

loc AA048400007  
rap AA048400503

NOBIS 96-3-04  
Stappenplan voor de beoordeling van  
het optreden van Natuurlijke Afbraak  
in grondwater nabij stortplaatsen

Rapportage fase 4

ing. R.J. Wolbrink (Iwaco)  
dr. ir. T.J. Heimovaara (Iwaco)

juni 2001

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, "©"Stappenplan voor de beoordeling van het optreden van Natuurlijke Afbraak in grondwater nabij stortplaatsen", juni 2001, CUR/NOBIS, Gouda."

### **Aansprakelijkheid**

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

### **Copyrights**

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

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"A step-wise approach in order to assess the occurrence of Natural Attenuation in groundwater in the vicinity of landfills", June 2001, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands."

### **Liability**

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

**Titel rapport**

Stappenplan voor de beoordeling van het optreden van  
Natuurlijke Afbraak in grondwater nabij stortplaatsen

**CUR/NOBIS rapportnummer**

96-3-04

Fase:4

**Project rapportnummer**

96-3-04

---

**Auteur(s)**

ing. R.J. Wolbrink  
dr. ir. T.J. Heimovaara

**Aantal bladzijden**

**Rapport:** 45

**Bijlagen:** 0

---

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

IWACO (ing. R.J. Wolbrink en dr. ir. T.J. Heimovaara, tel. 010-2865432)

---

**Uitgever**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Samenvatting**

Dit rapport presenteert een stappenplan waarmee het optreden van Natuurlijke Afbraak nabij stortplaatsen kan worden bepaald. Het stappenplan geeft op hoofdlijnen aan welke onderzoeken gedaan moeten worden en in welke volgorde deze onderzoeken moeten plaatsvinden.

Het stappenplan omvat een viertal stappen:

- 1: Het maken van een conceptueel model;
- 2: Het beoordelen van een eventuele percolaat pluim;
- 3: Het vaststellen van het potentieel voor NA en de snelheid van de relevante processen en uiteindelijk;
- 4: Het implementeren van NA als nazorg optie.

Dit stappenplan is toegelicht aan de hand van een drietal voorbeeld stortplaatsen: Coupépolder nabij Alphen a/d Rijn, Banisveld nabij Boxtel en Achter de Beukenlaan in Soest.

---

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

natuurlijke afbraak, stortplaatsen

**Vrije trefwoorden:**

---

**Titel project**

Stappenplan voor de beoordeling van het optreden van  
Natuurlijke Afbraak in grondwater nabij stortplaatsen

**Projectleiding**

IWACO (ing. R.J. Wolbrink en  
dr. ir. T.J. Heimovaara, 010-2865432)

---

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda

**Report title**

A step-wise approach in order to assess the occurrence of Natural Attenuation in groundwater in the vicinity of landfills

**CUR/NOBIS report number**

96-3-04

Phase: 4

**Project report number**

96-3-04

---

**Author(s)**

ing. R.J. Wolbrink  
dr. ir. T.J. Heimovaara

**Number of pages**

**Report:** 45  
**Appendices:** 0

---

**Executive organisation(s) (Consortium)**

IWACO (ing. R.J. Wolbrink en dr. ir. T.J. Heimovaara, tel. 010-2865432)

---

**Publisher**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Abstract**

This report presents a step wise approach to determine the occurrence of Natural Attenuation (NA) at (former) landfills. The goal of this step wise approach is to give a logical efficient and effective framework for all relevant investigations required to assess the occurrence of NA.

The four steps in this approach are:

- 1: The development of a conceptual site model;
- 2: Assessment of the presence of a leachate plume;
- 3: Assessment of the potential for NA and the most important rates, and finally;
- 4: The implementation of NA as an after care approach.

Three case studies are used to elucidate the step wise approach.

---

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

landfill sites, natural attenuation

**Uncontrolled terms**

---

**Project title**

A step-wise approach in order to assess the occurrence of Natural Attenuation in groundwater in the vicinity of landfills

**Projectmanagement**

IWACO (ing. R.J. Wolbrink and  
dr. ir. T.J. Heimovaara, 010-2865432)

---

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

## VOORWOORD

Voor u ligt de samenvattende eindrapportage van het NOBIS project 96-3-04, fasen 3 en 4. In dit project zijn 4 rapporten geschreven, voor elke fase één. De rapportages van fasen 1 en 2 zijn al eerder als NOBIS rapportage verschenen. In overleg met NOBIS is besloten om de rapportage van fase 3 niet als aparte NOBIS rapportage uit te brengen vanwege de omvang en de zeer wetenschappelijke inhoud. Het voorliggende rapport vat de bevindingen uit de eerste 3 fasen samen en werkt deze uit in een stappenplan dat structuur geeft aan onderzoek om het optreden van Natuurlijke Afbraak nabij stortplaatsen vast te stellen.

In de periode tussen het afronden van deze rapportage (eind 1999) en het verschijnen van deze rapportage in de NOBIS reeks zijn er veel ontwikkelingen op het gebied van NA bij stortplaatsen geweest. Zo is bijvoorbeeld in het kader van het NAVOS programma ook onderzoek naar het vaststellen van NA bij stortplaatsen verricht. De resultaten uit dit project zijn als uitgangspunt gehanteerd bij het opzetten en uitvoeren van het NAVOS NA project.

Dit rapport moet gezien worden als een leidraad om het NA onderzoek bij een stortplaats te structureren. Het eenduidig vaststellen van NA is op dit moment niet mogelijk en vraagt daarvoor een zeer grote investering. Gestructureerd informatie verzamelen waarbij eerst beoordeeld wordt of NA haalbaar is en op welke wijze NA dan moet worden aangetoond kan dan voor grote besparingen zorgen. Dit rapport presenteert een dergelijke structuur.

Het stappenplan beschreven in dit rapport is richtinggevend. Het is zeker niet bedoeld als een protocol waarin elke handeling wordt voorgeschreven, daarvoor is het al veel te dun. Veel van de genoemde stappen zijn in de praktijk nog volop in ontwikkeling en daardoor nog niet genoeg uitgekristaliseerd om volledig in een protocol te zetten.

juni 2001

## SAMENVATTING

### Stappenplan voor de beoordeling van het optreden van Natuurlijke Afbraak in grondwater nabij stortplaatsen

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken in fase 1, 2 en 3 is een opzet gemaakt voor een stappenplan dat gebruikt kan worden voor de toetsing voor het optreden van Natuurlijke Afbraak in de omgeving van stortplaatsen. Voor dit stappenplan gelden een aantal uitgangspunten:

- Het uitgebreid karakteriseren van NA kan een kostbare zaak zijn. Het is daarom belangrijk dit NA onderzoek alleen daar toe te passen waar de toepassing van NA noodzakelijk en kansrijk is;
- De toepassing van NA vindt plaats in het kader van een risicobeoordeling en moet bijdragen aan het wegnemen van risico's;
- Gezien de aard van NA (relatief traag proces dat vrij veel ruimte vraagt) zal NA vooral worden toegepast om verspreiding van verontreinigingen via percolaat tegen te gaan.

Deze uitgangspunten hebben geleid tot een stappenplan dat fungeert als een zeef. Een uitgebreid NA onderzoek zal alleen plaats vinden bij die stortplaatsen waar dat zinvol is. Het stappenplan is schematisch weergegeven in figuur S1.

1. Conceptueel model van de stort
2. Pluimbeoordeling
3. Bepaling potentieel en snelheid NA

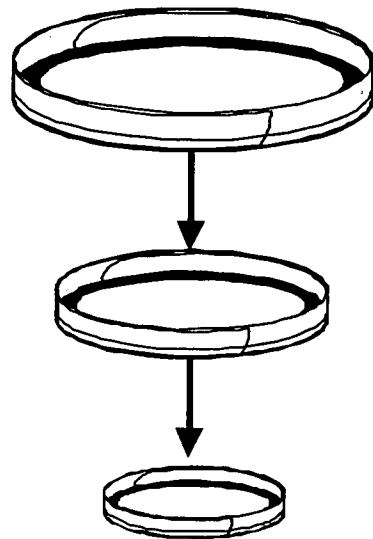


Fig. S1. Globale weergave stappenplan toetsing NA in grondwater bij stortplaatsen.

In figuur S1 zijn een drietal stappen gegeven. Het type onderzoek dat wordt uitgevoerd per stap wordt gecompliceerder naarmate we verder naar beneden gaan in het stappen plan. Stap 4 omvat uiteraard meer dan de implementatie van NA alleen, maar omvat alle mogelijke vormen van zorg en beheer.

## SUMMARY

### **A step-wise approach in order to assess the occurrence of Natural Attenuation in groundwater in the vicinity of landfills**

An assessment plan has been developed based on the completed investigations in phases 1, 2 and 3, which can be used to ascertain the presence of Natural Attenuation (NA) in the vicinity of landfill sites. A number of preconditions apply to this assessment plan:

- A comprehensive characterisation of NA is likely to be expensive. It is therefore important that the NA investigation is undertaken, where it is appropriate and essentially necessary;
- The application of NA is used for the risk assessment and must contribute to the reduction of risks;
- In view of the nature of the NA process (a relatively slow process, which requires considerable space) it should predominantly be applied to act against the migration of the effluent.

These preconditions led to a plan, which works as an assessment filter. A comprehensive NA investigation should only take place at the landfill sites, where this is reasonable. The assessment plan is schematically shown in figure S1.

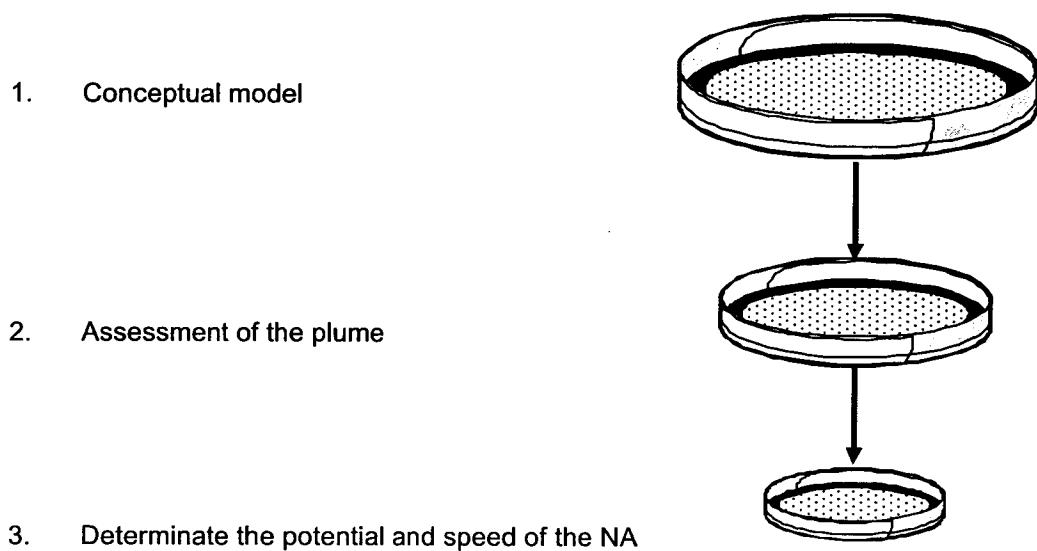


Fig. S1. Simplified representation of the assessment process to ascertain the suitability of NA of groundwater in landfill sites.

Three steps are shown in figure S1. The investigation type required for each step becomes more complicated the further down in the plan we go. Step 4 comprises not just the implementation of NA, but all available forms of care and management.

## INHOUD

		SAMENVATTING	VI
		SUMMARY	VII
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
	1.1	Opzet onderzoek	1
	1.2	Doelstelling onderzoek	1
	1.3	Onderzoeksfasen	1
	1.4	Doel van het stappenplan (fase 4)	3
	1.5	Opzet rapportage	3
Hoofdstuk	2	OPZET ONDERZOEK FASE 4	4
	2.1	Probleemstelling	4
	2.2	Methodiek	4
Hoofdstuk	3	FASE 1: PROCESSEN EN ONDERZOEK NAAR NA ROND STORTPLAATSEN	5
	3.1	Inleiding	5
	3.2	Processen rond stortplaatsen	5
	3.2.1	Redoxprocessen en afbraak	5
	3.2.2	Karakterisatie van natuurlijke afbraakcapaciteit van stortpercolaat	7
	3.3	Gebruikte onderzoekstechnieken	7
	3.3.1	Microbiologische karakterisatietechnieken	7
	3.3.2	Laboratorium batch microcosms (LBM) en in situ mesocosms (ISM)	8
	3.4	Modellen voor de simulatie van natuurlijke afbraakprocessen	9
Hoofdstuk	4	STAPPENPLAN TOETSING NA IN GRONDWATER BIJ STORTPLAATSEN	11
	4.1	Uitgangspunten	11
	4.2	Stap 1: Conceptueel model	12
	4.2.1	Samenvoegen van beschikbare informatie	13
	4.2.2	Conceptueel verspreidingsmodel	13
	4.2.3	Inventarisatie omgeving van de stort	14
	4.3	Stap 2: Pluimbeoordeling	14
	4.3.1	Stap 2.1: traceren van de beïnvloeding van het grondwater door percolaat (macropluim)	15
	4.3.2	Stap 2.2: bepalen of er in de macropluim ook sprake is van microparameters	15
	4.3.3	Stap 2.3: afperken van de aangetoonde pluim met microparameters	16
	4.3.4	Stap 2.4: vaststellen of het percolaat in het stortlichaam ook microparameters bevat	16
	4.4	Stap 3: het bepalen van het potentieel en snelheid van NA	16
	4.5	Stap 4: Implementatie van de nazorg	18
	4.5.1	Stap 4.1: geen nazorg	18
	4.5.2	Stap 4.2: nazorg in relatie tot gewenst beschermingsniveau	18
	4.5.3	Intensieve nazorg	19



Hoofdstuk	5	NA BEOORDELING OP 3 STORTLOCATIES	20
	5.1	Voormalige stortplaats Coupépolder te Alphen aan den Rijn	20
	5.1.1	Stap 1: Conceptueel model	20
	5.1.2	Stap 2: Pluimbeoordeling	22
	5.1.3	Stap 3: potentieel en snelheid NA	24
	5.1.4	Stap 4: Conclusie NA / Implementatie	25
	5.2	Voorbeeldlocatie Banisveld te Boxtel	26
	5.2.1	Stap 1: Conceptueel model	26
	5.2.2	Stap 2: Pluimbeoordeling	28
	5.2.3	Stap 3: Potentieel en snelheid NA	31
	5.2.4	Stap 4: Conclusie NA / Implementatie	32
	5.3	Voorbeeldlocatie Achter de Beukenlaan te Soest	33
	5.3.1	Stap 1: Conceptueel model	33
	5.3.2	Stap 2: Pluimbeoordeling	34
	5.3.3	Stap 3: Potentieel en snelheid NA	35
	5.3.4	Stap 4: Implementatie	36
Hoofdstuk	6	METHODEN EN TECHNIEKEN	37
	6.1	Stap 1: conceptueel model	37
	6.2	Stap 2: vaststelling aanwezigheid van een pluim	37
	6.2.1	Geofysische methoden	37
	6.2.2	Op basis van monsters	38
	6.3	Stap 3: Vaststelling van het optreden van NA	39
Hoofdstuk	7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	43
		LITERATUUR	45

## HOOFDSTUK 1

### INLEIDING

De dreiging die voormalige stortplaatsen vormen voor het milieu vraagt veel aandacht van de huidige maatschappij. Op dit moment wordt geprobeerd deze dreiging op te heffen door een aantal maatregelen te treffen. Deze maatregelen zijn vaak een eeuwigdurende monitoring met daarbij zo nodig een eeuwigdurende beheersing. Deze oplossingen zijn echter zeer kostbaar.

De resultaten uit internationaal onderzoek aan een aantal stortplaatsen laten zien dat er bij stortplaatsen vaak minder verspreiding van verontreinigingen optreedt dan in eerste instantie was verwacht [1]. Een mogelijke verklaring voor dit fenomeen zou natuurlijke afbraak (NA) van de verontreiniging kunnen zijn. Wij hanteren het begrip Natuurlijke Afbraak als volledige vertaling van de Engelse term *Natural Attenuation*. Deze vertaling wordt gehanteerd omdat wij in Nederland vooral de afbraak component van NA het belangrijkste vinden, maar we onderkennen zeker ook dat verdunning, sorptie etc. een rol spelen.

Dit project is uitgevoerd in het kader van NOBIS. Het onderzoek is uitgevoerd door IWACO en de Vrije Universiteit Amsterdam in samenwerking met de provincies Zuid-Holland, Utrecht en Noord-Brabant.

#### 1.1 Opzet onderzoek

Met het project is beoogd een methodiek te ontwikkelen waarmee het zelfreinigend vermogen van grond en grondwater als intrinsieke nazorgmethode bij stortplaatsen kan worden toegepast. Dit zelfreinigend vermogen, het microbiologisch afbreken van verontreinigingen, kan - indien de risico's dat toelaten - een kosten effectieve methode zijn voor de nazorg bij stortplaatsen. Het natuurlijke afbraakconcept moet duidelijk maken of de nazorg van stortplaatsen op deze wijze extensiever kan, en daardoor goedkoper dan bij de huidige IBC benadering.

De methodiek dient het zelfreinigend vermogen van de grond in beeld te brengen (kwalitatief en kwantitatief) via een aantal stappen. De methodiek is ontwikkeld aan de hand van 3 stortplaatsen. Deze stortplaatsen zijn gelegen in verschillende geohydrologische en biogeochemische omstandigheden. Daardoor is de methodiek naar verwachting overdraagbaar naar andere stortplaatsen.

#### 1.2 Doelstelling onderzoek

Het project heeft als doel het ontwikkelen van een methode om de intrinsieke afbraakcapaciteit van de bodem (NA) te bepalen en te gebruiken om zo de verspreidingsrisico's voor het milieu te minimaliseren. Het betreft bodem, verontreinigd bij stortplaatsen door percolaatuittrekking met macro- en microverontreinigingen. De intrinsieke afbraakcapaciteit van de bodem kan worden gebruikt als methode voor een extensieve beheer van het grondwater nabij voormalige stortplaatsen. De kennis opgedaan in dit project kan worden gebruikt om te komen tot een onderbouwde NA nazorg variant voor stortlocaties.

In dit project is vooral gekeken naar NA van microverontreinigingen. Problemen en NA van mogelijke macroverontreinigingen (te hoge zoutniveaus etc.) zijn niet onderzocht.

### 1.3 Onderzoeksfasen

Dit rapport vormt fase 4 van het 'Haalbaarheidsonderzoek in-situ biorestauratie bij stortplaatsen, NOBIS project 96-3-04'. De voorgaande fasen zijn vastgelegd in de volgende rapporten:

#### Fase 1:

NOBIS 96-3-04 The intrinsic capacity of aquifers to degrade pollution from (old) landfills (phase 1), CUR/NOBIS project report number 96-3-04 phase 1, IWACO BV, Vrije Universiteit Amsterdam, Provincie Zuid-Holland, september 1998.

#### Fase 2:

NOBIS 96-3-04 Natural attenuation at the Coupépolder landfill / Hydrological, geochemical and biological characterisation, CUR/NOBIS project report number 96-3-04 phase 2, IWACO BV en Vrije Universiteit Amsterdam, september 1998.

#### Fase 3:

NOBIS 96-3-04 Characterisation of biological and geo-chemical processes at the Coupépolder, Banisveld and Achter de Beukenlaan, projectnummer 18301, IWACO en Vrije Universiteit Amsterdam, 21 december 1999.

