

NOBIS

Ontmanteling in-situbiorestauratie Asten

Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In-situ Sanering

NOBIS

ONTMANTELING  
IN-SITUBIORESTAURATIE ASTEN

ir. H. Slenders (IWACO)  
ir. R.E. Lapperre (IWACO)  
drs. A. Mayer (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)  
ir. K.R. Weytingh (Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.)

oktober 1998

Gouda, CUR/NOBIS

Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In-situ Sanering

**Auteursrechten**

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

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Ontmanteling in-situbiorestauratie Asten", oktober 1998, CUR/NOBIS, Gouda."

### **Aansprakelijkheid**

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

### **Copyrights**

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of CUR/NOBIS. It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, on condition that the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"Dismantling in situ biore restoration Asten", October 1998, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands."

### **Liability**

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

**Titel rapport**

Ontmanteling in-situbiorestauratie Asten

**CUR/NOBIS-rapportnummer****Projectrapportnummer**

---

**Auteurs**

ir. H. Slenders  
ir. R.E. Lapperre  
drs. A. Mayer  
ir. K.R. Weytingh

**Aantal bladzijden****Rapport: 26****Bijlagen:**

---

**Uitvoerende organisaties (Consortium)**

Adviesbureau voor water en milieu IWACO B.V. (ir. H. Slenders, 073-6874111)

Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V. (ir. K.R. Weytingh, 0570-663907)

---

**Uitgever**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Samenvatting**

Voor de aanpak van de bodemverontreiniging bij het benzinstation in het centrum van Asten is eind jaren tachtig een sanering opgezet volgens de 'klassieke' natte biorestauratie. Na een periode van zes jaar is deze in-situsanering stilgelegd omdat de saneringsdoelstelling niet kon worden bereikt. Vervolgens is besloten om de restverontreiniging alsnog te ontgraven. Tijdens de recente ontgraving en systeemontmanteling zijn alle mogelijkheden benut om de oorzaken van de tegenvallende saneringsresultaten te achterhalen. Het onderzoek heeft zich hierbij specifiek gericht op de nog aanwezige restverontreiniging (hydrofobe karakter, beschikbaarheid, concentratie en samenstelling), op de heterogeniteit van de bodem, op het dichtslibben van de drains en op de dosering en verspreiding van toegevoegde nutriënten. Ook is onderzocht of er momenteel nog sprake is van intrinsieke afbraak. De sterke vorming van voorkeurskanalen en de slechte doorspoeling van de capillaire zone zijn genoemd als voornaamste oorzaken van de tegenvallende saneringsduur. Het project is afgerond met een evaluatie van de gevolgde saneringsstrategie.

---

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

in situ, olie, biologische afbraak,  
fosfaat, nutriënten

**Vrije trefwoorden:**

ontmanteling, biorestauratie,  
drain, grindkoffer

---

**Titel project**

Ontmanteling in-situbiorestauratie Asten

**Projectleiding**

Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.  
(ir. K.R. Weytingh, 0570-663907)

---

Dit rapport is verkrijgbaar bij:  
CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda



**Report title**

Dismantling in situ biore Restoration Asten

**CUR/NOBIS report number****Project report number**

---

**Authors**

ir. H. Slenders  
ir. R.E. Lapperre  
drs. A. Mayer  
ir. K.R. Weytingh

**Number of pages**

**Report: 26**  
**Appendices:**

---

**Executive organisations (Consortium)**

Adviesbureau voor water en milieu IWACO B.V. (ir. H. Slenders, 073-6874175)  
Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V. (ir. K.R. Weytingh, 0570-663907)

---

**Publisher**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Abstract**

In the late eighties a start was made with the clean up of soil contamination at the petrol station in the centre of Asten by means of the 'classical' method of wet biore Restoration. After a period of six years the in situ remediation was stopped, since the remediation objective could not be achieved; it was decided to excavate the residual contamination. During the recent excavation and dismantling of the system all possibilities were utilized to find the causes of the disappointing remediation results. The investigation specifically aimed at the residual contamination still present (hydrophobe characteristics, availability, concentration and composition), the heterogeneity of the soil, the silting up of the drains and the dosing and dispersion of added nutrients. Furthermore, it was investigated whether there is still question of intrinsic degradation. As main causes for the disappointing remediation time the formation of preferential paths and the limited flushing of the capillary zone are mentioned. The project was completed with an assessment of the remediation strategy followed.

---

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

In situ, oil, biodegradation,  
Phosphate, nutriënts

**Uncontrolled terms:**

dismantling, biore Restoration,  
drain

---

**Project title**

Dismantling in situ biore Restoration Asten

**Projectmanagement**

Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V.  
(ir. K.R. Weytingh, 0570-663907)

---

This report can be obtained at:

CUR/NOBIS, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands  
Dutch Research Programme In-Situ Bioremediation (NOBIS)



## VOORWOORD

Innovatie op het gebied van bodemsaneringen heeft eind jaren tachtig geleid tot de introductie van de 'klassieke' natte biorestauratie als eerste full-scaleproefproject voor de aanpak van een ernstig geval van bodemverontreiniging bij een tankstation in Asten. Na een periode van zes jaar saneren is deze in-situbiorestauratie stilgelegd omdat niet overal de streefwaarden konden worden bereikt en omdat de (ingeschatte) saneringsduur inmiddels met een factor 6 was overschreden. Hoewel de saneringsdoelstelling niet kon worden gehaald, zijn tijdens dit project goede resultaten geboekt. Er zijn veel onderzoeksgegevens verzameld en beoordeeld, en diverse oorzaken zijn aangedragen als verklaring voor de toch tegenvallende resultaten.

De sanering was destijds in handen van het RIVM, met assistentie van IWACO voor praktische, technisch inhoudelijke zaken. Inmiddels is het terrein weer overgedragen aan de eigenaar/gebruiker, is het heringericht en is de restverontreiniging onder begeleiding van Ingenieursbureau 'Oranjewoud' alsnog ontgraven. De ontmanteling van de biorestauratie is nauwlettend gevolgd door medewerkers van IWACO en Oranjewoud en geëvalueerd in het kader van PIT-4 (ontwerp, engineering, uitvoering en sturing).

Het mag bijzonder worden genoemd dat deze goed gedocumenteerde in-situsanering nu, als een van de weinige, is ontmanteld en blootgelegd. De ontgraving heeft de mogelijkheid geboden om de bodemopbouw, de toestand van het in-situsysteem en de restverontreinigingen visueel te inspecteren. Voor een gefundeerde onderbouwing is analytisch onderzoek verricht op bodemspecifieke parameters en de mate van de restverontreiniging.

Door flankerende analyses uit te voeren is meer inzicht verkregen in de tegenvallende prestatie van de saneringstechniek.

Hoewel de saneringsdoelstelling niet is gehaald, zijn in dit project alle leeraspecten ten volle benut. De goede samenwerking tussen IWACO en Oranjewoud en de vruchtbare discussie binnen PIT-4 hebben mede garant gestaan voor een leerzame evaluatie van de ontmanteling van de biorestauratie in Asten.

Deventer, 30 augustus 1998





# INHOUD

		SAMENVATTING.....	ix
		SUMMARY.....	xi
Hoofdstuk	1	INLEIDING.....	1
	1.1	Algemeen.....	1
	1.2	Doelstelling.....	1
Hoofdstuk	2	IN-SITUBIORESTAURATIE ASTEN.....	3
	2.1	Aanleiding.....	3
	2.2	Verontreinigingssituatie.....	3
	2.3	Bodemopbouw.....	3
	2.4	Saneringssysteem.....	4
Hoofdstuk	3	ONDERZOEKSHYPOTHESEN EN AANDACHTSPUNTEN.....	7
Hoofdstuk	4	ONDERZOEK IN VELD EN LAB.....	9
	4.1	Uitvoeringswijze ontgraving.....	9
	4.2	Visuele inspectie en monstername.....	10
Hoofdstuk	5	TOETSING HYPOTHESEN EN LEERSASPECTEN.....	11
	5.1	Hydrofobe zone?.....	11
	5.2	Heterogeniteit.....	12
	5.3	Dichtslibben drains.....	14
	5.4	Nutriënten.....	15
	5.5	Beschikbaarheid.....	15
	5.6	Afbraakproducten.....	15
	5.7	Nog optredende afbraak.....	15
	5.8	Alternatieve saneringsaanpak.....	16
Hoofdstuk	6	PIT-4 EN HET CONCEPTUELE MODEL.....	17
Hoofdstuk	7	CONCLUSIES.....	19
		LITERATUUR.....	21
		FIGUREN.....	23
Bijlage	A	OVERZICHT GRONDVERONTREINIGING 1996	
Bijlage	B	MONSTERNAMETABEL	
Bijlage	C	OVERZICHT CHEMISCHE ANALYSES	
Bijlage	D	ANALYSECERTIFICATEN (STANDAARD)	
Bijlage	E	OXALAATANALYSES	
Bijlage	F	BEPALING BESCHIKBAARHEID OLIE	

Bijlage	G	GC- EN GC-MS-ANALYSES
Bijlage	H	BODEMLUCHTMETINGEN

## SAMENVATTING

### Ontmanteling in-situbiorestauratie Asten

In opdracht van de stichting NOBIS is vanuit het Projectintegratieteam nr. 4 (PIT-4) de ontmanteling van de biorestauratie in Asten begeleid. Als afgevaardigden van PIT-4 hebben medewerkers van IWACO en Ingenieursbureau 'Oranjewoud' de begeleiding van deze ontmanteling uitgevoerd.

