

NOBIS 98-1-08  
IMPLEMENTATIE BESLISSYSTEMATIEK  
ONTWERP EN ONDERHOUD VAN  
INFILTRATIE- EN ONTTREKKINGSMIDDELEN

Eindrapport

ir. C.G.E.M. van Beek (Kiwa N.V.)  
drs. L. Vasak (Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO)  
ir. A. Nieuwaal (Grondboorbedrijf Haitjema B.V.)  
dr.ir. G.C. Stefess (Tauw bv)  
ir. L.M.M. Bakker (Tauw bv)

mei 2000

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, "©"Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen - Eindrapport", mei 2000, 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, "©"Implementation of a decision support system for the design and maintenance of extraction and re-infiltration systems - Final report", May 2000, 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**

Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen  
Eindrapport

**CUR/NOBIS rapportnummer**

98-1-08

**Project rapportnummer**

98-1-08

---

**Auteur(s)**

ir. C.G.E.M. van Beek  
drs. L. Vasak  
ir. A. Nieuwaal  
dr.ir. G.C. Stefess  
ir. L.M.M. Bakker

**Aantal bladzijden**

**Rapport:** 146  
**Bijlagen:** 27

---

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

Bolegbo, Vereniging van Boor-, Kabelleg- en Buizenlegbedrijven (A.P.H. Timmermans, 0492-553250)  
Provincie Gelderland (ing. M.T. Bult, 026-3598310)  
Provincie Noord-Holland (ir. J.V.J.M. Kuyper, 023-5144514)  
Provincie Utrecht (mw. dr. V.C.M. van Engen, 030-2583715)  
NEMEF (J.H. Nijland, 055-3121888)  
Akzo Nobel (ir. R.R. Saal, 020-4196163)  
Grondboorbedrijf Haitjema B.V. (ir. A. Nieuwaal, 0523-612061)  
Kiwa N.V. (ir. C.G.E.M. van Beek, 030-6069555)  
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (drs. L. Vasak, 015-2697118)  
Tauw bv (dr.ir. G.C. Stefess, 0570-699911)

---

**Uitgever**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Samenvatting**

Dit rapport gaat in op de toepassing van een beslissondersteunend systeem voor het ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen, die in een eerdere fase was opgesteld (NOBIS-project 96-3-06). De systematiek is getoetst op 13 praktijkcases van verschillende aard. Dit heeft geleid tot een verbeterde systematiek die breed kan worden ingezet bij het voorkomen en opheffen van verstoppingsproblemen. In het algemeen wordt een betrouwbare inschatting van de verstoppingsrisico's gegeven. Het onderzoek heeft geleid tot een praktische methodiek die kan worden gebruikt in de ontwerp-, implementatie- en exploitatiefase.

Kennisuitwisseling wordt gezien als onmisbaar en vraagt daarom meer aandacht in de toekomst. Aan de hand van de resultaten van een eveneens uitgevoerde schriftelijke enquête onder diverse belanghebbenden, worden aanbevelingen gedaan voor het meest gewenste toekomstige systeem voor kennisuitwisseling omtrent het onderhoud en ontwerp van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen.

---

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

grondwateronttrekking, infiltratie, putregeneratie, retourbemaling, verstopping

**Vrije trefwoorden:**

beslismethodiek, geochemie, hydrologie, microbiologie, praktijkcases, technologie

---

**Titel project**

Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen

**Projectleiding**

Tauw bv  
(ir. L.M.M. Bakker, 0570-699622)

---

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

**Report title**

Implementation of a decision support system for the design and maintenance of extraction and re-infiltration systems  
Final report

**CUR/NOBIS report number**

98-1-08

**Project report number**

98-1-08

---

**Author(s)**

ir. C.G.E.M. van Beek  
drs. L. Vasak  
ir. A. Nieuwaal  
dr.ir. G.C. Stefess  
ir. L.M.M. Bakker

**Number of pages**

**Report:** 146

**Appendices:** 27

---

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

Bolegbo, Vereniging van Boor-, Kabelleg- en Buizenlegbedrijven (A.P.H. Timmermans, 0492-553250)  
Province of Gelderland (ing. M.T. Bult, 026-3598310)  
Province of Noord-Holland (ir. J.V.J.M. Kuyper, 023-5144514)  
Province of Utrecht (Mrs dr. V.C.M. van Engen, 030-2583715)  
NEMEF (J.H. Nijland, 055-3121888)  
Akzo Nobel (ir. R.R. Saal, 020-4196163)  
Drilling Company Haitjema BV (ir. A. Nieuwaal, 0523-612061)  
Kiwa N.V. (ir. C.G.E.M. van Beek, 030-6069555)  
Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO (drs. L. Vasak, 015-2697118)  
Tauw BV Consultancy (dr.ir. G.C. Stefess, 0570-699911)

---

**Publisher**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Abstract**

A decision support system for the design and maintenance of extraction and re-infiltration system has been tested during the design and operation stages of 13 different projects. The decision support system, which had been developed previously (NOBIS project 96-3-06), has been improved, based on the outcome of the tests. It is now suited for most cases for the prevention and solution of clogging problems. Clogging risks can be judged adequately, and the decision support system can be used in the design, implementation and operation of any extraction and re-infiltration system.

Based on an inquiry among parties that are involved in the extraction and infiltration of groundwater, the exchange of knowledge on clogging phenomena of extraction and re-infiltration systems is commonly regarded indispensable. Recommendations are given for the most useful means of exchange of knowledge in future in this field.

---

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

clogging, drainage, groundwater extraction, system,  
re-infiltration, well-development  
microbiology,

**Uncontrolled terms:**

case studies, decision support  
geochemistry, hydrology,  
well-technology

---

**Project title**

Implementation of a decision support system for the design and maintenance of extraction and re-infiltration systems

**Projectmanagement**

Tauw BV Consultancy  
(ir. L.M.M. Bakker, 0570-699622)

---

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 het rapport waarin de resultaten worden gepresenteerd van het NOBIS-project "Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen". Dit rapport is tot stand gekomen door een nauwe samenwerking tussen het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Kiwa N.V., Grondboorbedrijf Haitjema B.V., de provincies Noord-Holland, Gelderland en Utrecht, NEMEF, Akzo Nobel, Bolegbo en Tauw bv (het consortium).

Door derden zijn eveneens bijdragen geleverd die essentieel waren voor het bereiken van dit eindresultaat. Dank gaat uit naar de partijen die gegevens hebben aangeleverd van de hier gerapporteerde praktijkcases, alsmede naar de deelnemers aan de enquête.

Het onderhavige rapport is te beschouwen als een aanpassing en uitbreiding van het fase 1 rapport (NOBIS-project 96-3-06).

mei 2000

# INHOUD

		SAMENVATTING	viii
		SUMMARY	ix
		VERKLARENDE WOORDENLIJST	x
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
		1.1 Achtergronden	1
		1.2 Doelstelling	2
		1.3 Aanpak van het onderzoek	2
		1.4 Opbouw van het rapport	3
Hoofdstuk	2	GEOCHEMISCHE ASPECTEN	5
		2.1 Achtergronden van het onderzoek	5
		2.2 Plaats van verstopping	5
		2.3 Processen	5
		2.3.1 Verstopping door menging	5
		2.3.2 Verstopping specifiek voor winputten	8
		2.3.3 Verstopping specifiek voor retourputten	9
		2.4 Regeneratie of preventie?	10
		2.5 Meetmethoden	10
		2.6 Samenvatting	12
Hoofdstuk	3	HYDROLOGISCHE EN FYSISCHE ASPECTEN	13
		3.1 Algemeen	13
		3.2 Invloed van processen op de hydraulische weerstand van de ondergrond	13
		3.2.1 Primaire doorlatendheid	13
		3.2.2 Invloed van kleizwelling en kleidispersie	14
		3.2.3 Colloïdale verstopping	15
		3.3 Invloed van injectiedruk	15
		3.3.1 Doorslaan naar het maaiveld	15
		3.3.2 Gasbellen	16
		3.4 Meetmethoden	16
		3.4.1 Algemeen	16
		3.4.2 Bepaling van de doorlatendheid	17
		3.4.3 Inschatting van kleizwelling en kleidispersie	19
		3.4.4 Voorspelling van colloïdale verstopping	20
		3.4.5 Bepaling van de kritische stijghoogtevermeerdering	21
		3.4.6 Voorspelling van verstopping door gasclogging	21
		3.5 Aandachtspunten in de praktijk	22
		3.6 Samenvatting	22
Hoofdstuk	4	BIOLOGISCHE ASPECTEN	25
		4.1 Algemeen	25
		4.2 Processen	25
		4.2.1 Microbiële groei en biofilmvorming	26

	4.2.2	Vorming van organische polymeren en interacties met de bodemmatrix	28
	4.2.3	Oxidatie van ijzer en mangaan	28
	4.2.4	Sulfaatreductie en metaalprecipitatie	29
	4.2.5	Gasproductie	30
	4.2.6	Aantasting van materialen	30
	4.3	Mogelijke effecten bij oppervlakte- en diepteretoursystemen en bij onttrekking	31
	4.4	Meetmethoden	32
	4.4.1	Laboratoriummethoden	32
	4.4.2	Veldmethoden	32
	4.4.3	Preventie van biologische verstoppingsoorzaken	33
	4.5	Samenvatting	34
Hoofdstuk	5	TECHNOLOGISCHE ASPECTEN	37
	5.1	Algemeen	37
	5.2	Boormethode	37
	5.2.1	Verticale filters	37
	5.2.2	Drains	38
	5.3	Putconstructie	39
	5.4	Putontwikkeling	39
	5.5	Putregeneratie	40
	5.6	Systeemdruk	41
	5.7	Meetmethoden	41
	5.8	Discontinuïteiten in de bedrijfsvoering	42
	5.9	Technisch ontwerp	43
	5.10	Samenvatting	44
Hoofdstuk	6	INVLOED VAN WATERZUIVERING OP DE KWALITEIT VAN RETOURWATER	45
	6.1	Inleiding	45
	6.2	Overzicht van waterzuiveringstechnieken	45
Hoofdstuk	7	INFILTRATIEASPECTEN BIJ IN SITU CONCEPTEN	49
Hoofdstuk	8	RICHTLIJNEN VOOR VOORONDERZOEK	51
	8.1	Algemene aanpak	51
	8.2	Tabel met basisgegevens en kritische parameters per case	54
	8.3	Richtlijnen voor het vooronderzoek aan grondwater	56
Hoofdstuk	9	BESCHRIJVING VAN DE CASES	61
	9.1	Akzo Nobel te Weert	61
	9.1.1	Beschrijving van het saneringsconcept	61
	9.1.2	Basisgegevens van de case	62
	9.1.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	66
	9.2	NEMEF te Wenum	68
	9.2.1	Beschrijving van het saneringsconcept	68
	9.2.2	Basisgegevens van de case	69
	9.2.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	70
	9.3	Dravo te Bunnik	71
	9.3.1	Beschrijving van het saneringsconcept	71
	9.3.2	Basisgegevens van de case	72

	9.3.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	73
	9.3.4	Procesmonitoring tijdens de uitvoeringsfase	74
	9.3.5	Conclusies	76
	9.4	Akzo Nobel te Botlek	77
	9.4.1	Beschrijving van het saneringsconcept	77
	9.4.2	Basisgegevens van de case	78
	9.4.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	79
	9.5	Evenblij te Hoogeveen	81
	9.5.1	Beschrijving van het saneringsconcept	81
	9.5.2	Basisgegevens van de case	81
	9.5.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	82
	9.6	Hedeman-terrein te Almelo	83
	9.6.1	Beschrijving van het saneringsconcept	83
	9.6.2	Basisgegevens van de case	83
	9.6.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	85
	9.7	NS-revisieterrein te Tilburg (combi-remediatie)	87
	9.7.1	Beschrijving van het saneringsconcept	87
	9.7.2	Basisgegevens van de case	87
	9.7.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	88
	9.7.4	Procesmonitoring tijdens de uitvoeringsfase	89
	9.8	Barneveld	90
	9.8.1	Beschrijving van het saneringsconcept	90
	9.8.2	Basisgegevens van de case	90
	9.8.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	92
	9.9	Roermond	92
	9.9.1	Beschrijving van het saneringsconcept	92
	9.9.2	Basisgegevens van de case	93
	9.9.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	94
	9.10	Slochteren	95
	9.10.1	Beschrijving van het saneringsconcept	95
	9.10.2	Basisgegevens van de case	96
	9.10.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	96
	9.11	Schoonebeek	97
	9.11.1	Beschrijving van het saneringsconcept	97
	9.11.2	Basisgegevens van de case	97
	9.11.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	98
	9.12	Rademarkt te Groningen	99
	9.12.1	Beschrijving van het saneringsconcept	99
	9.12.2	Basisgegevens van de case	100
	9.12.3	Interpretatie van gegevens en aanbevelingen	102
	9.13	Toepasbaarheid van de systematiek op praktijkcases	103
Hoofdstuk	10	MEET- EN MAATREGELENPROGRAMMA	105
	10.1	Inleiding	105
	10.2	Benadering	105
	10.3	Geochemische aspecten	106
	10.4	Hydrologische en fysische aspecten	108
	10.5	Biologische aspecten	109
	10.6	Technologische aspecten	113
	10.7	Monitoringssysteem	115



Hoofdstuk	11	BESLISSCHEMA'S	117
		11.1 Inleiding	117
		11.2 Verstoppingsidentificatieschema	131
		11.3 Regeneratiekeuze	133
		11.3.1 Mechanische methoden	133
		11.3.2 Chemische methoden	134
		11.3.3 Regeneratiemethoden en saneringsconcepten	135
Hoofdstuk	12	CONCLUSIES	137
		LITERATUUR	139
Bijlage	A	GEGEVENS AKZO NOBEL TE WEERT	
Bijlage	B	GEGEVENS NEMEF TE WENUM	
Bijlage	C	DEELTJESTELLING DRAVO TE BUNNIK	
Bijlage	D	BODEMANALYSE AKZO NOBEL TE BOTLEK	
Bijlage	E	SAMENVATTING VAN DE ENQUÊTE NAAR KENNISBEHOEFTE	
Bijlage	F	LEGENDA BESLISSCHEMA'S	

## SAMENVATTING

### **Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen**

Dit rapport beschrijft de resultaten van het project "Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen" (NOBIS-project 98-1-08). Het onderzoek is uitgevoerd door een consortium van het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Kiwa N.V., Grondboorbedrijf Haitjema B.V., de provincies Noord-Holland, Gelderland en Utrecht, Akzo Nobel, NEMEF, Bolegbo en Tauw bv.

Het onderzoek vormt de tweede fase van een studie naar de ontwikkeling van een praktische beslissystematiek voor het oplossen en voorkomen van verstoppingsproblemen in infiltratie- en onttrekkingsmiddelen. In de eerste fase is de systematiek ontwikkeld (NOBIS-project 96-3-06). In deze tweede fase is de overstap gemaakt van theorievorming naar toepassing in de praktijk, door middel van toetsing aan verschillende praktijkcases. Dit heeft geleid tot een aantal verbeteringen in de systematiek die in het huidige rapport verwerkt zijn. Dit betreft onder meer het aanscherpen van de aandachtspunten bij het vooronderzoek en bij het verzamelen van basisgegevens; ook zijn kleine aanpassingen verricht aan de beslismodellen. Door deze aanpassing van de beslissystematiek, die ontwikkeld is in fase 1, kunnen de (potentiële) verstoppingen beter worden gediagnosticeerd en kunnen de juiste keuzes en maatregelen worden genomen.

De ontwikkelde systematiek lijkt voldoende geschikt te zijn om de vereiste basisgegevens vast te leggen bij meeste onderzochte cases. Bij zeer complexe cases is een uitgebreide karakterisering noodzakelijk gebleken. De algemene indruk was dat de ontwikkelde systematiek functioneert, zowel bij het voorspellen van de verstoppingsproblemen (ontwerpfase) als bij het vaststellen van verstoppingsoorzaken (implementatiefase).

Binnen het project is ook een enquête uitgevoerd naar de kennisbehoefte op het gebied van infiltratie en onttrekking onder een brede groep van belanghebbenden. Kennisuitwisseling werd door iedereen noodzakelijk geacht. In dit rapport worden aanbevelingen gedaan voor een toekomstig kennisplatform. De voorkeur gaat uit naar een 'lowbudget' informatiepunt dat via SKB kan functioneren.

## SUMMARY

### **Implementation of a decision support system for the design and maintenance of extraction and re-infiltration systems**

The results of the NOBIS project 98-1-08, entitled "Implementation decision support system for the design and maintenance of extraction and re-infiltration systems", are reported. The investigation was performed by the Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO, in cooperation with Kiwa N.V., Drilling Company Haitjema BV, the provinces of Noord-Holland, Utrecht and Gelderland, Akzo Nobel, NEMEF, Bolegbo and Tauw BV Consultancy.

The research is the second phase of a comprehensive study into the development of a practical decision support system for the prevention and solution of various clogging problems in extraction and re-infiltration systems and their clogging risks. The decision support system has been developed during the previous first phase (NOBIS project 96-3-06). Within the current second phase a switch has been made from a more theoretical towards a more applied approach. This was achieved by the validation of the system using more than ten cases, in which all aspects (from design to troubleshooting during operation) were met. Based on the results of this validation some adaptation were made (e.g. in flow diagrams), which have been implemented in this report. Special attention was paid to the pre-investigation stage, which has been elaborated. The current decision support system is more suited to estimate potential clogging risks, to make proper choices in design and to take adequate measures when clogging problems occur.

The decision support system adequately collects the essential characteristics of the cases being studied. However, very complex cases may require more elaborate investigations for proper judgement. In general, satisfactory results were obtained in the prediction of clogging problems (design stage) as well as the establishment of the causes of clogging (operation stage).

The project also aimed at a definition of the knowledge requirements among different parties in this field. The results of an inquiry, which was set up within this project, showed that there was a common need for knowledge exchange. Recommendations are given for the development of a knowledge platform. An (low budget) information desk through SKB would be one of the most favourable options.

## VERKLARENDE WOORDENLIJST

AOC	assimileerbare organische koolstof
acidofiel	zuurminnend
assimileerbaar	omzetbaar in biomassa
autotrofie	groei op anorganische koolstofbron (CO <sub>2</sub> )
biomassa	celmateriaal en slijm, afkomstig van micro-organismen
CEC	'cation exchange capacity': de som van uitwisselbare kationen in de grond
clogging	verstopping
colloïden	deeltjes
cometabolisch	omzetting met (organisch) substraat
elektroforetische mobiliteit	beweging onder invloed van een elektrisch veld
ESP	'exchangeable sodium percentage': hoeveelheid geadsorbeerd natrium als percentage van de som van de uitwisselbare kationen
fermentatie	gisting
filterweerstand	verschil tussen de waterspiegel in de win- of retourput (= intreeweerstand) en de waterspiegel in de waarnemingsput in de omstorting tijdens het in bedrijf zijn van de put
heterotrofie	groei op organische koolstofbron
hydrofoob karakter	afstotende eigenschappen ten opzichte van water
injectiviteit	het vermogen tot infiltreren of retourbemalen
injectiedruk	de heersende druk in de retourbron tijdens bedrijf
jutteren	schoksgewijs reinigen van putten
katalase	enzym verantwoordelijk voor de afbraak van waterstofperoxide in zuurstof en water
kleidispersie	uiteenvallen van kleideeltjes
M <sub>50</sub> -cijfer	zandmediaan, korrelgrootte waarbij de zandfractie van een mengsel in twee massadelen van 50 % is verdeeld
MFI	membraanfilterindex: maat voor het aantal zwevende deeltjes, groter dan 0,45 µm, in water
mineralisatie	omzetting in anorganische producten
nutriënten	voedingsstoffen
preventie van verstopping	zodanig maatregelen nemen dat er geen verstopping van putten kan optreden
regeneratie van verstopte putten	putten zodanig behandelen of schoonmaken dat na behandeling de capaciteit van de put weer gelijk is aan die bij ingebruikneming
retourputten	infiltratieputten, persputten
SAR	'sodium adsorption ratio': verhouding tussen de natriumconcentratie en de (wortel van) calcium- plus magnesiumconcentratie in water
SI	verzadigingsindex van mineralen (saturatie-index)
SV-factor	specifieke volumestroom van een put, debiet bij één meter stijghoogteverandering
TOC	totaal organische koolstof
verstopping	belemmering van de waterstroming in en rond putten
winputten	productieputten, pompputten

## HOOFDSTUK 1

### INLEIDING

#### 1.1 Achtergronden

Het toenemende gebruik van ondergrondse waterreserves voor drinkwaterbereiding en irrigatie, én de onttrekking van grondwater bij bodemsaneringsactiviteiten kunnen leiden tot onacceptabele verdroging van de bodem, maaiveldzettingen en problemen met lozing ('dunwater'). Bij bodemsaneringsactiviteiten is het retourneren van onttrokken grondwater dan ook steeds vaker als eis opgenomen in de vergunning in het kader van de Grondwaterwet. Daarnaast kan het nodig zijn om water met hulpstoffen te retourneren, bijvoorbeeld nutriënten en (co)substraten bij biologisch gestimuleerde in situ saneringen. Het succes van de retournering is vaak wezenlijk voor het slagen van de in situ sanering.

Zowel bij het onttrekken als bij het retourneren van water kunnen de systemen na verloop van tijd verstopt raken, waardoor regeneratie noodzakelijk wordt. Daardoor kan de effectiviteit van een installatie geleidelijk aan aanzienlijk verminderen. Om verstoppingsproblemen te voorkomen of op te lossen, is inzicht nodig in de feitelijke oorzaak van de verstopping. Verstopping van de putten wordt veroorzaakt door een zodanige accumulatie van materiaal in of rond de put dat de stroming van het water wordt belemmerd. Accumulatie van materiaal kan plaatsvinden door:

1. accumulatie van (minerale) deeltjes, afkomstig uit de bodem;
2. vorming van fysisch-chemische of minerale neerslagen;
3. vorming van biologisch-chemische neerslagen of slijm (biomassa);
4. accumulatie van gassen.

Soms kunnen meer dan één van deze processen ten grondslag liggen aan een verstopping.

In het NOBIS-project 96-3-06 "Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen" [CUR/NOBIS, 1998] is een methodiek opgesteld die gehanteerd kan worden bij het ontwerp, de implementatie en de exploitatie van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen. In dat onderzoek zijn lopende grondwatersaneringsprojecten (exploitatiefase), waarbij reeds verstopping van het onttrekkings-/infiltratiesysteem was opgetreden, getoetst aan deze methodiek. Daarbij is onderzocht of de aard van de verstopping kon worden geïdentificeerd met behulp van de systematiek en welke technische mogelijkheden er zijn om verdere verstopping te voorkomen.

Het doel van dit onderzoek (fase 2) is om de beslissystematiek te testen door deze in te zetten bij grondwatersaneringsprojecten die op korte termijn in uitvoering gaan. De systematiek kan dan worden toegepast in de ontwerp, implementatie en exploitatiefase. In principe dus alle fases waarvoor de systematiek ontwikkeld is. Op deze wijze kan worden onderzocht of de systematiek over de gehele linie voldoet of nog leemten bevat die moeten worden ingevuld.

Van de praktijkcases, die in het onderzoek worden meegenomen, worden er twee intensief behandeld, namelijk Akzo Nobel Chemicals te Weert en het bedrijfsterrein van NEMEF in Wenum (Gelderland). Een tiental andere cases met uiteenlopende achtergronden van de (mogelijke) problematiek wordt eveneens meegenomen in dit onderzoek. Op die manier wordt de mogelijkheid geboden om de systematiek breed te toetsen.

De keuze voor deze cases is ingegeven door het feit dat er in het algemeen drie grote probleemgebieden zijn bij infiltratie:

- ijzrneerslagen;
- kalkneerslagen;
- biologie in verband met toeslagstoffen.

Tijdens de voorgaande fase 1 is ook een workshop gehouden om de opzet van de systematiek te toetsen onder een brede groep belanghebbenden. Daaruit is gebleken dat er grote behoefte bestaat aan een dergelijke systematiek. Tijdens de workshop was ook de wens geuit om de systematiek inzichtelijker te maken door deze meer op de praktijk toe te spitsen. Het introduceren van diverse praktijkcases in het onderhavige project is een aanzet daartoe. Ook werd binnen dit project de kennis- en informatiebehoefte gepeild rondom het ontwerp, de implementatie en de exploitatie van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen met betrekking tot verstoppingsproblemen. De resultaten van een schriftelijke enquête naar deze kennisbehoefte zijn reeds als deelrapport uitgebracht en worden in dit eindrapport samengevat [CUR/NOBIS, 1999].

## 1.2 Doelstelling

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is het toetsen en, indien noodzakelijk, verbeteren van de beslissystematiek uit het NOBIS-project 96-3-06.

Binnen deze hoofddoelstelling kan een aantal subdoelstellingen worden geformuleerd:

- het verbeteren van kennis over het injecteren van stoffen bij in situ biorestauratie;
- het verbeteren van de kennis over het injecteren van (behandeld, aëroob en onbehandeld, anaëroob) ijzerrijk grondwater;
- het verbeteren van de kennis over het ontwerp van onttrekkings- en infiltratiesystemen inclusief te realiseren debieten, en het herstellen of verbeteren van de capaciteit van dergelijke geïnstalleerde systemen;
- het verbeteren van de beslissystematiek, zodat deze ook als een 'quick-scan' kan worden ingezet;
- het verbeteren van het document "Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen".

## 1.3 Aanpak van het onderzoek

Het uitvoerend consortium komt bijeen in werksessies waarin gegevens van praktijkcases worden uitgewisseld en geëvalueerd. Aanpassingen op de systematiek worden onderling besproken en teruggekoppeld. Het consortium fungeert als een soort begeleidingscommissie op de praktijkcases. Hierbij worden voorgestelde plannen gescreend en wordt aangegeven waar volgens de beslissystematiek aandacht aan besteed dient te worden. Het feitelijke ontwerpen, implementeren en installeren van een systeem vindt plaats binnen de projectuitvoering van een praktijkcase. Met betrekking tot de genoemde hoofdcases wordt aanvullend onderzoek geïnitieerd en begeleid door het uitvoerend consortium, zoals specifieke metingen of analyses.

Het onderzoek zal leiden tot de volgende eindproducten:

1. een ontwerprichtlijn voor onttrekkings- en infiltratiesystemen zonder toeslagstoffen;
2. een ontwerprichtlijn voor onttrekkings- en infiltratiesystemen met toeslagstoffen (in situ biorestauratie);
3. twee volledig uitgewerkte cases, waarbij de infiltratie- en onttrekkingsystemen worden onderzocht qua ontwerp, implementatie en exploitatie;
4. beknopte cases, waarbij het idee van 'quick-scan' wordt getoetst;

5. indien noodzakelijk aanpassen van de opgestelde beslismethodiek in het rapport "Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen";
6. een voorstel voor een systeem waarmee de kennis en ervaringen met betrekking tot verstoppingen in de toekomst kan worden verzameld en uitgewisseld.

#### 1.4 Opbouw van het rapport

Dit eindrapport omvat vier kennishoofdstukken (hoofdstuk 2 tot en met 5), met elk twee onderdelen: processen en meetmethoden. In het onderdeel 'processen' wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste oorzaken van putverstopping. Het onderdeel 'meetmethoden' geeft inzicht in de potenties en beperkingen van de technieken voor het afschatten van de verstoppingsnelheid. Voor elk van de technieken worden ook de uitvoeringsaspecten beschreven en de eraan verbonden kosten gespecificeerd.

Na de kennishoofdstukken volgt een hoofdstuk over de effecten van de grondwaterzuiveringsinstallatie op de kwaliteit van het te injecteren grondwater (hoofdstuk 6). Daarbij wordt teruggegrepen op de processen die zijn genoemd in de kennishoofdstukken. In hoofdstuk 7 wordt ingezoomd op de implicaties van in situ concepten voor onttrekkings- en infiltratiesystemen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende in situ concepten met speciale aandacht voor infiltratie van hulpstoffen. Hoofdstuk 8 gaat in op de richtlijnen voor (voor)onderzoek. Gebaseerd op de voorgaande hoofdstukken worden de vast te stellen kwalitatieve en kwantitatieve parameters benoemd en samengevat als een checklist voor vooronderzoek. In hoofdstuk 9 worden twaalf cases beschreven, die zijn getoetst op verstoppingsrisico's in de ontwerp- en/of uitvoeringsfases, daarbij gebruik makend van de checklist en de ontwikkelde beslissystematiek. Hoofdstuk 10 bevat het meet- en maatregelenprogramma. Dit is het raamwerk waarin de beslisschema's kunnen worden gebruikt en dient samen met de beslisschema's uit hoofdstuk 11 als leidraad voor het ontwerp, de implementatie en de exploitatie van onttrekkings- en infiltratiemiddelen. De implementatie van hiervoor genoemde hoofdstukken in praktijkcases heeft geleid tot de identificatie van een aantal verbeterpunten in de beslisschema's uit het fase 1 rapport. In hoofdstuk 11 is een verbeterde versie van deze beslisschema's opgenomen

Naast kennisvergaring en systematiekontwikkeling is in deze studie ook aandacht besteed aan de gewenste toekomstige wijze van kennisuitwisseling. Bijlage E bevat een samenvatting van de resultaten van een schriftelijke enquête naar de kennisbehoefte bij een brede groep van belanghebbenden op het gebied van onttrekkings- en infiltratiemiddelen. Daarbij wordt een voorstel gedaan voor toekomstige activiteiten op het gebied van kennisoverdracht en kennisuitwisseling met betrekking tot onttrekkings- en infiltratiesystemen.

In hoofdstuk 12 worden de conclusies van deze studie samengevat.





## HOOFDSTUK 2

### GEOCHEMISCHE ASPECTEN

#### 2.1 Achtergronden van het onderzoek

Verstopping van de winput en/of de retourput betekent in feite een belemmering van de (grond)waterstroming in of rond de put. De waterstroming wordt belemmerd door een accumulatie van materiaal. Dit materiaal kan bestaan uit een chemisch neerslag (ijzerhydroxiden, mangaanoxiden, aluminiumhydroxiden of kalk), biomassa (bacterieslijm) en/of minerale deeltjes (fijn zand of colloïden). Daarnaast kan verstopping ontstaan door accumulatie van gasbellen en door kleizwelling (zie 3.2.2). Het is niet zo dat verstopping van het systeem altijd aan één oorzaak kan worden toegeschreven. Er zijn omstandigheden denkbaar waarbij de verstopping wordt veroorzaakt door een combinatie van factoren.

In dit hoofdstuk wordt beschreven onder welke omstandigheden een accumulatie van materiaal kan worden verwacht en/of een accumulatie van materiaal kan ontstaan. Vervolgens wordt aangegeven hoe de locatie van de verstopping kan worden bepaald. Ook wordt ingegaan op regeneratie van verstopte putten en op de mogelijkheden van preventie van verstopping. Tenslotte wordt een meetprogramma gegeven.

#### 2.2 Plaats van verstopping

Materiaal kan rond de put op twee plaatsen accumuleren en aanleiding geven tot verstopping:

1. rond de boorgatwand;
2. rond het putfilter.

Met een waarnemingsfilter in de omstorting ter hoogte van het putfilter kan het onderscheid tussen beide plaatsen worden vastgesteld. Bij verstopping van de boorgatwand is het verschil tussen de hoogte van de waterspiegel in de onttrekkingsput en die in de waarnemingsput verwaarloosbaar als de put in bedrijf is (geen intreeweerstand). Bij verstopping van het putfilter daarentegen bestaat er een groot verschil tussen de hoogte van de waterspiegel in de onttrekkingsput en die in de waarnemingsput als de put in bedrijf is (aanwezigheid van intreeweerstand). In figuur 1 is het onderscheid tussen beide vormen weergegeven.

Het al dan niet aanwezig zijn van een intreeweerstand geeft dus aan of de verstopping in de filterspleten of op de boorgatwand is gelokaliseerd. Het al dan niet aanwezig zijn van een intreeweerstand is ook een belangrijke aanwijzing voor de oorzaak van verstopping en daarmee voor het al dan niet toepassen van de regeneratiemethode (zie ook hoofdstuk 5).

#### 2.3 Processen

##### 2.3.1 *Verstopping door menging*

De meest voorkomende vorm van verstopping wordt gevormd door menging van incompatibele watertypen. Dat zijn watertypen waarbij na menging een neerslag ontstaat. De vorming van dit neerslag kan biologisch worden bevorderd, waarbij ook biomassa wordt gevormd.

In een onttrekkingsput kunnen watertypen met elkaar in contact komen die normaliter geen contact met elkaar hebben. De onttrekkingsput vormt als het ware een kortsluiting. De chemische samenstelling van het grondwater kan in verticale richting grote verschillen vertonen. Deze verschillen kunnen zodanig zijn dat bij menging een neerslag wordt gevormd.

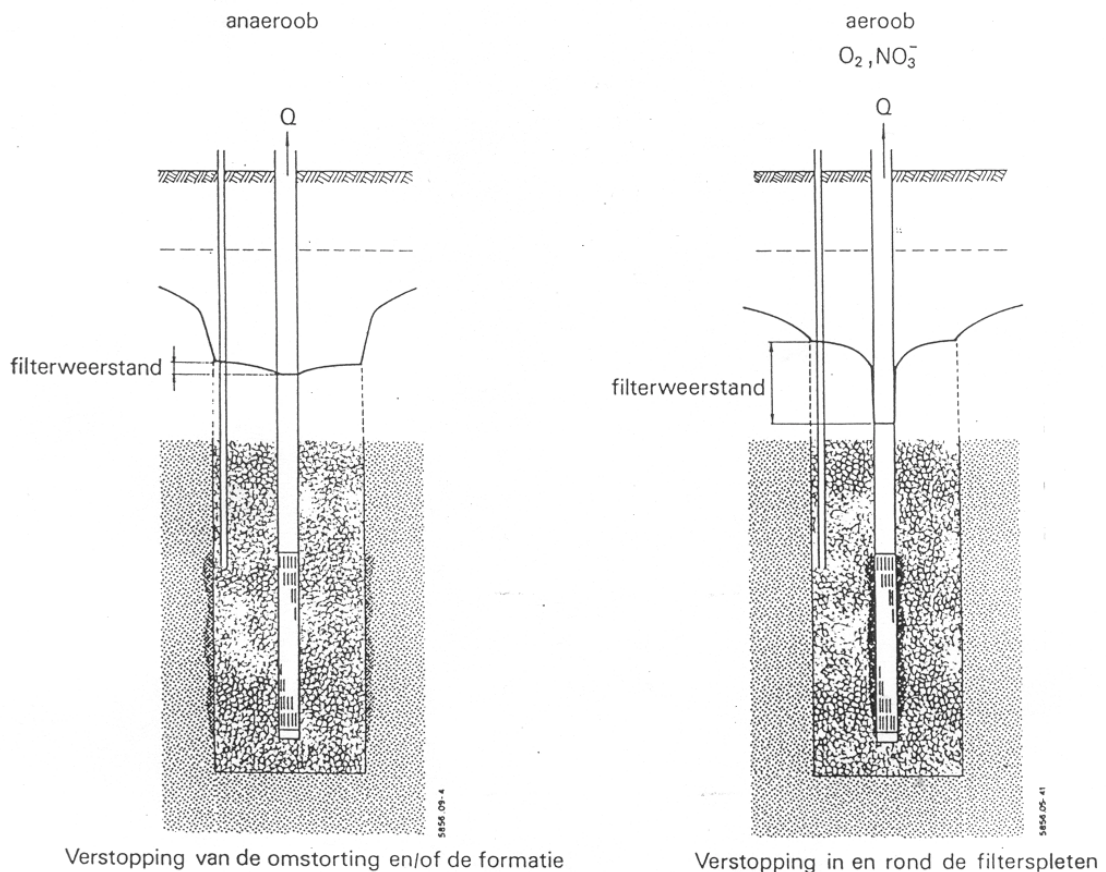


Fig. 1. Het al dan niet aanwezig zijn van een intreeweerstand als aanwijzing voor de locatie van de verstopping.

De stroming van grondwater in de bodem is laminair en niet-turbulent. De eerste plaats waar grondwatertypen van verschillende diepten zich met elkaar kunnen mengen, is in de filterspleten van de winput. Aldaar kunnen onoplosbare verbindingen ontstaan die gewoonlijk snel neerslaan op systeemonderdelen. Het spreekt vanzelf dat de vorming van een neerslag niet beperkt blijft tot de onttrekkingsput, maar in het gehele systeem doorgaat. Als er geen maatregelen worden genomen, zal bij een winput die verstopt raakt ook de retourput verstopt raken. Retourputten zijn in het algemeen gevoeliger voor verstopping. Problemen aan de onttrekkingszijde manifesteren zich vaak het eerst als verstopping van een retourput, zonder dat de winput tekenen van verstopping vertoont.

Ook veranderingen in de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater bovengronds worden als menging gezien. Deze veranderingen kunnen onbedoeld zijn (bijvoorbeeld bij het aanzuigen van valse lucht) of het gevolg zijn van een behandeling (bijvoorbeeld intensieve beluchting of ontgassing). In dit geval wordt een eventuele verstopping van de retourbron dus niet veroorzaakt door de omstandigheden bij de onttrekkingsput.

Bij menging kunnen de volgende neerslagen worden onderscheiden:

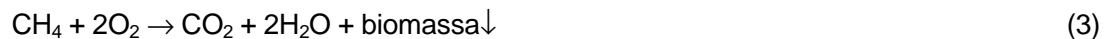
1. *Neerslagen als gevolg van redoxreacties*

De verstopping die hierdoor ontstaat, is de bekendste vorm van verstopping door menging van incompatibele watertypen. In dit geval bevat het onttrokken grondwater ijzer en/of mangaan en/of methaan én zuurstof. Zodra deze watertypen met elkaar in contact komen, ontstaat een neerslag. Zo kan het grondwater ter hoogte van de grondwaterspiegel zuurstof bevatten en op grotere diepte mangaan of ijzer. Bij menging ontstaan neerslagen van respectievelijk ijzerhydroxiden en mangaanoxiden:



Deze beide processen worden gewoonlijk microbiologisch versneld, bijvoorbeeld door *Gallionella* en *Leptothrix* spp. In dat geval worden ook grote hoeveelheden slijm (biomassa) gevormd. Dit is in het veld vaak waar te nemen: sloten zijn bruin gekleurd door ijzerhydroxiden, waarbij uit de drainbuizen grote slijmdraden tevoorschijn komen.

De menging van verschillende watertypen kan ook aanleiding geven tot een explosieve groei van micro-organismen. Een proces dat alleen microbiologisch verloopt, is de oxidatie van opgelost methaan door zuurstof. Bij deze oxidatie worden grote hoeveelheden slijm (biomassa) gevormd:



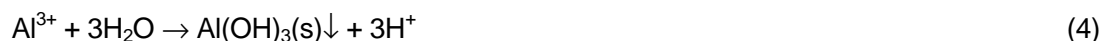
Met het optreden van deze processen moet al rekening worden gehouden bij lage concentraties: circa 0,1 mg/l bij ijzer, mangaan en methaan en 0,01 mg/l bij zuurstof. Het spreekt vanzelf dat hoe hoger de concentratie van ijzer, mangaan, methaan en/of zuurstof is, hoe sneller het proces zal verlopen.

Theoretisch gezien zouden deze processen ook onder invloed van nitraat kunnen verlopen. Tot nu toe zijn echter geen praktijksituaties beschreven waarin dit het geval is.

Als het onttrokken grondwater wel ijzer, mangaan of methaan bevat, maar geen zuurstof, zal er geen verstopping van de winput optreden. Als het bovengrondse gedeelte niet luchtdicht is of als het onttrokken water wordt behandeld, zal vanaf dat moment een neerslag worden gevormd. Dan zal, als er geen maatregelen worden genomen, de retourput verstopt raken. Een bijzondere situatie bestaat als drains of grindkoffers het infiltratiemiddel vormen. Zodra het water dan uittreedt, komt het in contact met zuurstof en, indien het te infiltreren water ijzer en/of mangaan en/of methaan of andere biologisch afbreekbare verbindingen bevat, zal een neerslag worden gevormd.

2. *Neerslag van aluminiumhydroxide*

Als het ondiepe grondwater een lage pH heeft met een hoge concentratie van aluminium en als het diepe grondwater een hoge pH heeft, zal bij menging een neerslag van aluminiumhydroxide ontstaan:



De vorming van aluminiumhydroxide wordt niet microbiologisch bevorderd. Er ontstaat dus geen biomassa (slijm).

Met het optreden van dit proces moet rekening worden gehouden als de concentratie van aluminium groter is dan 0,3mg/l en de pH groter dan 6,5 [Baudisch, 1989]. Het spreekt vanzelf dat hoe hoger de concentratie van aluminium is en hoe hoger de pH is, hoe sneller het proces zal verlopen.

Door onbedoeld een vacuüm te creëren of het onttrokken water te behandelen in het bovengrondse gedeelte, kan de pH van het retourwater worden verhoogd. Als deze verhoging precies voldoende is om het proces van de vorming van neerslagen in gang te zetten, wordt vanaf dat moment een neerslag gevormd.

### 3. *Neerslag van kalk*

Als het ondiepe en het diepe grondwater kalkverzadigd zijn, maar als er tegelijkertijd grote verschillen in pH of de concentratie van vrij koolzuur bestaan, moet met de vorming van een neerslag van kalk rekening worden gehouden:



De vorming van kalk wordt niet microbiologisch bevorderd. Er ontstaat dus geen biomassa (slijm). Verder is hierbij van toepassing wat vermeld is bij de vorming van een aluminium-neerslag.

### 4. *Vorming van biomassa*

Als het onttrokken (verontreinigde) grondwater biologisch afbreekbaar materiaal en zuurstof bevat, moet met de vorming van biomassa rekening worden gehouden. Dit proces is vergelijkbaar met de oxidatie van methaan. Onder welke omstandigheden deze vorm van verstopping optreedt, is afhankelijk van de aard van het materiaal (zie hoofdstuk 4).

#### 2.3.2 *Verstopping specifiek voor winputten*

De vergroting van de grondwaterstroming onder invloed van de onttrekking kan processen in gang zetten die tot verstopping leiden. Deze vorm van verstopping verloopt gewoonlijk veel trager en leidt tot verstopping van de boorgatwand. Hierbij kunnen de volgende soorten verstopping worden onderscheiden:

##### 1. *Verstopping door accumulatie van deeltjes*

Onder invloed van de toegenomen snelheid van de grondwaterstroming rond de put kunnen minerale deeltjes (klei, slib, fijn zand, ijzeroxiden, kalk en humus) in beweging worden gebracht en door het grondwater worden meegevoerd. Als er nog restanten van de boorspoeling aanwezig zijn, zullen op die plek de poriën kleiner zijn. De deeltjes die door het grondwater zijn meegevoerd, kunnen deze kleine poriën niet passeren en zullen op de boorgatwand accumuleren.

Bij pulsboringen wordt geen boorspoeling toegepast, maar door het draaien van de mantelbuis zal de boorgatwand wel versmeren. Deze versmering resulteert in een verdichting van de bodem en daardoor in de vorming van kleinere poriën. Ook in een dergelijke situatie kan dus verstopping door accumulatie van deeltjes optreden. Het onderzoek op het gebied van verstopping door deeltjes staat nog in de kinderschoenen [Van Beek et al., 1998 en 1999].

##### 2. *Verstopping door accumulatie van ijzersulfiden en biomassa*

De toename van de snelheid van de grondwaterstroming, die is ontstaan door de onttrekking van grondwater, kan resulteren in een toename van de snelheid van al van nature optredende processen. Door de toename van de grondwatersnelheid komt er meer water voorbij. Dat leidt weer tot een groter aanbod van voedingsstoffen. Dit vergrote voedselaanbod kan aanleiding

geven tot een grotere bacteriegroei. Dit proces zou met name optreden bij sulfaatreductie. Bij dit proces zetten sulfaatreducerende bacteriën bij aanwezigheid van organisch materiaal (CH<sub>2</sub>O, koolwaterstof) sulfaat om in sulfide:



Als het grondwater ook ijzer bevat, zal met het gevormde H<sub>2</sub>S een neerslag van ijzersulfide worden gevormd:



De combinatie van de gevormde biomassa van sulfaatreducerende bacteriën en ijzersulfiden vormt een zeer effectief verstoppingsmiddel.

### 2.3.3 *Verstopping specifiek voor retourputten*

Het bovengrondse verblijf van het grondwater kan een verandering in het grondwater tot gevolg hebben, die aanleiding geeft tot verstopping van retourputten. Dit betreft (zie hoofdstuk 3):

#### 1. *Verstopping door gasbellen*

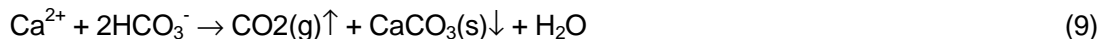
Door allerlei processen worden in het grondwater gasen gevormd, zoals koolzuur (CO<sub>2</sub>), stikstof (N<sub>2</sub>), zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S) en methaan (CH<sub>4</sub>). De concentratie van deze gasen kan in het grondwater oplopen tot concentraties die groter zijn dan die bij het maaiveld voorkomen. Bij onttrekking van grondwater wordt de druk geringer en kan bij het maaiveld ontgassing optreden, waarbij gasbellen worden gevormd. Ook bij intensieve beluchting kunnen gasbellen worden gevormd.

De gevormde gasbellen zullen in de retourput of in de poriën van de omstorting of de bodem accumuleren en zo de stroming in de retourput belemmeren. Ditzelfde mechanisme kan ook optreden als bij infiltratie gebruik wordt gemaakt van drains of grindkoffers.

Een bijkomstig effect van CO<sub>2</sub>-ontgassing is een stijging van de pH door het verbruik van zuur (H<sup>+</sup>):



Het kalk-koolzuurevenwicht (vergelijking 5) kan hierbij zodanig verschuiven dat het water kalkverzadigd raakt. De nettovergelijking voor gelijktijdige ontgassing en kalkneerslag luidt:



#### 2. *Verstopping van het watervoerende pakket door kleizwelling*

De chemische samenstelling van het retourwater kan zodanig zijn veranderd dat kleilagen in het ontvangende bodempakket kunnen gaan zwellen. Vanzelfsprekend is dit verschijnsel alleen van belang in kleihoudende bodems.

#### 3. *Verstopping door deeltjes*

Voor verstopping van winputten door deeltjes is (nog) geen maat beschikbaar. Dit is wel het geval voor retourwater: de MFI (membraanfilterindex) dient minimaal kleiner te zijn dan 3 s/l<sup>2</sup> [Hijnen et al., 1998].

Bij de diagnose dient te worden opgelet voor de volgende valkuil. Door de langer durende menging van het grondwater bovengronds en door de grotere gevoeligheid van retourputten voor

verstopping zullen retourputten over het algemeen sneller verstopt raken dan winputten. Het kan dus zijn dat de retourputten al ernstig verstopt zijn, terwijl de verstopping van de winputten (nog) niet is opgemerkt. Maar deze putten zullen wel degelijk verstopt raken.

## 2.4 Regeneratie of preventie?

Als winputten verstopt raken, moeten deze worden geregenereerd (zie hoofdstuk 5). Na regeneratie zullen de betreffende putten onmiddellijk weer verstopt raken, omdat de onderliggende processen actief blijven. In een dergelijke situatie is daarom een regeneratieprogramma noodzakelijk. Omdat in de situatie van het toestromende grondwater niet kan worden ingegrepen, is preventie van verstopping van winputten niet mogelijk (behalve in zeer bijzondere omstandigheden).

Bij verstopping van retourputten zijn verschillende benaderingen mogelijk:

1. Preventie van verstopping. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de volgende situaties:
  - a. De winputten raken ook verstopt, het onttrokken grondwater wordt niet behandeld. De aard van de verstopping is gelijk aan die van de winputten. Voor preventie moet het onttrokken grondwater zodanig worden behandeld dat er geen neerslag meer kan ontstaan.
  - b. De winputten raken niet verstopt, het onttrokken grondwater wordt niet behandeld. Blijkbaar verandert er bovengronds toch iets aan het grondwater, wat resulteert in verstopping. Preventie van verstopping is mogelijk door het systeem te optimaliseren, bijvoorbeeld door het aanzuigen van zuurstof tegen te gaan en/of ontgassing tegen te gaan. Een goed gesloten bovengronds systeem en het hanteren van overdruk is vaak afdoende.
  - c. Het onttrokken grondwater wordt behandeld, de winputten raken al dan niet verstopt. Blijkbaar leidt de behandeling tot een zodanige verandering in de chemische samenstelling van het retourwater dat verstopping van de retourputten optreedt. Een verdere (na)behandeling is noodzakelijk. De aard van deze behandeling is afhankelijk van de aard van de (te verwachten) verstopping. Belangrijk is een (goede) filtratie om deeltjes of gevormde neerslagen te verwijderen.
2. Zeer regelmatig (dagelijks) water in de retourput terugpompen en het water spuien. Dit is mogelijk bij verstopping door gasbellen en bij verstopping door deeltjes, als deze niet sterk gehecht zijn aan systeemonderdelen.
3. Regelmatig de verstopte retourput regenereren. Het is dan wel zaak de put niet te ernstig verstopt te laten raken, want dan is er geen (volledige) regeneratie meer mogelijk. Voor deze benadering is een goed meetprogramma nodig.

Tussen het gebruik van drains of grindkoffers en het gebruik van retourputten bestaat op het gebied van regeneratie een fundamenteel verschil: drains en grindkoffers liggen meestal in de onverzadigde zone. De stromingsrichting van het water is in de onverzadigde zone niet om te keren. Daarom zijn drains en grindkoffers niet te regenereren. Hoewel drains en in het bijzonder grindkoffers vanwege het grotere oppervlak langzamer verstopt raken dan retourputten, moet hierbij dus alles gericht zijn op preventie van verstopping.

## 2.5 Meetmethoden

In de vorige paragrafen zijn de mogelijke oorzaken van verstopping aangegeven. Kennis van de mogelijke oorzaken geeft ook aanknopingspunten voor meetmethoden en het meetprogramma waarmee de kans op verstopping kan worden bepaald. Een meetprogramma kan uit verschillende onderdelen bestaan:

1. *Bepaling van de kans op verstopping tijdens de ontwerpfase*  
Een volledige chemische analyse van het grondwater of retourwater, inclusief zuurstof, methaan en vrij koolzuur, kan een indruk geven van de kans op verstopping. De analyse van het

grondwater omvat zowel een monster aan de bovenzijde als een monster aan de onderzijde van het beschouwde traject.

De representativiteit van de monsterneming vormt hierbij een punt van overweging. Voor de berekening van chemische evenwichten is een gefiltreerd monster nodig. Een ongefiltreerd monster is geschikter om de kans op verstopping te beoordelen, maar bij een zeer recent aangelegde put is de situatie rond de put nog zo verstoord dat het grondwater meer deeltjes bevat dan in de natuurlijke situatie.

De bepaling van de concentratie van AOC (assimileerbare organische koolstof, C) kan een indruk geven van de kans op het optreden van verstopping door een accumulatie van biomassa. De kosten voor een AOC-analyse bedragen f 740,- (Kiwa). Ook een veldbezoek kan behulpzaam zijn: de aanwezigheid van ijzerslierten in drainbuizen duidt op de vorming van ijzerneerslagen en biomassa. Blijkbaar komen daar zuurstof en ijzer vlak naast elkaar voor.

## 2. *Nagaan of de grenswaarden zijn overschreden*

Bij overschrijding van de grenswaarden, opgenomen in tabel 1, moet met het optreden van verstopping rekening worden gehouden.

Tabel 1. Indicatieve grenswaarden voor het optreden van verstopping.

verstopping door	grenswaarde
neerslag van mangaan, ijzer en/of biomassa	Mn > 0,1 mg/l, Fe > 0,1 mg/l, CH <sub>4</sub> > 0,1 mg/l, O <sub>2</sub> > 0,01 mg/l
aluminiumhydroxiden	Al > 0,3 mg/l, pH > 6,5
kalk	SI <sub>kalk</sub> > 0
biomassa	AOC > 10 µg ac-C eq/l
deeltjes	MFI > 3 s/l <sup>2</sup>

Let op: Onderschrijding van deze waarden garandeert niet dat er geen verstopping zal optreden. Betrouwbare informatie over de aanwezigheid van zuurstof is vaak moeilijk te verkrijgen. Enerzijds is voor de veldmeting van (sporen) zuurstof gevoelige apparatuur nodig, anderzijds vormen monsterneming, monsterconservering en meting in het laboratorium evenzovele handelingen waarbij het monster verontreinigd kan raken met zuurstof van buitenaf. Daarom wordt in de praktijk met de concentratie van nitraat gewerkt: is nitraat aanwezig dan is zuurstof ook aanwezig. Echter nitraat is een parameter van antropogene herkomst, zodat in een niet-beïnvloede omgeving met de mogelijkheid rekening moet worden gehouden dat zuurstof wel en nitraat niet aanwezig is.

## 3. *Informatie verzamelen over het optreden van verstopping*

Informatie hierover kan worden verkregen door regelmatig de diepte van de waterspiegel in de putten en in de waarnemingsfilters in de omstorting te meten en de gegevens in een grafiek tegen de tijd uit te zetten. Als de volumestroom verandert, moet de afpompings- of de opbollingshieraan worden aangepast (zie hoofdstuk 5).

## 4. *Bepaling van de aard van een aanwezige verstopping*

### a. *Vorming van neerslagen*

Door de winput of de retourput te openen en neerslag van de wand te schrappen (en dit chemisch te laten onderzoeken), kan een indruk van de aard van de verstopping worden verkregen.

b. Mechanische verstopping

Sinds korte tijd zijn deeltjestellers op de markt, waarmee het aantal deeltjes in het onttrokken grondwater kan worden geteld. De eerste tellingen voor putten die al dan niet verstopt aan het raken zijn, zijn inmiddels uitgevoerd. Maar het is nog te vroeg om te kunnen aangeven welk aantal deeltjes overschreden moet zijn voor het optreden van verstopping.

c. Aftakken van een deelstroom

Door een deelstroom van het onttrokken grondwater onmiddellijk boven de winput of een deelstroom van het retourwater juist voor de retourput af te takken en door een meeloopfilter te leiden, zal ook dit filter verstopt raken. Dit meeloopfilter kan bestaan uit een klein zandfilter [Howsam en Thakoordin, 1996] en mogelijk ook uit een MFI-apparaat [Schippers en Verdouw, 1980] of een biofilmmonitor [Van der Kooij et al., 1997]. Onderzoek van het verstoppende materiaal geeft informatie over de aard van de verstopping. Een meeloopfilter geeft veel meer informatie dan een chemische analyse. Het resultaat van een chemische analyse vormt een momentopname, het meeloopfilter geeft een beeld van een bepaalde tijdsperiode. Dit is in het bijzonder van belang als de verstopping door stootsgewijze processen wordt veroorzaakt. Hierbij kan gedacht worden aan het spoelen van filters: onmiddellijk na het spoelen zal het retourwater deeltjes bevatten. Als na verloop van tijd een monster wordt genomen voor (chemische) analyse, zal de kwaliteit voortreffelijk zijn.

## 2.6 Samenvatting

De meest voorkomende vorm van putverstopping wordt gevormd door menging van stoffen waarbij een neerslag ontstaat. Als de vorming van dit neerslag microbiologisch wordt bevorderd, ontstaat daarbij ook biomassa (slijm). De combinatie van neerslag en slijm is een zeer efficiënt verstoppingsmiddel.

Kenmerkend voor winputten is het volgende:

1. winputten kunnen ook verstopt raken door de vergrote stroomsnelheid van het grondwater;
2. preventie van verstopping is niet mogelijk. Een goed monitorings- en regeneratieprogramma is noodzakelijk.

Verstopping door gasbellen en kleizwelling kan alleen bij retourputten optreden. Als retourputten verstopt raken, kan een keuze worden gemaakt tussen preventie, frequent schoonpompen en regelmatig regenereren. Als retourputten verstopt raken en de winputten niet, en het water niet behandeld wordt, moet de oorzaak van de verstopping in het bovengrondse gedeelte worden gezocht. Preventie van verstopping is mogelijk door het bovengrondse gedeelte aan te passen. Als retourputten verstopt raken en de winputten ook, en/of als het water behandeld wordt, is voor preventie van verstopping respectievelijk installatie van een zuiveringsinstallatie of aanpassing van de bestaande installatie noodzakelijk.



## HOOFDSTUK 3

### HYDROLOGISCHE EN FYSISCHE ASPECTEN

#### 3.1 Algemeen

Bij de hydrologische en fysische aspecten gaat het primair om de beperkingen die een rol spelen bij het injecteren van water in een watervoerend pakket. De belangrijkste oorzaken van de beperkingen zijn gerelateerd aan:

1. de hydraulische weerstand van de ondergrond;
2. de injectiedruk.

De hydraulische weerstand van de ondergrond hangt af van de doorlatendheidsverdeling en temperatuurverdeling in het watervoerende pakket. Andere factoren die een rol spelen bij de hydraulische weerstand zijn de puttenconfiguratie en de verdeling van de totale waterstroom over de putten [Van Dalfsen, 1984]. Deze factoren worden behandeld bij de technologische aspecten (zie hoofdstuk 5). De injectiedruk is belangrijk in verband met doorslaan naar het maaiveld en het ontstaan van gasbellen.

#### 3.2 Invloed van processen op de hydraulische weerstand van de ondergrond

##### 3.2.1 Primaire doorlatendheid

De doorlatendheidsverdeling geeft plaatsgewijs de beschikbaarheid aan van poriën voor vloeistofstroming. De doorlatendheid van de ondergrond wordt in eerste instantie bepaald door de lithologische samenstelling en structuur. Korrelgrootte, vorm van de korrels, laagopbouw en mate van compactie bepalen de primaire doorlatendheid van een sedimentpakket. De indicatieve waarde voor de doorlatendheid (als de doorlaatfactor  $k$  in m/dag) van verschillende ongeconsolideerde sedimenten zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Indicatieve waarden voor de doorlatendheid in ongeconsolideerde sedimenten.

sediment	$k$ (m/dag)
klei	< 0,01
fijn zand	1 - 10
middelgrof zand	10 - 50
grof zand	50 - 100
grind	> 100

De doorlaatfactor  $k$  is bepalend voor de kritische snelheid van het water op de boorgatwand en vervolgens voor de capaciteit van een put. De capaciteit per put kan worden berekend met de volgende formule:

$$Q = 2\pi rhv \quad (10)$$

waarin:

- $Q$  is de capaciteit (m<sup>3</sup>/uur);
- $r$  is de boorgatstraal (m);
- $h$  is de effectieve filterlengte (m);
- $v$  is de snelheid (m/uur).

Het temperatuurveld bepaalt plaatsgewijs de interne wrijving in het stromende water, uitgedrukt in zijn viscositeit. De dynamische viscositeit van het water neemt af bij een stijgende temperatuur (zie tabel 3).

Tabel 3. Dynamische viscositeit van het water bij een bepaalde temperatuur [Dieleman en De Ridder, 1972].

temperatuur (°C)	dynamische viscositeit ( $10^{-3}$ kg/ms)
0	1,79
5	1,52
10	1,31
15	1,14
20	1,01
25	0,89
30	0,80
40	0,65

De doorlaatfactor  $k$  bij temperatuur  $x$  kan worden verkregen op basis van  $k$ , gemeten bij temperatuur  $y$  met de volgende formule:

$$k_x = k_y \frac{\eta_y}{\eta_x} \quad (11)$$

waarin:

$\eta$  is de dynamische viscositeit (kg/ms).

Temperatuurcorrectie is van belang bij de doorlatendheidsbepalingen in het laboratorium.

Chemische, fysische en biologische processen kunnen de primaire doorlatendheid veranderen. Het onderzoek naar chemische en biologische processen wordt beschreven in de hoofdstukken 2 en 4. Hieronder worden twee processen toegelicht in verband met verstopping van het watervoerende pakket en putverstopping, die gerelateerd zijn aan de fijne fracties in het sediment:

1. kleizwelling en kleidispersie (zie 3.2.2);
2. colloïdale verstopping (zie 3.2.3).

### 3.2.2 *Invloed van kleizwelling en kleidispersie*

Als de chemische samenstelling van het injectiewater verschilt van die van het grondwater in situ, kan het evenwicht tussen anionen in de ondergrond worden verstoord. Vooral de kleimineralen zijn gevoelig voor de kationuitwisseling volgens de volgende reactie:



In principe worden de hoger geladen kationen sterker geabsorbeerd dan eenwaardige ionen. Bij een hoge concentratieverhouding tussen geabsorbeerde eenwaardige kationen (Na) en geabsorbeerde tweewaardige kationen (Ca en Mg) ontstaat een uitgestrekte dubbellaag op de kleimineralen. Hierdoor neemt de samenhang tussen kleimineralen af, zwellen ze (kleizwelling) en kunnen ze van elkaar losraken (kleidispersie). Kleizwelling reduceert de poriëngrootte, terwijl kleidispersie verstopping (*clogging*) van de poriën veroorzaakt. Beide processen treden op bij een lage ionsterkte van het grondwater, bijvoorbeeld wanneer zoet water in een watervoerend pakket met

brak of zout water wordt geïnjecteerd of wanneer onthard water met verlaagde concentraties Ca en Mg wordt geïnjecteerd.

