

NOBIS 96.970  
VERSLAG KENNIS INTEGRATIE SESSIES (KISs)

dr.ir. J.C.M. de Wit (Tauw bv)  
ir. A.M. Otten (Tauw bv)  
ir. D.W. van den Heuvel (Tauw bv)  
ir. H.M.C. Satijn (IWACO B.V.)  
ir. L. Schipper (IWACO B.V.)  
mw. L. Vranken (IWACO B.V.)  
ir. M.H. Kriekaard (IWACO B.V.)  
drs. J.J. van der Waarde (Bioclear B.V.)  
dr.ir. H.H.M. Rijnaarts (TNO-MEP)  
dr.ir. T.N.P. Bosma (TNO-MEP)  
dr. H. Leenaers (NITG TNO)  
ir. K.R. Weytingh (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)  
ir. A.H. van de Velde (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)

april 1999

Gouda, CUR/NOBIS

### **Auteursrechten**

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

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Verslag Kennis Integratie Sessies (KISs)", april 1999, CUR/NOBIS, Gouda."

### **Aansprakelijkheid**

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

### **Copyrights**

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

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"Report Knowledge Integration Sessions (KISs)", April 1999, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands."

### **Liability**

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

**Titel rapport**

Verslag Kennis Integratie Sessies (KISs)

**CUR/NOBIS rapportnummer**

96.970

**Project rapportnummer**

96.970

---

**Auteur(s)**

dr.ir. J.C.M. de Wit  
ir. A.M. Otten  
ir. D.W. van den Heuvel  
ir. H.M.C. Satijn  
ir. L. Schipper  
mw. L. Vranken  
ir. M.H. Kriekaard  
drs. J.J. van der Waarde  
dr.ir. H.H.M. Rijnaarts  
dr.ir. T.N.P. Bosma  
dr. H. Leenaers  
ir. K.R. Weytingh  
ir. A.H. van de Velde

**Aantal bladzijden**

**Rapport:** 66  
**Bijlagen:** 2

---

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

IWACO B.V. (ir. L. Schipper, 010-2865581)  
Tauw bv (dr.ir. J.C.M. de Wit, 0570-699653)

---

**Uitgever**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Samenvatting**

Van maandag 28 september tot vrijdag 2 oktober 1998 (week 40) zijn Kennis Integratie Sessies (KISs) gehouden om belangrijke productgroepen die binnen NOBIS zijn ontwikkeld te definiëren en te beschrijven. In dit rapport wordt de werkwijze van de sessies besproken en daarnaast worden de sessies afzonderlijk besproken.

---

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

-

**Vrije trefwoorden:**

-

---

**Titel project**

Verslag Kennis Integratie Sessies (KISs)

**Projectleiding**

IWACO B.V.  
(ir. L. Schipper, 010-2865581)

---

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda

**Report title**  
Report Knowledge Integration Sessions (KISs)

**CUR/NOBIS report number**  
96.970

**Project report number**  
96.970

---

**Author(s)**  
dr.ir. J.C.M. de Wit  
ir. A.M. Otten  
ir. D.W. van den Heuvel  
ir. H.M.C. Satijn  
ir. L. Schipper  
Mrs L. Vranken  
ir. M.H. Kriekaard  
drs. J.J. van der Waarde  
dr.ir. H.H.M. Rijnaarts  
dr.ir. T.N.P. Bosma  
dr. H. Leenaers  
ir. K.R. Weytingh  
ir. A.H. van de Velde

**Number of pages**  
**Report:** 66  
**Appendices:** 2

---

**Executive organisation(s) (Consortium)**  
IWACO B.V. (ir. L. Schipper, 010-2865581)  
Tauw bv (dr.ir. J.C.M. de Wit, 0570-699653)

---

**Publisher**  
CUR/NOBIS, Gouda

---

**Abstract**  
In the week of September 28<sup>th</sup> till October 2<sup>nd</sup>, Knowledge Integration Sessions (KISs) have been held. In these sessions important products that have been developed within NOBIS are discussed. In this report the results of these sessions are presented.

---

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

**Uncontrolled terms:**  
-

---

**Project title**  
Report Knowledge Integration Sessions (KISs)

**Projectmanagement**  
IWACO B.V.  
(ir. L. Schipper, 010-2865581)

---

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

# INHOUD

		SAMENVATTING	vi
		SUMMARY	viii
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
Hoofdstuk	2	DOELSTELLING	3
Hoofdstuk	3	WERKWIJZE EN RESULTAAT	5
	3.1	Vorbereiding	5
	3.2	KISSs-week	6
	3.3	Samenhang tussen de onderwerpen	7
Hoofdstuk	4	PRODUCTGROEP VOORONDERZOEK EN LABORATORIUM- EXPERIMENTEN	9
	4.1	Afbakening en definities	9
	4.2	Overzicht van typen vooronderzoek	9
	4.2.1	Veldkarakterisatie	9
	4.2.2	Batchproeven	9
	4.2.3	Kolomproeven	10
	4.2.4	Pilotproeven	10
	4.2.5	Biodegradatietoets	10
	4.2.6	Rhizolab-toets	10
	4.2.7	In situ mesocosms	10
	4.3	Karakteristieken van typen vooronderzoek	11
	4.4	Consumentengids vooronderzoek	12
	4.4.1	Aanwezigheid van micro-organismen	13
	4.4.2	Aantonen van biologische afbraak	13
	4.4.3	Massabalans	14
	4.4.4	Biologische beschikbaarheid	14
	4.4.5	Restconcentratie in grond	14
	4.4.6	Maximale verwijderingssnelheid in grond	14
	4.4.7	Gestimuleerde veldverwijderingssnelheid en afbraakkinetiek	14
	4.4.8	Geschatte veldverwijderingssnelheid	15
	4.4.9	Bepalen van saneringsduur	15
	4.4.10	Elektronacceptorbehoefte	15
	4.4.11	Elektron donorbehoefte	15
	4.4.12	Nutriëntenbehoefte	15
	4.4.13	Selectie van monitoringsparameters	16
	4.5	Gedefinieerde NOBIS-producten	16
	4.5.1	Veldkarakterisatie	16
	4.5.2	Batchproeven	16
	4.5.3	Kolomproeven	16
	4.5.4	Pilotproeven	17
	4.6	Aanbevelingen	17

Hoofdstuk	5	PRODUCTGROEP GEOFYSISCHE METINGEN	19
	5.1	Afbakening en definities	19
	5.2	Overzicht van geofysische technieken	19
	5.2.1	Technieken vanuit de lucht	19
	5.2.2	Technieken vanaf het maaiveld of vanuit een boorgat	20
	5.2.3	Technieken met sensoren in contact met de bodem	20
	5.2.4	Overige geofysische technieken	20
	5.3	Toepassingsituaties en meetdoelen	21
	5.3.1	Toepassingsituaties	21
	5.3.2	Meetdoelen	21
	5.3.3	Combinaties van toepassingsituaties en meetdoelen	21
	5.4	Toetsing en positionering van de gedefinieerde NOBIS-producten	23
	5.5	Aanbevelingen/toekomstige ontwikkelingen	26
Hoofdstuk	6	DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN VAN WATER EN LUCHT	29
	6.1	Afbakening en definities	29
	6.2	Dimensioneringsproces	29
	6.2.1	Fase 1: Vertaling van conceptueel model naar concept-ontwerp saneringssysteem	29
	6.2.2	Fase 2: Uitvoeren van de praktijkproef in de vorm van een pilot	30
	6.2.3	Fase 3: Aanleg van het systeem op basis van richtlijnen voor technische uitvoering	31
	6.2.4	Fase 4: Start full-scale	32
	6.2.5	Dimensioneringsondersteunende systemen	32
	6.3	Aanbevelingen	32
Hoofdstuk	7	CKW-CONCEPTEN	33
	7.1	Overzicht van producten	33
	7.1.1	Van concepten naar producten: toepassingsgebieden	33
	7.1.2	Aërobe stimulering van de afbraak van monochloorbenzeen (no. 1)	34
	7.1.3	Volledige anaërobe sanering van een PER-verontreiniging (no. 2)	34
	7.1.4	Anaërobe gestimuleerde zone voor een DCA-verontreiniging (no. 3)	34
	7.1.5	Sequentieel bioscherm voor HCH en monochloorbenzeen (no. 4)	34
	7.1.6	Combi-remediatie van een PER-verontreiniging (no. 5)	35
	7.1.7	Natuurlijke afbraak van PER en TRI (no. 6)	35
	7.1.8	Natuurlijke anaërobe afbraak van DCA via simultane oxidatieve en reductieve omzettingen (no. 7)	35
	7.1.9	Natuurlijke sequentiële afbraak van HCH (no. 8)	35
	7.1.10	Smart pump and treat op wasserijlocaties (no. 9)	35
	7.1.11	Sequentiële afbraak van PER (no. 10)	35
	7.1.12	Conclusies uit tabel 13	36
	7.2	Integrale aanpak van een probleem: bepalen van toepassingsgebied	36
	7.2.1	Onderzoek case	37
	7.2.2	Haalbare concepten	37
	7.3	Randvoorwaarden	39

		7.4	Discussiepunten	39
		7.4.1	Grootte en omvang van de locatie	39
		7.4.2	Aantonen van DNAPL's	39
		7.4.3	Combi-remediatie	39
		7.4.4	Is het zinvol om de biologie te stimuleren als er al grondwateronttrekking wordt toegepast?	40
		7.5	Aanbevelingen	40
Hoofdstuk	8		PROCESKARAKTERISATIE	41
		8.1	Inleiding en doelstelling	41
		8.2	Afbakening en definities	41
		8.3	De 'kapstok'	43
		8.4	Identificatie van onderzoeksvragen en saneringsprocessen	43
		8.5	Identificatie van onderzoeksvragen en producten	45
Hoofdstuk	9		PRODUCTGROEP BIOSCHERMEN	47
		9.1	Afbakening en definities	47
		9.2	Overzicht van bioschermtoeepassingen	48
		9.2.1	Beschrijving van bioschermtoeepassingen	48
		9.2.2	Indeling relevante kenmerken	49
		9.2.3	Scoringstabel	50
		9.3	Toepassingssituaties en bioschermproducten	51
		9.3.1	Toepassingssituaties	51
		9.3.2	Bioschermproducten	52
		9.3.3	Productpotentie	53
		9.4	Aanbevelingen/toekomstige ontwikkelingen	54
Hoofdstuk	10		PRODUCTGROEP BESLISONDERSTEUNENDE SYSTEMEN	55
		10.1	Afbakening en definities	55
		10.2	Wat zijn beslisondersteunende systemen en waarom worden deze ontwikkeld?	56
		10.3	Positionering van beslisondersteunende systemen	57
		10.3.1	Afwegingsproces varianten	57
		10.3.2	Plan-do-check cyclus voor de aanpak van bodemproblemen	58
		10.4	Discussie over de beslisondersteunende systemen en aanbevelingen	59
		10.4.1	'Core competence' van de ontwikkelde systemen	59
		10.4.2	Gebruik van modellen en databehoefte	59
		10.4.3	Maak een RMK- of KEV-checklist	60
		10.4.4	Integratie van afwegingsmodellen KEV en RMK	60
		10.4.5	Ontwikkelingsplatform voor beslisondersteunende modellen	60
Hoofdstuk	11		PILOT KENNISINTEGRATIESESSIE PROCESMONITORING	61
		11.1	Afbakening en definities	61
		11.2	Doelstellingen en motieven voor procesmonitoring	62
		11.3	Bodemprocessen en meetfrequentie	64
		11.4	Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid	64
		11.5	Praktische randvoorwaarden	65
		11.6	Technieken	65
		11.7	Conclusies en aanbevelingen	66
Bijlage	A		DEELNEMERSLIJST KENNIS INTEGRATIE SESSIES	

## SAMENVATTING

### **Verslag Kennis Integratie Sessies (KISs)**

Van maandag 28 september tot vrijdag 2 oktober 1998 (week 40) zijn Kennis Integratie Sessies (KISs) gehouden om belangrijke productgroepen die binnen NOBIS zijn ontwikkeld te definiëren en te beschrijven. In dit rapport wordt de werkwijze van de sessies besproken en daarnaast worden de sessies afzonderlijk besproken.

#### *Vooronderzoek en laboratoriumexperimenten*

In de sessie vooronderzoek en laboratoriumexperimenten zijn de verschillende beschikbare vooronderzoeken besproken en is bekeken welke het beste kunnen worden gebruikt om een bepaalde onderzoeksvraag te beantwoorden. Uiteindelijk is een tabel ontstaan, waarmee aan de hand van een onderzoeksvraag een tijdstip en een manier van onderzoek kan worden gevonden.

#### *Geofysische meetmethoden*

De tweede sessie behandelt de geofysische meetmethoden. Aan de hand van een aantal tabellen is de toepasbaarheid en de efficiëntie van de verschillende meetmethoden weergegeven.

#### *Dimensioneringsgrondslagen*

Tijdens de sessie dimensioneringsgrondslagen van water en lucht zijn vijf ontwerpelementen onderscheiden die door middel van pilotexperimenten kunnen worden onderzocht en uitgewerkt. Vanuit de sessie is naar voren gekomen dat er nog weinig concrete toepassingen zijn op dit gebied; het ontbreekt aan ervaring/vuistregels voor het ontwerp en de uitvoering van de verschillende dimensioneringstechnieken.

#### *Chloorkoolwaterstoffen (CKW) concepten*

In het verslag van de sessie CKW-concepten wordt ingegaan op de concepten die binnen NOBIS zijn ontwikkeld en/of getoetst voor de aanpak van CKW-verontreinigingen. Uit deze sessie is gebleken dat veel concepten blijven steken in de idee- en planfase. Er is op dit gebied nog weinig praktijk- en veldervaring opgedaan. In deze sessie is ook nagegaan hoe tot de toepassing van een bepaald concept kan worden besloten.

#### *Proceskarakterisatie*

Tijdens de sessie proceskarakterisatie is een kapstok ontworpen waarbinnen (NOBIS)producten kunnen worden gepositioneerd. Hiervoor is een overzicht gemaakt van de verschillende onderzoeksvragen in relatie tot de saneringsprocessen en in relatie tot de verschillende (NOBIS)producten. Op deze manier is een hulpmiddel gecreëerd om het juiste (NOBIS)product bij de onderzoeksvraag te vinden.

#### *Bioschermen*

In het verslag van de sessie bioschermen zijn de verschillende bioschermproducten, waarmee de verspreiding van de verontreiniging wordt tegengegaan, beschreven. De verschillende toepassingen zijn getoetst aan een aantal criteria en vervolgens in een tabel weergegeven. Daarnaast zijn ook de verschillende toepassingsgebieden gedefinieerd en getoetst aan dezelfde criteria. Over het algemeen worden de bioschermen als toepassing gezien voor verontreinigingen in watervoerende pakketten en zijn ze niet geschikt om verspreiding van puur product tegen te gaan. Uiteindelijk zijn de verschillende producten gedefinieerd en is een potentie van deze producten in kaart gebracht.



### *Beslisondersteunende systemen*

Tijdens de sessie beslisondersteunende systemen stonden vijf projecten centraal. Deze projecten vertegenwoordigen verschillende afwegingsmodellen die ten opzichte van de saneringspraktijk en ten opzichte van elkaar zijn afgewogen. Dit heeft geleid tot een schema van beslis-momenten met daarbij welk type beslisondersteunend model bij welk beslismoment kan worden gebruikt.

### *Procesmonitoring*

In het verslag van de sessie procesmonitoring worden de verschillende type monitoring, de mo-tieven, de doelstellingen voor monitoren, de frequentie, de betrouwbaarheid en de nauwkeurig-heid besproken. Vanuit de deelnemers wordt aangegeven dat de on-line meetapparatuur nog in de kinderschoenen staat.

In elk verslag van de verschillende kennisintegratiesessies is voor ieder onderwerp een inventari-satie gemaakt van welke concrete toepassingen er een NOBIS-verband bestaat en wat er in de toekomst op dit vlak nog onderzocht kan/moet worden.

## SUMMARY

### Report Knowledge Integration Sessions (KISs)

In the week of September 28<sup>th</sup> till October 2<sup>nd</sup>, Knowledge Integration Sessions (KISs) have been held. In these sessions important products that have been developed within NOBIS are discussed. In this report the results of these sessions are presented.

#### *Preliminary investigations en laboratory experiments*

In this session all possible investigations and laboratory experiments have been discussed. Also the applicability of these experiments has been discussed. The results are summarized in a table, in which, according to certain research questions, the best type of experiment can be found.

#### *Geophysical measurements*

In this session the applicability and efficiency of geophysical measurement devices is presented.

#### *Designing aspects for in situ remediation*

For both the sparging and extraction of water or air, pilot tests have been discussed that can be used to establish designing parameters. It appeared that only a limited amount of experience in the field is available. More rules of thumb should be developed.

#### *Remediation concepts for chlorinated solvents*

Several remediation concepts have been developed within NOBIS. It appeared any how that there is only limited experience in the field. Most concepts are more or less only in the phase of idea or plan.

#### *Proces characterization*

In this session all available tests and types of measurements in the field are structured. A table is presented in which research questions are linked with the types of measurements that are available.

#### *Bioscreens*

Several types of bioscreens have been described, including there applicability.

#### *Decision support systems*

Five decision support systems have been discussed in this session. They have been positioned and there applicability has been defined.

#### *Proces monitoring*

In this session the types of monitoring devices, the objectives of monitoring, frequenties and the reliability of monitoring have been discussed.

## HOOFDSTUK 1

### **INLEIDING**

In opdracht van NOBIS zijn in week 40 Kennis Integratie Sessies (KISs) gehouden om belangrijke productgroepen die binnen NOBIS zijn ontwikkeld te definiëren en te beschrijven. Dit rapport is de weerslag van deze sessies. Na de doelstelling wordt eerst kort toegelicht hoe tot de organisatie van deze sessies is gekomen. In de hoofdstukken 4 tot en met 11 wordt vervolgens verslag gedaan van de afzonderlijke sessies.



## HOOFDSTUK 2

### **DOELSTELLING**

De doelstelling van de acht kennisintegratiesessies is drieledig:

- identificatie van de NOBIS-producten vanuit de verschillende NOBIS-projecten;
- ordenen en structureren van de verschillende producten;
- het opstellen van een 'kapstok' waaraan de producten kunnen worden opgehangen. De kapstok kan uiteindelijk de ruggengraat worden van de productengids.



## HOOFDSTUK 3

### WERKWIJZE EN RESULTAAT

#### 3.1 Voorbereiding

Om te komen tot kennisintegratie is een stapsgewijze aanpak gevolgd, zoals is geïllustreerd in figuur 1.

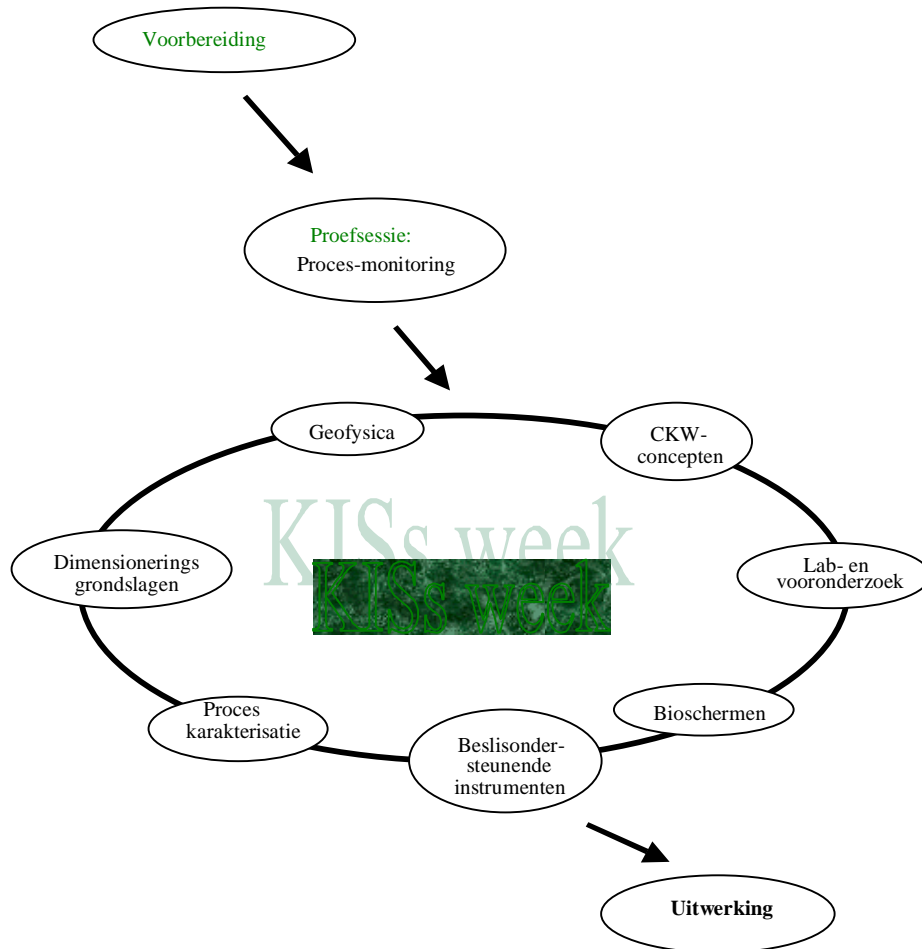


Fig. 1. Stapsgewijze aanpak.

Van tevoren is reeds een inventarisatie gemaakt van 'NOBIS-producten'. Dat is gebeurd door de basisprojectplannen te screenen op producten en door penvoerders zelf te vragen welke producten zij hebben ontwikkeld. De producten zijn verwerkt in een spreadsheet, zodat een goed overzicht is verkregen. Uit het overzicht blijkt dat sommige specifieke producten zijn ontwikkeld binnen een project en duidelijk kunnen worden gedefinieerd en gepositioneerd. Andere (groepen van) producten zijn of worden in meerdere projecten ontwikkeld en het onderscheid of de positionering van die producten is niet duidelijk. Voor die producten is het wenselijk iets aan kennisintegratie te doen.

De onderwerpen, waaronder deze producten zijn gegroepeerd, worden hieronder weergegeven.

**Onderwerpen voor kennisintegratie**

- Geofysica
- Laboratorium- en vooronderzoek
- CKW-concepten
- Bioschermen
- Dimensioneringsgrondslagen
- Procesmonitoring
- Proceskarakterisatie
- Beslisondersteunende instrumenten

**Niet meegenomen**

- *Natuurlijke afbraak*
- *Ecologisch herstel en bioassays*
- *Landfarming*
- *Modellering*
- *Functiegericht saneren*

Om een goede vorm te vinden voor kennisintegratie en om een maximaal resultaat te behalen is een proefsessie gehouden over het onderwerp 'Procesmonitoring'. Uit deze proefsessie is gebleken dat in een korte workshop bovenstaande doelstellingen worden gehaald, mits de ontwikkelaars gezamenlijk aan tafel zitten en duidelijke vragen worden voorbereid. In het tekstkader wordt ook een aantal onderwerpen genoemd die uiteindelijk niet geselecteerd zijn voor een kennisintegratiesessie. Voor deze onderwerpen worden producten soms al in een ander kader geïntegreerd, of er zijn nog te weinig echte producten om aan kennisintegratie te doen.

### 3.2 KISs-week

Om zo efficiënt en snel mogelijk de kennisintegratie tot stand te brengen zijn er zeven sessies in een week georganiseerd. Per dag hebben 2 sessies plaatsgevonden, waarbij per sessie steeds circa 10 ontwikkelaars van producten aanwezig zijn geweest. Elke sessie is 's middags om 17.00 uur begonnen. Met een onderbreking voor het diner is de avond gebruikt om de noodzakelijke informatie boven tafel te krijgen. Alle deelnemers zijn gevraagd kort hun producten te presenteren. Discussie is zoveel mogelijk uitgesteld tot de volgende dag, zodat iedereen de tijd heeft gekregen om zijn standpunten voor het voetlicht te brengen.

De volgende dag is gebruikt om de diverse producten te definiëren, de toepassingsgebieden vast te stellen en daarmee de kapstok te formuleren waaraan alle producten een plaatsje vinden. Aan het eind van de dag hebben de twee parallelle sessies hun resultaten gepresenteerd aan de nieuwe lichter.



### *Uitwerking*

Elke sessie had een voorzitter (voor het proces), een trekker (met een goed overzicht van het onderwerp) en een notulist. Elke sessie is de dag erna uitgewerkt door de notulist en de trekker, in samenwerking met de voorzitter. Door zo snel mogelijk de resultaten op papier te krijgen, is zo weinig mogelijk verloren gegaan van de discussie en van het beeld dat deelnemers hadden aan het eind van de dag

### *Resultaten: dit rapport*

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van alle sessies, waartoe wordt verwezen naar hoofdstuk 4 t/m 11. In bijlage A is vermeld wie de deelnemers zijn, inclusief de voorzitter, de trekker en de notulist.

## **3.3 Samenhang tussen de onderwerpen**

Uit de verslagen van de sessies, die in dit rapport zijn opgenomen, blijkt al dat informatie uit de ene sessie goed kan worden gebruikt bij een volgend onderwerp. Zo ontstaat een structuur, waarbij vanuit het ene schema weer kan worden verwezen naar een volgend schema.