In fase 1 en 2 van het onderzoek, uitgevoerd in 1997, heeft het onderzoek zich alleen gericht op de Coupépolder in de provincie Zuid-Holland. Gezien de bereikte tussenresultaten en de belangstelling van andere partijen voor het onderzoek is het consortium in fase 3 uitgebreid met de provincies Noord-Brabant en Utrecht.

De vier projectfasen kunnen als volgt worden samengevat:

- Fase 1: Een literatuur review naar de state of the art rondom het karakteriseren van NA bij stortplaatsen;
- Fase 2: Het onderzoeken van de geochemie en geohydrologie bij een case (de stortplaats Coupépolder) en het opstarten van onderzoek naar de toepassing van microbiologische karakterisatiemethoden bij het beoordelen van NA bij stortplaatsen;
- Fase 3: In fase 3 zijn de meettechnieken en concepten getoetst op de stortplaats Coupépolder in de provincie Zuid-Holland, de stortplaats Banisveld in de provincie Noord-Brabant en de stortplaats Achter de Beukenlaan in de provincie Utrecht. In fase 3 is met name een uitwerking gegeven van het karakteriseren van het microbiologische potentieel. Hiertoe is zowel in het laboratorium als in het veld gemeten. Naast het gebruiken van de traditionele hydrochemische en geochemische technieken is veel aandacht besteed aan het ontwikkelen en toepassen van technieken om de microbiële diversiteit van de ondergrond te bepalen. Hiertoe zijn voornamelijk twee methoden toegepast en ontwikkeld. De eerste is gericht op het bepalen van de metabolische diversiteit, onder welke omstandigheden en welke type stoffen kunnen de aanwezige micro-organismen in de ondergrond omzetten. De tweede is meer gericht op het kijken naar de genetische diversiteit in de ondergrond met DNA en RNA-karakterisatiemethoden. Bij deze technieken is vooral gezocht naar verschillen in karakteristieken tussen stort-, overgangszone en achtergrond;
- Fase 4: De laatste fase van dit project betreft het uitwerken van de bevindingen in een generieke methodiek dat kan dienen als handvat om het NA-potentieel bij stortplaatsen te beoordelen. Het voorliggende rapport is daarvan het resultaat.

#### 1.4 Doel van het stappenplan (fase 4)

Het doel van het in het voorliggende rapport beschreven stappenplan is het beschrijven van een logisch en relatief eenvoudig toe te passen onderzoeksplan voor het bepalen van natuurlijke afbraak bij stortplaatsen. Het stappenplan kan ondersteunen bij het opstellen van doelvoorschriften ten aanzien van nazorg rond stortplaatsen. Dit stappenplan beschrijft op hoofdlijnen de volgorde van de uit te voeren activiteiten. We willen wel een kanttekening plaatsen bij het feit dat er op dit moment nog geen eenvoudige directe methode is om het optreden van NA te bewijzen hoewel er veel aanwijzingen zijn. Het stappenplan is bedoeld om deze aanwijzingen op een geordende manier te verzamelen.

#### 1.5 Opzet rapportage

De rapportage van fase 4 is als volgt opgebouwd:

Opzet onderzoek fase 4	(hoofdstuk 2)
- Processen en onderzoek naar NA rond stortplaatsen	(hoofdstuk 3)
- Beslismodel toetsing NA	(hoofdstuk 4)
- NA beoordeling op 3 voorbeeldlocaties	(hoofdstuk 5)
- Meetinstrumenten en technieken	(hoofdstuk 6)
- Conclusies en aanbevelingen	(hoofdstuk 7)

## HOOFDSTUK 2

### OPZET ONDERZOEK FASE 4

#### 2.1 Probleemstelling

Een stortlichaam is een (potentiële) verontreinigingsbron. Door de heterogeniteit in samenstelling en verdeling van materialen in het stortlichaam ontstaan grote onzekerheden in de plaatsbepaling van pluimen van macro- en microverontreinigingen. De complexe samenstelling van vast en vloeibaar stortmateriaal maakt een stortlichaam (bio-) chemisch zeer reactief. Naar verwachting zijn toxische stoffen (micro-verontreinigingen) veelal aanwezig in de vorm van sterk gelokaliseerde puntbronnen (vaten etc.).

'Natural Attenuation' (NA) draagt bij aan het tegengaan van verspreiding van toxische stoffen naar het grondwater in de omgeving van het stortlichaam. In welke mate is nog moeilijk vast te stellen. Immers: indien bij een stortplaats geen verontreinigingspluim wordt gemeten kan dit worden toegeschreven aan NA, maar het kan ook zo zijn dat de meting is uitgevoerd op de verkeerde plaats! Als NA in belangrijke mate bijdraagt aan het tegengaan van verspreiding, is vervolgens de vraag of dit een duurzaam proces is. Als NA een duurzaam proces blijkt kan bij het aantonen van NA mogelijk volledig worden afgezien van aanvullende maatregelen.

NA processen treden zowel op in het stortlichaam als daarbuiten. Het optreden van NA buffert de verspreiding van de verontreiniging. De aard van het stortmateriaal maakt het nemen van monsters en het plaatsen van meetpunten in het stortlichaam gecompliceerd. In dit onderzoek wordt de stort vooral als een 'black box' beschouwd waaruit verontreiniging lekt. In dit project is vooral ingegaan op die processen die in de omgeving van een stortplaats optreden en die verspreiding van (toxische) microverontreinigingen tegengaan. Processen in de stort zijn daarom geen onderwerp van dit onderzoek geweest.

#### 2.2 Methodiek

Aan de hand van de methodiek dient als eerste de vraag te worden beantwoord of de stortplaats een risico vormt voor zijn omgeving, ten gevolge van verspreiding van verontreinigingen via het grondwater. Als verspreiding inderdaad optreedt of kan gaan optreden, dient de tweede vraag te worden beantwoord: wordt door het optreden van natuurlijke afbraak en vastlegging voorkomen dat de verontreinigingen zich verder verspreiden dan de directe omgeving van de stort.

In het geval dat het antwoord er op wijst dat natuurlijke afbraak kansrijk is, kan meteen naar een volgende stap worden gegaan om, indien nodig, deze bevindingen verder te onderbouwen. Als nazorg kan dan een monitoringsprogramma, gericht op het bewaken van de procesomstandigheden en de biologische activiteit op een aantal kritische plaatsen onder en rond de stort, voldoende zijn.

Als de kans op natuurlijke afbraak niet aanwezig wordt geacht, is het zinloos om hierop de nazorgactiviteiten van een stortplaats te baseren. Verder onderzoek moet dan gericht zijn op andere (wellicht meer intensievere) oplossingen. In het geval dat natuurlijke afbraak niet per definitie als een succesvolle of zinloze aanpak wordt gezien, maar als kansarm wordt ingeschat, kan selectief vervolgonderzoek plaatsvinden om combinaties van sanerings- of beheersopties te beoordelen.

Per stap nemen de kosten voor onderzoek en de betrouwbaarheid dat natuurlijke afbraak kansrijk is toe en de kans op falen af.

## HOOFDSTUK 3

### FASE 1: PROCESSEN EN ONDERZOEK NAAR NA ROND STORTPLAATSEN

#### 3.1 Inleiding

In fase 1 is een literatuurstudie uitgevoerd naar de huidige kennis op het gebied van karakterisatie van stortpercolaat in de bodem en aquifers onder en rond stortplaatsen. Het onderzoek is met name gericht op historische stortplaatsen. Voor meer recente stortplaatsen uit de jaren '80 en '90 zijn doorgaans bodembeschermende voorzieningen getroffen. Voor deze meer recente stortplaatsen zijn in principe voldoende maatregelen getroffen om verspreiding naar de omgeving te voorkomen.

#### 3.2 Processen rond stortplaatsen

##### 3.2.1 Redoxprocessen en afbraak

In de literatuur zijn diverse rapporten aangetroffen waarbij melding wordt gemaakt van het feit dat percolaat wordt afgebroken tijdens verspreiding door de aquifer. Om de degradatie van stortpercolaat te kunnen begrijpen, moet men weten wat er gebeurt met het percolaat als het zich door de ondergrond verspreidt. Stortpercolaat is een waterige oplossing dat hoge concentraties aan opgelost organisch materiaal (DOC) en een grote verscheidenheid aan andere opgeloste stoffen bevat (o.a. microverontreinigingen). Het percolaat heeft een erg hoge reducerende capaciteit (RDC) ten gevolge van het hoge organische stofpercentage. Zich verplaatsend door de ondergrond reduceert het percolaat het geoxideerde bodemmateriaal waarmee het in aanraking komt. De oxidatie van het percolaat en daarmee samenhangende reductie van de ondergrond is primair microbiologisch bepaald.

##### **Afbraakprocessen: metabolisme en co-metabolisme**

Het proces waarbij stoffen door een micro-organisme worden gebruikt (afgebroken), wordt aangeduid als metabolisme. Bij metabolische omzetting komt energie vrij die door het micro-organisme gebruikt kan worden voor onderhoud, groei, nutriëntopname en weerstand. De energie komt vrij door doorgave van elektronendonor (bijvoorbeeld organische stof) naar elektronenacceptor (bijvoorbeeld O<sub>2</sub>). De elektronendonor en elektronenacceptor worden hierbij omgezet. In andere gevallen zetten micro-organismen componenten om zonder dat ze er een duidelijk voordeel van hebben, dit wordt co-metabolisme genoemd. Co-metabolische afbraak is niet gekoppeld aan groei. Het wordt veroorzaakt door enzymen die normaal andere reacties katalyseren. Door het a-specifieke karakter van het enzym breekt het in sommige gevallen (bij toeval) ook andere componenten af. Co-metabolisme levert het micro-organisme geen voordeel op. Het kan zelfs nadelig zijn doordat het enzym door het optreden van co-metabolisme niet optimaal gebruikt wordt en de productie van enzymen energie kost. Er vindt voortdurend concurrentie plaats tussen verschillende micro-organismen. Hierbij speelt de aanwezigheid van verschillende elektronendons en elektronenacceptors en de benutting door micro-organismen een belangrijke rol. Micro-organismen gebruiken (voor zover dat binnen hun bereik ligt) namelijk de elektronendonor en elektronenacceptor die hun de meeste energie oplevert. Hierbij zijn micro-organismen die een elektronendonor of elektronenacceptor kunnen gebruiken die meer energie oplevert in het voordeel. Micro-organismen die

Andere processen, die percolaat beïnvloeden, zijn: verdunning, dichtheidsstroming, sorptie, dispersie, diffusie, microbiologische afbraak, reductie/oxidatieprocessen, oplossing, neerslag enzovoorts. Het resultaat van deze processen is de ontwikkeling van redoxzones stroomafwaarts van de stort. De verdeling van de redoxzones is zo dat de meest gereduceerde zone, de

methanogene zone, zich het dichtst bij de stort bevindt. Meer stroomafwaarts bevinden zich achtereenvolgens de minder gereduceerde zones, zoals de sulfaatreducerende zone, de ijzer (III) en mangaan (IV) reducerende zone, de nitraatreducerende zone en ten slotte de aërobe zone.

#### Redoxmilieu

Bij afbraak door micro-organismen onder aërobe omstandigheden dient zuurstof (O<sub>2</sub>) als elektronenacceptor. Hierbij treden organische componenten als elektronendonoren op. Bij de overdracht van elektronen van donor naar acceptor komt energie vrij. Deze energie gebruiken micro-organismen voor hun metabolisme. Er zijn ook andere elektronenacceptoren dan O<sub>2</sub> aanwezig die gebruikt kunnen worden door micro-organismen. De energie die vrijkomt bij de afbraak neemt af naarmate het milieu meer gereduceerd is. Hierdoor neemt de energie die vrijkomt bij gebruik van elektronenacceptoren af volgens O<sub>2</sub> > NO<sub>3</sub> > Mn(IV) > Fe(III) > SO<sub>4</sub> > CO<sub>2</sub>. Micro-organismen zijn slechts in beperkte mate in staat te kiezen tussen verschillende elektronenacceptoren. De meeste micro-organismen kunnen slechts één soort elektronenacceptor benutten. Dit heeft tot gevolg dat de microbiële populatie verandert wanneer er veranderingen optreden in het redoxmilieu.

OXC: (oxidatiecapaciteit) som van de concentraties van bovengenoemde elektronenacceptoren in equivalenten.

RDC: (reductiecapaciteit) som van de concentraties van elektronendonoren (DOC, pyriet, etc.) in equivalenten.

Voor de bepaling van de redox omstandigheden wordt tevens verwezen naar het in opdracht van NOBIS

Microverontreinigingen komen ook voor in stortpercolaat, maar in het algemeen in veel lagere hoeveelheden dan de macroparameters en het opgelost organisch materiaal (DOC). Hierdoor spelen deze verontreinigingen geen belangrijke rol bij het ontstaan en instandhouden van de redoxzones. Wel worden de meeste van deze verontreinigingen afgebroken onder de specifieke redoxcondities die aanwezig zijn onder de stortplaatsen. Momenteel wordt veel onderzoek verricht om het inzicht in deze afbraakprocessen te vergroten.

De redoxchemie van ijzer lijkt erg belangrijk te zijn. De ijzer (III) reducerende zone van de in het literatuuronderzoek betrokken Grindsted- en Vejen-stortplaatsen in Denemarken is relatief groot en Heron [2] heeft vastgesteld dat ijzer wordt gerecycled in de percolaatpluim. IJzer (III) wordt gereduceerd tot ijzer (II) dat veel beter oplosbaar in water is. IJzer (II) verspreidt zich met het grondwater naar de grens van de pluim waar het reoxideert in een minder gereduceerd milieu. Vervolgens is het daar weer beschikbaar om het percolaat te oxideren (nitraatreducerend en aëroob).

Het percolaat zelf bevat ook componenten die een bescheiden oxidatiecapaciteit (OXC) bezitten (sulfaat en TIC maar ook sterk gechlloreerde componenten zoals PER). Daardoor kan, in situaties waarbij een stort een aquifer verontreinigt met een relatief lage OXC, toch biologische afbraak optreden. De elektronenacceptoren zijn dan van het percolaat zelf afkomstig (bijvoorbeeld hoog gechlloreerde componenten zoals Perchlooretheen (PER), of hexachloorhexaan (HCH), maar ook CO<sub>2</sub>).

Het verspreidingsgedrag van een percolaatpluim is erg ingewikkeld. Deze complexiteit wordt vergroot door de heterogeniteit van de bodem en de aquifers. De karakterisatie van de stort, de percolaatpluim en de (potentieel) verontreinigde bodem om de biologische afbraakcapaciteit



te kunnen bepalen, is hierdoor een moeilijke taak. In het rapport van fase 1 worden de meest gebruikte en veelbelovende nieuwe technieken en methoden beschreven.

De rapportage van fase 1 beschrijft ook een aantal relatief nieuwe microbiologische technieken, gebaseerd op de karakterisatie van het metabolisch en genetisch potentieel van de microbiologische populaties in stortpercolaat. Deze worden in iets meer detail beschreven in paragraaf 3.3 van dit rapport. In de rapportage van fase 1 wordt ook nog het karakteriseren van het redox milieu met behulp van waterstofmetingen beschreven. Het blijkt dat de waterstof concentratie een indicator is waarmee elektronen acceptatieprocessen zijn af te bakenen.

### 3.2.2 *Karakterisatie van natuurlijke afbraakcapaciteit van stortpercolaat*

Natuurlijke afbraak van stortpercolaat kan plaatsvinden als de bodem en aquifer een aanzienlijke oxidatiecapaciteit (OXC) hebben. Verder, als er aanzienlijke OXC of OXC-instroom is, dient er een microbiologisch potentieel beschikbaar te zijn voor de specifieke xenobiotische verontreinigingen. Als de OXC en de microbiologische potentie in voldoende mate aanwezig zijn, worden processnelheden gemeten om de tijd- en ruimteschaal van de afbraak van de percolaatpluim te bepalen.

In eerste instantie (fase 1) is het karakteristiekonderzoek als volgt samengevat. In het kader van de vervolgfases van het onderzoek is deze opzet aangevuld en aangepast.

1. Bepaal de oxidatiecapaciteit (OXC) van de niet-beïnvloede aquifer (door middel van grond- en grondwaterbemonstering).
2. Bepaal de totale reductiecapaciteit (RDC) van het stortpercolaat;
3. Bepaal de afmetingen van de percolaatpluim. Een goede indicator is de elektrische geleidbaarheid ( $E_c$ ) of het chloridegehalte. De  $E_c$  van het percolaat is in het algemeen veel hoger dan van het niet-beïnvloede grondwater. De organische stofpluim (bepaald op basis van het totaal opgeloste organische stof, in het engels Total Organic Carbon afgekort als TOC) zal in het algemeen veel kleiner zijn dan de  $E_c$ -pluim ten gevolge van afbraak.
4. Bepaal de algemene geohydrologie in de omgeving van de stort. Hydrologische en stoftransport modellen kunnen worden gebruikt voor het schatten van de OXC- en RDC-fluxgrootte.
5. Bepaal de locaties waar percolaat naar de ondergrond weglekt (in het algemeen erg moeilijk in verband met de heterogeniteit van stortplaatsen).
6. Als de aquifer een OXC heeft die voldoende groot is of de OXC wordt voldoende snel aangevuld vanuit de stort om een belangrijk deel van het percolaat af te breken, moet de omvang van de percolaatpluim worden bepaald. Hiervoor kunnen simpele numerieke modellen worden gebruikt. Als de OXC niet groot is, zal de natuurlijke afbraak ook beperkt zijn en zullen andere (sanerende) maatregelen moeten worden genomen.
7. Om de voorspellingen te verbeteren, en om er zeker van te zijn dat toxische verontreinigingen worden afgebroken, kunnen laboratoriumproeven gericht op de karakterisatie van de microbiologische afbraakpotentie en de mogelijke afbraaksnelheden worden uitgevoerd. Indien mogelijk, moeten ook in-situ experimenten worden uitgevoerd.
8. Als wordt gekozen voor natuurlijke afbraak van stortpercolaat, moet een monitoringssysteem worden geïnstalleerd om de verwachtingen te controleren en de voorspellingen te verbeteren.

In dit rapport worden de bovenbeschreven 8 stappen nader uitgewerkt in een praktisch toe te passen stappenplan.

### 3.3 Gebruikte onderzoekstechnieken

In dit project is getracht NA aan te tonen door het toepassen van een combinatie van meettechnieken. Naast 'gewone' geochemische analyses aan grond en grondwater zijn ook een aantal technieken toegepast die gericht zijn op de biologische component van NA.

#### 3.3.1 *Microbiologische karakterisatietechnieken*

De detectie van genen, die indicatief zijn voor biodegradatie, is op dit moment niet mogelijk. Wel zijn een aantal moleculair biologische methodes beschikbaar zoals Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) en Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) van 16S rRNA, die geschikt zijn voor initiële experimenten, om een indicatie te krijgen van de biodiversiteit. Bij de aanvang van dit project was DGGE al ontwikkeld om de genetische diversiteit in bosbodems te bepalen. In dit project is deze methode geoptimaliseerd voor de toepassing in verontreinigingspluimen.

Laboratorium batchtesten worden gebruikt om de biologische afbraakpotentie te bepalen. Om de biologische afbraakpotentie te kunnen relateren aan de biodiversiteit, lijkt het prepareren van microcosms, zoals Johnson [3] dat heeft gedaan, geschikt. Hiertoe wordt 1 monster verspreid over een groot aantal flesjes en geënt met verontreinigingen. In de tijd worden monsters genomen door iedere keer 2 flesjes te bemonsteren en te analyseren. De concentratie aan verontreinigingen in het bodemvocht wordt bepaald. Het sediment kan worden gebruikt om het DNA en RNA uit te extraheren en een oplossing te maken voor gebruik in BIOLOG-platen om de metabole capaciteit te bepalen.