### 3.2.3 *Colloïdale verstopping*

Minuscule deeltjes van uiteenlopende aard, die aanwezig zijn in het water, kunnen verstopping veroorzaken. Hiertoe behoren fijn zand, silt, klei uit watervoerende lagen of deeltjes die ontstaan zijn door slijtage en corrosie van onderdelen van het opslagsysteem. Wiesner et al. [1996] hebben op basis van laboratoriumexperimenten geconcludeerd dat colloïdale verstopping in zeer korte tijd de doorlatendheid van het sediment met 35 % kan reduceren.

Onder invloed van de toegenomen snelheid van de grondwaterstroming rond de put kunnen minerale deeltjes in beweging worden gebracht en door het grondwater worden meegevoerd. Als er nog restanten van de boorspoeling aanwezig zijn, zullen op die plek de poriën kleiner zijn. De deeltjes, die door het grondwater zijn meegevoerd, kunnen deze kleine poriën niet passeren en zullen op de boorgatwand accumuleren. De snelheid van verstopping door deeltjes neemt kwadratisch toe met het debiet. Om het risico van verstopping zo klein mogelijk te houden, moet bij het ontwerp van de injectieput de vuistregel worden aangehouden dat de snelheid op de overgang tussen filteromstorting en boorgatwand minder dan ongeveer 1,0 m/uur bedraagt [Haak, 1990]. Hierbij is deze snelheid als volgt gedefinieerd:

$$V_{\text{putrand}} = \frac{Q}{2\pi rh} \quad (13)$$

waarin:

- $Q$  is het debiet ( $\text{m}^3/\text{uur}$ );
- $r$  is de putstraal (m);
- $h$  is de filterlengte (m).

## 3.3 **Invloed van injectiedruk**

### 3.3.1 *Doorslaan naar het maaiveld*

Om het doorslaan van het retourwater naar het maaiveld te voorkomen, is de berekening van de hoogst toelaatbare injectiedruk een eerste randvoorwaarde voor een retoursysteem. Bij een lage injectiviteit als gevolg van putverstopping of slechte doorlatendheid van het watervoerende pakket kan het injectiewater langs de put naar boven doorbreken. Het gedrag van de bodem in relatie tot de injectiedruk is uitgebreid beschreven in Kiwa-mededeling nummer 71 [Olsthoorn, 1982]. De kritische parameters in ongeconsolideerde zanden en kleien zijn de grondspanning en de water-spanning.

Voor de toelaatbare druk geldt de volgende relatie:

$$p \leq \lambda(\sigma_{kv} + u) \quad (14)$$

waarin:

- $p$  is de toelaatbare druk ( $\text{N}/\text{m}^2$ );
- $\sigma_{kv}$  is de verticale korrelspanning ( $\text{N}/\text{m}^2$ );
- $u$  is de waterspanning ( $\text{N}/\text{m}^2$ );
- $\lambda$  is de constante afhankelijk van de minimale en de maximale korrelspanning (0,22 in zand en 0,33 in klei).

Verder geldt:

$$p = h\rho(g + u) \quad (15)$$

waarin:

- $h$  is de stijghoogte boven de oorspronkelijke stijghoogte (m);
- $\rho$  is de dichtheid van het retourwater (1.000 kg/m<sup>3</sup>);
- $g$  is de sterkte van het zwaartekrachtveld (N/kg).

Hieruit volgt voor de niet te overschrijden kritische stijghoogtevermeerdering  $h$ :

$$h \leq \lambda \frac{\sigma_{kv}}{\rho g} \quad (16)$$

### 3.3.2 Gasbellen

Gasbellen kunnen bijdragen tot putverstopping. In principe kunnen gasbellen in het injectiesysteem overall ontstaan waar de hydrostatische druk lager is dan de gasspanning in het water. Stroomt het water door de bodem, dan ontstaat achter de omstroomde korrels een klein vacuüm. In dit vacuüm wordt de in het water opgeloste lucht in luchtbelletjes omgezet [Fraanje, 1974]. Deze luchtbelletjes verstopen een deel van de poriën en verminderen de doorlatendheid.

Olsthoorn [1982] noemt drie factoren voor het ontstaan van gasbellen in het water:

- de vrije val van water in de put (*entrainment*);
- lekken op plaatsen in de leidingen waar een onderdruk heerst, bijvoorbeeld bij afsluiters en aan de bovenzijde van de injectieleiding;
- oververzadiging van een bepaald gas door drukdaling of verwarming.

De eerste twee factoren zijn gerelateerd aan de technische aspecten van het systeem. Oververzadiging van een bepaald gas kan ontstaan door verwarming of drukdaling in het systeem. Door opwarming van het water vermindert de oplosbaarheid van gassen met circa 2 % per 1 °C.

De afname van oplosbaarheid van gassen door drukafname is hoofdzakelijk een probleem bij retourbemaling van grondwater met een hoge concentratie aan methaan CH<sub>4</sub> (fermentatie), zwaveldioxide H<sub>2</sub>S (sulfaatreductie), stikstof N<sub>2</sub> (nitraatreductie) en koolzuur CO<sub>2</sub> (afbraak organisch materiaal). Het omhoog brengen van het water resulteert in drukdaling in het systeem en oververzadiging van het water. Door de sterke ontgassing kunnen gasbellen ontstaan. Potentiële gevaargebieden zijn nitraathoudende gronden en veengebieden.

## 3.4 Meetmethoden

### 3.4.1 Algemeen

In 3.2 en 3.3 zijn de volgende hydrologische en fysische aspecten als potentiële risico's voor putverstopping en watervoerende pakketverstopping geïdentificeerd:

- slechte doorlatendheid;
- kleizwelling en kleidispersie;
- colloïdale verstopping;
- gasclogging.

In de volgende paragrafen worden de technieken geëvalueerd die geacht worden een bijdrage te kunnen leveren aan de kwantificering van de kritische parameters. Voor elk van de geschikte tech-

nieken worden de uitvoeringsaspecten beschreven en de gerelateerde kosten gespecificeerd. De evaluatie geeft inzicht in de potenties en beperkingen van (geo)fysische en (geo)chemische technieken voor de inschatting van de verstoppingsnelheid van injectieputten.

### 3.4.2 Bepaling van de doorlatendheid

Een kort overzicht van de bestaande methoden voor de doorlatendheidsbepaling is te vinden in bijvoorbeeld Pomper en Weerts [1996] en Van Zutphen en Vasak [1997]. Het laatstgenoemde werk betreft een onderzoek dat is uitgevoerd binnen het NOBIS-project HYDRAKAR. De meest gangbare methoden voor doorlatendheidsbepaling op saneringslocaties zijn:

- slugtests;
- pompproeven;
- flowmetermetingen;
- tracertests;
- korrelgrootte-analyses;
- permeameterproeven.

De voordelen en nadelen van deze methoden zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 4. Samenvatting van de conventionele methoden voor doorlatendheidsbepaling [Van Zutphen en Vasak, 1997].

voordelen	nadelen
<i>gewone slugtest</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• veel ervaring mee</li> <li>• snel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schaal van de doorlatendheid: watervoerend pakket</li> <li>• duur in plaatsing</li> <li>• onttrekking of toevoeging van water</li> <li>• verstoring bodemchemie</li> </ul>
<i>pompproef</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• veel ervaring mee</li> <li>• bepaling bergingscoëfficiënt mogelijk</li> <li>• uitgebreide analysemethoden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schaal van de doorlatendheid: watervoerend pakket</li> <li>• duur in plaatsing</li> <li>• langdurig experiment</li> <li>• onttrekking groot volume water</li> <li>• verstoring bodemchemie</li> </ul>
<i>flowmetermeting</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• snel</li> <li>• nauwkeurig (goed doorlatende zones)</li> <li>• weinig gevoelig voor <i>skin</i>-effecten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schaal van de doorlatendheid: genetische eenheden</li> <li>• lang filter met grote diameter nodig</li> <li>• apparatuur duur in aanschaf</li> <li>• wateronttrekking</li> </ul>
<i>tracertest</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• gedetailleerd beeld van verdeling</li> <li>• betrouwbaar</li> <li>• over zowel groot als klein gebied toepasbaar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• arbeidsintensief</li> <li>• hoge kosten</li> <li>• langdurig</li> <li>• milieubelasting door toevoegingen</li> </ul>
<i>korrelgrootte-analyse</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nauwkeurige bepaling van de korrelgrootteverdeling</li> <li>• eenvoudig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schaal van doorlatendheid: zeer fijn nabij poriëngrootte</li> <li>• geen in situ bepaling</li> </ul>
<i>kolomproef</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zowel horizontale als verticale doorlatendheid</li> <li>• nauwkeurige bepaling van de doorlatendheid van het monster in de kolom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geen in situ bepaling</li> <li>• kostbaar</li> <li>• meestal geroerd monster</li> <li>• niet representatief</li> <li>• zelden horizontale doorlatendheden bepaald</li> </ul>

De laatste jaren zijn er in Nederland naast de conventionele methoden ook nieuwe technieken voor doorlatendheidsbepaling gebruikt, zoals de minislugtest (NITG-TNO) en de monopoolsonde (Grondmechanica Delft). Deze technieken leveren een gedetailleerd beeld van de verticale variaties in doorlatendheid, maar hebben een beperkt dieptebereik.

Voor een indirecte schatting van de doorlatendheid kan ook gebruik worden gemaakt van geofysische methoden. Met boorgatmetingen kunnen verticale variaties in de lithologische samenstelling van de ondergrond worden geïdentificeerd. In eerste instantie gaat het om het onderscheid tussen zand- en kleilagen. Hiervoor kunnen de volgende metingen worden gebruikt:

#### *Spontane potentiaallog*

Door het contact van verschillende afzettingen plus hun poriënhoud met boorspoeling treden verschillende processen op die potentiaalverschillen met zich meebrengen. In zandige lagen, die zoet water bevatten, is de potentiaal positief. In klei- en veenlagen en in zandlagen met zout water is de potentiaal negatief. De methode is alleen toepasbaar in onverbuisde boorgaten.

#### *Weerstandlog*

De geleiding van elektrische stroom in homogeen materiaal wordt gekarakteriseerd door soortelijke weerstand. In zuiver zand is de weerstand hoog. Bij een toenemend slibgehalte gaan de adsorberende eigenschappen van fijn materiaal een rol spelen en neemt de weerstand af. Voor pure klei is de weerstand zeer laag. Het zoutgehalte van het formatiewater heeft invloed op de meting. De methode is alleen toepasbaar in onverbuisde boorgaten.

#### *Inductielog*

De inductielog is een variant op de weerstandlog, waarbij de conductiviteit van de lagen wordt gemeten. De methode kan worden gebruikt voor onverbuisde boorgaten en in verbuisde boorgaten met plastic buizen.

#### *Gammalog*

De natuurlijke radioactiviteit wordt in gesteenten veroorzaakt door de aanwezigheid van elementen uit de uranium- en thoriumreeksen en door het kaliumgehalte. Klei en slib hebben een groter gehalte aan dergelijke bestanddelen dan zand en zenden dan ook meer gammastraling uit. Het zoutgehalte van het formatiewater heeft geen invloed op de meting. De methode is toepasbaar in zowel onverbuisde als verbuisde boringen.

Een samenvatting van de lithologische indicaties bij boorgatmetingen is weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Lithologische indicaties bij boorgatmetingen.

sediment	poriënvloeistof	spontane potentiaal	weerstand	inductie	gammastraling
grof zand	zoet	positief	hoog	laag	laag
grof zand	zout	negatief	laag	hoog	laag
slibhoudend zand	zoet	positief	matig	matig	vrij laag
klei	-	negatief	laag	hoog	hoog
veen	-	negatief	laag	hoog	zeer laag

De tarieven voor fysisch boorgatonderzoek (volgens NITG-TNO) zijn samengevat in tabel 6.

Tabel 6. Tarieven voor fysisch boorgatonderzoek (NITG-TNO).

log	vaste kosten	prijs per meter
spontane potentiaal en weerstand	f 600,--	f 4,--
inductie en gamma	f 750,--	f 6,--

De kosten voor een standaardpakket, bestaande uit metingen van elektrische weerstand, spontane potentiaal en natuurlijke gammastraling in onverbuisde boorgaten over een traject van 0 - 50 m-mv bedragen f 1.700,--.

De continuïteit van ondiepe, slecht doorlatende lagen kan worden bepaald door georadarmetingen. Diepere lagen kunnen worden verkend met geo-elektrische technieken, zoals laterale elektrische profilering (LEP) en verticale elektrische sondering (VES). Een beschrijving van deze technieken is bijvoorbeeld te vinden in de factsheets die NITG-TNO heeft opgesteld in het kader van het NOBIS-project HYDRAKAR. De kosten van georadarmetingen (inclusief interpretatie) bedragen circa f 10.000,-- per dag. De kosten van geo-elektrische metingen (inclusief interpretatie) bedragen circa f 5.000,-- per dag.

### 3.4.3 *Inschatting van kleizwelling en kleidispersie*

De risico's van zwelling en dispersie kunnen worden voorspeld op basis van het 'exchangeable sodium percentage' (ESP). Uit de literatuur [Frenkel et al., 1978; Pupisky en Shainberg, 1979] blijkt dat kleizwelling kan optreden wanneer het ESP hoger is dan 25 %. Kleidispersie kan optreden wanneer het ESP hoger is dan 10 % en het totaalgehalte aan opgeloste stof in het retourwater lager is dan 10 meq/l. Als analyses van grondmonsters beschikbaar zijn, kan het ESP direct worden berekend op basis van de gehalten aan uitwisselbare Na<sup>+</sup> en de 'cation exchange capacity' (CEC), die de som van uitwisselbare kationen weergeeft:

$$ESP = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Mg^+ + Ca^{2+}} \quad (17)$$

De gehalten aan kationen zijn uitgedrukt in mmol/kg droge stof.

Als alleen analyses van het oorspronkelijke grondwater aanwezig zijn, kan het ESP worden geschat op basis van de 'sodium adsorption ratio' (SAR) met de volgende formules [Bolt en Bruggenwert, 1978]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+} + Mg^{2+}]}{2}}} \quad (18)$$

en

$$ESP = \frac{1,5 SAR}{(1 + 0,015 SAR)} \quad (19)$$

De concentraties van kationen zijn hierbij uitgedrukt in meq/l.

In tabel 7 zijn prijsindicaties voor de relevante analyses weergegeven.

Tabel 7. Tarieven voor analyses van grond- en grondwatermonsters.

monsters	prijs
grond <sup>1)</sup> :	
CEC	f 78,--
Ca-uitwisselbaar	f 49,--
K-uitwisselbaar	f 49,--
Na-uitwisselbaar	f 49,--
grondwater <sup>2)</sup> :	
Na, Ca en Mg samen	f 66,--

<sup>1)</sup> Tauw bv

<sup>2)</sup> Waterlaboratorium Oost

### 3.4.4 Voorspelling van colloïdale verstopping

Het verstoppingsrisico, dat wordt veroorzaakt door zwevende deeltjes, is te bepalen met de membraanfilterindex (MFI). De MFI is de toename van de weerstand van de filterkoek die zich op het membraanfilter afzet per liter geïnfiltreerd water bij een watertemperatuur van 10 °C, bij een totale drukval van 2 bar en bij gebruik van *millipore*-membraanfilters van 0,45 µm in een bijbehorende millipore-filterhouder [Olsthoorn, 1982]. De eenheid van de MFI is seconde per liter<sup>2</sup> (s/l<sup>2</sup>). Als de bepaling van de membraanfilterindex onder standaardomstandigheden wordt uitgevoerd, kan de MFI worden berekend op basis van een lineair verband tussen quotiënt  $t/U$  (de verhouding tussen tijd en doorgestroomd volume) en totale tijd  $t$ .

De MFI wordt berekend door de tangens te berekenen bij de kleinste helling in de grafiek, die het lineaire verband weergeeft. Een voorbeeld van zo'n grafiek is weergegeven in figuur 2. Olsthoorn [1982] heeft geconcludeerd dat, hoewel er met een membraanfiltertest geen directe voorspelling van de verstoppingsnelheid mogelijk is, er toch een kwalitatieve relatie aanwezig is. Deze is in figuur 3 weergegeven voor diverse Nederlandse putten.

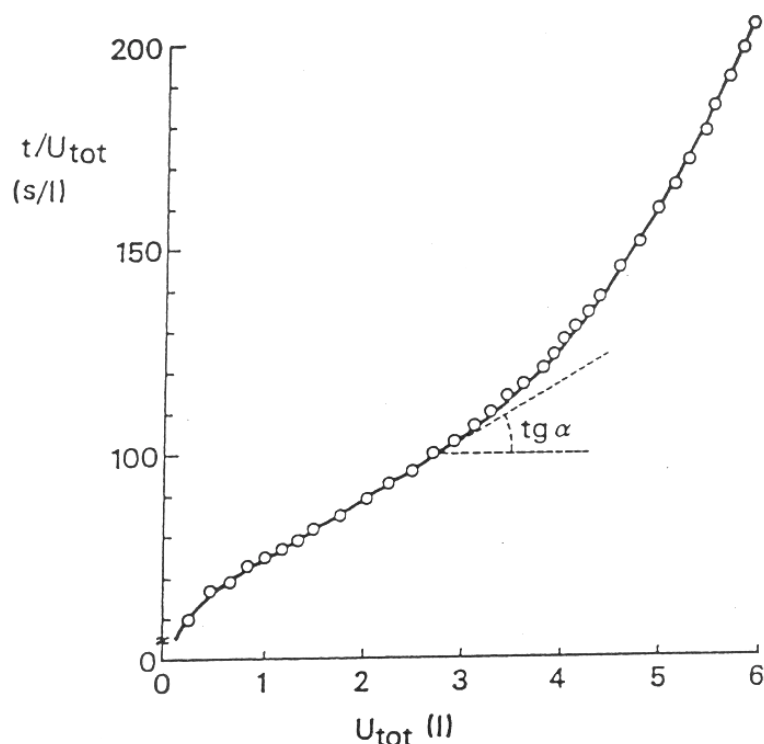


Fig. 2. Het verband tussen het quotiënt  $t/U$  en  $U$  bij de MFI-bepaling van gezuiverd Rijnwater en het totaal gefiltreerde volume [Olsthoorn, 1982].



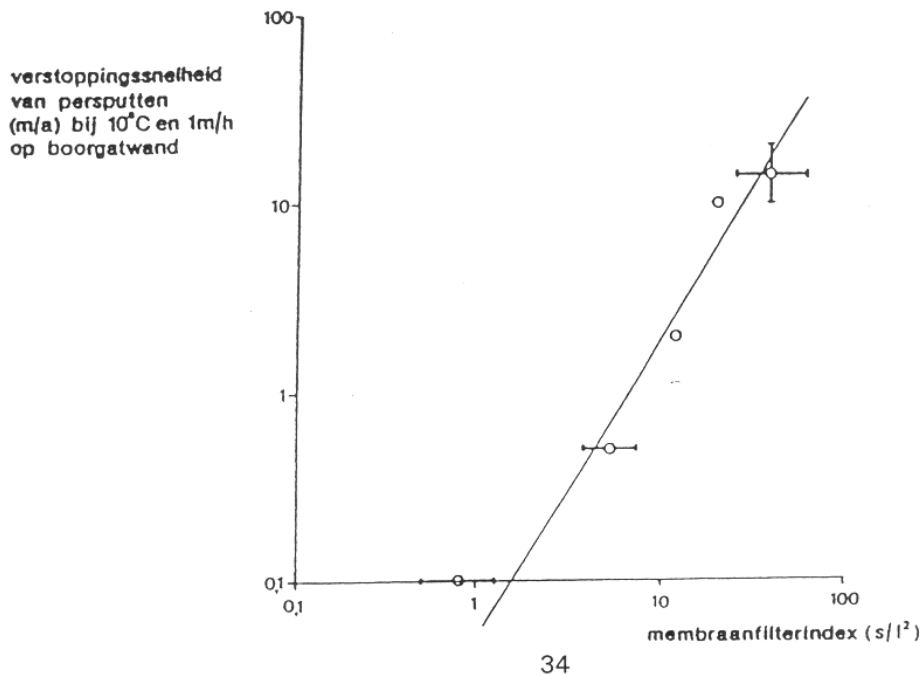


Fig. 3. Het verband tussen verstoppingsnelheid en MFI voor diverse Nederlandse persputten [Olsthoorn, 1982].

De colloïden kunnen een verstopping veroorzaken als de MFI groter is dan  $1 \text{ s/l}^2$ . In het algemeen kan worden gesteld dat de MFI kleiner dan  $3 \text{ s/l}^2$  moet zijn. Een put die door deeltjes in het injectiewater verstopt raakt, is meestal door schoonpompen weer in bruikbare toestand te brengen. De kosten voor een MFI-bepaling in het laboratorium bedragen momenteel f 171,- (Kiwa). Het verdient echter de voorkeur de MFI-bepaling direct in het veld uit te voeren in verband met het neerslaan van deeltjes tijdens het transport. De huur van een MFI-apparaat bedraagt f 600,- per dag (Kiwa).

Sinds kort zijn er ook deeltjestellers op de markt, waarmee het aantal deeltjes in het onttrokken grondwater kan worden geteld. De eerste tellingen voor putten die wel en putten die niet verstopt aan het raken zijn, zijn inmiddels uitgevoerd. Het is nog te vroeg om te kunnen aangeven welk aantal deeltjes overschreden moet zijn voor het optreden van verstopping.

### 3.4.5 Bepaling van de kritische stijghoogtevermeerdering

Voor ongeconsolideerd zand (met een dichtheid van circa  $2.000 \text{ kg/m}^2$ ) kan de maximaal toelaatbare stijghoogte boven het maaiveld ( $h$ ) met de volgende vuistregel worden bepaald [Olsthoorn, 1982]:

$$h \leq 0,22 z \tag{20}$$

waarin:

- z is de diepte van het meest kritische punt onder het maaiveld (de bovenzijde van de putomstorting of de onderzijde van de afdekkende slecht doorlatende laag).

### 3.4.6 Voorspelling van verstopping door gasclogging

Er bestaan geen directe methoden voor de voorspelling van verstopping door gasclogging. Metingen van gasspanning in het water en bepaling van de methaan- en stikstofconcentraties in onttrokken grondwater kunnen indicaties geven over de mogelijke vorming van de gasbellen.

Uitgaande van de evenwichtsconstante van methaan [Stumm en Morgan, 1996] zal, bij een druk van 1 atmosfeer, maximaal 1,3 mmol methaan in het water oplossen. Dit correspondeert met ongeveer 21 mg/l. Voor stikstof gelden de concentraties van 0,66 mmol en 18 mg/l. Voor zuurstof gelden de concentraties van 1,7 mmol en 54 mg/l. Voor (vrij) CO<sub>2</sub> gelden de concentraties van 53 mmol en 2,3 g/l, waarbij moet worden opgemerkt dat de totale oplosbaarheid van koolzuur groter kan zijn door de pH-afhankelijke dissociatie van CO<sub>2</sub> in HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (bicarbonaat). Op grotere diepten kunnen door de toename van de hydrostatische druk hogere gasconcentraties in het water voorkomen. De kosten voor een methaan-, stikstof- en zuurstofanalyse bedragen f 600,- (TNO Prins Maurits Laboratorium). Voor het nemen van gasmonsters is een speciale procedure vereist om de mogelijke ontsnapping van gas tijdens het nemen van monsters te voorkomen.

### 3.5 Aandachtspunten in de praktijk

- Een goed inzicht in de hydro(geo)logische situatie op de locatie is noodzakelijk voor het bepalen van de ruimtelijke spreiding van watermonsters. Indien er sprake is van een grondwaterzonering (bijvoorbeeld door invloed van slecht doorlatende lagen) moet de watersamenstelling voor ieder zone worden bepaald in verband met de mogelijke menging als gevolg van onttrekking en/of infiltratie. De beweging van het water tijdens onttrekking en infiltratie kan worden gesimuleerd met stromingsmodellen. De invloedssfeer van iedere zone en de daarmee samenhangende menging kan hiermee worden voorspeld.
- Niet alleen grondwatermonsters maar ook sedimentmonsters vormen een belangrijke bron van informatie. Goede boorbeschrijvingen geven indicaties over doorlatendheid, gehalte aan organische stof en mogelijke neerslagreacties (kleur van het sediment).
- Bij een vergelijkbare doorlatendheid kan met horizontale drains meer water worden geretourneerd dan met verticale putten, omdat het contactoppervlak bij drains groter is dan dat van een verticaal filter. Voor de verstoppingsrisico's, die aan fysische aspecten zijn gerelateerd, maakt het verder weinig verschil of er drains of verticale filters worden toegepast.
- Infiltratie van 'schoon' (gezuiverd) water is geen garantie dat verstopping niet optreedt. Indien de samenstelling van het water in het 'ontvangende' pakket volledig anders is, kan bijvoorbeeld kleizwelling optreden. De EC (elektrische geleidbaarheid) kan de eerste indicatie geven over het verschil in totale concentratie aan opgeloste stoffen in het infiltratiewater ten opzichte van het grondwater in het ontvangende pakket. Berekening van de ESP dient uit te wijzen of er daadwerkelijk sprake is van een risico.
- Het bepalen van de aard van de deeltjes tijdens deeltjestellingen (zie [Van Beek et al, 1998]) kan tot een juiste diagnose van verstopping leiden (bijvoorbeeld onderscheid tussen minerale deeltjes en bacteriën).
- Vrijkomende gassen kunnen aanzienlijke variaties in de waterstand in de put veroorzaken. Door in de bronkop een ontluuchtingsmogelijkheid aan te brengen, kan worden voorkomen dat boven de waterspiegel een luchtkussen ontstaat. Door dit luchtkussen kan de druk op het water te groot worden. Een ontluuchting in de filteromstorting kan de gasvorming reduceren. Deze ontluuchting kan ook worden gebruikt voor het waarnemen van de waterstand in de omstorting [Fraanje, 1974].

### 3.6 Samenvatting

Hydrologische en fysische aspecten zijn gerelateerd aan de hydraulische weerstand van de ondergrond en de injectiedruk van het systeem. De belangrijkste aspecten zijn:

1. primaire doorlatendheid;
2. kleizwelling en kleidispersie;
3. colloïdale verstopping;
4. ontstaan van gasbellen.

De primaire doorlatendheid is bepalend voor de kritische snelheid van het water op de boorgatwand en vervolgens voor de uiteindelijke capaciteit van een put. De doorlatendheid van de ondergrond kan direct worden bepaald met verschillende in situ methoden (zoals pompproeven) en laboratoriummethoden (zoals korrelgrootte-analyse). Voor een indirecte schatting kan ook gebruik worden gemaakt van geofysische methoden.

Kleizwelling en kleidispersie zijn processen die optreden als gevolg van de kationuitwisselingsreacties. Kleizwelling reduceert de poriëngrootte en kleidispersie veroorzaakt verstopping van de poriën. De risico's van zwelling en dispersie kunnen worden voorspeld op basis van het 'exchangeable sodium percentage' (ESP), dat wordt berekend via chemische analyses van grondmonsters en/of watermonsters.

De colloïdale verstopping hangt af van de hoeveelheid zwevende stof in het water. De snelheid van verstopping door deeltjes neemt kwadratisch toe met het debiet. Het verstoppingsrisico, dat wordt veroorzaakt door zwevende deeltjes, wordt bepaald met de membraanfilterindex.

Gasbellen kunnen ontstaan door de vrije val van het water in de put, lekken in de leidingen of oververzadiging van gas door drukdaling of verwarming. Metingen van de gasspanning in het water en bepaling van de gasconcentraties in onttrokken grondwater kunnen indicaties geven voor de mogelijke vorming van gasbellen.



## HOOFDSTUK 4

### BIOLOGISCHE ASPECTEN

#### 4.1 Algemeen

Het risico van een biologische verstopping van retour- of onttrekkingsmiddelen wordt bepaald door de chemische en fysische eigenschappen van de bodem en het grondwater, en de veranderingen die daarin optreden bij onttrekking of retourbemaling. De snelheid waarmee de biologische activiteit zich ontwikkelt, hangt samen met fysische parameters (met name temperatuur en redoxpotentiaal) en met de beschikbaarheid of toevoersnelheid van biologisch afbreekbare substraten, nutriënten en elektronenacceptoren.

In schoon of substraatarm water is een snelle biologische verstopping ongebruikelijk. Retour- en onttrekkingsystemen voor bijvoorbeeld energie-opslag zijn in principe gesloten systemen met relatief schoon water en kunnen daardoor meerdere jaren probleemloos in bedrijf worden gehouden. De technische maatregelen ter voorkoming van biologische activiteit kunnen bestaan uit de handhaving van een hoge(re) druk in een gasdicht systeem, waardoor de inlek van zuurstof wordt verhinderd. Onder die omstandigheden kunnen biologische processen hooguit op langere termijn (na jaren) gaan leiden tot verstoppingsverschijnselen.

Biologische verstoppingsverschijnselen vormen met name een probleem bij het retourneren en onttrekken van water met biologisch afbreekbare of andere groeibevorderende verbindingen, bijvoorbeeld elektronenacceptoren (zuurstof, nitraat of sulfaat). Bij in situ bodemsaneringsprojecten kunnen zowel de verontreinigingen die al aanwezig zijn in de bodem als de opzettelijk toegediende verbindingen bijdragen aan microbiële groei en de daaraan gekoppelde processen die leiden tot snelle verstopping.

De volgende biologische processen zijn in de literatuur beschreven als oorzaak van verstoppingsproblemen:

- groei en hechting van cellen (biofilmvorming) van bacteriën en andere organismen, zoals protozoa en fungi;
- vorming van extracellulaire polymeren (hoofdbestanddeel van de biofilm);
- vorming van gasbellen door denitrificeerders en methanogenen;
- precipitatie van Fe- en Mn-sulfiden door activiteit van sulfaatreducerende bacteriën;
- precipitatie van Fe(III)-hydroxiden na (biologische) oxidatie van Fe(II) door ijzer- of zwaveloxideerders.

Zowel in waterwinputten als in onttrekkingsputten op verontreinigde locaties kunnen neerslagen ontstaan door microbiële activiteit [Taylor et al., 1997].

Na een toelichting op de microbiële processen worden deze aspecten afzonderlijk belicht.

#### 4.2 Processen

Peters en Castell-Exner [1993] hebben drie parameters gedefinieerd waarmee het risico van verstopping bij retourbemalingen kan worden ingeschat: de membraanfilterindex (MFI), de meeloopfilterindex (MLFI) en het gehalte assimileerbare organische koolstof (AOC). De MFI en MLFI zijn gericht op de aanwezigheid van vaste deeltjes in het retourwater (zie 3.4.4). De AOC is een maat voor het gehalte (gemakkelijk) afbreekbaar organisch substraat dat leidt tot microbiële groei op selectieve voedingsbodems. Het testresultaat wordt uitgedrukt in kolonievormende eenheden.

Microbiële groei wordt gezien als een belangrijke oorzaak van verstopping van retourputten [Hijnen en Van der Kooij, 1992].

#### 4.2.1 *Microbiële groei en biofilmvorming*

##### *Microbiële groei*

Microbiële groei wordt gedefinieerd als de aanwas van de levende celmassa door biologische oxidatieprocessen in de bodem. Microbiële groei is afhankelijk van de beschikbaarheid van een energiebron, een koolstofbron, een elektronenacceptor en nutriënten. Daarbij zijn omgevingsfactoren, zoals de temperatuur, pH en redoxpotentiaal medebepalend voor de groeisnelheid. In de meeste gevallen zal een organisch substraat dienen als energie- en koolstofbron (heterotrofe groei). Daarnaast kan op beperktere schaal autotrofe groei optreden als een gereduceerde anorganische verbinding als energiebron aanwezig is (bijvoorbeeld ammonium, ijzer(II) of sulfide). Microbiële groei treedt dus op waar het substraataanbod het grootst is, dat wil zeggen rond verontreinigingsbronnen en daar waar de toevoersnelheid groot is: in en rond een put.

Substraatverbruik en microbiële groei in een ideaal gemengd systeem kunnen meestal goed worden beschreven volgens Pirt [1965]. Daarbij moet rekening worden gehouden met een term voor de onderhoudsenergie van de celmassa ( $m_s$ ):

$$dC_s/dt = 1/Y_{sx} dC_x/dt + m_s C_x \quad (21)$$

Hierin zijn  $C_s$  en  $C_x$  de substraat- en biomassaconcentratie en is  $Y_{sx}$  de theoretische celopbrengstconstante.  $Y_{sx}$  is afhankelijk van het type substraat en het afbraakproces. Uit vergelijking 21 blijkt dat de werkelijke groei maximaal is bij lage  $C_x$  en dat deze kan stagneren bij een hoge biomassaconcentratie. In het laatste geval kan het substraatverbruik geheel benut worden voor onderhoudsenergie is er geen nettogroei. In deze stationaire fase houdt de groei gelijke tred met de afsterving van biomassa. De experimenteel vastgestelde (variabele) celopbrengst (inclusief onderhoudsverlies) wordt gedefinieerd als:

$$Y_{sx}'' = \frac{\mu Y_{sx}}{(\mu + m_s Y_{sx})} \quad (22)$$

Hierin is  $\mu$  de groeisnelheid. Die kan als volgt worden beschreven [Monod, 1949]:

$$\mu = \frac{\mu_{max} C_s}{(K_s + C_s)} \quad (23)$$

Hierin is  $K_s$  de substraataffiniteitsconstante.

De maximale groeiopbrengst ( $Y_{sx}$ ) is afhankelijk van het type en de concentratie substraat, de biomassaconcentratie en de aard van het microbiologische proces (aëroob, anaëroob enzovoorts). Onder aërobe omstandigheden wordt de hoogste maximale groeiopbrengst bereikt (ongeveer 0,5 mol biomassa/C-mol substraat [Roels, 1983]); onder anaërobe omstandigheden is de groeiopbrengst veel lager. Een snelle verstopping door biomassa van onttrekkings- of infiltratiesystemen zal daarom vrijwel uitsluitend een gevolg zijn van aërobe groei.

Afhankelijk van de groeisnelheid wordt een deel van het organische substraat (te meten als AOC-gehalte) vastgelegd in biomassa. Bij zeer lage groeisnelheid is het echter mogelijk dat het substraat volledig wordt gemineraliseerd (geen groei). Dit komt tot uiting in de verhouding tussen de zuurstofconsumptie en de kooldioxideproductie. Het vaststellen van die verhouding is een

gebruikelijke indirecte methode om aërobe microbiële groeiprocessen vast te stellen en te kwantificeren.

Hoewel groei dus ook onder anaërobe omstandigheden mogelijk is, levert dit vanwege de lage groei-opbrengst meestal een geringe bijdrage aan de groei van biomassa. De continue onttrekking van zuurstofhoudend grondwater en afbreekbare organische substraten creëert de meest geschikte omstandigheden voor aërobe groei van micro-organismen in het onttrekkings- en infiltratiesysteem. Onder deze omstandigheden zijn de verstoppingsrisico's door microbiële groei het grootst.

### *Biofilmvorming*

Microbiële groei in combinatie met de hechting van cellen aan vaste oppervlakken (biofilmvorming) is de meest voor de hand liggende biologische oorzaak van verstopping van retour- en onttrekkingsputten. Onderzoek in laboratoriumschaalkolommen [Taylor en Jaffé, 1990] heeft uitgewezen dat microbiële groei tot grote veranderingen in permeabiliteit, porositeit en dispersiviteit van bodempakketten kan leiden (respectievelijk met een factor  $10^{-3}$ ,  $10^{-1}$  en  $10^{-3}$ ). Bij biofilmvorming worden verschillende fases onderscheiden [Van der Kooij et al., 1997]:

- hechting van enkele bacteriën;
- exponentiële groei;
- lineaire groei, waarbij de snelheid afhankelijk is van de aanvoersnelheid van substraat;
- stationaire fase, waarbij een evenwicht ontstaat tussen aangroei en afslag van bacteriën.

De biofilmvormende eigenschappen van onder meer drinkwater zijn gemeten met een recentelijk ontwikkelde test [Van der Kooij et al., 1997]. Het AOC-gehalte blijkt medebepalend te zijn voor de snelheid van hechting. Er is echter geen eenduidig verband met de mate van initiële hechting. Bij de experimenten die Jack et al. [1989] hebben uitgevoerd, blijken actieve cellen beter te hechten en eerder tot verstopping te leiden dan gedode cellen. Ook zorgt de continue toevoer van substraat voor een snellere verstopping dan bij stagnatie in de substraataanvoer. Deze resultaten worden verklaard door aan te nemen dat alleen actieve cellen in staat zijn om polysacchariden te vormen. Polysacchariden zijn een hoofdbestanddeel van de biofilm.

De hechting van cellen aan de *bodemmatrix* is met name afhankelijk van de oppervlakte-eigenschappen van de bodemdeeltjes (porositeit, specifiek oppervlak, lading) en van de micro-organismen. Bacteriële oppervlakte-eigenschappen worden meestal uitgedrukt in elektroforetische mobiliteit en hydrofoob karakter. Deze factoren zijn enerzijds soort- en stamafhankelijk, anderzijds worden deze ook beïnvloed door groei-omstandigheden [Van Loosdrecht et al., 1987]. Zo wordt in chemostaatcultures onder stressomstandigheden, zoals nutriëntlimitaties (stikstof) of hoge groeisnelheden, vaak verhoogde hechting waargenomen. Door de grote verscheidenheid aan micro-organismen en groei-omstandigheden in de bodem is het niet mogelijk een algemene voorspelling te doen over het hechtingsgedrag.

Silicaten vormen echter in principe een geschikt hechtingsoppervlak. Slib-op-dragersystemen (bijvoorbeeld zand) zijn daarom vaak succesvol in waterzuiveringssystemen. Ook kunnen colloïdale deeltjes in het infiltraat, zoals ijzerhydroxide en lutum, die neerslaan nabij het retourpunt, een groot bindingsoppervlak voor bacteriën vormen. Experimenten met gelijktijdige infiltratie van lutumdeeltjes en bacteriën, zonder groei-ondersteunend substraat [Warner et al., 1994] hebben echter aangetoond dat lutum tamelijk inert is voor biomassa. Bij aanwezigheid van actieve cellen is een binding met vaste deeltjes aannemelijk en zullen gevormde agglomeraten snel neerslaan.

Op basis van modellen voor verstoppingsverschijnselen bij in situ biodegradatie hebben Taylor en Jaffé [1991] voorspeld dat grofkorrelig materiaal met fijne poriën tot snelle verstopping kan leiden.

Experimenten in infiltratiebedden met zand en grind hebben aangetoond dat de verstopping in een grindbed meer verderop en verspreid in het bed plaatsvindt. Ook is gevonden dat de neiging tot verstopping gereduceerd kan worden door alternerend substraat en elektronenacceptor te retourneren (bijvoorbeeld voor cometabolische afbraak van chloorhoudende oplosmiddelen [Taylor en Jaffé, 1991]).

Het verstoppingsgedrag van substraatgevoede kolommen blijkt beter verklaarbaar met de vorming van plaatselijk geconcentreerde *plugs* van biomassa tussen bodemdeeltjes als uitgangspunt dan met een uniforme verdeling van biomassa over het hele bed als uitgangspunt [Vandevivere et al., 1995]. Bij verschillende studies is verstopping waargenomen in de directe omgeving van de plek waar infiltraat is ingevoerd [Taylor en Jaffé, 1990; Warner et al., 1994]. Concluderend kan worden gesteld dat een verstopping in of dicht bij de retourput zal optreden. Dit betekent dat de remedies gericht moeten zijn op de directe omgeving van de retourput.

Naast celmateriaal kunnen ook andere producten van het celmetabolisme leiden tot verstoppingsverschijnselen, zoals biopolymeren, celresiduen, tussenproducten en gassen. Deze producten worden in de volgende paragrafen behandeld. Modelonderzoek [Taylor en Jaffé, 1990] heeft uitgewezen dat de volgende factoren een rol kunnen spelen bij verstoppingsverschijnselen: fysische eigenschappen van het watervoerende pakket, het soort verontreiniging (met name sorptie-eigenschappen) en het microbiologische proces.

#### 4.2.2 *Vorming van organische polymeren en interacties met de bodemmatrix*

Zowel aërobe als anaërobe bacteriën kunnen organische polymeren met hoge viscositeit produceren (bijvoorbeeld mucopolysachariden door anaërobe heterotrofen [Taylor et al., 1997]). Door de hoge viscositeit kunnen deze bestanddelen leiden tot verstopping van poriën. Behalve aan directe verstopping dragen deze verbindingen ook bij aan de hechting of retentie van micro-organismen en het creëren van gunstige omstandigheden voor biologische processen.

Bij excessieve polymeervorming worden poriën afgesloten en treedt verkitting van de bodemmatrix op. De gevormde biomassa kan bij afsterven (door uithongering) ook bepaalde mineralisatieprocessen katalyseren die leiden tot versnelde zoutafzetting of mineraalvorming. Dit kan uiteindelijk in zekere afzettinglagen tot verstoppingsproblemen leiden.

#### 4.2.3 *Oxidatie van ijzer en mangaan*

In anaëroob grondwater is opgelost ijzer aanwezig als  $\text{Fe}^{2+}$  (ferro) en mangaan als  $\text{Mn}^{2+}$ . Bij blootstelling aan zuurstof wordt opgelost ijzer spontaan geoxideerd tot  $\text{Fe}^{3+}$  (ferri), dat bij neutrale pH neerslaat als ijzerhydroxide (zie 2.3.1). De (chemische) oxidatie van ferro verloopt trager bij een lage ijzer- en/of zuurstofconcentratie, maar kan worden versneld door microbiologische activiteit. Bij een lage ijzer- en/of zuurstofconcentratie kan de biologische reactie overheersen. Zowel ijzer- als zwaveloxiderende bacteriën zijn in staat tot biologische ijzeroxidatie onder aërobe en denitrificerende omstandigheden bij pH-waarden rond of kleiner dan 7. Vanwege de samenloop van biologische en geochemische processen wordt de oxidatie van ijzer (en mangaan) zowel hier als in hoofdstuk 2 genoemd.

Uit het bovenstaande volgt dat zuurstof én ijzer(II) niet tegelijk stabiel kunnen voorkomen in de bodem. Onttrekking van grondwater *uit hetzelfde bodempakket* (qua samenstelling en redoxpotentiaal) zal aan de onttrekkingszijde dus geen probleem geven. Het gelijktijdig onttrekken van ondieper zuurstofhoudend grondwater en dieper ijzerhoudend grondwater kan er echter wel toe leiden dat in de onttrekkingsbron ijzeroxidatie optreedt. Hierbij kan de vorming van ijzernerlagen zowel aan de onttrekkings- als infiltratiezijde verstoppingsproblemen geven.



Bij retournering zijn voor ijzer twee situaties te onderscheiden:

1. *Opgelost ijzer(II) in opgepompt grondwater en retourwater*

Bij grondwatersanering wordt het onttrokken water voor het retourneren vaak aëroob behandeld (voor de biologische afbraak of het strippen van verontreinigingen). Ook bij anaërobe waterzuivering vindt vaak een aërobe nabehandeling plaats waarbij ijzerhydroxide wordt gevormd. Een effectieve ijzerverwijdering door sedimentatie en filtratie is dan belangrijk om verstoppingsproblemen te voorkomen. Ook bestaan er verstoppingsrisico's bij het retourneren van anaëroob ferrohoudend water. Dit zal afhangen van de aanwezigheid van sulfide (precipitatie van ijzersulfide) of inlek van zuurstof (precipitatie van ijzerhydroxide) tijdens het retourneren.

2. *Aanwezigheid van opgelost ijzer(II) in grondwater in het ontvangende bodempakket*

Het retourneren van zuurstofhoudend water in een anaëroob, ijzerrijk grondwaterpakket kan tot ijzeroxidatie in de bodem leiden. Er zal echter voornamelijk verdringing van grondwater optreden, waardoor ijzer(II) slechts op het scheidingsvlak aëroob-ijzerarm en anaëroob-ijzerrijk kan worden geoxideerd. Het neerslag wordt dan gespreid over het bodempakket en kan slechts een beperkt nadelig effect op de doorlatendheid van de bodem hebben.

Anaëroob grondwater kan ook gereduceerd mangaan ( $Mn^{2+}$ ) bevatten. Analoog aan de hiervoor genoemde situaties met ijzer kan mangaan bij lage concentraties chemisch en microbiologisch worden geoxideerd. Hierbij ontstaat onoplosbaar mangaanoxide ( $MnO_2$ ). Dit oxidatieproces verloopt trager dan bij ijzer(II). Bij gelijktijdige aanwezigheid van ijzer en mangaan zal een eventueel verstoppingsprobleem meestal door ijzer worden veroorzaakt. Die gevallen waarbij mangaanoxidatie is aangetoond hebben betrekking op grondwater met lage ijzergehalten en relatief hoge mangaangehalten.

In principe is biologische oxidatie van Fe(II) met nitraat ook mogelijk. Dit proces is echter veel trager dan de oxidatie met zuurstof en daardoor minder relevant. Er dient overigens wel bedacht te worden dat nitraat een indicator kan zijn voor de aanwezigheid van zuurstof.

#### 4.2.4 *Sulfaatreductie en metaalprecipitatie*

##### *Sulfaatreductie in de bodem*

Sulfaatreductie in de bodem is een natuurlijk proces dat leidt tot sulfidehoudend grondwater. Een voorwaarde hiervoor is de gelijktijdige beschikbaarheid van biologisch afbreekbare organische verbindingen en sulfaat in een anaëroob milieu. De vorming van sulfide kan worden versneld door retournering van sulfaathoudend water in een bodempakket dat rijk is aan organisch materiaal, of bij onttrekking van sulfaathoudend grondwater door een dergelijk bodempakket. Ook kan sulfaatreductie in verhoogde mate optreden op locaties met organische verontreinigingen of bij in situ saneringen waarbij gebruik wordt gemaakt van substraten (bijvoorbeeld de cometabolische in situ afbraak van chloorhoudende oplosmiddelen).

Onder bovengenoemde omstandigheden worden door sulfidevorming in aanwezigheid van metaalionen onoplosbare metaalsulfiden in de bodem opgehoopt. Dit kan leiden tot voorkeurs- of kortsluitstroming, het leidt echter maar zelden tot echte verstoppingsproblemen. Het risico van hinderlijke precipitatie is geringer als het grondwater buiten de directe omgeving van bronnen reeds sulfidehoudend is, omdat metalen dan elders diffuus zullen worden neergeslagen.

##### *Sulfaatreductie in onttrekkings- en infiltratiesystemen*

Sulfaatreductie en daaropvolgende verstopping van onttrekkingssystemen is mogelijk, als sulfaathoudend, ijzerhoudend en organischrijk grondwater gelijktijdig in het systeem bij elkaar komen. Dit kan gebeuren door het aantrekken van grondwater uit verschillende bodemlagen. Als het water onbehandeld wordt geretourneerd, zullen de verstoppingsproblemen zich overigens het eerst

aandienen in de retourput. Een aangepaste filterstelling van de onttrekkingsbron kan hier een oplossing bieden.

Sulfaatreductie is ook een bekend verschijnsel in met biomassa verstopte onttrekkings- of infiltratiesystemen, die na een periode van stilstand worden geregenereerd. De sulfaatreductie is dan een gevolg van de anaërobe afbraak van deze biomassa tijdens de periode van stilstand. In eerste instantie kan de verstopping dan echter door bacteriegroei onder aërobe omstandigheden ontstaan zijn.

Bij in situ gestimuleerde anaërobe biorestauratie wordt gestreefd naar verhoogde biologische afbraak in de bodem door injectie van substraat en nutriënten. Bij directe injectie in de hoofdretourstroom kan de activiteit van sulfaatreducerende bacteriën echter reeds in het retoursysteem plaatsvinden. Ongewild kunnen er dan in het systeem sulfideneerslagen ontstaan die tot verstopping van filterspleten en omstorting leiden. Bij dergelijke saneringsconcepten dient de injectie afgestemd te zijn op dit risico. In een latere paragraaf wordt ingegaan op mogelijke doseringsstrategieën (zie 4.4.3)

#### 4.2.5 *Gasproductie*

Fermentatie en nitraatreductie kunnen in de bodem aanleiding geven tot respectievelijk de vorming van methaangas in veengebieden of op locaties met hoge concentraties biologisch afbreekbare verontreinigingen, en stikstofgas in geval van nitraathoudend grondwater. Ook kan het retourneren van waterstofperoxide als oxidator voor de aërobe afbraak van bodemverontreinigingen tot excessieve zuurstofproductie leiden als de bodem een hoge katalase-activiteit bezit.

De genoemde gassen hebben een beperkte oplosbaarheid en kunnen deels in opgeloste vorm probleemloos via het grondwater worden weggevoerd. Kritische concentraties voor gasvorming zijn vermeld in 3.4.6. Bij hogere retoursnelheden kan plaatselijk onderdruk voorkomen waarbij ontgassing optreedt. Het ontstaan van een separate gasfase kan daarbij soms leiden tot verminderde waterdoorlatendheid van het bodemcompartiment, of kanaalvorming en voorkeursstroming.

Aangezien de biologische activiteit toeneemt bij hogere temperatuur en de oplosbaarheid van gassen afneemt, is de kans op biologische gasclogging groter bij het retourneren van verwarmde stromen.

De gebruikelijkste vorm van gasclogging ontstaat door onderdruk in het systeem tijdens het retourneren van grondwater met hoge concentratie opgeloste gassen (zie 3.3.2). Deze gassen kunnen van biologische oorsprong zijn. Daarnaast is er de mogelijkheid dat door biologische processen in de bodem een zodanige hoeveelheid gas onder een afsluitende laag gevormd is, dat de capaciteit van de onttrekking vermindert. Dit kan vooral optreden bij methaanvorming in veengebieden. Deze vorm van gasclogging kan ook de effectiviteit van retourneren reduceren [Wiesner et al., 1996]. Vooralsnog zijn dergelijke verschijnselen voornamelijk op laboratoriumschaal in kleine kolommen aangetoond (wandeffecten!). Het is daarom de vraag in hoeverre dit probleem ook een rol speelt tijdens retourbemaling in het veld.

#### 4.2.6 *Aantasting van materialen*

Corrosie van metalen (roestvrijstalen) retourleidingen is mogelijk door microbiologische processen. De oxidatie van ijzer met zuurstof gaat gepaard met zuurvorming, waarmee de ijzeroxiderende en zwaveloxiderende acidofiele (= zuurminnende) bacteriën voor zichzelf een geschikt (micro)milieu kunnen creëren in poriën van bodemdeeltjes en materialen. Hoewel de processen waarschijnlijk onvoldoende snel verlopen om tot een lage bulk-pH te kunnen leiden, kan de lokale pH zo laag zijn dat ernstige corrosieverschijnselen optreden. Door een mogelijke samenloop met fysisch-chemische corrosie (onder andere in aanwezigheid van sterk geoxideerde verontreinigingen als

gechloreerde koolwaterstoffen) kan de bewijsvoering voor een biologische aantasting (en daarmee de keuze van een doeltreffende remedie) lastig zijn.

#### 4.3 Mogelijke effecten bij oppervlakte- en diepteretoursystemen en bij onttrekking

Een factor die beslissend is voor het optreden van biologische processen, is de beschikbaarheid c.q. continue aanvoer van voedingsstoffen bij de geschikte fysisch-chemische omstandigheden. Transport van vervuild water, of van schoon water in een vervuilde bodem, kan leiden tot omzettingreacties die kunnen resulteren in een risico van verstopping. Er zijn verschillende activiteiten te onderscheiden waarbij biologische processen een rol kunnen spelen.

Retourbemaling kan plaatsvinden in de onverzadigde zone via vijvers, greppels (*trenches*) of ingegraven grindbedden. Meestal bestaat er een goede uitwisseling met omgevings- en bodemlucht en zullen aërobe omstandigheden overheersen (behalve bij diepere vijvers met lange verblijftijden). Microbiële groei zal in deze systemen minder zuurstoflimitatie ondervinden en dus versneld optreden. Door het grote uitwisselende oppervlak zal echter een beperkt verstoppingsrisico bestaan. Een eventuele verstopping kan snel worden opgeheven door afgraving of andere oppervlaktebehandelingsmethoden, of door oxidatie van organisch materiaal tijdens droge periodes. Een nadeel van oppervlakte-infiltratie is de beschikbaarheid van licht als energiebron voor fototrofe micro-organismen, zoals algen. Met name de toevoer van fosfaathoudend water geeft in de zomerperiode door temperatuurstijging een verhoogde algengroei, die tot verminderde doorlatendheid leidt. Een dergelijk seizoenseffect wordt veelvuldig waargenomen in vijvers.

Retourbemaling via diepe putten vindt plaats in de verzadigde, meestal zuurstofloze, zone. Bij het retourneren van zuurstofloos water worden geen grotere effecten verwacht. Toevoer van retourwater met afbreekbare organische componenten en nutriënten zal immers slechts een geringe groei van anaërobe bacteriën geven. Wel kan de toevoer van sulfaat- en ijzerhoudend water (Fe(II)) tot sulfaatreductie en neerslagen van metaalsulfiden leiden. Het tegengaan van dergelijke verstoppingsrisico's aan de retourzijde vergt een voorbehandeling van het retourwater.

Retourbemaling van aëroob water (bijvoorbeeld na bovengrondse zuivering door beluchting) geeft een bodemmilieu met een hogere redoxpotentiaal. Daardoor kunnen geochemische en biologische oxidatieprocessen in gang worden gezet. De voornaamste biologische processen betreffen afbraak van organisch materiaal, ijzeroxidatie (waarna ijzerhydroxiden precipiteren) en groei.

De onttrekking van grondwater gaat vaak gepaard met steile redoxgradiënten in de onttrekkingsput door inlekkend zuurstof uit de omgevingslucht. Hierbij spelen de constructiewijze en diepte van de put een doorslaggevende rol. Bij het optreden van verstoppingsverschijnselen worden vaak biofilms en/of ijzernelagen geconstateerd in de directe nabijheid van het filter. Microbiologische karakterisering van het spoelwater kan daarbij uitsluitsel geven over de biologische aard van de verstopping.

Verstoppingsproblemen met een mogelijk biologische oorzaak zijn dus vooral te verwachten bij retourbemaling van aëroob water (in aanwezigheid van biologisch afbreekbare componenten) en bij onttrekking van ijzerrijk of vervuild grondwater waarbij in het onttrekkingsfilter een grensvlak aëroob-anaëroob aanwezig is. Daarnaast kan onder zuurstofloze omstandigheden in aanwezigheid van sulfaat ophoping van biomassa en sulfideneerslagen optreden [Van Beek en Van der Kooij, 1982; Van Beek, 1989]. In tabel 8 worden per parameter, voor zover mogelijk, de kritische grenswaarden aangegeven. Kritische grenswaarden gelden niet per parameter maar dienen altijd in onderling verband te worden beoordeeld. Zo is bijvoorbeeld de aanwezigheid van Fe(II) geen probleem zolang er geen zuurstof binnentreedt of sulfaat gereduceerd wordt.

Tabel 8. Kritische concentraties in grondwater voor biologische verstoppingsproblemen.

parameter	kritische grenswaarde (mg/l)	kritisch in combinatie met
AOC	0,01	zuurstof of nitraat
ijzer(II)	0,1	zuurstof of nitraat
mangaan(II)	> 0,1	zuurstof of nitraat
zuurstof	0,1	AOC, ijzer(II) of mangaan
nitraat	1	AOC, ijzer(II) of mangaan
sulfaat	1	AOC

#### 4.4 Meetmethoden

##### 4.4.1 Laboratoriummethoden

Het verstoppingsgedrag in bepaalde bodemtypen kan bij verschillende grondwatersamenstellingen en fysische omstandigheden worden bepaald. Het meest gebruikelijke hiervoor zijn kolomexperimenten. De grondmonsters kunnen ongeroerd, gestoken of gemengd zijn. De omstandigheden in de kolom, de samenstelling van het infiltraat en dergelijke kunnen worden gekozen.

De kolommethoden geven een indruk van de principemogelijkheden voor biologische processen, maar een directe vertaling naar de veldsituatie is niet goed mogelijk. Een belangrijke reden hiervoor is de verstoring van de bodemopbouw en van de beschikbaarheid van verontreinigingen van het monster tijdens het nemen van een monster. Ook bieden op laboratoriumschaal uitgevoerde kolomexperimenten onvoldoende inzicht in de rol van heterogeniteiten in het bodemcompartiment.

De analyse van retourwater of grondwater biedt aanknopingspunten voor het mogelijk optreden van biologische processen. Een gebruikelijke laboratoriumtest is het bepalen van de concentratie biologisch afbreekbaar organische stof (bijvoorbeeld het AOC-gehalte bepalen via uitplaattechnieken). Hiermee wordt een beeld verkregen van de potentiële groei van micro-organismen [Van der Kooij et al., 1982].

##### 4.4.2 Veldmethoden

Door de grondwaterkwaliteit en fysisch-chemische omstandigheden te karakteriseren, kan worden nagegaan of het risico bestaat dat verstoppingsverschijnselen gaan optreden. Geschikte veldmethoden om vroegtijdig, tijdens het in bedrijf zijn van een onttrekking/infiltratie, de biologische verstoppingsrisico's te voorspellen lijken nog onvoldoende ontwikkeld. In de Verenigde Staten wordt soms gebruik gemaakt van begroeiingsplaatjes, die in een bron of andere onderdelen van het systeem kunnen worden geplaatst. Uit de begroeiingssnelheid zou het verstoppingsrisico kunnen worden afgeleid. Het is echter niet bekend of dit al met succes is toegepast. On-line deeltjesanalyse van onttrekkingswater is een andere methode waarmee in principe vroegtijdig (vrije) bacteriecellen kunnen worden gedetecteerd. De gevoeligheid van de techniek en de vertaling naar de hoeveelheid reeds gehechte micro-organismen in het systeem is daarbij vermoedelijk problematisch. Voorzover bekend is ook met deze techniek onvoldoende ervaring opgedaan.

In een latere fase, tijdens en na het optreden van verstoppingen, kan een aantal methoden worden ingezet die een indruk kunnen geven van de rol van de biologie:

- Biologische karakterisering van het eerste spoelwater [Taylor et al., 1997; Warner et al., 1994].
- Spoelen met biologische remmer (chloorbleekloog).
- Spoelen met zuur of loog. Hiermee wordt echter niet eenduidig vastgesteld dat de verstopping een biologische oorzaak heeft (ijzerprecipitaten lossen ook op).

De meest voorkomende verstoppingsproblemen ontstaan bij toetreding van zuurstof (lucht) in een systeem waarin zuurstofloos grondwater wordt verwerkt. Zelfs het binnentreden van minieme hoeveelheden zuurstof kan leiden tot snelle biologische reacties, waaronder biologische ijzeroxidatie of aërobe groei (slijmvorming). Bij hoge reactiviteit is het lastig om aan te tonen dat zuurstoftoetreding de oorzaak is van een verstopping. Verder is de biologische aard van het verstoppingsproces niet altijd eenduidig vast te stellen, omdat er een samenloop kan zijn met andere processen (bijvoorbeeld chemische oxidatie van ijzer(II)). Bij een verstopping door bacteriegroei kan er op den duur een zuurstofloze zone ontstaan waarbinnen het gevormde organisch materiaal (biomassa) wordt afgebroken. Dit kan gepaard gaan met sulfaatreductiezones. De stank van zwavelwaterstof (sulfide, H<sub>2</sub>S), het product van biologische sulfaatreductie, kan een aanwijzing zijn voor een vergevorderde verstopping van biomassa. Soms kan de biologie worden afgeleid uit het succes van bepaalde infiltratiestrategieën of regeneratiemethoden, zoals desinfectie van de put door chlorering of ozonisatie, temperatuurverlaging van het infiltraat en discontinue infiltratie [Hijnen en Van der Kooij, 1992]. Deze preventieve methoden worden in de volgende paragraaf besproken.

#### 4.4.3 *Preventie van biologische verstoppingsoorzaken*

##### *Verregaande zuivering*

De meest effectieve oplossing om microbiële groei te voorkomen in de directe omgeving van de retourput, is een verregaande zuivering van het water voordat het water wordt geretourneerd. Een dergelijke behandeling dient ten minste te bestaan uit de verwijdering van micro-organismen, vaste deeltjes en TOC. Een verdere *polishing* (bijvoorbeeld verwijdering van nitraat, fosfaat, sulfaat en ijzer) kan hierop volgen. Verregaande zuivering via omgekeerde osmose is weliswaar effectief maar ook kostbaar. Bovendien kan het water na omgekeerde osmose zo'n laag zoutgehalte bevatten dat hiermee diverse bodembestanddelen zouden kunnen worden gemobiliseerd.