Doel van het onderzoek is vastlegging van de ontmanteling van de in-situbiorestauratie Asten, waarbij wordt geprobeerd om de oorzaken van de tegenvallende saneringsresultaten te achterhalen.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van een aantal hypothesen, die zijn getoetst in het veld en via chemische analyses. De resultaten van deze bevindingen zijn vervolgens getoetst en besproken in PIT-4. De hypothesen waren:

1. De sanering is gestagneerd omdat de hydrofobe zones in de bodem, waarin de verontreiniging zich bevindt, niet kunnen worden doorspoeld met water.
2. De sanering is gestagneerd omdat heterogeniteiten in de bodem preferente stroombanen forceren, waardoor water niet bij de verontreiniging kan komen.
3. De sanering is gestagneerd omdat de infiltratiedrains zijn dichtgeslibd. Hierdoor kan het water niet bij de verontreiniging komen.
4. De sanering is gestagneerd omdat het geïnfiltreerde fosfaat zich direct aan de bodem bindt, waardoor onvoldoende nutriënten aanwezig zijn voor de gewenste afbraak.
5. De sanering is gestagneerd omdat de aanwezige olie onvoldoende beschikbaar is voor micro-organismen, waardoor de gewenste afbraak niet voldoende optreedt.
6. De sanering is voorspoedig verlopen. De gemeten concentraties die wijzen op een stagnerende sanering, zijn restproducten van afbraak.

Verder zijn de volgende aspecten meegenomen in het onderzoek:

7. Is er momenteel nog sprake van intrinsieke afbraak?
8. Had een andere saneringsstrategie geleid tot een bevredigender saneringsresultaat?

Tijdens de ontgraving zijn visuele inspecties uitgevoerd die zijn vastgelegd op foto en video. Aansluitend zijn grondmonsters genomen en geanalyseerd. Met een bodemluchtsonde zijn de gehalten zuurstof, kooldioxide en methaan in de onverzadigde zone bepaald.

De conclusies ten aanzien van de gestelde hypothesen zijn:

1. De aanwezigheid van een aaneengesloten hydrofobe zone, die moeilijk kan worden doorspoeld, is niet aangetoond. Wel is gebleken dat er op microschaal hydrofobe zones aanwezig zijn.
2. De natuurlijke heterogeniteit van de bodem op de locatie is versterkt door de verschillende ingrepen in de bodem (boringen, uitloging en sturing), en deze saneringsaanpak heeft geleid tot het ontstaan van preferente stroombanen.
3. De drain met drainkoffer is slecht gepositioneerd en is dichtgeslibd. Dit heeft, tezamen met foutieve aannamen voor de doorlatendheden, geleid tot een minder goede en onregelmatigere doorspoeling van de bodem dan vooraf is voorspeld.

4. Plaatselijk is er naar verwachting sprake geweest van gelimiteerde biologische afbraak, te wijten aan lage gehalten nutriënten en wellicht zuurstof. Oorzaken voor de lage gehalten moeten worden gezocht in het ontwerp van de sanering, dat slecht aansloot bij de heterogeniteit van de bodem (met name stagnante zones).
5. De verontreiniging is beschikbaar voor biologische afbraak.
6. De hypothese dat de oorspronkelijke verontreiniging grotendeels is omgezet in afbraakproducten, is niet juist.
7. De lage O<sub>2</sub>-gehalten en de verhoogde CO<sub>2</sub>-gehalten die tijdens de ontmanteling zijn gemeten, zijn een duidelijke aanwijzing voor biologische afbraak. Opvallend daarbij is dat met de bodemluchtmetingen de ligging van de bodemverontreiniging vrij nauwkeurig kan worden aangegeven.
8. Met de huidige kennis van in-situbiorestauratie (ISB) was waarschijnlijk voor een andere techniek en een andere combinatie van technieken gekozen. Daarnaast wordt in de huidige ontwerpen een grote mate van flexibiliteit aangebracht en wordt daarbij gelet op sturing en optimalisering tijdens de bedrijfsvoering. Dit had waarschijnlijk tot een ander saneringsresultaat geleid.

De resultaten van de toetsing op bovenstaande hypothesen zijn besproken in PIT-4. Hierbij is een conceptueel model opgesteld aan de hand waarvan een beter inzicht in de problematiek is verkregen en eenduidige conclusies konden worden getrokken.

Algemeen wordt geconcludeerd dat de tegenvallende resultaten van ISB Asten vooral zijn te verklaren door de situering van de kern van de verontreiniging in de (stagnante) capillaire zone. Het ontwerp van de ISB sloot onverwacht slecht aan op de aanwezige bodemopbouw en verontreinigingssituatie. In essentie is het onmogelijk gebleken om de gewenste situatie met een grondwaterstand boven de kern van de verontreiniging te creëren. De doorlatendheid van de bodem was hierbij te hoog ingeschat en het niet-verwachte grillige stromingspatroon van het infiltratiewater is pas in de ontmantelingsfase gebleken. Het systeem heeft de capillaire zone niet of nauwelijks beïnvloed. Omdat de flexibiliteit van systemen in de tijd van het betreffende ontwerp nog niet werd onderkend, was optimalisatie van het systeem gedurende de bedrijfsvoering op basis van resultaten niet mogelijk. Nadat duidelijk was geworden dat het aangelegde systeem niet functioneerde (en dat er geen verdere leerdoelen werden bereikt), is niet besloten tot een dan onvermijdelijke ingrijpende aanpassing.

## SUMMARY

### **Dismantling in situ bioremediation Asten**

On behalf of the NOBIS foundation the Project Integration Team no. 4 (PIT-4) supervised the dismantling of the bioremediation in Asten. As representatives of the PIT-4 team experts of IWACO and Ingenieursbureau 'Oranjewoud' implemented the supervision of the dismantling.

Objective of the investigation is to describe the dismantling of the in situ bioremediation in Asten and to try to find the causes of the disappointing remediation results.

The investigation was carried out on the basis of a number of hypotheses, which have been tested in the field by means of visual inspections and chemical analyses. In a next step the results of these analyses were checked and discussed in the PIT-4 team. Hypotheses:

1. Remediation has stagnated because the hydrophobe zones in the soil, in which the contamination is situated, cannot be flushed with water.
2. Remediation has stagnated because preferential paths have been formed as a result of the heterogeneity of the soil, through which the water cannot reach the contamination.
3. Remediation has stagnated because the infiltration drains have silted up. As a result the water cannot reach the contamination.
4. Remediation has stagnated because the infiltrated phosphate immediately sorbs to the soil through which insufficient nutrients are available for the desired degradation.
5. Remediation has stagnated because the oil present is insufficiently available for micro-organisms as a result of which degradation will not take place up to the desired level.
6. Remediation has been successful. The concentrations measured, suggesting that remediation has stagnated, concern residual products of degradation.

Furthermore, the following aspects have been taken into account in the investigation:

7. Is there still question of intrinsic degradation at present?
8. Would an other remediation strategy have led to a more satisfying remediation result?

During the excavation visual inspections were carried out which have been registered on photographs and video. Next, soil samples were taken and analyzed. By means of a soil air probe the concentrations of oxygen, carbon dioxide and methane in the saturated zone were measured.

Conclusions with regard to the hypotheses:

1. The presence of an continuous hydrophobe zone, being difficult to flush, has not been demonstrated. At microlevel though hydrophobe zones do occur.
2. The natural heterogeneity of the soil at the location has been strengthened by several interventions in the soil (borings, leaching and adjustments) and this remediation approach has led to the formation of preferred flow paths.
3. The drain and drainbed has been badly positioned and has silted up. Together with incorrect estimates of the permeability this has led to a less optimal and more irregular flushing of the soil than originally estimated.

4. Locally a limited biological degradation is assumed to have taken place, caused by low concentrations of nutrients and maybe oxygen. Causes for the low concentrations may be the design of the remediation system, which does not fit in sufficiently with the heterogeneity of the soil (in particular stagnating zones).
5. The contamination is available for biological degradation.
6. The hypothesis that the major part of the original contamination has been converted into breakdown products is not correct.
7. The low concentrations of  $O_2$  and the raised concentrations of  $CO_2$  measured during the dismantling are a clear indication of biological degradation. A striking aspect is that the position of the soil contamination can be determined quite accurately by means of the soil air measurements.
8. With the current knowledge of in situ bioremediation (ISB) probably another technique or a combination of techniques would have been chosen for. Besides, the current designs include a large degree of flexibility and allow for adjustment and optimization during operation. This would probably have led to a different remediation result.

The results of the testing of the aforementioned hypotheses were discussed in the PIT-4 team. For this purpose a conceptual model has been prepared by means of which a better insight can be obtained in the problems incurred and unequivocal conclusions can be made.

