

**NOBIS 96-3-06
ONTWERP EN ONDERHOUD VAN
INFILTRATIE-
EN ONTTREKKINGSMIDDELEN**

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 Milieu B.V.)
ir. L.M.M. Bakker (Tauw Milieu B.V.)

oktober 1998

Gouda, CUR/NOBIS

**Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In-situ Sa-
nering**

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave 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 enig 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, 'Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen', oktober 1998, CUR/NOBIS, Gouda, Nederland'.

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 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, 'Design and maintenance of extraction and re-infiltration systems', October 1998, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands'.

Liability

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

Titel rapport
Ontwerp en onderhoud van
infiltratie- en onttrekkingsmiddelen

CUR/NOBIS-rapportnummer
96-3-06

Project-rapportnummer
96-3-06

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: 105
Bijlagen: 37

Uitvoerende organisatie(s) (consortium)
Bolegbo, Vereniging van Boor-, Kabelleg- en Buizenlegbedrijven (A.P.H. Timmermans, 0492-553250)
Provincie Gelderland (ir. D. Coppel, 026-3598838)
Provincie Noord-Holland (ir. N.E.G. Oei, 023-5143830)
Grondboorbedrijf Haitjema BV (ir. A. Nieuwaal, 0523-612061)
KIWA nv (ir. C.G.E.M. van Beek, 030-6069555)
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (drs. L. Vasak, 015-2697118)
Tauw Milieu BV (drs. J. Hoogendoorn, dr. ir. G.C. Stefess, ir. L.M.M. Bakker, 0570-699911)

Uitgever
CUR/NOBIS, Gouda

Samenvatting
Dit rapport bevat de resultaten van het onderzoek naar de kennis die aanwezig is over de verstoppingsrisico's van retour- en onttrekkingssystemen. Het onderzoek omvatte literatuuronderzoek en het inventariseren van de expertise waarover de bij het onderzoek betrokken kennisontwikkelaars beschikken. Daarnaast is via interviews en een workshop de kennis geïnventariseerd van andere organisaties die zich bezighouden met retournering en onttrekking van grondwater. Het onderzoek heeft uiteindelijk geresulteerd in een methodiek die kan worden gehanteerd bij het ontwerp, de implementatie en de exploitatie van onttrekkings- en retour-systemen.

Trefwoorden
Gecontroleerde termen:
Infiltratie
Retourbemaling
Grondwateronttrekking
Verstopping
Putregeneratie

Vrije trefwoorden:
Hydrologie
Technologie
Micro-biologie
Geochemie

Titel project
Ontwerp en onderhoud van
infiltratie- en onttrekkingsmiddelen

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

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

Report title
Design and maintenance of extraction and re-infiltration systems

CUR/NOBIS-report number
96-3-06

Project-report number
96-3-06

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: 105
Appendices: 37

**Executive organisation(s)
(consortium)**

Bolegbo, Vereniging van Boor-, Kabelleg- en Buizenlegbedrijven (A.P.H. Timmermans, 0492-553250)
Province Gelderland (ir. D. Coppel, 026-3598838)
Province Noord-Holland (ir. N.E.G. Oei, 023-5143830)
Drilling Compagnie Haitjema BV (ir. A. Nieuwaal, 0523-612061)
KIWA nv (ir. C.G.E.M. van Beek, 030-6069555)
Netherlands Institute of Applied Geoscience, TNO (drs. L. Vasak, 015-2697118)
Tauw Milieu BV Consultancy (drs. J. Hoogendoorn, dr. ir. G.C. Stefess, ir. L.M.M. Bakker, 0570-699911)

Publisher
CUR/NOBIS, Gouda

Abstract

Within the NOBIS-project 96-3-06 entitled 'Design and maintenance of extraction and re-infiltration systems', an investigation was conducted into the numerous processes governing the extraction and re-infiltration of groundwater for soil remediation purposes. The survey covered processes of a geochemical, hydrological and physical, microbiological, and technological nature that may cause clogging of the extraction and re-infiltration means used. This report presents the inventory made of the know-how available with regard to extraction and re-infiltration systems and their clogging risks. The review included literature research, the compilation of expertise available at the participating institutions, as well as information and expert know-how obtained from interviews and in a workshop. This document contains measurement programmes, measures to prevent and remedy clogging, as well as diagrams allowing for the identification of clogging. These programmes and diagrams can be put to use in the design, implementation and operation of any extraction and re-infiltration system.

Keywords

Controlled terms:

Re-Infiltration
Drainage
Groundwaterextraction
Clogging
Well-development

Uncontrolled terms:

Hydrology
Well-Technology
Micro-biology
Geochemistry

Project title
Design and maintenance of extraction and re-infiltration systems

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

This report can be obtained by:
CUR/NOBIS, PO box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands

VOORWOORD

Voor u ligt het rapport waarin de resultaten worden gepresenteerd van het NOBIS-project 'Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen'. Dit rapport is totstandgekomen door een nauwe samenwerking tussen het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, KIWA nv, Haitjema BV, de provincie Noord-Holland, de provincie Gelderland, Bolegbo en Tauw Milieu BV (het consortium).

Omdat het een zeer praktisch rapport betreft, is in dit rapport een evaluatieformulier opgenomen. Met dit evaluatieformulier wil het consortium de voorgestelde methodiek verder toetsen om de kennis van en ervaringen met verstoppingsproblemen verder uit te bouwen en vast te leggen. Het consortium stelt het dan ook zeer op prijs wanneer dit evaluatieformulier wordt gebruikt en opgestuurd. Verder wil het consortium graag zijn dank uitspreken voor de actieve bijdrage van de geïnterviewden en de deelnemers van de workshop.

INHOUD

	SAMENVATTING	vii
	SUMMARY	viii
Hoofdstuk 1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergronden van het onderzoek	1
	1.2 Doelstelling	2
	1.3 Aanpak van het onderzoek	2
	1.4 Opbouw rapport	3
Hoofdstuk 2	GEOCHEMISCHE ASPECTEN	4
	2.1 Algemeen	4
	2.2 Plaats van verstopping	4
	2.3 Processen	6
	2.3.1 Verstopping door menging	6
	2.3.2 Verstopping specifiek voor winputten	8
	2.3.3 Verstopping specifiek voor retourputten	8
	2.4 Regeneratie of preventie	9
	2.5 Meetmethoden	10
	2.6 Samenvatting	12
Hoofdstuk 3	HYDROLOGISCHE EN FYSISCHE ASPECTEN	13
	3.1 Algemeen	13
	3.2 Processen/aspecten die de hydraulische weerstand van de ondergrond beïnvloeden	13
	3.2.1 Primaire doorlatendheid	13
	3.2.2 De invloed van kleizwelling en kleidispersie	15
	3.2.3 Colloïdale verstopping	15
	3.3 De invloed van injectiedruk	16
	3.3.1 Doorslaan naar het maaiveld	16
	3.3.2 Gasbellen	16
	3.4 Meetmethoden	17
	3.4.1 Algemeen	17
	3.4.2 Bepaling van de doorlatendheid	17
	3.4.3 Inschatting van kleizwelling en kleidispersie	20
	3.4.4 Voorspelling van colloïdale verstopping	21
	3.4.5 Bepaling van de kritische stijghoogtevermeerdering	21
	3.4.6 Voorspelling van verstopping door gasclogging	23
	3.5 Samenvatting	23
Hoofdstuk 4	BIOLOGISCHE ASPECTEN	24
	4.1 Algemeen	25
	4.2 Processen	25
	4.2.1 Theoretische achtergronden	25
	4.2.2 Biofilmvorming	26
	4.3 Vorming van organische polymeren en interacties met de bodemmatrijs	27
	4.4 Oxidatie van ijzer en mangaan	27
	4.5 Sulfaatreductie en metaalprecipitatie	28
	4.6 Gasproductie	29
	4.7 Aantasting van materialen	29
	4.8 Mogelijke effecten bij oppervlakte- en dieptereoursystemen en onttrekking	29
	4.9 Meetmethoden	30
	4.9.1 Laboratoriummethoden	30
	4.9.2 Veldmethoden	31
	4.9.3 Preventie van biologische verstoppingsoorzaken	31
	4.10 Samenvatting	32

Hoofdstuk 5	TECHNOLOGISCHE ASPECTEN	34
	5.1 Algemeen	34
	5.2 Boormethode	34
	5.2.1 Verticale filters	34
	5.2.2 Drains	35
	5.3 Putconstructie	36
	5.4 Putontwikkeling	36
	5.5 Putregeneratie	37
	5.6 Systeemdruk	38
	5.7 Meetmethoden	38
	5.8 Technisch ontwerp	39
	5.9 Samenvatting	40
Hoofdstuk 6	DE INVLOED VAN DE WATERZUIVERING OP DE KWALITEIT VAN HET RETOURWATER	41
	6.1 Inleiding	41
	6.2 Overzicht van de waterzuiveringstechnieken	41
Hoofdstuk 7	INTERVIEWS EN WORKSHOP	44
	7.1 Interviews	44
	7.2 Workshop	44
Hoofdstuk 8	BESLISSCHEMAS	46
	8.1 Inleiding	46
	8.2 Verstoppingsidentificatieschema	60
	8.3 Regeneratiekeuze	62
	8.3.1 Mechanische methoden	63
	8.3.2 Chemische methoden	64
Hoofdstuk 9	MEET- EN MAATREGELENPROGRAMMA	66
	9.1 Inleiding	66
	9.2 Benadering	66
	9.3 Geochemische aspecten	67
	9.4 Hydrologische en fysische aspecten	69
	9.5 Biologische aspecten	70
	9.6 Technologische aspecten	76
	9.7 Monitoringssysteem	77
Hoofdstuk 10	CASES	78
	10.1 Selectie case(s)	78
	10.2 Toetsing case Zeddam	78
	10.2.1 Geochemische aspecten	78
	10.2.2 Hydrologische en fysische aspecten	81
	10.2.3 Biologische aspecten	82
	10.2.4 Technologische aspecten	83
	10.3 Toetsing case Zandvoort	85
	10.3.1 Geochemische aspecten	85
	10.3.2 Hydrologische en fysische aspecten	86
	10.3.4 Technologische aspecten	90
	10.4 Toetsing case Apeldoorn	91
	10.4.1 Geochemische aspecten	91
	10.4.2 Hydrologische en fysische aspecten	93
	10.4.3 Biologische aspecten	95
	10.4.4 Technologische aspecten	97
Hoofdstuk 11	COMMUNICATIE EN VOORTGANG	99
	11.1 Communicatie	99
	11.2 Voortgang	99
	LITERATUUR	101
	VERKLARENDE WOORDENLIJST	105

Bijlage A	INTERVIEWS
Bijlage B	CASES
Bijlage C	EVALUATIEFORMULIER
Bijlage D	LEGENDA BESLISSCHEMA'S
Bijlage E	BEZOEKERSLIJST WORKSHOP

SAMENVATTING

In het kader van het project 'Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen' (NOBIS-project 96-3-06) is onderzoek verricht naar de geochemische, hydrologische en fysische, microbiologische, en technologische processen die optreden bij het onttrekken en retourneren van grondwater voor bodemsanering en kunnen leiden tot verstopping van retour- en onttrekkingsmiddelen. Dit onderzoek is uitgevoerd door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, KIWA nv, Haitjema BV, de provincie Noord-Holland, de provincie Gelderland, Bolegbo en Tauw Milieu BV.

Dit rapport bevat de resultaten van het onderzoek naar de kennis die aanwezig is over de verstoppingsrisico's van retour- en onttrekkingsystemen. Voor dit onderzoek is een literatuuronderzoek uitgevoerd en is geïnventariseerd over welke expertise de hierboven genoemde kennisontwikkelaars beschikken. Daarnaast is via interviews en een workshop de kennis geïnventariseerd van andere organisaties die zich bezighouden met retournering en onttrekking van water.

Het onderzoek heeft geresulteerd in een kennisdocument waarin een meet- en maatregelenprogramma en verstoppingsidentificatieschema's zijn opgenomen. Dit programma en de schema's kunnen gebruikt worden bij het ontwerp, de implementatie en de exploitatie van een onttrekkings- en retoursysteem. Het programma en de schema's zijn getoetst aan verschillende praktijkcases waarbij verstopping van de injectiesystemen is opgetreden. Daaruit blijkt dat met de voorgestelde methodiek goed kan worden achterhaald wat de aard van de verstoppingsrisico's is en welke maatregelen noodzakelijk zijn om verstopping verder te voorkomen.

SUMMARY

Within the NOBIS-project 96-3-06 entitled 'Design and maintenance of extraction and re-infiltration systems', an investigation was conducted into the numerous processes governing the extraction and re-infiltration of groundwater for soil remediation purposes. The survey covered processes of a geochemical, hydrological and physical, microbiological, and technological nature that may cause clogging of the extraction and re-infiltration means used. The investigation was performed by the Dutch Institute for Applied Geoscience TNO, in cooperation with KIWA nv, Haitjema BV, the provinces of Noord-Holland and Gelderland, Bolegbo and Tauw Milieu BV.

The report before you presents the inventory made of the know-how available with regard to extraction and re-infiltration systems and their clogging risks. The review included literature research, the compilation of expertise available at the participating institutions, as well as information and expert know-how obtained from interviews and in a workshop.

To conclude the investigation, a document has been made specifying measurement programmes, measures to prevent and remedy clogging, as well as diagrams allowing for the identification of clogging. These programmes and diagrams can be put to use in the design, implementation and operation of any extraction and re-infiltration system. They have been tested in practice in various situations in which clogging occurred. The test results show that using the method presented here, it is comparatively easy to trace the cause of the clogging, and to identify the measures best suited to counteract further clogging.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

1.1 Achtergronden van het onderzoek

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. Behalve het retourneren van 'saneringswater' zal bij biologisch gestimuleerde in-situsaneringen het retourneren van water met nutriënten en (co)substraten steeds meer wenselijk zijn.

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.

Het spreekt vanzelf dat bij een combinatie van processen, bijvoorbeeld de vorming van een bacterieslijm dat deeltjes afvangt, sneller verstopping ontstaat dan bij beide processen afzonderlijk. Bij de toepassing van een gecombineerd onttrekkings- en retourstelsel bij bodemsaneringen zijn er nog enkele aspecten die een zeer nadelige werking op het systeem kunnen hebben:

- Bodemsanering wordt (vanzelfsprekend) uitgevoerd op de plaats van een verontreiniging. De omstandigheden voor onttrekking en retournering hoeven op deze plek niet ideaal te zijn, zoals bij de onttrekking van grondwater voor de openbare en de particuliere (drink)watervoorziening meestal wel het geval is.
- Door de niet-ideale omstandigheden voor grondwaterstroming zal het grondwater met veel kleine putten worden onttrokken en weer worden geretourneerd. Dit maakt het systeem gecompliceerd en dus kwetsbaar.
- Bij bodemsanering wordt het onttrokken grondwater in het algemeen behandeld door een grondwaterzuiveringsinstallatie voordat het wordt geretourneerd. Niet altijd wordt daarbij een effluentkwaliteit bereikt die probleemloos retourneren mogelijk maakt. Zo kan onvoldoende zuiveringsrendement of een ongunstige verandering van de watersamenstelling alsnog tot problemen leiden.

Verstoppingen bij retour- en onttrekkingsystemen vormen het onderwerp van de studie 'Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen'. Deze studie is een onderdeel van het Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In-situsanering (NOBIS). Deze NOBIS-kennisinventarisatie is gericht op het inventariseren en verspreiden van kennis van verstoppingen bij retour- en onttrekkingsystemen. Daarbij ligt het accent op de toepassing bij in-situsaneringen. Voor deze studie zijn op basis van de hierboven genoemde verstoppingsmogelijkheden vier soorten processen geïdentificeerd die een rol kunnen spelen bij verstopping van infiltratie- en onttrekkingsystemen:

- geochemische processen;
- hydrologische en fysische processen;
- microbiologische processen;
- technologische processen.

Deze processen zijn in vier deelprojecten onderzocht en in kaart gebracht. Dit rapport geeft een eerste overzicht van de huidige kennis en kennisleemtes op het gebied van processen die een rol spelen bij de verstopping van infiltratie- en onttrekkingsystemen.

1.2 Doelstelling

Door het complex van de in paragraaf 1.1. genoemde processen stuit men in de praktijk bij het retourneren van grondwater nogal eens op problemen. De knelpunten hierbij zijn:

- Het is niet duidelijk hoe op voorhand de haalbaarheid van de retournering van grondwater betrouwbaar kan worden ingeschat.
- Er is geen overzicht van mogelijkheden om problemen bij de retournering van grondwater eenduidig op te lossen.

Op basis van deze knelpunten kan de hoofddoelstelling van dit onderzoeksproject als volgt worden geformuleerd:

"Het verkrijgen van een beter inzicht in de processen die optreden bij de onttrekking en retournering van water voor in-situsaneringen en het formuleren van voorstellen om het probleem van onvoldoende injectiviteit op te lossen."

Verder kan er een aantal subdoelstellingen worden geformuleerd:

- identificatie van de processen en parameters die bepalend zijn voor de injectiviteit en onttrekking;
- verbetering van de mogelijkheden om de haalbaarheid van retournering te voorspellen;
- verbetering van de kennis over het ontwerpen en herstellen van retourssystemen.

1.3 Aanpak van het onderzoek

Aan de hierboven genoemde doelstelling en subdoelstellingen kan worden voldaan door te inventariseren welke kennis en ervaringen men heeft op het gebied van de processen die kunnen leiden tot verstopping van onttrekkings- en infiltratieputten. Dat is mogelijk door de praktische en theoretische (modelleer)gegevens die te vinden zijn in de vakliteratuur en waarover de bij het onderzoek betrokken kennisontwikkelaars beschikken, te combineren. Ook kunnen de praktijkervaringen van andere organisaties die zich bezighouden met retournering en onttrekking van grondwater, worden geïnventariseerd.

Binnen het onderzoek zijn daarom de volgende stappen doorlopen:

- 1 het probleem identificeren via interviews met probleemeigenaren, bedrijven en boorfirma's;
- 2 de kennis waarover de bij het onderzoek betrokken organisaties beschikken, blootleggen, en een literatuuronderzoek uitvoeren, wat leidt tot een overzicht van processen en meetmethoden;
- 3 het probleem identificeren bij concrete cases;
- 4 kennis toetsen bij concrete cases en die vertalen in een meet- en maatregelenprogramma;
- 5 eventuele kennishiaten opsporen via een workshop;
- 6 een kennisrapport opstellen.

1.4 Opbouw rapport

Het rapport begint met vier kennishoofdstukken (hoofdstuk 2 tot en met 5). Elk kennishoofdstuk omvat 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 verstoppingssnelheid. 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 een samenvatting gegeven van de interviews, waarvan de volledige verslagen zijn opgenomen in bijlage A. In de interviews komen de vier genoemde aspecten/processen opnieuw aan bod. De interviews leggen niet alleen de kennis en praktijkervaring bloot, maar brengen ook de kennisleemtes in kaart.

In hoofdstuk 8 worden de gegevens uit de kennishoofdstukken samengevat in een aantal beslisschema's. In hoofdstuk 9 is het meet- en maatregelenprogramma opgenomen. Dit meet- en maatregelenprogramma is het raamwerk waarin de beslisschema's gebruikt kunnen wor-

den. Dit programma dient samen met de beslisschema's uit hoofdstuk 8 als leidraad voor het ontwerp, de implementatie en de exploitatie van onttrekkings- en retourmiddelen. In hoofdstuk 10 worden het programma en de schema's getoetst door ze toe te passen bij concrete cases waarbij verstopping van de retourmiddelen is opgetreden.

Ten slotte wordt in hoofdstuk 11 het technische pad verlaten en wordt ingegaan op andere, niet minder belangrijke aspecten: organisatorische aspecten als communicatie, kennisuitwisseling en voortzetting van activiteiten op het gebied van onttrekkings- en retourssystemen.