##### *Remming van de activiteit*

Bij het retourneren van water zouden de volgende methoden kunnen worden toegepast: desinfectie van het retourwater, retournering van hoge concentraties substraat en koeling van retourwater. Desinfectie van het retourwater, bijvoorbeeld door beperkte chlorering, kan de microbiële groei rond de retourput remmen, terwijl die groei op grotere afstand door verdunning van het desinfectans ongehinderd kan plaatsvinden. Zo wordt een biologisch actieve zone voor afbraak van contaminanten gehandhaafd, terwijl verstopping van de retourput kan worden voorkomen. Regelmatige desinfectie van het retourwater, zoals door chlorering, zou echter op milieuhygiënische bezwaren kunnen stuiten.

Retournering van hoge (remmende) concentraties substraat bij in situ bioremediatie en verhoogde stromingssnelheden zou de activiteit in de directe omgeving van de put kunnen verminderen [Leethem et al., 1995]. Koeling van retourwater voor injectie in de bodem geeft een vermindering van de activiteit. Bij benadering kan een afname van de activiteit van 50 % worden verwacht bij een temperatuurdaling van circa 7 °C. De groei is dan weliswaar geremd, maar vindt nog steeds plaats, zodat deze methode slechts uitstel van biologische verstoppingsproblemen kan geven .

##### *Doseringsstrategieën*

Doseringsstrategieën kunnen zo worden aangepast dat bacteriële groei wordt geminimaliseerd. Het gaat om de volgende strategieën:

- (Co)substraat intermitterend doseren aan het retourwater. Door het inlassen van uithongerperiodes wordt een gemiddeld hogere mineralisatiegraad (dus lagere biomassa-opbrengst) van geïnfiltreerde organische stof bereikt vergeleken met continue dosering [Drewes en Jekel, 1996; Jennings et al., 1995].
- Het retoursysteem intermitterend laten droogvallen. De opzet hiervan is om zuurstof te laten toetreden, waardoor het biologisch gevormde materiaal wordt geoxideerd. Dit is met name effectief bij oppervlakteretoursystemen.
- Substraat en elektronenacceptor (zuurstof of nitraat) alternerend doseren, zodat gelijktijdig verbruik (en groei) in de nabijheid van een retoursysteem wordt voorkomen.

In diverse experimenten bleken dergelijke methoden uitstel of verlichting van de verstoppingsproblemen te geven.

#### *Verstoppingen met biologische oorzaak opheffen*

Biologische verstoppingen (biomassa en neerslagen) worden in het algemeen door schoonspoelen of mechanische methoden doeltreffend uit de putten verwijderd. Als het omringende bodempakket (ook) verstopt is, kan de dosering van desinfectans (bijvoorbeeld achtereenvolgens 15 % *sulphamic acid* en 15 % hypochloriet), gevolgd door onttrekking, tot verlies van de biologische activiteit leiden. Hierbij wordt de verstopping ook gedeeltelijk verwijderd. De behandeling sorteert meestal echter een tijdelijk effect en dient enkele malen per jaar te worden herhaald. Afhankelijk van het type verstopping (verstopping door biomassa, metaalhydroxiden of metaalcomplexen) kan spoelen met loog, zuur of waterstofperoxide succesvol zijn.

#### **4.5 Samenvatting**

Verstopping van win- en retourmiddelen voor grondwater kan door een aantal (micro)biologische processen worden veroorzaakt. Dit gaat vaak samen met geochemische processen. Microbiologische verstoppingsverschijnselen kunnen pas een rol spelen als wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden. Algemene kritische parameters zijn: het type en de beschikbaarheid van substraat, elektronenacceptor en nutriënten, gunstige fysische omstandigheden (temperatuur, pH, redoxpotentiaal) en eventuele toxiciteit van verontreinigingen.

De relevantste microbiële verstoppingsprocessen zijn accumulatie van biomassa en vorming van neerslagen. De accumulatie van biomassa is afhankelijk van de groei en hechting van de microorganismen. De hoogste groei-opbrengst vindt plaats onder aërobe omstandigheden en de mate van hechting (maar ook de groei) is afhankelijk van de fysische condities (bijvoorbeeld van de temperatuur, pH, stromingssnelheden en bodemdoorlatendheid), het substraattype, het substraat-aanbod en het bacterietype. Bij biologische verstopping door neerslagreacties zijn oxidatie van ijzer(II) en mangaan(II) en sulfaatreductie in aanwezigheid van metaalionen het relevantst.

Het biologische verstoppingsrisico kan vooraf worden beoordeeld op basis van gegevens van de fysische en chemische kwaliteit van (onttrokken) grondwater en retourwater, en de samenstelling van het bodempakket. Belangrijke informatie levert het gehalte aan biologisch oxideerbaar substraat (bijvoorbeeld organische verontreinigingen, methaan, Fe(II), Mn(II)) en van elektronenacceptoren (bijvoorbeeld zuurstof, nitraat, sulfaat). Hierbij is de constructie van de put ook van belang (in verband met de filterstelling en daarmee samenhangende risico's van het ontstaan van mengwater).

Preventieve maatregelen kunnen zijn: methoden waarmee de omgevingslucht (O<sub>2</sub>) wordt verwijderd of buiten het systeem wordt gehouden, waterzuivering of aangepaste substraatdosering-

strategieën. Bij het laatste punt kan worden gedacht aan dosering bij lage temperatuur, alternerend doseren of intermitterend doseren. Desondanks kan verstopping op termijn toch optreden. In dat geval heeft vroegtijdig preventief reinigen de voorkeur boven curatief reinigen. Voor preventief periodiek reinigen zijn diverse technieken beschikbaar die al dan niet specifiek zijn voor biologische verstopping. Hieronder valt mechanisch reinigen, eventueel in combinatie met het doseren van chloorbleekloog, zuur, loog of oxidatiemiddelen.

De ontwikkeling van een biologische verstopping is nauwelijks aantoonbaar omdat slechts gebruik kan worden gemaakt van indirecte meetmethoden, zoals activiteitsmetingen. Bij een opgetreden verstopping zijn putinspectie (met camera's) en analyse van het spoelwater en de waterkwaliteit voor en na het retourneren belangrijke identificatiemethoden. Ook de kleur van het slijm kan informatie leveren omtrent de aard van de verstopping. Het resultaat van specifieke regeneratiemethoden kan ook een belangrijk hulpmiddel zijn bij het vaststellen van een biologische verstoppingsoorzaak. Deze informatie kan worden gebruikt bij gerichte preventie.





### TECHNOLOGISCHE ASPECTEN

#### 5.1 Algemeen

In Nederland is de laatste decennia veel ervaring opgedaan met het infiltreren van voorgezuiverd oppervlaktewater via infiltratieputten voor de drinkwaterwinning en met het onttrekken en retourneren van grondwater bij een groot aantal energie-opslagprojecten. Dankzij deze ervaring kan een aantal ontwerpcriteria worden opgesteld die als basis kunnen dienen voor de aanbevelingen voor een optimaal putontwerp bij bodemsanering.

Uit de ervaringen met energie-opslagprojecten blijkt dat bij het retourneren van grondwater vrijwel geen verstopping van putten hoeft op te treden als er wordt voldaan aan een aantal ontwerpcriteria en als de vrijheid bestaat een geschikt watervoerend pakket of een geschikte putdiepte te kiezen. Bij de energie-opslagprojecten is het streven het opgepompte water onbehandeld en onveranderd (behalve wat de temperatuur betreft) in de ondergrond te retourneren. Hiervoor is een gesloten systeem nodig, waarbij drukhandhaving essentieel is. Uiteraard worden de putten zo geplaatst dat geen menging van watersoorten optreedt (anaëroob-aëroob, zout-zoet, redoxovergang).

Bij het infiltreren van oppervlaktewater is er sprake van aëroob water, dat een aantal zuiveringsstappen moet ondergaan om geschikt te worden voor infiltratie in putten. Met name de aanwezigheid van zwevende delen is een belangrijke factor bij het verstoppingsgedrag van putten. Hierbij moet worden afgewogen of een extra zuiveringsstap opweegt tegen het minder vaak regenereren van de putten.

Bij (in situ) saneringen zal het opgepompte grondwater in het algemeen eerst moeten worden gezuiverd voordat het weer in de bodem mag worden geretourneerd. Deze zuivering wordt vrijwel altijd aëroob uitgevoerd, waardoor het water moet worden nabehandeld om zwevende delen af te filtreren. De verstoppingsproblematiek van de retourputten komt waarschijnlijk sterk overeen met de ervaringen bij infiltratie van voorgezuiverd oppervlaktewater. Een belangrijk verschil is uiteraard de schaal van de projecten. Bij een saneringsproject is de diepte van de retourputten en onttrekkingsmiddelen afhankelijk van de verontreinigingssituatie en zijn de debieten over het algemeen gering.

Dit hoofdstuk gaat in op de technische uitvoering van de onttrekkings- en retourputten en -drains. Ook de ontwikkeling van de putten en drains (slib- en zandvrij maken) en de verschillende methoden van regenereren komen aan bod.

#### 5.2 Boormethode

##### 5.2.1 *Verticale filters*

De keuze voor een boormethode wordt in het algemeen gemaakt op basis van de diepte en diameter van het boorgat. Bij boringen op een saneringslocatie is ook de verontreinigingssituatie van belang bij de keuze van het boorsysteem. Bij boringen in sterk verontreinigde grond is een puls-boring aantrekkelijk, omdat de verontreiniging dan niet in het gehele spoelingscircuit terechtkomt, zoals bij een zuigboring.

In het algemeen worden bij saneringsprojecten de onttrekkings- en retourputten uitgevoerd als puls-boring. Wanneer boorgaten met grotere diameters of tot grotere diepte nodig zijn, zullen die vrijwel altijd als zuigboring worden uitgevoerd. Spuit- of spoelboringen hebben in het algemeen een

kleine diameter, maken controle van het bodemprofiel bijna onmogelijk en zijn moeilijk te ontwikkelen door een sterke afpleistering van de boorgatwand. Daarom is dit soort boringen af te raden bij met name retourputten.

Bij pulsboringen kan door het roteren van de mantelbuis versmering van de boorgatwand optreden. Deze versmering resulteert in een verdichting van de bodem en daardoor in de vorming van kleinere poriën. Ook in een dergelijke situatie kan dus, als deeltjes uit de bodem losraken, verstopping optreden. Om de nadelige invloed van de afpleistering van de boorgatwand en de verkleining van de poriën zo veel mogelijk teniet te doen, worden de putten vóór het in gebruik nemen ontwikkeld. Dat wil zeggen dat de nadelige effecten van de aanleg zo veel mogelijk worden weggenomen.

Indicaties van gangbare diepten en diameters voor onttrekkings- en retourputten zijn:

- mobiele hydraulische boorstelling: maximale diameter 324 mm tot circa 100 m-mv;
- zware pulsboorinstallatie: maximale diameter 600 mm tot circa 50 m-mv;
- zuigboorstelling: maximale diameter 1500 mm tot circa 80 m-mv
- zuigboor met luchtlift: maximale diameter 1500 mm tot circa 400 m-mv.

### 5.2.2 Drains

Horizontale drains kunnen op vier verschillende manieren worden aangelegd:

- handmatig, door een sleuf te graven (met bemaling);
- met een drainagemachine;
- via horizontaal gestuurd boren vanaf het maaiveld;
- via horizontaal persen vanuit een bouwkuip.

De specifieke eigenschappen van deze technieken zijn aangegeven in tabel 9. De toepassing van deze technieken is sterk afhankelijk van de werkruimte ter plaatse. Met name het aanbrengen van een goede omstorting is van wezenlijk belang voor een goed functionerende retourdrain. De voorkeur zal dus uitgaan naar handmatige aanleg of aanleg met een drainagemachine. Het grote voordeel van deze technieken is bovendien dat er geen boorspoeling wordt toegepast, die na de installatie moet worden verwijderd.

Tabel 9. Horizontale drains.

techniek/criteria	werkbreedte (m)	diepte (m-mv)	lengte (m)	omstorting	boorspoeling
handmatig	circa 10 (< 10 met sleuf-bekisting)	4 - 5	onbeperkt	ja	nee
drainagemachine	8 - 10	6 - 7	onbeperkt	ja	nee
gestuurd boren	alleen opstelplaats	5 - 6 en 10 - 20	100 - 150	nee	ja
horizontaal persen	bouwkuip	5 (20)	20	beperkt	ja

Een nadeel van drains is dat ze nauwelijks goed kunnen worden geregenereerd, zeker niet wanneer ze in de onverzadigde zone gesitueerd zijn. Een drain kan wel inwendig goed worden gereinigd, maar het regenereren van de omstorting is nagenoeg onmogelijk.

Wat materiaalkeuze, omstorting enzovoorts betreft, kunnen dezelfde afwegingen worden gemaakt als bij verticale filters. In dit rapport wordt daarom verder geen onderscheid meer gemaakt tussen verticale filters en drains. Met *regenereren* wordt hier verder alleen nog het regenereren van verticale filters bedoeld.

### 5.3 Putconstructie

De omstorting vormt de overgang tussen de bodem en het putfilter en bestaat uit omstortingsgrind. De korrelgrootte van dit grind is afgestemd op de grofheid van de bodem. Het grind is grover dan de bodem en vergemakkelijkt zo de toestroming van het grondwater naar de put. Hetzelfde geldt voor de retourput. De breedte van de filterspleten van de put is weer afgestemd op de grofheid van het omstortingsgrind. De boorgatwand vormt de overgang tussen de natuurlijke bodem en de omstorting. De putconstructie wordt uiteraard in hoofdzaak bepaald door de aanwezige bodemopbouw en de gewenste niveaus van de filtertrajecten in verband met de verontreinigingssituatie en de gewenste grondwaterstroming.

Als materiaal voor het filter en de stijgbuis verdient pvc-materiaal de voorkeur, tenzij de verontreinigingssituatie dit absoluut niet toelaat. Een zeer goede oplossing biedt dan een roestvrijstalen wikkeldraadfilter met een hoog doorlaatpercentage in combinatie met roestvrijstalen stijgbuizen. Ook buizen van polyethyleen (PE) kunnen worden gebruikt. Dit materiaal heeft als nadeel dat het beschikt over een lage elasticiteitsmodulus en een thermoplastisch karakter. Daardoor is de toelaatbare implosiedruk (die optreedt bij het regenereren van de putten) gering en neemt het doorlaatpercentage van het filter door vervormingen af. De drukklasse van de stijgbuis moet worden afgestemd op de drukwaarden die optreden tijdens het ontwikkelen en regenereren van de putten.

De boorgatdiameter wordt in hoofdzaak bepaald door de gewenste capaciteit van de put in relatie tot de gewenste snelheid op de boorgatwand. In verband met de te grote invloed van de retour snelheid op de verstoppingssnelheid (bij verstopping door zwevende delen in het retourwater) zal vaak een snelheid van  $v < 1,0$  m/uur op de boorgatwand worden aangehouden.

De omstorting dient als overgangsconstructie tussen de filterspleet en de formatie. De korrelgroottekeuze is afhankelijk van de fijnste lagen in de formatie op de plaats van het filter. Meestal is dit 0,8 - 1,25 mm (vier- à vijfmaal het  $M_{50}$ -cijfer van formatiemateriaal). De minimumdikte van de omstorting bedraagt 75 mm.

De afdichting boven het filtertraject moet vroegtijdige doorbraak van het geïnjecteerde water naar het maaiveld voorkomen. In het algemeen wordt de afdichting verkregen door enkele meters zwellende klei-afdichting boven het filtertraject. In gevallen waarbij de stijghoogte kritisch is, kan de afdichting met cementgrond worden uitgevoerd om een grotere veiligheid te waarborgen.

Bij de putconstructie moet ook altijd rekening worden gehouden met regeneratie. Een retourput moet zo worden gedimensioneerd dat er bijvoorbeeld ook water aan kan worden onttrokken met een onderwaterpomp. Verder moet het putfilter natuurlijk goed toegankelijk zijn voor zowel inspecties met het blote oog als camera-inspecties.

### 5.4 Putontwikkeling

Nadat de put is geboord, ingebouwd en aangevuld, moet de put nog worden ontwikkeld. Restanten van onder andere boorspoeling op de boorgatwand belemmeren de toestroming van grondwater en vormen een goed aangrijpingspunt voor de accumulatie van materiaal. Een goede ontwikkeling van de putten zal daarom een ongestoorde werking bevorderen.

Bij een onttrekkingsput is er vaak sprake van ontwikkeling tijdens het gebruik (waarbij dan nog steeds wat zand en slib in het opgepompte water zitten). Bij een retourput echter moet de put vóór de ingebruikneming volledig worden ontwikkeld. Tijdens het ontwikkelen wordt zowel het aanvulgrind als de boorgatwand ontdaan van fijne delen en eventueel boorspoeling die tijdens het boorproces zijn afgezet. Boorspoeling wordt gebruikt om bij spoelboringen het boorgat tijdens de boring open te houden. De boorspoeling pleistert het boorgat af, waardoor minder water uit het

boorgat het pakket instroomt. De overdruk binnen het boorgat ten opzichte van de bodem houdt het boorgat open.

Met name als de lozing van het vrijkomende water niet eenvoudig is, moet de ontwikkeling van de put zo efficiënt mogelijk worden uitgevoerd. In de praktijk wordt voor het ontwikkelen een combinatie van methoden toegepast:

- schoonpompen;
- intermitterend pompen;
- jutteren en schoonpompen;
- sectiegewijs schoonpompen en rondpompen.

De ontwikkeling wordt doorgezet tot de put voldoende schoon water levert en de capaciteit niet meer verbetert. Daarbij moet het vrijkomende water op zand en slibdeeltjes worden gecontroleerd. Uiteindelijk moet de put bij ontwerpcapaciteit zand- en slibvrij zijn (zand < 0,01 - 0,1 mg/l). De controle op zand is mogelijk met een planktonnet van 70 µm en de controle op slib kan worden uitgevoerd met behulp van de MFI (0,45 µm). Tijdens het ontwikkelen moeten de (onttrekkings- en retour)capaciteit en waterstandverandering in de put worden vastgelegd.

## 5.5 Putregeneratie

Ondanks een goede dimensionering en uitvoering van de putten blijkt in de praktijk bij infiltratie van voorgezuiverd oppervlaktewater toch een zekere verstopping van de putten op te treden. Deze verstopping is niet te voorkomen als het te infiltreren water niet volledig vrij is van zwevende delen. Met name bij de energie-opslagprojecten waarbij sprake is van retournering van grondwater binnen gesloten systemen en het grondwater een zeer lage MFI-waarde heeft ( $MFI < 1 \text{ s/l}^2$ ), blijkt de verstoppingssnelheid van de putten erg laag. Bij saneringsprojecten waarbij het opgepompte grondwater in het algemeen moet worden voorgezuiverd, is het te injecteren water niet volledig vrij van zwevende delen. Bij deze projecten moet vaak een afweging worden gemaakt tussen een extra zuivering uitvoeren of vaker de putten regenereren.

Uiteraard zal ook geregenereerd moeten worden als de putten door andere oorzaken (bacteriologische, chemische oorzaken) verstopt zijn geraakt. Bij saneringsprojecten zullen niet alleen de retourputten maar ook de relatief ondiepe onttrekkingsputten een grote kans hebben om verstopt te raken (door menging van verschillende watertypen). Bij het putontwerp moet dus zowel voor de retourputten als voor de onttrekkingsputten rekening worden gehouden met een regelmatige regeneratie, die op eenvoudige wijze moet kunnen worden uitgevoerd.

Bij het onderhoud van putten is het van belang regeneraties uit te voeren voordat de capaciteit van de putten te ver is teruggelopen. Als regel wordt aangehouden dat de capaciteit van de putten niet verder mag teruglopen dan tot 50 % van de oorspronkelijke waarde bij oplevering. Dit geldt zowel voor de retour- als voor de onttrekkingsputten.

Regeneratiemethoden worden onderverdeeld in mechanische en chemische methoden (zie ook 8.3). *Mechanische methoden* omvatten:

- schoonpompen;
- jutteren met perslucht;
- sectiegewijs schoonpompen;
- hogedrukreiniging;
- borstelen.

Behalve met deze algemeen gangbare methoden wordt in ons omringende landen ook gewerkt met onder andere:

- trillingen (geluidsgolven);
- bevrozing (vloeibaar CO<sub>2</sub>).

*Chemische methoden* omvatten behandeling met:

- zuur, met name zoutzuur;
- chloorbleekloog;
- waterstofperoxide.

Naast deze algemeen gangbare middelen kunnen ook polyfosfaten worden gebruikt.

## 5.6 **Systeemdruk**

In een onttrekkings- en retourstelsel zal in het algemeen een zekere minimumdruk in het leidingstelsel moeten worden gehandhaafd om ongewenste ontgassing of luchttoetreding te verhinderen. De systeemdruk wordt eenvoudig bereikt door de injectieleiding in de retourput aan de onderzijde van een restrictie te voorzien, ofwel door de injectieleiding zo te dimensioneren dat hierin voldoende leidingweerstand optreedt. Bij deze oplossing is het wel noodzakelijk dat het debiet door de injectieleiding constant is om een constante systeemdruk te bereiken (4 à 5 m/s). Als een grote variatie in het debiet is voorzien, zullen meerdere injectieleidingen of een regelbare restrictie aan de onderzijde van de injectieleiding moeten worden aangebracht. Ook tijdens stilstand van het systeem moet het leidingsysteem gevuld en onder druk blijven. Hiervoor worden vaak gestuurde kleppen bij de putten geplaatst.

Bij de bepaling van de vereiste systeemdruk moet rekening worden gehouden met een sterke drukval in appendages, zoals regelafsluiters. Als een overstort als veiligheidsvoorziening wordt aangebracht op een leidingsysteem om de maximumdruk in de retourputten (in verband met onderloopsheid) niet te overschrijden, moet zorgvuldig rekening worden gehouden met de vereiste minimumsysteemdruk. Een betere oplossing kan worden bereikt door de retourput zelf te beschermen met een overstortvoorziening. Hierdoor wordt de systeemdruk losgekoppeld van de maximale injectiedruk in de putten. Door een automatische ontluchting aan te brengen op de bronkop kan worden voorkomen dat zich gas ophoopt in de put.

## 5.7 **Meetmethoden**

De volgende meetmethoden zijn voorhanden:

- *Capaciteitstest*  
Bij onttrekkings- en retourputten wordt na het ontwikkelen van de put een korte capaciteitstest uitgevoerd om de specifieke volumestroom vast te stellen. Deze capaciteitstest levert informatie over het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket en legt de capaciteit van de put bij oplevering vast. Daarmee kan later de mate van verstopping worden vastgesteld (SV-factor: specifieke volumestroom van een put).
- *Waarnemingsfilters*  
Een retourput dient voorzien te zijn van waarnemingsfilters in de omstorting op enige afstand van het putfilter. Door deze waarnemingsfilters is bij een verstopping na te gaan of de verstopping zich in de filterspleten of op de boorgatwand bevindt.

- *Filtratietest*

Bij de ontwikkeling van de putten en bij de beoordeling van de kwaliteit van het retourwater kan naast een planktonnet voor het afvangen van de zandfractie (70 µm) een eenvoudige filterspuit met een filter van 0,45 µm worden gebruikt om een indicatie van de MFI-waarde van het water te krijgen.

## 5.8 Discontinuïteiten in de bedrijfsvoering

Bij het ontwerp van een onttrekkings-/retoursysteem zal naast de normale bedrijfssituatie ook veel aandacht moeten worden besteed aan de problemen die zich kunnen voordoen tijdens discontinuïteiten in de bedrijfsvoering. Discontinuïteiten treden onder andere op in de volgende situaties:

- in bedrijf nemen van het onttrekkings-/retoursysteem;
- intermitterend onttrekken/infiltreren;
- stilstand ten gevolge van storings/onderhoud;
- terugspoelcycli van bovengrondse filterinstallaties;
- onderhoud aan putten (b.v. regeneratie van putten die verstopten).

In het algemeen zal aandacht moeten worden besteed aan het handhaven van overdruk in het leidingsysteem bij discontinuïteiten. Omdat het handhaven van overdruk niet altijd haalbaar is, zal ook rekening moeten worden gehouden met de mogelijkheid dat het water in het systeem tijdelijk ongeschikt is voor infiltratie en op andere wijze geloosd moet kunnen worden. Met name bij projecten waarbij het grondwater anaëroob wordt geretourneerd of waar risico van ontgassing bestaat, zullen anders verstoppingen van leidingen en/of infiltratieputten optreden.

### *Aandachtspunten bij het in bedrijf nemen van systemen*

- Schoon spoelen van leidingen na aanleg om ingelopen grond en andere rommel te verwijderen die anders in de infiltratieput terecht zou kunnen komen. Spuimogelijkheid nabij de infiltratieput is hiervoor nodig.
- Afpersen van terreinleidingen en controle van appendages op lekkage en functioneren.
- Bij het opstarten van een zuivering zal deze eerst moeten kunnen spuien totdat de effluentkwaliteit zodanig is dat het geïnfiltreerd kan worden.
- Bij het opstarten van de infiltratie zal het leidingsysteem op druk gebracht en ontlucht moeten worden, en zolang doorgespoeld moeten worden totdat het water bij de infiltratieputten geschikt is om in de bodem geretourneerd te worden. Hiervoor is een spuimogelijkheid nabij de infiltratieput nodig alsmede voldoende ontluuchtingsmogelijkheden.
- Om een systeem goed te kunnen inregelen en opstarten zijn metingen van leidingdrukken en debieten nodig.

### *Aandachtspunten bij stilstand van systemen*

- Als tijdens stilstand een voldoende overdruk in het leidingsysteem wordt gehandhaafd, bijvoorbeeld door bediende afsluiters op de injectieleiding bij de infiltratieput, zal de infiltratie zonder aanvullende maatregelen hervat kunnen worden na een periode van stilstand. Deze overdrukhandhaving zal door de systeembesturing geregeld moeten worden; drukopnemers en signalering van onvoldoende druk zijn onmisbaar.
- Als tijdens stilstand onderdruk ontstaat in het leidingsysteem zal het water ongeschikt worden voor infiltratie. Het leidingsysteem moet nu bij het opnieuw opstarten van de infiltratie eerst worden doorgespoeld en opnieuw op druk worden gebracht (ook ontluchten) totdat het water weer geschikt is voor infiltratie. Hiervoor is een spuimogelijkheid nabij de infiltratieput nodig alsmede voldoende ontluuchtingsmogelijkheden.

#### *Aandachtspunten bij bovengrondse filterinstallaties*

- Als het water voorafgaand aan de infiltratie gefilterd wordt door een zandfilter zal dit periodiek worden teruggespoeld. Na het terugspoelen is een zekere looptijd nodig voordat het effluent weer vrij is van deeltjes. Gedurende de inlooptijd is het water niet geschikt voor infiltratie in de putten en moet dus geloosd worden of teruggevoerd worden naar de influentbuffer van de zuivering. Om tijdens het terugspoelen en inlopen van een filter het retourneren van water in de infiltratieputten niet te onderbreken, dient met 2 filterunits te worden gewerkt.

#### *Aandachtspunten bij onderhoud aan infiltratie- en onttrekkingsputten*

- Als het systeem uit een redelijk aantal putten bestaat, hoeft bij onderhoud aan één van de putten niet het gehele systeem te worden stilgezet. Wel is het dan nodig dat bij de putten afsluiters aanwezig zijn in de terreinleiding.
- Bij regeneratie van de putten wordt water onttrokken dat geloosd moet kunnen worden. Lozingsmogelijkheden zullen afhankelijk zijn van de lokale situatie.

### **5.9 Technisch ontwerp**

Hieronder worden nog eens enkele richtlijnen voor het technisch ontwerp van verticale injectiemiddelen samengevat.

#### *Boormethode*

Pulsboringen verdienen de voorkeur. Spuit- of spoelboringen moeten worden ontraden, omdat de ontwikkeling lastig is (kleine diameters) en de boorgatwand sterk afgepleisterd is.

#### *Putconstructie*

Hiervoor gelden de volgende richtlijnen:

- Materiaalkeuze: in principe pvc.
- Omstortingsmateriaal: bepaal de mediaan ( $M_{50}$ -cijfer) van de zandlaag waarin het filter wordt geplaatst. De  $M_{50}$  van filtergrind moet circa vier- à vijfmaal de  $M_{50}$  van formatiemateriaal zijn.
- Filterspletten: kleiner dan de ondergrens van filtergrind.
- Filtertraject: bij voorkeur zo diep mogelijk. Redenen:
  - de maximale stijghoogte in verband met de doorbraak naar het maaiveld is direct afhankelijk van deze diepte;
  - het ontwikkelen en regenereren via jutteren van de put is alleen mogelijk als de bovenkant van het filtertraject voldoende diep onder het waterniveau in de put zit (liefst 10 m).
- Afdichting boven filtertraject: een goede afdichting vermindert de kans op doorbraak naar het maaiveld bij geringe overdruk.
- Diameter en filterlengte: stroomsnelheid op boorgatwand 0,5 - 2,5 m/uur. Bouw de put voldoende groot uit, zodat regeneratie goed mogelijk is.
- Injectieleiding in retourput: snelheid in injectieleiding 4 à 5 m/s.
- Put voorzien van ontluchting.
- Put voorzien van overstortvoorziening.

#### *Putontwikkeling*

De SV-factor (specifieke volumestroomfactor) moet worden vastgesteld. De SV-factor moet op één locatie nagenoeg overal gelijk zijn. Dit geldt zowel voor onttrekkings- als retourputten.

#### *Opstarten van het systeem*

Ontlucht de retourputten goed bij het opstarten.

## 5.10 Samenvatting

Voor de technologische aspecten van het ontwerp en onderhoud van de onttrekkings- en retourmiddelen bij saneringsprojecten kan gebruik worden gemaakt van de ervaringen die zijn opgedaan met energie-opslag in (diepe) watervoerende pakketten en bij diepe infiltratie voor de drinkwaterwinning. Uiteraard is de kans op verstoppingen van de onttrekkings- en retourmiddelen bij een sanering groter, waardoor het belang van goed uitvoerbare regeneraties toeneemt. De keuze van boormethode, putconstructie en leidingsysteem heeft grote invloed op de kans van slagen van het onttrekken en retourneren van grondwater bij saneringen. Een goede afstemming van de omstorting rond het filter op de bodemopbouw die bij het boren is aangetroffen, en een juiste materiaalkeuze en sterkte van de putconstructie zijn vereist om zowel een goede putontwikkeling als latere regeneraties met succes te kunnen uitvoeren.

Uit de ervaring met energie-opslag in (diepe) watervoerende pakketten blijkt dat de putontwikkeling voor ingebruikstelling van groot belang is en dat deze goed gecontroleerd kan worden met een eenvoudige filtratietest. Bij goed ontwikkelde putten blijkt in het algemeen de specifieke volumestroom (SV) bij het retourneren ten minste gelijk te zijn aan de specifieke volumestroom bij onttrekking.

Door een zekere systeemdruk te handhaven en injectieleidingen met voldoende hydraulische weerstand te gebruiken, kan ontgassing en beluchting van het retourwater worden voorkomen, waardoor de kans op verstoppingen van de retourputten afneemt, ook bij discontinuïteiten in de bedrijfsvoering. Bij een goed ontwerp van een onttrekkings-/retoursysteem moet rekening worden gehouden met periodiek onderhoud van de onttrekkings- en retourmiddelen.



### INVLOED VAN WATERZUIVERING OP DE KWALITEIT VAN RETOURWATER

#### 6.1 Inleiding

Er zijn veel effecten denkbaar bij de inzet van grondwaterzuiveringstechnieken. Binnen het kader van dit NOBIS-project zal slechts een aantal algemene terugkerende effecten van waterzuivering worden aangestipt, die verband kunnen houden met de verstopping van retourmiddelen.

De volgende processen bij waterzuivering kunnen met name de kwaliteit van retourwater beïnvloeden:

- verwijdering of afbraak van componenten;
- introductie, vorming en verwijdering van opgeloste gassen;
- dosering van hulpstoffen;
- verandering van de fysisch-chemische eigenschappen (pH, temperatuur);
- ontstaan en verwijdering van vaste deeltjes.

Zaken die kunnen veranderen, zijn:

- gehalte afbreekbare verbindingen;
- zuurgraad;
- temperatuur;
- zuurstofgehalte;
- gasverzadiging;
- redoxpotentiaal;
- zoutgehalte;
- neerslagreacties;
- biomassavorming;
- concentratie van vaste deeltjes (fijn zand, biomassa).

#### 6.2 Overzicht van waterzuiveringstechnieken

Er kunnen fysische, fysisch-chemische en biologische technieken worden onderscheiden, die al dan niet in combinatie worden gebruikt.

##### *Fysische waterzuiveringstechnieken*

Voorbeelden van fysische waterzuiveringstechnieken zijn:

- *Strippen*  
Vluchtige verontreinigingen worden verwijderd. Omdat dit meestal met lucht gebeurt, wordt het water daarbij verzadigd met zuurstof. Bij retourneren kan dit aanleiding geven tot verandering van de redoxpotentiaal en het creëren van aërobie. Hierdoor kunnen biologische (afbraak)processen in gang worden gezet.
- *Flocculatie/sedimentatie*  
Organische stof en fosfaat worden geprecipiteerd door beperkte toevoeging van hulpstoffen, zoals ijzer. Door een goede procesbeheersing kan overdosering worden voorkomen.

- *Filtratie/membraanscheiding*  
Wordt ingezet om deeltjes, moleculen en/of ionen af te scheiden of te concentreren. Een uiterste vorm is omgekeerde osmose, waarbij onder hoge druk water wordt verkregen met lage ionenconcentratie. Afhankelijk van de uitvoeringsvorm is introductie van zuurstof mogelijk.
- *Ionenwisseling*  
De vraag hierbij is: waartegen worden de ionen uitgewisseld? Dit kan van belang zijn voor bijvoorbeeld de pH en kalkverzadiging.
- *Actieve koolbehandeling*  
Door adsorptie worden organische verontreinigingen verwijderd. Tegelijkertijd kunnen componenten (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>) van het kooloppervlak vrijkomen. Dit is afhankelijk van het type kool en het productieproces (activeringsmethode/regeneratiemethode).
- *Ontgassing*  
Door onderdruk aan te leggen, worden gasvormige componenten verwijderd.

#### *Fysisch-chemische waterzuiveringstechnieken*

Fysisch-chemische waterzuiveringstechnieken omvatten natte (chemische) oxidatie van organische bestanddelen via UV, ozon en peroxide. Deze methoden leiden meestal tot onvolledig geoxideerde producten, die verder behandeld moeten worden. Een vervolgstap kan biologische zuivering zijn.

#### *Biologische waterzuiveringstechnieken*

Biologische reiniging kan ruwweg worden onderverdeeld in aërobe en anaërobe processen. Bij aërobe processen worden organische verontreinigingen met lucht geoxideerd tot kooldioxide en water (onder vorming van biomassa). Relevante oxidatieproducten van anorganische bestanddelen zijn nitraat, sulfaat, ijzer(III) en mangaan(IV). Bij dit proces raakt het (grond)water verzadigd met lucht. De mogelijke effecten hiervan bij het retourneren zijn de introductie van elektronenacceptoren (zuurstof, nitraat, sulfaat), vorming van neerslagen van ijzer en mangaan en verstopping door biomassa.

Bij anaërobe processen is een scala aan producten mogelijk. Afhankelijk van het type proces en het influentwater kan er een aantal gasvormige hoofdproducten ontstaan: methaan, kooldioxide, zwavelwaterstof, ammoniak en stikstofgas. Andere effecten zijn: onvolledige verwijdering of deelomzetting van organische verbindingen, pH-verandering, neerslaan van metaalsulfiden en (in mindere mate) vorming van biomassa. Vanwege de beperkte oplosbaarheid van een aantal gasvormige componenten bestaat er een risico van oververzadiging en gasclogging bij onvoldoende druk in het retoursysteem. Voor de restconcentratie organische bestanddelen is vaak een nabehandeling nodig. Zonder nabehandeling kan biologische afbraak in het retoursysteem optreden.

In tabel 10 is het voorafgaande samengevat.

Tabel 10. Effecten van waterzuiveringstechnieken op de kwaliteit van retourwater.

techniek	gassen	pH	deeltjes	opgeloste organische stoffen	opgeloste zouten
strippen met lucht	verwijdering van opgeloste gassen, introductie van O <sub>2</sub> en N <sub>2</sub>	-	mogelijke precipitatie van Fe-hydroxide	verwijdering van vluchtige componenten	oxidatie en neerslaan van Fe en Mn
flocculatie	-	daling door zuurdosering, pH wordt vaak bijgesteld	verlaging	verwijdering van organische stof	verwijdering van fosfaten
filtratie/membraan	mogelijke introductie van O <sub>2</sub>	-	verlaging	verwijdering	-
actieve kool	CO <sub>2</sub> ?	-	verwijdering	verwijdering	-
ionenwisseling	-	daling/-	-	-	uitwisseling van ionen (Ca, H, Na, K)
ontgassing	verwijdering van gassen	meestal geen effect	-	-	-
chemische oxidatie	introductie van O <sub>2</sub> en O <sub>3</sub>	-	-	volledige of partiële oxidatie	-
aërobe zuivering	introductie van O <sub>2</sub>	procesafhankelijk	biomassa	volledige verwijdering mogelijk	toename door dosering van nutriënten
anaërobe zuivering	mogelijke introductie van CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S en NH <sub>3</sub>	procesafhankelijk, meestal pH-daling	metaalsulfiden	verwijdering met bepaald rendement	toename door dosering van nutriënten



## HOOFDSTUK 7

### INFILTRATIEASPECTEN BIJ IN SITU CONCEPTEN

Diverse ontwikkelingen op beleidsmatig en milieutechnisch gebied hebben geleid tot een scala aan in situ saneringsconcepten. De implicaties van dergelijke concepten voor een onttrekkings- of infiltratiesysteem kunnen zeer verschillend zijn. Aangezien het functioneren van de onttrekking en infiltratie bepalend is voor een succes van een sanering, is het zinvol hieraan een apart hoofdstuk te wijden. De meest voorkomende in situ concepten worden hier besproken. Er kan ruwweg onderscheid worden gemaakt in concepten waarbij de infiltratie bedoeld is om:

- de biologische activiteit in de bodem te stimuleren: injectie van nutriënten, substraat, elektrodenacceptor (zuurstof, peroxide, ozon, nitraat, sulfaat), of biomassa;
- chemische/fysische processen te versnellen (injectie van zuur/base, oxidatoren, gas, stoom);
- de grondwaterstroming te beïnvloeden (spoelen).

In tabel 11 zijn in situ concepten vermeld waarbij ten minste een onttrekkingsstelsel wordt toegepast. Bij elk concept wordt stilgestaan bij verstoppingsrisico's, remedies bij verstoppingen en aandachtspunten in de ontwerpfase.

Tabel 11. Infiltratieaspecten bij in situ concepten.

in situ concept	methode	verstoppingsrisico	remedie	aandachtspunten bij ontwerp
beheersing met infiltratie	grondwateronttrekking in de bron	CO <sub>2</sub> -ontgassing, groei (en ijzerprecipitatie) door mengwater <sup>1)</sup>	geen onderdruk, geen ondiep grondwater, tijdig onderhoud	drukhandhaving, redoxge-laagdheid, filterstelling, monitorings- en onderhoudsplan
	omleiding van grondwaterstroming	kleizwelling, CO <sub>2</sub> -ontgassing, ijzerprecipitatie door mengwater <sup>1)</sup>	grond(water)analyse, waterbehandeling, beïnvloeding zoutconcentratie	drukhandhaving, redoxge-laagdheid, monitorings- en onderhoudsplan
combi-remediatie	infiltratie van verontreinigd grondwater in andere verontreiniging	groei in systeem door zuurstofintrek <sup>1)</sup> , kleizwelling	geen onderdruk, waterbehandeling vooraf, selecteer compatibel water	drukhandhaving, grondwateranalyse
stimuleren van aërobe afbraak	(bio)sparging injectie van hulpstoffen	biologische groei in het systeem, precipitatie van mineralen	geen mengwater in put	injectievloeistof mag onttrekkingsput niet bereiken
stimuleren van anaërobe afbraak	injectie van hulpstoffen	groei door zuurstofintrek, sulfaatreductie, precipitatie van mineralen	goede controle op gasdicht systeem	injectievloeistof mag onttrekkingsput niet bereiken
vastlegging van zware metalen	injectie van hulpstoffen	groei door zuurstofintrek, sulfaatreductie, precipitatie van mineralen	goede controle op gasdicht systeem	injectievloeistof mag onttrekkingsput niet bereiken
(bio)leaching	injectie van hulpstoffen	clogging door zwavelprecipitatie of door oplossen van bodemmineralen bij lage pH en herprecipitatie bij neutrale pH, aantasting van systeem	zuurbestendige materialen	materiaalkeuze

injectie biomassa	injectie vanuit bioreactor	verstopping van filter en omstorting met biomassa	voorafgaande filtratie, periodiek verwijderen van biolaag met loog of zuur of chloorbleekloog	nauwgezette monitoring van drukopbouw in systeem (omstorting, put) via drukopnemers, ten behoeve van tijdige maatregelen bij verstopping
-------------------	----------------------------	---	---	--

<sup>1)</sup> Mengwaterproblematiek ontstaat uitsluitend bij onttrekkingsputten en is afhankelijk van de bodemopbouw, filterstelling en tijdsduur van de ingreep. De hieraan gerelateerde verstoppingsproblemen kunnen echter doorwerken naar infiltratieputten, indien grondwater onbehandeld wordt geretourneerd.

Fysische in situ technieken, zoals stoominjectie en elektroreclamatie, worden hier niet apart besproken, omdat de gevolgen voor het functioneren van het systeem vergelijkbaar zijn met die van een normale grondwateronttrekking. Overigens verdient bij deze technieken het aspect temperatuur wel bijzondere aandacht in verband met afwijkende oplosbaarheden van gassen en mineralen, en ook in verband met de hogere biologische activiteit.

Injectie van hulpstoffen is vaak onderdeel van een in situ concept. De verschillende aspecten die hierbij een rol spelen worden in tabel 12 per groep hulpstoffen toegelicht.

Tabel 12. Aspecten bij injectie van hulpstoffen.

hulpstof/toeslagstof	effect	aandachtspunt bij ontwerp systeem	monitorsaspecten
organisch substraat (= koolstofbron en elektronendonor)	stimulering bacteriegroei, sulfaatreductie	tegengaan activiteit in het systeem door: - toxische gehalten - injectie in omstorting of via separate put - discontinue injectie - niet met nutriënten of elektronacceptor - injectie bij lage temperatuur - kies matig afbreekbaar substraat  verder: periodiek onderhoud wenselijk, drukopnemer in omstorting	drukverloop in systeem (omstorting en put)
elektronenacceptoren (ozon, waterstofperoxide, zuurstof, nitraat, sulfaat)	stimulering bacteriegroei, ongewenste oxidatieprocessen	peroxide en ozon zijn reactief en kunnen ongewenste nevenoxidaties geven, bij niet-gelimiteerde injectie in zuurstofloos pakket kan in onttrekkingsput mengwater gevormd worden	drukverloop, redoxpotentiaal in onttrekkingswater
nutriënten (fosfaat, nitraat, ammonium)	precipitatie (fosfaat), stimulering bacteriegroei	injectie via omstorting of separate leiding	drukverloop systeem, onderzoek interacties met bodem, grondwater
tracers (lithium, bromide, eventueel chloride, natrium)	kleizwelling, kleidispersie	beperkt gebruik eenwaardige kationen, letten op SAR retourwater en ESP ontvangend bodempakket	drukverloop, troebelheid (MFI), meten ESP of SAR, onderzoek interacties met bodem, grondwater
oppervlakte-actieve stoffen (surfactants)	verstopping door hoge viscositeit van emulsie	interacties surfactant met bodem, afstemming surfactant(mengsel) op bodemmatrix door vooronderzoek	drukverloop
biomassa	deeltjesverstopping	filtratie, (frequentie van) regeneratie	deeltjestelling, zwevend stof, MFI

Bij het invoeren van hulpstoffen/toeslagstoffen in een anaëroob systeem is er een risico van het onbedoeld inbrengen van zuurstof dat in het algemeen tot verstoppingsreacties kan leiden. Bij dergelijke toedieningen in anaëroob milieu gelden dan ook de volgende voorwaarden:

- de (oplossing van) toeslagstof dient vooraf zuurstofloos gemaakt te zijn, bijvoorbeeld door ontgassing of het doorleiden van stikstofgas;

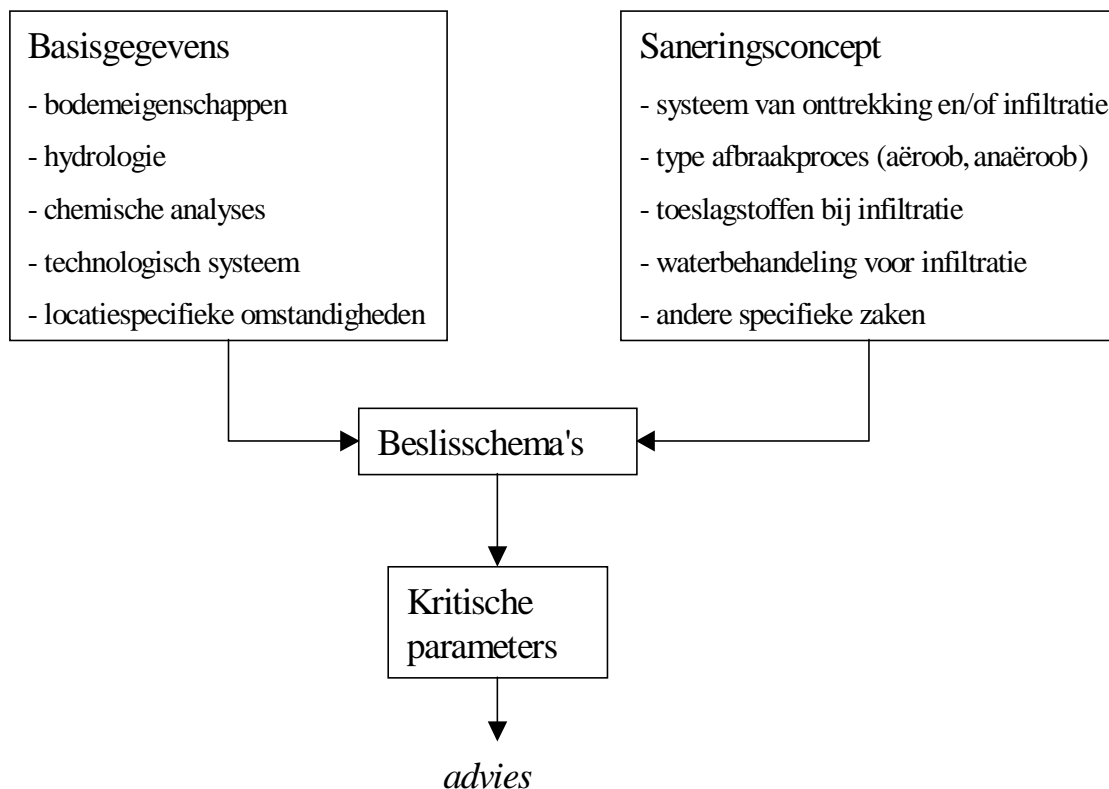
- het injectiesysteem en de bedrijfsvoering dienen afgestemd te zijn op het verhinderen van zuurstofinbreng (continue overdruk in systeem). Behalve het gebruik van gasdichte leidingen en pompen dient er een voorspoelmogelijkheid voor de toevoerleidingen aanwezig te zijn.

**RICHTLIJNEN VOOR VOORONDERZOEK**

**8.1 Algemene aanpak**

Voor de beoordeling van verstoppingsrisico's dienen eerst de essentiële gegevens systematisch te worden verzameld. Eventuele kennisleemten komen dan snel tot uiting en kunnen door aanvullende monitoring worden opgevuld. De benodigde gegevens zijn gebaseerd op de processen die een rol kunnen spelen bij verstoppingen, te weten (geo)hydrologie, geochemie, biologie en technologie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen basisgegevens (gegevens van bodem, grondwater, infiltratie- en onttrekkingsstelsel, en dergelijke) en gegevens van het saneringsconcept, omdat deze beide bepalend zijn voor het optreden van verstoppingsrisico's.

De beoordeling van verstoppingsrisico's vindt plaats met behulp van de beslisschema's in hoofdstuk 11. Deze kunnen worden gebruikt in de ontwerp-, implementatie- of nazorgfase, bijvoorbeeld bij het inschatten van verstoppingsrisico's, bij het vaststellen van de mogelijke oorzaken van een reeds opgetreden verstopping, of bij het bepalen van de meest succesvolle regeneratietechnieken. Het doel van de beslisschema's is om de kritische parameters vast te stellen. Het beoordelingsproces dat leidt tot een eerste advies is schematisch weergegeven.



De tabellen met detailinformatie (saneringsconcept, basisgegevens en kritische parameters) worden hierna behandeld.



### *(Sanerings)concept*

Iedere fysische of chemische verandering van de bodem of het grondwater kan aanleiding zijn voor verstopping van onttrekkings- en infiltratiesystemen. Het is dus van belang de relevante details van het (sanerings)concept in kaart te brengen. In het algemeen maakt grondwateronttrekking altijd deel uit van een (sanerings)concept. Verder worden drie principes onderscheiden waarmee de meeste concepten afgedekt zijn: het opgepompte grondwater wordt geloosd, het wordt onbehandeld geïnfiltreerd of het wordt behandeld geïnfiltreerd. Belangrijke punten zijn:

- het al dan niet toevoegen van hulpstoffen;
- de invloed van de waterbehandeling;
- de tijdsduur.

De mogelijke invulling van karakteristieken van het (sanerings)concept (in relatie met verstoppingsrisico's) wordt in tabel 13 gepresenteerd.

Tabel 13. Tabelformat voor het verwerken van gegevens van het saneringsconcept.

SANERINGSCONCEPT: ..... <sup>5)</sup>				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem <sup>1)</sup>	effect van de waterbehandeling <sup>2)</sup>	toevoegingen <sup>3)</sup>	tijdsduur sanering <sup>4)</sup>
onttrekking + lozing				
onttrekking + infiltratie				
onttrekking + waterbehandeling + infiltratie				
onttrekking + infiltratie + toevoegingen				

<sup>1)</sup> bijv.: aërobe afbraak, anaërobe afbraak, immobilisatie, vastlegging, beheersing (pump and treat);

<sup>2)</sup> bijv.: n.v.t., geen, ontgassing, beluchting, verzadigingsgraad, pH, deeltjesverwijdering/vorming (voor details zie tabel 9, fase 1-rapport [CUR/NOBIS, 1998]);

<sup>3)</sup> bijv.: geen, substraat (type, concentratie, methode), nutriënten, biomassa, overige;

<sup>4)</sup> 0 - 3 jaar of > 3 jaar aangeven;

<sup>5)</sup> invulvoorbeelden: beheersing, (bio)venting, (bio)sparging, stoominjectie, gestimuleerde aërobe of anaërobe afbraak, vastlegging metalen, (bio)leaching, cometabolische afbraak, combi-remediatie, enzovoorts.

### *Basisinformatie*

In het kennisdeel zijn processen beschreven die ten grondslag kunnen liggen aan verstoppingen, namelijk hydrologie, fysica, geochemie, biologie en technologie. Tabel 14 maakt voor ieder proces inzichtelijk welke kwalitatieve en kwantitatieve informatie vereist is om de verstoppingsrisico's te kunnen beoordelen. Tabel 14 geeft een overzicht van aandachtspunten, gangbare meetmethoden en meetbare basisgegevens die opgenomen kunnen worden in een checklist voor vooronderzoek.

Tabel 14. Overzicht van vereiste basisinformatie voor beoordeling van verstoppingsrisico's.

aandachts-gebied	basisinformatie	karakteriserings-/meetmethode	doel/aspect	kwantitatieve parameter ten behoeve van checklist
hydrologisch en fysisch	bodemopbouw	boorbeschrijving (grofte, ge-laagtheid, kleur)	risico's mengwater, re-doxovergangen, door-latendheidsverschillen	diepte scheidende laag
	bodemparemeters	doorlaatfactor, zandmediaan, hydraulische weerstand	slechte doorlatendheid, menging niet-compatibele waters	doorlatendheid
	grondwaterstroming	stijghoogten, snelheid hor./vert., kwel/infiltratie	risico's mengwater, intrek gebiedsvreemd water	grondwaterstand
	uitwisselingsreacties kationen grond	chemische analyse, ESP/CEC	risico's van kleizwelling, kleidispersie	natrium, kalium, calcium, magnesium
	gasverzadiging grondwater, retourwater	analyse opgeloste gassen	gasclogging	methaan, stikstof, kool-dioxide
	deeltjes in grondwater	zwevende stofbepaling, MFI	colloïdale verstopping	zwevend stof, MFI
geochemisch	macroparemeters van grondwater, influent en effluent	chemische analyse	risico's mengwater, precipitatiereacties, redoxpotentiaalveranderingen, biologische activiteit	zuurstof, nitraat, redox, kooldioxide, pH-water, pH-bodem, ijzer, mangaan, sulfaat, calcium, (bi)car-bonaat, magnesium, fos-faat, aluminium, elektrische geleidbaarheid
	verontreinigingssituatie (type, aard, verspreiding)	chemische analyse	invloed op redoxpotentiaal, voorkeursstromingen	concentratie aan veront-reiniging(en)
	gasverzadiging influent, effluent	analyse opgeloste gassen	risico kalkneerslag in systeem ten gevolge van ontgassing	kooldioxide
biologisch	biologische paremeters van grondwater, influent en effluent	chemische analyse van substraat, elektronenacceptoren, nutriënten en producten, kleur, geur	verstopping door groei, of biologische omzettingprocessen (zoals ijzeroxidatie, sulfaatreductie)	AOC, ammonium, pH, methaan, zuurstof, nitraat, sulfaat, redox, ijzer(II), fosfaat, zwavelwaterstof
technologisch	systeem onttrekking en injectie (filterlengte, diepte, type put, drain), detailuitvoering (pompen, koppelingen, enz.)	ontwerp, inspectie	mengwater (filterlengte, diepte, concentratie-profiel)	filterlengte, diepte
	boorteknik en putontwikkeling	SV-verhouding, deeltjesvrij water	tegengaan van versme-ring boorgatwand en van colloïdale verstopping	SV-verhouding
	putconstructie	materiaal	drukbestendigheid, aantasting	-
	filtereigenschappen ten aanzien van deeltjesafvang	M <sub>50</sub> -filtergrind/formatie	verstopping van boorgatwand of filterspleten	M <sub>50</sub> -filtergrind, formatie, filterspleetafmeting
	bedrijfsvoering	(over)druk, debieten meten	risico ontgassing, inlek zuurstof, menging met grondwater in retourput	systeemdruk, debieten
overig	historische gegevens van nabije omgeving	inventarisatie	locatiespecifieke problemen? effecten van eerdere bodemactiviteiten	-
	gegevens van opstart-fase, nazorgfase	drukverloop, SV-verhouding, helderheid (spoel)water	identificatie en omvang van verstoppingsrisico	-
	samenstelling van schraapsel of spoelwater van regeneratie	kleur, troebelheid, geur, chemische analyse	diagnose verstopping	ijzer, TOC, sulfide, calcium, mangaan, aluminium, magnesium, sulfaat, carbonaat
	regeneratiegegevens	regeneratiemethode, agentia, tijdsduur, effectiviteit (korte/lange termijn)	diagnose verstopping	-



## 8.2 Tabel met basisgegevens en kritische parameters per case

Voor de systematische beoordeling van cases is op basis van tabel 14 een checklist voor kwantitatief vooronderzoek opgesteld. Dit zijn geselecteerde parameters waarmee, op basis van praktijkervaring en expert judgement, de meest voorkomende verstoppingen kunnen worden verklaard/voorspeld en door gerichte maatregelen kunnen worden verhinderd.

Per parameter kan het gaan om een enkele meetwaarde of een range van meetwaarden. Ook is het vaak zinvol om onderscheid te maken tussen verschillende diepten/bodemlagen. De systematiek en codering in tabel 15 is als volgt opgebouwd:

Voor de evaluatie van de verstoppingsrisico's worden de gegevens in 5 categorieën onderverdeeld:

- A samenstelling van de bodem
- B samenstelling van het grondwater
- C grondwaterdiepte en grondwaterstroming
- D onttrekkings- en infiltratiesysteem
- E waterbehandeling

A, B en C karakteriseren de uitgangssituatie (vóór de sanering), D en E zijn afhankelijk van het saneringsconcept. De bijbehorende gegevens zijn opgenomen in tabel 15. Elke parameter heeft een code meegekregen voor de categorie (A t/m E) en een volgnummer, dit om in de tabel een terugverwijzing naar de parameters mogelijk te maken.

De definitie van de basisgegevens gaat uit van het type verstoppingsrisico. Bij de toekenning van risico's wordt onderscheid gemaakt in:

- 1 accumulatie van bodemdeeltjes
- 2 fysisch-chemische neerslagen
- 3 biologisch-gevormde neerslagen
- 4 accumulatie van gassen
- 5 kleizwelling (en kleidispersie)

In tabel 15 worden de meetgegevens gezet naast een kritische waarde, of een kritische combinatie die meestal na bewerking van meetgegevens kan worden vastgesteld, zoals bijvoorbeeld de saturatie-index (SI). De tabel kan aldus reeds een eerste indicatie van verstoppingsrisico's geven.

Een voorbeeld: B12 < 0,1 mg/l met B20 of B2, B16.

Als B12 (methaan) in grondwater meer dan 0,1 mg/l bedraagt, is een kritische combinatie met B20 (zuurstof) mogelijk (aanwezigheid van zuurstof of andere oxidator kan ook indirect worden afgeleid uit een hoge redoxpotentiaal (B2), of uit het nitraatgehalte (B16)). Er bestaat dan een kans op biologische verstopping ('risico 3') door aërobe groei van bacteriën op methaan. Anderzijds is bij zeer hoge methaangehalten ontgassing mogelijk, waardoor gasclotting ('risico 4') kan optreden. Dit laatste komt overigens minder vaak voor.

Voor de definitieve beoordeling van risico's (zie rechterkolom van tabel 15) zullen echter altijd de beslisschema's dienen te worden doorlopen (zie hoofdstuk 11).

Tabel 15. Basisgegevens en indicatieve beoordeling van kritische waarden en verstoppingsrisico's.

Aan iedere parameter is een code gekoppeld (b.v. B5 voor mangaan) waar in de 4<sup>e</sup> kolom naar verwezen kan worden in geval er onderlinge relaties of kritische combinaties van parameters mogelijk zijn (b.v. voor mangaan met B20 (zuurstof) of B2 ([hoge] redoxpotentiaal)). De vijfde kolom (ja/nee) geeft aan of deze kritische combinatie in een bepaalde case werkelijk optreedt. In de laatste kolom wordt per parameter verwezen naar één of meerdere potentiële risico's.

code:

- A samenstelling van de bodem
- B samenstelling van het grondwater
- C grondwaterdiepte en grondwaterstroming
- D onttrekkings- en infiltratiesysteem
- E waterbehandeling

risico:

- 1 accumulatie van bodemdeeltjes
- 2 fysisch-chemische neerslagen
- 3 biologisch-gevormde neerslagen
- 4 accumulatie van gassen
- 5 kleizwelling (en kleidispersie)

code	parameter	meetwaarde en eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	m/d	$k < 1$ , C1, C2		1
A2	kationuitwisseling	%	ESP > 25 % (10 %)		5
A3	zuurgraad grond	-	B1		2, 3
B1	zuurgraad water	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14		2, 3
B2	redoxpotentiaal	mV	B3, B5, B11, B12, B15		2, 3
B3	ijzer(II)	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20		2
B4	ijzer-totaal	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20		2
B5	mangaan	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20		2
B6	aluminium	mg/l	0,3 mg/l met B1		2
B7	natrium	mg/l	A2 (ESP > 25 %)		5
B8	kalium	mg/l	A2 (ESP > 25 %)		5
B9	calcium	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0 A2 (ESP > 25 %)		2 5
B10	magnesium	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)		2 5
B11	ammonium	mg/l	B2, B20		2, 3
B12	methaan	mg/l	0,1 mg/l met B20 of B2, B16		3, 4
B13	kooldioxide	log $P_{CO_2}$ *	log $P_{CO_2}$ > -3,5 (atm), E1, B1, B14		2, 4
B14	bicarbonaat	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1		2, 4
B15	sulfaat	mg/l	B2 SI(gips) > 0		3 2
B16	nitraat	mg/l	B2, B3, B20		2, 3, (4)
B17	fosfaat	mg/l	B3, B9, B10, B11		2, 3
B18	elektrische geleidbaarheid	mS/m	A2		2, 3, 5
B19	organische koolstof	mg/l	B2, B15, B16, B20		3
B20	zuurstof	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19		2, 3
B21	deeltjes	s/l <sup>2</sup> mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l		1
C1	grondwaterstand	m-mv	A1, C2, D2, D4		2, 3
C2	diepte scheidende laag	m-mv	A1, C1		2, 3
D1	onttrekkingsdebiet	m <sup>3</sup> /d	B13, D5, D6		1, 4
D2	infiltratiegebied	m <sup>3</sup> /d	stijghoogtevermeerdering $h \leq 0,22 z$		1 t/m 4
D3	onttrekkingsdiepte	m-mv	B, C, D4, E1		1 t/m 4
D4	infiltratiediepte	m-mv	B, C, D3, E1		1 t/m 5
D5	filterspleetgrootte	mm	D1, D6		1
D6	grindomstorting $d_p$	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)		1
D7	boormethode	type	B7 - B10, B21		1, 5
E1	ontgassing	ja/nee	A3, B1, B12, B13		2, 4
E2	beluchting	ja/nee	B20		2, 3, 4
E3	pH-verandering	ja/nee	B1		2, 3
E4	deeltjesverwijdering	ja/nee	B21		1
E5	toeslagstoffen	type/concentratie	B2, B15, B16, B20, E2		2, 3

\* Voor CO<sub>2</sub>-ontgassing bestaan twee criteria: in geval van behandeld retourneren na een beluchtingsstap geldt een kritische waarde van log  $P_{CO_2}$  > -3,5 (0,033 % CO<sub>2</sub> in lucht). Bij onttrekking of onbehandeld retourneren is er een ontgassingsrisico als de CO<sub>2</sub>-partiaalspanning de systeemdruk overschrijdt. De kans hierop is het grootst bij vacuümonttrekking of vrij verval bij retourneren, waarvoor een gemiddelde kritische waarde van log  $P_{CO_2}$  > -0,3 wordt vastgesteld. Dit komt overeen met een onderdruk van 5 m waterkolom. Vanwege de nadelen die kleven aan vacuümonttrekking en infiltratie onder vrij verval worden deze methoden in principe afgeraden. Indien een systeemoverdruk wordt gehandhaafd, zijn alleen positieve log  $P_{CO_2}$ -waarden kritisch voor ontgassing.