In general it can be concluded that the disappointing results of ISB Asten can mainly be explained by the position of the contamination source in the (stagnating) capillary zone. The design of the ISB did not fit in with the soil profile and contamination situation, which was not foreseen. In essence it turned out to be impossible to create the desired situation with a water table above the source of contamination. The permeability of the soil was estimated too high and the non-expected irregular flow pattern of the infiltration water was only discovered during the dismantling phase. The capillary zone has hardly or not at all been influenced by the system. Since at the time the flexibility of systems was not recognized yet, optimization of the system during operation on the basis of results was not possible. After it had become clear that the system installed did not function properly (and no further educational results were achieved) it was not decided to fundamentally adjust the system, which would have been necessary at that moment.

## HOOFDSTUK 1

### INLEIDING

#### 1.1 Algemeen

Na zes jaar saneren is de in-situbiorestauratie Asten (ISB Asten) stilgelegd. De opzet van deze 'klassieke' natte biorestauratie stamt uit het eind van de jaren tachtig. In-situsanering was destijds nieuw en de ervaring was beperkt. ISB Asten was het eerste full-scaleproefproject. Hoewel de resultaten van ISB Asten niet slecht zijn, is het doel dat werd nagestreefd niet bereikt. Niet overal zijn de streefwaarden bereikt, en de (ingeschatte) saneringsduur is ruim (zes tot tien keer) overschreden. Het is een voorbeeld van een in-situsaneringsproject waar de praktijk weerbarstiger blijkt dan de theorie op laboratoriumschaal.

Recentelijk is het terrein overgedragen aan de eigenaar/gebruiker, die vervolgens heeft besloten om de resterende verontreiniging alsnog te ontgraven. Tijdens deze ontgraving is het in-situsysteem ontmanteld. In opdracht van de stichting NOBIS hebben twee leden van het Projectintegratieteam nr. 4 (PIT-4), namelijk Ingenieursbureau 'Oranjewoud' en IWACO BV, de ontmanteling van ISB Asten nauwlettend gevolgd. De ontgraving van de restverontreiniging heeft de mogelijkheid geboden om de bodemopbouw, de toestand van het in-situsysteem en eventueel het voorkomen van restverontreinigingen visueel te inspecteren. Een aantal mogelijk oorzaken van de tegenvallende resultaten is letterlijk aan het licht gekomen. De bespreking van de bevindingen in een PIT-4-vergadering van NOBIS leidde uiteindelijk tot een zeer verhelderend conceptueel model van de operationele fase van ISB Asten, waarmee een sluitende en zeer aannemelijke verklaring is gevonden voor de aangetroffen restverontreinigingen.

#### *Leeswijzer*

Na een algemene beschrijving van de onderzoekslocatie en het ISB-systeem in hoofdstuk 2 volgt in hoofdstuk 3 een toelichting op de hypothesen. In hoofdstuk 4 volgt een beknopte beschrijving van de onderzoekswerkzaamheden in veld en lab. De verwerking van de resultaten en de toetsing aan de onderzoekshypothesen volgen in hoofdstuk 5. Het conceptuele model, gevormd in de PIT-4-vergadering, komt in hoofdstuk 6 aan de orde. Ten slotte worden in hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies herhaald.

#### 1.2 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is als volgt geformuleerd:

Doel van het onderzoek is vastlegging van de ontmanteling van de in-situbiorestauratie Asten, waarbij wordt geprobeerd om de oorzaken van de tegenvallende saneringsresultaten te achterhalen.
--

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van een aantal hypothesen, die zijn getoetst in het veld en via chemische analyses. De resultaten van deze bevindingen zijn vervolgens getoetst en besproken in PIT-4.





## HOOFDSTUK 2

### IN-SITUBIORESTAURATIE ASTEN

#### 2.1 Aanleiding

In de jaren tachtig werd duidelijk dat sommige vormen van bodemverontreiniging in-situbiologisch konden worden afgebroken. De voordelen waren evident. De grond hoefde niet te worden afgegraven. Sanering tot grote diepte en onder bebouwing was mogelijk. De bodemstructuur en het bodemleven konden in stand blijven en een en ander was waarschijnlijk een stuk goedkoper. Om deze redenen besloot het ministerie van VROM om aan RIVM en TNO opdracht te verlenen voor een onderzoek naar de technische en financiële haalbaarheid. Na laboratoriumonderzoek en de keuze van een geschikte onderzoekslocatie is een ontwerp gemaakt voor de in-situbiorestauratie van de benzineverontreiniging aan de Emmastraat in Asten. Het artikel uit *de Volkskrant* van 30 april 1988 (linkerpagina) stamt uit de startperiode van de sanering.

#### 2.2 Verontreinigingssituatie

1988 [Scheuter e.a., 1997]

De onderzoekslocatie was aanvankelijk verontreinigd met 30.000 liter benzine (normaal), waarvan 27.000 liter als drijf laag is verwijderd door oppompen. De resterende verontreiniging was geabsorbeerd aan de bodemmatrix op een diepte van 2 tot 4 m-mv. De gemiddelde concentratie minerale olie in de bodem is in 1988 vastgesteld op 5.000 mg/kgds, waarbij de laag tussen 3 en 3,5 m-mv (het traject van de drijf laag) sterker verontreinigd was (tot 9.000 mg/kgds) dan de boven- en onderliggende laag. Het grondwater bevond zich op circa 3,5 m-mv, en was tot circa 10 m-mv verontreinigd met vluchtige aromaten.

1996 [Scheuter e.a., 1997; 'Oranjewoud', 1996]

Zowel uit het evaluatierapport van het RIVM als uit het nader onderzoek van Ingenieursbureau 'Oranjewoud' blijkt dat de vluchtige aromaten (BTEX) vrijwel geheel uit de bodem zijn verdwenen. Het RIVM schat de afname voor minerale olie op ten minste 95%. Uit het onderzoek van Oranjewoud blijkt dat in 1996 de bodem van 2,5 tot 5,0 m-mv nog verontreinigd is met minerale olie (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>: max. 1.500 mg/kgds) en vluchtige aromaten (BTEX: max. 1 mg/kgds). De hoeveelheid grond verontreinigd boven de streefwaarde is geschat op 800 m<sup>3</sup>. (Uiteindelijk is tijdens de ontgraving circa 1.200 m<sup>3</sup> grond afgevoerd.) Een overzicht van de verontreinigingssituatie in de grond is gegeven in bijlage A.

#### 2.3 Bodemopbouw

De bodem op de onderzoekslocatie behoort tot de afzettingen van de Nueneen-groep. Deze groep met de formaties van Eindhoven, Asten en Twente bestaat uit een complex van fijne zanden, leem- en veenlagen van lokale oorsprong (fluvioperiglaciaal, eolisch en/of organogeen). Op de onderzoekslocatie is de volgende bodemopbouw aangetroffen:

0,0 - 6,0 m-mv:	fijn zand, siltig met plaatselijk op circa 1 m een leemlaagje;
6,0 - 7,0 m-mv:	leem, zandig (laag deels ontbrekend, 'Oranjewoud', 1996);
7,0 - 9,5 m-mv:	fijn zand, siltig;
9,5 - 10,5 m-mv:	veen, kleiig;
10,5 - 11,5 m-mv:	klei, venig;
11,5 - :	fijn zand.

## 2.4 Saneringssysteem

### *Ontwerp*

In afbeelding 1 is het principe van het saneringssysteem weergegeven. Het ontwerp van IWACO, TNO en RIVM is gebaseerd op twee reinigingsprincipes: uitspoeling en afbraak. Uit van tevoren uitgevoerde kolomproeven bleek recirculatie met gereinigd effluentwater zeer succesvol te zijn. Het gebruik van waterstofperoxide en nutriënten leidde tot een goede mineralisatie van de verontreiniging. Besloten werd om de grondwaterstand te verhogen tot 0,5 m-mv door infiltratie met ondiepe drains, en onttrekking van grondwater onder de sterkst verontreinigde zone. Om verspreiding naar de omgeving te voorkomen, zou er meer water moeten worden onttrokken dan geïnfiltrerd. Op basis van de succesvolle kolomproeven werd de saneringsduur geschat op circa één jaar.

Afbeelding 1 *Schets uit RIVM-folder uit 1989*

### *Uitvoering*

Direct na de start van de in-situsanering bleek het niet mogelijk om het ontwerpdebiet van 27,5 m<sup>3</sup>/uur te halen, maar 7 m<sup>3</sup>/uur. Gedurende de bedrijfsperiode is dit verder afgenomen tot 1,7 m<sup>3</sup>/uur. Het is ook niet mogelijk gebleken om de grondwaterstand van oorspronkelijk 3,7 m-mv te verhogen tot boven de verontreinigingsvlek [Scheuter e.a., 1997]. Dit heeft tot gevolg gehad dat een groot deel van de restverontreiniging zich tijdens de operationele fase van de ISB in de capillaire zone heeft bevonden.

### *Evaluatierapport en mogelijke oorzaken vertraging*

In het evaluatierapport van het RIVM [Scheuter e.a., 1997] is de exploitatie van de ISB uitgebreid beschreven en geëvalueerd. Concentraties, debieten, nutriëntendosering enzovoort zijn nauwkeurig gevolgd en geregistreerd. In dit rapport worden ook mogelijke oorzaken genoemd van de tegenvallende resultaten, zoals:

- Geohydrologische uitgangspunten. De doorlatendheid is lager dan aangenomen, met als gevolg dat:
  - \* het ontwerpdebiet nooit is gehaald (dit heeft direct invloed gehad op de saneringsduur);
  - \* de grondwaterstand onvoldoende kon worden verhoogd.
- De installatie was minder geschikt voor lagere debieten en grondwaterstanden.
- Infiltratie van peroxide in de onverzadigde zone. Het peroxide bleek te ontleden en voor een groot deel te ontsnappen in de onverzadigde zone. Zuurstofgehalten in het grondwater verhoogden minder en veel later dan verwacht.
- Dichtslibben drains en drainkoffers met slib, biomassa en gasbellen (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).
- Vastlegging fosfaat.