Een derde techniek die gebruikt is in deze studie is het bepalen van de metabole diversiteit met behulp van de zogeheten BIOLOG-platen. Een BIOLOG-plaat is een microtiter plaat waarin er 96 putjes zitten. Elk putje bevat een specifiek substraat en een indicator die aangeeft of er in zo'n putje sprake is van enzym activiteit. Door een monster te verdelen over de 96 putjes en na verloop van tijd het aantal putjes te tellen die enzym activiteit hebben, is het mogelijk om monsters met elkaar te vergelijken. De methode wordt veel toegepast in de medische wereld als een snelle karakterisatie van bacteriën. Door het verkregen patroon te vergelijken met een database, kan met een relatief grote mate van zekerheid de bacterie geïdentificeerd worden.

Voor de toepassing in vuilpluimen bestaan helaas nog geen databases en aan het begin van het project was ook nog niet helemaal zeker hoe zinvol de toepassing van BIOLOG-platen zou zijn. De wijze waarop de BIOLOG-metingen zijn geïnterpreteerd is vooral bedoeld geweest om de reacties met de verschillende monsters met elkaar te vergelijken. Als de metingen op elkaar lijken, is de aanname dat de populaties vergelijkbaar zijn.

#### 3.3.2 *Laboratorium batch microcosms (LBM) en in situ mesocosms (ISM)*

Laboratorium batch cosms (LBM) incubatieproeven kunnen volgens de onderzoeksgroep van Christensen worden uitgevoerd. Dit houdt in het maken van 1 grote microcosm waaruit in de tijd grondwatermonsters voor analyse worden genomen. De proeven kunnen ook worden uitgevoerd zoals omschreven door Johnston; dit houdt in het aanmaken van een groot aantal microcosms afkomstig van 1 bodemmonster. In de tijd worden deze cosms bemonsterd. Beide methoden hebben voor- en nadelen. Wanneer men echter bodemmonsters wil analyseren gedurende de incubatieperiode (bijvoorbeeld voor het karakteriseren van de microbiologische populatie) heeft de methode van Johnston de voorkeur. Daar staat tegenover dat, indien de microbiologische populatie in de bodem en het grondwater vooraf wordt vergeleken, ook de methode van Christensen kan worden gebruikt.

Tijdens de aanvangsperiode van dit project heerste de gedachte ISM's te gebruiken voor het meten van de afbraak-(snelheden) onder in-situ omstandigheden. Deze methode is geoptimali-

seerd door de groep van Christensen. Nadat informatie was verkregen van Christensen tijdens een studiebezoek aan Denemarken, werd duidelijk dat ISM's technisch lastig zijn toe te passen, met name de installatie en bemonstering. Afbraaksnelheden gemeten met een LBM of ISM kunnen tot een factor 5 verschillen. De experts van de groep van Christensen raden daarom aan om eerst proeven te doen met LBM's. Een meer gedetailleerde studie naar de ISM's wijst verder uit dat deze techniek niet erg geschikt is voor het in-situ meten van de biologische afbraak, omdat er geen (fysiek) interactie/contact is tussen de ISM en de omgeving. Alleen de temperatuur is gelijk aan de omgeving. Doorstroming van de ISM vindt niet plaats. Dit kan een belangrijke parameter zijn voor afbraak: een grondwaterstroming van 10 m/jaar, gemeten nabij de Coupépolder, komt overeen met 0,5 volumeveranderingen per dag in de ISM.

De natuurlijke situatie kan ook worden gesimuleerd door het gebruik van doorstroomkolommen in het laboratorium. Bij deze methode is de kolom gevuld met bodemmateriaal van een bepaald bemonsteringspunt. Grondwater genomen op hetzelfde bemonsteringspunt wordt geënt met verontreinigingen en geleid door de kolom met een snelheid die zoveel mogelijk overeenkomt met de natuurlijke grondwaterstromingssnelheid. Omdat de temperatuur in de bodem onder een stort redelijk constant is, kunnen deze experimenten eenvoudig worden uitgevoerd in een laboratorium. In principe kan het effluent van 1 kolom worden gebruikt als influent voor de volgende kolom. Op deze manier kunnen kolommen met bodemmonsters van verschillende redoxzones in serie worden geplaatst voor de simulatie van biologische afbraak onder storts. Effluent kan worden bemonsterd en geanalyseerd om de afname van verontreinigingen te bepalen.

### **3.4 Modellen voor de simulatie van natuurlijke afbraakprocessen**

Er is een groot aantal processen die van belang zijn bij NA in relatie tot de verspreiding van percolaat vanuit een stortlichaam naar de omgeving. Er is ook een groot aantal modellen beschikbaar die gebruikt worden om deze processen te beschrijven. Soms is het zelfs mogelijk om met behulp van gecalibreerde modellen het verloop van processen te voorspellen. In deze paragraaf wordt heel kort ingegaan op een aantal modellen die gebruikt kunnen worden bij het onderzoeken van deelprocessen die van belang zijn voor NA bij stortplaatsen. Modellen zijn hulpmiddelen bij het interpreteren van gegevens.

#### **Grondwaterstroming**

Er zijn een groot aantal grondwaterstromingsmodellen beschikbaar. Deze modellen variëren van 1 dimensionale modellen die de waterstroming in de onverzadigde zone beschrijven tot volledige modellen die grondwaterstroming in 3 dimensies beschrijven. Veel gebruikte 3D modellen zijn TRIWACO, MICROFEM en MODFLOW, een mogelijke 2D model is HYDRUS 2D/SWMS2D en tot slot bekende 1D modellen zijn HYDRUS 1D en SWATRE.

#### **Stoftransport**

Er zijn een groot aantal modellen beschikbaar waarmee het stoftransport (samen met het grondwater) in de bodem kan worden beschreven. Enkele hiervan zijn: HYDRUS1D, HYDRUS2D, BIOMOC, BIOREDOX, MT3D, RT3D, SORWACO, etc. Sommige modellen zijn volledig geïntegreerde waterstroming en stoftransport modellen, andere modellen zijn losstaande modellen die gebruikt moeten worden samen met grondwaterstromingsmodellen. Veel stoftransport modellen worden gebruikt om de stroming van stoffen langs specifieke stroombanen uit te rekenen, andere modellen rekenen volledig 2 of zelfs 3 dimensionaal. De meeste stoftransport modellen houden rekening met evenwichtsadsorptie. Sommige hebben de mogelijkheid voor multicomponent afbraak.

#### **Hydro- en geochemische evenwichten**

Een speciale groep modellen zijn de geochemische evenwichtsmodellen. Dit zijn modellen die de concentratie verdeling van een groot aantal stoffen op grond van de thermodynamische coëfficiënten van mogelijk optredende reacties kunnen berekenen. Vaak zijn deze modellen voorzien van (eenvoudige) stromingsmogelijkheden.

#### **Microbiologisch geënte modellen**

Op dit moment is onderzoek gaande naar het beschrijven van microbiologische en ecologische processen met behulp Controle Analyse. Met deze methode wordt getracht de gevoeligheid van een systeem als geheel op veranderingen in delen te beschrijven. Op dit moment zijn nog geen algemeen bruikbare modellen beschikbaar.

#### **Gecombineerde modellen**

Uit de bovenstaande opsomming blijkt dat er een veelheid aan modellen beschikbaar is. Elk model is speciaal ontwikkeld voor een specifieke toepassing. Er zijn pogingen geweest om compleet geïntegreerde modellen te maken, alleen zijn deze modellen niet echt praktisch toepasbaar. Dit komt enerzijds door de gigantische hoeveelheid rekenkracht die gevraagd worden maar zeker ook vanwege de enorme hoeveelheid gegevens die nodig zijn om de modellen te parameteriseren. De voorspellende waarde van deze modellen is daarom ook gering, deze modellen zijn meer geschikt om de fundamentele samenhang tussen verschillende processen theoretisch te bestuderen.

## HOOFDSTUK 4

### STAPPENPLAN TOETSING NA IN GRONDWATER BIJ STORTPLAATSEN

#### 4.1 Uitgangspunten

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken in fase 1, 2 en 3 is een opzet gemaakt voor een stappenplan dat gebruikt kan worden voor de toetsing voor het optreden van Natuurlijke Afbraak in de omgeving van stortplaatsen. Voor dit stappenplan gelden een aantal uitgangspunten:

- Het uitgebreid karakteriseren van NA kan een kostbare zaak zijn. Het is daarom belangrijk dit NA onderzoek alleen daar toe te passen waar de toepassing van NA noodzakelijk en kansrijk is;
- De toepassing van NA vindt plaats in het kader van een risicobeoordeling en moet bijdragen aan het wegnemen van risico's;
- Gezien de aard van NA (relatief traag proces dat vrij veel ruimte vraagt) zal NA vooral worden toegepast om verspreiding van verontreinigingen via percolaat tegen te gaan.

Deze uitgangspunten hebben geleid tot een stappenplan dat fungeert als een zeef. Een uitgebreid NA onderzoek zal alleen plaats vinden bij die stortplaatsen waar dat zinvol is. Het stappenplan is schematisch weergegeven in figuur 1.

1. Conceptueel model van de stort
2. Pluimbeoordeling
3. Bepaling potentieel en snelheid NA

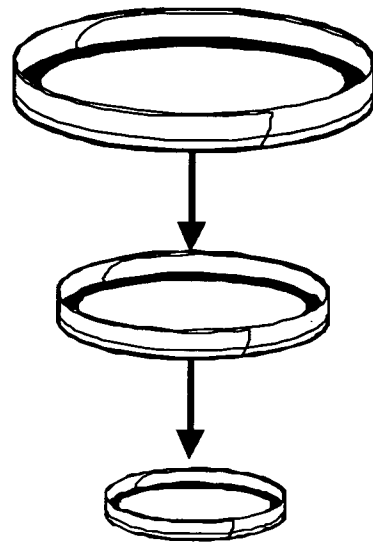


Fig. 1. Globale weergave stappenplan toetsing NA in grondwater bij stortplaatsen.

In figuur 1 zijn een drietal stappen gegeven. Het type onderzoek dat wordt uitgevoerd per stap wordt gecompliceerder naarmate we verder naar beneden gaan in het stappenplan. Op het moment dat er potentieel is voor NA en bewezen is dat NA met voldoende snelheid optreedt kan worden overgegaan tot stap 4, de implementatie.

Uit figuur 1 kan worden opgemaakt dat pas in stap 3 gericht naar aspecten van natuurlijke afbraak wordt gekeken. Hoewel de stappen 1 en 2 als 'conventioneel' kunnen worden beschouwd

zijn deze stappen toch uitgewerkt omdat een goede karakterisatie van NA alleen maar mogelijk is als de positie van een eventuele pluim bekend is. De verdere uitwerking van het stappenplan is schematisch weergegeven in het stroomschema in figuur 2. De verschillende stappen zijn verder toegelicht in dit hoofdstuk. Vooraf kunnen nog de volgende hypothesen worden vermeld die richtinggevend zijn voor de stappen in het beslismodel:

- Hypothese**
1. Percolaat dat zich verspreidt vanuit een stortlichaam vormt een percolaat pluim.
  2. Macroparameters zijn diffuus en relatief homogeen verdeeld over het stortlichaam, (organische) microverontreinigingen hangen samen met puntbronnen in het stortlichaam. Dit betekent dat een eventuele macropluim eenvoudiger en sneller te detecteren is dan een micropluim.
  3. Indien geen sprake is van een macropluim is ook geen sprake van een micropluim, indien sprake is van een macropluim is mogelijk sprake van een micropluim.

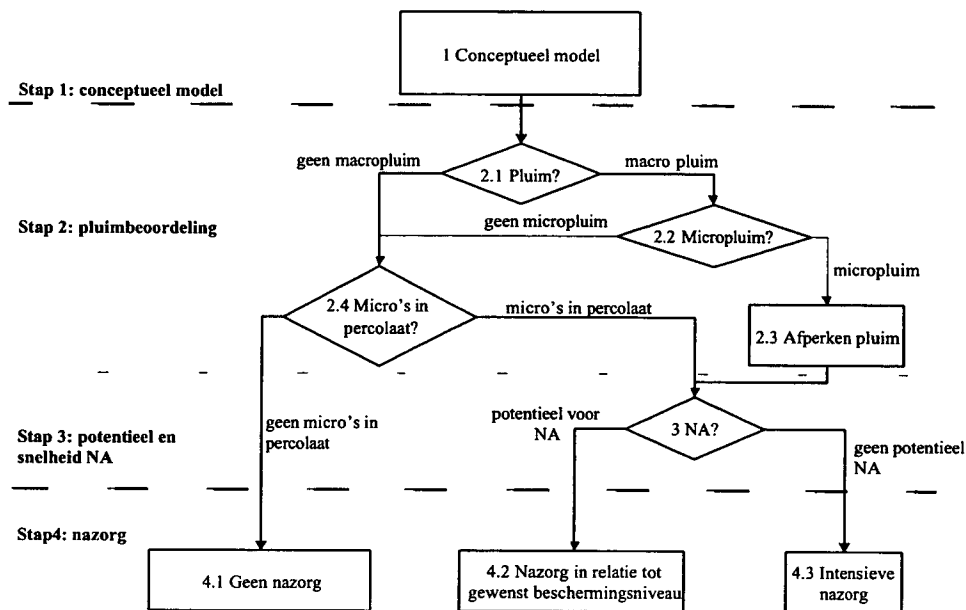


Fig. 2. Uitgewerkt stroomschema stappenplan toetsing NA bij stortplaatsen.

#### 4.2 Step 1: Conceptueel model

Voor stap 1 kunnen de volgende onderdelen worden onderscheiden:

- Samenvoegen van beschikbare informatie over de stort;
- Opstellen van een conceptueel verspreidingsmodel;
- Inventarisatie van de omgeving van de stortplaats.

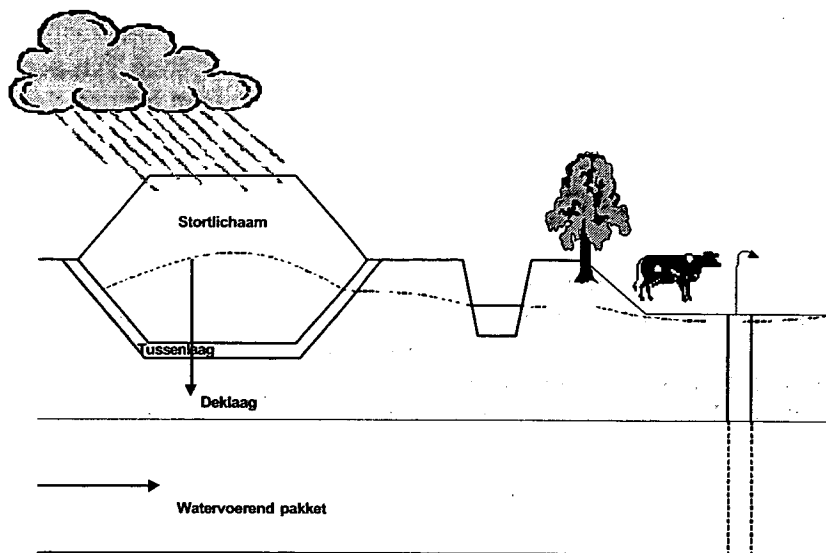


Fig. 3. Stap 1: Globale risicobeoordeling, opstellen conceptueel model.

#### 4.2.1 *Samenvoegen van beschikbare informatie*

Beschikbare informatie dient te worden samengevoegd tot een zo volledig mogelijk overzicht. Op basis van dit overzicht ontstaat een conceptueel model van de stortplaats. Men moet zich realiseren dat er in veel gevallen veel meer informatie beschikbaar is dan in eerste instantie wordt verwacht. Bronnen die geraadpleegd kunnen worden zijn allerlei kaarten zoals topgrafische-, bodem- en grondwaterkaarten. Zeer nuttige bronnen zijn luchtfoto's omdat daar vaak de stortactiviteiten op te zien zijn. Uiteraard kan ook op zoek gegaan worden naar dossiers over de stortoperatie zelf. Aandachtspunten hierbij zijn:

- Topografie;
- Oppervlakte hydrologie;
- Samenstelling van het stortlichaam: huisvuil, bouw- en sloopafval, bedrijfsafval en chemisch afval;
- Lokale en regionale bodemopbouw en geohydrologie;
- Dimensies van de stortplaats;
- Is gestort beneden het actuele grondwaterniveau?
- Mogelijke verspreidingspaden;
- Bedreigde objecten;
- Oude meetgegevens;
- Locatiebezoek;
- Etc.

#### 4.2.2 *Conceptueel verspreidingsmodel*

Het transportmedium voor verspreiding van stoffen afkomstig uit het stortlichaam naar het grondwater is water. De verspreiding kan in eerste instantie worden bepaald middels een conceptueel hydrologisch model van de stort en omgeving.

#### **Waterbalans**

Het opstellen van een waterbalans geeft relatief snel inzicht in de grootte orde van de te verwachten verspreiding. Aandachtspunten bij het opstellen van een waterbalans zijn:

- Oppervlakte van de stortplaats;
- Aanwezigheid vegetatie of (gedeeltelijke) bovenafdichting op de stort;
- Oppervlakkige afstroming;
- Ringdrainage of andere onttrekkingsmiddelen rond de stort;
- Aanwezigheid open water in directe omgeving en open water- of polderpeilen;
- Kwel of infiltratie;
- Beschikbare stijghoogtemetingen.

Op basis van een waterbalans kan een eerste indicatie worden verkregen over de fluxen die ontstaan vanuit de stort naar de omgeving.

### **Grondwaterstroming**

Met behulp van een waterbalans en de overige beschikbare informatie kan een eerste (conceptuele) indruk worden verkregen van de grondwaterstroming rond de stortplaats. In veel gevallen zullen vervolgens de volgende vragen ontstaan:

- Waar stroomt het percolaat uit de stort naar toe, wat is de stromingsrichting?
- Hoe snel of langzaam is de verplaatsingssnelheid van het percolaat?
- Hoe veel percolaat lekt vanuit het stortlichaam naar het watervoerende pakket?

Voor het bepalen van de grondwaterstroming, en het bepalen van de plaatsen waar grondwater, dat beïnvloed is door de stort, kan worden verwacht is een geohydrologisch model een belangrijk hulpmiddel. Het gaat hierbij met name om het berekenen van stroomlijnen en verblijftijden.

#### *4.2.3 Inventarisatie omgeving van de stort*

Om een eerste inschatting te maken van de potentiële risico's die samenhangen met de verspreiding van percolaat uit een stort dient een inventarisatie van de omgeving te worden uitgevoerd. Het gaat hier onder andere om de aanwezigheid van waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden, woongebieden, kwetsbare natuur etc. Het gebied dat bij de inventarisatie wordt betrokken dient te worden afgestemd op de resultaten uit het 'samenvoegen beschikbare informatie' in relatie tot het conceptueel verspreidingsmodel. Als alle gegevens worden samengevoegd kan een zogeheten bron -> pad -> object benadering worden toegepast. Afhankelijk van het risico kan deze benadering worden gestart vanuit het object of vanuit het stortlichaam (de bron).

### **4.3 Stap 2: Pluimbeoordeling**

Op basis van het (conceptuele) geohydrologische model kan de stromingsrichting van het grondwater en daarmee de potentiële verspreidingsrichting van verontreinigingen worden bepaald. Met deze informatie kan dan gericht worden gezocht naar de aanwezigheid van een percolaatpluim (zie figuur 4).