Uit tabel 15 blijkt dat voor het beoordelen van één verstoppingsaspect vaak meerdere parameters gemeten dienen te worden. Anderzijds kan één parameter ook ten grondslag liggen aan verschillende typen van verstoppingen. Het is afhankelijk van de situatie per case welke verstopping(s)risico's per parameter daadwerkelijk optreden.

#### *Kanttekeningen bij tabel met basisgegevens*

- In de praktijk is het zelden mogelijk om een kritische getalswaarde voor een parameter vast te stellen. Een daadwerkelijk verstoppingsrisico zal onder meer afhangen van een combinatie van (milieu)factoren. Zo is ijzer pas kritisch in combinatie met de aanwezigheid van zuurstof (of nitraat). Ook zal de aanwezigheid van groeisubstraat niet altijd tot biologische verstopping leiden, bijvoorbeeld indien er rond de infiltratieput toxische concentraties heersen of als de milieuomstandigheden ongunstig zijn (bijvoorbeeld ongunstige pH voor groei of activiteit, afwezigheid van nutriënten).
- Het niet-kritisch zijn van bepaalde parameters biedt geen garantie tegen verstoppingen. Bijvoorbeeld een subkritische gasverzadiging kan bij vacuümonttrekking of bij grote drukveranderingen in het systeem (bij afsluiters, e.d.) tot grote problemen leiden.
- Andere gegevens, zoals bijvoorbeeld een aantoonbare gelaagdheid in boorprofielen (klei, veen, ijzeroxidelaagjes) kunnen aanvullende waarde hebben bij de interpretatie, maar laten zich niet in meetwaarden vastleggen. Het is daarom van belang om naast de tabel met basisgegevens en kritische parameters, en de tabel met het saneringsconcept ook andere relevante gegevens met betrekking tot eventuele verstoppingsrisico's of verstoppingsoorzaken te beschrijven.
- Systemen, waarin verstopping reeds is opgetreden, bieden aanvullende mogelijkheden om informatie over de verstopping vast te leggen. De omstandigheden waaronder de verstopping is opgetreden worden vastgelegd, alsmede de resultaten van eventuele regeneratiewerkzaamheden. Afhankelijk van de betreffende case kunnen daarbij de volgende vragen worden beantwoord:
  - is er ijzer- (of ander) neerslag in de onttrekkingsput (beschrijving van de verstopping, kleur)?
  - is er sulfidestank in de put of het onttrokken grondwater?
  - is het onttrokken water troebel?
  - wat levert microscopie van verstoppingsmateriaal (schraapsel, slijm, zwevend stof)?
  - wat is de effectiviteit van de regeneratiemethode?
  - welke analysegegevens van spoel-/regeneratiewater zijn beschikbaar?

#### *Vervolgtraject na de eerste beoordeling*

Na de vaststelling van de kritische parameters wordt een eerste advies voor de vervolgaanpak gegeven, waarin bijvoorbeeld is opgenomen:

- benodigde aanvullende metingen;
- de ernst van de verstopping(s)risico's;
- mogelijkheden ter vermindering van de verstoppingsrisico's;
- knelpunten in het ontwerp;
- knelpunten in het aangelegde systeem (inclusief waterzuivering);
- regeneratie: aanbevolen methode en verwachte frequentie;
- de principe-haalbaarheid van het saneringsconcept in relatie tot verstoppingsrisico's.

### **8.3 Richtlijnen voor het vooronderzoek aan grondwater**

In de voorgaande paragraaf en hoofdstukken zijn de aspecten aan de orde geweest die bij verstopping van putten een rol kunnen spelen. In ieder hoofdstuk is aangegeven welke parameters voor het betreffende aspect relevant zijn. Met betrekking tot de waterkwaliteit is echter geen prioritering van te meten parameters aangegeven. In deze paragraaf wordt daarover duidelijk-

heid gegeven. Er wordt besproken bij welk type water bepaalde analyses uitgevoerd dienen te worden of achterwege kunnen blijven. De informatie wordt samengevat met betrekking tot de waterkwaliteitsparameters en aspecten die daarmee samenhangen. Op deze wijze kan in één oogopslag worden gezien welke waarnemingen noodzakelijk zijn en welke analyses moeten worden uitgevoerd om de informatie te leveren, die voor de beoordeling van de kans op verstopping van de put noodzakelijk is. Bij dit vooronderzoek kunnen verschillende niveaus worden onderscheiden, namelijk:

- situering in het hydrologische systeem;
- boorbeschrijving;
- chemische analyse van het grondwater.

#### *Situering in het hydrologische systeem*

Het landschap, en in het bijzonder de hoogteligging van het maaiveld, geeft belangrijke informatie omtrent de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater. Zo worden (oude) infiltratiegebieden gekenmerkt door een ten opzichte van de omgeving hoge ligging en een diepe grondwaterspiegel. Het betreft vrijwel altijd zandgronden. Het (ondiepe) grondwater in dergelijke gebieden bevat zuurstof. Kwelgebieden worden gekenmerkt door een ten opzichte van de omgeving lage ligging en een ondiepe grondwaterspiegel. Het betreft altijd gronden met een hoog gehalte organisch materiaal (veengronden, kleigronden, eerdgronden). Het ondiepe grondwater in dergelijke gebieden bevat mangaan, ijzer en andere gereduceerde stoffen. Let op: door een (kunstmatige) diepe drooglegging kunnen van oudsher kwelgebieden tegenwoordig een diepe grondwaterspiegel bezitten. De landschappelijke schaal kan zeer verschillend zijn: de Veluwe met aangrenzend de Gelderse Vallei en het IJsseldal, maar ook dekzandruggen met tussengelegen beekdalen.

#### *Boorbeschrijving*

Boorbeschrijvingen vormen een belangrijke bron van informatie. Bruingekleurde (blonde) sedimenten duiden op oxiderende omstandigheden, en daarmee op de aanwezigheid van zuurstof, grijsgekleurde sedimenten wijzen op reducerende omstandigheden, en daarmee op de aanwezigheid van mangaan, ijzer en andere gereduceerde stoffen. Onder afsluitende kleilagen wordt in Nederland geen zuurstof aangetroffen. Deze waarneming kan ook worden omgekeerd: worden boven een kleilaag een blonde en eronder een grijze kleur aangetroffen, dan duidt dit op een afsluitend karakter van de betreffende kleilaag. Andere belangrijke waarnemingen aan boorbeschrijvingen zijn het gehalte organisch materiaal (indicatief voor biomassagroei), klei (indicatief voor kleizwelling) en kalk (indicatief voor vorming van neerslagen van kalk na intensieve ontgassing).

#### *Chemische samenstelling van het grondwater*

Bij de beoordeling van de hoedanigheid van het grondwater wordt onderscheid gemaakt tussen reeds beschikbare resultaten van chemische analyses en het noodzakelijk uit te voeren onderzoek.

#### ***Beschikbare resultaten van chemische analyses***

Mogelijk zijn reeds resultaten van chemische analyses van het grondwater uit de omgeving van de onderhanden locatie beschikbaar. De resultaten van deze analyses moeten in lijn zijn met de voorgaande waarnemingen. Bij het gebruik van reeds beschikbare resultaten moet er goed op worden gelet dat de situatie vergelijkbaar is met de onderhanden locatie: vergelijkbare diepte van de filterstelling en vergelijkbare situatie in het landschap.

### Noodzakelijk uit te voeren onderzoek

Ook al zijn resultaten uit de (directe) omgeving van de onderhanden locatie beschikbaar, het blijft altijd noodzakelijk om ter plaatse van de locatie onderzoek uit te voeren. De chemische samenstelling van het grondwater kan namelijk over korte afstand aanzienlijk variëren, zowel in horizontale als verticale richting. Dit geldt in het bijzonder voor het ondiepe grondwater (globaal de bovenste 10 m). Een overzicht van basisinformatie met betrekking tot de waterkwaliteit is besproken in tabel 14. Voor een eerste oriëntatie is het echter mogelijk de uitgebreide set meetparameters in te perken.

Tabel 16 geeft een overzicht van de minimaal uit te voeren chemische analyses en metingen voor de beoordeling van de kans op verstopping (aangegeven met X). Overige niet aangemerkte parameters zijn relevant, maar meestal niet essentieel. Er is onderscheid gemaakt tussen grondwater (waarnemingsfilters, peilbuizen), grondwater in de onttrekkingsput, onbehandeld infiltratiewater en behandeld infiltratiewater). Voor de onttrekkingsput is de keuze van gewenste analyses deels afhankelijk van de te verwachten risico's op basis van de samenstelling van het grondwater (2<sup>e</sup> kolom).

Tabel 16. Minimaal benodigde monitoring van grondwater.

parameter	grondwater in peilbuis	water in onttrekkingsput	infiltratieput; onbehandeld water	infiltratieput; behandeld water
temperatuur				
EGV				
pH	X	X	X <sup>1)</sup>	X
redoxpotentiaal	bij voorkeur afleiden uit chemische samenstelling (redoxkoppels)			
Cl				X
SO <sub>4</sub>	X			X
NO <sub>3</sub>	X	X	X <sup>1)</sup>	X
HCO <sub>3</sub>	X	X <sup>6)</sup>		X
Na			X <sup>0)</sup>	X
K			X <sup>0)</sup>	X
Ca	X	X <sup>6)</sup>	X <sup>0)</sup>	X
Mg	X		X <sup>0)</sup>	X
Fe <sup>4)</sup>	X	X	X <sup>1)</sup>	X
Mn <sup>4)</sup>	X	X	X <sup>1)</sup>	X
Al	X	X	X <sup>1)</sup>	X
NH <sub>4</sub>				
PO <sub>4</sub>				
SiO <sub>2</sub>				
DOC				
O <sub>2</sub> <sup>5)</sup>	X	X	X <sup>1)</sup>	X
CH <sub>4</sub> <sup>4)</sup>	X	X	X <sup>1)</sup>	X
CO <sub>2</sub>				X <sup>2)</sup>
N <sub>2</sub>				
H <sub>2</sub> S	reuk	reuk!		
MFI				X
AOC				X
SI <sub>kalk</sub> <sup>3)</sup>	X	X <sup>6)</sup>		X
zwevende stof			X	X
deeltjes			X	X

0) alleen bij infiltratie in een pakket met volledig ander grondwater (bijvoorbeeld zoet water in een zoutwaterpakket en vice versa), in verband met kleizwelling. Problemen zijn te verwachten indien SAR > 15;

1) dient gelijk te zijn aan de gemeten waarde in het onttrokken grondwater;

2) te berekenen uit pH en concentratie van HCO<sub>3</sub>;

3) SI<sub>kalk</sub> te berekenen uit volledige chemische analyse, te schatten uit gedeeltelijke analyse;

4) bij (volledige) afwezigheid van zuurstof niet relevant;

5) afwezig bij aanwezigheid van ijzer, mangaan of methaan. Bij afwezigheid van deze parameters niet relevant;

6) als het grondwater kalkverzadiging vertoont, of hoge CO<sub>2</sub>-gehalten bevat.



Tabel 16 bevat een overzicht van parameters die in de aangegeven situatie altijd moeten worden uitgevoerd. Bij meerdere parameters is niets aangegeven. Dit betekent dat analyse van deze parameters onder 'normale' omstandigheden niet noodzakelijk is, maar wel onder bijzondere omstandigheden. Hierbij kan worden gedacht aan afzettingen met veel organisch materiaal waar het grondwater hoge concentraties ammonium, fosfaat, kiezelzuur en organisch koolstof kan bevatten. Deze parameters kunnen de zuivering bemoeilijken en kunnen neerslagen vormen waardoor infiltratieputten verstopten.

#### *Aanvullende opmerkingen*

De waarnemingen op bovengenoemde drie niveaus (situering, boorbeschrijving en grondwateranalyses) moeten met elkaar in lijn zijn. Bijvoorbeeld: een infiltratiegebied ligt wat hoger dan de omgeving, bestaat uit blondgekleurd zand en het ondiepe grondwater bevat geen ijzer. Indien deze waarnemingen niet in lijn zijn, is het opgebouwde beeld niet juist of is de situatie zeer uitzonderlijk.

Bij het vaststellen van verstoppingsrisico's aan de onttrekkingszijde levert de samenstelling van onttrekkingswater alleen onvoldoende inzicht, aangezien de samenstelling van het onttrokken grondwater door het verstoppingsproces veranderd kan zijn. Voorbeelden van deze processen zijn ontgassing, vorming van mengwater (bijvoorbeeld ijzer(II) met zuurstof) en kalkprecipitatie. Het is in dat geval noodzakelijk om analysegegevens van (onbeïnvloed) grondwater in combinatie met gegevens van het onttrekkingsstelsel (met name filterstelling) te gebruiken. Overigens kunnen kwaliteitsgegevens van water uit een onttrekkingsput wel aanvullende gegevens leveren over de verstoppingsoorzaak aan de onttrekkingszijde.

De ruimtelijke spreiding van de bemonsteringspunten is afhankelijk van de geohydrologische situatie. Indien met verschillende chemische samenstellingen van het grondwater rekening moet worden gehouden, in het bijzonder het voorkomen van zuurstof en van ijzer, is het noodzakelijk iedere chemische samenstelling afzonderlijk te bepalen in verband met de mogelijke menging van niet-compatibele waters door onttrekking en/of infiltratie. Deze spreiding heeft zowel betrekking op de horizontale richting (kleinschalige infiltratie/kwelsystemen) als de verticale richting (overgang van oxiderend naar reducerend milieu).

Verschillende afbraakprocessen in verontreinigde zones kunnen de groei van biomassa en de vorming van gassen stimuleren. Dit geldt ook bij de infiltratie van bepaalde hulpstoffen voor het verhogen van de biologische activiteit in de bodem. De vaststelling van de aard van de verontreiniging in combinatie met de gegevens over de redoxsituatie kan helpen bij de evaluatie van deze risico's.

Het meten van de redoxpotentiaal in het veld blijkt allerm minst eenvoudig te zijn en leidt vaak tot onbetrouwbare resultaten. Op zijn minst dient van veldmetingen te worden nagegaan of de vastgestelde redoxpotentiaal consistent is met andere gemeten redoxparameters. Zoals vermeld in tabel 16 gaat de voorkeur echter uit naar het afleiden van de redoxpotentiaal uit analyseresultaten van relevante redoxkoppels, zoals sulfide/sulfaat, Fe(II)/Fe(III), ammonium/nitraat, en uit de aan/afwezigheid van methaan, zuurstof, en dergelijke.

Overzicht van behandelde cases.

paragraaf	locatie	eindgebruiker
9.1	Weert *	Akzo Nobel
9.2	Wenum	NEMEF
9.3	Bunnik-Dravo	Provincie Utrecht/EU-
9.4	Akzo-Botlek *	Akzo Nobel
9.5	Hoogeveen-Evenblij *	Provincie Drenthe
9.6	Almelo-Hedeman	-
9.7	Tilburg *	SBNS
9.8	Barneveld	-
9.9	Roermond *	-
9.10	Slochteren *	NAM
9.11	Schoonebeek *	NAM
9.12	Rademarkt-Groningen	Provincie Groningen

\* NOBIS-project

## HOOFDSTUK 9

### BESCHRIJVING VAN DE CASES

In dit hoofdstuk wordt de beslissystematiek getoetst op twee hoofdcases, namelijk Akzo Nobel te Weert en NEMEF te Wenum, en een aantal beknopte praktijkcases (zie het overzicht hiernaast).

Bij de toetsing komt een aantal aspecten aan de orde:

- het vastleggen van voldoende basisgegevens;
- het inzichtelijk maken van het proces dat leidt tot identificatie van kritische parameters, keuzes (beslismomenten) en keuze van de vereiste monitoringswijze(n);
- praktische waarde (logische stappen, bredere toepasbaarheid);
- juistheid van het advies dat verkregen wordt met behulp van de systematiek;
- het vaststellen van leemten in de systematiek (werkingsgebied, detailinformatie) en het aan-geven van verbeterpunten.

Van elke praktijkcase zijn de essentiële gegevens systematisch verzameld om een beoordeling van verstoppingsrisico's mogelijk te maken. Deze gegevens betreffen karakteristieken van het saneringsconcept en de basisgegevens uit het vooronderzoek. De gevolgde procedure bij het verzamelen en interpreteren van deze gegevens is uitgebreid besproken in hoofdstuk 8.

#### 9.1 Akzo Nobel te Weert

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [NITG-TNO, 1998 en 1999; Tauw, 1989, 1990, 1991, 1996c en 1998e].

##### 9.1.1 *Beschrijving van het saneringsconcept*

De grond en het grondwater op het voormalige bedrijfsterrein van Akzo Nobel te Weert is verontreinigd met gechloreerde koolwaterstoffen (CKW) en zware metalen. De bulk van de grondwaterverontreiniging bevindt zich in de lemige deklaag en de tussenzandlaag, maar is ook aangetroffen bovenin het eerste watervoerende pakket.

Er zijn twee hoofdvarianten voor het onttrekkings- en infiltratiesysteem:

1. Benedenstrooms onttrekken van 420 m<sup>3</sup>/d en infiltratie van 50 % van het tot 2 ppb gezuiverde grondwater bovenstrooms (2 afzonderlijke putten), zodat een hydrologisch geïsoleerde zone ontstaat op de verontreinigde locatie. De andere 50 % van het onttrokken water wordt gezuiverd en geloosd op het oppervlaktewater.
2. Bovenstrooms onttrekken van de achtergrondstroming (ca. 500 m<sup>3</sup>/d) en infiltratie benedenstrooms (2 x 4 putten) van 100 % van ongezuiverd 'schoon' water, zodat een stagnante zone ontstaat op de verontreinigde locatie. In de stagnante zone wordt volgens het 'smart pump and treat' principe 72 m<sup>3</sup>/d (8 putten) onttrokken en na zuivering geloosd op het oppervlaktewater.

Volgens het saneringsplan zal de zuivering van het onttrokken grondwater bestaan uit ontijzering, striptoren en ionenwisselaar voor verwijdering van zware metalen.

In tabel 17 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 17. Gegevens van het saneringsconcept Akzo Nobel te Weert.

SANERINGSCONCEPT: 'Pump and treat' van een CKW-verontreiniging, met aanvullende geohydrologische beheersing door beïnvloeding van de natuurlijke grondwaterstroming				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
onttrekking bovenstrooms + infiltratie benedenstrooms	omleiding natuurlijke grondwaterstroming	geen behandeling	niet van toepassing	> 10 jaar
onttrekking in stagnante zone, waterbehandeling + lozing	beheersing/sanering	niet relevant (lozing op riool na behandeling)	niet van toepassing	> 10 jaar

### Projectstatus

Uitgangspunt in het uitgevoerde onderzoek is variant 2, aangezien dit de voorkeursvariant is. De status van dit onderzoek is een vooronderzoek. Er ligt een globaal ontwerp, echter nog geen detailinvulling.

### 9.1.2 Basisgegevens van de case

#### Hydrogeologie

De bodemopbouw van de locatie, gebaseerd op de beschikbare informatie uit boringen en sonderingen, is als volgt:

Diepte (-mv)	Lithologie	Hydrogeologie
0 - 4 m	fijn en matig grof zand	deklaag
4 - 5 m	zandige leem	leemlaag
5 - 17 m	grof zand, grind	tussenzandlaag
17 - 20 m	klei	kleilaag
> 20 m	grof zand, grind	eerste watervoerende pakket

De kleilaag op 17 m-mv heeft een beperkte laterale verbreiding.

#### Samenstelling van bodem

Er zijn naast lithologische beschrijving van de boormonsters (zie bovenstaand overzicht) geen analyses van de grondmonsters beschikbaar. De transmissiviteit van de deklaag is geschat op 5 m<sup>2</sup>/d, die van de tussenzandlaag is geschat op 150 m<sup>2</sup>/d, die van het watervoerende pakket op 2.000 m<sup>2</sup>/d. De weerstand van de kleilaag bedraagt 1.000 tot 3.000 dagen, daar waar de kleilaag aanwezig is.

#### Samenstelling van grondwater

Tot 1999 uitgevoerde grondwateranalyses bevatten alleen de sulfaat- en ijzermetingen en analyses van gechloroerde koolwaterstoffen (tetra, chloroform, per en tri). Op advies van het (infiltratie) consortium zijn in oktober 1999 op 7 locaties 15 grondwatermonsters genomen uit peilbuizen en minifilters, die geplaatst zijn in de tussenzandlaag en het eerste watervoerende pakket. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in bijlage A.

#### Grondwaterdiepte en grondwaterstroming

De diepte tot het freatisch grondwater varieert tussen 0,5 en 1 m. De grondwaterstanden en stijghoogten ten opzichte van NAP, in de verschillende bodemlagen, zijn als volgt samengevat:

Hydrogeologische eenheid	Grondwaterstand (m+NAP)
deklaag	33,5 - 34,0 (1991)
tussenzandlaag	32,6 - 33,3 (91/95)
eerste watervoerende pakket	32,0 - 32,3 (91/95)

maaiveld: circa 34,5 m+NAP

Het gebied is een infiltratiegebied. Volgens de TNO-grondwaterkaart is de regionale grondwaterstroming zowel in de tussenzandlaag als in het watervoerende pakket daaronder noord tot noordwest gericht. De lokale grondwaterstroming wordt beïnvloed door een grondwaterbeheersysteem van een aangrenzend bedrijf, 1,5 - 2 km ten noorden van het voormalig bedrijfsterrein.

### Samenvatting van gegevens op basis van de beslissingssystematiek

Na een eerste inventarisatie van beschikbare gegevens zijn aanbevelingen gedaan voor aanvullende metingen. Hierbij is de aandacht gericht geweest op de samenstelling van het grondwater in zowel het bovenstroomse (onttrekkings) gebied als het benedenstroomse (infiltratie) gebied. Daarbij was het met name van belang te onderzoeken in hoeverre de samenstelling van het grondwater in ruimtelijke zin varieert. Het freatisch water is in dit onderzoek buiten beschouwing gebleven, omdat de invloed van dit water gering werd geacht door de aanwezigheid van een intacte leemlaag. Bij de evaluatie van de verstoppingsrisico's in Weert zijn de basisgegevens aldus ingedeeld in twee verticale (tussenzandlaag en watervoerend pakket) en twee horizontale zones (onttrekkingsgebied en infiltratiegebied). De gegevens zijn samengevat in de tabellen 18a tot en met 18d, conform de beslissingssystematiek (zie ook bijlage A).

Tabel 18a. Basisgegevens Weert: Infiltratiezone, tussenzandlaag (PB1200, PB1201, PB1100 en PB1051) (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	10	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	n.b.
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	n.b.
B1	zuurgraad water	5,3 - 6,3	-	B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	-79 - +15	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	2, 3
B3	ijzer(II)	13 - 130	mg/l	0,1 mg/l met B2, B14, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	16 - 110	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0,1 - 1,7	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	0,2 - 12	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B9	calcium	5 - 80	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0	nee	geen
B10	magnesium	3 - 21	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0	nee	geen
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	n.b.
B12	methaan	1,5 - 8,6	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	-1,7 - -3,1	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	ja	4
B14	bicarbonaat	0,1 - 0,4	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1	nee	geen
B15	sulfaat	3 - 320	mg/l	SI(gips) > 0 B2	nee ja	geen
B16	nitraat	0,05	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B9, B10, B11, B3	n.b.	n.b.
B18	elektrische geleidbaarheid	10 - 91	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	3,4 - 9,8	mg/l	B2, B15, B16, B20	nee	geen
B20	zuurstof	0,1 - 0,3	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	n.b.	mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	n.b.
C1	grondwaterstand	1,5	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	17	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	n.v.t.	m <sup>3</sup> /d	B13, D5, D6	n.v.t.	n.v.t.
D2	infiltratiedebiet	zie boven	m <sup>3</sup> /d	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22 \frac{z}{z}$	n.b.	1, 4
D3	onttrekkingsdiepte	n.v.t.	m-mv	B, C, D4, E1	nee	1, 4
D4	infiltratiediepte	n.b.	m-mv	B, C, D3, E1	n.b.	1, 4
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $d_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 M <sub>50</sub> (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	n.b.		B7 - B10, B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	nee.	geen
E2	beluchting	ja		B20	ja	2, 3, 4
E3	pH-verandering	nee		B1	nee	geen

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
E4	deeltjesverwijdering	nee		B21	nee	geen
E5	toeslagstoffen	nee		B2, B15, B16, B20, E2	nee	geen

Tabel 18b. Basisgegevens Weert: Infiltratiezone, watervoerend pakket (PB1202, PB1102 en PB1053) (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	30	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	n.b.
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	n.b.
B1	zuurgraad water	4,8 - 6,0	-	B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	-82 - +23	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	2, 3
B3	ijzer(II)	9 - 79	mg/l	0,1 mg/l met B2, B14, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	9 - 85	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0,1 - 1,1	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	0,5 - 11	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B9	calcium	13 - 50	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0	nee	geen
B10	magnesium	2 - 14	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0	nee	geen
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	n.b.
B12	methaan	0,3 - 6,3	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	-1,1 - -1,7	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	ja	4
B14	bicarbonaat	0,1 - 0,9	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1	nee	geen
B15	sulfaat	2 - 260	mg/l	SI(gips) > 0 B2	nee ja	geen
B16	nitraat	0,05	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B9, B10, B11, B3	n.b.	n.b.
B18	elektrische geleidbaarheid	18 - 77	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	3,0 - 6,9	mg/l	B2, B15, B16, B20	nee	geen
B20	zuurstof	0,2	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	n.b.	mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	n.b.
C1	grondwaterstand	2,0	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	17	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	n.v.t.	m <sup>3</sup> /d	B13, D5, D6	n.v.t.	n.v.t.
D2	infiltratiedebiet	zie boven	m <sup>3</sup> /d	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22z$	n.b.	1, 4
D3	onttrekkingsdiepte	n.v.t.	m-mv	B, C, D4, E1	n.v.t.	1, 4
D4	infiltratiediepte	5 - 15	m-mv	B, C, D3, E1	nee	1, 4
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $d_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 M <sub>50</sub> (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	n.b.		B7 - B10	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	n.b.		A3, B1, B12, B13, B14	n.b.	2, 3, 4
E2	beluchting	ja		B20	ja	2, 3, 4
E3	pH-verandering	n.b.		B1	n.b.	2, 3
E4	deeltjesverwijdering	n.b.		B21	n.b.	1
E5	toeslagstoffen	neen		B2, B15, B16, B20, E2	nee	geen

Tabel 18c. Basisgegevens Weert: Onttrekkingszone, tussenzandlaag (MF101, MF208, MF210 en PB113a, b en c) (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	10	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	n.b.
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	n.b.
B1	zuurgraad water	5,4 - 6,3	-	B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	-69 - +70	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	2, 3
B3	ijzer(II)	12 - 59	mg/l	0,1 mg/l met B2, B14, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	17 - 60	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0,2 - 0,4	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	0,4 - 48	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B9	calcium	12 - 42	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0	nee	geen
B10	magnesium	4 - 10	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0	nee	geen
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	n.b.
B12	methaan	0,1 - 0,5	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	-1,1 - -2,0	log P <sub>CO2</sub>	P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	ja	4
B14	bicarbonaat	0,2 - 2,0	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1	nee	geen
B15	sulfaat	45 - 150	mg/l	SI(gips) > 0 B2	nee ja	geen
B16	nitraat	0,05	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B9, B10, B11, B3	n.b.	n.b.
B18	elektrische geleidbaarheid	33 - 72	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	2,5 - 5,6	mg/l	B2, B15, B16, B20	n.b.	3
B20	zuurstof	0,2 - 0,3	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	n.b.	mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	n.b.
C1	grondwaterstand	1,5	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	afwezig	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	n.b.	m <sup>3</sup> /d	B13, D5, D6	n.b.	1, 4
D2	infiltratiedebiet	n.v.t.	m <sup>3</sup> /d	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22z$	n.v.t.	n.v.t.
D3	onttrekkingsdiepte	5 - 15	m-mv	B, C, D4, E1	nee	1, 4
D4	infiltratiediepte	n.v.t.	m-mv	B, C, D3, E1	n.v.t.	1, 4
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $d_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 -5 M <sub>50</sub> (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	n.b.		B7 - B10, B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	n.b.		A3, B1, B12, B13, B14	n.b.	2, 3, 4
E2	beluchting	ja		B20	ja	2, 3, 4
E3	pH-verandering	n.b.		B1	n.b.	2, 3
E4	deeltjesverwijdering	neen		B21	n.b.	1
E5	toeslagstoffen	neen		B2, B15, B16, B20, E2	nee	geen

Tabel 18d. Basisgegevens Weert: Onttrekkingszone, watervoerend pakket (MF208 en MF210)  
(een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	30	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	n.b.
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	n.b.
B1	zuurgraad water	6,0 - 6,3	-	B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	n.b.	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	2, 3
B3	ijzer(II)	19 - 23	mg/l	0,1 mg/l met B2, B14, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	19 - 23	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0,2 - 0,4	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	n.b.	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	n.b.
B9	calcium	26 - 31	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0	nee	geen
B10	magnesium	5 - 7	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0	nee	geen
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	n.b.
B12	methaan	n.b.	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	-1,3 - -1,6	log $P_{CO_2}$	log $P_{CO_2} > -3,5$ (atm), E1, B1, B14	ja	4
B14	bicarbonaat	0,9 - 0,1	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1	nee	geen
B15	sulfaat	47 - 56	mg/l	SI(gips) > 0 B2	nee	geen
B16	nitraat	0,05	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B9, B10, B11, B3	n.b.	n.b.
B18	elektrische geleidbaarheid	41 - 42	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	3 - 20	mg/l	B2, B15, B16, B20	nee	geen
B20	zuurstof	0,2	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	n.b.	mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	n.b.
C1	grondwaterstand	zie boven	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	zie boven	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	zie boven	m <sup>3</sup> /d	B13, D5, D6	?	1, 4
D2	infiltratiedebiet	n.v.t.	m <sup>3</sup> /d	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22z$	n.v.t.	n.v.t.
D3	onttrekkingsdiepte	25 - 35	m-mv	B, C, D4, E1	nee	geen
D4	infiltratiediepte	n.v.t.	m-mv	B, C, D3, E1	n.v.t.	1, 4
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $\alpha_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	n.b.		B7 - B10, B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	n.b.		A3, B1, B12, B13, B14	n.b.	2, 3, 4
E2	beluchting	ja		B20	ja	2, 3, 4
E3	pH-verandering	n.b.		B1	?	2, 3
E4	deeltjesverwijdering	n.b.		B21	?	1
E5	toeslagstoffen	n.v.t.		B2, B15, B16, B20, E2	nee	geen

### 9.1.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

#### Kritische parameters voor verstoppingsrisico's

Zoals eerder is vermeld worden de verstoppingsrisico's grotendeels beoordeeld op het grondwater uit de tussenzandlaag en het watervoerende pakket. Het freatisch water is grotendeels buiten beschouwing gelaten, omdat de invloed van dit water gering wordt geacht door de aanwezigheid van een intacte leemlaag over vrijwel het gehele terrein. In de onttrekkingszone is de leemlaag echter plaatselijk onderbroken, zodat aldaar de kwaliteit van het freatisch water relevant kan zijn.



## 1 Accumulatie van bodemdeeltjes

- *Doorlatendheid (A1) en deeltjes (B21)*

Dit risico kan niet worden geëvalueerd, omdat geen MFI index is bepaald. De relatief hoge doorlatendheid wijst op grof materiaal met een klein gehalte aan fijne fractie. Dit zou kunnen wijzen op een laag risico.

## 2 Fysisch-chemische neerslagen

- *IJzer (B3, B4), mangaan (B5), zuurstof (B20) en redoxpotential (B2)*

Uit de tabellen blijkt dat ijzer en mangaan de kritische waarden in alle vier de zones overschrijden. Dit betekent dat bij elk contact met zuurstof neerslagen kunnen worden gevormd. Met betrekking tot het risico dat dit contact met zuurstof optreedt, kan het volgende worden geconcludeerd:

1. In de boorbeschrijvingen wordt regelmatig melding gemaakt van bruinegekleurde afzettingen tot op een diepte van maximaal 3 - 4 m. Dit duidt op ijzernerneerslagen, dus aërobe omstandigheden. Op grotere diepte vanaf 4,5 m bevat het grondwater hoge concentraties ijzer, die op verontreinigde locaties zelfs zeer hoog zijn. De aanwezigheid van ijzer spoort met de afwezigheid van nitraat (een indicatorparameter voor zuurstof). Op 4,5 m en dieper is het grondwater dus anaëroob.
2. De zuurstofmetingen in het veld in ondiep grondwater tonen gehalten tegen de detectiegrens. Vanwege de geringe betrouwbaarheid van veldmetingen bij lage zuurstofgehalten, en het feit dat dezelfde lage zuurstofgehalten in diep grondwater zijn gemeten, is het waarschijnlijk dat zuurstof afwezig is. Allerlei waarnemingen ondersteunen dit: hoge ijzer(II)gehalten, methaanvorming, lage sulfaatgehalten ten gevolge van sulfaatreductie (zie verder) en negatieve tot lage positieve waarden voor de redoxpotential.

Dit betekent dat er geen verstopping door ijzer of mangaan zal optreden zolang de bovenzijde van het putfilter voldoende diep gesteld is. Een risico ontstaat bij het (gedeeltelijk) aantrekken van ondiep grondwater (en dus het ontstaan van mengwater) en bij het inleken van zuurstof in het systeem.

Andere neerslagen zijn niet te verwachten. De berekende verzadigingsindexen (SI) voor calciet en gips (zie bijlage A) wijzen op een onderverzadiging en derhalve geen vorming van neerslagen. Aluminiumgehalten zijn hoog maar indien de pH onder de kritische waarde van 6,5 blijft, zijn er geen problemen te verwachten.

## 3 Biologisch-gevormde neerslagen

- *Methaan (B12)*

Methaan is een product van anaërobe afbraak van organische verontreinigingen en wordt in hoge gehalten aangetroffen in de infiltratiezone. Methaan kan bij oxidatie met zuurstof tot biologisch verstopping leiden.

- *Sulfaat (B15) en organische koolstof (B19)*

Hoge sulfaatconcentraties kunnen kritisch zijn indien er afbreekbare organische verbindingen beschikbaar zijn en er dientengevolge sulfaatreductie optreedt. Er is niet bemonsterd op sulfide, echter de boorstaten van de infiltratiezone (benedenstrooms van het verontreinigde gebied) vermelden de geur van 'rotte eieren', wat een goede indicatie is voor H<sub>2</sub>S. Ook de sulfaatconcentraties aldaar zijn laag. Gevormd sulfide zal voor een groot deel worden vastgelegd als onoplosbaar metaalsulfide. In de onttrekkingszone treedt geen sulfaatreductie op, vermoedelijk door afwezigheid van afbreekbaar organische koolstof. De lage DOC-concentraties (B19) in grondwater zijn niet in tegenspraak daarmee.

#### 4 Accumulatie van gassen

- *Methaan (B12)*

In het onttrekkingsgebied is methaan in twee monsters bepaald. De concentraties zijn laag, zodat gasclogging niet waarschijnlijk lijkt.

- *Kooldioxide (B3)*

Het grondwater bevat geringe gehalten aan vrij kooldioxide ( $\log P_{CO_2} < 0,05$  bar; berekend uit bicarbonaatgehalten en pH). Bij onttrekking is geen  $CO_2$ -ontgassing te verwachten, ook omdat het systeem op overdruk wordt gehouden. De risico's van gasclogging zijn daarmee nihil. Overigens is het grondwater ten opzichte van de omgevingslucht in alle gevallen oververzadigd met  $CO_2$ . Dit betekent dat beluchting zal leiden tot  $CO_2$ -ontgassing.

#### 5 Kleizwelling (en kleidispersie)

- *Natrium (B7), kalium (B8) en magnesium (B10)*

Er zijn geen gegevens beschikbaar voor CEC van het grondmonster of SAR van het grondwater. Omdat de ionsterkte van het onttrokken water (op basis van EC) hoger is dan die van het grondwater in het infiltratiegebied, kan het risico van kleizwelling niet worden uitgesloten. Analysegegevens van natrium, kalium en magnesium zijn noodzakelijk om dit (theoretische) risico te kunnen beoordelen.

### 9.2 NEMEF te Wenum

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [HWZ Milieu bv, 1999; Tauw, 1996b, 1998c en 1998d].

#### 9.2.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het saneringsconcept bestaat uit het beheersen van de grondwaterverontreiniging op de locatie en binnen het beheersgebied het bewerkstelligen van biologische afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen (CKW) en immobilisatie van zware metalen door middel van substraatinjectie in de bodem. Hierbij zijn drie waterstromen gecreëerd:

- grondwateronttrekking met deepwell en onbehandelde infiltratie met tien filters (D5-I2/I3). Door substraatinjectie in de omstorting van de tien filters wordt de microbiële populatie gestimuleerd tot (cometabolische) afbraak van CKW's en tot sulfaatreductie voor de vastlegging van metalen als metaalsulfiden;
- grondwateronttrekking met deepwell, behandeling met zandfilter en stripper en lozing op de riolering (D4);
- grondwateronttrekking met drie deepwells, behandeling met zandfilter, stripper, actief kool en ionenwisselaar en injectie in de bodem (D1a/b, D3).

In tabel 19 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 19. Gegevens van het saneringsconcept NEMEF te Wenum.

SANERINGSCONCEPT: Grondwaterbeheersing op de locatie en gestimuleerde anaërobe afbraak van CKW's en immobilisatie van zware metalen door middel van substraatinjectie				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
onttrekking + infiltratie + toevoegingen	beheersing, anaërobe afbraak, immobilisatie	niet van toepassing	methanol, via filteromstorting	> 10 jaar
onttrekking + waterbehandeling + lozing	beheersing	beluchting	niet van toepassing	> 10 jaar
onttrekking + waterbehandeling + infiltratie	beheersing, infiltratie	beluchting, deeltjesverwijdering, ionenuitwisseling	niet van toepassing	> 10 jaar

### Projectstatus

Het project wordt sinds de ontwerpfase gevolgd en is momenteel in uitvoering. De waterstromen zijn begin augustus 1999 gecreëerd. De waterstromen A en B lopen zoals is gepland. De toevoeging van substraat (methanol) zal vanaf december 1999 plaatsvinden. Waterstroom C wordt op dit moment nog op de riolering geloosd, omdat de normen voor ijzer (infiltratie) niet worden gehaald. Begin december 1999 zal, na een aanpassing in de zuiveringsinstallatie en controle, de waterstroom in de bodem worden geïnfilteerd.

### 9.2.2 Basisgegevens van de case

De basisgegevens van de vier processen hydrologie, geochemie, biologie en technologie zijn in bijlage B weergegeven. Een overzicht van de belangrijkste gegevens en kritische parameters is in tabel 20 gegeven.

Tabel 20. NEMEF: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	5 - 20, 30 - 50	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b.		ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad grond	n.b.	mg/l	B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	5,6 - 7,1	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	n.b.	mV	B3, B5, B11, B12, B15	n.b.	2, 3
B3	ijzer(II)	5 - 20	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	5 - 20	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0,4 - 1,4	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	0,24	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	5
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	5
B9	calcium	40 - 70, $SI_{\text{calciet}} < -0,3$ $SI_{\text{gips}} < -3,6$	mg/l	$SI(\text{calciet}) > 0$ , $SI(\text{gips}) > 0$ A2 (ESP > 25 %)	nee n.b.	geen 5
B10	magnesium	3 - 12 $SI(\text{MgCO}_3) < -3$	mg/l	$SI(\text{MgCO}_3) > 0$ A2 (ESP > 25 %)	nee n.b.	geen 5
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	2, 3
B12	methaan	0,2 - 1	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	-1,2 - -1,9	log $P_{\text{CO}_2}$	log $P_{\text{CO}_2} > -3,5$ (atm), E1, B1, B14	ja	2, 3, 4
B14	bicarbonaat	1,6 - 4,1	mmol/l	$SI(\text{carbonaten}) > 0$ , B1	nee	geen
B15	sulfaat	6 - 30	mg/l	B2 $SI(\text{gips}) > 0$	ja nee	3 geen
B16	nitraat	0,05 - 0,25	mg/l	B2, B3, B20	ja	2, 3, 4
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B3, B9, B10, B11	n.b.	2, 3
B18	elektrische geleidbaarheid	circa 60	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	4 - 45	mg/l	B2, B15, B16, B20	nee	geen
B20	zuurstof	0,6 - 2,7	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	1 - 11	$s/l^2$ mg/l	$MFI > 3 s/l^2$ , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	ja	1
C1	grondwaterstand	1,0	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	12	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	548	$m^3/d$	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	452	$m^3/d$	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22 z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	6 - 12 en 16 - 21	m-mv	B, C, D4, E1	nee	geen
D4	infiltratiediepte	6 - 12 en 30 - 40	m-mv	B, C, D3, E1	nee	geen
D5	filterspleetgrootte	0,6	mm	D1, D6	nee	geen
D6	grindomstorting $d_p$	0,8 - 1,25	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	nee	geen
D7	boormethode	pulsen		B7 - B10, B21	nee	1, 5
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	nee	geen
E2	beluchting	ja, influentbuffer, striptoren		B20	ja	2, 3, 4
E3	pH-verandering	ja, < +0,5		B1	nee	geen
E4	deeltjesverwijdering	ja, zandfilter (sachto-		B21	ja	1

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/ne e	risico
		klar), ionenwisselaar				
E5	toeslagstoffen	ja, methanol		B2, B15, B16, B20, E2	ja	2, 3

### 9.2.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

#### 1 Accumulatie van bodemdeeltjes

- *Doorlatendheid (A1) en deeltjes (B21)*

De MFI-waarden van de deepwells D1a, D1b en D5 zijn relatief hoog. Alleen deepwell D5 is van belang, in verband met de directe infiltratie van dit water. De MFI is bepaald bij een normsnelheid van 1 m/hr op de boorgatwand. De snelheid in de praktijk is lager en daarvoor ook de verstoppingssnelheid. Aanbevolen wordt de SV-factor van deepwell D5 vast te stellen door middel van capaciteitstests en eventueel een beschermend filter te plaatsen, zodat de infiltratiefilters minder snel verstopten.

#### 2 Fysisch-chemische neerslagen

- *IJzer (B3, B4), mangaan (B5), zuurstof (B20) en redoxpotentiaal (B2)*

Op basis van tabel 20 kan worden geconcludeerd dat menging van ondiep aëroob en ijzerarm water met dieper anaëroob en ijzerrijk water een risico vormt, waardoor zowel onttrekkingsmiddelen als infiltratiemiddelen verstopt kunnen raken. Het consortium heeft aanbevolen de diepte van het zuurstoffront, dat wil zeggen de overgang van aëroob naar anaëroob, te bepalen. Ook de aanwezigheid van geringe hoeveelheden nitraat geeft aan dat zuurstof op grotere diepte aanwezig kan zijn.

In het voorjaar van 1999 is door NITG-TNO met een zuurstofconus het zuurstoffront bepaald (zie bijlage B). De overgang van aëroob water naar anaëroob water bevindt zich tussen 2,0 en 2,5 m-mv. De filterstelling van de deepwells was voorzien op 4 tot 12 m-mv. Op basis van het resultaat van de zuurstofmeting zijn een aantal berekeningen uitgevoerd met een grotere filterdiepte. Uit de hydrologische modelberekeningen (zie bijlage B) blijkt dat zuurstofrijk water na een maand in het onttrekkingsfilter, met een filterstelling van 6 tot 12 m-mv, terecht kan komen. Het dieper plaatsen van het filter kan het aantrekken van zuurstofhoudend water niet volledig verhinderen. Zo zal zuurstofhoudend water binnen twee maanden in het onttrekkingsfilter terechtkomen wanneer het filter twee meter dieper wordt geplaatst. Aanbevolen is, mede gezien de gewenste doorspoeling van de bodem, het filter niet dieper te plaatsen. Het onttrekkingsfilter zal regelmatig onderhouden moeten worden door middel van het regenereren van het filter. Tevens is aanbevolen het bestaande onttrekkingsfilter van deepwell D1a tot 6 m-mv af te dichten.

Bij infiltratie van gezuiverd water (waterstroom C, zie saneringsconcept) is het noodzakelijk dat de ontijzering volledig is, dat wil zeggen < 0,1 mg/l restconcentratie; het water zal na beluchting en zandfiltratie immers zuurstofrijk zijn. In principe is in de ontwerpfaserekening gehouden met een processtap voor volledige ontijzering. Tijdens de uitvoeringsfase zijn de monitoringsresultaten van in- en effluentwater van de waterzuivering door het consortium (mede)beoordeeld. Het grondwater blijkt niet eenvoudig te ontijzeren en is niet geschikt geacht voor infiltratie. Uiteindelijk is in de procesvoering gekozen voor continue dosering van een vlokingsmiddel. De ontijzering is hiermee succesvol verlopen en de aanwezigheid van geringe hoeveelheden vlokingsmiddel is niet als problematisch beoordeeld voor de retourbemaling.

#### 3 Biologisch-gevormde neerslagen

- *Methaan (B12)*

Methaan is een product van anaërobe afbraak van organische verontreinigingen en wordt in relatief hoge gehalten aangetroffen. Methaan kan, bij intrek van zuurstofhoudend grondwater of bij uitwisseling met omgevingslucht (lek in het onttrekkingsstelsel), oxideren en tot biologische verstopping leiden.

- *Sulfaat (B15) en organische koolstof (B19)*

In aanwezigheid van biologisch afbreekbaar organische koolstof bestaat een kans op sulfaatreductie. Het hierbij gevormde sulfide kan verstopping veroorzaken door de vorming van sulfidische neerslagen met diverse metaalionen, waaronder ijzer(II).

- *Methanol (E5)*

Methanol is een goed afbreekbaar substraat voor bacteriën, mits een geschikte elektronenacceptor aanwezig is (zuurstof, nitraat, sulfaat). Het grondwater zal bij infiltratie elektronenacceptor bevatten, zelfs wanneer zuurstofintrek kan worden voorkomen. Daarom is aanbevolen om het substraat via een separate leiding in het bodempakket of in de omstorting van de deepwell te injecteren. Bovendien is aanbevolen om toxische concentraties methanol te injecteren, om hiermee teruggroei in de omstorting of injectieleiding te voorkomen.

#### 4 Accumulatie van gassen

- *Methaan (B12)*

De maximaal gemeten gasverzadiging bedraagt circa 3 %. Er is dus geen ontgassingsrisico.

- *Kooldioxide (B3)*

De berekende kooldioxidedruk ( $\log P_{CO_2}$ ) is niet in evenwicht met de atmosferische druk. Bij waterzuivering kan er dus ontgassing optreden. De druk is echter niet zo hoog dat er tijdens onttrekking (door geringe drukveranderingen)  $CO_2$ -ontgassing zal optreden. Daarmee is de kans op gasclogging door  $CO_2$  nihil. Ook is hiermee het risico van kalkprecipitatie ten gevolge van  $CO_2$ -ontgassing en de daaraan gekoppelde verschuiving van het kalk-koolzuurevenwicht te verwaarlozen.

#### 5 Kleizwelling (en kleidispersie)

- *Natrium (B7), kalium (B8) en magnesium (B10)*

Aangezien de meetgegevens niet beschikbaar zijn kan er geen uitspraak worden gedaan over het risico van kleizwelling/kleidispersie bij retourbemaling.

### 9.3 Dravo te Bunnik

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Tauw, 1995, 1996a, 1997, 1998a, 1998b, 1999a en 1999b; Van der Weiden en Willemsen, 1991].

#### 9.3.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het saneringsconcept bestaat uit het stimuleren van biologische afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen en de vastlegging van zware metalen als metaalsulfiden door middel van substraatinjectie in de bodem. Verspreiding van het substraat wordt bereikt door in het proefgebied grondwater benedenstrooms te onttrekken en bovenstrooms in hetzelfde pakket onbehandeld te infiltreren. In tabel 21 is het saneringsconcept weergegeven.

#### *Projectstatus*

Het project wordt sinds de ontwerpfase gevolgd en is momenteel in uitvoering. In een eerste fase worden tracerexperimenten uitgevoerd ten behoeve van de modellering van de grondwaterstroming en optimalisatie van de monitoring. In de tweede fase worden verschillende wijzen van substraatdosering getest, namelijk via aparte injectiebuizen in het stroombanengebied, via peilbuizen in de omstorting van de infiltratiedeeppwell, of via de infiltratiedeeppwell na bovengrondse opmenging van substraat met grondwater. Voor een test wordt een tijdsduur van 1 tot enkele maanden aangehouden.

Tabel 21. Gegevens van het saneringsconcept Dravo te Bunnik.

SANERINGSCONCEPT: Gestimuleerde anaëroë afbraak door middel van substraatinjectie				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
onttrekking + infiltratie	stroombaanmetingen, test monitorsysteem	niet van toepassing	tracer (chloride, bromide, lithium)	weken
onttrekking + infiltratie + toevoegingen	cometabolische afbraak CKW, vastlegging metalen	niet van toepassing	methanol/lactaat, anoxisch op 3 manieren toegediend: - direct met retourwater - via peilbuisomstorting - via aparte injectiebuis	maanden

### 9.3.2 Basisgegevens van de case

In de ontwerpfase zijn de destijds beschikbare basisgegevens gebruikt voor een eerste beoordeling van verstoppingsrisico's. Geraadpleegde bronnen zijn:

- werkbetek [Tauw, 1998b];
- plan van aanpak [Tauw, 1998a];
- diverse monitoringsgegevens in kader van vooronderzoek en saneringsonderzoek [Tauw, 1995, 1996a en 1997].

Deze basisgegevens zijn samengevat in tabel 22.

Tabel 22. Dravo: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid (geschematiseerd)	5 - 10, < 5 m-mv 40 - 60, 5 - 35 m-mv 10 - 20, 36 - 55 m-mv	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	1,75 <sup>1)</sup>	%	ESP > 25 % (10 %)	nee	geen
A3	zuurgraad grond	-	-	B1	nee	geen
B1	zuurgraad water	6,9 - 7,3	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	17 - 36	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	2, 3
B3	ijzer(II)	0,5 - 14 <sup>2)</sup>	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal		mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	nee	geen
B5	mangaan	2,9	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	0,03	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	62	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B8	kalium	75	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B9	calcium	160, SI(gips) < -0,4 SI(calciet) = 0,3 à 0,7 ESP = 2,5	mg/l	SI(gips) > 0 SI(calciet) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee ja nee	2
B10	magnesium	16 - 29 SI(MgCO <sub>3</sub> ) < -3	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee nee	geen
B11	ammonium	33,5	mg/l	B2, B20	(ja)	2, 3
B12	methaan	4 - 230	µg/l	0,1 mg/l, B2, B20	(ja)	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	-1,5	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	ja	2, 4
B14	bicarbonaat	820	mg/l	SI(carbonaten) > 0, B1	ja	2, 4
B15	sulfaat	49 - 220	mg/l	B2 SI(gips) > 0	ja nee	3
B16	nitraat	< 0,05 - 0,25	mg/l	B2, B3, B20	ja	2, 3, 4
B17	fosfaat	1,8	mg/l	B3, B9, B10, B11	nee	geen
B18	elektrische	63 - 89	mS/m	A2	nee	geen

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/ne e	risico
	geleidbaarheid					
B19	organische koolstof, DOC	2,3 - 5,6	mg/l	B2, B15, B16, B20	nee	geen
B20	zuurstof	0,1 - 1,1	mg/l	0,01mg/l, B3 - B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	zeer gering	s/l <sup>2</sup> mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	nee	geen
C1	grondwaterstand	2, 0,8 m NAP	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	55	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	25	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	25	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h \leq 0,22 z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	10 - 25	m-mv	B, C, D4, E1	ja	1, 4
D4	infiltratiediepte	10 - 25	m-mv	B, C, D3, E1	nee	1, 4
D5	filterspleetgrootte	1	mm	D1, D6	nee	geen
D6	grindomstoring $d_p$	1,5 - 2,5	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	nee	geen
D7	boormethode	zuigboring		B7 - B10, B21	n.v.t.	geen
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	n.v.t.	geen
E2	beluchting	nee		B20	n.v.t.	geen
E3	pH-verandering	nee		B1	n.v.t.	geen
E4	deeltjesverwijdering	nee		B21	n.v.t.	geen
E5	toeslagstoffen	methanol, lactaat		B2, B15, B16, B20, E2	ja	2, 3

1) op basis van meetnet pb 32CP042902; SAR=1,19

2) in navolgende tabellen gespecificeerd per meetlocatie en per diepte

### 9.3.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Op basis van de tabelgegevens kan worden geconcludeerd dat de aanwezigheid van zuurstof en het optreden van ontgassing bij drukovergangen in het onttrekkingsstelsel de grootste risico's vormen:

1. Het ijzer(II)gehalte (B3) in het grondwater is niet extreem hoog, maar het is voldoende om reeds bij zeer geringe toetreding van zuurstof een verstopping van de infiltratieputten te veroorzaken.
2. Het water is kalkverzadigd (B9, B14); er mag geen koolzuur ontsnappen of andere verandering die een pH-stijging veroorzaakt, omdat dan calcieneerslagen kunnen worden gevormd.
3. Het water bevat methaan (B12). Methaan en zuurstof kunnen niet stabiel samen voorkomen; toetreding van zuurstof zal leiden tot vorming van biomassa en verstopping van infiltratieputten.

Naar aanleiding van deze risicofactoren is geadviseerd om het systeem op een overdruk van enkele tienden bar te handhaven. Dit betekent in elk geval dat er onderwaterpompen toegepast dienen te worden, er geen grote drukovergangen aanwezig mogen zijn en er geen vrij verval bij infiltratie mag zijn. De retourleiding dient aldus voldoende smal gedimensioneerd te worden. Vanwege de kritische samenstelling van het grondwater zou de monitoring gericht moeten zijn op veranderingen van de waterkwaliteit tijdens onttrekking en retourbemaling. Speciale aandachtspunten daarbij zijn ijzer(II), zuurstof, redoxpotentiaal, calcium, bicarbonaat en pH.

Ten aanzien van het mogelijk ontstaan van mengwater in de onttrekkingsput is het volgende geconcludeerd. Op 5,5 - 7,5 m-mv is in het grondwater zowel nitraat (B16) als ammonium (B11) aangetroffen. Dit zou kunnen wijzen op reducerende en oxiderende omstandigheden. Overigens was op deze diepte zuurstof afwezig en werd er een relatief lage redoxpotentiaal gemeten. Aangezien de onttrekkingsput was gesitueerd op 10 - 25 m-mv werd niet verwacht dat op korte termijn oxidatief (zuurstofhoudend) water zou worden aangetrokken.



Tijdens de uitvoeringsfase toonde het grondwater in het proefveld een verticale gradiënt in ijzergehalte (datum 14-4-1999; zie tabel 23). Dit was een sterke aanwijzing voor een redoxgradiënt in de bodem en voor het ontstaan van mengwater (zuurstofloos ijzerhoudend plus zuurstofhoudend water) in de onttrekkingsput.

Tabel 23. IJzer-totaal in peilbuis 15 WF op verschillende diepte (medio april 1999).

diepte (m-mv)	10	15	20	25	30
ijzer-totaal (µg/l)	< 15	7.500	10.000	14.000	21.000

Ten behoeve van het ontwerp van de full-scale installatie is een gedetailleerde karakterisering van de redoxgesteldheid van de ondergrond uitgevoerd, na een geohydrologische en geohydrochemische schematisatie. De boorbeschrijvingen hebben aangetoond dat de bodem tot op circa 12 m-mv bruin gekleurd is, hetgeen wijst op oxidatie van ijzer(II) in grondwater door aantrekking van zuurstofhoudend water. In het onderliggende pakket komen grijsgekleurde lagen voor, een indicatie voor sterk gereduceerde, pakketten. De verstoppingsoorzaak (het ontstaan van mengwater in de onttrekkingsput) is hiermee definitief bevestigd. Verder heeft de boorbeschrijving grote textuurverschillen op korte afstand aangetoond, dat wil zeggen een sterk heterogene bodem. Op basis hiervan zijn aanbevelingen gedaan voor het ontwerp van de full-scale installatie. Door filters voldoende diep te plaatsen wordt gepoogd het risico van mengwater te minimaliseren, terwijl toch het gewenste bodempakket wordt bestreken.

#### *Substraatdosering (E5)*

Ten aanzien van de substraatdosering is geconcludeerd dat de samenstelling van het retourwater in principe verschillende vormen van biologische activiteit mogelijk maakt. Naast de afbraak van substraat met zuurstof is door aanwezigheid van sulfaat en nitraat ook biologische sulfaatreductie of nitraatademhaling mogelijk. De mogelijke biologische verstoppingsprocessen bij substraatinjectie zijn aldus de vorming van slijm/biomassa en van metaalsulfiden. Er is daarom geadviseerd om substraatdoseringen kortstondig en bij hoge (toxische) substraatgehalten uit te voeren, bij voorkeur via een gescheiden doseerleiding in het stroombanengebied, of in de omstorting van de retourput. Bovengrondse opmenging met retourwater en injectie via de retourbron is afgeraden.

#### 9.3.4 *Procesmonitoring tijdens de uitvoeringsfase*

Op basis van de rapportages [Taw, 1999a en 1999b] zijn de volgende waarnemingen gedaan:

##### 1. *Vorbereidende tracertests*

In de voorbereidende uitvoeringsfase zijn tracertests uitgevoerd, waaronder één met 4 g/l LiBr en één met 2,5 M NaCl. Bij injectie van lithium (eind januari 1999) is kort na de injectie een verstopping gemeten. Het is niet duidelijk geworden of deze verstopping reeds aanwezig was, of ontstaan is als gevolg van zuurstofintrede via het injectiewater of door niet volkomen afgesloten bronfilters. Toetreding van zuurstof is vooraf gekenschetst als belangrijke risicofactor voor verstopping.

Bij injectie van zuurstofloze NaCl-tracer (medio maart 1999) is in de monitoringsfilters tijdelijke vertroebeling van grondwater gemeten en er is tijdens de injectie een verhoogde druk geweest. De beslissystematiek heeft aangetoond dat kleidispersie en kleizwelling te verwachten zijn bij injectie van hoge zoutconcentratie in kleihoudend zand. Bij lithiuminjectie zijn de concentraties vermoedelijk niet kritisch geweest. Kleidispersie en kleizwelling zijn

omkeerbare processen. Na beëindiging van de tracerinjectie wordt de normale situatie hersteld.