### ONDERZOEKSHYPOTHESEN EN AANDACHTSPUNTEN

Hieronder volgen puntsgewijs enkele hypothesen en aandachtspunten die zijn geformuleerd voor de opzet van het veldonderzoek tijdens de ontmanteling. Deze hypothesen en aandachtspunten zijn gebaseerd op de expertise van de PIT-leden, de conclusies van het evaluatierapport van het RIVM [Scheuter e.a., 1997] én het eindrapport van de 'Evaluatie van saneringstechnieken' [Slenders e.a., 1997] in het kader van het *Handboek bodemsaneringstechnieken*.

#### 1. **Hydrofobe plekken in de retentiezone**

Voorafgaande aan de in-situsanering kon het puur product in onvoldoende mate worden verwijderd. Bij aanvang van de sanering was nog veel puur product aanwezig in de zone tussen 2,5 en 3,5 m-mv. Dit is ook de zone waar nu de hoogste restconcentraties zijn aangetroffen [Scheuter e.a., 1997; 'Oranjewoud', 1996]. Het puur product in de retentiezone is naar verwachting aanwezig in de vorm van olielichaampjes die een gedeelte van de poreuze matrix bezetten. Met water (met peroxide en nutriënten) kan een dergelijke (hydrofobe) zone niet of nauwelijks worden doorspoeld en aangepakt. De sanering van deze zones vindt alleen plaats aan de randen waar sprake is van een langzame, gelimiteerde afbraak van verontreiniging.

#### 2. **Heterogeniteit**

De heterogeniteit van de bodem heeft geleid tot het optreden van preferente stroomkanalen of hydrologische snelwegen. De daarbuiten gelegen zones zijn in onvoldoende mate bereikt door zuurstof en nutriënten.

#### 3. **Dichtslibben drains**

Het dichtslibben van de infiltratiedrains is oorzaak van een sterk teruggelopen spoelfactor (tien keer lager; Scheuter e.a., 1997). Dit is met name veroorzaakt door de teruglopende infiltratiecapaciteit van de drain met grindkoffer, wat wordt geweten aan biomassa, slib én gasbelletjes. Tijdens de uitvoering van ISB Asten zijn de drains enkele malen geregenereerd.

#### 4. **Nutriëntentekort**

De nutriëntendosering was ontoereikend. Dit heeft aanvankelijk enige problemen opgeleverd. Fosfaat kon niet in voldoende mate worden gedoseerd en bleek zich direct te binden aan de bodem, zodat de verspreiding aanvankelijk te gering was. Aan het einde van de sanering werd echter doorslag geconstateerd. De hoeveelheid gedoseerd fosfaat was op dat moment nog niet geheel voldoende voor een volledige verzadiging van de bodem, uitgaande van een fosfaatbindend vermogen van de bodem van 50 mg/kgds. Waarschijnlijk bevindt fosfaat zich met name in de voorkeurskanalen in de bodem.

#### 5. **Beschikbaarheid**

De aanwezige restverontreiniging is niet beschikbaar voor microbiologische afbraak. De olieverontreiniging is weliswaar afbreekbaar maar is niet bereikbaar voor de aanwezige microbiologie.

#### 6. **Afbraakproducten**

De restverontreiniging (minerale olie) betreft hoofdzakelijk (moeilijk afbreekbare?) afbraakproducten. De oorspronkelijke verontreiniging is wel degelijk afgebroken.

Behalve de toetsing van hypothesen is ook een aantal andere aspecten interessant gevonden om in het veld te onderzoeken:

- a. Is er momenteel nog sprake van **intrinsieke afbraak**?
- b. Had een andere saneringsstrategie tot een **bevredigender saneringsverloop en -resultaat** kunnen leiden?



## HOOFDSTUK 4

### ONDERZOEK IN VELD EN LAB

#### 4.1 **Uitvoeringswijze ontgraving**

In de periode tussen 8 oktober 1997 en 24 oktober 1997 is de locatie aan de Emmastraat diverse malen bezocht. Blootlegging van de installatie en de bodem heeft goed inzicht verschaft in de bodemopbouw en de processen die zich daarin hebben afgespeeld. De uitvoering van de ontgraving vond plaats in grote kisten, nodig voor de ontgraving bij gebouwen en belendingen. Dit heeft het onderzoek enigszins bemoeilijkt. In afbeelding 2 wordt dit verduidelijkt. Door de stalen wanden kon niet altijd een overzichtelijk ontgravingsvlak worden vrijgemaakt voor beoordeling en bemonstering.

Afbeelding 2 *Uitvoeringswijze met stalen kisten*



#### 4.2 Visuele inspectie en monsternamen

Tijdens de ontgraving is gelet op de relevante aspecten voor dit onderzoek. In de rustpauzes van de ontgraving zijn de interessante ontgravingsvlakken schoongemaakt en op foto en video vastgelegd. Tijdens deze intermezzo's zijn de grondmonsters genomen. In figuur 1 (zie 'Figuren') is de ligging van de onderzoekslocatie aangegeven. De locaties van monsternamen zijn aangegeven in figuur 2. Als er sprake was van analyse op vluchtige componenten, zijn de monsters genomen met steekbussen. In bijlage B staat welke monsters zijn genomen. De volgende soorten analyses zijn uitgevoerd:

- nutriënten (N en P), ijzer, mangaan en pH (bijlage D);
- oxalaatanalyses (bijlage E; onderzoek naar fosfaatverzadiging);
- bepaling beschikbaarheid olie (bijlage F);
- GC- en GC-MS-onderzoek (bijlage G).

Met een bodemluchtsonde zijn de gehalten zuurstof, kooldioxide en methaan in de onverzadigde zone bepaald. In bijlage H staan de bevindingen en meetwaarden.

### TOETSING HYPOTHESEN EN LEERASPECTEN

#### 5.1 Hydrofobe zone?

Tijdens het onderzoek is visueel nergens puur product waargenomen. Met de olie-watertest is de aanwezigheid van puur product en van retentiezones aangetoond. Tests met filterpapier hebben aangetoond dat het puur product echter alleen voorkomt op microniveau en geen aaneengesloten hydrofobe laag vormt. Weliswaar zijn veelvuldig zwarte verkleuringen aangetroffen (zie afbeelding 3), maar deze zijn niet zonder meer te wijten aan verontreiniging. Naar alle waarschijnlijkheid zijn deze verkleuringen een gevolg van biologische activiteit (dode biomassa). Ten tijde van de ontgraving stond de ISB al geruime tijd stil.

De grondmonsters waar op basis van de bodemtextuur, de situering en de verkleuring de hoogste concentraties werden verwacht, E V en E VI op een diepte van 3-3,5 m-mv, bevatten echter relatief lage concentraties verontreinigende stoffen (bijlage F: 50 en 600 mg/kgds). De overige monsters van de E-serie, eveneens genomen tussen 3,0 en 3,5 m-mv, bevatten hogere concentraties dan vermoed. Deze monsters bevatten donkere, harde brokjes (doorsnede enkele mm) en enkele zwarte vegen die op basis van zintuiglijke waarneming zijn aangeduid als mangaanopsluitingen en eventueel olie. In het sterkst verontreinigde monster E IV (9.000 mg/kgds) zijn visueel zelfs helemaal geen onregelmatigheden aangetroffen. De (nog) aanwezige minerale olie bevat meestal hoge aandelen aromatische verbindingen (alkylbenzenen) en weinig alkanen.

**De aanwezigheid van een aaneengesloten hydrofobe zone, die moeilijk kan worden doorspoeld, is niet aangetoond. Wel is gebleken dat hydrofobe zones op microschaal aanwezig zijn.**

Afbeelding 3 *Ontgravingsvlak met verkleuringen en drain*

#### 5.2 Heterogeniteit

### *Visueel*

Op afbeelding 4 is duidelijk te zien dat zowel natuurlijke als kunstmatige heterogeniteit in sterke mate een rol speelt. In deze doorsnede is een infiltratiedrain te zien die exact in een slechter doorlatende laag is geplaatst. Zichtbaar zijn de 'uitgeloogde' voorkeurskanalen met aan de randen ijzerafzettingen. Direct boven de slecht doorlatende laag is infiltratiewater blijven staan, dat een brede lichte band heeft veroorzaakt met aan de onderzijde ijzerafzettingen. Vervolgens is op een plek met minder weerstand (betere doorlatendheid) de 'stop' eruit gehaald en is een verticale stroming opgetreden. Dergelijke patronen kunnen bij verticaal watertransport door een onverzadigde zone worden verwacht. De grote hoeveelheid geplaatste boringen kunnen vervolgens tot een versterking van het verticale patroon hebben bijgedragen. De van oorsprong horizontaal gelaagde structuur kan worden afgelezen uit het lichte laagje aan de onderzijde van de foto. Opmerkelijk in dit verband is ook het in 1996 uitgevoerde tracerexperiment [Scheuter, 1997]. Daaruit is gebleken dat de verticale doorlatendheid groter is dan de horizontale.

