

PT04.121

Demonstratieproject ijzerschermb Wassenaarseweg Katwijk

Fase 1: Rapportage keuze, dimensionering en aanleg ijzerschermb



2 april 2007

Gouda, SKB

Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem



Stichting
Kennisontwikkeling
Kennisoverdracht
Bodem

Auteursrechten

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

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron, [SKB, Gouda](#), op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt. "©"

[Demonstratieproject ijzerscherm Katwijk. Fase 1: Rapportage keuze, dimensionering en aanleg ijzerscherm](#)", 2 april 2007, SKB, Gouda.

Aansprakelijkheid

SKB 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 SKB 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 SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Copyrights

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

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, "©" [Demonstration project Iron PRB Katwijk. Phase 1: Choice, dimensioning and construction PRB, 2 April 2007, SKB, Gouda, The Netherlands.](#)

Liability

SKB 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 SKB 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 SKB and/or the contributors.

Titel rapport

Demonstratieproject ijzerscherm Wassenaarseweg Katwijk
Fase 1: Keuze, dimensionering en aanleg ijzerscherm

SKB rapportnummer

Project rapportnummer
PT04.121

Auteur(s)

Ir. C.M. Soeter
Ing. W.J.M. Havermans

Aantal bladzijden

Rapport: 48
Bijlagen: 10

Uitvoerende organisaties (consortium)

Grontmij Nederland (C.M. Soeter, 030-6344612)
NTP Milieu (W.J.M. Havermans, 053-461 49 05)
TNO (N.K. Hoekstra, 055-549 36 98)
ETI Canada (S. O'Hannesin, 00.1.519.746.2204)
Provincie Zuid Holland (M. de Jongh, 070-4416470)

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

In de Verenigde Staten worden ijzerschermen al ruim 15 jaar met succes toegepast, echter in Nederland zijn ijzerschermen nog geen proven technology. Met dit demonstratieproject is er een goede kans dat de implementatie van ijzerschermen in Nederland van de grond komt. Het demonstratieproject heeft als doel de toepassing van een ijzerscherm binnen de Nederlandse bodemsaneringsmarkt te introduceren, de goede werking ervan aan te tonen en de opgedane kennis en ervaring generiek beschikbaar maken voor ontwerpers, eindgebruikers en bevoegd gezag. De demonstratie in Katwijk betreft het eerste ijzerscherm in Nederland, dat in de bodem is aangebracht en volledig is gevuld met een mix van reactief ijzergranulaat en zand. Het principe van een ijzerscherm berust op het in-situ afbreken van chloorkoolwaterstoffen (VOCI) door oxidatie van ijzer. Bij het doorstromen van het scherm worden de VOCI-componenten omgezet naar onschadelijke reststoffen. Na de installatie zijn de energiekosten voor het in stand houden van het systeem nihil. De natuurlijke stroomsnelheid van het water is de drijvende kracht achter het systeem. In vergelijking met andere saneringsconcepten worden op deze wijze de saneringskosten met wel 30 tot 50% gereduceerd. Het ijzerscherm in Katwijk is aangelegd om een volkstuintencomplex te beschermen tegen de instroom van VOCI via het grondwater. Circa 100 m stroomopwaarts van het volkstuintencomplex bevond zich in het verleden een vatenspoelerij aan de Wassenaarseweg. Door de spoelerij is het grondwater in de loop der tijd verontreinigd met VOCI. Het ijzerscherm is met een kettinggraver aangelegd over een lengte van 180 m en tot een diepte van 5,5 m.

Het consortium heeft met dit demonstratieproject aangetoond dat het mogelijk is om een VOCI-verontreiniging op innovatieve en kosteneffectieve wijze te beheersen middels een ijzerscherm. De eerste monitoringsronde geeft aan dat er al afbraak van CIS en VC na een maand in het ijzerscherm optreedt. Verwacht wordt dat wanneer de goede werking van het ijzerscherm op de lange termijn wordt aangetoond eindgebruikers en bevoegde gezagen gemakkelijker zullen kiezen voor de toepassing van een ijzerscherm.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen:**

Bodemsanering, chloorkoolwaterstoffen,
fysisch-chemisch zuiveren, ijzer

Vrije trefwoorden:

ijzerscherm, Permeable
Reactive Barrier. PRB

Titel project

Demonstratieproject ijzerscherm
Wassenaarseweg Katwijk

Projectleiding

Grontmij Nederland
(C.M. Soeter, 030-6344612)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

VOORWOORD

In Katwijk is in opdracht van de provincie Zuid-Holland op innovatieve wijze een volkstuinencomplex beschermd tegen de instroom van een verontreiniging met chloorkoolwaterstoffen (VOCI). Een traditionele aanpak met pump & treat bleek niet kosteneffectief om de VOCl-verontreiniging te beheersen.

Het reactief ijzerscherm dat in Katwijk is gerealiseerd is voor Nederlandse begrippen vernieuwend. Het is namelijk het eerste ijzerscherm in Nederland dat in de bodem is aangebracht en volledig gevuld is met een mix van ijzergranulaat en zand.

In 2004 voerde Grontmij een studie naar beheersmaatregelen voor de locatie Katwijk uit. Hieruit bleek dat toepassing van een reactief ijzerscherm een kansrijke optie vormde. In een vroeg stadium legde Grontmij contact met aannemer NTP Milieu die net bij de licentieverstrekker voor ijzerschermen ETI (EnviroMetal Technologies Inc.) in Canada op bezoek was geweest. Voor de realisatie van het ijzerscherm heeft Grontmij samen met NTP Milieu in 2005 een ontwerp en uitvoeringsplan opgesteld om het ontwerp en de uitvoering van het ijzerscherm goed op elkaar aan te laten sluiten. De kolomtest die VITO in België heeft uitgevoerd leverde de noodzakelijke gegevens voor het ontwerp en de dimensionering van het ijzerscherm.

Aangezien de VOCl-verontreiniging in Katwijk niet zo diep aanwezig is, namelijk tot circa 4 m –mv, is deze locatie zeer geschikt om hier een permeabel ijzerscherm aan te leggen. Vooral ook omdat zich op geringe diepte op circa 5,5 m –mv een kleilaag bevindt die het scherm aan de onderkant kan afsluiten. Daarnaast bevinden er zich geen obstakels in de ondergrond zoals kabels en leidingen, zodat een kettinggraver relatief eenvoudig kon worden ingezet om het ijzerscherm te realiseren.

Wanneer eenmaal de plannen gereed zijn en de opdrachtverlening in juni 2006 rond is blijkt dat de aanleg van een ijzerscherm zeer snel kan worden gerealiseerd. In 1 dag is 125 ton reactief ijzergranulaat en 200 ton zand gemengd in de juiste verhoudingen. Vervolgens is in circa 2,5 dag het ijzerscherm en het foliescherm aangelegd over een afstand van 180 m met een kettinggraver. Dat is een snelheid van circa 10 m/uur. Het werk is niet alleen snel uitgevoerd maar ook met de nodige precisie.

NTP Milieu heeft voor aanvang van het project een garantie op de werking van het ijzerscherm gegeven voor een periode van 15 jaar. Bij de uitvoering is ETI vanuit Canada overgevlogen om technische ondersteuning te leveren. ETI ondersteunt ijzerscherm projecten wereldwijd op vakkundige wijze. Grontmij heeft de gehele uitvoering van het ijzerscherm begeleid en op video vastgelegd. De video trok op de on-site dag van 5 oktober 2006 veel belangstelling en is daarom door SKB toegevoegd aan het Cahier Reactieve Schermen.

De verwachting is dat na dit demonstratieproject meer ijzerschermen in Nederland aangelegd zullen worden. Ook op grotere diepten van 10 of 20 m kan een ijzerscherm naar verwachting als een kosteneffectieve beheersing worden toegepast. Als consortium willen we hier graag een bijdrage aanleveren.

April 2007

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	II
INHOUDSOPGAVE	III
SAMENVATTING	VI
NOTATIES	IX
1. INLEIDING	10
1.1 Algemeen	10
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Doelstelling project	10
1.4 Samenstelling consortium	10
1.5 Leeswijzer	11
2. TOTSTANDKOMING IJZERSCHERM KATWIJK	12
2.1 Algemeen	12
2.2 Toelichting op de locatie	12
2.3 Bodemopbouw en geohydrologie	13
2.4 Verontreinigingssituatie	14
2.5 Omstandigheden biologische afbraak	14
2.6 Aanleiding beheersmaatregelen	16
2.7 Doelstelling beheersmaatregelen	16
2.8 Reactieve schermen	16
2.9 Evaluatie keuze voor ijzerscherm	17
2.10 Uitgangspunten en randvoorwaarden ijzerscherm	18
2.10.1 Uitgangspunten	18
2.10.2 Randvoorwaarden	18
3. ONTWERP EN DIMENSIONERING	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Afbraakmechanisme ijzerschermen	19
3.3 Toelichting op de techniek	19
3.4 Selectie reactief ijzer	20
3.5 Haalbaarheidstest	20
3.5.1 Doelstelling kolomtest	21
3.6 Dimensionering ijzerscherm	22
3.6.1 Vertaling kolomtest naar dimensionering in praktijk	22
3.6.2 Mengverhouding ijzer/zand	22
3.7 Ontwerp ijzerscherm	23
3.8 Modelberekeningen	23
3.9 Fall back scenario	23
3.10 Resultaten review ontwerp	24
3.11 Definitief ontwerp	24
3.12 Functionaliteit ijzerscherm	25
3.13 Garantstelling ijzerscherm	25

4.	EVALUATIE AANLEG IJZERSCHERM	26
4.1	Uitvoeringsperiode	26
4.2	Voorbereiding	26
4.3	Uitvoering van boringen langs tracé ijzerschermb	26
4.4	Inrichting werkterrein en tijdelijke depots	27
4.5	Leveranties van ijzer en zand en kwaliteitsspecificaties	27
4.6	Mengen van ijzer en zand	27
4.7	Aanleg ijzerschermb	28
4.8	Aanleg folieschermb	29
4.9	Verwerkte hoeveelheden materialen	30
4.10	Veiligheid	31
5.	NULMETING MONITORING IJZERSCHERM	32
5.1	Algemeen	32
5.2	Monitoringstrategie	32
5.3	Uitbreiding monitoringsmeetnet	32
5.4	Bemonsterings- en analyseprogramma	33
5.5	Monitoring macrochemie	34
5.6	Bemonsteringsfrequentie en ijkmomenten	34
5.7	Waterpassing en opname grondwaterstanden	35
5.9	Resultaten nulmeting verontreiniging	35
5.9.1	Monitoring verontreiniging bron en pluim	35
5.9.2	Monitoring verontreiniging ijzerschermb	35
5.10	Resultaten nulmeting macrochemie	36
5.10.1	Monitoring macrochemie in bron en pluim	36
5.10.2	Monitoring macrochemie ijzerschermb	37
5.11	Resultaten nulmeting grondwaterstanden	39
6.	GENERIEKE ONTWERPRICHTLIJNEN EN -CRITERIA	40
6.1	Inleiding	40
6.2	Checklist voor toepassing van een ijzerschermb	40
6.3	Methoden voor plaatsing van een ijzerschermb	43
6.3	Stappenplan voor ontwerp en dimensionering	44
6.3	Stappenplan voor ontwerp en dimensionering	45
7.	CONCLUSIES	47

BIJLAGE 1 UITGANGSSITUATIE VOCL-VERONTREINIGING	49
BIJLAGE 2 REFERENTIEPROJECTEN.....	50
BIJLAGE 3 SAMENVATTING KOLOMTEST.....	51
BIJLAGE 4 DOORLATENDHEIDSMETINGEN	52
BIJLAGE 5 ONTWERPREGELS ETI CANADA.....	53
BIJLAGE 6 ONTWERP IJZERSCHERM	54
BIJLAGE 7 MODELBEREKENINGEN	55
BIJLAGE 8 GEGEVENS IJZERGRANULAAT EN DRAINZAND.....	56
BIJLAGE 9 NULMETING VOCL-VERONTREINIGING	57
BIJLAGE 10 GRONDWATERSTANDEN EN ISOHYPSEN	58

SAMENVATTING

Demonstratieproject ijzerscherm Katwijk

Inleiding

In de Verenigde Staten worden ijzerschermen al ruim 15 jaar met succes toegepast, echter in Nederland zijn ijzerschermen nog geen proven technology. Met dit demonstratieproject is er een goede kans dat de implementatie van ijzerschermen in Nederland van de grond komt. Het demonstratieproject heeft als doel de toepassing van een ijzerscherm binnen de Nederlandse bodemsaneringsmarkt te introduceren, de goede werking ervan aan te tonen en de opgedane kennis en ervaring generiek beschikbaar maken voor ontwerpers, eindgebruikers en bevoegd gezag. De demonstratie in Katwijk betreft het eerste ijzerscherm in Nederland, dat in de bodem is aangebracht en volledig is gevuld met een mix van reactief ijzergranulaat en zand.

Het principe van een ijzerscherm berust op het in-situ afbreken van chloorkoolwaterstoffen (VOCI) door oxidatie van ijzer. Het scherm bevat nulwaardig ijzer in granulaire vorm, die de VOCI reduceren. Bij het doorstromen van het scherm worden de VOCI-componenten omgezet naar onschadelijke reststoffen. Na de installatie zijn de energiekosten voor het in stand houden van het systeem nihil. De natuurlijke stroomsnelheid van het water is de drijvende kracht achter het systeem. In vergelijking met andere saneringsconcepten worden op deze wijze de saneringskosten met wel 30 tot 50% gereduceerd.

Totstandkoming ijzerscherm Katwijk

Aan de Wassenaarseweg in Katwijk bevond zich in het verleden een vatenspoelierij. Door de vatenspoelierij is het grondwater verontreinigd met chloorkoolwaterstoffen. Ongeveer honderd meter stroomafwaarts van de locatie ligt een volkstuintencomplex dat door de verontreinigingspluim wordt bedreigd. Door het plaatsen van een ijzerscherm wordt het volkstuintencomplex tegen de instroom van chloorkoolwaterstoffen beschermd. Het project en de techniek is voor Nederlandse begrippen vernieuwend, aangezien dit het eerste scherm in Nederland is, dat volledig gevuld is met granulair ijzer.

Ter plaatse van de saneringslocatie worden in het grondwater de interventiewaarden overschreden voor cis-1,2-dichlooretheen en vinylchloride. Op grond hiervan is de Provincie Zuid-Holland over gegaan tot het nemen van een beheersmaatregel om verdere verspreiding te voorkomen en het volkstuintencomplex te beschermen.

Ijzerschermen zijn prima geschikt voor de aanpak van bodemverontreinigingen met chloorkoolwaterstoffen, zoals per en tri. Deze ontvettingsmiddelen opgelost in het grondwater zijn vanwege de langdurige nalevering moeilijk te saneren door middel van een pump & treat-systeem. Met een ijzerscherm, geplaatst stroomafwaarts van de bronzone van de verontreiniging, wordt de verontreiniging begrensd en wordt de grondwaterverontreiniging achter het scherm verschoond.

In april 2004 heeft Grontmij een studie naar beheersmaatregelen verricht om het volkstuintencomplex te kunnen beschermen tegen de instroom van chloorkoolwaterstoffen. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheden om een reactief scherm te plaatsen loodrecht in de stroombaan van de verontreiniging.

Uit de studie naar beheersmaatregelen is gebleken dat het toepassen van een volledig permeabel ijzerscherm op deze locatie een interessante en kansrijke optie is. Ten opzichte van een geohydrologisch scherm of een bioscherm heeft een ijzerscherm als voordeel dat er geen actieve maatregelen, zoals pompen, zuivering etc. noodzakelijk zijn waardoor de instandhoudingskosten relatief laag zijn (alleen monitoring). Daar komt bij dat de levensduur van een ijzerscherm langer is dan van een grondwateronttrekkingsstelsel voor een geohydrologisch scherm of een substraatinjectiesysteem voor een bioscherm.

Uit een vergelijking van de kosten van verschillende type beheersmaatregelen blijkt ook dat de totale kosten voor een ijzerschermbij een instandhoudingsduur van 30 jaar bijna een factor 2 lager zijn ten opzichte van een geohydrologische beheersing of een bioschermbij.