## 2. Monitoring in het grondwaterrecirculatiesysteem (B3, B2)

Tijdens grondwaterrecirculatie, zonder substraatinjectie, is een grondwatermonitoring uitgevoerd in de omstorting van de onttrekkingsput, in het onttrekkingswater bovengronds, in de retourput en in de omstorting van de retourput. De monitoringsresultaten hebben uitgewezen dat de ijzer(II)gehalten lager zijn naarmate het water langer in het systeem is (zie tabel 24, jan/feb 1999). Ook is de redoxpotentiaal toegenomen, wat duidt op inlek van zuurstof in het systeem of intrek van zuurstofhoudend water. Water uit de omstorting van de infiltratiediepwel bevat een hoog ijzer-totaalgehalte, wat kan duiden op ijzerhydroxidedeeltjes. Het infiltratiesysteem heeft binnen drie weken toenemende injectiedruk en afnemende debieten vertoond. De verschillen in druktoename van het gehele systeem (4 m waterkolom) ten opzichte van het filter in de omstorting (0,9 m waterkolom) waren een aanwijzing voor een verstopping. Gewoonlijk betreft dit een verstopping van de boorgatwand van de retourput. De retourput bleek zo ernstig verstopt te zijn dat plaatsing van een nieuwe diepwel de voorkeur gaf boven regeneratie.

Tabel 24. Detailgegevens van de waterkwaliteit in het onttrekkings- en infiltratiesysteem bij Dravo te Bunnik.

	omstorting onttrekking	diepwel onttrekking	systeem bovengronds	diepwel infiltratie	omstorting infiltratie
<b>datum: 28 jan 99; injectie lithiumtracer</b>					
ijzer(II) (mg/l)	9,0		2,5		0,75
mangaan (µg/l)	2,5		2,1		2,6
redox (mV)	+109		+102		+311
zuurstof (mg/l)	0,16		0,10		0,10
<b>datum: 5 feb 99; injectie lithiumtracer, nieuwe infiltratieput</b>					
ijzer(II) (mg/l)				0,1	< 0,1
ijzer-totaal <sup>1)</sup> (mg/l)				3,5	45
<b>datum: eind maart 99; verstopping nieuwe infiltratieput, 1<sup>e</sup> meting</b>					
ijzer-totaal (mg/l)	0,65	8,0		6,0	2,3
mangaan (µg/l)	2,3	2,7		2,7	3,0
calcium (mg/l)	140	150		160	170
<b>datum: medio april 99; verstopping nieuwe infiltratieput, 2<sup>e</sup> meting</b>					
ijzer(II) (mg/l)	5,1	5,8	0,8	2,9	1,9
ijzer-totaal (mg/l)	11	5,5	8,5	8,0	5,5
nitraat (mg/l)	-	0,21	0,20	0,27	0,16
mangaan (mg/l)	1,1	2,9	2,9	2,6	2,9
zuurstof (mg/l)	0,5	0,7	0,4	0,2	1,0
calcium (mg/l)	170	180	170	160	180
bicarbonaat (mmol/l)	7,6	7,6	7,8	7,6	7,7
pH	7,0	7,0	6,9	7,1	7,0

<sup>1)</sup> ontsloten monster, inclusief deeltjes

## 3. Deeltjestellingen (B21)

Vanwege de mogelijke vorming van deeltjes in onttrekkingswater zijn op 16 maart deeltjestellingen in het onttrokken en geïnfiltreerde grondwater uitgevoerd in het systeem met de nieuwe diepwel. De rapportage is opgenomen in bijlage C. Geconcludeerd is dat het onttrokken en geïnfiltreerde water op dat moment geen verstoppingsrisico heeft gevormd met

betrekking tot de accumulatie van deeltjes. Evenwel is niet uitgesloten dat deeltjesverstopping in een latere fase zou kunnen optreden (bijvoorbeeld door uitgestelde mengwaterproblematiek en het ontstaan van ijzerhydroxidedeeltjes). Dit blijkt het geval te zijn geweest.

#### 4. *Monitoring van verstoppingen en regeneratie (B3)*

Bij de 1<sup>e</sup> verstopping is gespoeld door intermitterend onttrekken van grondwater. Deze regeneratie heeft slechts 1/6 deel van de capaciteit geleverd bij oplevering van de put. Er is geen vervolg op deze regeneratie gekomen, maar besloten is een nieuwe deepwell te installeren. Bij de 2<sup>e</sup> verstopping (eind maart 1999) zijn de inhanger plus pomp van de nieuwe infiltratiedeepwell geïnspecteerd. In het traject van 15 - 20 m-mv is een roestbruin neerslag aangetroffen, hetgeen wijst op ijzerhydroxide. Nadere analyse van het neerslag heeft een ijzergehalte van 75 - 120 g/kg droge stof en een calciumgehalte van 8,5 - 6 g/kg droge stof gegeven. Het neerslag bevat dus voornamelijk ijzer, maar vermoedelijk ook kalk (calciumcarbonaat). Naast de ijzerproblematiek als belangrijkste oorzaak is het mogelijk dat kalkprecipitatie een aanvullend probleem geeft. Regeneratie (in mei 1999) van de tweede verstopping met 30 % zoutzuur (3 dagen inwerken, 1 dag jutteren) heeft de put op een capaciteit van 48 m<sup>3</sup>/uur/m gebracht. Dit is circa 75 % van de oorspronkelijke capaciteit bij oplevering.

De monitoringsresultaten tonen met name een daling in het opgeloste ijzergehalte gedurende het verblijf in het systeem (van onttrekkingsput naar infiltratieput). Nitraat is aantoonbaar, hetgeen ook wijst op oxidatieve omstandigheden. Er is nauwelijks verandering in (oplosbaar, gereduceerd) mangaan te zien, maar daarvan is bekend dat het langzamer oxideert dan ijzer(II). De aanwezigheid van calcium in het verstoppingsmateriaal is niet bevestigd door afnemende calciumgehalten gedurende het verblijf in het systeem. Mogelijk is kalkprecipitatie geen overheersend proces en geeft dit niet-waarneembare veranderingen in het grondwater, dat aanzienlijke calciumgehalten bevat.

#### 5. *Substraatinjectie (september 1999)*

Om teruggroei van biomassa in de injectieput te voorkomen is methanol bij toxische concentratie geïnjecteerd via een aparte doseerleiding in het stroombanengebied. Gelijktijdig met de substraatinjectie blijkt de systeemdruk toe te nemen en bij inspectie van de infiltratieput is bovendien sulfide aangetroffen. De vermoedelijke oorzaak van dit probleem is doorslag van geïnjecteerd substraat via het bodempakket naar het bemalingssysteem ten gevolge van het tekortschieten van de biologische bodemactiviteit. Het organische substraat zou vervolgens in het onttrekkings- en infiltratiesysteem in aanwezigheid van sulfaathoudend grondwater omgezet zijn onder de vorming van sulfiden (sulfaatreductie). Ook kan sulfide afkomstig zijn van het bodempakket waaraan substraat is toegediend. De gevolgen voor het onttrekkings- en infiltratiesysteem zijn hetzelfde: de onttrekking van ijzerhoudend grondwater in aanwezigheid van sulfide zal leiden tot ijzersulfideneerslag in het infiltratiesysteem.

#### 9.3.5 *Conclusies*

De interpretatie van basisgegevens heeft verstoppingsrisico's in kaart gebracht ten aanzien van ijzer, kalk en biologische activiteit. Bij ijzer is aanvankelijk verondersteld dat technische maatregelen (overdruk, gasdichtheid) voldoende waarborg tegen verstopping zouden bieden. Op basis van grondwaterkwaliteitsgegevens van de Rijksgeologische Dienst en TNO is de kans op vorming van (ijzerhoudend + zuurstofhoudend) mengwater klein verondersteld. De lokale heterogene bodemopbouw is hiermee echter onvoldoende in beeld gebracht. Een uitvoerig geohydrologisch en geohydrochemisch onderzoek naar de aanwezigheid van zuurstof in het grondwater is in deze uitzonderlijke situatie noodzakelijk gebleken om vast te stellen of er met de aangebrachte putfilters ongewenst zuurstofhoudend water aangetrokken zou kunnen worden.

Kalkprecipitatie is als een tweede risico gezien, maar blijkt door het tegengaan van ontgassing (systeem op overdruk) te beheersen.

Substraatinjectie geeft specifieke problemen die nog onvoldoende in de praktijk onderzocht zijn. De eerste indruk is dat één van de aanbevolen methoden, namelijk gescheiden injectie van toxische concentraties substraat, teruggroei in het infiltratiesysteem kan voorkomen. Het doorslaan van substraat of producten van de anaërobe omzettingsreactie (sulfide) kan in onderhavige kleinschalige proef echter problemen veroorzaken. Bij de dimensionering van het systeem voor onttrekking en substraatinjectie, en de toe te passen debieten, dient dus ook rekening te worden gehouden met de adaptatieperiode van de bacteriepopulatie, ofwel het op gang komen van de biologische activiteit.

#### 9.4 Akzo Nobel te Botlek

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Akzo Nobel Botlek, 1999; Arcadis Heidemij, 1999a; Grondmechanica Delft, 1998a en 1998b].

##### 9.4.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het saneringsconcept betreft een gestimuleerde biologische afbraak van chloorkoolwaterstoffen, met name EDC (1,2-dichloorethaan), door middel van injectie van hulpstoffen (substraat en nutriënten) in het eerste watervoerende pakket. Verspreiding van de hulpstoffen wordt bereikt door de benedenstrooms van het proefgebied aanwezige grondwateronttrekking van het beheerssysteem. Het gaat om een pilotproject voor het monitoren van de natuurlijke en gestimuleerde afbraak van EDC in het grondwater dat stroomt in het eerste watervoerende pakket. De onttrekkings- en infiltratiedebieten in het proefgebied zijn zeer gering. In tabel 25 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 25. Gegevens van het saneringsconcept Akzo Nobel te Botlek.

SANERINGSCONCEPT: Gestimuleerde anaërobe afbraak door middel van substraatinjectie				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
fase 1, onttrekking + infiltratie	stroombaanmetingen, optimaliseren monitoring	niet van toepassing	tracer lithiumchloride	2 maanden
fase 2, onttrekking + infiltratie + toevoegingen	stimulering anaërobe afbraak van EDC	gebruik van stoomcondensaat ten behoeve van substraat en tracerinjectie	methanol, ammoniumchloride, natriumchloride, tracer lithiumchloride	maanden

##### Projectstatus

Het consortium werd geraadpleegd nadat het reeds geïnstalleerde systeem verstoppingsproblemen vertoonde (zie hierna). Dit systeem bestond uit een bovengrondse vacuümpomp waarmee bij een onderdruk van 0,6 bar grondwater uit een tepel onttrokken werd. Het onttrokken grondwater werd onbehandeld geïnfiltreerd. Vervolgens werd de proefopzet aangepast, waarbij overigens nog steeds gebruik werd gemaakt van het vacuümonttrekkingssysteem. In deze tweede fase wordt het onttrokken grondwater geloosd en wordt er anaëroob stoomcondensaat (BIOBOT-water) met toeslagstoffen geïnfiltreerd. Dit stoomcondensaat is mineraalarm (totaalconcentratie kationen < 1 mg/l), pH 7,2 en bevat als toevoegingen 1,5 g/l natriumchloride, 11,5 g/l ammoniumchloride, 1,22 g/l lithiumchloride en 24 g/l methanol.

#### 9.4.2 Basisgegevens van de case

De bodemopbouw van de locatie, gebaseerd op de beschikbare informatie uit boringen, is als volgt samengevat:

Diepte (NAP)	Lithologie	Hydrogeologie	Doorlaatvermogen (m <sup>3</sup> /d)	Weerstand (d)
+4,5 tot +0,5	zand	ophooglaag	3	
+0,5 tot -1,5	klei	scheidende laag 1		2500
-1,5 tot -4,5	zand	tussenzandlaag A	12	
-4,5 tot -8,0	klei/veen	scheidende laag 2A		1000
-8,0 tot -12,0	zand	tussenzandlaag B	16	
-12,0 tot -24,0	klei/veen	scheidende laag 2B		3000
-24,0 tot -34,0	zand, matig fijn tot zeer grof	eerste watervoerende pakket	300	
-34,0 tot ?	klei	scheidende laag 3		groot

De analysegegevens van bodemmateriaal uit het eerste watervoerende pakket zijn opgenomen in bijlage D.

De stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket bedraagt circa 0,0 m + NAP (4,5 m-mv). Verticale grondwaterstroming kan wellicht optreden via zandpalen die aangebracht zijn tijdens het bouwrijp maken van het terrein.

De lokale grondwaterstroming ter plaatse van het proefgebied wordt beheerst door de grondwateronttrekking in pompput 2507B op 40 meter afstand van het proefgebied met een debiet van 55 m<sup>3</sup>/dag.

De afmetingen van het proefveld met 4 onttrekkings- en 2 infiltratiebronnen bedragen 12 x 14 m. Infiltratie en onttrekking vindt per bron plaats in 3 filters, verdeeld over de dikte van het eerste watervoerende pakket. Het grondwater wordt bovengronds onttrokken met behulp van vacuüm-pompen. Vrijkomende gassen worden aan de perszijde van de pomp afgescheiden en verwijderd.

Fase 1: totaal debiet infiltratie = totaal debiet onttrekking = 300 l/uur.

Fase 2: totaal debiet infiltratie = 10 l/uur  
totaal debiet onttrekking = 300 l/uur, wordt geloosd.

De basisgegevens zijn samengevat in tabel 26.

Andere aanvullende gegevens betreffen de chemische analyse van het neerslag in pompen en leidingen. Het neerslag bevat voornamelijk ijzerner slag en bevat (in gewichts%) 36,4 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (berekend), 4,6 % Ca, 0,8 % Mg en 4 % koolstof.

Tabel 26. Akzo-Botlek: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	30	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	ESP = 14 - 20	%	ESP > 25 % (10 %)	ja	5
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	geen
B1	zuurgraad water	6,9	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	-120 à -140	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	2, 3
B3	ijzer(II)	circa 13	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	13	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0,25	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	< 0,01	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	860	mg/l	A2, ESP > 25 % (via SAR)	nee	geen
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2, ESP > 25 % (via SAR)	n.b.	n.b.
B9	calcium	110, $SI_{\text{calciet}} = +0,3$ $SI_{\text{gips}} < -3,6$	mg/l	A2, $SI(\text{calciet}) > 0$ $SI(\text{gips}) > 0$	ja nee	2
B10	magnesium	160	mg/l	$SI(\text{MgCO}_3) > 0$	nee	geen
B11	ammonium	34	mg/l	B2, B20	nee	geen
B12	methaan	35	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	-1,0	$\log P_{\text{CO}_2}$	$\log P_{\text{CO}_2} > -3,5$ (atm), E1, B1, B14	ja	2
B14	bicarbonaat	18	mmol/l	$SI(\text{carbonaten}) > 0$ , B1	ja	2
B15	sulfaat	< 0,2	mg/l	$SI(\text{gips}) > 0$ , B2	nee	geen
B16	nitraat	< 0,1	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	4	mg/l	B3, B9, B10, B11	nee	geen
B18	elektrische geleidbaarheid	570	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	n.b.	mg/l	B2, B15, B16, B20	n.b.	n.b.
B20	zuurstof	< 0,2		0,01 mg/l, B3 - B5, B12, B19	nee	geen
B21	deeltjes	n.b.	$s/l^2$ mg/l	$MFI > 3 s/l^2$ , zwevend stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	n.b.
C1	grondwaterstand	4,5	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	12,0 - 24,0	m-mv	A1, C2	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	0,3	$m^3/\text{uur}$	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	0,1	$m^3/\text{uur}$	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	24,0 - 30,0	m-mv	B, C, D4, E1	ja	1, 4
D4	infiltratiediepte	24,0 - 30,0	m-mv	B, C, D3, E1	ja	1, 4
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstoring $d_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	pulsen		B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	ja		A3, B1, B12, B13, B14	ja	2, 4
E2	beluchting	n.v.t.		B20	n.v.t.	n.v.t.
E3	pH-verandering	n.v.t.		B1	n.v.t.	n.v.t.
E4	deeltjesverwijdering	n.v.t.		B21	ja	1, 2, 3
E5	toeslagstoffen	3 % methanol		B2, B15, B16, B20, E2	ja	3

### 9.4.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Bij het vaststellen van de kritische parameters voor verstoppingsrisico's dient onderscheid te worden gemaakt in de situatie voor de aanpassingen (fase 1) en daarna (fase 2).

#### Fase 1

Er kleven een aantal risico's aan het onttrekken van grondwater door middel van een vacuümstelsel. Allereerst bevat het grondwater hoge concentraties aan opgeloste gassen, die tijdens de onttrekking kunnen vrijkomen, met name methaan en kooldioxide. Daarnaast is er door de

onderdruk een grote kans op het inleken van zuurstof. Met name koppelingen, pompen en debietmeters zijn hierbij kritische systeemonderdelen. De verschillende verstoppingsrisico's zijn als volgt samen te vatten:

1. De saturatie-index voor calciëet wordt overschreden, zodat calciëet kan neerslaan; door kool-dioxide-ontgassing zal de pH stijgen en zal de precipitatie van carbonaat worden versterkt. Dit kan zowel aan de onttrekkings- als infiltratiezijde tot verstoppingen leiden.
2. Door het vrijkomen van methaan en kooldioxide kan ook gascllogging optreden in het infiltratiesysteem. Het retourwater dient onderverzadigd te zijn om dit te voorkomen. Het verwijderen van de gassen aan de perszijde van de pomp, waar overdruk heerst, biedt onvoldoende garantie dat het retourwater onderverzadigd blijft.
3. IJzer- en mangaangehalten overschrijden de kritische waarden, zodat bij elk contact met zuurstof neerslagen zullen worden gevormd. Het grondwater in het eerste watervoerende pakket is volledig anaëroob. Neerslagen zullen optreden bij zuurstoftoetreding in het onttrekkings- en infiltratiesysteem (pompen/leidingen/afsluiters) als hierin lekken aanwezig zijn en onvoldoende overdruk wordt gehandhaafd.
4. Intrede van zuurstof geeft een risico van biologische oxidatiereacties, met name door de aanwezigheid van methaan in het onttrokken grondwater. Dit kan bij infiltratie tot biologische verstopping leiden.

In verband met de gesignaleerde risico's is door de uitvoerende partij besloten om het onttrokken water niet te infiltreren, maar in plaats daarvan stoomcondensaat te gebruiken. Hierdoor vervallen een aantal problemen aan de infiltratiezijde. Het risico van kalkprecipitatie aan de onttrekkingszijde door kritische calcium- en bicarbonaatgehalten in combinatie met CO<sub>2</sub>-ontgassing blijft bestaan; vanwege de relatief kleine onttrekkingsdebieten zal het daadwerkelijk optreden van een verstopping wel geruime tijd kunnen duren.

#### *Fase 2*

Naast de blijvende risico's aan de onttrekkingszijde blijkt uit de grondwatersamenstelling dat het bodempakket een bijna kritische waarde voor de ESP heeft. De directe infiltratie van mineraal-arm proceswater ('BIOBOT-water') zou dan een risico van kleizwelling in het ontvangende pakket geven. Door de toevoeging van een aantal minerale zouten (1,5 g/l natriumchloride, 11,5 g/l ammoniumchloride en 1,22 g/l lithiumchloride) wordt de kritische minimumconcentratie aan opgeloste stoffen van 10 mmol/l ruimschoots behaald; dientengevolge is het risico van kleizwelling gering.

Infiltratie van onbehandeld BIOBOT-water zou ook om andere redenen ongewenst zijn. Bij de gegeven bodemsamenstelling (zie bijlage D) kan met behulp van chemische simulatieprogramma's, zoals PHREEQC, worden berekend dat een hoge pH ontstaat door het oplossen van bodemmineralen. Indien de infiltratie van gedemineraliseerd water in de bodem inderdaad resulteert in een hoge pH, worden de representativiteit en daarmee de overdraagbaarheid van de resultaten van het onderzoek nadelig beïnvloed. Het meer isotoon maken van het BIOBOT-water is daarom ook een maatregel tegen mogelijk ongewenste effecten van een pH-verhoging.

Sinds 23 september 1999 is een veldproef gaande waarbij tracer (lithiumbromide) en methanol worden geïnjecteerd. Onttrekkingsdebieten zijn stabiel, er zijn geen gegevens verstrekt van infiltratiedebieten. Tot op de peildatum van 1 november jl. zijn er geen verstoppingen geconstateerd. De monitoring betreft echter slechts het constateren van wel/niet overlopen van de peilbuizen. Dit gebeurt pas na een drukopbouw van circa 4,5 m waterkolom (grondwaterstand = 4,5 m-mv). Het zou aan te bevelen zijn om drukopnemers te plaatsen of om stijghoogtemetingen te verrichten in de peilbuizen van de filters, zodat in een eerder stadium bij drukopbouw kan worden ingegrepen. Om praktische en proeftechnische redenen is hiervan afgezien.



## 9.5 Evenblij te Hoogeveen

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [CUR/NOBIS, 2000].

### 9.5.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Bij een volledige in situ sanering van een chlooretheenverontreiniging is men geheel aangegeven op de in de bodem van nature aanwezige bacteriepopulatie. Indien deze bacteriepopulaties onvoldoende aanwezig of actief zijn, zal een volledige in situ sanering, ondanks eventuele stimulering, slechts langzaam of maar ten dele plaatsvinden. Het saneringsconcept bij de locatie Evenblij te Hoogeveen (NOBIS-project 97-1-11 [CUR/NOBIS, 2000]) bestaat uit het stimuleren van de in situ afbraak van gechloreerde ethenen, door infiltratie van methanogeen effluent van een anaërobe, dechlorerende bioreactor in combinatie met een geschikte elektronendonor. Alvorens de biomassa wordt geïnjecteerd, vindt er een filtratie plaats op deeltjes. In tabel 27 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 27. Gegevens van het saneringsconcept Evenblij te Hoogeveen.

SANERINGSCONCEPT: Gestimuleerde anaërobe afbraak door middel van injectie van biomassa en substraat (proef)				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de water-behandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
onttrekking + infiltratie + toevoegingen	in situ afbraak van chloorethenen	anaërobe filtratie	lactaat, fosfaat	maanden

### Projectstatus

Om het Evenblij-concept in praktijk te kunnen toetsen, is een infiltratieproef met drie deepwells uitgevoerd.

### 9.5.2 Basisgegevens van de case

Het consortium is niet intensief betrokken bij dit project. In de uitvoeringsfase is het consortium om adviezen gevraagd. De beschikbare basisgegevens zijn gebruikt voor een eerste beoordeling van verstoppingsrisico's (achteraf). Deze basisgegevens zijn samengevat in tabel 28.

Tabel 28. Evenblij: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	10 - 40 m-mv: 25	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad grond	n.b.		B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	gw: 5,7 - 7,5 injectie: 6,2 - 6,6		A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	gw: 150 - 350 injectie: -5	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	2, 3
B3	ijzer(II)	gw: 0,1 - 11 injectie: n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	gw: 7,5 - 14 injectie: 12 - 17	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	n.b.	2
B6	aluminium	n.b.	mg/l	0,3 mg/l met B1	n.b.	2
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	5

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	5
B9	calcium	15 - 52	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee n.b.	geen 5
B10	magnesium	n.b.	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	n.b.	2 5
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	2, 3
B12	methaan	3 - 9	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	n.b.	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	n.b.	2, 4
B14	bicarbonaat	n.b.	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1	n.b.	2, 4
B15	sulfaat	gw: < 8 - 46 injectie: < 8	mg/l	B2 SI(gips) > 0	ja	3 2
B16	nitraat	gw: < 1 - 3,5	mg/l	B2, B3, B20	ja	2, 3
B17	fosfaat	gw: 4,7 - 7,9	mg/l	B3, B9, B10, B11	nee	geen
B18	elektrische geleidbaarheid	gw: 48 - 85	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	gw: < 3 - 28	mg/l	B2, B15, B16, B20	(ja)	3
B20	zuurstof	gw: 0,1 injectie: 0,4 - 0,8	mg/l	0,01mg/l, B3 - B5, B12, B19	nee ja	2, 3
B21	deeltjes	voor filtratie: 50 na filtratie: < 1	mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	(ja)	1
C1	grondwaterstand	2,5	m-mv	A1, C2, D2, D4	nee	geen
C2	diepte scheidende laag	40	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	1,5	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	1,5	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h \leq 0,22z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	17,5 - 25	m-mv	B, C, D4, E1	nee	geen
D4	infiltratiediepte	17,5 - 25, injectie- leiding 16 mm op 15 m-mv	m-mv	B, C, D3, E1	n.b.	4
D5	filterspleetgrootte	0,5, 0,8	mm	D1, D6	nee	geen
D6	grindomstorting $d_p$	0,7 - 1,2, 1,0 - 1,6	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	nee	geen
D7	boormethode	pulsboring		B7 - B10, B21	nee	geen
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	nee	geen
E2	beluchting	ja (bij filtratie)		B20	ja	2, 3
E3	pH-verandering	nee		B1	nee	geen
E4	deeltjesverwijdering	ja		B21	ja	1
E5	toeslagstoffen	lactaat, biomassa, fosfaat		B2, B15, B16, B20, E2	ja	2, 3

### 9.5.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Uit de gegevens van tabel 28 kan worden geconcludeerd dat er een aantal hoofdproblemen zijn te onderscheiden:

- anaëroob houden van het onttrekkings/infiltratiesysteem (ijzerhydroxiden, E2, B20, B3, B4);
- in bioreactor vindt sulfaatreductie plaats met vorming van ijzersulfiden (B2, B15);
- injectiewater vrijhouden van deeltjes waarbij er nog voldoende biomassa aanwezig blijft (B21, E4, E5);
- een overschot aan fosfaat in het injectiewater kan aanleiding geven tot ijzerfosfaatneerslag (B17, B3).

Tijdens de proef zijn er meerdere vormen van filtratie getest. Een dubbellaags antraciet-zandfilter (0,5 m antraciet 1,4 - 2,5 mm, 0,5 m zand 0,7 - 1,25 mm) levert een betere filtratie op (< 1 mg/l zwevende stof) dan hydrocyclonage of UVAR-filters.

Omdat in aanvang met het testen van de filters al meerdere malen verstopping is opgetreden, is het uiteindelijk niet mogelijk om aan te geven of de gehaalde zwevende stofconcentratie voldoende is teruggebracht. Ook een uitspraak omtrent het effect van de verschillende gebruikte spleetafmeting en grindomstorting van de infiltratiediepwells is niet mogelijk.

Om eventuele groei in de injectiefilters te voorkomen, wordt gedacht aan het gescheiden infiltreren van biomassa en nutriënten/koolstofbron.

Om de vorming van ijzersulfiden in het injectiefilter tegen te gaan, wordt gedacht aan het doseren van ijzer in de bioreactor zodat alle sulfiden worden weggevangen met ijzer en kunnen worden afgevangen in de filtratiestap.

Lekstromen van zuurstofbevattende lucht dient te worden voorkomen in de putten en in de filtratiestap.

## 9.6 Hedeman-terrein te Almelo

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Arcadis Heidemij, 1999b].

### 9.6.1 Beschrijving van het saneringsconcept

De verontreiniging bestaat uit een 'verfijver' waarin restanten verf zijn gebracht, bestaande uit VOX, en een sloot, gedempt met puinresten en kolengruis. Het verontreinigde grondwater wordt via drains en putten onttrokken en wordt na zuivering weer via ondiepe putten in de bodem geïnfiltrerd. De zuivering bestaat uit een CO<sub>2</sub>-ontgassing, gevolgd door een beluchting en filtratie ter verwijdering van ijzer (< 1 mg/l), en tenslotte een intensieve beluchting en actieve koolfiltratie ter verwijdering van de verontreiniging. In tabel 29 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 29. Gegevens van het saneringsconcept Hedeman-terrein te Almelo

SANERINGSCONCEPT: Grondwatersanering met infiltratie				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
onttrekking + infiltratie	grondwatersanering	beluchting, ontgassing, deeltjesverwijdering	niet van toepassing	jaren

### Projectstatus

Het consortium is in de uitvoeringsfase betrokken geraakt bij het project en is gevraagd om te adviseren over de verstoppingsrisico's van het aangelegde systeem.

### 9.6.2 Basisgegevens van de case

Het betreft een freatisch pakket, waarvan de hydrologische basis zich op 20 m-mv bevindt. Het pakket ziet er als volgt uit:

Diepte (m-mv)	Lithologie	Hydrogeologie
0 - 2	humeus lemig fijn zand	deklaag
2 - 6/8	matig fijn zand	watervoerend pakket
6/8 - 10	matig grof grindhoudend zand	watervoerend pakket
10 - 15	zwak lemig, sterk lemig zeer fijn tot matig grof zand	watervoerend pakket
15 - 20	sterk lemig zeer fijn zand	watervoerend pakket

Het onttrekkingsvolume is gelijk aan het infiltratievolume en bedraagt 30 m<sup>3</sup>/h. Het behandelde water wordt geïnfiltreerd via 7 ondiepe putten (2 - 5 m-mv) en 7 diepe putten (8 - 18 m-mv). Dit zou neerkomen op een gemiddeld debiet per put van circa 2 m<sup>3</sup>/uur.

Deze basisgegevens zijn samengevat in tabel 30.

Tabel 30. Hedeman-terrein: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	5 - 15	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b. (Na ontbreekt, maar ESP < 25	%	ESP > 25 % (10 %)	nee	geen
A3	zuurgraad grond	n.b.		B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	6,9 - 7,4		A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	n.b.	mV	B3, B5, B11, B12, B15	n.b.	2, 3
B3	ijzer(II)	0 - 5 m-mv: < 0,1 10 - 15 m-mv: 6,3 - 43	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	n.b.	2
B5	mangaan	0 - 5 m-mv: < 0,2 10 - 15 m-mv: 1,4 - 2,1	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	< 0,05 - 0,086	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B9	calcium	39 - 123	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee nee	geen geen
B10	magnesium	1,9 - 12	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B11	ammonium	ondiep: < 0,05 - 0,78 diep: 1,3 - 3,9	mg/l	B2, B20	nee	geen
B12	methaan	400 - 1300	µg/l	0,1 mg/l, B2, B20	nee	geen
B13	kooldioxide (berekend)	n.b.	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm) E1, B1, B14	n.b.	2, 4
B14	bicarbonaat	n.b.	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1	n.b.	2, 4
B15	sulfaat	0 - 5 m-mv: 16 - 18 10 - 15 m-mv: 42 - 230	mg/l	B2 SI(gips) > 0	nee	geen
B16	nitraat	n.b.	mg/l	B2, B3, B20	n.b.	2, 3, 4
B17	fosfaat	< 1,0	mgP/l	B3, B9, B10, B11	nee	geen
B18	elektrische geleidbaarheid	70 - 90	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof, DOC	n.b.	mg/l	B2, B15, B16, B20	n.b.	3
B20	zuurstof	n.b.	mg/l	10 µg/l, B3 - B5, B12, B19	n.b.	2, 3, 5
B21	deeltjes (onopgeloste bestanddelen)	0 - 5 m-mv: 19 - 31 10 - 15 m-mv: 1,6 - 19	mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	nee	geen
C1	grondwaterstand	2,5	m-mv	A1, C2, D2, D3, D4	ja	2, 3
C2	diepte scheidende laag	20	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	30	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	30	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h \leq 0,22 z$	n.b.	geen
D3	onttrekkingsdiepte	3 (drains)	m-mv	B, C, D4, E1	ja	1, 4
D4	infiltratiediepte	7 filters 2 - 5 m-mv 7 filters 8 - 18 m-mv alle filters met: boorgat 400 mm filterdiameter 160 mm injectieleiding 40 mm	m-mv	B, C, D3, E1	ja	1, 4
D5	filterspleetgrootte	0,75	mm	D1, D6	nee	geen
D6	grindomstorting $d_p$	1,0 - 1,6	mm	A1, D5, 4 - 5 M <sub>50</sub> (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	zuigboring		B7 - B10, B21	ja	1
E1	ontgassing	ja		A3, B1, B12, B13, B14	ja	2, 3
E2	beluchting	ja		B20	ja	2, 3, 4
E3	pH-verandering	nee		B1	ja	2, 3
E4	deeltjesverwijdering	ja		B21	nee	geen
E5	toeslagstoffen	n.v.t.		B2, B15, B16, B20, E2	n.v.t.	geen



### 9.6.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Tabel 31 geeft een overzicht van het injectiewater.

Tabel 31. Overzicht van het injectiewater.

parameter	eenheid	injectiewater (effluent GWZI)	
		29 juni 1999	26 juli 1999
datum analyse		29 juni 1999	26 juli 1999
aluminium	µg/l	< 50	< 50
ijzer-totaal	mg/l	2,0	
ijzer(II)	mg/l	1,5	0,17 - < 0,3
mangaan	mg/l	0,083	0,13
calcium	mg/l	96	
magnesium	mg/l	8,5	7,8
totaal fosfor	mg P/l		0,9
sulfaat	mg/l	91	170
totale hardheid	mmol/l	2,85	2,8
CZV	mg O <sub>2</sub> /l	22	29
N-Kjeldahl	mg N/l	1	3
BZV	mg/l	< 5	< 5
arsen	µg/l		< 5
chrom	µg/l	1,5	6,7
zink	µg/l	66	31
methaan	µg/l	< 25	< 25
onopgeloste bestanddelen/zwevende stof	mg/l	< 10	15

Uit de bovenstaande chemische analyses kan worden afgeleid dat het grondwater geen neerslagrisico's geeft door overschrijding van oplosbaarheden (saturatie-index < 0). De geochemische verstoppingsrisico's beperken zich daardoor tot ijzer(II). In ondiep grondwater (3 m-mv) lopen de ijzer(II)gehalten uiteen van 'beneden detectielimiet' tot 'enkele mg per liter' (B3). De afwezigheid van ijzer in het bovenste grondwater wijst op indringing van zuurstof. Het diepe grondwater bevat zonder uitzondering veel ijzer. De ijzerconcentraties in onttrekkingsputten duiden op het ontstaan van mengwater (gemiddelde van concentraties ondiep en diep water). Dit samenkomen van zuurstofloos, ijzerhoudend diep grondwater en zuurstofhoudend ondiep grondwater in de onttrekkingsputten zal tot verstopping van filters leiden. Ook zal de ruwwaterleiding vervuild raken. Zonder verandering van de filterstelling van het onttrekkingssysteem is dit probleem niet te voorkomen. Preventief onderhoud van de drains is dan noodzakelijk.

Het effluent van de waterzuivering bevat nog teveel ijzer om geschikt te zijn voor infiltratie. In verband met de verstoppingsrisico's wordt aangeraden het ijzergehalte verder terug te brengen (< 0,1 mg/l). Verder is regelmatige controle van het ijzergehalte in retourwater noodzakelijk om tijdig maatregelen te kunnen treffen bij doorslag van ijzer. Het is daarbij een gemis dat het systeem geen spuiomogelijkheden lijkt te hebben voor het opstarten en terugspoelen van het zandfilter. Bij de retourbemaling wordt behandeld, zuurstofhoudend water geïnjecteerd in een ijzer(II)-houdend pakket. Alleen bij het opstarten van het systeem bevindt dit water zich ook in het filter en kan opmenging van de twee watertype tot ijzerneerslagen in het filter aanleiding geven. Er wordt aangeraden om het grondwater in het filter eenmalig aan te zuren, zodat ijzeroxidatie en ijzerprecipitatie niet zullen optreden. Tijdens normale bedrijfsvoering zal er door verdringing van

het grondwater slechts in geringe mate ijzer precipiteren en dan alleen buiten het filter. Dit geeft geen verstoppingsproblemen voor het retourstelsel. Bij retourbemaling zal er op den duur een zuurstofhoudende grondwaterbel rond het filter ontstaan, waardoor de genoemde risico's bij (hernieuwd) opstarten verdwenen zijn.

De methaangehalten in grondwater zijn relatief hoog (B12). Door injectie van zuurstofhoudend water op plaatsen met hoge methaangehalten kan het methaan worden geoxideerd waarbij biomassa ontstaat. Ook ijzer(II)- en mangaanoxidatie worden biologisch versneld. Echter, door verdringing van het methaan/ijzer/mangaanhoudend grondwater tijdens injectie is een biologische verstopping van het injectiefilter nauwelijks te verwachten. Een beperkt risico ontstaat wanneer met onvoldoende druk wordt geïnjecteerd. Een korte verblijftijd van injectiewater in de retourput is noodzakelijk om menging van de verschillende watertypen en biologische verstopping te verhinderen. Eventuele groei van biomassa in het ontvangende bodempakket wordt niet problematisch geacht. Biologische verstopping kan wel een rol spelen in de onttrekkingsputten en drains als er mengwater wordt gevormd (methaan met zuurstof, ijzer met zuurstof, enz.). Zo kan biologische afzetting het filter doen verstoppem, waarbij de eerder genoemde ijzerproblematiek het grootste risico vormt.

Uit de bepaling van de droogrest onopgeloste bestanddelen blijkt dat het diepe grondwater (> 8 m-mv) veel deeltjes bevat (B21). Het is mogelijk dat dit afkomstig is uit het sterk lemige, zeer fijn zandige pakket. Hierdoor bestaat een potentieel risico voor colloïdale verstopping. Het is anderzijds ook mogelijk dat de droogrest uitsluitend kan worden toegeschreven aan Fe(II), dat gedurende de 5 dagen tussen monstername en analyse, door toetreding van zuurstof, geoxideerd raakt en in het monster neerslaat als ijzerhydroxide. Aangezien het water in de diepe put in principe zuurstofloos blijft, is er in dat geval geen verstoppingsrisico door colloïden.

De hoge ijzerconcentratie maakt frequent spoelen van het zandfilter in de waterzuivering noodzakelijk. De werkwijze bij het spoelen van het filter is zeer kritisch, omdat dan ijzervlokken het filter kunnen passeren en in het retourstelsel tot problemen kunnen leiden. Het verdient aanbeveling een dubbele filtratie (in serie) toe te passen. Het valt te betwijfelen of het actief koolfilter in de huidige procesconfiguratie deze 'deeltjesfiltratie'-rol kan vervullen (tot nu toe is geen volledige verwijdering van ijzer bereikt).

Het risico van kalkneerslag door CO<sub>2</sub>-uitdrijving in de GWZI (E1 t/m E3) kan niet worden vastgesteld, omdat CO<sub>2</sub>- en bicarbonaatgehalten niet beschikbaar zijn. Ontgassing in infiltratiesystemen is in het algemeen ongewenst, omdat dit kan leiden tot ophoping van gasbellen en verstopping (gaslogging). Ontgassing is te verwachten met gasverzadigd water en abrupte drukovergangen, zoals bijvoorbeeld bij de afsluiters van de infiltratieleidingen. Er wordt daarom aangeraden om krappe injectieleidingen te dimensioneren. Zodoende kan de overdruk in het systeem door de leidingweerstand geleidelijk worden afgebouwd zonder ontgassingsrisico. De huidige injectieleidingen met een diameter van 40 mm zijn daarvoor te ruim bemeten.

Opvallend is dat de ondiepe putten een filter hebben dat snijdend met het grondwater geplaatst is (C1). Hierdoor is een drukopbouw in het filter niet mogelijk. Bij injectie stroomt het injectiewater weg via de onverzadigde zone. Daardoor zullen de verblijftijden in het onderste gedeelte van de put groot zijn, er ontstaat mengwater en ijzer zal neerslaan (door toetreding van zuurstof).

Ook ten aanzien van putontwikkeling (zuigboring; D7) en onderhoud is de ondiepe ligging van de putten enigszins problematisch. Bij onttrekking trekt de put droog door onvoldoende watertoevoer en bij injectie stroomt het water via de onverzadigde zone weg, zodat de noodzakelijk druk niet kan worden opgebouwd. De put kan daardoor slechts met een klein



debiet ontwikkeld worden. Dit is een langdurig proces omdat alle boorspoeling verwijderd dient te zijn en de put naar behoren moet functioneren. Om te bepalen of er voldoende ontwikkeld is, dient de capaciteit van de putten/drainen bij aanvang te worden bepaald (SV-factor = debiet bij 1 m stijghoogteverandering). Bij de injectieputten dienen zowel de verlaging als de verhoging te worden vastgesteld. Beide SV-factoren dienen ongeveer gelijk te zijn. Zo niet, dan dient de put verder ontwikkeld te worden.

## 9.7 NS-revisieterrein te Tilburg (combi-remediatie)

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Iwaco, 1998, 1999a, 1999b en 1999c].

### 9.7.1 Beschrijving van het saneringsconcept

De verontreiniging bestaat voornamelijk uit gechloreerde koolwaterstoffen (CKW), aromatische koolwaterstoffen (BTEX) en minerale olie. In dit project wordt een gecombineerde integrale aanpak beoogd van meerdere grondwaterverontreinigingen. 'Combi-remediatie' gaat uit van geforceerd mengen van deze verontreinigingen, omdat de natuurlijke afbraak van de ene groep (BTEX) stimulerend werkt op de afbraak van de andere groep (CKW). Alvorens het water wordt geïnfiltreerd vindt er een filtratie plaats (zandfilter en kaarsenfilters). Het onttrekkingsstelsel (BTEX-verontreiniging) bestaat uit 4 onttrekkingsdiepwells (4 - 10 m-mv). Het infiltratiesysteem (CKW-verontreiniging) bestaat uit 34 injectiefilters (1 - 10 m-mv). Het ontwerpdebiet bedraagt 2 m<sup>3</sup>/uur (onttrekking/infiltratie).

In tabel 32 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 32. Gegevens van het saneringsconcept NS-revisieterrein te Tilburg.

SANERINGSCONCEPT: Grondwatersanering met infiltratie				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
onttrekking + infiltratie	gestimuleerde anaërobe afbraak	deeltjesverwijdering	BTEX-water aan CKW-grondwater	jaren

### Projectstatus

Het consortium is tijdens de ontwerpfase betrokken geraakt bij dit project. Er is een eerste beoordeling van het ontwerp gegeven en er zijn adviezen gegeven over mogelijke aanpassingen en over monitoringsaspecten. Het uitvoerend projectteam heeft de verstoppingsrisico's geëvalueerd door gebruik te maken van de beslissystematiek. Na een succesvolle eerste infiltratieproef is het volledige systeem in uitvoering. Het project wordt momenteel gevolgd in de uitvoeringsfase.

### 9.7.2 Basisgegevens van de case

De bodem bestaat vanaf het maaiveld uit een circa 10 m dikke deklaag bestaande uit fijn zand met leemlagen. Daaronder bevindt zich van 10 tot 50 m-mv het eerste watervoerende pakket, bestaande uit matig grof tot grof zand. De verontreiniging bevindt zich voornamelijk in de deklaag van 3 tot 10 m-mv. Het milieu in de verontreinigingszone wordt gekenmerkt door ijzerreducerende omstandigheden.

De basisgegevens zijn samengevat in tabel 33.

Tabel 33. NS-revisieterrein: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	n.b.	m/d	$k < 1$ , C1, C2	n.b.	1
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad grond	n.b.	-	B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	5,8 - 6,8	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	-75 - 312	mV	B3, B5, B11, B12, B15	nee	geen
B3	ijzer(II)	0,3 - 63	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	n.b.	2
B5	mangaan	0,006 - 13	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	0,09 - 0,85	mg/l	0,3 mg/l met B1	nee	geen
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	5
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25%)	n.b.	5
B9	calcium	29 - 337	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B10	magnesium	n.b.	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	2, 3
B12	methaan	18 - 15000	µg/l	0,1 m/g, B2, B20	ja	3, 4
B13	kooldioxide (geschat)	-1,0 - -1,8	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	ja	2, 4
B14	bicarbonaat	57 - 1000	mg/l	SI(carbonaten) > 0, B1	nee	geen
B15	sulfaat	0,39 - 140	mg/l	B2 SI(gips) > 0	nee nee	geen
B16	nitraat	< 0,04 - 21	mg/l	B2, B3, B20	ja	2, 3, 4
B17	fosfaat	n.b.	mgP/l	B3, B9, B10, B11	n.b.	2, 3
B18	elektrische geleidbaarheid	32,3 - 389	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof, DOC	12 - 2500!	mg/l	B2, B15, B16, B20	ja	3
B20	zuurstof	< 0,1 - 1,0	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	veel		MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	ja	1
C1	grondwaterstand	3,5	m-mv	A1, C2, D2, D4	ja	2, 3
C2	diepte scheidende laag	-20 - -22	m-mv	A1, C1	nee	geen
D1	onttrekkingsdebiet	2	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	2	m <sup>3</sup> /uur	stijphoogtevermeerdering $h \leq 0,22 z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	4 - 10	m-mv	B, C, D4, E1	ja	2, 3
D4	infiltratiediepte	1 - 10 (injectie-leiding 32 mm)	m-mv	B, C, D3, E1	ja	2, 3, 4
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $d_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	pulsboring		B7 - B10, B21	nee	geen
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	n.v.t.	geen
E2	beluchting	nee		B20	n.v.t.	geen
E3	pH-verandering	nee		B1	n.v.t.	geen
E4	deeltjesverwijdering	ja		B21	ja	1
E5	toeslagstoffen	nee		B2, B15, B16, B20, E2	n.v.t.	geen

### 9.7.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Op grond van bovenstaande informatie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De bovenzijde van het putfilter van de deepwells bevindt zich op 4 m-mv, de grondwaterspiegel op 3,5 m-mv. Tijdens de onttrekking zal de grondwaterspiegel nog iets dieper worden, en de bovenzijde van het putfilter naderen, waardoor de kans op toetreding van zuurstof toe-

neemt. Indien inderdaad zuurstof zal toetreden, zullen deze putten gaan verstopping door een accumulatie van ijzerhydroxiden (D3, B20) en biomassa (oxidatie van BTEX). Deze deeltjes dienen te worden afgevangen alvorens te infiltreren.

- De bovenzijde van het putfilter van de infiltratiefilters bevindt zich op 1 m-mv, de grondwaterspiegel op 3,5 m-mv (D4, D20). Vanwege toetreding van zuurstof via de onverzadigde bodemzone en het putfilter is daardoor in de put boven de waterspiegel een zuurstofrijke atmosfeer aanwezig. Zuurstof zal in het ijzerrijke infiltratiewater oplossen, waarbij neerslagen van ijzerhydroxiden zullen worden gevormd. Deze neerslagen zullen aanleiding geven tot het optreden van verstopping tijdens infiltratie. Bovendien kan onder invloed van de aanwezige zuurstof BTEX worden geoxideerd, waarbij biomassa wordt gevormd. Ook deze gevormde biomassa zal aanleiding geven tot het optreden van putverstopping.
- Vanwege de zeer heterogene chemische samenstelling van het grondwater ter plaatse van de combifilters, zal bij het gebruik van de combiputten als onttrekkingsput menging van verschillende watertypen optreden. Ten gevolge van deze menging zullen neerslagen ontstaan, waardoor putverstopping zal optreden.
- Doordat de combifilters een filterstelling beginnend van 1 m-mv hebben kan geen druk op de filters worden uitgeoefend. De waterdruk op het filter zal via de onverzadigde zone ontsnappen. De verblijftijd van het injectiewater in het filter kan door middel van druk (en injectieleiding) nauwelijks worden verkleind.

Kortom: het systeem is zeer gevoelig voor het optreden van putverstopping, dit betreft zowel de onttrekkingsputten als de infiltratieputten.

Mogelijke acties zijn:

- Kiezen voor de optie regelmatig regenereren (en anaërobe filtratie): beginnen met de sanering, regelmatig peilen van de putten en zodra putverstopping optreedt de putten regenereren. Bij frequent regenereren de putkoppen (alleen mogelijk bij onttrekkingsput) aanpassen, zodat de regeneratie snel kan worden uitgevoerd.
- Kiezen voor preventieve maatregelen: bovengrondse deeltjesverwijdering met behulp van een kaarsenfilter en het uitvoeren van een proefinjectie in een retourput met dezelfde opbouw als de filters onder de revisiehal. Hierna een evaluatie en interpretatie van de beschikbare gegevens met betrekking tot putverstopping. Vervolgens nagaan van de mogelijkheden om putverstopping tegen te gaan, dan wel de verstoppingsnelheid te minimaliseren.

Uit de analyses van peilbuizen blijkt dat de opgegeven redoxpotentiaal niet consistent is met de aanwezige elektronendonoren/-acceptoren. Naast de lastige interpretatie van redoxmetingen in het algemeen, kan hier worden opgemerkt dat redoxmetingen vaak een trage respons hebben; het duurt meestal langer dan een half uur voordat een stabiel signaal wordt verkregen. Dit maakt deze meting minder ideaal voor veldmonitoring. Ook het gemeten zuurstofgehalte is niet consistent met andere waarnemingen. Onder sulfaatreducerende omstandigheden en bij aanwezigheid van methaan is ook zuurstof aangetoond. Zuurstof is een goede monitoringsparameter indien de meting plaatsvindt in een doorstroommeter, onder strikte uitsluiting van omgevingslucht. Dit blijkt in de praktijk regelmatig fout te gaan.

#### 9.7.4 *Procesmonitoring tijdens de uitvoeringsfase*

De werkelijke infiltratie is voorafgegaan door een proefinfiltratie op een proeffilter. De proef heeft 2 weken geduurd. Daarbij is intensief gemonitord (helderheid, zuurstof, redox, chemie, stijghoogten) op verschillende plaatsen in het systeem (onttrokken grondwater, na filtratie en bij injectie). Hierbij zijn geen problemen opgetreden en de volledige infiltratie is in gang gezet (1,6 m<sup>3</sup>/uur met 25 filters).

De infiltratie heeft een maand goed gelopen, maar na een maand zijn drukverschillen gemeten over de bovengrondse filtratie-eenheid (UDI-compactfilter en kaarsenfilter, 25 micron). De filters zijn vervangen, maar na korte tijd zijn weer drukverschillen gemeten. Een extra zandfilter is daarna bijgeschakeld en de filters zijn weer vervangen (nu 75 micron). Er zijn monsters genomen van de bruine aanslag op de filters (mogelijk ijzeroxide), waarin ook biomassa is aangetroffen.

Er kan worden geconcludeerd dat de ijzerproblematiek overeenkomt met de voorspelling. Aan de onttrekkingszijde is de mate van verstopping onbekend. Wel is duidelijk dat er ijzerneerslagen in het systeem ontstaan. Aan de infiltratiezijde is het probleem omzeild door voorafgaande filtratie als preventieve maatregel. Hierdoor manifesteert de verstopping zich momenteel vrijwel alleen in de bovengrondse filtereenheid. Dit systeem vergt echter veel (wekelijks) onderhoud. Het is bovendien de vraag of alle ijzer wordt geoxideerd en volledig wordt verwijderd in het kaarsenfilter. De onttrekkingspompen en injectieleidingen vertonen namelijk reeds (ijzer)aanslag. De onttrekkings- en infiltratiedebieten kunnen weliswaar nog steeds worden gerealiseerd, maar de kans is aanwezig dat in het onttrekkingsstelsel, en wellicht ook aan de infiltratiezijde, in de toekomst verstoppingsproblemen gaan ontstaan.

## 9.8 Barneveld

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Grontmij, 1999].

### 9.8.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het saneringsconcept betreft een conventionele grondwatersanering van aromatische en gechloreerde koolwaterstoffen, met infiltratie van het opgepompte water om verdroging tegen te gaan. De grondwatersanering bestaat uit een streng van verticale bronneringsfilters. Het opgepompte water wordt behandeld in een grondwaterzuiveringsinstallatie en door middel van vrij verval in een horizontaal drainagesysteem geïnjecteerd. De grondwaterzuiveringsinstallatie bestaat uit een:

- influent/beluchtingsbuffer;
- zandfilter, met vuilwater- en schoonwaterbuffer;
- striptoren, met luchtzijdig actief koolfilter.

In tabel 34 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 34. Gegevens van het saneringsconcept Barneveld.

SANERINGSCONCEPT: Grondwatersanering met infiltratie				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
onttrekking + infiltratie	grondwatersanering en tegengaan van verdroging	beluchting, oxidatie	niet van toe-passing	jaren

### Projectstatus

Het consortium is niet intensief betrokken bij dit project en is gevraagd te adviseren over de opgetreden verstopping van het reeds aangelegde systeem.

### 9.8.2 Basisgegevens van de case

De gegevens zijn ontvangen nadat de verstopping is opgetreden en zijn samengevat in tabel 35.



Tabel 35. Barneveld: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	0 - 5 m-mv: 0,5 - 1 5 - 16 m-mv: 7,5 - 10	m/d	$k < 1$ , C1, C2	ja	1
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad grond	n.b.		B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	0 - 5 m-mv: 6 5 - 10 m-mv: 7 injectie: 6,7		A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	n.b.	mV	B3, B5, B11, B12, B15	nee	3
B3	ijzer(II)	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	n.b.	2
B4	ijzer-totaal	0 - 5 m-mv: 0,5 5 - 10 m-mv: 18,7 injectie: 0,2	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0 - 5 m-mv: 0,2 5 - 10 m-mv: 1,2 injectie: 0,5	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	n.b.	mg/l	0,3 mg/l met B1	n.b.	2
B7	natrium	0 - 5 m-mv: 33,9 ESP = 2,7 % 5 - 10 m-mv: 152 ESP = 5,1 % injectie: 36 ESP = 2,4 %	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B8	kalium	0 - 5 m-mv: 4,2 5 - 10 m-mv: 2,1 injectie: 4,5	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B9	calcium	0 - 5 m-mv: 40 SI(calciet): -2,8 SI(gips): -1,8 5 - 10 m-mv: 240 SI(calciet): 0,3 SI(gips): -1,0 injectie: 62,4 SI(calciet) = -1,2 SI(gips) = -1,6	mg/l	SI(calciet) > 0 SI(gips) > 0 A2 (ESP > 25 %)	ja nee nee	2
B10	magnesium	0 - 5 m-mv: 7,2 5 - 10 m-mv: 23 injectie: 8,3	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	nee	geen
B11	ammonium	0 - 5 m-mv: < 0,3 5 - 10 m-mv: 1,5 injectie: 0,3	mg/l	B2, B20	nee	geen
B12	methaan	n.b.	µg/l	0,1 mg/l, B2, B20	n.b.	3, 4
B13	kooldioxide	0 - 5 m-mv: -1,8 5 - 10 m-mv: -1,5 injectie: -1,9 <sup>1)</sup>	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	nee	geen
B14	bicarbonaat	0 - 5 m-mv: 64 5 - 10 m-mv: 590 injectie: 124	mg/l	SI(carbonaten) > 0, B1	nee	geen
B15	sulfaat	0 - 5 m-mv: 85 5 - 10 m-mv: 203 injectie: 107	mg/l	B2 SI(gips) > 0	nee	geen
B16	nitraat	0 - 5 m-mv: 0,7 5 - 10 m-mv: < 0,1 injectie: 2,0	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	0 - 5 m-mv: 0,007 5 - 10 m-mv: 0,2 injectie: < 0,005	mg/l	B3, B9, B10, B11	nee	geen
B18	elektrische geleidbaarheid	0 - 5 m-mv: 36 5 - 10 m-mv: 170 injectie: 52	mS/m	A2	nee	geen
B19	organische koolstof	n.b.	mg/l	B2, B15, B16, B20	n.b.	3
B20	zuurstof	0 - 5 m-mv: 4 5 - 10 m-mv: 0,9 injectie: 2,7	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	n.b.	s/l <sup>2</sup>	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> ,	n.b.	1

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
			mg/l	zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l		
C1	grondwaterstand	1- 2,5	m-mv	A1, C2, D2, D4	ja	2, 3
C2	diepte scheidende laag	5,5	m-mv	A1, C2	ja	2, 3
D1	onttrekkingsdebiet	7	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	1 - 2	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h \leq 0,22z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	2 - 4,5, 5,5 - 8	m-mv	B, C, D4, E1	ja	2, 3
D4	infiltratiediepte	1,0, 80 mm HDPE-drain	m-mv	B, C, D3, E1	ja	2, 3
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $d_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	pulsboring, drainsleuf		B7 - B10, B21	nee	geen
E1	ontgassing	ja		A3, B1, B12, B13, B14	ja	2, 3
E2	beluchting	ja (bij filtratiestap)		B20	ja	2, 4
E3	pH-verandering	ja		B1	ja	2, 3
E4	deeltjesverwijdering	ja		B21	ja	1
E5	toeslagstoffen	n.v.t.		B2, B15, B16, B20, E2	n.v.t.	geen

<sup>1)</sup> na beluchting zou de log  $P_{CO_2} < -3,5$  (atm) moeten zijn (B13)

### 9.8.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Uit de basisgegevens kan worden geconcludeerd dat met name het diepere grondwater hoge gehalten aan ijzer bevat (B4). Samen met de aanwezige zuurstof (B20) in het totale ont-trekkingswater (alle waterstromen komen samen) en de grondwaterbehandeling (beluchting) zullen ijzerhydroxiden in het ont-trekkingsstelsel en zuiveringstelsel worden gevormd ( $SI(FeOH) > 0$ ). Neerslag van kalk, gips of carbonaathoudende mineralen evenals metaalsulfiden worden in eerste instantie niet verwacht. Ten aanzien van calciëtvorming dient daarbij nog wel een opmerking te worden gemaakt. Het diepere grondwater is enigszins oververzadigd met calcië (SI(calcië)  $> 0$ , B9). In het influent en injectiewater wordt dit niet meer teruggevonden. Het kan zijn dat in de vacuümfilters al kalkneerslag optreedt en dit niet meer gemeten wordt in het influent in de zuivering. Voorgesteld wordt om de filters daarop te onderzoeken (analyseren aanslag of meerdere analyses grondwater), dit in verband met het periodiek onderhoud (zie verder).

Tijdens de grondwatersanering is in diverse onderdelen van het ont-trekkingsstelsel een ijzer-aanslag geconstateerd. Verstopping is opgetreden in het ont-trekkingsstelsel en de verstopping manifesteert zich met name ter plaatse van niveauschakelingen, pompen en debietmeters. Aan de infiltratiezijde is nog geen verstopping waargenomen, aangezien het injectiedebiet zeer gering is en de mogelijkheid van overloop naar het riool aanwezig is.

Aangezien het aantrekken van zuurstofhoudend water en valse lucht in het vacuümont-trekkings-stelsel niet is te voorkomen (C, D, E2), dient periodiek onderhoud plaats te vinden. Om de ver-stopping van de drainage zoveel mogelijk te beperken, dient de waterbehandeling het ijzer-gehalte zoveel mogelijk terug te dringen en het injectiewater vrij van zwevende stof te houden (analyse op zwevende stof, E4).

Naast het milieuhygiënisch argument dat het injectiewater vrij van organische verontreinigingen moet zijn, is dit ook van belang om biologische activiteit in de drain te voorkomen. Voorgesteld wordt om het injectiewater minimaal ook op organisch koolstof te analyseren.

## 9.9 Roermond

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare docu-menten [MTI Milieutechnologie, 1999].

### 9.9.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het doel van dit NOBIS-project is om te onderzoeken of de toediening van on-site geproduceerde 'biosurfactants' aan circulerend grondwater leidt tot een significante verwijdering van een minerale olieverontreiniging op pilot-plant schaal. In het laboratorium is reeds geconstateerd dat een aanzienlijk vergroting van de beschikbaarheid van minerale olie met biosurfactants kan worden gerealiseerd. In tabel 36 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 36. Gegevens van het saneringsconcept Roermond.

SANERINGSCONCEPT: Gestimuleerde verwijdering van minerale olie door middel van injectie van biosurfactants (proef)				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
vacuümopzuiging + infiltratie + toevoegingen	(bio)beschikbaarheid van minerale olie vergroten	beluchting, oxidatie	on-site biosurfactants	maanden

### Projectstatus

De proef bestaat uit het onttrekken van grondwater met vacuümfilters. Het opgepompte water wordt behandeld in een olie-waterafscheider, een beluchtingstank en zandfiltratie (ontijzering). Het water wordt via vrij verval in filters geretourneerd. Alvorens het water wordt geïnfiltrerd, zullen biosurfactants worden toegevoegd. In verband met verstoppingsproblemen is dit nog niet uitgevoerd en is alleen nog maar water rondgepompt.

### 9.9.2 Basisgegevens van de case

Het consortium is niet intensief betrokken bij het project. In de uitvoeringsfase is het consortium erbij betrokken geraakt. De beschikbare basisgegevens zijn gebruikt voor een eerste beoordeling van verstoppingsrisico's (achteraf). Deze basisgegevens zijn samengevat in tabel 37.

