-5493920)
Eerland Milieutechniek Nederland (ir. P.C.J. Leijten, 0180-463330)
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (dr.ir. C.B.M. te Stroet, 015-2697160)
IWACO (ir. L. Schipper, 010-2865581)
Provincie Utrecht (ir. P.W.M. van Mullekom, 030-2583115)
Provincie Noord-Holland (drs. R. Zonneveld, 023-5143219)
Gemeente Rotterdam (dr. J. Corten, 010-4897019)
VENOTEX: dhr. H. Daems/voorheen Wasserij De Zwaan (H. Daems, 040-2019789)
Newasco Wasserij Van Houten B.V. (R. van Houten, 023-5285026)
Hovo-De Maas B.V. (ing. G.E. van der Straaten, 010-4826771)
Neproma Textiel Service B.V. (J. van der Linden, 026-3488140)
Textielreiniging Nic Lamme B.V. (N. Lamme, 0294-258525)

Publisher

CUR/NOBIS, Gouda

Abstract

The objective of the current study was to investigate the possibilities to contain contaminations with tetra- and trichloroethene by the application of (stimulated) natural degradation processes. The research was carried out at 6 contaminated sites in 3 phases:

1. A historical analysis of each site.
2. Additional measurements to complete the assessment of natural attenuation.
3. The formulation of alternative options for a remediation set-up for each site.

The results of phase 1 were reported in May 1997. In this conclusive report the general findings of phase 2 and 3 are reported. The alternative options for a remediation set-up for each site are presented in separate reports.

The general conclusion of this study is that natural attenuation is surprisingly helpful. For all 6 participating sites alternative options are proposed based on natural attenuation. For 3 out of 6 sites it seems that natural attenuation prevents the pollution from further spreading.

Keywords**Controlled terms:**

biodegradability, ethene, soil contamination,
trichloroethene, volatile organic chlorides

Uncontrolled terms:

biologically reactive zone, dry-cleaning,
natural attenuation, natural degradation,
tetrachloroethene

Project title

Intrinsic biodegradation and bioscreens for remediation
of soil at laundry sites

Projectmanagement

TNO Cleaning Techniques Research
Institute
(drs. B.P.A. Schippers, 015-2696916)

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

VOORWOORD

Voor veel textielreinigingsbedrijven met een PER- en TRI-verontreiniging is een patstelling ontstaan ten aanzien van de sanering van de bodem. De kosten van de gangbare sanering/beheersingsvarianten zijn in veel gevallen niet op te brengen door de bedrijven, met als resultaat dat de daadwerkelijke aanpak van de problemen stagneert.

In dit project is een eerste aanzet gegeven voor alternatieve oplossingen voor deze problemen, zoveel mogelijk gebruik makend van natuurlijke afbraak. Deze alternatieve oplossingen zijn tot stand gekomen na constructieve en creatieve brainstormsessies in de klankbordgroep (zie bijlage D). Vanaf deze plaats wil ik alle deelnemers van de klankbordgroep bedanken voor hun inzet en enthousiasme.

juli 1998

INHOUD

		SAMENVATTING	v
		SUMMARY	vi
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
Hoofdstuk	2	AANPAK	3
	2.1	Aansluiting bij resultaten fase 1	3
	2.2	Uitgevoerde activiteiten in fase 2 en 3	3
Hoofdstuk	3	NATUURLIJKE AFBRAAK VAN PER: OP WEG NAAR EEN BEOORDELINGSSYSTEMATIEK	5
	3.1	Inleiding	5
	3.2	Afbraakproducten	6
	3.2.1	Natuurlijke Afbraak Potentieel (NAP)	6
	3.2.2	Analyse van CKW: veldmeting versus laboratorium- analyse	7
	3.3	Redoxkarakterisering	9
	3.4	Brandstof	10
	3.5	Beweging van het grondwater	11
	3.6	Conclusies	12
Hoofdstuk	4	EXTENSIEVE OPLOSSINGSRICHTINGEN OP BASIS VAN NA	15
	4.1	NA-variant	15
	4.2	Gestimuleerde NA-varianten	16
	4.2.1	Gestimuleerde natuurlijke afbraak	16
	4.2.2	Natuurlijke afbraak in combinatie met een bioscherm	16
	4.2.3	Natuurlijke afbraak in combinatie met een lichte onttrekking	17
	4.3	Combinatie met conventionele technieken	17
Hoofdstuk	5	CONCLUSIES	19
Bijlage	A	GEBRUIKTE AFKORTINGEN	
Bijlage	B	RESULTATEN PHOTOVAC VERSUS LABORATORIUM- ANALYSES	
Bijlage	C	DEELACTIVITEITEN FASE 2 EN 3	
Bijlage	D	SAMENSTELLING KLANKBORDGROEP	

SAMENVATTING

Intrinsieke biodegradatie en bioreactieve schermen bij bodemverontreiniging bij textielreinigingsbedrijven

Op veel locaties van textielreinigingsbedrijven is in het verleden een bodemverontreiniging met PER of TRI ontstaan. De meeste van deze bedrijven kunnen de kosten van sanering niet opbrengen. Het doel van dit NOBIS-project was het inschatten van de mogelijkheden voor het inperken van de verspreiding van de verontreiniging met behulp van natuurlijke afbraak gecombineerd met extensieve stimulatie. Het onderzoek werd uitgevoerd op 6 locaties in 3 fasen:

1. Een historische analyse van elke locatie.
2. Aanvullende metingen voor de beoordeling van natuurlijke afbraak.
3. Het aangeven van 'oplossingsrichtingen' per locatie.

De resultaten van fase 1 zijn reeds gerapporteerd in mei 1997. In fase 1 werd vastgesteld dat natuurlijke afbraak in potentie een rol kan spelen bij de aanpak van de VOCl-verontreinigingen bij de 6 deelnemende locaties. Voor geen van de locaties was echter voldoende informatie beschikbaar met betrekking tot de aanwezige afbraakproducten en de redoxzoning. Om vast te stellen in hoeverre er op deze locaties sprake is van volledige intrinsieke afbraak, is daarom per locatie een aanvullend meetplan opgesteld.

Deze samenvattende eindrapportage bevat de algemene bevindingen van fase 2 en 3. De oplossingsrichtingen per locatie zijn weergegeven in 6 afzonderlijke rapporten, die verkrijgbaar zijn bij TNO Reinigingstechnieken.

De algemene conclusie van dit project is dat natuurlijke afbraak al verrassend veel doet. Voor de 6 deelnemende locaties zijn oplossingsrichtingen voorgesteld, waarbij gebruik wordt gemaakt van natuurlijke afbraak. Voor 3 van de 6 locaties lijkt natuurlijke afbraak zelfs voldoende om verdere verspreiding van de verontreiniging te voorkomen.

Voor een betere beoordeling van natuurlijke afbraak is echter een meer procesgerichte aanpak noodzakelijk, waarbij het monitoren van de verontreiniging gedurende een langere periode essentieel is.

SUMMARY

Intrinsic biodegradation and bioscreens for remediation of soil at laundry sites

Many sites of laundries specialized in dry cleaning are contaminated with tetra- and trichloroethene. Most of these laundries are relatively small companies which are not able to bear the clean-up costs. The objective of the current study was to investigate the possibilities to contain such contaminations by the application of (stimulated) natural degradation processes. The research was carried out at 6 contaminated sites in 3 phases:

1. A historical analysis of each site.
2. Additional measurements to complete the assessment of natural attenuation.
3. The formulation of alternative options for a remediation set-up for each site.

The results of phase 1 were reported in may 1997. It was recorded that natural attenuation could play a role in the remediation set-up for the 6 participating sites. However, occurrence of degradation products and redox conditions were insufficiently characterized at all sites. In order to complete the assessment of natural attenuation additional measurements were proposed.

In this conclusive report the general findings of phase 2 and 3 are reported. The alternative options for a remediation set-up for each site are presented in separate reports, which are available at TNO Cleaning Techniques Research Institute.

The general conclusion of this study is that natural attenuation is surprisingly helpful. For all 6 participating sites alternative options are proposed based on natural attenuation. For 3 out of 6 sites it seems that natural attenuation prevents the pollution from further spreading. However, for a thorough assessment of natural attenuation a more process orientated approach is necessary, in which monitoring the pollution during several years is of major concern.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

Voor veel textielreinigingsbedrijven is een patstelling ontstaan ten aanzien van de sanering van de bodem. De kosten van de nu gangbare sanerings- en beheersvarianten zijn in veel gevallen niet op te brengen door de bedrijven, met als resultaat dat de daadwerkelijke aanpak van de problemen stagneert. Het gevolg is niet alleen een steeds verdergaande, soms niet volledig in kaart gebrachte, verspreiding van de verontreiniging, maar ook dat beperkingen ten aanzien van verkoop, verbouwing en uitbreiding worden opgelegd. Er is daarom dringend behoefte aan een andere, goedkopere, maar nog steeds milieuhygiënisch verantwoorde manier van omgaan met dit type verontreinigingssituaties.