Op basis van de bovenstaande argumenten gaat de voorkeur uit naar de toepassing van een ijzerschermbij. Hierbij is gekozen voor de meest eenvoudige uitvoering, namelijk een volledig permeabel ijzerschermbij. Dit type is wereldwijd het meest toegepast en heeft tot op heden het minste onderhoud. Daarmee is de duurzaamheid van dit schermbijtype het grootst.

Het volledig permeabele ijzerschermbij kan langs de terreingrens met het volkstuintencomplex worden aangebracht. Hierdoor wordt de verspreiding van verontreinigingen in het middeldiepe grondwater in de richting van het beschermd gebied voorkomen.

Ontwerp en dimensionering

In juli 2005 heeft Grontmij een ontwerp- en uitvoeringsplan opgesteld in samenwerking met NTP Milieu. In dit ontwerp en uitvoeringsplan is de toepassing van het ijzerschermbij tot een concreet plan uitgewerkt, waarbij de uitvoering van het schermbij is afgestemd op de lokale situatie. Voor het ontwerp en de dimensionering is een kolomtest door VITO uitgevoerd om de haalbaarheid van een ijzerschermbij vast te stellen. In deze kolomtest is grondwater van de locatie geleid door een met ijzergranulaat gevulde kolom. Daarnaast zijn doorlatendheids metingen door Grontmij verricht om de stroomsnelheid van het grondwater nauwkeurig te bepalen.

Aan de hand van de uitgevoerde kolomtest is door VITO geconcludeerd dat een reactief ijzerschermbij haalbaar is voor de locatie in Katwijk. De kolomtest heeft aangetoond dat de belangrijkste VOCI-componenten CIS en VC in het grondwater kunnen worden afgebroken tot onder de gestelde normen na een gemiddelde verblijftijd van 67uur in een 100% reactief ijzerschermbij. De levensduur van het ijzerschermbij is op basis van macrochemische analyses in de kolomtest en de stroomsnelheid van het grondwater naar verwachting minstens 20 jaar volgens ETI te Canada.

De dikte van het ijzerschermbij is op basis van de verblijftijd en de stroomsnelheid van 1,6 m/jaar gedimensioneerd op circa 2,2 cm voor een schermbij met 100% ijzer. Wanneer een sleuf met een breedte van 30 cm wordt opgevuld met 20% ijzer en 80% drainagezand is de effectieve dikte van het ijzer gelijk aan: $30 \text{ cm} \times 0,20 = 6 \text{ cm}$. Het ijzerschermbij heeft dan een overdimensionering van een factor 2,7.

Om een maximale zekerheid te garanderen is in de haard van de verontreiniging een ijzer/zand mengsel gebruikt van 40:60 vol.%. De effectieve dikte van het ijzer is dan gelijk aan: $30 \text{ cm} \times 0,40 = 12 \text{ cm}$. Het ijzerschermbij heeft in de haard dan een overdimensionering van een factor 5,4. Geconcludeerd kan worden dat deze extra overdimensionering een maximale zekerheid levert voor de werking van het ijzerschermbij.

Evaluatie aanleg ijzerschermbij in Katwijk

Voor het aanbrengen van het ijzerschermbij is met een kettinggraver een sleuf gegraven van circa 5,5 m diep en 30 cm breed. Via een trechter is deze sleuf, gelijktijdig met het graven, gevuld met het mengsel van zand en ijzergranulaat. In de haard van de verontreinigingspluim is het ijzerschermbij over een lengte van 30 m gevuld met het zand/ijzer mengsel in de verhouding 40:60 vol %. Aansluitend is het ijzerschermbij over een lengte van 90 m gevuld met het zand/ijzer mengsel in de verhouding 20:80 vol %.

Na het aanbrengen van het ijzerschermbij is de breedte van het ijzerschermbij gecontroleerd en bleek dat de gerealiseerde breedte 22 cm was. De gerealiseerde breedte vormt echter geen risico voor de werking van het ijzerschermbij, aangezien nog steeds sprake is van een ruime overdimensionering van een factor 4.

Aan beide zijden van het ijzerschermbaan is een folieschermbaan aangebracht over een lengte van circa 30 m. Door de toepassing van het folieschermbaan kon de hoeveelheid ijzer beperkt worden tot 120 m. Het LDPE-folie is aan de noordzijde met het ijzerschermbaan gekruist in een hoek van 120°. Aan de zuidzijde is het LDPE-folie noodgedwongen evenwijdig langs het ijzerschermbaan getrokken in verband met de nabijheid van de sloot. Dit heeft overigens geen gevolgen voor de werking van het ijzerschermbaan.

Nulmeting monitoring ijzerschermbaan

Na aanleg van het ijzerschermbaan is het monitoringnetwerk met peilbuizen uitgebreid en is een nulmeting verricht. Over het algemeen blijkt dat de gehalten aan VOCl lager zijn dan bij voorgaande monitoringronden. Dit kan mogelijk samenhangen met de regen die in de periode van de bemonstering is gevallen. In het volkstuintencomplex zijn voor VOCl enkele streefwaarde overschrijdingen en een tussenwaarde overschrijding waargenomen. Verder zijn hier geen verhoogde gehalten aan VOCl aangetoond.

Om de werking van het ijzerschermbaan goed te kunnen volgen zijn 2 raaien met peilbuizen (C1 t/m C6) voor, in en achter het ijzerschermbaan geplaatst. Ter plaatse van de peilbuizen C1 t/m C6 blijkt dat in het ijzerschermbaan al een afname van CIS en VC na 1 maand is opgetreden. Direct achter het ijzerschermbaan zijn nog gehalten aangetoond die de interventiewaarden overschrijden. Naar verwachting doven de verhoogde gehalten achter het ijzerschermbaan binnen enkele jaren uit door de werking van het scherm. Aan de onderzijde van het ijzerschermbaan zijn geen verhoogde gehalten aangetroffen. Samenvattend kan gesteld worden dat de monitoring een positief beeld van de verontreinigingssituatie oplevert zoals die zich nu ontwikkelt.

Voor een goede evaluatie van de werking van het ijzerschermbaan zijn meerdere monitoringronden benodigd. Na een jaar monitoren zal de werking van het ijzerschermbaan voor SKB geëvalueerd worden in het tweede SKB-rapport met de titel 'Fase 2: Evaluatierapport werking ijzerschermbaan Katwijk'.

Generieke ontwerprichtlijnen en -criteria

Voor het ontwerpen en dimensioneren van ijzerschermbaanen zijn generieke richtlijnen en criteria opgesteld welke zijn gebaseerd op de richtlijnen uit de VS. Tevens is voor de verankering van de toepassingsmogelijkheden van ijzerschermbaanen een checklist opgesteld die het bevoegd gezag en eindgebruikers kunnen gebruiken om te beoordelen of toepassing van een ijzerschermbaan mogelijk is op een met VOCl verontreinigde locatie. Tevens is op de website van SKB informatie beschikbaar gesteld over het demonstratieproject, de on-site dag, de presentaties en publicaties. Verwacht wordt dat wanneer de goede werking van het ijzerschermbaan in Katwijk wordt aangetoond bevoegde gezagen gemakkelijker zullen kiezen voor een innovatieve en kosteneffectieve beheersing van een VOCl-verontreiniging middels een ijzerschermbaan.

NOTATIES

PER	Tetrachlooretheen
TRI	Trichlooretheen
CIS	Cis 1,2-dichlooretheen
VC	Vinylchloride
pH	Zuurgraad
EC	Elektrische geleidbaarheid
Eh	Redoxpotentiaal
$t_{1/2}$	Halfwaardetijd
C	Concentratie
T	Temperatuur
PV	Poriënvolume
Fe	IJzer
PRB	Permeable Reactive Barrier
VOCl	Chloorkoolwaterstoffen
m .mv.	Meter beneden maaiveld
NAP	Nieuw Amsterdams Peil
v	Stroomsnelheid
k	Doorlatendheid
i	grondwaterverhang
θ	Porositeit
D	Schermdikte
t	Verblijftijd
Cl	Chloride
NA	Natuurlijke afbraak
DOC	Dissolved Organic Carbon

1. INLEIDING

1.1 Algemeen

Reactieve ijzerschermen worden al ruim 15 jaar met succes beproefd in de VS en Canada voor de beheersing van verontreinigingspluimen. In Europa worden ijzerschermen de laatste 5 jaar toegepast in ondermeer in Duitsland, Engeland en Denemarken. Nederland loopt nog enigszins achter bij de toepassing van ijzerschermen en dat terwijl Nederland met haar bodemsaneringbeleid voortdurend voorop loopt. IJzerschermen zijn in Nederland nog geen proven technology. Met dit demonstratie-project is er echter een goede kans dat de implementatie van ijzerschermen in Nederland van de grond komt. De demonstratie in Katwijk betreft het eerste ijzerscherm in Nederland, dat volledig wordt gevuld met een mix van reactief ijzergranulaat en zand.

1.2 Probleemstelling

De toepassing van het ijzerscherm op de locatie in Katwijk is een unieke gelegenheid voor bodemsanerend Nederland. Nog niet eerder is deze techniek in deze vorm toegepast in Nederland, dit terwijl in enkele andere landen binnen Europa alsmede in de Verenigde Staten, Canada, Australië en Japan deze techniek reeds langer wordt toegepast. Onbekendheid met de materie weerhoudt adviseurs ervan om eindgebruikers en bevoegde gezagen te adviseren over de toepassing van ijzerschermen. Daarnaast kiezen eindgebruikers en bevoegde gezagen niet gemakkelijk voor een saneringstechniek die nog niet eerder in Nederland is toegepast. Er dient dus nog draagvlak voor deze techniek in Nederland te worden gecreëerd.

1.3 Doelstelling project

De algemene doelstelling van het demonstratieproject betreft het introduceren van de toepassing van een ijzerscherm binnen de Nederlandse bodemsaneringsmarkt, de goede werking ervan aan te tonen en verdere bekendheid te geven aan het systeem.

Specifieke doelstellingen van de demonstratie

De doelstellingen van de demonstratie zijn meerledig:

- bekendheid geven aan de techniek van ijzerschermen in het algemeen;
- demonstratie van de toepassingsmogelijkheden van ijzerschermen voor de aanpak van grondwaterverontreinigingen met VOCl;
- een nadere dimensionering van de sanering te bepalen uitgaande van de resultaten van een kolomexperiment met ijzer, en de doorlatendheidsmetingen;
- het evalueren van de aanleg van het ijzerscherm op de locatie in Katwijk;
- het verankeren van de toepassingsmogelijkheden van deze techniek bij het bevoegd gezag.

1.4 Samenstelling consortium

De samenstelling van het consortium voor het demonstratieproject ijzerscherm Katwijk is in onderstaand overzicht weergegeven en wordt hieronder nader toegelicht.

Tabel 1.1 Samenstelling consortium demonstratieproject ijzerscherm

Grontmij	Ir. C.M. Soeter	Adviesbureau/penvoerder
Provincie Zuid Holland	Ing. M.R. de Jongh	Eindgebruiker
NTP Milieu	Ing. W.J.M. Havermans	Techniekaanbieder
ETI	S. O'Hannesin M.Sc.	Licentieverstrekker
TNO	Ir. N.K. Hoekstra	Expert

Het demonstratieproject wordt inhoudelijk getrokken door Grontmij en NTP Milieu. Binnen het consortium treedt Grontmij op als penvoerder en adviesbureau. Grontmij is in de loop der jaren bij zeer veel locaties met VOCL-verontreinigingen betrokken, zowel in de onderzoeksfase als in de saneringsfase. Momenteel is Grontmij adviseur van de Provincie Zuid-Holland voor de locatie in kwestie. De provincie Zuid Holland vervult in het demonstratieproject een controlerende en

sturende functie. Zij heeft als eindgebruiker van de locatie het belang de bescherming van het volkstuijnencomplex tot stand te brengen. Aannemer NTP-Milieu treedt binnen het project op als techniekaanbieder en beschikt over een licentie van Envirometal Technologies Inc. (ETI) in Canada voor het plaatsen van ijzerschermen in Nederland. ETI te Canada controleert als licentieverstrekker het ontwerp en de dimensionering van het ijzerscherm. Tot slot zorgt TNO voor een objectieve review van het ontwerp van het ijzerscherm dat Grontmij en NTP-Milieu samen ontwikkelen.

1.5 Leeswijzer

De rapportage is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2: Totstandkoming ijzerscherm Katwijk. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de saneringslocatie in Katwijk, de aanleiding tot de beheersmaatregelen en de totstandkoming van het ijzerscherm.
- Hoofdstuk 3: Ontwerp en dimensionering. In dit hoofdstuk wordt het ontwerp en de dimensionering van het ijzerscherm besproken.
- Hoofdstuk 4: Evaluatie aanleg ijzerscherm. In dit hoofdstuk wordt de aanleg van het ijzerscherm geëvalueerd.
- Hoofdstuk 5: Nulmeting monitoring ijzerscherm. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de resultaten van de nulmeting die vlak na de aanleg van het ijzerscherm is uitgevoerd.
- Hoofdstuk 6: Generieke ontwerprichtlijnen en –criteria. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op generieke ontwerprichtlijnen en –criteria voor het toepassen van ijzerschermen op andere locaties.
- Hoofdstuk 7: Conclusies. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de conclusies die getrokken kunnen worden uit dit demonstratieproject.

2. TOTSTANDKOMING IJZERSCHERM KATWIJK

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt de totstandkoming van het ijzerscherm op de locatie in Katwijk besproken. Als eerste wordt een toelichting gegeven op de locatie, de bodemopbouw en geohydrologie, de verontreinigingssituatie en de afbraakomstandigheden. Vervolgens wordt de aanleiding en de doelstelling voor het treffen van de beheersmaatregelen besproken. Tot slot wordt ingegaan op reactieve schermen, de evaluatie van de keuze van het ijzerscherm en de uitgangspunten en randvoorwaarden voor de toepassing van het ijzerscherm op de locatie.

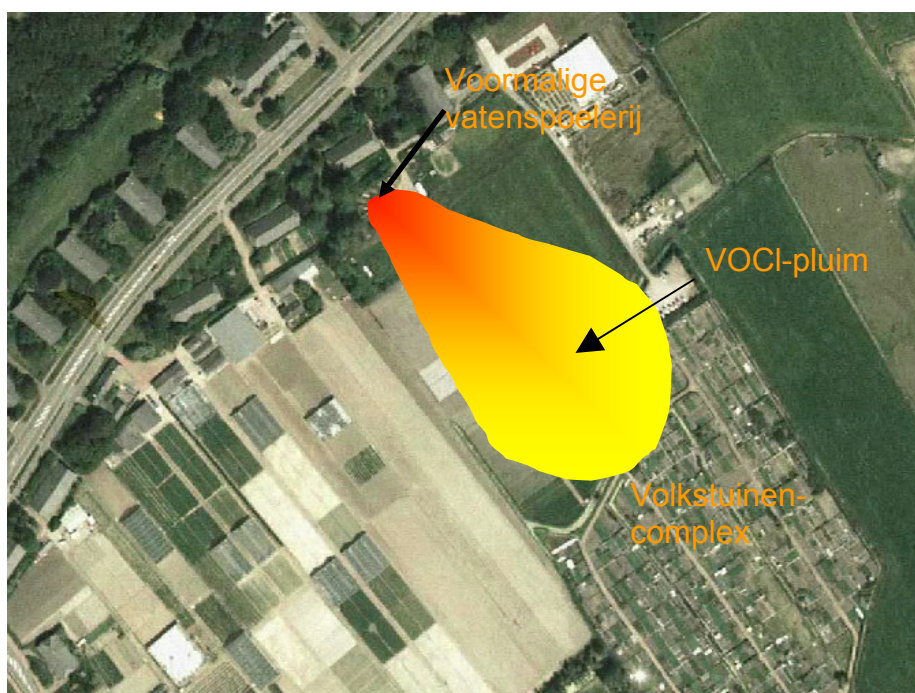
2.2 Toelichting op de locatie

De locatie betreft een voormalig vatenopslagterrein dat zich aan de Wassenaarseweg te Katwijk bevindt nabij het Marinevliegkamp Valkenburg. De geografische ligging van de locatie is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 2.1 Geografische ligging locatie

In figuur 2.2 is een luchtfoto van de locatie met de aangrenzende percelen en de aanwezige verontreiniging weergegeven. Ter plaatse van de locatie Wassenaarseweg te Katwijk en in de directe omgeving hiervan is sprake van een grond- en grondwaterverontreiniging. Het ondiepe en middeldiepe grondwater is tot een afstand van circa 100 m buiten de perceelsgrens van het voormalig vatenopslagterrein overwegend licht tot sterk verontreinigd met chloorkoolwaterstoffen (VOCI) en vluchtige minerale olie. Op circa 100 m stroomafwaarts van de locatie bevindt zich een volkstuintencomplex dat door de verontreinigingspluim met VOCI wordt bedreigd. Het volkstuintencomplex dient tegen de instroom van VOCI beschermd te worden.