De ordening van onderwerpen kan op diverse manieren plaatsvinden. Centraal staan de saneringstechnieken die worden gecombineerd tot saneringsvarianten of saneringsconcepten. Beslisondersteunende instrumenten, zoals het NA-beslismodel en Restrisk, kunnen helpen om de haalbaarheid van een saneringsvariant te beoordelen. Afwegingsmodellen, zoals RMK en KEV, helpen om een keuze te maken tussen een aantal varianten. Om de saneringsvarianten uit te werken zal proceskarakterisatie plaatsvinden en worden systemen gedimensioneerd: dimensioneringsgrondslagen voor water en lucht. Na implementatie vindt procesmonitoring plaats.

Om proceskarakterisatie en procesmonitoring te kunnen uitvoeren en dimensioneringsgrondslagen te kunnen bepalen zijn geofysische meetmethoden en laboratorium- en vooronderzoek noodzakelijk. De kennisvragen, die vanuit de proceskarakterisatie of vanuit de dimensionering worden gesteld, kunnen worden vertaald naar metingen en experimenten.



### PRODUCTGROEP VOORONDERZOEK EN LABORATORIUMEXPERIMENTEN

#### 4.1 Afbakening en definities

Vooronderzoek wordt uitgevoerd indien er onzekerheden bestaan ten aanzien van de keuze en uitvoering van de sanering. Onder vooronderzoek wordt verstaan: het onderzoek dat wordt uitgevoerd voorafgaand aan de uitvoering van een (biologische) sanering. In de workshop is vooral ingegaan op experimenten gericht op het vaststellen van de biologische processen.

In dit vooronderzoek kunnen onderzoeksvragen worden beantwoord op basis waarvan de haalbaarheid wordt getest en de meest geschikte uitvoeringsvorm van een sanering kan worden gekozen. Hierdoor wordt het vertrouwen in de gekozen strategie vergroot en de risico's worden beperkt. De beslissing of een bepaald type vooronderzoek wordt uitgevoerd, wordt mede bepaald door de grootte van de risico's van de schade die kan worden geleden bij een foutieve keuze van een saneringsvariant.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de verschillende beschikbare typen vooronderzoek. Vervolgens wordt in de 'consumentengids vooronderzoek' aangegeven welk type vooronderzoek het meest optimaal is (het beste kan worden gebruikt) om antwoord te geven op een bepaalde onderzoeksvraag. Tenslotte wordt een overzicht gegeven van de verschillende beschikbare NOBIS-producten op het gebied van vooronderzoek.

#### 4.2 Overzicht van typen vooronderzoek

##### 4.2.1 *Veldkarakterisatie*

Bij een veldkarakterisatie worden bodem en/of grondwatermonsters uit het veld geanalyseerd op een groot aantal biologische en chemische parameters. Deze analyses geven inzicht in de heersende redoxcondities, de verontreinigingsconcentraties, aanwezigheid van specifieke micro-organismen en eventuele producten van biologische afbraak. Op basis van deze analyses kan een indicatie worden verkregen van het optreden van natuurlijke afbraakprocessen. De veldkarakterisatie wordt meestal uitgevoerd om de uitgangssituatie vast te leggen, voorafgaande aan de selectie van saneringsopties. De veldkarakterisatie is daarbij altijd een 'momentopname'.

##### 4.2.2 *Batchproeven*<sup>1</sup>

In een batchproef wordt een bepaalde hoeveelheid grond van een locatie geïncubeerd onder goed omschreven laboratoriumcondities met eventuele toevoegingen. Het hoofddoel van de batchproef is aan te geven of de verontreiniging in de bodem in potentie voldoende biologisch afbreekbaar is om een biorestauratie aantrekkelijk te maken. Batchproeven geven vooral antwoord op zogenoemde ja/nee-vragen: bijvoorbeeld hebben nutriënten effect of niet. Wel kan vaak, op basis van ervaring, een inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid nutriënten die nodig zijn.

Biodegradatie wordt doorgaans bepaald aan de hand van het verdwijnen van de verontreiniging, O<sub>2</sub>-consumptie (of een andere elektronacceptor) en/of CO<sub>2</sub>-/methaanproductie gedurende de incubatie. Vaak zal worden getracht een massabalans op te stellen over de incubatie. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in het aandeel biologische versus niet-biologische processen in de verwijdering van de verontreiniging.

#### 4.2.3 *Kolomproeven*<sup>1</sup>

De hoofddoelstelling van de kolomproef is kwantificeerbare informatie te verkrijgen over het verloop van de sanering, de mate waarin transportprocessen het biodegradatieproces beïnvloeden, de biodegradatiesnelheid en de duur van de sanering. De resultaten van de kolomproef worden gebruikt bij de definiëring en inrichting van de sanering. Hoewel kolomproeven dichterbij de praktijk staan dan batchproeven, blijft de vertaalslag van de resultaten uit de kolomproef naar een veldsituatie een probleem.

Een kolomproef wordt veelal uitgevoerd met gepakte grond van de locatie, dat wil zeggen dat het grondmonster is verstoord en in het laboratorium in een kolom is gebracht (geroerde kolom). Een tweede meer praktijkgerichte uitvoering is de gestoken kolom, waarbij - eventueel met behulp van boorapparatuur - een kolom in een holle buis wordt gestoken op locatie. Deze kolom wordt vervoerd naar het laboratorium en daar in een meetopstelling gebracht. Deze uitvoering is technisch complexer, duurder en langduriger. In het laboratorium wordt de sanering, zoals die in het veld kan gaan worden uitgevoerd, nagebootst. Biodegradatie wordt bepaald aan de hand van parameters, zoals die ook in het veld zullen worden toegepast. Vaak is het niet goed mogelijk een massabalans op te stellen over de grondkolom, omdat het een open systeem is.

#### 4.2.4 *Pilotproeven*<sup>1</sup>

Als de onzekerheid over de wijze van uitvoering of het haalbare eindresultaat te groot wordt geacht, wordt een pilotproef uitgevoerd. In de pilot wordt op de locatie een deelsanering uitgevoerd om het vooronderzoek en het saneringsconcept te verifiëren.

In een pilotproef worden onderzoeksvragen opgelost, die niet op laboratoriumschaal kunnen worden onderzocht. Vaak zijn dit vragen die te maken hebben met de praktische uitvoerbaarheid van de sanering en het rendement van de sanering op praktijkschaal.

Naast het bepalen van de haalbaarheid levert de pilotplant informatie over de dimensionering van het systeem (b.v. invloedstraal van de onttrekkingsmiddelen). Dit wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 6.

#### 4.2.5 *Biodegradatietoets*

Wegens tijdgebrek is deze toets in de workshop niet nader gedefinieerd.

#### 4.2.6 *Rhizolab-toets*

Het Rhizolab is een grootschalige onderzoeksfaciliteit, waarin op semi-praktijkschaal experimenten kunnen worden uitgevoerd. Het Rhizolab bestaat uit 16 containers (125 x 125 x 200 cm) die kunnen worden gevuld met (verontreinigde) grond. In het systeem kan de water- en gashuishouding worden gemanipuleerd. Door het inbouwen van sensoren en monitoringsfilters kan de toestand van het bodemsysteem nauwkeurig worden gemonitord.

Het Rhizolab is met name geschikt voor het uitvoeren van generiek onderzoek en is daarom niet verder uitgewerkt voor praktijktoepassingen.

#### 4.2.7 *In situ mesocosms*

Wegens tijdgebrek is deze toets in de workshop niet nader gedefinieerd.

---

<sup>1</sup> © De omschrijving is gebaseerd op het rapport: "Biologische afbraak van BTEX en CKW bij in situ bio-restauratie - Afbreekbaarheid, vooronderzoek, monitoring en karakterisatie", CUR/NOBIS-rapport 96.608, oktober 1996, Gouda.

#### 4.3 Karakteristieken van typen vooronderzoek

In tabel 1 is een verdere karakterisering van het vooronderzoek weergegeven die is gebaseerd op de volgende kenmerken:

- *Veld/in situ*  
De meting of het experiment vindt plaats op locatie in de bodem, zoals bijvoorbeeld bij veldkarakterisatie en pilotproeven. Dit in tegenstelling tot laboratoriumexperimenten (batch- en kolomproeven), waarbij grond uit het veld wordt genomen en in het laboratorium wordt geïncubeerd.
- *Menging grond tijdens proef*  
Gedurende de incubatieperiode wordt de grond gemengd, bijvoorbeeld in een schudincubator. Alleen tijdens batchproeven wordt de grond tijdens de incubatie gemengd. Kolomproeven kunnen worden onderverdeeld in gepakte/geroerde of gestoken/ongerode kolommen. Gedurende het experiment (de 'kolomincubatie') wordt de grond niet gemengd. Bij pilotproeven en veldkarakterisatie is nooit sprake van menging van grond.
- *Gesloten systeem*  
In een gesloten systeem vindt geen uitwisseling plaats tussen de vloeibare, vaste en gasfase van het experiment met de omgeving. Alleen batchproeven kunnen volledig worden gesloten. Bij de overige experimenten is altijd sprake van uitwisseling met de omgeving.
- *Transportprocessen*  
In open systemen kunnen vloeistoffen of gasfasen door de grond worden geleid, waardoor transportprocessen kunnen worden bestudeerd. Bij batchproeven vindt geen aan- of afvoer plaats van vloeistoffen of gassen. Kolomproeven worden daarentegen uitgevoerd om transportprocessen te onderzoeken doordat er water en/of lucht door de kolommen wordt geleid. Bij pilotexperimenten is eveneens meestal sprake van onttrekking van vloeistoffen en/of gasfase. Aangezien de veldkarakterisatie een momentopname betreft kunnen transportprocessen niet worden bestudeerd.
- *Toevoegingen*  
Bij actieve gestimuleerde biorestauratie kunnen toevoegingen, zoals nutriënten of een elektrondonor, worden gedaan om de biodegradatie te stimuleren. Alleen bij veldkarakterisatie is nooit sprake van toevoegingen, aangezien de meting plaatsvindt voorafgaand aan eventuele sanering en optimalisatie van het biodegradatieproces. Veldanalyses die worden uitgevoerd tijdens een gestimuleerde actieve bodemsanering vallen onder monitoring. Aan batches, kolommen en pilotexperimenten kunnen toevoegingen worden gedaan, terwijl in batchexperimenten meestal een controle wordt meegenomen waaraan geen toevoegingen worden gedaan.
- *Momentopname*  
Bij een momentopname kunnen veranderingen in de tijd niet worden bepaald. Bij batch-, kolom- en pilotexperimenten worden effecten van stimuleringsmaatregelen altijd gemeten als functie van de tijd (monitoring). Onder veldkarakterisatie wordt verstaan het vastleggen van de nulsituatie voorafgaande aan eventuele saneringsmaatregelen en er kunnen geen tijdsafhankelijke processen worden onderzocht.

Tabel 1. Karakteristieken van typen vooronderzoek.

	veldkarakterisatie	batchproef	kolomproef	pilotproef
veld/in situ	+	-	-	+
menging grond tijdens proef	-	+	-	-
gesloten systeem	-	+	-	-
transportprocessen	-	-	+	+
toevoegingen	-	+	+	+
momentopname	+	-	-	-

#### 4.4 Consumentengids vooronderzoek

Bij het kiezen van een saneringsoptie en bij het ontwerpen van de saneringsvariant, kunnen diverse onzekerheden optreden c.q. onderzoeksvragen worden gesteld. Deze onzekerheden/vragen zijn afhankelijk van het type saneringsvariant dat wordt overwogen, het stadium van de sanering en de ervaring van de betrokkenen.

Hieronder worden de onderzoeksvragen weergegeven, die vaak worden gesteld en waarop het *vooronderzoek* een antwoord kan geven. De vragen, die in de workshop naar voren zijn gekomen, hebben vooral betrekking op microbiologische processen en het bepalen van de haalbaarheid van de biologische variant. Voor vragen die betrekking hebben op ontwerp en dimensionering en op proceskarakterisatie in het laboratorium wordt verwezen naar de verslagen van de workshops over de proceskarakterisatie en naar ontwerp en dimensionering.

De vragen zijn ondergebracht in tabel 2 en worden in de subparagrafen puntsgewijs toegelicht. De tabel geeft aan welk type vooronderzoek het beste kan worden gebruikt om een antwoord te verkrijgen. In de tabel is met plussen en minnen aangegeven wat de beste keuze is. Bij de beste keuze is er een evenwicht tussen de waarde van het experiment (wat levert het op), de tijdsduur en de kosten. Verder is in de tabel aangegeven wat de vertaalbaarheid is van de laboratoriumexperimenten naar de veldsituatie.

Deze zogenoemde 'consumentengids vooronderzoek' kan voor de volgende personen van belang zijn:

- de onderzoeker/adviseur kan op basis van de consumentengids een keuze maken voor het meest effectieve vooronderzoek om bestaande onderzoeksvragen op te lossen;
- de opdrachtgever/eindgebruiker kan uit de consumentengids afleiden of het gekozen vooronderzoek goed aansluit bij het beoogde doel en of de meest effectieve keuze is gemaakt;
- de vergunningverlenende instantie kan uit de consumentengids afleiden of het saneringsconcept op de juiste wijze met vooronderzoek is onderbouwd en kan de gids gebruiken als naslagwerk.

Tabel 2. Wijzer vooronderzoek

onderzoeksvraag	veldkarakterisatie	batchproef		kolomproef		pilotproef
		labproef	vertaalbaarheid veld	labproef	vertaalbaarheid veld	
aanwezigheid van micro-organismen	++	+	+	+	+	+
aantonen van biologische afbraak	+	++	+	+	+	+
massabalans	-	++	-	+	-	-
biologische beschikbaarheid	+	++	+	+	+	+
restconcentratie in grond	-	+ <sup>2</sup>	+	-	-	-
maximale verwijderingssnelheid in grond	-	+	-	-	-	-
gesimuleerde veldverwijderingssnelheid en afbraakkinetiek	-	-	-	++	+	+
geschatte veldverwijderingssnelheid	-	-	-	-	-	+ <sup>1</sup>
bepalen van saneringsduur	-		-*		+*	+*
elektronacceptorbehoefte	+	++	+	+	+	+
elektrondonorbehoefte	+	+	+	++	+	+
nutriëntenbehoefte	+	++	+	+	+	+
selectie van monitoringsparameters	+		+		+	+

Toelichting bij de tabel:

++ beste keus

+ mogelijk

+ niet mogelijk

1 voor het bepalen van de geschatte veldverwijderingssnelheid bij natuurlijke afbraak kan worden volstaan met monitoring door middel van peilbuizen

2 slurry batchproef

\* eventueel mogelijk op basis van praktijkervaring (database, expert judgement)

NB: Pilotexperimenten lijken in de tabel er niet zo goed af te komen: veelal duurt het lang om de onderzoeksvraag te beantwoorden en is het kostbaar. Met andere woorden: er zijn vaak betere alternatieven. Dat wil niet zeggen dat pilotexperimenten vanwege andere redenen (b.v. ten behoeve van ontwerp en dimensionering) niet noodzakelijk zijn. Als er toch een pilotproef wordt uitgevoerd, is het vaak goed om tevens een aantal onderzoeksvragen als aangegeven in de tabel mee te nemen.

#### 4.4.1 Aanwezigheid van micro-organismen

Door het aantonen van de aanwezigheid van specifieke groepen micro-organismen en het bepalen van hun activiteit kan inzicht worden verkregen in de mogelijkheden voor biologische sanering. De analyses worden uitgevoerd op materiaal uit het veld. De analyses worden vaak uitgevoerd voorafgaand aan de sanering en kunnen daarom het beste worden uitgevoerd tijdens de veldkarakterisatie. Daarnaast worden deze analyses ook gebruikt voor het opbouwen van generieke kennis die niet specifiek op een locatie is gericht. Detectiemethoden voor micro-organismen kunnen ook worden gebruikt in de monitoring van biodegradatie in batch-, kolom- of pilotproeven

#### 4.4.2 Aantonen van biologische afbraak

Hiermee wordt beantwoord of de aanwezige verontreiniging in de grond biologisch kan worden afgebroken. De batchproef is de meest (kosten)effectieve proef om dit aan te tonen. Indien een kolom- of pilotproef wordt uitgevoerd, geeft deze ook inzicht in de biologische afbraak van de verontreiniging. Bij veldkarakterisatie blijkt uit de aanwezigheid van bijvoorbeeld vinylchloride dat

biologische afbraak is opgetreden, maar dit is niet voor alle typen verontreinigingen even gemakkelijk aantoonbaar.

#### 4.4.3 *Massabalans*

Onder een massabalans wordt verstaan de kwantitatieve bepaling van de producten van biodegradatie en de restconcentratie na sanering ten opzichte van de oorspronkelijk aanwezige hoeveelheid verontreiniging. Het opstellen van een massabalans is noodzakelijk om het aandeel van biodegradatie in de verwijdering van de verontreiniging te bepalen. Bij het opstellen van een massabalans wordt ook de eventuele vorming van tussenproducten bepaald. De massabalans kan het beste in een batchproef worden bepaald. In een kolomproef treden altijd verliezen op van verontreiniging en/of afbraakproducten naar de water- en luchtfase die niet nauwkeurig kunnen worden bepaald. In beide gevallen is een vertaalbaarheid van de massabalans naar het veld niet mogelijk. In het veld kunnen echter eveneens geen massabalansen worden bepaald, omdat vaak niet precies bekend is wat de totale hoeveelheid verontreiniging in de bodem is.

#### 4.4.4 *Biologische beschikbaarheid*

Hieronder wordt verstaan het deel van de verontreiniging dat tijdens de biologische sanering beschikbaar komt voor biologische reiniging.

De biologische beschikbaarheid kan het meest effectief worden bepaald in een batchproef, maar ook in alle andere typen vooronderzoek kan een indicatie van de biologische beschikbaarheid worden verkregen.

#### 4.4.5 *Restconcentratie in grond*

Hieronder wordt verstaan het deel van de verontreiniging dat tijdens de biologische sanering niet beschikbaar komt voor biologische reiniging en dus achterblijft na de sanering.

De restconcentratie kan alleen worden bepaald in een batchproef, aangezien kolomproeven vaak niet lang genoeg duren om op deze restconcentratie uit te komen. Dit geldt ook voor velddroge batchproeven, waardoor slurry-batchproeven de meest optimale uitvoeringsvorm zijn.

#### 4.4.6 *Maximale verwijderingssnelheid in grond*

De maximale snelheid is gedefinieerd als de maximale snelheid die haalbaar is in een batchproef.

Hoe sneller de maximale verwijderingssnelheid in de batchproef verloopt, hoe sneller de biodegradatie in het veld kan gaan. De absolute waarde van de snelheid in de batchproef kan niet worden vertaald naar de maximale snelheid in het veld.

#### 4.4.7 *Gesimuleerde veldverwijderingssnelheid en afbraakkinetiek*

De gesimuleerde snelheid is gedefinieerd als de maximale snelheid van biodegradatie die haalbaar is in een gesimuleerde veldproef, zoals een kolomproef. Onder afbraakkinetiek wordt verstaan de snelheidsafhankelijke vorming van tussen- en eindproducten van biodegradatie (zoals b.v. vinylchloride).

Deze parameters kunnen het beste worden bepaald in een kolomproef en zijn redelijk goed te vertalen naar de veldsituatie.



#### 4.4.8 *Geschatte veldverwijderingssnelheid*

Deze verwijderingssnelheid is gedefinieerd als de snelheid van biodegradatie die wordt behaald in het veld na het aanleggen van de geoptimaliseerde condities in het veld.

Deze snelheid kan alleen in een pilot worden bepaald. Uit een eenmalige veldkarakterisatie is het niet goed mogelijk een geschatte veldverwijderingssnelheid van natuurlijke afbraak te bepalen. Waarschijnlijk zijn er meer metingen in de tijd (jaren) voor nodig. Dit is in tabel 2 opgevat als een pilotproef, waarbij peilbuizen worden gemonitord.

#### 4.4.9 *Bepalen van saneringsduur*

De duur van de sanering kan worden geschat op basis van een kolom- of pilotonderzoek. Indien er voldoende praktijkervaring beschikbaar is, kunnen batchproeven ook een indicatie geven van de saneringsduur.

#### 4.4.10 *Elektronacceptorbehoefte*

Als elektronacceptor zijn te onderscheiden: zuurstof (aëroob), nitraat (denitrificerend), ijzer, mangaan, sulfaat (sulfaatreducerend) en CO<sub>2</sub> (methanogeen). De behoefte is gedefinieerd als de hoeveelheid zuurstof, nitraat, ijzer, mangaan of sulfaat die aan de bodem dient te worden toegevoegd tijdens de sanering.

De elektronacceptorbehoefte, bijvoorbeeld zuurstofconsumptie, kan het beste worden bepaald in een batchproef, omdat daarin een massabalans kan worden opgemaakt. In kolom- en pilotproeven kan de snelheid van de elektronacceptorconsumptie worden bepaald. In de veldkarakterisatie kan uit de gemeten concentraties verontreiniging en elektronacceptoren worden afgeleid wat de elektronacceptorbehoefte bij een biologische sanering zal zijn.

#### 4.4.11 *Elektrondonorbehoefte*

Als elektrondonor zijn onderscheiden organische stoffen, die kunnen worden gebruikt voor de anaërobe dechlorering van gechlorideerde verbindingen. De behoefte is gedefinieerd als de hoeveelheid organische stoffen die aan de bodem dient te worden toegevoegd tijdens de sanering.

De elektrondonorbehoefte, bijvoorbeeld lactaat bij anaërobe dechlorering van PER, kan het beste worden bepaald in een kolomproef. Deze processen zijn dermate complex en afhankelijk van de samenstelling van locatiespecifieke omstandigheden, dat deze het beste kunnen worden bestudeerd in een continu biodegradatieproef, zoals een kolomproef.

Op dit moment is nog onduidelijk in hoeverre batchproeven goed vertaalbaar zijn naar de praktijk. In de veldkarakterisatie kan uit de gemeten concentraties verontreiniging en elektrondonoren worden afgeleid wat de elektrondonorbehoefte bij een biologische sanering zal zijn.

#### 4.4.12 *Nutriëntenbehoefte*

De behoefte is gedefinieerd als de hoeveelheid nutriënten die aan de bodem dient te worden toegevoegd tijdens de sanering. Als nutriënten worden meestal stikstof en fosfaat toegevoegd.

De nutriëntenbehoefte kan eenvoudig in een batchproef worden vastgesteld; in een kolom- en pilotproef kan de snelheid van de nutriëntenconsumptie worden vastgesteld. In een veldkarakterisatie kunnen in de gemeten concentraties verontreiniging en nutriënten worden bepaald wat de nutriëntenbehoefte zal zijn bij een biologische sanering.

#### 4.4.13 *Selectie van monitoringsparameters*

In elk type vooronderzoek kan worden getest welke monitoringsparameters het meest geschikt zijn om biologische sanering te volgen. Deze geselecteerde parameters kunnen bij de full-scale sanering worden toegepast in het monitoringsprogramma.

### 4.5 **Gedefinieerde NOBIS-producten**

#### 4.5.1 *Veldkarakterisatie*

De deelnemers van de workshop identificeren de volgende 'NOBIS-producten' op het gebied van vooronderzoek en veldkarakterisatie:

- biolog;
- biodegradatiespecifieke biotests (deglog);
- DNA/RNA moleculaire detectie voor micro-organismen;
- bioassays;
- biologische beschikbaarheid van ijzeroxiden;
- waterstofmeting.

#### 4.5.2 *Batchproeven*

In veel NOBIS-projecten worden batchexperimenten uitgevoerd. In tabel 3 is aangegeven voor welke verontreinigingen en redoxcondities batchexperimenten zinvol kunnen zijn. Hoewel iedere groep op detailpunten de experimenten iets anders uitvoert, is de opzet van batchproeven min of meer standaard. Het is niet zinvol al deze afzonderlijke variaties in dit verslag op te nemen.

Naast de standaard batchexperimenten zijn de volgende nieuwe batchexperimenten beschikbaar:

- voor benzeenafbraak onder sterk gereduceerde (methanogene) condities is een batchproef met  $^{14}\text{C}$  gelabeld benzeen beschikbaar;
- er is een koolstof  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  isotopenanalyse beschikbaar, waarmee in batchproeven het aandeel biologisch gevormd  $\text{CO}_2$  kan worden bepaald.

Tabel 3. Beschikbare typen batchproeven.

verontreiniging	elektronacceptor				
	zuurstof	nitraat	mangaan/ijzer	sulfaat	$\text{CO}_2$
BTEX	+	+	+	+	+
VOC	+	+	+	+	+
olie	+	-	-	-	-
PAK	+	-	-	-	-
niet-vluchtige organo-chloorverbindingen	+	+	+	+	+

Toelichting:

De aërobe batchproeven kunnen zowel in slurry (bioparging) als onder velddroge (bioventing) condities worden uitgevoerd.