Tabel 37. Roermond: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	1 - 3	m/d	$k < 1$ , C1, C2	ja	1
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad grond	n.b.	-	B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	gw: 7,0 - 7,7 influent: 7,2 - 7,4 injectie: 7,2 - 7,3	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	n.b.	mV	B3, B5, B11, B12, B15	n.b.	2, 3
B3	ijzer(II)	gw: 24,5 influent: 4 - 35 injectie: 0,2	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	n.b.	2
B5	mangaan	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	n.b.	2
B6	aluminium	n.b.	mg/l	0,3 mg/l met B1	n.b.	2
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	5
B8	kalium	n.b.	mg/l	A2 (ESP > 25 %)	n.b.	5
B9	calcium	n.b.	mg/l	SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0 A2 (ESP > 25 %)	n.b.	2 5
B10	magnesium	n.b.	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	n.b.	2 5
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	2, 3
B12	methaan	n.b.	µg/l	0,1 mg/l, B2, B20	n.b.	3, 4



code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
B13	kooldioxide	n.b.	log $P_{CO_2}$	log $P_{CO_2} > -3,5$ (atm), E1, B1, B14	n.b.	2, 3, 4
B14	bicarbonaat	n.b.	mg/l	SI(carbonaten) > 0, B1	n.b.	2, 4
B15	sulfaat	n.b.	mg/l	B2 SI(gips) > 0	n.b.	3 2
B16	nitraat	n.b.	mg/l	B2, B3, B20	n.b.	2, 3, 4
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B3, B9, B10, B11	n.b.	2, 3
B18	elektrische geleidbaarheid	n.b.	mS/m	A2	n.b.	2, 3, 5
B19	organische koolstof	n.b.	mg/l	B2, B15, B16, B20	n.b.	3
B20	zuurstof	gw: < 1,7 influent: 4,8 - 7,3 injectie: 2,1	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	n.b.		MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	1
C1	grondwaterstand	1,7 - 2,3	m-mv	A1, C2, D2, D4	ja	2, 3
C2	diepte scheidende laag	2,5	m-mv	A1, C2	ja	2, 3
D1	onttrekkingsdebiet	0,3	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	ja	1, 4
D2	infiltratiedebiet	0,3	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h \leq 0,22z$	ja	1, 4
D3	onttrekkingsdiepte	2 - 2,5 (105 mm)	m-mv	B, C, D4, E1	ja	1, 4
D4	infiltratiediepte	2 - 2,5 (105 mm)	m-mv	B, C, D3, E1	ja	1, 4
D5	filterspleetgrootte	1 - 2	mm	D1, D6	ja	1
D6	grindomstoring $d_p$	10	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	ja	1
D7	boormethode	pulsboring		B7 - B10, B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	nee	geen
E2	beluchting	ja		B20	nee	geen
E3	pH-verandering	nee		B1	nee	geen
E4	deeltjesverwijdering	ja		B21	ja	1
E5	toeslagstoffen	biosurfactants		B2, B15, B16, B20, E2	ja	2, 3

### 9.9.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Uit de basisgegevens kan worden afgeleid dat er maar een zeer geringe watervoerende hoogte is ter plaatse van de onttrekkings- en infiltratiefilters (0,2 - 0,8 m; C). In dit grondwater (of schijn-grondwater) bevindt zich zeer veel ijzer(II) (B3). De verwachting is dat een dergelijk ondiep water juist veel zuurstof bevat en lage ijzergehalten als gevolg van infiltrerend neerslag. Aangezien dit niet het geval is en rekeninghoudend met de sterke verontreinigingsgraad kan worden geconcludeerd dat het water sterk anaëroob is als gevolg van het verbruik van zuurstof door de verontreiniging. Het gevolg hiervan is dat ijzerdeeltjes in het zand en de klei worden gemobiliseerd (van ijzer(III) naar ijzer(II)).

Met het bovenstaande is ook de kern van de problematiek verkregen. Door het vacuümsysteem wordt zowel grondwater als lucht aangezogen en ijzerafzettingen vinden direct plaats in het onttrekkingsstelsel (C, D, B20). Dit is ook visueel waarneembaar in het veld: de doorzichtige leidingen zijn bruin gekleurd. Het probleem aan de onttrekkingszijde kan niet worden verholpen met het huidige systeem. De verstopping is enigszins beheersbaar door zeer regelmatig onderhoud te plegen aan het onttrekkingsstelsel. Een bijkomend probleem aan de onttrekkingszijde hangt samen met het geringe verschil tussen de spleetafmeting van het onttrekkingsfilter en de deeltjesdiameter van het omstortingsmateriaal. Dit kan leiden tot het intrekken van deeltjes (zand/slib) en tot verstopping van het filter. De opbrengst van de onttrekkingsfilters kan daardoor

minder zijn dan verwacht, waardoor men op den duur bij grotere onderdruk gaat onttrekken. Het risico van aanzuigen van lucht wordt hierdoor vergroot, zodat ook meer ijzeroxide zal neerslaan.

Naast deze problematiek verdient de infiltratiezijde bijzondere aandacht. In het veld was visueel waargenomen dat het injectiewater ijzer bevatte (bruine kleur in leidingen en bronkop). Aangezien injectie van ijzerdeeltjes tot grote verstoppingsproblemen kan leiden in het filter (dit treedt eerder op dan verstopping van de onttrekkingsbron), dient het injectiewater geheel ontijzerd te worden.

Als er gekozen wordt voor een zuurstofloze retourbemaling, is een anaërobe filtratiestap voor de verwijdering van reeds ontstane ijzerdeeltjes noodzakelijk. Met deze anaërobe ontijzering is echter nog maar beperkt ervaring opgedaan. Daarna zal het water onder druk geïnfiltreerd moeten worden, in plaats van onder vrij verval, om inlek van zuurstof aan de injectiezijde uit te sluiten. Er kan ook voor een volledige (aërobe) ontijzering worden gekozen. Het ontstane aërobe water is chemisch stabiel en, met betrekking tot ijzer, in principe geschikt voor infiltratie.

Daarnaast speelt het probleem van biologische activiteit een rol (B20 + verontreiniging). Door de olie-waterafscheider zal alleen de minerale olie worden afgevangen, maar het water zal nog veel organisch materiaal bevatten (o.a. BTEX). Deze stoffen kunnen worden geoxideerd en vorming van biomassa tot gevolg hebben. De filtratie bij aërobe ontijzering zal niet alleen de ijzerhydroxiden moeten afvangen, maar ook gevormde biomassadeeltjes.

Gezien het beperkte aantal gegevens, wordt aanbevolen een volledige analyse te verrichten van de macroparameters van grondwater, influent en effluent (= injectie). Daarbij zal met name moeten worden gelet op het ijzergehalte en zwevende stofgehalte van het effluent. Om de huidige verstopping teniet te doen zullen daarnaast de filters moeten worden geregenereerd. De bevindingen dienen daarbij goed te worden beschreven. Voorgesteld wordt ook de aanslag in het onttrekkings- en injectiesysteem te analyseren en eventueel te microscoperen in verband met biomassa (zie case Tilburg). De bovengenoemde problemen zullen eerst opgelost dienen te worden alvorens met biosurfactants kan worden geïnjecteerd. Ook dan dient het zwevende stofgehalte en vorming van biomassa goed te worden gemonitord.

## 9.10 Slochteren

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Iwaco, 1999d].

### 9.10.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het doel van dit NOBIS-project is de ontwikkeling van een extensief saneringsconcept voor BTEX-verontreinigingen, gebruikmakend van natuurlijke anaërobe afbraakprocessen in de bodem. Het concept is gebaseerd op stimulatie van de afbraak van BTEX-componenten door toediening van elektronenacceptoren (zuurstof en/of nitraat dan wel sulfaat) aan het grondwater. In tabel 38 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 38. Gegevens van het saneringsconcept Slochteren.

SANERINGSCONCEPT: Stimulatie van natuurlijke anaërobe afbraak van BTEX				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
infiltratie + toevoegingen (onttrekking ter controle na 2 maanden reactietijd)	afbraak BTEX stimuleren	het te infiltreren gebieds-eigen water wordt belucht	bromide, sulfaat, zuurstof	2 maanden

### *Projectstatus*

De pilotproef bestaat zowel uit een benzeen push-pull test als een toluen push-pull test. Beide tests zijn voorafgegaan door blanco push-pull tests, waarbij geen zuurstof in het te infiltreren water aanwezig is. Tijdens een push-pull test wordt in totaal 8 m<sup>3</sup> grondwater uit een bron op het terrein geïnfiltreerd in een infiltratieput. Na een verblijftijd in het bodempakket van circa 2 maanden wordt het geïnfiltreerde water onttrokken. Het infiltratie- en onttrekkingsdebiet zijn gering.

### 9.10.2 Basisgegevens van de case

Het consortium is niet intensief betrokken geweest bij het project. De beschikbare basisgegevens zijn gebruikt voor een beoordeling van de verstoppingsrisico's. Deze basisgegevens zijn samengevat in tabel 39 conform de beslissingssystematiek.

Tabel 39. Slochteren: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch ?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	n.b.	m/d	$k < 1$ , C1, C2	n.b.	1
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	n.b.	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	n.b.	2, 3
B2	redoxpotentiaal	n.b.	mV	B3, B5, B11, B12, B15	n.b.	2, 3
B3	ijzer(II)	6 - 14	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	n.b.	2
B6	aluminium	n.b.	mg/l	0,3 mg/l met B1	n.b.	2
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2, ESP > 25 % (via SAR)	n.b.	5
B8	kalium	n.b.		A2, ESP > 25 % (via SAR)	n.b.	5
B9	calcium	n.b.	mg/l	A2, SI(calciet) > 0 SI(gips) > 0	n.b.	2 5
B10	magnesium	n.b.	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	n.b.	2 5
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	n.b.	2, 3
B12	methaan	n.b.	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	n.b.	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	n.b.	log $P_{CO_2}$	log $P_{CO_2} > -3,5$ (atm), E1, B1, B14	n.b.	2, 4
B14	bicarbonaat	n.b.	mmol/l	SI(carbonaten) > 0, B1	n.b.	2, 4
B15	sulfaat	36	mg/l	SI(gips) > 0, B2	nee	geen
B16	nitraat	< 0,4	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B3, B9, B10, B11	n.b.	2, 3
B18	elektrische geleidbaarheid	n.b.	mS/m	A2	n.b.	2, 3, 5
B19	organische koolstof	n.b.	mg/l	B2, B15, B16, B20	n.b.	3
B20	zuurstof	n.b., 10 *	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3
B21	deeltjes	n.b.	s/l <sup>2</sup> mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	1
C1	grondwaterstand	n.b.	m-mv	A1, C2, D2, D4	n.b.	2, 3
C2	diepte scheidende laag	n.b.	m-mv	A1, C2	n.b.	2, 3
D1	onttrekkingsdebiet	1	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	0,17	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22 z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	20 - 22 of 9 - 10	m-mv	B, C, D4, E1	nee	geen
D4	infiltratiediepte	20 - 22 of 9 - 10	m-mv	B, C, D3, E1	nee	geen
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $d_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	pulsen		B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	n.v.t.	geen
E2	beluchting	nee		B20	n.v.t.	geen
E3	pH-verandering	nee		B1	n.v.t.	geen
E4	deeltjesverwijdering	nee?		B21	ja *	1
E5	toeslagstoffen	nee		B2, B15, B16, B20, E2	n.v.t.	geen

\* bij 2<sup>e</sup> run push-pull

### 9.10.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Kritische parameters voor verstoppingsrisico's zijn het ijzergehalte en mangaangehalte van het anaërobe grondwater, waardoor bij elk contact met zuurstof neerslagen gevormd zullen worden.

Voor de 1<sup>e</sup> run met anaëroob water werden geen problemen verwacht. Inmiddels zijn de resultaten van deze proef beschikbaar: In een filter (diepte 20 - 22 m-mv, 125 mm diameter) is een 48-uurs infiltratie uitgevoerd door vanuit een ander filter (19 - 23 m-mv) grondwater op te pompen en onder druk (2 atm., met behulp van een veerbelaste klep) te infiltreren met een debiet van circa 0,2 m<sup>3</sup> per uur. De leiding was op circa 19 m-mv voorzien van een packer. Aan de infiltratieleiding is vlak boven de packer een (anaërobe) benzeenoplossing (met KBr) toegevoegd door middel van een pulspomp. In totaal is 8,7 m<sup>3</sup> grondwater geïnjecteerd. Dit heeft niet tot problemen geleid en er was zelfs sprake van een circa 10 % toename van het infiltratiedebiet.

Voor de 2<sup>e</sup> run zal het te infiltreren water na beluchting eerst een goede filtratie moeten ondergaan om verstopping van de infiltratieput door deeltjes te voorkomen. De resultaten hiervan komen in een later stadium beschikbaar.

## 9.11 Schoonebeek

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Iwaco, 1999e].

### 9.11.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het doel van het NOBIS-project is de ontwikkeling van een extensief saneringsconcept voor BTEX-verontreinigingen, gebruikmakend van natuurlijke anaërobe afbraakprocessen in de bodem. Het concept is gebaseerd op stimulatie van de afbraak van BTEX-componenten door toediening van elektronenacceptoren (zuurstof en/of nitraat dan wel sulfaat) aan het grondwater. In tabel 40 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 40. Gegevens van het saneringsconcept Schoonebeek.

SANERINGSCONCEPT: Stimulatie van natuurlijke anaërobe afbraak van BTEX				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
infiltratie + toevoegingen	afbraak BTEX stimuleren	het te infiltreren gebieds-eigen water wordt belucht	bromide, sulfaat, zuurstof	1 à 2 maanden

### Projectstatus

Bij de stimulatieproef wordt 10 m<sup>3</sup> water verrijkt met zuurstof en sulfaat en voorzien van een tracer (bromide) via het filter van een monitoringspeilbuis in de bodem geïnfilteerd. De duur van de infiltratie is enkele dagen. Hierna wordt het verloop van de concentraties van de diverse stoffen in de pluim gevolgd. Voorafgaand aan de stimulatieproef wordt als referentie een infiltratieproef met anaëroob water voorzien van sulfaat en bromide uitgevoerd. Deze proef heeft eveneens een omvang van 10 m<sup>3</sup> water.

### 9.11.2 Basisgegevens van de case

Het consortium is niet intensief betrokken bij het project. De beschikbare basisgegevens zijn gebruikt voor een beoordeling van de verstoppingsrisico's. Deze basisgegevens zijn samengevat in tabel 41 conform de beslissingssystematiek.

### Aanvullende gegevens

Ook bij intensief beluchten van het onttrokken grondwater blijft het ijzergehalte in het effluent erg hoog. Het vermoeden bestaat dat hier organisch-gebonden ijzer aanwezig is. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezige humuszuren in het grondwater. Van deze humuszuren

is ook gemeld dat deze mogelijk storend kunnen werken op de beoogde stimulering van de biologische activiteit.

Tabel 41. Schoonebeek: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch ?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	n.b.	m/d	$k < 1$ , C1, C2	n.b.	1
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	6,2	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	nee	geen
B2	redoxpotentiaal	n.b.	mV	B3, B5, B11, B12, B15	n.b.	2, 3
B3	ijzer(II)	circa 7	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	86 *	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	ja	2
B5	mangaan	0,73	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B6	aluminium	n.b.	mg/l	0,3 mg/l met B1	n.b.	2
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2, ESP > 25 % (via SAR)	n.b.	5
B8	kalium	n.b.		A2, ESP > 25 % (via SAR)	n.b.	5
B9	calcium	12	mg/l	A2, SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0	nee	geen
B10	magnesium	n.b.	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	n.b.	2 5
B11	ammonium	3,1	mg/l	B2, B20	nee	geen
B12	methaan	n.b.	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	n.b.	3, 4
B13	kooldioxide (berekend)	?	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	nee	geen
B14	bicarbonaat	56	mg/l	SI(carbonaten) > 0, B1	nee	geen
B15	sulfaat	0,24	mg/l	SI(gips) > 0, B2	nee	geen
B16	nitraat	< 0,04	mg/l	B2, B3, B20	nee	geen
B17	fosfaat	1,4	mg/l	B3, B9, B10, B11	nee	geen
B18	elektrische geleidbaarheid	n.b.	mS/m	A2	n.b.	2, 3, 5
B19	organische koolstof	n.b.	mg/l	B2, B15, B16, B20	n.b.	3
B20	zuurstof	circa 10 **	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3
B21	deeltjes	n.b.	s/l <sup>2</sup> mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	1
C1	grondwaterstand	n.b.	m-mv	A1, C2, D2, D4	n.b.	2, 3
C2	diepte scheidende laag	n.b.	m-mv	A1, C2	n.b.	2, 3
D1	onttrekkingsdebiet	?	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	circa 0,05	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22 z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	12 - 14	m-mv	B, C, D4, E1	nee	geen
D4	infiltratiediepte	12 - 14	m-mv	B, C, D3, E1	nee	geen
D5	filterspleetgrootte	n.b.	mm	D1, D6	n.b.	1
D6	grindomstorting $\alpha_p$	n.b.	mm	A1, D5, 4 - 5 M <sub>50</sub> (bodem)	n.b.	1
D7	boormethode	pulsen		B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	nee		A3, B1, B12, B13, B14	n.v.t.	geen
E2	beluchting	nee		B20	n.v.t.	geen
E3	pH-verandering	nee		B1	n.v.t.	geen
E4	deeltjesverwijdering	nee		B21	ja **	1
E5	toeslagstoffen	nee		B2, B15, B16, B20, E2	n.v.t.	geen

\* in omgeving maximaal 240 mg/l Fe

\*\* bij 2<sup>e</sup> injectieproef

### 9.11.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Op beide locaties is er sprake van een kortdurende injectie van beperkte omvang, waardoor significante verstoppingsproblemen niet worden verwacht.

De meest kritische parameter is het extreem hoge ijzergehalte van het anaërobe grondwater, waardoor bij elk contact met zuurstof neerslagen gevormd zullen worden (B3). Een extra complicatie hierbij is het slechte resultaat van de ontijzeringsproef; ondanks intensief beluchten blijft een groot deel van het ijzer in oplossing. Mogelijke oorzaken van dit probleem zijn:

- *Ijzer komt voor in de vorm van mobiele organische complexen*

Als ijzer voorkomt in de vorm van mobiele organische complexen, zou het grondwater eveneens hoge concentraties aan opgeloste organische stof (DOC) moeten bevatten. In een zestal monsters is de concentratie DOC gemeten. Hoewel het gemeten bereik in de DOC-concentratie relatief groot is (17 - 150 mg/l), blijkt er geen sprake te zijn van een correlatie tussen de concentratie DOC en de concentratie aan opgelost Fe. Zo is in het monster met de hoogste ijzerconcentratie (230 mg/l) de concentratie DOC het laagst (17 mg/l). Bovendien is een DOC-concentratie van 17 mg/l doorgaans te laag om 230 mg/l Fe in oplossing te houden.

- *Ijzer komt voor in de vorm van colloïden*

Colloïdaal ijzer zou kunnen bestaan uit zeer kleine deeltjes ijzerhydroxide. De aanwezigheid van DOC kan het uitvlokken van deeltjes ijzerhydroxiden verhinderen, waardoor het ijzer in de vorm van colloïden in oplossing blijft. Colloïdaal-gebonden ijzer kan uit de oplossing worden verwijderd door het toepassen van (ultra)filtratie. In het laboratorium is deze mogelijkheid relatief eenvoudig te onderzoeken.

Zonder verdere onderzoeksgegevens (type DOC, aanwezigheid van deeltjes/colloïden) kan de werkelijke oorzaak van de problemen bij de ontijzering niet worden aangewezen.

Bij de eerste injectie wordt zuurstofloos water geïnjecteerd. Er worden geen problemen verwacht indien er voldoende maatregelen genomen zijn om zuurstofinlek te verhinderen. Bij de tweede injectie is er sprake van infiltratie van zuurstofhoudend water. Met name bij deze run kan er sprake zijn van een verstoppingsrisico, afhankelijk van de oxidatiesnelheid van Fe(II). De beluchtingsproef heeft het een en ander uitgewezen, maar om verstopping tegen te gaan is het van belang het water te filtreren alvorens te injecteren.

Bij de eerste run wordt ook bromide ingebracht. Het grondwater bevat al enigszins chloride. Bij kleiige, humeuze bodems kunnen organisch stof en kleideeltjes (kleidispersie; A2) door deze zouten worden gemobiliseerd.

Al met al wordt gezien de beperkte omvang van de proef geen problemen verwacht. Ook al zou er verstopping optreden, dan zal dit gezien de geringe hoeveelheid injectiewater gering zijn. Indien de levensduur van de filters langer moet zijn dan deze proef, dient zeker met bovenstaande punten rekening te worden gehouden.

## 9.12 Rademarkt te Groningen

Onderstaande beoordeling is gebaseerd op informatie die is verkregen uit de beschikbare documenten [Iwaco, 1999f en 1999g].

### 9.12.1 Beschrijving van het saneringsconcept

Het doel van het NOBIS-project is een stimulatie van de afbraak van CKW's in het eerste watervoerende pakket door grondwater, verrijkt met methanol en compostextract, gedurende 2 jaar te circuleren.

In tabel 42 is het saneringsconcept weergegeven.

Tabel 42. Gegevens van het saneringsconcept Rademarkt te Groningen.

SANERINGSCONCEPT: Stimulatie van natuurlijke anaërobe afbraak van CKW's				
proces watersysteem	beoogd proces in de bodem	effect van de waterbehandeling	toevoegingen	tijdsduur sanering
infiltratie + toevoegingen, via deepwell en drain	afbraak van CKW's stimuleren door infiltratie van hulpstoffen	verwijdering deeltjes, mogelijk luchtintrede	compostextract, methanol	circa 2 jaar

### Projectstatus

Bij de stimulatieproef wordt grondwater onttrokken via 5 bronnen op 5 - 8 m-mv diepte bij een gemiddeld totaaldebiet van 1 m<sup>3</sup> per uur. Circa driekwart van het onttrokken water wordt na de zuivering geloosd. Aangezien de zuivering niet van belang is voor de circulatiestroom, wordt deze hier niet verder besproken. Het resterende debiet (0,25 m<sup>3</sup>/uur) wordt over een zakfilter geleid en na toediening van hulpstoffen verdeeld over 10 infiltratiefilters, waarop een waterkolom van circa 4,5 m wordt gezet. Overigens blijft het infiltratiewater onbehandeld. De infiltratiefilters bevinden zich op 5 - 8 m-mv. Daarnaast wordt een deel van dit 'verrijkte' retourwater via een drain (op 0,9 m-mv) in een grindkoffer geleid, die als lekkende emmer zal infiltreren.

### 9.12.2 Basisgegevens van de case

#### Hydrogeologie

Het voor de deelsanering relevante bodemdeel (t/m eerste watervoerende pakket) is als volgt opgebouwd:

Diepte (m-mv)	Lithologie	Hydrogeologie
0 - 2	middelfijn tot grof zand met puin	onverzadigde zone
2 - 5	keileem, sterk zandig met keien	eerste watervoerende pakket, 1 <sup>e</sup> etage
5 - 8	keileem, sterk zandig met keien	eerste watervoerende pakket, 2 <sup>e</sup> etage
8 - 12	keileem, zeer vast en droog	eerste scheidende laag

Het grondwater stroomt in oostelijke richting en de stromingssnelheid is beperkt. Er heerst een infiltratiesituatie over de keileemlaag.

#### Verontreinigingssituatie

De bodemverontreiniging is zowel in het eerste als tweede watervoerende pakket aangetroffen en bestaat met name uit vluchtige organohalogenen en in mindere mate uit BTEX. De VOCl-verontreiniging is vermoedelijk als DNAPL aanwezig en is duidelijk gerelateerd aan het riooltracé, van waaruit deze is ontstaan.

#### Basisgegevens

Het consortium is in de ontwerpfase betrokken bij het project. De beschikbaar gestelde gegevens (deelsaneringsplan) zijn gebruikt voor een beoordeling van de verstoppingsrisico's in het ontwerp conform de beslissingssystematiek. Deze basisgegevens zijn samengevat in tabel 43.



Tabel 43. Rademarkt: Basisgegevens, kritische waarden en indicatieve verstoppingsrisico's (een verklaring van de afkortingen is gegeven in hoofdstuk 8, tabel 15).

code	parameter	meetwaarde	eenheid	meetwaarde of combinatie kritisch?	ja/nee	risico
A1	doorlatendheid	2 - 5 m-mv: 1 5 - 8 m-mv: 10 - 15 12 - 65 m-mv: 5	m/d	$k < 1$ , C1, C2	nee	geen
A2	kationuitwisseling	n.b.	%	ESP > 25 % (10 %)	n.b.	5
A3	zuurgraad bodem	n.b.	-	B1	n.b.	2, 3
B1	zuurgraad water	6,7 - 7,2	-	A3, B6 (pH > 6,5), B14	ja	2
B2	redoxpotentiaal	-156 - +258	mV	B3, B5, B11, B12, B15	ja	3
B3	ijzer(II)	< 0,05 - 30	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	ja	2
B4	ijzer-totaal	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B3, B20	n.b.	2
B5	mangaan	n.b.	mg/l	0,1 mg/l met B2, B20	n.b.	2
B6	aluminium	n.b.	mg/l	0,3 mg/l met B1	n.b.	2
B7	natrium	n.b.	mg/l	A2, ESP > 25 % (via SAR)	n.b.	5
B8	kalium	n.b.		A2, ESP > 25 % (via SAR)	n.b.	5
B9	calcium	n.b.	mg/l	A2, SI(calciet) > 0, SI(gips) > 0	n.b.	2, 5
B10	magnesium	n.b.	mg/l	SI(MgCO <sub>3</sub> ) > 0 A2 (ESP > 25 %)	n.b.	2 5
B11	ammonium	n.b.	mg/l	B2, B20	nee	2, 3
B12	methaan	0,004 - 6,0	mg/l	0,1 mg/l, B2, B20	n.b.	3, (4)
B13	kooldioxide (berekend)	≤ -1	log P <sub>CO2</sub>	log P <sub>CO2</sub> > -3,5 (atm), E1, B1, B14	ja/nee	(4)
B14	bicarbonaat	350 - 1200	mg/l	SI(carbonaten) > 0, B1	ja	2, (4)
B15	sulfaat	0,4 - 180	mg/l	SI(gips) > 0 B2	n.b. ja	2 3
B16	nitraat	< 0,04 - 18	mg/l	B2, B3, B20	ja	3
B17	fosfaat	n.b.	mg/l	B3, B9, B10, B11	n.b.	2, 3
B18	elektrische geleidbaarheid	213 - 353	mS/m	A2	n.b.	n.b.
B19	organische koolstof	5 - 27	mg/l	B2, B15, B16, B20	ja	3
B20	zuurstof	0,11 - 2,5	mg/l	0,01 mg/l, B3, B4, B5, B12, B19	ja	2, 3, 5
B21	deeltjes	n.b.	s/l <sup>2</sup> mg/l	MFI > 3 s/l <sup>2</sup> , zwevende stof 0,01 - 0,1 mg/l	n.b.	1
C1	grondwaterstand	2,5	m-mv	A1, C2, D2, D4	ja	2, 3
C2	diepte scheidende laag	8 - 12	m-mv	A1, C2	ja	2, 3
D1	onttrekkingsdebiet	1	m <sup>3</sup> /uur	B13, D5, D6	nee	geen
D2	infiltratiedebiet	0,25	m <sup>3</sup> /uur	stijghoogtevermeerdering $h < 0,22z$	nee	geen
D3	onttrekkingsdiepte	5 - 8 (5 filters) 16 - 19 (2 filters)	m-mv	B, C, D4, E1	ja	2, 3
D4	infiltratiediepte	5 - 8 (putten) 0,8 - 1,75 (drain)	m-mv	B, C, D3, E1	nee ja	geen 2, 3
D5	filterspleetgrootte	1 (putten) 0,4 - 1,3 (drain)	mm	D1, D6	nee	geen
D6	grindomstorting $d_p$	1,5 - 2,0 (putten) 1,7 - 2,5 (drain) 1,0 - 2,0 (drain)	mm	A1, D5, 4 - 5 $M_{50}$ (bodem)	nee	geen
D7	boormethode	n.b.		B21	n.b.	1, 5
E1	ontgassing	n.v.t.		A3, B1, B12, B13, B14	n.v.t.	geen
E2	beluchting	n.v.t.		B20	n.v.t.	geen
E3	pH-verandering	n.v.t.		B1	n.v.t.	geen
E4	deeltjesverwijdering	ja		B21	ja	1
E5	toeslagstoffen	methanol, com- postextract		B2, B15, B16, B20, E2	ja	3

### 9.12.3 Interpretatie van gegevens en aanbevelingen

Er kan worden geconcludeerd dat bij deze case niet alle gegevens beschikbaar zijn om definitieve conclusies te trekken. Er zijn bijvoorbeeld geen gegevens van de kwaliteit van grondwater uit het tweede watervoerende pakket. Aangezien dit water tezamen met water uit het eerste watervoerende pakket wordt geretourneerd is het van belang dit te kennen. Van het eerste watervoerende pakket ontbreken enkele noodzakelijke gegevens, zodat bijvoorbeeld geen verzadigingsindexen kunnen worden berekend. Niettemin kunnen voorlopige uitspraken worden gedaan over de mogelijke verstoppingsrisico's.

#### 1 Accumulatie van bodemdeeltjes (B21)

Het is niet bekend of het grondwater anderszins deeltjes bevat.

#### 2 Fysisch-chemische neerslagen

##### - IJzer (B3, B4)

Naast de verontreinigingen in het eerste watervoerende pakket (per, tri, cis: 10 - 20 mg/l) wordt grote variatie in Fe(II) gevonden (< 0,05 - 30 mg/l!). De gegevens zijn redelijk consistent, bij hoge redoxpotentiaal is weinig Fe(II) aanwezig. In verschillende delen is nitraat aangetroffen en zuurstof (soms zelfs zuurstof op ca. 6 m-mv). Er zijn dus oxiderende en reducerende bodempakketten aanwezig waaruit water onttrokken wordt. IJzer(II)gehalten zijn overwegend laag in het gebied waar getest gaat worden. Desalniettemin kan menging van verschillende grondwaters uit verschillende bronnen/pakketten leiden tot Fe-oxidatie in het systeem, met name als er ook water uit het tweede watervoerende pakket betrokken wordt. Er wordt aangeraden de (verticale) redoxzoning vast te stellen en ook de Fe(II)gehalten in het tweede watervoerende pakket te bepalen. Op basis hiervan kan de filterstelling beoordeeld en eventueel gewijzigd worden. Een gescheiden verwerking van water uit het eerste en tweede watervoerende pakket lijkt in elk geval raadzaam. Ter preventie van verstopping van het infiltratiesysteem door ijzerhydroxide wordt aangeraden een ontijzerings- en filtratiestap in te lassen.

##### - Carbonaat (B9, B10, B14)

Indien wordt aangenomen dat met de opgegeven  $H_2CO_3$  bicarbonaat wordt bedoeld, is er een hoog anorganisch koolstofgehalte aanwezig. Er zijn ten minste gegevens van het calcium- en magnesiumgehalte vereist voor de berekening van saturatie-indexen voor carbonaten in grondwater van het eerste en tweede watervoerende pakket. Ook is de pH van het tweede watervoerende pakket niet gegeven. Er wordt geadviseerd om dit alles vast te stellen, zodat de hierop betrekking hebbende verstoppingsrisico's kunnen worden vastgesteld. Het gaat daarbij dus om een onderlinge vergelijking van de kwaliteit van grondwater op verschillende diepte en van het (opgepompte) mengwater.

#### 3 Biologisch-gevormde neerslagen

##### - Methaan (B12), organische koolstof (B19), zuurstof (B20), nitraat (B16), toeslagstoffen (E5)

Er is sprake van een lekkend riool (ook een verhoogd nitraatgehalte wijst daarop) en er wordt compostextract gedoseerd, zodat er een aanvoer van nutriënten is. Ook de aanwezigheid van zuurstof in sommige delen in combinatie met verschillende organisch afbreekbare componenten (methaan, BTEX) in onttrekkingswater en de extra dosering van methanol in retourwater wijst op een groot risico van biologische activiteit en verstopping door slijmvorming. Met name de drain, waarin aëroob water wordt geïnfilteerd, is gevoelig voor biologische verstopping.

#### 4 Accumulatie van gassen

- *Methaan (B12) en koolzuurgas (B13)*

Methaangehalten in grondwater zijn variabel maar soms vrij hoog. Op basis van de analysegegevens is het water niet oververzadigd met methaan of kooldioxide. Er wordt niet verwacht dat er ontgassing zal optreden die kan leiden tot gaslogging. Om te voorkomen dat het kalk-koolzuurevenwicht verschuift ten gevolge van CO<sub>2</sub>-ontgassing wordt aangeraden om het systeem op druk te houden. Dit lijkt in elk geval een probleem bij de drain; onduidelijk is of bij terugvoer van grondwater in diepere putten voldoende overdruk wordt gehandhaafd. Bij de geringe debieten bestaat een kans op vrij verval van infiltratiewater. Het is onzeker of de geplande overdruk van 4,5 m waterkolom door middel van een drukklep in de injectieleiding kan worden gerealiseerd.

##### *Gepleegde maatregelen*

Om de te verwachten problemen met neerslagen te beheersen is aan de infiltratiezijde een zakkenfilter tussengeplaatst. De verstoppingsproblemen aan de infiltratiezijde zijn in de hand te houden door de kwaliteit te borgen van het zakkenfilter. Dit filter moet in staat zijn zwevende (ijzer)deeltjes uit het water te filteren. Het is echter wel noodzakelijk dat het water na het filter geheel ontijzerd is. Dat wil zeggen ijzer(II) is volledig geoxideerd en als vlokken neergeslagen op het filter. Daarnaast dient regelmatige inspectie van de infiltratiefilters plaats te vinden. Deze moeten bij teruglopen van de capaciteit worden geregenereerd, waarbij de capaciteit niet tot beneden 50 % mag teruglopen.

In verband met mogelijke oververzadiging in het kalkevenwicht worden maatregelen genomen om een pH-verhoging te voorkomen. De toevoeging van ammoniumchloride, die een lichte pH-daling kan veroorzaken, kan dit mogelijk opheffen. Opgemerkt is dat extra aandacht moet uitgaan naar de afstelling van de veerbelaste kleppen onder in de infiltratiefilters, zodat gegarandeerd wordt dat het systeem op voldoende overdruk blijft. Ook dit voorkomt eventuele ontgassing en daardoor kalkvorming.

Op 13 september 1999 is gestart met een volledige onttrekking en/of infiltratie op alle filters, zonder inzet van de infiltratiedrain. Hierbij is een onttrekkingsdebiet ingesteld van in totaal 1,25 m<sup>3</sup>/h en een totaal infiltratiedebiet van 350 l/h. Op 16 september 1999 is de eerste belading van 1600 liter elektronendonormengsel (compostpercolaat met 20 % methanol) in de twee buffertanks van elk 1 m<sup>3</sup> gepompt en is gestart met de dosering met een debiet van 10 l/h. Op 30 september bedroeg het totale onttrekkingsdebiet 1,15 m<sup>3</sup>/h en het totale infiltratiedebiet bedroeg 430 l/h. In totaal is in deze periode 366 m<sup>3</sup> grondwater geïnfiltrerd. Er is in deze periode 180 m<sup>3</sup> water op het riool geloosd. In het onttrokken water wordt rond eind september een melkachtige vlok zichtbaar, vermoedelijk bacteriegroei. Deze wordt door middel van een 100 µm zakkenfilter voldoende verwijderd, voorafgaand aan infiltratie.

Uit de monitoringsresultaten tot nu toe is gebleken dat de infiltratie van grondwater met percolaat/methanol nog niet heeft geleid tot een zichtbare sterke terugloop van de infiltratiecapaciteit van de filters.

#### 9.13 Toepasbaarheid van de systematiek op praktijkcases

In het voorgaande is de systematiek getoetst op 12 praktijkcases. Ten aanzien van de toepasbaarheid van de systematiek op deze cases kan het volgende worden geconcludeerd:

- *Het vastleggen van voldoende basisgegevens*

In principe lijkt de systematiek voldoende geschikt om de vereiste basisgegevens vast te leggen. Met behulp van de in dit rapport beschreven tabellen worden deze gegevens overzichtelijk gepresenteerd en wordt inzichtelijk welke monitoringsgegevens ontbreken. Bij complexere

cases (bijvoorbeeld case Dravo) is een uitgebreide karakterisering noodzakelijk gebleken. De huidige, aangepaste systematiek houdt ook rekening met dergelijke complexe situaties.

- *Het inzichtelijk maken van het proces dat leidt tot identificatie van kritische parameters, keuzes (beslismomenten) en keuze van de vereiste monitoringswijze(n)*  
Door gebruikmaking van de beschreven beslismethodiek (fase 1 rapport [CUR/NOBIS, 1998]) worden kritische parameters geïdentificeerd en keuzes gemaakt. De achtergronden en meetmethoden worden beschreven in het fase 1 rapport. De tabel met basisgegevens geeft per verstoppingscategorie een samenvatting van de uitkomst van het proces (zoals bijvoorbeeld beoordeling op basis van saturatie-indexen).
- *Praktische waarde (logische stappen, bredere toepasbaarheid)*  
Door de behandeling van verschillende voorbeelden (cases) en de verwerking van de uitkomsten in tabelvorm en een korte discussie wordt gepoogd de systematiek meer tot leven te brengen.
- *Juistheid van het advies dat verkregen wordt met behulp van de systematiek*  
Voor cases waarbij voorspellingen zijn gedaan in de ontwerpfase en waarbij momenteel de uitvoering loopt kan de juistheid van het advies worden geëvalueerd. Dit is tot nog toe slechts in een beperkt aantal cases mogelijk geweest. Met name bij substraatinjectie dienen de nodige praktijkgegevens te worden verzameld. Voor alle cases kan worden geconcludeerd dat de voorspellingen overeenkomen met de uitkomst. Slechts in de case Dravo is de zuurstofintrek onderschat ten gevolge van de complexe situatie.
- *Het vaststellen van leemten in de systematiek en het aangeven van verbeterpunten*  
Bij de beoordeling van de verschillende cases zijn de volgende leemten vastgesteld:
  - De schema's zijn alleen gericht op het stellen van de diagnose van verstopping en niet op de te treffen maatregelen. Het is echter niet mogelijk om alle maatregelen op te nemen in schema's. De eventuele maatregelen zijn daarom separaat in het einddocument opgenomen.
  - De schema's zijn alleen goed bruikbaar wanneer er voldaan is aan een bepaald vooronderzoek. In dit vooronderzoek dienen alle betreffende parameters te worden bepaald. In dit rapport is aan het vooronderzoek meer aandacht besteed, zodat de schema's nu logisch kunnen worden doorlopen.

Bij het doorlopen van de cases werd geconstateerd dat de schema's in het algemeen goed bruikbaar waren. Op een aantal punten waren aanpassingen wenselijk:

- Schema 2a leek ingewikkelder opgesteld dan in werkelijkheid nodig was. Het schema is nu aangepast waarbij onderscheid is gemaakt in verstopping als gevolg van problemen bij de winput of als gevolg van waterbehandeling.
- De rol van nitraat (in samenhang met aanwezigheid zuurstof) is nu meegenomen.
- De rol van toevoer van nutriënten was niet meegenomen. Dit kon niet aan de schema's worden toegevoegd en is in de tekst in dit rapport meegenomen.
- De invloed van de verontreiniging op bijvoorbeeld het mobiliseren van ijzer (zie case Roermond) is niet direct meegenomen. Indirect is dit opgenomen in de bepaling van de redoxtoestand (sulfaatreductie). In de richtlijn voor het vooronderzoek is dit apart opgenomen.

## MEET- EN MAATREGELPROGRAMMA

### 10.1 Inleiding

Het meet- en maatregelenprogramma en de schema's uit hoofdstuk 11 dienen als leidraad voor het ontwerp, de implementatie en de exploitatie van een onttrekkings- en retourstelsel. Het doel van het meet- en maatregelenprogramma en de schema's is het waarborgen van een ongestoorde werking van onttrekkings- en retourmiddelen. Het prinsipeschema voor het meet- en maatregelenprogramma is weergegeven in figuur 4.

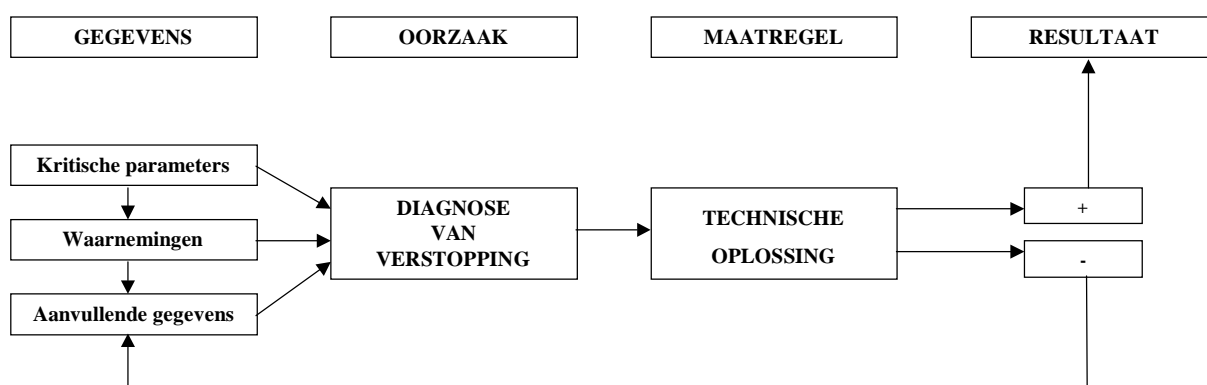


Fig. 4. Stroomschema voor het meet- en maatregelenprogramma.

In de volgende paragraaf wordt het programma eerst in zijn algemeenheid doorlopen en daarna per specifiek kennisveld. Verder wordt nog specifiek ingegaan op het monitoringssysteem.

### 10.2 Benadering

De volgende stappen worden onderscheiden:

#### 1. Specificatie van de kritische parameters

Per categorie (geochemie, hydrologie/fysica, biologie en technologie) worden de kritische parameters, die tot verstopping kunnen leiden, gespecificeerd. Op basis van de beschikbare gegevens worden deze parameters beschreven en, indien mogelijk, gekwantificeerd. Evaluatie van deze parameters is essentieel voor het ontwerp van een retourstelsel. Speciale aandacht moet worden besteed aan de kennis over de bodemopbouw en de daarmee samenhangende grondwaterstroming, omdat vele verstoppingen worden veroorzaakt door menging van waters met verschillende karakteristieken.

#### 2. Waarneming van de verstopping

De verstopping wordt waargenomen op basis van de afname van de retourcapaciteit en eventueel 'doorslaan' aan het maaiveld. Het verloop van de verstopping (snel versus langzaam) kan een indicatie zijn voor de aard van de verstopping. Colloïdale verstopping bijvoorbeeld verloopt langzaam (binnen enkele maanden), chemische verstopping relatief snel (binnen enkele weken of dagen).

#### 3. Opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

Deze stap is bedoeld om de hiaten in de beschikbare informatie, die is verzameld tijdens stap 1, in te vullen. Bovendien kan de samenstelling van het water in de retourput wezenlijk verschillen

van die van het oorspronkelijke grondwater (gekaracteriseerd in stap 1) door zuivering en/of toevoeging van substraten.

4. *Diagnose stellen*

Op basis van beschikbare en aanvullende gegevens (stap 1, 2 en 3) wordt geprobeerd om de oorzaak van de verstopping te beschrijven.

5. *Specificatie van mogelijke technische oplossingen*

Bij de verschillende oorzaken van verstopping worden de eventueel te nemen maatregelen beschreven.

6. *Monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen*

Na de uitvoering van schoonmaakacties en eventuele aanpassingen van het retoursysteem wordt het verloop van de retourcapaciteit gevolgd. Als de uitgevoerde maatregelen niet tot het gewenste debiet leiden, worden de stappen 2 tot en met 5 herhaald.

10.3 **Geochemische aspecten**

*Stap 1: Specificatie van de kritische parameters*

Voor onttrekking en voor retournering zijn al die parameters kritisch die de stroming van (grond)water kunnen belemmeren. Het betreft de aanwezigheid (of vorming) van vaste fase, van biomassa en/of van gasbellen. Belemmering van de stroming van (grond)water manifesteert zich in een toename van de potentiaal(sprong). De kritische parameters voor geochemische aspecten zijn weergegeven in tabel 44.

Tabel 44. Specificatie van de kritische parameters (geochemische aspecten).

parameter	kwalitatieve gegevens	kwantitatieve gegevens
aanwezigheid van deeltjes (fijn zand)	visueel, door onderscheppen in 'zandvang', door tussenschakelen van membraan	'concentratie' van deeltjes, meting van 'concentratie' van deeltjes met deeltjesteller?
vorming van neerslagen	visueel, door afschrapen van aanslag op filter van winput, terreinleidingen en/of retourput, of door tussenschakelen van membraan	volledige chemische samenstelling van het onttrokken grondwater of van het injectiewater, meting MFI
vorming van biomassa (zie ook 10.5)	visueel, door afschrapen van biomassa op filter van winput, terreinleidingen en/of retourput, of door tussenschakelen van membraan	volledige chemische samenstelling van het retourwater, meting AOC? worden voedingsstoffen toegevoegd?
vorming van gasbellen (zie ook 10.4)	visueel, door opvangen van bellen in 'bellenvanger'	gasanalyse

Van belang is de locatie van de inspectie en/of monsterneming (dit wordt besproken in 10.7).

*Stap 2: Waarneming van de verstopping*

Zie tabel 44.

*Stap 3: Opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan*

De mogelijkheden voor een aanvullend meet- en analyseplan volgen uit een vergelijking van de uitgevoerde metingen met de metingen die zijn vermeld in tabel 44.

#### Stap 4: Diagnose stellen

Op basis van bovenstaande metingen moet het mogelijk zijn een diagnose te stellen. Let op mogelijke complicaties:

1. meerdere oorzaken kunnen een rol spelen;
2. het meetpunt moet de juiste locatie hebben, zodat ook inderdaad de juiste diagnose kan worden gesteld.

Voorwaarde hierbij is dat de putten goed zijn ontwikkeld!

#### Stap 5: Specificatie van mogelijke technische oplossingen

Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de onttrekkingsput en de retourput, en tussen curatieve en preventieve maatregelen (zie tabel 45). Bij de keuze van curatieve methoden speelt de locatie van de verstopping een rol: in de filterspleten of op de boorgatwand. Dit onderscheid kan met behulp van de aan- of afwezigheid van een intreeweerstand worden bepaald.

Bij verstopping van de filterspleten kunnen de volgende regeneratiemethoden worden ingezet:

1. borstelen en tegelijkertijd afpompen;
2. spuitklossen en tegelijkertijd afpompen;
3. geforceerd afpompen, als de verstopping slechts in een gedeelte van het putfilter aanwezig is, eventueel sectiegewijs;
4. chemicaliën toevoegen, goed contact maken door te 'jutteren'.

Een ingreep (regeneratie, aanvullende zuivering) wordt als succesvol beschouwd als de capaciteit bij ingebruikneming weer wordt behaald. Is dat niet het geval, dan is ofwel niet de juiste methode toegepast ofwel de juiste methode niet juist uitgevoerd.

Tabel 45. Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (geochemische aspecten).

oorzaak	maatregelen	
	curatief	preventief
alleen de onttrekkingsput raakt verstopt		
fijn zand	regelmatig regenereren <sup>1)</sup>	niet mogelijk
neerslagen	regelmatig regenereren	niet mogelijk
biomassa	regelmatig regenereren	niet mogelijk
gasbellen	niet van toepassing	niet van toepassing
alleen de retourput raakt verstopt		
fijn zand	regelmatig regenereren	'zandvanger' ertussen zetten
neerslagen	regelmatig regenereren	zuivering tussenschakelen
biomassa	regelmatig regenereren	voedingsstoffen discontinu doseren?
gasbellen	regelmatig terugpompen	installatie lekdicht maken
de onttrekkingsput en de retourput raken verstopt door dezelfde oorzaak		
fijn zand	zie boven	zie boven
neerslagen	zie boven	zie boven
biomassa	zie boven	zie boven
gasbellen	niet van toepassing	niet van toepassing
de onttrekkingsput en de retourput raken verstopt door verschillende oorzaken		
	juiste combinatie van bovenstaande methoden	juiste combinatie van bovenstaande methoden

<sup>1)</sup> In de praktijk zal in deze situatie de retourput veel sneller verstopt raken.

#### Stap 6: Monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

Om te bezien of de juiste acties zijn genomen, wordt de monitoring voortgezet. Als preventieve maatregelen worden toegepast, zijn de klachten blijvend verholpen. Bij curatieve maatregelen geeft de monitoring het moment aan wanneer weer moet worden ingegrepen.

### 10.4 Hydrologische en fysische aspecten

#### Stap 1: Specificatie van de kritische parameters

De kritische parameters voor hydrologische en fysische aspecten zijn weergegeven in tabel 46.

Tabel 46. Specificatie van de kritische parameters (hydrologische en fysische aspecten).

parameter	kwalitatieve gegevens	kwantitatieve gegevens
doorlatendheid	boorbeschrijving en boorgatmetingen	put-/pompproeven, tracertest, korrelgrootte-analyse
kleizwelling	boorbeschrijving	SAR, CEC
deeltjes	visuele inspectie	MFI
kritische stijghoogte	doorslaan	waarneming grondwaterstand
gasbellen	gasbellen in water	gasanalyse, drukmetingen

#### Stap 2: Waarneming van de verstopping

De visuele inspectie van het filter kan de eerste indicatie verschaffen voor de oorzaak van de verstopping (bijvoorbeeld kalk- en/of ijzeraanslag, algenaanslag, boorspoelingsrestanten).

#### Stap 3: Opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

De te gebruiken meet- en analysetechnieken zijn opgenomen in tabel 46 en uitvoerig beschreven in hoofdstuk 3.

#### Stap 4: Ddiagnose stellen

Voor de hydrologische en fysische aspecten zijn de oorzaken van verstopping:

- slechte doorlatendheid;
- kleizwelling/kleidispersie;
- colloïdale verstopping;
- gasclogging.

#### Stap 5: Specificatie van mogelijke technische oplossingen

De mogelijke technische oplossingen zijn weergegeven in tabel 47. De kritische stijghoogte (geen oorzaak maar gevolg van de verstopping) kan met de vuistregel die is beschreven in hoofdstuk 3 worden geschat.

Tabel 47. Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (hydrologische en fysische aspecten).

oorzaak	maatregelen
slechte doorlatendheid	verplaatsing filter, andere omstorting
kleizwelling/kleidispersie	waterbehandeling
colloïdale verstopping	schoonpompen <sup>1)</sup> , filtratie, verlaging van de snelheid op de boorgatwand
gasclogging	voldoende overdruk, ontgassingsinstallatie

<sup>1)</sup> Als onderhoud van de normale exploitatie het periodiek (dagelijks, wekelijks) kortdurend schoonpompen van de retourput met een vaste onderwaterpomp. Doel: kleine vaste deeltjes verwijderen uit de directe omgeving van de filterspleten.



### *Stap 6: Monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen*

Om te bezien of de juiste acties zijn genomen, moeten de metingen uit tabel 46 worden voortgezet.

## 10.5 **Biologische aspecten**

Bij biologische aspecten wordt allereerst onderscheid gemaakt tussen onttrekking en retournering.

### *Onttrekking*

Bij onttrekking kan biologische activiteit tot verstopping leiden als er groei-ondersteunende verbindingen in het grondwater aanwezig zijn, zoals (an)organisch substraat, elektronenacceptoren of nutriënten. Een verstopping zou verklaard kunnen worden door aan te nemen dat er een versnelde toevoer (c.q. beschikbaarheid) van deze verbindingen is, met een groter effect in de nabijheid van de onttrekkingsput. De invloed hiervan is naar verwachting pas op langere termijn merkbaar (na jaren). Biologische verstopping van onttrekkingsputten is daarom hoofdzakelijk verklaarbaar door uit te gaan van niet-preferente toestroming van grondwater uit andere bodempakketten, waarbij met name de menging van aëroob en anaëroob grondwater tot problemen kan leiden. Detailkennis van de bodemopbouw en een goede afdichting van de put (waarmee stromingen langs de schacht worden verhinderd) kunnen dit verticale grondwatertransport voorkomen.

### *Retournering*

Bij retournering zijn diverse oorzaken van biologische verstoppingen mogelijk. In het meet- en maatregelenprogramma kan onderscheid worden gemaakt tussen preventieve en curatieve maatregelen. Curatieve maatregelen moeten worden gezien als laatste redmiddel. In de praktijk blijkt dat deze maatregelen slechts leiden tot een tijdelijke opheffing van de biologische verstopping en dat de problemen vaak sneller terugkomen. De voorkeur gaat dus altijd uit naar preventieve methoden.

### *Stap 1: Specificatie van de kritische parameters*

Biologische factoren zijn meestal pas van belang in een later stadium van retourneren. Daarom worden eerst de technologische en hydrologische verstoppingsrisico's vastgesteld. Dit onderzoek is onder meer gericht op het type bodempakket, de fysische kwaliteit van het infiltraat, de putconstructie en de exploitatie. Als de genoemde risico's beperkt zijn en de tijdsduur van retourneren relatief lang is (ten minste ongeveer een halfjaar), is het zinvol om de biologische verstoppingsrisico's te beoordelen.

Biologische activiteit en daaraan gekoppelde verstoppingsrisico's zijn gerelateerd aan geochemische aspecten. Het meetprogramma en de eventueel te nemen maatregelen bij beide soorten aspecten kunnen elkaar daarom overlappen. Het verstoppingsrisico wordt bepaald aan de hand van parameters op drie gebieden: de kwaliteit van het retourwater, de kwaliteit van de put en de omstorting en de kwaliteit van het bodempakket.

Wat de *kwaliteit van het retourwater* betreft, zijn de parameters:

- De aanwezigheid van vaste deeltjes, gasverzadiging. Zie de hydrologische en fysische aspecten (zie 10.4). Het voorkomen van fijne deeltjes en gasbellen bepaalt de risico's van verstoppingen van technologische en hydrologische aard op de korte en middellange termijn. De geleidelijke opbouw van een filterkoek van fijne deeltjes kan echter ook de biologische verstoppingsrisico's vergroten.

- Overige chemische samenstellingsparameters van infiltraat (zie de geochemische aspecten in 10.3):
  - concentratie van organisch substraat, assimileerbare organische koolstof (AOC);
  - andere gereduceerde anorganische verbindingen (Fe(II), Mn(II), gereduceerde zwavelverbindingen);
  - concentratie van elektronenacceptoren (zuurstof, nitraat, Fe(III), sulfaat).
- Fysische parameters: omstandigheden die biologische activiteit mogelijk maken (pH, temperatuur).

Wat de *kwaliteit van de put en de omstorting* betreft, zijn de parameters:

- Goede afdichting (geen zuurstoflek langs schacht).
- Schone put bij oplevering (helder spoelwater, geen deeltjesafzettingen). Het fijne materiaal kan namelijk fungeren als hechtingsoppervlak voor micro-organismen.

Wat de *kwaliteit van het bodempakket* betreft, zijn de parameters:

- Deeltjesgrootteverdeling (een laag zandgehalte geeft een hoger verstoppingsrisico). In een ge-laagd bodempakket of in een bodem met fijn materiaal kan verstopping een gevolg zijn van biolaagvorming of gasclogging. Biolagen kunnen worden gevormd door toevoer van voldoende substraat. Gasclogging kan ontstaan bij retourneren in of onder een slecht doorlatend pakket als de activiteit van denitrificatie of methaanvorming relatief hoog is.
- Gehalte aan biologisch afbreekbare verontreinigingen (in combinatie met andere randvoorwaarden voor biologische activiteit).
- Aëroob/anaëroob pakket. Het verstoppingsrisico is groot bij retournering van zuurstofrijk water in een anaëroob pakket met een hoog AOC-gehalte, of van substraathoudend water in een aëroob pakket, tenzij kan worden aangenomen dat tijdens het retourneren de AOC of zuurstof met het grondwater volledig wordt verdrongen.

In tabel 48 zijn de kritische parameters voor biologische processen in tabelvorm samengevat.

Tabel 48. Specificatie van de kritische parameters (biologische aspecten).

parameter	kwalitatieve gegevens	kwantitatieve gegevens
chemische kwaliteit retourwater	(geur)	AOC gehalte aan gereduceerde Fe-, Mn-, S-verbindingen gehalte aan elektronenacceptoren (O <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) gehalte aan nutriënten (N, P) redoxpotentiaal pH
fysische kwaliteit retourwater	troebelheid <sup>1)</sup>	MFI, lichtverstrooiing, temperatuur, pH
chemische samenstelling bodem	boorbeschrijving (visueel/geur): aanwezigheid verontreinigingen?	concentratie organische en/of anorganische oxideerbare verbindingen redoxtoestand bodem
fysische samenstelling ontvangende bodem	boorbeschrijving	klei-/leemlaagjes <sup>1)</sup> korrelgrootte-analyse: gehalte aan fijne deeltjes <sup>1)</sup>
kwaliteit put	camera-observatie put karakteristieken spoelwater	lichtverstrooiing, microbiologisch onderzoek
biologische activiteit in situ in en rond put		<i>push-pull</i> -test verschil tussen de samenstelling van grondwater en onttrekkings-/retourwater

<sup>1)</sup> Verhoging van biologisch verstoppingsrisico.

### *Stap 2: Waarneming van de verstopping*

Voor een effectief herstel van de retourput is het noodzakelijk om de oorzaak van de verstopping vast te stellen. Bij biologische oorzaken kan een aantal methoden worden ingezet, die vrijwel allemaal gericht zijn op het meten van de biologische activiteit (zie tabel 48). De meeste methoden kunnen pas worden ingezet in een gevorderd stadium van de verstopping of bij regeneratie:

- *Bepaling van de grondwaterkwaliteit*  
Een eerste aanwijzing is de kwaliteit van het grondwater in peilbuizen in de omgeving van de retourput. Hierbij wordt gelet op verschillen in samenstelling tussen infiltraat en opgepompt grondwater, en de eventuele aanwezigheid van biologische afbraakproducten/intermediairs.
- *Monitoring van het druk- en debietverloop*  
Monitoring van de injectiedruk en -debieten tijdens de toepassing van maatregelen om biologische verstoppingen te voorkomen (bijvoorbeeld temperatuurverlaging, dosering van remmers), kan informatie opleveren over de rol van biologische aspecten. Tijdens de normale exploitatie is deze monitoring wel belangrijk, maar niet specifiek voor biologische processen.
- *Push-pull tests*  
Als de verstopping niet volledig is, kan met push-pull tests met organisch substraat of nutriënten de biologische activiteit binnen een bepaalde invloedsstraal van de put worden gemeten. Hierbij wordt een bepaald volume water met hulpstoffen geïnjecteerd en na een incubatieperiode weer onttrokken. Uit analysegegevens van voor en na de injectie kan worden afgeleid hoe groot de biologische activiteit is (zowel afbraak van verbindingen als biomassa-groei) rond de retourput. Hieruit is een verstoppingsrisico af te leiden. Ook kan een indruk van de in situ activiteit worden verkregen op basis van de verschillen in samenstelling tussen grondwater uit peilbuizen en het water uit een onttrekkings- of retourput.
- *Putinspectie*  
Camera-inspectie van de retourput en karakterisering van een eventuele afzettingsslaag op het filter (kleur, textuur) geeft een indruk van de rol van biologische processen.
- *Microbiologische analyse van het spoelwater*  
Door microbiologische karakterisering van het spoelwater bij periodiek onderhoud of bij regeneratie van de putten kunnen de kwaliteit en kwantiteit van het biologisch materiaal worden vastgesteld. Hierbij kunnen microscopie (lichtmicroscopie, elektronenmicroscopie) en uitplaat-technieken worden ingezet.
- *Chemische analyse van het spoelwater*  
Hierbij gaat het om chemische karakterisering van bovengenoemd spoelwater. Deze analyse is gericht op biologisch gevormde polymeren (polyglucose en dergelijke), afbraakproducten en intermediairs.
- *Monitoring tijdens de regeneratie*  
Uit het verloop/resultaat van de (eerdere) regeneratie kan worden afgeleid of biologische aspecten een rol hebben gespeeld bij de verstoppingsproblemen.

### *Stap 3: Opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan*

De te gebruiken meet- en analysetechnieken zijn al beschreven in stap 2 en in hoofdstuk 4.

### *Stap 4: Diagnose stellen*

Op basis van stap 1 tot en met 3 wordt geprobeerd om de oorzaak van de verstopping te achterhalen.

Voor de biologische aspecten zijn dat de volgende oorzaken:

- concentratie van organisch substraat, assimileerbare organische koolstof (AOC);
- andere gereduceerde anorganische verbindingen (Fe(II), Mn(II), gereduceerde zwavelverbindingen);
- concentratie van elektronenacceptoren (zuurstof, nitraat, Fe(III), sulfaat).

#### *Stap 5: Specificatie van mogelijke technische oplossingen*

Als het gaat om verstopping voorkomen of vertragen, kan binnen de gestelde randvoorwaarden van een project de samenstelling van het retourwater worden aangepast door fysisch-chemische of biologische voorbehandelingstechnieken. Aandachtspunt daarbij is het voorkomen van andere (technologische, geochemische) problemen, bijvoorbeeld door de kwaliteit van infiltraat en grondwater in het ontvangende bodempakket zo veel mogelijk op elkaar af te stemmen.