Figuur 2.2 Luchtfoto locatie met aangrenzende percelen en verontreinigingspluim

2.3 Bodemopbouw en geohydrologie

Bodemopbouw

Op basis van de grondwaterkaart van Nederland (kaartblad 30 West, Den Haag) en de uitgevoerde boringen is de bodemopbouw geschematiseerd, welke in tabel 2.1 is weergegeven.

Tabel 2.1 Geschematiseerde bodemopbouw

Diepte (m -mv)	Samenstelling	Geohydrologische eenheid	Indeling grondwater
0-0,5	Matig fijn zand	} Deklaag	Ondiep grondwater
0,5-1,5	Siltige klei		
1,5-2,5	Matig fijn zand		
2,5-3,5	Venige klei		
3,5-5,5	Matig fijn zand		Middeldiep grondwater
5,5-6,5	Siltige klei		
6,5-54	Matig fijn zand	1 ^e watervoerend pakket	Diep grondwater
54-64	Klei	1 ^e scheidende laag	1 ^e scheidende laag

De deklaag bestaat afwisselend uit lagen matig fijn zand en siltige klei. Dikte van deze lagen varieert sterk. Op een diepte van circa 5,5 à 6,5 m -mv bevindt zich bij de meeste boringen een uiterst siltige kleilaag met een dikte van variërend van circa 0,5 tot 1,5 m.

Vanaf 6,5 tot 54 m -mv bevindt zich het watervoerend pakket bestaande uit matig fijn zand met naar de diepte toe grof zand. Het watervoerend pakket heeft een dikte van circa 47 m met een doorlaatvermogen van circa 1000 m²/d. Hieronder bevindt zich de eerste scheidende laag met een dikte van circa 10 m, die als hydrologische basis kan worden beschouwd.

Geohydrologie

Kwel/infiltratie

Uit de grondwaterstandgegevens van 2005 blijkt dat ter plaatse van het voormalig vatenopslagterrein sprake is van een lichte infiltratiesituatie. Stroomafwaarts kwelt het water echter

op richting de sloot die gelegen is op de grens met het volkstuienencomplex. Op het volkstuienencomplex vindt tevens drainage plaats waardoor de kwelsituatie hier wordt versterkt.

Vanwege de slechte ontwatering van het terrein, is het mogelijk dat de freatische grondwaterstanden tijdens de winter stijgen waardoor een infiltratiesituatie kan ontstaan ter plaatse van het voormalig vatenopslagterrein. In de zomer, wanneer door verdamping de freatische grondwaterstanden dalen, kan vervolgens een kwelsituatie ontstaan.

Stromingsrichting

De grondwaterstroming in het ondiepe en middeldiepe grondwater is in beeld gebracht aan de hand van de gemeten grondwaterstanden in de peilbuizen. Op basis hiervan, blijkt dat in de deklaag sprake is van een zuidoostelijke grondwaterstroming.

De grondwaterstroming in het diepe grondwater of te wel het eerste watervoerend pakket blijkt op basis van de grondwaterkaart van Nederland (kaartblad 30 West, Den Haag) ook zuidoostelijk gericht te zijn.

2.4 Verontreinigingssituatie

De verontreinigingssituatie is in deze paragraaf beknopt weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de grond- en grondwaterverontreiniging.

Grond

De puinhoudende bovengrond van de onderzoekslocatie is licht tot sterk verontreinigd met zware metalen, PAK, minerale olie, PCB's en drins (som), HCB en HCH. De onderzochte onderliggende bodemlagen zijn niet verontreinigd met genoemde stoffen, met uitzondering van een lokale verontreiniging met arseen in de veenlaag.

Ondiep en middeldiep grondwater

Het ondiepe en middeldiepe grondwater in de deklaag (tot circa 5,0 m –mv) is licht tot sterk verontreinigd met cis 1,2-dichlooretheen en vinylchloride. Met name in het front van de pluim nabij het volkstuienencomplex komen sterk verhoogd gehalten aan cis 1,2-dichlooretheen voor, die de interventiewaarden overschrijden. In bijlage 1 is de verontreinigingssituatie voor het ondiepe en middeldiepe grondwater weergegeven.

Diep grondwater

Het diepe grondwater (tot circa 8,0 à 10,0 m -mv) op en stroomafwaarts van het voormalig vatenopslagterrein is niet verontreinigd met chloorkoolwaterstoffen. In bijlage 1 is de verontreinigingssituatie van het diepe grondwater weergegeven.

Extra monitoringsronde

Op 7 juni 2004 is een extra monitoringsronde van het grondwater uitgevoerd om de noodzaak voor plaatsing van het ijzerscherm te controleren. Uit deze extra monitoringsronde is opnieuw gebleken dat de verontreinigingspluim zich tot onder het volkstuienencomplex heeft verspreid. Teven is op de grens met volkstuienencomplex nu ook sprake van een interventieoverschrijding voor vinylchloride naast de al bekende interventieoverschrijding voor cis-1,2-dichlooretheen. Op grond hiervan heeft Provincie Zuid-Holland besloten dat er beheersmaatregelen moeten worden getroffen om het volkstuienencomplex te beschermen.

2.5 Omstandigheden biologische afbraak

Voor het vaststellen van de omstandigheden voor biologische afbraak zijn in het middeldiepe grondwater de in tabel 2.2 aangegeven macrochemische parameters bepaald. De bevindingen van de metingen en analyses worden hieronder samengevat.

Tabel 2.2 Macrochemische parameters d.d. 8 maart 2004

	instromend	bron	Pluim
Peilbuisnummer	1	5	33
Filtertraject (m -mv)	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00
Zuurstof (O ₂) (in mg/l)	0,50	0,64	0,71
Redox (in mV)	-80	-80	-198
nitraat (mg/l)	2,3	<0,2	4,7
Nitriet (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1
IJzer (2+) (mg/l)	18	6,9	12
sulfaat (mg/l)	72	100	94
sulfide (vrij) (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1
Etheen (µg/l)	<0,25	<0,25	8,5
Ethaan (µg/l)	<0,25	<0,25	1,4
Methaan (µg/l)	<25	<25	260
bicarbonaat (mg/l)	430	540	730
vrij koolzuur (mg/l)	83	130	190
ammonium (mgN/l)	0,7	0,8	0,6
(ortho) fosfaat (mgP/l)	<0,1	0,4	0,7

Redox en zuurstof

Op basis van de in het grondwater op de locatie gemeten redoxpotentialen en zuurstofgehalten kan worden gesteld dat sprake is van anaërobe omstandigheden. Dit zijn in principe gunstige omstandigheden voor de natuurlijke afbraak van chloorkoolwaterstoffen.

Nitraat/nitriet

De gehalten aan nitraat zijn licht verhoogd in het instroom en pluimgebied. Nitriet wordt echter niet aangetroffen. Naar verwachting speelt nitraatreductie dan ook geen grote rol. Indien nitraat in hoge concentraties zou worden aangetroffen zou dit een remmende werking kunnen hebben op de afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen, aangezien nitraat dan als electronenacceptor gebruikt kan worden.

IJzer³⁺/ijzer²⁺

Voor het aantonen van ijzer³⁺ reducerende reacties kan gekeken worden naar het verdwijnen van driewaardig ijzer of het ontstaan van ijzer²⁺ als eindproduct. De gemeten ijzer²⁺ gehalten geven aan dat ijzerreductie plaatsvindt, daar de gehalten vanaf het instroomgebied richting het pluimgebied toenemen.

Sulfaat/sulfide

Variaties in het sulfaatgehalte in het grondwater binnen en buiten de verontreiniging kunnen een indicatie zijn voor het optreden van sulfaatreductie. Bij deze afbraakomstandigheden wordt sulfaat verbruikt en sulfide gevormd. De sulfaatgehalten in de peilbuizen zijn relatief hoog en dit wijst er op dat sulfaatreductie kan optreden. De sulfidegehalten blijken bij alle peilbuizen onder de detectielimiet te liggen. Naar verwachting worden de sulfides wel geproduceerd, echter door dat deze makkelijk complexen vormen met zware metalen komen deze mogelijk niet in oplossing voor. Onder sulfaatreducerende omstandigheden is afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen goed mogelijk.

Etheen, ethaan, methaan

Etheen, ethaan en methaan zijn eindprodukten in de anaërobe afbraakroute van PER en TRI. Deze eindprodukten zijn alleen in de pluim aangetroffen en geven aan dat volledige afbraak mogelijk is. Gezien de relatief geringe concentraties kan gesteld worden dat de afbraak tot etheen, ethaan en methaan relatief langzaam verloopt. Methaan kan daarnaast ook vrijkomen bij vergistingsprocessen indien veel organisch stof voorkomt in de bodem bijvoorbeeld door aanwezigheid van veenlagen. De relatief geringe concentraties aan methaan wijzen niet op methanogene omstandigheden of te wel methanogenese.

Bicarbonaat/vrij koolzuur

Vrij kool zuur wordt over het algemeen bij methanogenese omgezet in methaan. Bicarbonaat wordt ondermeer gevormd bij aërobe afbraak. Gezien de relatief hoge koolzuurgehalten en de geringe gehalten aan methaan treedt methanogenese nauwelijks op.

Ammonium/fosfaat

Ammonium en fosfaat vormen de nutriënten die nodig zijn voor de groei van micro-organismen. De gehalten worden voldoende geacht voor het laten verlopen van natuurlijke afbraak.

Resumé

In het middeldiepe grondwater op de locatie is sprake van anaërobe afbraakomstandigheden met waarschijnlijk overwegend ijzerreducerende en sulfaatreducerend omstandigheden. Naar verwachting speelt nitraatreductie geen grote rol. Het aantreffen van de afbraakparameters (afbraakproducten) cis 1,2-dichlooretheen, vinylchloride, etheen, ethaan en methaan duidt er op dat in het grondwater op de locatie sprake is van biologische afbraak van PER en TRI. Echter de natuurlijke afbraak zorgt niet voor een volledige afbraak van alle VOCI-componenten.

2.6 Aanleiding beheersmaatregelen

Aanleiding tot het treffen van beheersmaatregelen vormen de resultaten van de uitgevoerde grondwatermonitoringen op de locatie en de geconstateerde ontoelaatbare verspreiding van chloorkoolwaterstoffen in het middeldiepe grondwater in de richting van het volkstuintencomplex.

2.7 Doelstelling beheersmaatregelen

Voor bescherming van het volkstuintencomplex dienen zodanige beheersmaatregelen te worden getroffen dat verdere verspreiding van de verontreiniging richting het volkstuintencomplex wordt tegengegaan. Hierbij wordt gestreefd naar een functiegerichte en kosteneffectieve aanpak van de verontreinigingspluim die past bij het gebruik van de locatie. De toepassing van reactieve schermen dient aan te sluiten bij deze doelstelling.

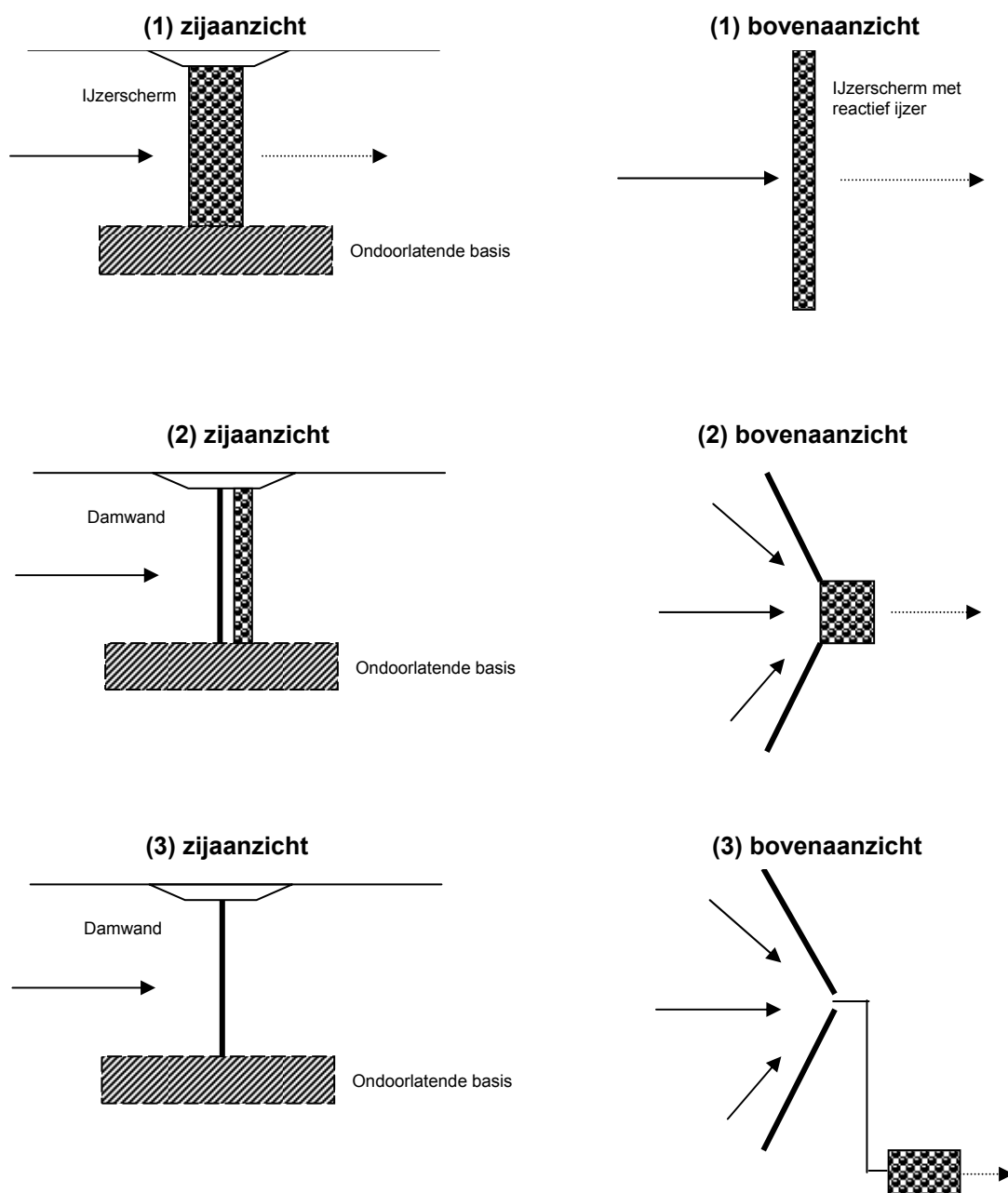
2.8 Reactieve schermen

In april 2004 heeft Grontmij een studie naar beheersmaatregelen¹ verricht om het volkstuintencomplex te kunnen beschermen tegen de instroom van chloorkoolwaterstoffen. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheden om een reactief scherm te plaatsen loodrecht in de stroombaan van de verontreiniging. Een reactief scherm kan meerdere vormen hebben. Hieronder zijn enkele voorbeelden genoemd:

- Permeabel scherm bestaande uit reactief ijzer (1). Het principe van dit type scherm berust op het in-situ afbreken van de VOCI door oxidatie van ijzer. Het scherm bevat nulwaardig ijzer in granulaire vorm, die de gechloreerde koolwaterstoffen reduceren. Bij het doorstromen van de wand worden de VOCI-componenten omgezet naar onschadelijke componenten (etheen/ethaan). Het systeem is passief en het levert geen risico's op voor uitloging van zware metalen. Het ijzer in het scherm heeft een relatieve lange levensduur. Na het aanbrengen is het niet nodig water op te pompen of te zuiveren. Toepassing van een 'ijzerscherm' kan in verschillende variaties. Naast het permeabel scherm is het ook mogelijk een funnel & gate aanpak te volgen waarbij de waterstroom via damwanden wordt geconcentreerd naar enkele openingen waar reactief ijzer is aangebracht (2). Indien de hydrologische situatie dit toelaat is het ook mogelijk het water af te vangen via een damwand en te leiden naar een separate zuivering bestaande uit reactief ijzer (3). Deze drie mogelijkheden zijn in figuur 2.3 visueel toegelicht.
- Biologisch scherm. Nog meer dan een ijzerscherm berust het principe van een biologisch scherm op het creëren van ideale omstandigheden voor de biologische afbraak van verontreinigingen. De meeste biologische schermen bereiken dit door het injecteren van stoffen die direct of indirect de afbraak stimuleren. Voor de aanpak van VOCI verontreinigingen is het creëren van methanogene condities in samenhang met een goede voedsel voorziening de meest gekozen oplossing. In tegenstelling tot een reactief ijzerscherm is voor dit type scherm onderhoud noodzakelijk.