Dit rapport is het algemene deel van het eindrapport van het NOBIS-project 'Intrinsieke biodegradatie en bioreactieve schermen bij bodemverontreiniging bij textielreinigingsbedrijven'. Het doel van dit project was het inschatten van mogelijkheden om door gebruikmaking van intrinsieke processen en extensieve methoden enerzijds het risico van CKW-verontreinigingen te beheersen en anderzijds de beperkingen wat betreft verkoop, verbouwing en uitbreiding op te heffen. Het project werd uitgevoerd op 6 locaties in 3 fasen:

- fase 1 Probleemdefinitie en inventarisatie.
- fase 2 Uitvoering meetplannen.
- fase 3 Opstellen rapport oplossingsrichtingen per locatie en eindrapport.

In fase 1 is vastgesteld dat natuurlijke afbraak in potentie een rol kan spelen bij de aanpak van de CKW-verontreinigingen op de 6 deelnemende locaties. Voor geen van de locaties was echter voldoende informatie beschikbaar met betrekking tot de aanwezige afbraakproducten en de redoxzonering. Om vast te stellen in hoeverre er op deze locaties sprake is van volledige intrinsieke afbraak, werd daarom per locatie een aanvullend meetplan opgesteld. Fase 1 is gerapporteerd in CUR/NOBIS-rapport 96-2-01, fase 1.

De algemene bevindingen van fase 2 en 3 worden weergegeven in deze samenvattende eindrapportage. De oplossingsrichtingen per locatie zijn weergegeven in 6 afzonderlijke rapporten, die verkrijgbaar zijn bij TNO Reinigingstechnieken.

HOOFDSTUK 2

AANPAK

2.1 Aansluiting bij resultaten fase 1

In fase 1, de inventarisatiefase van dit project, werd vastgesteld dat er voor alle locaties voldoende perspectief was om intrinsieke afbraak in te zetten bij het vinden van een oplossing voor de betreffende verontreinigingen. De resultaten van fase 1 zijn in onderstaand schema samengevat.

locatie	Valkenswaard	Nederhorst den Berg	Montfoort	Arnhem	Heemstede	Rotterdam
geanalyseerd tot	CIS	CIS	CIS	VC	etheen	VC
afbraak aangetoond tot	CIS	CIS	CIS	VC	VC	VC
BTEX/min. olie aanwezig	ja	ja	ja	ja	ja	ja
horizontale grondwater beweging	ja	nee	ja	ja	nee	nee
humane risico's	?	?	nee	ja	?	nee
verspreidingsrisico's	ja	ja	ja	ja	?	ja

Op de locatie Arnhem was de richting en de snelheid van de grondwaterstroming zo goed bekend, dat het mogelijk werd geacht in dit project een stroombaananalyse uit te voeren. Met behulp hiervan zou een meer kwantitatieve schatting van de verspreiding van de verontreiniging en de afbraakproducten kunnen worden gemaakt.

Voor de overige 5 locaties leek een stroombaananalyse niet haalbaar, omdat de grondwaterbeweging zowel qua richting als snelheid niet eenduidig gedefinieerd was, als gevolg van de heterogeniteit van de ondergrond, weinig of wisselende grondwaterstroming of de aanwezigheid van een onttrekking.

Voor alle locaties werd gestreefd naar een kwalitatieve verificatie van volledige afbraak. Dit werd verwoord door als hypothese te stellen dat er slechts onvolledige afbraak (tot CIS) plaats zou vinden. Per locatie werd vervolgens een aanvullend meetplan opgesteld om de hypothese te toetsen.

2.2 Uitgevoerde activiteiten in fase 2 en 3

In fase 2 is voor elke locatie een aanvullend meetplan uitgevoerd om de hypothese over natuurlijke afbraak te toetsen. Vervolgens is een concept opgesteld voor de oplossingsrichtingen voor 1 locatie. Dit concept is daarna verschillende malen bediscussieerd in de klankbordgroep van dit project. De samenstelling van de klankbordgroep is opgenomen in bijlage D.

In fase 3 zijn de rapporten voor de overige locaties opgesteld, samen met het onderhavige eindrapport. De deelactiviteiten van fase 2 en 3 zijn kort weergegeven in bijlage C.

HOOFDSTUK 3

NATUURLIJKE AFBRAAK VAN PER: OP WEG NAAR EEN BEOORDELINGSSYSTEMATIEK

3.1 Inleiding

Het optreden van natuurlijke afbraak op de 6 locaties is vastgesteld aan de hand van de resultaten van het aanvullende meetplan. Op alle locaties zijn dezelfde metingen gedaan. Het meetplan (zie tabel 1) was gebaseerd op vier criteria, te weten:

1. aanwezigheid van afbraakproducten (zie 3.2);
2. heersende redoxcondities (zie 3.3);
3. aanwezigheid van brandstof (elektronendonor) (zie 3.4);
4. beweging van het grondwater (zie 3.5).

Natuurlijke afbraak (NA) van chloorkoolwaterstoffen in grondwater is in de Nederlandse situatie (anoxisch grondwater) afhankelijk van de mogelijkheden voor het optreden van reductieve dechlorering. In dit proces worden achtereenvolgens de chloormoleculen op de chloorkoolwaterstoffen vervangen door een waterstofatoom. Op deze wijze wordt PER stapsgewijs ge-dechloroerd, uiteindelijk tot etheen:



In bijlage A worden de gebruikte afkortingen verklaard. Het proces van reductieve dechlorering kan worden vergeleken met de verbranding van suiker met zuurstof, het proces waar in de planten- en dierenwereld de energie en de bouwstenen voor de vorming van biomassa wordt verkregen. De chloorkoolwaterstoffen vervullen de rol die zuurstof normaal gesproken in dit proces vervult. Uit laboratorium- en veldonderzoek in met name Nederland en de Verenigde Staten is gebleken dat anaërobe bacteriën inderdaad de energie benodigd voor hun groei met behulp van reductieve dechlorering kunnen genereren. Een vereiste daarvoor is dat zij kunnen beschikken over een brandstof (bijvoorbeeld suiker, of andere niet-gechloreerde stoffen, zoals natuurlijke organische stof: DOC, minerale olie of BTEX). Inderdaad, de aanwezigheid van andere verontreinigingen kan behulpzaam zijn bij de verwijdering van PER en TRI in de ondergrond! Hiervan kan gebruik worden gemaakt bij de sanering van verontreinigde locaties. In andere NOBIS-projecten wordt hieraan aandacht besteed. Verder blijkt de aanwezigheid van lekkende riolen prettig voor de verwijdering van PER en TRI (zie bijvoorbeeld NOBIS-project 95-1-41, 'Rademarkt').

De brandstof is vermoedelijk niet alleen van belang als directe reactant bij de omzetting van PER en TRI in etheen. Ook draagt het een steentje bij in het verwijderen van zuurstof en nitraat uit het grondwater, zodat dit een sterk reducerend karakter krijgt met methaanvorming en sulfaat-reductie. Ook dit is gunstig voor het proces van reductieve dechlorering: dit komt vooral gemakkelijk op gang wanneer sulfaat wordt gereduceerd onder de vorming van sulfide.

De beweging van het grondwater is alleen indirect van belang voor de vaststelling van NA: bij een duidelijke stroming is het mogelijk de afbraaksequentie in de pluim aan te tonen (zie resultaten locatie Arnhem). Verder draagt de grondwaterbeweging bij aan de menging van voedingsstoffen in het grondwater. Bij stroomsnelheden lager dan 0,5 - 1 m per jaar wordt de reactiesnelheid bepaald door de diffusiesnelheid van de reagerende stoffen naar de bacteriën. Voor de locatie Arnhem is een nadere berekening van de stroomsnelheid uitgevoerd ten behoeve van de modellering van het afbraakproces in de stroombaan. Verder zijn overal de pH,

de geleidbaarheid en de temperatuur van het grondwater bepaald. In dit hoofdstuk wordt eerst een overzicht gegeven van de bevindingen per analysepakket, gevolgd door aanbevelingen voor de aanpak bij de bepaling van intrinsieke afbraak op vergelijkbare locaties.

Tabel 1. Analysepakketten in het aanvullende meetplan.

afbraakproducten	redoxkarakterisering	brandstof
PER TRI CIS, TRANS VC etheen ethaan	BZV zuurstof nitraat/nitriet Fe(III)/Fe(II) Mn(IV)/Mn(II) sulfaat/sulfide methaan ORP	DOC minerale olie BTEX

3.2 Afbraakproducten

3.2.1 *Natuurlijke Afbraak Potentieel (NAP)*

Doordat op alle locaties systematisch naar alle producten van het reductieve dechloreringsproces is gezocht, is grote informatiewinst geboekt ten opzichte van de voorgaande onderzoeken op de betrokken locaties.

Het stadium waarin de natuurlijke afbraak in de omgeving van iedere peilbuis verkeert, kan worden gekarakteriseerd door een index, hier aangeduid als NAP: het NA-potentieel, oftewel het potentieel voor natuurlijke afbraak als saneringsvariant.