Als de samenstellingsparameters van het infiltraat de minimumwaarden voor biologische activiteit overschrijden (zie tabel 1 in hoofdstuk 2), waarbij ook de andere milieuparameters biologische activiteit mogelijk maken, kunnen aanvullende maatregelen effectief zijn tegen biologische verstopping in en rond het filter. Hierbij is onderscheid te maken tussen definitieve oplossingen, maatregelen gericht op uitstel, of acceptatie van de risico's en preventieve periodieke reiniging.

Definitieve oplossingen zijn:

- verregaande verwijdering van afbreekbaar organisch materiaal;
- verwijdering van nitraat (denitrificatie);
- verwijdering van Fe(II) door oxidatie en afvangen van Fe(III)-neerslag;
- diverse fysisch-chemische technieken voor de verwijdering van zware metalen;
- ontgassing (zuurstofverwijdering);
- bij oppervlakte-infiltratie: uitsluiting van licht in verband met algengroei.

Als kwaliteitsverbetering niet haalbaar is, zijn er maatregelen mogelijk die leiden tot uitstel of verplaatsing van biologische effecten tot buiten de invloedssfeer van de retourput:

- temperatuurverlaging infiltraat;
- verandering van de pH van het infiltraat door zuur of loogdosering tot een pH-waarde die ongunstig is voor biologische activiteit;
- continue of periodieke desinfectie (ozonisatie, peroxidatie) of biologische remmers in gelimiteerde hoeveelheden toedienen;
- aangepaste retourstrategie in geval van biologisch gestimuleerde bodemsaneringstechnieken (gekozen kan worden voor pulsgewijs in plaats van continu toedienen van substraat, of alternerend in plaats van simultaan toedienen van nutriënten/cosubstraten bij cometabolische afbraak).

De bovengenoemde maatregelen zijn in bepaalde situaties vooral effectief rond de retourput, omdat in het bodempakket uitwisseling met grondwater (= verdunning) optreedt. Biologische activiteit in een verder gelegen bodemcompartiment is meestal gewenst en zal door het meer diffuse karakter nauwelijks tot verstoppingsproblemen leiden. Milieuhygiënische en vergunningstechnische randvoorwaarden kunnen de toepassingsmogelijkheden van enkele van deze technieken beperken.

In het algemeen kunnen biologische problemen optreden als de eigenschappen van het retourwater afwijken van die van de ontvangende bodem. De specifieke oorzaken en oplossingen om biologische verstoppingen te voorkomen zijn in tabel 49 weergegeven.

### Stap 6: Monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

Periodieke preventieve reiniging van putten wordt toegepast. De microbiële *fouling* wordt als terugkerend gegeven beschouwd. Na een vast te stellen periode van retourneren wordt de put tijdig gereinigd via één van de hieronder genoemde technieken. De frequentie van het periodiek onderhoud kan op basis van algemene ervaring worden gekozen, maar het heeft de voorkeur om die frequentie te laten afhangen van bijvoorbeeld het verloop van het retourdebiet en de injectiedruk. Desgewenst kunnen aanvullende technieken worden ingezet die een beeld geven van de biologische activiteit in de nabijheid van de put.

Nadat vastgesteld is dat biologische aspecten de oorzaak zijn van de verstopping (zie stap 2), kan een aantal maatregelen worden getroffen (zie tabel 49 en regeneratieschema 4, fig. 8):

- mechanische reiniging: putschrapen, waterjet of rigoureuze methoden, zoals stoom- of persluchtinjectie;
- spoelen met zuur (verwijdering van metaalhydroxiden en -sulfiden en biologisch materiaal);
- spoelen met loog (verwijdering van biologisch celmateriaal, eiwit of andere biologische polymeren);
- spoelen met oxidatiemiddelen, zoals waterstofperoxide, chloorbleekloog (hypochloriet met sulphamic acid) of oppervlakte-actieve stoffen.

Bij het schoonmaken met chemicaliën is het noodzakelijk een logboek bij te houden, zodat er geen chemicaliën in de bodem achterblijven.

Tabel 49. Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (biologische aspecten) <sup>1)</sup>.

oorzaak	maatregelen
neerslag van metaalsulfide als gevolg van H <sub>2</sub> S-productie	<i>preventief</i> : organisch afbreekbare verbindingen of sulfaat uit retourwater verwijderen <i>curatief</i> : schoonpompen met zuur of oxidatiemiddel (chloorbleekloog), eventueel combineren met mechanisch reinigen (jet)
neerslag van metaalcomplexen (hydroxide/oxide)	component vooraf verwijderen, schoonpompen met zuur
groei en biolaagvorming	<i>preventief</i> : <ul style="list-style-type: none"><li>- voorbehandeling retourwater (reiniging, ontgassing)</li><li>- retourneren bij verlaagde temperatuur</li><li>- remmers toedienen</li><li>- remmende concentraties toedienen</li><li>- aangepaste exploitatie, bijvoorbeeld alternerend of intermitterend retourneren <sup>2)</sup></li></ul> <i>curatief</i> : <ul style="list-style-type: none"><li>- mechanisch reinigen (schrapen, jet)</li><li>- schoonpompen/spoelen met zuur of loog</li><li>- schoonpompen/spoelen met peroxide</li></ul>

<sup>1)</sup> Alle technische oplossingen die gericht zijn op herstel kunnen ook periodiek worden ingezet om (met name biologische) verstoppingen te voorkomen of te vertragen.

<sup>2)</sup> Bijvoorbeeld bij het toedienen van hulpstoffen om in situ afbraak te stimuleren.

## 10.6 Technologische aspecten

### Stap 1: Specificatie van de kritische parameters

De kritische parameters voor technologische aspecten zijn weergegeven in tabel 50.

Tabel 50. Specificatie van de kritische parameters (technologische aspecten).

parameters	kwalitatieve gegevens	kwantitatieve gegevens
boormethode	afwerkingsstaat put	
omstorting en perforatie filter	boorbeschrijving, afwerkingsstaat put	$M_{50}$ in verhouding tot korrelgrootte filtergrind en bijbehorende perforatie
putconstructie	afwerkingsstaat put tekening bronkop/-inbouw	filtertraject diameter/lengte injectieleiding
putontwikkeling	zand- en slibvrij filtratietest 70 $\mu\text{m}$ filtratietest 0,45 $\mu\text{m}$	ontwerpdebiet MFI capaciteitstest ( $SV_{\text{retour}} > SV_{\text{ontrekken}}$ )
systeemdruk	voorzieningen voor drukhandhaving aanwezig (zowel bij in bedrijf als buiten bedrijf zijn)	weerstand injectieleiding drukopnemers met registratie in leidingsysteem

#### Stap 2: Waarneming van de verstopping

De volgende meetmethoden voor het vaststellen van verstopping kunnen worden gebruikt:

1. capaciteitstest (SV-factor bepalen en vergelijken met SV-factor tijdens oplevering en ingebruikstelling put);
2. waterstandsverandering in de put en in waarnemingsfilter in de omstorting waarnemen;
3. filtratietest voor vaststellen zand- en slibdeeltjes (MFI).

#### Stap 3: Opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

De waterstandsverandering in de put en in het waarnemingsfilter in de omstorting kunnen worden geregistreerd met drukopnemers. Ook de systeemdruk kan worden geregistreerd met drukopnemers. Bovendien moet het debiet worden geregistreerd.

#### Stap 4: Diagnose stellen

Het vaststellen van de oorzaak van de verstopping zal met name plaatsvinden bij de andere aspecten, waarbij de technologische aspecten aanvullende informatie geven.

#### Stap 5: Specificatie van mogelijke technische oplossingen

De mogelijke technische oplossingen zijn weergegeven in tabel 51.

Tabel 51. Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (technologische aspecten).

oorzaak	maatregel
fijn zand door omstorting	binnenfilter plaatsen met fijnere omstorting capaciteit verlagen nieuwe put met fijnere omstorting en lage snelheid op boorgatwand
ontgassing/beluchting in leidingsysteem door drukval	injectieleiding met grotere hydraulische weerstand geen regelafsluiters gebruiken systeemdruk verhogen
ontgassing/beluchting in leidingsysteem tijdens stilstand	handhaving van vereiste systeemdruk tijdens onderbrekingen van het retourneren (bijvoorbeeld tijdens terugspoelen) via gestuurde kleppen
put onvoldoende ontwikkeld, boorspoeling en fijne delen op boorgatwand	intensief ontwikkelen eventueel waterstofperoxide- of chloorbleekloog- behandeling

*Stap 6: Monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen*

Om na te gaan of de juiste acties zijn genomen, moet het meetplan uit stap 3 worden voortgezet.

## 10.7 **Monitoringsysteem**

Hieronder volgen enkele aanwijzingen voor het te installeren monitoringsmeetnet:

- plaatsing van een peilbuis in de omstorting, meten van de waterstand in de omstorting (maat voor weerstand over filter), eventueel continue registratie met automatische druksondes (*divers*);
- monsternamekraantjes voor kwaliteitsmeting van het opgepompte water of retourwater;
- drukmetingen aan de bovenzijde van de injectieleiding en in het leidingsysteem;
- directe meting van de waterkwaliteit met een meeloop(zand)filter bij de inlaat van retourfilters na de inwerkingstelling van het retoursysteem.

Het kan ook zinvol zijn om in de nabijheid van het injectiesysteem een peilbuis te installeren. Dit is met name geschikt voor de meting van de verhoging van de grondwaterstand en kwaliteitsmetingen van het grondwater (bij injectie van stoffen).





## BESLISSCHEMA'S

### 11.1 Inleiding

De gegevens uit de voorgaande kennishoofdstukken zijn samengevat in een stroomschema, dat in dit hoofdstuk wordt behandeld. Voor de duidelijkheid is het schema onderverdeeld in verschillende (sub)beslisschema's (zie fig. 5 tot en met 8). De legenda van de schema's is opgenomen in bijlage F.

De figuren 5a en 5b bevatten het hoofdschema (schema 1). Hierin is onderscheid gemaakt tussen de voorbereidingsfase (schema 1a) en de operationele fase (schema 1b). De voorbereidingsfase resulteert in een beslissing om al dan niet een retourstelsel te realiseren en - als deze beslissing positief uitvalt - in de randvoorwaarden voor het technisch ontwerp en een monitoringsprogramma.

Een belangrijk subschema is het verstoppingsidentificatieschema (zie fig. 6a tot en met 6e). Dit schema komt op verschillende plaatsen in het hoofdschema terug: in het kader van de beslissing over het verlenen van een vergunning voor het retourneren van (grond)water, in de ontwerpfase en in de operationele fase. Het verstoppingsidentificatieschema is generiek van opzet. Dat houdt in dat het schema voor hiervoor aangegeven stadia gelijk is, maar telkens vanuit de betreffende invalshoek gelezen en geïnterpreteerd moet worden.

Het verstoppingsidentificatieschema heeft zowel betrekking op de winputten (zie schema 2b) als op de retourputten (zie schema 2c en 2d). Bij de retourputten wordt aanvullend onderscheid gemaakt tussen een situatie waarbij de winputten niet verstopt raken en het onttrokken (en dus te retourneren) grondwater niet wordt behandeld (zie schema 2c) en een situatie waarbij de winputten wel verstopt raken en/of het onttrokken grondwater wordt behandeld (zie schema 2d).

Naast het verstoppingsidentificatieschema bevat het hoofdschema nog twee subschema's:

1. Het puttenveldontwikkelingsschema (zie fig. 7, schema 3). Dit schema bestaat zelf ook weer uit drie deelschema's, die betrekking hebben op de verschillende stadia of onderdelen van de puttenveldontwikkeling: boormethode (zie schema 3a), materiaalkeuze (zie schema 3b) en putontwikkeling (zie schema 3c1 en 3c2).
2. Het regeneratieschema (zie fig. 8, schema 4). Dit schema bevat een tabel (zie tabel 52 in 11.3) voor de regeneratiekeuze.

Het verstoppingsidentificatieschema en het regeneratiekeuzeschema worden verderop extra toegelicht.

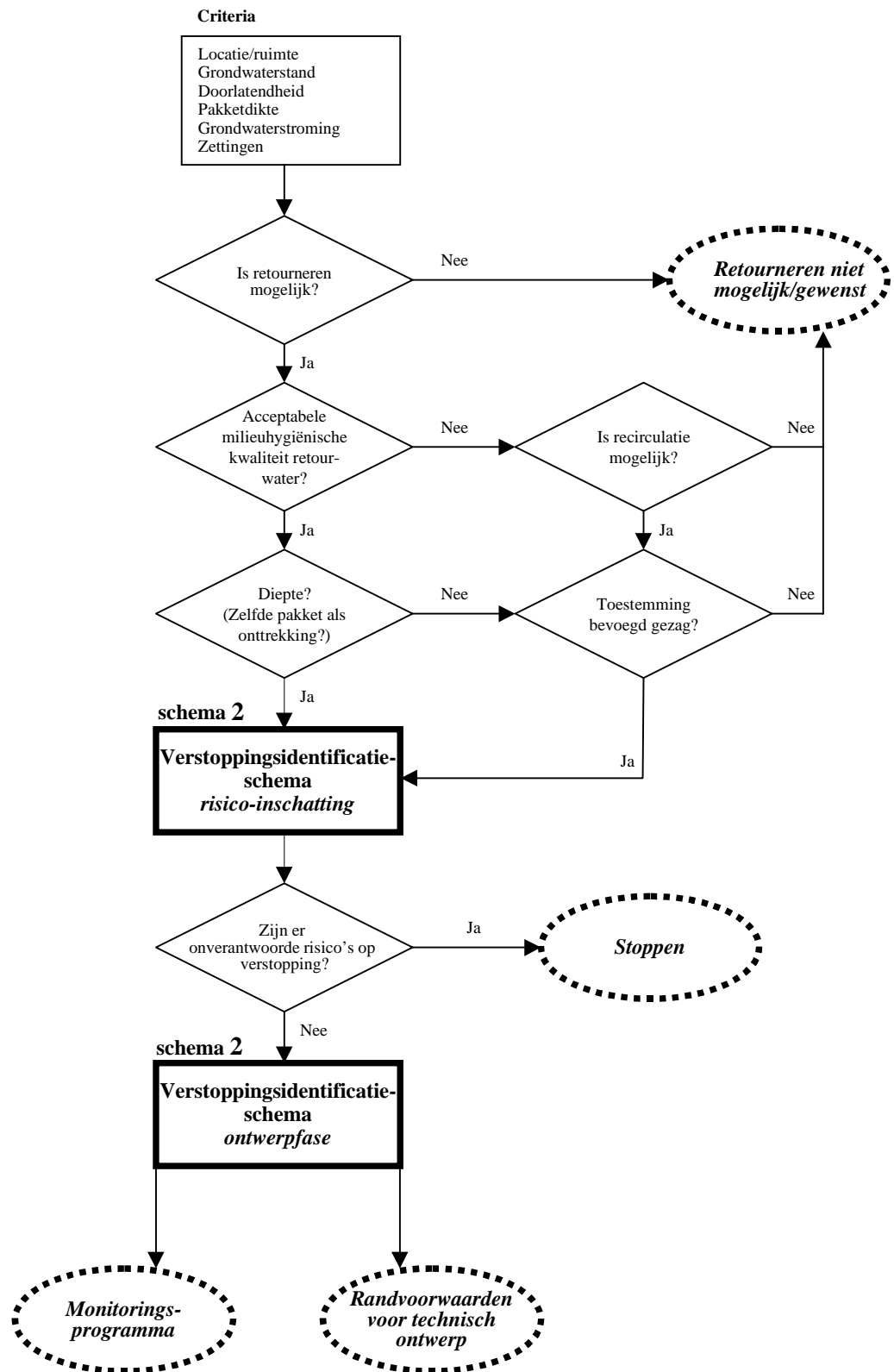


Fig. 5a. Schema 1a - hoofdschema: voorbereidingsfase.

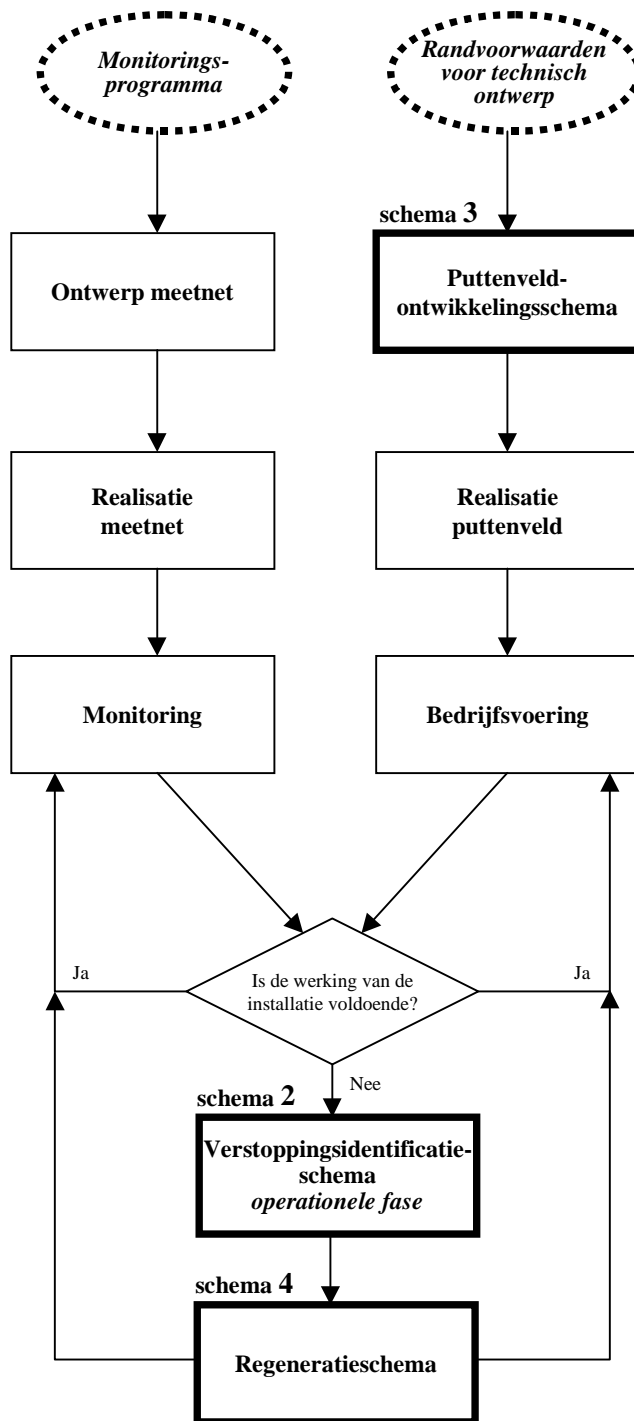


Fig. 5b. Schema 1b - hoofdschema: operationele fase.

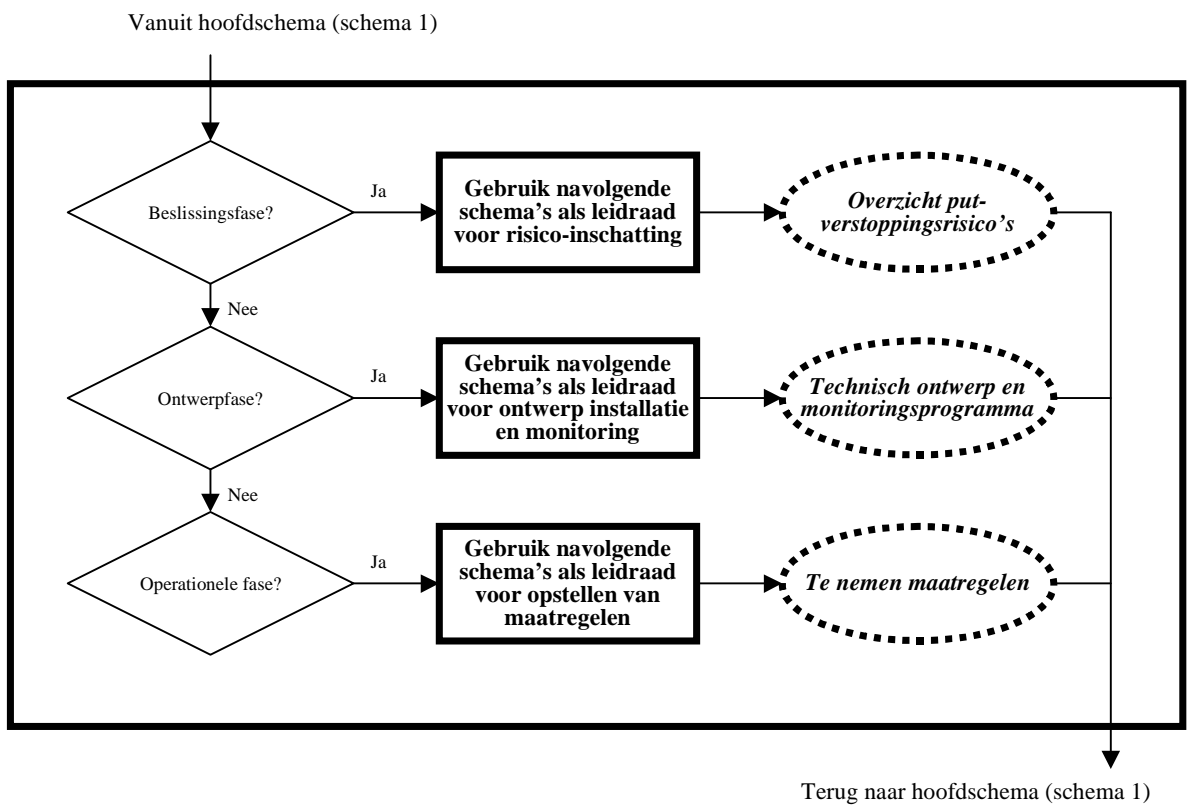


Fig. 6a. Schema 2 - verstoppingsidentificatieschema (plaatsbepaling in levenscyclus).

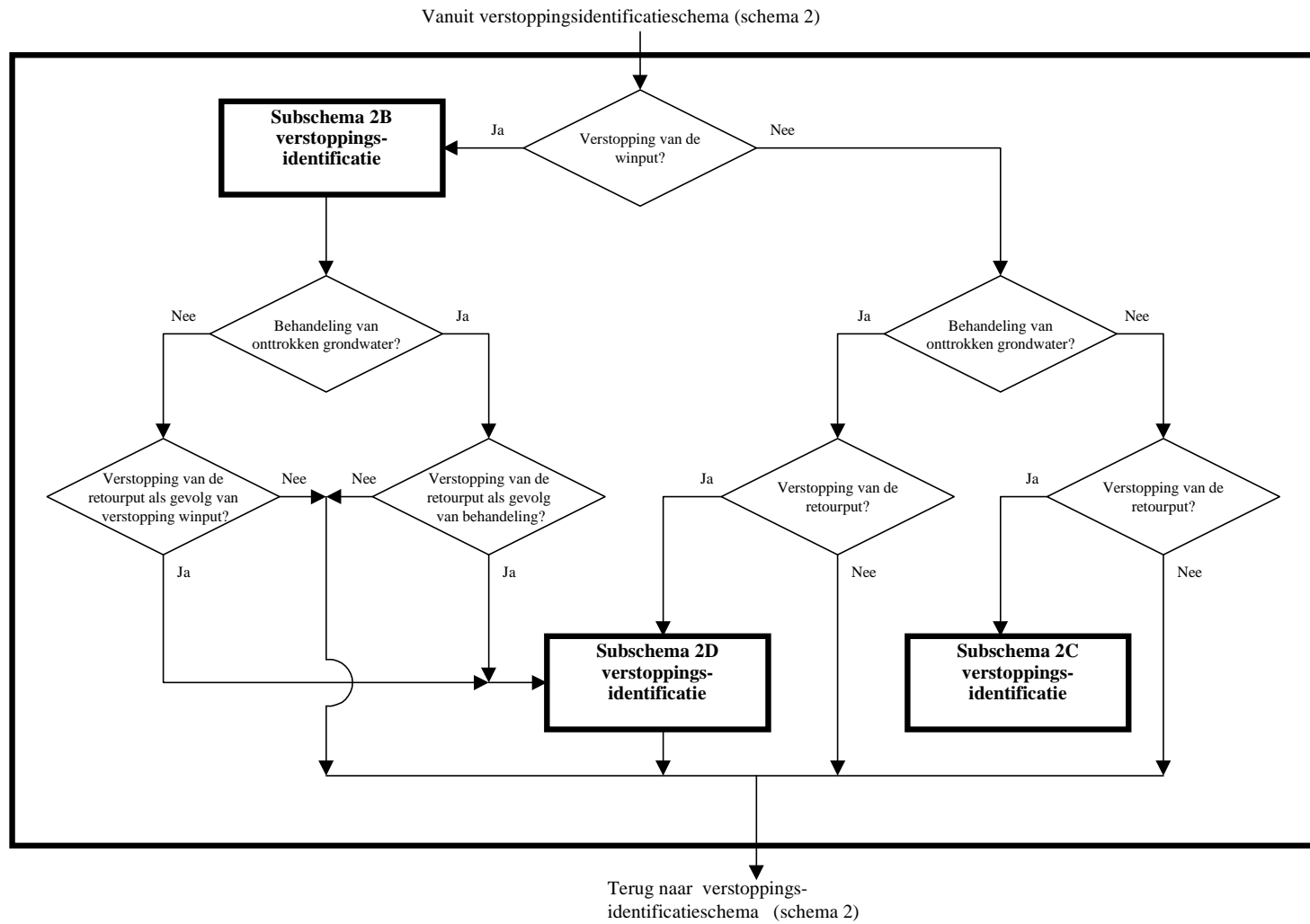


Fig. 6b. Schema 2a - subschema verstopingsidentificatie: identificatieproces.



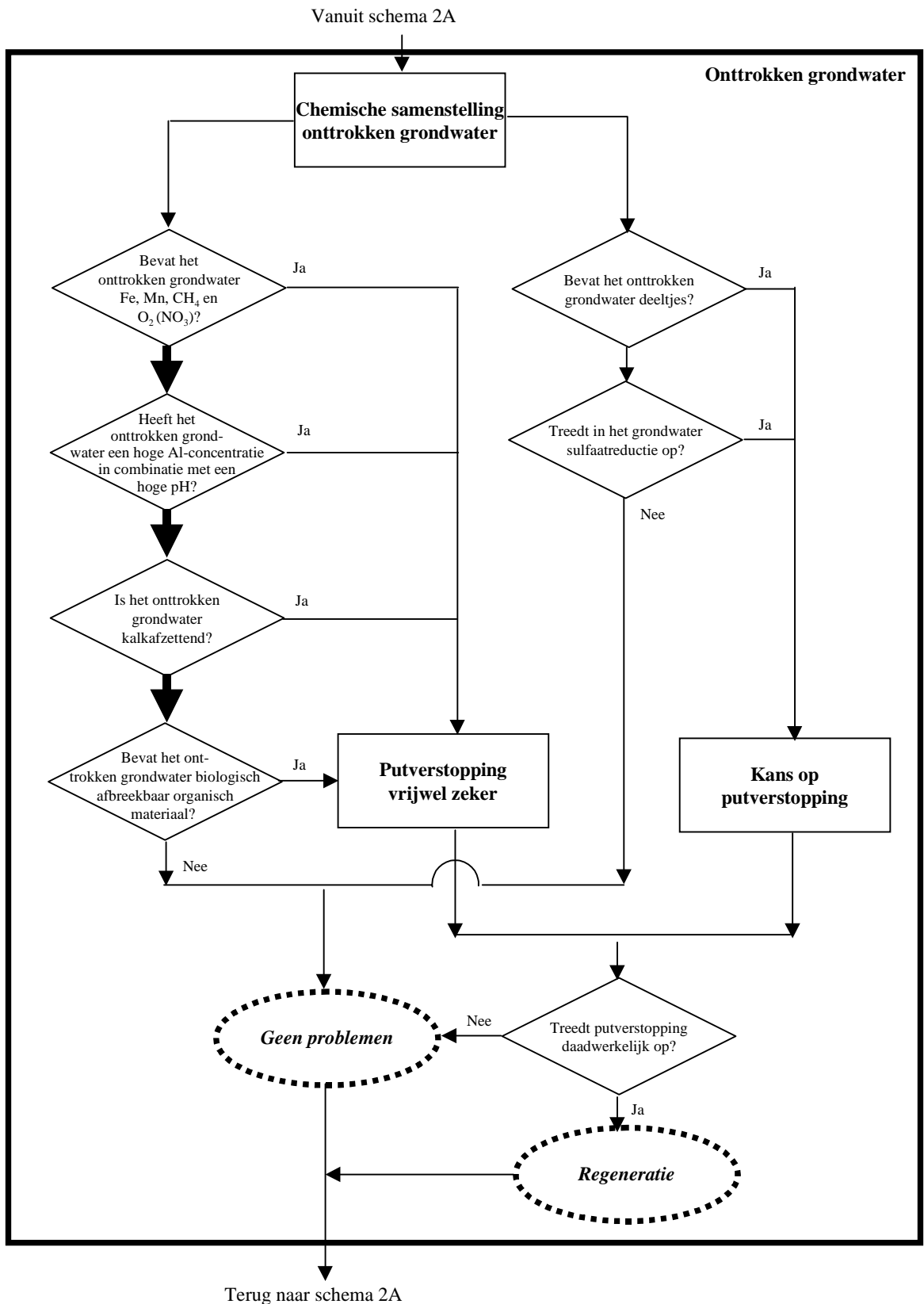


Fig. 6c. Schema 2b - subschema verstoppingsidentificatie: winputten.

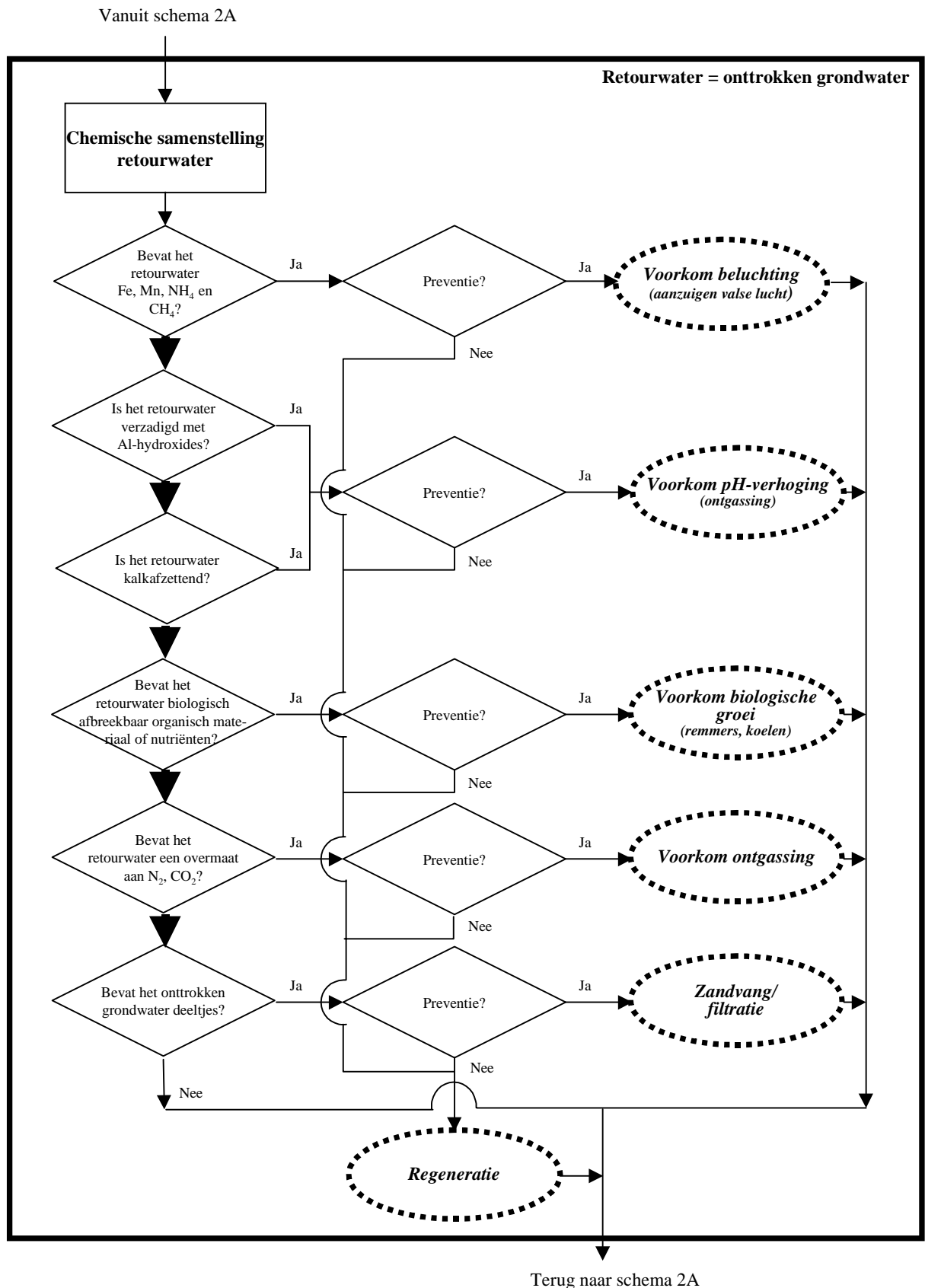


Fig. 6d. Schema 2c - subschema verstoppingsidentificatie: retourputten (condities waarbij onttrokken grondwater niet wordt behandeld en winputten niet verstoppem).



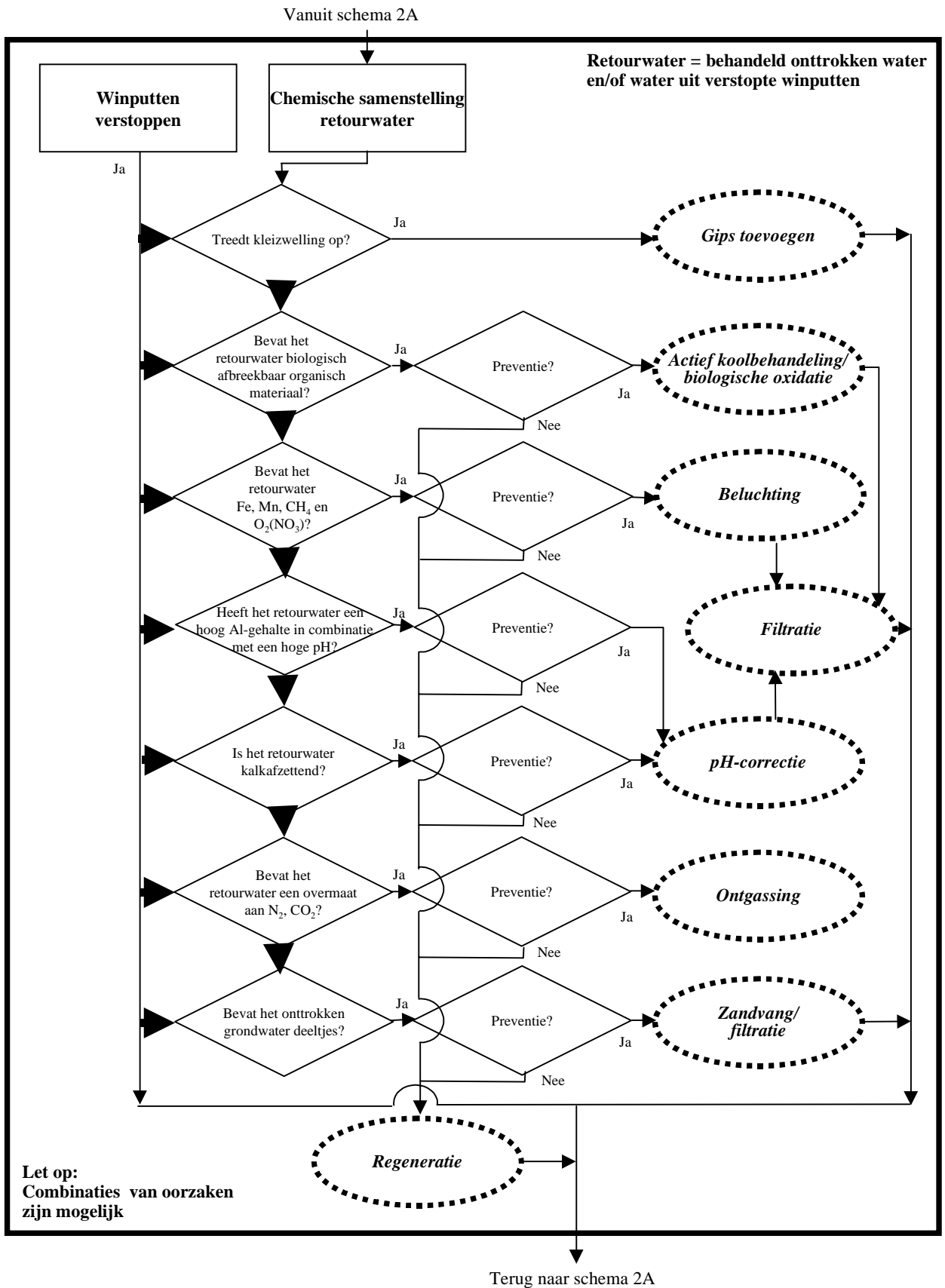


Fig. 6e. Schema 2d - subschema verstoppingsidentificatie: retourputten (condities waarbij onttrokken grondwater wordt behandeld en/of winputten verstoppn).

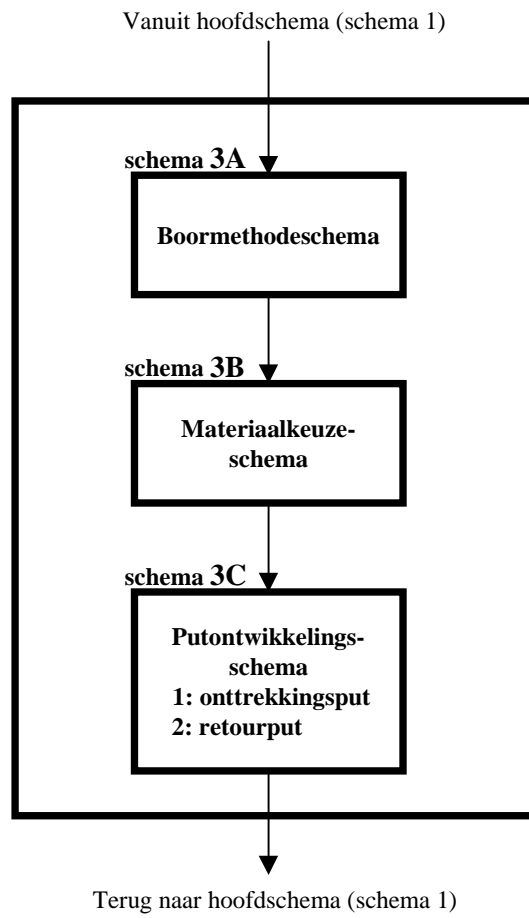


Fig. 7a. Schema 3 - puttenveldontwikkelingsschema.

Vanuit puttenveldontwikkelingsschema (schema 3)

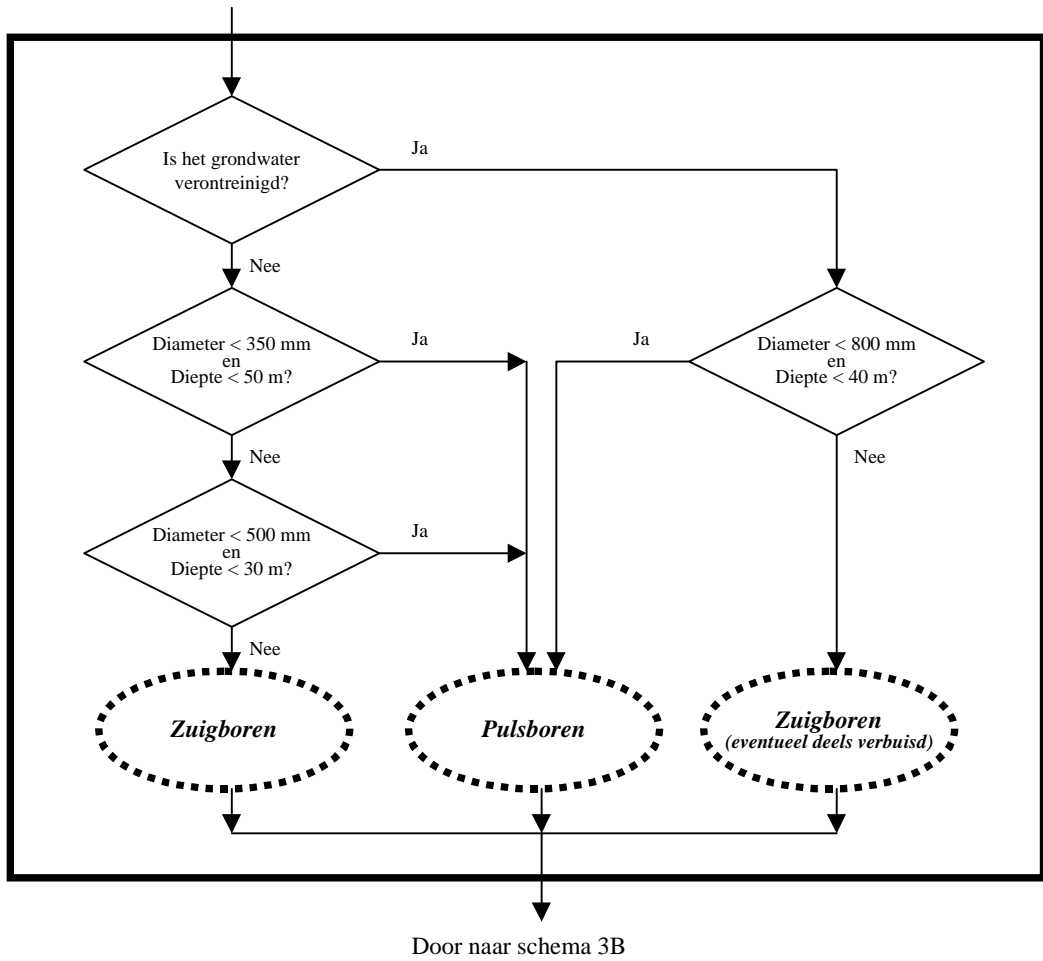


Fig. 7b. Schema 3a - subschema puttenveldontwikkeling; boormethode.

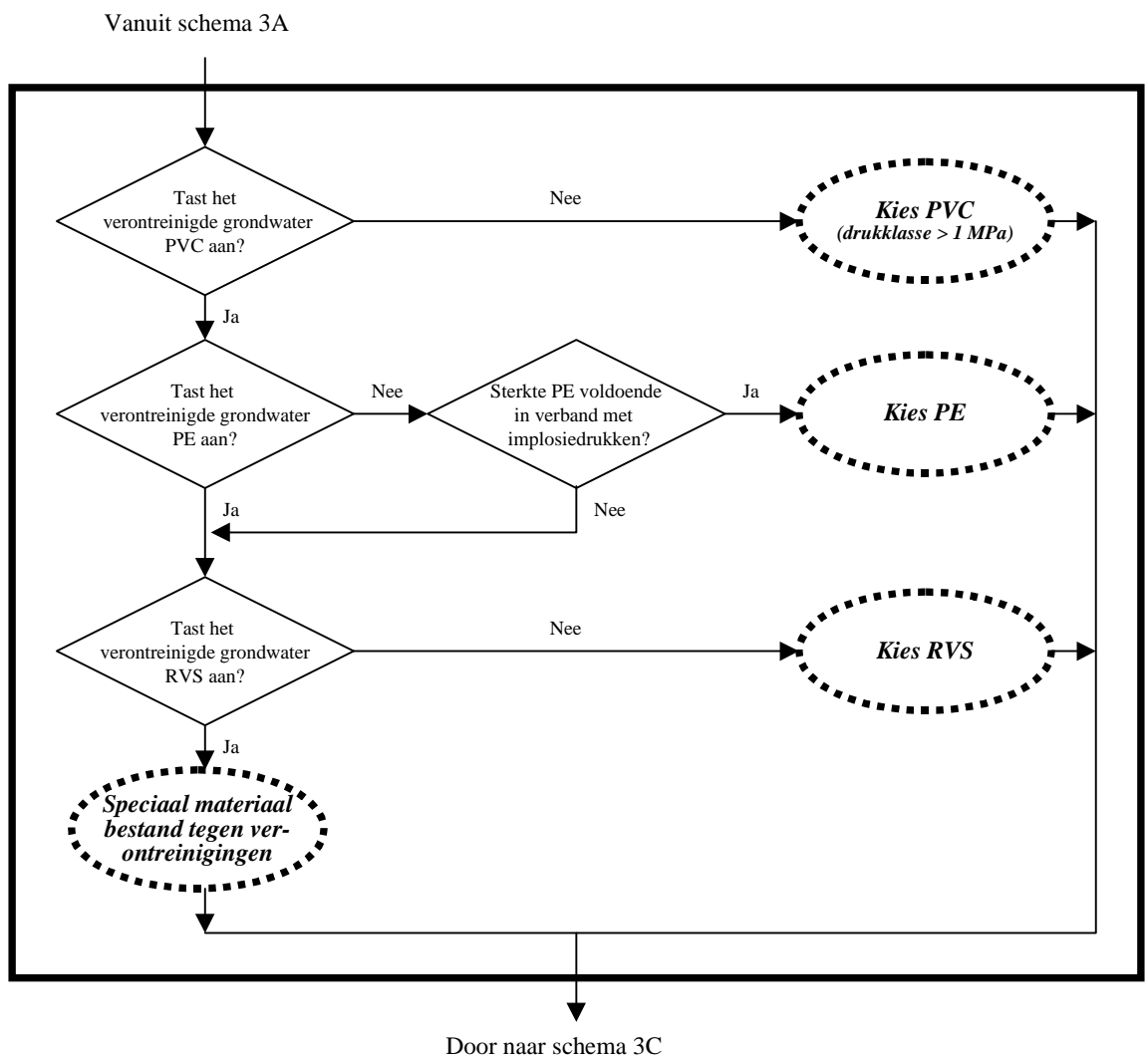


Fig. 7c. Schema 3b - subschema puttenveldontwikkeling: materiaalkeuze.

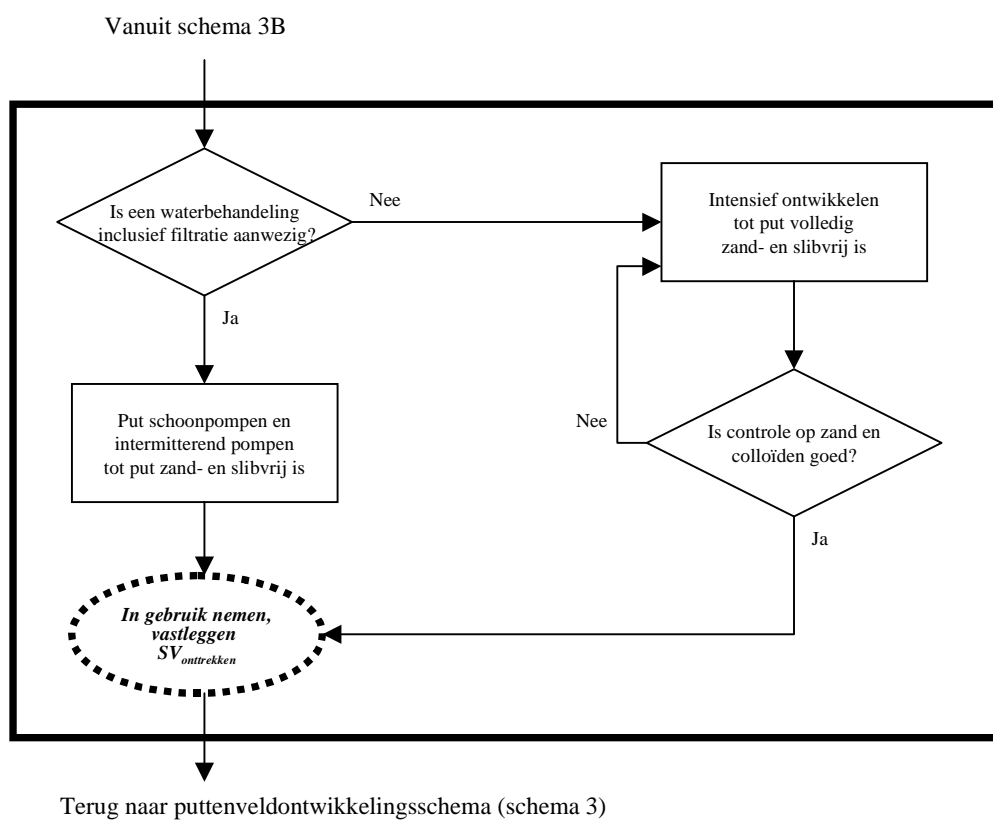


Fig. 7d. Schema 3c1 - subschema puttenveldontwikkeling: ontwikkeling onttrekkingsput.

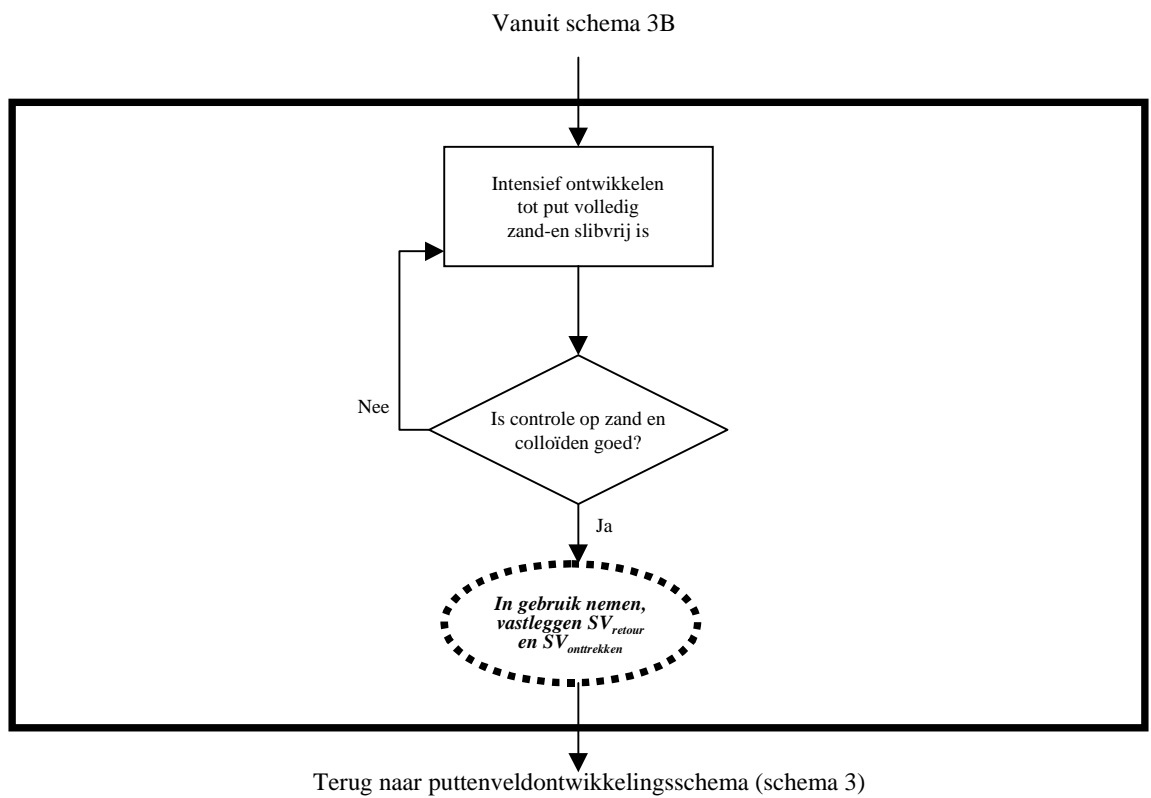


Fig. 7e. Schema 3c2 - subschema puttenveldontwikkeling: ontwikkeling retourput.

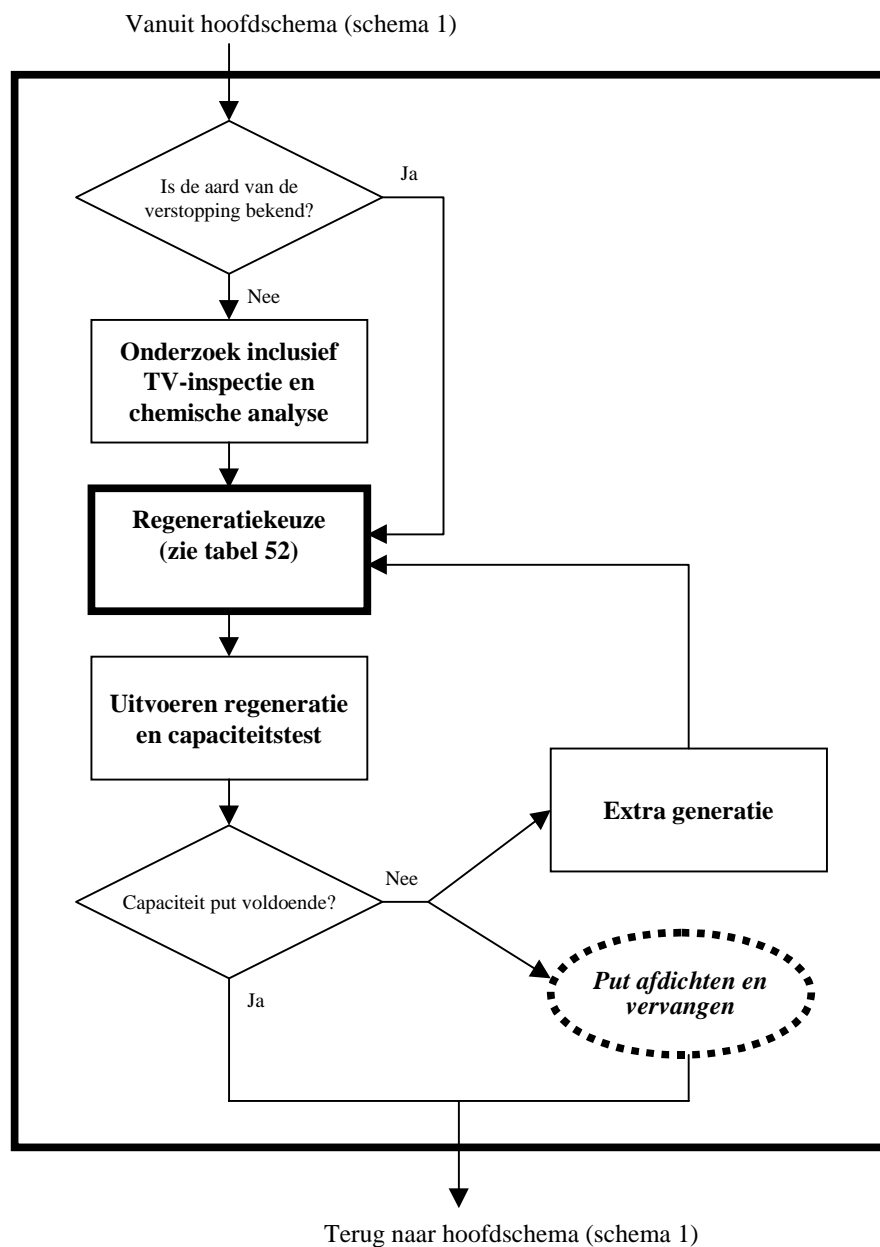


Fig. 8. Schema 4 - regeneratieschema.

## 11.2 Verstoppingsidentificatieschema

Voor het optreden van putverstopping zijn de volgende criteria van belang:

1. De winputten raken al dan niet verstopt.
2. Het onttrokken grondwater wordt al dan niet behandeld.
3. De retourputten raken al dan niet verstopt.

Combinatie van deze aspecten resulteert in acht combinaties (zie fig. 6). Op basis van figuur 6 kan het optreden van verstopping in drie schema's worden samengevat:

1. Verstopping van de winputten (zie schema 2b, fig. 6c). Zonder behandeling zullen in dat geval ook de retourputten verstopt raken.
2. Verstopping van de retourputten, waarbij de winputten niet verstopt raken en het onttrokken grondwater niet wordt behandeld (zie schema 2c, fig. 6d).
3. Verstopping van de retourputten, waarbij de winputten ook verstopt raken en/of het onttrokken grondwater wordt behandeld (zie schema 2d, fig. 6e).

Voor elk van deze situaties is een identificatieschema opgesteld.

### *Verstopping van de winputten*

Zoals al is vermeld, kan materiaal rond de put op twee plaatsen accumuleren en aanleiding geven tot verstopping (zie schema 2b, fig. 6c):

1. rond het putfilter door menging;
2. op de boorgatwand door een vergrote stroomsnelheid.

Voor verstopping van de filterspleten geldt:

1. Het onttrokken grondwater bevat ijzer en/of mangaan en/of methaan en zuurstof.
2. Het onttrokken grondwater bevat een hoge aluminiumconcentratie en een hoge pH.
3. Het onttrokken grondwater is kalkafzettend.
4. Het onttrokken grondwater bevat biologisch afbreekbaar materiaal.

Voor verstopping van de boorgatwand geldt:

5. Het onttrokken grondwater bevat deeltjes.
6. In het onttrokken grondwater treedt sulfaatreductie op.

Preventie van verstopping is niet mogelijk. Een goed monitoringsprogramma met regelmatig regenereren is noodzakelijk.

### *Verstopping van de retourputten, waarbij de winputten niet verstopt raken en onttrokken grondwater niet wordt behandeld*

Als de winputten niet verstopt raken en de retourputten wel en als het onttrokken grondwater niet wordt behandeld, verandert blijkbaar de hoedanigheid van het water bovengronds toch. Deze verandering is zodanig dat verstopping van de retourput optreedt. Verstopping kan worden verholpen door de installatie goed na te kijken.

De volgende situaties kunnen worden onderscheiden (zie schema 2c, fig. 6d):

1. Het onttrokken grondwater bevat ijzer en/of mangaan en/of methaan, maar geen zuurstof. Als het onttrokken grondwater geen zuurstof bevat en de retourputten verstopt raken door een accumulatie van ijzerhydroxiden, mangaanoxiden en/of biomassa, treedt blijkbaar ergens in het systeem zuurstof toe. Dit kan door het aanzuigen van valse lucht.



2. Het onttrokken grondwater bevat een hoge aluminiumconcentratie en een hoge pH. Het is mogelijk dat het oplosbaarheidsproduct nog juist niet wordt overschreden. Door een verdere verhoging van de pH zou het oplosbaarheidsproduct wel kunnen worden overschreden en zal vervolgens aluminiumhydroxide neerslaan. De pH kan worden verhoogd door een vacuüm te trekken, waarbij vrij koolzuur kan ontsnappen.
3. Het onttrokken grondwater is kalkafzettend. Hiervoor geldt wat bij de vorming van aluminiumhydroxide is vermeld.
4. Het onttrokken grondwater bevat biologisch afbreekbaar organisch materiaal. Hiervoor geldt wat bij de vorming van ijzerhydroxiden, mangaanoxiden en biomassa is vermeld: blijkbaar kan ergens zuurstof toetreden.
5. Het retourwater bevat een overmaat aan gassen. Aan het maaiveld bevindt het grondwater zich onder geringere druk dan in het pakket. Als het grondwater oververzadigd is met gassen ten opzichte van de atmosferische druk, zullen deze gassen vrijkomen en gasbellen vormen. Gasbellen vormen in retourputten een zeer effectief verstoppingsmiddel.
6. Het retourwater bevat deeltjes. De processen in het water kunnen gepaard gaan met de vorming van deeltjes.

*Verstopping van de retourputten, waarbij de winputten ook verstopt raken en/of onttrokken grondwater wordt behandeld*

De processen die aanleiding geven tot het optreden van verstopping aan de onttrekkingszijde zullen daar niet afgelopen zijn, maar zullen in het bovengrondse gedeelte (terreinleidingen) doorgaan. De consequentie daarvan is dat in een systeem waarvan de onttrekkingsputten verstopt raken zonder zuivering ook de retourputten verstopt zullen raken. Zo zal een gedeelte van de meegevoerde minerale deeltjes de boorgatwand passeren, in het bovengrondse gedeelte meegevoerd worden en zo aanleiding geven tot het optreden van verstopping van de infiltratieput. Een vergelijkbare situatie treedt op bij de oxidatie van ijzer en de vorming van ijzerhydroxiden. Het oxideren van ijzer zal niet beperkt blijven tot de filterspleten van de onttrekkingsput, maar in het bovengrondse gedeelte doorgaan. De meegevoerde deeltjes en de in dat traject gevormde ijzerhydroxiden en biomassa zullen in de winput accumuleren en daar resulteren in verstopping.