¹ Studie beheersmaatregelen Wassenaarseweg te Katwijk, Toepassing van een ijzerscherm, Grontmij Nederland bv, 13/99047100/CS, 5 april 2004.

Dit onderhoud bestaat meestal uit het circuleren van substraat. Een recente ontwikkeling betreft het toepassen van dragermateriaal in een scherm waarop zich biologie ontwikkelt. Indien dit systeem zich succesvol ontwikkelt, worden de kosten voor instandhouding sterk gereduceerd en vergelijkbaar aan een ijzerscherm.



Figuur 2.3 Verschillende vormen van een reactief ijzerscherm

2.9 Evaluatie keuze voor ijzerscherm

Uit de studie naar beheersmaatregelen is gebleken dat het toepassen van een volledig permeabel ijzerscherm op deze locatie een interessante en kansrijke optie is. Ten opzichte van een geohydrologisch scherm of een bioscherm heeft een ijzerscherm als voordeel dat er geen actieve maatregelen, zoals pompen, zuivering etc. noodzakelijk zijn waardoor de instandhoudingskosten relatief laag zijn (alleen monitoring). Daar komt bij dat een ijzerscherm over het algemeen een lange levensduur heeft.

Uit een vergelijking van de kosten van verschillende type beheersmaatregelen blijkt ook dat de totale kosten voor een ijzerschermbij een instandhoudingsduur van 30 jaar bijna een factor 2 lager zijn ten opzichte van een geohydrologische beheersing of een bioschermbij.

Op basis van de bovenstaande argumenten gaat de voorkeur uit naar de toepassing van een ijzerschermbij. Hierbij is gekozen voor de meest eenvoudige uitvoering, namelijk een volledig permeabel ijzerschermbij.

Dit type is wereldwijd het meest toegepast en heeft tot op heden het minste onderhoud. Daarmee is de duurzaamheid van dit schermtypet het grootst.

In de Verenigde Staten en Canada worden ijzerschermbijen al meer dan 10 jaar met succes toegepast voor het afdammen van verontreinigingspluimen met VOCl. In de meeste demonstratieprojecten bleek dat de ijzerschermbijen een lange levensduur hebben (> 15 jaar) en in principe geen onderhoud vergen.

Het volledig permeabele ijzerschermbij kan langs de terreingrens met het volkstuintencomplex worden aangebracht. Hierdoor wordt de verspreiding van verontreinigingen in het middeldiepe grondwater in de richting van het beschermde gebied voorkomen.

2.10 Uitgangspunten en randvoorwaarden ijzerschermbij

2.10.1 Uitgangspunten

Voor de beheersing middels het ijzerschermbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Het voorgenomen bodemsaneringsbeleid zoals dat is verwoord in het rapport 'Van trechter naar zeef, afwegingsproces saneringsdoelstelling' (oktober 1999) en het eindrapport 'Doorstart A-5'.
- Het Gezamenlijk Bodemsaneringsbeleid van de provincie Zuid-Holland en de gemeenten Dan Haag, Dordrecht, Leiden, Rotterdam en Schiedam (BOBEL) 2003.
- De verontreinigingssituatie, de bodemopbouw en geohydrologie zoals weergegeven in hoofdstuk 2.
- Op basis van de in 2003 en 2004 uitgevoerde monitoringen is geconstateerd dat sprake is van horizontale verspreiding van CIS en VC in het middeldiepe grondwater tot onder het volkstuintencomplex.
- De beheersmaatregelen dienen er voor te zorgen dat conform IBC er geen verdere verspreiding richting het volkstuintencomplex kan optreden.
- Voor de terugsaneerwaarden in het gebied stroomafwaarts van het ijzerschermbij wordt uitgegaan van de tussenwaarde ($\frac{1}{2}$ (S+I)) voor CIS (10 $\mu\text{g/l}$) en VC (2,5 $\mu\text{g/l}$), deze komen overeen met de signaalwaarden uit voorgaande saneringsaanpak met FEB.
- Het eindresultaat van de beheersmaatregelen komt overeen met trede 5 in de saneringsladder.
- Gedurende de beheersing zullen voldoende ijkmomenten ingebouwd moeten worden om het verloop van de beheersing te kunnen volgen.

2.10.2 Randvoorwaarden

De volgende randvoorwaarden zijn gehanteerd voor de beheersing:

- De uitvoering van de beheersmaatregelen dient afgestemd te worden met de gebruiker/eigenaar van de locatie.
- Bij de uitvoering van de beheersmaatregelen moet de hinder en overlast voor de omgeving zoveel als redelijkerwijs mogelijk is, beperkt worden.
- Voor de instandhouding van het reactieve scherm dient de huidige natuurlijke grondwaterstromingsrichting en de kwelsituatie gehandhaafd te blijven op de locatie.
- Er mag als gevolg van de beheersmaatregel geen (onherstelbare) schade optreden aan panden in de omgeving van de locatie.

3. ONTWERP EN DIMENSIONERING

3.1 Inleiding

In juli 2005 heeft Grontmij een ontwerp- en uitvoeringsplan² opgesteld in samenwerking met NTP Milieu. Het ontwerp en de dimensionering van het ijzerscherm wordt in dit hoofdstuk nader omschreven. Als eerste wordt ingegaan op het reactiemechanisme van ijzerschermen, waarna een toelichting op de techniek wordt gegeven. Vervolgens wordt het ontwerp en de dimensionering van het ijzerscherm besproken waarbij gebruik wordt gemaakt van de resultaten van de in september 2004 tot december 2004 door Vito³ uitgevoerde kolomtest⁴ en de doorlatendheidsmetingen.

3.2 Afbraakmechanisme ijzerschermen

Onder anaërobe (zuurstofloze) omstandigheden verloopt de afbraak van PER en TRI volgens onderstaande afbraakroute:



PER TRI CIS VC Etheen Ethaan

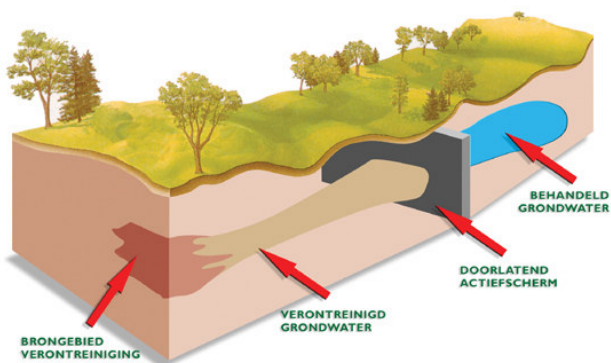
Deze natuurlijke afbraak verloopt in de praktijk relatief langzaam. Wanneer de chloorkoolwaterstoffen in het grondwater met het nulwaardige ijzer in aanraking komen kunnen de volgende redoxreacties optreden:



Uit de vergelijkingen blijkt dat de sequentiële reductie van PER tot etheen spontaan plaatsvindt in de aanwezigheid van nulwaardig ijzer, zonder dat additieven of energie moet worden toegevoegd. Uit de ervaringen met ijzerschermen in de Verenigde Staten en Canada blijkt dat volledige afbraak van PER tot etheen mogelijk is onder invloed van het nulwaardige ijzer en dat deze relatief snel verloopt.

3.3 Toelichting op de techniek

Ijzerschermen zijn prima geschikt voor de aanpak van bodemverontreinigingen met chloorkoolwaterstoffen, zoals per en tri. Deze ontvettingsmiddelen opgelost in het grondwater zijn vanwege de langdurige nalevering moeilijk te saneren door middel van een pump & treat-systeem. Met een ijzerscherm, geplaatst stroomafwaarts van de bronzone van de verontreiniging, wordt de verontreiniging begrensd en wordt de grondwaterverontreiniging achter het scherm verschoond.



Figuur 3.1 Schematische weergave ijzerscherm

² Ontwerp- en uitvoeringsplan Wassenaarseweg te Katwijk, Toepassing van een ijzerscherm, Grontmij Nederland bv, 13/99059029/CS, 1 juli 2005.

³ Vlaamse Instelling voor Technologische Onderzoek.

⁴ "Haalbaarheidstest zerovalent ijzer voor de behandeling van grondwater verontreinigd met VOC's (Katwijk, NL)", Vito, kenmerk 2005/MPT/R/018, maart 2005.

Na de eenmalige installatie zijn de energiekosten voor het in stand houden van het systeem nihil. Daar waar bij andere saneringsconcepten grondwater wordt onttrokken, gezuiverd en geloosd wordt bij een ijzerscherm gebruik gemaakt van de natuurlijke stroomsnelheid van het grondwater, de drijvende kracht achter het systeem.

Voor het aanbrengen van een ijzerscherm wordt voor de aanpak van dit geval in het ondiepe grondwater met een kettingfreesmachine een sleuf gegraven van circa 5,5 meter diepte en 30 centimeter breed. Via een trechter wordt deze sleuf, gelijktijdig met het graven, met een mengsel van zand en ijzergranulaat gevuld, waardoor een scherm ontstaat. Het ijzergranulaat betreft ijzer in pure vorm, zogenaamd nulwaardig ijzer (Fe-0). Zodra de chloorkoolwaterstoffen in aanraking komen met het ijzer ontstaat een oxidatiereactie en worden de stoffen omgevormd tot onschadelijke reststoffen zoals etheen, ethaan en opgelost ijzerchloride. Op een diepte van 5,5 m –mv wordt het scherm aangesloten op een slecht doorlatende kleilaag, die het scherm aan de onderzijde afsluit.

Het op deze wijze toepassen van een ijzerscherm is uniek voor de Nederlandse bodemsaneringsmarkt. De techniek, die onder licentie wordt verstrekt door EnviroMetal Technologies Inc. (ETI) gevestigd in Waterloo, Canada, wordt inmiddels wereldwijd op meer dan 100 locaties toegepast. Met de eerste projectreferentie is inmiddels zo'n 15 jaar van goede functionaliteit aangetoond. In de referentielijst in bijlage 2 zijn een groot aantal van de toegepaste ijzerschermen weergegeven, met een doorverwijzing naar beschrijving op een website. Voor toepassing van de techniek in Nederland is sinds oktober 2003 een licentie verstrekt aan NTP Milieu te Enschede.



Figuur 3.2 Aanleg ijzerscherm in de VS

3.4 Selectie reactief ijzer

Voor het ijzerscherm dient gebruik te worden gemaakt van ijzergranulaat met een hoge reactiviteit. Het is van belang dat zuiver ijzer wordt gebruikt met meer dan 95% nulwaardig ijzer en een geringe hoeveelheid koolstof. Geschikte ijzersoorten zijn:

- Conelly iron uit de VS;
- Metalpulver FeA4 van Gotthart Maier uit Duitsland.

Het Conelly iron uit de VS heeft de hoogste reactiviteit, echter dit ijzer is relatief duur vanwege het overzeese transport. Het ijzer van Gotthart Maier heeft op Conelly iron na de hoogste reactiviteit en wordt in Europa al veel toegepast in ijzerschermen. Dit ijzer wordt speciaal voor deze toepassing door Gotthart Maier geproduceerd. Het heeft een groot specifiek oppervlak en een hoge doorlatendheid. Gezien de goede ervaringen met dit type ijzer uit Duitsland gaat voor de aanleg van het ijzerscherm de voorkeur uit naar dit ijzer.

3.5 Haalbaarheidstest

Ten behoeve van het ontwerp van het ijzerscherm en voor het vaststellen van de juiste dimensionering is in september 2004 tot december 2004 door Vito een haalbaarheidstest uitgevoerd. De haalbaarheidstest bestaat uit een kolomtest, waarmee op laboratoriumschaal het ijzerscherm is nagebootst. In deze kolomtest is grondwater van de locatie geleid door een met

ijzergranulaat gevulde kolom. Op verschillende plaatsen langs de kolom zijn periodiek de VOCl-concentraties gemeten. Op basis hiervan zijn de halfwaardetijden van de verschillende stoffen afgeleid. Aan de hand van de halfwaardetijden, de concentraties in het grondwater en de terugwaneerwaarden van de VOCl is een inschatting van de benodigde verblijftijd in het ijzerscherm gegeven. Deze verblijftijd vermenigvuldigd met de stroomsnelheid van het grondwater bepaald de minimaal benodigde dikte van het ijzerscherm. Een juiste bepaling van de verblijftijd en de stroomsnelheid is dus van cruciaal belang voor het vaststellen van de benodigde dikte van het ijzerscherm vast te stellen. Tevens kan aan de hand van de kolomtest de benodigde verhouding van ijzer en zand in het ijzerscherm worden vastgesteld. Uit onderzoek van ETI blijkt dat er sprake is van een lineair verband tussen de halfwaardetijd van TRI en het benodigde percentage ijzer⁵. De kolomtesten worden door VITO daarom standaard uitgevoerd met 100% ijzer.

In bijlage 3 zijn de resultaten van de kolomtest samengevat. De resultaten van de kolomtest vormen het uitgangspunt voor de dimensionering van het ijzerscherm. Hieronder wordt kort ingegaan op de doelstelling en de conclusies van de kolomtest.

3.5.1 Doelstelling kolomtest

De kolomtest is uitgevoerd met grondwater van de locatie Katwijk en heeft de volgende drie doelstellingen:

- Bepaling van de afbraaksnelheden van VOCl die bereikt kunnen worden met het te gebruiken (granulaire) ijzer voor het ijzerscherm.
- Berekening van de benodigde verblijftijd van het grondwater in het ijzerscherm op basis van de kolomtest.
- Vaststellen in welke mate neerslagen (precipitaties) van mineralen kunnen ontstaan die het afbraakproces kunnen beïnvloeden.

3.5.2 Conclusies kolomtest

Op basis van de chemische samenstelling van het water en de resultaten van de uitgevoerde kolomtest heeft Vito geconcludeerd dat een reactief ijzerscherm haalbaar is voor de locatie in Katwijk. Vito heeft experimenteel vastgesteld dat de belangrijkste VOCl-componenten in het grondwater (CIS en VC) kunnen worden afgebroken tot onder de gestelde normen na een gemiddelde verblijftijd van $67 \pm 12,5$ uur in reactief scherm met 100 % ijzer.

De halfwaardetijden en de verblijftijden die voor de verontreiniging met CIS en VC zijn bepaald, vallen over het algemeen gunstiger uit dan de literatuurwaarden die in de studie beheersmaatregelen beschikbaar waren voor het ijzer uit Duitsland. De kolomtest is langer uitgevoerd dan voorzien, waarbij extra meetrondes zijn verricht om tot betrouwbare concentratieprofielen te komen.

Vito heeft de dikte van het ijzerscherm indicatief berekend op circa 2 cm voor een scherm met 100% ijzer en 10 cm voor een scherm met 20% ijzer. De berekening is gebaseerd op een stroomsnelheid van 2,4 m/jaar, die Grontmij indicatief heeft berekend in de studie beheersmaatregelen. Op basis van de doorlatendheidsmetingen van Grontmij, die in bijlage 4 zijn weergegeven, kan een nauwkeurigere berekening worden gemaakt van de dikte van het scherm.