#### 4.5.3 *Kolomproeven*

In veel NOBIS-projecten worden kolomexperimenten uitgevoerd. In tabel 4 is aangegeven voor welke verontreinigingen en redoxcondities kolomexperimenten zinvol kunnen zijn. Hoewel iedere groep op detailpunten de experimenten iets anders uitvoert, is de opzet van kolomproeven min of meer standaard. Het is niet zinvol al deze afzonderlijke variaties in dit verslag op te nemen.

Tabel 4. Beschikbare typen kolomproeven.

verontreiniging	elektronacceptor				
	zuurstof	nitraat	mangaan/ijzer	sulfaat	CO <sub>2</sub>
BTEX	+	+	-	-	-
VOCI	+	-	-	-	+
olie	+	-	-	-	-
PAK	0	0	0	0	0
niet-vluchtige organo- chloorverbindingen	0	0	0	0	0

Toelichting:

De kolomproeven kunnen worden uitgevoerd met gepakte/geroerde of gestoken/ongerode kolommen.  
0 Niet besproken.

#### 4.5.4 Pilotproeven

Binnen NOBIS zijn de volgende pilotexperimenten uitgevoerd ter bepaling van de haalbaarheid van de biologische saneringsvariant:

- aërobe afbraak van benzeen;
- anaërobe afbraak van gechloreerde ethenen;
- anaërobe afbraak van dichloorethaan;
- aërobe afbraak van PAK;
- push-pull test.

#### 4.6 Aanbevelingen

De workshop heeft geleid tot de volgende aanbevelingen:

- Er is een trend waar te nemen van complex en specifiek vooronderzoek naar eenvoudiger tests die het antwoord geven op specifieke onderzoeksvragen.
- Moleculaire en fysiologische detectiemethoden voor micro-organismen (zoals DNA-chips en Biolog-methoden) zijn veelbelovend. Hiernaar dient meer generiek en toepassingsgericht onderzoek te worden verricht. Deze methoden kunnen een beter inzicht verschaffen op biodegradatieprocessen op locatie en kunnen kostenbesparend werken voor het vooronderzoek en de sanering.
- Er dient een koppeling te worden gemaakt tussen biologisch vooronderzoek, geo(hydro)logie en modellering. Hierdoor zal het op termijn gemakkelijker worden om op basis van veldkarakterisaties en modellering voorspellingen te doen over het verloop van natuurlijke afbraakprocessen.
- Er dient een database te worden ontwikkeld, waarin de resultaten van vooronderzoek worden weergegeven, zodat het beter mogelijk wordt de vertaalslag van laboratoriumonderzoek naar de praktijk te maken.
- Er is een groot aantal methoden voor de uitvoering van batch- en kolomproeven; er lijkt geen behoefte aan ontwikkeling van nieuwe methoden op dit gebied. Batch- en kolomproeven kunnen worden toegepast bij het opzetten van biologische in situ saneringen en vormen hiermee een ontwikkeld meetinstrument c.q. gereedschap.
- Er dient aandacht te worden besteed aan het nauwkeurig bepalen van de totale hoeveelheid verontreiniging in de bodem.



### PRODUCTGROEP GEOFYSISCHE METINGEN

#### 5.1 Afbakening en definities

Geofysische metingen worden ingezet bij de karakterisatiefase en soms bij de monitoringsfase bij in situ projecten in het kader van actief bodembeheer.

Het merendeel van de toepassingen is bekend vanuit grondwaterstudies en de exploratieverkenningen in de mijnbouw. Zij richten zich op het in beeld brengen van de karakteristieken van de ondergrond met behulp van fysische metingen vanaf het maaiveld of vanuit boorgaten. De metingen zijn met name gericht op bodemopbouw en heterogeniteit, porositeit en doorlatendheid, grondwaterstanden. Het betreft elektrische weerstandsmetingen, elektromagnetische metingen (diffuus of reflectie, radar) en seismische metingen.

Geofysische technieken worden ook toegepast voor het karakteriseren van bodemverontreiniging. De verontreinigingen moeten dan een significante invloed hebben op de fysische eigenschappen van de bodem.

Significant betekent in deze, dat er een signaalverandering is waar te nemen, ondanks de ruis in de bodem als gevolg van de bodemkarakteristieken, kabels en leidingen, betonnen voorwerpen, enzovoorts. Zo wordt de omvang van verontreinigingspluimen bij stortplaatsen gedetecteerd met geofysische metingen op basis van de verandering in elektromagnetische weerstand, als gevolg van de macroparameters in de pluim (chloride en zouten).

Met de populariteit van in situ technieken is de behoefte ontstaan voor het toepassen van geofysische metingen voor het registreren van veranderende procesomstandigheden, zoals het luchtgehalte in de ondergrond bij biosparging.

In dit verslag wordt eerst een overzicht gegeven van geofysische metingen. Daarna worden de toepassingsgebieden en meetdoelen in kaart gebracht. Daarna zijn de NOBIS-gerelateerde producten op het gebied van de geofysische metingen getoetst aan en gepositioneerd binnen de opgestelde toepassingsgebieden. Tenslotte zijn de knelpunten en de potentie van de producten voor de toekomst weergegeven in de vorm van aanbevelingen en toekomstige ontwikkelingen.

#### 5.2 Overzicht van geofysische technieken

Bij de geofysische technieken kan het volgende onderscheid worden gemaakt:

##### 5.2.1 *Technieken vanuit de lucht*

Vanuit satellieten, vliegtuigen en soms luchtballonnen wordt fotoapparatuur gebruikt om van grote hoogte opnamen te maken van het aardoppervlak. De toepassingen voor het vaststellen van bodemkarakteristieken en geomorfologische aspecten mogen bekend worden verondersteld.

Een aantal jaren geleden is getracht om deze technieken ook toe te passen voor het detecteren van verontreinigingen. Enerzijds indirect door opnamen te maken van vegetatiestress, onder andere infrarood; anderzijds zijn ook pogingen gewaagd de vluchtige verontreinigingen boven het aardoppervlak (gas spills) te detecteren vanuit de lucht. Aangezien deze opnamen erg ruisgevoelig zijn, onder andere voor gassen van verkeer en luchtmissies van de industrie, is deze laatste toepassing nauwelijks succesvol in Nederland. Voor de volledigheid worden hier de bekende 'remote sensing' technieken genoemd:

- remote sensing visueel/luchtfotografie;
- remote sensing infrarood;
- remote sensing radar/microgolf.

Voor het overige wordt verwezen naar vakliteratuur, onder andere [CUR-publicatie 182, "Geofysische technieken voor grondonderzoek", Stichting CUR, Gouda, februari 1996].

### 5.2.2 *Technieken vanaf het maaiveld of vanuit een boorgat*

De meest bekende technieken worden toegepast op het maaiveld of vanuit boorgaten. Ook daar heeft men met verstoring en ruis te maken, doch deze zijn uiteraard minder dan bij metingen vanuit de lucht. De volgende technieken zijn relevant:

- elektrische weerstand;
- geïnduceerde polarisatie (IP);
- elektromagnetische inductie (EM);
- georadar (hoogfrequent, laagfrequent);
- seismische methoden (HRS en tomografie).

Voor een algemene beschrijving van deze technieken wordt verwezen naar de volgende publicatie: [CUR-publicatie 182, "Geofysische technieken voor grondonderzoek", Stichting CUR, Gouda, februari 1996].

De laatste jaren zijn de zogenoemde tomografische metingen ontwikkeld, waarbij driedimensionale plaatjes worden gemaakt op basis van waarnemingen vanuit een boorgat. Binnen NOBIS is met name aandacht besteed aan de seismische tomografie.

### 5.2.3 *Technieken met sensoren in contact met de bodem*

Door de workshopparticipanten worden ook deze technieken beschouwd als geofysische meettechnieken. Aangezien deze geofysische technieken vooral worden toegepast bij karakterisatie en monitoring is besloten om hier slechts zijdelings aandacht aan te besteden. Immers, dit is ondergebracht in de workshop proceskarakterisatie.

Genoemd worden de volgende technieken en producten:

- milieumeetsondes (voor bemonstering, karakterisatie en parameterbepaling);
- fiber optics.

De wegdrukbare sondes en fiber optic-tools - waaraan wordt gewerkt - zijn bedoeld voor het meten van drukhoogte, pH, Ec, redox, zuurstof, olie, gechloreerde en aromatische verbindingen. Deze instrumenten worden binnen het NOBIS-programma vooral ontwikkeld door Grondmechanica Delft en Van Essen Instruments in samenwerking met een aantal adviesbureaus. Voor een beschrijving van de verschillende opties wordt verwezen naar de diverse NOBIS-publicaties.

### 5.2.4 *Overige geofysische technieken*

Binnen deze restgroep worden de volgende twee technieken genoemd:

- mini-slugtest;
- slagfilter voor chemische bemonstering.

De mini-slugtest is eigenlijk een driedimensionale pompproef op kleine schaal, waarmee de heterogeniteit in doorlatendheid van de ondergrond in kaart kan worden gebracht. Het slagfilter is een bijzondere techniek voor het nemen van monsters in de bodem.

### 5.3 Toepassingssituaties en meetdoelen

#### 5.3.1 Toepassingsituaties

De voorkeur gaat uit naar het in kaart brengen van een toepassingsgebied per gedefinieerd product. Echter, de performance van geofysische producten wordt volledig bepaald door de doelstelling van toepassing, de bodemkarakteristieken, de storende objecten in de bodem, zoals metalen, beton en elektrische bekabeling en de omgevingsrandvoorwaarden.

Een voorbeeld uit de praktijk is de verstoring van de georadarmeting bij een tankstation door een metalen luifel. Daarom is in de workshop een aantal uitgewerkte toepassingsituaties gedefinieerd, waarbij geofysische technieken een rol kunnen spelen.

Per toepassingsituaties zijn de volgende elementen relevant:

- bodemopbouw en heterogeniteit;
- grondwaterspiegel;
- grondwaterkwaliteit (zoet/zout);
- omgevingsfactoren, zoals het gebruik van de locatie, objecten op en in het maaiveld.

#### 5.3.2 Meetdoelen

Het meetdoel van de toepassing van geofysische technieken staat centraal bij de beoordeling van de performance van de techniek. In de workshop is een aantal meetdoelen gedefinieerd, zoals die in de praktijk van actief bodembeheer voorkomen:

- Bepalen van bodemkarakteristieken:
  - bodemopbouw met heterogeniteit, zoals het voorkomen van versturende tussenlaagjes;
  - geohydrologische karakteristieken, zoals freatische grondwaterspiegel, zoet/zoutgrensvlak;
  - versturende objecten in de ondergrond, zoals stalen en betonnen voorwerpen, kabels en leidingen.
- Bepalen van karakteristieken verontreinigingen:
  - aard, concentraties en omvang van verontreinigingen;
  - detecteren van hot spots (DNAPL) en drijfvlagen;
  - massabalans en fluxen van verontreinigingen.
- Bepalen van procesomstandigheden voor in situ processen:
  - pH, temperatuur en redoxpotentiaal;
  - luchtverdeling, zuurstofgehalte en nutriëntenverdeling.

#### 5.3.3 Combinaties van toepassingsituaties en meetdoelen

In de workshop zijn vijf combinaties gedefinieerd van een toepassings situatie met meetdoel. Dit is noodzakelijk geacht, omdat het toepassingsgebied van geofysische producten goed dient te zijn afgebakend om te kunnen oordelen of de toepassing van deze producten zinvol is of niet. De (geofysische) specialisten hebben beoordeeld dat het totaal van vijf combinaties representatief is voor minimaal 80 % van de dagelijkse praktijk in Nederland.

De volgende combinaties zijn gemaakt:

### **Combinatie 1**

---

Meetdoel	In kaart brengen van preferente stroombanen van perslucht. Het is van belang de heterogeniteit op decimeterschaal in kaart te brengen.
Bodem	Zandig ontwikkeld, perslucht wordt ingebracht op een diepte van maximaal 8 - 10 m-mv.
Grondwater	Grondwaterstand: circa 2 m-mv. Het zoutgehalte van het grondwater is laag.
Omgeving	Een voormalige industriële locatie zonder al te veel objecten in de ondergrond, dan wel boven het maaiveld.

---

### **Combinatie 2**

---

Meetdoel	Detectie van fysische objecten in de ondergrond, zoals fundamenteen, puinlagen en leidingwerk.
Bodem	Geroerde antropogene bodem.
Grondwater	Grondwaterstand: 0 - 2 m-mv, zoet grondwater.
Omgeving	Voormalige industriële locatie.

---

### **Combinatie 3**

---

Meetdoel	Registreren van procesomstandigheden, zoals in de verontreinigingspluim bij een stortplaats.
Bodem	Deklaag 0 - 10 m-mv, watervoerend pakket 10 - 20 m-mv.
Grondwater	Grondwaterstand: 0,5 m-mv, zoet grondwater.
Omgeving	Landelijk gebied met stortplaats.

---

### **Combinatie 4**

---

Meetdoel	Detectie van hot spots van CKW's (DNAPL) in de ondergrond.
Bodem	Heterogeen afdekkend pakket van 4 - 8 m-mv met een watervoerend pakket van 10 - 30 m dikte.
Grondwater	Grondwaterstand: 1 m-mv met een watervoerend pakket, zoet grondwater met beperkte stroomsnelheden.
Omgeving	Woonwijk met verspreide bebouwing.

---

### **Combinatie 5**

---

Meetdoel	In kaart brengen van olievlekken op een industriële locatie.
Bodem	Geroerde heterogene grond (antropogeen).
Grondwater	Grondwaterstand: 1 m-mv, zoet grondwater.
Omgeving	Een in bedrijf zijnde industriële locatie met veel leidingwerk, kabelgoten, voormalige funderingen en objecten op het maaiveld.

---



## 5.4 Toetsing en positionering van de gedefinieerde NOBIS-producten

In de workshop is met name aandacht besteed aan de geofysische technieken, toegepast vanaf het maaiveld en vanuit boorgaten. De andere genoemde producten worden duidelijk minder belangrijk geacht ('remote sensing' technieken), dan wel in andere workshops besproken (sondes, 'fiber optic' producten).

Binnen deze groep is uitgebreid aandacht besteed aan de volgende producten:

- georadar;
- elektromagnetische inductie (EM);
- elektrische weerstand/geïnduceerde polarisatie;
- seismiek.

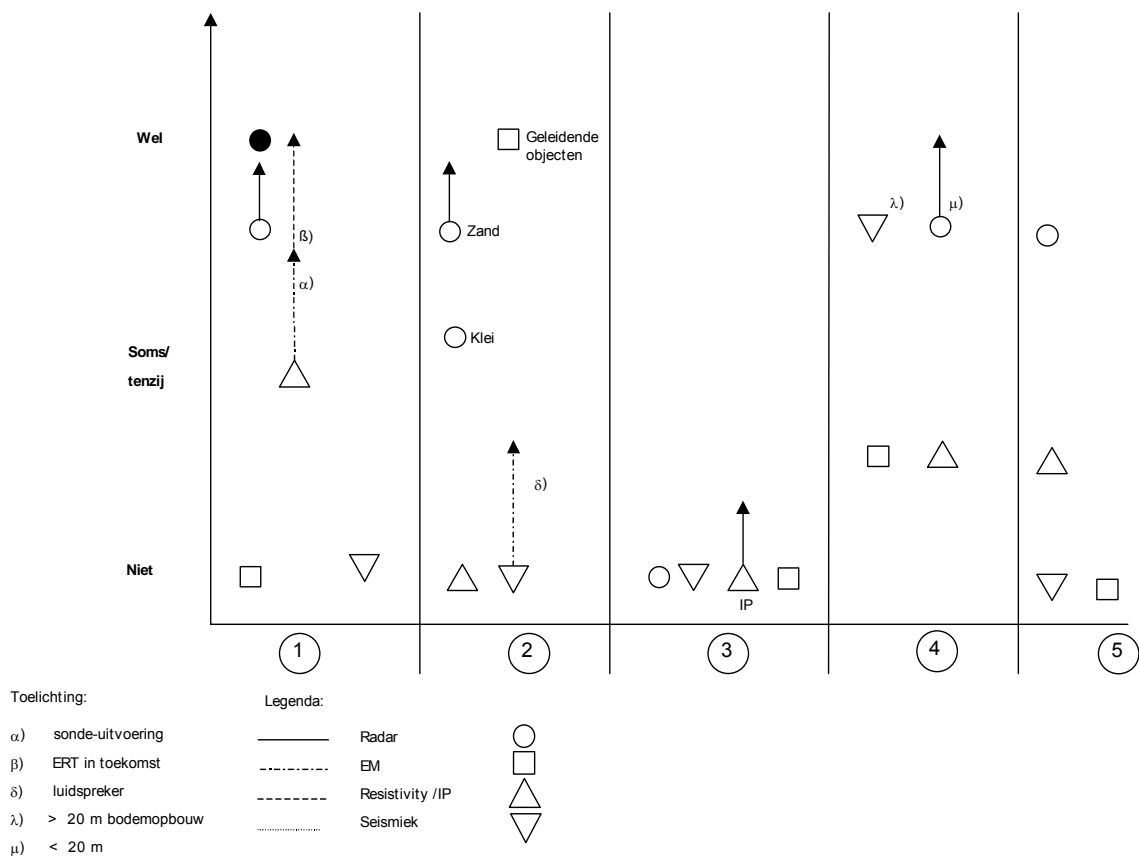


Fig. 2. Toepassingsituaties.

Per combinatie (zie tabel 5 t/m 9) van toepassings situatie en meetdoel is getoetst hoe de performance wordt ingeschat van de vijf genoemde producten. Dit is weergegeven in tabel 5 t/m 9 en gevisualiseerd in figuur 2. In tabel 10 is een samenvatting gegeven.

Tabel 5. Combinatie 1: Meten van perslucht in zandig ontwikkelde bodem.

georadar	<p>huidige situatie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- heeft mogelijkheden, registreren van heterogeniteit tot 1 dm is mogelijk</li> <li>- hoe meer klei en/of hoe dieper des te geringer de penetratie</li> <li>- frequentie 100 MHz, bij complexe bodem 200 MHz</li> <li>- bij opstart/verandering van persluchtinjectie meeste info te verkrijgen</li> </ul> <p>toekomstige ontwikkelingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- verschil amplitudes omzetten in concentraties zuurstof</li> <li>- interpretatie + aansluiting gevraagde data verbeteren</li> <li>- bij toepassing combinatie met andere technieken gewenst; interpretatie in samenwerking met milieukundig specialist</li> <li>- kostentechnische verbetering mogelijk door verbetering software (lager expertise niveau, minder uitwerkdagen)</li> <li>- betrouwbaarheid; geen gegarandeerd oplossend vermogen; met 0-opstart wordt de betrouwbaarheid verhoogd</li> <li>- gevoeligheid is nog beperkt (zwart/wit resultaat); er is behoefte aan inzicht in concentraties; wellicht mogelijk door combinatie met andere sensoren uit te proberen</li> <li>- er is behoefte aan veel praktijkervaring met koppeling aan andere technieken</li> </ul>
EM	geen mogelijkheden
elektrische weerstand/ geïnduceerde polarisatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eventueel met sondes of met vee/ elektroden; echter de contrasten zijn gering</li> <li>- tomografische toepassingen vanuit boorgaten zijn in de toekomst wellicht succesvol (Elektrische Resistivity Tomografie, ERT)</li> </ul>
seismiek	<ul style="list-style-type: none"> <li>- normale seismiek heeft in deze geen mogelijkheden</li> <li>- wellicht seismische tomografie in de toekomst wel voor de heterogeniteit</li> </ul>

Tabel 6. Combinatie 2: Detectie van fysische objecten in de ondergrond, zoals fundamenten, puinlagen en leidingwerk.

georadar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in zand redelijke potentie, in klei stuk moeilijker (onder 2 m klei onmogelijk iets te registreren)</li> <li>- software kan worden verbeterd alsmede interpretatie van technieken</li> <li>- kosten kunnen omlaag met behulp van meerkanalsystemen</li> <li>- betrouwbaarheid van software verbeteren, opdat adviseur de metingen kunnen uitvoeren</li> <li>- FM-technieken hebben potentie voor de toekomst</li> </ul>
EM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bij geleidende objecten is EM succesvol (objecten van staal en koper)</li> <li>- gecorrodeerde objecten geven problemen</li> <li>- beton kan worden onderscheiden, ook in klei</li> <li>- gevoelig voor omgevingsfactoren</li> <li>- in toekomst weinig ontwikkelingen te verwachten, behalve wellicht EMGI-metaaldetector, multicomponentsystemen voor grotere betrouwbaarheid</li> </ul>
elektrische weerstand/ geïnduceerde polarisatie	geen potentie, bij geleidende objecten kan GE succesvol zijn, maar EM is veel sneller en daarom is GE minder relevant
seismiek	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nu weinig potentie</li> <li>- in toekomst meer potentie te verwachten, wellicht met luidsprekerseismiek</li> </ul>

Tabel 7. Combinatie 3: Registreren van procesomstandigheden in de verontreinigingspluim bij een stortplaats.

georadar	met deklaag weinig of geen potenties
EM	geen potenties voor de procesomstandigheden; omvang veelal niet te detecteren
elektrische weerstand/ geïnduceerde polarisatie	alleen IP-technieken kunnen wellicht in de toekomst uitkomst bieden; aard van de pluim kan daarmee mogelijk worden geregistreerd, inhoud en procesomstandigheden niet
seismiek	geen mogelijkheden

Tabel 8. Combinatie 4: Detectie van hot spots van CKW's (DNAPL) in de ondergrond.

georadar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- problematiek spitst zich toe op het gedetailleerd in beeld brengen van de verstorende bodemlaagjes waarop puur product kan blijven hangen (geological traps)</li> <li>- bovenste 10 tot 20 meter beneden het maaiveld zijn er mogelijkheden voor georadar, maar niet bij een kleilig heterogeen pakket van 4 - 8 m-mv</li> <li>- antennes voor radar moeten nog verder worden ontwikkeld voor dit doel</li> </ul>
EM	geen mogelijkheden
elektrische weerstand/ geïnduceerde polarisatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mengsel van water en PER geeft pas bij 10 % concentraties verandering in elektrische weerstand</li> <li>- theoretische modellen moeten nog worden verbeterd</li> </ul>
seismiek	vanaf 20 m-mv kan de bodemheterogeniteit in beeld worden gebracht, maar het is onmogelijk om verontreinigingen te detecteren

Tabel 9. Combinatie 5: In kaart brengen van olievlekken op een industriële locatie.

georadar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alleen georadar heeft toepassingsmogelijkheden voor deze situatie, hoewel de meningen over de toepasbaarheid verdeeld zijn</li> <li>- er mogen niet te veel stalen voorwerpen in de ondergrond zitten, zoals leidingwerk en wapening in beton</li> <li>- in combinatie met boringen kan veelal 60 tot 70 % van de locatie indicatief in beeld worden gebracht volgens sommigen</li> <li>- regressie-analyse voor het deel waar niet kan worden bijgekomen zou additionele informatie kunnen opleveren</li> </ul>
EM	geen mogelijkheden vanwege de invloed van metalen objecten
elektrische weerstand/ geïnduceerde polarisatie	geen mogelijkheden vanwege de invloed van metalen objecten
seismiek	geen mogelijkheden

Tabel 10. Samenvatting van de performance van geofysische producten.

techniek	toepassingscombinatie	werking
georadar	1	++
	2	- (klei)
	2	++ (zand)
	3	---
	4	++ (zandige deklaag)
elektromagnetische inductie (EM)	4	- (kleiige deklaag)
	5	-
	1	---
	2	++
	3	---
elektrische weerstand/geïnduceerde polarisatie	4	---
	5	---
	1	+
	2	---
	3	-- (IP)
seismiek	4	---
	5	---
	1	--- (maaiveld)
	1	+ (boorgat)
	2	-- (luidspreker)
	3	---
	4	++ (indirect)
	5	---

Werking:

- nu niet mogelijk, geen potentie
- nu niet mogelijk, wel potentie
- nu soms mogelijk, geen potentie
- + nu soms mogelijk, wel potentie
- ++ nu mogelijk, wel potentie

### 5.5 Aanbevelingen/toekomstige ontwikkelingen

De verwachtingen ten aanzien van geofysische metingen zijn nogal eens te hoog gespannen. Het betreft een relatief goedkope methode, die in het beginstadium van het onderzoek zijn nut kan bewijzen. Het komt regelmatig voor dat deze producten in een te laat stadium worden ingezet, waarbij de inzet veel minder effectief is.

Het is nagenoeg altijd noodzakelijk geofysica te combineren met andere technieken. De geofysische metingen registreren van een afstand bepaalde eigenschappen van de bodem. Deze eigenschappen worden gemaskeerd door de bodem zelf en eventueel versturende objecten. Vandaar dat het altijd noodzakelijk is om de metingen te kalibreren door middel van bodembemonstering, concentratiemetingen en andere metingen.

Geofysische metingen hebben hun nut bij het in kaart brengen van de bodem en eventueel storende objecten. Voor het registreren van de procesomstandigheden en de verontreinigingen bij in situ werk is nog veel research nodig. Het contrast in de ondergrond is veelal te klein.