Afbeelding 4

*Infiltratiedrain met voorkeurskanalen*

De waargenomen voorkeursstroming wordt onder meer veroorzaakt door verschillen in doorlatendheden als gevolg van pakkingsgraad en korreldiameter, en de intreeweerstand van een onverzadigde zone; een eenmaal ontstaan 'waterkanaal' in een onverzadigde zone zal zich niet snel wijzigen en uitbreiden. Wat opvalt, is dat de voorkeursstroming verder wordt versterkt door de neerslag van ijzer. Deze neerslag vormt een soort van coating aan de randen van de voorkeurskanalen. Ook in afbeelding 5 is een dwarsdoorsnede te zien van een dergelijk kanaal.

Uit de tracerexperimenten is ook gebleken dat er een groot verschil bestond tussen de invloedsstralen van de verschillende onttrekkingen, dat onttrekkingen niet functioneerden of stil waren gelegd, en dat op meerdere plaatsen stagnante zones konden worden herkend.

#### *Chemische analyses*

Uit het centrum van de voorkeurskanalen en van de oranjebruine randen zijn monsters genomen en geanalyseerd op ijzer, mangaan en nutriënten. Inderdaad blijkt dat niet alleen ijzer en mangaan in het uitgeloopte kanaal in lagere concentraties voorkomen dan daarbuiten: ook de concentratie nutriënten is in de voorkeurskanalen lager dan daarbuiten. De pH en de gloeirest laten geen verschil zien tussen de voorkeursbanen en de omliggende bodem.

**De natuurlijke heterogeniteit van de bodem op de locatie is versterkt door de verschillende ingrepen in de bodem (boringen, uitloging en sturing) en deze saneringsaanpak heeft geleid tot het ontstaan van preferente stroombanen.**

Afbeelding 5 Voorkeurskanaal met randafzettingen

### 5.3 Dichtslibben drains

De toestand van de drains is te zien in afbeelding 6. De infiltratie

capaciteit van de drains is laag door een aantal redenen:

- De ligging op een sterk lemige zandlaag of sterk zandige leemlaag ter plaatse van en westelijk van het pompeiland. Dit wordt bevestigd door de resultaten van het tracerexperiment [Scheuter, 1997].
- Foutieve keuze filtergrind. De ruimte tussen het grove grind is dichtgeslibd met zand. Dit heeft ook geleid tot verzakkingen van de bestrating.
- De drain zelf heeft geen omhulling. Ook in de drain is zand geslibd. Op dit zand is een sliblaag afgezet. Overigens was tijdens de operationele fase van de ISB beduidend meer biomassa in de drains aanwezig.

De slecht functionerende drain heeft geleid tot een sterke afname van de spoelfactor. De spoelfactor is van groot belang voor de uiteindelijke saneringsduur.

#### Afbeelding 6 *Infiltratiedrain met grindkoffer*

Niet alleen de fysieke installatie heeft geleid tot een lagere spoelfactor: ook is tijdens het ontwerp een aantal aannamen gedaan die direct hebben geleid tot een foutieve inschatting van de spoelfactor en saneringsduur. Er is bijvoorbeeld een zeer gunstige waarde voor de doorlatendheid van de bodem gehanteerd, waarbij onduidelijk is in welke mate rekening is gehouden met het verschil tussen horizontale-verticale en verzadigde-onverzadigde doorlatendheid.

**De drain met drainkoffer is slecht gepositioneerd en dichtgeslibd. Dit heeft, tezamen met foutieve aannamen voor de doorlatendheden, geleid tot een minder goede en onregelmatigere doorspoeling van de bodem dan vooraf is voorspeld.**

#### 5.4 Nutriënten

Uit de monsternamen is gebleken dat vrijwel overal in de bodem fosfor aanwezig is. Er is geen sprake van fosfaat-uitputting, maar de hoeveelheid beschikbare fosfor is zeer beperkt en niet voldoende voor de afbraak van hoge concentraties verontreinigende stoffen. Uit de berekeningen van het RIVM [Scheuter e.a., 1997] en de oxalaatanalyses (zie toelichting bijlage E) blijkt dan ook dat bij geen van de beschouwde monsters sprake is van

een verzadiging met fosfor. In de witte voorkeurspatronen is minder fosfor aangetoond dan daarbuiten. Dit duidt eveneens op uitloging in deze voorkeursbanen.

Uit de Kjeldahl-N-analyses (NKj) volgt dat in de bemonsterde, vaste delen van de bodem nauwelijks stikstof aanwezig is. Alle bepalingen duiden op een stikstofgehalte beneden de detectielimiet. De NKj-bepaling is alleen minder gevoelig voor nitraat en nitriet. Tijdens de ISB is nitraat rondgepompt. In het goed doorstroomde gedeelte van de bodem is geen N-limitatie opgetreden. In de minder goed doorstroomde en stagnante zone kan enige mate van N-limitatie (zowel als elektronenacceptor-limitatie) niet worden uitgesloten. De oorzaak moet echter worden gezocht in de heterogeniteit van de bodem en het saneringssysteem.

**Plaatselijk is naar verwachting sprake geweest van gelimiteerde biologische afbraak, te wijten aan lage gehalten nutriënten en wellicht zuurstof. Oorzaken voor de lage gehalten moeten worden gezocht in het ontwerp van de sanering, dat slecht aansluit bij de heterogeniteit van de bodem (met name stagnante zones).**

#### 5.5 Beschikbaarheid

Op de locatie zijn verschillende grondmonsters geanalyseerd en behandeld. Hieruit volgt dat de samenstelling van de verontreiniging over de locatie verschillend is. Op enkele plekken worden zowel aromaten (voornamelijk alkybenzenen) als alkanen aangetroffen, en op andere plekken alleen alkanen. Op alle plekken zijn echter nog componenten aanwezig die kunnen oplossen in water. Hieruit volgt dat een wezenlijk deel van de aanwezige olieverontreiniging nog beschikbaar is voor biologische afbraak. In bijlage F is het onderzoek uitgebreid omschreven.

**De verontreiniging is beschikbaar voor biologische afbraak.**

#### 5.6 Afbraakproducten

Uit de GC- en GC-MS-analyses (bijlage G) blijkt dat de verontreiniging weliswaar voor een deel bestaat uit afbraakproducten, bijvoorbeeld vetzuur- en alcoholverbindingen, maar ook dat de verontreiniging voor het grootste deel bestaat uit de oorspronkelijke componenten van benzine.

**De hypothese dat de oorspronkelijke verontreiniging grotendeels is omgezet in afbraakproducten, is niet juist.**

#### 5.7 Nog optredende afbraak

Voorafgaand aan de ontgraving zijn er bodemluchtmetingen uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn opgenomen in bijlage H. Uit de metingen volgt dat na stilzetting van de ISB biologische afbraak is opgetreden. Ten tijde van de ISB waren de zuurstofgehalten in de bodemlucht als gevolg van de ontleding van peroxide hoog (vaak meer dan 20%). De lage O<sub>2</sub>-gehalten en de verhoogde CO<sub>2</sub>-gehalten zijn een duidelijke aanwijzing voor biologische afbraak. Interessant is dat met de bodemluchtmetingen de ligging van de bodemverontreiniging vrij nauwkeurig kan worden aangegeven.

#### 5.8 Alternatieve saneringsaanpak

De kennis over in-situsanering is sinds 1988 sterk toegenomen. Tegenwoordig zijn er niet alleen meerdere technieken beschikbaar maar wordt ook steeds vaker gebruikgemaakt van combinaties van technieken. Bij het ontwerp van Asten kunnen de volgende suggesties worden gedaan (of kanttekeningen worden geplaatst).

### *Flexibiliteit, sturing en optimalisering*

Het ontwerp van het systeem bevatte een geringe flexibiliteit. Er is in onvoldoende mate geanticipeerd op afwijkingen van de praktijk ten opzichte van het modelontwerp. Er is te kort stilgestaan bij het feit dat het gerealiseerde in-situsysteem niet voldeed aan een van de voornaamste ontwerpisen: verhoging van de grondwaterstand. Bij het ontwerp van het systeem had meer op de afwijkende situaties kunnen worden geanticipeerd. Dit geldt ook voor de heterogeniteit. Door het net te verfijnen was er meer speelruimte en flexibiliteit gecreëerd.

### *Technie keuze en -combinatie*

Een saneringssysteem met lucht als voornaamste transportmedium levert voordelen op. Lucht is dynamischer dan water (vijftig tot zestig keer) en is een goedkopere bron van zuurstof. Omdat de restverontreiniging zich voor een deel in de capillaire zone bevindt, verdient de toepassing van persluchtinjectie of biosparging aanbeveling. Als er alleen bioventing of bodemluchtextractie wordt toegepast, is het ontstaan van stagnante zones nog steeds te groot. Met persluchtinjectie kan daarnaast een belangrijk deel van de vluchtige verontreiniging worden gemobiliseerd, worden onttrokken en/of elders worden gemineraliseerd. Dit legt ook minder beslag op de nutriëntenvoorraad in de bodem. Door de toepassing van biosparging of persluchtinjectie in de verzadigde zone, gecombineerd met bodemluchtextractie in de onverzadigde zone, kan een 'gesloten' systeem ontstaan. Deze technieken zorgen ook voor de toevoer van zuurstof en in-situ-afbraak.