Het NAP is de verhouding van de som van de concentraties van de afbraakproducten, te weten TRI, CIS, VC, etheen en ethaan en de som van de concentraties van de uitgangs- en alle afbraakproducten, te weten PER, TRI, CIS, VC, etheen en ethaan. Dus:

$$NAP = \frac{TRI + CIS + TRANS + VC + etheen + ethaan}{PER + TRI + CIS + TRANS + VC + etheen + ethaan}$$

Voor een correcte berekening van het NAP moeten de concentraties worden uitgedrukt in mol/l. Tabel 2 geeft een overzicht van het percentage NAP kleiner dan 0,5 voor elk van de locaties. Als het NAP kleiner is dan 0,5 domineren de uitgangsproducten over de afbraakproducten en is er (nog) weinig natuurlijke afbraak opgetreden. Een andere interpretatie is dat de verspreiding domineert over de afbraak: de aanvoer van PER is groter dan de afbraak, met als resultaat dat relatief weinig afbraakproduct in de peilbuis wordt aangetroffen (zie bijvoorbeeld locatie Valkenswaard, tabel 2).

Het omgekeerde geldt wanneer het NAP groter is dan 0,5. In dat geval is het proces van natuurlijke afbraak in een vergevorderd stadium en domineert het afbraakproces over de verspreiding van het uitgangproduct. Een extreem voorbeeld is de locatie Arnhem, waar het NAP voor alle peilbuizen gelijk is aan 1, omdat in geen van de bemonsterde peilbuizen PER en TRI zijn aangetroffen. Overigens is het noodzakelijk om naast het NAP het aangetroffen eindproduct van afbraak te geven: op basis hiervan kan worden beoordeeld of het afbraakproces volledig is. NAP = 1 in combinatie met CIS als eindproduct geeft aan dat NA alleen de verontreiniging niet volledig zal afbreken. NAP = 1 in combinatie met etheen als eindproduct geeft daarentegen aan dat NA volledig optreedt en dat een saneringsvariant op basis van natuurlijke afbraak zeer kansrijk is. In tabel 2 wordt voor elke locatie ook het meest gevonden eindproduct weergegeven.

Tabel 2. Percentage NAP lager dan 0,5 en meest aangetroffen eindproduct.

locatie	% NAP < 0,5	meest aangetroffen eindproduct (in % peilbuizen)
Arnhem	0 %	etheen (50 %)
Nederhorst den Berg	0 %	etheen (63 %)
Rotterdam	8 %	etheen (85 %)
Valkenswaard	38 %	CIS (50 %)
Montfoort	33 %	VC (56 %)
Heemstede	56%	VC (33 %)

Het getal in de tweede kolom geeft het percentage van de peilbuizen waarin het NAP kleiner is dan 0,5; het getal tussen haakjes in de derde kolom geeft het percentage van de peilbuizen waarin het desbetreffende eindproduct is aangetroffen

Voor het optreden van een lage waarde van het NAP kunnen uiteraard diverse oorzaken bestaan, bijvoorbeeld het feit dat de verontreiniging nog zeer recent is waardoor weinig afbraak heeft plaatsgevonden, of dat bodem en grondwater aëroob zijn waardoor reductieve dechlorering niet mogelijk is. Een zinvolle interpretatie is alleen mogelijk in combinatie met de overige locatiegegevens. Verder moet erop worden gewezen dat het NAP niet meer, maar ook niet minder, geeft dan een eerste schatting van de mogelijkheid van het toepassen van NA als saneringsvariant.

3.2.2 Analyse van CKW: veldmeting versus laboratoriumanalyse

In het kader van dit NOBIS-project is het grondwater op 6 locaties bemonsterd en in het laboratorium geanalyseerd op onder andere gechloroerde ethenen, etheen, ethaan en methaan. Door de factoren tijd, transport en conservering werd verwacht dat een deel van de in de grondwatermonsters aanwezige vluchtige en gasvormige componenten verloren zouden gaan als gevolg van vervluchtiging (hoge Henri-constante) en gasbelvorming (lagere oplosbaarheid door drukverschil tussen watervoerend pakket en atmosfeer). Verwacht werd dat dit met name bij hogere concentraties van dergelijke componenten in het grondwater het geval zou zijn.

Dit potentiële probleem kan worden vermeden door in het veld reeds analyses te verrichten. Tijdens het veldwerk is dan ook standaard gebruik gemaakt van de 'PE Photovac 10S plus'. Deze draagbare gaschromatograaf met PID-detector is in staat gasvormige, vluchtige componenten met dubbele bindingen (o.a. PER, TRI, DCE, VC en etheen) te identificeren en per component te kwantificeren.

De toegepaste meet- en monsternametechniek is gebaseerd op de aanname dat een evenwicht bestaat tussen de hoeveelheid component in het grondwater en de hoeveelheid component in de bovenstaande gasfase (headspace). Er wordt als volgt te werk gegaan. Een monsterflesje wordt geheel gevuld, waarna exact 10 ml water wordt afgezogen. Het monsterflesje wordt vervolgens op een constante temperatuur gebracht. Vervolgens wordt de bovenstaande lucht (headspace) bemonsterd. Het gas wordt, voordat het aan de detector wordt aangeboden, over een scheidende fase geleid. Dit bewerkstelligt dat een mix van componenten wordt gescheiden op basis van de polariteit. Bij uitreden wordt de hoeveelheid per component met bijbehorende tijd gedetecteerd. De analyse vindt plaats met een photo-ionisatie detector (PID), waarbij de ionisatie wordt bewerkstelligd door het gasmonster langs een UV-lamp te leiden. De analysetijd bedraagt, afhankelijk van het analysepakket, 10 tot 20 minuten per monster. De nauwkeurigheid bedraagt circa 0,5 %. De detectielimiet is vastgesteld op 0,5 ppb in grondwater. Het systeem (GC/PID) is gevalideerd door EPA (Environmental Protection Agency).

De ijking van de apparatuur vindt in het veld plaats met behulp van headspace-analyse van watermonsters die 'gespiked' zijn met bekende hoeveelheden van de te analyseren compo-

ment(en), overeenkomstig met de ijking van de analyse-apparatuur in het laboratorium. In het NOBIS-project 'Rademarkt' en bij vele niet-NOBIS-projecten heeft de Photovac reeds zijn diensten bewezen. De kosten van de veldanalyses met behulp van de Photovac zijn vergelijkbaar met de laboratoriumanalyses.

Kort samengevat zijn de voordelen van de veldanalyse met behulp van de Photovac boven de laboratoriumanalyse de volgende:

- het wegvallen van de kritieke monsternamen;
- het wegvallen van transport gerelateerde verstoringen;
- het wegvallen van (verstoringen door) conserveringsstappen;
- direct ter beschikking hebben van interpreteerbare resultaten.

In bijlage B zijn de analyseresultaten van de Photovac uitgezet tegen de laboratoriumresultaten. Om een uitspraak te kunnen doen over de afwijking van de analyseresultaten van de Photovac ten opzichte van de analyseresultaten behaald in het laboratorium (zie tabel 3) is als volgt te werk gegaan. Allereerst is de verhoudingsfactor van Photovac-resultaten ten opzichte van laboratoriumresultaten bepaald. Vervolgens is van al deze verhoudingen per stof een gemiddelde verhoudingsfactor en een standaardafwijking (*s*) bepaald. De standaardafwijking geeft een idee in hoeverre de verhoudingsfactoren van het gemiddelde afwijken. De praktijk wijst uit dat, wanneer het aantal waarnemingen voldoende groot is, voor 68 % van de verhoudingsfactoren het absolute verschil met de gemiddelde verhoudingsfactor kleiner of gelijk is aan de standaardafwijking. Er is slechts gebruik gemaakt van waarnemingen boven de detectielimiet.

Tabel 3. Photovacresultaten versus laboratoriumresultaten.

	PER	TRI	CIS	TRANS	VC	etheen
gem	2,7	1,8	2,3 (3,0)	1,5 (3,1)	2,1	1,6 (10,5)
s	2,8	1,5	1,8 (4,6)	1,0 (6,5)	2,3	1,3 (29,4)
n	31	32	39 (40)	17 (18)	26	10 (11)
$p > l$	11	4	5	9	11	3
$l > p$	15	14	28	6	5	5

gem gemiddelde van verhoudingsfactoren (tussen haakjes staat het gemiddelde waarbij ook een piekwaarneming is meegenomen);

s standaardafwijking;

n aantal waarnemingen/verhoudingsfactoren

$p > l$ photovac-waarde is groter dan laboratoriumwaarde;

$l > p$ laboratoriumwaarde is groter dan photovac-waarde.

Uit tabel 3 blijkt dat de Photovac-resultaten gemiddeld een factor 1,5 (TRANS) tot 2,7 (PER) afwijken van de laboratoriumresultaten.

De hoge, tussen haakjes vermelde, waarden voor het gemiddelde en de standaardafwijking bij CIS, TRANS en etheen worden veroorzaakt door één afwijkende waarneming. Hier is waarschijnlijk sprake van een meetfout. Vandaar dat tevens het gemiddelde en de standaardafwijking zonder deze waarneming zijn bepaald (buiten haakjes weergegeven). Hoewel verwacht werd dat in het veld hogere concentraties zouden worden gemeten dan in het laboratorium, vanwege eerder genoemde argumenten, blijkt dit geen vanzelfsprekendheid te zijn. Voor de stoffen PER, TRI, CIS en etheen worden in het veld overwegend lagere concentraties aangetoond. Hieruit blijkt dat de kritieke monsternamen, transport en conserveringsstappen in het laboratorium niet automatisch leiden tot lagere parameterwaarden doordat een deel van de in de grondwatermonsters aanwezige vluchtige en gasvormige componenten verloren gaan als gevolg van vervluchtiging en gasbelvorming.

