

**Vluchtige organische chloorverbindingen in de bodem
saneringspraktijk en onderzoeksbehoefte**

L. Schipper, I. Canter Cremers en R.F. Kroes

RAPPORTEN PROGRAMMA GEÏNTEGREERD BODEMONDERZOEK

DEEL 7

Gegevens: Vluchtige organische chloorverbindingen in de bodem - Saneringspraktijk en onderzoeksbehoefte/L. Schipper, I. Canter Cremers en R.F. Kroes - Wageningen: Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek; deel 7); 51 p., 5 bijl., E. summ.; ISBN 90-73270-18-9.

Trefw.: bodemonderzoek, bodemverontreiniging, chloorkoolwaterstoffen, VOCL.

Verantwoording:

Deze verkennende studie is uitgevoerd in het kader van het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek met het doel de huidige stand van zaken met betrekking tot de sanering van bodemverontreinigingen van vluchtige chloorkoolwaterstoffen (VOCL) samen te vatten, knelpunten te signaleren en de onderzoeksbehoefte aan te geven. Het belang daarvan vloeit voort uit de behoefte om te komen tot een efficiëntere en effectievere aanpak van dit type bodemverontreiniging, die kan leiden tot kostenbesparing. De studie past in het streven naar beleidsvernieuwing, dat gestalte krijgt in het beleidsvernieuwings-initiatief BEVER.

Het rapport is de uitwerking van een reeks interviews en een workshop met deskundigen van adviesbureaus, onderzoeksinstituten, provincies, en uit het bedrijfsleven. De studie gaat in op de technische, beleidsmatige en wetenschappelijke knelpunten, die worden ondervonden in de huidige praktijk van de sanering van terreinen, die zijn verontreinigd met vluchtige chloorkoolwaterstoffen en aanbevelingen voor onderzoek om deze knelpunten op te lossen.

Het rapport is verkrijgbaar bij het Programmabureau Bodemonderzoek in Wageningen à f 40,--.

Dankwoord:

De leiding van het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek is veel dank verschuldigd aan prof. dr. W.H. Rulkens (LUW) en ir. Th. Edelman (provincie Gelderland) voor de begeleiding van het project namens de Programmacommissie Geïntegreerd Bodemonderzoek en voor hun ondersteuning bij de organisatie van de workshop in het kader van het project. Voorts gaat uitdrukkelijke dank uit naar al diegenen die hebben geparticipeerd in het project, voor het belangeloos beschikbaar stellen van hun deskundigheid via de interviews en deelname aan de workshop en het daarmee gemoeide tijdsbeslag. De uitvoering was in goede handen bij de beide projectuitvoerders mevrouw ir. L. Schipper en mevrouw drs. I. Canter Cremers, IWACO B.V.

Projectuitvoering:

IWACO B.V. Vestiging West; projectleiding: mevrouw ir. L. Schipper en mevrouw drs. I. Canter Cremers; mede-auteur: mevrouw drs. R.F. Kroes; adres Hoofdweg 490, Postbus 8520, 3009 AM Rotterdam; telefoon: 010 - 2865432; telefax: 010 - 2200025; rapportnummer 1058770.

© 1996. Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek. Postbus 37, NL-6700 AA Wageningen; telefoon 0317 - 484170; telefax: 0317 - 485051.

Tekstverwerking : Annemiek Friskes-van der Aa
Omslag : Ernst van Cleef
Druk : Grafisch Service Centrum Van Gils B.V., Wageningen

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
SAMENVATTING	
SUMMARY	
1. INLEIDING	1
1.1 Doelstellingen en eindresultaten	1
1.2 Opzet van het onderzoek	2
1.3 Opbouw van dit rapport	3
2. EIGENSCHAPPEN, VERSPREIDINGSGEDRAG EN OMZETTINGEN VAN VOCL-VERONTREINIGINGEN	4
2.1 Fysische en chemische eigenschappen van VOCL	4
2.2 Het verspreidingsgedrag	5
2.2.1 Verspreidingsgedrag in de onverzadigde zone	5
2.2.2 Verspreidingsgedrag in de verzadigde zone	8
2.3 Biotische en abiotische omzettingen	10
2.3.1 Abiotische omzettingen	10
2.3.2 Biotische omzettingen	10
3. ONDERZOEKSMETHODEN VOOR VOCL-VERONTREINIGINGEN	12
3.1 Inleiding	12
3.2 Bemonsteringsmethoden	12
3.3 Niet-verstorende meetmethoden	14
3.4 Bepaling van de aanwezigheid van puur product	16
4. INVENTARISATIE VAN KENNIS, ERVARINGEN EN KNELPUNTEN BIJ ADVIESBUREAUS	18
4.1 Werkwijze	18
4.2 Resultaten van de enquête en de interviews	18
4.2.1 Omvang en voorkomen van locaties met VOCL-verontreinigingen in de bodem	19
4.2.2 Karakterisering	19
4.2.3 Sanering	23
4.3 Samenvatting van de stand van zaken	25
4.3.1 Problemen inherent aan de gangbare onderzoekspraktijk	25
4.3.2 Knelpunten ten aanzien van meettechnieken	26
4.3.3 Knelpunten ten aanzien van verspreidingsmodellen	27
4.3.4 Knelpunten ten aanzien van sanering	27

5. INVENTARISATIE VAN DE ERVARINGEN EN KENNIS VAN KENNISINSTITUTEN	28
5.1 Werkwijze	28
5.2 Resultaten	28
5.2.1 Technieken voor karakterisering	28
5.2.2 Modellen; voorspelling van stofgedrag	29
5.2.3 Saneringstechnieken	29
5.2.4 NOBIS	29
6. TOETSING VAN HET ONTSTANE BEELD BIJ PROBLEEMBEZITTERS .	31
6.1 Provincies	31
6.2 Vereniging voor de metaal- en de elektrotechnische industrie (FME)	32
6.3 Vereniging van textielreinigers (NETEX)	33
7. WORKSHOP	34
7.1 Werkwijze	34
7.2 Resultaten	35
7.2.1 Beleid	35
7.2.2 Karakterisering	36
7.2.3 Sanering	37
7.2.4 Uitwisseling van kennis en ervaring	38
8. VOORSTELLEN VOOR ONDERZOEK	39
8.1 Inleiding	39
8.2 Karakterisering en veldonderzoek	39
8.2.1 Selectie van variabelen en het ontwikkelen van meetmethoden ten behoeve van karakterisering	40
8.2.2 Onderzoeksprotocollen	41
8.3 Optimaliseren van het ontwerp en de techniek van saneringen	42
8.3.1 Beheersing door middel van een onttrekkingsstelsel	43
8.3.2 Persluchtinjectie	43
8.3.3 Natuurlijke herstel	44
8.3.4 Stimulering van natuurlijke herstel	46
8.4 Verbetering van kennisoverdracht en communicatie	46
8.5 Beleidsvragen	47
9. GERAADPLEEGDE LITERATUUR	48

Blz.

FIGUREN

1.	Verspreidingsgedrag van DNAPL'S ten gevolge van een bron in de onverzadigde zone	5
2.	Verspreidingsgedrag van DNAPL's ten gevolge van een bron in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone	6
3.	Verspreidingsgedrag van DNAPL'S ten gevolge van de capillaire zone .	8
4.	Natuurlijk herstel	45

TABELLEN

1.	Fysisch/chemische eigenschappen van gechloreerde koolwaterstoffen	4
2.	Biologische omzettingen van organische stoffen als functie van biologisch procestype en omgevingscondities	11
3.	Onderzoeksmethoden	21
4.	Gebruikte retardatiefactoren	23

BIJLAGEN

1.	Begrippenlijst	
2.	Vragenformulier	
3.	Adviesbureaus, kennisinstituten en probleembezitters, die hebben bijgedragen aan deze studie	
4.	Deelnemers en groepsindeling van de workshop	
5.	Andere uitgaven PGBo	

SAMENVATTING

Vluchtige Organische Chloorverbindingen (VOCL) zijn stoffen die veel zijn - en worden - toegepast als oplosmiddelen en ontvettingsmiddel in bijvoorbeeld de metaalindustrie en bij chemische wasserijen. Gedurende de twintigste eeuw zijn door de productie, het gebruik en de lozing van VOCL bodemverontreinigingen ontstaan. Veel nog in gebruik zijnde bedrijfsterreinen zijn verontreinigd met trichlooretheen (tri) en tetrachlooretheen (per). Daarnaast zijn er veel gevallen van historische bodemverontreiniging.

VOCL-verontreinigingen verspreiden zich relatief gemakkelijk in de ondergrond, waardoor een groot deel van de in kaart gebrachte verontreinigingsgevallen als zijnde ernstig en urgent worden beoordeeld.

Door de bijzondere fysische en chemische eigenschappen van VOCL worden het onderzoek en de sanering van bodemverontreinigingen bemoeilijkt. Zowel adviesbureaus als probleembezitters, waaronder bedrijven en provincies hebben ervaring met onverwachte tegenvallers tijdens saneringen, met aanzienlijke financiële consequenties.

Het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (PGBo) heeft aan IWACO gevraagd de huidige aanpak van onderzoek en sanering van VOCL in de bodem te analyseren. Daarbij gaat het met name om tri- en per-verontreinigingen.

Op basis van de resultaten van onder andere deze studie moet, in de loop van 1996, verdere programmering van het onderzoek plaatsvinden. Van belang is daarbij dat er bij diegenen die zich in de praktijk met de problematiek bezig houden een draagvlak wordt gecreëerd voor het onderzoek binnen de universiteiten en instituten. Op die manier worden vraag en aanbod op elkaar afgestemd.

Het doel van dit project is het verkrijgen van inzicht in de huidige stand van zaken ten aanzien van het bodemonderzoek en de sanering van VOCL-verontreinigingen in de diepere ondergrond. Daarna worden concrete aanbevelingen gedaan voor onderzoek.

De stand van zaken ten aanzien van onderzoek en sanering van bodemverontreinigingen met VOCL is geanalyseerd aan de hand van een enquête onder zeven adviesbureaus en het houden van interviews met diegenen die de enquête hebben ingevuld. Vervolgens is door middel van interviews met deskundigen van kennisinstituten geïnventariseerd welke kennis aanwezig is over VOCL-verontreinigingen in de bodem en in hoeverre op het ogenblik onderzoek wordt gedaan naar deze problematiek. Het ontstane beeld ten aanzien van de VOCL-bodemproblematiek is vervolgens in een aantal interviews met bedrijven en provincies geverifieerd.

Uit de analyse van de problematiek volgen verschillende knelpunten. De eerste categorie knelpunten is van beleidsmatige aard. Er is te weinig (beleidsmatige) ruimte voor het toepassen van saneringsvarianten die zijn gebaseerd op milieurendement en vuilvrachtbenadering.

De huidige normeringen zijn niet afgestemd op deze nieuwe benaderingen. Daardoor kunnen innovatieve varianten niet worden geïmplementeerd in de praktijk.

Een knelpunt van financiële aard ontstaat doordat kleine bedrijven zoals chemische wasserijen zeer hoge kosten moeten maken voor het onderzoek en de sanering van de veroorzaakte bodemverontreiniging.

De derde categorie van knelpunten is gerelateerd aan de karakterisering van de bodem verontreinigd met VOCL. Omdat het specifieke stofgedrag een grillig patroon van verontreinigingen in de bodem veroorzaakt, vaak tot grote diepten, wordt het onderzoek naar deze verontreinigingen bemoeilijkt. Met de huidige technieken wordt zelden een compleet beeld verkregen van de verontreinigingssituatie. De behoefte aan een beter inzicht in de ruimtelijke verontreinigingssituatie en de bodemopbouw is groot. Daarbij is het ook nog van belang om de wijze van voorkomen van de verontreiniging in de bodem te kennen (puur product, opgelost, geadsorbeerd). Tenslotte bestaat er behoefte aan meer kennis over de bemonstering en analyse van luchtmonsters voor VOCL, specifiek voor vinylchloride.

Wanneer men een beeld wil krijgen van de verspreiding van VOCL, blijkt dat de diepte waarop de VOCL zich bevindt niet kan worden voorspeld aan de hand van conventionele verspreidingsaannames, die uitgaan van opgeloste stof. In verticale zin kan het puur product snel uitzakken naar de diepte. Anderzijds kan bij het vermoeden van dichtheidsstroming niet zonder meer worden aangenomen dat de VOCL zich aan de onderzijde van het watervoerend pakket bevindt. Ten gevolge van inhomogeniteiten kan het verticaal transport onderweg stagneren. Horizontale verspreiding van puur product vindt niet alleen plaats met de grondwaterstroming mee, maar ook op hellende ondoorlatende lagen onder invloed van de zwaartekracht. Dit stofgedrag bemoeilijkt het formuleren van een onderzoeksstrategie en de keuze van saneringsvarianten.

Bij de sanering van bodems met VOCL met behulp van grondwateronttrekking blijkt het moeilijk de saneringsduur te voorspellen. Dit komt omdat bij die voorspelling alleen rekening wordt gehouden met homogene opgeloste en geadsorbeerde fracties van de verontreinigingen in een bepaald pakket. In werkelijkheid vindt nalevering plaats vanuit de minder doorlatende laagjes en vanuit zinklagen. De nalevering uit minder doorlatende laagjes wordt bepaald door een traag proces (diffusie). Dit proces kan niet worden versneld door harder te pompen. Het gevolg is dat de terugsaneerwaarden niet worden gehaald in de vastgestelde tijd en dat grondwatersaneringen stagneren. Ook bij gebruik van andere saneringstechnieken zijn de onzekerheden over het te behalen resultaat en de saneringsduur groot.

Tenslotte komt uit de interviews naar voren dat de kennis over VOCL-verontreinigingen versnipperd is en dat het veel tijd en moeite kost om de kennis die in Nederland aanwezig is te verzamelen. Mede daarom is het kennisniveau ten aanzien van VOCL-verontreinigingen in de bodem niet bij elk adviesbureau gelijk.

De concrete vragen die zijn gesteld naar aanleiding van de geanalyseerde knelpunten zijn:

Beleid

- Kunnen vuilvrachtbenadering en milieurendement als uitgangspunt dienen bij saneringen?
- Behoeven normeringen bijstelling?
- Zijn innovatieve varianten mogelijk?
- Welke financieringsstructuren zijn mogelijk voor kleine bedrijven die moeten saneren?

Karakterisering

- Welke onderzoekstechnieken voor een beter ruimtelijk beeld kunnen worden gebruikt of ontwikkeld?
- Welke onderzoekstechnieken voor puur product kunnen worden gebruikt en ontwikkeld?
- Is het mogelijk de methoden voor bodemluchtonderzoek te verbeteren, speciaal voor vinylchloride?
- Is het mogelijk een nieuw onderzoeksprotocol te maken?

Sanering

- Kunnen bestaande saneringstechnieken worden verbeterd?
- Kunnen biologische saneringstechnieken verder worden ontwikkeld?
- Is het mogelijk om nieuwe saneringstechnieken te ontwikkelen?
- Wat zijn de mogelijkheden van modellering?

In een workshop waarin representanten van zowel de adviesbureaus, de kennisinstituten als de probleembezitters waren vertegenwoordigd, is verder invulling gegeven aan de onderzoeksvragen.

Op basis van de inventarisatie van knelpunten, de interviews en de workshop worden in deze studie aanbevelingen gedaan voor onderzoek. De onderwerpen waaraan prioriteit is gegeven zijn de volgende:

Karakterisering

- het gebruik van geofysische methoden voor het onderzoek naar verontreinigingen in de bodem;
- onderzoeksmethoden voor het aantonen van puur product;
- het meten van relevante parameters voor natuurlijk herstel;
- het opzetten van een onderzoeksprotocol aan de hand van een evaluatie van een aantal afgeronde saneringsprojecten.

Sanering

- optimaliseren van conventionele geohydrologische beheersing;
- persluchtinjectie;
- natuurlijk herstel: waarbij het volgen van de processen het belangrijkste aandachtspunt is.

Een aantal van deze onderwerpen wordt onderzocht in opdracht van de stichting Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In situ Sanering (NOBIS). Een goede afstemming met de uitvoerders van die projecten is daarom noodzakelijk.

Het oplossen van de beleidsmatige knelpunten valt niet binnen de doelstelling van het PGBo. Deze knelpunten moeten in een ander kader worden opgepakt. In het kader van het PGBo kunnen wel mogelijkheden worden onderzocht om kennisoverdracht en communicatie te verbeteren ten aanzien van de geschetste problematiek, bijvoorbeeld door het organiseren van workshops en het maken van een handzame checklist voor onderzoek en sanering.

- - -

SUMMARY

Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons or chlorinated solvents are chemicals that are often utilized as solvents and degreasers in for example the metal industry and in chemical dry cleaning. Because of the production, use and discharge of chlorinated solvents throughout the twentieth century, many sites in the Netherlands are seriously polluted. The main components are tetrachloroethene (PCE) and trichloroethene (TCE).

Chlorinated solvents easily spread in aquifers, which cause large contamination plumes. In the Netherlands, this means that most contaminated sites with chlorinated solvents are classified as severe and urgent cases, which means that they need to be dealt with as soon as possible.

Because of the specific physical and chemical characteristics of these compounds, soil investigation and remediation of contaminated sites is a complicated matter. Consultants as well as owners of contaminated sites (like provincial authorities and industries), have faced unexpected disappointments when cleaning up sites, often resulting in a financial setback.

The Netherlands Integrated Soil Research Programme (PGB0) asked IWACO to evaluate the present approach of investigation and remediation of contaminated sites with chlorinated solvents.

Based on the results of this evaluation, a research programme will be defined by the end of 1996. The Commission underlines the importance of creating commitment for this kind of research within universities and institutes in such a way that demand and supply of knowledge match.

As can be derived from the above the objective of this project on chlorinated solvents is to gain insight in current approaches towards soil investigation and remediation. The project has to give clear recommendations for future research.

In order to reach the objective the following steps have been undertaken. First, an assessment has been made of the present methodologies for soil investigation and remediation. A survey has been held amongst consultants active in this field. Based on the results of the survey interviews were held with some key-persons. Secondly, representatives of Dutch research institutes have been interviewed with regard to the available knowledge on the subject. A third step was to verify the interview results with provincial authorities and representatives of industries.

Analysis of the interviews showed that there exist a number of constraints: a first category of problems points towards policy formulation. There appears to exist limited room for remediation options which are based on the total environmental performance. The present standards do not meet the new remediation options. As a result these new remediation approaches are not implemented. A second category of problems points towards a financial bottleneck: small scale enterprises such as chemical dry cleaners face high costs because of soil investigation and remediation.

Soil investigation is often hampered by the specific characteristics of the chlorinated solvents, which cause a very irregular pattern of contaminants in the subsoil. The presently available methods for site investigation do not produce a clear picture of the actual contamination. There is a need for better insight into the transport of contamination and the stratigraphy of the soil. It is also of importance to assess the nature of the contamination (pure product, dissolved products, etc.). Finally, one can discern a need for knowledge on the execution of air sampling and analyzing for chlorinated solvents, especially when vinylchloride is concerned.

If we want to have insight into the flow patterns of chlorinated solvents, conventional groundwater models do not suffice to predict the depth on which chlorinated solvents in aquifers are present. Pure product can easily sink to larger depths. On the other hand multiphase flow does not automatically imply that the VOCL will be located at the bottom of the aquifer. Because of inhomogeneities vertical transport can stagnate. Horizontal flow of pure product does not only take place with the groundwater flow. It can also be caused by the flow of pure product on inclined impermeable layers due to gravity. This particular characteristic of the compound makes it difficult to formulate investigation strategies and to design remediation plans and options.

It appears to be difficult to predict the time needed for remediation when groundwater extraction is used. Planning of such remediation activities is based on the homogeneous dissolved phase and a homogeneous adsorbed phase in a certain layer. In reality, a slow diffusion of contaminants takes place from small, less permeable, layers and sinklayers. It must be underlined, that this process cannot be accelerated by pumping with higher outputs.

As a result, the remediation levels cannot be obtained within the time set and, therefore, groundwater remediations stagnate. This applies also when other remediation techniques are used. Finally, the interviews show that knowledge appears to be fragmented and that as a result gaining information is a time consuming and costly affair. Therefore the state of knowledge on the subject varies amongst the consultancy firms. On the basis of the above mentioned constraints and bottlenecks the following questions for future research can be formulated:

Policy matters

- can an approach based on the amount of contamination that can be removed from the soil be used as a starting point for policy formulation;
- need prevailing standards be adjusted;
- can innovative remediative actions be applied;
- how to finance soil remediation for small scale enterprises (through taxes, subsidies, etc.).

Characterization

- which investigation techniques can be used or developed to obtain a clear picture of the chlorinated solvents in the subsoil;
- which investigation techniques can be used or developed to assess pure product layers in the subsoil;

- is it possible to improve the techniques for sampling and analysing of air;
- is it possible to make a new investigation protocol that links the soil investigation with the remediation options.

Remediation

- is it possible to improve the conventional remediation techniques;
- how to develop biological remediation;
- are there possibilities to develop new remediation techniques;
- in which way can modelling of groundwaterflow and contaminant transport be improved.

These questions for future research are discussed in a workshop, in which the representatives of consultancies, research institutes, provinces and industries were present. During the workshop valid ideas on possible research were launched and a general commitment on the importance of the above mentioned questions was reached. Based on the state of the art and the results of the workshop, finally recommendations for research have been made. The research subjects which should be given the highest priority are as follows.