Goed overleg tussen de geofysicus en de milieukundige over het meetdoel en de toepassings-situatie zijn essentieel. Het voorbereiden en uitvoeren alsmede de interpretatie van de metingen is een samenspel tussen beide disciplines. Het vraagt in de naaste toekomst nog veel praktijk-ervaring om de toepassing van deze producten in het kader van actief bodembeheer te optimaliseren. Vooral de interpretatie van meetgegevens is hierbij het aandachtspunt.

De workshop is afgesloten met een inventarisatie van de meest veelbelovende ontwikkelingen. Deze is uitgevoerd met een fictief beleggingsspel. De deelnemers is een 0,5 miljoen Euro ter beschikking gesteld, die besteed konden worden aan aandelen in de ontwikkeling en exploitatie van geofysische producten in het actief bodembeheer. Door de vraag zo te stellen, is naast de potentiële opbrengsten ook rekening gehouden met de kosten. De volgende investeringen zijn voorgesteld:

- De firma **RADAR BV** wordt opgericht met aandacht voor de volgende producten en aspecten:
  - ontwikkeling van olieradar, bodemopbouwradar, objecten radar en persluchtradar;
  - speciale aandacht voor fundamentele achtergrond van spectrumanalyse en effecten van kleinschalige heterogeniteit;
  - innovatieve producten snel in demo's toepassen, alvorens de theorie te onderbouwen;
  - ontwikkeling van methodieken van radar in combinatie met andere technieken;
  - opzetten van modellen, waarmee de resultaten van meerdere soorten metingen kunnen worden verwerkt.
- De firma **SOIL-3D BV** wordt opgericht met aandacht voor de volgende producten:
  - het ontwikkelen van een **meetworm**. Dit instrument, op basis van de principes van 'directional drilling', is voorzien van een aantal sondes. De worm wordt onder een locatie gebracht en kan vandaar een driedimensionaal plaatje genereren van de ondergrond;
  - het combineren van een aantal producten voor het produceren van driedimensionale plaatjes met behulp van radar, resistivity, sensoren en andere tomografische metingen.
- Het G-team wordt opgericht; een multidisciplinair team, dat bestaat uit een aantal specialisten en de beschikking heeft over een aantal verschillende technieken, die complementair zijn.



### DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN VAN WATER EN LUCHT

#### 6.1 Afbakening en definities

Binnen NOBIS is een aantal producten ontwikkeld die kunnen worden gebruikt bij de dimensionering van in situ saneringssystemen. Deze workshop is gericht op de producten die te maken hebben met:

- bodemluchtexttractie;
- persluchtinjectie;
- infiltratie en onttrekken van grondwater.

Dit zijn namelijk de 'basis'technieken die bij (biologische) in situ saneringen worden gebruikt om de condities in de bodem te optimaliseren.

De dimensionering van in situ systemen is afhankelijk van een groot aantal parameters en bodemprocessen. Een zorgvuldige dimensionering vergt een vergaande karakterisatie van de bodem en de verontreinigingssituatie. De momenteel beschikbare kennis en meetmethoden zijn echter ontoereikend om een in situ systeem te ontwerpen waarvan het functioneren met zekerheid kan worden *voorspeld*. Het dimensioneringsproces kenmerkt zich derhalve door de omgang met onzekerheden.

#### 6.2 Dimensioneringsproces

Uitgangspunt is dat bij aanvang van het dimensioneringsproces bekend is welke condities in de bodem moeten worden ingesteld om verwijdering te bewerkstelligen (b.v. anaëroob milieu met voldoende substraat in de vorm van compost, of aëroob milieu in de onverzadigde zone met voldoende nutriënten). Voor het vooronderzoek voor het bepalen van deze condities wordt verwezen naar het verslag van de workshop over het vooronderzoek (zie hoofdstuk 4).

Daarnaast is er, in voor de toe te passen saneringstechniek in voldoende detail, een conceptueel model beschikbaar van de bodem en de verontreinigingssituatie. Voor het bepalen van dit conceptueel model wordt verwezen naar het verslag van de workshop over de proceskarakterisatie (zie hoofdstuk 8).

In het dimensioneringsproces kan een aantal fasen worden onderscheiden die worden afgesloten met beslismomenten. In de volgende paragrafen worden deze fasen toegelicht.

##### 6.2.1 *Fase 1: Vertaling van conceptueel model naar conceptontwerp saneringssysteem*

Indien op basis van het conceptueel model wordt gekozen voor een in situ saneringstechniek, kan worden gestart met de daadwerkelijke dimensionering. Hierbij wordt een conceptontwerp gemaakt op basis van vuistregels. Dergelijke vuistregels zijn momenteel nauwelijks gedocumenteerd, maar zijn van elementair belang voor de vertaling van opgedane ervaringen in een kwalitatief hoogwaardig dimensioneringsproces.

Belangrijk bij de vertaling van het conceptueel model naar een conceptontwerp saneringssysteem is het onderkennen van en omgaan met onzekerheden en bijbehorende risico's. De huidige kennis van de dimensionering is onvoldoende om direct een op de verontreinigingssituatie toegesneden saneringssysteem te kunnen ontwerpen.

Met de onzekerheden in het conceptontwerp kan worden omgegaan door deze uit te drukken als percentage van de saneringskosten. Er ontstaat dan een financiële weergave van de fout of onzekerheden in de dimensionering. De inschatting van dit percentage is subjectief en wordt opgesteld op basis van ervaring.

De risico's die voortvloeien uit de onzekerheden kunnen op 3 manieren worden gereduceerd:

- uitvoeren van aanvullend onderzoek om het conceptueel model te verbeteren;
- installeren van een overgedimensioneerd en flexibel saneringssysteem. Dit houdt in dat er ten opzichte van het conceptontwerp te veel filters worden geplaatst en er te lang en te hard wordt gepompt. Dit kost altijd meer dan een geoptimaliseerd systeem;
- er wordt een proefsanering uitgevoerd in de vorm van een pilotproef. Tijdens deze proef worden de saneringsprocessen in het veld getest en geoptimaliseerd. Dit vormt de basis voor een optimaal ontwerp.

De volgende afwegingen en keuzen kunnen worden gemaakt:

- indien de kosten van een pilotproefsanering lager zijn dan de ingeschatte kosten van de onzekerheden, is het aan te bevelen een pilot op te starten;
- indien de kosten van een pilotproef hoger zijn dan de ingeschatte kosten van de onzekerheden, kan direct worden overgegaan tot de dimensionering van het full-scale saneringssysteem. Hierbij worden de onzekerheden vertaald in het ontwerpproces door uit te gaan van een overdimensionering van het systeem;
- indien de onzekerheden dermate groot zijn dat ook de opstart van de pilot niet zinvol is, kan aanvullende karakterisatie worden uitgevoerd ter uitbreiding van het conceptueel model.

#### 6.2.2 *Fase 2: Uitvoeren van de praktijkproef in de vorm van een pilot*

De pilotproef heeft als doel: het verifiëren van het conceptontwerp. De resultaten van de pilot worden opgeschaald naar een full-scale ontwerp. Uit deze pilot volgt de informatie over de technische haalbaarheid van het systeem, anders gezegd: *Levert het full-scale systeem binnen het beschikbare budget het gewenste saneringsresultaat.* In de kennisintegratiesessies zijn 5 ontwerpelementen onderscheiden die door middel van pilotexperimenten kunnen worden onderzocht:

- *Invloedsstraal en menggedrag*  
Dit is bepalend voor de benodigde dichtheid aan onttrekkings- en/of infiltratie/injectiemiddelen.
- *Installatie*  
Dit betreft eisen die worden gesteld aan de hardware die nodig is om de gewenste debieten, onderdrukken, water/luchttransport te bewerkstelligen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan filterdiameter, filterlengte, afdichting van een boorgat, capaciteit van pompen, storingsmelding en dergelijke.
- *Beheersing van het systeem*  
Dit betreft de gevolgen die het in bedrijf hebben van het saneringssysteem heeft. Hierbij kan worden gedacht aan zetting als gevolg van grondwaterstandverlaging, emissies van verontreinigde lucht als gevolg van persluchtinjectie.
- *Respons van het systeem*  
Dit betreft het effect dat de saneringsmaatregelen hebben op de processen in de bodem die leiden tot de verwijdering van de verontreinigingen. Een voorbeeld daarvan is bijvoorbeeld de toename van de zuurstofconcentratie in het grondwater als gevolg van persluchtinjectie.



- *Saneringsduur*

In tabel 11 en tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de (pilot)tests die zijn ontwikkeld binnen NOBIS. De tests worden gebruikt bij het vertalen van het conceptueel model naar een concept saneringssysteem en het verifiëren van de opgestelde ontwerpeisen.

Tabel 11. Overzicht van tests, proeven en richtlijnen waarmee de ontwerpelementen kunnen worden bepaald.

ontwerpelementen	bodempluختextractie	persluchtinjectie	infiltratie/onttrekking van grondwater
invloedsstralen + menggedrag	B&B ESS, invloedsstraalbepaling, concentratiemetingen, O <sub>2</sub> -metingen, tracertests, onderdrukmetingen	B&B ESS, protocol uitvoering pilot, invloedsstraalbepaling, O <sub>2</sub> -metingen, tracertests, inundatietest, geofysica	tracertests
installatie	onderdrukmetingen, pompkarakteristieken	B&B ESS, protocol uitvoering pilot	richtlijn 'Infiltratie en onttrekking' capaciteitsproef
beheersing van het systeem	meting grondwaterstand, tracertests	geotechnische ontwerp-regels, tracertests	tracertests, meting grondwaterstand
respons van het systeem	B&B ESS, macrochemie, O <sub>2</sub> - en CO <sub>2</sub> -metingen, start stop test, push-pull test	B&B ESS, variëren drukken, O <sub>2</sub> -metingen, tracertest, start stop test	start stop test
saneringsduur	start stop test, push-pull tests	respiratietests, start stop tests, duurproef	push-pull tests

Tabel 12. Binnen NOBIS ontwikkelde tests en richtlijnen ten behoeve van de dimensionering.

producttype	product
tests	inundatietest push-pull test start stop test tracertests capaciteitsproef invloedsstraalbepaling proef intermitterend pompen
richtlijnen	richtlijnen infiltratie/onttrekking van grondwater geotechnische ontwerpregels bioventing en biosparging expert support system (B&B) protocol uitvoering pilot (CUR/NOBIS-rapport 95-1-16)

6.2.3 *Fase 3: Aanleg van het systeem op basis van richtlijnen voor technische uitvoering*

Het dimensioneringsproces is nog niet afgerond op het moment dat het plan of het bestek gereed is. Bij de aanleg van het systeem speelt de wijze van aanleg een grote rol. Momenteel wordt bij een groot aantal in het verleden aangelegde in situ systemen geconstateerd dat, als gevolg van een onjuiste aanleg van delen van het systeem, het functioneren van het systeem onvoldoende is.

De kwaliteit van de uitvoering kan worden verbeterd door het opstellen van richtlijnen voor de aanleg. Hierbij kan rekening worden gehouden met aanvullende informatie die naar voren komt tijdens de aanleg over het conceptueel model. Een voorbeeld hiervan is het opmerken van de aanwezigheid van leemlagen tijdens de aanleg die niet naar voren zijn gekomen tijdens de veldkarakterisatie. Er is behoefte aan een flexibele, locatiespecifieke aanpak, geformuleerd als open deur: *Pas het systeem aan indien noodzakelijk naar aanleiding van veldgegevens.*

#### 6.2.4 *Fase 4: Start full-scale*

In deze fase wordt het systeem ingeregeld en verder uitgetest. Soms vinden nog kleine aanpassingen plaats, zoals het bijplaatsen van enkele filters. Indien optimalisatie van de sturingsparameters voldoende mogelijk is: einde van de dimensionering.

#### 6.2.5 *Dimensioneringsondersteunende systemen*

Binnen NOBIS zijn (of worden) een aantal richtlijnen of dimensioneringsondersteunende systemen opgesteld die kunnen worden gebruikt bij de praktische uitvoering van bepaalde saneringsmaatregelen. Deze worden weergegeven in tabel 12.

### 6.3 **Aanbevelingen**

De deelnemers van de kennisintegratiesessie hebben behoefte aan kennisdocumenten en richtlijnen, waarin de voor de dimensionering essentiële informatie kort wordt behandeld.

Een belangrijk onderdeel moet worden gevormd door de installatiepraktijk. Vaak blijkt dat in situ saneringen teleurstellend verlopen vanwege technische blunders die worden veroorzaakt door onkunde of slordigheid van adviesbureau of aannemer.

Het is belangrijk dat de kennis wordt gepresenteerd op verschillende detailniveaus. Op deze wijze wordt zowel voor niet-technici als technici inzicht verschaft in de relevante processen. De kernwoorden voor een dergelijk document zijn: kort, dun, helder, veel figuren en vuistregels.

Als voorbeeld is gerefereerd aan het boek "Bronbemaling" van Fraanje. Dit is een boek dat elke aannemer en ingenieur heeft en op basis waarvan iedereen een bronbemaling kan beoordelen. In dit boek zijn ervaringen verwerkt van honderden bronbemalingen en dat is met in situ sanering nog niet bereikt.

In de workshop is geconstateerd dat er op dit moment nauwelijks richtlijnen zijn voor het ontwerp en de uitvoering van technieken als persluchtinjectie en bodemluchtonttrekking. Als reden hiervoor is naar voren gekomen dat er niet genoeg ervaring is opgedaan. Het Bioventing & Biosparging Decision Support System is weliswaar een goede eerste aanzet, maar is nog te weinig praktisch en te weinig toegankelijk.

Daarnaast is de beschikbaarheid en openbaarheid van vuistregels uitermate beperkt. Tijdens de workshop is er welgeteld 1 genoemd. Het gebrek aan vuistregels is terug te voeren tot de beperkte ervaring, het niet bewust zijn van het gebruik van vuistregels en de terughoudendheid in het ventileren ervan. De vuistregels moeten worden verzameld, bijvoorbeeld door middel van interviews. Gesteld is dat dergelijke ervaringen meestal pas worden vrijgegeven als de betrokkenen kunnen meehelpen met de uitwerking.

## HOOFDSTUK 7

### CKW-CONCEPTEN

Op dinsdagavond 29 en woensdag 30 september heeft de kennisintegratiesessie 'CKW-concepten' plaatsgevonden. Daarin is ingegaan op de concepten die binnen NOBIS zijn ontwikkeld en/of getoetst voor de aanpak van CKW-verontreinigingen.

In dit verslag wordt eerst een overzicht van de producten gegeven die zijn geïdentificeerd ten aanzien van biologische in situ saneringen voor CKW. Vervolgens wordt het ontwikkelingsstadium van deze producten aangegeven. Daarna worden aan de hand van een case de toepassingsgebieden voor de gedefinieerde producten bepaald. Tenslotte wordt ingegaan op een aantal randvoorwaarden en op de gewenste ontwikkelingen van CKW-concepten in de toekomst.

#### 7.1 Overzicht van producten

De concepten, die zijn geïdentificeerd uit de presentaties en vervolgens in de discussie zijn uitgewerkt, zijn de volgende:

- Aërobe stimulatie:
  - toevoegen van zuurstof en een co-metabool.
- Anaërobe stimulatie:
  - direct toevoegen van organisch stof of een andere koolstofbron;
  - infiltreren van grondwater van de locatie met toevoeging van organisch stof of een andere koolstofbron;
  - infiltreren van grondwater van de locatie via een anaërobe bioreactor.
- Sequentiële stimulatie:
  - anaërobe dechlorering van PER en TRI gevolgd door aërobe oxidatie van de dechloreringsproducten;
  - natuurlijke afbraak.
- Optimalisatie van grondwateronttrekking:
  - smart pump and treat;
  - gedifferentieerd onttrekken.
- Combi-remediatie.

Bovenstaande concepten kunnen worden toegepast om een CKW-probleem op te lossen. Er kunnen echter ook meerdere concepten worden gecombineerd tot een saneringsvariant.

##### 7.1.1 *Van concepten naar producten: toepassingsgebieden*

Wanneer een saneringsconcept wordt toegepast op een verontreiniging ontstaat een product. Daarbij wordt de toepasbaarheid ook bepaald door de bodemopbouw en andere - niet bodemkundige - randvoorwaarden. De producten zijn in tabel 13 samengevat door de concepten uit te zetten tegen de verontreinigingen. Daarnaast is in de tabel steeds aangegeven in welke ontwikkelingsfase een product voor een bepaalde verontreiniging zich bevindt. In de volgende subparagrafen (zie 7.1.2 t/m 7.1.11) wordt aangegeven in welke NOBIS-projecten onderzoek naar de genoemde concepten wordt uitgevoerd.

Tabel 13. Overzicht van saneringsconcepten, zoals die binnen het NOBIS-programma voor chloorkoolwaterstoffen zijn ontwikkeld.

	stimulatie van het afbraakproces				beheersing	
	aëroob	anaëroob	sequentieel	combi-remediatie	NA	optimale onttrekking
PER/TRI/cis-DCE, VC		2.●●	10.●	5.●	6.●	9.●
1,2-DCA		3.●			7.●	
MCB	1.●					
HCH (alle isomeren)			4.●		8.●	

rood: idee  
geel: uitgewerkt in plan  
paars: op pilotschaal gevalideerd  
groen: op full-scale gevalideerd

#### 7.1.2 Aërobe stimulering van de afbraak van monochloorbenzeen (no. 1)

Op de locatie van ICI is een karakterisatie uitgevoerd om de natuurlijke afbraak van monochloorbenzenen aan te tonen. Er is geen anaërobe afbraak aangetoond. Op basis van laboratoriumproeven is vervolgens wel aangetoond dat aërobe afbraak mogelijk is. Onder micro-aërofiële omstandigheden heeft echter ook niet of nauwelijks afbraak plaatsgevonden. Wel is aangetoond dat denitrificatie plaatsvindt wanneer zuiverings-slib wordt toegevoegd. Geconcludeerd is daarom dat in de bron alleen aërobe stimulatie de enige haalbare biologische saneringsvariant is.

De variant zal echter op deze locatie niet worden toegepast. Er is namelijk voor een saneringsaanpak gekozen, waarbij in de bron met klein debiet wordt onttrokken. Het onttrokken grondwater wordt in de waterzuivering gereinigd. Voor de aanpak van de pluim volstaat de natuurlijke afbraak.

#### 7.1.3 Volledig anaërobe sanering van een PER-verontreiniging (no. 2)

##### 2a. Met compostextract

Op een locatie in Maassluis wordt een full-scale sanering uitgevoerd met behulp van anaërobe stimulatie van de afbraak van PER en TRI. Daarbij wordt grondwater opgepompt uit onttrekkingsdrains, wordt compostextract toegevoegd, gemengd en geherinfiltrated met behulp van drains. De sanering verloopt succesvol.

##### 2b. Met een on-site bioreactor

Voor een locatie in Evenblij ligt een plan klaar voor het oppompen van grondwater uit een bron verontreinigd met PER/TRI. Het grondwater wordt door een bioreactor geleid, waarbij een mengsel van vetzuren wordt toegevoegd. Vervolgens wordt het effluent geherinfiltrated in de bron en in de hele pluim. De bedoeling is om op termijn het systeem in te krimpen en de infiltratie in de pluim te stoppen.

#### 7.1.4 Anaërobe gestimuleerde zone voor een DCA-verontreiniging (no. 3)

Op de Akzo-locatie in de Botlek is inmiddels een pilot aangelegd, waarbij grondwater met DCA wordt opgepompt, wordt gemengd met een elektrondonor en wordt geherinfiltrated. In de pilot zullen 3 verschillende elektrondonoren worden getest (methanol, melasse en compostextract). De pilot is nog niet in werking gesteld.

#### 7.1.5 Sequentieel bioscherm voor HCH en monochloorbenzeen (no. 4)

Voor een Akzo-locatie in Hengelo is een plan gemaakt voor sequentiële afbraak van HCH. Daarbij wordt de HCH in een anaërobe biologische zone omgezet tot monochloorbenzenen, waarna

chloorbenzeen aëroob wordt geoxideerd. Het laboratoriumonderzoek voor deze variant is nog onderweg.

#### 7.1.6 *Combi-remediatie van een PER-verontreiniging (no. 5)*

Voor een locatie van de Stichting Bodemsanering NS in Tilburg ligt een plan voor een full-scale sanering, waarbij grondwater met BTEX wordt opgepompt en wordt geïnfiltreerd in de verontreiniging met PER. Het laboratoriumonderzoek voor deze variant is nog niet afgerond.

#### 7.1.7 *Natuurlijke afbraak van PER en TRI (no. 6)*

##### *Via sequentiële afbraak*

Op de locatie Rademarkt in Groningen is NA aangetoond en wordt gemonitord. Het gaat hier om een sequentieel afbraakproces. In de kern van de verontreiniging worden PER en TRI ge-dechloroerd, waarbij cis-DCE en VC ontstaan. In het meer geoxideerde deel van de pluim worden deze producten oxidatief verwijderd.

##### *Via reductieve dechlorering*

In het kader van het Venotex-project is op de locatie Neproma NA aangetoond en wordt in een plan verder als saneringsconcept uitgewerkt. Er vindt volledige dechlorering van PER en TRI tot etheen en ethaan plaats.

In het Venotex-project is ook NA aangetoond op de locaties Nederhorst ten Berg en HOVO de Maas. Dit concept is voor deze locaties nog niet verder uitgewerkt in een plan.

Verder wordt verwezen naar het natuurlijke afbraak beslismodelproject.

#### 7.1.8 *Natuurlijke anaërobe afbraak van DCA via simultane oxidatieve en reductieve omzettingen (no. 7)*

Op een terrein van Akzo Nobel is NA van DCA aangetoond volgens twee afbraakroutes, die simultaan verlopen. Er is een plan opgesteld om het concept toe te passen op de restverontreinigingen die uit de bron lekken. Dit vindt plaats in combinatie met gestimuleerde afbraak in de kern.

#### 7.1.9 *Natuurlijke sequentiële afbraak van HCH (no. 8)*

Op de locatie van Akzo in Hengelo met HCH-verontreinigingen (alle bekende isomeren van HCH, waaronder het moeilijk afbreekbare  $\beta$ -HCH, komen voor) is vastgesteld dat NA plaatsvindt. Omdat het eindproduct van de natuurlijke afbraak monochloorbenzeen is, kan NA op deze locatie niet alleen als oplossingsconcept dienen. Er is een stimulering nodig om het gevormde monochloorbenzeen te kunnen verwijderen (zie ook onder 4).

#### 7.1.10 *Smart pump and treat op wasserijlocaties (no. 9)*

Bij chemische wasserijen, die op advies van TNO Industrie (RT) worden gesaneerd, wordt al lange tijd aan 'smart pump and treat' gedaan. Vanuit het RESTRISK-project is daar ook de theoretische onderbouwing bij gekomen.

#### 7.1.11 *Sequentiële afbraak van PER (no. 10)*

##### *10a Natuurlijke afbraak met een bioscherm*

Op de Rademarkt in Groningen is een aërobe pilot uitgevoerd voor de afbraak van vinylchloride in de pluim. In de kern vindt natuurlijke afbraak plaats van PER/TRI. Deze pilot is uitgevoerd door ORC via peilbuizen die in de bodem worden gebracht. De pilot is succesvol verlopen.

### 10b Volledige sequentiële afbraak

Hoewel uitgevoerd buiten het kader van NOBIS wordt hier voor de volledigheid de proefsanering bij de NEDLIN wasserij 'De Zon' gemeld. In deze succesvol verlopen proefsanering is de anaërobe afbraak gestimuleerd door methanolinjectie. Vervolgens zijn de afbraakproducten (vooral cis) aëroob, co-metabolisch afgebroken. Hierbij is fenol geïnjecteerd als co-substraat.

#### 7.1.12 Conclusies uit tabel 13

Zoals uit tabel 13 blijkt zijn voor diverse stoffen verschillende concepten ontwikkeld. Daarnaast is te zien dat slechts twee concepten binnen NOBIS zijn gevalideerd. Dat zijn de anaërobe en sequentiële stimulatie bij aanwezigheid van PER/TRI/cis-DCE/VC. Twee concepten zijn in een pilot gevalideerd maar nog niet full-scale uitgevoerd. Voor NA geldt dat dit in principe wel op veel plekken is aangetoond, maar dat het als concept nog niet is uitgevoerd. Dit vergt namelijk een meetreeks over jaren en de historie van dit concept is nog te kort.

Geconcludeerd kan worden dat veel concepten in het idee/plan-stadium zijn. Overigens wordt ook een idee een duidelijk NOBIS-product gevonden. Het lijkt er niet op dat binnen NOBIS nog veel aan ontwikkeling van deze concepten in het veld zal worden gedaan. Wel wordt verwacht dat steeds meer in situ saneringen zullen worden uitgevoerd buiten het kader van NOBIS en dat zo validatie zal plaatsvinden.

## 7.2 Integrale aanpak van een probleem: bepalen van toepassingsgebied

In de workshop is de complete aanpak van een probleem beschreven aan de hand van een case. De verschillende stadia, die daarbij worden doorlopen, zijn te vinden in figuur 3. Daarin is te zien dat voor de veldkarakterisatie, de modellering, het vooronderzoek en de monitoring wel voldoende instrumenten voorhanden zijn, die voor een groot deel zijn ontwikkeld binnen NOBIS.