HOOFDSTUK 2

GEOCHEMISCHE ASPECTEN

2.1 Algemeen

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 paragraaf 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 verwacht kan worden en/of een accumulatie van materiaal kan ontstaan. Vervolgens wordt aangegeven hoe de locatie van de verstopping bepaald kan worden. Ook wordt ingegaan op regeneratie van verstopte putten en op de mogelijkheden van preventie van verstopping. Ten slotte 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). Figuur 1 laat het onderscheid tussen beide vormen zien.

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).

Figuur 1 Het al dan niet aanwezig zijn van een intreeweestand als aanwijzing voor de locatie van de ver-
stopping

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.

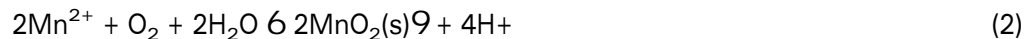
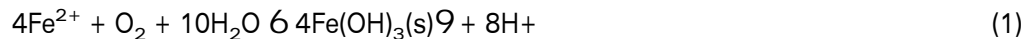
In een onttrekkingsput kunnen watertypen met elkaar in contact komen die normaliter geen contact met elkaar hebben. De onttrekkingsput vormt als het ware een kortsluiting. De chemische samenstelling van het grondwater kan in verticale richting grote verschillen vertonen. Deze verschillen kunnen zodanig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

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. Daar zullen neerslagen gevormd worden en neerslaan. Gewoonlijk zijn dit neerslagen die snel worden gevormd. 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 aan verstopt raakt, dus ook de retourput verstopt raken.

Ook veranderingen in de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater bovengronds wordt 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).

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 wordt een neerslag 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 0,3 mg/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 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 aluminiumneerslag.

- 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 e.a., in druk).

- 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 (CH₂O, koolwaterstof) sulfaat om in sulfide:



Als het grondwater ook ijzer bevat, zal met het gevormde H₂S een neerslag van ijzer-sulfide worden gevormd:



De combinatie van de gevormde biomassa van sulfaatreducerende bacteriën en ijzer-sulfiden 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 gassen gevormd, zoals koolzuur (CO₂), stikstof (N₂), zwavelwaterstof (H₂S) en methaan (CH₄). De concentratie van deze gassen kan in het grondwater oplopen tot concentraties die groter zijn dan die bij het maaiveld voorkomen. Bij onttrekking van grondwater wordt de druk lager 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 van drains of van grindkoffers gebruik wordt gemaakt.
- 2 Verstopping van het watervoerend pakket door kleizwelling.
De chemische samenstelling van het retourwater kan zodanig veranderen dat klei kan gaan zwellen.
- 3 Verstopping door deeltjes.
Voor verstopping van winputten door deeltjes is (nog) geen maat beschikbaar. Dit is wel het geval voor retourwater: de MFI (membranefilterindex) dient minimaal kleiner te zijn dan 3 s/l² (Hijnen e.a. 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 ze geregenereerd worden (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.
 - 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 als de deeltjes weinig 'kleef' vertonen.
 - 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 ijzerveerslagen 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 ₄ > 0,1 mg/l, O ₂ > 0,01 mg/l
aluminiumhydroxiden	Al > 0,3 mg/l, pH > 6,5
kalk	SI _{kalk} > 0
biomassa	AOC > 10 : g ac-C eq/l
deeltjes	MFI > 3 s/l ²

Let op: onderschrijding van deze waarden garandeert niet dat er geen verstopping zal optreden.

- 3 Informatie verzamelen over het optreden van verstopping.
Informatie hierover kan worden verkregen door regelmatig de diepte van de waterpiegel 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 schrapen (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 and Thakoordin 1996) en mogelijk ook uit een MFI-apparaat (Schippers and Verdouw 1980) of een biofilmmonitor (Van der Kooij e.a. 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 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, dan 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, dan 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 watervoerend 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 Dalfts 1984). Deze factoren worden behandeld bij de technologische aspecten (hoofdstuk 5). Injectiedruk is belangrijk in verband met doorslaan naar het maaiveld en het ontstaan van gasbellen.

3.2 Processen/aspecten die de hydraulische weerstand van de ondergrond beïnvloeden

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 berekend worden met de volgende formule:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot v \quad (8)$$

waarin:

- Q = capaciteit (m³/uur)
- r = putstraal (m)
- h = effectieve filterlengte (m)
- v = 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 (tabel 3).

Tabel 3 Dynamische viscositeit van het water bij een bepaalde temperatuur (Dieleman and 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 verkregen worden op basis van k , gemeten bij temperatuur y met de volgende formule:

$$\frac{k}{k_x} = k_y \frac{\eta_y}{\eta_x} \quad (9)$$

waarin:

- η = 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 watervoerend pakket en putverstopping, die gerelateerd zijn aan de fijne fracties in het sediment :

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

3.2.2 De 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 e.a. (1996) concludeerden op basis van laboratoriumexperimenten dat colloïdale verstopping in zeer korte tijd de doorlatendheid van 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 aangehouden worden 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:

$$v_{\text{putrand}} = \frac{Q}{\pi r h} \quad (11)$$

waarin:

Q	= debiet (m ³ /uur)
r	= putstraal (m)
h	= filterlengte (m)

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.

3.3 De 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 watervoerend 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 waterspanning.

Voor de toelaatbare druk geldt de volgende relatie:

$$p \leq \lambda (F_{kv} + u) \quad (12)$$

waarin:

p	= toelaatbare druk (N/m ²)
F_{kv}	= verticale korrelspanning (N/m ²)
u	= waterspanning (N/m ²)

δ = constante afhankelijk van de minimale en de maximale korrelspanning (0,22 in zand en 0,33 in klei)

Verder geldt:

$$\lambda = \lambda_{\rho} + \lambda_{\sigma} \quad (13)$$

waarin:

h = stijghoogte boven de oorspronkelijke stijghoogte (m)
 D = dichtheid van het retourwater (1000 kg/m³)
 g = sterkte van het zwaartekrachtsveld (N/kg)

Hieruit volgt voor de niet te overschrijden kritische stijghoogtevermeerdering h :

$$\lambda \leq \lambda \frac{\sigma_{kv}}{\rho g} \quad (14)$$

3.3.2 Gasbellen

Gasbellen kunnen bijdragen tot putverstopping. In principe kunnen gasbellen in het injectiesysteem overal 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 verstoppen 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 gasen met circa 2% per 1 °C.

De afname van oplosbaarheid van gasen door drukafname is hoofdzakelijk een probleem bij retourbemaling van grondwater met een hoge concentratie aan methaan CH₄ (fermentatie), zwaveldioxide H₂S (sulfaatreductie), stikstof N₂ (nitraatreductie) en koolzuur CO₂ (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 paragraaf 3.2 en 3.3 zijn de volgende hydrologische en fysische aspecten als potentiële risico's voor putverstopping en watervoerend-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 technieken 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.

Voordelen en nadelen van deze methoden zijn samengevat in tabel 4. 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.

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

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 geïdentificeerd worden. In eerste instantie gaat het om het onderscheid tussen zand- en kleilagen. Hiervoor kunnen de volgende metingen gebruikt worden.

Spontane-potentiaallog

Door het contact van verschillende afzettingen plus hun poriëninhoud 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 gebruikt worden voor onverbuisde boorgaten en in verbuisde boorgaten met plastic buizen.

Gammalog

De natuurlijke radio-activiteit 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	Poriën-vloeistof	Spontane potentiaal	Weerstand	Inductie	Gamma-straling
grof zand	zoet	positief	hoog	laag	laag
grof zand	zout	negatief	laag	hoog	laag
slibh. zand	zoet	positief	matig	matig	vrij laag
klei	-	negatief	laag	hoog	hoog
veen	-	negatief	laag	hoog	zeer laag

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 1700,-.

De continuïteit van ondiepe, slecht doorlatende lagen kan bepaald worden door georadarmetingen. Diepere lagen kunnen verkend worden 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 globaal f 10.000,- per dag. De kosten van geo-elektrische metingen (inclusief

interpretatie) bedragen circa f 5000,- per dag.

3.4.3 Inschatting van kleizwelling en kleidispersie

De risico's van zwelling en dispersie kunnen voorspeld worden op basis van het *exchangeable-sodiumpercentage* (ESP). Uit de literatuur (Frenkel e.a. 1978, Pupisky and 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 berekend worden op basis van de gehalten aan uitwisselbare Na⁺ en de *cation-exchange-capacity* (CEC), die de som van uitwisselbare kationen weergeeft:

$$\text{ESP} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}} \quad (15)$$

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

Als alleen analyses van het oorspronkelijke grondwater aanwezig zijn, kan het ESP geschat worden op basis van de *sodiumadsorptionratio* (SAR) met de volgende formules (Bolt and Bruggenwert 1978):

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/2}} \quad (16)$$

en

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

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 ¹⁾ :	
CEC	f 78,-
Ca-uitwisselbaar	f 49,-
K-uitwisselbaar	f 49,-
Na-uitwisselbaar	f 49,-
Grondwater ²⁾ :	
Na, Ca en Mg samen	f 66,-

¹⁾ Tauw Milieu BV

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 liter² (s/l²). Als de bepaling van de membraanfilterindex onder standaardomstandigheden uitgevoerd wordt, kan de MFI berekend worden 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 te zien in figuur 2. Olsthoorn (1982) concludeerde 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.

De colloïden kunnen een verstopping veroorzaken als de MFI groter is dan 1 s/l². In het algemeen kan gesteld worden dat de MFI kleiner dan 3 s/l² 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. Maar 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 2000 kg/m³) kan de maximaal toelaatbare stijghoogte boven het maaiveld (h) met de volgende vuistregel bepaald worden (Olsthoorn 1982):

$$z \leq \frac{11}{11} \quad (18)$$

waarin:

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

Figuur 2 Het verband tussen het quotiënt t/U en U bij de MFI-bepaling van gezuiverd Rijnwater en het totaal gefiltreerde volume (Olsthoorn 1982)

Figuur 3 Het verband tussen verstoppingsnelheid en MFI voor diverse Nederlandse persputten (Olsthoorn 1982)

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 and 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. Op grotere diepten kunnen door 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.

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 gebruikt worden voor het waarnemen van de waterstand in de omstorting (Fraanje 1974).

3.5 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 het 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 bepaald worden met verschillende in-situmethoden (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 kation-uitwisselingsreacties. Kleizwelling reduceert de poriëngrootte en kleidispersie veroorzaakt verstopping van de poriën. De risico's van zwelling en dispersie kunnen voorspeld worden op basis van het exchangeable-sodiumpercentage, 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.

BIOLOGISCHE ASPECTEN**4.1 Algemeen**

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

Bij de toepassing van *schoon of gebiedseigen water* is een biologische verstopping op de korte termijn daarom ongebruikelijk. In dergelijke situaties kunnen niet-biologische processen wel aanleiding geven tot verstopping (bijvoorbeeld gasclogging, verstopping door zanddeeltjes en neerslagreacties, zie RWS 1986). De meeste problemen kunnen in principe door technische maatregelen en een goede locatiekeuze worden voorkomen. Retour- en onttrekkingsystemen voor bijvoorbeeld energie-opslag kunnen meerdere jaren probleemloos in bedrijf worden gehouden. De technische maatregelen kunnen bestaan uit handhaving van een hoge(re) druk in het gehele onttrekkings- en retoursysteem, verwijdering van vaste deeltjes en het niet beïnvloeden van de watersamenstelling en fysisch-chemische kwaliteit (redox-potentiaal en zuurstofgehalte). 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 groei-ondersteunende componenten*. Met name bij in-situbodemsaneringsprojecten kunnen zowel de verontreinigingen die al aanwezig zijn in de bodem als de opzettelijk toegediende verbindingen bijdragen aan een snelle microbiële groei en de daaraan gekoppelde processen die leiden tot snelle verstopping.

De biologische aard van het verstoppingsproces is niet altijd eenduidig vast te stellen en wordt vaak afgeleid uit het succes van bepaalde remedies, zoals desinfectie van de put door chlorering of ozonisatie, temperatuurverlaging van het infiltraat en uithongeren van cellen door infiltratiepauzes (Hijnen and Van der Kooij 1992). Zowel in waterwinputten als in onttrekkingsputten op verontreinigde locaties kunnen neerslagen ontstaan door microbiële activiteit (Taylor e.a. 1997). 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 denitrificerders en methanogenen;
- precipitatie van Fe- en Mn-sulfiden door activiteit van sulfaatreducerende bacteriën;
- precipitatie van Fe(III)-hydroxiden na de (biologische) oxidatie van Fe(II) door ijzer- of zwaveloxideerders.

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

4.2 Processen

Peters and Castell-Ener (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 paragraaf 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 and Van der Kooij 1982).

4.2.1 Theoretische achtergronden

Microbiële groei wordt in dit rapport 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) en CO₂ als koolstofbron aanwezig is. Microbiële groei treedt dus op waar het voedselaanbod het grootst is, en dat is waar de stroomsnelheid het grootst is: in en rond een put.

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

$$dC_s/dt = 1/Y_{sx} \cdot dC_x/dt + m_s \cdot C_x \quad (19)$$

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 19 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. In deze stationaire fase houdt de groei gelijke tred met de afsterving van biomassa. De experimenteel vastgestelde (variabele) celopbrengst (inclusief onderhoudsverlies) wordt gedefinieerd als:

$$Y_{sx}^n = : \cdot Y_{sx} / (1 + m_s \cdot Y_{sx}) \quad (20)$$

Hierin is Y_{sx}^n de groeisnelheid. Die kan als volgt worden beschreven (Monod 1949):

$$Y_{sx}^n = : = :_{max} \cdot C_s / (K_s + C_s) \quad (21)$$

Hierin is K_s de substraataffiniteitsconstante.

Uit de vergelijkingen 19, 20 en 21 volgt dat de celopbrengst (Y_{sx}^n) afhankelijk is van het type en de concentratie substraat, de biomassaconcentratie (in relatie tot de beschikbaarheid van substraat) en de aard van het microbiologische proces (aëroob, anaëroob enzovoort). Hierdoor kan de celopbrengst variëren tussen maximaal ongeveer 0,5 mol biomassa/C-mol substraat bij aërobe omzetting (Roels 1983) en 0 mol biomassa/C-mol substraat (= volledige mineralisatie netto). Bij de afbraak van assimileerbare organische koolstof (AOC) kan de koolstofbron dus deels worden vastgelegd in biomassa (= groei). Dit komt tot uiting in de verhouding tussen de zuurstofconsumptie en kooldioxideproductie. Het uitrekenen van die verhouding is een gebruikelijke indirecte methode om aërobe microbiële groeiprocessen vast te stellen en te kwantificeren.

Hoewel groei ook onder anaërobe omstandigheden mogelijk is, levert dit vanwege de lage groei-opbrengst meestal een geringe bijdrage aan de biomassa-aanwas. Bij onttrekking van (anaëroob) grondwater is er kans op uitwisseling van zuurstof tussen lucht en water in de onttrekkingsput (bij een snijdend filter). Het scheidingsvlak aëroob-anaëroob op het filter en de door de onttrekking continu aangevoerde verbindingen in het water creëren geschikte omstandigheden voor de (aërobe) groei van micro-organismen.

4.2.2 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 and 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 fasen onderscheiden (Van der Kooij e.a. 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 recen-

telijk ontwikkelde test (Van der Kooij e.a. 1997). Het AOC-gehalte bleek medebepalend te zijn voor de snelheid van hechting. Er was echter geen eenduidig verband met de mate van initiële hechting. Bij de experimenten die Jack e.a. (1989) hebben uitgevoerd, bleken actieve cellen beter te hechten en eerder tot verstopping te leiden dan gedode cellen. Ook zorgde de continue toevoer van substraat voor een snellere verstopping dan bij stagnatie in de substraataanvoer. Deze resultaten werden verklaard door aan te nemen dat alleen actieve cellen in staat zijn om polysachariden te vormen. Polysachariden 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 ze ook beïnvloed door groei-omstandigheden (Van Loosdrecht 1987). Zo wordt in chemostaatcultures onder stress-omstandigheden, 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 e.a. 1994) toonden echter dat lutum tamelijk inert was 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-situbiodegradatie hebben Taylor en Jaffé (1991) voorspeld dat grofkorrelig materiaal met fijne poriën tot snelle verstopping kan leiden. Experimenten in infiltratiebedden met zand en grind toonden dat de verstopping in een grindbed meer verderop en verspreid in het bed plaatsvond. Ook werd gevonden dat de neiging tot verstopping gereduceerd kon worden door altemnerend substraat en elektronenacceptor te retourneren (bijvoorbeeld voor cometabolische afbraak van chloorhoudende oplosmiddelen, Taylor and Jaffé 1991).

Het verstoppingsgedrag van substraatgevoede kolommen bleek 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 e.a. 1995). Bij verschillende studies werd verstopping waargenomen in de directe omgeving van de plek waar infiltraat werd ingevoerd (Taylor and Jaffé 1990, Warner e.a. 1994). Concluderend kan gesteld worden 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 and Jaffé 1990) heeft uitgewezen dat de volgende factoren een rol kunnen spelen bij verstoppingsverschijnselen: fysische eigenschappen van het watervoerend pakket, het soort verontreiniging (met name sorptie-eigenschappen) en het microbiologische proces.

4.3 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 e.a. 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 verkittung van de bodemmatrix op. De gevormde biomassa kan bij afsterven (door uithongering) ook bepaalde minera-

lisatieprocessen katalyseren die leiden tot versnelde zoutafzetting of mineraalvorming. Dit kan uiteindelijk in zekere afzettinglagen tot verstoppingsproblemen leiden.

4.4 Oxidatie van ijzer en mangaan

In anaëroob grondwater is opgelost ijzer aanwezig als Fe^{2+} (ferro). Bij blootstelling aan zuurstof wordt dit spontaan geoxideerd tot Fe^{3+} (ferri), dat bij neutrale pH neerslaat als ijzerhydroxide (zie paragraaf 2.3.1). De chemische oxidatie van ferro verloopt trager bij een lage ijzer- en/of zuurstofconcentratie, maar kan versneld worden 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.

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

Anaëroob grondwater kan bij aanwezigheid van ijzer vaak ook gereduceerd mangaan (Mn^{2+}) bevatten. Analooq aan de situatie met ijzer kan mangaan al bij lage concentraties chemisch en microbiologisch geoxideerd worden. Hierbij ontstaat onoplosbaar mangaanoxide (MnO_2 , zie paragraaf 2.3.1). Verstoppingsproblemen kunnen optreden onder dezelfde omstandigheden als bij ijzer. Dat wil zeggen: bij toetreding van zuurstof en al bij lage concentraties mangaan en zuurstof.

4.5 Sulfaatreductie en metaalprecipitatie

Door de activiteit van sulfaatreducerende bacteriën in de bodem ontstaat sulfidenhoudend grondwater. Een voorwaarde is het gelijktijdig voorkomen van biologisch afbreekbare organische stof en sulfaat in een anaëroob milieu. Dit is mogelijk bij de retournering van sulfaathoudend water in grondwater dat rijk is aan organisch materiaal of andersom.

De activiteit van sulfaatreducerende bacteriën in de bodem is onder meer afhankelijk van strikt anaërobe omstandigheden en van de beschikbaarheid van sulfaat en organische stof. Sulfaatreductie treedt met name op in grondwater met een hoog AOC-gehalte, bijvoorbeeld op locaties met organische verontreinigingen of bij in-situsaneringen waarbij gebruik wordt gemaakt van hulpsubstraten (bijvoorbeeld cometabolische in-situ-afbraak van chloorhoudende oplosmiddelen door fenolinjectie).

Onder deze omstandigheden kunnen in aanwezigheid van metaalionen direct onoplosbare metaalsulfiden opgehoopt worden. Deze kunnen leiden tot verstoppingsproblemen en voorkeur- of kortsluitstromen in de bodem. Ook bij onttrekking of retournering van anaëroob water met lage concentraties sulfaat en ijzer (of andere metaalionen) zal de continue depositie uiteindelijk ook tot verstopping in de bodem leiden. Het risico van hinderlijke precipitatie is geringer als het grondwater sulfidenhoudend is, omdat metalen immers elders diffuus neergeslagen zullen zijn.