De zuivering van verontreinigd grondwater kan onder andere bestaan uit een intensieve beluchting, actieve koolfiltratie en ionenwisseling. Deze processen veranderen de chemische samenstelling van het water aanzienlijk en kunnen de injecteerbaarheid nadelig beïnvloeden. Bij (het ontwerp van) de zuivering van verontreinigd grondwater moet dus rekening worden gehouden met:

1. de verwijdering van de verontreinigende stoffen;
2. de injecteerbaarheid van het aldus behandelde water.

Verstopping van de retourputten kan alleen worden voorkomen door een zuiveringsinstallatie te installeren of de bestaande installatie aan te passen.

De volgende situaties kunnen worden onderscheiden (zie schema 2d, fig. 6e, let op: er kunnen ook combinaties van oorzaken zijn):

1. Het retourwater bevat ijzer en/of mangaan en/of methaan én zuurstof.
2. Het retourwater bevat een hoge aluminiumconcentratie en een hoge pH.
3. Het retourwater is kalkafzettend.
4. Het retourwater bevat biologisch afbreekbaar organisch materiaal. Aan het retourwater kunnen ook stoffen worden toegevoegd voor een in situ sanering. In dat geval moet een strategie worden ontworpen om verstopping tegen te gaan (zie 10.5).
5. Het retourwater bevat een overmaat aan gassen.

6. Het onttrokken grondwater bevat deeltjes.
7. Er treedt kleizwelling op. De chemische samenstelling van het water kan zodanig zijn gewijzigd dat met het optreden van kleizwelling rekening moet worden gehouden (zie 10.4).

### 11.3 Regeneratiekeuze

In deze paragraaf worden de verschillende mogelijkheden van regeneratie beschreven. In tabel 52 zijn de verschillende mogelijkheden van regeneratie in relatie met de oorzaak weergegeven.

Tabel 52. Mogelijkheden van regeneratie.

oorzaak	plaats van verstopping	reinigingsmethode
kalk	filterspleten	zoutzuur
	omstorting/boorgatwand	zoutzuur en jutteren
aluminiumhydroxide	filterspleten	zoutzuur
	omstorting/boorgatwand	zoutzuur en jutteren
Fe-hydroxide/Mn-oxide	filterspleten	hogedrukreiniging
	omstorting/boorgatwand	waterstofperoxide, eventueel gevolgd door zoutzuur en jutteren
(micro)biologische verstopping	filterspleten	hogedrukreiniging (eventueel ontsmetting)
	omstorting/boorgatwand	waterstofperoxide/chloorbleekloog en jutteren
gasverstopping	omstorting/boorgatwand	schoonpompen
fijn zand/colloïdale verstopping	filterspleten	schoonpompen, eventueel jutteren
	omstorting/boorgatwand	jutteren, eventueel sectiegewijs rond-/schoonpompen

#### 11.3.1 Mechanische methoden

##### *Schoonpompen*

Voor retourputten is schoonpompen de meest gangbare techniek om met name oppervlakkige verstopping door deeltjes in de directe omgeving van het filter te verwijderen. Het schoonpompen kan worden uitgevoerd met een onderwaterpomp (eventueel ook met een bovengrondse pomp of luchtliftend als de omstandigheden dit toelaten). Met name periodiek (bijvoorbeeld dagelijks of wekelijks), kortstondig schoonpompen met een permanent aanwezige onderwaterpomp is een effectieve methode om de snelheid van verstopping van retourputten door fijne deeltjes aanzienlijk te verlagen. Schoonpompen is niet zinvol als regeneratietechniek voor onttrekkingsputten.

##### *Jutteren met perslucht*

Bij het jutteren is de bovenzijde van de put met een geschikte bronkop luchtdicht afgesloten en wordt de waterspiegel in de put omlaag gedrukt door het inblazen van perslucht. Gedurende het inblazen is sprake van infiltratie. Door een snelafsluiter te openen op de bronkop, ontsnapt de samengeperste lucht uit de put. De zo ontstane drukval veroorzaakt gedurende korte tijd een zeer snelle instroming van grondwater in de put. Bij de snelle instroming worden verontreinigingen uit de omstorting losgemaakt en door het water naar de put getransporteerd. Na een aantal malen jutteren, wordt het losgekomen materiaal verwijderd door de put korte tijd schoon te pompen, waarna opnieuw kan worden gejutted.

Jutteren is een eenvoudige en effectieve reinigingsmethode bij verstopping door deeltjes. Bovendien wordt jutteren veel gebruikt om bij chemische regeneraties een goed contact tussen verontreinigingen en chemicaliën te bereiken. De toegepaste druk kan in de orde van grootte

van 1 à 2 bar liggen. Dat wil zeggen: de waterspiegel in de put moet 10 à 20 meter worden verlaagd.

Het jutteren met perslucht kan alleen worden toegepast als de put hiervoor geschikt is:

- De waterspiegel moet boven het filtertraject blijven. Bij putten met een ondiepe filterstelling is jutteren dus niet effectief.
- De putconstructie moet voldoende sterk zijn om tijdens de drukval niet in elkaar gedrukt te worden. De implosiesterkte van buizen ligt aanzienlijk lager dan de toelaatbare leidingdruk.

#### *Sectiegewijs schoonpompen*

Bij het sectiegewijs schoonpompen is het doel met een beperkte onttrekking plaatselijk toch een hoge stroomsnelheid in de omstorting van het putfilter op te wekken. Door water te onttrekken op secties van 1 à 2 meter lengte, kan ondanks de verliezen via de omstorting en de afdichtingen van het sectie-apparaat toch een redelijk effect worden bereikt. Een aanzienlijke verbetering van de effectiviteit wordt bereikt door het sectiegewijs schoonpompen te combineren met sectiegewijs rondpompen. Tijdens het rondpompen wordt geen water uit de put gepompt maar alleen een sterke kortsluitstroming door de omstorting veroorzaakt. Door het afwisselend rondpompen en schoonpompen treedt steeds een wisseling van stromingsrichting op in de omstorting, waardoor fijne delen zeer effectief worden verwijderd.

#### *Hogedrukreiniging*

Bij hogedrukreiniging wordt meestal gebruik gemaakt van een roterende waterjet, waarbij krachtige waterstralen verontreinigingen los spuiten van de filterbuis, de filterspleten en de eerste centimeters van de omstorting. De toe te passen drukken variëren van circa 150 bar - 250 bar en hoger (met name bij te hoge drukken kunnen de waterstralen ernstige schade aan het putfilter veroorzaken). Tijdens het jetten wordt de losgespoten verontreiniging verwijderd door gelijktijdig de put met geringe capaciteit schoon te pompen.

Hogedrukreiniging is een zeer effectieve methode om verontreinigingen binnen het filter en in de filterspleten te verwijderen, zowel voor onttrekkingsputten als retourputten. Bij putten die een chemische regeneratie moeten ondergaan, wordt de aanwezige verontreiniging binnen het filter vaak vooraf via hogedrukreiniging verwijderd.

#### *Borstelen*

Met borstelen kunnen zachte verontreinigingen binnen de stijgbuis en filterbuis worden verwijderd. Borstelen is vrijwel volledig vervangen door de veel effectievere hogedrukreiniging.

#### *11.3.2 Chemische methoden*

Bij een chemische regeneratie wordt de gewenste hoeveelheid chemicaliën met een leiding de put in gebracht en door navullen met schoon water op de plaats van de verstopping gebracht. In het algemeen zal dan worden gejutterd om een goed contact tussen verontreiniging en chemicaliën te bereiken en gelijktijdig deeltjes die loskomen te verwijderen. Na een aantal malen jutteren kan extra water worden toegevoegd om stapsgewijs de chemicaliën tot iets buiten de boorgatwand te brengen. Bij putten waarin niet kan worden gejutterd, moet deze techniek worden vervangen door sectiegewijs rondpompen. Meestal krijgen de chemicaliën een nacht de tijd om op de verontreinigingen in te werken en wordt de put dan, na nogmaals enkele malen jutteren, schoongepompt. Het opgepompte water kan worden geneutraliseerd voordat het wordt geloosd.

#### *Zuur*

Voor een regeneratie met zuur wordt meestal zoutzuur gebruikt. Zuur wordt met name toegepast bij een verstopping door kalkneerslag. Ook bij aluminiumhydroxideneerslagen is zuur de aangegeven behandeling. IJzerhydroxide- en mangaanoxideverstoppingen worden vaak veroorzaakt

door een combinatie van chemische en bacteriologische processen. Bij deze verstoppingen is het het beste om eerst de organische delen af te breken met een waterstofperoxidebehandeling en daarna de resterende ijzer- en mangaanverbindingen op te lossen met een zuurbehandeling.

#### *Chloorbleekloog*

Een chloorbleekloogbehandeling wordt gebruikt om organisch materiaal af te breken. Bovendien worden bacteriën gedood. De regeneratie wordt uitgevoerd door onverdunde handels-chloorbleekloog met een concentratie van 150 g vrij chloor per liter in te brengen. Ook polymeerboor-spoelingsresten worden afgebroken door chloorbleekloog.

Bij een verstopping is vaak sprake van een combinatie van oorzaken, waarbij in veel gevallen ook (micro)biologische processen een rol spelen. Een chemische behandeling met chloorbleekloog (of waterstofperoxide) is in deze gevallen een effectieve eerste reinigingsmethode. Als er sprake is van metaalverbindingen, kan deze behandeling worden gevolgd door een zuurdose-ring.

De laatste jaren wordt in plaats van chloorbleekloog vaak waterstofperoxide gebruikt, omdat hierbij geen organohalogenen worden gevormd. Het gebruik van chloorbleekloog is echter technisch eenvoudiger uit te voeren.

#### *Waterstofperoxide*

Een waterstofperoxidebehandeling wordt net als een chloorbleekloogbehandeling gebruikt om organisch materiaal af te breken. Beide behandelingen zijn wat betreft de regeneratieresultaten vergelijkbaar. Waterstofperoxide heeft door de vrijkomende zuurstof een sterke gasontwikkeling, waardoor bij deze regeneratie tijdens de uitvoering meer aanpassingen aan de put nodig zijn.

#### 11.3.3 *Regeneratiemethoden en saneringsconcepten*

De geschetste regeneratiemethoden lijken vaak strijdig met de gebruikelijke saneringsconcepten, met name in het geval van biologische concepten. De toepassing van zuren, basen of van sterke oxidatoren, zoals chloorbleekloog en waterstofperoxide, zal bijvoorbeeld leiden tot gedeeltelijke of volledige verdwijning van de biologische activiteit in de behandelde zone. Ditzelfde zou gelden voor anaërobe concepten (zoals biologische afbraak van CKW's) indien er wordt geregenereerd met oxidatoren of door middel van hogedrukreiniging met (zuurstofhoudend) leidingwater.

Echter, regeneratie heeft meestal slechts betrekking op de filterspleten, de omstorting of de boorgatwand, dat wil zeggen de directe omgeving van de put. Bij een juiste uitvoering van de regeneratie en voldoende schoonpompen nadien, zullen de eventuele gevolgen voor het saneringsconcept in de omringende bodem verwaarloosbaar zijn.



## HOOFDSTUK 12

### CONCLUSIES

De belangrijkste resultaten en conclusies uit de vorige hoofdstukken worden hier samengevat.

(Uit hoofdstuk 2 t/m 5)

De oorzaken van verstoppingen zijn gerelateerd aan chemische, hydrologische, fysische, biologische en technologische aspecten. De theorie van de individuele processen, die een rol kunnen spelen bij de verstopping, is bekend. De meeste parameters die kritisch zijn bij deze processen kunnen gemeten c.q. gekwantificeerd worden. Het voorspellen van verstopping blijft echter moeilijk. De reden daarvoor is dat verstopping in de praktijk door een combinatie van processen wordt veroorzaakt.

(Uit hoofdstuk 6)

Waterzuivering kan de oorspronkelijke samenstelling zodanig veranderen dat er extra risico's kunnen optreden voor verstopping. Infiltratie van 'schoon' (gezuiverd) water is geen garantie dat verstopping niet optreedt.

(Uit hoofdstuk 7)

De implicaties van in situ concepten voor een onttrekkings- of infiltratiesysteem kunnen zeer verschillend zijn. Naast de beïnvloeding van bodemprocessen en watersamenstelling kan ook menging van verschillende watertypen optreden als gevolg van verandering van de grondwaterstroming.

(Uit hoofdstuk 8)

Het is gebleken dat verstopping te voorspellen is indien alle essentiële gegevens systematisch verzameld zijn tijdens vooronderzoek. Daarbij kunnen de observaties in het veld een belangrijke bijdrage leveren. Eventuele kennisleemten komen dan snel tot uiting en kunnen door aanvullende monitoring worden opgevuld. De basisgegevens die de uitgangssituatie karakteriseren (samenstelling van bodem en grondwater, grondwaterdiepte en grondwaterstroming) en de gegevens gerelateerd aan het saneringsconcept (onttrekkings- en infiltratiesysteem en waterbehandeling) dienen vergeleken te zijn met een (afgeleide) kritische waarde of een kritische combinatie van de parameters.

(Uit hoofdstuk 9)

De ontwikkelde systematiek lijkt voldoende geschikt te zijn om de vereiste basisgegevens vast te leggen bij meeste onderzochte cases. Bij zeer complexe cases is een uitgebreide karakterisering noodzakelijk gebleken. De systematiek biedt ook voor dergelijke uitzonderingsgevallen voldoende mogelijkheden. Voor alle cases, die in een implementatiefase zijn, kan worden geconcludeerd dat de voorspellingen op basis van de systematiek overeenkomen met de werkelijke situatie op de locatie.

(Uit hoofdstuk 10)

Voor het waarborgen van een ongestoorde werking van onttrekkings- en retourmiddelen is een goed opgesteld meet- en maatregelenprogramma nodig. Het programma, gebaseerd op analyse van betrouwbare gegevens en diagnose van verstopping, is een cyclisch proces dat continu gemonitord dient te worden. Alleen op deze wijze kunnen zowel preventieve als curatieve maatregelen worden geëvalueerd en juiste acties tijdig worden genomen.

(Uit hoofdstuk 11)

Door aanpassing van de beslissystematiek, die ontwikkeld is in fase 1, kunnen de (potentiële) verstoppingen beter worden gediagnosticeerd en kunnen de juiste keuzes en maatregelen worden genomen. Deze systematiek, gebaseerd op een integrale aanpak van het verstopingsprobleem, is te gebruiken bij preventie van de verstoppingen en bij herstel van verstopte putten.

(Uit bijlage E)

Uit de resultaten van de, binnen dit project gehouden, schriftelijke enquête blijkt dat door verschillende doelgroepen veel belang wordt gehecht aan kennisopbouw en kennisuitwisseling omtrent verstopping van infiltratie- en onttrekkingsystemen. De voorkeur gaat uit naar een 'lowbudget' informatiepunt dat via SKB kan functioneren. Via SKB zou ook actieve kennisoverdracht kunnen plaatsvinden door middel van presentaties van cases en met behulp van folders, pamfletten en vouwbladen. Er wordt aanbevolen om de effectiviteit van een dergelijke aanpak te onderzoeken in een proefproject.

## LITERATUUR

Akzo Nobel Botlek, 1999.

Besprekingsverslagen december 1998 t/m oktober 1999.

Arcadis Heidemij, 1999a.

Voorstel nieuw ontwerp onttrekkings- en doseerinstallatie Akzo NOBIS-project.

Notitie 09/055/PvdB/hr, Waalwijk, juni 1999.

Arcadis Heidemij, 1999b.

Onderzoeksinformatie bodemonderzoek Hedeman-terrein te Almelo.

Notitie 634/OA97/3134/45465/el, Deventer, mei 1999.

Baudisch, R., 1989.

Verstopfungen von Brunnenfiltern und Unterwasserpumpen durch Aluminiumoxide.

BBR Wasser und Rohrbau, nr. 40, jrg. 5, p. 270-274.

Beek C.G.E.M. van, 1989.

Rehabilitation of clogged discharge wells in the Netherlands.

Quarterly Journal of Engineering Geology, nr. 22, p. 75-80.

Beek, C.G.E.M. van, en D. van der Kooij, 1982.

Sulfate-reducing bacteria in ground water from clogging and non-clogging shallow wells in the Netherlands River region.

Groundwater, nr. 20, p. 298-302.

Beek, C.G.E.M. van, C.J.G. Janssen, M.H.A. Juhász-Holterman en J.H. Peters, 1998.

Verstopping van productieputten door deeltjes.

H<sub>2</sub>O, jrg. 31, nr. 17, p. 18-20.

Beek, C.G.E.M. van, E. Schrama, M. Eck en J. Verstraelen, 1999.

Verstopping van diepe putten door deeltjes.

H<sub>2</sub>O, jrg. 32, nr.16/17, p. 21-24.

Bolt, G.H. en M.G.M. Bruggenwert, 1978.

Soil chemistry, A. Basic elements, development in soil science 5A.

Elsevier, Amsterdam.

CUR/NOBIS, 1998.

Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen - Eindrapport.

CUR/NOBIS-rapport 96-3-06, CUR/NOBIS, Gouda, oktober 1998.

CUR/NOBIS, 1999.

Enquête kennisbeheer bij het ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen. Deelrapport bij project 98-1-08 "Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen" - Fase 2.

CUR/NOBIS, Gouda, juli 1999.



CUR/NOBIS, 2000.

Gestimuleerde anaëroobe in situ biorestauratie van chloorethenen - Fase 1: Eindrapportage.  
CUR/NOBIS-rapport 97-1-11, CUR/NOBIS, Gouda, maart 2000.

Dalfsen, W. van, 1984.

Tijdelijke warmte-opslag in ondergrondse watervoerende lagen. Een beschrijving van de fysische principes.

TNO-rapport OS-84-21, Delft.

Dieleman, P.J. en N.A. de Ridder, 1972.

Elementary groundwater hydraulics. Drainage principles and applications.

ILRI publication 16, vol. 1, Wageningen.

Drewes, J.E. en M. Jekel, 1996.

Simulation of groundwater recharge with advanced treated wastewater.

Water Science & Technology, nr. 33, p. 409-418.

Fraanje, M.F., 1974.

Bronbemaling.

Agon Elsevier, Amsterdam.

Frenkel, H., J.O. Goertzen en J.D. Rhoades, 1978.

Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity.

Soil Science Society of America Journal, nr. 24, p. 32-39.

Grondmechanica Delft, 1998a.

Berekeningen I pilot-plant Akzo Nobel Botlek (NOBIS 95.106).

Notitie M981104, Delft, november 1998.

Grondmechanica Delft, 1998b.

Berekeningen II pilot-plant Akzo Nobel Botlek (NOBIS 95.106).

Notitie M981124, Delft, november 1998.

Grontmij, 1999.

Grondwatersanering Barneveld, evaluatie van de grondwatersanering periode 1995-1998.

Rapport GLD5367, Arnhem, maart 1999.

Haak, A.M., 1990.

Testfaciliteit voor opslag van koude en warmte in aquifers. Aquifer- en putgedrag bij periodieke opslag van koude.

TNO-rapport OS-90-06, Delft.

Hijnen, W.A.M., J. Bunnik, J.C. Schippers, R. Straatman en H.C. Folmer, 1998.

Determining the clogging potential of water used for artificial recharge on deep sandy aquifers.

Paper to be presented at the Third International Symposium on Artificial Recharge, September 21-25, Amsterdam.

Hijnen, W.A.M. en D. van der Kooij, 1992.

Influence of adsorbable organic carbon on the biological colmation of infiltration wells.

GWF Wasser/Abwasser, nr. 133, p. 148-53.

- Howsam, P. en M. Thakoordin, 1996.  
Groundwater quality monitoring: the use of flow through cells.  
Journal water and environmental management, jrg. 6, nr. 10, p. 407-410.
- HWZ Milieu bv, 1999.  
Projectplan In situ maatregelen NEMEF bv te Wenum.  
Bestek 98090, Utrecht, 26 maart 1999.
- Iwaco, 1998.  
Combi-remediatie fase 2. Implementatie fase.  
Basisprojectplan, nr. 3367570, Groningen, 8 december 1998.
- Iwaco, 1999a.  
Saneringsplan Noord- en Oostzijde NS-Revisieterrein te Tilburg.  
Rapport blz 8 t/m 12, Groningen, maart 1999.
- Iwaco, 1999b.  
Verstopingsrisico's infiltratie- onttrekkingsputten NS-Revisieterrein te Tilburg.  
Concept notitie, nr. 3370800, Groningen, 17 mei 1999.
- Iwaco, 1999c.  
Eerste resultaten Tilburg.  
Notitie 98.1048, 's-Hertogenbosch, november 1999.
- Iwaco, 1999d.  
Pilotproef Slochteren.  
Notitie AN-85703, Groningen, juni 1999.
- Iwaco, 1999e.  
Anaërobe afbraak van BTEX, locatie Schoonebeek (NOBIS-project 95-1-43).  
Notitie, Groningen, juni 1999.
- Iwaco, 1999f.  
Deelsaneringsplan Rademarkt Groningen.  
Rapport, nr. 22550530, Groningen, 28 april 1999.
- Iwaco, 1999g.  
Biorestauratie Rademarkt.  
Notitie AN-85908, Groningen, juni 1999.
- Jack, T.R., J. Shaw, N. Wardlaw en J.W. Costerton, 1989.  
Microbial plugging in enhanced oil recovery.  
In: Donaldson, E.C., G.V. Chilingarian en T.F. Yen (eds), Microbial enhanced oil recovery, Elsevier, Amsterdam, p. 125-149.
- Jennings, D.A., J.N. Petersen, R.S. Skeen, B.S. Hooker, B.M. Peyton, D.L. Johnstone en D.R. Yonge, 1995.  
Effects of slight variations in nutrient loadings on pore plugging in soil columns.  
Applied Biochemistry and Biotechnology, nr. 51/52, p. 727-734.

- Kooij, D. van der, D. Visser en W.A.M. Hijnen, 1982.  
Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water.  
Journal American Water Works Association, nr. 74, p. 540-545.
- Kooij, D. van der, H.S. Vrouwenvelder en H.R. Veenendaal, 1997.  
Bepaling en betekenis van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater.  
H<sub>2</sub>O, jrg. 30, nr. 25, p. 767-771.
- Leethem, J.T., R.E. Beeman, M.D. Lee, A.A. Biehle, D.E. Ellis en S.H. Shoemaker, 1995.  
Anaerobic in situ bioremediation: injected nutrient and substrate fate and transport.  
In: Hincbee, R.E., J.A. Kittel en H.J. Reisinger (eds.), Appl. Biorem. Pet. Hydrocarbons, 3rd Int. Symp. In Situ On-Site Bioreclamation, Battelle Press, Columbus, Ohio, p. 271-80.
- Loosdrecht, M.C.M. van, J. Lyklema, W. Norde, G. Schraa en A.J.B. Zehnder, 1987.  
Electrophoretic mobility and hydrophobicity as a measure to predict the initial steps of bacterial adhesion.  
Applied Environmental Microbiology, nr. 53, p. 1898-1901.
- Monod, J., 1949.  
Annual Review Microbiology, nr. 3, p. 371.
- MTI Milieutechnologie, 1999.  
Biosurfactants Roermond.  
Notitie 490040N2081/t, Gorinchem, augustus 1999.
- NITG-TNO, 1998.  
Haalbaarheid naar extensieve grondwatersanering van het Akzo Nobel bedrijventerrein te Weert.  
Rapport 98-140-A, Delft, 1998.
- NITG-TNO, 1999.  
Implementatie van extensieve 'pump and treat' door manipulatie van de natuurlijke grondwaterstroming.  
Basisprojectplan SKB, Delft, november 1999.
- Olsthoorn, T.N., 1982.  
Verstopping van persputten.  
Kiwa-mededeling, nr. 71, Rijswijk.
- Peters, J.H. en C. Castell-Exner, 1993.  
Proc. Dutch-German workshop on artificial recharge of groundwater.  
Kiwa, Castricum, september 1993.
- Pirt, S.J., 1965.  
Proceedings Royal Society London Series B., nr. 163, p. 224.
- Pomper, A.B. en H.J.T. Weerts, 1996.  
Doorlatendheidsmetingen: absolute noodzaak of luxe uit het verleden.  
Stromingen, jrg. 2, nr. 1, p. 27-37.
- Pupisky, H. en I. Shainberg, 1979.  
Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil.

Soil Science Society of America Journal, nr. 43, p. 429-433.

Roels, J.A., 1983.

Energetics and kinetics in biotechnology.

Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.

Schippers, J.C. en J. Verdouw, 1980.

The modified fouling index, a method of determining the fouling characteristics of water.

Desalination, nr. 32, p. 137-148.

Stumm, W. en J.J. Morgan, 1996.

Aquatic chemistry, third edition.

John Wiley & Sons, New York.

Tauw, 1989.

Nader onderzoek fase 1 Akzo Weert.

Rapport 3100812/R0-01, Deventer, mei 1989.

Tauw, 1990.

Nader onderzoek fase 2 Akzo Weert.

Rapport 3115712/R0-01, Deventer, januari 1990.

Tauw, 1991.

Onderzoek ten behoeve van grondwaterbeheersingsplan en aanpak hot spots Akzo Weert.

Rapport, R3137333/LMB, Deventer, mei 1991.

Tauw, 1995.

Aanvullend onderzoek fase 1, 2 en 3 voormalig terrein Dravo Groeneweg en omgeving.

Rapport R3364380.H02/MSO, Deventer, mei 1995.

Tauw, 1996a.

Aanvullend onderzoek fase 4, 5 en 6 voormalig terrein Dravo Groeneweg en omgeving.

Deventer, 1996

Tauw, 1996b.

Pompproof, kolomproeven en modellering restconcentratieniveau in het grondwater NEMEF bv te Wenum.

Rapport R3429253.T06/DFA, Deventer, mei 1996.

Tauw, 1996c.

Aanvullend nader onderzoek voormalig bedrijfsterrein Akzo Nobel te Weert.

Rapport R3447073.T02/LMB, Deventer, oktober 1996.

Tauw, 1997.

Voormalig Dravo-terrein, beperkt saneringsonderzoek.

Rapport R3536939.T05/EST, Deventer, juni 1997.

Tauw, 1998a.

Plan van aanpak pilot-plant Dravo te Bunnik.

Rapport R3618501.A01, Deventer, november 1998.

Tauw, 1998b.

Werkbestek aanleg en instandhouden in situ systeem Dravo Bunnik.

Bestek 3618501.AO4, Deventer, november 1998.

Tauw, 1998c.

Saneringsplan NEMEF bv te Wenum.

Rapport R3669602.D02, Deventer, juli 1998.

Tauw, 1998d.

Technische omschrijving installatie in situ maatregelen NEMEF bv te Wenum.

Rapport 3687090.D02, Deventer, oktober 1998.

Tauw, 1998e.

Saneringsplan voormalig Akzo Nobel terrein te Weert.

Rapport 3447030-R3/A, Deventer, november 1998.

Tauw, 1999a.

Pompproef pilot-plant Dravo te Bunnik.

Concept rapport R3709787.JDB, Deventer, februari 1999.

Tauw, 1999b.

Pilot-periode januari-mei 1999 Dravo Bunnik.

Concept rapport R02\_3722813/DAL, Deventer, juni 1999.

Taylor, S.W. en P.R. Jaffé, 1990.

Biofilm growth and related changes in the physical properties of a porous medium; 1. Experimental investigation.

Water Resources Research, jrg. 9, nr. 26, p. 2153-2159.

Taylor, S.W. en P.R. Jaffé, 1991.

Enhanced in situ biodegradation and aquifer permeability reduction.

Journal of Environmental Engineering, nr. 117, jrg. 1, p. 25-46.

Taylor, S.W., C.R. Lange en E.A. Lesold, 1997.

Biofouling of contaminated ground-water recovery wells: characterization of micro-organisms.

Groundwater, jrg. 6, nr. 35, p. 973-980.

Vandevivere, P., P. Baveye, D.S. Delozada en P. Deleo, 1995.

Microbial clogging of saturated soils and aquifer materials: evaluation of mathematical models.

Water Resources Research, jrg. 9, nr. 31, p. 2173-2180.

Warner, J.W., T.K. Gates, R. Namvargolian, P. Miller en G. Comes, 1994.

Sediment and microbial fouling of experimental groundwater recharge trenches.

Journal of Contamination Hydrology, jrg. 4, nr. 15, p. 321-44.

Weiden, M.J.J. van der, en A. Willemsen, 1991.

Meetresultaten warmte opslag Bunnik.

H<sub>2</sub>O, jrg. 24, nr. 20, p. 575-577.

Wiesner, M., M.C. Grant en S.R. Hutchins, 1996.

Reduced permeability in Groundwater remediation systems: role of mobilized colloids and injected chemicals.

Environmental Science and Technology, jrg. 11, nr. 30, p. 3184-3191.

Zutphen, M. van, en L. Vasak, 1997.  
Toepassing van mini-slug testen voor doorlatendheidsbepaling bij Nederlandse saneringslocaties.  
TNO-rapport NITG 97-49-B, Delft.

*Overige geraadpleegde literatuur*

Beek, C.G.E.M. van, 1982.  
Regeneratie van verstopte winputten.  
H<sub>2</sub>O, jrg. 15, nr. 15, p. 370-377.

Beek, C.G.E.M. van, 1995.  
Brunnenalterung und Brunnenregenerierung in den Niederlanden.  
GWf Wasser/Abwasser, jrg. 3, nr. 136, p. 128-137.

Beek, C.G.E.M. van, en H. Vaessen, 1979.  
Ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket.  
H<sub>2</sub>O, jrg. 12, nr. 1.

Drijver, B.C., R. Hekkenberg, C.A.J. Appelo en M. de Jonge, 1998.  
Efficiënte (toename) bij ondergrondse ontijzering.  
H<sub>2</sub>O, jrg. 31, nr. 17, p. 29-32.

Driscoll, G., 1995.  
Groundwater and Wells, second edition.  
Johnson screens, 1995.

Graafsma, Y., E. Schrama, S. Meyers en J.W. Kooiman, 1999.  
Horizontale putten, extra investering in winning levert aanzienlijke kostenreductie op.  
H<sub>2</sub>O, jrg. 32, nr. 18, p. 25-27.

Houben, G., S. Mertens en Chr. Treskatis, 1999.  
Entstehung, Aufbau und Alterung von Brunneninkrustationen.  
BBR 50 (10): 29-35.

Koninklijk Instituut van Ingenieurs, sectie Tunneltechniek, studiegroep Retourbemaling, 1978.  
Rapport retourbemaling. Rijswijk.

Kop, J.H., 1994.  
Groundwater abstraction and artificial recharge - Volume 1 and 2.  
Delft University of Technology, October 1994.

Peters, J.H., 1984.  
Ervaringen met diepinfiltratie.  
Kiwa-mededeling, nr. 79, Rijswijk.

Rijkswaterstaat, 1986.  
Groundwater infiltration with bored wells.  
Rijkswaterstaat communications, nr. 39.

Scholten, I., 1989.  
Verstopping van drainagesleuven door ijzerverbindingen.  
Landinrichting 1989, jrg. 29, nr. 1, p. 32-36.

Steenwijk, J.M. van, en C.G.E.M. van Beek, 1988.  
Putregeneratie met waterstofperoxyde.  
H<sub>2</sub>O, jrg. 21, nr. 12, p. 310-315 en 319.

Stichting Bouwresearch, 1989.  
Bemaling van bouwputten.  
Publicatie nr. 190, Rotterdam.

Verstraelen, J., C. van Beek, J. van Hoof en E. Schrama, 1999.  
Macharen: regeneratie van meerdere vormen van putverstopping.  
H<sub>2</sub>O, jrg. 32, nr.13, p. 26-28.

## BIJLAGE A

### **GEGEVENS AKZO NOBEL TE WEERT**

In bijlage A is het volgende opgenomen:

- Overzichtstekening Weert
- Tabel A1. Chemische analyses Weert
- Tabel A2. Berekende saturatie-indexen Weert



Tabel A1. Chemische analyses Weert.

parameter	eenheid	PB113	PB113	PB113	PB1051	PB1053	MF101	PB1200	PB1201	PB1202	MF208	MF208	MF210	MF210	PB1100	PB1102
		6 - 7 m	10 - 11 m	13 - 14 m	5 - 6 m	21 - 22 m	8 - 9 m	5 - 6 m	14 - 15 m	19,5 - 20,5 m	14 - 20 m	19 - 20 m	14 - 15 m	19 - 20 m	4,5 - 5,5 m	18,5 - 19,5 m
pH	-	5,6	6,1	6,3	5,5	4,8	6	6,3	6	6	5,4	6	5,8	6,3	5,3	5,9
EGV	µS/m	699	332	367	914	767	723	100	177	176	340	412	387	417	828	701
Eh	mV	-24	-44	-69	15	-82	70	-44	-79						5	23
Cl	mg/l	120	54	54	140	170	83	12	45	42	66	72	72	73	115	105
F	mg/l				9,8	21		1,7	0,04	0,04					0,1	0,1
HCO <sub>3</sub>	mol/l	0,2	0,7	2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,4	0,3	0,9	0,5	1,1	0,1	0,9
SO <sub>4</sub>	mg/l	150	45	49	320	260	70	21	3,1	2,2	53	56	52	47	250	100
NO <sub>3</sub>	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Ca	mg/l	24	16	42	80	50	12	4,8	9	13	17	26	18	31	55	35
Mg	mg/l	10	8	10	21	14	6	2,6	6	1,8	3,6	6,5	4,8	5	16	5,5
Fe(II)	mg/l	59	20	12	120	79	47	14	13	9	26	23	23	19	130	40
Fe(III)	mg/l	60	28	17	110	85	39	16	25	9	27	23	28	19	100	28
Mn	mg/l	0,45	0,3	0,32	1,7	1,1	0,4	0,13	0,19	0,14	0,23	0,36	0,27	0,4	1,1	5,5
Al	mg/l	0,6	16	48	0,5	0,55	0,44	12	0,25	11	1,1					
CZV	mg O <sub>2</sub> /l	27	24	23	34	30	19	36	43	24	12	18	24	121	43	23
N-Kjeldahl	mg N/l	1,2	0,5	1	1,4	1,8	0,65	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1	1,1	2,1	1,3	1,1
DOC	mg/l	4,8	5,6	4,8	4,9	4,5	3,1	9,8	5,8	6,9	2,5	2,6	12	20	3,4	3,0
O <sub>2</sub>	mg/l							0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
CH <sub>4</sub>	µg/l	300	280	140	610	300	50	1500	8600	6300						

Tabel A2. Berekende saturatie-indexen Weert.

	calcite	gypsum	gibbsite	ferrihydr e	siderite	rhodochrosite	
	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	MnCO <sub>3</sub>	log P <sub>CO2</sub>
PB113/6 - 7 m	-3,673	-1,857	2,228	2,238	-1,387	-3,559	-1,634
PB113/10 - 11 m	-2,739	-2,462	4,729	3,634	-0,764	-2,641	-1,586
PB113/13 - 14 m	-1,737	-2,077	5,426	3,607	-0,43	-2,055	-1,376
PB1051/5 - 6 m	-3,358	-1,171	1,743		-1,284	-3,187	-1,568
PB1053/21 - 22 m	-4,52	-1,399	-0,127	2,171	-2,421	-4,333	-1,149
MF101/8 - 9 m	-3,515	-2,398	2,961		-1,03	-3,154	-2,024
PB1200/5 - 6 m	-4,38	-3,193	4,859	3,225	-2,02	-4,105	-3,155
PB1201/14 - 15 m	-3,249	-3,762	2,901	3,724	-1,208	-3,096	-1,696
PB1202/19,5 - 20,5 m	-3,105	-3,774	4,465		-1,383	-3,244	-1,71
MF208/14 - 20 m	-3,755	-2,338	2,155	2,049	-1,682	-3,789	-1,233
MF208/19 - 20 m	-2,507	-2,152			-0,687	-2,545	-1,357
MF210/14 - 15 m	-3,11	-2,318		3,144	-1,12	-3,104	-1,41
MF210/19 - 20 m	-2,038	-2,148			-0,384	-2,113	-1,568
PB1100/4,5 - 5,5 m	-3,999	-1,395			-1,727	-3,854	-1,671
PB1102/18,5 - 19,5 m	-2,526	-1,837			-0,593	-1,507	-1,272

## BIJLAGE B

### **GEGEVENS NEMEF TE WENUM**

In bijlage B is het volgende opgenomen:

- Overzichtstekeningen Wenum
- Tabel B1. Basisgegevens Wenum
- Hydrologische modelberekeningen Wenum
- Fig. B1 t/m B3
- Zuurstofmeting in Wenum (NEMEF-terrein)

Tabel B1. Basisgegevens Wenum.

aandachtsgebied	parameter	karacteriserings-/meetmethode	doel/aspect
hydrologisch en fysisch	bodemopbouw	0 - 1 mgz, geel 1 - 3 gz, geel 3 - 5 gz, grijs 5 - 12 mgz, grind, grijs 12 - 14 mgz, grind, grijs en klei bruin 14 - 19 mgz, grijs 19 - 42 gz, grind, grijs 42 - 70 mgz, grijs	risico's mengwater, redoxovergangen, doorlatendheidsverschillen
	bodemparemeters	0 - 12: kD = 110 m <sup>2</sup> /dag 12 - 14: c = 600 dagen 14 - 70: kD = 2500 m <sup>2</sup> /dag	slechte doorlatendheid, menging niet-compatibele waters
	grondwaterstroming	grondwaterstand: ca. 12,5 m +NAP (1 m-mv) V <sub>hor</sub> = 35 m/jaar V <sub>vert</sub> = 0,3 m/jaar, infiltratie V <sub>hor</sub> = 60 m/jaar	risico's mengwater, intrek gebiedsvreemd water
	uitwisselingsreacties grond	Na (niet gemeten) K (niet gemeten) Ca = 40 - 70 mg/l Mg = 3 - 12 mg/l	kleizwelling, kleidispersie
	gasverzadiging grondwater	CH <sub>4</sub> = 0,2 - 1 mg/l CO <sub>2</sub> (niet gemeten)	gasclogging
	deeltjes in grondwater	zwevende stof (niet gemeten)	colloïdale verstopping
geochemisch	macroparemeters van grondwater, influent en effluent	grondwater: HCO <sub>3</sub> = 1,7 - 4,1 meq/l CO <sub>3</sub> = < 0,1 meq/l SO <sub>4</sub> = 6 - 30 mg/l CZV = 14 - 66 mg O <sub>2</sub> /l Cl = 34 - 220 mg/l N-Kjeldahl = 1 mg N/l N = 0,05 - 0,25 mg/l Ca = 40 - 70 mg/l Mg = 3 - 12 mg/l Fe-totaal = 5 - 20 mg/l Fe(II) = 5 - 20 mg/l Mn = 0,4 - 1,4 mg/l O <sub>2</sub> = 0,6 - 2,7 mg/l pH = 5,6 - 7,1 Al = 0,24 mg/l	kans op ontgassing, mengwater, pH-wijzigingen, precipitatiereacties, redoxpotentiaalveranderingen, biologische activiteit
	verontreinigingssituatie (type, aard, verspreiding)	zwere metalen (µg/l) Cr = < 6500 Cu = < 140 Ni = < 1900 Pb = < 4 Zn = < 1950 Hg = < 1 Cd = < 2 CN = < 23  chl. opl. middelen (µg/l) PER = < 90000 TRI = < 31000 CIS = < 44000 VC = < 3300	invloed op redoxpotentiaal, voorkeursstromingen
	gasverzadiging influent, effluent	CO <sub>2</sub> (niet gemeten) O <sub>2</sub> = 0,6 - 2,7 mg/l	ontgassing in systeem
biologisch	biologische paremeters van grondwater, influent en effluent	grondwater: DOC = 4 - 45 mg DOC/l SO <sub>4</sub> = 6 - 30 mg/l H <sub>2</sub> S (niet gemeten) Fe(II) = 5 - 20 mg/l temperatuur = 12 - 15 °C	groei, of biologische omzettingprocessen (zoals ijzer-oxidatie, sulfaatreductie)
	chemische analyse schraapsel, spoelwater regeneratie	niet van toepassing	diagnose verstopping

aandachtsgebied	parameter	karacteriserings-/meetmethode	doel/aspect
	regeneratiegegevens	niet van toepassing	diagnose verstopping
technologisch	systeem voor onttrekking en injectie (diepte, type [putten, drains]), detailuitvoering (koppelingen, pompen enz.)	diepwell D1a: 6 - 15 m-mv <sup>1)</sup> diepwell D1b: 7 - 12 m-mv <sup>1)</sup> diepwell D3: 16 - 21 m-mv diepwell D4: 6 - 12 m-mv <sup>1)</sup> diepwell D5: 5 - 11 m-mv <sup>1)</sup> diepwell I1: 30 - 40 m-mv, 5 injectieleidigen tot 10 m-mv filters I2: 6 - 12 m-mv, injectieleiding tot 10 m-mv filters I3: 6 - 12 m-mv, injectieleidng tot 10 m-mv	mengwater (filterlengte, diepte, concentratieprofiel)
	boorteknik en putontwikkeling	pulsen diepwellen 324 - 600 mm pulsen filters 219 mm jutteren en sectiegewijs doorpompen MFI (s/l <sup>2</sup> ): D1a: 5 - 11 D1b: 16 D3: 1 D4: 3 D5: 8	tegengaan van versmering boorgatwand, van colloïdale verstopping
	putconstructie	D1a: PVC 147/160 mm D1b: PVC 296/315 mm D3: PVC 296/315 mm D4: 188/200 mm D5: 296/315 mm I1: PVC 296/315 mm I2: 81/90 mm I3: 81/90 mm	drukbestendigheid, aantasting
	omstorting en spleetafmeting	D1a: 0,8 - 1,25/0,6 mm D1b: 0,8 - 1,25/0,6 mm D3: 0,8 - 1,25/0,6 mm D4: 0,8 - 1,25/0,6 mm D5: 0,8 - 1,25/0,6 mm I1: 0,8 - 1,25/0,6 mm I2: 0,8 - 1,25/0,4 mm I3: 0,8 - 1,25/0,4 mm	verstopping van boorgatwand of filterspleten
	systeemdruk	D5 - I2: 0,3 bar D5 - I3: 0,6 bar	ontgassing, inlek zuurstof, menging met grondwater in retourput
overig	historische gegevens nabije omgeving	in omgeving van D5 is eerder grondwater onttrokken	locatiespecifieke problemen? effecten van eerdere bodemactiviteiten
	gegevens opstartfase, nazorgfase	SV-opstartfase <sup>2)</sup> : D1a: 1,0 m/m <sup>3</sup> /u D1b: 1,1 m/m <sup>3</sup> /u D3: 0,4 m/m <sup>3</sup> /u D4: 0,6 m/m <sup>3</sup> /u D5: 0,9 m/m <sup>3</sup> /u  na drie maanden <sup>2)</sup> : D1a: 1,0 m/m <sup>3</sup> /u D1b: 1,5 m/m <sup>3</sup> /u D3: 0,4 m/m <sup>3</sup> /u D4: 0,6 m/m <sup>3</sup> /u D5: 1,5 m/m <sup>3</sup> /u	identificatie en omvang van verstoppingsrisico
	effectiviteit regeneratiemethode	niet van toepassing	diagnose verstopping

<sup>1)</sup> op basis van zuurstofmeting filterstelling aangepast

<sup>2)</sup> extra verlagingen door onderlinge beïnvloeding onttrekkingen

## Hydrologische modelberekeningen Wenum

### a. *Reistijden*

De oriënterende berekeningen zijn bedoeld om indicatief vast te stellen welke reistijden kunnen gelden voor freatisch grondwater naar de onttrekkingsput. De achtergrond hiervan is het bepalen van het risico van intrekken van zuurstofhoudend grondwater in een onttrekkingsput.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- dikte van het watervoerende pakket = 12 m;
- grondwaterstand = 1 m-mv;
- porositeit = 0,35;
- homogeen pakket;
- eerste meter onder grondwaterspiegel is zuurstofhoudend.

In figuur B1 van deze bijlage zijn de reistijden weergegeven van waterdeeltjes bij een filterstelling van de onttrekkingsput van 6 - 12 m-mv (= 5 - 11 m beneden de grondwaterspiegel). Het debiet bedraagt 2 m<sup>3</sup>/uur. De grondwaterstand is gesteld op 0 m (verticale as). De reistijd van de eerste meter onder de grondwaterspiegel tot de kop van het filter bedraagt circa 10 tot 25 dagen.

In figuur B2 van deze bijlage zijn de reistijden weergegeven van de waterdeeltjes bij een filterstelling van de onttrekkingsput van 8 - 12 m-mv (= 7 - 11 m beneden de grondwaterspiegel). De reistijd van de eerste meter onder de grondwaterspiegel tot de kop van het filter bedraagt circa 25 tot 50 dagen. Indien het filter 2 meter dieper wordt geplaatst, resulteert dat in een gemiddelde toename van de reistijd van circa 20 dagen. Rekening houdend met het feit dat het onderste deel van het watervoerende pakket (8 - 12 m-mv) grindhoudend is, en dus beter doorlatend dan het bovenste deel, kan er worden aangenomen dat het debiet uit het bovenste deel (7 m dikte watervoerende laag) maar voor 50 % bijdraagt aan het totale debiet (aanname: kD-waarden van de bovenste en onderste laag zijn gelijk (worst-case)).

In figuur B3 van deze bijlage wordt de aanvoer vanuit de bovenste laag berekend. Bij een filterstelling van 6 - 12 m-mv bedraagt de reistijd van een waterdeeltje circa 10 tot 25 dagen. Dit is gelijk aan de situatie in figuur B1, aangezien het debiet en de dikte van het pakket beide gehalveerd zijn. Slechts wanneer minder dan 50 % van het totale debiet uit de bovenste laag wordt aangetrokken, zal de reistijd toenemen.

### b. *Bijdrage van zuurstofhoudend water aan het totale debiet*

Er is ook gekeken naar het aandeel van de eerste meter (zuurstofhoudend) water onder de grondwaterspiegel op het totale onttrekkingsdebiet. Voor de berekening van de debietverdeling over het bovenste deel van het filter is uitgegaan van een scheidende laag op 7 m-mv (conform fig. B3). De debietsverdeling voor de bovenste 2 meter filter is als volgt: de bovenste 0,5 m filter 40 % en de volgende 0,5 meters filter elk 20 %. Van de bovenste 0,5 m filter is ongeveer 50 % van het water afkomstig uit de eerste meter onder het grondwaterniveau. Dat houdt in dat het grondwater dat via de bovenste 2 meter filter wordt aangevoerd circa 50 % van 40 % (= 20 %) zuurstofhoudend water bevat. Voor de totale filterlengte van 6 - 12 m-mv was eerder gesteld dat ongeveer de helft van het totale debiet van de bovenste 2 meter filter afkomstig is. Dit betekent dus dat circa 10 % van het totale onttrekkingsdebiet zuurstofhoudend water bevat. Dit zal uiteraard minder worden wanneer er meer grondwater uit de grindlaag wordt onttrokken en het filter dieper wordt geplaatst. Echter, het aantrekken van zuurstofhoudend water is op termijn onafwendbaar.

## Zuurstofmeting in Wenum (NEMEF-terrein)

Woensdag 9 december 1998 vond er een zuurstofmeting plaats op diverse diepten op het NEMEF-terrein te Wenum.

### *Schets van de locatie*

Zie locatiekaart Tauw.

### *Materiaal en methode*

Benodigde apparatuur en materiaal:

Nordmeyer boorvoertuig

RVS filter

Gaspijp

PE-slang

WTW Microprocessor Oximeter (Oxi 196) met EO 196-1,5 zuurstofelektrode

WTW doorstroomcel

WTW Microprocessor Conductivity Meter LF 196

Slangenpomp (Eijkelkamp)

### *Boring*

Voor het plaatsen van het filter werd gebruik gemaakt van een Nordmeyer boorvoertuig. Een gaspijp met daaraan een roestvrijstalen filter werd hydraulisch de grond in gedrukt tot de gewenste diepte. In totaal werden er twee boringen uitgevoerd, de eerste boring tot 4 m-mv en de tweede boring (10 m ten westen van de eerste boring) tot 2,5 m-mv.

### *Monstername*

Het filter werd op verschillende diepten weggedrukt, waarna het grondwater kon worden onttrokken. Met behulp van een slangenpomp werd het grondwater via een PE-slang naar boven gepompt. Alvorens met de metingen werd begonnen, moest het stagnerende water worden verwijderd. De slangenpomp werd aangesloten op een doorstroomcel, waarin de zuurstofelektrode was geplaatst. De zuurstofelektrode werd voor gebruik geijkt aan de atmosfeer. Na 15 minuten werd de zuurstofconcentratie en EGV genoteerd.

### *Metingen*

Bij de eerste boring werd op 1,75 m-mv een geringe hoeveelheid grondwater aangetroffen in het filter. Het was niet voldoende om een correcte zuurstofmeting uit te voeren. Op 2 m-mv was er voldoende opbrengst. Nadat het filter een aantal malen was 'schoongepompt', kon de slangenpomp op de doorstroomcel worden aangesloten. Gedurende 15 minuten werd de zuurstofconcentratie gemeten, maar na vijf minuten was de concentratie al stabiel. Naast opgelost zuurstof werd ook het elektrisch geleidend vermogen bepaald. Na de meting op 2 m-mv werd er opeenvolgend doorgedrukt naar 2,5 m-mv, 3 m-mv, 3,5 m-mv en 4 m-mv.

Bij de tweede boring werd er op 1,5 m-mv een minimale hoeveelheid grondwater aangetroffen in het filter, bij 2 m-mv werd iets meer grondwater opgepompt maar het was nog steeds niet voldoende om een correcte zuurstofmeting uit te voeren. Op 2,25 m-mv kon de eerste meting worden verricht. De zuurstofconcentratie was al meteen erg laag (0,3 mg/l). Vervolgens werd er doorgedrukt naar 2,5 m-mv. Door een defecte meetkast kon er helaas geen zuurstofmeting meer worden uitgevoerd.

## Resultaten

### Meetresultaten boring 1

diepte (m-mv)	opgelost O <sub>2</sub> (mg/l)	EGV* (μS/cm)	opmerkingen
1,75	-	-	niet voldoende opbrengst
2,00	0,7	256	
2,50	0,4	319	
3,00	0,2	391	
3,50	0,1	1288	
4,00	0,1	1462	

EGV\* - elektrisch geleidend vermogen

### Meetresultaten boring 2

diepte (m-mv)	opgelost O <sub>2</sub> (mg/l)	EGV (μS/cm)	opmerkingen
1,50	-	-	geen water
2,00	-	-	niet voldoende opbrengst
2,25	0,3	516	
2,50	-	761	O <sub>2</sub> -meter ging stuk

Op 2,25 m-mv is de zuurstofconcentratie al dermate laag (0.3 mg/l) dat hier gesproken kan worden van anaëroob grondwater (< 1 mg/l).



## BIJLAGE C

### **DEELTJESTELLING DRAVO TE BUNNIK**

In bijlage C is het volgende opgenomen:

- Memo Kiwa
- Grafiek deeltjstelling Dravo te Bunnik

BIJLAGE D

**BODEMANALYSE AKZO NOBEL TE BOTLEK**

## Analysegegevens van de bodem

*Akzo-Botlek; Bodemmonster uit het eerste watervoerende pakket*  
Min.-max. waarden van 9 mengmonsters.

Calciumcarbonaat % van droge stof	1,8 - 7,1
Droge stof %	82 - 88,3
Lutum % van droge stof	< 0,1 - 1,2
Silt % van droge stof	< 0,1 - 1,9
Organische stof % van droge stof	< 0,1
Ammoniumstikstof als N g/kg droge stof	< 0,1
Stikstof Kjeldahl g/kg droge stof	< 0,1 - 0,3
Totaal fosfor (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) g/kg droge stof	0,1 - 0,4
IJzer (Fe) mg/kg droge stof	1700 - 5000
Mangaan (Mn) mg/kg droge stof	60 - 140
Zwavel (S) mg/kg droge stof	220 - 2700

BIJLAGE E

**SAMENVATTING VAN DE ENQUÊTE NAAR KENNISBEHOEFTE**

## **A. Doel en opzet van de enquête**

Bij de aanvang van dit project werd een schriftelijke enquête uitgevoerd onder (potentiële) gebruikers van de beslissystematiek die in fase 1 (NOBIS-project 96-3-06 [CUR/NOBIS, 1998]) werd ontwikkeld. Het doel van de enquête was om vast te stellen welke ervaring men inmiddels had opgedaan, welke kennisbehoefte er bestaat bij verschillende actoren (ontwikkelaars, toepassers, beleidsmakers, eindgebruikers) op het gebied van verstopping van infiltratie- en onttrekkingssystemen en op welke wijze de kennisuitwisseling het meest effectief kan plaatsvinden. De belangrijkste conclusies zijn in dit hoofdstuk samengevat.

### *Doel van de enquête*

Samengevat werden de volgende doelen onderscheiden:

1. verbetering van de systematiek die aansluit bij de (markt)behoefte;
2. inzicht in wenselijke methoden voor kennisuitwisseling;
3. inzicht in het financieel draagvlak voor kennisuitwisseling.

### *Opzet van de enquête*

Bij de verspreiding van de enquête is gepoogd een zo breed mogelijke groep van belanghebbende partijen te bereiken. De enquête is daartoe uitgevoerd onder vertegenwoordigers van verschillende instanties, waaronder provincies, aannemers/boorbedrijven, waterleidingbedrijven, ingenieursbureaus, industrie en overige kennisontwikkelaars en eindgebruikers. Binnen deze groepen werden personen benaderd die in hun werk regelmatig te maken hebben met infiltratie- of onttrekkingssystemen.

## **B. Conclusies**

Uit de resultaten van de enquête kan een aantal conclusies worden getrokken. Deze zijn ingedeeld in drie categorieën, naar analogie van de gestelde doelen in de inleiding:

### *Verbetering van de systematiek die aansluit bij de (markt)behoefte*

Er bleek een duidelijke behoefte te bestaan aan een beslissystematiek die gericht is op het voorkomen van verstoppingsproblemen bij infiltraties en onttrekkingen. Een eerste evaluatie van het functioneren van de systematiek werd echter bemoeilijkt, omdat deze op de peildatum slechts in een zestal projecten is toegepast. Een verklaring voor dit geringe aantal was de recente gereedkoming van de systematiek en (nog) relatief geringe bekendheid. De verwachting is dat de behoefte groter gaat worden door de toename van complexe infiltratie- en onttrekkingssystemen, zoals injectie van hulpstoffen (substraten, nutriënten, e.d.), en onttrekkingen in ondiepe bodempakketten. Van de zes concrete toepassingen werden in 4 gevallen desondanks verstoppingsproblemen ondervonden. Niet duidelijk is of dit gelegen heeft aan een eventueel disfunctioneren van de systematiek. Algemeen gesproken kunnen de complexiteit van de problematiek en het ontbreken van specifieke kennis en ervaring bij de gebruiker factoren zijn die het succes/falen van de systematiek bepalen. Transparantie in de systematiek kan bijdragen aan een succesvolle toepassing en dient daarom aandacht te krijgen bij aanpassing van de systematiek. De volgende punten zijn daarbij van belang:

- De systematiek moet meer afgestemd zijn op de praktijk, bijvoorbeeld door meer aandacht te schenken aan vuistregels, uitvoeringswijzen en algemeen voorkomende praktijkproblemen (bijvoorbeeld ook regio-gerelateerd).
- Uit de enquête blijkt dat vooral belang wordt gehecht aan een systematiek tijdens de ontwerpfase. Om te voorkomen dat de systematiek alleen gebruikt wordt voor trouble-shooting (achteraf), zou de verzamelde expertise beter moeten aansluiten bij de belevingswereld van uitdenkers van concepten (dus met name de kennisontwikkelaars en innovators) en gebruikt moeten worden bij de start van het ontwerpproces.

- Door vermelding van typische omstandigheden of van voorbeelden van concepten die een grote faalkans hebben, kan er in de ontwerpfase wellicht vaker voorkomen worden dat er een verstopping van het infiltratie- of onttrekkingsstelsel ontstaat.

Door het consortium zijn inmiddels ruim 10 praktijkcases getest (zie hoofdstuk 9), met bevredigend resultaat.

#### *Inzicht in wenselijke methoden voor kennisuitwisseling*

Er zijn aan de groep geënquêteerden verschillende opties van kennisuitwisseling voorgehouden. De reacties hierop worden hierna kort toegelicht:

- Ondersteuning/trouble-shooting door externe deskundigen: Partijen die sterk betrokken zijn bij de uitvoering (aannemers, boorbedrijven, waterleidingbedrijven) toonden beperkte interesse in ondersteuning of trouble-shooting door externe deskundigen.
- Opzetten van een WEB-site: Hiervoor bestond een gering draagvlak voor financiering uit de markt. Het huidige consortium zou slechts bereid zijn een WEB-site op te zetten zonder inhoudelijke-/detailinformatie. Deze zou kunnen dienen als publicatiemiddel voor aansprekende resultaten/voorbeeldprojecten, aangevuld met een relevante adressenlijst voor nadere informatie.
- Folders/pamfletten/vouwbladen: Onder auspiciën van SKB zouden diverse PR-activiteiten georganiseerd kunnen worden. Het SKB-netwerk zou kunnen zorgdragen voor het bereiken van een breed publiek dat met onttrekkingen en retourbemalingen te maken heeft. Inhoudelijk zou het daarbij kunnen gaan om presentatie van aansprekende voorbeelden (cases), waaruit de noodzaak van voorafgaand verstoppingsonderzoek blijkt, bijvoorbeeld bij het ontwikkelen van een saneringsconcept, bij het maken van een ontwerp, bij het ontwikkelen van een onderhoudsstrategie, of bij het vinden van een duurzame oplossing voor verstoppingsproblemen.

#### *Inzicht in het financieel draagvlak voor kennisuitwisseling*

- Bij ontwikkelaars, toepassers en eindgebruikers is er weinig financieel draagvlak voor de ontwikkeling van een algemeen kennisoverdrachtssysteem; dit zal dus alleen kunnen plaatshebben op 'lowbudget'-basis. Hierbij zou SKB een rol kunnen spelen.
- Bij specifieke, projectgerichte kennisoverdracht ('normaal advieswerk') is externe financiering (circa f 5.000,00 - f 10.000,00) acceptabel, omdat er aan een individuele probleem gewerkt wordt. Men ziet daarbij op korte termijn resultaat van de investering.
- Bij een telefonische helpdesk stelt een aantal partijen voor om een (niet-kostendekkend) uurtarief te hanteren voor de verleende advieswerkzaamheden. Hierbij gaat het ook om projectgebonden kennisoverdracht gericht op een specifiek probleem.
- Een voorstel voor indirecte financiering van een algemeen kennissysteem uit een deel van de opbrengst van eerder vermelde advieswerkzaamheden lijkt financieel niet haalbaar.

### **C. Aanbevelingen**

Er wordt door verschillende doelgroepen veel belang gehecht aan kennisopbouw en kennisuitwisseling omtrent verstopping van infiltratie- en onttrekkingsstelsels. De enquête heeft echter ook aangetoond dat er onvoldoende financiële basis is om een uitgebreid algemeen kennisstelsel op te zetten. Voorlopig lijkt slechts een 'lowbudget'-informatiepunt, waar kenniszoekers met problemen kunnen aankloppen, een haalbare optie. Ook is de beslissystematiek nog onvoldoende bekend bij belanghebbenden (50 % van de respondenten is niet op de hoogte van het bestaan ervan).

Het informatiepunt zou daarom goed binnen SKB kunnen functioneren, vanwege de intensieve contacten van SKB met de relevante doelgroepen en vanwege het belang van het terugdringen

van verstoppingsproblemen bij innovatieve bodemsaneringsconcepten. Via SKB zou ook actieve kennisoverdracht kunnen plaatsvinden (SKB-marktdagen, SKB-jaarcongres, 'NOBIS-on site'), door middel van presentaties van cases en met behulp van folders, pamfletten en vouwbladen.

Er is interesse getoond voor het oprichten van een helpdesk, als informatiebron, adviesorgaan of verwijspunt naar experts. Men was echter niet bij voorbaat bereid de oprichting ervan te financieren. Op het moment dat experts van de helpdesk projectspecifieke problemen gaan beoordelen (maatwerk), blijkt een aantal geënquêteerden een kostendekkende financiering wel bespreekbaar te vinden. Het is denkbaar dat een helpdesk met grotere naamsbekendheid en aansprekende projecten zichzelf kan bedruipen. Een proefproject zou daartoe inzicht kunnen geven. Gezien het belang voor NOBIS/SKB is het wenselijk om zo'n proefproject binnen SKB-kader uit te voeren. Een voorstel zou kunnen zijn om binnen een termijn van 1 jaar aan te tonen dat doelgroepen bereikt worden, dat de helpdesk tot oplossingen leidt en dat de geleverde kennis een netto kostenbesparing oplevert. In het proefproject kan worden onderzocht of de exploitatie van een helpdesk tot grotere naamsbekendheid leidt en op termijn economisch rendabel is.

BIJLAGE F

**LEGENDA BESLISSCHEMA'S**