Investigation

- geophysical methods for soil investigation;
- investigation methods for the measurement of pure product;
- measuring techniques for important parameters concerning natural attenuation;
- a new investigation protocol, that is based on an evaluation of a number of completed remediation projects.

Remediation

- optimizing groundwater extraction systems when used for isolating soil contamination;
- optimizing venting techniques for soil remediation;
- natural attenuation, in the course of which research should be emphasized on a better insight into the processes that are responsible for natural attenuation.

In some of these subjects research is already done in projects initialized by The Netherlands Research Programme for Biotechnological In-situ Soil Remediation (NOBIS). The policy matters do not fit into the scope of the PGBo. These subjects have to be worked out in other commissions, that are closer related to the ministry of Health and Environment. It is very well possible that the PGBo initiates a project to improve the state of knowledge in the Netherlands, by organizing study tours or symposia. At the same time the communication between research institutes and consultancies can be improved, for example by organizing workshops and the publication of leaflets.

- - -

1. INLEIDING

Vluchtige Organische Chloorverbindingen (VOCL) zijn stoffen die veel zijn - en worden - toegepast als oplosmiddelen en ontvettingsmiddel in bijvoorbeeld de metaal-industrie en bij chemische wasserijen. Gedurende de twintigste eeuw zijn door de productie, het gebruik en de lozing van VOCL bodemverontreinigingen ontstaan. De meest voorkomende verontreinigingen op voormalige en huidige bedrijfsterreinen zijn die met tetrachlooretheen (per) en trichlooretheen (tri).

VOCL-verontreinigingen verspreiden zich relatief gemakkelijk in de ondergrond, waardoor een groot deel van de in kaart gebrachte verontreinigingsgevallen als zijnde ernstig en urgent worden beoordeeld.

Door de bijzondere fysische en chemische eigenschappen van VOCL worden het onderzoek en de sanering van bodemverontreinigingen bemoeilijkt. Zowel adviesbureaus als probleembezitters, waaronder bedrijven en provincies hebben ervaring met onverwachte tegenvallers tijdens saneringen, met aanzienlijke financiële consequenties. Het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (PGBo) heeft aan IWACO gevraagd de huidige aanpak van onderzoek en sanering van VOCL in de bodem te analyseren. Daarbij gaat het met name om verontreinigingen met tri en per.

Op basis van de resultaten van onder andere deze studie moet, in de loop van 1996, verdere programmering van het onderzoek plaatsvinden. Van belang is daarbij dat er een draagvlak wordt gecreëerd voor onderzoek binnen de universiteiten en instituten, zodat vraag en aanbod op elkaar kunnen worden afgestemd.

1.1 DOELSTELLINGEN EN EINDRESULTATEN

Doelstellingen

Doel van dit project is het verkrijgen van inzicht in de huidige stand van zaken ten aanzien van het bodemonderzoek en de sanering van VOCL-verontreinigingen in de diepere ondergrond. Op grond hiervan worden concrete aanbevelingen gedaan voor onderzoek.

Het algemene doel dat het PGBo nastreeft, is het identificeren van probleemgestuurd onderzoek. Dit betekent, dat vraag en aanbod ten aanzien van onderzoek bij elkaar moeten worden gebracht, zodat er draagvlak ontstaat voor verder onderzoek. Deze doelstelling is een uitgangspunt van dit project.

Eindresultaten

Dit project zal uitmonden in een drietal eindresultaten, namelijk:

- een beschrijving van de stand van zaken en geconstateerde knelpunten ten aanzien van de sanering van bodems met VOCL-verontreinigingen;
- voor die aspecten waarvan wordt geconstateerd dat nog niet voldoende kennis aanwezig is, zal een aantal concrete aanbevelingen worden gedaan voor onderzoek om de geïdentificeerde knelpunten op te lossen;
- er wordt een aantal concrete aanbevelingen gedaan voor het afstemmen van het aanbod van de kennisinstellingen, zowel ten aanzien van de reeds aanwezige kennis als ten aanzien van de geïdentificeerde onderzoeksactiviteiten, op de vragen van de probleembezitters.

1.2 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Inventarisatie

Het project bestaat voor een deel uit een inventarisatie van kennis en ervaringen ten aanzien van bodemverontreinigingen met VOCL. Deze inventarisatie is opgedeeld in 3 fasen.

1. Het inventariseren van aanwezige kennis en ervaringen en identificeren van knelpunten in de literatuur en bij adviesbureaus;
2. De analyse van de problemen en het zoeken naar oplossingen in samenwerking met kennisinstellingen;
3. De bevestiging van het ontstane beeld bij probleembezitters.

Ad 1.

In deze fase is een literatuurstudie uitgevoerd. Daarnaast zijn ervaringen met VOCL-verontreinigingssituaties in de bodem verzameld aan de hand van uitgevoerde praktijkgevallen. Daartoe zijn een zevental adviesbureaus gevraagd gegevens te leveren van uitgevoerde projecten met VOCL-verontreinigingen. Een format voor de evaluatie is ontwikkeld door IWACO.

Ad 2.

De geëvalueerde projecten leiden tot een aantal gemeenschappelijk geïdentificeerde knelpunten. Deze knelpunten zijn besproken met de betrokken kennisinstellingen.

Ad 3.

Het ontstane beeld van de problematiek van VOCL-verontreinigingen in de bodem is gepresenteerd aan de probleembezitters (zoals provincies en bedrijven). In gesprekken is geverifieerd of het geschetste beeld overeenstemt met hun eigen beeld.

Terugkoppeling

De resultaten van de inventarisatie zijn in een workshop teruggekoppeld. Bij deze workshop waren zowel de adviesbureaus, de kennisinstellingen als de probleembezitters vertegenwoordigd. Daarnaast waren een aantal leden van de programmacommissie aanwezig. In de workshop is het beeld bevestigd en waar nodig bijgesteld. Vervolgens is een aanzet gegeven tot het concretiseren van de onderzoeksvragen.

Aanbevelingen voor onderzoek

Aan de hand van de resultaten van de inventarisatie en de workshop is een aantal voorstellen voor onderzoek uitgewerkt.

1.3 OPBOUW VAN DIT RAPPORT

In de hoofdstukken 2 en 3 worden de resultaten van de literatuurstudie samengevat. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de resultaten van de interviews met de adviesbureaus in hoofdlijnen behandeld. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de inzichten en kennis die is opgedaan in gesprekken met kennisinstututen en in hoofdstuk 6 worden de visies van probleembezitters besproken. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de afsluitende workshop en in hoofdstuk 8 worden voorstellen voor onderzoek gedaan.

2. EIGENSCHAPPEN, VERSPREIDINGSGEDRAG EN OMZETTINGEN VAN VOCL-VERONTREINIGINGEN

2.1 FYSISCHE EN CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN VOCL

Vluchtige organische chloorverbindingen (VOCL) zijn gechloreerde alkenen en alkanen die goed oplosbaar zijn in water en een grotere dichtheid hebben dan water, met uitzondering van vinylchloride. Zij verspreiden zich in de ondergrond onder invloed van fysisch/chemische processen. De verspreiding van VOCL in de ondergrond vindt enerzijds plaats als opgeloste fractie (snelle verspreiding) en anderzijds als puur product door dichtheidsstroming.

Het voorkomen van VOCL-verontreinigingen is aanzienlijk. Dit is het gevolg van de productie, het gebruik en de lozing van grote hoeveelheden VOCL-chemicaliën gedurende de twintigste eeuw. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van enkele fysische/chemische eigenschappen van veel voorkomende gechloreerde koolwaterstoffen.

Tabel 1. Fysisch/chemische eigenschappen van gechloreerde koolwaterstoffen

	Molecuul-formule	Acronym	Molecuul-gewicht (g)	Oplosbaarheid (mg/l)	Dampdruk (mm Hg)	Dichtheid (g/ml)
Dichloormethaan	CH ₂ Cl ₂	MC	84	13,000	362	1.3348
Trichloormethaan	CHCl ₃	CF	119	8,200	151	1.4985
Tetrachloormethaan	CCl ₄	CT	154	760	90	1.5842
1,1-Dichloorethaan	CH ₃ CHCl ₂	1,1-DCA	99	5,500	182	1.1835
1,2-Dichloorethaan	CH ₂ ClCH ₂ Cl	1,2-DCA	99	8,500	64	1.2600
1,1,1-Trichloorethaan	CH ₃ CCl ₃	TCA	133	950	123	1.3492
Chlooretheen	CH ₂ =CHCl	VC	62	1,100	-	-
1,1-Dichlooretheen	CH ₂ =CCl ₂	1,1-DCE	97	250	600	1.22
cis-Dichlooretheen	CHCl=CHCl	cis-DCE	97	400	208	1.2736
trans-Dichlooretheen	CHCl=CHCl	trans-DCE	97	400	324	1.2546
Trichlooretheen	CHCl=CCl ₂	TRI	132	1,100	58	1.4679
Tetrachlooretheen	CCL ₂ =CCl ₂	PER	166	150	18	1.6311

Toelichting:

- onbekend

2.2 HET VERSPREIDINGSGEDRAG

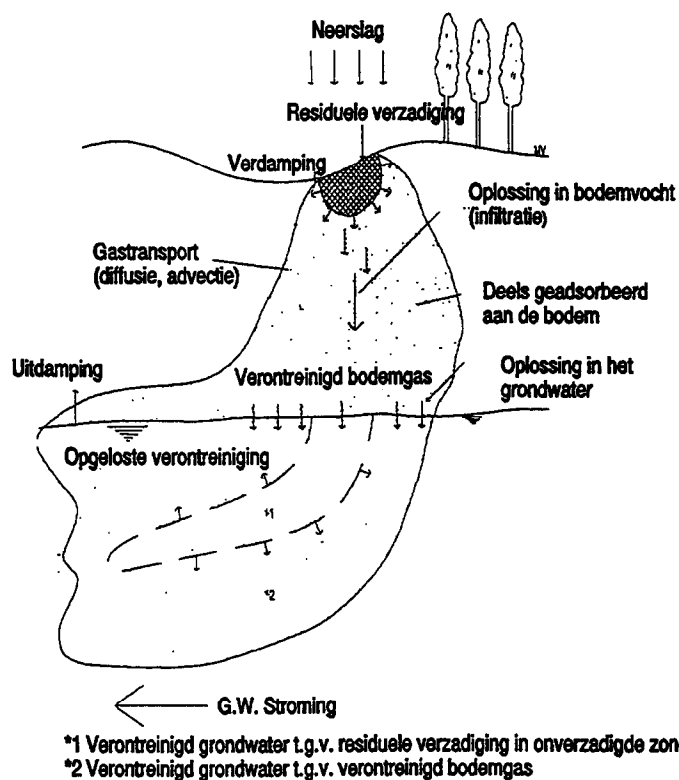
In de volgende paragrafen wordt het verspreidingsgedrag van gechloreerde koolwaterstoffen beschreven. Achtereenvolgens wordt het verspreidingsgedrag behandeld in de onverzadigde zone, de capillaire zone en de verzadigde zone.

2.2.1 Verspreidingsgedrag in de onverzadigde zone

In de onverzadigde zone kunnen gechloreerde koolwaterstoffen in 4 fasen voorkomen:

- puur product;
- geadsorbeerd aan de bodem;
- opgelost in het bodemvocht;
- de gasfase.

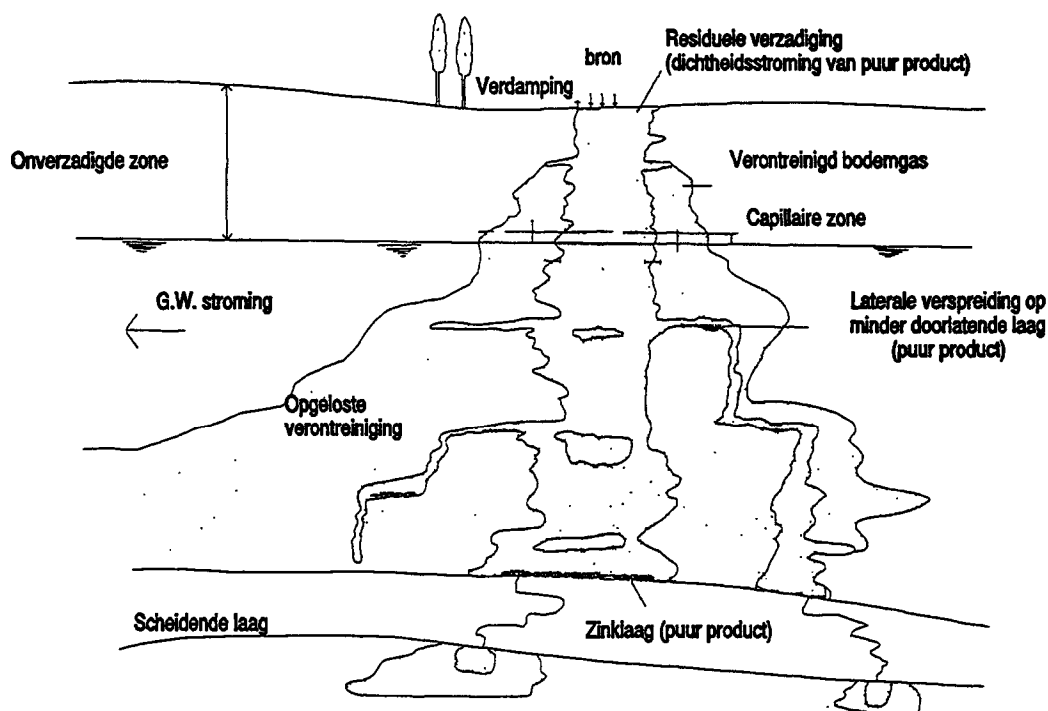
Het verspreidingsgedrag van VOCL is schematisch weergegeven in de figuren 1 en 2.



Figuur 1. Verspreidingsgedrag van DNAPL'S ten gevolge van een bron in de onverzadigde zone.

Puur product

Onder invloed van de zwaartekracht zal een VOCL-verontreiniging zich omlaag door de onverzadigde zone bewegen. Deze verticale verplaatsing gaat gepaard met laterale verspreiding ten gevolge van de heterogeniteit van de ondergrond. Kleine variaties in bodemvochtgehalte en korrelgrootte kunnen al voldoende capillaire weerstand bieden om laterale verplaatsing te veroorzaken in de onverzadigde zone. Onder droge condities en bij voldoende verticale doorgang zal de verticale verplaatsing overheersen. Gedurende het verticale transport zal voortdurend een hoeveelheid puur product achterblijven in de poriën. Dit wordt aangeduid met residuele verzadiging.



Figuur 2. Verspreidingsgedrag van DNAPL'S t.g.v. een bron in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone.

Residuele verzadiging is het resultaat van capillaire krachten en hangt af van de volgende factoren.

- poriegrootteverdeling van de ondergrond;
- bevochtigbaarheid;
- viscositeit;
- grensvlakspanning;
- gravitatiekracht;
- hydraulische gradiënt.

Een gedetailleerde beschrijving van de bovengenoemde factoren en hun onderlinge relaties wordt gegeven in TNO-rapport OS95/03B [lit. 48] en IWACO-rapport 913100-007 [lit. 18]. De capaciteit van de onverzadigde zone om niet-mengbare vloeistoffen (puur product) op te slaan kan worden weergegeven door de volumetrische retentiecapaciteit (R = liters residu-product per kubieke meter ondergrond). Waarden voor residuele verzadigingen (s_r) zijn afhankelijk van de porositeit van de bodem. Voor trichlooretheen (tri) in de onverzadigde zone variëren de waarden tussen de 0,02 (middel zand) en 0,20 (fijn zand). De diepte, die een verontreiniging in de ondergrond kan bereiken, wordt bepaald door het oppervlak waarover de verontreiniging is geïntroduceerd en de bijbehorende snelheid. Hoe kleiner het oppervlak waarover de verontreiniging wordt geïntroduceerd hoe dieper de verontreiniging kan komen, uitgaande van een gelijkblijvende vracht.

Hierdoor wordt ondiep de residuele verzadiging eerder bereikt en zal de zwaartekracht een groter effect hebben. Residuele verzadiging in de onverzadigde zone kan een continue bron van verontreiniging vormen voor het grondwater, door het oplossen van de verontreiniging in infiltrerend water en voor de bodemlucht.

Adsorptie en desorptie

Langzame desorptie vanaf organisch materiaal van geadsorbeerde VOCL is waargenomen. Adsorptie is sterker in droge bodems dan in natte. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door gebrek aan competitie met water voor sorptieplaatsen.

Bodemvocht

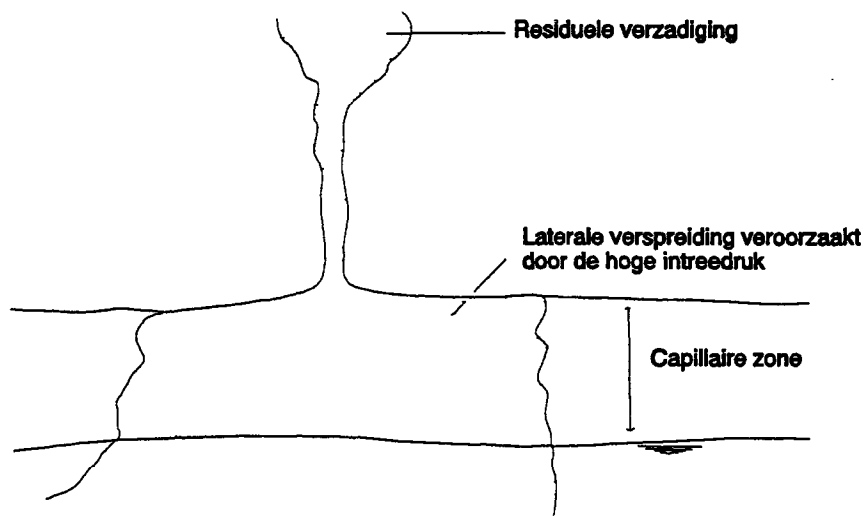
Als een kleine bron van puur product (zie figuur 1) zich vlakbij het maaiveld bevindt, is de verticale verspreiding afhankelijk van infiltratie van regenwater, doordat het puur product geheel is ingevangen door de aanwezige poriën en breuken. Of de verontreiniging die oplost in het bodemvocht de grondwaterspiegel bereikt, hangt af van het infiltratieproces en de eigenschappen van de betreffende ondergrond.

Gas

Gastransport wordt bepaald door advectie en diffusie. De verontreinigde bodemlucht kan (afhankelijk van de samenstelling) onder invloed van de zwaartekracht omlaag zakken en vervolgens condenseren op het aanwezige bodemvocht en/of op de grondwaterspiegel waardoor grondwaterverontreiniging kan optreden. Gastransport kan een ondiepe grondwaterverontreiniging veroorzaken in een richting die tegengesteld kan zijn aan de grondwaterstroming en/of puur product-stroming in de onverzadigde zone. De verontreinigde dampen diffunderen ten gevolge van een chemische concentratie gradiënt. Modelberekeningen laten zien dat verontreinigd bodemgas zich 10-20 cm in horizontale richting kan verspreiden binnen enkele weken tot enkele maanden [lit. 28 en lit. 29]. Deze snelheden kunnen echter worden vertraagd door gasretardatie. Een grondwaterverontreiniging die in contact staat met de onverzadigde zone kan op zijn beurt een bron voor verontreiniging van bodemlucht vormen (zie figuren 1 en 2).

Capillaire zone

Wanneer de verontreiniging voldoende groot is en de capillaire zone bereikt, zal het puur product de neiging hebben zich lateraal te verspreiden en te accumuleren. Deze laterale verspreiding vindt slechts op kleine schaal plaats en is dan ook niet bepalend voor de horizontale verplaatsing. Uiteindelijk overschrijdt het puur product de intreedruk van de onderliggende waterverzadigde zone. Als dit gebeurt, zal het puur product het water verplaatsen en zich vervolgens verder naar beneden bewegen (zie figuur 3).



Figuur 3. Verspreiding van DNAPL'S ten gevolge van de capillaire zone.

2.2.2 Verspreidingsgedrag in de verzadigde zone

In de verzadigde zone komen gechlorideerde koolwaterstoffen in 3 verschillende fasen voor:

1. Puur product.
2. Geadsorbeerd aan de bodem.
3. Opgelost in het grondwater.

Voor een overzicht van het verspreidingsgedrag in de verzadigde zone wordt verwezen naar de figuren 1 (kleine VOCL-bron) en 2 (grote VOCL-bron).

Transport van VOCL-verontreinigingen in de verzadigde zone wordt beïnvloed door verschillende processen die voor een complex gedragspatroon zorgen. De belangrijkste processen die het transport en de verdeling van deze stoffen bepalen zijn:

- advectie;
- dispersie;
- sorptie;
- diffusie;
- omzetting (afbraak).

Voor een uitgebreide beschrijving van deze processen wordt verwezen naar de literatuur [lit. 6, lit. 18 en lit. 47]. Op de afbraakprocessen zal hieronder nader worden ingegaan. Deze processen kunnen (afhankelijk van chemische en biologische reacties) voor een omzetting van de aanwezige verontreiniging zorgen in minder schadelijke of juist meer schadelijke stoffen.