Conclusies

Op grond van het voorgaande kan worden geconcludeerd, dat:

- de Photovac-resultaten gemiddeld een factor 1,5 tot 2,7 afwijken van de laboratoriumresultaten;
- voor de stoffen PER, TRI, CIS en etheen met behulp van de Photovac in het veld overwegend lagere concentraties worden aangetoond dan in het laboratorium;
- om deze reden metingen met de Photovac geen voordeel hebben boven metingen in het laboratorium voor wat betreft de factor verdwijning van de te analyseren componenten tijdens de kritieke monsternamen, transport en conserveringsstappen in het laboratorium;
- de Photovac wel het voordeel behoudt van het direct ter beschikking hebben van interpreteerbare resultaten.

De Photovac-resultaten zijn niet meegenomen in de locatierapporten. De conclusies met betrekking tot NA per locatie zijn gebaseerd op de laboratoriumresultaten.

3.3 Redoxkarakterisering

De redox is gekarakteriseerd door in het grondwater chemische analyses te verrichten aan de voornaamste redoxkoppels (zie tabel 1). Ter aanvulling is overal de oxidatie-reductiepotentiaal (ORP) gemeten. Het blijkt dat alle locaties zich - op grond van deze metingen - globaal als ijzer-reducerend laten karakteriseren: nitraat en zuurstof zijn niet aantoonbaar, ijzer(II) en sulfaat zijn in het grondwater aanwezig, terwijl geen sulfide kon worden aangetoond. Alleen op de locatie Rotterdam was sulfaat vrijwel totaal verdwenen en is in een groot aantal peilbuizen een significante hoeveelheid methaan gevonden, wat wijst op het optreden van sterk gereduceerde omstandigheden waarbij methanogenese plaatsvindt. Deze tendensen worden eveneens weerspiegeld in de ORP-metingen. Toch voldoet deze meting alleen niet ter bepaling van de ORP. Als illustratie hiertoe kunnen de resultaten van de ORP-metingen op de locatie Arnhem dienen. Hier worden de hoogste waarden van de ORP gevonden in de peilbuizen die - gezien de macrochemische parameters - juist het sterkst gereduceerd zouden moeten zijn. Het probleem van de bepaling van de ORP met behulp van een elektrode in een doorstroomcel is dat deze erg gevoelig is voor het debiet tijdens de monsternamen en storing door gasbellen in het opgepompte water.

In zijn algemeenheid moet worden gesteld dat de betekenis van de redoxkarakterisering voor het beoordelen van het optreden van natuurlijke afbraak van PER nog verder moet worden uitgewerkt. Voor het feit dat in dit project de betekenis van de redoxomstandigheden nog niet geheel compleet is, zijn enkele oorzaken aan te wijzen. Allereerst is - uit kostenoverwegingen - alleen grondwater geanalyseerd, zodat ijzer(III) en mangaan(IV), die zijn opgeslagen in onoplosbare mineralen, derhalve nu niet zijn geanalyseerd. Ammonium, een gereduceerde vorm van stikstof, adsorbeert sterk aan de vaste fase en is derhalve ook niet geanalyseerd. Verder is recent de aandacht voor de rol van waterstof sterk toegenomen. Waterstof is een potentiële elektronendonor en zou vanuit dat oogpunt strikt genomen onder de brandstof moeten worden genoemd. Tegelijkertijd is waterstof partner in een redoxkoppel met organische zuren. Het komt vrij bij de fermentatie van organische zuren. In theorie is het mogelijk de ORP van het grondwater uit te rekenen als alle gegevens van de verschillende redoxkoppels bekend zijn. Door het ontbreken van de gegevens voor de vaste fase was dit hier niet mogelijk.

Ondanks het hierboven gestelde, bleek het toch mogelijk de gegevens van de analyses uit dit meetpakket te koppelen aan het optreden van volledige reductieve dechlorering van PER en TRI. De volgende factoren vormden een positieve indicatie ten aanzien van natuurlijke afbraak:

- verlaagd sulfaat in de kern en de pluim ten opzichte van onbelast grondwater in de omgeving;

- de aanwezigheid van significante hoeveelheden methaan (> 1 mg/l).

Deze factoren zijn als volgt gebruikt om de mogelijkheden van natuurlijke afbraak weer te geven in een 'redoxscore' (zie tabel 4):

- 1 is kansarm (sulfaat in pluim vergelijkbaar met omgeving en methaan < 1 mg/l);
- 2 is redelijk (sulfaat verlaagd t.o.v. omgeving en methaan < 1 mg/l);
- 3 is kansrijk (sulfaat verlaagd t.o.v. omgeving en methaan > 1 mg/l).

Tabel 4. Vergelijking redoxscore en NAP per locatie.

locatie	% NAP < 0,5	redoxscore
Arnhem	0 %	2 – 3
Nederhorst den Berg	0 %	2 – 3
Rotterdam	8 %	3
Valkenswaard	38 %	1
Montfoort	33 %	1
Heemstede	56 %	1 - 2 (2 in het ondiepe grondwater)

3.4 Brandstof

Bij reductieve dechlorering fungeren de chloorkoolwaterstoffen als elektronenacceptor bij de verbranding van organische koolstofverbindingen, zoals zuurstof onder aërobe omstandigheden als elektronenacceptor fungeert. Om deze reden was de bepaling van brandstof opgenomen in het meetpakket. Als parameters waren geselecteerd:

- *Biologisch zuurstofverbruik BZV*
In deze bepaling wordt in 5 dagen het biologisch zuurstofverbruik als gevolg van de aanwezigheid van onder andere organische koolstofverbindingen bepaald. BZV kan worden gebruikt als een maat voor snel mineraliseerbaar organisch koolstof. De BZV bleek een nietszeggende parameter te zijn. Achteraf is dit logisch: reductieve dechlorering is een traag proces dat alleen zonder zuurstof plaatsvindt, terwijl de test zich juist richt op de snelle verbranding van organisch koolstof met zuurstof.
- *Minerale olie*
Dit is bepaald omdat oliecomponenten bekend staan als goede elektronendonoren voor reductieve dechlorering. Minerale olie is op geen van de locaties aangetoond.
- *BTEX*
Ook benzeen, toluen, ethylbenzeen en de xylenen staan bekend als goede elektronendonoren. Ook van de BTEX-groep zijn nergens hoge gehalten aangetoond.
- *Opgelost organische koolstof DOC*
Deze parameter is later alsnog aan het analysepakket toegevoegd omdat de overige te weinig informatie opleverden. De resultaten wijzen erop dat gehalten boven de 5 mg/l nodig zijn voor reductieve dechlorering.

Voor het aangeven van de mogelijkheden van natuurlijke afbraak met betrekking tot de brandstof, is uitsluitend het gehalte DOC als criterium gehanteerd.

Net als de redoxscore is de 'brandstofscore' weergegeven met een 3-puntsschaal (zie tabel 5):

- 1 is DOC < 5 mg/l: NA is kansarm;
- 2 is DOC 5 - 10 mg/l: kans op NA is redelijk;
- 3 is DOC > 10 mg/l: NA is kansrijk.

Tabel 5. Vergelijking brandstofscore en NAP per locatie.

locatie	% NAP < 0,5	gemiddeld DOC (mg/l)	brandstofscore
Arnhem	0 %	12	3
Nederhorst den Berg	0 %	24	3
Rotterdam	8 %	17	3
Valkenswaard	38 %	6	2
Montfoort	33 %	8	2
Heemstede	56 %	7	2

3.5 Beweging van het grondwater

Voor de locatie Arnhem is een nadere modelberekening uitgevoerd. Doel van het modelleren is het toevoegen van fysische informatie omtrent het transportproces aan de gemeten data. Dit moet leiden tot:

- een betere interpretatie van de aanwezige gemeten concentraties;
- een ruimtelijke invulling van de pluim gebaseerd op het transportproces;
- het voorspellen van de ontwikkeling van de pluim in de tijd.

In wezen is het de bedoeling dat combinatie van data en fysica meer oplevert dan de som der delen. Dit houdt in dat beide op elkaar moeten worden afgestemd: een uitgebreid model heeft geen zin als er ook niet intensief is gemeten en andersom. Voor de locatie Arnhem is langs de as van de pluim (fictieve stroombaan) op 6 plaatsen gemeten en derhalve is ook het model één-dimensionaal opgesteld, waarbij het detail verticaal en loodrecht op de as van de pluim is weggelaten en de concentraties zijn geïntegreerd tot één waarde in de as van de pluim. Bij een dergelijke schematisatie van de werkelijkheid is het duidelijk dat het model lokaal alleen orde grootte waarden betrouwbaar weergeeft. Het moet meer gezien worden als een instrument dat het verloop van de massa, de verspreiding en de grootte van de pluim betrouwbaar beschrijft.

Overigens geldt ook voor de concentratiemetingen dat deze niet als absolute werkelijkheid moeten worden gezien waar het model niet vanaf mag wijken; de monsternamen en analyses zorgen niet alleen voor directe fouten, maar belangrijker is dat deze data zijn vergaard op een zeer lokale schaal waarbij heterogeniteiten of andere toevalsfactoren zorg dragen voor afwijkingen van de gemiddelde waarde op die afstand van de bron die in het model wordt berekend. Het is dus onjuist als wordt verwacht dat metingen een globaal patroon weergeven waaromheen contouren mogen worden getrokken of waarmee modelresultaten perfect moeten fitten. Ook hier gaat het meer om de globale kenmerken: orde grootte concentraties, wat is de verhouding tussen afbraakproducten (NAP) en verandert de pluim karakteristiek naarmate de afstand tot de bron toeneemt.