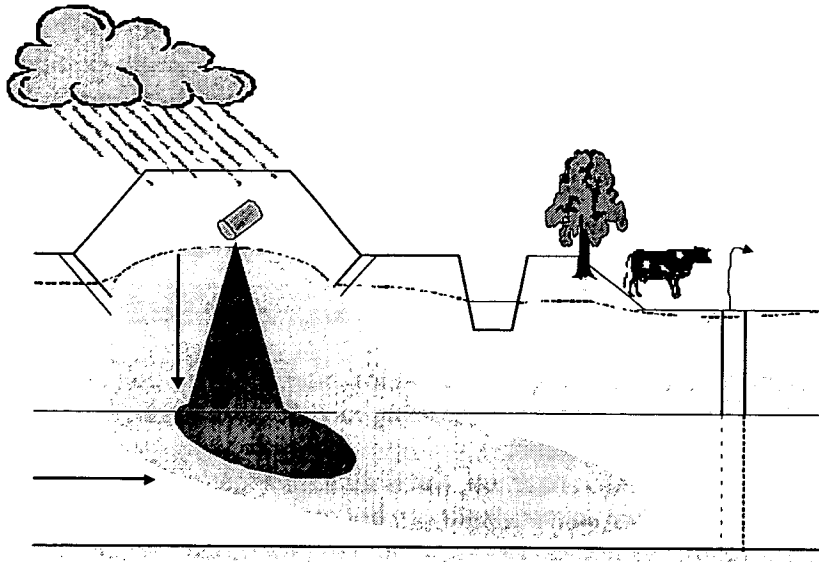


Fig. 4. Stap 2: Pluimbeoordeling.

4.3.1 *Stap 2.1: traceren van de beïnvloeding van het grondwater door percolaat (macropluim)*  
 Met behulp van het conceptuele model van de stort en de geohydrologie, eventueel ondersteund met een grondwatermodel, kan de zoektocht naar een pluim met macroverontreinigingen meer gericht worden uitgevoerd. Voor het traceren van een pluim met macroverontreinigingen zijn verschillende technieken beschikbaar, zoals:

- Geofysische technieken zoals EM technieken, warmtebeelden, sonderingen etc.;
- Geleidbaarheid en pH van het grondwater;
- Concentraties van macroparameters (macro Kationen:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  (pH-afhankelijk; bij  $\text{pH} < 4$ ),  $\text{NH}_4^+$  en macro Anionen:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{CO}_3^{2-}$  of alkaliteit,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ );
- Organische stof met bijvoorbeeld DOC, CZV (chemische zuurstof verbruik) of BZV (biologische zuurstof verbruik);
- Vaststellen van redox milieus rondom de stort (aëroob, nitraatreducerend, Fe/Mn reducerend, sulfaat reducerend, methanogeen), extra parameters voor redox:  $\text{O}_2$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  (of totaal),  $\text{Mn}^{2+}$  (of totaal),  $\text{S}^{2-}$ , eventueel  $\text{CH}_4$ ;
- Schatting van de kwaliteit van het percolaat in het stortlichaam.

Veelal zal er een combinatie van deze technieken worden toegepast. In ieder geval zullen er een aantal peilbuizen worden gezet. Een uitgebreidere toelichting op deze technieken is opgenomen in hoofdstuk 6. Op basis van het uitgevoerde in stap 2, zijn twee bevindingen mogelijk:

- Er is sprake van een pluim met macroparameters. Ga naar stap 2.2, vaststellen of er ook sprake is van een pluim met microverontreiniging;
- Er is geen sprake van een pluim met macroparameters. Ga naar stap 2.4, stel vast of er in het percolaat microverontreinigingen voorkomen.

#### 4.3.2 *Stap 2.2: bepalen of er in de macropluim ook sprake is van microparameters*

Indien sprake is van een pluim met macroparameters is het zinvol om in de pluim te kijken naar de aanwezigheid van microparameters. Een van de hypothesen ten aanzien van de verspreiding van microparameters is dat deze binnen de contouren van een macropluim zullen worden aangetroffen. Omdat de microverontreinigingen vanuit een stort samenhangen met puntverontreinigingen (lekkende vaten) zijn deze pluimen doorgaans moeilijk te identificeren.

Op basis van het onderzoek naar de aanwezigheid van micro verontreinigingen zijn 2 antwoorden mogelijk:

- In de macropluim is sprake van een pluim met microparameters. Voordat een verdere beoordeling van NA plaatsvindt (stap 3) is het verstandig om deze pluim af te perken (stap 2.3);
- Er zijn geen microparameters vastgesteld. Dit kan betekenen dat er geen microparameters in het percolaat zitten. Dit wordt vastgesteld in stap 2.4.

#### 4.3.3 *Stap 2.3: afperken van de aangetoonde pluim met microparameters*

Het optreden van NA processen wordt het beste aangetoond indien we in staat zijn om veranderingen in concentraties die het gevolg zijn van NA aan te tonen. Omdat NA een relatief traag verlopend proces is, willen we als het kan op verschillende plaatsen langs een stroombaan meten. Daarom is het belangrijk om de omvang van de pluim met microverontreinigingen vast te stellen. In stap 3 (het vaststellen van NA) kunnen we dan heel gericht metingen uitvoeren naar veranderingen in bijvoorbeeld de redox condities. Nadat de omvang van de micropluim is vastgesteld wordt verder gegaan met stap 3, het vaststellen van het potentieel en snelheid van NA.

#### 4.3.4 *Stap 2.4: vaststellen of het percolaat in het stortlichaam ook microparameters bevat*

Indien er geen beïnvloeding van het grondwater door percolaat is vastgesteld of er is alleen maar sprake van een beïnvloeding door macroparameters, kan men ervan uitgaan dat er geen actuele verspreidingsrisico van (toxische) microverontreinigingen is. Het niet aantreffen van microverontreiniging kan worden veroorzaakt door NA maar kan ook zijn veroorzaakt doordat het percolaat geen microverontreinigingen bevat. Om een potentieel risico voor verspreiding uit te sluiten is het nodig dat inzicht wordt verkregen in de kwaliteit van het percolaat. Als het percolaat namelijk wel microverontreinigingen bevat kan het zo zijn dat er in de toekomst verspreiding kan optreden.

Het percolaat kan eenvoudig worden bemonsterd indien een ringdrainage of drainage onder de stort aanwezig is. Indien deze mogelijkheden ontbreken dient een aantal boringen te worden uitgevoerd door het stortlichaam en te worden afgewerkt met een aantal peilbuizen.

Op basis van de percolaatbemonstering zijn opnieuw 2 antwoorden mogelijk:

- Indien in het percolaat geen microverontreinigingen aanwezig zijn is nader onderzoek naar NA niet noodzakelijk, en kan worden aangenomen dat het risico voor verspreiding van microverontreinigingen verwaarloosbaar is. Er is geen nazorg nodig (stap 4.1);
- Indien in het percolaat microverontreinigingen aanwezig zijn is er een potentieel risico voor het ontstaan van een pluim met microverontreinigingen. Door in stap 3 het potentieel voor NA voor de aangetroffen microverontreinigingen te bepalen kan de intensiteit van de nazorg worden afgestemd aan het gewenste beschermingsniveau. Het is daarom aan te bevelen om langs stap 3 naar stap 4.2 te gaan.

#### 4.4 **Stap 3: het bepalen van het potentieel en snelheid van NA**

Afhankelijk van de voorgeschiedenis vindt het onderzoek in deze stap plaats op twee niveaus. De eerste is een onderzoek op relatief beperkte schaal en heeft primair tot doel om vast te stel-

len of er sprake is van voldoende NA potentieel. Dit onderzoek vindt plaats in het geval dat er geen sprake is van een pluim met microverontreinigingen buiten het stortlichaam. Het tweede is een meer uitgebreid onderzoek naar het optreden van NA en is gericht op het bepalen van het potentieel en de snelheden van NA. Dit onderzoek wordt uitgevoerd op het moment dat er sprake is van een pluim met microverontreinigingen.

#### **Potentieel NA bij afwezigheid pluim en aanwezigheid microverontreinigingen in het percolaat**

Neem extra grondwatermonsters om het redoxbeeld te vervolmaken. Gebruik voor grondwatermonsters zoveel mogelijk de bestaande peilbuizen (in ieder geval minimaal 6 weken na plaatsing). Zet een aantal nieuwe boringen om sediment te krijgen, werk deze boringen af met peilbuizen. Gebruik de peilbuizen in het stortlichaam, bovenstrooms én benedenstrooms langs de rand van de stort.

Bepaal van het sediment en de grondwatermonsters de geochemische en microbiologische karakteristieken. Het gaat hierbij vooral om het vaststellen van het redox milieu en de diversiteit en aanwezigheid van verschillende micro-organismen (Fe/Mn reduceerders en *Geobacter* spp). Ga naar stap 4.

#### **Potentieel en snelheid NA bij aanwezigheid pluim**

Neem extra grondwatermonsters om het redoxbeeld te vervolmaken. Gebruik voor grondwatermonsters zoveel mogelijk de bestaande peilbuizen (in ieder geval minimaal 6 weken na plaatsing). Zet een aantal nieuwe boringen om sediment te krijgen, werk deze boringen af met peilbuizen. Gebruik de peilbuizen in het stortlichaam, bovenstrooms én benedenstrooms langs de as van de pluim. Van de benedenstroomse peilbuizen moet er tenminste één in de teen van de pluim staan.

Bepaal van het sediment en de grondwatermonsters de geochemische en microbiologische karakteristieken. Het gaat hierbij vooral om het vaststellen van het redox milieu en de diversiteit en aanwezigheid van verschillende micro-organismen (Fe/Mn reduceerders en *Geobacter* spp). Verzamel door monitoring in de tijd een tijdreeks van het concentratie verloop in redox parameters en de microverontreinigingen.

#### **Interpretatie van resultaten**

Van zeer veel microverontreinigingen is bekend onder welke redox omstandigheden ze kunnen afbreken. Als uit de metingen blijkt dat de juiste omstandigheden voorkomen is het aannemelijk dat de verspreiding tegen gegaan zal worden door NA mits er voldoende microbiologisch potentieel aanwezig is. Op dit moment wordt zeer veel onderzoek gedaan naar het interpreteren van DNA profielen etc. Van een aantal stoffen is bekend welke soorten organismen zijn betrokken bij de afbraak, met behulp van DNA analyses kunnen deze soorten aangetoond worden. In de nabije toekomst zullen veel meer soorten geïdentificeerd worden waardoor het waarschijnlijk is dat de DNA analyses een steeds grotere toepassingsgebied zullen krijgen.

Door in het geval van een micropluim langs de as van de pluim te monitoren in de tijd, wordt een data reeks gecreëerd waarmee met behulp van stoftransport modellen de NA snelheden kunnen worden bepaald. Met deze modellen is het ook mogelijk om verwachtingen voor de toekomst te geven ten aanzien van de maximale verspreiding van de microverontreinigingen. Het gaat hierbij vooral om de combinatie van veranderingen van opgeloste microverontreinigingen. Alleen een duidelijke massa afname in de pluim is bewijs voor NA.

De gegevens die zijn verkregen uit deze derde stap moeten worden samengevat op een zodanige wijze dat op basis van het vertrouwen dat we hebben gekregen in het optreden van NA, we in staat zijn om een monitoringprogramma te ontwerpen waarmee de verspreiding van een micropluim op tijd wordt gesignaleerd terwijl we tegelijkertijd het optreden van NA bevestigen. Als gunstig wordt ervaren:

- Specifiek en niet specifiek DNA profiel dat vergelijkbaar is met locaties waar het optreden van NA is aangetoond;
- Een grote hoeveelheid geoxideerd ijzer in het sediment (grote oxidatiecapaciteit);
- Een zodanige redox sequentie dat de omstandigheden gunstig zijn voor de volledige afbraak van de aangetroffen microverontreinigingen.

Deze beoordeling zal per stortplaats gemaakt moeten worden waarbij het erom gaat wat het totaal beeld is. Het gaat erom dat we een schatting kunnen maken van de ontwikkeling van de pluim in ruimte en tijd.

#### **4.5 Stap 4: Implementatie van de nazorg**

Op basis van het uitgevoerde onderzoek is vastgesteld of er sprake is van een pluim met macro- en microparameters, en of hierbij sprake is van NA. Op basis van het beslismodel kan implementatie bestaan uit het volgende:

- Geen nazorg;
- Nazorg in relatie tot gewenst beschermingsniveau;
- Intensieve nazorg.

##### **4.5.1 Stap 4.1: geen nazorg**

Als op basis van het uitgevoerde onderzoek is vastgesteld dat zelfs in de stort geen microverontreinigingen worden aangetoond, dan kan worden gesteld dat verder onderzoek en nazorg niet noodzakelijk is. Uit oogpunt van zorgvuldigheid bestaat de mogelijkheid om een zeer extensieve monitoring van het percolaat en/of enkele peilbuizen uit te voeren (indicatie: één keer per 10 jaar). Een macropluim kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot eutrofiëring en daardoor tot ecologische risico's. In die gevallen kan een bepaalde vorm van nazorg of monitoring toch gewenst zijn.

##### **4.5.2 Stap 4.2: nazorg in relatie tot gewenst beschermingsniveau**

In deze categorie zijn in ieder geval macro- en microverontreinigingen aangetoond in het stortlichaam en eventueel daarbuiten. Ook is vastgesteld dat er een potentieel voor NA is. Voor die gevallen waarbij een micropluim buiten de stort is aangetoond is ook inzicht in de snelheid van NA. Naar verwachting zal een grote groep stortplaatsen in deze categorie vallen omdat vrijwel overal NA optreedt en vrijwel alle stortplaatsen microverontreinigingen in het stortlichaam hebben. In deze categorie kan onderscheid gemaakt worden in stortplaatsen zonder micropluim maar waarbij in het stortlichaam microverontreinigingen aanwezig zijn.

#### **Stortplaatsen zonder pluim met microverontreinigingen**

De nazorg bij deze categorie stortplaatsen zal bestaan uit het monitoren van het grondwater in de omgeving van de stort. Afhankelijk van het vertrouwen in NA zal de meetfrequentie hoger zijn. Een indicatie voor deze meetfrequentie is eens per vijf jaar.

Als bij het monitoren de concentraties in de macropluim (of micropluim) sneller dan verwacht toenemen, moet in het licht van de risico's besloten worden de nazorg aan te passen.

De monitoring kan er echter ook op wijzen dat er sprake is van een stabiele pluim dat door NA wordt beheerst. De intensiteit van de monitoring kan worden afgestemd op de waargenomen dynamiek en veranderingssnelheden.

#### **Stortplaatsen met een pluim van microverontreinigingen**

In deze categorie is aangetoond dat NA zondanig kan bijdragen aan het voorkomen van de verspreiding van de microverontreinigingen. De nazorg bestaat in dit geval uit het controleren dat de verwachte processen ook daadwerkelijk zullen optreden. Er wordt gemonitord met een zodanige meetfrequentie dat we in staat zijn om het verwachte verloop van bepaalde concentratie veranderingen te bevestigen. Hierbij zal veelvuldig gebruik gemaakt worden van modellen.

Als door de monitoring wordt bewezen dat de NA-processen aan de verwachtingen voldoen, kan de monitoring worden geëxtensiveerd.

#### **4.5.3 Intensieve nazorg**

Als ter plaatse van een stortplaats zowel een macro- als een micropluim is vastgesteld, waarbij geen aanwijzingen zijn dat sprake is van NA dan moeten er andere oplossingen worden gezocht. Deze oplossingen vallen buiten het onderwerp van dit rapport en zullen vaak meer civiel technisch van aard zijn waarbij de grondwaterstroming door pompen of het plaatsen van damwanden zal worden beïnvloed zodat de verspreiding wordt beheerst.

## HOOFDSTUK 5

### NA BEOORDELING OP 3 STORTLOCATIES

In het kader van fase 2 en 3 van het onderzoek zijn 3 stortlocaties onderwerp van een case studie. In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit deze fasen weergegeven. Hierbij is de in het kader van fase 4 ontwikkelde beslismodel achteraf toegepast. Hierdoor ontbreken op enkele plaatsen onderdelen. In onderstaand overzicht is een beknopte beschrijving van deze stortplaatsen beschreven. Deze beschrijving is met name bedoeld als illustratie van de aanbevolen werkwijze. Voor een meer gedetailleerd inzicht wordt verwezen naar de rapportage van fase 2 en 3.

#### 5.1 Voormalige stortplaats Coupépolder te Alphen aan den Rijn

##### 5.1.1 Stap 1: Conceptueel model

In tabel 1 zijn de karakteristieken van stortplaats Coupepolder samengevat.

Tabel 1. Karakteristieken stortplaats Coupépolder.

Eigenaar van de stortplaats tijdens operationele fase	Gemeente Alphen aan den Rijn
Oppervlakte	Circa 22 hectare
Operationele fase	1959 tot 1985
Oorsprong stortplaats	Laag gelegen terrein, plaatselijk zandwinning
Stortdiepte	NAP-1,35 m tot NAP-5,00 m
Grondwaterstand	Drainagebasis ringdrainage NAP-1,90 m
Aard van het gestorte materiaal	Huisvuil, straatvuil, agrarisch afval, as, sloopafval Incidenteel tevens shredderafval, keukenafval van ziekenhuizen en slib van waterzuiveringsinstallaties
Huidige gebruik van de locatie	Golfterrein
Toekomstige gebruik van de locatie	Golfterrein
Gebruik grondwater	Geen
Gebruik oppervlaktewater	Natuur, watertransport en recreatie
Hydrogeologische schematisatie	0-10 m klei met lokaal zandige geulafzettingen 10-50 m, matig tot grof zand met enkele kleilenzen > 50 m, klei
Milieutechnische maatregelen ter voorkoming van risico's	Schone afdeklaag Ringdrainage rond de stortplaats Isolatievoorzieningen op de taluds van de stort- plaats Monitoringssysteem grondwater Indien noodzakelijk: grondwateronttrekking

#### Waterbalans

De waterbalans van de stortplaats Coupépolder wordt bepaald door de ringdrainage, de omliggende oppervlaktewateren, de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket, de neerslag en verdamping en mogelijk door beregening van het golfterrein. In tabel 2 is de waterbalans beschreven.

Tabel 2. Waterbalans stortplaats Coupépolder.

	Promeco data 1993-1996	idem inclusief berekening
Infiltrerend regenwater (mm/dag)		
Neerslag	2.12	2.12
Verdamping	1.49 (gras)	1.49 (gras)
Neerslagoverschot	0.63	0.63
Berekening		0.53
Percolaat naar taluds, watergangen en drains (mm/dag)		
Totale afvoer ringdrainage	0.83	0.83
Afkomstig uit watergangen	0.30 (max)	0.30 (max)
Netto drainage uit de stort	0.53 (min)	0.53 (min)
Infiltratie naar het aquifer (mm/dag)	0.09 (max)	0.62 (max)

### Grondwaterstroming

Vervolgens is een grondwatermodel opgesteld van de stortplaats Coupépolder. De resultaten van de modelberekeningen kunnen worden geïllustreerd met figuur 5 en 6.