Puur product

Het puur product zal omlaag migreren (dichtheidsstroming) tot het een laag bereikt die minder doorlatend is. Hier zal de verontreiniging zich lateraal verplaatsen onder invloed van druk en de zwaartekracht. Kleine variaties in korrelgrootte zijn al voldoende om laterale verplaatsing te veroorzaken. Op een slecht doorlatende of ondoorlatende laag zal het transport van puur product worden bepaald door de helling van deze laag. Puur product kan zich door de invloed van de zwaartekracht onafhankelijk van de richting van de grondwaterstroming verplaatsen. Zinklagen kunnen worden gevormd doordat verticaal bewegend puur product een scheidende laag bereikt met een hogere weerstand. Deze weerstand veroorzaakt een hoge intreedruk. Puur product-accumulatie tot 70 - 80% verzadiging van de poriën kan optreden boven een scheidende laag. Na verloop van tijd zal het puur product de onderliggende laag binnendringen en kan door aantasting van aanwezige kleien een nieuwe verticale doorgang vormen. Zinklagen kunnen ontstaan op verschillende diepten binnen de verzadigde zone (zie figuur 2). Als resultaat van transport van puur product dat zich door de verzadigde zone beweegt, zal een hoeveelheid achterblijven in de poriën (residuele verzadiging). Zowel residuele verzadiging als zinklagen zullen ten gevolge van nalevering voor een langdurige bron van verontreiniging zorgen.

Adsorptie

Net als in de onverzadigde zone zal een deel van de verontreiniging aan de bodem worden geadsorbeerd. De mate van adsorptie hangt af van de samenstelling van de bodem die het aantal sorptieplaatsen bepaalt. Er zal een evenwicht ontstaan met de hoeveelheid opgeloste verontreiniging.

Opgelost in het grondwater

Ten gevolge van de aanwezigheid van puur product, verontreinigd bodemgas en door infiltratie van verontreinigd (regen)water kan een grondwaterverontreiniging ontstaan. Deze verontreiniging bestaat uit opgeloste VOCL (figuur 1).

Rond een puur product-verontreiniging in de verzadigde zone zal een pluim van opgeloste stof ontstaan die onder invloed van de grondwaterstroming en in mindere mate door de zwaartekracht, afhankelijk van de concentratie en de samenstelling van de opgeloste pluim, zal worden gevormd (figuur 2). Waarden voor de residuele verzadiging in de verzadigde zone variëren tussen de 0,10 en de 0,50.

2.3 BIOTISCHE EN ABIOTISCHE OMZETTINGEN

Omzettingen van gechloreerde koolwaterstoffen onder natuurlijke omstandigheden kunnen abiotisch (chemisch) en biotisch (microbiologisch) plaatsvinden. De snelheid en omvang van abiotische en biotische omzettingen van gechloreerde koolwaterstoffen in de ondergrond wordt bepaald door de fysisch/chemische eigenschappen van de verontreiniging, de bodem- en grondwatereigenschappen en de aanwezige biomassa.

2.3.1 Abiotische omzettingen

Gechloreerde koolwaterstoffen komen voor in een geoxideerde vorm. Deze stoffen zijn dus meer gevoelig voor reductie dan voor oxidatiereacties. Met een toenemend aantal chlooratomen zullen reductiereacties waarschijnlijker zijn dan oxidatiereacties. In een gereduceerde omgeving zullen, afhankelijk van het aantal chlooratomen, anaërobe abiotische dehalogenatiereacties plaats kunnen vinden.

De abiotische dehalogenatiereacties (hydrolyse en dehydrohalogenatie) zijn afhankelijk van de zuurgraad, de watertemperatuur en de aanwezige katalysatoren (bijvoorbeeld metalen). Gemiddelde gemeten halfwaardetijden voor abiotische omzettingen variëren tussen de 2 maanden en $2,1 \cdot 10^{10}$ jaar [lit. 5]. Het dehalogenatieproces zorgt met name voor gedeeltelijke afbraak van gechloreerde organische verontreinigingen.

2.3.2 Biotische omzettingen

Biologische afbraakprocessen van gechloreerde koolwaterstoffen vinden onder aërobe en anaërobe omstandigheden plaats. Als vuistregel geldt dat met 3 of meer chlooratomen aan één molecuul dechlorering eerst onder anaërobe omstandigheden plaatsvindt. Wanneer zich 2 of minder chlooratomen aan één molecuul bevinden is ook aërobe dechlorering mogelijk. De gechloreerde organisch koolwaterstoffen kunnen worden gebruikt als primair substraat, co-metabolisch worden afgebroken of als elektronen-acceptor dienen. Wanneer de stoffen als primair substraat dienen, worden ze over het algemeen geheel afgebroken onder zowel aërobe als anaërobe omstandigheden.

De biologische afbraak van de meeste VOCL is waarschijnlijk afhankelijk van co-metabolisme (zie tabel 2). Co-metabolisme is het proces waarbij bacteriën niet de gechloreerde koolwaterstoffen gebruiken als energiebron, maar waarbij de omzetting toevallig plaatsvindt als gevolg van de aanwezigheid van enzymen of co-factoren die door de aanwezige micro-organismen zijn geproduceerd voor andere doeleinden [lit. 34]. De groei van de biomassa wordt bepaald door de aanwezigheid van een primair substraat.

Dit substraat (een koolstofbron zoals bijvoorbeeld toluen) zorgt voor energie en veroorzaakt het vrijkomen van enzymen die vervolgens zorgen voor de toevallige afbraak van de aanwezige verontreinigingen. Naast een primair substraat zijn een elektronen-acceptor (O_2 , NO_3 , SO_4 , etc.) en nutriënten nodig. Bij co-metabolische afbraak, zoals bij abiotische omzettingen, worden gechloreerde koolwaterstoffen over het algemeen gedeeltelijk afgebroken door biologische omzettingen. De producten die ontstaan door deze (gedeeltelijke) afbraak kunnen meer of minder toxisch zijn dan het uitgangproduct. Een voorbeeld hiervan is de co-metabolische afbraak van tetrachlooretheen (PER) waarbij vinylchloride (VC) ontstaat. Het proces kan als volgt worden geschematiseerd:

PER - hydrogenolysis:

PER --> TRI --> cis/trans-DCE --> VC --> etheen --> ethaan

Of de bovenstaande reactie geheel of gedeeltelijk plaatsvindt is afhankelijk van de heersende omstandigheden op de locatie. Met name de aanwezigheid van substraat en electronacceptoren is hierbij bepalend.

Tabel 2. Biologische omzettingen van organische stoffen als functie van biologisch procestype en omgevingscondities

Primair substraat	Aëroob en Anaëroob	Glucose, aceton, isopropanol, acetaat, benzoaat, fenol, dichloormethaan
	Aëroob	Alkanen, benzeen, toluen, xyleen, vinylchloride, 1,2-dichloorethaan, chloorbenzeen
Secundair substraat (co-metabolisme)	Oxidatie (aëroob)	Trichlooretheen, dichlooretheen, dichloorethaan, vinylchloride, chloroform, dichloormethaan
	Reductie (anaëroob)	1,1,1-Trichloorethaan, trichlooretheen, tetrachlooretheen, dichlooretheen, dichloorethaan, carbontetrachloride, chloroform, DDT, PCB

Voor details en meer informatie over dit onderwerp wordt verwezen naar 'Bioremediation of Chlorinated Solvents in the Subsurface' [lit. 17].

3. ONDERZOEKSMETHODEN VOOR VOCL-VERONTREINIGINGEN

3.1 INLEIDING

Wanneer op grond van historische informatie wordt verwacht dat een VOCL-verontreiniging in de bodem aanwezig is, wordt deze verontreiniging onderzocht. Dit kan op verschillende manieren. Onderstaand worden eerst de conventionele bemonsteringsmethoden besproken. Vervolgens wordt ingegaan op niet-verstorende meetmethoden en op specifiek onderzoek naar de aanwezigheid van puur product.

3.2 BEMONSTERINGSMETHODEN

Grond

Voor het nemen van een ongeroerd grondmonster in de onverzadigde zone kan gebruik worden gemaakt van een steekbus. Deze steekbus zorgt ervoor dat tijdens het vervoer van de grondmonsters de eventueel aanwezige verontreiniging niet door vervluchtiging kan verdwijnen.

Grondwater

Na het plaatsen van peilbuizen vindt de bemonstering van het grondwater plaats. Voor het nemen van een grondwatermonster kan gebruik worden gemaakt van de volgende bemonsteringsmethoden:

- slangenpomp;
- knikkerpuls;
- onderwaterpomp;
- bailer.

Uit een evaluatie is gebleken dat de slangenpomp en de bailer een redelijk betrouwbaar resultaat leveren. Voor een uitgebreide beschrijving van deze technieken wordt verwezen naar [lit.19], [lit.20] en [lit.21].

Een probleem dat zich voordoet tijdens de monsterneming is het verschil in concentratie van de verontreiniging tussen 2 bemonsteringsronden. Deze variatie kan worden veroorzaakt door een groot aantal factoren. Foutenbronnen die hierop van invloed zijn, worden hieronder beschreven.

Foutenbronnen die kunnen optreden gedurende het veldwerk zijn:

- slechte plaatsing peilbuis (lekkage, slechte afdichting, etc.);
- verstoring hydrochemisch en fysisch/chemisch evenwicht door het plaatsen van de peilbuis;

- verschil in aanzuignelheid levert verschillende resultaten op. Water wordt sneller aangezogen dan puur product waardoor er te lage concentraties kunnen worden gemeten ten opzichte van de werkelijkheid. Rekening dient te worden gehouden met het gebruik van werkwater dat moet worden weggepompt. Daarnaast wordt 3 maal het volume van de peilbuis doorgespoeld;
- het aanzuigen van water uit verschillende stratigrafische lagen bij opeenvolgende metingen. Dit wordt veroorzaakt door verstoring van andere lagen door een eerdere bemonstering. Hierdoor wordt het fysisch/chemisch evenwicht verstoord;
- de duur van de periode tussen 2 bemonsteringsronden: wanneer heeft zich het oorspronkelijke evenwicht hersteld en is dit evenwicht hetzelfde als voor de eerste monsterneming;
- verdampingsproblemen die per monsterneming verschillen;
- variatie in contaminatie tijdens het bemonsteren;
- variatie in verpakkings- en conserveringsmethode.

Variaties van concentraties ten gevolge van andere factoren:

- verandering van de zuurgraad en de redoxpotentiaal na het in contact komen met lucht;
- variaties ten gevolge van biologische afbraak en chemische omzettingen;
- probleem van niet-uniforme grondwaterstroming;
- invloed filterlengte (verdunding);
- variatie in concentratie binnen de peilbuis ten gevolge van het uitzakken van de verontreiniging in de peilbuis.

Aanvullend op de bovenstaande bemonsteringsmethoden kan gebruik worden gemaakt van sonderingen en een rioolinspectie om een beter inzicht te krijgen in de verspreiding van de verontreinigingen.

Sonderingen

Het uitvoeren van een sondering op een niet verdacht deel van een locatie kan bijdragen aan het verkrijgen van een beter inzicht in de bodemopbouw van de locatie. De sondering moet bij voorkeur worden uitgevoerd op een onverdacht deel van de locatie om de kans op verstoring van de ondergrond te verminderen. Door een verstoring van de ondergrond kunnen eventueel aanwezige verontreinigingen zich verder verplaatsen, met name in verticale richting. Metingen van de geleidbaarheid en de weerstand kunnen bijdragen tot een beter inzicht in de verspreiding van de verontreiniging. Een nieuwe manier voor het verkrijgen van inzicht in de bodemopbouw van een locatie is het gebruik van de Geoprobe ([lit. 1]). Dit apparaat zorgt voor een directe weergave van de weerstand van de bodem.

Inmiddels is een nieuwe techniek ontwikkeld, waarbij met behulp van een grondwatermonstersonde een monster wordt genomen van het grondwater. Vanuit de punt van een sondering wordt daarbij een watermonster omhoog gedrukt. Daarnaast kan in de sondeergaten een minifilter of een milieufilter worden geplaatst. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar de productsheets van Grondmechanica Delft.

Rioolinspectie

Een rioolinspectie kan bepalend zijn voor het vaststellen van de bron. Opgelost product kan in de riolering terechtkomen. Rioleringsen kunnen in slechte staat verkeren. De oorzaak hiervan kan zijn dat VOCL-verontreinigingen het beton hebben aangetast waardoor er breuken en scheuren zijn ontstaan. Deze breuken en/of scheuren kunnen een (secundaire) bron vormen voor verontreiniging van de bodem.

Doordat VOCL-verontreinigingen zwaarder zijn dan water kunnen ze zich in geval van hoge concentraties over de bodem van het riool verplaatsen en vervolgens als puur product in de ondergrond terecht komen. In de bodem boven het riool wordt vaak weinig of geen verontreiniging aangetroffen. Bij een rioolinspectie wordt door middel van een computergestuurde camera de binnenkant van het riool geïnspecteerd waardoor breuken en/of scheuren zichtbaar worden.

3.3 NIET-VERSTORENDE MEETMETHODEN

Geofysische meetmethoden

Deze meetmethoden verstoren de ondergrond niet en kunnen al in een vroeg stadium worden gebruikt bij het in kaart brengen van de verontreinigingssituatie. De toepasbaarheid van de geofysische meetmethoden zal per locatie moeten worden geëvalueerd. Hieronder zullen verschillende geofysische meetmethoden kort worden beschreven. Onderstaande informatie is ontleend aan (lit. [6] en lit. [35]).

Van de geofysische meetmethoden kunnen worden genoemd:

- Ground-penetrating radar (GPR)
Deze methode maakt gebruik van hoge-frequentie elektromagnetisch geleidende pulsen. De reflectie-energie wordt bepaald van lagen in de ondergrond die verschillende geleidende en di-elektrische eigenschappen hebben. GPR wordt gebruikt om de stratigrafie te bepalen, begraven afval te lokaliseren en de infiltratie van tetrachlooretheen (PER) te monitoren.
- Electromagnetic conductivity
Deze methode maakt gebruik van de sterkte van een geïnduceerd elektrisch veld om de geleidbaarheid en de doordringbaarheid van de ondergrond te bepalen. Stratigrafie, geleidbare verontreinigingen en begraven afval kunnen worden bepaald.
- Electrical resistivity
Deze methode is gebaseerd op de elektrische eigenschappen van de ondergrond. Er wordt stroom gezet op de elektroden en vervolgens wordt de stroomafname tegen de tijd gemeten. Dit is een maat voor de weerstand van de ondergrond. Hieruit kunnen de opbouw van de ondergrond, de diepte van de waterspiegel, verontreinigingspluimen en begraven afval worden bepaald.

- **Seismic refraction and reflection**
Deze methode is gebaseerd op refractie van geluidsenergie op grensvlakken tussen materialen die een verschillende seismische snelheid en dichtheid bezitten.

Deze meetmethoden kunnen worden gebruikt voor:

- het bepalen van de bodemopbouw en de hydrogeologische condities;
- het detecteren en in kaart te brengen van ondergrondse tanks (eventueel afvalhoudend);
- het optimaliseren van de plaats van een nieuwe boring;
- het vergemakkelijken van de interpolatie van ondergrondse condities tussen verschillende boringen.

Geofysisch onderzoek kan relatief snel en goedkoop informatie geven over de ondergrondse condities. Deze meetmethoden hebben echter ook beperkingen. Voorbeelden hiervan zijn beperkingen als gevolg van het klei- en vloeistofgehalte in de bodem, metalen hekken, leidingen, gebouwen, voertuigen, etc. [lit. 6]. Directe detectie en het in kaart brengen van niet-geleidende ondergrondse VOCL-verontreinigingen is nog een onduidelijke en een blijkbaar beperkt ontwikkelde technologie. Er zijn echter enkele locaties waar gebruik is gemaakt van de GPR als monitoringstechniek om de infiltratie van tetrachlooretheen (PER) te volgen. Enkele testen hebben een goed resultaat opgeleverd [lit. 48].

Het gebruik van deze methoden voor de detectie van verontreinigingen is beperkt door gebrek aan gedocumenteerde successen en geofysici die getraind zijn in deze technieken. Dit gebied biedt genoeg mogelijkheden voor verder onderzoek toegespitst op eventuele toepasbaarheid voor het detecteren van deze verontreinigingen.

Bodemgasanalyse

Bodemgasonderzoek genereert snel een grote hoeveelheid data tegen lage kosten en verstoort de ondergrond niet. Voor gasanalyse worden drägerbuisjes en actief-koolbuisjes gebruikt. Daarnaast wordt de Photo Ionisatie Detector (PID-meter) gebruikt om bronnen van verontreiniging op te sporen. Het voordeel van deze meetmethode is dat deze werkelijke velddata biedt. Veel VOCL's hebben een hoge dampdruk en zullen dan ook in gasvorm voorkomen rond een VOCL-verontreiniging. VOCL's opgelost in het grondwater kunnen overgaan in de gasfase in de capillaire zone. Evenwichtsconcentraties voor de gasfase zullen waarschijnlijk nooit worden bereikt door de snelle diffusie in de onverzadigde zone. Door op verschillende diepten te meten kan een verticaal profiel van bodemgas-concentraties worden opgesteld.

Bodemgasverontreiniging is geen betrouwbare indicator voor de verdeling van VOCL in de onverzadigde en verzadigde zone.

Interpretaties van de verdeling van bodemgas-concentraties moeten worden bevestigd door bodem- en/of watermonsters. Bodemgasmonsters zijn goed te nemen als de diepte tot de grondwaterspiegel niet te groot is (< 3,0 m -m.v.) en de bodem niet is opgebouwd uit veen en/of vaste klei.

3.4 BEPALING VAN DE AANWEZIGHEID VAN PUUR PRODUCT

Aan de hand van de verkregen analyseresultaten kan op grond van de volgende punten indirect bepaald worden of puur product aanwezig is op de locatie. Deze uitgangspunten berusten op ervaring en komen uit de literatuur (met name lit. [6]):

- grondwaterconcentratie van VOCL > 1% van de oplosbaarheid van de pure fase of van de effectieve oplosbaarheid. Verzadigde concentraties zullen slechts worden gemeten als de monitoringsput in of zeer vlakbij puur product is geplaatst;
- concentraties in de bodem > 1% (gew. procent);
- concentraties in het grondwater berekend uit de bodem-water partiticoëfficiënt en grondanalyses die de effectieve oplosbaarheid of de oplosbaarheid van het product overschrijden;
- concentraties in bodemgas > 100 - 1.000 ppm;
- soortelijk gewicht van de gemeten vloeistof 1 - 2% groter dan het soortelijk gewicht van schoon water;
- grote concentratievariaties in ruimte en tijd.

Veldwaarnemingen die kunnen wijzen op de aanwezigheid van puur product zijn:

- aanwezigheid van de verontreiniging op een grotere diepte dan ten gevolge van de grondwaterstroming verwacht mag worden;
- aantreffen van de verontreiniging stroomopwaarts van de bron;
- aangetaste riolering, peilbuizen of kleiafdichting.

Na het aantreffen van puur product in een peilbuis, bevestigd door veld- en/of analyse-resultaten, kan de eventuele aanwezigheid en daarmee de dikte van een zinklaag worden bepaald met de volgende meetmethoden ([lit. 6], [lit. 39]).

Interface probes (tot 60 meter diepte)

Deze methode kan het lucht-watergrensvlak en het koolwaterstoffen-watergrensvlak onderscheiden. De meter kan langzaam in een peilbuis worden neergelaten en vervolgens weer omhoog worden getrokken om de verdeling binnen de peilbuis te bepalen.

Hydrocarbon-detection paste (tot 60 meter diepte)

Deze pasta verandert van kleur in contact met koolwaterstoffen. Het materiaal kan tot de gewenste diepte in een peilbuis omlaag worden gebracht. Het nadeel is dat een drijfslag niet van een zinklaag kan worden onderscheiden.

Transparent bailers (tot 60 meter diepte)

De bailer wordt in de peilbuis omlaag gebracht en daarna weer omhoog getrokken waarna de dikte van de zinklaag af te lezen is. Het nadeel is dat met de bailer exact op het water/koolwaterstof-grensvlak moet worden bemonsterd.

Density sensor (tot 90 meter diepte)

Met deze methode wordt de dichtheid van verschillende producten (met variërende dichtheid) bepaald in één peilbuis. Deze methode is in vergelijking tot de andere zeer kostbaar.

Optoelectric indicators (tot 450 meter diepte)

De dikte van de laag wordt bepaald door het verschil in geleidbaarheid (door middel van optische refractie) te bepalen met een gecalibreerde meter. Deze methode wordt het meest toegepast en is nauwkeurig.

Beegeman boring

De Beegeman boor kan worden gebruikt om een relatief ongestoord monster te nemen, waarna de dikte van de drijfslag kan worden ingeschat.

Ieder meetmethode heeft zijn eigen specifieke beperkingen.

Verschillende factoren beïnvloeden de meting voor het bepalen van de dikte van een zinklaag (puur product verontreiniging) in een peilbuis ten opzichte van de formatie.

- als het filter van de peilbuis zich voor een gedeelte in een slecht doorlatende laag bevindt onder de zinklaag kan de gemeten dikte van het pure product hoger zijn dan werkelijk het geval is;
- als het filter zich slechts voor een gedeelte in een zinklaag bevindt dan kan een kleinere dikte van het pure product worden gemeten dan in werkelijkheid;
- als er concentraties VOCL worden gemeten in peilbuizen die slecht doorlatende laagjes doorsnijden en hierdoor zorgen voor een verticale verplaatsing van de verontreiniging kan de gemeten concentratie erg misleidend zijn voor de diepte waarop wordt gemeten;
- als er gebruik wordt gemaakt van een omstorting die redelijk grof is, kan het zijn dat de VOCL-verontreiniging eerder via deze omstorting omlaag beweegt dan door het filter. Als het filter niet tot onder de omstorting reikt, kunnen te lage concentraties worden gemeten;
- omstortingen zullen altijd grover moeten zijn dan het omringende materiaal maar er moet wel voor gezorgd worden dat de verontreiniging in het filter terecht komt. Te kleine filteropeningen en een te fijne omstorting werken als een capillaire barrière voor de puur product-verontreiniging;
- als een peilbuis geheel geplaatst is in een zinklaag kan door pompen de VOCL omhoog komen om hydrostatisch evenwicht te handhaven waardoor de gemeten dikte van de zinklaag niet representatief is voor de werkelijke situatie.