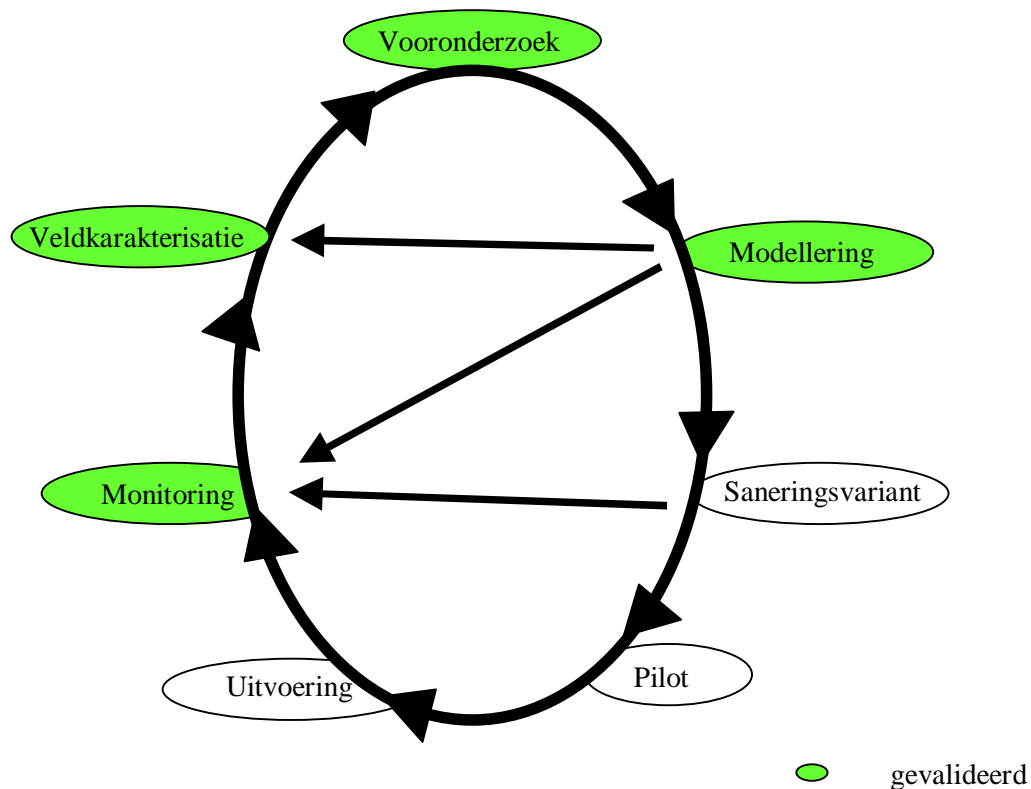


Fig. 3. Uitvoeringsfasen.

Deze instrumenten zijn ook alle gevalideerd. Voor de beschrijving van deze instrumenten en de bijbehorende toepassingsgebieden wordt verwezen naar de andere kennisintegratiesessies.

#### 7.2.1 *Onderzoek case*

Voor de case is vastgesteld voor welke eerste ronde nader onderzoek zal worden uitgevoerd (na een oriënterend onderzoek):

Voor de bodem worden voor een eerste beoordeling vooral de volgende twee aspecten van belang geacht:

- aanwezigheid en lokalisering van eventuele scheidende lagen;
- richting en snelheid van de grondwaterstroming.

Ten aanzien van de verontreinigingssituatie worden voor een eerste beoordeling drie aspecten van belang geacht:

- vaststellen van de verontreinigingen en afbraakproducten langs een stroombaan om het optreden van NA te kunnen verifiëren;
- inkadering van het areaal waarin de verontreinigingen en afbraakproducten aanwezig zijn, zowel voor de bron als voor de pluim;
- indicatie voor de aanwezigheid van puur product.

#### 7.2.2 *Haalbare concepten*

Na vaststelling van het bovenstaande onderzoek is vervolgens een aantal karakteristieken van een case ingevuld. Daarna is gediscussieerd over concepten die haalbaar lijken voor de oplossing van het probleem. Vanuit zo'n concept kan dan opnieuw onderzoek worden uitgevoerd om te verifiëren of het concept (of een combinatie van concepten) haalbaar is en om de dimensioneringsgrondslagen te bepalen.

##### *Concept(en) voor de bron*

Voor de bron zijn twee concepten genoemd:

- anaërobe stimulatie;
- optimalisatie van grondwateronttrekking (smart pump and treat).

Daarnaast wordt het nog mogelijk geacht om een combinatie van deze twee concepten te gebruiken voor de aanpak van de bron. Consensus over een keuze tussen de twee concepten is niet bereikt. Opvallend is dat een sequentiële aanpak à la De Zon door geen van de aanwezigen wordt aanbevolen, ondanks het feit dat het wel een - weliswaar buiten NOBIS - gevalideerd concept betreft. Overigens is voor beide varianten een meer gedetailleerd bodemonderzoek vereist, waarin de bodemopbouw en de verontreinigingssituatie in detail worden vastgesteld. Wanneer een biologische variant wordt toegepast, is het bovendien van groot belang de geochemische omstandigheden goed in kaart te brengen.

##### *Concept(en) voor de pluim*

Voor de pluim bestaat consensus over het toepassen van het concept:

#### 1. *NA*

Hierbij kan het NA-beslismodel als richtlijn worden gebruikt. Indicaties voor het kunnen toepassen van NA worden verkregen uit een driedimensionale modellering, waartoe de bodemopbouw, de geochemie en de verontreinigingssituatie in de pluim redelijk gedetailleerd in kaart moeten worden gebracht.

Indien dit niet zou blijken te werken, worden de volgende concepten mogelijk geacht:

## 2. *Stimulatie van biologie*

- Bij geoxideerd milieu en weinig ijzer in de grond: elektrondonor toevoegen.
- Bij geoxideerd milieu en veel ijzer in de grond: co-metabool en zuurstof toevoegen.
- Bij afwezigheid van brandstof: koolstofbron toevoegen.
- Bij afwezigheid van micro-organismen: micro-organismen toevoegen.

Het laatste punt wordt nog nauwelijks toegepast. Geen van de aanwezigen ondersteunde de gedachte om (reinculturen van) specifieke micro-organismen, eventueel gemaakt via genetische modificatie, toe te passen. Wel werd het haalbaar geacht om de genetische capaciteit aan te vullen door ophopingsculturen toe te voegen die PER en TRI kunnen verwijderen. In feite is het Evenblij-project (zie 2b in 7.1.3) hiervan een voorbeeld, evenals het concept dat in Maassluis wordt toegepast. In Maassluis vindt er in het bovengrondse mengsysteem voor het grondwater en compostextract in feite een ophoping van dechloroerders plaats die via het infiltratiesysteem worden geïnfiltrerd. Voor een stimulatie van de biologie zullen eventueel aanvullende karakterisering van de bodemopbouw, de geochemie en de verontreinigingssituatie moeten worden verricht om het systeem op de juiste wijze te kunnen dimensioneren.

## 3. *Grondwateronttrekking (smart pump and treat)*

Voor dit systeem is eveneens een aanvullende karakterisering van de bodemopbouw en de verontreinigingssituatie nodig, uiteraard gekoppeld aan een modellering van de te implementeren pump and treat.

## 4. *Biologisch geactiveerde zone rond deep-well*

Het idee van deze variant is om smart pump and treat te combineren met biologische afbraak. Uiteindelijk kan daarmee een bovengrondse reiniging van het opgepompte water worden vermeden. De eisen aan de karakterisering zijn dezelfde als voor de smart pump and treat.

### *Nader onderzoek voor toetsing van concepten*

Uit het bovenstaande blijkt dat veel aspecten die nader moeten worden onderzocht voor de verschillende varianten overeenkomen. In zijn algemeenheid komt wel naar voren dat de keuze voor een biologische variant meer vraagt van met name de geochemische karakterisering van de ondergrond. Verder vereist een biologische stimuleringsvariant een gedetailleerd aanvullend onderzoek omdat biologische *in situ* saneringen fijnmazig worden uitgevoerd. Ook is naar voren gekomen dat het gewenst is om mogelijke concepten ter stimulering van het afbraakproces door middel van batchproeven in het laboratorium te screenen. Opvallenderwijs zijn batchproeven niet genoemd voor het vaststellen van NA in zowel de bron als de pluim. De uiteindelijke dimensionering van alle concepten vraagt om een pilotproef op veldschaal. Voor een biologische sanering betreft dit een toetsing of de toevoegingen in het veld effectief zijn. Voor smart pump and treat gaat het om een proefonttrekking.

Concreet is het volgende onderzoek voorgesteld:

1. karakterisatie van de milieuomstandigheden in de bron en in de pluim;
2. karakterisatie van de milieuomstandigheden langs een stroombaan;
3. situatie in de pluim verder karakteriseren volgens het NA-beslismodel en modelleren;
4. uitvoering van een batchproef: dit is vooral zinvol met het oog op de toetsen van procesconcepten voor de stimulering;
5. uitvoeren van een proefonttrekking met een drain.



### 7.3 Randvoorwaarden

Na de doorwerking van de case is een aantal randvoorwaarden besproken die de toepassing van biologische concepten voor CKW's beperken.

De diepte van de verontreinigingen beperkt de mogelijkheden voor gestimuleerde afbraak. Actieve stimuleringsconcepten zijn niet meer haalbaar en/of kosteneffectief op grotere diepte. NA is op grote diepte wel een mogelijk concept.

In klei is verwijdering van verontreinigingen vaak niet mogelijk. Meestal zal voor een beheersvariant moeten worden gekozen.

Gedifferentieerd onttrekken zal vooral voor diepere verontreinigingen een alternatief zijn. De kosten zijn zodanig hoog dat dit concept voor ondiepe verontreinigingen waarschijnlijk niet effectief zal zijn.

Als alleen wordt gestreefd naar beheersing van de pluim is het toepassen van actieve biologische stimulatie in de pluim niet effectief. Wel mogelijk is een combinatie van een onttrekking met een passieve stimulatie, zoals bijvoorbeeld een deep-well met daar omheen een periodieke toevoeging van compost in een aantal peilbuizen.

### 7.4 Discussiepunten

#### 7.4.1 *Grootte en omvang van de locatie*

Er is discussie gevoerd over de vraag of de grootte (omvang) van de locatie de toepassing van biologische concepten problematisch maakt. De uitkomst van deze discussie is dat de grootte van de locatie dat op zich niet met zich meebrengt. Wel is het zo dat op een grote locatie verwacht wordt dat de verontreinigingssituatie heterogener zal zijn, waardoor complexe situaties ontstaan. Dit kan het minder aantrekkelijk maken om een biologisch concept aan te bieden als oplossing. Hierbij speelt ook mee dat de (financiële) risico's daarmee groter worden.

Tenslotte zijn concepten voor de oplossing van een probleem, die in deze workshop centraal staan, altijd locatiespecifiek. Een ander type bodemopbouw zal bijvoorbeeld steeds andere (combinaties van) concepten met zich meebrengen.

#### 7.4.2 *Aantonen van DNAPL's*

Vervolgens is een discussie gevoerd over het belang van het aantonen van DNAPL's. De conclusie is dat informatie over de aanwezigheid van een DNAPL waardevol is voor de keuze van een concept. Het aantonen van DNAPL's is echter moeilijk, tijdrovend en kostbaar. Daarom gebeurt het vaak niet en is het ook niet effectief.

Wanneer tijdens de sanering toch een DNAPL wordt aangetroffen, kunnen alsnog aanvullende maatregelen worden getroffen. Een mogelijkheid om DNAPL's aan te tonen is het gebruik van tracers bij een proefonttrekking. Daarbij kan een conservatieve en een adsorberende tracer worden toegevoegd, zodat DNAPL's kunnen worden aangetoond. De uitvoering wordt echter een stuk complexer en het is de vraag of de kosten opwegen tegen de baten.

#### 7.4.3 *Combi-remediatie*

Er is discussie over de toepassingsmogelijkheden van combi-remediatie. Het verplaatsen van verontreinigingen ten behoeve van remediatie is volgens sommigen niet verantwoord. Daarnaast is het toepassingsgebied beperkt, omdat zeer specifieke omstandigheden nodig zijn.

#### 7.4.4 *Is het zinvol om de biologie te stimuleren als er al grondwateronttrekking wordt toegepast?*

Een fundamenteel discussiepunt is of, wanneer een grondwateronttrekking wordt toegepast, het nog zinvol is om ook de biologie te stimuleren. Een aantal deelnemers vindt dat het stimuleren van de biologie dan geen meerwaarde meer oplevert. Anderen zeggen dat met een beperkte investering een sanering/beheersing kan worden omgezet van oneindig naar eindig en dat het dus zeer raadzaam is om, naast de grondwateronttrekking, ook de biologie te stimuleren.

#### 7.5 **Aanbevelingen**

Zoals blijkt uit tabel 13, waarin de ontwikkelingsstadia van de concepten zijn aangegeven, blijven veel concepten nog steken in de idee- of de planfase. Er is nog weinig praktijk-/veldervaring. Omdat een saneringsconcept zich echter alleen in het veld kan bewijzen, moet sterk de nadruk liggen op pilots of full-scale uitvoering van de concepten. Als aanvulling daarop zou bij die uitvoeringen extra onderzoeksbudget aanwezig moeten zijn om:

- a priori kennis in te brengen, door bijvoorbeeld een specialist in te huren of een team van deskundigen een review te laten uitvoeren;
- extra te meten of te monitoren, waarmee het inzicht in de processen die plaatsvinden toeneemt en daardoor de overdraagbaarheid van het concept naar andere locaties sterk toeneemt (minder black box);
- onderzoek te doen naar deelvragen die tijdens de sanering aan de orde komen (b.v. de lokalisering van DNAPL's).

In de toekomst moet de aandacht meer worden gericht op de verbetering van de hardware die in het veld wordt gebruikt voor stimulatie (zie dimensioneringsgrondslagen - hoofdstuk 6).

Het werkveld zal moeten worden verbreed. Combinaties van biologische technieken en fysische technieken (b.v. stoomstrippen) moeten worden onderzocht.

## HOOFDSTUK 8

### PROCESKARAKTERISATIE

#### 8.1 Inleiding en doelstelling

De afgelopen jaren is, onder andere door NOBIS, duidelijk geworden dat de traditionele karakterisatie van de aard en omvang van de verontreiniging (vastleggen van streef- en interventiewaarden volgens oriënterend en nader onderzoek) onvoldoende is om te komen tot een goede probleemdefinitie (opstellen van conceptueel model) en daarmee tot een zinvolle saneringsaanpak. Naast de aard en omvang van de verontreiniging is het belangrijk de (natuurlijke) processen, of de potentie ervan, te karakteriseren die in de bodem spelen. Hierbij is het belangrijk om aandacht te besteden aan de heterogeniteit en ruimtelijke variabiliteit van het verontreinigde bodemsysteem. Hierbij moet onder andere worden gedacht aan de gelaagdheid en de verschillende chemische vormen waarin de verontreiniging voorkomt (puur product, opgelost of geadsorbeerd).

In de workshop proceskarakterisatie staan de producten centraal die binnen NOBIS zijn ontwikkeld voor de karakterisatie van deze processen. Hierbij zijn de volgende typen producten te onderscheiden:

- instrumenten;
- technieken;
- concepten;
- strategieën.

Bij de ontwikkeling van producten doen zich verschillende fasen voor: ideefase, prototype en volwassen product. In dit verslag wordt hier verder geen aandacht aan besteed.

De workshop proceskarakterisatie voelde zich wat ingeklemd tussen de eerder gehouden workshops vooronderzoek, geofysica en ontwerp en dimensioneringsgrondslagen. Er was behoefte aan een 'kapstok' waarmee de onderwerpen en resultaten van de verschillende workshops ten opzichte van elkaar worden gepositioneerd, zodanig dat de 'processen' zelf op één of andere wijze de kapstok vormen. De ideeën over proceskarakterisatie vanuit dimensioneringsoogpunt (workshop dimensionering) zijn aan dit verslag toegevoegd.

#### *Doelstelling*

- Het maken van een gestructureerde indeling (kapstok) waarbinnen (NOBIS-)producten worden gepositioneerd.
- Aangeven welke proceskarakterisatie wanneer in het bodemsaneringsproces moet worden uitgevoerd.
- Identificeren van verschillende (NOBIS-)producten die zijn ontwikkeld voor proceskarakterisatie.

#### 8.2 Afbakening en definities

Alvorens er tot een gestructureerde indeling kan worden gekomen, dienen eerst de verschillende activiteiten en processen geïdentificeerd en gedefinieerd te worden.

### *Projectactiviteiten*

Binnen het bodemsaneringsproces kunnen de volgende projectactiviteiten worden onderscheiden:

#### 1. *Probleemherkenning*

De ernst en omvang van het probleem (de verontreiniging) wordt in kaart gebracht. Dit wordt vorm gegeven met behulp van contouren (streef- en interventiewaarden), verticale afperking, achtergrondgehalten, enzovoorts.

Een verontreiniging wordt in eerste instantie als probleem gesignaleerd door het bevoegd gezag of een locatiebezitter. Aspecten die hierbij een rol spelen zijn: ruimtelijke ordening (bestemmingsplannen), juridisch (verkoop), beleid (normen), maatschappelijk en technisch.

#### 2. *Probleemdefinitie vanuit saneringsperspectief*

Op het moment dat er een probleem is, wordt er gedacht aan oplossingsrichtingen. Hiervoor dient het probleem, vanuit het saneringsperspectief, te worden gedefinieerd: er wordt een conceptueel model van de locatie gevormd. Voor de totstandkoming van het conceptueel model moet minimaal die informatie beschikbaar zijn die nodig is om tot een weloverwogen keuze te komen met betrekking tot de toe te passen saneringsstrategie en -techniek(en).

Een elementair onderdeel van het conceptueel model is het onderscheiden van zones in de verontreinigingssituatie. In de zonering is met name van belang:

- aanwezigheid van puur product;
- bodemopbouw en gelaagdheid;
- ongelijke verspreiding van componenten van de verontreiniging.

De zonering bepaalt voor een belangrijk deel de te kiezen saneringsstrategie en -techniek.

#### 3. *Ontwerp*

Het binnen een programma van eisen (doelstelling, randvoorwaarden, uitgangspunten) ruimtelijk, functioneel uitwerken (inrichten) van de sanering.

#### 4. *Dimensionering*

Het technisch/constructief uitwerken van het ontwerp ('de moertjes en de schroefjes').

#### 5. *Implementatie*

Het uitvoeren en monitoren van een sanering.

### *Basis saneringsprocessen*

Bij bodemsanering wordt gebruik gemaakt van vier basis saneringsprocessen:

1. Stroming van lucht: Het fysische proces van stroming van lucht door de bodem en de chemische interactie die plaatsvindt tussen bodem, lucht en verontreiniging.
2. Stroming van water: Het fysische proces van stroming van water door de bodem en de chemische interactie die plaatsvindt tussen bodem, water en verontreiniging.
3. Biologische afbraak: Het biochemische proces van afbraak van verontreinigingen. Natuurlijke afbraak ('niets doen') wordt gezien als de meest extensieve vorm van biologische afbraak.
4. Graven: Het civieltechnische proces van verwijdering van verontreinigingen.

### *Tijd*

Een proces wordt gekenmerkt door de factor tijd. Gedurende de tijd worden de activiteiten van probleemherkenning tot implementatie doorlopen. In het algemeen wordt nagestreefd om deze activiteiten chronologisch te laten verlopen. Buiten het feit dat dit bij bodemsanering niet altijd mogelijk is, is dit ook niet per definitie de meest kosteneffectieve aanpak. Aangezien het inzicht in het op te lossen probleem in de loop van de tijd toeneemt, kan hier in het proces gebruik van worden gemaakt (cyclisch ontwerpen, flexibel saneringssysteem). Dat wil zeggen het gelijktijdig doorlopen van alle projectactiviteiten.

### 8.3 De 'kapstok'

Tijdens de workshop is een systematiek uitgewerkt waarmee de diverse producten gestructureerd kunnen worden gepresenteerd. Dit wordt visueel weergegeven in de vorm van een soort waaier (zie fig. 4). De waaier kan worden gezien als een prikbord waarop producten kunnen worden geplaatst. De systematiek is opgezet vanuit het perspectief van sanering.

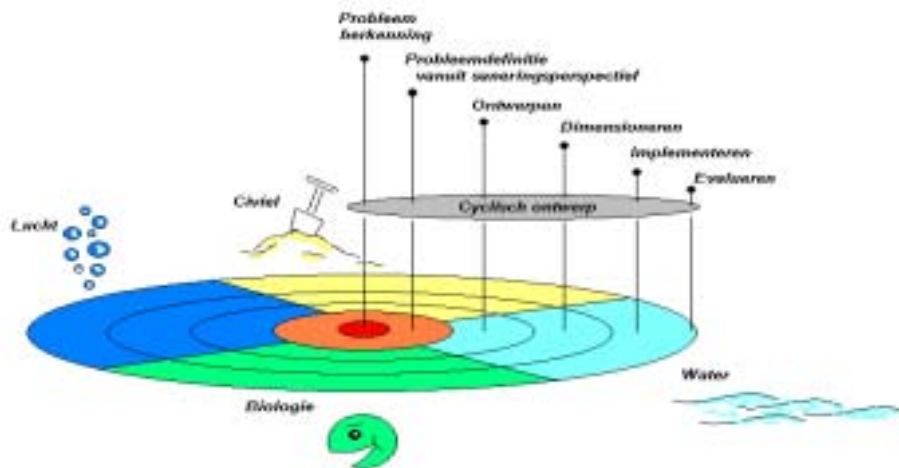


Fig. 4. Waaier.

In figuur 4 zijn de projectactiviteiten als 'ringen' weergegeven. Hierbij worden probleemherkenning en probleemdefinitie als basisactiviteiten gezien, die ongeacht de oplossingsrichting moeten worden uitgevoerd. De saneringsprocessen zijn dwars over de ringen ontwerpen, dimensioneren en implementeren geprojecteerd. De achterliggende gedachte is dat op basis van de probleemdefinitie bepaalde saneringsprocessen niet toepasbaar zijn of dat bepaalde processen op basis van ervaring al reeds een bepaalde voorkeur genieten.

De factor tijd is niet in figuur 4 opgenomen om de flexibiliteit van het bodemsaneringsproces niet te frustreren. Het moge duidelijk zijn dat in algemene zin met het toenemen van de tijd de inspanning verschuift van probleemherkenning naar implementatie.

#### *Positionering van producten*

Ieder product, dat bij een activiteit of saneringsproces wordt gebruikt, kan op de waaier worden geplaatst. Sommige producten zullen op meerdere plaatsen voorkomen. Sommige beslissende modellen hebben betrekking op één proces (b.v natuurlijke afbraak); deze laten zich gemakkelijk plaatsen in dezelfde richting als het proces. Andere, zoals afwegingsmodellen als RMK hebben betrekking op alle beschouwde varianten en laten zich (visueel) plaatsen loodrecht op de processen langs de ringen.

### 8.4 Identificatie van onderzoeksvragen en saneringsprocessen

In tabel 14 is een overzicht gegeven van de onderzoeksvragen op het gebied van proceskarakterisatie die relevant zijn voor de verschillende saneringsprocessen. In de workshop zijn 'basisgegevens' gedefinieerd die altijd zouden moeten worden bepaald om tot een goede probleemdefinitie (conceptueel model) te komen. Gegevens die niet tot de basis worden gerekend,

moeten later worden bepaald ten behoeve van de selectie, het ontwerp of de dimensionering van de saneringsvariant

Bij het opzetten van tabel 14 is ervan uitgegaan dat aspecten als topografie, infrastructuur (bovengronds/ondergronds), bedreigd object, grensvlak zoet/zout, bestemmingsplan, toxiciteit en risico's bekend zijn vanuit de probleemherkenning.