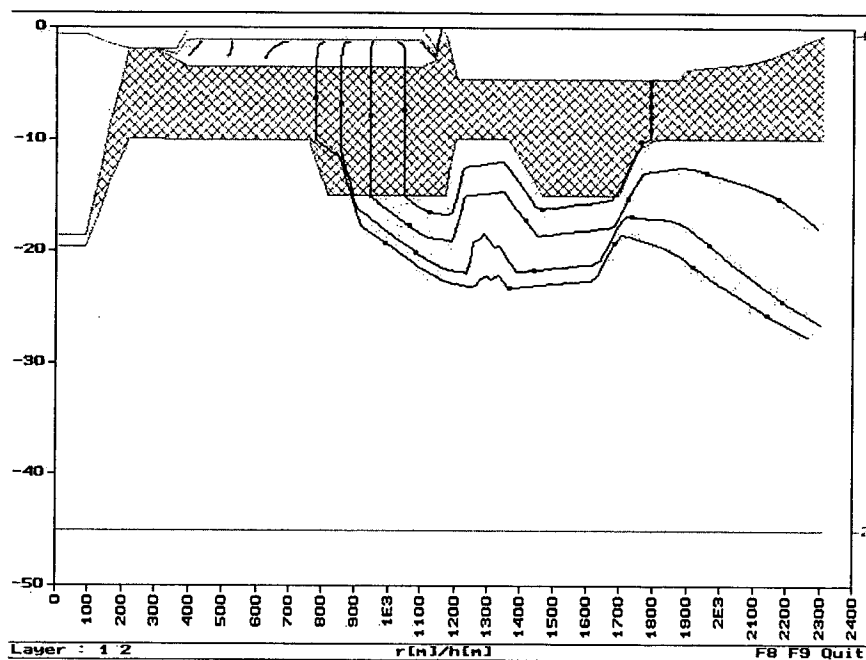


Fig. 5. Doorsnede zuid-noord van de stortplaats bekeken in westelijke richting met stroomlijnen die starten in het stortlichaam. De afstand tussen de markeringen op de stroombanen is 10 jaar.

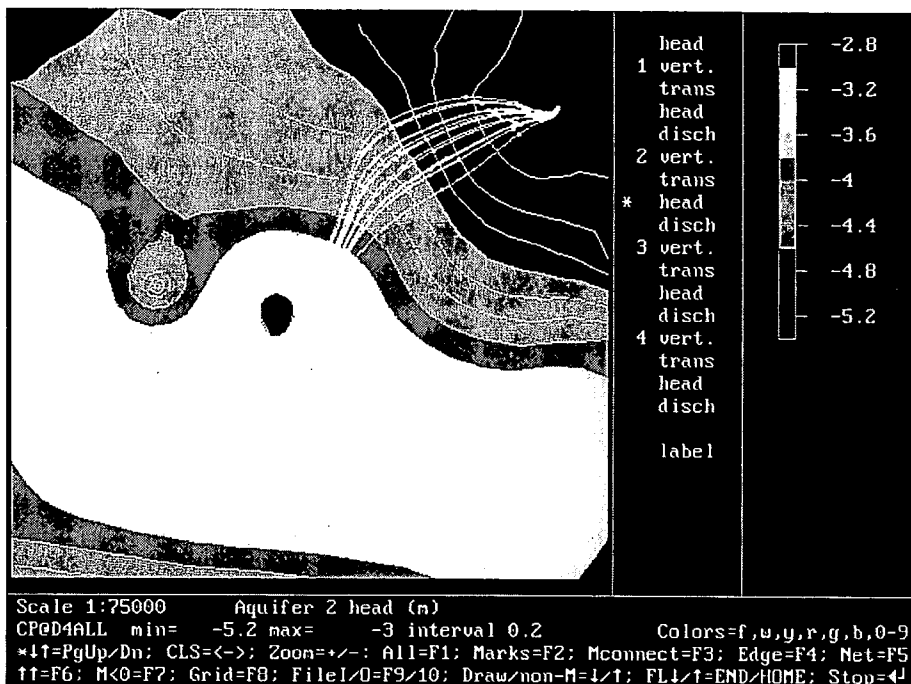


Fig. 6. MicroFem model: stroomlijnen vanaf de stortplaats door de top van de aquifer met markeringen op tijdstappen van 100 jaar. De isohypsen in het eerste watervoerende pakket zijn tevens afgebeeld (interval 0.2 m).

De infiltratie vanuit de stort naar het eerste watervoerende pakket is berekend op 0,57 mm per dag en 104 m<sup>3</sup> per dag voor het hele stortlichaam. De flux is in overeenstemming met de berekende infiltratie uit de waterbalans.

De berekende horizontale flux in het eerste watervoerende pakket bedraagt 564 m<sup>3</sup> per dag, waardoor de bijdrage van het percolaat circa 16% bedraagt van deze flux. Bij een dikte van het eerste watervoerende pakket van 30 meter, en verwaarlozing van dispersie, moet rekening worden gehouden met een dikte van de percolaatpluim in het eerste watervoerende pakket van 4,7 meter. Het grondwater heeft een horizontale stroomsnelheid van circa 30 meter per jaar.

#### Inventarisatie omgeving stort

Uit de analyse van de grondwaterstroming blijkt dat percolaat wordt afgevangen door de ringdrainage en deels infiltreert naar het eerste watervoerende pakket. In de deklaag worden in de huidige situatie dan ook geen objecten bedreigd. Uit modelberekeningen blijkt dat het water in het eerste watervoerende pakket uiteindelijk wordt afgevangen door de Oudhoornpolder ten noordoosten van de Coupépolder.

#### 5.1.2 Stap 2: Pluimbeoordeling

Bij de beoordeling van de pluim is gebruik gemaakt van de resultaten uit voorgaande onderzoeken en de beschikbare peilbuizen. In het voorgaande onderzoek is onder andere een raai peilbuizen geplaatst loodrecht op en evenwijdig aan de grondwaterstromingsrichting.

Om de mogelijke invloed van de stortplaats op de omgeving te kunnen beoordelen is een schematische onderverdeling van de stort en de ondergrond gemaakt. Deze onderverdeling is weergegeven in figuur 7. Deze schematisatie is indertijd opgesteld ten behoeve van een globale beoordeling. Hierbij zijn verschillende zones gedefinieerd:



- Zone C1 is het deel van het eerste watervoerende pakket bovenstrooms van de stort;
- Zone C2 is het deel van het eerste watervoerende pakket dat zich direct onder de geulafzettingen onder de stort bevindt. Dit deel van het watervoerende pakket wordt als eerste beïnvloed door de stort;
- Zone C3 is het deel van het eerste watervoerende pakket benedenstrooms van de stort. In deze zone is de monitoringslijn geïnstalleerd en op dit moment is dit deel nog niet beïnvloed door stortpercolaat;
- Zone C4 is het stortlichaam zelf. Hierin bevindt zich de bulk van de verontreiniging;
- Zone C5 is de deklaag tussen het stortlichaam en het eerste watervoerende pakket. Deze afdeklaag bestaat uit de kleien uit de formatie van Calais en de geulafzettingen uit de formatie van Duinkerken.

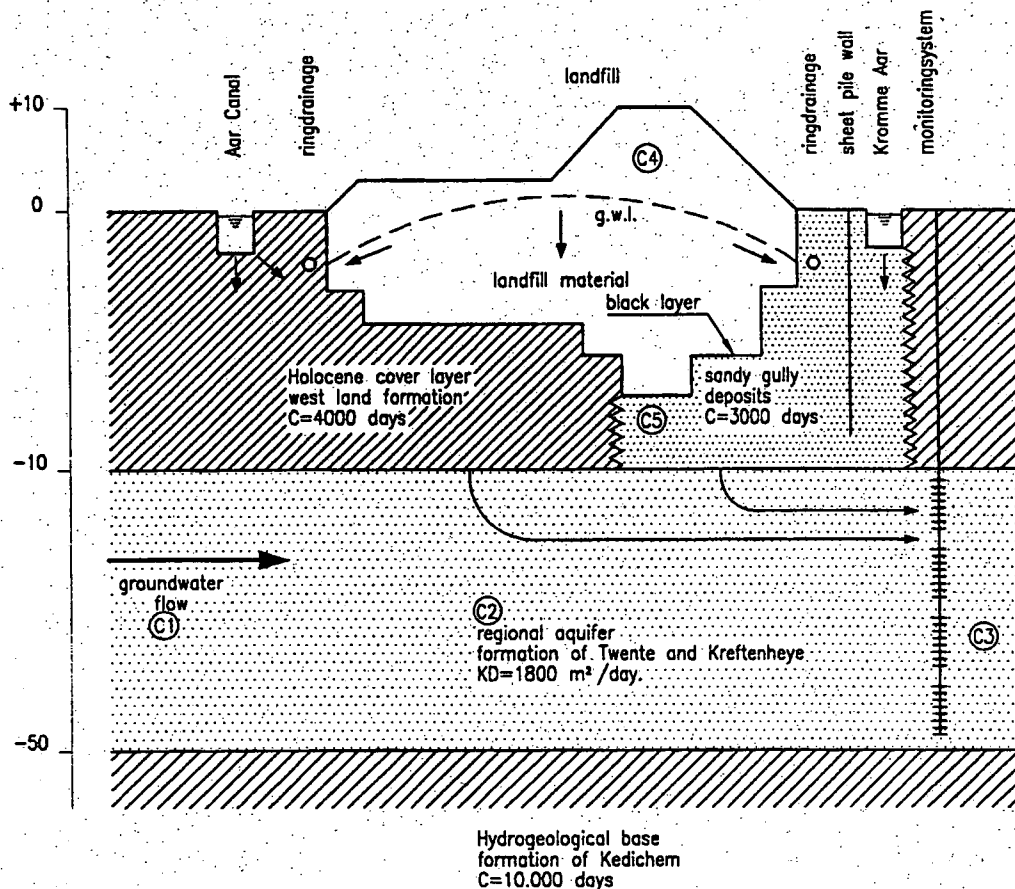


Fig. 7. Schematische bodemopbouw.

#### Het stortlichaam (C4)

Binnen het stortlichaam worden de hoogste concentraties aan verontreinigende stoffen gevonden. Er zijn zeer grote variaties. Op basis van de pH-waarden blijkt dat de stort in ieder geval vanaf 1988 in de methanogene fase is geweest. In het stortlichaam zijn er aanwijzingen voor ijzer-, nitraat- en sulfaatreductie. De elektrische geleidbaarheid ( $E_c$ ) is hoog tot zeer hoog. Eén waarde ( $9.500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) is dusdanig dat er sprake kan zijn van dichtheidsstroming.

Verontreinigingen die in het stortlichaam zijn aangetroffen zijn: BTEX en lage concentraties ge-chloreerde alkanen. Metingen gedaan aan het percolaat in de ringdrainage (vanaf 1992) tonen ook verontreinigingen aan van fenol, cyanide, naftaleen en overige PAK.

### **Bovenstreams (C1)**

Het watervoerende pakket bovenstreams van de stortplaats is anaëroob. Uit metingen aan het grondwater blijkt dat er sprake is van een ijzer- en sulfaatreducerend milieu, hoewel de sulfaat-reductie waarschijnlijk slechts gering is. Er is in de laatste meting één keer sprake geweest van een lichte overschrijding van de detectielimiet voor toluen. Verder is geen verontreiniging aangetroffen.

### **Aanwijzingen voor de verspreiding van stortpercolaat**

Door vergelijking van de waarnemingen uit de zones C1, C2 en C3 met de waarnemingen uit de zones C4 en C5 kan een invloed van de stortpercolaat op het watervoerende pakket worden aangetoond. Op basis van microverontreinigingen kan geen beïnvloeding worden aangetoond (geen pluim met microverontreinigingen). Wel is er op basis van andere parameters sprake van een beïnvloeding. Deze parameters zijn onder andere ammonium en Kjeldahl-stikstof, redoxparameters, DOC, CZV en CO<sub>2</sub> (macropluim).

Het is niet mogelijk om een duidelijke redoxzonering aan te geven. Redenen hiervoor zijn dat het watervoerende pakket al ijzer- en sulfaat reducerend was en blijft. De methanogene zone is waarschijnlijk aanwezig in de stort en direct eronder. Het niet of nauwelijks voorkomen van verontreinigingen onder de stort vormt een aanwijzing voor mogelijke NA.

Uit de metingen komen een aantal sterke aanwijzingen naar voren voor het optreden van dichtheidsstroming in en onder de stort. In het midden van de monitoringslijn bij de diepste filters worden verhoogde waarden aangetroffen voor de elektrische geleidbaarheid, chloride, sulfaat, alkaliteit, methaan, TOC en CO<sub>2</sub>.

Daarnaast zijn er de waargenomen hoge Ec-waarden in de stort en een geleidbaarheidssonde-ring met een zeer lage weerstand.

#### **5.1.3 Stap 3: potentieel en snelheid NA**

Uit stap 2 blijkt dat geen sprake is van een pluim met microverontreinigingen. Er is wel sprake van een macropluim, en in het percolaat is een verontreiniging met micro- en macrocomponenten aangetoond. Daarom is het potentieel en snelheid van NA onderzocht.

### **Redoxomstandigheden**

Het redox milieu is bepaald door grondwater en sediment monsters te nemen uit de vier zones (C1 tot en met C5) uit figuur 7. Van het stortlichaam zijn geen nieuwe monsters genomen. Op basis van oude metingen is aangenomen dat het stortlichaam onder methanogene condities verkeert. Omdat de stort zeer heterogeen is, is het mogelijk dat er lokaal andere condities heersen, bijvoorbeeld sulfaat reductie nabij sulfaat bronnen, zoals gipsplaten e.d.

Buiten het stortlichaam wijzen alle analyses erop dat de omstandigheden ijzer / sulfaat reduce-rend zijn. De sediment analyses geven aan dat het sediment bovenstreams, onder en benedenstreams van de stort een aanzienlijke hoeveelheid amorfe Fe(III) oxiden bevat. Dit is een gunstig teken voor ijzer reductie. De snelheid waarmee dit Fe(III) vrijkomt bepaalt de efficiëntie van dit proces voor NA.

### **Microbiologie**

De meeste redoxprocessen in de bodem zijn microbiologisch gekatalyseerd. Het gevolg van de microbiële processen is de vorming van verschillende redoxzones. Bij de Coupépolder zijn mogelijke redoxzones: ijzerreducerend, sulfaatreducerend en methanogeen. Batch experimenten in het laboratorium hebben aangetoond dat in het lab alleen actieve methanogenese plaats vindt in de geul sedimenten. De batch experimenten tonen Fe (III) reductie aan in alle monsters.

Onder en benedenstrooms van de stortplaats zijn lage concentraties van verontreinigingen aangetroffen. Aanwezigheid van verontreinigingen in het stortlichaam kan hebben geleid tot het ontstaan van verontreiniging afbrekende populaties micro-organismen in en onder het stortlichaam. Om te kijken of het mogelijk is om de afbraakcapaciteit te karakteriseren met behulp van DNA/RNA-profielen of metabolisch potentieel gemeten met BIOLOG platen zijn op sediment monsters uit de zones 2 tot en met 5 experimenten in het laboratorium gedaan. Doel van deze experimenten was vooral om ervaring op te doen met de methodologie.

De metabolische profielen, verkregen met behulp van de BIOLOG GN microtiter plate, van de grenslaag en de lagen eronder en erboven zijn zeer verschillend. Het aantal positieve waarnemingen ligt het hoogste voor de geulsedimenten direct onder het stortlichaam. Opvallend was dat sommige substraten, die worden gevormd bij de microbiële afbraak van organisch materiaal, niet worden gebruikt.

Met behulp van clustering is gekeken in hoeverre het metabolische profiel van de verschillende monsters lijkt op die van de andere monsters. Uit deze analyse blijkt dat de monsters bovenstrooms (niet beïnvloed) en de monsters uit de geulsedimenten meer op elkaar lijken dan op de monsters benedenstrooms.

### **Overgangszone**

Eén van de hypothesen voor dit project is de aanname dat tussen het stortlichaam en sediment een grenslaag ontstaat die kan fungeren als een hydrologische barrière en die misschien een verhoogde biologische activiteit heeft. In fase 2 zijn kernen gestoken van deze grenslaag. Deze kernen zijn gekarakteriseerd met behulp van geochemische, microbiologische en elektronenmicroscopische technieken.

Het monster is kleilig en bevat meer zand aan de onderkant. Het kalkgehalte is hoog. Het monster oogt heterogeen; een aantal zwarte laagjes zijn waargenomen met humeus materiaal, waarin zelfs plantstructuren zijn waar te nemen.

Wat opvalt aan de chemische analyses is dat het monster duidelijk is beïnvloed door stortpercolaat. De  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Mn}^{2+}$  zijn laag in vergelijking met de metingen in het stortlichaam (gedaan in 1988) en er is ook sulfaat aanwezig in het poriewater. Opvallend is de aanwezigheid van nitraat in poriewater dat eigenlijk niet kan voorkomen onder deze omstandigheden. Misschien heeft er tijdens het bemonsteren toch wat oxidatie plaatsgevonden.

### **Elektronenmicroscopie**

Om meer inzicht te krijgen in het type neerslag dat is gevormd zijn elektronenmicroscopie opnamen gemaakt. Uit deze opnamen blijkt dat veel ijzersulfideneerslagen in het monster aanwezig zijn. Deze sulfidische neerslagen verklaren ook de zwarte kleur van het monster. De meeste zware metalen slaan neer onder sulfidische omstandigheden. De sulfideneerslagen in dit monster bevatten naast Fe alleen Zn als hoofdcomponent. De neerslag van metalen met sulfide is dus een belangrijk proces, waarmee metalen uit het percolaat worden gefilterd. Sulfideneerslagen zijn zeer slecht oplosbaar.

#### 5.1.4 *Stap 4: Conclusie NA / Implementatie*

##### **Conclusie**

Op basis van de resultaten is niet direct een conclusie ten aanzien van NA te geven. Dit komt omdat we buiten de stort geen pluim met microverontreinigingen hebben gevonden waarin we trends kunnen meten. NA zal in het geval van de Coupépolder plaatsvinden onder ijzer en sulfaat reducerende omstandigheden. Wel hebben we in en op de grens van de stort sterke aanwijzingen gevonden voor sulfide neerslagen met relatief hoge concentraties aan zware metalen. Sulfaat reductie blijkt efficiënt voor het voorkomen van de verspreiding van een aantal metalen.

De BIOLOG toont duidelijk een hogere metabolische activiteit onder de stortplaats. De DNA analyses van het grondwater laten tevens een verschil zien tussen monsters van de geulafzetting en de overige. Zowel resultaten van de BIOLOG als de DNA test zijn mogelijk beïnvloed door percolaat. De clustering die wordt gevonden op basis van de microbiële analyses, wordt bevestigd door de geochemische analyses (hoeveelheid pyriet etc.).

Het feit dat bij de Coupépolder de flux van uit de stortplaats klein is in relatie tot de grondwaterflux in de aquifer geeft het meeste potentieel voor de bescherming van het watervoerende pakket. De redox condities in het watervoerend pakket laten toe dat er enige NA optreedt (ijzerreducerend). Dit in combinatie met de verdunning als gevolg van de lage influx vanuit het stortlichaam maakt dat de concentraties beneden de detectielimiet komen.

##### **Implementatie**

Ter plaatse van de stort Coupépolder is dus sprake van een macropluim, waarbij de aanwezigheid van een micropluim niet is aangetoond. Het feit dat geen pluim gevonden is kan een aanwijzing zijn voor het optreden van natuurlijke afbraak, maar kan ook worden veroorzaakt doordat niet op de juiste plaats is gemeten. De onzekerheid hiervan is groot. Aangezien de flux naar het eerste watervoerende pakket beperkt is (en sterk verminderd is als gevolg van de ondernomen maatregelen) kan de stortplaats worden ingedeeld in de categorie: nazorg in relatie tot gewenst beschermingsniveau. Het huidige monitoringsysteem is bedoeld om het optreden van een micropluim tijdig te signaleren. De inrichting van dit systeem kan wellicht geoptimaliseerd worden, vooral wat betreft de hoogte stelling van de filters.