Vrijwel zonder uitzondering geldt in de praktijk dat er een minimale set gegevens beschikbaar is ter analyse van de situatie. Dit houdt in dat een situatie zoals is geschetst voor de locatie Arnhem vrij representatief is voor de praktijk en dat geen lokaal detail moet worden verwacht na analyse van de meetresultaten en dus ook niet van een eventuele modellering (en hier moeten dus ook geen middelen in worden geïnvesteerd om dit te bereiken!). Dit is ook geen probleem, omdat het veel meer van belang is wat de pluim grosso modo doet: was is de massa en groeit deze nog in de tijd, wat is de verplaatsing en grootte en is deze situatie stabiel, wat zijn te verwachten maximale concentraties van de diverse producten in de afbraakketen. Hierbij kan een model een zeer nuttig hulpmiddel zijn. De mate van effectiviteit van een modelberekening (kosten versus betrouwbare uitspraken) wordt positief beïnvloed als:

- de stroming duidelijk is vast te stellen of wordt opgelegd (beheerssituatie);
- er duidelijk sprake is van afbraakproducten (NA is kansrijk, NAP > 0,5);

- er effectief is gemeten in overeenstemming met het beoogde doel (geen clusters van metingen dicht bij de bron).

Wat betreft het laatste punt, de monitoringsinspanning, zou de effectiviteit in praktijksituaties enorm kunnen worden verbeterd als vóór enig onderzoek minimaal conceptueel rekening wordt gehouden met de geohydrologie (in wezen is dit al een model). Aanbeveling is om al in het vroegste stadium van een onderzoekscyclus op een locatie hiermee te beginnen en zo te komen tot een optimale beschrijving van de situatie gegeven een bepaald te besteden budget (of omgekeerd een minimaal budget gegeven een gewenst niveau van uitspraken over de vervuilingssituatie).

3.6 Conclusies

Op grond van de gegevens over de afbraakproducten kan een goede indruk van het optreden van reductieve dechlorering worden verkregen. Deze kan worden uitgedrukt in het NAP. Hiermee wordt de stand van zaken bij de natuurlijke afbraak gekwantificeerd. Bij een waarde kleiner dan 0,5 domineren de uitgangproducten over de afbraakproducten, bij een waarde groter dan 0,5 is dit omgekeerd. Het is noodzakelijk om bij het NAP ook steeds het aangetroffen eindproduct van de natuurlijk afbraak te noemen.

Naast het NAP zijn ook andere indicatoren van belang voor de beoordeling van de kansen van de NA op een locatie. In dit hoofdstuk werden daarvoor de redox- en brandstofscores geïntroduceerd. Daarnaast is ook de mate van grondwaterbeweging van belang. Tabel 6 vat de criteria samen aan de hand waarvan een vergelijking van de onderzochte locaties mogelijk is.

Tabel 6. Criteria voor de beoordeling van de kansen voor NA.

locatie	% NAP > 0,5	eindproduct	redoxscore ¹	brandstofscores ¹	horizontale grondwaterbeweging
Arnhem	100 %	etheen	2 - 3	3	ja
Nederhorst den Berg	100 %	etheen	2 - 3	3	nee
Rotterdam	92 %	etheen	3	3	nee
Valkenswaard	62 %	CIS	1	2	ja
Montfoort	67 %	VC	1 - 2	2	ja
Heemstede	44 %	VC	1 - 2	2	nee

- ¹
- 1 NA is kansarm;
 - 2 NA is redelijk;
 - 3 NA is kansrijk.

Het NAP alleen geeft geen houvast voor het voorspellen van de voortgang van het afbraakproces op de langere termijn. Hiervoor is een indruk van de totale hoeveelheid brandstof en de redoxtoestand van de ondergrond een absolute must. In feite is het nodig de buffercapaciteit van de ondergrond ten aanzien van de onttrekking van elektronen door het proces van reductieve dechlorering te kunnen schatten. Het is daarbij wellicht gemakkelijker het onderscheid tussen brandstof en redoxkarakterisering, dat in deze rapportage is gemaakt, te laten vallen. In feite is de analyse van de elektronendonoren (brandstof) onderdeel van de redoxkarakterisering.

Tabel 7 geeft een overzicht van de elektronenacceptoren en -donoren die voor een goede karakterisering van de redoxbuffercapaciteit zouden moeten worden geanalyseerd. Tevens is aangegeven of de componenten in het huidige project zijn bepaald en of deze in opgeloste toestand in het grondwater voorkomen of juist gebonden zijn aan de vaste fase.

Tabel 7. Voorgesteld meetpakket voor redoxkarakterisering en brandstof.

E-acceptor	fase	E-donor	fase
zuurstof (+) nitraat, nitriet (+) mangaan(IV) (-) ijzer(III) (-) sulfaat (+) carbonaten (-) organisch koolstof (+/-) incl. afbraakproducten waterstof (-)	grondwater grondwater grond grond grondwater grond/grondwater grond/grondwater grondwater	ammonium (-) mangaan(II) (+/-) ijzer(II) (+/-) sulfide (+/-) methaan (+) carbonaten (-) organisch koolstof (+/-) incl. afbraakproducten (+)	grond grondwater/grond grondwater/grond grondwater/grond grondwater grond/grondwater grond/grondwater

- + : geanalyseerd in het huidige project;
 - : niet geanalyseerd in het huidige project;
 +/- : alleen in grondwater bepaald.

EXTENSIEVE OPLOSSINGSRICHTINGEN OP BASIS VAN NA

Op basis van de resultaten van dit project zijn voor elke locatie de kansen voor een succesvolle toepassing van NA bepaald. Op basis hiervan zijn mogelijke oplossingsrichtingen aangegeven. Daarbij is steeds uitgegaan van het toepassen van NA, mogelijk in combinatie met een stimulering van het natuurlijke afbraakproces (gestimuleerde NA-variant). Deze werkwijze is meestal ook als een sequentie voorgesteld: begin met een intensieve monitoring voor het bevestigen van het optreden van NA en pas daarna - mede aan de hand van de nieuw verkregen informatie - een gestimuleerde NA-variant toe. In dit hoofdstuk worden de voorgestelde NA- en gestimuleerde NA-varianten kort toegelicht.

4.1 NA-variant

In dit project is de toepassing van NA als oplossingsrichting altijd de eerste optie geweest die is bekeken. Het argument daarvoor was zeer pragmatisch van aard: de impasse voor de betrokken locaties is veroorzaakt door de - te hoge - kosten die gemoeid waren met de klassieke MF- en IBC-varianten. Er is daarom primair gekeken naar de potentieel goedkoopste variant, NA, en pas in tweede instantie naar een uitbreiding daarvan (de gestimuleerde NA-varianten, zie 4.2).

Het kritische punt voor het toepassen van NA als oplossingsrichting is de wijze van monitoren van het afbraakproces. Daarbij zijn twee criteria gehanteerd:

1. het aantonen van het uitblijven van verdere verspreiding;
2. het verifiëren van het in situ afbraakproces.

Het uitblijven van verspreiding kan worden geverifieerd door in het onbelaste grondwater in de omgeving van de verontreinigingsvlek één of meer peilbuizen regelmatig te bemonsteren. Uiteraard moet de locatie van deze buizen worden gekozen afhankelijk van de te verwachten verspreidingsrichting.

Het verifiëren van het afbraakproces vindt plaats door middel van het analyseren van grondwater uit één of meer peilbuizen binnen de contouren van de verontreiniging.

Een betrouwbaar beeld van het afbraakproces en de mogelijke verspreiding kan worden gegeneerd door middel van een frequente bemonstering in de eerste paar jaar. Een kwartaal-bemonstering in de eerste twee jaar leidt tot een achttal meetpunten voor elke peilbuis. Op deze manier kan het vertrouwen in de gevonden gehalten worden vergroot en kunnen tegelijkertijd mogelijke tendensen in het concentratieverloop worden onderkend.

In situaties waarin een onttrekking wordt toegepast (bijvoorbeeld in het kader van een IBC-variant, zoals op de locatie Montfoort), is het intensief volgen van het proces in de eerste jaren in ieder geval van groot belang. Het is van tevoren zeer moeilijk precies te voorspellen hoe de verontreiniging zich zal gaan verspreiden en bij welke verspreidingsafstand een stabilisering door natuurlijke afbraak gaat optreden. Op dergelijke locaties is vermoedelijk een langere periode van intensieve bemonstering noodzakelijk.

Aan de hand van de resultaten van de eerste periode van bemonstering kan worden besloten hoe er verder met de verontreiniging wordt omgegaan. Voor 3 van de 6 locaties - Arnhem, Nederhorst den Berg, Rotterdam - wordt geanticipeerd dat NA volstaat en dat verdere stimulering van het afbraakproces niet noodzakelijk is. Voor andere locaties is de verwachting dat een vorm van stimulering van het afbraakproces mogelijk noodzakelijk is. Bij de toepassing van

natuurlijke afbraak moet van tevoren worden nagedacht over de aanpak van de verontreiniging wanneer deze zich toch sterker verspreidt dan voorspeld. Een voor de hand liggende mogelijkheid is om in dat geval over te schakelen naar varianten die direct op het natuurlijk afbraakproces aansluiten.