Als biosparging wordt gecombineerd met een waterig systeem, een onttrekkings- en infiltratiesysteem met water (al dan niet met nutriënten), dan kunnen er twee verschillend georiënteerde transportsystemen van water en lucht worden gecreëerd. De lucht stroomt verticaal, het water horizontaal. Ongeacht de keuze van saneringstechniek of combinatie, zal een flexibel fijnmazig systeem altijd noodzakelijk zijn om de heterogeniteit van deze ogenschijnlijk homogene bodem te ondervangen.

## HOOFDSTUK 6

### PIT-4 EN HET CONCEPTUELE MODEL

In de vergadering van PIT-4 op 16 januari 1998 zijn de hypothesen en de bevindingen gepresenteerd. In de aansluitende discussie zijn de algemene conclusies onderschreven. Er is echter ook een belangrijke toevoeging gedaan. Tijdens de discussie ontstond behoefte aan een conceptueel model van de operationele fase van het ISB-systeem en de oorspronkelijke situatie. Het conceptuele model is opgenomen in figuur 3 (zie 'Figuren').

Uit dit model blijkt dat de voornaamste restverontreinigingen worden aangetroffen in de capillaire zone. Daarboven is door de sterk verhoogde zuurstofconcentraties biologische afbraak opgetreden. Onder de capillaire zone zijn de concentraties verontreinigende stoffen eveneens lager. De capillaire zone wordt slechts plaatselijk doorspoeld door de verticale voorkeurskanalen, de uitwisseling met de hoge zuurstofgehalten is diffusiegelimiteerd, en het watertransport onder het freatisch vlak heeft niet of nauwelijks invloed op de capillaire zone. Deze sterkst verontreinigde zone wordt slecht gevoed met nutriënten en elektronenacceptoren en wordt evenmin 'uitgespoeld'.

**De capillaire zone is een grotendeels stagnante, slecht gevoede zone waarin zich bovendien de kern van de oorspronkelijke drijfslag bevindt.**

Een toetsing van het gerealiseerde systeem aan het ontwerp en een evaluatie van de mogelijke gevolgen hadden in een vroeg stadium aan kunnen geven dat de verhoging van de grondwaterstand onvoldoende was en dat een verregaande aanpassing van het systeem noodzakelijk was. Ook bij een volledig verzadigd systeem kunnen er echter 'hydrologische snelwegen' optreden en is een bevredigend resultaat niet vanzelfsprekend.

Voor een optimaal verloop had er regelmatige evaluatie door een team van deskundigen, en indien nodig systeemaanpassing, moeten plaatsvinden. Door de lange looptijd van het project zal daarnaast de aansturing van het project niet altijd optimaal zijn geweest. ISB Asten is ondanks de grote afwijkingen ten opzichte van het ontwerp gedurende langere tijd voortgezet volgens de oorspronkelijke opzet. Waarschijnlijk had men beter ten halve kunnen keren dan ten hele kunnen dwalen.





### CONCLUSIES

#### Algemeen

De tegenvallende resultaten van ISB Asten zijn vooral te verklaren door de situering van de kern van de verontreiniging in de (stagnante) capillaire zone. Het ontwerp van de ISB sloot slecht aan op de aanwezige bodemopbouw en verontreinigingssituatie. De uitvoering van het ontwerp heeft niet geleid tot de gewenste situatie met een grondwaterstand boven de kern van de verontreiniging. Met het toegepaste systeem werd de capillaire zone niet of nauwelijks beïnvloed. De doorlatendheid van de bodem was overschat en met het grillige stromingspatroon van het infiltratiewater is geen rekening gehouden. In het ontwerp is daarnaast niet de flexibiliteit ingebouwd om te kunnen anticiperen op onverwachte omstandigheden, noch is er voldoende ruimte gecreëerd voor de benodigde aanpassingen of optimalisatie van het saneringssysteem. De aansturing en evaluatie van het project hadden doelgerichter moeten zijn. Van tevoren hadden daarbij de parameters en de criteria moeten worden vastgesteld waarmee het welslagen van de sanering kon worden gevolgd en getoetst.

#### De belangrijkste waarnemingen

Tijdens de ontmanteling van de ISB zijn voorkeurskanalen en stagnante zones aangetroffen. Dit blijkt zowel visueel als uit metingen en chemische analyses. De natuurlijke heterogeniteit van de bodem op de locatie is versterkt door de verschillende ingrepen in de locatie (boringen, uitloging en sturing) en de keuze van infiltratie van water in de onverzadigde zone. Dit heeft bijgedragen aan preferente stroombanen en stagnante zones. De afzetting van uitgeloozd ijzer heeft kanaalvorming verder bevorderd.

#### Per onderzoeksaspect

Tijdens het onderzoek zijn verschillende hypothesen en aandachtspunten onderzocht. De volgende conclusies zijn daaruit afgeleid:

- In de retentiezone is puur product op microniveau aanwezig. Een aaneengesloten hydrofobe zone is echter niet aangetoond.
- De drain met drainkoffer is plaatselijk slecht gepositioneerd en dichtgeslibd. Dit heeft, tezamen met foutieve aannamen voor de doorlatendheden, geleid tot een minder goede en onregelmatigere doorspoeling van de bodem dan vooraf is aangenomen.
- De nog aanwezige verontreiniging is deels oplosbaar in water en beschikbaar voor biologische afbraak.
- De oorspronkelijke verontreiniging is slechts voor een gering deel omgezet in afbraakproducten. De aangetroffen verontreiniging bestaat vooral uit de oorspronkelijke componenten. Het is dus niet zo dat de microbiologie de 'verkeerde weg' is ingeslagen.
- Plaatselijk is mogelijkwijze sprake geweest van gelimiteerde biologische afbraak, te wijten aan lage gehalten stikstof, fosfor en wellicht zuurstof. De oorzaak van de lage gehalten moet worden gezocht in het optreden van stagnante zones.
- Na afloop van de actieve ISB is nog sprake van intrinsieke biologische afbraak.
- De kennis van in-situsanering is in de afgelopen tien jaar toegenomen. Hierop gebaseerd kan met vrij grote zekerheid worden gesteld dat op deze locatie voorspoedigere en betere saneringsresultaten mogelijk zouden zijn geweest. Voor een snelle saneringsvariant ligt een intensief systeem het meest voor de hand. Zo'n systeem zou bestaan uit een combinatie van persluchtinjectie, bodemluchtexttractie en spoelen. Daarbij wordt gebruikgemaakt van verwijdering door transport én biologische afbraak. Voor een systeem waarbij de tijd van minder groot belang is, kan voor een 'natural attenuation'-variant worden gekozen als dit goedkoper is dan de intensieve aanpak.



## LITERATUUR

Lookman, R., 1995.

*Phosphate chemistry in excessively fertilised soils*, doctoraatproefschrift nr. 283, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen van de KU Leuven, juni 1995.

'Oranjewoud', 1996.

*Nader onderzoek en saneringsplan Mobil tankstation Emmastraat 73 te Asten*, projectnummer 3273-76943, april 1996.

Scheuter, A.J., R. van den Berg en D. Wever, 1997.

*Eindrapportage praktijksanering "in situ biorestauratie" te Asten*, RIVM-rapport 715201008, augustus 1997.

Scheuter, A.J., 1997.

*Tracerexperiment uitgevoerd in april/mei 1996 ten behoeve van de In situ biorestauratie te Asten*, RIVM nr. 715201006, september 1997.

Slenders, J.L.A., J.C.M. de Wit, B. Satijn, E. v.d. Strate en T. Kok, 1997.

*Handboek bodemsaneringstechnieken. Evaluatie van saneringstechnieken*, Onderzoekscombinatie DIT, rapportnummer 1057570, 5 december 1997.