De levensduur van een ijzerscherm wordt ondermeer bepaald door de anorganische samenstelling van het grondwater en de stroomsnelheid van het grondwater door het ijzerscherm. Het grondwater in Katwijk is tamelijk rijk aan opgeloste stoffen en heeft een relatief hoge alkaliniteit, wat de levensduur op termijn kan beperken. De levensduur van het ijzerscherm wordt zonder onderhoud geschat op minstens 10 tot 15 jaar door Vito en ETI op basis van de anorganische analyses van het grondwater en uitgaande van een stroomsnelheid van 6 m/jaar. Bij een lagere stroomsnelheid is de levensduur naar verwachting minstens 20 jaar.

⁵ TN 3.07 Rationale for the use of Iron/Sand mixtures in PRB installations en publicatie Effect on Temperature and Iron Content on PRB design, May 2004, Fourth International Congress on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey California (zie bijlage 2)

3.6 Dimensionering ijzerscherm

Op basis van de kolomtest en de uitgevoerde doorlatendheidsmetingen kan een nauwkeurige dimensionering van het ijzerscherm worden uitgevoerd. De resultaten van de kolomtest worden daarbij opgeschaald naar een full scale toepassing van het ijzerscherm.

3.6.1 Vertaling kolomtest naar dimensionering in praktijk

Voor de opschaling van de resultaten van de kolomtest naar een full scale toepassing van het ijzerscherm zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de afbraakkinetiek van CIS en VC verloopt volgens kolomexperiment;
- de stroomsnelheid van het grondwater volgt uit de doorlatendheidsmetingen en wordt niet beïnvloed door het volledig permeabele ijzerscherm;
- de doorlatendheid en porositeit van het ijzerscherm is groter dan die van de deklaag waar de verontreiniging zich in bevindt;
- de verontreinigingsgraad van het grondwater kan variëren;
- voor de terugsaneerwaarden achter het scherm is uitgegaan van de tussenwaarden ($\frac{1}{2}(S+1)$), welke overeenkomen met 10 µg/l CIS en 2,5 µg/l VC.

Op grond van de bovenstaande uitgangspunten kan de benodigde dikte van het ijzerscherm worden berekend uit de in het kolomexperiment bepaalde verblijftijd en de stroomsnelheid van het grondwater. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$D = v \cdot t \quad \text{waarin:}$$

D = schermdikte	m
v = gemiddelde stroomsnelheid	m/uur
t = verblijftijd	uur

De schermdikte is berekend voor de gemiddelde en maximale verblijftijd en stroomsnelheid. In tabel 3.1 is de dimensionering weergegeven. De maximale waarden zijn in alle berekeningen van Vito en Grontmij voor elke parameter gebaseerd op het gemiddelde plus de standaarddeviatie.

Tabel 3.1 Dimensionering ijzerscherm

Parameter	Gemiddelde	Maximum
Stroomsnelheid	1,6 ± 0,8 m/jr	2,4 m/jr
Verblijftijd	67 ± 12,5 uur	79,5 uur
Schermdikte 100 % ijzer	1,2 ± 1,0 cm	2,2 cm

Uit de dimensionering blijkt dat de benodigde dikte voor een ijzerscherm gevuld met 100% ijzer slechts 2,2 cm bedraagt. In de praktijk kan een dergelijk dun ijzerscherm niet worden ingegraven. De minimale sleufbreedte die voor een ijzerscherm gehanteerd kan worden bedraagt 30 cm. Het ijzer zal daarom met zand opgemengd worden waarna het in een sleuf kan worden aangebracht.

3.6.2 Mengverhouding ijzer/zand

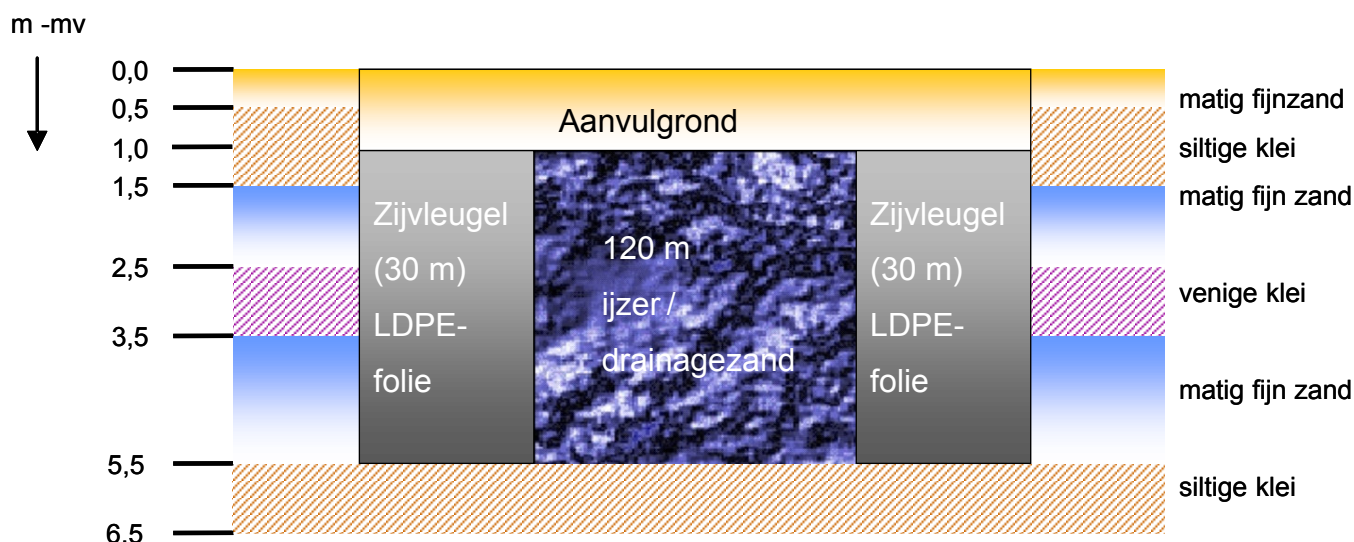
Voor een effectieve werking van het ijzerscherm dient volgens ETI te Canada tenminste 20% ijzer in het scherm verwerkt te worden. De 20 vol.% Ontwerpregel van ETI is opgenomen in bijlage 5 in het Technical 3.13, Specification for construction of a granular Iron PRB using Trenching methods. Hieruit volgt dat indien minder dan 20% ijzer in het scherm zou worden toegepast, de kans bestaat dat verontreinigingsdeeltjes het scherm passeren zonder dat deze in contact komen met de ijzerdeeltjes. Voor het opmengen van het ijzer dient bij voorkeur grof drainagezand gebruikt te worden, zodat de doorlatendheid van het scherm hoog blijft.

Wanneer een sleuf met een breedte van 30 cm wordt opgevuld met 20% ijzer en 80% drainagezand is de effectieve dikte van het ijzer gelijk aan: 30 cm x 0,20 = 6 cm. Uit tabel 3.1 blijkt dat bij deze verhouding de effectieve schermdikte in principe voldoende is. Het ijzerscherm heeft dan een overdimensionering van een factor 2,7.

Het reactieve ijzer dient opgemengd te worden met drainagezand dat een laag kalkgehalte heeft. Dit is van belang om eventuele neerslagen met calcium op het ijzer tot een minimum te beperken en de levensduur te kunnen waarborgen. De levensduur van het ijzerscherm wordt uitgaande van de samenstelling van het grondwater en een gemiddelde stroomsnelheid van 1,6 m/jaar geschat op minstens 20 jaar.

3.7 Ontwerp ijzerscherm

Het ijzerscherm dient over een lengte van 180 m langs de terreingrens te worden aangelegd om de pluim geheel af te kunnen vangen. Voor het ontwerp van het ijzerscherm wordt uitgegaan van een volledig permeabel scherm. Dit is de meest eenvoudige toepassing van het ijzerscherm met de minste hydrologische ingrepen. In bijlage 6 is de ligging van het ijzerscherm langs de aanwezige sloot op de grens met het volkstuinencomplex weergegeven. In dit ontwerp zijn zijvleugels bestaande uit LDPE-folie met een lengte van 30 m opgenomen om de hoeveelheid ijzer te beperken tot een lengte van 120 m. Het grondwater wordt hierdoor aan de randen van het scherm licht afgebogen naar het midden. Het ijzerscherm en het foliescherm kan middels een kettinggraver worden ingegraven in de middeldiepe zandlaag (traject circa 1,0 tot 5,5 m -mv). De kettinggraver vult na het trekken van de sleuf deze weer direct op met een mengsel van ijzer en zand ter plaatse van het beoogde ijzerscherm. In figuur 3.3 is het ontwerp van het ijzerscherm in een dwarsdoorsnede weergegeven.



Figuur 3.3 Ontwerp ijzerscherm in dwarsdoorsnede

3.8 Modelberekeningen

Ter onderbouwing van de beheersmaatregel zijn geohydrologische berekeningen uitgevoerd, waarmee de grondwaterstroming door het scherm kan worden beschouwd. Deze zijn in bijlage 7 weergegeven. Hieruit blijkt dat er geen gevaar is voor een onderstroom van verontreiniging via het eerste watervoerend pakket. In bijlage 7 zijn tevens stoftransportberekeningen opgenomen om inzicht te krijgen in de werking van het ijzerscherm op de verontreiniging met ondermeer CIS.

3.9 Fall back scenario

De werking van het ijzerscherm zal periodiek worden gemonitord. Op de in het monitoringsplan aangegeven ijkmomenten wordt in overleg met het bevoegd gezag de werking geëvalueerd. Hierdoor wordt het mogelijk om, indien noodzakelijk, de beheersing bij te sturen en in het uiterste geval een fall back scenario in werking te stellen.

Voor de beheersing middels het ijzerscherm is voorzien in het volgende fall back scenario. Wanneer een passieve beheersing met het ijzerscherm niet leidt tot een daling van de gehalten tot onder de terugsaneerwaarde stroomafwaarts van het scherm kan gekozen worden voor een

actieve beheersing met behulp van het ijzerscherm. In dat geval kan een geringe hoeveelheid grondwater worden onttrokken achter het scherm en circa 150 m stroomopwaarts weer geïnfiltreerd worden in het brongebied. Het grondwater wordt dan een tweede keer door het scherm geleid. Bijkomend voordeel is dat hiervoor geen bovengrondse zuivering nodig is. Een ander mogelijk fall back scenario kan zijn het versterken van biologische afbraak achter het ijzerscherm door toediening van een geschikt substraat. De kans op een fall back scenario wordt gering geacht aangezien er een haalbaarheidstest (kolomexperiment) is uitgevoerd en een overdimensionering heeft plaatsgevonden.

3.10 Resultaten review ontwerp

Het ontwerp van het ijzerscherm is door ETI in Waterloo Canada en TNO in Apeldoorn gereviewd.

Commentaar van TNO op het ontwerp:

Op 14 juni 2005 is het ontwerp met TNO besproken. Uit dit overleg met TNO is als belangrijkste commentaar naar voren gebracht dat een combinatie van onzekerheden, ondanks het feit dat met de 20 vol-%-ontwerpregel een ruime veiligheidsfactor is ingebouwd, er plaatselijk mogelijk toch onvoldoende ijzer in het scherm zit om te voldoen aan de terugsaneerwaarde. Het betreft met name het effect van de optelling van mogelijke afwijkingen door:

- lokale verschillen in grondwatersnelheden en concentraties aan Cis en VC in het grondwater;
- kleinere schermbreedte als gevolg van instabiliteit van de bodem;
- verschillen in de mengverhouding tussen de hoeveelheden aan ijzer en zand.

Op basis van de optelling van deze afwijkingen adviseert TNO de mengverhouding te verhogen, in ieder geval ter plaatse van het verspreidingsgebied met de hoogst gemeten concentraties.

Commentaar van ETI op het ontwerp:

Op 25 juli 2005 is door ETI schriftelijk commentaar gegeven op het ontwerp voor de toepassing van een ijzerscherm aan de Wassenaarseweg te Katwijk. De opmerkingen die door ETI gemaakt zijn betreffen:

- Op basis van een eerder gepresenteerd ontwerp is de ligging van het ijzerscherm aangepast met meer afgeronde vormen;
- Als gevolg van de ondoorlatende secties van het scherm kunnen ter plaatse hogere stroomsnelheden in de grondwaterstroming ontstaan. Dit is met name een punt van aandacht in de directe omgeving van peilbuis 40, daar waar de hoogste concentraties in het grondwater gemeten zijn;
- Met de 20 vol-% aan ijzer in het scherm, en een theoretische schermdikte van 6 cm, wordt ruimschoots voldaan aan de minimaal benodigde hoeveelheid aan ijzer in het scherm;
- Het ijzer dient te worden opgemengd met zand van een vergelijkbare korrelgrootteverdeling als het ijzer.
- Vanaf het moment van mengen van het ijzer en zand en bij blootstelling aan de buitenlucht dient het mengsel binnen 3 dagen te worden aangebracht.

3.11 Definitief ontwerp

Uitgaande van het Ontwerp- en Uitvoeringsplan en het commentaar van TNO en ETI is het definitief ontwerp door NTP Milieu vastgesteld. In het definitief ontwerp is gekozen voor de uitvoering van de secties Fe/zand en de ondoorlatende secties (zijvleugels) op de volgende wijze:

- Sectie met mengverhoudingen Fe/zand in totaal 120 m:

Voor de uitvoering van het ijzerscherm teneinde een maximale zekerheid te garanderen zal het ijzerscherm over een lengte van 30 m, ter plaatse van peilbuis 40 worden gevuld met een mengsel van ijzer/zand in de verhouding 40:60 vol.% en voor het overige deel over een lengte van 90 m in de verhouding 20:80 vol.%. Einddiepte van het scherm is 5,5 m -mv. bij een breedte van 0,3 m. Bij toepassing van een mengverhouding van 40:60 vol.% is de effectieve dikte van het ijzer gelijk aan: $30 \text{ cm} \times 0,40 = 12 \text{ cm}$. Er is dan sprake van een overdimensionering van een factor 5,4. Gesteld kan worden dat deze extra overdimensionering een maximale zekerheid levert voor de werking van het ijzerscherm.

- Ondoorlatende secties:

Voor de ondoorlatende secties is gekozen voor het aanbrengen van een foliescherm over beide buitensecties, over een lengte van ieder 30 m. Het foliescherm wordt voor beide secties voorzien van een LDPE-folie met een dikte van 1 mm. Dit folie laat geen water door, heeft een goede hoogwaardige chemische bestendigheid en een lange levensduur. Het folie wordt aangebracht van 0,5 tot 5,5 m -mv. en doorkruist het aangelegde ijzerscherm. De holle ruimte naast het folie wordt aangevuld met schone grond uit het depot, en ter plaatse van de doorkruising met het ijzerscherm over een breedte van ca. 1 m aangevuld met het ijzer/zandmengsel.

In figuur 3.4 is schematisch het definitief ontwerp van het ijzerscherm met dimensies weergegeven.