Bij in situ gestimuleerde biorestauratie kan door dosering van substraat en nutriënten (waar- onder ijzerzouten) bij onvoldoende beschikbaarheid van een elektronenacceptor (zuurstof) een

lage redoxpotential ontstaan. Hierin kunnen sulfaatreducerende bacteriën tot activiteit komen en sulfidenprecipitaten geven. Dit proces speelt met name een rol bij speciale projecten waarin sulfidenhoudend en metaalhoudend grondwater en/of een sulfidenhoudende en metaalhoudende bodem bij elkaar gebracht worden of als de omstandigheden daarvoor gecreëerd worden (bijvoorbeeld bij cometabolische in-situ-afbraak van verontreinigingen).

4.6 Gasproductie

Fermentatie en nitraatreductie kunnen in de bodem aanleiding geven tot vorming van gas (respectievelijk methaan en stikstofgas), met name in veengebieden en nitraathoudende grond. Ook kan het retourneren van waterstofperoxide 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. Bij hogere retour snelheden kan een separate gasfase ontstaan, die soms leidt tot verminderde waterdoorlatendheid van het bodemcompartiment, kanaalvorming en het ontstaan van voorkeurstromen. Aangezien biologische activiteit toeneemt bij hogere temperatuur en de oplosbaarheid van gassen afneemt, is de kans op biologische gaslogging groter bij het retourneren van warme stromen.

De gebruikelijkste vorm van gaslogging is gaslogging die ontstaat door onderdruk tijdens de onttrekking (paragraaf 3.3.2). Biologische processen in de bodem kunnen daarbij risicoverhogend werken door bij te dragen aan verhoogde concentraties opgeloste gassen in grondwater. De genoemde methaanvorming in veengebieden is daarbij het relevantst. Gaslogging die ontstaat door biologische activiteit kan ook de effectiviteit van retourneren reduceren (Wiesner e.a. 1996). Aangezien dergelijke verschijnselen echter vaak alleen op laboratoriumschaal in kleine kolommen aangetoond zijn (wandeffecten!) is het de vraag in hoeverre dit probleem ook een rol speelt tijdens retourbemaling in het veld.

4.7 Aantasting van materialen

Corrosie van metalen (roestvrij stalen) 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.

4.8 Mogelijke effecten bij oppervlakte- en diepteretoursystemen en 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 levert een risico van verstopping op, mits verontreinigingen biologisch afbreekbaar zijn. 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 opgeheven worden 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 veel-

vuldig 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 anaërobe celopbrengst geven. Eventueel kan de toevoer van sulfaat- en ijzerhoudend water (Fe(II)) tot sulfaatreductie en neerslagen van metaalsulfiden leiden. Het tegengaan van dergelijke verstoppingsrisico's vergt een (an)aërobe voorbehandeling van het retourwater.

Retourbemaling van aëroob water (bijvoorbeeld na bovengrondse aërobe zuivering) geeft een bodemmilieu met een hogere redoxpotentiaal. Daardoor kunnen diverse 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 ijzernerlagen 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 and Van der Kooij 1982, Van Beek 1989).

4.9 Meetmethoden

4.9.1 Laboratoriummethoden

Het verstoppingsgedrag in bepaalde bodemtypen kan bij verschillende grondwatersamenstellingen en fysische omstandigheden worden bepaald. Het meest worden kolomexperimenten zijn. 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.

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 e.a. 1982).

4.9.2 Veldmethoden

Door de grondwaterkwaliteit en fysisch-chemische omstandigheden te karakteriseren, kan worden nagegaan of het risico bestaat dat verstoppingsverschijnselen kunnen optreden. Geschikte veldmethoden om biologische verstoppingen te voorspellen, ontbreken echter. Tijdens en na het optreden van verstoppingen kan een aantal methoden worden ingezet die een indruk geven van de rol van de biologie:

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

4.9.3 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 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 gemobiliseerd zouden kunnen worden.

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 voorkomen kan worden. 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 e.a. 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 gemerd, 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 uithongeperiodes wordt een gemiddeld hogere mineralisatiegraad (dus lagere biomassa-opbrengst) van geïnfiltreerde organische stof bereikt vergeleken met continue dosering (Drewes and Jekel 1996, Jennings e.a. 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, dan 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 herhaald te worden. Afhankelijk van het type verstopping (verstopping door biomassa, metaalhydroxiden of metaalcomplexen) kan spoelen met loog, zuur of waterstofperoxide succesvol zijn.

4.10 Samenvatting

Verstopping van win- en retoumiddelen 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 micro-organismen. 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 en stromingssnelheden), het substraattypen, het substraataanbod en het bacterietype. Bij biologische verstopping door neerslagreacties zijn oxidatie van ijzer(II) en mangaan(II) en sulfaatreductie in aanwezigheid van metaalionen het relevantst.

Op basis van gegevens van de fysische en chemische kwaliteit van onttrekkings- of retourwater, van de bodem en van de put kan het verstoppingsrisico worden beoordeeld. Belangrijke informatie levert het gehalte aan biologisch afbreekbaar substraat (bijvoorbeeld organische verontreinigingen of methaan), zuurstof, Fe(II), Mn(II) en nitraat. Het is echter niet mogelijk gebleken om kritische grenzen aan te geven. Dit heeft enerzijds te maken met de beperkte beschikbaarheid van referentiegegevens en anderzijds met de mogelijk grote invloed van lokale omstandigheden op biologische processen.

Preventieve maatregelen kunnen zijn: methoden waarmee de omgevingslucht (O₂) wordt uitgesloten, waterbehandelingsmethoden of doseringsstrategieën toepassen. Bij het laatste punt kan gedacht worden 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. 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 saneringen zal in het algemeen het opgepompte grondwater eerst moeten worden gezuiverd voordat het weer in de bodem mag worden geretourneerd. Deze zuivering wordt vrijwel altijd aëroob uitgevoerd, waardoor het water nabehandeld moet worden 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 puls boringen 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 8. 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 installatie verwijderd moet worden.

Tabel 8 Horizontale drains

Techniek/criteria	Werkbreedte (m)	Diepte (m -mv)	Lengte (m)	Omstorting	Boorspoeling
handmatig	circa 10 (< 10 met sleufbekisting)	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 geregenereerd kunnen worden, zeker niet wanneer ze in de onverzadigde zone gesitueerd zijn. Een drain kan wel inwendig goed gereinigd worden, maar het regenereren van de omstorting is nagenoeg onmogelijk.

Wat materiaalkeuze, omstorting enzovoort 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 roestvrij stalen wikkeldraadfilter met een hoog doorlaatpercentage in combinatie met roestvrij stalen stijgbuizen. Ook buizen van poly-ethyleen (PE) kunnen worden gebruikt. Maar 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 afgestemd worden 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 cementgrout worden uitgevoerd om een grotere veiligheid te waarborgen.

Bij de putconstructie moet ook altijd rekening worden gehouden met regeneratie. Een retourput moet zo gedimensioneerd worden 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 gebruik (waarbij dan nog steeds wat zand en slib in het opgepompte water zitten). Bij een retourput echter moet de put vóór de ingebruikname 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 : μ m en de controle op slib kan worden uitgevoerd met behulp van de MFI (0,45 : m). 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 paragraaf 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);
- bevriezing (vloeibaar CO_2).

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 retoursysteem 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 watervoerend pakket en legt de capaciteit van de put bij oplevering vast. Daarmee kan later de mate van verstopping kan 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 : m) een eenvoudige filterspuit met een filter van 0,45 : m worden gebruikt om een indicatie van de MFI-waarde van het water te krijgen.

5.8 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.
- Filterspleten: 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 meter).
- 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 systeem

Ontlucht de retourputten goed bij het opstarten.

5.9 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 retour-

middelen 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. Bij een goed ontwerp van een onttrekking-retoursysteem moet rekening worden gehouden met periodiek onderhoud van de onttrekkings- en retourmiddelen.

DE INVLOED VAN DE WATERZUIVERING OP DE KWALITEIT VAN HET 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 retourmidelen.

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, T);
- ontstaan en verwijdering van vaste deeltjes.

Zaken die kunnen veranderen, zijn:

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

6.2 Overzicht van de waterzuiveringstechnieken

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

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 voorkomen worden.
- 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 verkregen wordt 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 CO₂) 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)wat er 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 deelopzetting van organische verbindingen, pH-verandering, neerslaan van metaal-sulfiden en (in mindere mate) biomassavorming. 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 9 is het voorafgaande samengevat.

Tabel 9 Effecten van waterzuiveringstechnieken op de kwaliteit van retourwater

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

HOOFDSTUK 7

INTERVIEWS EN WORKSHOP

7.1 Interviews

In dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting gegeven van de interviews. Een volledig verslag van de interviews is in bijlage A opgenomen.

Uit het interview met IF Technology 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 de vrijheid bestaat een geschikt watervoerend pakket of een geschikte putdiepte te kiezen. Daarbij is min of meer altijd sprake van een gesloten systeem waarbij de druk gewaarborgd is. Bij het ontwerp wordt veel aandacht besteed aan het voorkomen van menging van verschillende watersoorten (grensvlakken zoet-zout, redox).

Uit het interview met de provincies is naar voren gekomen dat retourneren van grondwater bij bodemsaneringsprojecten vaak problemen geeft. Of dit aan de ontwerpcriteria ligt, is niet duidelijk. Bij de provincies zijn veel praktijkgegevens voorhanden. Dit betreffen zowel probleemgevallen als oplossingsmethoden die toegepast zijn. Dit geeft ook aan dat het zeer belangrijk is om, als het voornemen bestaat om water te retourneren, vroegtijdig contact op te nemen met de provincie, niet alleen voor vergunningverlening, maar ook voor specifieke gebiedsinformatie (zie hoofdstuk 11).

Uit het interview met DHV blijkt dat er in het geval van DHV geen relaties kunnen worden gelegd tussen ontwerpcriteria en falen van een retoursysteem, omdat de verantwoordelijkheid bij de aannemer wordt gelegd. De ontwerpcriteria liggen namelijk niet vast en zijn niet altijd bekend.

Uit de interviews met Witteveen+Bos en Iwaco blijkt dat problemen met retourneren worden onderkend en dat maatregelen worden genomen om verstopping tegen te gaan. In hoeverre er eenduidig op schrift gestelde ontwerpcriteria zijn, blijft onduidelijk.

Uit het bovenstaande kan zeer voorzichtig geconcludeerd worden dat de problematiek rond het retourneren van water bekend is. Maar eenduidige richtlijnen ontbreken. Men is wel bekend met de processen van verstopping, maar bij het ontwerp wordt er te weinig rekening mee gehouden. En als er problemen optreden, kan men er niet adequaat op reageren. Met andere woorden: de verstoppingsproblemen die optreden, worden vaak niet of nauwelijks opgelost. Men trekt namelijk geen lering uit de metingen en de regeneraties. In het algemeen verlaat men simpel het originele plan door te stoppen of minder te retourneren (door de onttrekking te verminderen of te lozen op oppervlaktewater). Dit blijkt ook uit de geïnventariseerde cases (zie bijlage B). Het bovenstaande geeft nogmaals aan dat het zinvol en wenselijk is om richtlijnen, ontwerpcriteria en meet- en maatregelenprogramma's eenduidig op papier te zetten.

7.2 Workshop

Het concept-rapport is gepresenteerd in een workshop op 11 juni 1998. De genodigden bestonden uit afgevaardigden van waterleidingbedrijven, boorfirma's, aannemers, provincies, kennisinstituten en ingenieursbureaus. De deelnemerslijst is opgenomen in bijlage E.

Het concept-rapport is zeer enthousiast ontvangen en men vond het een sterk initiatief om de problematiek rond het retourneren van grondwater aan te pakken. Zoals ook uit de interviews bleek, is er sterk behoefte aan richtlijnen en ontwerpcriteria. Wat met name uit de workshop naar voren kwam, was dat er ook aandacht besteed moet worden aan de communicatie met het bevoegd gezag.

HOOFDSTUK 8

BESLISSCHEMA'S

8.1 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 (figuren 4 tot en met 7). De legenda van de schema's is opgenomen in bijlage D.

Figuren 4a en 4b 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 retoursysteem te realiseren en - als deze beslissing positief uitvalt - in de randvoorwaarden voor het technisch ontwerp en een monitoringsprogramma.

Een belangrijke subschema is het verstoppingsidentificatieschema (figuren 5a tot en met 5e). Dit schema komt op verschillende plaatsen in het hoofdschema terug: in het kader van de beslissing over het al dan niet door laten gaan van het retourproject, in de ontwerpfase en in de operationele fase. Het verstoppingsidentificatieschema is generiek van opzet. Dat houdt in dit geval 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 (schema 2b) als op de retourputten (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 (schema 2c) en een situatie waarbij de winputten wel verstopt raken en/of het onttrokken grondwater wordt behandeld (schema 2d).

Naast het verstoppingsidentificatieschema bevat het hoofdschema nog twee subschema's:

- 1 Het puttenveldontwikkelingsschema (figuur 6, 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 (schema 3a), materiaalkeuze (schema 3b) en putontwikkeling (schema 3c).
- 2 Het regeneratieschema (figuur 7, schema 4). Dit schema bevat een tabel (tabel 10, zie verderop) voor de regeneratiekeuze.

Het verstoppingsidentificatieschema en het regeneratiekeuzeschema worden verderop extra toegelicht.

Figuur 4a Schema 1a - hoofdschema: voorbereidingsfase

Figuur 4b Schema 1b - hoofdschema: operationele fase

Figuur 5a Schema 2 - verstopingsidentificatieschema (plaatsbepaling in levenscyclus)

Figuur 5b Schema 2a - subschema verstopingsidentificatie: identificatieproces

Figuur 5c Schema 2b - subschema verstopingsidentificatie: winputten

Figuur 5d Schema 2c - subschema verstoppingsidentificatie: retourputten (condities waarbij onttrokken grondwater niet wordt behandeld en winputten niet verstoppen)

Figuur 5e Schema 2d - subschema verstopingsidentificatie: retourputten (condities waarbij onttrokken grondwater wordt behandeld en/of winputten verstoppen)

Figuur 6a Schema 3 - puttenveldontwikkelingsschema

Figuur 6b Schema 3a - subschema puttenveldontwikkeling: boormethode

Figuur 6c Schema 3b - subschema puttenveldontwikkeling: materiaalkeuze

Figuur 6d Schema 3c1 - subschema puttenveldontwikkeling: ontwikkeling onttrekkingsput

Figuur 6e Schema 3c2 - subschema puttenveldontwikkeling: ontwikkeling retourput

Figuur 7 Schema 4 - regeneratieschema

8.2 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 figuur 5. Op basis van figuur 5 kan het optreden van verstopping in drie schema's worden samengevat:

- 1 Verstopping van de winputten (stroomschema 2b, figuur 5c). 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 (stroomschema 2c, figuur 5d).
- 3 Verstopping van de retourputten, waarbij de winputten ook verstopt raken en/of het onttrokken grondwater wordt behandeld (stroomschema 2d, figuur 5e).

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, figuur 5c):

- 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, dan 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, figuur 5d):

- 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, dan 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, dan 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, figuur 5e, 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-situsanering. In dat geval moet een strategie worden ontworpen om verstopping tegen te gaan (zie paragraaf 9.5).
- 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 paragraaf 9.4).

8.3 Regeneratiekeuze

In deze paragraaf worden de verschillende mogelijkheden van regeneratie beschreven. In tabel 10 zijn de verschillende mogelijkheden van regeneratie in relatie met de oorzaak weergegeven.

Tabel 10 Mogelijkheden van regeneratie

Oorzaak	Plaats 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, evt. gevolgd door zoutzuur en jutteren

(micro)biologische verstopping	filterspleten	hogedrukreiniging (evt. ontsmetting)
	omstorting/ boorgatwand	waterstofperoxide/chloorbleekloog en jutteren
gasverstopping	omstorting/ boorgatwand	schoonpompen
fijn zand/colloïdale verstopping	filterspleten	schoonpompen, evt. jutteren
	omstorting/ boorgatwand	jutteren, evt. sectiegewijs rond-/schoonpompen

8.3.1 *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.

Jutten met perslucht

Bij het jutten 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 jutten wordt het losgekomen materiaal verwijderd door de put korte tijd schoon te pompen, waarna opnieuw gejutted kan worden.

Jutten is een eenvoudige en effectieve reinigingsmethode bij verstopping door deeltjes. Bovendien wordt jutten 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 jutten met perslucht kan alleen toegepast worden als de put hiervoor geschikt is:

- De waterspiegel moet boven het filtertraject blijven. Bij putten met een ondiepe filterstelling is jutten 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 gebruikgemaakt 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.

8.3.2 *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 gejutterd worden 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 gejutterd kan worden, moet deze techniek vervangen worden 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 aangewezen 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 handelschloorbleekloog met een concentratie van 150 g vrij chloor per liter in te brengen. Ook poly-meerboorspoelingsresten 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 gevolgd worden door een zuurdosering.

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.

MEET- EN MAATREGELENPROGRAMMA

9.1 Inleiding

Het meet- en maatregelenprogramma en de schema's uit hoofdstuk 8 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 principeschema voor het meet- en maatregelenprogramma is weergegeven in figuur 8. In deze paragraaf wordt het programma eerst in zijn algemeenheid doorlopen en daarna per specifiek kennisveld. Verder wordt nog specifiek ingegaan op het monitoringstelsel.

9.2 Benadering

De volgende stappen worden onderscheiden:

- 1 Specificatie van de kritische parameters.
Per categorie (geochemie, hydrologie/fysica, biologie, 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.
- 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 aanpassingen.
Na de uitvoering van schoonmaakacties en eventuele aanpassingen van het retourstelsel 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.

9.3 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 11.

Tabel 11 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 paragraaf 9.5)	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 paragraaf 9.4)	visueel, door opvangen van bellen in 'bellenvanger'	gasanalyse

Van belang is de locatie van de inspectie en/of monsterneming.

Stap 2: waarneming van de verstopping

Zie tabel 11.

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 vermeld in tabel 11.

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. 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 intreeweestand 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.

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.

Tabel 12 Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (geochemische aspecten)

Oorzaak	Maatregelen	
	Curatief	Preventief
Alleen de onttrekkingsput raakt verstopt		
fijn zand	regelmatig regenereren ¹⁾	niet mogelijk
neerslagen	regelmatig regenereren	niet mogelijk
biomassa	regelmatig regenereren	niet mogelijk
gasbellen	n.v.t.	n.v.t.
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	n.v.t.	n.v.t.
De onttrekkingsput en de retourput raken verstopt door verschillende oorzaken		
	juiste combinatie van bovenstaande methoden	juiste combinatie van bovenstaande methoden

¹⁾ In de praktijk zal in deze situatie de retourput veel sneller verstopt raken.

9.4 Hydrologische en fysische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

De kritische parameters voor hydrologische en fysische aspecten zijn weergegeven in tabel 13.

Tabel 13 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 13 en uitvoerig beschreven in hoofdstuk 3.

Stap 4: diagnose stellen

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

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

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

De mogelijke technische oplossingen zijn weergegeven in tabel 14. De kritische stijghoogte (geen oorzaak maar gevolg van de verstopping) kan met de vuistregel die is beschreven in hoofdstuk 3, worden geschat.

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

Om te bezien of de juiste acties zijn genomen, moeten de metingen uit tabel 13 worden voortgezet.

Tabel 14 Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (hydrologische en fysische aspecten)

Oorzaak	Maatregelen
slechte doorlatendheid	verplaatsing filter, andere omstorting
kleizwelling/dispersie	waterbehandeling
colloïdale verstopping	schoonpompen ¹⁾ , filtratie, verlaging van de snelheid op de boorgatwand
gasclogging	voldoende overdruk, ontgassingsinstallatie

¹⁾ 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.