Als het nodig wordt geacht om meer inzicht in de grootte van NA te krijgen is het van belang dat meer informatie verkregen wordt van de situatie in de geulsedimenten. Hier heeft met de grootste kans om een micropluim te vinden. Filters dienen te worden geïnstalleerd in de stort, in de geulafzettingen en in de aquifer. De stijghoogtes in de filters dienen regelmatig in een jaar te worden gemeten om eventuele seizoenseffecten te kunnen waarnemen. Voor de evaluatie van het optreden van natuurlijke afbraak en voor de schatting van de snelheid van afbraak zijn metingen noodzakelijk langs de stroombanen van het percolaat. Dit alles is echter geen eenvoudige opgave omdat de heterogeniteit van de geologie, de samenstelling van het percolaat en de beperkte en afwijkende bewijs van verspreiding van percolaat, de interpretatie bemoeilijkt.

## 5.2 **Voorbeeldlocatie Banisveld te Boxtel**

### 5.2.1 *Stap 1: Conceptueel model*

De voormalige stortplaats Banisveld ligt in het landelijke gebied van gemeente Boxtel, op een afstand van 5 km van het dorp Boxtel.

De stortplaats kan als volgt worden gekarakteriseerd (tabel 3).

Tabel 3. Karakteristieken stortplaats Banisveld.

Eigenaar van de stortplaats tijdens operationele fase	Gemeente Boxtel
Oppervlakte	Circa 6,2 hectare
Operationele fase	1965 tot 1977 en 1990 tot 1991 alleen groen- en straatafval
Oorsprong stortplaats	Voormalige zandwinning
Aard van het gestorte materiaal	Huisvuil, bouw- en sloopafval, industrie afval waaronder mogelijk chemisch afval
Huidige gebruik van de locatie	Extensieve recreatie, agrarisch gebruik
Toekomstige gebruik van de locatie	Natuurgebied
Gebruik grondwater	Beregening, mogelijk veedrenking
Gebruik oppervlaktewater	Mogelijk veedrenking
Hydrogeologische schematisatie	0-10 m fijn tot matig fijn zand, plaatselijk leem- en veenlagen 10-16 m, leem met zandlenzen > 16 m: matig grof tot grof zand, op grotere diepte met grind
Milieutechnische maatregelen ter voorkoming van risico's	Schone afdeklaag De watergang De Heiloopt functioneert als natuurlijke interceptie voor grondwater

Het noordelijke deel van de voormalige stortplaats is tegenwoordig in gebruik als landingsbaan voor miniatuurvliegtuigen en deels als weiland voor vee. Het zuidelijke deel van de stortplaats is braakliggend land. Noordoostelijk van de voormalige stortplaats is weiland aanwezig, en het overige gebied is in gebruik voor tuinbouw. De stortplaats wordt volledig omgeven door een sloot, waarbij een grote watergang (Heiloopt) aanwezig is ten noordnoordwesten van de stortplaats.

In 1996 werd het terrein 'Banisveld', ten noorden van de stortplaats Banisveld, aangekocht door Natuurmonumenten. Het gebied werd aangemerkt als ecologische verbindingzone tussen de natuurgebieden Kampina/Smalbroeken en De Mortelen.

De stortplaats vormt een obstakel voor de ecologische verbindingzone om de volgende redenen:

- De aanwezigheid van een stortplaats in een natuurgebied. Het leefgebied rond de stort kan worden beïnvloed. Wilde planten en dieren kunnen worden vergiftigd, en verontreinigingen kunnen verspreiden over een groter gebied door bioaccumulatie;
- Het uittreden van macroverontreinigingen uit de stortplaats naar het grondwater, stromend in de richting van gevoelige natuur (blauwgraslanden). Deze natuur is afhankelijk van schoon en voedselarm grondwater.
- De stortplaats kan een barrière vormen omdat het is gesitueerd in de ecologische verbindingzone. Daarom is het belangrijk om de stortplaats onderdeel te maken van de ecologische verbindingzone.

### Waterbalans

De waterbalans van de stort Banisveld is in het kader van het onderzoek niet opgesteld.

### Grondwaterstroming

De grondwaterstroming in de deklaag staat onder invloed van de Heiloopt en de Beerze. In de winter draineren deze watergangen het gebied, in zomerperiodes infiltreert water vanuit deze watergangen naar de omgeving.

De Heilooop is een overgedimensioneerde diepe watergang, gegraven in het kader van landinrichting van de Beerzedal in 1950. Vanwege de lage drainagebasis veroorzaakt de Heilooop verdroging van het gebied Smalbroeken, dat onderdeel is van het Beerzedal door het natuurgebied Kampina. Vanwege de lage drainagebasis onderschept de Heilooop tevens een groot deel van het percolaat van stort Banisveld dat stroomt in de richting van Smalbroeken. Er bestaan plannen om de Heilooop te verondiepen ter voorkoming van verdroging. Een neveneffect van deze maatregel kan zijn dat de verspreiding van percolaat afkomstig van stortplaats Banisveld niet langer wordt beperkt tot aan de Heilooop. De grondwaterstromingsrichting in het watervoerende pakket is noordelijk. Er is sprake van een infiltratiesituatie van de deklaag naar het eerste watervoerende pakket. Voor deze studie is geen gebruik gemaakt van een geohydrologisch model.

### 5.2.2 Stap 2: Pluimbeoordeling

#### **Eerder onderzoek**

In 1977 werd in opdracht van Provincie Noord-Brabant het eerste milieukundige onderzoek uitgevoerd in de omgeving van stortplaats Banisveld. In deze onderzoeken werden verhoogde concentraties macroparameters (chloride, CZV, nitraat) gevonden. Deze toegenomen concentraties zijn een indicatie voor beïnvloeding van het grondwater door percolaat.

In 1983 is een indicatief onderzoek uitgevoerd. Hierbij is geconcludeerd dat het grondwater onder en benedenstreams van de stortplaats was verontreinigd. Hierbij was zowel sprake van een macro- als een micropluim. Met name het grondwater in de diepere filters (tot 7 m-mv.) was ernstig verontreinigd. Het ging met name om barium, cadmium, vluchtige aromaten en gechloroerde koolwaterstoffen in concentraties boven de toenmalige C-waarde. Daarnaast werd kwik, arseen, EOX en fenolindex gemeten in concentraties boven de toenmalige B-waarde. Verhoogde concentraties ammonium en elektrische geleidbaarheid (EC) werden gemeten in ondiepe filters en in de ondiepe sloot rond de stortplaats.

In de periode tussen 1991 en 1993 is stortplaats Banisveld onderzocht in het kader van het project 'Verkenkend onderzoek voormalige stortplaatsen' (VOS). Van alle 585 in de provincie Noord-Brabant onderzochte stortplaatsen werd stortplaats Banisveld als nummer 17 van de meest urgente stortplaatsen voor nader onderzoek.

In de periode 1997 en 1998 is door IWACO onderzoek uitgevoerd naar natuurlijke afbraakcapaciteit van de bodem rond de stortplaats Banisveld. Dit onderzoek vormde de basis voor het NOBIS-onderzoek.

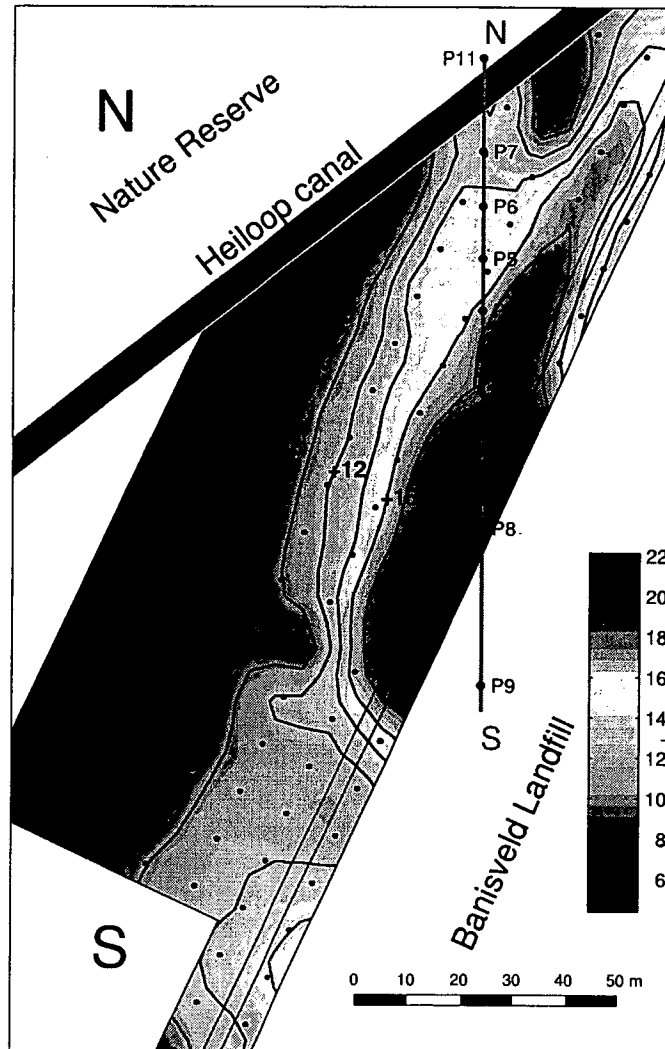
#### **Onderzoek in het kader van het NOBIS project**

Zoals uit het stappenplan blijkt is het belangrijk om goed te weten waar de percolaat pluim te vinden is. Om de pluim te vinden zijn verschillende technieken gebruikt waarvoor een aantal aannamen van tevoren zijn gemaakt:

##### *EM-34 metingen*

Hoge elektrische geleidbaarheid correspondeert met hoge zoutniveaus (vaak gepaard gaand met hoge chlorideconcentraties), die mogelijk kunnen worden gebruikt als conservatieve tracer. Deze zout concentraties kunnen gebruikt worden om te corrigeren voor verdunning van percolaat. Hoe hoger het contrast in zout niveau tussen het percolaat en achtergrond in het grondwater, hoe nauwkeuriger verdunning kan worden berekend. Voor stortplaats Banisveld is onderzoek uitgevoerd middels elektromagnetisch onderzoek (EM34). Hierbij zijn metingen uitgevoerd tot een diepte van circa 10 m-mv. In theorie kunnen hoge waardes voor geleidbaar-

heid de aanwezigheid van percolaat tot geringe diepte weergeven. Hierbij is aangenomen dat de elektrische geleidbaarheid van de bodemlagen veel minder van invloed zijn op de geleidbaarheid van het percolaat. Door de afwezigheid van klei in de ondergrond zou de interpretatie van de metingen relatief eenvoudig zijn. Deze aanname is later bevestigd. De metingen hebben



een zinvolle bijdrage geleverd aan het inzicht in de verspreiding van de percolaatpluim. Het resultaat is zichtbaar in figuur 8.

Fig. 8. Contourkaart van de elektrische geleidbaarheid (mS/m) gemeten beneden-strooms van de noordelijke terreingrens van de stort Banisveld (witte gebied in de linksonderhoek van de figuur). Waarden zijn gemeten met EM-34.

### Bodempluchtmetingen

Hoge methaan- en CO<sub>2</sub> concentraties gemeten in de onverzadigde zone direct boven de percolaatpluim corresponderen mogelijk met actieve biodegradatie en de aanwezigheid van hoge concentraties van DOC en organische verontreinigingen. Metingen zijn uitgevoerd met behulp van een holle pijp die in de bodem is gedreven tot 0,5 m boven grondwatervniveau. Door de beperkte diepte van het grondwater (1 m.mv.) ontstond menging met atmosferische lucht, en bleek het niet mogelijk het beïnvloedingsgebied uit te karteren.

### Sonderingen

Kennis van de diepte van de percolaatpluim is belangrijk voor de beslissing op welke diepte filters zouden moeten worden geplaatst voor het verzamelen van watermonsters. Als deze informatie beschikbaar is, kan het plaatsen van filters efficiënter plaatsvinden. Daarom zijn sonderingen uitgevoerd, waarbij de conusweerstand, wrijvingsweerstand en elektrische geleidbaarheid van de bodem zijn gemeten. De verhouding tussen de conusweerstand en de wrijvingsweerstand is een aanwijzing voor de aard van het bodemmateriaal. De resultaten zijn weergegeven in figuur 9.

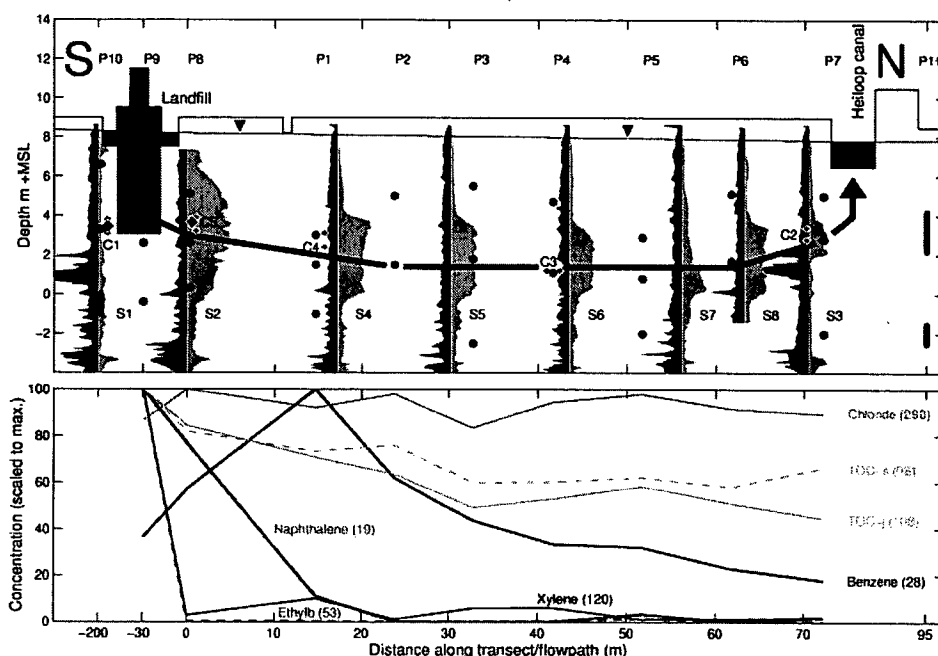


Fig. 9. Overzicht van de resultaten van sonderingen (CPT, S1 to S8), de plaats van grondwater monitoring filters (P1-P11), de grondwaterstand, en de plaats waar sedimentmonsters zijn genomen (C1-C5) langs de Z-N doorsnede. De monitoringsfilters hebben de volgende aanduiding: p1-11f1-3 (f1,f2,f3 zijn respectievelijk het ondiepe, middeldiepe en diepe filter). De geleidbaarheid van de formatie (groen) is uitgezet van links naar rechts (max. S2 = 102 mS/m), de weerstand (zwart) is weergegeven van rechts naar links (max. S3 = 8). Concentraties in het onderste deel van het figuur zijn de maximaal gemeten concentraties weergegeven (chloride, DOC (TOC) in mg/l, organische parameters in (g/l).

Uit figuur 9 blijkt dat de elektrische geleidbaarheid van de bodemlagen uitzonderlijk hoge waarden (tot 102 mS/m in S2) laten zien benedenstrooms van de stortplaats. Omdat de bodemlagen zandig zijn, moeten deze hoge waarden voor elektrische geleidbaarheid worden toegeschreven aan percolaat. Uit de figuur blijkt dat de percolaatpluim aanwezig is van de grens van de stort



tot aan de Heilooop tot een maximale diepte van 9 m-mv. Ter plaatse van de stortplaats is beïnvloeding door de stort zichtbaar vanaf maaiveld, stroomafwaarts vanaf circa 4 m-mv.

Op basis van dit vooronderzoek zijn zeer gericht peilbuizen geplaatst. De positie van de filters is in figuur 9 aangegeven met de blauwe stippen.

### 5.2.3 Stap 3: *Potentieel en snelheid NA*

#### **Hydrochemie**

Uit de metingen blijkt dat het grondwater in de omgeving van Banisveld anaëroob is. Bovenstrooms van de stort en boven de pluim zijn concentraties nitraat gemeten. Het bovenstrooms geïnfilterde nitraat wordt verbruikt door denitrificatie aangezien de filters beneden de pluim geen nitraat meer bevatten. Aan de bovengrens van de percolaatpluim kan nitraat een belangrijke elektronenacceptor voor biologische afbraak zijn. Omdat nitraat niet is vastgesteld in de pluim zal biologische afbraak in de pluim uitsluitend optreden onder ijzerreducerende, sulfaatreducerende of methanogene condities.

De concentratie organische verontreinigingen nemen af in de stromingsrichting van het grondwater (figuur 9). Voor een betrouwbare evaluatie van biodegradatie moeten alle processen die bijdragen aan deze afname worden bekeken. Deze processen zijn onder andere verdunning, sorptie en biodegradatie (verzameld onder de term natuurlijke afbraak). Aangenomen is dat vervluchtiging van vluchtige organische stoffen vanuit het grondwater mag worden verwaarloosd.

#### **Verdunning**

De chloride concentratie in het midden van de pluim blijft constant in de stromingsrichting. Chloride kan worden beschouwd als een conservatieve stof: het wordt niet geadsorbeerd of afgebroken. Alleen diffusie en advectief transport bepalen de chlorideconcentraties op de locatie Banisveld. Gelijkblijvende chloride concentraties langs de stromingsrichting zijn een sterke aanwijzing dat in het centrum van de pluim verdunning geen significante rol speelt. Daarom mag worden geconcludeerd dat de afname van DOC en BTEXN-concentraties niet wordt veroorzaakt door verdunning.

#### **Sorptie**

Voor berekeningen van sorptie van organische stoffen aan de vaste bodem is gebruik gemaakt van het handboek van Appelo en Postma [4] en Fetter [5]. Hierbij zijn rekening houdende met de bodemeigenschappen (organische stof, soortelijke massa) en stoffeigenschappen (Koc) en de gemiddelde snelheid van het grondwater (10 m/jaar) berekeningen uitgevoerd naar de maximale verspreiding in 20 jaar. Uit deze gegevens is niet met 100% zekerheid te concluderen dat Benzeen in deze pluim afbreekt. Gezien de onzekerheden in de schattingen is het mogelijk dat de concentratie verdeling van benzeen in de pluim verklaard kan worden door adsorptie alleen (retardatie). De overige componenten breken zeker af. Doordat de Heilooop aëroob is wordt Benzeen dat daarin terechtkomt zeker afgebroken.

#### **Biodegradatie**

Aangezien voorbij de Heilooop 'vuilfront' wordt gemeten, concentraties afnemen, en verdunning nauwelijks plaats vindt, kunnen we aannemen dat alle onderzochte organische verontreinigingen (BTEXN) afbreken in de pluim of beheerst worden door de Heilooop. Hierbij is toluen vastgesteld in concentraties beneden 1 µg/l. Benzeen vertoont de laagste afbraaksnelheden, vlak bij de Heilooop wordt benzeen nog aangetoond in een concentratie van 5 µg/l.