4.2 Gestimuleerde NA-varianten

4.2.1 *Gestimuleerde natuurlijke afbraak*

In deze variant wordt het natuurlijke afbraakproces gestimuleerd, zo goed mogelijk aansluitend bij de heersende condities op de locatie.

Op locaties waar bodem en grondwater sterk gereduceerd zijn en reeds reductieve dechlorering is waargenomen, ligt het voor de hand het proces van reductieve dechlorering te bevorderen door het toevoegen van extra elektronendonor (brandstof, zoals bijvoorbeeld compostextract of methanol). Hierbij kan gedacht worden aan:

- minimale onttrekking met herinfiltratie van het opgepompte grondwater na menging met brandstof, waardoor de toegevoegde elektronendonor goed verspreid wordt over de verontreiniging;
- inbrengen van zones verrijkt met compost (bij infiltratie of kwel, zie bijvoorbeeld locatie Heemstede).

Op locaties waar bodem en grondwater meer geoxideerd zijn, wordt voorgesteld om de natuurlijke afbraak te stimuleren in twee stappen. In een eerste stap wordt de reductieve dechlorering zodanig bevorderd, dat alle PER in lager gechlorideerde producten is omgezet (PER kan niet aëroob worden afgebroken). In een tweede - aërobe - stap kunnen de lager gechlorideerde afbraakproducten vervolgens worden geoxideerd. De zones waarin de natuurlijke afbraakprocessen worden gestimuleerd, worden weer zoveel mogelijk in aansluiting op de heersende condities gekozen:

- anaërobe dechlorering wordt gestimuleerd in de kern, die vaak al sterk gereduceerd is;
- verder van de kern van de verontreiniging, waar de omstandigheden meer oxiderend zijn, wordt aërobe oxidatie gestimuleerd.

4.2.2 *Natuurlijke afbraak in combinatie met een bioscherm*

In deze variant wordt gebruik gemaakt van natuurlijke afbraak in het centrum van de verontreiniging, terwijl op afstand van de kern een bioscherm wordt geplaatst om verdere verspreiding van de verontreiniging te voorkomen. Deze variant wordt momenteel als pilot op de locatie Rade Markt in Groningen toegepast. Het proces dat in het bioscherm wordt gestimuleerd, wordt ook hier weer zoveel mogelijk in aansluiting op de heersende condities gekozen. Dat wil zeggen: stimuleren van reductieve dechlorering in sterk gereduceerd grondwater en stimuleren van aërobe oxidatie in meer geoxideerde zones.

Soms is het nodig om naast (of in plaats van) het bioscherm ook het afbraakproces in de kern van de verontreiniging te stimuleren, zodat er minder verontreiniging van de kern naar de omgeving verspreid. Het doel van deze aanpak is de verspreiding vanuit de kern zodanig te beperken, dat het natuurlijk afbraakproces de pluim zoveel mogelijk stabiliseert. Deze aanpak is met name geschikt voor pluimen die sterk uitwaaien of wanneer de pluim een grote afstand moet afleggen voordat een eventueel te plaatsen bioscherm kan worden bereikt. Deze laatste situatie doet zich voor op het terrein van Akzo Nobel in de Botlek, waar dit concept verder wordt ontwikkeld en getest.

Een variant op de aanpak met plaatsing van een bioscherm wordt voorgesteld voor de locatie Valkenswaard, waar de rivier de Dommel op een afstand van 80 m van de verontreiniging een natuurlijk bioscherm vormt.

4.2.3 *Natuurlijke afbraak in combinatie met een lichte onttrekking*

In het NOBIS-project RESTRISK is gebleken dat verontreinigingen het meest kosteneffectief kunnen worden verwijderd door middel van een geohydrologische onttrekking wanneer met een zo laag mogelijk debiet wordt onttrokken. De gevolgen van het onttrekken met een laag debiet zijn dat:

1. de opgeloste concentraties van de verontreiniging hoger zijn dan bij onttrekkingen met een hoog debiet;
2. de verblijftijd van de opgeloste verontreiniging in de bodem aanzienlijk langer is dan bij onttrekkingen met een hoog debiet.

Hiervan kan gebruik worden gemaakt wanneer onttrekking wordt toegepast als methode om de natuurlijke afbraak in de ondergrond te stimuleren. Door de langere verblijftijd heeft het proces van natuurlijke afbraak meer kans om de concentratie te verlagen; door de hogere opgeloste concentraties is de afbraaksnelheid hoger dan bij een hoog onttrekkingsdebiet. In het huidige project is geconstateerd dat op zeer veel locaties reeds natuurlijke afbraak optreedt, zij het soms met relatief lage snelheid. Bij een lichte onttrekking leidt de synergistische werking van de hogere opgeloste concentraties en de langere verblijftijd tot een aanzienlijke verhoging van de bijdrage van natuurlijke afbraakprocessen aan de verwijdering van de verontreiniging.

4.3 **Combinatie met conventionele technieken**

Bij een gedifferentieerde aanpak van verontreinigde locaties zullen de hierboven genoemde NA-en gestimuleerde NA-varianten vaak in combinatie worden toegepast met meer conventionele technieken, bijvoorbeeld een intensieve techniek ter verwijdering van 'hot spots' (ontgraven). Daarnaast zullen bij het toepassen van een NA-variant soms aanvullende preventieve maatregelen noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld het aanbrengen van gasdichte vloeren of het toepassen van bodemluchtexttractie.

HOOFDSTUK 5

CONCLUSIES

De centrale doelstelling van dit project was het doorbreken van de impasse in de voortgang van de bodemsanering door middel van de toepassing van intrinsieke biodegradatie en bioreactieve schermen. Daarbij is een zestal locaties geselecteerd waar om uiteenlopende redenen sprake was van een impasse bij de aanpak van de bodemverontreiniging. De gevolgde aanpak omvatte - per locatie - een historische analyse, een additionele meetcampagne om een betere indruk van het proces van natuurlijke afbraak te verkrijgen en een uitwerking van oplossingsrichtingen gebaseerd op natuurlijke afbraak in de vorm van een NA-variant en gestimuleerde NA-varianten. Dit laatste is een uitbreiding op de oorspronkelijke gedachte, die uitging van toepassing van NA in combinatie met een bioreactief scherm.

In dit project is naar voren gekomen dat NA al verrassend veel doet. Voor een goed inzicht in NA is het wel nodig dat meer inspanning wordt verricht bij de karakterisering van de verontreiniging. Het zou er niet alleen om moeten gaan de verontreiniging in de ruimte in te perken. Een onderzoek zou zich - afgezien van de bepaling van de risico's - direct al moeten richten op het gedrag van de verontreiniging op de locatie: welke processen beïnvloeden de verspreiding (grondwaterbeweging, afbraak, sorptie e.d.)? Op basis van een op deze wijze uitgevoerde karakterisering kan vervolgens worden gezocht naar oplossingsrichtingen, bij voorkeur in aansluiting op de reeds van nature optredende afbraakprocessen. *Het vaststellen van NA is daarmee de eerste stap in de karakterisering van bodemverontreiniging.* Het resultaat van deze karakterisering kan vervolgens verder worden gebruikt in de ontwikkeling van varianten, waarbij het oplossingspectrum kan variëren van NA via een gestimuleerde NA-variant tot de klassieke IBC- en MF-varianten. Idealiter wordt bij de vaststelling van NA dus een loper neergelegd die mettertijd steeds verder kan worden afgerold. De richting, waarin de loper wordt afgerold, wordt mede bepaald door de richting die bij de vaststelling van NA is gegeven.

De extra kosten voor het vaststellen van NA op een locatie waar een verontreiniging reeds in kaart is gebracht, bedragen circa kf 5,-. Daarbij is aangenomen dat bestaande peilbuizen kunnen worden gebruikt en dat in feite alleen aanvullende analyses moeten worden uitgevoerd, gevolgd door een korte interpretatie. Voor een eerste inschatting van de kansen van NA lijkt dit, gezien de resultaten van dit project, een gerechtvaardigde investering.

Wat zijn nu de voordelen van een dergelijke aanpak? Het onderzoek wordt meer systematisch. Doordat er bij het onderzoek sprake is van een *procesgerichte aanpak* in plaats van een toestandsbepaling, wordt de aanpak doelgerichter. De vraag welke processen zich in de ondergrond afspelen, dwingt ertoe tijdreeksen op vooraf gekozen punten te bepalen. In feite ben je gedwongen een begin te maken met het monitoren van de verontreiniging. Het wel of niet optreden van verspreiding kan zo al na redelijk korte tijd gefundeerd worden beoordeeld. Een procesgerichte aanpak leidt er ook toe dat je je niet meer beperkt tot het in kaart brengen van de verontreiniging zelf. Je bent nu ook geïnteresseerd in parameters die het afbraakproces kunnen helpen, bijvoorbeeld de brandstof, of parameters die op gunstige omstandigheden voor het afbraakproces wijzen, bijvoorbeeld de aanwezigheid van methaan.