9.5 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), dan 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 (paragraaf 9.4). 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, paragraaf 9.3):
 - * concentratie organisch substraat, assimileerbare organische koolstof (AOC);
 - * andere gereduceerde anorganische verbindingen (Fe(II), Mn(II), gereduceerde zwavelverbindingen);
 - * concentratie 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 gelaagd bodempakket of in een bodem met fijn materiaal kan verstopping een gevolg zijn van biolaagvorming of gascllogging. Biolagen kunnen gevormd worden door toevoer van voldoende substraat. Gascllogging 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 zuurstofrij water in een anaëroob pakket met een hoog AOC-gehalte, of van substraathoudend water in een aëroob pakket, tenzij aangenomen kan worden dat tijdens het retourneren de AOC of zuurstof met het grondwater volledig wordt verdrongen.

In tabel 15 zijn de kritische parameters voor biologische processen in tabelvorm samengevat.

Tabel 15 Specificatie van de kritische parameters (biologische aspecten)

Parameter	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
chemische kwaliteit retourwater	(geur)	AOC gehalte gereduceerde Fe-, Mn-, S-verbindingen gehalte elektronenacceptoren (O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻) gehalte aan nutriënten (N, P) redoxpotentiaal pH
fysische kwaliteit retourwater	troebelheid ¹⁾	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 ¹⁾ korrelgrootte-analyse: gehalte aan fijne deeltjes ¹⁾

kwaliteit put	camera-observatie put karakteristieken spoelwater	lichtverstrooiing spoelwater microbiologisch onderzoek spoelwater
biologische activiteit in-situ in en rond put		<i>push-pull-test</i> verschil tussen de samenstelling van grondwater en onttrekkings-/retourwater

¹⁾ 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 15). De meeste methoden kunnen pas worden ingezet in een gevorderd stadium van de verstopping of bij regeneratie:

- **Bepaling 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 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-pulltesten.** Als de verstopping niet volledig is, dan kan met push-pulltesten met organisch substraat of nutriënten de biologische activiteit binnen een bepaalde invloedstraal 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 biomassagroei) 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 afzettinglaag op het filter (kleur, textuur) geeft een indruk van de rol van biologische processen.
- **Microbiologische analyse van spoelwater.** Door microbiologische karakterisering van spoelwater bij periodiek onderhoud of bij regeneratie van putten kunnen de kwaliteit en kwantiteit van biologisch materiaal worden vastgesteld. Hierbij kunnen microscopie (lichtmicroscopie, elektronenmicroscopie) en uitplaattechnieken worden ingezet.
- **Chemische analyse van 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 regeneratie.** Uit het verloop/resultaat van de (eerdere) regeneratie kan afgeleid worden of biologische aspecten een rol speelden 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 organisch substraat, assimileerbare organische koolstof (AOC);
- andere gereduceerde anorganische verbindingen (Fe(II), Mn(II), gereduceerd-zwavelverbindingen);
- concentratie 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), waarbij ook de andere milieuparameters biologische activiteit mogelijk maken, dan 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, dan 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 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/co-substraten bij cometa-bolische 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 16 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 een van de hieronder genoemde technieken. De frequentie van het periodiek onderhoud kan op basis van algemene ervaring gekozen worden, 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 ingezet worden 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 16 en regeneratieschema 4, figuur 7):

- 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 16 Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (biologische aspecten)¹⁾

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

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

²⁾ Bijvoorbeeld bij het toedienen van hulpstoffen om in-situ-afbraak te stimuleren.

9.6 Technologische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

De kritische parameters voor technologische aspecten zijn weergegeven in tabel 17.

Tabel 17 Specificatie van de kritische parameters (technologise 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 : m filtratietest 0,45 : m	ontwerpdebiet MFI capaciteitstest ($SV_{\text{retour}} > SV_{\text{onttrekken}}$)
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 waterstandverandering 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 waterstandverandering 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 18.

Tabel 18 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, boerspoe-ling en fijne delen op boorgatwand	intensief ontwikkelen eventueel waterstofperoxide- of chloorbleekloog- be-handeling

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.

9.7 Monitoringsysteem

Hieronder volgen enkele aanwijzingen voor het te installeren monitoringsmeetnet:

- plaatsing van peilbuis in omstorting, meten van waterstand in omstorting (maat voor weerstand over filter), eventueel continue registratie met automatische druksondes (*divers*);
- monsternamen kraantjes voor kwaliteitsmeting opgepompte water of retourwater;
- drukmetingen aan bovenzijde injectieleiding en in leidingsysteem;
- directe meting waterkwaliteit met meeloop(zand)filter bij inlaat retourfilters na inwerkings-telling 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).

HOOFDSTUK 10

CASES

10.1 Selectie case(s)

In overleg met de consortiumleden is besloten om de cases Zeddam, Apeldoorn en Zandvoort nader te beschouwen in dit NOBIS-project (bijlage B).

De locatie Zeddam betreft een putonttrekking en putinjectie waarbij verstopping optreedt door vermoedelijk een complex van factoren: neerslag (ijzer, kalk, mangaan), biologische aspecten en zwevende stof. Er zijn al veel gegevens verzameld (injectieproef/kwantiteit/kwaliteit), wat zeer belangrijk is voor de probleemidentificatie bij deze case en de toetsing van de kennisinstrumenten.

Wat voor Zeddam geldt, geldt min of meer ook voor de case Apeldoorn. Er zijn relatief veel gegevens bekend, wat belangrijk is voor een goede probleemidentificatie en het testen van de kennisinstrumenten.

De case Zandvoort (duingebied) betreft een draininjectie (verstopping) in de onverzadigde zone en een drainonttrekking in de verzadigde zone. Met name bij in-situsaneringen komt het nogal eens voor dat gebruik wordt gemaakt van drains als injectiemiddel. Het feit dat in de onverzadigde zone wordt geretourneerd, geeft een extra dimensie aan dit probleem.

10.2 Toetsing case Zeddam

10.2.1 Geochemische aspecten

Er is sprake van verontreiniging met chloorhoudende oplosmiddelen, zware metalen en cyanide. Het onttrokken grondwater wordt behandeld via intensieve ontgassing, gevolgd door actieve-koolfiltratie, een PCF-unit, een zandfilter en een ionenwisselaar.

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

De tabel op de volgende bladzijde geeft een overzicht van de informatie die beschikbaar is over de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater.

Tabel 19 Grondwaterkwaliteit Zeddam

Locatie	Datum	pH	EGV	O ₂	Cl	NO ₃	SO ₄	NH ₄	Fe (tot)	Fe ²⁺	Mn	Ca	Mg	Na	K
			mS/m	mmol/l				: mol/l				mmol/l			
continue 1	98-01-13	7,82	213	0,303	16,66	0,47	0,05	3,41	1,25	0,29	-	1,26	0,46	16,91	0,60
naspoelen 1	98-01-13	8,03	123	0,309	9,40	0,27	0,01	1,97	1,25	0,11	-	1,26	0,50	7,83	0,57
naspoelen 2	98-01-13	7,98	119	0,310	9,17	0,29	0,04	2,18	1,08	0,22	-	1,49	0,55	6,67	0,57
naspoelen 3	98-01-13	7,96	117	0,309	8,47	0,37	0,17	2,48	1,08	0,47	-	1,71	0,54	6,39	0,57
naspoelen 4	98-01-13	7,97	115	0,310	7,74	0,45	0,35	2,74	1,08	-	-	1,83	0,51	6,13	0,57
continue 2	98-01-14	8,18	101	0,308	5,54	1,02	0,31	3,08	1,08	-	-	1,36	0,41	6,09	0,56
retourput B1	98-01-13	8,09	99,2	0,096	3,88	1,47	0,78	3,80	1,25	1,09	-	2,31	0,70	3,99	0,71
peilbuis G1-1	98-01-13	7,65	45,0	0,298	0,28	0,34	0,47	3,80	4,66	4,30	-	2,09	0,37	0,25	0,17
peilbuis G1-2	98-01-13	7,53	74,9	0,248	0,96	2,29	0,55	4,07	19,71	12,37	0,55	3,29	0,59	0,85	0,10
peilbuis G2-1	98-01-13	7,74	59,7	0,318	1,27	0,71	0,47	3,93	21,51	9,14	1,28	2,82	0,41	0,44	0,22
peilbuis G2-2	98-01-13	7,58	73,6	0,273	0,87	2,08	0,52	4,25	5,91	8,24	0,73	3,09	0,56	0,90	0,12

Alleen de retourputten raken verstopt (zie schema 2d, figuur 5e).

- 1 *Bevat het retourwater ijzer, mangaan, methaan en zuurstof?*
De chemische samenstelling van het retourwater kan na de behandeling als volgt worden gekarakteriseerd: een volledige verwijdering van gereduceerde parameters, zoals ijzer(II), mangaan(II) en methaan, en verwijdering van een eventuele overmaat aan gasen als stikstof en vrij koolzuur.
- 2 *Heeft het retourwater een hoge concentratie aluminium in combinatie met een hoge pH?*
De hoge pH in het grondwater uit de peilputten in de omgeving wijst op de afwezigheid van aluminium in het grondwater.
- 3 *Is het retourwater kalkafzettend?*
In een kalkrijk milieu is het grondwater verzadigd met betrekking tot kalk. Door de intensieve beluchting wordt vrij koolzuur uitgeblazen, waardoor het water oververzadigd wordt met betrekking tot vrij koolzuur. Het uitblazen van vrij koolzuur leidt tot een hogere pH: de pH van het grondwater uit de peilputten in de omgeving is inderdaad lager dan die van het behandelde water.
- 4 *Bevat het retourwater een overmaat aan gasen?*
Door de intensieve beluchting is een eventueel aanwezige overmaat van gasen uitgeblazen. Een punt van aandacht vormt het trekken van een vacuüm.

Beschouwing van de bovenstaande mogelijkheden leert dat verstopping door vorming van kalkneerslagen het meest voor de hand ligt. Dit zal verder worden uitgewerkt.

Stap 2: waarneming van de verstopping

Er wordt een neerslag bestaande uit kalk in het systeem aangetroffen.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

De verzadigingsindex van calciet (kalk) in het injectiewater moet worden berekend. Berekening met behulp van het chemisch simulatieprogramma leert dat het retourwater oververzadigd is met betrekking tot calciet.

Stap 4: diagnose stellen

Op basis van het voorgaande kan gesteld worden dat de verstopping wordt veroorzaakt door de vorming van neerslag van calciet (kalk). De vorming van calciet wordt bevordert door de aanwezigheid van een drukval in het retoursysteem, waardoor een onderdruk in het systeem ontstaat. Door het ontsnappen van koolzuurgas kan de concentratie van vrij koolzuur afnemen, wat weer de vorming van een neerslag van calciet (kalk) bevordert.

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Een mogelijke technische oplossing is de regeneratie van de verstopte putten, mechanisch en indien noodzakelijk chemisch. Preventie is mogelijk door de zuivering met een ontharding aan te passen.

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

Regeneratie: verstopping monitoren en regelmatig regenereren.

Preventie: berekening van de verzadigingsindex van calciet in het retourwater.

10.2.2 Hydrologische en fysische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

In tabel 20 zijn de kritische parameters voor de hydrologische en fysische aspecten aangegeven.

Tabel 20 Specificatie van de kritische parameters (hydrologische en fysische aspecten Zeddam)

Parameter	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
doorlatendheid	grof zand met leemlagen en klei op 13 - 14 m -mv	kD = 1250 m ² /d
kleizwelling	leemlagen 3 - 5 m -mv	SAR = 2,3 % ESP = 3,3 %
deeltjes	geen deeltjes zichtbaar	niet gemeten
kritische stijghoogte	-	grondwaterstand 4,5 m -mv
gasbellen	niet waargenomen	CO ₂ -spanning effluent: van -3,06 tot -2,63 CO ₂ grondwater: -2,84

Zie schema 2d, figuur 5e.

1 *Bevat het onttrokken grondwater deeltjes?*

Het water is een actieve-koolfilter en een ionenwisselaar gepasseerd. Eventueel aanwezige deeltjes in het onttrokken grondwater zullen in deze filters zijn achtergebleven.

2 *Treedt kleizwelling op?*

Door de ionenwisseling neemt de concentratie van natrium zeer toe. Dit zou aanleiding kunnen geven tot kleizwelling. Er wordt echter geretourneerd in een grof (klei-arm) pakket.

Stap 2: vaststellen van de verstopping

- 1 Toename van de stijghoogte in de retourput: 1,9 m in drie weken -> snelle verstopping.
- 2 Kalkaanslag (zie geochemische aspecten).
- 3 Mogelijke ontgassing na passage door de smoorklep. (De CO₂-spanning in het effluent is echter door overdruk hoger dan die van het oorspronkelijke grondwater!)
- 4 Leiden van een (continue) deelstroom van het retourwater over een klein meel oop(zand)filter.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

- 1 MFI.
- 2 Gasanalyse (methaan, nitraat).
- 3 Gegevens over de druk in het injectiesysteem.

Stap 4: diagnose stellen

In tabel 21 zijn de oorzaken van de verstopping weergegeven.

Tabel 21 Oorzaken van verstopping (hydrologische en fysische aspecten Zeddam)

Oorzaak	Ja	Nee	N.n.b
slechte doorlatendheid		X	
kleizwelling/dispersie		X	
colloïdale verstopping			X
gascllogging	X		

N.n.b. = nog niet bekend

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

In tabel 25 zijn de mogelijke technische oplossingen weergegeven.

Tabel 22 Te nemen maatregelen (hydrologische en fysische aspecten Zeddam)

Oorzaak van verstopping	Maatregel
colloïdale verstopping	schoonpompen filtratie verlaging van de snelheid op de boorgatwand
gascllogging	voldoende overdruk ontgassingsinstallatie

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

(Nog) niet van toepassing.

10.2.3 Biologische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

In tabel 23 zijn de kritische parameters aangegeven.

Tabel 23 Specificatie van de kritische parameters (biologische aspecten Zeddam)

Parameter	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
chemische kwaliteit retourwater	uitgebreide GWZI: - ontharding - zware-metalenprecipitatie - flocculatie - strippen van chloorhoudende oplosmiddelen - filtratie (zand, actieve kool) - ionenwisseling	AOC: niet bekend, maar waarschijnlijk laag laag gehalte gereduceerde verbindingen hoog gehalte O ₂ nitraat: 17 - 63 mg/l laag gehalte andere elektronenacceptoren laag fosfaatgehalte (< 0,03 mg/l) redoxpotentiaal: waarschijnlijk hoog
fysische kwaliteit retourwater	helder water	temperatuur 11 - 12 °C pH 7,5 - 8,0
chemische samenstelling bodem	saneringslocatie	verontreinigd met chloorhoudende oplosmiddelen en zware metalen (geen bodemluchtanalyse uitgevoerd)
fysische samenstelling ontvangende bodem	matig tot grof zandpakket weinig klei-/leemlaagjes	
kwaliteit put	geen biofilm- of slijmvorming op putwand wit neerslag bruist bij zuurdosering: (calcium)carbonaat spoelwater reukloos	helder spoelwater, geen sulfide geen microbiologisch onderzoek
biologische activiteit in situ		geen specifieke metingen uitgevoerd geen aanwijzingen voor biologische activiteit

Zie schema 2d, figuur 5e.

Bevat het retourwater biologisch afbreekbaar materiaal?

Er worden geen biologisch afbreekbare stoffen toegevoegd. Vluchtige halogeenkoolwaterstoffen geven gewoonlijk geen aanleiding tot de vorming van veel biomassa.

Stap 2: vaststellen van de verstopping

Het verontreinigde grondwater (zware metalen, cyanide en chloorhoudende oplosmiddelen) lijkt in de gebruikte grondwaterzuivering (GWZI) voldoende te kunnen worden gereinigd, waardoor er geen kritische combinatie van biologische verstoppingsparameters bestaat. Dit wordt bevestigd door de afwezigheid van een biofilm of slijm laag in het filter of een biofilm of slijm laag van sulfide in het spoelwater. Een aantal waarnemingen en berekeningen wijzen op mogelijke vorming van kalkneerslagen. De verstopping kon door zuurdosering (tijdelijk) opgeheven worden, maar niet door chlorering. Dit maakt nog meer duidelijk dat een biologische verstopping (direct of indirect) onwaarschijnlijk is.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

Een aanvullend meet- en analyseplan is niet noodzakelijk, omdat de oorzaak al vastgesteld lijkt. Gegevens over het AOC-gehalte of het gehalte aan opgeloste organische stof kunnen dienen als bevestiging van de opvatting dat microbiële groei onwaarschijnlijk is.

10.2.4 Technologische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

In tabel 24 zijn de kritische parameters weergegeven.

Tabel 24 Specificatie van de kritische parameters (technologische aspecten Zeddam)

Parameters	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
boormethode	zuigboring	diameter 600 mm diepte 13,5 m -mv
omstorting en perforatie filter	formatie matig grof zand	omstorting 1,0 - 1,6 mm perforatie 0,8 mm
putconstructie	pvc-put	diameter 400 mm filter 5 tot 12 m -mv injectieleidingdiameter 90 mm

putontwikkeling	zand- en slibvrij alleen visueel	debiet 10 m ³ /uur geen MFI uitgevoerd capaciteitstest alleen onttrekking
systeemdruk	geen handhaving voorzien	injectieleiding: vrije val/onderdruk geen metingen

Stap 2: waarneming van de verstopping in de retourput

- 1 De capaciteitstest laat zien dat met name van bron A de specifieke volumestroom (SV-factor) sterk is teruggelopen. Bij bron B is de SV-factor nog 50%.
- 2 De verstopping zit deels in de filterspleten.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

De systeemdruk moet geregistreerd worden met drukopnemers.

Stap 4: diagnose stellen

Zie de andere aspecten. Uit de analyse voor de geochemische aspecten (paragraaf 10.2.1) blijkt dat kalkafzetting optreedt.

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Tabel 25 Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (technologische aspecten Zeddam)

Oorzaak	Maatregel
fijn zand door de omstorting	niet van toepassing
ontgassing/beluchting in leidingsysteem door drukval	injectieleiding met kleinere diameter géén regelafsluiter
ontgassing/beluchting in leidingsysteem tijdens stilstand	handhaven systeemdruk tijdens onderbrekingen via gestuurde kleppen (bijvoorbeeld op de plek van de huidige regelafsluiter)
put onvoldoende ontwikkeld	verschil tussen SV_{retour} en $SV_{\text{onttrekken}}$, dus putten beter ontwikkelen door sectiegewijs rond- en schoonpompen

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

Nog niet van toepassing.

10.3 Toetsing case Zandvoort

10.3.1 Geochemische aspecten

Er is sprake van verontreiniging met huisbrandolie. Bij onttrekking van grondwater accumuleert in de gevormde trechter de drijfslaag. Een gedeelte van het onttrokken grondwater wordt zonder behandeling ter doorspoeling van de bodem met een drain geretourneerd.

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

Tabel 26 geeft een overzicht van de informatie die beschikbaar is over de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater.

Tabel 26 Grondwaterkwaliteit Zandvoort

Put	pH	Fe	Ca	HCO ₃	Alkaliteit	TIC	Temp.
		mg/l			mmol _e /l	mmol/l	°C
pf 1	6,40	12,5	100,0	5141,9?	85,0	165,2	10,0
pf 1	6,50	9,8	100,0	491,6	8,2	14,9	10,0
pf 25	6,45	0,1	100,0	300,1	5,0	9,65	10,0
pf 25	6,70	0,02	91,0	284,9	4,75	7,23	10,0

Alleen de retourdrains raken verstopt (zie schema 2d, figuur 5e).

1 *Bevat het retourwater ijzer, mangaan, methaan en zuurstof?*

Uit tabel 26 blijkt dat het onttrokken grondwater in ieder geval ijzer bevat. Over mangaan, ammonium en methaan bestaat geen informatie. Bij aanwezigheid van ijzer is echter gewoonlijk ook mangaan aanwezig.