Aangezien aangenomen is dat sorptie van DOC klein is, moet de afname van DOC in benedenstroomse richting worden veroorzaakt door afbraak. Het grootste deel van de afbraak van organische stof bestaat uit de afbraak van humuszuren, de belangrijkste bestanddeel van het percolaat is DOC. Het is deze DOC dat de redoxprocessen in stand houdt in de pluim. De organische verontreinigingen zijn een minieme fractie van het totaal organisch koolstof als dit wordt vergeleken met het DOC ( $\mu\text{g/l}$  in vergelijking met  $\text{mg/l}$ ).

### Microbiologie

Voor stortplaats Banisveld is tegelijkertijd onderzoek uitgevoerd met behulp van BIOLOG en DGGE op monsters in het lab. Op basis van dit onderzoek zijn geen eenduidige resultaten af te leiden: op korte afstand (enkele meters) en in de tijd (maanden) zijn sterk afwijkende diversiteit en activiteit gemeten. Dit hangt naar verwachting onder andere samen met het ontbreken van een slecht doorlatende deklaag. De afwijkingen vormen een aanwijzing dat er verschillende processen gelijktijdig in de bodem optreden. In figuur 10 is een voorbeeld van een DGGE-profiel gegeven.

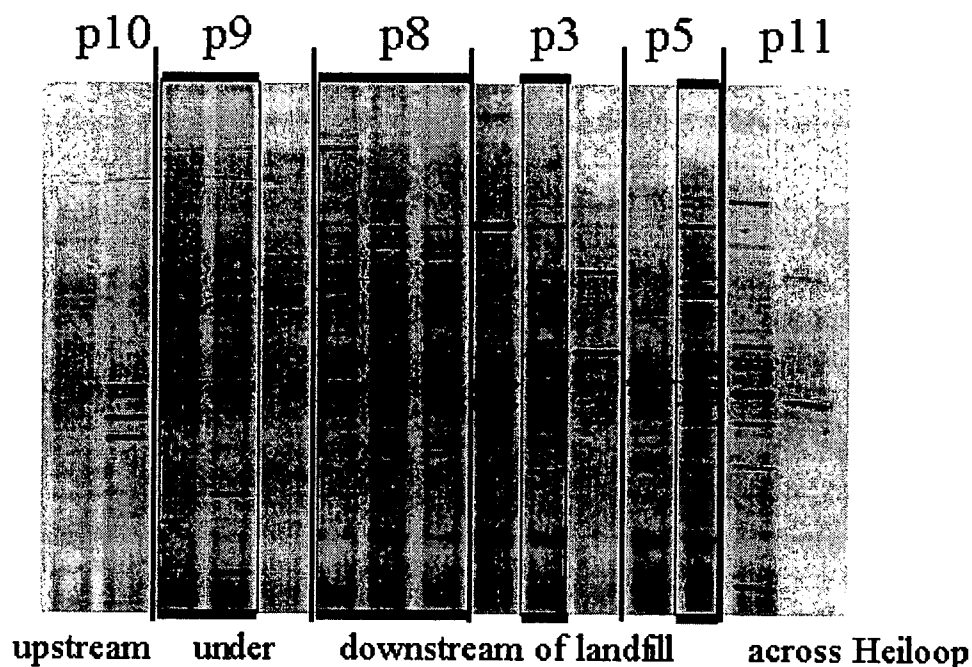


Fig. 10. DGGE profiel (40-60%) van grondwatermonsters van stortplaats Banisveld in september 1998. Monsters zijn weergegeven in de richting van de grondwaterstroming (links naar rechts). 1. p10f1; 2. P10f2; 3. P9f1; 4. P9f2; 5. P9f3; 6. P8f1; 7. P8f2; 8. P8f3, 9. P3f1; 10. P3f2; 11. P3f3; 12. P5f1; 13. P5f2; 14. P11f1; 15. P11f2.

#### 5.2.4 Stap 4: Conclusie NA / Implementatie

In het uitgevoerde onderzoek is vastgesteld dat sprake is van een macropluim en micropluim. Tevens is aangetoond dat sprake is van natuurlijke afbraak van microverontreinigingen, waarbij op een afstand van circa 200 meter met name benzeen nog is gemeten in een licht verhoogde concentratie ( $5 \mu\text{g/l}$ ). Hierdoor valt de stort Banisveld in de categorie 'nazorg in relatie tot het gewenst beschermingsniveau'.

In de huidige situatie kan worden volstaan met extensieve monitoring van de stort. Het inpassen van de stortplaats in de ecologische hoofdstructuur, met ingrepen zoals het ondieper maken van de Heiloo om verdroging tegen te gaan kan onvoorziene gevolgen hebben. Een voorbeeld hiervan is dat door een verminderde drainage van de Heiloo er meer (voedselrijke) kwel in de richting van blauwgraslanden kan ontstaan. Hiermee dient rekening te worden gehouden bij het uitvoeren van maatregelen op het systeem rond de stortplaats. Uit de metingen blijkt ook dat de Heiloo de percolaat pluim hydrologisch beheerst.

### 5.3 Voorbeeldlocatie Achter de Beukenlaan te Soest

#### 5.3.1 Stap 1: Conceptueel model

De stortplaats 'Achter de Beukenlaan' is geselecteerd vanwege de situering van de stortplaats op de Utrechtse Heuvelrug. Hierbij is aangenomen dat het grondwater aëroob zou zijn en dat de redox-condities onder en rond de stortplaats de complete sequentie van aëroob tot methanogeen zouden omvatten.

De karakteristieken van de stortplaats zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 4. Karakteristieken stortplaats Achter de Beukenlaan.

Eigenaar van de stortplaats tijdens operationele fase	Private personen Beijer, Kok, Kuijer en gemeente Soest
Oppervlakte	Circa 2,7 hectare
Operationele fase	Voor 1940 tot 1985
Oorsprong stortplaats	Voormalige zandwinning
Stortdiepte	Tot aan grondwaterniveau, circa 10 tot 12 m-mv.
Grondwaterstand	Circa 12 m-mv.
Aard van het gestorte materiaal	Bouw- en sloopafval, straatvuil, wegverhardingen en grond, plaatselijk huisvuil, straatvuil en marktafval, brandbaar industrie afval, groenafval
Huidige gebruik van de locatie	Agrarisch en industrieel gebruik
Toekomstige gebruik van de locatie	Extensieve recreatie, park
Gebruik grondwater	Geen
Gebruik oppervlaktewater	Geen oppervlaktewater aanwezig
Hydrogeologische schematisatie	0-140 m matig grof tot uiterst grof zand, met plaatselijk ingeschakelde fijne leemlagen >140 m: zandige klei
Milieutechnische maatregelen ter voorkoming van risico's	Schone afdeklaag met een gemiddelde dikte van 0,7 m

#### Waterbalans

Aangezien de stortplaats boven grondwaterniveau ligt, bestaat de waterbalans van de stortplaats uit de infiltrerende neerslag, verminderd met de gewasverdamping (ongeveer 150 tot 300 mm/jaar). Rond de stortplaats is geen oppervlaktewater aanwezig. De stort bevindt zich niet in het invloedsgebied van een grondwateronttrekking of grondwaterbeschermingsgebied.

#### Grondwaterstroming

Op basis van de grondwaterkaart is de grondwaterstroming in het watervoerende pakket is overwegend noordwestelijk. Middels modelberekeningen (TRIWACO) is vastgesteld dat ondiep grondwater onder de stortplaats vrijwel verticaal infiltreert tot een diepte > 100 meter. Vanaf deze diepte stroomt het grondwater weer opwaarts, en bereikt de oppervlakte op een afstand

van 5 tot 8 km oostwaarts van de stortplaats in de polders van de Eemvallei. De gemiddelde horizontale stroomsnelheid van het grondwater is 15 meter per jaar. De plaats van een dwars-profiel en een dwarsprofiel zijn afgebeeld in figuur 11a en 11b.

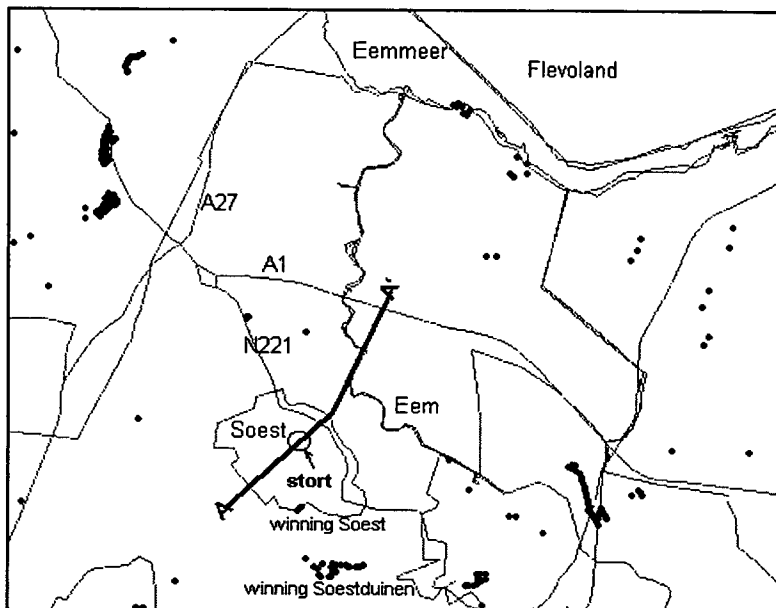


Fig. 11a. Ligging dwarsprofiel A-A' zoals afgebeeld in figuur 11b.

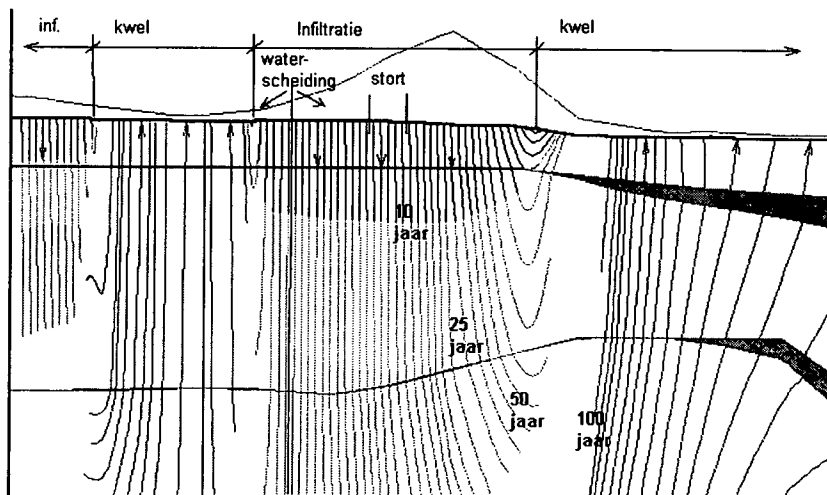


Fig. 11b. Stroomlijnen en tijdstappen dwarsprofiel A-A'. Donkerblauwe stroomlijnen markeren een tijd tot 10 jaar; lichtblauwe lijnen: 10-25 jaar; groen: 25-50 jaar; geel: 50-100 jaar; rood: meer dan 100 jaar.

### 5.3.2 Stap 2: Pluimbeoordeling

Sinds 1990 zijn op de stortplaats een aantal bodemonderzoeken uitgevoerd. Hierbij is vastgesteld dat het grondwater direct onder de stortplaats verhoogde concentraties bevat met zware

metalen (cadmium, zink, chroom en nikkel), trichloorethaan en trichloormethaan. Het grondwater in de peilbuizen rond de stortplaats bevatten relatief hoge concentraties nikkel. Daarnaast zijn matig verhoogde concentraties zink, en licht verhoogde concentraties cadmium, chroom, koper, tetrachlooretheen, trichlooretheen en vinylchloride vastgesteld.

Het grondwater van relatief diepe filters bevatten licht tot matig verhoogde concentraties nikkel, en licht verhoogde concentratie cadmium, koper, zink, chroom, dichloormethaan, en tetra- en trichlooretheen. De hoge concentraties zink en vluchtige organische koolwaterstoffen zoals vastgesteld in voorgaande onderzoeken konden niet worden bevestigd. Het grondwater in de omgeving van de stortplaats bevat relatief hoge concentraties nitraat (5,2 tot 135 mg/l). In de filters onder de stortplaats zijn significant lagere concentraties gemeten.

Op basis van het vooronderzoek is dus sprake van een macro- en micropluim. Het is echter onduidelijk wat het pad van de micropluimen zou moeten zijn omdat de grondwaterstroming primair verticaal zal zijn. Feit is echter wel dat de bodem bestaat uit gestuwd materiaal met zeer veel scheefgestelde lagen hetgeen kan zorgen voor een grotere horizontale verspreiding.

### 5.3.3 Stap 3: *Potentieel en snelheid NA*

#### **Redoxzonering**

Het grondwater ter plaatse van de stortplaats is aëroob en heeft potentieel een zeer hoge oxidatiecapaciteit. Het sediment is volledig geoxideerd, en bevat 2200 mg ijzer per kg droge stof. Dit betekent dat het grootste deel van organisch materiaal in het percolaat van de stortplaats snel zal afbreken in de directe omgeving van de stort. De bevestiging hiervan is de redoxzonering en zeer hoge bicarbonaat concentraties in de directe omgeving van de stort. Microverontreinigingen die afbreken onder aërobe, nitraat en ijzer/mangaan reducerende omstandigheden worden ook gebufferd in dit systeem. Verontreinigingen zoals tetra- en trichlooretheen die gevonden zijn in peilbuizen ver buiten de stortcontour kunnen gepercoleerd zijn uit het stortlichaam naar het (aërobe) grondwater, onder welke condities deze stoffen niet afbreken. Toch laten de resultaten in het meest recente onderzoek een afname in de concentraties van deze stoffen zien. Onzeker is hoe deze verontreinigingen vanuit de stort naar de plaats van de peilbuis zijn gekomen. Wellicht spelen de scheefgestelde lagen hier een rol?

De buffering van de mobiliteit van zware metalen in de stort is waarschijnlijk klein. De sulfaatreducerende omgeving waar de meeste metalen precipiteren is waarschijnlijk alleen aanwezig in het stortlichaam zelf. Er zijn geen aanwijzingen gevonden voor sulfaatreductie buiten de stort, zodat dit proces de mobiliteit van zware metalen buiten de stortplaats niet zal beperken. Hierbij moet worden opgemerkt dat de concentraties zware metalen binnen acceptabele grenzen liggen.

#### **Microbiologie**

Van 2 peilbuizen (4 filters) zijn grondwatermonsters genomen ten behoeve van microbiologisch onderzoek. Het grondwater ter plaatse van Soest is aëroob. Ten behoeve van vergelijking met BIOLOG tests ter plaatse van Coupépolder en Banisveld zijn naast aërobe tests tevens anaërobe tests uitgevoerd.

Tijdens de proeven ontstond algengroei op de BIOLOG, waardoor interpretatie werd bemoeilijkt. Het is niet mogelijk gebleken een relatie tussen de verschillende monsters vast te stellen.

Daarnaast zijn DGGE-proeven uitgevoerd. Uit de resultaten blijkt dat de verschillen tussen bovenstroomse en benedenstroomse monsters met name bestaan uit het verschil in intensiteit van de bandjes (aanwezigheid aantal organismen), en niet zozeer door het verschijnen van

bandjes op een andere plaats in het DNA-profiel (wat zou wijzen op andere verschillen in soortsamenstelling). Wel blijkt dat het verschil tussen aërobe en anaërobe monsters duidelijk kan worden onderscheiden.

#### 5.3.4 *Stap 4: Implementatie*

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat sprake is van een pluim met micro- en macroverontreinigingen. Door het aërobe karakter van het eerste watervoerende pakket zal afbraak van tetra- en trichlooretheen naar verwachting niet optreden buiten het stortlichaam. Aangezien de concentraties laag zijn, en er in de directe omgeving geen bedreigde objecten aanwezig zijn kan 'nazorg in relatie tot gewenst beschermingsniveau' worden volstaan met monitoring.

## HOOFDSTUK 6

### METHODEN EN TECHNIEKEN

Het stappenplan voor de beoordeling van het optreden van NA in het grondwater nabij stortplaatsen is gebaseerd op het interpreteren van gegevens verkregen door metingen. In dit hoofdstuk worden een aantal methoden en technieken toegelicht die gebruikt kunnen worden voor het verkrijgen van deze gegevens. Het is belangrijk om te realiseren dat dit rapport niet bedoeld is om een uitputtend overzicht te geven. Per stap worden de meest belangrijke technieken toegelicht.

#### 6.1 Stap 1: conceptueel model

Voor deze stap zijn in principe geen metingen noodzakelijk. In deze stap wordt een beeld gevormd van de stort met behulp van al aanwezige gegevens (kaarten etc.) afgesloten met een locatie bezoek.

Het beeld van de stort moet in ieder geval een aantal componenten bevatten, zoals de stortgeschiedenis (wanneer is begonnen met de exploitatie, wat is gestort, waar is gestort, wanneer is men gestopt etc.). Uiteraard zijn ook de dimensies van de stort belangrijk. Hulpmiddelen voor deze studie zijn bijvoorbeeld luchtfoto's en het raadplegen van vergunningen etc.

Informatie over de bodemopbouw, de geologische afzettingenmilieu en grondwater is te halen uit kaarten en (digitale) archieven. Inzicht in de afzettingenmilieu kan veel inzicht geven in het voorkomen van verschillende watertypen (zoet of zout) of de te verwachten heterogeniteit (klei of veenlenzen, geul insnijdingen etc.).

Het locatie bezoek is vooral bedoeld om het conceptueel model aan een eerste toets te onderwerpen. Het is wellicht een mogelijkheid om tijdens dit eerste bezoek met simple hulpmiddelen inzicht te krijgen in percolaat uittreding. Dit kan bijvoorbeeld door goed op te letten op verschillen in slotwater dicht bij een stort en verder af, dit kan eventueel ondersteund worden met geleidbaarheidsmetingen.

Alle bevindingen van deze eerste stap worden samengevat in een rapportage.

#### 6.2 Stap 2: vaststelling aanwezigheid van een pluim

In dit project is de aanwezigheid van een percolaat pluim op verschillende manieren vastgesteld. Een aantal mogelijke technieken worden beschreven.

##### 6.2.1 Geofysische methoden

Geofysische methoden zijn veelal non-destructieve technieken waarbij een gedetailleerd beeld in de ruimte verkregen kan worden. De geofysische technieken worden onderverdeeld in direct afbeeldende technieken en indirect afbeeldende technieken.

Voorbeelden van direct afbeeldende technieken zijn luchtfoto's, satellietbeelden, warmtebeelden etc. Deze gegevens worden vaak gebruikt om een eerste beeld van een locatie te krijgen. Voorbeelden zijn:

- Warmte beelden etc. Microbiologische activiteit zorgt in sommige gevallen voor een significante temperatuursverhoging. Met warmtebeelden kunnen deze gebieden geïdentificeerd worden.

Indirect afbeeldende technieken worden onderverdeeld in de actieve methoden en niet actieve methoden. Bij de actieve methoden wordt de reactie van de bodem, op een elektromagnetisch signaal of trilling die door de grond wordt gestuurd, gemeten. Voorbeelden van actieve metingen zijn:

- EM sondering en kartering. Deze technieken geven een geïntegreerd beeld van de elektrische weerstand van de ondergrond. Hieruit kunnen zones afgeleid worden die mogelijk beïnvloed zijn door percolaat;
- Grondradar. Met grondradar wordt een beeld verkregen van de opbouw van de ondergrond. Het is recentelijk ook mogelijk geworden om het watergehalte van de onverzadigde zone te bepalen.