Resultaten van de uitgevoerde veldwerkactiviteiten en bijbehorende meet- en analyse-resultaten zullen voor een beter inzicht in de verontreinigingssituatie zorgen. De betreffende beschrijving van de verontreinigingssituatie zal vervolgens gebruikt worden voor het evalueren en ontwerpen van saneringsmaatregelen voor een met VOCL-verontreinigde locatie. Benodigde specifieke data zullen variëren voor verschillende saneringstechnieken.

4. INVENTARISATIE VAN KENNIS, ERVARINGEN EN KNELPUNTEN BIJ ADVIESBUREAUS

4.1 WERKWIJZE

Ervaringen met VOCL-verontreinigingssituaties zijn verzameld aan de hand van uitgevoerde praktijkgevallen. Daartoe is aan een zevental adviesbureaus gevraagd een concreet project te evalueren met behulp van een enquêteformulier. Dit enquêteformulier is opgenomen in bijlage 2. De betrokken adviesbureaus zijn genoemd in bijlage 3. Tijdens een daarop volgend interview zijn de enquête-resultaten besproken en in breder verband geëvalueerd. Op deze wijze is een overzicht verkregen van de knelpunten en eventuele oplossingen. De enquête bestaat uit een reeks vragen per te onderscheiden projectfase, zoals bijvoorbeeld historisch onderzoek, oriënterend onderzoek, etc. De vragen zijn door de adviesbureaus doorlopen aan de hand van een concreet project, waarbij het van minder belang was of het project al tot en met de sanering was uitgevoerd. In dat geval verviel een deel van de enquête. Er is vooral gevraagd naar projecten waarin een aantal aspecten van het onderzoek of de sanering uitgebreider aan de orde zijn geweest. De antwoorden zijn genoteerd op een antwoordformulier.

Een groot deel van de vragen gaat over de wijze waarop het project is aangepakt en uitgevoerd. Welke onderzoeksstrategieën zijn gevolgd, wat waren de hypothesen en aannamen en welke knelpunten zijn daarbij ervaren. De bedoeling was niet om het project te evalueren in termen van goed of fout, maar meer op een manier waardoor duidelijk wordt van welke algemeen gedeelde knelpunten sprake is en wat de eventuele oplossingen daarvoor zijn. Een belangrijke rol speelt hierbij de invloed van een knelpunt op het verloop van het gehele project. Naar de adviesbureaus is aangegeven dat aanvullende opmerkingen en ideeën, ongeacht of die direct op de vraag of op het geëvalueerde project betrekking hadden, zeer welkom waren. Hiervan is in ruime mate, met name tijdens de interviews, gebruik gemaakt. De resultaten van de enquête en de interviews zijn in de volgende paragraaf beschreven.

4.2 RESULTATEN VAN DE ENQUÊTE EN DE INTERVIEWS

De betrokken adviesbureaus hebben allen enthousiast meegedaan, zowel bij het invullen van de enquête als tijdens het interview. Uit de gesprekken is naar voren gekomen dat projecten waarbij VOCL-verontreinigingen voorkomen in de bodem complex zijn. De behoefte aan handreikingen en oplossingen is groot.

De resultaten van de enquête zijn anoniem verwerkt, waardoor een directe relatie met de geëvalueerde projecten niet mogelijk is. In paragraaf 4.2.1 wordt eerst kort de omvang van het probleem geschetst. Vervolgens wordt in paragraaf 4.2.2 en paragraaf 4.2.3 per onderdeel van de enquête een samenvatting gegeven van de ervaringen van de adviesbureaus. Daarbij zijn 2 hoofdthema's te onderscheiden, namelijk 'karakterisering' en 'sanering'.

4.2.1 Omvang en voorkomen van locaties met VOCL-verontreinigingen in de bodem

De omvang van het probleem van bodemverontreinigingen met VOCL is groot. De verwachting is dat bijvoorbeeld bij 400 van de 600 chemische wasserijen een bodemprobleem aanwezig is. In veel gemeenten bevinden zich grote historische VOCL-verontreinigingen. Daarnaast is de omvang van de problematiek groot omdat het in de meeste gevallen om ernstige en urgente gevallen gaat. Dit is onder meer te wijten aan de specifieke stoffeïenschappen.

De projecten die zijn geëvalueerd zijn gelegen in de volgende provincies:

- Overijssel;
- Noord-Holland;
- Friesland;
- Limburg;
- Drenthe;
- Zeeland;
- Zuid-Holland.

De opdrachtgever is of was in drie gevallen de provincie, in één geval de gemeente, in 2 gevallen een groot bedrijf en in één geval een kleiner bedrijf. De oppervlakten van de locaties variëren van 2.200 m² tot 192.000 m². De eerste onderzoeken voor deze projecten zijn gestart in de periode 1983 tot 1988. Van de zeven projecten is één project helemaal afgerond (inclusief sanering). Bij drie projecten is de sanering in uitvoering, in één geval is het saneringsplan gereed en bij twee gevallen is een saneringsonderzoek afgerond.

4.2.2 Karakterisering

Historisch onderzoek

In het kader van historisch onderzoek worden door alle bureaus dezelfde activiteiten uitgevoerd. Noodzakelijke informatie, zoals de indeling van de (voormalige) bedrijven en informatie over eventuele calamiteiten die hebben plaatsgevonden, wordt verkregen uit archieven en door middel van interviews met (oud)werknemers. Bij de geëvalueerde projecten waren de bedrijfsactiviteiten wel bekend, maar de lozingspunten zijn in een aantal gevallen niet teruggevonden. In welke vorm VOCL is geloosd (puur product, in oplossing) is eveneens bijna nooit bekend. Alle bureaus besteden tijdens het historisch onderzoek aandacht aan rioleringtracés en afvoergoten. Het vinden van bronnen langs deze tracés is echter niet eenvoudig.

Tijdens de interviews is het belang van goed historisch onderzoek bevestigd. Tegelijkertijd wordt geconstateerd dat de historische informatie bijna nooit volledig is. Veelal komt tijdens het project aanvullende informatie boven water. Door de adviesbureaus wordt aangegeven dat de mogelijkheden tot verbetering van historisch onderzoek niet groot zijn.

Onderzoekstrategie

De hypothese bij het oriënterend onderzoek is in alle gevallen gebaseerd op gegevens uit het historisch onderzoek. Daarbij is vaak de hypothese 'verdacht met onbekende bronnen van verontreinigingen' aangehouden, vanwege de onzekerheden ten aanzien van de volledigheid van de historische informatie. Tijdens het onderzoek wordt nog weleens afgeweken van de oorspronkelijke strategie, omdat onverklaarbare bronnen worden aangetroffen.

In het oriënterend onderzoek wordt door 5 bureaus regelmatig gebruik gemaakt van veldmeettechnieken. In alle gevallen wordt gebruik gemaakt van een Photo Ionisatie Detector (PID-meter). De PID-meter wordt gebruikt om historische bronnen op te sporen en soms worden de metingen gebruikt ter ondersteuning van de zintuiglijke waarnemingen en de selectie van monsters. Omvangsbepaling en afperking met een PID-meter worden door de meeste bureaus niet gedaan.

Het nader onderzoek wordt door alle bureaus gefaseerd uitgevoerd. Er is geen enkel bureau dat daarbij de onderzoeksprotocollen volgt. De mogelijkheid om gemotiveerd af te wijken van deze protocollen wordt door iedereen benut. Op grond van de gegevens van het historisch onderzoek en het oriënterend onderzoek wordt in een aantal fasen van binnen naar buiten afgeperkt. Dat wil zeggen dat de omvang van een vlek wordt bepaald door vanuit de bron steeds verder te onderzoeken totdat geen verontreiniging meer wordt aangetroffen.

Bepaling puur product

Bij alle bureaus wordt rekening gehouden met puur product. Hierbij blijkt wel enige spraakverwarring te bestaan bij het gebruik van termen zoals 'DNAPL', 'puur product', VOCL (de stof) en dichtheidsstroming. Deze begrippen zijn opgenomen in de begrippenlijst in bijlage 1.

Bij twee projecten is aangegeven dat puur product niet werd verwacht op grond van de bodemopbouw. In vier gevallen is geboord tot aan de scheidende laag op diepten van 25 tot 40 m-m.v. om eventueel puur product aan te tonen. Alle bureaus geven aan dat het aantonen van puur product met de huidige onderzoeksmethoden niet goed mogelijk is. Bij de meeste projecten die zijn geëvalueerd, kon de aanwezigheid van puur product dan ook niet met zekerheid worden vastgesteld.

Onderzoeksmethoden

De onderzoeksmethoden die zijn gebruikt zijn in tabel 3 samengevat.

Tabel 3. Onderzoeksmethoden

Monster-nemingsmethoden	Toegepast door bureaus
Grondmonsters	3 bureaus, 1 onbekend
Grondmonsters met steekbussen	5 bureaus
peilbuizen	
tot welke diepte	Minimaal tot 7 m-m.v., 5 bureaus tot ongeveer 25-30 meter, 1 bureau tot 40 m-m.v.
filterlengte	6 bureaus 1 meter lengte, 1 bureau 2 meter lengte, 1 bureau gebruikt filters van 2 meter lengte in het watervoerend pakket.
materiaal	6 bureaus gebruiken PVC, 1 bureau gebruikt roestvrij staal.
pulsboringen	6 bureaus gebruiken pulsboringen bij diepe boringen, 1 bureau gebruikt spoelboringen
sonderingen	3 bureaus hebben gebruik gemaakt van sonderingen in het geëvalueerde project
peilbuizen gedrukt in sondeergaten	2 bureaus hebben peilbuizen laten drukken in sondeergaten
minifilters	4 bureaus gebruiken nooit mini-filters. 3 bureaus gebruiken wel minifilters voor de bepaling van een globale omvang.
andere methoden	de methode Fugro, het nemen van grondmonsters tijdens sonderingen (MOS/tap-systeem) en het nemen van grondwatermonsters m.b.v. de grondwateronde van Grondmechanica Delft

Alle bureaus geven aan dat de huidige methoden van onderzoek voor de grond- en grondwaterverontreinigingen wel voldoen, maar dat in het specifieke geval van VOCL-verontreinigingen geen samenhangend beeld van de situatie in de bodem kan worden verkregen met die onderzoekstechnieken.

Fluctuaties in analyseresultaten

Alle adviesbureaus hebben ervaring met projecten waarbij de concentraties VOCL sterk fluctueren, zowel ruimtelijk als in de tijd. Hoewel deze fluctuaties in eerste instantie worden geweten aan fouten tijdens de monsterneming, wordt inmiddels door alle bureaus aangenomen dat het grootste gedeelte van deze fluctuaties wordt veroorzaakt door het specifieke stofgedrag van VOCL, in combinatie met de heterogeniteit van de bodem. Het heterogene voorkomen van de verontreiniging als puur product, opgehoopt in slecht doorlatende laagjes of opgelost, kan voor grote verschillen in concentraties zorgen.

De fluctuaties zorgen voor problemen bij de interpretatie van de resultaten binnen de huidige norm- en regelgeving. De normen waaraan concentraties in de bodem worden getoetst (streef- en interventiewaarden) zijn moeilijk te hanteren wanneer die concentraties sterk fluctueren.

Risico-evaluatie

Bij de uitvoering van risico-evaluaties, gericht op humane risico's, blijkt in bijna alle gevallen uitdamping van vluchtige componenten het meest kritisch te zijn. Daarnaast was bij een aantal projecten de permeatie van drinkwaterleidingen onacceptabel. Bij de beoordeling van humane risico's hebben twee bureaus gebruik gemaakt van C-SOIL, drie bureaus van HESP en twee bureaus hebben handmatig een risicobeoordeling uitgevoerd.

Bij de geëvalueerde projecten is sprake van verspreiding van de verontreiniging in een groot bodemvolume. Deze verspreiding is daardoor een belangrijke factor bij het vaststellen van de noodzaak tot sanering van de locaties.

Vinylchloride

In alle interviews is het onderwerp vinylchloride specifiek ter sprake gekomen. De afgelopen jaren (vanaf circa 1991) wordt deze component steeds vaker meegenomen in het analysepakket. Voor die tijd was dat niet gebruikelijk. Uit twee interviews bleek dat bij die bureaus nog niet veel bekend was over de specifieke problemen tijdens de monsterneming en analyse van vinylchloride. Deze worden veroorzaakt door de hoge vluchtigheid en de snelle afbreekbaarheid van die stof in de lucht. Bij de overige bureaus wordt wel specifiek aandacht besteed aan de bijzondere eigenschappen van vinylchloride.

In risico-evaluaties is vinylchloride vaak een kritische component. Dit wordt veroorzaakt door de carcinogene eigenschappen van vinylchloride, waardoor al bij lage blootstellingsconcentraties sprake is van overschrijding van het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR). Door een aantal adviesbureaus is aangegeven dat de interventiewaarde voor diepere watervoerende pakketten wel erg streng is, terwijl de risico's door verontreinigingen in zo'n pakket veel beperkter zijn dan de risico's bij uitdamping.

Bodempluchtmetingen

Om de actuele humane risico's te bepalen, worden bodempluchtmetingen uitgevoerd in kruipruimten en woonkamers. Bij een aantal bureaus bestaan twijfels over de wijze waarop deze moeten worden uitgevoerd, wanneer het om VOCL-verontreinigingen en specifiek om vinylchloride gaat.

4.2.3 Sanering

Modellen

Door de adviesbureaus worden verschillende modellen gebruikt voor grondwaterstromingsberekeningen en stoftransportberekeningen. De modellen worden bijna altijd gebruikt bij het doorrekenen van verschillende saneringsvarianten en bijna nooit bij het voorspellen van de verspreiding van verontreinigingen ten behoeve van een onderzoeksopzet.

Voor stoftransportberekeningen wordt vaak gebruik gemaakt van retardatiefactoren. In tabel 4 is een overzicht gegeven van enkele gebruikte retardatiefactoren. Het definiëren van de juiste retardatiefactoren wordt door de meesten als problematisch ervaren. Daarbij werd opgemerkt dat de keuze van de retardatiefactor wordt beïnvloed door het doel van de berekening. Wanneer potentiële verspreidingsrisico's worden berekend zal een lage retardatiefactor worden gebruikt, omdat dan de grootste verspreiding optreedt.

Bij de berekening van de saneringsduur zal juist een hogere retardatiefactor worden gebruikt, omdat daarmee de saneringsduur toeneemt. In beide gevallen wordt dus een *worst case* benadering toegepast.

Tabel 4. Gebruikte retardatiefactoren

parameters	algemeen	veen	klei	zand (humeus)
per	12	180	8,2	13
tri	4	60	3,4	5
cis*	3	3,3	1,1	5

Toelichting:

* cis 1,2-dichlooretheen

Sanering

Van de zeven adviesbureaus hebben zes bureaus ervaring met grondwatersaneringen die langer duren dan verwacht. Deze grondwatersaneringen zijn vaak begin jaren negentig ontworpen waarbij is uitgegaan van een vrij lage retardatiefactor en een als homogene pluim opgeloste verontreiniging. Tijdens de sanering worden vaak veel hogere concentraties in het grondwater aangetroffen, die daarnaast minder snel afnemen in de tijd dan verwacht. In een aantal gevallen nemen de concentraties zelfs toe. Wellicht bevinden zich plaatselijk bronnen met hoge concentraties VOCL in de ondergrond (bijvoorbeeld puur product-laagjes) en is de desorptiesnelheid van eenmaal geadsorbeerde VOCL laag.

In drie saneringsgevallen is, na aanvullend onderzoek, in overleg met het bevoegd gezag besloten de sanering te beëindigen terwijl de concentraties in het grondwater de interventiewaarden (I-waarden)¹ nog overschreden. Overweging daarbij was steeds, dat het met de huidige technieken onmogelijk zou zijn veel lagere waarden te behalen, terwijl bovendien al een behoorlijke inspanning was geleverd.

De strategieën zoals die nu worden opgesteld gaan er meestal vanuit dat slecht doorlatende klei- en veenlagen zoveel mogelijk moeten worden verwijderd, met het oog op naleveringseffecten vanuit deze lagen. Wanneer verwijdering van de slecht doorlatende lagen niet mogelijk is, wordt een multifunctionele sanering, uitgaande van de huidige streefwaarden, niet haalbaar geacht. Voor wat betreft de grondwatersanering is een multifunctionele sanering door middel van het onttrekken van grondwater alleen haalbaar in zeer homogene zandpakketten.

Overige saneringstechnieken

Een aantal bureaus heeft ervaring met bodemluchtexttractie. Uit die ervaringen blijkt dat bodemluchtexttractie in de eerste fase van de sanering, wanneer zich relatief hoge concentraties VOCL in de onverzadigde zone bevinden, goede resultaten geeft. In korte tijd wordt een relatief grote vracht verontreinigingen verwijderd. Wel blijven altijd enige restverontreinigingen achter.

Drie bureaus hebben ook ervaring met persluchtinjectie. In twee van de drie gevallen zijn met persluchtinjectie goede resultaten behaald in goed doorlatende gronden. In één project was dat niet het geval, maar hierbij waren de aanvangsconcentraties van de verontreinigingen lager dan bij de andere geëvalueerde projecten. Algemeen beeld is dat er bij sommige adviesbureaus nog veel onbekendheid is ten aanzien van de toepassingsmogelijkheden en -voorwaarden van persluchtinjectie, maar dat dit wel wordt beschouwd als een zinvolle techniek. Bij een goede toepassing blijken de resultaten in de eerste fase van de sanering goed te zijn.

Met biologische saneringstechnieken voor VOCL-verontreinigingen is nog nauwelijks ervaring opgedaan, slechts één bureau heeft op het ogenblik een proefproject.

¹ De toetsing van analyseresultaten aan het wettelijk kader vindt plaats met behulp van de toetsingswaarden uit de Circulaire "Interventiewaarden bodemsanering" (Ministerie van VROM, 9 mei 1994), gepubliceerd in de Staatscourant van 24 mei 1994. Deze toetsingswaarden bestaan uit de streefwaarde (S-waarde), de interventiewaarde (I-waarde), alsmede de daar tussenin gelegen waarde $(S+I)/2$. Voor grond (land- en waterbodem) zijn de hoogten van deze waarden afhankelijk van de gehalten organisch stof en lutum. De toetsingswaarden voor grondwater zijn onafhankelijk van de gehalten organisch stof en lutum.

Beleid

Alle adviesbureaus worstelen met het uitgangspunt van multifunctionaliteit en het feit dat, indien van de multifunctionele variant wordt afgeweken, in principe de meest sobere en doelmatige variant moet worden bekeken. Juist bij tussenvarianten is volgens de adviesbureaus het milieurendement het hoogst. Daarbij worden combinaties van bronverwijdering en beheersing toegepast. Een aantal adviesbureaus hebben, in overleg met het bevoegd gezag, met succes tussenvarianten toegepast.

4.3 SAMENVATTING VAN DE STAND VAN ZAKEN

4.3.1 Problemen inherent aan de gangbare onderzoekspraktijk

De stand van zaken, met betrekking tot de problemen die tijdens het onderzoek en de sanering van bodems, die zijn verontreinigd met VOCL optreden, wordt hierna gepresenteerd.

Elk project begint met een historisch onderzoek. Dit historisch onderzoek wordt uitgevoerd volgens checklists (vergelijkbaar met bestaande protocollen, etc.) die bij ieder bureau ongeveer overeen komen. De compleetheid van de informatie is echter niet aantoonbaar in dit stadium. Duidelijk is dat ontbrekende informatie gevolgen kan hebben in vervolgstadia van het onderzoek. Dit knelpunt is in deze fase niet oplosbaar.

Vervolgens wordt oriënterend onderzoek uitgevoerd. De keuze ten aanzien van het boorplan en de analyses worden gemaakt op basis van de historische informatie. Het resultaat van dit onderzoek bestaat uit een aantal gemeten concentraties op een bepaald punt op een bepaalde diepte. Deze waarnemingen worden aan elkaar gerelateerd en geïnterpreteerd. Hierbij wordt een eerste beeld verkregen van de verontreinigingsvlekken. Omdat het historisch onderzoek wellicht niet compleet is zijn er twee mogelijkheden.

- Er worden verontreinigingen aangetroffen op plekken waar dit op grond van historische informatie niet werd verwacht. Doordat dit nu wordt ontdekt, wordt een deel van de ontbrekende informatie ingevuld;
- Onbekende bronnen worden gemist, dit betekent dat informatie nog steeds ontbreekt en dat voor het vervolg van het onderzoek een verkeerde strategie kan worden gekozen.

Naast deze potentiële onzekerheden kunnen ook nog fouten ontstaan tijdens monsterneming en analyse. Ook de waarnemingen en interpretatie van de bodemopbouw en de geohydrologie kunnen leiden tot fouten in het beeld dat naar aanleiding van het oriënterend onderzoek wordt geschetst.

Na het oriënterend onderzoek wordt een nader onderzoek uitgevoerd. Omdat dit onderzoek in fasen wordt uitgevoerd kan elke waarneming weer op een vorige worden gebaseerd. Meestal gaat men uit van de gevonden verontreinigingsvlekken tijdens het oriënterend onderzoek.