Tabel 14. Onderzoeksvragen in relatie tot saneringsprocessen.

onderzoeksvraag	basiss	lucht	water	bio	graven	motivatie basis	
bodemopbouw (m-niveau)	x	x	x	x	x	in basispakket als sondering mogelijk is	
bodemopbouw (cm-niveau)	x	x	x	x			
puur product	x	x	x	x	x		
pluim	x	x	x	x	x		
samenstelling verontreiniging	x	x	x	x			
grondwaterstromingsrichting (horizontaal/verticaal)	x		x	x			
doorlatendheden (goed/matig/slecht)	x	x	x	x	x		
doorlatendheden (gedetailleerd)		x	x	x			
macrochemie (reeks van Wiedermeier)	x	x	x	x			eenvoudig te meten
macrochemie (gedetailleerd)				x			
redox	x			x		eenvoudig te meten	
pH	x			x		eenvoudig te meten	
organische stof grond	x		x	x		bepaalt de sorptie, eenvoudig te meten	
type micro-organisme				x			
adsorptie-eigenschappen			x	x			
vracht (globaal)	x	x	x	x			
vracht (gedetailleerd)		x	x				
referentiewaarden	x			x			
grensvlak zoet/zout (detail)				x			
druk/stijghoogte	x	x	x			eenvoudig te meten in peilbuizen	
temperatuur	x			x		makkelijk te meten parameter	
ruimtelijkheid heterogeniteit (globaal)	x	x	x	x	x		
ruimtelijkheid heterogeniteit (detail)		x	x				
biologische beschikbaarheid				x			
elektron donor/-acceptor				x			
nutriënten				x			
TOC/DOC	x		x	x		eenvoudig te meten	
afbreekbaarheid	x			x		belangrijk om te weten of verontreiniging afbreekbaar is	
afbraakproducten	x			x		in basispakket bij CKW	
intreedruk		x					

x in basispakket uit 'puriteins' oogpunt

x in basispakket uit 'pragmatisch' oogpunt

Onderzoeksvragen kunnen tot de basisgegevens worden gerekend vanuit *puriteins* dan wel *pragmatisch* oogpunt. Onder pragmatisch wordt verstaan: de gegevens die weliswaar niet altijd, of voor iedere variant, nodig zijn, maar die eenvoudig en goedkoop te bepalen zijn.

Het onderscheid wordt geïllustreerd met een aantal voorbeelden:

- Puur product is vanuit alle processen van belang in het basispakket (puriteinse benadering).
- De bodemopbouw is vanuit alle saneringsprocessen van belang op meterniveau. Vanuit lucht- en waterprocessen is echter, in een latere fase, een gedetailleerder niveau (centimeterniveau) gewenst. Een sondering leidt tot een dergelijk detailniveau. Vanuit pragmatisch oogpunt (goedkoop, eenvoudig) wordt, indien een sondering mogelijk is, de bodemopbouw op cm-niveau geplaatst bij de basisgegevens.
- Macrochemie is vanuit een puriteinse benadering niet van belang in het basispakket. Vanuit zowel pragmatisch oogpunt (goedkoop) als vanuit de overweging dat, met behulp van deze gegevens, een beter onderbouwde keuze kan worden gemaakt tussen de saneringsprocessen (potentie biodegradatie) is macrochemie aan het basispakket toegevoegd. Macrochemie bleek tevens ook voor andere saneringsprocessen een meerwaarde te hebben (b.v. inschatting verstoppingen bij infiltratie).

Uit het bovenstaande blijkt dat het voordelen heeft de pragmatische basisgegevens wel te verzamelen: ze geven extra informatie en inzicht in het bodemsysteem en daarnaast wordt voorkomen dat sommige varianten vanwege het ontbreken van gegevens uit het vooronderzoek onnodig vroegtijdig worden uitgesloten, dan wel dat onnodig veel energie in een variant wordt gestoken, die eigenlijk toch al niet haalbaar was.

Het aantal meetpunten in het horizontale vlak om de ruimtelijke verdeling van de basisgegevens te verzamelen is niet uitgebreid in de workshop ter sprake gekomen. Duidelijk is dat bij de probleemdefinitie wordt gestreefd naar het minimum, waarbij er rekening mee moet worden gehouden dat de ruimtelijkheid moet worden gerelateerd aan het (relevante) schaalniveau waarop processen optreden. De vragen over ruimtelijke variatie en nauwkeurigheid zijn snel te herleiden tot een prijs/kwaliteitsverhouding en zijn dus een uitdaging voor de productmaker en adviseur.

## 8.5 Identificatie van onderzoeksvragen en producten

In tabel 15 is een overzicht gegeven van de onderzoeksvragen en parameters die relevant zijn voor de proceskarakterisatie. In de tabel zijn tevens de producten of tests gegeven die kunnen worden gebruikt om de vragen te beantwoorden. In de tabel zijn in hoofdzaak producten opgenomen die gedurende de sessies ter sprake zijn gekomen.



Tabel 15. Onderzoeksvragen in relatie tot (NOBIS-)producten.

onderzoeksvraag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
bodemopbouw (m-niveau)					x	x				x	x											x	x		x	
bodemopbouw (cm-niveau)					x	x																x			x	
puur product	x	x		x		x					x				x	x							x	x		
pluim				x														x	x		x			x		
samenstelling verontreiniging				x				x													x					
grondwaterstromingsrichting (horizontaal/verticaal)								x																		
doorlatendheden (goed/matig/slecht)					x				x	x	x							x			x		x	x	x	
doorlatendheden (gedetailleerd)					x				x	x	x							x			x		x		x	
macrochemie (reeks van Wiedemeyer)				x																						
macrochemie (gedetailleerd)				x	x					x		x	x					x	x	x		x				
redox				x	x							x	x						x	x		x				
pH				x	x														x	x						
organische stof grond																										
type micro-organisme																				x						
adsorptie-eigenschappen																										
vracht (globaal)	x	x		x		x					x					x	x								x	
vracht (gedetailleerd)		x									x					x	x								x	
referentiewaarden				x																						
grensvlak zoet/zout (detail)																										
druk/stijghoogte								x																		
temperatuur				x	x			x																		
ruimtelijkheid heterogeniteit (globaal)					x	x			x	x	x														x	x
ruimtelijkheid heterogeniteit (detail)					x	x			x	x	x														x	x
biologische beschikbaarheid																x										
elektrondonor/-acceptor												x	x								x					
nutriënten																					x					
TOC/DOC				x																						
afbreekbaarheid					x		x					x	x	x							x	x	x		x	
afbraakproducten				x																				x		
intreedruk																								x		

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1 olie-water-test                | 2 oliesonde              |
| 3 chemosonde                     | 4 grondwatermonstersonde |
| 5 tracertests                    | 6 georadar               |
| 7 oliekarakterisatie             | 8 diver                  |
| 9 monopoolsonde                  | 10 pompproef             |
| 11 gedifferentieerd onttrekken   | 12 H <sub>2</sub> -meter |
| 13 zuurstofsonde                 | 14 biolog                |
| 15 CKW-sonde                     | 16 BTX-sonde             |
| 17 push-pull test                | 18 MIKK                  |
| 19 IQ                            | 20 mini-slugtest         |
| 21 CKW-karakterisatie            | 22 trajectdifferentiatie |
| 23 zonerings                     | 24 dynamische monitoring |
| 25 hoge resolutie seismiek (HRS) |                          |

## PRODUCTGROEP BIOSCHERMEN

### 9.1 Afbakening en definities

Bioschermen is een techniek in een verontreinigd watervoerend pakket, waarmee de verspreiding van de verontreiniging wordt tegengegaan. Het basisprincipe van een bioscherm wordt weergegeven in figuur 5.

In een bepaald compartiment, dwars op een verontreinigingspluim wordt een proces bedreven, waarbij de influx van verontreiniging tot acceptabele niveaus wordt teruggebracht. Daartoe wordt in het compartiment energie in het systeem aangebracht; dit kan in twee verschillende stadia plaatsvinden:

1. in de aanlegfase van het scherm, bijvoorbeeld door het aanbrengen van speciale dragermaterialen of hulpmiddelen ten behoeve van de sturing van grondwater;
2. in de operationele fase, bijvoorbeeld door het toevoegen van lucht of biologie-ondersteunende stoffen of voor het in de hand houden van mogelijk optredende bijverschijnselen, zoals bijvoorbeeld verstopping, regeneratie, enzovoorts.

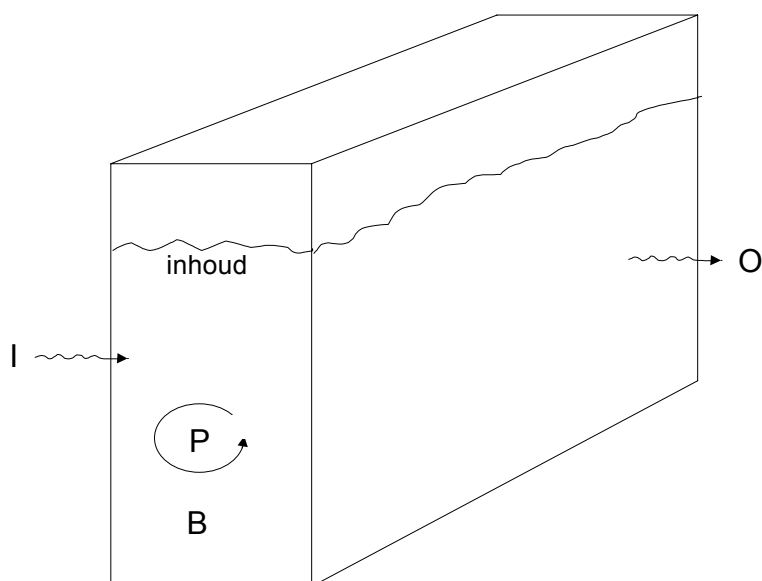


Fig. 5. Basisprincipe van een bioscherm.

#### *Doelstelling*

Het doel van de workshop over bioschermen is om bioschermproducten te identificeren, waarbij een optimalisatie ten aanzien van energie-input (milieuvriendelijkheid en kosten) ten opzichte van de bereikte reductie in de flux stroomafwaarts (risicoreductie, tegengaan van verspreiding).

## 9.2 Overzicht van bioschermtoeepassingen

### 9.2.1 Beschrijving van bioschermtoeepassingen

#### 1. Den Haag (1) ORC

De funnel and gate-toepassing met een verontreiniging van een voormalig benzinestation (minerale olie en BTEX). In dit concept wordt de funnel gecombineerd met een ORC-gevulde cassette die in de gate wordt geplaatst.

#### 2. Den Haag (2) beluchten

De funnel and gate-toepassing met een verontreiniging van een voormalig benzinestation (minerale olie en BTEX). In dit concept wordt de funnel gecombineerd met een ondergrondse bioreactor, waarin een beluchtingsunit is aangebracht.

#### 3. Biologische dwell

Een vuilstort in Afrika, geplaatst op een aëroob zandig watervoerend pakket overkapt, waarbij de kap wordt gebruikt om hemelwater naar een infiltratiepunt te brengen. Onder de vuilstort is een langzaam oplossende hoeveelheid minerale olie aanwezig. Deze minerale olie wordt al grotendeels door natuurlijke processen afgebroken. Het idee is om door middel van het infiltratiewater met zo mogelijk toegediende nutriënten de natuurlijke aërobe afbraak te stimuleren. Deze constructie wordt vooral gezien als een preventieve maatregel bij de inrichting van dit type vuilstorten.

#### 4. Intermittierend airsparging systeem (IAS) schermen Italië

Op een locatie in Italië met nafta-aromatenverontreiniging wordt met behulp van een hekwerk van persluchtinjectiefilters aan de randen van een bedrijfsterrein de verontreiniging afgebroken. De doelstelling van het bioscherm is om de verontreiniging binnen terreingrenzen te houden.

#### 5. Pentium zone VOCl diepte pluim

Een reductieve dechlorering van VOCl door infiltratie van elektrondonoren, toegepast op locaties waar de natuurlijke afbraak reeds optreedt, maar een extra stimulans nodig heeft. Eén van de locaties die wordt genoemd is een diep watervoerend pakket op 20-30 meter diep in het Botlek-gebied.

#### 6. Biologisch hekwerk SNR/C, trench/grind

Aan de rand van een olieraffinaderij wordt in de ophooglaag een biologisch scherm aangelegd, waarbij een trench van grind wordt aangebracht (2 · 35 cm), waarbij een horizontale persluchtinjectie voor zuurstofvoorziening zorgt. Ter plekke van het bioscherm is geen puur product aanwezig, maar is de bodem/grondwater wel verontreinigd met minerale olie.

#### 7. Biologisch hekwerk SNR/C, zone

Aan de rand van een olieraffinaderij wordt in de ophooglaag een biologisch scherm aangelegd, waarbij twee manieren van zuurstofvoorziening worden getoetst: (1) horizontale persluchtinjectie en (2) hekwerk van verticaal geplaatste persluchtinjectiefilters. Bij deze variant wordt dus geen bodemmateriaal verwijderd. Ter plekke van het bioscherm is geen puur product aanwezig, maar is de bodem/grondwater wel verontreinigd met minerale olie.

#### 8. Biologische zone stortplaatsen

Op dit moment is nog geen bioscherm geplaatst bij stortplaatsen. De verwachting is echter dat hieraan een grote behoefte zal ontstaan, met name voor de voormalige stortplaatsen (NAVOS, circa 3.800 stuks) en ook voor nog openstaande stortplaatsen (circa 80 stortplaatsen worden genoemd).

De verwachting is dat op deze locaties een cocktail van verontreinigingen (organische componenten en zware metalen) aanwezig is, waar de natuur vaak al verspreiding tegengaat en waar met minimale ingrepen in een biologische zone de verspreiding volledig kan worden geminimaliseerd door afbraak- en immobilisatieprocessen.

9. *HCH/VOCI/chlooraromaten (MCB)*

Voor twee locaties in Overijssel wordt de afbraak van HCH's en gerelateerde afbraakproducten in bioschermen onderzocht. De projecten zijn nu in de fase van karakterisatie van natuurlijke afbraakprocessen. Waarschijnlijk is een combinatie van natuurlijke anaërobe afbraak van HCH's met afbraak van gerelateerde afbraakproducten (MCB, benzeen) in een stroomafwaarts gelegen aëroob bioscherm een kansrijke optie. Dit wordt op dit moment door middel van laboratoriumtests onderzocht.

De HCH-problematiek in Nederland omvat circa 100 locaties; in het ons omringende en verre buitenland is de HCH-problematiek aanzienlijk omvangrijker dan in Nederland. Een HCH-bioscherm is dus ook een belangrijk exportproduct.

10. *Brabant reactieve variant*

De VOCl is aanwezig in een watervoerend pakket tot op circa 15 meter en het bioscherm, wat hiervoor wordt ontworpen is een infiltratie van elektronendonoren voor stimulering van de anaërobe reductieve dechlorering van de VOCl's.

11. *Slochteren/Schoonebeek*

De verontreinigingssituatie op deze twee locaties is dat gascondensaatverontreiniging (BTEX) op verschillende diepten in sterk anaërobe watervoerende pakketten is aangetroffen. Op beide locaties wordt een biologisch gestimuleerde zone getoetst, waarbij de natuurlijke anaërobe afbraak van BTEX wordt gestimuleerd door minimale zuurstofdosing. Hierbij wordt een initiële oxidatie van de BTEX-componenten geïnduceerd, waarna anaërobe afbraakprocessen met nitraat of sulfaat als elektronacceptoren de afbraak volledig maken. Op de locatie Schoonebeek is de pilotzone gelokaliseerd op een diepte van 5-10 meter; op de locatie Slochteren is deze gelokaliseerd op een diepte van circa 30 meter.

12. *IJzer (0) wall, gate/trench*

Deze techniek wordt gebruikt voor reductieve dechlorering van VOCl's door middel van een chemisch proces. IJzer (0) deeltjes fungeren hierbij als elektronendonoren en katalytisch oppervlak voor het dechloreringsproces. De techniek kan worden toegepast in een reactieve trench of in een zogenoemde funnel and gate-configuratie. In de USA zijn circa 40 semi-full-scale tot full-scale toepassingen; in Duitsland circa 3 en in Denemarken 2. In Nederland is deze techniek nog niet getoetst.

13. *Elektrobioschermen VOCl's*

Deze techniek kan worden gebruikt voor afbraak van VOCl's en nitraat en is zeer nieuw en nog niet in de praktijk getoetst. Het principe is dat met stroom en elektroden in situ elektron-donor (waterstof) en/of elektronacceptor (zuurstof) wordt geproduceerd. Micro-organismen gebruiken de donor of acceptor voor de afbraak van de contaminanten. In het laboratorium is dit proces bewezen.

9.2.2 *Indeling relevante kenmerken*

Om bovenstaande bioschermtoeepassingen met elkaar te kunnen vergelijken zijn deze getoetst aan een aantal criteria. De criteria worden gekenmerkt door een cryptische beschrijving. Er is een onderscheid gemaakt tussen systeemkarakteristieken (punt 1 t/m 4) en andere kenmerken met betrekking tot ontwikkelingsniveau en (on)zekerheid bij toepassing (punt 5 t/m 8).

De volgende criteria zijn benoemd:

1. *Funnel*

Hiermee wordt bedoeld het wel (100 %) dan niet (0 %) aanwezig zijn van een funnel ten behoeve van de sturing van grondwater naar het reactieve deel van een bioscherm.

2. *Bodem*

Aangegeven wordt de mate waarin het natuurlijke bodemcompartiment wordt gebruikt (100 %), dan wel dat het natuurlijke bodemcompartiment (deels) is vervangen door bodemvreemd materiaal (grind (70 %), compost, actief kool (100 %), ijzer (0), enz.).

3. *Procesactiviteit*

Hiermee wordt bedoeld de mate waarin tijdens de operationele fase van het bioscherm het proces actief wordt gestuurd en beïnvloed. Een airsparging systeem wordt hierbij als zeer procesactief beschouwd (90 %); toepassing van ORC of reductieve release compounds wordt bijvoorbeeld als zeer procesinactief aangemerkt (5 %).

4. *Procescomplexiteit*

Dit kenmerk gaat over het principe afbraakproces dat wordt gebruikt en in hoeverre dit proces overeenkomt met de van nature reeds aanwezige procescondities. Een voorbeeld van een eenvoudig proces is een stimulering van de natuurlijke reductieve dechlorering in een anaëroob watervoerend pakket (30 %). Een ingewikkeld proces is bijvoorbeeld de combinatie anaëroob/aëroob (80 %).

5. *Kennisniveau*

Het kennisniveau dat op dit moment bij de workshopleden c.q. NOBIS-participanten aanwezig wordt geacht. Als indicatieve maat wordt een bandbreedte van 45 tot 90 % gehanteerd.

6. *Langetermijn-betrouwbaarheid*

Er wordt een inschatting gegeven van de betrouwbaarheid van een bioschermtchniek over een termijn van 10 - 30 jaar.

7. *Status van ontwikkeling*

Bij de status van ontwikkeling wordt onderscheid aangebracht in de volgende categorieën:

- i idee;
- pl plan;
- pi pilot;
- sfs semi-full-scale;
- fs full-scale;
- pt proven technology.

8. *Flexibiliteit*

Bepaald wordt de mate waarin kan worden ingespeeld op onverwachte ontwikkelingen.

9.2.3 *Scoringstabel*

In tabel 16 zijn de bioschermttoepassingen (genoemd in 9.2.1) getoetst aan de criteria (genoemd in 9.2.2). Deze scoringstabel is de basis waar vanuit de bioschermproducten nader kunnen worden gekarakteriseerd (zie 9.3).

Tabel 16. Overzicht van bioschermtoeepassingen en score op basis van criteria (in %).

	Den Haag 1 ORC	Den Haag 2 beluchten	dweil	IAS-schermen Italië	pentium zone VOCl diepte pluim	hekwerk SNR/C trench/grind	hekwerk SNR/C zone	zone stortplaatsen	HCH/VOCl MCB	Brabant reactieve variant	Slochteren/Schoonebeek, sulfaat, micro-aerofiel	Fe wall, gate/trench	elektrobio VOCl's NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
funnel	100	100	20	0	0	0	0	0	0	100	0	0/100	100
bodem	100	100	10	0	0	70	0	0	0	0	0	100	0
procesactiviteit	0	70	0	90	60	90	90	20	60	80	70	0	50
procescomplexiteit	20	5	10	30	30	30	30	40	80	30	90	20	40
kennisniveau	60	80	90	90	60	80	90	45	45	50	45	50	20
langetermijn-betrouwbaarheid	80	90	90	80	60	70	80				60	50	
status van ontwikkeling	sfs	fs	fs	fs	pi	sfs	sfs	pl	i/pl	pl	pi	sfs	i
flexibiliteit	50	90		90	80	50	80				70	30	

### 9.3 Toepassingssituaties en bioschermp producten

In dit hoofdstuk (zie 9.3.1) zijn typerende verontreinigingssituaties c.q. toepassingssituaties voor bioschermen beschreven. Deze geselecteerde toepassingssituaties zijn representatief voor circa 90 % van de Nederlandse markt.

Op basis van de scoringstabel zijn bioschermp producten geïdentificeerd (zie 9.3.2). Voor de verschillende producten is de potentie getoetst voor verschillende toepassingssituaties (zie 9.3.3). Op deze manier zijn kansrijke bioschermp producten in de Nederlandse markt naar voren gebracht.

#### 9.3.1 Toepassingssituaties

Er zijn zeven toepassingssituaties gekozen. De workshopleden achten deze situaties representatief voor circa 90 % van de Nederlandse in situ bodemsaneringsmarkt.

Over het algemeen worden bioschermen gezien als toepassing voor verontreinigingen in watervoerende pakketten. Voornamelijk wordt ervan uitgegaan dat bioschermen die puur gericht zijn op het tegengaan van verspreiding van opgeloste componenten niet geschikt zijn om verspreiding van puur product tegen te gaan. Dat betekent dat plaatsing van een bioscherm stroomafwaarts van een puur product of bronzone moet plaatsvinden.

De volgende toepassingsituaties zijn onderscheiden:

1. verontreiniging met VOCI's in een diep watervoerend pakket op een industrieterrein;
2. verontreiniging met BTEX in een diepe ondergrond in een landelijk gebied;
3. verontreiniging met BTEX en minerale olie in een ondiepe ondergrond in een landelijk gebied
4. verontreiniging met VOCI's in een ondiep watervoerend pakket in stedelijk gebied;
5. verontreiniging met een cocktail van verontreinigingen (zware metalen, BTEX, PAK's, fenolen en cyanide) in een ondiep watervoerend pakket in een stedelijk gebied;
6. verontreiniging met een cocktail van verontreinigingen (zware metalen en organische componenten) in een diep watervoerend pakket in een landelijk gebied, bijvoorbeeld voormalige stortplaatsen;
7. EOX-verontreiniging van een industrieterrein met gechloreerde componenten, zoals HCH's, drins, PCB's, chloorbenzenen, enzovoorts, in een ondiep watervoerend pakket.

### 9.3.2 Bioschermproducten

De bioschermtoeepassingen, die zijn genoemd in de scoringstabel (zie tabel 16), zijn samengevat in de volgende bioschermproducten:

#### 1. *Solid phase trench*

Bij deze techniek wordt een trench gegraven. De oorspronkelijk aanwezige grond wordt verwijderd en vervangen door dragermateriaal. Dit dragermateriaal zorgt voor een langzame dosering van stoffen voor de afbraakreacties. Voorbeelden zijn de ijzer (0) trench en de compost/houtsnipper trench. Varianten Den Haag 1 ORC en de Fe wall uit de scoringstabel kunnen onder dit product vallen.

#### 2. *Biosparging fence*

In deze techniek wordt met luchtinfiltratiefilters zuurstof gedoseerd. Dit kan met verticaal of horizontaal geplaatste filters, eventueel in combinatie met een grindtrench. Voorbeeld is een biosparging fence voor een BTEX-verontreiniging. Varianten IAS-schermen Italië, hekwerk SNRC trench/grind en hekwerk SNR/C zone uit de scoringstabel kunnen onder dit product vallen.

#### 3. *Anaëroob infiltratiescherm*

Met deze methode wordt met een vloeistofinfiltratietechniek elektrondonor toegevoegd aan een watervoerend pakket ten behoeve van stimulering van reductieve dechlorering. Voorbeeld is de anaërobe stimulering van de afbraak van een VOCI-verontreiniging. Varianten pentium zone VOCI diepte pluim en Brabant reactieve variant uit de scoringstabel kunnen onder dit product vallen.

#### 4. *Combischerm*

In dit scherm worden verontreinigingen afgebroken die niet onder 1 redoxconditie volledig kunnen worden gemineraliseerd. Bijvoorbeeld de afbraak van HCH's moet in anaëroob starten, waarna onder aërobe condities de gevormde afbraakproducten (MCB, B) worden gemineraliseerd. Varianten HCH/VOCI MCB en eventueel Brabant reactieve variant uit de scoringstabel kunnen onder dit product vallen.

#### 5. *NA+-scherm*

Deze bioschermvariant poogt maximaal aan te sluiten op de reeds van nature optredende afbraakprocessen. Dat betekent dat met een zeer beperkte beïnvloeding de natuurlijke afbraak wordt geïnitieerd of gestimuleerd. Voorbeelden daarvan zijn minimale zuurstofinjectie voor initiatie van anaërobe BTEX-afbraak. De varianten dweil, zone stortplaatsen, HCH/VOCI MCB en Slochteren/Schoonebeek uit de scoringstabel kunnen onder dit product vallen.

De varianten 2 en 13 uit de scoringstabel (zie tabel 16) zijn niet ingedeeld onder één van de bovenstaande producten. Variant 2 is een constructie, waarbij gebruik wordt gemaakt van een

funnel en een ondergrondse bioreactor. Deze variant kan worden gezien als een vorm tussen een geavanceerde pump and treat methode en een bioschermtoepassing.

Voor bioschermtoepassing 13, het elektrobioscherm, geldt dat de werkzaamheid van de techniek zich in het laboratorium heeft bewezen, maar nog niet in de praktijk is getoetst. Of dit idee een werkelijk haalbare bioschermtoepassing zal worden, zal in de toekomst moeten blijken.