## FIGUREN

Figuur 1 *Ligging onderzoekslocatie*

Figuur 2 *Monsternamepunten*

Figuur 3 *Conceptueel model operationele fase ISB Asten*





BIJLAGE A

**OVERZICHT GRONDVERONTREINIGING 1996**



**BIJLAGE B**  
**MONSTERNAMETABEL**

Monsternametabel / grondmonsters genomen en omschrijving

Mon-ster-code	Monster			Diepte, m-mv	Olie-water-test	Monsterlocatie	Monsteromschrijving
	datum	Steekbus	0,5 l pot (aantal)				
A I	15-10	X	2	0,5	+	1 m ten westen van de grindkoffer (± bij voorm. boring 158)	referentie niet-P-verzadigde grond en controle op morsverlies bij pomp
B I	15-10			0,7	+	Onderzijde grindkoffer (± bij voorm. boring 158)	overgang van de grindkoffer naar het oorspronkelijke materiaal
C I	15-10	X	3	2,0	+	Onder grindkoffer (± bij voorm. boring 158) uit dwarssectie	schoon bruin zand, buiten (witte) voorkeursstroombaan, optimale P-voeding (?)
C II	15-10	X	1	1,5- 2,5	+++	1,5 m ten westen voorm. boring 158, uit dwarssectie	paarse streep en grijze olie-plukken omgeven van wit zand/voorkeursstroombaan
C III	15-10		2	1,5- 2,0	+	1,5 m ten westen voorm. boring 158, uit dwarssectie	wit zand (± zonder paarse streep)
D I	20-10	X	2	2	+++	1 m ten westen voorm. boring 161, uit handmatig gegraven dwarssectie	geroerd monster, bruingrijs zand
D II	20-10	X	2	1,8	+++	1 m ten westen voorm. boring 161, uit handmatig gegraven dwarssectie	geroerd monster, bruingrijs zand (± herhaling van DI)
D III	20-10	X	2	2,5	+	1 m ten westen voorm. boring 161, uit handmatig gegraven dwarssectie	zintuiglijk schoon bruin zand
D V	24-10		1	1,5-2,5	+	Noordelijke putwand 1,5 m ten westen van voorm. boring 161	roodbruine rand van een voorkeursstroombaan
D VI	24-10		1	1,5-2,5	+	Noordelijke putwand 1,5 m ten westen van voorm. boring 161	paarse streep binnen witte (voorkeursstroom)baan
E I	20-10	X	2	3,2	+	1 m ten westen voorm. boring 161, uit handmatig gegraven dwarssectie	bruin zand met zwart laagje olie/Mn?
E II	20-10	X	2	3,2	+++	1 m ten westen voorm. boring 161, uit handmatig gegraven dwarssectie	bruingrijs zand met donkere olieplukken
E III	20-10	X	2	3,3	+++	1 m ten westen voorm. boring 162, uit handmatig gegraven dwarssectie	bruingrijs zand met donkere olieplukken
E IV	20-10	X	2	3,2	++	1 m ten westen voorm. boring 162, uit handmatig gegraven dwarssectie	bruin zand zonder duidelijke olieplukken
E V	24-10	X	2	3,5	+++	1 m ten zuiden voorm. deepwell, 1,5 m ten westen voorm. Boring 162, uit handmatig gegraven dwarssectie	bruingrijs zand met duidelijke olievezen
E VI	24-10	X	2	3,5	+++	2 m ten zuiden voorm. deepwell, 1,5 m ten westen voorm. boring 162, uit handmatig gegraven dwarssectie	bruingrijs zand met duidelijke olievezen
F I	20-10	X	2	4,5	-	Putbodem ± bij voorm. boring 158	bruin schoon zand

BIJLAGE C

**OVERZICHT CHEMISCHE ANALYSES**

Analyseschema

Monstercode	Olie-analyses				Nutriënten			P-beschikbaarheid	Algemene parameters	
	GC	Grond/-water	GC-MS	Field-kit	P-totaal	N-totaal	Fe-totaal	P, Fe, Al oxalaatextractie	pH en droge stof	Organisch stof
A I	X			X	X	X	X		X	X
B I					X	X	X		X	X
C I					X	X	X	X	X	X
C II	X			X						
C III					X		X		X	X
D I										
D II										
D III										
D V					X		X		X	
D VI					X	X	X		X	X
E I	X			X						
E II	X	X	X	X						
E III	X	X	X	X						
E IV	X			X	X	X	X		X	
E V	X	X	X		X	X	X	X	X	X
E VI	X	X	X	X						
FI					X	X	X	X	X	X



BIJLAGE D

**ANALYSECERTIFICATEN (STANDAARD)**

## BIJLAGE E

### OXALAATANALYSES

#### Oxalaatextractie

Met oxalaatextracties [Lookman, 1995] kan de mate aan P-verzadiging (van lichtzure zandbodems) worden bepaald aan de hand van de ammoniumoxalaat-extraheerbare bodemfracties aan P, Fe en Al. Feox en Alox (keer een factor  $\alpha=0,5$ ) vormen tezamen het fosfaatbindende vermogen (PSC). De ijzer- en aluminiumfracties zijn vermoedelijk amorfe en microkristallijne (hydr)oxyden. De P-verzadiging (DPS) wordt berekend uit de procentuele verhouding van de mol-massa's (tabel 1).

Tabel 1

Monster	Diepte (m-mv)	Fe (mmol)	Al (mmol)	P (mmol)	PSC	DPS (%) ( $\alpha=0,5$ )
C I	2,0	6	12	3	9	33,3
E V	3,5	4	11	2	7,5	26,6
F I	4,5	10	15	4	12,5	32

Volgens Lookman [1995] is de P-concentratie in het (bodem)water tot een DPS van 30% kleiner 0,1 mg/l en stijgt vervolgens. Dit duidt erop dat in Asten een gering deel van de P beschikbaar is voor microbiologische afbraak.



## BIJLAGE F

### BEPALING BESCHIKBAARHEID OLIE

#### 1 Karakterisering verontreiniging

Een onderdeel van het onderzoek tijdens de ontmanteling van het in-situsaneringssysteem in Asten bestaat uit de karakterisering van de achtergebleven verontreiniging. Hoe ziet deze verontreiniging er uit en vooral: is deze verontreiniging nog beschikbaar en mobiel? Voor dit doeleinde zijn enkele grondmonsters samengesteld en onderzocht.

#### 2 Opzet onderzoek

Het karakteriseringsgedeelte van het onderzoek heeft als doel de samenstelling en de aard van de verontreiniging vast te stellen. De samenstelling van de olie wordt verder bekeken dan de indeling in groepen als C<sub>10</sub>-C<sub>16</sub>. Onder de aard van de olie wordt hier verstaan de eigenschappen van de olie.

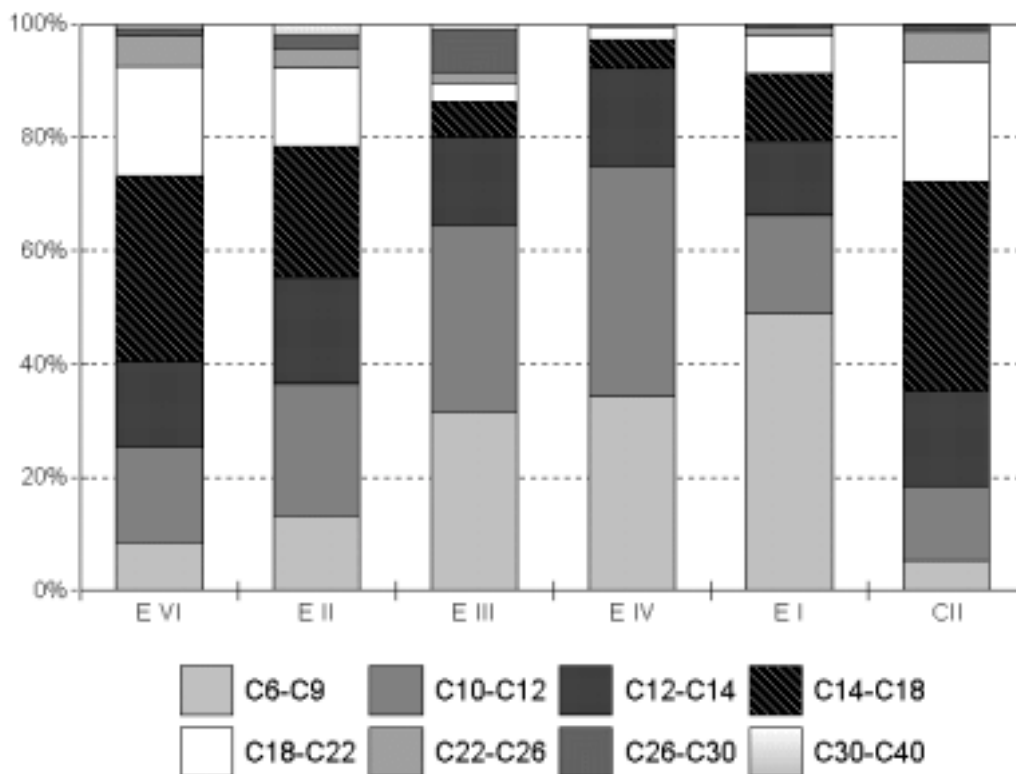
De karakterisering van de verontreiniging levert een beeld van de effectiviteit van de sanering met betrekking tot de verwijdering van mobiele en beschikbare componenten. De samenstelling en de aard van de olie zijn achterhaald door regulier onderzoek uit te breiden met twee niet-reguliere technieken. Om een beter idee te verkrijgen van de samenstelling van de olie, is gebruikgemaakt van de resultaten van een GC-analyse van een grondmonster. Op basis van een GC is aan alle componenten in de verontreiniging een massafractie toegekend. Vervolgens is op een aantal grondmonster een GC-MS-analyse uitgevoerd. Een aantal componenten is met deze analyse benoemd. Door gebruik te maken van alle informatie van een GC-analyse en deze te combineren met een GC-MS, ontstaat er een goed beeld van de samenstelling. Ten slotte is er op enkele monsters een evenwichtsbepaling uitgevoerd. Hierbij wordt een grondmonster zo lang in contact gebracht met water totdat er een evenwicht ontstaat tussen water en verontreiniging. Uit de analyse van het water kan vervolgens de wateroplosbaarheid van de verontreiniging worden bepaald.