2 *Heeft het retourwater een hoge concentratie aluminium in combinatie met een hoge pH?*

Gezien de locatie op de duinrand is de aanwezigheid van een hoge aluminiumconcentratie onwaarschijnlijk. Waarschijnlijk is voldoende kalk aanwezig om een daling van de pH tegen te gaan.

3 *Is het retourwater kalkafzettend?*

In een kalkrijk milieu is het grondwater verzadigd met betrekking tot kalk. Kleine veranderingen in de chemische samenstelling, bijvoorbeeld het ontsnappen van vrij koolzuur, kunnen het water kalkafzettend maken. In dat geval zal de pH van het retourwater hoger zijn dan die van het onttrokken grondwater.

4 *Bevat het retourwater biologisch afbreekbaar materiaal?*

Het onttrokken grondwater bevat minerale olie en aromaten (BTEX). Deze stoffen kunnen aanleiding tot biologische activiteit geven.

5 *Bevat het retourwater een overmaat aan gassen?*

Doordat het grondwater aan het maaiveld is geweest, is het waarschijnlijk dat de concentratie van gassen in het retourwater lager is dan in het onttrokken grondwater. Een punt van aandacht vormt het trekken van een vacuüm.

Beschouwing van de bovenstaande mogelijke verstoppingen leert dat verstopping door ijzer-vlokken (en mangaanvlokken), eventueel gecombineerd met een kalkneerslag, het meest voor de hand ligt. Dit zal verder worden uitgewerkt.

Stap 2: waarneming van de verstopping

De drain is aan de onderzijde verstopt met ijzer. De vorming van ijzervlokken aan de onderzijde van de drain is niet verbazingwekkend. De drain is boven de grondwaterspiegel gelegen. Bij het uittreden uit de drain wordt het ijzer door zuurstof dat aanwezig is in de bodematmosfeer, geoxideerd en worden e vlokken gevormd.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

Het neerslag moet geanalyseerd worden om te bezien of er ook een neerslag van kalk is gevormd.

Stap 4: diagnose stellen

De meest voor de hand liggende oorzaak is verstopping door ijzeroxiden (en mangaanoxiden).

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Regeneratie van een verstopte drain is zeer problematisch. Mogelijk is mechanisch reinigen door te borstelen, eventueel gevolgd door een kleine chemische behandeling. Preventie is mogelijk door beluchting om het aanwezige ijzer (en mangaan) te oxideren, gevolgd door filtratie om de gevormde ijzeroxiden (en mangaanoxiden) te verwijderen.

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

Regeneratie: verstopping monitoren en regelmatig regenereren.

Preventie: zie stap 5, tussenschakeling van een beluchting en een zandfilter.

10.3.2 Hydrologische en fysische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

In tabel 27 zijn de kritische parameters weergegeven.

Tabel 27 Specificatie van de kritische parameters (hydrologische en fysische aspecten Zandvoort)

Parameter	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
doorlatendheid	matig grof zand	k = 12 m/d
kleizwelling	geen klei	Na niet bepaald
deeltjes	geen deeltjes zichtbaar	niet gemeten
kritische stijghoogte	-	grondwaterstand 5 m -mv
gasbellen	niet waargenomen	niet gemeten

Zie schema 2d, figuur 5e.

Bevat het onttrokken grondwater deeltjes?

Metingen om de aanwezigheid van zand in het onttrokken water te bepalen, zijn niet uitgevoerd.

Stap 2: vaststellen van de verstopping

- 1 Terugloop van de retourcapaciteit.
- 2 IJzeraanslag (zie geochemische aspecten).

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

- 1 Informatie over omstorting drains in verband met mogelijk dichtslibben.
- 2 Betrouwbare analyse van het grondwater en retourwater.
- 3 Leiden van een (continue) deelstroom van het retourwater over een klein zandfilter of MFI-bepaling.

Stap 4: diagnose stellen

In tabel 28 zijn de oorzaken van de verstopping aangegeven.

Tabel 28 Oorzaken van verstopping (hydrologische en fysische aspecten Zandvoort)

Oorzaak	Ja	Nee	N.n.b
slechte doorlatendheid			X
kleizwelling/dispersie			X
colloïdale verstopping			X
gasclogging			X

N.n.b. = nog niet bekend

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Nog niet bekend.

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

(Nog) niet van toepassing.

10.3.3 Biologische aspecten

Op de locatie is een oliedrijflaag verwijderd. Daarna werd gepoogd de restverontreiniging met minerale olie en aromaten (BTEX) door biologisch gestimuleerde afbraak te verwijderen. Hiertoe werd een injectiedrain in de onverzadigde zone gebruikt voor toediening van nitraat, fosfaat en peroxide om de biologische afbraak te stimuleren. In de pompen, leidingen en drains werd ijzerner slag aangetroffen. De beoordeling van het mogelijk optreden van biologische verstopping wordt in onderstaande tabellen gegeven.

Stap 1: specificatie van de kritische parameters voor biologische processen

In tabel 29 zijn de kritische parameters aangegeven.

Tabel 29 Specificatie van de kritische parameters (biologische aspecten Zandvoort)

Parameter	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
chemische kwaliteit retourwater	GWZI: - olie-afscheider - zandfilter - twee keer actieve-koolfilter	<u>na actieve-koolfilter:</u> AOC: onbekend, olie en aromaten (BTEX) beneden detectiegrens O ₂ -gehalte: onbekend nitraat: circa 10 mg/l fosfaat: circa 0,02 mg/l pH: 7 - 8 <u>bij retour:</u> toediening nitraat, fosfaat en peroxide redoxpotentiaal en zuurstofgehalte: hoog vanwege drain in onverzadigde zone Fe-concentratie in grondwater: 30 : g/l, geen Fe-gegevens van opgepompt water en retourwater
fysische kwaliteit retourwater	waarschijnlijk vrij van bodemdeeltjes organische verontreinigingen, mogelijk ijzer- neerslag gevormd na filtratie	omgevingstemperatuur?
chemische samenstelling bodem	na verwijdering drijf laag, resterende ontreiniging op grensvlak verzadigde zadigde zone	verontreinigd met minerale olie, dekkende laag BTEX aangetroffen
fysische samenstelling ontvangende dem	deelig tot grof zandpakket, geen klei	
kwaliteit drain	ijzerneerslag aangetroffen	geen microbiologisch onderzoek
biologische activiteit in situ	-	geen specifieke metingen uitgevoerd, biologische activiteit aannemelijk

Stap 2: vaststellen van de verstopping

Er is sprake van bovengrondse wateroverlast, die wordt veroorzaakt door het teruglopen van de retourcapaciteit in de onverzadigde zone.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

De minimaal benodigde aanvullende gegevens zijn gegevens over het gehalte aan opgeloste organische verontreinigingen en Fe(II) in effluent van de zuivering (= retourwater). Ook nodig is een nadere karakterisering van het afzettingsmateriaal in de drain, gericht op ijzer en biomassa.

Stap 4: diagnose stellen

Door de beperkte set analysegegevens van retourwater kan niet beoordeeld worden of minerale olie en BTEX vóór het retourneren voldoende verwijderd waren. Vanwege de dosering van nutriënten en de gunstige pH en redoxcondities is een verstopping van de drain door groei

van biomassa niet geheel uitgesloten. De aanwezigheid van olie en BTEX in de bodem is gunstig voor biologische activiteit buiten de drain en omstorting. Het is echter onwaarschijnlijk dat dit tot verstopping leidt in de onverzadigde zone. De beluchting van retourwater ná filtratie in plaats van voorafgaand aan de infiltratie geeft een risico van ijzeroxidatie en vorming van ijzerneerslag in de drain. Er zijn onvoldoende analysegegevens beschikbaar om te beoordelen of gereduceerd ijzer voorkwam in het retourwater. Drie grondwatermonsters bevatten een lage ijzerconcentratie, maar daartegenover staat dat verschillende onderdelen van het onttrekkingssysteem tijdens de sanering regelmatig met ijzer verstopt raakten. De afzetting van ijzer in het retoursysteem lijkt daarom het meest waarschijnlijk, hoewel biomassavorming niet uitgesloten kan worden.

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Als (al dan niet biologisch gevormd) ijzerneerslag het probleem is, dan moet het water vóór filtratie ontdaan worden van ijzer. Dit kan door het onttrokken water voorafgaand aan de filtratie te beluchten. Daarnaast kan periodiek onderhoud van de put noodzakelijk blijven. Bij ijzerneerslag is mechanisch reinigen, eventueel gecombineerd met spoelen met zuur of peroxide, meestal een geschikte regeneratiemethode.

Stap 6: monitoring en eventueel aanvullende aanpassingen

Het zuiveringssysteem is in theorie geschikt voor de verwijdering van organische verontreinigingen. Na aanpassing van de beluchtingssectie is volledige verwijdering van ijzer ook mogelijk. Regelmatige monitoring van de retourwaterkwaliteit is noodzakelijk om tijdige regeneratie van het zandbed en actieve kool mogelijk te maken.

10.3.4 Technologische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

In tabel 30 zijn de kritische parameters opgenomen.

Tabel 30 Specificatie van de kritische parameters (technologische aspecten Zandvoort)

Parameters	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
boormethode	ingegraven drain	diepte 0,6 m -mv
omstorting en perforatie filter	formatie matig grof omstorting niet bekend	niet bekend
putconstructie	PE-drain	diameter 110 mm verdere details niet bekend
putontwikkeling	n.v.t. (drain ligt in onverzadigde zone)	n.v.t.
systeemdruk	geen voorziening voor druk- handhaving	n.v.t.

Stap 2: waarneming van de verstopping in de retourput

- 1 De drain neemt geen retourwater meer op zonder doorbraak naar het maaiveld.
- 2 Bij opgraven blijkt de onderzijde van de drain verstopt te zijn geraakt door ijzerhydroxide-afzettingen (zie de geochemische aspecten, paragraaf 10.3.1).

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

De informatie over de perforatie/omhulling van de drains en het omstortingsmateriaal moet worden aangevuld.

Stap 4: diagnose stellen

Zie andere aspecten. Waarschijnlijk is de oorzaak ijzerhydroxideneerslag, mogelijk ook kalk.

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

In tabel 31 zijn de mogelijke technische oplossingen aangegeven.

Tabel 31 Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (technologische aspecten Zandvoort)

Oorzaak	Maatregel
fijn zand door de omstorting	n.v.t.
ontgassing/beluchting in leidingsysteem door drukval	ontgassing/beluchting is in ondiepe drain niet te voorkomen, retourwater dient voldoende belucht en gefiltreerd te zijn
ontgassing/beluchting in leidingsysteem tijdens stilstand	ontgassing/beluchting is in ondiepe drain niet te voorkomen, retourwater dient voldoende belucht en gefiltreerd te zijn
put onvoldoende ontwikkeld	n.v.t.

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

(Nog) niet van toepassing.

10.4 Toetsing case Apeldoorn

10.4.1 Geochemische aspecten

Er is sprake van verontreiniging met (vluchtige) halogeenkoolwaterstoffen. Het onttrokken van grondwater wordt behandeld door intensieve beluchting (ontgassing), gevolgd door actieve-koolfiltratie. Het behandelde water wordt geretourneerd.

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

Tabel 32 geeft een overzicht van de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater, het influent en het effluent van de installatie.

Tabel 32 (Grond)waterkwaliteit Apeldoorn

Put	Datum	Fe	Mn	NH ₄	Ca	HCO ₃	pH	EGV	Temp.
		mg/l		mg N/l	mg/l			mS/m	°C
2	95-01-27	0,16							
3	95-01-27	0,18							
4	95-01-27	0,18							
5	95-01-27	0,10							
	95-12-07	0,2	< 0,1	0,6					
6	95-01-27	0,10							
7	95-01-27	<0,1							
8	95-12-07	<0,1	0,5	< 0,1					
9	95-12-07	0,1	0,6	0,5					
10	95-01-27	0,10							
12	95-01-27	0,16							
	95-12-07	0,2	0,1	< 0,1					
14	95-01-27	< 0,1	1,1	0,6					
15	95-01-27	< 0,1	0,2	0,1					
16	95-12-07	< 0,1							
influent	95-12-07	0,1	0,4	0,2	22	43	6,4	25,7	11
effluent	95-12-07	0,1	< 0,1	< 0,1	21	49	7,4	25,0	8

Alleen de retourputten raken verstopt (zie schema 2d, figuur 5e).

- 1 *Bevat het retourwater ijzer, mangaan, methaan en zuurstof?*
 Uit tabel 32 blijkt dat het onttrokken grondwater sporen ijzer, mangaan en ammonium bevat. Na de behandeling kan het retourwater als volgt worden gekarakteriseerd. Door de intensieve beluchting worden gereduceerde parameters volledig geoxideerd. Bij volledige oxidatie van ijzer(II) en mangaan(II) ontstaan ijzer- en mangaanvlokken. Ammonium wordt omgezet in nitraat, dat in het water in oplossing blijft, en methaan wordt omgezet in koolzuur. De gassen methaan en koolzuur worden door de intensieve beluchting grotendeels uit het retourwater geblazen.
- 2 *Heeft het retourwater een hoge concentratie aluminium in combinatie met een hoge pH?*
 De gemeten pH kan een gemiddelde zijn van ondiep grondwater met een lage pH en diep grondwater met een hoge pH. De concentratie aluminium is niet gemeten, zodat de vorming van aluminiumneerslagen niet kan worden uitgesloten.

- 3 *Is het retourwater kalkafzettend?*
Gezien de lage pH en de lage concentratie van calcium zal het water ook na intensieve beluchting waarschijnlijk niet kalkafzettend zijn.
- 4 *Bevat het retourwater een overmaat aan gassen?*
Bij intensieve beluchting wordt een eventuele overmaat aan gassen, zoals stikstof en vrij koolzuur, uit het retourwater geblazen.

Beschouwing van bovenstaande mogelijke verstoppingen leert dat verstopping door ijzer- en mangaanvlokken, eventueel met aluminiumhydroxideneerslag, het meest voor de hand ligt. Dit zal verder worden uitgewerkt.

Stap 2: waarneming van de verstopping

De retourputten en inlaatbuizen vertonen een groen-bruin neerslag. Een dergelijke kleur wijst op de aanwezigheid van ijzer- en mangaanneerslagen (en aluminiumneerslagen?).

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

- 1 Meten van de concentratie aluminium en van de pH in het bovenste grondwater.
- 2 Het retourneren vindt onder vrij verval plaats. Hierbij kan een onderdruk in het water ontstaan, waarbij gasbellen kunnen worden gevormd.
- 3 Hoe dik is het bed van de actieve-koolfiltratie, wordt dit bed gespoeld?

Stap 4: diagnose stellen

Zonder de resultaten van aanvullende metingen is het niet mogelijk tot een definitieve uitspraak te komen. De meest voor de hand liggende oorzaak is echter verstopping door ijzer- en mangaanoxiden.

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Mogelijk is regeneratie van de verstopte putten, mechanisch en indien noodzakelijk chemisch. Preventie is mogelijk door de zuivering aan te passen door tussenschakeling van een zandfilter. Zo kunnen de gevormde ijzer- en mangaanoxiden worden verwijderd.

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

Regeneratie: verstopping monitoren en regelmatig regenereren.

Preventie: zie stap 5, tussenschakeling van een zandfilter.

10.4.2 Hydrologische en fysische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

In tabel 33 zijn de kritische parameters weergegeven.

Tabel 33 Specificatie van de kritische parameters (hydrologische en fysische aspecten Apeldoorn)

Parameter	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
doorlatendheid	fijn/grof zand met grind, leem/ve en op 3 m -mv	k = 10 - 20 m/d

kleizwelling	leemlagen op 3 m -mv	SAR = 0,3 - 1,4% ¹⁾ ESP = 0,5 - 2,1%
deeltjes	geen deeltjes zichtbaar	niet gemeten
kritische stijghoogte	-	grondwaterstand 2,5 m -mv
gasbellen	niet waargenomen	niet gemeten

¹⁾ Berekend op basis van analysegegevens uit de omgeving.

Zie schema 2d, figuur 5e.

- 1 **Bevat het onttrokken grondwater deeltjes?**
Vanwege de actieve-koolfiltratie kan het retourwater geen zand bevatten.
- 2 **Treedt kleizwelling op?**
De kationsamenstelling wordt niet veranderd, zodat geen kleizwelling optreedt.

Stap 2: vaststellen van de verstopping

- 1 Afname van de retourcapaciteit na drie weken van 24 tot 14 m³/uur, na zes maanden tot 9 m³/uur.
- 2 IJzeraanslag en bacteriegroei op inlaatbuizen en in de retourputten.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

- 1 Leiden van een (continue) deelstroom van het retourwater over een klein zandfilter of MFI-bepaling.
- 2 Gasanalyse in verband met vrij verval in retourput (methaan, nitraat).
- 3 Gegevens over druk in injectiesysteem.

Stap 4: diagnose stellen

In tabel 34 zijn de mogelijke oorzaken van de verstopping aangegeven.

Tabel 34 Oorzaken van verstopping (hydrologische en fysische aspecten Apeldoorn)

Oorzaak	Ja	Nee	N.n.b
slechte doorlatendheid		X	
kleizwelling/dispersie			X
colloïdale verstopping			X
gaslogging			X

N.n.b. = nog niet bekend

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Nog niet bekend.

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

(Nog) niet van toepassing.

10.4.3 Biologische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters voor biologische processen

In tabel 35 zijn de kritische parameters weergegeven.

Tabel 35 Specificatie van de kritische parameters (biologische aspecten Apeldoorn)

Parameter	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
chemische kwaliteit retourwater	waterzuivering: - strippen van VOCL later: - filtratie	waarschijnlijk laag VOCL- en hoog O ₂ gehalte na strippen AOC: niet bekend BZV: < 2 mg/l (eenmalig meting) sulfaat: circa 10 mg/l verandering gehalten door strippen: - ammonium van 0,2 mg/l naar < 0,1 mg/l - mangaan van 1,1 mg/l naar < 0,1 mg/l - ijzer van 0,2 mg/l naar < 0,1 - 0,12 mg/l)
fysische kwaliteit retourwater	helder water	T: omgevingstemperatuur in winterperiode 8 - 11 °C, pH 7,0 - 8,0
chemische samenstelling bodem	aaneringslocatie	verontreinigd met chloorhoudende oplosmiddelen
fysische samenstelling ontvangende bodem	fijn/grof zand met grind en leemlaagjes	
kwaliteit put	bruine aanslag op inlaat en putwand, spoelwater, eenmalig zwart gekleurd spoelwater, visueel veel organisch materiaal	helder microbiologisch onderzoek bijgehouden analyse spoelwater
biologische activiteit in situ		geen specifieke metingen uitgevoerd geen aanwijzingen voor biologische activiteit

Zie schema 2d, figuur 5e.

Bevat het retourwater biologisch afbreekbaar materiaal?

Er worden geen biologisch afbreekbare stoffen toegevoegd. Gewoonlijk bevat het grondwater op de Veluwe een lage concentratie van DOC, zodat verstopping door biologische activiteit valt uit te sluiten. Bovendien geven vluchtige halogeenkoolwaterstoffen gewoonlijk geen aanleiding tot de vorming van veel biomassa.

Stap 2: vaststellen van de verstopping

De retourcapaciteit loopt terug, waarschijnlijk door putverstopping. Een peroxidebehandeling leidt tot gedeeltelijk herstel van de retourcapaciteit. Dit kan duiden op aanwezigheid van oxideerbaar materiaal (onder andere biomassa, sulfaatreductie en $Mn \Rightarrow MnS$ -neerslag). Dit geeft tijdelijke verbetering. Ook werd er een regelmatige (maandelijkse) regeneratie voorgesteld.

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

Minimaal benodigde aanvullende gegevens zijn het gehalte aan opgeloste organische verontreinigingen, ijzer en mangaan in effluent van de zuivering (= retourwater). Ook nodig is een nadere karakterisering van het afzettingmateriaal in de putten, gericht op de aanwezigheid van ijzer, mangaan en biomassa.