Met de percentages, genoemd in de scoringstabel, is het in principe mogelijk om een kwalificatie van verschillende bioschermproducten met betrekking tot kennisniveau, betrouwbaarheid, status van ontwikkeling en flexibiliteit te maken. In de workshop is deze actie niet uitgevoerd.

### 9.3.3 Productpotentie

De potentie van de vijf genoemde producten (zie 9.3.2) is getoetst. Daarbij is onderscheid gemaakt in niet haalbaar (niet), wel haalbaar onder bepaalde omstandigheden (wel, tenzij), haalbaar zonder restricties (wel) en een reeds op ruime schaal bewezen techniek (proven technology). Voor de zeven toepassingsgebieden is de potentie van de vijf bioschermproducten op die manier in kaart gebracht (zie fig. 6).

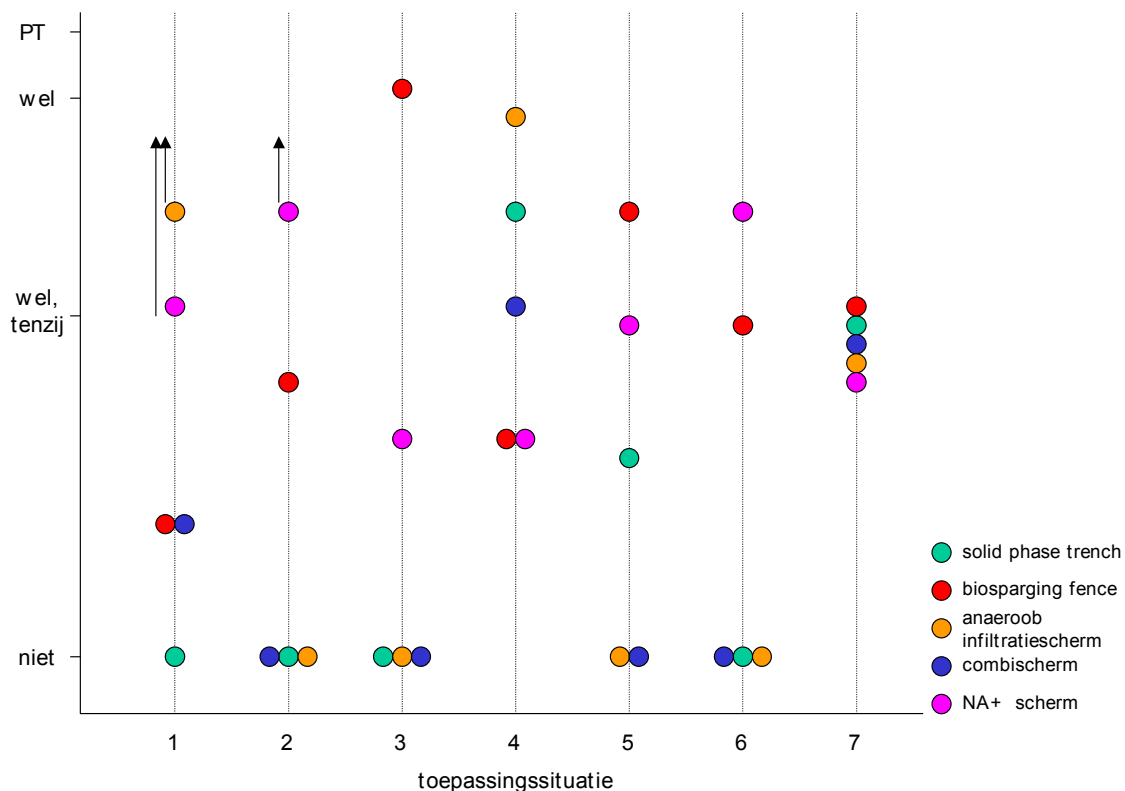


Fig. 6. Potentie van bioschermproducten onder verschillende toepassingsgebieden.

Uit figuur 6 komt naar voren dat één techniek zich in het stadium bevindt van zonder meer toepasbaar/proven technology, namelijk het biosparging fence onder toepassingsgebied 3 (BTEX, minerale olie, ondiep, stedelijk gebied). Daarnaast zijn er perspectieven voor deze techniek in toepassingsgebieden 5, 6 en 7 en in mindere mate voor de gebieden 1, 2 en 4.

Het tweede product dat hoog scoort in potentie en waarvoor een toename van deze potentie wordt verwacht in de toekomst is het anaërobe infiltratiescherm, met name voor chloorkoolwaterstof verontreinigde locaties.



De NA+-variant scoort hoog op vier toepassings situaties (1, 2, 5 en 6) en wordt voor twee toepassings situaties onder voorwaarde als haalbaar aangemerkt. Dit betekent dat dit product nu al in zeer veel situaties kan worden ingezet en dat wordt verwacht dat het aantal toepassingslocaties in de toekomst nog sterk zal toenemen.

De solid phase trench en het combischerm worden haalbaar geacht op slechts één toepassingsgebied (4: VOCl, ondiep, stedelijk gebied). Voor alle overige toepassings situaties komen deze technieken niet in aanmerking.

Zoals blijkt voor toepassingsgebied 7 is een uitkristallisatie van de haalbaarheid van de verschillende bioschermvarianten nog niet tot stand gekomen. Hiervoor is dus additioneel onderzoek vereist.

Bij de aanvang van de beoordeling van een oplossing voor een nieuwe verontreinigingssituatie verdient het aanbeveling allereerst een goede diagnosestelling van de probleemsituatie uit te voeren. Onder een diagnosestelling valt uiteraard een karakterisatie (b.v. de redoxomstandigheden en natuurlijke afbraakpotentie), een risicobeoordeling, een evaluatie van economische en ruimtelijke ordeningsaspecten en de locatiespecifieke mogelijkheden om van de aanwezige resources (b.v. gebruik van hemelwater, oxidatie/reductiecapaciteit in de bodem) optimaal gebruik te maken. Op basis van deze diagnosestelling en figuur 6 kunnen haalbare bioschermproducten worden geïdentificeerd.

Bij de workshopleden is getoetst welke producten de grootste kans hebben in de huidige markt en in die van de toekomst. Het anaërobe infiltratiescherm scoorde daarbij het hoogst, direct gevolgd door de NA+-variant. Het derde kansrijke product is het biosparging fence. Deze toetsing komt overeen met de uitkomst uit figuur 6.

#### **9.4 Aanbevelingen/toekomstige ontwikkelingen**

De bioschermproducten die aansluiten op reeds optredende natuurlijke processen (de NA+-variant en het anaërobe infiltratiescherm) blijken producten met een hoge potentie. Bovendien kan worden geconcludeerd dat investeringen ten behoeve van verdere ontwikkeling en toetsing in de praktijk gerechtvaardigd zijn.

Het biosparging fence wordt gezien als een betrouwbare techniek voor BTEX/minerale olieverontreinigingen. Dit product wordt ook voor andere toepassingsgebieden als perspectiefvol beschouwd. Investering voor toetsing en ontwikkeling van dit product voor die gebieden wordt dan ook aanbevolen.

Uit figuur 6 komt naar voren dat voor toepassingsgebied 7 nog niet is uitgekristalliseerd welk bioschermproduct als de beste oplossing kan worden gebruikt. Er is nader onderzoek nodig om deze discriminatie tot stand te kunnen brengen. De marktpotentie in Nederland voor dit soort bioschermproducten is aanwezig, doch in beperkte mate; in het nabije en verre buitenland komen dit soort verontreinigingssituaties zeer veel voor. Investering in onderzoek en ontwikkeling moet dan ook met name worden gezien in termen van exportproducten.

De solid phase trench is een haalbaar product in een beperkt toepassingsgebied (het ijzer (0) of compost/houtsnipperscherm op ondiepe VOCl-locaties). Bij investering in onderzoek en ontwikkeling dient met deze randvoorwaarde rekening te worden gehouden.

## PRODUCTGROEP BESLISONDERSTEUNENDE SYSTEMEN

### 10.1 Afbakening en definities

In deze workshop stonden 5 projecten centraal waarin is gewerkt aan beslissondersteunende systemen:

- Restrisk;
- Natuurlijke Afbraak (NA);
- Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten (RMK);
- Kosteneffectieve Verwijdering (KEV);
- Flexibele Emissie Beheersing (FEB).

Een korte beschrijving van de modellen staat in het tekstkader.

#### **Restrisk**

Restrisk is een model dat een voorspelling kan doen over de verspreiding van verontreinigingen en over het verloop van saneringen waarbij verspreiding het voornaamste bodemproces vormt (b.v. pump and treat). Het model houdt rekening met de meest belangrijke processen van verspreiding. De verspreidingsberekeningen kunnen worden gebruikt als input voor de bepaling van het verloop van risico's (humaan en ecologisch) in de tijd. Het systeem levert verder de input voor de bepaling van de wijze van monitoring. Het model heeft de potentie om (in de toekomst) voorspellingen te leveren over de bepaling van het tijdstip van beëindigen van saneringen. De opbouw van het model is conform een stappenplan, waardoor het model ook bij weinig gegevens een voorspelling kan leveren over het verspreidingsverloop.

#### **Natuurlijke Afbraak**

Een model om te beoordelen in welke mate natuurlijke afbraak van verontreinigingen optreedt en of de afbraak duurzaam is. Daarmee kan het model de technische haalbaarheid bepalen van de NA-variant. Bovendien is het een hulpmiddel bij de bepaling van de wijze van monitoring en bij de evaluatie van het verloop van de natuurlijke afbraak.

#### **RMK**

Een model voor het vergelijken van saneringsalternatieven. Hiertoe zijn de factoren die van invloed zijn op deze beslissing ingedeeld in de categorieën risicoreductie, milieuverdienste en kosten. Vervolgens worden deze factoren gekwantificeerd en met behulp van vaste wegingsfactoren worden indices gegenereerd. Op basis van deze indices kunnen de verschillende varianten worden vergeleken. Het model is niet normatief.

#### **KEV**

Eveneens een model voor het vergelijken van saneringsalternatieven. Het vormt tevens een hulpmiddel bij het stellen van het saneringsdoel. Hiertoe worden de factoren die van invloed zijn op de afweging van saneringsalternatieven ingedeeld in de categorieën kosten en effectiviteit. Kosteneffectiviteit is het verband tussen investeringen en opbrengsten. Investeringen zijn onder andere verwijderde vracht, investering in het milieu (milieueffecten andere compartimenten). Opbrengsten zijn onder andere verwijderde vracht, schone grond en risicoreductie.

#### **FEB**

Flexibele emissiebeheersing is een instrument dat kan worden gebruikt indien voor een gefaseerde aanpak wordt gekozen, waarbij wordt gestart met de minimaal noodzakelijke variant om het saneringsdoel te bereiken. FEB doet dit door een plan op te stellen voor monitoring, de monitoringsgegevens te interpoleren in een model en hieruit de te nemen maatregelen af te leiden.

### *Doelstellingen*

De kennisintegratiesessie beslisondersteunende systemen had de volgende doelstellingen:

- positioneren van afwegingsmodellen ten opzichte van de saneringspraktijk en onderling. Daarbij dient voor de aanwezigen een eenduidige perceptie te worden verkregen van de bestaande modellen;
- afstemming van de bestaande modellen ten opzichte van elkaar;
- het beschouwen van mogelijkheden voor nieuwe toepassingsgebieden van de bestaande modellen;
- het verbeteren van de externe communicatie aangaande de bestaande modellen;
- het onderling afstemmen en verbeteren van de databehoefte van de verschillende modellen.

### **10.2 Wat zijn beslisondersteunende systemen en waarom worden deze ontwikkeld?**

Beslisondersteunende systemen ondersteunen het nemen van beslissingen. Ze helpen de beslissers door de relevante criteria en gegevens aan te reiken op basis waarvan de beslissing kan worden genomen. Het beslisondersteunende systeem genereert de relevante criteria en gegevens (of helpt deze te genereren) op basis van:

- de voor het onderwerp relevante kennis en kennisregels, die in het systeem zijn opgenomen;
- de invoergegevens.

De aard en het type beslisondersteunende systemen kan verschillen van een simpele checklist of stappenplan tot een uitgebreid en geavanceerd computermodel. Daarnaast verschilt het type beslissingen en dus ook de doelgroep of gebruikers van het systeem. Sommige beslissingen hebben betrekking op hoofdlijnen (zoals de strategie, kosten, effectiviteit van maatregelen, keuze van variant) en worden genomen door eindgebruikers en bevoegd gezag. Andere beslissingen hebben betrekking op meer technische details, zoals uitwerking van het onderzoek en het detailontwerp. Deze beslissingen worden over het algemeen gedelegeerd naar adviseurs of aannemers.

Er is een aantal redenen om beslisondersteunende systemen te ontwikkelen:

- *Kwaliteitsborging en herkenbaarheid*  
Het gebruik van een beslisondersteunend systeem garandeert dat bepaalde kennis wordt gebruikt en dat de relevante gegevens worden verzameld. Het voorkomt dat steeds opnieuw het wiel wordt uitgevonden. Het zorgt voor een bepaalde uniformiteit en herkenbaarheid. Uniformiteit en herkenbaarheid zijn wenselijk als er consensus is over (1) de criteria die de beslissing bepalen en (2) de wijze waarop deze criteria kunnen worden bepaald.
- *Focussen op beslismomenten*  
Als het beslisondersteunende systeem een breed draagvlak heeft, hoeft er niet meer te worden gediscussieerd over de wijze waarop de gegevens zijn berekend. De betrokken partijen kunnen zich richten op de discussie over de consequenties en op de beslissing zelf.
- *Vaststellen van state of the art*  
De beschikbare kennis en de regels om ermee om te gaan vormen de ruggengraat van het beslisondersteunende systeem. Bij het ontwikkelen van het beslisondersteunende systeem moet de beschikbare kennis en ervaringen worden vastgelegd. Hierbij wordt direct duidelijk wat nog niet bekend is (inventarisatie van knelpunten). Daarnaast is er kennisintegratie nodig.
- *Bewerkstelligen van kennisintegratie*  
Een beslisondersteunend systeem heeft als doel breed te worden gebruikt in de praktijk. Dit perspectief maakt dat verschillende partijen het belangrijk vinden om bij het opstellen van een beslisondersteunend systeem betrokken te zijn. Dit opdat rekening wordt gehouden met hun kennis, inzicht en belangen. Het opstellen van een beslisondersteunend systeem kan een

manier zijn om de ideeën van de verschillende partijen te convergeren en hierdoor consensus tussen verschillende partijen te bewerkstelligen.

### 10.3 Positionering van beslisondersteunende systemen

Bij het positioneren van de beslisondersteunende modellen worden 2 invalshoeken gehanteerd:

- afwegingsproces varianten;
- plan-do-check cyclus voor de aanpak van bodemproblemen.

#### 10.3.1 Afwegingsproces varianten

In figuur 7 is een KEV-grafiek gegeven. De assen van de grafiek zijn de criteria op basis waarvan de afweging tussen de varianten wordt gemaakt. Bij KEV zijn dat effectiviteit en kosten-effectiviteit<sup>2</sup>. De assen zijn genormaliseerd, ze lopen van 0 naar 1.

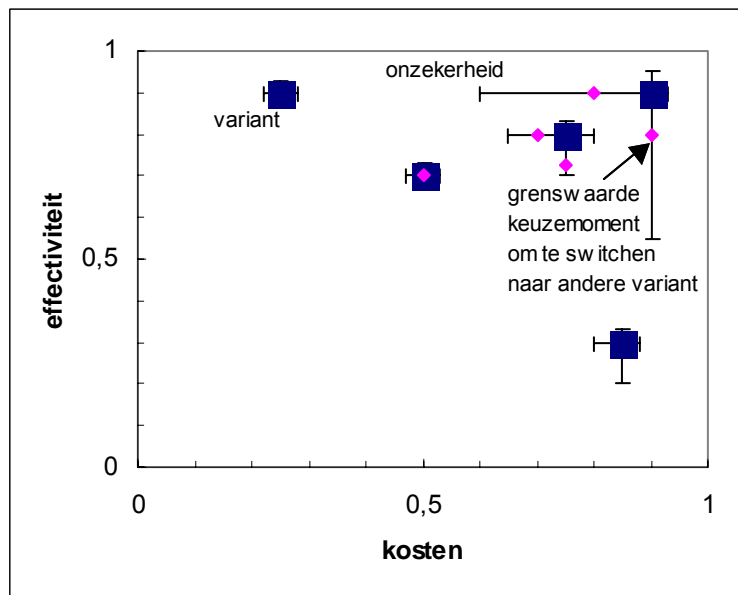


Fig. 7. Score van varianten.

Iedere bodemsaneringsvariant scoort op deze criteria. De afwegingsmodellen KEV en RMK leveren deze score. In figuur 7 zijn 5 varianten aangegeven. De meest ideale variant is de 1-1 variant. Deze variant heeft een hoge effectiviteit, maar kost niets. De variant die het ideale geval het dichtst benadert is de variant rechtsboven. Helaas blijkt uit het toepassen van het stappenplan voor de bepaling van de onzekerheid van de varianten dat deze variant een onzekere variant is.

Bij kosteneffectieve maar onzekere varianten zijn er 3 keuzemogelijkheden:

- *Verklein de onzekerheid door verder onderzoek.* Denk bijvoorbeeld aan nader onderzoek voor de bepaling van parameters en de snelheid van natuurlijke afbraak of aan pilotonderzoek ten behoeve van het vaststellen van de haalbaarheid of voor de vaststelling van het detailontwerp. Stappenplannen voor de bepaling (technische) van de haalbaarheid van varianten (zoals beslismodel voor natuurlijke afbraak) kunnen hierbij helpen.
- Kies een variant die minder kosteneffectief is, doch een grotere zekerheid heeft.

<sup>2</sup> Voor RMK kan een vergelijkbare grafiek gemaakt worden met Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten op de assen (de figuur wordt dan dus driedimensionaal).

- *Implementeer de variant, monitor de performance en switch naar een ander variant als de variant tegenvalt.* Voor deze keuze helpen modellen als FEB bij het vaststellen van de acceptabele grenswaarde en bij het opstellen van het monitoringsschema.

Een model als Restrisk laat zich niet gemakkelijk plaatsen in het afwegingsproces varianten of in de plan-do-check cyclus. Restrisk richt zich op een technisch deelaspect (beschrijven en voorstellen van verspreiding) en is als het ware 'dienstverlenend' aan andere systemen, zoals RMK, KEV, natuurlijke afbraak en FEB.

### 10.3.2 Plan-do-check cyclus voor de aanpak van bodemproblemen

In figuur 8 is schematisch een plan-do-check cyclus voor de aanpak van bodemproblemen gegeven. De plan-do-check cyclus geeft de (belangrijkste) beslismomenten aan. De cyclus illustreert dat bodemsanering een continu en locatiespecifiek proces is. Tijdens de uitvoering van de sanering worden gegevens verzameld. Het conceptuele model van de locatie wordt steeds realistischer, hetgeen kan leiden tot aanpassing van de aanpak of zelfs van de saneringsdoelstellingen. De plan-do-check cyclus wordt dan dus meerdere keren doorlopen.

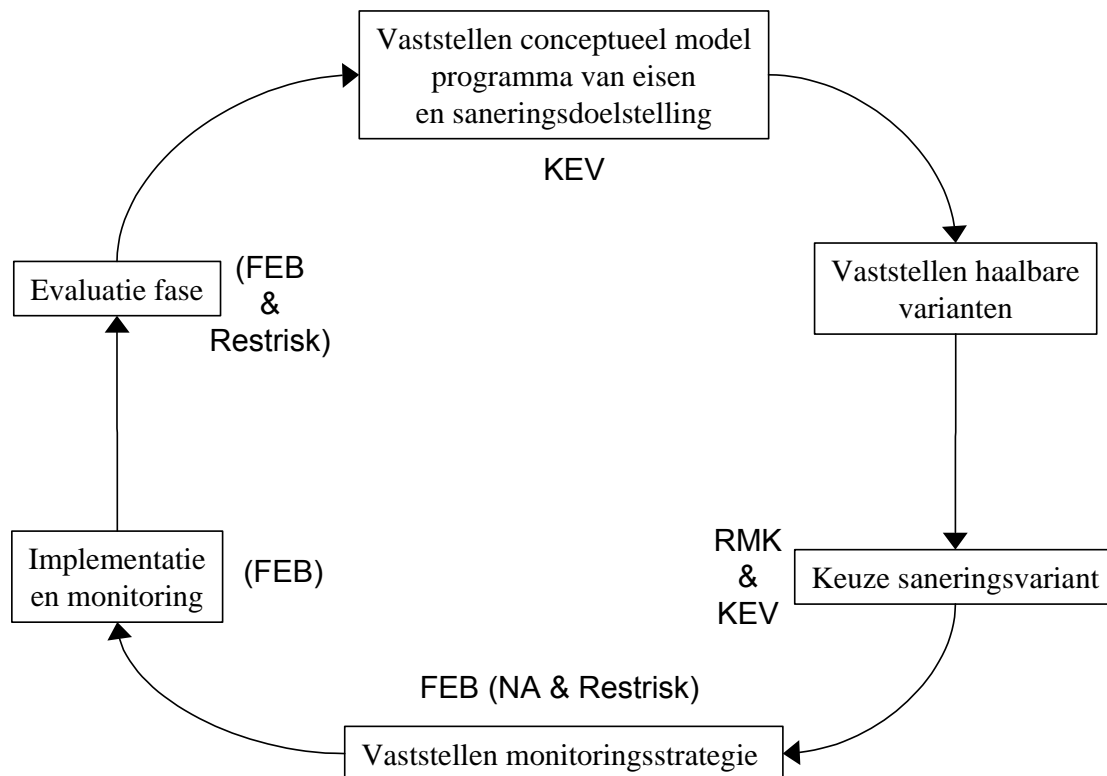


Fig. 8. Schema voor beslismomenten.

Verder is in figuur 8 aangegeven bij welk beslismoment welk type beslisondersteunend model kan worden gebruikt. Voor de in de workshop besproken modellen komen de volgende beslismomenten naar voren:

- KEV: Primair een afwegingsmodel dat gebruikt wordt bij keuze saneringsvariant. Daarnaast kan het worden gebruikt voor het vaststellen van de saneringsdoelstelling (vaststellen conceptueel model van het geval en programma van eisen).
- RMK: Afwegingsmodel dat wordt gebruikt bij keuze saneringsvariant.

- NA:  
Primair een model dat de haalbaarheid van de variant voor natuurlijke afbraak vaststelt (vaststellen haalbare varianten). Daarnaast kan het worden gebruikt bij het meten en monitoren (vaststellen monitoringsstrategie voor natuurlijke afbraak).
- FEB:  
Primair een model dat gebruikt wordt bij meten en monitoren (vaststellen monitoringsstrategie). Daarnaast kunnen deelaspecten worden gebruikt bij de implementatiefase (vaststellen acceptabele bandbreedte bij onzekere varianten en vastleggen alternatieve strategieën) en bij de evaluatiefase (vaststellen of bandbreedte wordt overschreden en welke alternatieve strategie moet worden gevolgd).
- Restrisk:  
Primair een stappenplan voor beschrijving van processen (niet te positioneren in plan-do-check cyclus). Daarnaast kunnen deelaspecten worden gebruikt bij implementatiefase (ondersteunende dimensionering pump and treat saneringen), meten en monitoren (ondersteunen vaststellen monitoringsstrategie) en evaluatiefase (scenario berekeningen ter bepaling van keuze doorgaan, stoppen of aanpassen).

## 10.4 Discussie over de beslisondersteunende systemen en aanbevelingen

### 10.4.1 'Core competence' van de ontwikkelde systemen

In de kennisintegratiesessie is geprobeerd het hoofdtoepassingsgebied van het ontwikkelde systeem te identificeren. Dit is het toepassingsgebied waar we ons bij communicatie rondom de systemen en bij verdere ontwikkelingen van het systeem primair op moeten richten. Het geïdentificeerde hoofdtoepassingsgebied kan sterk afwijken van de oorspronkelijke doelstelling van het project. Zo staat Restrisk's stappenplan voor verspreiding ver af van een model voor het inschatten en omgaan met risico's van restverontreinigingen.

Sommige systemen overlappen sterk, bijvoorbeeld: bij afweging saneringsvarianten: KEV en RMK (beide hoofdtoepassingsgebied) en bij meten en monitoren: FEB (hoofdtoepassingsgebied) en NA (neventoepassingsgebied). Andere systemen vullen elkaar aan, zo kan Restrisk's stappenplan voor verspreiding worden gebruikt bij het berekenen van de verspreidingsrisico's in RMK. Bij verdere ontwikkeling van de modellen moet worden gezorgd voor een goede afstemming en samenhang tussen de beslisondersteunende modellen.

### 10.4.2 Gebruik van modellen en databehoeftes

Beslisondersteunende modellen worden ontwikkeld om breed te kunnen worden gebruikt. In de praktijk valt het gebruik tegen. Een oorzaak hiervan kan de te grote databehoeftes zijn die de modellen vragen of onduidelijkheid rondom de databehoeftes.