#### 3 Resultaten onderzoek

##### *Samenstelling*

Uit de GC-analyses blijkt dat de samenstelling van de verontreiniging in ieder grondmonster anders is. In figuur B-1 is de samenstelling van de verontreiniging voor enkele grondmonsters te zien. Hierbij zijn de componenten in groepen ingedeeld. Voor iedere groep is vervolgens het percentage ten opzichte van het geheel weergegeven. De grondmonsters C II, E II en E VI en de grondmonsters E I, E III en E IV hebben globaal dezelfde samenstelling. De tweede groep monsters bestaat ten opzichte van de eerste groep uit meer lichte componenten.

Van enkele van monsters is een GC-MS gemaakt, namelijk van E III, E V en E VI. Als naar de geïdentificeerde componenten wordt gekeken, dan blijkt E III een aromatisch mengsel te zijn. Monster E V daarentegen bestaat voornamelijk uit alkanen en enkele geoxideerde producten. Monster E VI bestaat uit zowel aromaten als uit alkanen, waarbij de alkanen zich vooral in de range van C<sub>12</sub> tot en met C<sub>23</sub> bevinden. Geconcludeerd wordt dat de samenstelling van de drie monsters (E III, E V en E VI) sterk uiteenloopt.



Figuur B-1 Samenstelling verontreiniging

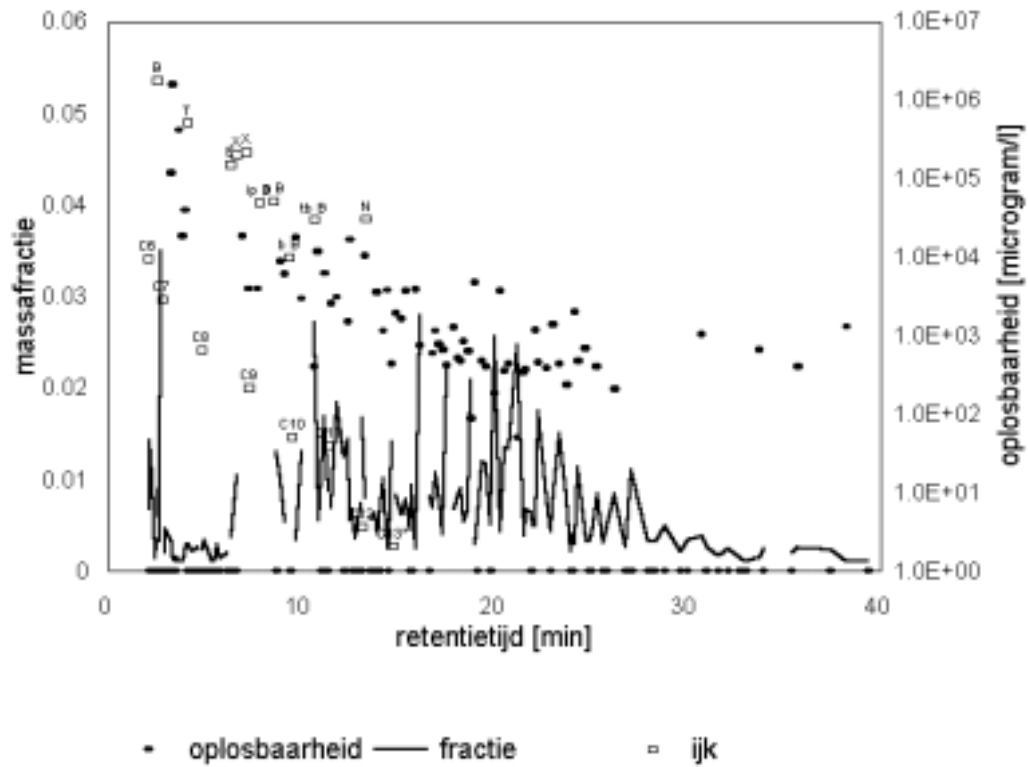
#### *Mobiliteit en oplosbaarheid*

Om de mobiliteit van de achtergebleven verontreiniging te onderzoeken, zijn enkele monsters in contact gebracht met water. Hierdoor heeft zich na verloop van tijd een evenwicht tussen grond en water ingesteld. Uit dit evenwicht zijn de wateroplosbaarheden van de componenten van de verontreiniging berekend. Op basis van dergelijke berekeningen is figuur B-2 gemaakt. Op de x-as van deze figuur staan de retentietijden van het GC, op de linker-y-as staat de massafractie en op de rechter-y-as is de oplosbaarheid in water weergegeven. De lijn is een weergave van het GC waarbij de hoogte van de piek de massafractie aangeeft. De punten geven de wateroplosbaarheid aan. Verder zijn in deze figuur de oplosbaarheid van enkele componenten uit zogenaamde ijkmonsters weergegeven. Uit figuur B-2 (met B, T, E, X, N: BTEXN, C6...-C13 n-alkanen en kleine letters gevolgd door B alkylbenzenen: isopropylbenzeen, propylbenzeen, butylbenzeen, tertiaire butylbenzeen) kan worden afgeleid dat veel componenten goed in water oplosbaar en daarmee mobiele verbindingen zijn. Dit bevestigt het beeld dat is ontstaan op basis van het GC-MS waarin veel aromaten zijn gevonden.

#### 4 Conclusies

De samenstelling van de verontreiniging is niet overal gelijk. De verschillen in samenstelling en de wateroplosbaarheid voor de verschillende monsters wijzen erop dat de grond niet op alle plaatsen even goed doorspoeld is. Zou dit wel het geval zijn, dan zou de verhouding tussen mobiele en niet-mobiele componenten in de meeste grondmonsters ongeveer gelijk moeten zijn. Dit is nu zeker niet het geval (de GC-MS-analyse ondersteunt deze conclusie). Op basis hiervan wordt duidelijk dat de in sommige monsters nog als mobiel beschouwde aromaten voorkomen, terwijl in andere monsters alleen nog de niet of nauwelijks mobiele alkanen voorkomen. Op basis van het bovenstaande kan

worden geconcludeerd dat de verwijdering van de mobiele componenten niet overal effectief is geweest.



Figuur B-2 Wateroplosbaarheid van monster E II

BIJLAGE G

**GC- EN GC-MS-ANALYSES**

## BIJLAGE H

### BODEMLUCHTMETINGEN

Op 10 oktober 1997 zijn op de onderzoekslocatie met een bodemluchtsonde en een zogenaamde landfill-analyser metingen uitgevoerd naar het O<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>- en CH<sub>4</sub>-gehalte van de bodemlucht. De locaties van de metingen zijn aangegeven in figuur 2 (zie 'Figuren'). Bij de rapportage van deze metingen worden de volgende kanttekeningen geplaatst:

- Als gevolg van hevige regenval was de bodem tot 1,5 m-mv plaatselijk verzadigd met water, zodat hier geen bodemluchtmetingen zijn uitgevoerd. Op 4 m-mv is grondwater aangetroffen.
- De CH<sub>4</sub>-metingen zijn uitgevoerd met een IR-methode, die kruisgevoelig is voor alle vluchtige koolwaterstoffen. Hierdoor is het mogelijk dat ook benzine een verhoogde waarde voor CH<sub>4</sub> geeft (met name locatie 1 van de y-as).
- Rondom het snijpunt van de assen was de grond op ± -2 m-mv erg los. De sonde zakte door zijn gewicht weg in deze slappe bodem. De grond is geroerd of betreft een voormalig monsterpunt van het RIVM.
- In algemene zin lijken de metingen de ligging van de bodemverontreiniging goed aan te geven. Bijvoorbeeld de metingen ter plaatse van X2 en Y3 op de sterkst verontreinigde plekken laten een zeer laag O<sub>2</sub>-gehalte en een hoog CO<sub>2</sub>- en CH<sub>4</sub>-gehalte zien.

In onderstaande tabellen zijn de metingen samengevat.

Tabel 1 *Metingen op de x-as*

Locatie	1		2		3		
	Diepte	-1,8	-2,8	-1,8	-2,9	-1,8	-2,8
O <sub>2</sub> [vol %]		13,4	10,5	0,2	0,2	10,5	5,3
CO <sub>2</sub> [vol %]		7,7	8,4	19,0	19,1	10,6	13,7
CH <sub>4</sub> * [vol %]		0,2	0,2	15,6	62,0	0,1	0,1

\* koolwaterstoffen, uitgedrukt in IR-absorptie CH<sub>4</sub>

Tabel 2 *Metingen op de Y-as*

Locatie	1		2		3			
	Diepte	-2,0	-3,5	-2,0	-3,0	-1,5	-2,0	-3,0
O <sub>2</sub> [vol %]		14,2	3,3	12,5	3,3	water	0,0	0,0
CO <sub>2</sub> [vol %]		6,9	16,4	7,0	16,4		19,1	19,0
CH <sub>4</sub> * [vol %]		0,1	0,3	0,2	0,3		32	>100

\* koolwaterstoffen, uitgedrukt in IR-absorptie CH<sub>4</sub>

Tabel 3 *Metingen op de z-as*

Locatie	1		2	3			
	Diepte	-2,0	-3,0	4,0	-3,0	-2,5	-3,0
O <sub>2</sub> [vol %]		16,8	15,5	water	15,8	19,5	17,1
CO <sub>2</sub> [vol %]		4,1	5,1		4,5	1,5	3,4
CH <sub>4</sub> * [vol %]		0,1	0,1		0,1	0,1	0,1

\* koolwaterstoffen, uitgedrukt in IR-absorptie CH<sub>4</sub>