Stap 4: diagnose stellen

De bruine aanslag op het retoursysteem wijst op ijzerhydroxide. Bij strippen wordt verlaging van ijzer- en mangaangehaltes gemeten door oxidatie en neerslagvorming. Het risico bestaat echter dat deze neerslagen uiteindelijk ook in het retoursysteem terechtkomen. Vermoedelijk treedt er ook bacteriegroei op in het retoursysteem: de omstandigheden (pH, T, aanwezigheid O_2) maken bacteriegroei wel mogelijk. Of er (niet-gechloreerde) organische verontreinigingen in het infiltraat aanwezig zijn, is niet bekend. De zwarte kleur van het spoelwater bij regeneratie wijst op sulfaatreductie in de put, tijdens stilstand van het retoursysteem. Dit is mogelijk gekoppeld aan (anaërobe) biologische afbraak van gevormde biomassa. De hoge effectiviteit van de peroxidebehandeling sluit aan bij het vermoeden dat ijzer, mangaan en/of biomassa de verstopping veroorzaken. De latere afname van de retourcapaciteit van $14 \text{ m}^3/\text{uur}$ tot $9 \text{ m}^3/\text{uur}$ in een periode van zes maanden kan ook hiermee verklaard worden. De snelle afname van de retourcapaciteit in de beginfase heeft waarschijnlijk een andere oorzaak.

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

Er zijn geen analysegegevens van verstoppingsmateriaal en spoelwater beschikbaar voor het eenduidig vaststellen van de oorzaak van de verstopping. Een filtratiestap (zandfilter) inpassen na het strippen is in elk geval noodzakelijk voor de preventie van ijzer- en mangaanneerslagen in het retoursysteem. Onduidelijk is of het water organische verbindingen bevat die tot bacteriegroei leiden in de retourput en -leidingen. In dat geval zou een aanvullende waterzuivering (bijvoorbeeld via actieve kool) deze groei kunnen verminderen. Bij acceptatie van een geleidelijke verstopping kunnen verschillende periodieke reinigingsalternatieven ingezet worden. Het regenereren van putten met peroxide is effectief gebleken. Daarnaast kunnen mechanische methoden en spoelen met zuur geschikt zijn. In geval van een verstopping met biomassa is in het algemeen ook een periodieke dosering met chloorbleekloog effectief. De voorgestelde maandelijkse preventieve reiniging lijkt afdoende voor de verwijdering van ijzer en biomassa.

Stap 6: monitoring en eventueel aanvullende aanpassingen

Na toevoeging van een filtratiestap is volledige verwijdering van ijzer mogelijk. Bij strippen worden chloorhoudende oplosmiddelen en andere mogelijk aanwezige vluchtige verontreinigingen verwijderd. Chloorhoudende oplosmiddelen spelen geen rol bij bacteriegroei. Regelmatige monitoring van de retourwaterkwaliteit, waarbij gelet wordt op de aanwezigheid van ijzer en (niet-gechloreerde) organische verontreinigingen, is zinvol als controle van de werking van de zuiveringsinstallatie. Door deze controle kunnen verstoppingsproblemen voorkomen en/of

uitgesteld worden.

10.4.4 Technologische aspecten

Stap 1: specificatie van de kritische parameters

In tabel 36 zijn de kritische parameters aangegeven.

Tabel 36 Specificatie van de kritische parameters (technologische aspecten Apeldoorn)

Parameters	Kwalitatieve gegevens	Kwantitatieve gegevens
boormethode	pulsboring	diameter 500 mm diepte 8 m -mv
omstorting en perforatie filter	formatie fijn/grof zand	omstorting 1,5 - 2,5 mm perforatie niet bekend
putconstructie	pvc-put	diameter 250 mm filter 3,0 tot 7,8 m -mv injectieleiding diameter 90 mm
putontwikkeling	zand- en slibvrij alleen visueel	debiet gemiddeld 4 m ³ /uur geen MFI-bepaling uitgevoerd capaciteitstest: SV _{retour} « SV _{onttrekken}
systeemdruk	geen handhaving voorzien geen constant debiet (batchproces)	injectieleiding: vrije val/onderdruk geen meting

Stap 2: waarneming van de verstopping in de retourput

- 1 Capaciteitstesten laten zien dat de putten sterk in capaciteit teruglopen. Bij beproeving blijkt met name de specifieke volumestroom (SV-factor) bij retourneren erg laag ondanks schoonpompen.
2. IJzeraanslag op leidingen (zie de geochemische aspecten, paragraaf 10.4.1).

Stap 3: opstellen van een aanvullend meet- en analyseplan

- 1 Debietverdeling over de putten vaststellen.
- 2 Bij schoonpompen kwaliteit water meten met filtraties.
- 3 Kwaliteit retourwater meten via filtratie over 0,45 : m.

Stap 4: diagnose stellen

Zie de andere aspecten voor de oorzaak van de verstopping.

Stap 5: specificatie van mogelijke technische oplossingen

In tabel 37 zijn de mogelijke technische oplossingen aangegeven.

Tabel 37 Oorzaak van verstopping en te nemen maatregel (technologische aspecten Apeldoorn)

Oorzaak	Maatregel
fijn zand door de omstorting	niet bekend

ontgassing/beluchting in leidingsysteem door drukval	injectieleiding met kleinere diameter géén regelafsluiter toepassen
ontgassing/beluchting in leidingsysteem tijdens stilstand	handhaven systeemdruk tijdens onderbrekingen via gestuurde kleppen bij de retourputten
put onvoldoende ontwikkeld	groot verschil tussen SV_{retour} en $SV_{\text{onttrekken}}$, dus putten beter ontwikkelen door sectiegewijs rondpompen en schoonpompen

Stap 6: monitoring en eventuele aanvullende aanpassingen

(Nog) niet van toepassing.

COMMUNICATIE EN VOORTGANG

11.1 Communicatie

Zoals uit de voorafgaande hoofdstukken is gebleken, wordt verstopping in het algemeen veroorzaakt door een complex van processen, die verschillende disciplines raken. Het spreekt dan natuurlijk vanzelf dat alle vertegenwoordigers van die verschillende disciplines goed en vroegtijdig met elkaar communiceren: adviesbureau, aannemer(s), boorbedrijf en bevoegd gezag. Zo moet de afvalwatertechnoloog die de grondwaterzuiveringsinstallatie ontwerpt, zich niet alleen concentreren op het verwijderen van de verontreinigingen uit het grondwater, maar moet hij ook letten op het feit dat het gezuiverde water qua samenstelling eveneens injecteerbaar is. En zo zal het boorbedrijf het puttenontwerp niet alleen af moeten stemmen op de bodemkarakteristieken, maar ook op het type water dat geïnjecteerd moet worden. Alle betrokkenen moeten dus elkaars ontwerp op elkaar afstemmen en zo nodig bijstellen. Dit kan alleen wanneer de betrokkenen in een vroeg stadium (vóór de ontwerpfase) om de tafel gaan zitten. Het stadium waarin dit overleg moet plaatsvinden, is niet eenduidig aan te geven. Wel is het zo dat overleg soms al wenselijk is bij de afweging van verschillende saneringsvarianten. Het is namelijk heel goed mogelijk dat de haalbaarheid van injectie en het uiteindelijke ontwerp van het retoursysteem in veel gevallen de doorslag geven bij de kostenafweging en dus de variantkeuze.

Naast de technische disciplines heeft in het communicatietraject ook het bevoegd gezag een belangrijke rol. De provincie als bevoegd gezag zal vroegtijdig betrokken moeten worden bij het project, omdat de provincie bijvoorbeeld in het kader van de Grondwaterwet het retourneren van grondwater kan eisen. Door de provincie vroegtijdig te betrekken bij het project, kunnen eisen eventueel verruimd worden als er technisch en financieel gezien niet zonder meer aan kan worden voldaan.

Zoals eerder is opgemerkt in dit rapport, is vroegtijdig overleg met de verschillende disciplines en het bevoegd gezag altijd zinvol, omdat op die manier ervaringen die een van de betrokkenen in het betreffende gebied heeft opgedaan, veel sneller boven tafel komen. De provincie heeft met haar coördinerende rol in het kader van grondwateronttrekkingen natuurlijk een schat aan ervaring in huis.

11.2 Voortgang

Een technisch ontwerp als een systeem voor de retournering van water kan, gezien de snelheid waarmee de technische ontwikkelingen tegenwoordig verlopen, natuurlijk alweer na één jaar verouderd zijn. Verder is ook het beleid aan veranderingen onderhevig. Het is dus zinvol om dit rapport up-to-date te houden. Dat is onder meer mogelijk via het evaluatieformulier dat in bijlage C is opgenomen. Met dit formulier kan worden onderzocht wat de actuele waarde van het rapport is. Door na bijvoorbeeld één jaar de ingezonden reacties te evalueren en te presenteren via een workshop (concrete cases) aan een breed en betrokken publiek, kan worden onderzocht of het rapport aangevuld of verbeterd moet worden. Via een workshop

kan ook worden onderzocht in hoeverre instanties, instituten en overheid bijvoorbeeld bereid zijn om een financiële bijdrage te leveren aan het bijhouden van de kennis en ervaringen op het gebied van het retourneren van grondwater.

LITERATUUR

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, 1982

Regeneratie van verstopte winputten. H₂O, jrg. 15, nr. 15, p. 370-377.

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, London.

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, C.J.G. Janssen, M.H.A. Juhász-Holterman en J.H. Peters, 1998 Verstopping van productieputten door deeltjes. H₂O, jrg. 17, nr. 31, p. 18-20.

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.

Bolt, G.H. and M.G.M. Bruggenwert, 1978

Soil chemistry, A. Basic elements, development in soil science 5A. Elsevier, Amsterdam.

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. and N.A. de Ridder, 1972

Elementary groundwater hydraulics. Drainage principles and applications. ILRI publication 16, vol. 1. Wageningen.

Drewes, J.E. and M. Jekel, 1996

Simulation of groundwater recharge with advanced treated wastewater. Water, Science and Technology, nr. 33, p. 409-418.

Fraanje, M.F., 1974

Bronbemaling. Agon Elsevier, Amsterdam.

Frenkel, H., J.O. Goertzen and 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 American journal, nr. 24, p. 32-39.

- 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 and 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. and 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. and M. Thakoordin, 1996
Groundwater quality monitoring: the use of flow through cells. Journal water and environmental management, jrg. 6, nr. 10, p. 407-410.
- Jack, T.R., J. Shaw, N. Wardlaw and J.W. Costerton, 1989
Microbial plugging in enhanced oil recovery. In: Donaldson, E.C., G.V. Chilingarian and T.F. Yen (editors). 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 and 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.
- KIWA-publicaties, nr. 38 en 72.
- Koninklijk Instituut van Ingenieurs, sectie Tunneltechniek, studiegroep Retourbemaling, 1978
Rapport retourbemaling. Rijswijk.
- Kooij, D. van der, D. Visser and W.A.M. Hijnen, 1982
Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. Journal of the 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. H₂O, jrg. 25, nr. 30, p. 767-771.
- Leethem, J.T., R.E. Beeman, M.D. Lee, A.A. Biehle, D.E. Ellis and S.H. Shoemaker, 1995
Anaerobic in situ bioremediation: injected nutrient and substrate fate and transport. Applied Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons, 3rd International Symposium of in Situ and On-site Bioreclamation. Hinchee, R.E., J.A. Kittel and H.J. Reisinger (editors), Columbus, Ohio, p. 271-280.
- Loosdrecht, M.C.M. van, J. Lyklema, W. Norde, G. Schraa and A.J.B. Zehnder, 1987
Electrophoretic mobility and hydrophobicity as a measure to predict the initial steps of bacteri-

al adhesion. Applied Environmental Microbiology, nr. 53, p. 1898-1901.

Monod, J., 1949

Annual Review of Microbiology, nr. 3, p. 371.

Olsthoorn, T.N., 1982

Verstopping van persputten. KIWA-mededeling, nr. 71. Rijswijk.

Peters, J.H., 1984

Ervaringen met diepinfiltratie. Kiwa-mededeling, nr. 79. Rijswijk

Peters, J.H. and C. Castell-Ener, 1993

Proceedings of Dutch-German workshop on artificial recharge of groundwater. KIWA, Castricum, september 1993.

Pirt, S.J., 1965

The growth of bacterial cultures. Proceedings of the 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. and I. Shainberg, 1979

Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Science Society of American Journal, nr. 43, p. 429-433.

Rijkswaterstaat, 1986

Groundwater infiltration with bored wells. Rijkswaterstaat communications, nr. 39.

Roels, J.A., 1983

Energetics and kinetics in biotechnology. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.

Schippers, J.C. and J. Verdouw, 1980

The modified fouling index, a method of determining the fouling characteristics of water. Desalination, nr. 32, p. 137-148.

Steenwijk, J.M. van, en C.G.E.M. van Beek, 1988

Putregeneratie met waterstofperoxyde. H₂O, jrg. 21, nr. 12, p. 310-315 en 319.

Stichting Bouwresearch, 1989

Bemaling van bouwputten. Publicatie nr. 190. Rotterdam.

Stumm, W. and J.J. Morgan, 1996

Aquatic chemistry. Third edition. John Wiley & Sons, New York.

Taylor, S.W. and 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. and 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 and E.A. Lesold, 1997

Biofouling of contaminated ground-water recovery wells: characterization of microorganisms. *Groundwater*, jrg. 6, nr. 35, p. 973-980.

Vandevivere, P., P. Baveye, D.S. Delozada and 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 and G. Comes, 1994

Sediment and microbial fouling of experimental groundwater recharge trenches. *Journal Contamination Hydrology*, jrg. 4, nr. 15, p. 321-44.

Wiesner, M., M.C. Grant and S.R. Hutchins, 1996

Reduced permeability in Groundwater remediation systems: role of mobilized colloids and injected chemicals. *Environmental Science & 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.

VERKLARENDE WOORDENLIJST

AOC	assimileerbare organische koolstof
acidofiel	zuurminnend
assimileerbaar	omzetbaar in biomassa
autotrofie	groei op anorganische koolstofbron (CO ₂)
biomassa	celmateriaal en slijm, afkomstig van micro-organismen
CEC	<i>cation-exchange-capacity</i> : de som van uitwisselbare kationen in de grond
clogging	verstopping
colloïden	deeltjes
co-metabolisch	omzetting met (organisch) substraat
elektroforetische mobiliteit	beweging onder invloed van een elektrisch veld
ESP	<i>exchangeable-sodiumpercentage</i> : hoeveelheid ge-adsorbeerd natrium als percentage van de som van de uitwisselbare kationen
fermentatie	gisting
filterweerstand (stand)	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
jutteren	schoksgewijs reinigen van putten
katalase	enzym verantwoordelijk voor de afbraak van waterstofperoxide in zuurstof en water
kleidispersie	uiteenvallen van kleideeltjes
M ₅₀ -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 : m, in water
mineralisatie	omzetting in anorganische producten
nutriënten	voedingsstoffen
preventie van verstopping	zodanig maatregelen nemen dat er geen verstopping van putten op kan treden
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	<i>sodiumadsorptionratio</i> : verhouding tussen de natriumconcentratie en de (wortel van) calcium- plus magnesiumconcentratie in water
SI	verzadigingsindex
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

BIJLAGE A

INTERVIEWS

Interview met IF Technology

Geïnterviewden

- De heer drs. A. Willemsen.
- De heer ir. G. Bakema.

Met welke infiltratietoepassingen bent u in aanraking geweest?

- Energie-opslag. Circa vijftig projecten in uitvoering, met name koude-opslag (seizoensgebonden koelbehoefte), en een groot aantal in voorbereiding. Een viertal warmte-opslagprojecten, waarvan twee hoge-temperatuurprojecten (90 °C: Rijksuniversiteit Utrecht en Zwammerdam) en twee lage-temperatuurprojecten (> 20 °C en < 60 °C: Eindhoven en Dolfinarium Harderwijk). Onttrekkings- en infiltratiedebieten variëren van 30 tot 550 m³/uur. Uitzondering: Jaarbeurs Utrecht, met 1800 m³/uur.
- Ervaring met infiltratie sinds 1985.

Wat was het doel van de infiltratie en welke type is er gebruikt?

- Energie-opslag via putinjectie. Verhouding onttrekking-infiltratie: 1:1.
- Eén project infiltratie via vijver (champignonteelt).

Wat zijn in het algemeen de ontwerpcriteria?

- Geen menging watersoorten (anaëroob-aëroob, zout-zoet, redoxovergang), anders water behandelen of filters dieper plaatsen.
- De afstand infiltratie-onttrekking is circa drie keer de thermische straal.
- Voldoende overdruk in het systeem om ontgassing tegen te gaan, anders ontgassingsinstallatie.
- Voldoende overdruk in het systeem om het systeem zuurstofvrij te houden, anders ontijzering.
- Maximale overdruk op basis van de grondspanning in de bovenliggende lagen bepalen om onderloopsheid te voorkomen.
- Boordiameter, filterdiameter, filterdiepte, filterstelling en -lengte, filtermateriaal, omstorting en omstortingsmateriaal moeten afgestemd zijn op de bodemopbouw, de hoeveelheid water en de kwaliteit van het water.
- Stroomsnelheid boorgatwand: 0,5 - 2,5 m/uur.
- Systeem ontluchten voordat het aangezet wordt.
- Het systeem moet bedrijfszeker zijn en wordt dus ontworpen met enige overdimensionering.

Is er bij de bij u bekende projecten 'speciaal' vooronderzoek voor de infiltratie uitgevoerd?

- Proefboring (inclusief bepaling M₅₀ en plaatsing grondwaterfilters).
- Boorgatmeting om de bodemopbouw te bepalen.
- Chemische analyses grondwater:

- * gasanalyses (methaan, stikstof, zuurstof, CO₂ [alkaliteit en pH]);
- * chloride, ijzer, mangaan, calcium, magnesium.
- Putproef om een indicatie te krijgen van het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket.

Het uitvoeren van bovenstaand onderzoek hangt af van de aanwezige data. Allereerst wordt altijd een haalbaarheidsstudie uitgevoerd op basis van beschikbare gegevens. Op basis van de haalbaarheidsstudie wordt bepaald welk onderzoek verder nog moet worden uitgevoerd. Chemische analyses worden meestal altijd uitgevoerd.

Is het ontwerp van infiltratiesystemen ondersteund door modellen? Zo ja, in hoeverre kon dan de veldsituatie goed worden gesimuleerd?

- Geohydrologisch: HST3D, Micro-fem, Twodan, Conflow. Van belang voor ontwerp en bepaling van effecten op de omgeving.
- Chemisch/thermisch: HST3D. Van belang voor ontwerp (ook voor overgang water-soorten).
- Hydraulisch: eigen programmatuur met de gangbare formules. Van belang voor ontwerp.

De simulaties met modellen beschrijven de werkelijke situatie in voldoende mate. Afwijkingen zijn vaak beperkt en niet problematisch voor het ontwerp van het systeem.

Welke 'innovatieve' technieken worden toegepast om de infiltratie goed te laten verlopen? 'Boorgatschrapen' of 'anaërobe zuivering' bijvoorbeeld? Door wie kunnen deze technieken worden toegepast?

- Onttrekkings- en infiltratieputten worden geplaatst via een zuigboring in plaats van een spoelboring. Zo is er een betere controle van het bodemprofiel, de diameter van het boorgat en het tegengaan van versmering. Ook worden pulsboringen bij geringe diepten uitgevoerd. Het voordeel hiervan is de kortere doorspoel- en ontwikkeltijd van de put.
- Boorgatschrapen is wel eens toegepast. Het voordeel hiervan is de korte doorspoel- en ontwikkeltijd. Een nadeel is dat er veel water wordt verbruikt en dat de kans bestaat dat kleilagen afbrokkelen.
- Putten dienen goed ontwikkeld te worden (verwijderen boorspoeling) via:
 - * lang doorspoelen, sectiepompen, jutteren (intermitterend pompen);
 - * tweelingpompen als lozen van water moeilijk is (bijvoorbeeld zout water);
 - * bepaling van de zandfractie: < 0,01 - 0,1 mg/l zand;
 - * bepaling van de slibfractie, membraanfilterindex < 1 (MFI, fractie < 0,45 : m);
 - * eventueel: bepaling van de assimileerbare organische koolstof, in verband met biologisch-chemische verstopping.
- Toevoeging van stoffen om het kalkevenwicht te behouden (> 40 °C).