Ijzerscherm:

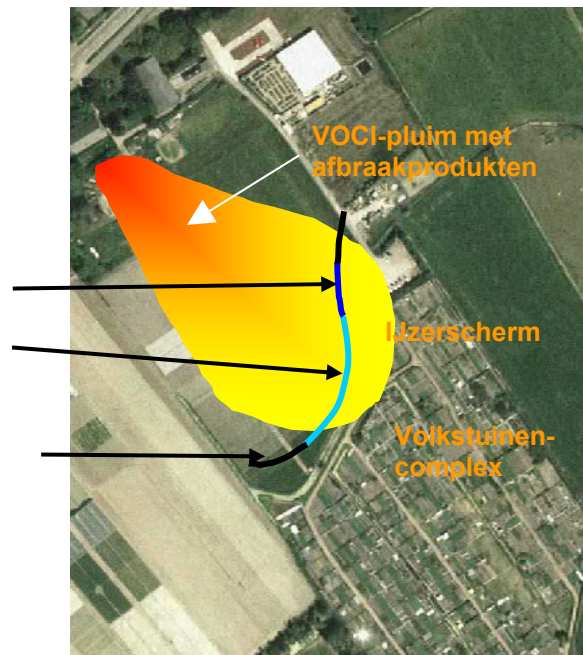
- 180 m totale lengte
- 30 cm breed
- 5,5 m diep

Ijzer/zand verhoudingen:

- 30 m 40/60 in de haard
- 90 m 20/80 overig deel

Foliescherm:

- 2 x 30 m aan beide zijden



Figuur 3.4 Schematisch ontwerp ijzerscherm

3.12 Functionaliteit ijzerscherm

Na de oplevering van het ijzerscherm wordt de functionaliteit of te wel de werking gemonitord met behulp van monitoringspeilbuizen C1 tot en met C6, die voor in en achter het ijzerscherm worden geplaatst. De functionaliteit van het ijzerscherm is aangetoond op het moment dat de concentraties aan CIS en VC in het ijzerscherm zijn afgenomen tot beneden de tussenwaarde (T-waarde: 10 µg/l voor CIS en 2,5 µg/l voor VC). Het ijzerscherm dient binnen een maximale termijn van 4 jaar ná oplevering te voldoen aan bovengenoemde concentraties.

3.13 Garantstelling ijzerscherm

Op 11 januari 2006 heeft NTP Infra bv namens NTP Milieu verklaard dat zij aansprakelijk zal zijn voor de goede en functionele werking van het ijzerscherm aan de Wassenaarseweg te Katwijk voor een periode van 15 jaar bij gelijkblijvende bodemcondities. In geval van een verminderde functionaliteit van het ijzerscherm binnen deze periode van 15 jaar, is NTP Infra BV nog aansprakelijk voor het uitvoeren van eventuele herstelwerkzaamheden van het ijzerscherm en het toepassen van een aanvullende en/of alternatieve techniek.

4. EVALUATIE AANLEG IJZERSCHERM

4.1 Uitvoeringsperiode

De werkzaamheden voor de aanleg van het ijzerscherm zijn gestart op 6 juli 2006 en afgerond op 13 juli 2006. Het terrein is geëgaliseerd in de periode van 20 juli t/m 24 juli 2006 en vervolgens opgeleverd op 28 augustus 2006.

4.2 Voorbereiding

Alvorens daadwerkelijk met de aanleg van het ijzerscherm begonnen kon worden zijn op de locatie de volgende werkzaamheden verricht en voorzieningen getroffen:

- Vooroverleg met de eigenaar en gebruiker van de locatie;
- Taxatie van de gewasschade die ontstaat door de aanleg van het ijzerscherm op het papaver- en sierdistelveld van eigenaar en gebruiker;
- Uitzetten van het tracé van het ijzerscherm en het foliescherm;
- Uitvoering van een Klic-melding voor het uitvoeren van graafwerkzaamheden. Hierbij is opnieuw geconstateerd dat er geen kabels en leidingen in het werkgebied zich bevinden;
- Frezen van het terrein ter plaatse van het tracé van het foliescherm.

4.3 Uitvoering van boringen langs tracé ijzerscherm

Voor de start van de uitvoering van het ijzerscherm zijn 3 boringen op 3 juli 2006 langs het tracé van het ijzerscherm verricht ter controle van de bodemopbouw. De boringen zijn uitgevoerd tot een diepte van circa 9 m –mv. In tabel 4.1 zijn alle boringen langs het ijzerscherm van noord naar zuid uitgezet tegen de diepte van de kleilaag aan de onderzijde van het ijzerscherm, de verontreinigingsgraad en het schermtracé.

Tabel 4.1 Boringen langs ijzerscherm van noord naar zuid

Boring	B1	39	40 ¹⁾	B2 / 32	B3 / 42	43
Diepte kleilaag aan onderzijde ijzerscherm (m –mv)	-	5,7-6,3	5,5 - 6,5	4,9-5,3	4,9-5,9	4,5-9,0
Verontreinigingsgraad	< S	> S < T	> I	< S	> S < T	> S < T
Schermtracé	Folie	folie	40:60	20:80	20:80	folie

1) Gebruikt voor dimensionering ijzerscherm

Uit tabel 4.1 blijkt dat aan de noordzijde de kleilaag ontbreekt ter plaatse van het foliescherm. Hier is echter geen verontreiniging aanwezig. In de haard van de verontreiniging ter plaatse van peilbuis 40 is de kleilaag aanwezig op een diepte vanaf 5,5 m –mv. Naar de zuidzijde komt de kleilaag voor op een diepte vanaf 4,9 en 4,5 m –mv. De aanwezige kleilaag vormt een slecht doorlatende basis die het ijzerscherm aan de onderzijde grotendeels afsluit. De variatie in de kleilaag levert geen risico op voor de werking van het ijzerscherm, aangezien er ook sprake is van een kwelsituatie. De sloot en de drainage op het volkstuintencomplex zorgen in dit geval voor de opwaartse stroming van het grondwater door het ijzerscherm.

4.4 Inrichting werkterrein en tijdelijke depots

De inrichting van het werkterrein en de tijdelijke depots is weergegeven in bijlage 6 en bestond uit de volgende werkzaamheden:

- Aanbrengen van tijdelijk hekwerk;
- Plaatsing van een was- en kleedgelegenheid (decontaminatie-unit) bij de inrit van het werkterrein;
- Plaatsing van een schaftgelegenheid op de parkeerplaats van het volkstuintencomplex;
- Aanbrengen van een dam ter plaatse van de sloot bij de inrit van het werkterrein;
- Aanbrengen van rijplaten ter plaatse van de dam;
- Inrichten van een depot voor de levering van het ijzer/zandmengsel. Het betreft een open container van 30 m³ die half verdiept is aangelegd bij de inrit van het werkterrein;
- Inrichten van een tijdelijk depot voor de tijdelijke opslag van vrijkomende grond. Het depot is voorzien van waterondoorlatende folie.

4.5 Leveranties van ijzer en zand en kwaliteitsspecificaties

Als uitgangspunt voor de aanleg van het ijzerscherm is door NTP ervoor gekozen om het benodigde zand/ijzermengsel gemengd aan te leveren op de locatie in Katwijk. Het mengen van de benodigde hoeveelheid ijzer met betonzand vond plaats op de asfaltcentrale te Bovenveld, gemeente Ommen. Van daar is het ijzer/zandmengsel getransporteerd naar Katwijk en op locatie in depot gezet.

Het benodigde ijzergranulaat (diameter 0,3-2 mm) is afgeleverd door de firma Gotthart Maier, Rheinfelden Duitsland op de menglocatie, in 213 big bags met een gewicht van circa 0,6 ton per stuk. Het granulaat is van het type FG 0300/2000. De technische gegevens zijn opgenomen in bijlage 8. In totaal is 127,8 ton ijzer geleverd door Gotthart Maier.

NTP heeft de kwaliteitsspecificaties geverifieerd bij de leverancier tijdens productie van het ijzergranulaat. Het ijzergranulaat van dit type is hetzelfde als het ijzergranulaat waarmee door het onderzoekslaboratorium van Vito de kolomtest is uitgevoerd.

In vergelijking met de korrelgrootteverdeling van het ijzergranulaat is door NTP gezocht naar het type zand dat qua verdeling hierbij het beste paste. Voor de menging is uit de directe omgeving geschikt grof zand gevonden afkomstig van de zandexploitatie "Het Hogebroek" te Raalte. Het zand van het type metselzand (0-2 mm) is qua korrelgrootteverdeling het beste vergelijkbaar met de korrelgrootteverdeling van het ijzergranulaat.

In bijlage 8 is een grafiek opgenomen waarin beide grondstoffen nader met elkaar zijn vergeleken. De zandexploitatie 'Het Hogebroek' is gecertificeerd volgens de BRL 9313 "Zand uit dynamische wingebieden". Producten uit dit wingebied voldoen aan de milieutechnische specificatie van het Bouwstoffenbesluit en waarvoor geen nadere beperkingen gelden voor toepassing als schone grond. De specificaties van het drainzand zijn in bijlage 8 weergegeven. Het carbonaatgehalte is bepaald op < 0,5 %. In totaal is 203,44 ton zand geleverd door zandexploitatie 'Het Hogebroek'.

4.6 Mengen van ijzer en zand

Op 7 juli 2006 is het ijzer en zand in de juiste verhouding gemengd in de asfaltcentrale op de locatie Bovenveld, gemeente Ommen. Menging heeft plaatsgevonden door beide grondstoffen vanuit een voorraadbuffer te leiden over een transportband en deze processtroom te leiden naar een menger. Het zand is voorafgaand aan het mengen gedroogd in een trommeloven. Hiermee is voorkomen dat het ijzer direct na het mengen gaat oxideren. Het uitkomende mengsel is door de kwaliteitsdienst van NTP en samen met Grontmij gecontroleerd op de juiste mengverhouding. De mengverhouding is gecontroleerd door het mengsel te scheiden door middel van een magnetische separatie (zie bijlage 5 Ontwerpregels ETI: TN 3.13 Appendix A Magnetic Separation Testing Procedure).



Figuur 4.1 Menginstallatie



Figuur 4.2 IJzergranulaat



Figuur 4.3 Gemengd produkt



***Figuur 4.4 magnetische
separatie van ijzer***

In bijlage 8 zijn de controles van de mengverhoudingen weergegeven. Hieruit blijkt dat het percentage ijzer in de partijen met de mengverhoudingen ijzer/zand van 40:60 vol % en 20:80 vol % in orde is. De mengverhoudingen in de partijen zijn op basis van de controle gemiddeld 22:78 vol % en 42:58 vol %. Ook blijkt dat na het transport van de ijzer/zand mengsels de mengverhouding niet gewijzigd is.

4.7 Aanleg ijzerscherm

Op basis van het ontwerp is uitgegaan van een totale scherm lengte van 180 m bestaande uit een middensectie met ijzer/zand over een lengte van 120 m en een diepte van 1 tot 5,5 m -mv en met aan beide weerszijden twee ondoorlatende secties van ieder 30 m (foliescherm).

Op maandag 10 juli 2006 is gestart met het aanbrengen van het ijzer/zandmengsel met behulp van de kettinggraver. Hierbij is de sectie van 120 m over een lengte van 30 m, ter plaatse van peilbuis 40, voorzien van een ijzer/zand mengsel in de verhouding 40:60 vol % en voor het overige gedeelte in een verhouding van 20:80 vol %. De kettinggraver die is weergegeven in figuur 4.5 heeft een sleuf gefreesd met een breedte van circa 0,3 m tot een diepte van 5,5 m -mv. De sleuf is aangevuld met behulp van een sleepbak met trechter die achter de ketting door de bodem wordt voortbewogen. Gelijktijdig met het frezen is de sleepbak gevuld door een graafmachine met het ijzer/zand mengsel (zie figuur 4.6).

Op dinsdag 11 juli is het laatste deel van het ijzer/zand mengsel in de verhouding van 20:80 vol % aangebracht. Het ijzerscherm is aan de zuidkant 5 m langer gemaakt aangezien er nog ijzer/zand mengsel over was. Het ijzerscherm is met een gemiddelde snelheid van 10 m/uur gerealiseerd.



Figuur 4.5 Aanleg ijzerscherm met kettinggraver



Figuur 4.6 Vullen met ijzer/zand mengsel

Na het aanbrengen van het ijzerscherm is op woensdag 12 juli de breedte van het ijzerscherm gecontroleerd tijdens het voorgraven van het foliescherm (zie figuur 4.7). In figuur 4.8 is te zien dat de gerealiseerde breedte van het ijzerscherm 22 cm is.



Figuur 4.7 Vrijgraven ijzerscherm



Figuur 4.8 Opmeten ijzerscherm

Dit komt ondermeer doordat de sleepbak die achter de ketting wordt voortgetrokken enigszins smaller is. Uit controlemetingen is gebleken dat de ketting een breedte heeft van 30 cm en de sleepbak een breedte heeft van 25 cm. Daarnaast is enige verdichting van de grond opgetreden door het gewicht van de kettinggraver op de slappe ondergrond. De gerealiseerde breedte van 22 cm vormt echter geen risico voor de werking van het scherm. De effectieve breedte voor een ijzerscherm met 20% ijzer is namelijk 11 cm ($= 2,2 / 0,20$). De overdimensionering van het ijzerscherm bedraagt nu dus een factor 2 in plaats van een factor 2,7. In de haard van de verontreiniging waar 40% ijzer is toegepast bedraagt de overdimensionering nu een factor 4 in plaats van 5,4.

4.8 Aanleg foliescherm

Op woensdag 12 juli 2006 is het foliescherm ter plaatse van de twee buitenvleugels over een lengte van 30 m aangelegd. Het tracé van de buitenvleugels is van te voren met een graafmachine voorgegraven, vier meter breed en halve meter diep. Het foliescherm is aangebracht met behulp van de kettinggraver waarop een cassette met een rol LDPE-folie is gemonteerd (zie figuur 4.9). Het LDPE-folie heeft een dikte van 1 mm, laat geen water door, heeft een goede chemische bestendigheid en lange levensduur.

Aan de noordzijde van het ijzerscherm is vanaf de sloot het LDPE-folie getrokken waarbij het ijzerscherm in een hoek van circa 120° is gekruist. In de revisietekening in bijlage 6 is de ligging van het ijzerscherm en foliescherm met GPS-metingen in beeld gebracht. Tijdens het trekken van het LDPE-folie kwam veel slappe kleigrond vrij in het voorgegraven tracé (zie figuur 4.10). De totale lengte van het aangebrachte foliescherm bedraagt 29 m.



Figuur 4.9 Kettinggraver met folie in cassette



Figuur 4.10 aanbrengen foliescherm

Aan de zuidzijde van het ijzerscherm is het LDPE-folie andersom getrokken van west naar oost. De eerste poging om de kettinggraver in het voorgegraven tracé naar beneden te rijden mislukte vanwege de slappe ondergrond. De aannemer heeft vervolgens circa 10 m^3 slappe klei ontgraven en circa 7 m^3 met ijzer/zand mengsel aangevuld. Vervolgens kon de kettinggraver starten met het aanbrengen van het foliescherm. Na de aanleg van circa 10 m LDPE-folie heeft de aannemer een 2^e rol folie met een lengte van 27 m meelaten draaien. De foliedelen zijn daarbij strak op elkaar gelegd en hebben een overlap van circa 15 m. De folieovergang is zodanig gemaakt dat het grondwater in oostelijke richting goed afstroomt.

Circa 6 m voor de geplande kruising met het ijzerscherm is de kettinggraver weggezakt in de reeds aangebrachte sleuf met het ijzer/zand mengsel. Vervolgens is met een 50 tons kraan de kettinggraver losgetrokken. Het LDPE-folie kon daarbij niet meer het ijzerscherm kruisen vanwege de beperkte ruimte tot de sloot en is daarom circa 12 m langs het ijzerscherm doorgetrokken (zie revisietekening bijlage 6). De afstand tussen het LDPE-folie en het ijzerscherm bedraagt daarbij circa 0,5 m. Gezien de grote overlap van circa 12 m tussen het LDPE-folie en het ijzerscherm en het feit dat de grondwaterstroming in oostelijke richting wordt afgebogen is er geen risico op het ontsnappen van de grondwaterverontreiniging tussen beide schermen. De totale lengte van het aangebrachte foliescherm bedraagt 37 m.

4.9 Verwerkte hoeveelheden materialen

In tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de totale hoeveelheden aan vrijkomende en te gebruiken materialen voor het ijzerscherm zoals vermeld in het plan van aanpak. De hoeveelheid ijzer en zand die verwerkt is in het ijzerscherm komt goed overeen met de inschatting die is gemaakt in het plan van aanpak.