Opnieuw is de kans aanwezig dat alsnog nieuwe bronnen (en vlekken) worden gevonden, bijvoorbeeld tijdens de afperking van een reeds bekende bron of dat in de loop van het onderzoek alsnog nieuwe historische informatie bekend wordt.

Tijdens het nader onderzoek kunnen de volgende problemen optreden:

- fouten in monsterneming en analyse;
- transport van verontreinigingen naar de diepte tijdens boorwerkzaamheden (contaminatie).

Op grond hiervan kunnen interpretaties niet juist zijn. De belangrijkste en meest voorkomende interpretatiefouten betreffen:

- in de diepte wordt op grond van zeer beperkte waarnemingen geconcludeerd dat de verontreiniging is afgeperkt (oftewel de omvang van de verontreiniging is bepaald). Juist bij deze stoffen is de verspreidingsvorm onzeker en kunnen verkeerde conclusies worden getrokken;
- door contaminatie wordt op grote diepte nog verontreiniging aangetroffen, waardoor onnodig hoge onderzoeks- en saneringskosten worden gemaakt;
- horizontaal wordt een aantal verspreidingsroutes over het hoofd gezien. Vaak betreft het rioleringen of oude afvoergoten. Het beeld van de verontreinigingsvlekken kan hierdoor ernstig worden beïnvloed.

In het saneringsonderzoek en saneringsplan wordt gewerkt met gegevens uit het nader onderzoek. Tijdens het saneringsonderzoek vindt vaak een herinterpretatie plaats van de waarnemingen, omdat hierbij meer wordt gekeken richting mogelijke saneringsvarianten. Het belangrijkste knelpunt bij de uitvoering van het saneringsonderzoek en het opstellen van het saneringsplan is gerelateerd aan het stofgedrag: de verhouding tussen de concentraties in grond en grondwater is vaak onbekend, zeker bij de aanwezigheid van ondoorlatende lagen of lenzen. Daarnaast is onbekend hoe snel de verontreiniging desorbeert van de gronddeeltjes. Deze nalevering blijkt moeilijk in te schatten, waardoor de voorspelling van de saneringsduur niet goed mogelijk is. Tenslotte komt uit de interviews naar voren dat de kennis over VOCL-verontreinigingen versnipperd is en dat het veel tijd en moeite kost om de kennis die in Nederland aanwezig is te verzamelen. Mede daarom is het kennisniveau ten aanzien van VOCL-verontreinigingen in de bodem niet bij elk adviesbureau gelijk.

4.3.2 Knelpunten ten aanzien van meettechnieken

Zoals in hoofdstuk 2 reeds is geconstateerd, veroorzaakt het specifieke stofgedrag een grillig patroon van verontreinigingen in de bodem, vaak tot grote diepten, waardoor het onderzoek naar deze verontreinigingen wordt bemoeilijkt. Met de huidige technieken wordt zelden een compleet beeld verkregen van de verontreinigingssituatie.

De behoefte aan een beter inzicht in de ruimtelijke verontreinigingssituatie en de bodemopbouw is groot.

Daarbij is het ook nog van belang om de vorm van de verontreiniging in de bodem te kennen (puur product, opgelost). Een tweede knelpunt bij onderzoek betreft de uitvoering van bodemluchtonderzoek voor VOCL en specifiek de luchtmonsterneming van vinylchloride.

4.3.3 Knelpunten ten aanzien van verspreidingsmodellen

De diepte waarop de VOCL zich bevindt kan niet worden voorspeld aan de hand van conventionele verspreidingsaannames, die uitgaan van opgeloste stof. In verticale zin kan het puur product snel uitzakken naar de diepte. Anderzijds kan bij het vermoeden van dichtheidsstroming niet zonder meer worden aangenomen dat de VOCL zich aan de onderzijde van het watervoerend pakket bevindt. Ten gevolge van inhomogeniteiten kan het verticaal transport onderweg stagneren. Horizontale verspreiding van puur product vindt niet alleen plaats met de grondwaterstroming, maar ook op hellende ondoorlatende lagen onder invloed van de zwaartekracht. Dit stofgedrag bemoeilijkt het formuleren van een onderzoeksstrategie en de keuze van saneringsvarianten.

4.3.4 Knelpunten ten aanzien van sanering

Bij de sanering van bodems met VOCL met behulp van grondwateronttrekking blijkt het moeilijk de saneringsduur te voorspellen. Dit komt omdat bij die voorspelling alleen rekening wordt gehouden met een homogene opgeloste fractie en een homogene geadsorbeerde fractie verontreinigingen in een bepaald pakket. In werkelijkheid vindt nalevering plaats vanuit de minder doorlatende laagjes en vanuit zinklagen. De nalevering uit minder doorlatende laagjes is een proces dat wordt bepaald door een traag proces (diffusie). Dit proces kan bovendien niet worden versneld door harder te pompen. Het gevolg is dat de terugsaneerwaarden niet worden gehaald in de vastgestelde tijd en dat grondwatersaneringen stagneren. Ook bij gebruik van andere saneringstechnieken zijn de onzekerheden over het te behalen resultaat en de saneringsduur groot.

5. INVENTARISATIE VAN DE ERVARINGEN EN KENNIS VAN KENNISINSTITUTEN

5.1 WERKWIJZE

De geëvalueerde projecten hebben geleid tot een aantal gemeenschappelijk geïdentificeerde knelpunten. Deze knelpunten zijn voorgelegd aan de betrokken kennisinstituten. Er zijn interviews gehouden met een medewerker van TNO en met twee medewerkers van Grondmechanica Delft. Daarnaast is contact geweest met de secretaris van de stichting Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In situ Sanering (NOBIS). De relevante voorstellen die inmiddels bij NOBIS zijn ingediend zijn bekeken in het licht van deze studie.

In een later stadium is contact gelegd met het RIVM, mede in het kader van een studie naar monsterneming van lucht en water voor de analyse van vinylchloride.

Bij de kennisinstituten die zijn bezocht, is geïnformeerd naar eventuele andere kennisinstituten die een bijdrage zouden kunnen leveren. Hoewel er een aantal universitaire onderzoeksgroepen en instituten (RUG, LUW, DLO) bezig is met specifieke aspecten van de VOCL-problematiek in de bodem (bijvoorbeeld de afbraak van deze verontreinigingen, de modellering van stoftransport, etc.), zijn er geen andere kennisinstituten die bezig zijn met aspecten die bij het uitvoeren van onderzoeks- en saneringsprojecten belangrijk zijn. Er zijn wel universiteiten en instanties die in NOBIS participeren en daarbij een aantal specifieke aspecten gaan onderzoeken die te maken hebben met biorestauratie en meetmethoden. Hierna worden nieuwe ontwikkelingen en blijvende knelpunten weergegeven.

5.2 RESULTATEN

In het algemeen vinden ook de onderzoeksinstellingen dat de kennis in Nederland is versnipperd en te weinig naar buiten wordt gebracht. Daardoor sluiten de vragen uit de praktijk ook niet goed aan bij de ontwikkelingen die gaande zijn bij kennisinstituten. Door stichtingen zoals NOBIS wordt hard gewerkt aan de integratie van de kennis van instituten en de problemen uit de praktijk. Ook kennis uit het buitenland zou meer moeten worden benut door instituten in Nederland. Op een aantal gebieden (bijvoorbeeld modellering, meetmethoden, *in situ* sanering) is in het buitenland meer ervaring en kennis aanwezig dan in Nederland.

5.2.1 Technieken voor karakterisering

Zowel bij TNO als bij GD is men bezig met de ontwikkeling van nieuwe technieken. Bij GD is bijvoorbeeld de grondwatermonstersonde ontwikkeld. Daarnaast wordt vooral in het kader van NOBIS een aantal meettechnieken ontwikkeld. Deze technieken zijn vooral gericht op meten in het veld. Hierbij wordt echter nog steeds geen ruimtelijk samenhangend beeld verkregen van de bodem en de verontreinigingssituatie.

Bij het RIVM is, in samenwerking met TAUW, een protocol ontwikkeld voor het bemonsteren van binnenlucht voor de analyse van vinylchloride [45]. Daarnaast is bij het RIVM een meldpunt opgezet voor ervaringen met het meten van concentraties vinylchloride in binnenlucht.

5.2.2 Modellen; voorspelling van stofgedrag

Het stofgedrag van VOCL is moeilijk te voorspellen. Er zijn nu nog geen modellen die dit gedrag adequaat kunnen voorspellen. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt door heterogene bodemopbouw. Bovendien worden kleilagen vaak als ondoorlatend voor verontreinigingen beschouwd, terwijl dit in het geval van VOCL vaak niet het geval is. In de praktijk lijkt VOCL de structuur van kleimineralen aan te tasten, waardoor de doorlatendheid van kleilagen toeneemt. Over de mate waarin dit optreedt is nog weinig bekend.

Door de geïnterviewden wordt geconcludeerd dat het gebruik van modellen zinvol is, maar dat het resultaat met enige voorzichtigheid moet worden benaderd. De praktijk-situatie zal niet precies kunnen worden gemodelleerd, vooral omdat er vaak te weinig (goede) invoergegevens zijn. De bodemopbouw en de plaats en hoeveelheid van de bronnen en verontreinigingsvlekken zullen in veel gevallen niet exact bekend zijn. Aangegeven wordt dat het verder ontwikkelen van nieuwe stoftransportmodellen theoretisch onderzoek vergt naar de processen in de bodem. Omdat geen directe aansluiting bij de praktijk kan worden verwacht, wordt aan dergelijk onderzoek een lage prioriteit gegeven.

5.2.3 Saneringstechnieken

Het ontwikkelen van biologische saneringstechnieken vindt voor een deel plaats in het kader van NOBIS. Hierbij leveren vele onderzoeksinstellingen hun bijdrage. In paragraaf 5.2.4 worden de relevante NOBIS-voorstellen kort toegelicht. Het uitwerken van varianten die vervolgens in de praktijk kunnen worden toegepast, verdient echter nog extra aandacht.

5.2.4 NOBIS

Bij NOBIS zijn inmiddels vier projecten ingediend die betrekking hebben op VOCL-verontreinigingen. Het gaat om de volgende projecten [32].

1. Afbraak van per- en trichlooretheen onder sequentiële redoxomstandigheden;
2. Onderzoek naar de innovatieve *in situ* sanering van met gechloreerde koolwaterstoffen verontreinigde grond;
3. Risicobeheersing op een industriële locatie door biotechnologische *in situ* maatregelen;
4. Onderzoek naar karakteriseringsmethoden voor DNAPL's.

- Ad 1. Dit haalbaarheidsproject richt zich op het ontwikkelen van een adequate methodiek voor karakterisering, monitoring en ontwerp van *in situ* biorestauratie van omvangrijke lang-naleverende verontreinigingen van chloorkoolwaterstoffen in ondiepe, matig heterogene, watervoerende pakketten.
- Ad 2. Doel van dit haalbaarheidsproject is het vaststellen van volledig anaërobe biologische afbraak van lagere gechloreerde koolwaterstoffen voor een *in situ* sanering.
- Ad 3. In dit haalbaarheidsproject worden de mogelijkheden voor risicobeheersing onderzocht door te bepalen wat de intrinsieke biodegradatie is in een ophooglaag en in het eerste watervoerend pakket. Daarnaast zal de haalbaarheid worden onderzocht van een actieve biologische zone die de verontreiniging inperkt.
- Ad4. Dit onderzoeksproject wordt uitgevoerd door TNO Grondwater en Geo-energie. In dit onderzoek zal worden gekeken naar:
- mogelijkheden voor het aantonen van puur product;
 - boortechnieken die contaminatie naar de diepte uitsluiten;
 - geofysische metingen;
 - inverse technieken op basis van concentratiemetingen en geofysische metingen.

In de eerste 3 projecten wordt door middel van batch- en kolomproeven de intrinsieke afbraak bekeken en wordt vastgesteld in hoeverre deze processen kunnen worden gestimuleerd. Voorstel 1 en 2 richten zich beiden op een biologische saneringsvariant met als doel de verwijdering van de verontreinigingen. In het derde voorstel ligt de nadruk op beheersing van verontreinigingen op een industrieterrein.

De overige NOBIS-projecten die gehonoreerd zijn, zijn niet gericht op VOCL maar op minerale olie, BTEX (benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen) of andere organische verontreinigingen. In deze projecten zullen echter meetmethoden worden ontwikkeld voor relevante geochemische parameters zoals bijvoorbeeld zuurstof en kooldioxide die ook toepasbaar zijn op locaties met VOCL-verontreinigingen.

Daarnaast wordt in alle NOBIS-projecten kennis opgedaan over biologische afbraakprocessen en de invloed van de omgeving op die afbraak. Er zijn inmiddels ook twee projecten ingediend die ingaan op het concept van biologisch actieve zones die kunnen fungeren als beheersingsmaatregel (bioschermen).

6. TOETSING VAN HET ONTSTANE BEELD BIJ PROBLEEMBEZITTERS

Het ontstane beeld van de tri- en per-problematiek is gepresenteerd aan de probleembezitters. Met een aantal probleembezitters zijn gesprekken gevoerd over hun ervaringen met deze problematiek. Hierna wordt per probleembezitter (of groep van probleembezitters) aangegeven waar voor hen de zwaartepunten liggen.

6.1 PROVINCIES

In een gesprek met vertegenwoordigers van vier provincies is het beeld ten aanzien van de knelpunten bevestigd. De projecten die bij de provincie terecht komen zijn vaak voormalige chemische wasserijen. Door de historie van deze bedrijven, waarbij de activiteiten in veel gevallen nog voor de tweede wereldoorlog zijn aangevangen, gaat het meestal om verontreinigingsvlekken met grote omvang en tot zeer grote diepten. Door de provincies wordt het belang van historisch onderzoek bevestigd. Daarnaast geven zij aan dat meetmethoden die een beter ruimtelijk beeld opleveren, ook in de diepte, zijn gewenst. De provincies zijn daarbij goed op de hoogte van de specifieke problemen die het stofgedrag van VOCL met zich meebrengt.

Ten aanzien van de vaststelling van humane risico's heerst over de risico's van vinylchloride veel onzekerheid. Het gedrag van deze vluchtige stof is nog niet goed in kaart gebracht en de onderzoeksmethoden, met name waar het luchtmetingen betreft, zijn niet voldoende geëvalueerd. Het zwaartepunt ligt voor de provincies bij het huidige beleid. Daarbij worden de volgende knelpunten onderscheiden:

- het onderzoekstraject moet volgens het huidige beleid leiden tot een volledige afperking van de verontreiniging, zonder dat wordt geanticipeerd op de mogelijkheden voor sanering. Dit leidt tot hoge onderzoekskosten, terwijl de resultaten vaak maar voor een klein deel bruikbaar zijn wanneer saneringsmaatregelen moeten worden ontworpen;
- in het huidige beleid is weinig ruimte voor het ontwikkelen van varianten, die liggen tussen een multifunctionele benadering en een IBC-variant. Qua milieuelement zijn tussenvarianten vaak de beste voor VOCL-verontreinigingen. Dit komt omdat een multifunctionele sanering vaak niet haalbaar is vanwege zeer lange nalevering, terwijl een beheersvariant een erg minimale oplossing is en als nadeel heeft dat het project langdurig moet worden voortgezet;
- de lage normen voor VOCL (vooral voor vinylchloride) komen volgens de provincies terecht voort uit de risico's die ontstaan bij uitdamping, zeker in verband met de carcinogene eigenschappen van vinylchloride. Dezelfde normen gelden echter ook voor grondwater in (zeer diepe) watervoerende pakketten. Het enige risico dat hier kan optreden is verspreiding. Hierbij zullen echter verdunning en afbraak plaatsvinden, terwijl humane risico's pas ontstaan indien er bedreigde objecten worden bereikt door dit grondwater;

- in die gevallen dat humane risico's niet aanwezig zijn, wordt het oppompen van grote hoeveelheden grondwater uit watervoerende pakketten om het laatste spoortje VOCL te verwijderen als zeer ongewenst beschouwd. Vooral in gebieden die gevoelig zijn voor verdroging (bijvoorbeeld Noord-Brabant) is dit niet verantwoord. In het huidige beleid is in deze tegenstrijdigheden (verwijdering versus verdroging) onvoldoende voorzien.

6.2 VERENIGING VOOR DE METAAL- EN DE ELEKTROTECHNISCHE INDUSTRIE (FME)

De FME behartigt de belangen van 80 tot 85% van de bedrijven die werkzaam zijn in bovengenoemde industrie. Hierin zijn circa 350.000 mensen werkzaam.

Voor wat betreft het onderzoekstraject wordt bevestigd dat het beeld van de verontreinigingssituatie vaak niet duidelijk is. Zowel in het historisch onderzoek als in het veldonderzoek worden bronnen en verspreidingswegen gemist. Hierbij wordt opgemerkt dat in een aantal gevallen niet voldoende aandacht wordt besteed aan de historische gegevens bij het maken van een onderzoeksstrategie.

De volgende opmerkingen worden gemaakt naar aanleiding van het eerder gevormde beeld:

- in de praktijk blijken PID-meters vaak slechte resultaten te geven. Dit is door adviesbureaus niet opgemerkt;
- wat betreft puur product wordt het beeld van het grillige stofgedrag bevestigd. Het puur product blijft vaak 'hangen' op slecht doorlatende laagjes. In één geval is oververzadigd grondwater aangetroffen.

Ten aanzien van de interpretatie van de onderzoeksresultaten wordt geconstateerd dat men vaak erg kort door de bocht gaat. Daarnaast is het beter om de onzekerheden, bijvoorbeeld ten gevolge van vaak voorkomende fluctuaties in gemeten concentraties, vooraf te melden aan de opdrachtgever.

Voor wat betreft de ontwikkeling van nieuwe onderzoeksmethoden geldt dat de leden van de FME nog weinig bezig zijn met structurele acties ten aanzien van bodemverontreiniging. Men probeert zo weinig mogelijk geld te besteden aan onderzoek en sanering. Daarbij wordt vaak blindelings vertrouwd op adviesbureaus. De verwachting is dat er binnenkort meer eisen zullen worden gesteld door het bevoegd gezag, zodat een goede en kosteneffectieve aanpak moet worden ontwikkeld.

6.3 VERENIGING VAN TEXTIELREINIGERS (NETEX)

Deze vereniging is een branchevereniging van chemische wasserijen. Het gaat om veelal kleine bedrijven met een bescheiden jaaromzet, die vaak in binnensteden zijn te vinden. Ten aanzien van de meettechnieken voor bodemonderzoek en de bijbehorende knelpunten wordt het beschreven beeld bevestigd. Het is moeilijk om een juist verontreinigingsbeeld te verkrijgen.

Ten aanzien van onderzoek adviseert de NETEX aan bedrijven om beperkt onderzoek te doen en bijvoorbeeld geen diepe boringen te laten plaatsen. Voor wat betreft de sanering wordt, in overleg met het bevoegd gezag, meestal gekozen voor een tussenvariant waarbij de bronnen worden ontgraven. Belangrijk is daarbij dat de bedrijfsvoering geen hinder ondervindt van een sanering. Ten aanzien van saneringstechnieken bestaat er dan ook veel belangstelling voor *in situ* technieken.

De hoge kosten voor zowel onderzoek als sanering zijn het grootste knelpunten voor deze bedrijfstak. Reeds in de jaren tachtig heeft NETEX geprobeerd een financieringsstructuur op te zetten voor de aangesloten bedrijven. De opzet was zodanig dat kon worden gespaard om op termijn bepaalde sanerende maatregelen te nemen. Ook het ministerie van VROM was enthousiast over dit idee. Helaas is dit idee uiteindelijk niet gerealiseerd, omdat er veel weerstand was vanuit het ministerie van Economische Zaken.

7. WORKSHOP

7.1 WERKWIJZE

Op 16 april is er een workshop gehouden naar aanleiding van het werkdocument van 9 april 1996. Voor de workshop waren zowel de adviesbureaus, de kennisinstituten als de probleembezitters uitgenodigd. De opkomst was hoog, driekwart van de genodigden was ook aanwezig bij de workshop.

Als voorbereiding op de workshop zijn aan de hand van drie hoofdthema's concrete vragen opgesteld, die volgen uit de knelpunten analyse:

Beleid

- kunnen vuilvrachtbenadering en milieurendement als uitgangspunt dienen bij saneringen?
- behoeven normeringen bijstelling?
- zijn innovatieve varianten mogelijk en hoe moeten die geformuleerd worden?
- welke financieringsstructuren zijn mogelijk voor kleine bedrijven die moeten saneren?

Karakterisering

- welke onderzoekstechnieken voor een beter ruimtelijk beeld kunnen worden gebruikt of ontwikkeld?
- welke onderzoekstechnieken voor puur product kunnen worden gebruikt en ontwikkeld?
- is het mogelijk de methoden voor bodemluchtonderzoek te verbeteren, speciaal voor vinylchloride?
- is het mogelijk een nieuw onderzoeksprotocol te maken?

Sanering

- kunnen bestaande saneringstechnieken worden verbeterd?
- kunnen biologische saneringstechnieken verder worden ontwikkeld?
- is het mogelijk om nieuwe saneringstechnieken te ontwikkelen?
- wat zijn de mogelijkheden van modellering van het transport van verontreinigingen en biologisch afbraak?