Dit blijkt voor FEB, Restrisk en NA zeker niet het geval te zijn. De databehoeftes zijn goed gedefinieerd en volgt direct uit de systematiek. Door een fasering aan te brengen in de vorm van een stappenplan is bij Restrisk en NA het al mogelijk om uitspraken te doen op basis van een gering aantal gegevens. De toepasbaarheid van deze modellen is ook getest op relatief kleine praktijkcases (geen cases met 'gouden kranen').

Bij RMK en KEV komt een minder duidelijk beeld naar voren. De selectie van varianten vindt vaak stap voor stap plaats. Bij de eerste selectie en bij kleine gegevens zijn nog onvoldoende gegevens voorhanden. Voor eenvoudige beslissingen met beperkte informatie wordt veelal een plus-min tabel gebruikt. Voor zware beslissingen met veel factoren kunnen modellen als RMK uitkomst bieden.

Uit de discussie blijkt dat de modellen eigenlijk al vrij vroeg in het afwegingsproces en op basis van weinig harde gegevens kunnen worden gebruikt. De ontbrekende parameters kunnen vaak

op basis van het conceptuele model goed genoeg worden geschat. Het gebruik van RMK en KEV voor een eerste screening van varianten vindt nog weinig plaats.

#### 10.4.3 *Maak een RMK- of KEV-checklist*

Door het maken van een beknopte checklist of een basis plus-min tabel wordt het gedachtegoed van RMK en KEV beter beschikbaar en eerder gebruikt. Het verlaagt tevens de drempel voor het gebruik van het 'grotere' RMK-model.

#### 10.4.4 *Integratie van afwegingsmodellen KEV en RMK*

De modellen KEV en RMK bezitten een groot aantal overeenkomsten. Het aanbrengen van onderscheid voor toepassingsgebieden tussen beide modellen is moeilijk te realiseren. De verschillen liggen met name in de wijze van presenteren. Tijdens de KISs is voorgesteld om beide modellen samen te voegen en te presenteren als een nieuwe generatie van RMK. Dit vanwege het draagvlak dat reeds is verkregen met het huidige model.

In plaats van 'het enige' afwegingsmodel is het raadzaam te kiezen voor een centraal 'rekenhart' met verschillende presentatie 'interfaces'. De ene interface geeft de kosteneffectiviteit, de andere de R, M en K en weer een andere geeft de parameters die in het kader van andere systematieken ontwikkeld zijn. De gebruiker kan dan zelf bepalen op basis van welke criteria hij de beslissing wil nemen.

#### 10.4.5 *Ontwikkelingsplatform voor beslisondersteunende modellen*

Voor het ontwikkelen van een visie omtrent de gewenste ontwikkelingsrichtingen is het aan te bevelen een platform op te richten. Dit platform dient jaarlijks consensus te krijgen over de ontwikkelingsrichtingen van de verscheidene producten (afstemmingsmomenten). Daarbij moeten de gedachten achter de modellen worden gekoppeld, maar niet de instrumenten zelf. Het is niet de bedoeling één overkoepelend model te verkrijgen.

De externe communicatie over de diverse producten dient op elkaar te worden afgestemd. De eindgebruiker moet een duidelijk beeld krijgen wanneer welke ondersteunende modellen kunnen worden gebruikt. Ook dient expliciet te worden vermeld welke databehoeften de diverse producten hebben.

## PILOT KENNISINTEGRATIESESSIE PROCESMONITORING

### 11.1 Afbakening en definities

Het na te streven *ideaalbeeld* van monitoring is dat de beschikbare technieken voor de bepaling van de sturingsparameters en toestandvariabelen onderhoudsvriendelijk zijn en automatisch de gegevens doorgeven. Hiermee kan op ieder gewenst moment het functioneren van het systeem worden gecontroleerd of bijgestuurd. De *praktische* monitoringsstrategie en keuze voor gebruikte technieken wordt beïnvloed door:

- motieven en doelstellingen procesmonitoring;
- beschikbare technieken;
- de snelheid van processen in de bodem, gedurende de uitvoering;
- verlangde betrouwbaarheid en nauwkeurigheid;
- beschikbaar budget;
- praktische aspecten, zoals bijvoorbeeld de mogelijkheid te combineren met periodiek onderhoud.

De verschillende aspecten worden in de volgende paragrafen toegelicht. Tabel 17 geeft een overzicht van de typen monitoring in relatie tot onder andere de typen meetapparatuur en monstername. Tabel 18 geeft een overzicht van de gehanteerde definities.

Tabel 17. Overzicht van typen monitoring in relatie tot onder andere typen meetapparatuur en monstername.

type monitoring	nr.	type metingen	frequentie onderhoud en ijking	monstername	type meet-apparatuur
on line	1	continu	geïntegreerd of weken/maanden	geïntegreerd	C1
	2	continu	geïntegreerd of weken/maanden	automatisch	C2
on site	1	continu	geïntegreerd of weken/maanden	handmatig of semi-automatisch	C2
	2	continu	< weken	geïntegreerd	C1k
	3	continu	< weken	automatisch	C2k
	4	handmatig of semi-continu	geïntegreerd of weken/maanden of < weken	geïntegreerd	H
	5	handmatig of semi-continu	geïntegreerd of weken/maanden of < weken	handmatig of (semi-) automatisch	H
off site	1	laboratorium	n.v.t.	handmatig of (semi-) automatisch	L
	2	laboratorium	n.v.t.	automatisch	L



Tabel 18. Gehanteerde definities.

Begrip	Definitie
Procesmonitoring	Het, gedurende de uitvoering van de sanering, in de tijd volgen van de parameters die kosteneffectief de voor de saneringsdoelstelling essentiële processen en parameters weergeven en het mogelijk maken die processen te sturen.
Reinigingsindicatoren	De parameters (of het verloop ervan) die kunnen worden gemeten voor het bepalen van de orde van grootte van de reinigingsprocessen. Denk aan verbruik van substraat en elektronacceptoren, veranderingen in redoxtoestand, snelheid van nalevering vanuit vaste fasen naar mobiele fasen en het concentratieverloop van de verontreinigingen. Bij het testen van het saneringsconcept wordt meestal een combinatie van indicatoren bepaald om de orde van grootte van de reinigingsprocessen te bepalen.
Sturingsparameters	De sturingsparameters geven aan in hoeverre het systeem de optimale condities voor reiniging in de bodem bewerkstelligt. Deze, bij voorkeur eenvoudig te meten parameters, geven én een indicatie van de reinigingsprocessen (behoren dus ook tot de reinigingsindicatoren) én een directe indicatie voor de werking van het systeem. Een voorbeeld van een sturingsparameter is de zuurstofconcentratie in de luchtfase bij bioventing. Bij aërobe afbraak moet voldoende zuurstof aanwezig zijn. Het ventileren van de bodem moet hiervoor zorgen; de zuurstofconcentratie is een indicator of dit in voldoende mate gebeurt. Tijdens vooronderzoek of ontwerp wordt vastgesteld welke sturingsparameters het best geschikt zijn.  De sturingsparameter kan worden gemeten in de bodem op de plek waar de reinigingsprocessen plaatsvinden, in injectie- of onttrekkingsfilters of in verzamelleidingen. In het vooronderzoek moet worden vastgesteld in hoeverre de metingen in het filter of de verzamelleidingen representatief zijn voor processen in de bodem.
Systeempparameters	De systeempparameters geven aan of de hardware van het systeem werkt: doen de pompen het nog, lopen de debieten niet te snel terug, enzovoorts. Het meten van de systeempparameters heeft tot doel het op tijd kunnen ingrijpen als er storingen of calamiteiten zijn. De systeempparameters moeten bij voorkeur on line worden gemeten.
On site meten	Metingen die op de locatie worden uitgevoerd, waarbij het vanwege één of andere reden (kosten, frequente ijking, handmatige monsternamen of meting) niet mogelijk is de metingen continu of volautomatisch uit te voeren.
On line meten	Het continu en volautomatisch meten van parameters in de bodem of in een processtroom (b.v. onttrokken lucht of water). De geregistreerde gegevens worden (bij voorkeur automatisch, b.v. via modem of telemetrisch) doorgestuurd naar een centrale plaats (b.v. kantoor van aannemer of adviesbureau). De metingen worden op locatie uitgevoerd.
Off site metingen	Metingen waarbij na monsternamen de bepalingen van concentraties in een laboratorium worden uitgevoerd.
Sturing	Het aansturen van installaties op basis van monitoringsgegevens.

## 11.2 Doelstellingen en motieven voor procesmonitoring

De doelstellingen en motieven voor procesmonitoring zijn weergegeven in tabel 19.

Tabel 19. Doelstellingen en motieven voor procesmonitoring.

doelstellingen en motieven	type parameters	frequentie metingen	nauwkeurigheid
bepalen technische haalbaarheid			
testen saneringsconcept	reinigingsindicatoren	enkele keren gedurende de pilot	semi-kwantitatief
verkrijgen dimensioneringsparameters	sturingsparameters	hoog gedurende test; afhankelijk van de tests hoge frequentie in de tijd of veel metingen in de ruimte (b.v. met invloedstraal)	afhankelijk van de test; kwalitatief of semi-kwantitatief
inregelen, optimaliseren en sturing systeem	sturingsparameters	periodiek voor het systeem; hoge frequentie gedurende de tests	semi-kwantitatief; meting gericht op respons systeem
controle werking systeem	systeempparameters	continu	kwalitatief
controle saneringsdoelstellingen	concentraties verontreinigde stoffen	periodiek (maanden, jaren)	kwantitatief; hoge nauwkeurigheid om vergelijking met normen mogelijk te maken

Er bestaat een aantal motieven voor procesmonitoring van in situ saneringen, te weten:

1. *Bepalen technische haalbaarheid* van het saneringsconcept door middel van een pilotplant (haalbaarheid en ontwerpfase). Dit kan twee doelstellingen hebben:
  - *Testen saneringsconcept*. Dat wil zeggen bepalen of het saneringsconcept daadwerkelijk valt te realiseren (b.v. of er voldoende anaërobe afbraak optreedt). De monitoring is gericht op het verloop van reinigingsindicatoren (ofwel de parameters die de orde van grootte van de reinigingsprocessen bepalen). Meestal wordt volstaan met het bepalen van de trend in deze parameters door deze een aantal keren gedurende de pilot te meten.
  - *Verkrijgen dimensioneringsparameters* (zoals b.v. invloedstraal). De monitoring is gericht op het verkrijgen van de parameters die voor het onderwerp nodig zijn en op het vaststellen van de geschikte sturingsparameters. De parameters worden vaak gemeten door de respons van het systeem te meten (hoge meetfrequentie in de tijd noodzakelijk) of door veel metingen in het bodemsysteem (veel metingen in de ruimte). De absolute waarde van de parameters zijn veelal minder relevant. Het gaat om trend in ruimte of tijd. Er kan worden volstaan met semi-kwantitatieve en soms zelfs met kwalitatieve metingen.
2. *Inregelen, optimaliseren en de sturing* van het systeem (uitvoeringsfase). Bij de aanvang van de uitvoering wordt het geïnstalleerde systeem getest en ingeregeld. De monitoring richt zich op de sturingsparameters en veelal wordt vooral gekeken naar de respons van het systeem. De absolute waarde van de parameters zijn veelal minder relevant. Er kan worden volstaan met semi-kwantitatieve en soms zelfs met kwalitatieve metingen. Omdat de reinigingsprocessen niet snel verlopen (saneringsduur van maanden tot enkele jaren), hoeft het systeem niet continu te worden bijgestuurd. Wel is aan te bevelen een aantal keren gedurende de sanering de installatie 'door te meten' en de sturing aan te passen.
3. *Controle werking systeem*. De monitoring is gericht op het checken of de hardware werkt (pompen, blowers, checken van de status van de kleppen en verandering van het debiet van infiltratie en onttrekking, enz.). Bij voorkeur vindt monitoring on line plaats met hoge frequentie (uren, dagen). Over het algemeen voldoet kwalitatieve informatie (werkt het wel of niet)
4. *Controleren saneringsdoelstellingen* van het systeem (uitvoeringsfase). Hier komen pas de saneringsparameters ter sprake. Het doel is het verloop van de sanering te monitoren. De

processen die worden beschouwd verlopen langzaam. Het betreft absolute metingen met een relatief lage frequentie.

### 11.3 Bodemprocessen en meetfrequentie

De saneringsduur van maanden tot enkele maanden geeft aan dat de snelheid van de in situ reinigingsprocessen klein is. Dit betekent dat het niet noodzakelijk is om continu de saneringsdoelstellingen te controleren. Er kan met periodieke monitoring worden volstaan.

Bij intensieve saneringen wordt lucht en/of water al dan niet verrijkt met hulpstoffen of voedingsstoffen geïnfiltreerd of onttrokken. Bij het aanzetten van het systeem zal de toestand van de bodem (meetbaar in parameters als redox, zuurstofgehalte, concentratie van geïnfiltreerde stoffen) relatief snel veranderen. Naar verloop van tijd zal voor een bepaald regime een 'steady state' situatie ontstaan. De snelheid waarin de steady state wordt bereikt verloopt het snelst bij bodemluchtextractie (uren - dagen), gevolgd door persluchtinjectie (uren - weken), intensieve in situ infiltratie en grondwateronttrekking (veel kleine filters) (dagen - maanden), extensief in situ of grondwaterbeheerssysteem (enkel deep-wells) (weken - jaren). Naast techniekeuze en dimensionering speelt verder de samenstelling van de verontreiniging (meer of minder wateroplosbaar, meer of minder vluchtig, meer of minder afbreekbaar), de doorlatendheid en het bufferend vermogen van de bodem een rol bij de snelheid van het bereiken van de steady state.

Bij het inregelen van het systeem wordt de gewenste steady state gezocht. Er wordt aan de knoppen gedraaid en de (respons van de) sturingsparameters gemeten totdat de optimale instellingen worden gevonden. Voor het registreren worden bij voorkeur continue metingen, met geïntegreerde of automatische monsternamen (on line of on site monitoring) gebruikt.

Als gevolg van de relatief trage reinigingsprocessen zal het verloop in de steady state langzaam en geleidelijk zijn (maanden, jaren). Er kan dus worden volstaan met het periodiek verifiëren of de steady state niet te sterk is verlopen. Als dat het geval is, moet het systeem worden bijgesteld. Omdat de steady state niet snel verloopt, is het niet noodzakelijk de belangrijkste sturingsparameters continu en hoogfrequent te weten. Veelal kan worden volstaan met off site metingen, waarbij de monsternamen plaatsvindt tijdens het reguliere periodieke onderhoud van de installatie.

De systeemcontroleparameters moeten bij voorkeur on line worden gemeten. Op deze wijze kan de werking van het systeem worden geverifieerd: doen de pompen het nog, lopen de debieten niet te snel terug, enzovoorts. Het meten van de systeemcontroleparameters heeft tot doel het op tijd kunnen ingrijpen als er storingen of calamiteiten zijn.

### 11.4 Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid

Iedere meetstrategie moet leiden tot voldoende betrouwbare en nauwkeurige gegevens (in tijd en/of in ruimte). Dit is een open deur en er zijn in de (geo-)statistiek en bodemkunde voldoende methoden ontwikkeld om een dergelijke meetstrategie te bepalen. Binnen NOBIS-verband is in het FEB-verband een methodiek uitgewerkt voor het bepalen van een meetstrategie voor het voldoende nauwkeurig bepalen van de verspreiding (gegeven bepaalde doelstellingen).

In elke reeks metingen zit een aantal fouten en onregelmatigheden ingesloten:

1. een onnauwkeurigheid als gevolg van fouten in de meetapparatuur;
2. een onnauwkeurigheid als gevolg van systeemvolkomenheden (werking van filters, enz.);
3. een onnauwkeurigheid als gevolg van de variatie in de monsternamen en de representativiteit van de monsternamen;
4. kortetermijn-fluctuatie van de meetgegevens, de scatter; over het algemeen is deze storing ongewenst en dient diensgevolge eruit te worden gehaald;

5. langetermijn-fluctuatie van meetgegevens: seizoeninvloeden, enzovoorts;
6. variatie als gevolg van de heterogeniteit.

De meetstrategie moet zodanig zijn dat zowel de onnauwkeurigheden en scatter worden bepaald als de langetermijn-effecten. Dit kan ertoe leiden dat een meetmethodiek met een hogere frequentie of nauwkeurigheid gewenst is dan uit oogpunt van de snelheid in het verloop van processen of van de doelstellingen noodzakelijk lijkt.

De scatter en onnauwkeurigheden zorgen voor een standaarddeviatie in de meetgegevens. Deze kan worden bepaald door:

1. met voldoende hoge frequentie te meten en de meetgegevens statistisch te middelen; indien de deviatie constant blijkt te zijn in de praktijk kan hiermee worden gerekend. De meetfrequentie kan dan omlaag;
2. hiermee intrinsiek in de meettechniek rekening te houden en direct om te laten rekenen.

De langetermijn-fluctuaties (bijvoorbeeld seizoeninvloeden) en de variatie als gevolg van de heterogeniteit kunnen alleen worden vastgesteld als er voldoende vaak wordt gemeten (respectievelijk in tijd of ruimte). De frequentie zal lager zijn dan bij het bepalen van de scatter. Inzicht in de fluctuaties en de heterogeniteit is bijvoorbeeld relevant voor het monitoren van de saneringsdoelstellingen. Het relativeert plotselinge stijgingen en dalingen.

#### 11.5 Praktische randvoorwaarden

Bij het ontwerp en de selectie van het monitoringssysteem moet rekening worden gehouden met praktische randvoorwaarden, zoals:

1. *Systeem bij ontwerp geschikt maken voor monitoren*  
Een in situ systeem bestaat uit verschillende filters (monitoringsfilters, infiltratiefilters en onttrekkingsfilters), leidingen en verzamelleidingen. In de praktijk blijft de monitoring beperkt tot enkele filters en verzamelleidingen. Door ook bij ander leidingen en filters monsterpunten aan te brengen, kan gedurende de uitvoering gemakkelijk de monitoringsstrategie worden aangepast.
2. *Samenloop met periodiek onderhoud*  
In verband met het onderhoud van de installatie zijn periodiek mensen aanwezig. Hiervan kan bij de monitoring gebruik worden gemaakt. Ze kunnen monsters nemen en de geïnstalleerde apparatuur controleren en ijken. Deze samenloop kan een aanzienlijke kostenbesparing opleveren.

#### 11.6 Technieken

Een meting komt tot stand door monsternamen gevolgd door de bepaling van de gewenste parameters door de meetapparatuur. Ten aanzien van de monsternametechnieken wordt onderscheid gemaakt in:

1. *geïntegreerde monsternamen*: monsternamen maakt onderdeel uit van het meetapparaat;
2. *automatische monsternamen*: bijvoorbeeld een automatisch kleppensysteem waardoor periodiek een monster wordt genomen dat vervolgens door de meetapparatuur wordt gemeten;
3. *semi-automatische monsternamen*: automatische monsternamen waar periodiek menselijk handelen nodig is (b.v. weghalen van gevulde monsterflesjes en bijzetten van nieuwe);
4. *handmatige monsternamen*.

In tabel 17 is een categorisering gegeven van verschillende meetapparatuur of analysetechniek op basis van type metingen, frequentie metingen, onderhoud en ijking. De nauwkeurigheid van de meetapparatuur kan verschillen (*kwalitatief*, *semi-kwantitatief* en *kwantitatief*).

In de proefsessie is er door de deelnemers niet aan toegekomen de indeling te complementeren met de in de markt beschikbare apparatuur. Uit ervaringen en literatuuronderzoek in de projecten 'biologisch hekwerk' en 'on line monitoring' komt naar voren dat er vooral voor metingen van concentraties in de waterfase nog onvoldoende goedkope, robuuste en nauwkeurige sensoren aanwezig zijn. Daarnaast is het automatisch en betrouwbaar bemonsteren van het grondwater niet eenvoudig. Derhalve is er behoefte aan goedkope, robuuste en nauwkeurige sensoren met geïntegreerde monsternamen die hangend in een monitoringsfilter of ingegraven in de bodem de samenstelling van het grondwater meten.

#### *Kosten van meettechnieken*

De kosten van een meettechniek zijn slechts een onderdeel van de projectkosten. De keuze voor een bepaalde techniek dient dan ook te worden beschouwd op basis van de overige onderdelen in een project, zoals afstand tot de locatie, overige motieven van terreinbezoek, reizen in relatie tot de kosten voor continue metingen, enzovoorts. Vanwege de kosten van de apparatuur en de noodzaak deze periodiek te ijken en kalibreren worden on line technieken nog maar beperkt ingezet bij sturing van in situ systemen. Wel is er, mede door het NOBIS-onderzoek, een trend om gedurende de inregel- of bijregelfase continue meettechnieken 'on site' in te zetten. Voor de procescontrole worden on line technieken wel veelvuldig gebruikt, omdat hiervoor wel robuuste en goedkope meettechnieken beschikbaar zijn.

### **11.7 Conclusies en aanbevelingen**

Het gebruik van on line meetapparatuur bij de uitvoering en sturing van in situ sanering staat nog in de kinderschoenen. Er is behoefte aan:

1. succesvolle demonstratie van de on line sturing;
2. goedkope, robuuste en nauwkeurige sensoren met geïntegreerde monsternamen die hangend in een monitoringsfilter of ingegraven in de bodem de samenstelling van bodemlucht en grondwater meten en (telemetrisch of via modem) naar een basisstation doorsturen.

## BIJLAGE A

### DEELNEMERSLIJST KENNIS INTEGRATIE SESSIES

#### **Workshop 1            Laboratoriumexperimenten**

B. van de Griff (NITG TNO)  
E. van Heiningen (TNO-MEP)  
P.A. Alphenaar (Tauw bv)  
H. van Verseveld (Vrije Universiteit Amsterdam)  
F. Volkering (MTI)  
J. van der Waarde (Bioclear B.V.) **trekker**  
H. de Kreuk (Grondmechanica Delft)  
T. Grotenhuis (Landbouwuniversiteit Wageningen)  
J. Gerritse (TNO-MEP)  
L. Schipper (IWACO B.V.) **voorzitter**

#### **Workshop 2            Geofysica**

J. Meekes (NITG TNO)  
L. Vasak (NITG TNO)  
K. Weytingh (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)  
H. Leenaers (NITG TNO) **trekker**  
D. van der Roest (MAP)  
D. Brasser (MAP)  
A. Hensums (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)  
J.K. van Deen (Grondmechanica Delft)  
M. van de Rijst (Geofox)  
D. van Ree (Grondmechanica Delft)  
H.M.C. Satijn (IWACO B.V.) **voorzitter**

#### **Workshop 3            Saneringsconcepten CKW**

F. Spuy (Tauw bv)  
Y. Booijink (TNO reinigingstechnieken)  
T. Bosma (TNO-MEP) **trekker**  
P. Doelman (IWACO B.V.)  
Van Bommel (Bioclear B.V.)  
H. de Kreuk (BioSoil)  
O. Voorwinde (Grondmechanica Delft)  
M. van Zutphen (NITG TNO)  
E. ten Brummeler (Arcadis Heidemij Realisatie)  
L. Schipper (IWACO B.V.) **voorzitter**

#### **Workshop 4            Dimensionering water en lucht**

L. Vasak (NITG TNO)  
J. Slenders (TNO-MEP)  
J. Hullegie (HMVT)  
A. van de Velde (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)  
L. Bakker (Tauw bv)  
A. Otten (Tauw bv) **trekker**  
C. Pijls (Tauw bv)

O. Akkerman (IWACO B.V.)  
J.W. Meertens (BioSoil)  
R. Stroet (Grondmechanica Delft)  
H. de Wit (Tauw bv) **voorzitter**  
D. van Ree (Grondmechanica Delft)

#### **Workshop 5            Bioschermen**

E. Marnette (Tauw bv)  
P. Vis (Ecotechniek)  
R. Koenraadt (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)  
H. Rijnaarts (TNO-MEP) **trekker**  
M. Heijnen (IWACO B.V.)  
B. van Winden (Arcadis Heidemij Realisatie)  
H.M.C. Satijn (IWACO B.V.) **voorzitter**

#### **Workshop 6            Proceskarakterisatie**

J. Meima (NITG TNO)  
C. van den Brink (IWACO B.V.)  
H. van Liere (TNO-MEP)  
T. Heimovaara (IWACO B.V.)  
K. Weytingh (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.) **trekker**  
S. Keuning (Bioclear B.V.)  
H. Tonnaer (Tauw bv)  
F. Weststrate (Grondmechanica Delft)  
H. de Wit (Tauw bv) **voorzitter**

#### **Workshop 7            Afwegingsmodellen**

E. Schurink (Grondmechanica Delft)  
M. Nijboer (Tauw bv)  
L. Schelwald-van der Kley (Schelwald-van der Kley)  
H. Vermeulen (NOBIS) **voorzitter**  
J. Okx (Tauw bv)  
E. Beinat (Instituut voor Milieuvraagstukken)  
P. van Mullekom (Provincie Utrecht)  
C. van den Brink (IWACO B.V.)  
M. de Muinck Keizer (Grondmechanica Delft)  
R. Hetterschijt (NITG TNO)  
A. Sinke (TNO-MEP)