Tabel 4.2 Massabalans aanleg ijzerscherm

Dimensies scherm	Voorgegraven zijvleugels	Kettingfreen sleuf	Aanvullen ijzerscherm (Fe:zand)		
			20:80 (vol.%)	40:60 (vol.%)	
Lengte (m)	60	120	90	30	
Breedte (m)	4	0,3	0,3	0,3	
Begin (m)	0	0	0,9	0,9	
Einddiepte (m)	0,5	5,5	5,5	5,5	
Volume (m^3)	120	198	125	42	
					Totalen ijzerscherm
	Grond in cunet en egaliseren na aanbrengen foliescherm	Grond in depot waarvan aan te vullen sleuf 0 tot 1 m -mv. : (m^3)	Fe: 25 m^3	17 m^3	42 m^3 Fe
			Zand: 100 m^3	25 m^3	125 m^3 Zand
			Fe: 75 ton	50 ton	125 ton Fe
			Zand: 160 ton	40 ton	200 ton Zand

Het volume aan vrijgekomen grond die in depot is gezet bedraagt circa 203 m³ en heeft een gewicht van circa 365 ton. Deze partij grond is gekeurd volgens het Bouwstoffenbesluit door adviesbureau Certicon. Uit het keuringsrapport blijkt dat de partij is beoordeeld als schone grond en deze multifunctioneel toepasbaar is. De schone grond is derhalve in overleg met de eigenaar gebruikt voor het egaliseren van het werkterrein.

4.10 Veiligheid

Voor de aanleg van het ijzerscherp zijn door de aannemer in het draaiboek de veiligheidsklasse opgenomen. Op basis van de aard en de omvang van de verontreiniging is door ACTA de veiligheidsklasse vastgesteld op 3T en 1F.

Ter controle van de omgevingslucht zijn luchtmetingen verricht met een PID-meter die het totaal gehalte aan koolwaterstoffen meet. Er zijn geen verhoogde gehalten aan koolwaterstoffen vastgesteld tijdens de aanleg van het ijzerscherp. De benodigde veiligheidsmaatregelen en persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) zijn hierop afgestemd door de aannemer.

5. NULMETING MONITORING IJZERSCHERM

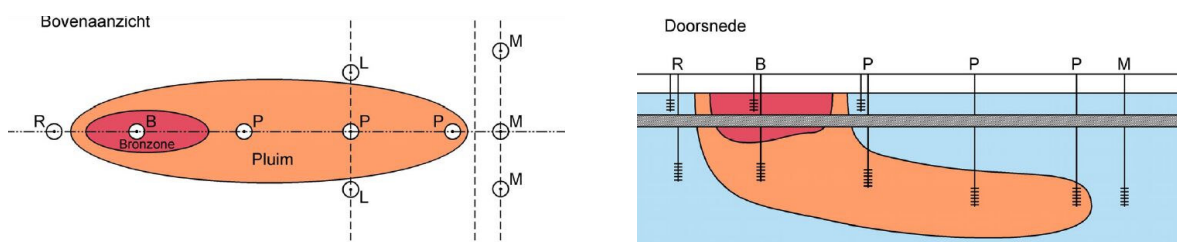
5.1 Algemeen

De monitoring heeft als doel om enerzijds de werking van het ijzerscherm aan te tonen en anderzijds de concentraties in de bron en de pluim van de verontreiniging te volgen. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de resultaten van de nulmeting die een maand na de aanleg van het ijzerscherm is uitgevoerd.

5.2 Monitoringstrategie

De monitoring is gericht op het toetsen van de pluimontwikkeling aan de voorspellingen. In figuur 5.1 is volgens het praktijkdocument ROSA⁶ de te volgen monitoringsstrategie aangegeven. Tevens is rekening gehouden met de richtlijnen van ETI⁷ en OVAM⁸ voor het monitoren van een ijzerscherm. Het monitoringsnetwerk is opgebouwd uit een aantal monitoringspeilbuizen:

- in de bronzone (B) om de afname van de bronconcentraties te bepalen;
- in de pluimzone (P) om de ontwikkeling van de concentraties over de lengte-as van de pluim te monitoren;
- die loodrecht of lateraal (L) op de pluim zijn gesitueerd, om mogelijke afwijkingen in de verspreidingsrichting te kunnen bepalen;
- die het front of de monitoringslijn (M) van de pluim controleren;
- die als referentie (R) dienen om stroomopwaarts te controleren of geen andere verontreinigingen instromen.



Figuur 5.1 Monitoringsstrategie (Bron: ROSA)

De meetresultaten van de monitoring worden gebruikt voor:

1. het aantonen van de werking van het ijzerscherm;
2. het volgen van de concentraties in bron en pluim om vast te stellen of eventuele uitdoving van de verontreiniging plaatsvindt;
3. het beschermen van de omgeving door controle van het front van de pluim. Dit is direct stroomafwaarts van het ijzerscherm;
4. het eventueel bijsturen van de beheersing middels het ijzerscherm.

5.3 Uitbreiding monitoringsmeetnet

Voor het vaststellen van de nulsituatie op het volkstuinencomplex en voor de monitoring van het ijzerscherm is het monitoringsnetwerk uitgebreid. Ten behoeve van de uitbreiding van het meetnet van peilbuizen zijn de in tabel 5.1 vermelde peilbuizen geplaatst in het middeldiepe grondwater (3-4 m -mv).

⁶ RObuust SAneren: Handreiking voor het maken van keuzes en afspraken bij mobiele verontreinigingen september 2005.

⁷ Monitoring of Iron Permeable Reactive Barriers Technical note 4.01 van Envirometal Technologies Inc. (ETI) Canada

⁸ Code van de Goede praktijk Reactieve ijzerwanden van OVAM Vlaanderen

Tabel 5.1 Uitbreiding meetnet

Peilbuisnummer	Locatie	Motivatie
51 en 56	2 peilbuizen op uiteinde ijzerscherm	Controle of er geen verontreinig om het scherm heen stroomt
52 t/m 55	4 peilbuizen in volkstuintencomplex	Nulsituatie vastleggen en controle benedenstrooms van het ijzerscherm
C1 t/m C6	2 raaien met totaal 6 peilbuizen voor, in en achter ijzerscherm	Monitoring werking ijzerscherm

Om de werking van het ijzerscherm goed te kunnen volgen, zijn de peilbuizen C1 t/m C6 in twee raaien op 1 m afstand van elkaar geplaatst vanwege de geringe grondwaterstroming van gemiddeld 1,6 m/jr. De peilbuizen zijn afgewerkt met een stalen beschermkoker.

Ter controle van de onderzijde van het ijzerscherm is bij peilbuis C1 een tweede peilbuis C1-2 met filterstelling 5,5-6,5 m -mv geplaatst. Voor de plaatsing van de peilbuizen C2 en C5 in het ijzerscherm is het scherm direct na aanleg vrij gegraven. Vervolgens zijn de peilbuizen midden in het ijzer/zand mengsel geplaatst. Het uitkomende materiaal is gecontroleerd en bleek in beide geval te bestaan uit het ijzer/zand mengsel. In figuur 5.2 zijn de peilbuizen C1 t/m C6 weergegeven.



Figuur 5.2 Foto peilbuizen C1 t/m C6 ter plaatse van het ijzerscherm

Voor de bemonstering van de peilbuizen C2 en C5 in het ijzerscherm is speciale bemonsteringswijze van toepassing. De peilbuizen mogen bij bemonstering niet voorgepompt worden om te voorkomen dat grondwater van buiten het scherm wordt aangetrokken. Tevens dienen deze peilbuizen met een lage flow bemonsterd te worden.

5.4 Bemonsterings- en analyseprogramma

Voor de monitoring van de verontreiniging is de in tabel 5.2 vermelde selectie van peilbuizen gemaakt. De grondwatermonsters worden op VOCl inclusief vinylchloride en op vluchtige oliën geanalyseerd. Voor de situering van de monitoringspeilbuizen wordt verwezen naar bijlage 6.

Tabel 5.2 Monitoringprogramma VOCl

Peilbuisnummer	Grondwater	Motivatie
5 en 6	Middeldiep	Verificatie concentraties bronzone (B)
11-1, 19-2, 37	Middeldiep	Verificatie concentraties midden in de pluimzone (P)
39-2, 40-2, 42 en 44	Middeldiep	Verificatie langs het scherm in de pluimzone (P)
51 en 56	Middeldiep	Verificatie concentraties lateraal (L)
38, 52, 53, 54 en 55	Middeldiep	Verificatie monitoringlijn (M) in volkstuintencomplex
1	Middeldiep	Verificatie referentiefilter (R)
C1 t/m C6	Middeldiep	Verificatie werking ijzerscherm

5.5 Monitoring macrochemie

De monitoring van de macrochemie is enerzijds gericht op de monitoring van de afbraak-omstandigheden in de bron en pluim en anderzijds gericht op het volgen van de werking van het ijzerscherm. Hierbij is uitgegaan van de volgende macrochemische parameters:

- pH, geleidbaarheid, zuurstof en redoxpotentiaal (veldmetingen);
- nitraat/nitriet, ijzer totaal/ijzer²⁺, sulfaat/sulfide, bicarbonaat/ vrij koolzuur, DOC en chloride;
- etheen, ethaan, methaan.

Voor de monitoring van de afbraakparameters is de in tabel 5.3 vermelde selectie van peilbuizen gemaakt.

Tabel 5.3 Monitoringsprogramma

Peilbuisnummer	Grondwater	Motivatie
5	Middeldiep	Verificatie afbraak bronzone (B)
40	Middeldiep	Verificatie afbraak langs het scherm in de pluimzone (P)
52	Middeldiep	Verificatie monitoringlijn (M) in volkstuintencomplex
1	Middeldiep	Verificatie referentiefilter (R)
C1 t/m C6	Middeldiep	Verificatie werking ijzerscherm

5.6 Bemonsteringsfrequentie en ijkmomenten

In de eerste jaren van de beheersing is het wenselijk om met hoge frequentie de peilbuizen te monitoren. Dit heeft als voordeel dat snel inzicht wordt verkregen in de werking van het ijzerscherm. In de fasen daarna kan de frequentie van de metingen worden teruggebracht. In tabel 5.4 zijn bemonsteringsfrequenties en ijkmomenten aangegeven zoals die in ROSA zijn aangegeven.

Tabel 5.4 Bemonsteringsfrequentie peilbuizen en ijkmomenten (Bron: ROSA)

Jaar (tijdens sanering)	Bemonsteringsfrequentie	Ijkmoment (op x jaar)
1-5	1-2x	1 en 5
5-10	1-2x	5-10
10-30 en > 30	1x tot 1x/2-3 jaar	Elke 5 jaar

Op de aangegeven ijkmomenten wordt in overleg met het bevoegd gezag de werking van de beheersmaatregel geëvalueerd en kan de beheersing en/of het monitoringsprogramma eventueel worden bijgesteld. De voortgang van de beheersing wordt vastgelegd in een voortgangsrapport.

Conform het Ontwerp- en uitvoeringsplan wordt voor de monitoring op VOCl in de peilbuizen serie 1-56 uitgegaan van een bemonsteringsfrequentie van tweemaal in het eerste jaar en vervolgens eenmaal per jaar gedurende de eerste 10 jaar. Daarna wordt uitgegaan van een monitoring van eenmaal per 2 jaar.

De peilbuizen C1 t/m C6 die direct voor, in en achter het ijzerscherf zijn geplaatst, worden viermaal in het eerste jaar gemonitord op VOCl. Deze peilbuizen leveren directe informatie over de werking van het ijzerscherf.

Voor de monitoring op vluchtige olie en macrochemie in de peilbuizen serie 1-56 wordt uitgegaan van een monitoringsfrequentie van eenmaal per jaar. Voor de monitoring van de macrochemie in de peilbuizen C1 t/m C6 wordt uitgegaan van een monitoringsfrequentie van tweemaal per jaar.

In tabel 5.5 is de bemonsteringsfrequentie met het aantal analyses voor het eerste jaar na de aanleg samengevat.

Tabel 5.5 Bemonsteringsfrequentie peilbuizen en aantal analyses eerste jaar

Monitoring	Nulmeting (stuks)	Frequentie (1 x per jaar)	Frequentie (2 x per jaar)	Frequentie (4 x per jaar)	Totaal per jaar (stuks)	Totaal incl. nulmeting (stuks)
peilbuizen serie 1-56 op VOCl	17		X		34	51
peilbuizen C1 t/m C6 op VOCl	6			X	24	30
Totaal VOCL	23				58	81
peilbuizen serie 1-56 op vluchtige olie	17	X			17	34
peilbuizen serie 1-56 op macrochemie	4	X			4	8
peilbuizen C1 t/m C6 op macrochemie	6		X		12	18
Totaal macrochemie	10				16	26

5.7 Waterpassing en opname grondwaterstanden

Om inzicht te verkrijgen in de lokale geohydrologische situatie, ondermeer achter het ijzerscherf, zijn alle nieuw geplaatste peilbuizen gewaterpast ten opzichte van NAP. De grondwaterstanden worden tijdens de monitoringronden opgenomen. Op basis hiervan wordt het grondwaterstromingspatroon in beeld gebracht.

5.9 Resultaten nulmeting verontreiniging

De analyseresultaten van de nulmeting zijn getoetst aan de toetsingswaarden die door het Ministerie van VROM, in het kader van de Wet bodembescherming zijn vastgelegd in de circulaire "Streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering" en bijbehorende aanvullingen. De getoetste waarden van de VOCl-verontreiniging zijn op tekening weergegeven in bijlage 9 en worden hieronder besproken.

5.9.1 Monitoring verontreiniging bron en pluim

Over het algemeen blijkt dat de gehalten aan VOCl lager zijn dan bij voorgaande monitoringronden. Dit kan mogelijk samenhangen met de regen die in de periode van de bemonstering is gevallen. In het volkstuinencomplex zijn voor VOCl enkele streefwaarde overschrijdingen (peilbuis 54 en 55) en een tussenwaarde overschrijding (peilbuis 53) waargenomen. Verder zijn hier geen verhoogde gehalten aan VOCl aangetoond. Ook zijn er in het volkstuinencomplex geen gehalten aan vluchtige olie waargenomen.

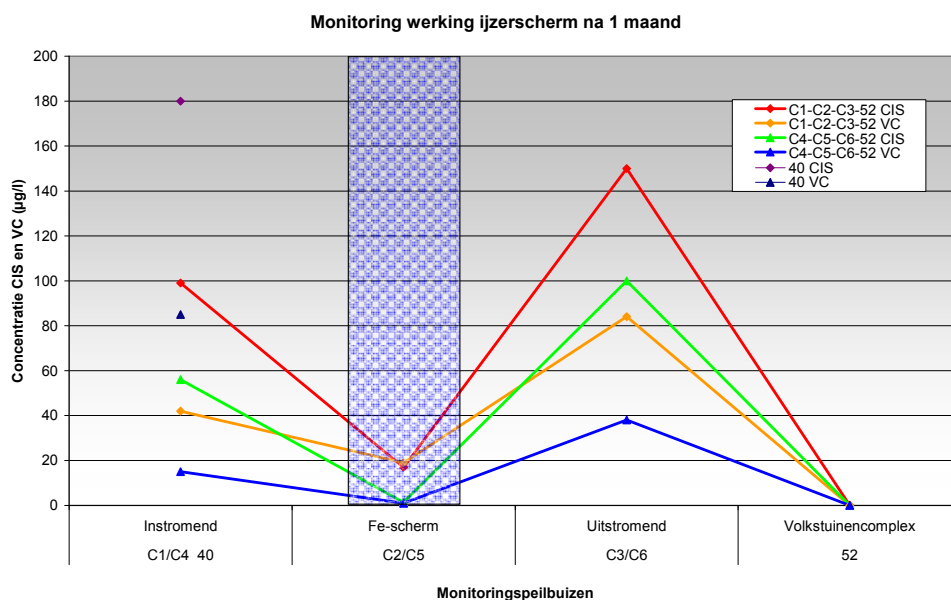
5.9.2 Monitoring verontreiniging ijzerscherf

De resultaten van de peilbuizen C1 t/m C6 voor, in en achter het ijzerscherf zijn in tabel 4.3 vermeld en weergegeven in figuur 5.6.