Tijdens de workshop zijn de resultaten van het project tot dan toe gepresenteerd aan de hand van een gefingeerde case. Vervolgens zijn 3 groepen geformeerd. Per groep is één van bovenstaande hoofdthema's, met bijbehorende onderzoeksvragen besproken. Daarnaast was in elke groep beperkt ruimte om ook te discussiëren over de overige thema's. Het volledige programma en de bezetting van de drie groepen, inclusief de voorzitters, zijn opgenomen in bijlage 4.

7.2 RESULTATEN

De groepsdiscussies hebben geresulteerd in een aantal belangrijke aandachtspunten, die algemeen worden onderschreven. In de plenaire bijeenkomst aan het eind van de workshop zijn de belangrijkste punten per hoofdthema gepresenteerd en besproken.

7.2.1 Beleid

Milieurendement en vuilvrachtbenadering

Bij de keuze van saneringsvarianten kan een benadering die is gebaseerd op milieurendement en het bepalen van de te verwijderen vuilvracht vaak goede resultaten opleveren. In de praktijk is reeds voldoende instrumentarium aanwezig om milieueffecten te beschrijven en te kwantificeren. Op beleidsmatig niveau zullen uiteindelijk de prioriteiten worden gesteld en beslissingen worden genomen over welke mate van restverontreiniging nog acceptabel is. Belangrijk aspect bij het nemen van die beslissingen is het inschatten en voorspellen van de restrisico's die worden veroorzaakt door de achtergebleven verontreiniging. Binnen NOBIS wordt op het ogenblik een studie uitgevoerd naar risico's van restverontreinigingen (het Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten model (RMK)).

Geconcludeerd wordt dat onderzoek op het gebied van instrumentarium voor het bepalen van milieurendement niet noodzakelijk is. Lopende ontwikkelingen (zoals die in NOBIS-kader) moeten leiden tot het vaker toepassen van deze benadering. Hierbij is een goede communicatie tussen overheid, probleembezitters en kennisinstellingen een voorwaarde.

In het verlengde hiervan werd tijdens de plenaire discussie nog opgemerkt dat de uitgangspunten voor milieubeleid niet alleen op pragmatische gronden mogen worden vastgesteld.

Bijstellen normeringen

In de huidige situatie zijn normen zoals de streefwaarde en de interventiewaarde een belangrijk instrument om een streefbeeld mee aan te geven. De aanwezigen zijn het er over eens dat het streefbeeld van een 'schone bodem' nog steeds moet worden uitgedragen. Anderzijds is het zo dat deze normen in de praktijk niet altijd goed uitwerken. Dit komt bijvoorbeeld voor wanneer een verontreiniging tot streefwaarde moet worden afgeperkt op grote diepte of wanneer een streefwaarde als terugsaneerwaarde wordt gehanteerd.

Deze dualistische gedachte hangt samen met het feit dat het inschatten van de risico's van de achtergebleven verontreinigingen moeilijk is (zie ook onder het kopje milieurendement en vrachtbenadering). Pas wanneer de (rest)risico's beter kunnen worden voorspeld, wordt het mogelijk om de normering meer te differentiëren. Geconcludeerd wordt dat ten aanzien van de normering voorlopig geen aanvullend PGB-o onderzoek noodzakelijk is.

Innovatieve varianten

In het kader van innovatieve varianten wordt vooral veel belang gehecht aan het concept van 'natural attenuation'. Voor het kunnen begrijpen en voorspellen hiervan is meer onderzoek noodzakelijk naar de processen die zich afspelen in de bodem. Tegelijkertijd wordt geconstateerd dat er onvoldoende uitwisseling van kennis en ervaringen plaatsvindt, zowel binnen Nederland als met het buitenland.

In de plenaire discussie wordt vastgesteld dat het van belang is dat nieuwe concepten kunnen worden uitgetoetst. Hiertoe moeten geschikte locaties worden gevonden waar niet alleen de omstandigheden goed controleerbaar zijn, maar waar ook de tijd en de ruimte zijn (ook beleidsmatig) om bepaalde concepten uit te proberen.

Financieringsstructuren

Geconstateerd is dat, vooral voor het midden- en kleinbedrijf, sanering van verontreinigde locaties met VOCL financieel niet haalbaar is. Om deze saneringen te financieren is het wenselijk om voor bepaalde branches passende financieringsstructuren op te zetten. In eerste instantie is het inventariseren van de behoefte en de mogelijkheden binnen de verschillende branches van belang. Vervolgens kan worden bekeken in hoeverre bestaande structuren (zoals SUBAT voor de tankstations), ook van toepassing kunnen zijn op branches waarbinnen VOCL-verontreinigingen voorkomen. Dit valt buiten het kader van het PGBo-onderzoek.

7.2.2 Karakterisering

Onderzoekstechnieken

Over het belang van onderzoekstechnieken die een ruimtelijk beeld geven van de ondergrond en het voorkomen van verontreinigingen bestaat duidelijke consensus. Veelbelovend lijken in ieder geval geofysische meetmethoden zoals radar. Deze technieken kunnen vooral bij het vooronderzoek worden ingezet. Voorafgaand aan een effectieve toepassing van deze technieken, is meer onderzoek gewenst naar de mogelijkheden van deze methoden. Onderzoek naar de toepassing van geofysische methoden voor bodemverontreinigingen met VOCL vindt plaats binnen NOBIS en wordt uitgevoerd door TNO.

Sonderingen en de grondwatermonstersonde moeten vaker worden toegepast in de praktijk. Voor het verkrijgen van inzicht in de bodemopbouw en de grondwaterkwaliteit voldoen deze technieken goed en zijn kosteneffectief. Wat betreft de monsternamen en analyse van grondmonsters wordt getwijfeld aan de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de resultaten. Dit geldt vooral voor grondmonsters uit veenlagen. Door de aanwezigheid wordt geen hoge prioriteit gegeven aan onderzoek in deze richting.

Behalve de geofysische methoden zijn er ook onvoldoende methoden voor het *in situ* onderzoek naar processen in de bodem beschikbaar. Dit onderzoek is van belang wanneer saneringsprincipes zoals 'natuurlijke afbraak' moeten worden toegepast. Hierbij spelen de microbiologische processen een belangrijke rol.

Speciale aandacht zal moeten worden besteed aan de karakterisering van puur product in de ondergrond. In hoofdstuk 3 is een aantal methoden genoemd die specifiek zijn bedoeld voor het aantonen van puur product. De ervaring met deze technieken in Nederland is zeer beperkt. Binnen NOBIS is een onderzoek opgestart naar de mogelijkheden tot het verzamelen van puur product uit bestaande boringen.

Verbeteren luchtonderzoek

Het luchtonderzoek is een belangrijk instrument om de humane risico's te bepalen. Verbetering van de onderzoeksmethode is gewenst. Door het RIVM is in samenwerking met TAUW gewerkt aan het opstellen van een protocol voor de bemonstering en analyse van lucht op vinylchloride [lit. 45].

Onderzoeksprotocollen

Ten aanzien van de onderzoeksstrategieën kunnen adaptieve protocollen worden opgesteld, waarbij het onderzoek beter wordt afgestemd op mogelijke saneringsvarianten. Dit betekent dat het ontwerp van de sanering en het onderzoek meer in elkaar moeten worden geschoven en niet meer volledig los van elkaar worden uitgevoerd. Voorgesteld wordt een protocol op te stellen aan de hand van de evaluatie van een aantal voltooide saneringen.

7.2.3 Sanering

Verbeteren bestaande saneringstechnieken

Van de bestaande saneringstechnieken worden het ontgraven van grond en het onttrekken en zuiveren van grondwater het meest toegepast. De onttrekking van grondwater wordt zowel toegepast voor de verwijdering van verontreinigingen, alsook voor de beheersing daarvan. Wanneer voor beheersing wordt gekozen is een verdere optimalisering van onttrekkingssystemen noodzakelijk. Een apart aandachtspunt is het voorspellen van nalevering van verontreinigingen uit klei- en veenlagen. Momenteel is dit niet goed mogelijk, terwijl het van belang is voor het inschatten van de duur van de sanering en de dimensionering. Meer onderzoek naar dit naleveringsproces is gewenst.

Naast ontgraven en onttrekken worden tegenwoordig regelmatig bodemluchtexttractie en persluchtinjectie toegepast. Deze technieken worden min of meer proefondervindelijk uitgeprobeerd. De werking en de resultaten ervan zijn nog moeilijk te voorspellen. Hiertoe zou onderzoek naar de mogelijkheden voor modellering voor deze technieken op zijn plaats zijn.

Verder ontwikkelen biologische saneringstechnieken

Biologische saneringstechnieken worden als zeer veelbelovend beschouwd. Het gaat daarbij zowel om intensieve als extensieve technieken. In beide gevallen is meer kennis van de biologische processen die zich in de bodem afspelen en het voorspellen daarvan noodzakelijk. Voor de intensieve technieken zal tevens moeten worden onderzocht op welke manier de biologische processen kunnen worden gestimuleerd. Biologische technieken voor het beheersen van verontreinigingen (bioschermen) zullen verder moeten worden ontwikkeld. Een tweetal projecten op het gebied van biologisch actieve zones zijn reeds ingediend in het kader van NOBIS.

Ontwikkelen nieuwe saneringstechnieken

Het ontwikkelen van nieuwe saneringstechnieken hangt nauw samen met nieuwe saneringsconcepten, waarvoor ook vanuit het beleid impulsen nodig zijn. Er zal meer ruimte moeten komen voor combinaties van bronverwijdering en isolatie of natural attenuation. Vervolgens kunnen nieuwe technieken worden ontwikkeld die passen binnen deze concepten.

De mogelijkheden van modellering

De mogelijkheden voor het ontwikkelen van modellen voor de voorspelling van het gedrag van verontreinigingen in de bodem en het toepassen daarvan worden wisselend beoordeeld. De behoefte aan mogelijkheden om het saneringsresultaat bij de toepassing van een saneringstechniek te voorspellen is groot. Aan de andere kant hebben velen het gevoel dat modellen niet altijd praktisch werkbaar zijn, omdat hoge eisen aan de invoer worden gesteld. Het is vaak niet mogelijk om aan deze eisen te voldoen. Daarnaast is de uiteindelijk interpretatie van de uitkomsten van het model van groot belang.

Tijdens de workshop werd opgemerkt dat het, met een juist gebruik van modellen en een goede koppeling met de praktijk (degelijke en betrouwbare onderzoeksgegevens), wel degelijk mogelijk zal zijn resultaten beter te voorspellen.

7.2.4 Uitwisseling van kennis en ervaring

De huidige uitwisseling van kennis- en ervaring wordt als onvoldoende beschouwd. Er is veel kennis in Duitsland en Amerika aanwezig, maar deze kennis wordt maar zeer mondjesmaat in Nederland verspreid en toegepast. Binnen Nederland vindt vooral tussen de kennisinstituten en de praktijk van uitvoering te weinig uitwisseling plaats. Hierdoor kunnen nieuwe ideeën en technieken niet snel worden uitgetoetst en geïmplementeerd.

8. VOORSTELLEN VOOR ONDERZOEK

8.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksbehoeften die leven naar aanleiding van de VOCL problematiek geïnventariseerd. De onderzoeksdoelen volgen uit de uitgevoerde analyse van knelpunten die in de hoofdstukken 4 tot en met 6 van dit rapport zijn beschreven.

Tijdens de workshop is gebleken dat knelpunten weliswaar zijn vastgesteld, maar dat deze nog te algemeen zijn om een concreet onderzoeksvoorstel te formuleren. Om te komen tot zinvolle onderzoeksprojecten zullen de volgende vragen moeten worden beantwoord:

- wat moet het resultaat zijn van de onderzoeksprojecten;
- in hoeverre draagt het onderzoeksresultaat bij aan het daadwerkelijk oplossen van de knelpunten;
- in welke vorm moet het onderzoek worden uitgevoerd, en door wie;
- hoe worden de (tussen)resultaten getoetst en teruggekoppeld, zodat het draagvlak voor dit onderzoek, dat in deze studie voor een gedeelte is gecreëerd blijft bestaan.

De presentatie van de onderzoeksbehoeften wordt gekoppeld aan het in Nederland gebruikelijke traject bij geconstateerde bodemverontreiniging, dat loopt van verkennend onderzoek via nader onderzoek, saneringsonderzoek en -plan, de uitvoering van de sanering tot uiteindelijk nazorg. Dit omdat het makkelijk is om te redeneren vanuit een ideaal beeld. Onverlet blijft echter, dat meettechnieken die gebruikt worden in het voortraject van de sanering, óók gebruikt kunnen worden in de fasen van sanering en nazorg. Tot slot zal worden ingegaan op de mogelijkheid voor het PGBo om bij te dragen aan een verbetering van de kennisinfrastructuur.

8.2 KARAKTERISERING EN VELDONDERZOEK

De uitgangssituatie voor wat betreft bodemverontreiniging wordt bepaald door de bodemopbouw en het vóórkomen van de verontreiniging in deze bodem. Het knelpunt is dat we op dit moment alleen tegen hoge kosten een goed ruimtelijk beeld kunnen krijgen van de situatie onder het maaiveld. Een ander aspect dat hierbij een rol speelt, is het selecteren van variabelen in het veld die van belang zijn bij de keuze van saneringsvarianten en de nazorgfase. De variabelen die van belang zijn bij het zogenaamde natuurlijke herstel tijdens en na de sanering zijn op dit moment nog niet goed in beeld gebracht.

Het idee is dat dit knelpunt langs twee sporen dient te worden benaderd. Het eerste spoor is één waarin de te meten variabelen moeten worden geselecteerd en waarin meetmethoden worden verbeterd of ontwikkeld waarmee snel en tegen redelijke kosten de verontreiniging in kaart gebracht kan worden. Het tweede spoor is er een waarbij een onderzoeksprotocol wordt ontwikkeld dat beter rekening houdt met mogelijke saneringsvarianten.

Een apart knelpunt vormt het luchtonderzoek voor VOCL. In de workshop werd vastgesteld dat het RIVM bezig is met zowel het verbeteren en valideren van de methoden voor luchtonderzoek als met de evaluatie van ervaringen in de praktijk. Voorgesteld wordt om in het kader van het PGBo geen onderzoek te initiëren ten aanzien van luchtonderzoek.

8.2.1 Selectie van variabelen en het ontwikkelen van meetmethoden ten behoeve van karakterisering

De belangrijkste groepen van variabelen die een rol spelen bij sanering (eventueel langs natuurlijke afbraak) in de bodem zijn:

De uitgangssituatie

- gegevens over de bodemopbouw;
- gegevens over het voorkomen van de verontreiniging in de bodem.

Parameters die een rol spelen bij stoftransport

- specifieke stofeigenschappen;
- specifieke eigenschappen van het bodemmateriaal;
- geohydrologische parameters.

Parameters die een rol spelen bij natuurlijke afbraakprocessen

- hoeveelheid en type elektronen acceptoren (waaronder zuurstof en kooldioxide);
- hoeveelheid en type substraat voor micro-organismen;
- aanwezige biomassa;
- afbraakproducten.

Een compleet overzicht van alle parameters en variabelen die een rol spelen, bestaat niet. Uit de studie is gebleken dat er behoefte is aan verbetering van de meetmethoden voor de parameters en variabelen die hiervoor zijn genoemd.

Daarnaast is een onderzoeksproject noodzakelijk waarin de bruikbaarheid van geofysische methoden voor het karakteriseren van VOCL, in samenhang met de bodemopbouw, wordt getoetst. Het resultaat van dit onderzoek zal moeten bestaan uit één of een aantal bruikbare en kostenefficiënte methoden voor de karakterisering van de bodemverontreiniging.

Uit de literatuurstudie en de gesprekken met kennisinstituten is gebleken dat een groot aantal geofysische methode wordt toegepast, vooral in de VS (zie ook hoofdstuk 3). Sommige van deze technieken worden veel gebruikt in de olie-industrie.

Voor het aantonen van puur product in de ondergrond is in de VS eveneens een aantal technieken ontwikkeld. Onderzocht moet worden in hoeverre deze technieken geschikt zijn, waarbij betrouwbaarheid en nauwkeurigheid belangrijke criteria zijn.

Onderzoekactiviteiten

Om het bovenstaande te realiseren zijn de volgende activiteiten nodig:

- overzicht maken van alle relevante parameters en variabelen;
- selectie van de belangrijkste parameters en variabelen;
- inventarisatie van bestaande meettechnieken;
- ontwikkeling van nieuwe meettechnieken;
- het opstellen van meetscenario's;
- op papier toetsen van de bruikbaarheid van de technieken binnen de opgestelde scenario's;
- selectie van veelbelovende meettechnieken;
- validatie en toetsing van veelbelovende meettechnieken, indien nodig.

Het meten van parameters en variabelen die een rol spelen bij afbraakprocessen onder natuurlijke omstandigheden is het minst ontwikkeld. In dit kader moet eerst met NOBIS worden afgestemd. Binnen NOBIS is de term BLOKIT gelanceerd. Binnen dit concept moeten meetmethoden worden ontwikkeld die de belangrijkste parameters kunnen meten. Meetmethoden spelen in de meeste NOBIS-projecten een belangrijke rol. Het is wellicht mogelijk om samen met NOBIS een goede opzet te maken voor de ontwikkeling en validatie van een aantal meetmethoden.

Binnen NOBIS wordt eveneens een studie uitgevoerd naar onderzoeksmethoden voor DNAPL's. De onderzoeksopzet zal moeten worden afgestemd op deze studie. Voor wat betreft de uitvoering van deze projecten wordt voorgesteld zowel TNO als Grondmechanica Delft in te zetten. Eventueel kan worden gedacht aan de VU. Daarnaast moet overwogen worden een adviesbureau in te schakelen voor het opstellen van scenario's die in de praktijk voorkomen en om locaties te leveren waarop de technieken kunnen worden uitgetest.

Resultaat

Het resultaat is een matrix waarin duidelijk wordt gepresenteerd welke parameters van belang zijn en hoe die kunnen worden gemeten. Daarnaast is het ook van belang dat duidelijk is hoe deze methoden zijn gevalideerd en uitgetest in het veld.

Om de resultaten op een goed manier te communiceren zal een handleiding moeten worden opgesteld voor deze technieken, waarin wordt beschreven onder welke randvoorwaarden zij kunnen worden toegepast en hoe zij moeten worden gebruikt.

8.2.2 Onderzoeksprotocollen

Voorgesteld wordt een project op te starten voor de uitwerking van een onderzoeksprotocol dat beter aansluit op de huidige praktijk. Binnen dit protocol moeten het bodemonderzoek en het saneringsonderzoek meer in elkaar worden geschoven.

Onderzoekactiviteiten

Voorgesteld wordt het protocol op te zetten aan de hand van een evaluatie van een aantal afgeronde saneringsprojecten. De volgende activiteiten kunnen worden onderscheiden:

- het opzetten van een format voor de evaluatie van projecten, met aandacht voor de koppeling tussen onderzoek en sanering;
- het evalueren van een aantal saneringsprojecten;
- het opstellen van een nieuw onderzoeksschema, waarbij niet alleen een goede karakterisering een rol speelt maar in een vroeger stadium ook saneringsaspecten worden meegenomen;
- het toetsen van dit schema aan wettelijke bepalingen;
- het schrijven van een onderzoeksprotocol.

Aanbevolen wordt dit onderzoek uit te laten voeren door een adviesbureau.

Resultaat

Het resultaat bestaat uit een protocol dat ruimte laat voor een specifieke aanpak die kan worden afgestemd op de te onderzoeken locatie en de mogelijkheden tot sanering. Het opzetten van een goede fasering lijkt één van de belangrijkste kernpunten.

8.3 OPTIMALISEREN VAN HET ONTWERP EN DE TECHNIEK VAN SANERINGEN

De knelpunten bij het ontwerp en de uitvoering van de sanering zijn gedeeltelijk terug te voeren op het feit dat de huidige intensieve saneringstechnieken niet voldoende kunnen worden geoptimaliseerd, waardoor onzekerheden en hoge kosten ontstaan. Daarnaast wordt gezocht naar extensieve methoden, waarbij het vermogen tot natuurlijke afbraak van verontreinigingen in de bodem kan worden benut. Deze extensieve methoden zijn nog niet voldoende ontwikkeld.

Zowel de intensieve als de extensieve methoden van saneren hebben baat bij goede modellen die het mogelijk maken de processen te voorspellen. Tegelijkertijd blijkt het gedrag van VOCL in de bodem zo complex, dat de modellering van het transport van deze verontreiniging nog niet goed mogelijk is, tenzij een groot aantal parameters wordt gemeten tegen hoge kosten. Voorgesteld wordt om in PGBo-verband niet te investeren in de ontwikkeling van modellen.

De verbeteringen van methoden van sanering zal enerzijds moeten worden gezocht in een verdere optimalisatie van de huidige intensieve technieken en anderzijds in het ontwikkelen van extensieve technieken.

8.3.1 Beheersing door middel van een onttrekkingssysteem

De beheersing van verontreinigingen met behulp van een onttrekkingssysteem wordt veelvuldig toegepast wanneer een verwijdering van verontreiniging op grond van locatie-specifieke omstandigheden niet haalbaar is. Een onttrekkingssysteem wordt in principe zodanig geoptimaliseerd dat zo min mogelijk water wordt onttrokken, terwijl het risico van verspreiding van verontreinigd grondwater wordt geminimaliseerd.

Uit de workshop bleek dat vaak geen optimaal systeem wordt ontworpen en aangelegd. Het inregelen van een optimaal systeem vergt een nauwkeurige monitoring en besturing. Meer aandacht voor de optimalisatie van het ontwerp is gewenst. Daarbij moet inzicht worden verkregen in de elementen die het rendement van het systeem bepalen, afhankelijk van de locatiespecifieke omstandigheden.