Voor de in dit project onderzochte locaties is gekozen voor een aanpak zoals hierboven is geschetst. Omdat voor iedere locatie op de een of andere wijze een impasse bestond voor aanvang van het project, zal het geen verwondering wekken dat er doorgaans nog geen eindoplossing kon worden aangedragen. Zo is er momenteel bij de locatie Montfoort in de provincie Utrecht sprake van een sanering door middel van onttrekking. De impasse bestaat erin dat men heeft gemerkt dat deze sanering veel meer tijd vergt dan oorspronkelijk gedacht. Daarmee vormt

de sanering een permanente belasting van het jaarlijkse budget. Voor het vaststellen van NA moest in wezen weer van voren af aan worden begonnen met het onderzoek. Het oorspronkelijke onderzoek en ook de monitoring waren immers niet gericht op het leveren van bewijs voor natuurlijke afbraak, maar op het vaststellen respectievelijk volgen van de verontreiniging zelf. In het rapport over de locatie Montfoort worden dan ook aanbevelingen voor een mogelijke aanpak bij een extensivering van de sanering gericht op het gebruik maken van de natuurlijke afbraak die ook op deze locatie kon worden aangetoond.

Een ander uiterste vormt de locatie Arnhem. Hier werd op basis van de historische analyse reeds verondersteld dat NA een rol zou kunnen spelen. Dit werd in het onderzoek bevestigd en hier kan van meet af aan worden gekozen voor een aanpak waarbij NA een prominente rol speelt.

De overige locaties nemen een soort tussenpositie in. Toch kan overal worden gesteld dat NA in een of andere vorm een rol speelt en hiervan kan in een verdere uitwerking van oplossingsrichtingen gebruik worden gemaakt. Wat wellicht tegenvalt, is dat in het algemeen nog geen concrete saneringsplannen konden worden opgesteld. Dit is echter niet erg wanneer de gedachte wordt geaccepteerd dat men bij toepassing van NA een proces ingaat waarbij geleidelijk aan een oplossing voor bodemverontreiniging wordt gevonden tegen geringe kosten en een geringe belasting van het milieu als gevolg van de sanering. Maar, het zij gezegd, het wettelijk kader is op een dergelijke aanpak natuurlijk nog niet toegesneden. Daarom zal in een vervolg van dit project voor iedere locatie een nadere uitwerking worden gemaakt, met inbegrip van afspraken tussen de probleemeigenaren en het bevoegd gezag ten aanzien van het verdere traject.

BIJLAGE A

GEBRUIKTE AFKORTINGEN

BTEX	benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylene
BZV	biologisch zuurstofverbruik (5 dagen)
CIS	cis-dichlooretheen
DOC	opgelost organisch koolstof
ORP	oxidatie-reductiepotentiaal
PER	tetrachlooretheen
TRANS	trans-dichlooretheen
TRI	trichlooretheen
VC	vinylchloride

BIJLAGE B

RESULTATEN PHOTOVAC VERSUS LABORATORIUMANALYSES

Locatie Nederhorst den Berg

stof	N1	N2	N3	N4	N5	100/1	100/2	100/4	100/5
PER	140 420	0,18 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	8.800 20.000	150.000 64.000	180.000 70.000	220.000 62.000
TRI	< 50 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	0,21 < 0,5	550 550	9.200 5.900	14.000 7.800	13.000 6.500
CIS	93.000 27.600	19 18	1,7 < 0,5	< 0,10 < 0,5	85 44	14 7,7	< 50 18	86 37	63 36
Trans	< 50 60	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	4,6 3,5	< 0,10 < 0,5	< 50 < 0,5	< 50 < 0,5	< 50 < 0,5
VC	24.000 36.000	13 < 5,0	82 27	< 0,10 < 5,0	28 22	< 0,10 < 5,0	< 50 < 5,0	< 50 < 5,0	< 50 < 5,0
etheen	7.200 4.700	74 35	100 84	1,5 312	61 43	< 0,10 < 5,0	< 1,0 < 5,0	1,7 < 5,0	1,3 < 5,0

Locatie Valkenswaard

stof	N1	N2	N3	N4
PER	0,46 < 0,5	2.900 4.400	8.800 19.000	2,3 < 0,5
TRI	0,11 < 0,5	44 47	4.100 4.100	0,28 < 0,5
CIS	< 0,10 < 0,5	3,7 < 0,5	420 260	< 0,10 < 0,5
Trans	< 0,10 < 0,5	< 1,0 < 0,5	2,6 < 0,5	< 0,10 < 0,5
VC	< 0,10 < 5,0	1,1 < 5,0	< 1,0 < 5,0	< 0,10 < 5,0
etheen	< 1,0 < 5,0	< 1,0 < 5,0	< 1,0 < 5,0	< 1,0 < 5,0

eerste getal laboratoriumanalyse
tweede getal Photovac-analyse

Locatie Heemstede

stof	GD8	GD12	GD38 (8 m)	GD38 (15 m)	B (8 m)	B (15 m)	300	301	302
PER	0,11 < 0,5	64 45,4	2.600 4.225	22.000 31.065	2.800 5.478	2,3 < 0,5	2.400 1.554	96 102	0,74 < 0,5
TRI	< 0,10 < 0,5	2,1 < 0,5	110 71,6	8.000 5.324	900 805	1,5 < 0,5	4,7 1,6	15 6,3	0,24 < 0,5
CIS	< 0,10 < 0,5	0,27 < 0,5	30 8,4	4.200 3.870	10.000 7.268	1.600 1.439	1,0 < 0,5	120 86	< 0,10 < 0,5
Trans	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	8,5 5,8	3.900 5.325	560 1.163	79 86	< 0,10 < 0,5	4,2 3,6	< 0,10 < 0,5
VC	< 0,10 < 5,0	< 0,10 < 5,0	1,5 < 5,0	220 210	460 514	260 342	< 0,10 < 5,0	0,14 < 5,0	< 0,10 < 5,0
etheen	< 1,0 < 5,0	< 1,0 < 5,0	< 1,0 < 5,0	1,5 < 5,0	< 1,0 < 5,0	12 < 5,0	< 1,0 < 5,0	< 1,0 < 5,0	< 1,0 < 5,0

Locatie Arnhem

stof	N1	N2	N3
PER	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5
TRI	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5
CIS	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	0,29 8,5
Trans	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 2,9
VC	3,7 < 5,0	< 0,10 < 5,0	4,5 8,9
etheen	< 1,0 99	< 1,0 < 5,0	< 1,0 4,8

eerste getal laboratoriumanalyse
tweede getal Photovac-analyse

Locatie Montfoort

stof	D2 (46 m)	D2 (63 m)	D6	19	35
PER	< 0,1 < 0,5	< 0,1 < 0,5	< 0,1 < 0,5	< 0,10 < 0,5	14 15
TRI	< 0,1 < 0,5	< 0,1 < 0,5	< 0,1 < 0,5	< 0,10 < 0,5	7,0 3,5
CIS	< 0,1 < 0,5	0,91 < 0,5	0,17 < 0,5	1,0 < 0,5	1,9 < 0,5
Trans	< 0,1 < 0,5	< 0,1 < 0,5	< 0,1 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5
VC	< 0,1 < 5,0	20 < 5,0	< 0,1 < 5,0	0,40 < 5,0	< 0,10 < 5,0
etheen	< 0,1 n.g.	< 1,0 n.g.	< 1,0 n.g.	< 1,0 n.g.	< 1,0 n.g.

stof	41	50	53	56	69
PER	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	1,9 < 0,5	< 0,10 < 0,5
TRI	0,11 < 0,5	< 0,10 < 0,5	0,22 < 0,5	5,7 3,5	0,10 < 0,5
CIS	16 3,9	6,1 2,0	4,2 5,4	7,2 1,9	15 10
Trans	0,50 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	0,14 < 0,5	0,22 < 0,5
VC	79 185	9,9 114	0,5 < 5,0	0,26 < 5,0	4,3 < 5,0
etheen	< 1,0 n.g.	7,9 n.g.	< 1,0 n.g.	< 1,0 n.g.	< 1,0 n.g.

n.g. niet gemeten
eerste getal laboratoriumanalyse
tweede getal Photovac-analyse

Locatie Rotterdam

stof	101 (3 - 4)	101 (7 - 8)	102	105	107	109 (2 - 3)	112 (2 - 3)
PER	1.700 6.418	81.000 49.000	8,1 < 0,5	< 0,10 < 0,5	1,8 < 0,5	72.000 > 19.963	< 0,10 < 0,5
TRI	780 1.891	4.900 5.940	0,69 < 0,5	< 0,10 < 0,5	0,94 < 0,5	20.000 > 8.424	< 0,10 < 0,5
CIS	32.000 42.000	33.000 30.170	2,3 < 0,5	< 0,10 0,9	1,4 < 0,5	62.000 > 43.000	2,5 < 0,5
Trans	77 117	63 129	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	100 102	< 0,10 < 0,5
VC	19.000 49.000	740 215 ¹⁾	1,1 1.382 ¹⁾	3,2 < 5,0	0,56 729 ¹⁾	10.000 > 15.000	170 454 ¹⁾
etheen	1.600 n.g.	22	160	17 n.g.	2,6	550 n.g.	160

stof	112 (7 - 8)	113 (2 - 3)	114 (7 - 8)	122	123	T3
PER	87 60	22 18	0,12 < 0,5	< 0,10 < 0,5	2,3 < 0,5	4,1 23
TRI	0,25 < 0,5	4,3 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	0,28 < 0,5	0,93 < 0,5
CIS	0,33 < 0,5	1.900 1.830	0,23 < 0,5	0,48 < 0,5	210 222	15.000 11.410
Trans	< 0,10 < 0,5	0,67 < 0,5	< 0,10 < 0,5	< 0,10 < 0,5	0,59 < 0,5	18 20
VC	6,2 220 ¹⁾	2.400 2.711	< 0,10 513 ¹⁾	0,28 < 0,5	390 2711	22.000 > 29.000
etheen	14	2.200 n.g.	< 1,0	31 n.g.	340 n.g.	2.000 n.g.