Welke problemen (biologisch, fysisch, chemisch) spelen bij infiltratie een rol en met welke problemen bent u zelf geconfronteerd?

Er hebben zich nauwelijks problemen voorgedaan die niet op eenvoudige wijze te herstellen waren. Dus er waren geen problemen waarbij grote aanpassingen aan het systeem noodzakelijk waren.

Welke metingen worden in het veld gedaan en wat is daarbij uw ervaring?

- Debieten en injectiedrukken, druk in het leidingensysteem.
- Temperatuur.
- Grondwaterstand in putten (afhankelijk van vergunning ook in peilbuizen).

Het systeem wordt in alle gevallen gecontroleerd en gestuurd door een PLC (on line). Dus op elk moment is de status van het systeem opvraagbaar.

Welke aanpassingen aan infiltratiesystemen zijn in het veld gerealiseerd en wat was het resultaat?

- Aanpassingen zijn in het algemeen alleen het inregelen van de injectiedruk.
- Zand in put bij ANOVA, Amersfoort. Binnenfilter geplaatst.
- Gasvorming Zuider Ziekenhuis: filter naar dieper pakket.

Welk type onderhoud vindt plaats aan infiltratiesystemen?

- Twee keer per jaar spuien.
- Twee keer per jaar inspectie van het systeem (overdruk, gasdicht enzovoort).
- Het voorstel is om één keer per jaar het systeem te reinigen, maar dit gebeurt vaak niet.
- Bij verstopping door 'gaslogging met CH₄' wordt water geïnjecteerd waar het gas weer in oplost (onverzadigd water). Dit water wordt weer weggepompt.
- Spoeling putten met zuur. In het algemeen wordt citroenzuur gebruikt, omdat dit goed afbreekbaar is, in tegenstelling tot zoutzuur. Dit is op zich weer een nadeel voor de reinigende werking van citroenzuur.

Welke literatuur is u bekend over infiltratie?

- Bakema, G., 1996. Infiltratie bij sanering en beheersing. VVM-symposium Verdroging en bodemsanering, 19 februari 1996, Ede.
- Driscoll, 1995. Groundwater and wells. Johnsons Screens, St. Paul Minnesota.
- Fraanje, M.F., 1974. Bronbemaling. Agon Elsevier, Amsterdam.
- IEA Energy Storage Program, 1994. Underground thermal energy storage state of the art.
- IF-Technology. Infiltratie bij bodemsaneringsprojecten.
- Jenne, E.A., e.a. Well, hydrology, and geochemistry problems encountered in ATES systems and their solutions.
- Olsthoorn, T.N., 1982. Clogging of recharge wells. KIWA, Rijswijk.
- Willemsen, A., e.a., 1994. Status of cold storage in aquifers in the Netherlands in 1994. International symposium Aquifer Thermal Energy Storage, november 1994, Alabama.

NB: geleerd van koude- en warmte-opslagprojecten

Infiltratie is mogelijk wanneer aan de randvoorwaarden wordt voldaan die genoemd zijn bij de ontwerpcriteria. Daarbij komt in het geval van verontreinigde locaties het criterium bij dat in

het ontwerp extra rekening moet worden gehouden met het tegengaan van biologische activiteit in en rond de putten.

Interview met DHV Milieu en Infrastructuur

Geïnterviewden

- De heer P. van Meurs.
- De heer S. Emmen.

Met welke toepassingen van retournering van grondwater bent u in aanraking geweest?

- Bodemsaneringsprojecten: *pump en treat* (beluchten, strippen en napolijsten voor injectie).
- (- Oeverinfiltratie voor leidingwaterbedrijven.)

Wat was het doel van de retourbemaling en welk type is er gebruikt?

- Doel: grondwaterstandverlagingen (verdroging, zettingen) compenseren en doorspoeling verbeteren.
- Put- en draininjectie.

Wat zijn in het algemeen de ontwerpcriteria?

- Resultaatsverplichting wordt bij aannemer neergelegd (expertise zit bij aannemerij).
- Vaak overdimensionering; intensieve sturing via PLC.
- Modelleren van de geohydrologische situatie.
- Plan van aannemer wordt op hoofdlijnen beoordeeld, waarbij gelet wordt op de volgende aspecten:
 - * boordiameter, spleetwijdte, omstorting enzovoort: 'groot';
 - * kwaliteitsplan, certificaten;
 - * overdimensioneren.
- Onttrekkings- en retourputten plaatsen via pulsboren.

Is er bij de bij u bekende projecten 'speciaal' vooronderzoek voor de retourbemaling uitgevoerd?

- Analyse macroparameters (Fe, SO₄, pH enzovoort).
- Pompproeven (incidenteel).
- Boringen met adequate boorbeschrijvingen.
- Geen retourbemalingsproeven en laboratoriumproeven in verband met de 'commercie' in bodemsaneringsland. Kan wel wenselijk zijn.

Onzekerheden worden opgevangen door overdimensionering.

Is het ontwerp van retoursystemen ondersteund door modellen? Zo ja, in hoeverre kon dan de veldsituatie goed worden gesimuleerd?

- Ja, geohydrologische situatie met onttrekkings- en injectieputten wordt gemodelleerd. Geen evaluaties waaruit blijkt dat het gesimuleerde fout is.
- Bij modellering wordt gebruikgemaakt van 'vuistregels' (bijvoorbeeld: de verhouding onttrekkingsputten-retourputten is 1:2).
- Bodemopbouw schematiseren in relatief veel laagjes met verschillende doorlatendheden.

Welke 'innovatieve' technieken worden toegepast om de retourbemaling goed te laten verlopen? 'Boorgatschrapen' of 'anaërobe zuivering' bijvoorbeeld? Door wie kunnen deze technieken worden toegepast?

Geen. Zouden wel graag eens experimenteren met het infiltreren van anaëroob in plaats van aëroob water.

Welke problemen (biologisch, fysisch, chemisch) spelen bij retourbemaling een rol en met welke problemen bent u zelf geconfronteerd?

- Weinig ervaring, weinig nacontrole door DHV.
- Project Sexbierum: drainage op 5,5 m -mv in gelaagde bodem. Retour- en onttrekkingdrains om en om geïnstalleerd en omwisselbaar. Alleen horizontale doorspoeling in zandige laagjes gerealiseerd. Saneringsduur aanzienlijk langer dan gepland en saneringsdoelstelling bijgesteld.

Welke metingen worden in het veld gedaan en wat is daarbij uw ervaring?

- Streng toezicht op installeren onttrekkings- en retoursysteem. Toezicht op het schoon spoelen van het boorgat (verwijderen steunwater), juiste filterstelling, afdichtingen en te gebruiken materiaal.
- Bij toezicht is het van belang een 'zakelijke' relatie met de aannemer te hebben.
- Meten van stijghoogten en debieten (soms injectiedrukken). Geen metingen van de macroparameters in het grondwater.

Welke aanpassingen aan retoursystemen zijn in het veld gerealiseerd en wat was het resultaat?

Geen.

Welk type onderhoud vindt plaats aan retoursystemen?

Verzorgt de aannemer. In het algemeen spoelen met zuur en 'air-liften'.

Welke literatuur is u bekend over retourbemaling?

Fraanje, M.F., 1974. Bronbemaling. Agon Elsevier, Amsterdam.

Opmerking: blooper-workshop van NOBIS geeft eventueel ook nog informatie over problemen met retourbemaling.

Interview met provincies

Geïnterviewden

- Provincie Gelderland:
 - * De heer D. Coppel.
 - * De heer R. de Groot.
 - * De heer C. van Heteren.
- Provincie Noord-Holland:
 - * De heer L. Reiniers.
 - * De heer J. Kuyper.

Met welke toepassingen van retournering van grondwater bent u in aanraking geweest?

- Bronbemalingen.
- Bodemsanering.
- Koude- en warmte-opslagprojecten.

Beide provincies hanteren retourplicht in bepaalde gebieden (globaal: Oost-Gelderland, de Veluwe, het Gooi en het duingebied). Ook voor oneindige geohydrologische beheersingen boven een grenswaarde geldt retourplicht.

Van belang is het onderscheid tussen retourneren en infiltratie. In de Grondwaterwet staat: "infiltreren van water, water in de bodem brengen ter aanvulling van het grondwater met het oog op het onttrekken van grondwater." Het woord 'infiltratie' is daarbij dus gereserveerd voor het infiltreren van oppervlaktewater (van elders) voor de waterwinning. Het onderwerp waar- aan NOBIS aandacht besteedt, is het terugbrengen van opgepompt grondwater in de bodem met als doel negatieve effecten te compenseren en de doorspoeling te bevorderen, het zogenaamde retourneren.

Wat was het doel van de retourbemaling en welk type is er gebruikt?

- Doel: negatieve effecten compenseren (verdroging, zettingen, stromingspatroon). Bij bodemsanering geldt ook nog als doel de doorspoeling bevorderen.
- Type: in het algemeen putinjectie, ook wel drains.
- De provincies worden ook geconfronteerd met het inbrengen van neerslag in de bodem (stedelijk gebied) met drainkoffers of vijvers. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de gemeenten en er zijn geen verplichtingen die opgelegd worden door de provincie.

Wat zijn in het algemeen de ontwerpcriteria?

- De provincie is verantwoordelijk voor het (grond)waterbeleid (provinciaal milieubeleidsplan en waterhuishoudingsplan) en voert dit beleid uit via het verstrekken van vergunningen. In de vergunningen kunnen voorwaarden worden opgenomen over:
 - * retourpercentage;
 - * kwaliteit retourwater (conform Lozingenbesluit);

 - * belangen van derden die niet mogen worden geschaad;
 - * ruimtebeslag.

Het bovenstaande leidt in principe tot een resultaatsverplichting bij de uitvoerder. In principe is het voorschrift altijd dat onderhoud van de putten mogelijk moet zijn. Bij chemische reiniging moet een massabalans van het reinigingsmiddel (in het algemeen chloorbleekloog) worden overgedragen, zodat er controle plaatsvindt als het reinigingsmiddel uit de bodem wordt verwijderd.

Is er bij de bij u bekende projecten 'speciaal' vooronderzoek voor de retourbemaling uitgevoerd?

- Chemische wateranalyses (macroparameters, ionenbalans).
- Capaciteitsproeven (een tot enkele maanden).

Is het ontwerp van retoursystemen ondersteund door modellen? Zo ja, in hoeverre kon dan de veldsituatie goed worden gesimuleerd?

- De provincie voert zelf ook geohydrologische berekeningen uit om de ingediende plannen te controleren.
- De ervaring leert dat het waterbezwaar bij bronbemalingen in het algemeen te hoog wordt ingeschat.

Welke 'innovatieve' technieken worden toegepast om de retourbemaling goed te laten verlopen? 'Boorgatschrapen' of 'anaërobe zuivering' bijvoorbeeld. Door wie kunnen deze technieken worden toegepast?

Geen specifieke ervaring.

Welke problemen (biologisch, fysisch, chemisch) spelen bij retourbemaling een rol en met welke problemen bent u zelf geconfronteerd?

Provincie Gelderland:

- Ammerzoden (NUON): putinjectie van warm water (verandering T 4°C). Putverstopping door bacteriegroei. Na mechanische en chemische reiniging (chloorbleekloog) binnen vier maanden weer verstopping.
- Zeddam: putinjectie van gezuiverd grondwater. Putverstopping door een complex van factoren: biologische aspecten, aanslag (ijzer, mangaan, kalk) en zwevende stof. Dit project is ingediend als case.
- Doetinchem: putinjectie van gezuiverd grondwater. Probleem met te hoge grondwaterstanden. Dit project is ingediend als case.
- RWZI Driebergen: bemalingswater (500 m³/uur) na ontijzering (van 18 mg/l naar < 1 mg/l) gaf buiten de retourputten verstopping. Eerst continue dosering citroenzuur (3 - 6 l/uur). Na enige weken echter bacteriegroei in retourputten. Vervolgens continue zoutzuurdosering (6 l/uur, 20% HCL). Uiteindelijk kon de regeneratiefrequentie op één keer in de zes weken worden gehouden. Continue dosering heeft voordelen vergeleken met discontinue dosering in verband met: hogere dosering bij discontinue dosering door het steeds weer op gang brengen van de putten en de bedrijfszekerheid. Het ijzergehalte in het retourwater zou met de ontijzeringinstallatie tot 0,05 mg/l moeten worden teruggebracht om probleemloos te kunnen retourneren (infiltratieproef Mar-charen).

Provincie Noord-Holland:

- Bussum: putinjectie van koelwater. Putverstopping door bacteriegroei. Dit project is

ingediend als case.

- Grondwaterleidingbedrijf Amsterdam: putinjectie oppervlaktewater. Seizoensinvloeden, in de zomer loopt de infiltratiecapaciteit terug.

De provincie Gelderland heeft een aantal projecten in de planning, waarbij retourbemaling een rol gaat spelen. Er zijn nog maar relatief weinig projecten uitgevoerd waarbij retourbemaling is toegepast (uitgezonderd bronbemaling). Bij de provincie Noord-Holland liggen de grondwaterprojecten in het Gooi stil in afwachting van het masterplan *Het Gooi* (IWACO).

Welke metingen worden in het veld gedaan en wat is daarbij uw ervaring?

- Debietmetingen.
- Grondwaterkwaliteitsmetingen.
- Grondwaterstandmetingen.
- Camera-inspecties bij verstopping.

Welke aanpassingen aan retoursystemen zijn in het veld gerealiseerd en wat was het resultaat?

- Vaak vindt er geen aanpassing van systemen plaats, maar wordt er een andere oplossing gezocht. In Bussum bijvoorbeeld is de retourbemaling stopgezet en wordt geloosd op een sloot. In Doetinchem wordt nog maar beperkt geretourneerd (hoogwatersignalering). In Zeddam wordt gedacht aan continue zuurdosering om verstopping tegen te gaan.

Welk type onderhoud vindt plaats aan retoursystemen?

- Mechanisch reinigen, bijvoorbeeld waterjetten.
- Chemisch reinigen: spoelen met chloorbleekloog.

Vaak wordt periodiek onderhoud voorgeschreven.

Welke literatuur is u bekend over retourbemaling?

- Borninkhof, H.J., 1994. Retourbemaling van bouwputten. Land en water, nr. 12.
- Fraanje, M.F., 1974. Bronbemaling. Agon Elsevier, Amsterdam.
- Maas, C., 1995. Dik freatisch pakket infiltreert niet lekker. H₂O, jrg. 28, nr. 5.
- Meuleman, A., 1996. Een milieuvriendelijke manier van waterwinning. Diepinfiltratie in Zuid-Holland West. H₂O, jrg. 29, nr. 4.
- Olsthoorn, T.N., 1994. Infiltratieputten: schoon boren door wandschrapen. H₂O, jrg. 27, nr. 21.
- Olsthoorn, T., 1995. Infiltratie in freatisch pakket. H₂O, jrg. 28, nr. 7.
- Rijkswaterstaat, 1986. Groundwater infiltration with bored wells. Rijkswaterstaat communications, nr. 39.
- Vreeken, C., 1996. Grondwater kan terug de bodem in. Herinfiltratie grondwater niet alleen kostbaar en storingsgevoelig. Land en water, nr. 6.
- Zoelen, H.J. van, 1995. Ontijzering- en infiltratieproef te Marcheren. H₂O, jrg. 28, nr. 8.

Interview met Witteveen+Bos

Geïnterviewden

Dit interview heeft schriftelijk plaatsgevonden met de heer J. Klein.

Met welke toepassingen van retournering van grondwater bent u in aanraking geweest?

- Bouwputbemalingen.
- Bodemsanering.
- (- Infiltratie hemelwater stedelijk gebied.

Wat was het doel van de retourbemaling en welk type is er gebruikt?

- Doel: negatieve effecten compenseren (verdroging, zettingen, stromingspatroon). Bij bodemsanering geldt ook als doel de doorspoeling bevorderen.
- Type: grindkoffers, kleine verticale filters, diepe putinjectie.

Wat zijn in het algemeen de ontwerpcriteria?

Geen opmerking.

Is er bij de bij u bekende projecten 'speciaal' vooronderzoek voor de retourbemaling uitgevoerd?

- Bodemsanering: chemische wateranalyses (ijzer- en mangaangehaltes) en onderzoek naar doorlatendheid.
- Bouwputbemalingen: retourbemalingsproeven.

Is het ontwerp van retoursystemen ondersteund door modellen? Zo ja, in hoeverre kon dan de veldsituatie goed worden gesimuleerd?

- Er worden geen modellen gebruikt om de retoursystemen te dimensioneren, wel om de grondwaterstroming (doorspoeling bij bodemsanering) en grondwaterstanden te voorspellen.
- De grondwaterstanden worden in het algemeen goed voorspeld.

Welke 'innovatieve' technieken worden toegepast om de retourbemaling goed te laten verlopen? 'Boorgatschrapen' of 'anaërobe zuivering' bijvoorbeeld?. Door wie kunnen deze technieken worden toegepast?

- Zuurdosering: om verstopping door ijzerneerslag te voorkomen. Er zijn zowel goede als matige ervaringen opgedaan. Goede ervaringen zijn opgedaan bij het retourneren van anaëroob water, matige ervaringen bij aëroob water.
- Ontijzering: om verstopping door ijzerneerslag te voorkomen. Er zijn zowel goede als matige ervaringen opgedaan. Bij een grootschalige retourbemaling van een bouwput waren de ervaringen aanvankelijk matig.
- Boorgatwandschrapen: matige ervaring. Deze methode is bij een proef toegepast. Bij deze proef zijn een 'geschrapte' en een 'normale' retourput gebruikt. De 'normale' retourput had in dit geval een grotere capaciteit.

Welke problemen (biologisch, fysisch, chemisch) spelen bij retourbemaling een rol en met welke problemen bent u zelf geconfronteerd?

- Verstopping door ijzerneslag bij een normale retourbemaling waarbij geen zuivering of ontijzering van opgepompt water plaatsvond.
- Verstopping door meegevoerd slib in het grondwater.
- Te krappe dimensionering van infiltratiekoffers omdat onvoldoende rekening was gehouden met het niet homogeen zijn van de bodem.

Welke metingen worden in het veld gedaan en wat is daarbij uw ervaring?

Metingen tijdens de voorbereidings- en opstartfase, vaststelling van de retourcapaciteit van de bodem en de waterhoogte (opstuwing) in het retoursysteem.

Welke aanpassingen aan retoursystemen zijn in het veld gerealiseerd en wat was het resultaat?

- Sleuven vervangen via diepere putten.
- Zuurdosering in het retourwater.
- Tussentijds verplaatsen, bijplaatsen van retourputten om een grondwatersanering te versnellen.
- Zandvang plaatsen (goede ervaringen mee).

Welk type onderhoud vindt plaats aan retoursystemen?

Regenereren van retourputten bij langdurige retourbemalingen.

Welke literatuur is u bekend over retourbemaling?

- Diverse rapporten over diepinfiltratie van KIWA.
- Diverse rapporten en handboeken over bouwputbemalingen.
- Intern Witteveen+Bos-rapport over infiltratie (inventarisatie met literatuur- en praktijkgegevens).

Interview met IWACO

Geïnterviewden

Dit interview heeft schriftelijk plaatsgevonden met de heer J. Smittenberg.

Met welke toepassingen van retournering van grondwater bent u in aanraking geweest?

- Retourneren van gezuiverd grondwater in het kader van bodemsanering.
- Retourneren van water om de onttrekkingsverlaging te compenseren.
- Diep- of oeverinfiltratie voor drinkwaterwinning.