Onderzoekactiviteiten

Binnen het onderzoek kunnen de volgende activiteiten worden onderscheiden:

- een inventarisatie van de beheersingsinstrumenten, zoals automatische besturingsystemen;
- het ontwerpen en uittesten van beheersingssystemen;
- het optimaliseren van de beheersing van het grondwater ten opzichte van de onttrekking van grondwater, met als belangrijkste criteria de kosten en het milieurendement.

Het onderzoek naar deze systemen kan worden uitgevoerd door TNO. Het verdient aanbeveling om daarbij een adviesbureau of een aannemer te betrekken, zodat bepaalde systemen op hun bruikbaarheid (ook in praktische zin) kunnen worden getest en vergeleken in een pilotproject.

Resultaat

Het resultaat zal een richtlijn zijn voor het ontwerpen van een optimaal beheerssysteem, waarbij uitgaande van de specifieke omstandigheden op de locatie het rendement van een systeem kan worden bepaald.

8.3.2 Persluchtinjectie

Persluchtinjectie is al verscheidene malen toegepast voor de sanering van vluchtige stoffen zoals VOCL. In de praktijk blijkt deze techniek, vooral bij initieel hoge concentraties, goed te werken. Het is echter niet mogelijk om aan de hand van de gegevens van de bodemopbouw en verontreinigingssituatie te voorspellen in hoeverre en op welke manier een persluchtinjectiesysteem werkt. De methode wordt proefondervindelijk toegepast.

Om deze techniek vaker toe te passen zal het mogelijk moeten worden om vooraf te voorspellen wat het resultaat bij verschillende omstandigheden zal zijn.

Hiertoe zal meer inzicht moeten worden verkregen in de processen die bij de verwijdering van verontreiniging door persluchtinjectie een rol spelen. Een 'model' kan dan inzicht bieden in de mogelijkheden van deze techniek.

Onderzoekactiviteiten

- het uitvoeren van praktijkproeven, waarbij het meten van de belangrijkste parameters centraal staat, zoals vracht en invloedsgebied;
- het verbeteren van bestaande modellen die de werking van een persluchtinjectie kunnen voorspellen.

Er is een aantal onderzoeksgroepen bezig met deze techniek, namelijk de LUW, de TUD en TNO. Daarnaast zijn er aannemers die gespecialiseerd zijn in deze techniek met veel ervaring en kennis van de werking van dit systeem. Aanbevolen wordt een uitvoerder en een kennisinstituut bij dit project te betrekken.

Resultaat

Het resultaat zal bestaan uit een ontwerprichtlijn voor persluchtinjectiesystemen, waarbij uitgaande van een aantal te meten parameters de werking van het systeem kan worden voorspeld. Daarbij moet duidelijk worden gemaakt onder welke omstandigheden en voor welke verontreinigingen deze techniek bruikbaar is.

8.3.3 Natuurlijke herstel

Sanering van verontreinigingen kan op een extensieve manier plaatsvinden door de natuurlijke afbraak van verontreinigingen in de bodem. Eventueel kunnen deze afbraakprocessen op een extensieve manier worden gestimuleerd. Uit dit project is naar voren gekomen dat het proces van natuurlijke herstel onderzoek behoeft. Tegelijkertijd is het zo dat binnen NOBIS veel aspecten van biologische sanering reeds aan de orde komen. In NOBIS-kader is onder andere een project opgestart waarin een nadere invulling wordt gegeven aan de onderzoeksbehoefte voor intensieve afbraak van VOCL's. Onderstaand is daarom eerst een overzicht gegeven van het gehele traject dat moet worden beschouwd in het kader van natuurlijke herstel. Vervolgens zal blijken dat een aantal onderzoeksaspecten bij NOBIS wordt ingevuld en dat een aantal aspecten overblijft.

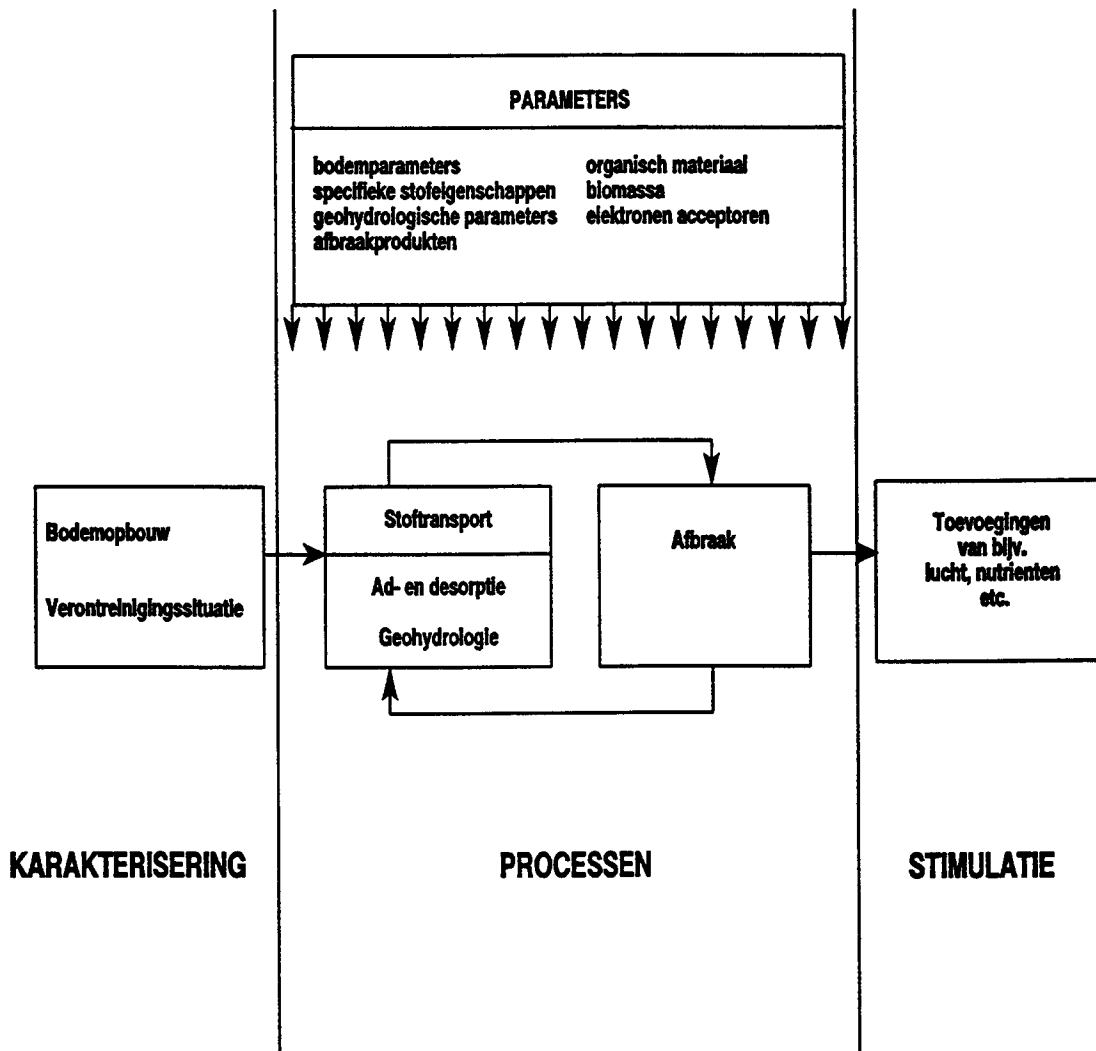
De processen

Inzicht in de natuurlijke processen is voor het volgen van 'natuurlijk herstel' onontbeerlijk. Schematisch kunnen de volgende relevante 'natuurlijke' processen worden genoemd (zie ook figuur 4):

- geohydrologische processen
 - * convectie;
 - * diffusie;
 - * dispersie.

- fysisch/chemische processen
 - * adsorptie;
 - * desorptie;
 - * abiotische omzetting.

- biologische processen
 - * afbraak;
 - * biotische omzetting.



Figuur 4. Natuurlijk herstel.

Onderzoekactiviteiten

- het bepalen van de afbraaksnelheden in het veld;
- het beschrijven van de verbanden tussen de fysisch/chemische processen en afbraak. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat deze processen ook elkaar beïnvloeden. Op het ogenblik is het niet mogelijk om te kwantificeren welke parameters (of combinatie van parameters) deze processen beïnvloeden en hoe deze processen van invloed zijn op elkaar, binnen het natuurlijke bodemsysteem. Bedacht moet worden dat hierbij de specifieke stoffeigenschappen van VOCL een complicerende factor zijn waarmee rekening moet worden gehouden.

Hoewel in NOBIS-verband reeds veel inzicht wordt verkregen in processen door het uitvoeren van projecten gericht op biologische bodemsanering werd ook in de workshop benadrukt dat ook fundamenteel onderzoek noodzakelijk is. Het onderzoek zal moeten worden uitgevoerd door onderzoeksgroepen van de LUW en RUG. Omdat het hier om in eerst instantie theoretisch onderzoek gaat, is het inschakelen van andere actoren niet zinvol. Wel kan worden overwogen om in de begeleidingscommissie ook vertegenwoordigers uit de praktijk op te nemen.

Resultaat

Het resultaat moet bestaan uit een aantal praktisch bruikbare concepten die de invloed van de relevante parameters kwantificeren. Daarnaast moet worden bekeken in hoeverre de processen elkaar beïnvloeden.

8.3.4 Stimulering van natuurlijke herstel

Tenslotte moet het mogelijk zijn om de natuurlijke processen te stimuleren op een extensieve manier. Dit kan pas verder worden ontwikkeld wanneer het inzicht in die natuurlijke processen is vergroot. Daarnaast wordt binnen NOBIS al proefondervindelijk onderzocht wat het effect is van maatregelen zoals beluchten en bemesten.

In het kader van deze stimulering kan worden gedacht aan proefprojecten. Daarbij zullen ook combinaties van saneringstechnieken, waaronder grondwateronttrekking en persluchtinjectie of bioventing kunnen worden getest op hun bruikbaarheid onder verschillende praktijkomstandigheden.

8.4 VERBETERING VAN KENNISOVERDRACHT EN COMMUNICATIE

Op de workshop kwam duidelijk naar voren dat de huidige wijze van kennisoverdracht en communicatie niet voldoende is. Het gaat daarbij om de communicatie tussen de verschillende partijen die in deze studie bij elkaar zijn gebracht, maar ook om de communicatie met het buitenland en met andere vakgebieden.

Stimuleringsactiviteiten

Het PGBo zou, op basis van het draagvlak en de samenhang die tijdens dit project zijn gecreëerd, een belangrijke actor kunnen zijn om de informatie- en kennisuitwisseling in stand te houden. In het kader hiervan zouden de volgende activiteiten kunnen worden ontwikkeld:

- het maken van een checklist voor de uitvoering van bodemverontreinigingsprojecten met VOCL. In een checklist kunnen alle aandachtspunten worden genoemd, waarbij kan worden vermeld waar eventueel meer informatie is te verkrijgen. Dit document kan vervolgens als basis dienen voor het uitwisselen van kennis en ervaring;
- continuering van de workshop. Een workshop waarin alle betrokken partijen participeren is een efficiënte manier om kennis en ervaringen terug te koppelen en te toetsen;
- het instellen van een VOCL-pagina op Internet;
- het inventariseren van buitenlandse kennis op het gebied van de aanpak van VOCL-verontreinigingen;
- het ondersteunen van een studiereis door een aantal deskundigen naar de VS. En het verspreiden van de resultaten van deze reis;
- het uitnodigen van buitenlandse deskundigen en in workshops concrete problemen bespreken met de verschillende betrokken partijen in Nederland.

Resultaat

Bovenstaande activiteiten moeten zodanig worden gestructureerd dat een structuur ontstaat met een zekere continuïteit in het uitwisselen van kennis en ervaringen. Daarom wordt aanbevolen het projectmanagement van de activiteiten duidelijk te omschrijven en bij één partij (bijvoorbeeld een adviesbureau) neer te leggen.

8.5 BELEIDSVRAGEN

Het oplossen van beleidsmatige knelpunten valt niet binnen de doelstelling van het PGBo. De beleidsvragen worden wel genoemd, zodat deze kunnen worden opgepakt in andere kaders (zoals BEVER).

De belangrijkste beleidsvragen die naar voren zijn gekomen, zijn:

- hoe kan milieurendement beter worden gekwantificeerd en waar zit in beleidsmatige zin de ruimte om zo'n benadering toe te passen;
- zijn onderzoeksprotocollen noodzakelijk en zo ja, kunnen ze worden aangepast;
- hoe kan de financiering worden geregeld voor kleine bedrijven met grote VOCL-verontreinigingen.

9. GERAADPLEEGDE LITERATUUR

1. Anonymus, Soils and grondwater clean up, 1995, Geoprobe: how does it work.
2. Abdul, A.S., T.L. Gibson and D.N. Rai, 1991. Laboratory studies of the flow of some organic solvents and their aqueous solutions through bentonite and kaoline clays. *Ground Water*, Vol. 28, No. 4, pp 524-533.
3. Ang, C.C. and A.S. Abdul, 1992. Aqueous surfactant washing of residual oil contamination from sandy soil. *GWMR*, spring, pp 121-127.
4. Anderson, M. R. et al., 1992. Dissolution of dense chlorinated solvents into ground water: 1. dissolution from a well-defined residual source. *Ground Water*, Vol. 30, No. 2, pp 250-256.
5. Barbee, G.C., 1994. Fate of chlorinated aliphatic hydrocarbons in the vadose zone and ground water. *GWMR*, winter, pp 129-140.
6. Cohen, R.M. en J.W. Mercer, 1993. *DNAPL Site Evaluation*. CRC Press Florida, ISBN 0-87371-977-8.
7. De Bruin, W.P. et al., 1992. Complete biological reductive transformation of tetrachloroethene to ethane. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 58, pp 1996-2000.
8. De Rose, N.P.G., 1995. Avoid unnecessary remediation - give attenuation a chance. *Soils & Groundwater Cleanup*, October, pp 16-19.
9. Deuring, A.A., 1993. Variaties in gehalten aan vluchtige aromatische koolwaterstoffen in het ondiepe grondwater. *H₂O* (26), nr. 24, pp 702-707.
10. DiStefano, T.D. et al., 1992. Hydrogen as an electron donor for dechlorination of tetrachloroethene by an anaerobic mixed culture. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 58, pp 3622-3629.
11. DiStefano, T.D., J.M. Gosset and S.H. Zinder, 1991. Reductive dechlorination of high concentrations of tetrachloroethene to ethene by an anaerobic enrichment culture in the absence of methanogenesis. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 57(8), pp 2287-2292.
12. EPA, 1994. Contaminants and remedial options at solvent-contaminated sites. EPA/600/-R-94/203.
13. EPA, 1994. Evaluation of technologies for *in situ* cleanup of DNAPL contaminated sites. EPA/600/R-94/120.

14. Feenstra, S. et al., 1991. A method for assessing residual NAPL based on organic chemical concentrations in soil samples. *GWMR*, spring, pp 128-136.
15. Hinchee, R.E. and S.K. Ong, 1992. A rapid in situ respiration test for measuring aerobic biodegradation rates of hydrocarbons in soil. *Air and Waste Management Association*. 42, pp 1305-1312.
16. IWACO, 1994. Variaties in het voorkomen van VOH-verontreinigingen. IWACO-rapportnummer: 93.2000.0/356.
17. IWACO, 1995. Bioremediation of chlorinated solvents in the subsurface: a literature review. IWACO-rapportnummer: 93.3200.0/395.
18. IWACO, 1995. Verspreiding van slecht met water mengbare verontreinigingen door de verzadigde ondergrond (afstudeer-rapportage). IWACO-rapportnummer: 91.3100.0.007.
19. IWACO, 1995. Evaluatie van NEN 5745, project 77, fase 1: literatuuronderzoek. IWACO-rapportnummer: 33.3558.0.
20. IWACO, 1995. Evaluatie van NEN 5745, project 77, fase 2: laboratoriumonderzoek. IWACO-rapportnummer: 33.3558.0/020.
21. IWACO, 1995. Evaluatie van NEN 5745, project 77, fase 3: praktijkonderzoek. IWACO-rapportnummer: 33.3558.0/030.
22. Johnson, 1992. Dissolution of dense chlorinated solvents into ground water: 2. Source functions for pools of solvents. *Ground Water*, Vol. 26, No. 5, pp 896-908.
23. Kueper, B.H. et al., 1993. A field experiment to study the behavior of tetrachloroethylene below the water table: spatial distribution of residual and pooled DNAPL. *Ground Water*, Vol. 31, No. 5, pp 756-766.
24. Kueper, B.H. et al., 1992. The behaviour of dense, nonaqueous phase liquids in fractured clay and rock. *Ground Water*, Vol. 29, No. 5, pp 716-728.
25. Madsen, D. et al., 1991. *In situ* biodegradation: microbiological patterns in a contaminated aquifer. *Science*, may, 252, pp 830-833.
26. McCarty, P.L., 1993. *In situ* bioremediation of chlorinated solvents. *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 4, pp 323-330.
27. Mercer, J.W. and R.M. Cohen, 1990. A review of immiscible fluids in the subsurface: properties, models, characterization and remediation. *Journal of contaminated hydrology*, 6, pp 107-163.

28. Mendoza, C.A. and T.A. McAlary, 1990. Modeling of groundwater contamination caused by organic solvent vapors. *Ground Water*, Vol. 28 (2), pp 199-206.
29. Mendoza, C.A. and E.O. Frind, 1990b. Advective-dispersive transport of dense organic vapours in the unsaturated zone, 2. Sensitivity analysis. *Water Resources Research*, Vol. 26, No. 3, pp 388-398.
30. National Research Council, 1993. *In situ* bioremediation, when does it work? National Academy Press.
31. National Research Council, 1994. Alternatives for ground water cleanup. National Academy Press.
32. Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologisch *In situ* Sanering (NOBIS), 1995. Jaarverslag.
33. Norris, R.D. et al., 1993. In situ bioremediation of ground water and geological material: a review of technologies. Project summary EPA.
34. Norris, R.D. et al., 1993. Handbook of Bioremediation. Lewis Publishers.
35. Nuzman, C.E.P.E. en C. Kinn, 1995. The search for water goes beyond intuition, geophysical surface techniques verify plentiful aquifers. *International Ground Water Technology*, september, pp 23-30.
36. Oosterom van, W.P. en L.G.C.M. Urlings, 1987. Onderzoek naar de invloed van grondwaterbemonsteringsmethoden en monsterconservering op de gehalten vluchtige aromatische en gechloreerde koolwaterstoffen. *Milieutechniek*, Nr.6/7, pp 60-63.
37. Parker, J., 1995. Bioslurping enhances free product recovery. *Soils & Groundwater Cleanup*, October, pp 53-56.
38. Pavlostathis, S.G. and K. Jaglal, 1991. Desorptive behavior of trichloroethylene in contaminated soil. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 25, No. 2, pp 274-279.
39. Pianosi, J., 1996. *International groundwater technology*, januari pp 31-34: Methods to detect, measure NAPL's vary.
40. Poulsen, M.M. and B.H. Kueper, 1992. A field experiment to study the behavior of tetrachloroethylene in unsaturated porous media. *Environ. Sci. Technol.*, Vol 26, No. 5, pp 889-895.

41. Rivett, M.O., et al., 1990. temporal variations of chlorinated solvents in abstraction wells. GWMR, fall, pp 127-132.
42. v. der Roest. Grondwater, effectief instrument bij het lokaliseren van bodemverontreiniging, Bodem, nr 3, augustus 1995.
43. Rus, F., 1994. Fouten in metingen grondwaterverontreiniging. Land en Water, nummer 5, pp 55-57.
44. Schincariol, R.A., F.W. Schwartz and C.A. Mendoza, 1994. On the generation of instabilities in variable density flow. Water Resources Research, Vol. 30, No. 4, pp 913-927.
45. TAUW Milieu B.V., oktober 1995. Meetstrategie en meetmethode voor vinylchloride vorming bij bodemverontreiniging, rapportnummer R3393038.-T02/AGN.
46. Schwille, F., 1988. Dense chlorinated solvents in porous and fractured media. model experiments. Lewis publishers inc.
47. Soils & Groundwater Cleanup, October 1995. Geoprobe: direct imaging soil conductivity system.
48. TNO Grondwater en Geo-Energie, 1995. Verspreidingsgedrag van DNAPL's in de ondergrond. TNO-rapportnummer: OS 95/03B.

Bijlage 1

Begrippenlijst

VERKLARING VAN BEGRIPPEN EN AFKORTINGEN

Bever:

BEleids VERnieuwwing

Bronnen (van verontreinigingen):

In het kader van bodemverontreiniging wordt de term bronnen van verontreinigingen op twee manieren gebruikt:

- een bron is een historisch lozingspunt waaruit in het verleden verontreiniging is gelekt of gestroomd en daardoor in de bodem terecht is gekomen;
- een bron is een hoeveelheid puur product die zich in de bodem bevindt. Dit puur product lost langzaam op en is de bron van een verdere grondwaterverontreiniging.

C-soil:

Model dat de blootstelling aan bodemverontreinigingen via verschillende routes berekent (uitgedrukt in mg/kg lichaamsgewicht). De berekende totale blootstelling (optelling van routes) kan worden getoetst aan bijvoorbeeld de dagelijkse toelaatbare inname.