Niet actieve methoden meten vooral intrinsieke bodemeigenschappen zoals dichtheid, temperatuur, geleidbaarheid of natuurlijke gamma straling. Deze metingen worden vooral toegepast als profileer techniek waardoor deze eigenschappen als functie van de diepte worden gemeten. Een voorbeeld dat gebruikt is in dit project is:

- Sonderen: wrijving en kleef geeft informatie over bodemopbouw. Gecombineerd met geleidbaarheid zijn zones in de diepte af te perken waar mogelijk percolaat zit.

Algemeen geldt voor geofysische technieken dat op basis van de fysica dat ten grondslag ligt aan de methode een uitspraken over bodemeigenschappen te doen zijn. De resultaten zijn zelden direct te interpreteren omdat zeer veel verschillende processen de meting kunnen beïnvloeden. Bijvoorbeeld bij de EM technieken is het probleem dat ze relatief zijn ten opzichte van de achtergrondwaarden. Deze methoden werken beter naarmate het contrast met de achtergrond groter is.

#### 6.2.2 Op basis van monsters

Monsters kunnen worden verkregen door middel van graven, boren en/of sonderen. Een groot aantal verschillende technieken zijn beschikbaar.

Om herhaald watermonsters te kunnen nemen wordt gebruik gemaakt van peilbuizen. Ook dit is algemeen bekend.

De verkregen monsters worden geochemisch en biologisch gekarakteriseerd. Een aantal van deze analyses kunnen in het veld worden uitgevoerd. De meeste analyses vinden plaats in het laboratorium. Voor transport moeten deze monsters voorbehandeld worden afhankelijk van de gewenste analyses. Hiervoor bestaan uitgebreide voorschriften.

#### **Chemische analyse pakket (macropluim)**

Percolaat bestaat uit een groot aantal verschillende parameters. Vaak zijn de concentraties van deze parameters verhoogd ten opzichte van de waarden in de achtergrond. De aanwezigheid van een macropluim is te bepalen uit de concentraties van macroparameters. Het is van belang om een zo compleet mogelijke set aan macroparameters te meten omdat percolaat zeer variabel van samenstelling is. Bovendien kan met een complete parameterset de kwaliteit van de analyses gecontroleerd worden door te kijken naar de ionenbalans etc. Parameters die in ieder geval gemeten moeten worden zijn:

- Alkaliteit ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ );
- Temperatuur, zuurgraad (pH), elektrische geleidbaarheid (EC), elektrochemische redox-potentiaal (Eh), zuurstofgehalte ( $\text{O}_2$ ). Deze parameters kunnen in het veld met behulp van doorstroom cellen bepaald worden;
- Macro Kationen:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ;
- Macro Anionen:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ;



- Extra redox parameters:  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ .

#### Gevoeligheidsanalyse redoxmetingen

Op basis van een gevoeligheidsanalyse van redoxmetingen is geconcludeerd dat als vuistregel kan worden gesteld dat redoxparameters bij voorkeur na circa 3 maanden na het installeren van een peilbuis dienen te worden uitgevoerd. Daarvoor zijn de parameters nog te zeer beïnvloed door de plaatsing van de peilbuis. Bijvoorbeeld door oxidatie als gevolg van het toetreden van zuurstof zal de  $\text{Fe}^{2+}$  concentratie direct naar plaatsing van de peilbuis sterk verlaagd zijn. Pas na 3 maanden zijn de concentraties op een niveau dat ze niet meer sterk veranderen.

Het vaststellen of een monster aangeeft of er sprake is van beïnvloeding door stortpercolaat is niet eenvoudig. Als er een groot aantal monsters zijn verzameld is het mogelijk om met behulp van statistische methoden de monsters te groeperen. In andere projecten is door IWACO ervaring opgedaan met cluster analyse waarbij op grond van macroparameters peilbuizen konden worden ingedeeld in verschillende categorieën, bijvoorbeeld percolaat beïnvloed en achtergrond.

#### Chemische analyseparameters (micropluim)

Om de micropluim te detecteren is het van belang om de relevante microparameters te bepalen. Gezien de heterogeniteit in de samenstelling van het percolaat is dit niet eenvoudig. Vaak zal er een uitgebreide screening noodzakelijk zijn om precies te weten om welke stoffen het gaat.

Er moet ook onderscheid gemaakt worden tussen anorganische parameters (zoals zware metalen) en organische parameters zoals benzeen.

Als een stort in een sulfaat reducerende of methanogene fase zit, zijn een hoop metalen neergeslagen in als sulfide o.i.d. Met behulp van een geochemisch speciatie model kan hier inzicht in verkregen worden. Het is dan wel van belang om de macrochemie in detail te kennen.

### 6.3 Stap 3: Vaststelling van het optreden van NA

#### Chemische analyses sediment

De geochemische samenstelling van het sediment kan ook bepaald worden. Hierbij gaat het vooral om de speciatie (wijze van voorkomen) van de redoxgevoelige parameters. Zo is het bijvoorbeeld van belang om te weten hoeveel  $\text{Fe(II)}$  en  $\text{Fe(III)}$  in het sediment voorkomt omdat met deze gegevens de oxidatie capaciteit bepaald kan worden. Ook is het interessant om te weten of er neerslagen voorkomen van sulfiden en carbonaten. Om de speciatie te bepalen wordt gebruik gemaakt van (sequentiële) selectieve extracties. Hierbij wordt slechts een bepaalde fractie van het mineraal in oplossing gebracht welke dan met standaard methoden wordt geanalyseerd. In de literatuur zijn een zeer groot aantal verschillende extracties beschreven voor specifieke toepassingen. Het is te verwachten dat in de nabije toekomst meer duidelijkheid zal komen over welke extractie techniek het beste geschikt is voor  $\text{Fe(II)}$  en  $\text{Fe(III)}$  bepalingen etc.

#### Microbiologische analyses, BIOLOG

Met BIOLOG analyses is het mogelijk een beeld te krijgen van de microbiële diversiteit van een monster. BIOLOG analyses kunnen worden uitgevoerd met grondmonsters, grondwatermonsters of monsters van stortmateriaal. Bij het gebruik van de BIOLOG dienen monsters onder anaërobe condities te worden genomen. Een BIOLOG wordt uitgevoerd met behulp van een microtiter plaat. Op deze plaat zijn 96 kleine uitsparingen (cupjes) aanwezig. In deze cupjes zijn verschillende substraten aanwezig, waarbij in 1 cupje uitsluitend water aanwezig is (referentie). Van de monsters wordt zo snel mogelijk na monsternamen in het laboratorium een suspensie gemaakt. De suspensie wordt toegevoegd aan de cupjes. Na incubatie van 3, 7, 10, 14, 21 en

28 dagen bij 12°C, wordt gekeken welke substraten zijn omgezet. Wanneer een substraat wordt omgezet vindt er een kleuringreactie plaats (positieve reactie). Het aantal gekleurde cupjes geeft een idee over de microbiële diversiteit. Naarmate er meer gekleurde cupjes zijn is de microbiële diversiteit groter. De BIOLOG analyses worden in anaëroob milieu uitgevoerd. Een nadeel van BIOLOG analyses is dat er alleen micro-organismen aangetoond kunnen worden die op substraat gekweekt kunnen worden. Hierdoor geeft een BIOLOG analyse een onvolledig beeld van de microbiële populatie.

Met behulp van verschillende statistische methodes zoals UPGMA-clustering kan men de microbiële diversiteit van verschillende monsters op een locatie vergelijken. Hierdoor kan de invloed van veranderingen in chemische omstandigheden op de microbiële diversiteit bekeken worden. In figuur 12 is een voorbeeld van UPGMA-clustering gegeven voor stroomopwaartse en stroomafwaartse monsters. De mate waarin BIOLOG patronen overeenkomen staat op de horizontale as uitgedrukt in procenten.

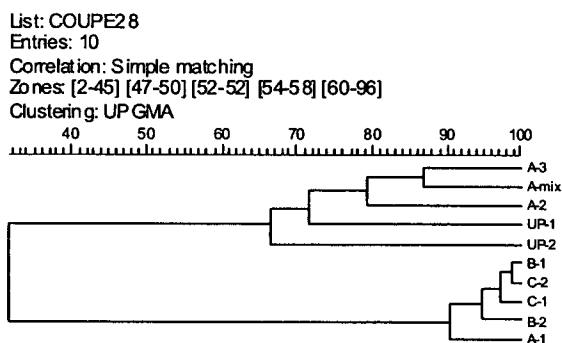


Fig. 12. Clustering van BIOLOG patronen van stortplaats Coupépolder voor 4 grondmonsters onder de stort (A), 4 grondmonsters benedenstrooms (B en C) en 2 monsters bovenstrooms (UP).

Uit figuur 12 is duidelijk af te lezen dat er twee verschillende clusters zijn. De BIOLOG patronen stroomopwaarts (bovenste groep) verschilt duidelijk van de onderste groep (monsters stroomafwaarts). Het verschil zou veroorzaakt kunnen worden door beïnvloeding van de stortplaats. Deze analyses zijn uitgevoerd voor stortplaats Coupépolder en Banisveld. Uit de resultaten blijkt dat de microbiële diversiteit in het percolaat het meest divers is. In de pluim is de diversiteit lager. Onder de stort is de diversiteit het laagst. Ook bleek uit clustering dat BIOLOG patronen voor grondwatermonsters goed overeenkomen met de plaats van monsternamen. Voor sedimentmonsters werd een grotere spreiding gevonden. Dit kan veroorzaakt zijn door de grotere heterogeniteit van het leefmilieu voor micro-organismen in sedimentmonsters.

Een andere methode om BIOLOG resultaten te beoordelen is Principale Componenten Analyse (PCA). Hierbij wordt niet gekeken in hoeverre het gehele BIOLOG patroon van monsters overeenkomt, maar wordt gekeken welke substraten samenhang vertonen met de plaats van monsternamen. Figuur 13 geeft een voorbeeld van PCA-clustering voor monsters die stroomopwaarts, in de pluim en verder stroomafwaarts zijn genomen. Monsters die genomen zijn in de pluim (linksboven), stroomopwaarts (midden) en verder stroomafwaarts (rechtsonder) clusteren onderling goed met elkaar.

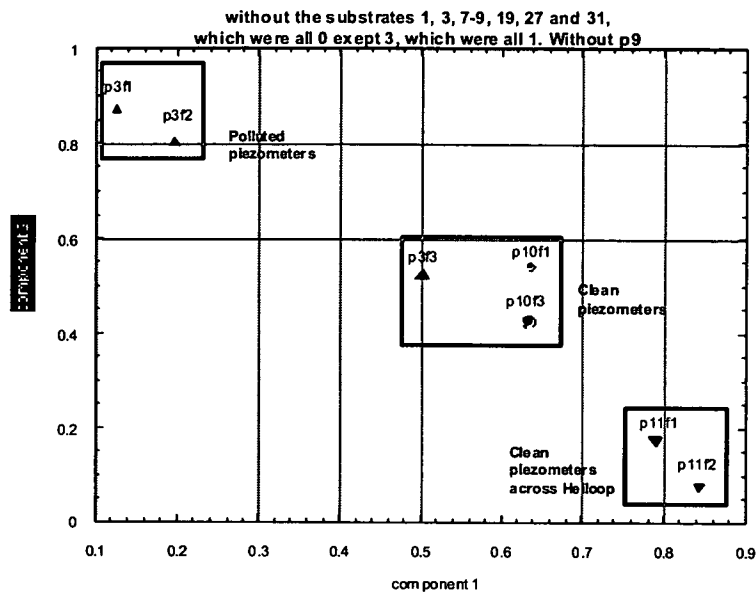


Fig. 13. Resultaat van PCA-clustering voor BIOLOG resultaten van stort Banisveld.

Uit de resultaten blijkt dat de inzet van BIOLOG voorsnog minder bruikbaar zijn voor algemene toepassingen omdat de metingen niet eenduidig te interpreteren zijn.

#### DNA/RNA analyses

Met DNA/RNA analyses kan een indruk worden verkregen van de microbiële diversiteit. De resultaten van DNA/RNA analyses zijn zogenaamde bandjespatronen. Naarmate er meer bandjes zijn is de microbiële diversiteit in een monster groter. De sterkte van een bandje is een maat voor de mate waarin een micro-organisme voorkomt. Methoden om DNA/RNA te analyseren zijn afkomstig uit de medische en biotechnologische wereld. Deze moeten nog deels aangepast worden om goed toegepast te kunnen worden voor grondmonsters. Met name de extractie en zuivering van het DNA/RNA levert problemen op. Het is ook mogelijk te onderzoeken of bepaalde bandjes of bandjespatronen overeenkomen met een bepaald redoxmilieu of met de afbraak van bepaalde stoffen. Wanneer zulke verbanden bestaan kan een DNA/RNA analyse uitgevoerd worden.

Bij een DNA/RNA analyse wordt eerst een kenmerkend stukje DNA uit het monster geëxtraheerd. Dit kenmerkende stukje DNA wordt het 16S rDNA genoemd. Daarna wordt met Polymerase Chain Reaction (PCR) het DNA vermeerderd. Vervolgens worden de stukjes DNA op een gel met Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) of Temperature Gradient Gel Electrophoresis (TGGE) gescheiden. Het resultaat is een soort bandjespatroon van verschillende stukjes DNA. RNA kan op een soortgelijke manier geanalyseerd worden.

Een voorbeeld van een DNA-profiel is weergegeven in hoofdstuk 5, figuur 10.

De bandjes bestaan uit DNA van micro-organismen die veel aanwezig zijn of uit RNA van micro-organismen die actief zijn. De plaats van het bandje op de gel is kenmerkend voor het soort micro-organisme. Met behulp van clustering van DNA/RNA-gegevens en chemische gegevens kan worden onderzocht of bepaalde bandjes of bandjespatronen kenmerkend zijn voor een bepaald redoxmilieu. Ook is het mogelijk de DNA- of RNA-sequentie in een bandje te bepalen. Deze sequentie kan vergeleken worden met een bestand waarin gekarakteriseerde micro-organismen zijn opgenomen. Op deze manier kan het soort micro-organismen herleid worden. Wanneer dit micro-organisme kenmerkend is voor een bepaald redoxmilieu (bijvoorbeeld wanneer het micro-organisme een sulfaatreducerder is) kan het redoxmilieu in het monster herleid worden. Een beperking van deze methode is dat tot nu toe slechts van een klein deel van alle micro-organismen de DNA- en RNA-sequenties bepaald zijn.

Op dit moment kan met deze technieken een algemeen beeld verkregen worden van de aanwezige diversiteit of er kan specifiek gezocht worden naar een aantal organismen (organismen die in staat zijn om hoog gechloreerde verbindingen te dechloreren en de zogeheten geobacter die in benzeen onder anaërobe omstandigheden kunnen omzetten). Op dit moment wordt zeer veel onderzoek gedaan naar welke type organismen verantwoordelijk zijn voor de omzetting van specifieke stoffen, met de dag kunnen meer organismen gedetecteerd worden. In de toekomst is het wellicht ook mogelijk om op zoek te gaan naar het DNA dat codeert voor specifieke enzymen betrokken bij de omzetting van bepaalde stoffen. Eerst is het echter noodzakelijk om deze enzymen te kennen.

## HOOFDSTUK 7

### CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Met het stappen plan beschreven in dit rapport is het mogelijk om het onderzoek naar het optreden van NA in het grondwater bij stortplaatsen te structureren. Voor het onderzoek naar NA bij stortplaatsen zijn de volgende aspecten essentieel:

- Metingen moeten zoveel mogelijk plaats vinden in grondwater dat beïnvloed is door percolaat. Alleen dan kan de snelheid van het optreden van NA worden bepaald. In alle andere gevallen kan slechts een indruk worden gekregen van het potentieel voor NA en niet of het daadwerkelijk optreedt.
- Dit betekent ook dat er een goed inzicht in de grondwaterstroming is. Dit betekent dat een hydrologisch onderzoek een belangrijke plaats verdient aan het begin van het onderzoek. In sommige gevallen is het nodig om in het kader van het hydrologisch onderzoek peilbuisen te plaatsen in een ruimere omgeving van de stortplaats, opdat een goed beeld kan worden verkregen van de grondwaterstroming.
- Beïnvloeding door stortpercolaat kan het beste worden bepaald door middel van concentratie verschillen in macroparameters ten opzichte van niet beïnvloede (achtergrond) waarden. Statistische methoden lenen zich goed voor deze analyse.
- Microbiologische technieken zijn veel belovend. Batchtesten leveren echter kwalitatieve informatie en het blijkt niet goed mogelijk de resultaten uit het laboratorium te vertalen naar het veld. Concrete toepassingen van de BIOLOG en DNA/RNA methoden zijn nog niet voorhanden. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de interpretatie lastig is. Direct aangeven of een populatie in staat is een bepaalde stof af te breken is slechts mogelijk voor een zeer beperkt aantal stoffen. De ontwikkelingen op dit gebied gaan echter zo snel dat op zeer korte termijn deze methoden beschikbaar zullen komen.
- Geofysische methoden geven vaak waardevolle informatie over de ligging van een percolaat pluim. Dit soort onderzoek zou vaker toegepast moeten worden in de beginfase van het onderzoek naar een stortplaats.
- De kennis (en daardoor de betrouwbaarheid) van de chemische analyses aan het grondwater is groter dan de kennis van de speciatie analyses op sediment. Het is echter de speciatie dat ons inzicht geeft in de hoeveelheid elektronacceptor aanwezig in het sediment voor het op gang houden van NA. Hieraan moet nog veel onderzoek worden verricht. Het gaat dan om welke methoden het meest geschikt zijn voor routinematige analyses van oxidatie capaciteit etc.
- Bij de stortplaatsen onderzocht in dit project bleek dat de verontreiniging voor een groot deel wordt beheerst door de hydrologische situatie ter plaatse. NA treedt weliswaar op maar de hydrologische effecten zijn dominant.

#### **Combineren van hydrogeochemie en microbiologie**

Microbiologische activiteit is afhankelijk van de hydrogeochemische situatie terwijl de hydrogeochemie sterk kan veranderen door biologische activiteit. Voor het begrijpen van processen in watervoerende lagen onder stortplaatsen dienen gegevens van zowel microbiologie als hydrogeochemie te worden geïntegreerd. In dit project is hiertoe een aanzet gedaan.

Doordat er hydro- en geochemische gegevens beschikbaar waren, konden bepaalde conclusies ten aanzien van het optreden van bepaalde redox reacties door de microbiologische metingen worden bevestigd. Het is echter van belang dat er een meer geïntegreerde benadering komt waarbij de verschillende vakgebieden sterker met elkaar geïntegreerd kunnen worden.

Op den duur zou het zo kunnen zijn dat de resultaten van DNA/RNA analyses gecombineerd kunnen worden met geochemische speciatie modellen waarmee de (microbieel gekatalyseerde) redox chemie verklaard en eventueel voorspeld kunnen worden. Dit vergt echter nog zeer veel fundamenteel onderzoek.

## LITERATUUR

- [1] Christensen, T.H., Kjeldsen, P., Albrechtsen, H.J., Nielsen, P.H., Bjerg, P.L. and Holm, P.E., 1994. Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 24: 119-202.
- [2] Heron, G., 1994. Redox buffering in landfill leachate contaminated aquifers. PhD-thesis Technical University of Denmark.
- [3] Johnson, J.J., Borden, R.C. and Barlaz, M.A., 1996. Anaerobic biodegradation of alkyl-benzenes and trichloroethylene in aquifer sediment down gradient of a sanitary landfill, *J. Contam. Hydrol.*, 23(4), 263-283.
- [4] Apello, C.A.J. and Postma, D., 1993. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam.
- [5] Fetter, C.W., 1993. *Contaminant hydrogeology*, Macmillan Publishing Co. New York.