¹⁾ som van vinylchloride en etheen, matrixstoring

n.g. niet gemeten

eerste getal laboratoriumanalyse

tweede getal Photovac-analyse

BIJLAGE C

DEELACTIVITEITEN FASE 2 EN 3

Fase 2 was opgesplitst in de volgende deelactiviteiten:

b) Nadere karakterisatie geochemie en verontreinigingssituatie

Uit bestaande en extra te plaatsen grondwaterfilters (totaal ca. 10 tot 15 per locatie) zijn grondwatermonsters genomen voor macrochemie-analyse. Hieruit is de redoxzonering duidelijk geworden. Ook de concentraties aan CKW en afbraakproducten zijn bepaald. Voor de locatie Arnhem is langs één stroomlijn bemonsterd.

De wijze van monsternamen en overig veldwerk is vooraf met alle uitvoerders in het consortium besproken. Het veldwerk van EMN werd begeleid door TNO-MEP en IWACO.

Het veldwerk is gefaseerd uitgevoerd: eerst op de locaties in Valkenswaard en Nederhorst den Berg, en pas in tweede instantie op de overige locaties. De analyses zijn uitgevoerd door IWACO.

De verkregen data zijn verwerkt in figuren en tabellen, waarbij de concentraties afbraakproducten worden weergegeven, alsmede de macrochemie.

c) Vaststelling intrinsieke dechlorering

De mate van natuurlijke afbraak van CKW's kan op verschillende abstractieniveaus worden getoetst, namelijk:

1. Een historische analyse: op basis van grondwater/sedimentgehalten door de jaren heen gemeten kan in sommige gevallen een afname aan uitgangsstoffen (PER/TRI) en mogelijke een toename of afname aan afbraakproducten worden vastgesteld.
2. Een kwalitatieve analyse: op basis van in het grondwater gemeten concentraties van uitgangsstoffen en afbraakproducten (o.a. vinylchloride, etheen) gecombineerd met macrochemische gegevens kan worden aangetoond welke processen wel of niet optreden.
3. Concentratiegradiënt-stroombaananalyse: langs een stroombaan wordt de concentratie van CKW's en afbraakproducten gemeten, en uit de afhankelijkheid van de concentratie van CKW of product met de afstand kan een eerste orde afbraak of productiecoëfficiënt worden geschat. Voorwaarde voor het gebruik van deze methode is dat over het gemeten traject voldoende uniforme condities (macrochemie, permeabiliteit, hydraulische gradiënt, concentraties van andere componenten) heersen, dat de stroombaan (en dus de hydrogeologische situatie) goed gedefinieerd is en dat de verblijftijden van het grondwater overeenstemmen met de snelheid van de verschillende (bio)degradatieprocessen.
4. Massabalans/geohydrologisch-reactief transportmodellering: op basis van een uitgebreide data-set met betrekking tot stijghoogte, permeabiliteit, geochemie, concentraties van CKW en producten kunnen in principe de snelheden van de intrinsieke biologische reacties worden bepaald, gebruikmakend van een multi-component reactief-transportmodel.
5. Laboratoriumexperimenten (kolommen) en in situ metingen. Op basis van dit type experimenten kunnen de snelheden van de intrinsieke biologische reacties worden bepaald, welke vervolgens weer als input voor reactief-transportmodellen kunnen worden gebruikt.

In dit project is de natuurlijke afbraak van PER, TRI en afbraakproducten (dichloorethenen, vinylchloride, etheen, ethaan) en de relatering daarvan aan de macrochemie (redoxzonering) van het grondwater vastgesteld door middel van methode 1 en 2 voor alle locaties, en door middel van methode 3 voor de locatie Arnhem.

Daarbij werden de volgende analysepakketten gehanteerd:

afbraakproducten	redoxkarakterisering	brandstof
PER TRI cis-/trans-DCE VC etheen/ethaan	zuurstof nitraat/nitriet Fe(II)/Fe(III) Mn(II)/Mn(IV) sulfaat/sulfide methaan	BZV minerale olie BTEX DOC

Geen van de locaties leent zich voorlopig voor het toepassen van methode 4. De toetsing via methode 5 valt buiten de scope van dit project.

d) Risicobepaling op basis van het optreden van intrinsieke dechlorering

Dit onderdeel heeft tot doel om de risico's van een CKW-verontreiniging op een alternatieve manier te benaderen:

Met de verkregen informatie met betrekking tot de intrinsieke dechlorering wordt het verspreidingsrisico per locatie opnieuw kwalitatief beoordeeld. Daarbij is het niet de bedoeling om berekeningen uit te voeren volgens de bestaande risico-evaluatiemethodiek, maar om een kwalitatieve inschatting te maken van de huidige en toekomstige verspreidingsrisico's van de verontreiniging.

Daarnaast wordt een vrachtberekening gemaakt, waarbij de omvang van de maximaal oorspronkelijke verontreiniging wordt ingeschat (op basis van verbruik per jaar, procestechnologie en evt. calamiteiten, door TNO-RT) en de omvang van de huidige aanwezige verontreiniging (door IWACO).

Voor de locaties in Valkenswaard en Nederhorst den Berg wordt, wanneer VC wordt aangetroffen in het freatisch grondwater, bovendien aanvullend onderzoek gedaan naar de VC-concentraties in kruipruimten en binnenlucht van de twee betreffende woningen.

Op basis van dit onderdeel zal in onderdeel e worden vastgesteld waar aanvullende stimulering van intrinsieke afbraak en/of plaatsing van bioschermen nodig is.

e) Nadere definiëring van noodzakelijke aanvullende maatregelen

De noodzaak en de mogelijkheden om biodegradatie te stimuleren in geactiveerde zones zullen worden geïnterpreteerd. Ook zal de noodzaak van andere maatregelen, zoals de verwijdering (intensieve in situ behandeling, ontgraven, enz.) of isolatie van verontreinigingshaarden, worden bekeken. Voor met name stimulatie van biodegradatie (bioreactieve schermen e.d.) zullen aspecten als kosten en toepasbaarheid (direct of na een ontwikkeltraject met een bepaalde duur en bepaalde ontwikkelingskosten) worden geëvalueerd.

Voor de locatie in Nederhorst den Berg worden de onderdelen c t/m e versneld uitgevoerd en wordt al in een eerder stadium een concept 'Plan van Aanpak' opgesteld. Dit concept wordt vervolgens besproken in de klankbordgroep.

Ter afsluiting van fase 2 wordt per locatie een korte samenvatting gegeven van de bevindingen en wordt het concept 'Plan van Aanpak' aangeleverd voor de locatie Nederhorst den Berg. Daarnaast wordt de samenhang in de bevindingen op de 6 locaties beschreven.

Fase 3 is opgesplitst in de volgende activiteiten:

f) Plannen van aanpak

Op basis van alle vergaarde gegevens in fase 1 en 2 wordt een plan van aanpak voor iedere in dit project betrokken locatie opgesteld. Het plan van aanpak kan als een basis dienen om met het bevoegde gezag tot overeenstemming te komen over de aanpak van de verontreinigings-situatie op betreffende locaties, zo mogelijk gebruikmakend van natuurlijke dechlorerings-processen, eventueel aangevuld met toepassing van bioreactieve schermen en eventueel andere maatregelen. Uitgangspunten blijven natuurlijk:

- een betaalbare sanerings/beheersingsvariant;
- een milieuhygiënisch verantwoorde sanerings/beheersingsvariant;
- zo mogelijk, bij besluit tot uitvoering van het plan van aanpak, zicht op opheffing van de beperkingen die op de betreffende locaties op dit moment rusten, met als voorwaarde gebleken effectiviteit van die aanpak.

g) Eindrapportage

In de eindrapportage worden de algemene bevindingen en conclusies van de onderdelen a t/m f gerapporteerd.

BIJLAGE D

SAMENSTELLING KLANKBORDGROEP

John v.d. Linden	Neproma
Robert van Houten	Newasco van Houten
Ralf Zonneveld	Provincie Noord-Holland
Michiel Pluim	Provincie Utrecht
Jos Corten	Gemeentewerken Rotterdam
Jos Verheul	NOBIS
Tom Bosma	TNO-MEP
Herco van Liere	TNO-MEP
Chris te Stroet	TNO-NITG
Tobias Praamstra	IWACO
Liesbeth Schipper	IWACO
Paul Leyten	EMN
Leo Hamerlinck	EMN
Hans v.d Berg	TNO-RT
Ben Schippers	TNO-RT