Dichtheidsstroming:

Dichtheidsstroming is een fenomeen waarbij 2 vloeistoffen, waarvan de ene een hogere dichtheid heeft dan de ander, gescheiden door de bodem stromen. Dichtheidsstroming vindt plaats wanneer zich zoet en zout water in een pakket bevinden (zout water is zwaarder), maar ook wanneer schoon water en water met veel opgeloste VOCL aanwezig zijn, of wanneer water en VOCL als puur product aanwezig zijn. Door dichtheidsstroming kan de zwaardere vloeistof uitzakken naar de diepte, maar zich ook in horizontaal opzicht anders gedragen.

DLO:

Dienst Landbouwkundig Onderzoek.

GD:

Grondmechanica Delft.

HESP:

Human Exposure to Soil Pollutants; model vergelijkbaar met C-soil.

IBC-variant:

Saneringsvariant met als doel 'Isoleren, Beheersen, Controleren'.

LUW:

Landbouw Universiteit Wageningen.

NAPL en DNAPL:

Non Aqueous Phase Liquids. Dit zijn de stoffen die als puur product in het grondwater aanwezig kunnen zijn. NAPL's kunnen lichter zijn dan water (zoals benzine), of zwaarder, aangeduid als Dense NAPL's (DNAPL's). Onder de laatste categorie vallen de VOCL-verontreinigingen, met uitzondering van Vinylchloride. De term DNAPL wordt in Nederland soms gebruikt als aanduiding voor de stof (ongeacht de vorm waarin deze in de bodem aanwezig is) en soms wordt de term gebruikt voor de aanwezigheid van puur product.

NETEX:

Vereniging voor textielwasserijen.

NOBIS:

Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische *In situ* Sanering.

PGB0:

Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek.

PID-meter:

Photo Ionisatie Detector.

Puur product:

De niet opgeloste pure fase van een stof die vaak als een laagje op een ondoorlatende bodemlaag ligt (zinklaag). Daarnaast bevindt zich soms ook puur product als druppels in de bodem. Puur product kan onder de invloed van de zwaartekracht afstromen over een hellende bodemlaag.

RIVM:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.

RUG:

Rijksuniversiteit Groningen.

TNO:

Nederlandse Organisatie van Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO.

Vlekken:

Vlekken zijn in horizontaal en verticaal opzicht die plekken waar zich verontreinigingen bevinden. Wanneer het gaat om een via het grondwater verspreide verontreiniging, noemt men dit een verontreinigingspluim.

VOCL:

Vluchtige Organische Chloorverbindingen.

VU:

Vrije Universiteit.

- - -

Bijlage 2

Vragenformulier

VRAGENFORMULIER

DE EVALUATIE VAN PROJECTEN MET VOCL-VERONTREINIGINGEN

1. ALGEMEEN

- 1.1 Wie is de opdrachtgever (of welke categorie)?
- 1.2 In welke plaats/provincie ligt de locatie?
- 1.3 Hoe groot is de locatie?
- 1.4 Welke gebruiksfunctie heeft de locatie nu?
- 1.5 In welke jaren hebben de onderzoeken plaatsgevonden?

2. HISTORISCHE INFORMATIE

Strategie

- 2.1 Welke historische informatie is naar uw mening absoluut noodzakelijk?
- 2.2 Welke bronnen zijn geraadpleegd voor het verkrijgen van historische informatie?

Uitvoering en resultaten

- 2.3 Welke informatie is beschikbaar over de huidige of voormalige (industriële) activiteiten op de locatie?
- 2.4 Welke informatie is beschikbaar over de plaats en de periode van lozing(en)?
- 2.5 Welke informatie is beschikbaar over de hoeveelheid product en de vorm (opgelost, puur product) waarin dit in de bodem is geraakt?
- 2.6 Welke informatie is beschikbaar over riolen of andere ondergrondse leidingen?

Interpretatie

- 2.7 Is de beschikbare historische informatie naar uw mening voldoende voor het maken van een onderzoeksstrategie? Zo nee, wat mist u nog?
- 2.8 Hoe schat u de betrouwbaarheid van de historische informatie in?
- 2.9 Welk beeld heeft u zich naar aanleiding van de historische informatie gevormd van de grootte en de vorm van de verontreinigingsvlek (eventueel toelichten met behulp van een tekening)?

3. ORIËTEREND ONDERZOEK

Strategie

- 3.1 Welke hypothese heeft u opgesteld ten aanzien van de verontreinigingssituatie?
- 3.2 Op grond van welke overwegingen en aannames zijn het boorplan en de analysestrategie opgesteld?
- 3.3 Tot welke diepte heeft u de boringen gepland en waarom?
- 3.4 Hoe is de bodemopbouw onderzocht?
- 3.5 Zijn er *niet* verstorende onderzoekstechnieken gebruikt voor de karakterisering van de bodemopbouw of de verontreinigingssituatie? Zo ja welke; zo niet, waarom niet?

N.B.: Met *niet* verstorende onderzoekstechnieken worden alle onderzoekstechnieken bedoelt waarbij niet wordt geboord in de grond (voorbeeld: geofysische metingen, bodemgasanalyses, rioolinspectie).

Uitvoering en resultaten

- 3.6 Hoe is de bodemopbouw?
- 3.7 Is er sprake van een grote mate van heterogeniteit op micro en/of op macroschaal?
- 3.8 Hoe diep zijn de boringen uiteindelijk geplaatst?
- 3.9 Welk boortechnieken zijn gebruikt?
- 3.10 Welke VOCL-verontreinigingen zijn aangetroffen in welke bodemlaag en het grondwater, wat zijn de maximale concentraties?
- 3.11 Zijn er aanwijzingen voor de aanwezigheid van puur product, hoe is dit vastgesteld?
- 3.12 Op welke diepte bevindt zich de grondwaterspiegel (vanaf maaiveld)?
- 3.13 Hoe is de stromingsrichting van het grondwater per watervoerende laag?
- 3.14 In hoeverre is er kwel of infiltratie geconstateerd?

Interpretatie

- 3.15 Hoe ziet de verontreinigingsvlek(ken) eruit (evt. op tekening)?
- 3.16 Is er een duidelijke verspreidingsrichting aan te wijzen, zo ja welke?
- 3.17 Is er sprake van dichtheidsstroming in grond en/of grondwater?
- 3.18 Hoe sluiten de resultaten aan bij de hypothese die aan het begin van dit onderzoek is gesteld?

4. NADER ONDERZOEK

Strategie

- 4.1 Welke hypothese heeft u opgesteld ten aanzien van de verontreinigingssituatie op de locatie? Welke aannames heeft u daarbij gedaan?
- 4.2 Is de hypothese bijgesteld na uitvoering van het oriënterend onderzoek?
Zo ja : Op welke punten is de hypothese bijgesteld?
Zo nee : Waarom niet?
- 4.3 Zijn het boorplan en de analysestrategie volledig gebaseerd op historische informatie en het oriënterend onderzoek of ook op een algemeen ruimtelijke verdeling van boringen (rasters)?
- 4.4 Zijn de bodemopbouw en de geohydrologie in deze fase nog verder onderzocht, op welke manier?
- 4.5 Is rekening gehouden met zinklagen, zo ja hoe?
- 4.6 Tot welke diepte heeft u de boringen gepland en waarom?

Uitvoering en resultaten

- 4.7 Hoeveel veldwerk- en analyseronden zijn er uitgevoerd en waarom is gekozen voor deze fasering?
- 4.8 Hoe diep zijn de boringen maximaal geplaatst?
- 4.9 Met welke methoden zijn de boringen (op de diverse diepten) geplaatst? Is bij diepere boringen rekening gehouden met het voorkomen van contaminatie van de ene bodemlaag naar de andere, zo ja hoe?
- Welk peilbuismateriaal en welke filterlengte is gebruikt?
- 4.10 Hoe zijn de grondmonsters genomen?
- 4.11 Hoe zijn de grondwatermonsters genomen op de verschillende diepten?
- 4.12 Kunt u een overzicht of samenvatting geven van de aangetroffen concentraties per parameter, in grond en grondwater?
- Is er puur product aangetroffen, bijvoorbeeld in de vorm van zinklagen? Hoe is dit aangetoond?
- 4.13 Is er een grote variatie in analyseresultaten van het grondwater te zien:
in de tijd in 1 peilbuis;
in de diepte;
in verschillende peilbuizen die dicht naast elkaar zijn geplaatst?

4.14 Is er op vinylchloride onderzocht en zo ja, is dit aangetroffen?

4.15 Zijn er onverklaarbare verspreidingswegen aangetroffen:
in horizontale richting?
in verticale richting?

Interpretatie

4.16 Is bij de interpretatie rekening gehouden met zinklagen?

4.17 Is rekening gehouden met de aanwezigheid van afbraakproducten, zo ja hoe?

4.18 Is een complete horizontale afperking bereikt?

4.19 Is een complete verticale afperking bereikt?

4.20 Stemt de in kaart gebrachte verontreinigingssituatie overeen met de verwachtingen naar aanleiding van het historisch onderzoek?

4.21 Indien zeer diepe boringen zijn geplaatst; heeft dit achteraf wel of geen zin gehad?

4.22 Hoe sluiten de resultaten aan bij de hypothese die aan het begin van dit onderzoek is gesteld?

5. RISICO EVALUATIE

Strategie

5.1 Is er een risico-evaluatie uitgevoerd, zo ja waarom?

5.2 Welke risico's zijn geëvalueerd?

5.3 Is bij de beoordeling van verspreidingsrisico's rekening gehouden met de verspreiding van puur product, zo ja hoe?

Uitvoering en resultaten

5.4 Hoe is de risico-evaluatie uitgevoerd?

5.5 Is er nog aanvullend onderzoek uitgevoerd ten behoeve van de risico-evaluatie?

5.6 Zijn de bedreigde objecten geïnventariseerd (bijvoorbeeld nabije grondwateronttrekkingen) en zo ja, hoe zijn deze meegenomen in de risico-evaluatie?

5.7 Welke risico's zijn het meest relevant?

Interpretatie

5.8 In hoeverre is de beslissing tot verdere maatregelen beïnvloed of bepaald door de risico-evaluatie?

6. VOORSPELLING VERSPREIDING IN RELATIE TOT GRONDWATERMODELLEN EN SANERINGSSTRATEGIEËN

Strategie

- 6.1 Is er gebruik gemaakt van grondwaterstromingsmodellen (kwantitatief), welke?
- 6.2 Is er gebruik gemaakt van stoftransportmodellen (kwalitatief), welke?
- 6.3 In welk stadium van het project is gebruik gemaakt van een grondwater-verspreidingsmodel?

Uitvoering en resultaten

- 6.4 Is bij de berekening van verspreidingsnelheden rekening gehouden met retardatie? Zo ja, hoe (bijvoorbeeld getallen)?
- 6.5 Is rekening gehouden met de verspreiding van puur product in horizontale en/of verticale zin? Zo ja, hoe?

Interpretatie

- 6.6 Op welke wijze zijn de voorspelde verspreidingswegen en -snelheden gebruikt bij de risico-evaluatie?
- 6.7 Hoe is bij de berekening van de tijdsduur van de grondwatersanering (doorspoeltijden) rekening gehouden met de berekende verspreidingsnelheid en retardatie?
- 6.8 In hoeverre komen de resultaten van de berekeningen overeen met de resultaten van de analyses?

7. ONTWERP SANERINGSSYSTEEM

Strategie

- 7.1 Is de gekozen saneringsstrategie gebaseerd op de risico-evaluatie?
- 7.2 Welk (beleidsmatig) uitgangspunt is gehanteerd voor de saneringsstrategie (multi-functioneel, IBC, combinatie, anders)?
- 7.3 Heeft de opdrachtgever een belangrijke inhoudelijke of financiële rol gespeeld in de keuze van de saneringsstrategie?
- 7.4 Is er een grondsanering, een grondwatersanering of een combinatie van beiden voorgesteld?
- 7.5 Welke saneringstechnieken zijn uitgewerkt en welke techniek is uiteindelijk gekozen voor de grond en waarom?

- 7.6 Welke saneringstechnieken zijn uitgewerkt en welke techniek is uiteindelijk is gekozen voor het grondwater en waarom?
- 7.7 Is er gedacht aan technieken zoals bodemluchtexttractie en persluchtinjectie of bio-restauratie, waarom wel of niet?
- 7.8 Wat voor een soort grondwateronttrekkingssysteem is gekozen (horizontaal, verticaal onttrekkingssysteem of combinatie)?
- 7.9 In hoeverre is rekening gehouden met nalevering van verontreinigingen en de aanwezigheid van zinklagen?

Uitvoering en resultaten

Grondsanering

- 7.10 Tot welke diepte is ontgraven?
- 7.11 Is er puur product aangetroffen op plaatsen waar dat op grond van onderzoek niet werd verwacht, wat is daarvoor de verklaring?

Grondwatersanering - ontwerp

- 7.12 In welk materiaal is het onttrekkingssysteem uitgevoerd?
- 7.13 Hoe diep liggen de onttrekkingssystemen?
- 7.14 Wat is het voorspelde onttrekkingsdebiet?
- 7.15 Wat zijn de voorspelde grondwaterstandsverlagingen?
- 7.16 Is er een intermitterend onttrekkingsregime voorgesteld. Zo ja, hoe ziet dat eruit?
- 7.17 Wat is de geschatte tijdsduur van de sanering, oftewel hoe verloopt de concentratie in de tijd?
- 7.18 Is rekening gehouden met puur product bij het ontwerp van het systeem?
- 7.19 Hoe ziet het monitoringsplan eruit (opzet, materiaal, bemonsteringswijze)?

Grondwatersanering - verloop

- 7.20 Welk debiet is onttrokken?
- 7.21 Welke verlagingen zijn gemeten?
- 7.22 Is er intermitterend gepompt, zo ja op welke manier?
- 7.23 Zijn er aanwijzingen voor de aanwezigheid van puur product?

- 7.24 Hoe is het concentratieverloop in het effluent?
- 7.25 Hoe is het concentratieverloop in de monitoringspeilbuizen?
- 7.26 Vertonen de concentraties in de monitoringspeilbuizen een ruimtelijke variatie?
Is hiervoor een verklaring te geven?
- 7.27 Vertonen de concentraties in de monitoringspeilbuizen een variatie in de tijd?
Is hiervoor een verklaring te geven?

Overige saneringstechnieken

- 7.28 Hoe werkte de overige technieken?
- 7.29 Wat dragen deze technieken bij aan de saneringsresultaten?

Interpretatie

- 7.30 Is het concentratieverloop tijdens de sanering anders dan is voorspeld? Zo ja, is daarvoor een verklaring te geven?
- 7.31 In hoeverre is het verloop van de sanering te rijmen met de beschreven verontreinigingssituatie in het nader onderzoek?
- 7.32 Is er tijdens de sanering nog extra informatie verkregen over de situatie ten aanzien van bodemopbouw, obstakels, bebouwing, etc. Welke invloed heeft dit op de sanering?

8. TOTAAL OVERZICHT

- 8.1 Wat zijn volgens u de belangrijkste knelpunten in dit project?
- 8.2 Als u het project opnieuw zou mogen uitvoeren, op welke onderdelen zou u het dan anders doen?
- 8.3 Heeft u het idee dat er te weinig over de specifieke problemen met VOCL-verontreinigingen bekend is?
- 8.4 Over welke aspecten die te maken hebben met VOCL-verontreinigingen zou u meer willen weten?
- 8.5 Denkt u dat het nut heeft bepaalde gerichte onderzoeken te initiëren om de kennis ten aanzien van de onderzoek en de sanering van VOCL-verontreinigingen te vergroten? Aan wat voor een soort onderzoek denkt u dan?

- - -

Bijlage 3

**Adviesbureaus, kennisinstututen en probleembezitters,
die hebben bijgedragen aan deze studie**

**ADVIESBUREAUS, KENNISINSTITUTEN EN PROBLEEMBEZITTERS DIE
HEBBEN BIJGEDRAGEN AAN DEZE STUDIE**

ADVIESBUREAUS

DHV Milieu en Infrastructuur B.V., sector Milieutechnologie
de heer ir. G.M.V. van Emmen

TAUW Milieu B.V.
de heer E. Mateman
de heer ir. A.M. Otten

Heidemij Advies B.V., Ruimte & Milieu
de heer ir. B. Viveen

Grontmij Advies en Techniek B.V.
mevrouw dr. A.A. Vergauwen

Oranjewoud Adviesbureau B.V., Bodem, Water en Milieu
de heer ir. A. Kant

Witteveen & Bos Raadgevende Ingenieurs B.V.
de heer ir. G.M. van den Munckhof

KENNISINSTITUTEN

TNO Grondwater en Geo-Energie
de heer drs. H.P. Broers

Grondmechanica Delft
de heer drs. F.A. Weststrate

PROBLEEMBEZITTERS

FME

de heer mr. drs. E.C. Alders

NETEX

mevrouw mr. Ch.H. Soons

Provincie Zuid-Holland

de heer J.L. Veldhoven

Provincie Utrecht

mevrouw ing. G.H. van Beek

Provincie Noord-Brabant

mevrouw ir. A.L. Visser

Provincie Overijssel

mevrouw drs. A.W. Griswis

- - -

Bijlage 4

Deelnemers en groepsindeling van de workshop

DEELNEMERSLIJST WORKSHOP d.d. 16 april 1996

Dagvoorzitter: de heer prof. dr. ir. W.H. Rulkens PGB0

Groep 1

Voorzitter: de heer ing. H.J. van Veen PGB0

de heer ir. J.H. de Best	TNO
de heer drs. ing. P.F.C.W. van der Broeck	prov. Utrecht
mevrouw drs. I. Canter Cremers	IWACO
de heer drs. P.N.M. Dijckmeester	IWACO
de heer dr. G. Schraa	LUW
mevrouw mr. Ch.H. Soons	NETEX
de heer ir. A.A.G. Verhulst	VNO/NCW
de heer ir. B. Viveen	Heidemij
de heer drs. E. de Zeeuw	prov. Noord-Holland

Groep 2

Voorzitter: de heer dr. J.J. Vegter TCB

de heer mr. drs. E.C. Alders	FME
de heer drs. H.P. Broers	TNO
de heer J.H. Hoitinga	prov. Friesland
mevrouw drs. R.F. Kroes	IWACO
de heer ir. G.M. van den Munckhof	Witteveen en Bos
de heer ir. A.M. Otten	TAUW
de heer J.L. Veldhoven	prov. Zuid-Holland
mevrouw dr. A.A. Vergauwen	Grontmij
de heer ing. J.H.A.M. Verheul	NOBIS
de heer drs. F.A. Weststrate	Grondmechanica Delft

Groep 3

Voorzitter: de heer ir. H.J. Vermeulen NOBIS

de heer ir. G.M.V. Emmen	DHV
de heer Y. Hamstra	gem. Den Haag
de heer ir. A. Kant	Oranjewoud
de heer ing. R.L. de Klerk	prov. Zeeland
de heer J. van Kuijk	NETEX
de heer E. Mateman	TAUW
de heer ir. H.H.M. Rijnaarts	TNO
mevrouw ir. L. Schipper	IWACO
de heer dr. ir. S. van der Zee	LUW

Bijlage 5

Andere uitgaven PGB0

Vluchtige organische chloorverbindingen

Uitgaven in de serie Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek

deel	titel	prijs
1	Kennisbehoefte actief bodembeheer P.S.H. Ouboter et al., 1996 (29 p., 2 bijlagen)	f 40,-
2	Ecotoxicologische risicobeoordeling van verontreinigde (water)bodems - Hoe verder ? C. van der Guchte et al., 1996 (56 p.)	f 40,-
3	Monitoring en controle van bodem en grondwater - Beleidsrelevantie van monitoringsystemen R.A. Ammerlaan et al., 1996 (60 p.)	f 40,-
4	Risicobeoordeling bij bodemverontreiniging: inventarisatie van knelpunten en oplossings- richtingen A.G. Nijhof, 1996	f 40,-
5	Classificatie van bodemverontreiniging - Inventarisatie van mogelijkheden en knelpunten in verband met onderzoekprogrammering W.F. Kooper, 1996	f 40,-
6	Stimuleringsprogramma's voor bodem- en waterbodemonderzoek in Nederland, anno 1996 - doelstellingen, programmering, visies	---

Uitgaven in de serie The Netherlands Integrated Soil Research Programme Reports

vol.	title	price
1	The fate of organic pollutants in soils and sediments and the development of biological soil remediation techniques P.J.M. Middelkoop and G. Schraa, 1995 (26 p., 5 bijlagen)	f 15,-
2	Adaptation and selection mechanisms of natural and genetically modified soil microorganisms H. Rogaar et al. (eds), 1995 (70 p., 2 bijlagen)	f 15,-
3	Biological availability and transformations of organic compounds in soil and sediment systems H. Rogaar et al. (eds.), 1995 (152 p., 4 bijlagen)	f 15,-
4	Spatial variability of soil contamination and the consequences for environmental risk assessment A. Stein and I.G. Staritsky, 1995 (35 p., 5 bijlagen)	f 15,-

- 5 Remediation and isolation techniques for soils and *f* 15,-
 sediments
 J.T.C. Grotenhuis et al. (eds.), 1996 (258 p., 3 bijlagen)
- 6 Soil structure and transport processes - Implications for *f* 15,-
 water, gases, nutrients, pesticides, and contaminants in
 soils
 P.A.C. Raats, H. Rogaar, and A.H. van den Heuvel-Pieper
 (editors), 1996 (132 p., 3 bijlagen)