Wat was het doel van de retourbemaling en welk type is er gebruikt?

- Het doel van retournering is meestal de beperking van de nettogrondwateronttrekking in het kader van het verdrogingsbeleid van de overheid.
- Door retournering kan het waterbezwaar voor lozing op het riool worden beperkt.
- De retournering van water vindt plaats om de doorspoeling van de bodem te optimaliseren.

Wat zijn in het algemeen de ontwerpcriteria?

- Het belangrijkste ontwerpcriterium voor de mogelijkheid van retournering is de doorlatendheid van de bodem.
- Rekening houden met putverstopping door ijzeroxide, zwevende stof of aangroei van bacteriën.
- Bij het ontwerp van retourputten rekening houden met een zo groot mogelijk nat oppervlak (boordiameter) en de samenstelling van het filtergrind.

Is er bij de bij u bekende projecten 'speciaal' vooronderzoek voor de retourbemaling uitgevoerd?

Langdurige (grote) bodemsaneringsprojecten: retourbemalingsproeven.

Is het ontwerp van retoursystemen ondersteund door modellen? Zo ja, in hoeverre kon dan de veldsituatie goed worden gesimuleerd?

Modellen worden vaak gebruikt voor de mogelijkheden voor retourbemaling. Met modellen kan een redelijk tot goed beeld worden verkregen van de retourcapaciteit bij aanvang van de sanering. De tijdsafhankelijke putverstopping - en daarmee het aantal keren dat retourputten moeten worden geregenereerd - wordt niet met modellen maar op basis van ervaring bepaald.

Welke 'innovatieve' technieken worden toegepast om de retourbemaling goed te laten verlopen? 'Boorgatschrapen' of 'anaërobe zuivering' bijvoorbeeld. Door wie kunnen deze technieken worden toegepast?

- Anaërobe zuivering.
- Additieven toevoegen of water door stikstofgaswaster leiden om zuurstof uit retourwater te verwijderen.
- De mogelijkheden zijn tot dusver beperkt. Er is slechts een beperkt aantal aannemers die ervaring hebben met deze technieken.

Welke problemen (biologisch, fysisch, chemisch) spelen bij retourbemaling een rol en met welke problemen bent u zelf geconfronteerd?

- Verstopping door ijzeroxidevlokken, zwevende stof of aangroei van bacteriën (met name bij ondiepe retourbemaling).
- Het retourwater beweegt via voorkeurskanalen door de bodem. Dit bemoeilijkt optimalisatie van de doorspoeling van de bodem.

Welke metingen worden in het veld gedaan en wat is daarbij uw ervaring?

- Monitoring debiet- en stijghoogtemetingen.
- Analyses ijzer, zuurstof en zwevende stof.
- Drukopnemers om 'overstroming' van retourputten tegen te gaan.

Welke aanpassingen aan retoursystemen zijn in het veld gerealiseerd en wat was het resultaat?

Het gebruik van waterzijdig actieve kool om putverstopping te voorkomen (kostbaar).

Welk type onderhoud vindt plaats aan retoursystemen?

Periodiek retourputten en zandfilters in waterzuiveringen regenereren.

Welke literatuur is u bekend over retourbemaling?

- KIWA, 1984. Ervaringen met diepinfiltratie, KIWA-mededeling, nr. 79.
- KIWA, 1985. Drinkwater uit oevergrondwater, KIWA-mededeling, nr. 89.

BIJLAGE B

CASES

Locatie: Amstelveen

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Bemaling, kwalitatieve overweging.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

N.v.t.

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

Anderhalf jaar (januari 1996 - oktober 1997).

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

-

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

- 0 - 7 m -mv: holocene afdeklaag.

- > 7 m -mv: watervoerend zandpakket.

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welke type zuivering is er sprake?

Nee.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Nee.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie) of een andere techniek?

Putinjectie.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*

Op circa 15 m -mv, met tien putten en $2,6 \times 10^6$ m³/jaar.

- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*

Op circa 20 m -mv, met noord twaalf putten 60% en zuid acht putten 40%.

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

100%, verdeeld over noord en zuid. Noord niet geheel mogelijk, zuid wel.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar

om niet?

Ja. Infiltratie noord.

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

Meting van de grondwaterstanden en debieten.

Locatie: gemeentewaterleidingen Leiduin

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Vergunningsvoorschrift.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

N.v.t

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

Twee jaar.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

Onbekend.

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

-

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welke type zuivering is er sprake?

Nee.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Nee.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek?

Putinjectie.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Aanvoersloot.
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 20 - 40 m -mv, met vier putten en 1×10^6 m³/jaar.

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Proef, boorgatschrapen.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

Ja. Putverstopping

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

-

Locatie: Bensdorp BV Bussum

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Koelwater, vergunningsvoorschrift.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

N.v.t.

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

Ongeveer twee jaar.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

-

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

Groot watervoerend zandpakket.

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welk type zuivering is er sprake?

Nee.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Nee.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek?

Putinjectie.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 21 - 40 m -mv, met twee putten en < 400.000 m³/jaar.
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 20 - 40 m -mv, met twee putten.

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Afhankelijk van de hoeveelheid koelwater.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

Ja. Putverstopping.

Oorzaak: te hoge temperatuur (16 °C). (Rapportage krachtwerktuigen.)

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

-

Locatie: Apeldoorn

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Grondwatersanering.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

Chloorhoudende oplosmiddelen en minerale olie.

Hoe lang is er al geïnfiltrerd?

Vanaf december 1994.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

Minimaal tot 1 januari 2000.

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

- Diep zandpakket (gestuwd?) met ondiep op 2,5 m -mv een veenlaag.
- Eemkleisporen op 20 m -mv.
- Diepte Drentheklei onduidelijk (40 m -mv?).

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welk type zuivering is er sprake?

Ja. Luchtstripper met actieve kool.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Nee.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek?

Putinjectie (filter N 250 mm, grind 1,5 - 2,5 mm, boorgat N 500 mm).

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 8, 12 en 27 m -mv, met zeventien putten en 30 m³/uur.
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltrerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 8 m -mv, met acht putten en een debiet dat terugloopt van 24 tot 9 m³/uur.

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Doelstelling 100% infiltratie, slechts 35% wordt gerealiseerd.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

Ja. Gewenst infiltratiedebiet wordt niet gehaald.

Oorzaak: vermoed wordt dat persluchtinjectie op 6 - 9 m -mv de boosdoener is. KIWA: oorzaak acute afname onduidelijk, ijzer en biologische aspecten.

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

Grondwaterstandmetingen en debietmetingen, capaciteitsproeven bij putten afzonderlijk en metingen van het ijzergehalte (0,1 - 0,2 mg/l).

Locatie: Breda

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Grondwatersanering door in-situ-afbraak.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

Chloorhoudende oplosmiddelen.

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

Vanaf september 1995.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

Tot eind oktober 1999.

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

- Deklaag tot 5 m -mv.
- Fijnzandig watervoerend pakket van 5 - 10 m -mv.
- Kleilaag (10 - 12 m -mv).
- Watervoerend pakket > 12 m -mv.

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welk type zuivering is er sprake?

Ja. Biologische zuivering.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Ja. Methanol en fenol.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek?

Putinjectie.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 10 m -mv, met één put en 3,7 m³/uur (doelstelling: 10 m³/uur).
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 10 m -mv, met twee putten en 1 m³/uur (16 + 8 m³/d).

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Doelstelling 100% infiltratie, slechts 25% wordt gerealiseerd.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

Ja. Gewenst infiltratiedebiet wordt niet gehaald. Verstopping infiltratieputten.

Oorzaak: sterke biologische activiteit in infiltratieputten (geregenereerd met zuur). Het vermoede-

den bestaat dat het boorgat van de infiltratieputten sterk versmeerd is.

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

Grondwaterstandmetingen en debietmetingen, capaciteitsproeven bij putten afzonderlijk en een tracertest.

Locatie: Julianalaan Vaassen

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Pilot-plant voor te nemen saneringsmaatregelen in brongebied en ontwerp zuiveringsinstallatie.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

Zware metalen (bron) en chloorhoudende oplosmiddelen (pluim).

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

N.v.t.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

Vijf maanden, start voorjaar 1998.

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?.

- 12 m matig grof zandpakket (gestuwd?).
- Plaatselijke kleilagen op 12 m -mv.
- Vervolgens diep zandpakket.

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welk type zuivering is er sprake?

Ja. Membraanfiltratie.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Ja. Zwavelzuur en tracerexperiment met barium.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek?

Draininfiltratie.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
1 m³/uur.
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
0,8 m³/uur.

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Doelstelling: 80% infiltratie.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

N.v.t.

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

Grondwaterstandmetingen en debietmetingen, kwaliteitsmetingen (barium, zware metalen, zuurdosering) en meting van de performance van membranen.

Locatie: Nieuweweg 32-34 Doetinchem

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Grondwatersanering. Infiltratieverplichting in het kader van GWW.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

Chloorhoudende oplosmiddelen.

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

Van maart 1994 tot september 1995.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

-

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

Eén watervoerend zandpakket.

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welk type zuivering is er sprake?

Ja. Striptoren met nageschakelde actieve kool.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Nee.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek.

Putinjectie.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 15 m -mv, met drie putten en 30 m³/uur.
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 10 m -mv, met twee putten en 27 m³/uur.

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Doelstelling: 90% van onttrokken water retourneren. Gerealiseerd: variabel van 0 tot 90%.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

Ja. Verstopping infiltratieputten en onacceptabele grondwaterstandverhoging op de plek van de infiltratieputten.

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

-

Locatie: Zeddam

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Grondwatersanering. Verdrogingsproblematiek Achterhoek.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

Chloorhoudende oplosmiddelen, nikkel, zink, chroom(VI), cyanide.

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

Twee maanden. De infiltratie is nu gestopt vanwege een verstoppingsprobleem.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

Volgens het grondwatersaneringsplan achttien jaar.

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

- 0 - 4 m -mv: matig fijn tot matig grof zand.
- 4 - 12 m -mv: zeer grof grindhoudend zand.
- 12 - 13,5 m -mv: leem.
- 13,5 - 20 m -mv: zeer grof grindhoudend zand.

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welk type zuivering is er sprake?

Ja. Striptoren met nageschakelde actieve kool en metalenverwijdering.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

In onderzoek.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek?

Putinjectie. Infiltratieput met regeneratiepomp. Dagelijks korte onttrekking.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 5 - 20 m -mv, met drie putten en 20 m³/uur.
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 12 m -mv, met twee putten en 20 m³/uur.

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Doelstelling: minimaal 90% van het onttrokken water retourneren. Gerealiseerd: 100% infiltratie, na twee maanden gestopt.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

Ja. Verstopping infiltratieputten.

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

Metingen van diverse macroparameters: chloride, carbonaat, nitraat, sulfide, magnesium, mangaan, ijzer(II) en ijzer(III), pH, EC, temperatuur, zuurstof.

Locatie: flatgebouw Vogelhof Zandvoort

Reden van infiltratie (sanering, bemaling)?

Grond- en grondwatersanering via spoelen.

Als het om sanering gaat, wat is dan de aard van de verontreiniging(en)?

Minerale olie en vluchtige aromaten (HBO).

Hoe lang is er al geïnfiltreerd?

Van 23 april tot 11 september 1990 (1,1 m³/uur) en van 10 april 1991 tot 30 september 1992.

Hoe lang zal de infiltratie naar verwachting nog worden voortgezet?

De infiltratie is gestopt op 30 september 1992.

Hoe kan de geohydrologische situatie in het kort worden omschreven?

0 - 10 m -mv watervoerend zandpakket, k = 12 m/d.

Wordt er gezuiverd? Zo ja, van welk type zuivering is er sprake?

Ja. Olie-afscheider, zandfilter, beluchting in striptoren, twee actieve-koolfilters.

Worden er toeslagstoffen toegediend? Zo ja, welke?

Ja. Nitraat en fosfaat, extra beluchting.

Wat is de techniek van infiltratie? Putinjectie, draininfiltratie, slootinfiltratie of een andere techniek?

Draininfiltratie.

Als er van putinjectie sprake is:

- *Op welke diepte wordt er onttrokken, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 4 - 10 m -mv, met één put en 1,6 m³/uur (13 maart tot 3 december 1990).
- *Op welke diepte wordt er geïnfiltreerd, met hoeveel putten en met welk (totaal)debiet?*
Op 0,6 m -mv, met twee drains en 1,1 m³/uur (23 april tot 11 september 1990).

Wat was de doelstelling wat betreft het percentage herinfiltratie en hoeveel is/wordt er daadwerkelijk gerealiseerd?

Doelstelling: uitspoelen en stimuleren van de afbraak van de verontreiniging met minerale olie. Gerealiseerd: stopgezet door verstopping.

Zijn er problemen opgetreden? Zo ja, welke? Zo nee, is het bekend waar om niet?

Ja. Verstopping infiltratiedrains (biologische aspecten, kalkafzetting) en ontstaan van drijfslag in waarnemingsfilters.

Welke metingen worden aan en rondom het onttrekkings- en infiltratiesysteem verricht?

Meting van de grondwaterstanden en de drijf laagdikten en analyses van de verontreinigingsgraad van het grondwater.

BIJLAGE C

EVALUATIEFORMULIER

Uw opmerkingen zullen worden gebruikt om de werkbaarheid en toepasbaarheid van de voorgestelde systematiek te vergroten. Wilt u bij het invullen van de vragenlijst de antwoorden zo veel mogelijk toelichten? Als u voor de antwoorden van een of meer vragen in deze lijst onvoldoende ruimte hebt, kunt u op een apart blad verdergaan met uw antwoord, onder vermelding van het vraagnummer.

U kunt dit formulier - bij voorkeur nadat u de methodiek die in dit rapport is voorgesteld een aantal keren hebt gebruikt - terugsturen naar:

Tauw Milieu BV
L.M.M. Bakker
Postbus 133
7400 AC Deventer

1 De resultaten van dit onderzoek worden anoniem verwerkt. Bent u bereid uw reactie toe te lichten, wilt u dan hieronder uw gegevens invullen?

Naam:

Organisatie:

Adres:

Postcode/plaats:

Telefoon:

Fax:

E-mail:

Functie:

2 Bij wat voor organisatie bent u werkzaam?

- Adviesbureau
- Provincie
- Boorbedrijf
- Aannemer
- Waterleidingbedrijf

3 Hoe vaak hebt u de systematiek gebruikt?

Ik heb de systematiek keer gebruikt.

4 Vindt u de voorgestelde systematiek in de huidige opzet voldoende gebruiksvriendelijk?

- Ja
- Nee, want:
-
-
-

5 Waarbij hebt u de systematiek toegepast?

- Retourbemaling (civiele werken)
- In-situbio restauratie (inclusief toeslagstoffen)
- Infiltratie oppervlaktewater
- Grondwatersanering (zonder toeslagstoffen)
- Koude- of warmte-opslag

6 Is de voorgestelde systematiek gedetailleerd en richtinggevend genoeg om keuzes te kunnen maken?

- Ja
- Nee, want:
-
-
-

7 Hebt u ondanks het gebruik van de methodiek toch nog verstoppingsproblemen ondervonden?

- Ja, want:
 -
 -
 -
-

Nee, want:

.....

.....

.....

8 Bent u bij de toepassing van de methodiek nog knelpunten tegengekomen?

Ja, namelijk:

.....

.....

.....

Nee

9 Kunt u cases aandragen waarbij verstopping is opgetreden en/of verstopping succesvol is vermeden?

Ja, namelijk:

.....

.....

.....

Nee

10 Bent u eventueel bereid om een financiële bijdrage te leveren om het huidige document up-to-date te houden?

Ja

Nee

11 Hebt u verder nog op- en aanmerkingen, suggesties en dergelijke?

Ja, namelijk:

.....

.....

.....

Nee

Hartelijk dank voor uw medewerking.

BIJLAGE D

LEGENDA BESLISSCHEMA'S

BIJLAGE E

BEZOEKERSLIJST WORKSHOP

Waterleidingbedrijven

Adres instantie	Contactpersoon
Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant Postbus 1068, 5200 BC 's-Hertogenbosch	de heer C. van Rosmalen
Waterleidingmaatschappij Overijssel Postbus 10005, 8000 GA Zwolle	de heer T. Ngo
NUON Water Waterstraat 11, Velp Postbus 8002, 6880 CA Velp	mevrouw J. van Engelenburg
Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost Postbus 122, 2800 AC Gouda	de heer H. Timmer de heer J.D. Verdel

Provincies en gemeenten

Adres instantie	Contactpersoon
Provincie Gelderland Dienst Milieu en Water Postbus 9090, 6800 GX Arnhem	de heer ing. R.A. de Groot de heer ir. D. Corpel
Provincie Utrecht Postbus 80300, 3508 TH Utrecht	de heer A.W. Groters de heer M. Pluim
Provincie Noord-Holland Postbus 3088 2001 BD Haarlem	de heer ir. N.E.G. Oei de heer J. van der Veldt
Provincie Zuid-Holland Afdeling Waterstaatszaken Postbus 90602, 2509 LP Den Haag	dhr K.G. Redder
Provincie Noord-Brabant Bureau Grondwater Postbus 90151 5200 MC 's-Hertogenbosch	de heer E. van Griensven de heer T. van der Koppel (bodemsanering)

Boorbedrijven en aannemers

Adres instantie	Contactpersoon
Grondboorbedrijf Haitjema BV Postbus 109, 7700 AC Dedemsvaart	de heer ir. A. Nieuwvaal
Beemsterboer Boringen, Bemaling- en en Sonderingen BV Industrieterrein De Veken 10, 1716 KE Opmeer	de heer C.A.M. Kieft de heer J. Wijdenes
Bolegbo/Westerlo Boringen BV Postbus 847, 5700 AV Helmond	de heer A.P.H. Timmermans (vervanger)
Ecotechniek Bodem BV Postbus 1330, 3600 BH Maarssen	mevrouw A. Rutsen
De Ruiter Boringen en Bemalingen BV Postbus 14, 1160 AA Zwanenburg	de heer F.S. Heinis
Watec/Logisticon Postbus 38, 2964 ZG Groot-Ammers	de heer J. Mourik de heer H. Boender
Verhoeve Milieu BV Postbus 4, 6997 ZG Hoog Keppel	de heer ing. G.J. de Vogel de heer P. Hoefsloot
Grondboorbedrijf W en R. Bors boom BV Postbus 12, 2260 AA Leidschendam	de heer E. Borsboom
Grondboorbedrijf Gruner BV Postbus 259, 6130 AG Sittard	de heer R. Schenk
Ockhuizen Grondboringen en Bronbemalingen BV Postbus 9, 5680 AA Best	de heer P.W.F.M. Ockhuizen de heer J. van Erven

Instituten, adviesbureaus en bedrijven

Adres instantie	Contactpersoon
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO Schoenmakerstraat 97, Delft Postbus 6012, 2600 JA Delft	de heer drs. L. Vasak
IF-Technology Frombergstraat 1, Arnhem Postbus 605, 6800 AP Arnhem	de heer ir. G. Bakema
Witteveen+Bos, Raadgevende Ingenieurs BV Postbus 233, 7400 AE Deventer	de heer ir. J.D. Klein
Iwaco Adviesburo voor Water en Milieu Postbus 625, 5201 AM 's-Hertogenbosch	de heer R. van Assen de heer H. van Poppel
Grontmij Advies en Techniek Postbus 203, 3730 AE De Bilt	de heer P. Schipper de heer P. Verhaagen
CUR-NOBIS Buchnerweg 1, Gouda Postbus 420, 2800 AK Gouda	de heer ing. J.H.A.M. Verheul
KIWA nv Postbus 1972, 3430 BB Nieuwegein	de heer ir. C. van Beek
Tauw Milieu BV Postbus 133, 7400 AC Deventer	de heer dr. ir. G.C. Stefess de heer ir. L.M.M. Bakker
Oranjewoud Postbus 321, 7400 AH Deventer	de heer T.H.M. Leenen de heer F. Rus