Tabel 5.6 Analyseresultaten VOCl ijzerscherf d.d. 11-08-2006

Positie bij ijzerscherf	Voor	In	Achter
Peilbuisnummer	C1	C2	C3
Filtertraject (m -mv)	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00
CIS	99	17	150
VC	42	19	84
Peilbuisnummer	C4	C5	C6
Filtertraject (m -mv)	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00
CIS	56	1,4	100
VC	15	0,95	38

Uit de tabel en figuur 5.3 blijkt dat er al een afname van CIS en VC in het ijzerscherf na 1 maand is opgetreden. Direct achter het ijzerscherf zijn in C3 en C6 nog gehalten aangetoond die de interventiewaarden overschrijden. Naar verwachting zullen de verhoogde gehalten achter het ijzerscherf binnen enkele jaren uitdoven door de werking van het scherm. Aan de onderzijde van het ijzerscherf zijn in C1-2 geen verhoogde gehalten aangetroffen. Samenvattend kan gesteld worden dat de monitoring een positief beeld van de verontreinigingssituatie oplevert zoals die zich nu ontwikkelt.



Figuur 5.3 Monitoring gehalten CIS en VC ijzerscherf

5.10 Resultaten nulmeting macrochemie

De macrochemie is in beeld gebracht om enerzijds de afbraakomstandigheden in de bron en pluim te monitoren en anderzijds de werking van het ijzerscherf te volgen.

5.10.1 Monitoring macrochemie in bron en pluim

Voor het vaststellen van de afbraakomstandigheden in de bron en pluim zijn de in tabel 5.7 aangegeven macrochemische parameters over een stroombaan bepaald.

Tabel 5.7 Macrochemische parameters over stroombaan d.d. 11-08-2006

	Instromend	Bron	Pluim	Uitstromend
Peilbuisnummer	1	4	40	52
Filtertraject (m -mv)	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00
Zuurgraad (pH)	6,86	6,75	6,78	7
Geleidbaarheid (mS/m)	960	2660	1210	1200
Zuurstof (O ₂) (in mg/l)	1)	1)	1)	1)
Redox (in mV)	-43	-58	-56	-96
Nitraat (mg/l)	<0,2	<1	<0,2	<0,2
Nitriet (mg/l)	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1
Ijzer (2+) (mg/l)	0,1	3,2	<0,01	0,4
Ijzer totaal (µg/l)	6400	3000	9100	11000
Sulfaat (mg/l)	<2	140	99	37
Sulfide (vrij) (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Etheen (µg/l)	<0,25	<0,25	17	<0,25
Ethaan (µg/l)	<0,25	0,90	0,75	0,61
Methaan (µg/l)	62	1400	260	98
Bicarbonaat (mg/l)	440	550	650	550
Vrij koolzuur (mg/l)	47	61	120	110
Ammonium (mgN/l)	1,4	5,0	1,3	2,9
D.O.C. (mg/l)	35	58	38	25

1) In verband met regen tijdens de bemonstering kon geen juiste zuurstofmeting worden verricht

Uit de macrochemie in tabel 5.7 kan worden opgemaakt dat:

- de pH in de stroombaan vrij neutraal is;
- de geleidbaarheid in de bronzone hoger is dan in de omgeving;
- gezien de negatieve redoxpotentiaal er sprake is van anaërobe omstandigheden;
- nitraat afwezig is en er geen nitraatreductie kan optreden;
- er overwegend sprake is van ijzer- en sulfaatreducerende omstandigheden;
- door de geringe gehalten aan de eindproducten etheen en ethaan de biologische afbraak relatief langzaam verloopt;
- er sprake is van enige methaanvorming in de bronzone;
- bicarbonaat en vrijkoolzuur vrij constant zijn in de stroombaan;
- het DOC van nature tamelijk hoog is door het voorkomen van veen en klei.

5.10.2 Monitoring macrochemie ijzerscherm

Voor het volgen van de werking van het ijzerscherm zijn de in tabel 5.8 aangegeven macrochemische parameters bepaald. Uit de tabel kan worden opgemaakt dat in het ijzerscherm:

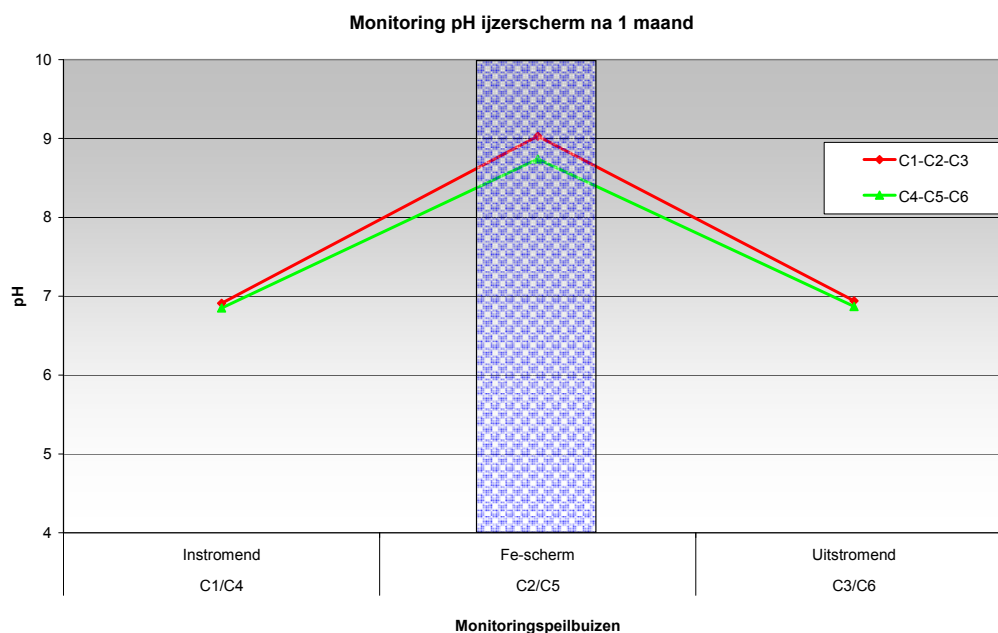
- de pH gestegen is tot circa 9 als gevolg van hydrolyse van water (OH⁻ vorming);
- de geleidbaarheid lager is door het verdwijnen van ionen mogelijk als gevolg neerslagvorming;
- de redoxpotentiaal zeer laag is en duidt op sterk reducerende omstandigheden, wat gunstig is voor afbraak van VOCl;
- het opgelost ijzer gehalte is afgenomen door vorming van ondermeer ijzerhydroxiden (Fe(III)(OH)₃ die kunnen ontstaan bij de hoge pH;
- het sulfaatgehalte enigszins is afgenomen door sulfaatreductie;
- de gehalten aan eindproducten etheen en ethaan zijn gestegen door afbraak van CIS en VC;
- de gehalten aan bicarbonaat en vrijkoolzuur zijn afgenomen, waarbij mogelijk ijzercarbonaat wordt gevormd;
- het gehalte aan DOC is toegenomen mogelijk als gevolg van veranderingen in de pH waarbij organisch materiaal wordt gemobiliseerd.

Tabel 5.8 Macrochemische parameters peilbuizen ijzerscherm d.d. 11-08-2006

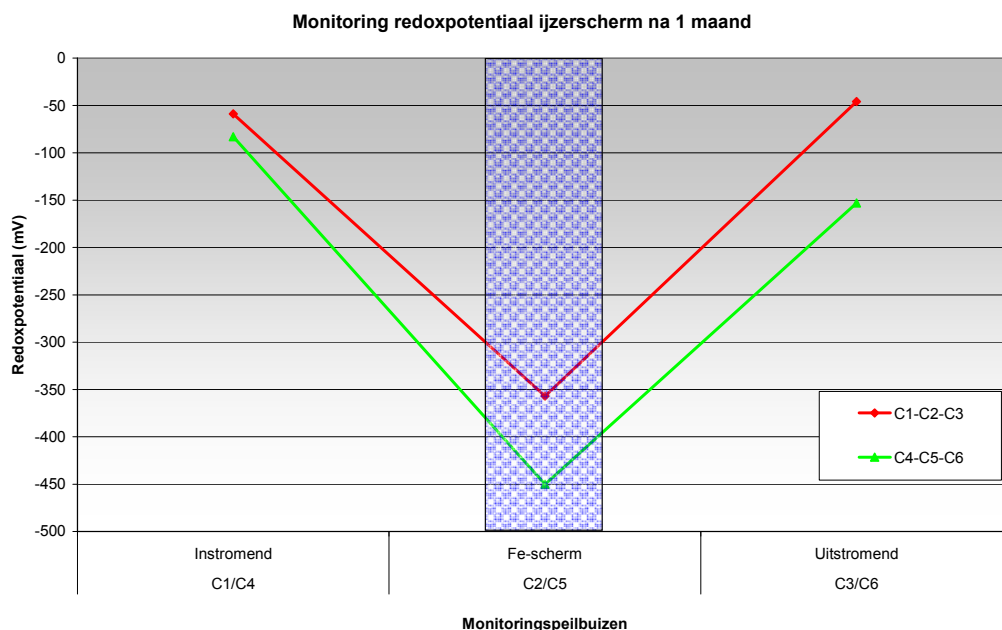
Positie bij ijzerscherm	Voor	In	Achter	Voor	In	Achter
Peilbuisnummer	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Filtertraject (m -mv)	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00
Zuurgraad (pH)	6,91	9,03	6,94	6,85	8,74	6,87
Geleidbaarheid (mS/m)	1290	634	1090	1230	680	1290
Zuurstof (O ₂) (in mg/l)	1)	1)	1)	1)	0,79	1)
Redox (in mV)	-59	-357	-46	-83	-450	-153
Nitraat (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Nitriet (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ijzer (2+) (mg/l)	<0,01	<0,01	0,1	13	0,2	17
Ijzer totaal (µg/l)	10000	170	9800	9100	110	12000
Sulfaat (mg/l)	95	24	130	72	60	65
Sulfide (vrij) (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Etheen (µg/l)	6,2	55	62	1,2	20	5,7
Ethaan (µg/l)	0,92	54	6,4	1,1	29	2,0
Methaan (µg/l)	220	580	900	400	140	680
Bicarbonaat (mg/l)	670	110	380	620	85	600
Vrij koolzuur (mg/l)	310	16	100	330	63	450
Ammonium (mgN/l)	1,2	0,8	0,8	1,3	1,0	1,1
D.O.C. (mg/l)	34	56	34	31	58	33

1) In verband met regen tijdens de bemonstering kon geen juiste zuurstofmeting worden verricht

In figuur 5.4 en 5.5 is de toename in de pH en de afname van de redoxpotentiaal in het ijzerscherm weergegeven. Deze bevestigen beide de werking van het ijzerscherm.



Figuur 5.4 Monitoring PH ijzerscherm



Figuur 5.5 Monitoring redoxpotentiaal ijzerscherf

5.11 Resultaten nulmeting grondwaterstanden

De grondwaterstanden en isohypsen van de nulmeting in het middeldiepe grondwater zijn weergegeven in bijlage 10. Hieruit blijkt dat sprake is van een zuidoostelijke grondwaterstroming zowel voor als achter het ijzerscherf. De grondwaterstanden in de peilbuizen C1 t/m C6 ter plaatse van het ijzerscherf zijn weergegeven in tabel 5.8. Hieruit blijkt dat de grondwaterstanden voor, in en achter het scherm vrijwel gelijk te zijn. Dit betekent dat het permeabele ijzerscherf de grondwaterstroming niet beïnvloed.

Tabel 5.8 Grondwaterstanden in peilbuizen ijzerscherf d.d. 11-08-2006

Positie bij ijzerscherf	Voor	In	Achter	Voor	In	Achter
Peilbuisnummer	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Filtertraject (m -mv)	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00	3,00-4,00
Bovenkant pb (m+ NAP)	0,89	0,79	0,74	0,89	0,90	0,88
Maaiveld (m + NAP)	0,17	0,12	0,08	0,24	0,21	0,19
Grondwaterstand (m t.o.v. NAP)	-0,48	-0,49	-0,48	-0,49	-0,48	-0,50

6. GENERIEKE ONTWERPRICHTLIJNEN EN -CRITERIA

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op generieke richtlijnen en criteria voor het ontwerpen en dimensioneren van ijzerschermen. Het consortium heeft een checklist opgesteld die eindgebruikers en bevoegd gezag kunnen gebruiken om te beoordelen of toepassing van een ijzerschermbaan mogelijk is op een met VOCl verontreinigde locatie. Aansluitend hierop is een stappenplan opgesteld voor het ontwerpen en dimensioneren van ijzerschermen. De checklist voor toepassing van een ijzerschermbaan en het stappenplan voor ontwerp en dimensionering van een ijzerschermbaan zijn gebaseerd op de richtlijnen uit de VS⁹.

6.2 Checklist voor toepassing van een ijzerschermbaan

De checklist vormt een eerste beoordeling om vast te stellen of een locatie geschikt is voor een ijzerschermbaan. In figuur 6.1 is de checklist voor toepassing van een ijzerschermbaan weergegeven. Hieronder worden de verschillende factoren toegelicht die bij besluitvorming van belang zijn. Hoewel een ongunstig antwoord op een van de volgende factoren een ijzerschermbaan niet kan uitsluiten, betekent dit wel dat de toepassing ingewikkelder wordt en kostbaarder.

- **Type verontreiniging**

Is het type verontreiniging afbreekbaar met reactief ijzer volgens de literatuur? In tabel 6.1 zijn de type verontreinigingen aangegeven die afgebroken kunnen worden met reactief ijzer volgens de Amerikaanse literatuur⁹. Verontreinigingen zoals PER en TRI kunnen in principe tot zeer hoge concentraties worden aangepakt met een ijzerschermbaan. Van belang is hierbij wel dat met het reactief ijzer een economisch haalbare halfwaardetijd voor de verontreiniging kan worden bereikt.

Tabel 6.1 Type verontreinigingen voor afbraak met reactief ijzer

Ethenen	Ethanen	Methanen	Andere componenten	Niet afbreekbare componenten
Tetrachlooretheen	Hexachloorethaan	Tetrachloormethaan	Trichloortrifluorethaan (freon 113)	Dichloormethaan
Trichlooretheen	1,1,2,2-Tetrachloorethaan	Trichloormethaan	Trichloorfluormethaan (freon 11)	1,4-dichloorbenzeen
1,1-dichlooretheen	1,1,1,2-Tetrachloorethaan	Chloroform	1,2,3-Trichloorpropaan	1,2-dichloorethaan
Trans-1,2-Dichlooretheen	1,1,1-Trichloorethaan	Bromoform	1,2 Dichloorpropaan	Chloormethaan
Cis-1,2-Dichlooretheen	1,1,2-Trichloorethaan	Tribroommethaan	1,3-Dichloorpropaan	
Vinylchloride	1,1-Dichloorethaan		1,2-Dibroom-3-chloorpropaan	
	1,2-Dibroommethaan		n-Nitrosodimethylamine (NDMA)	
			Nitrobenzeen	
			Lindaan	
			Hexachloorbutadieen	

- **Omvang pluim en verspreiding**

Is de pluim erg breed of erg diep? Hele brede of diepe pluimen zullen zorgen voor een toename in de kosten voor toepassing van een ijzerschermbaan. Echter er zijn verscheidene ijzerschermen wereldwijd geïnstalleerd met een lengte van meer dan 300 m. In vergelijking met de kosten van een pomp en treat systeem kan een ijzerschermbaan economisch vaak nog steeds haalbaar zijn om een brede pluim te beheersen. De diepte van een pluim is vaak meer van invloed op de kosten voor toepassing van een ijzerschermbaan. In de volgende paragraaf is per diepte aangegeven welke methoden voor plaatsing van een ijzerschermbaan beschikbaar zijn.

⁹ Permeable Barriers for Groundwater Remediation Design, Construction and Monitoring, Gavaskar et al. Batelle press 1998, 174 pag., ISBN 1-57477-036-5.

- **Diepte van scheidende laag**

Is er op geringe diepte een scheidende laag aanwezig? Een scheidende laag op geringe diepte tot circa 7 m -mv kan als afsluitende laag gebruikt worden aan de onderzijde van een ijzerschermb. Indien de scheidende laag en de pluim dieper dan 7 m -mv voorkomt, worden de installatiekosten voor een ijzerschermb hoger. Indien er op grote diepte geen scheidende laag aanwezig is, kan een hangend ijzerschermb worden overwogen. Voorwaarde is wel dat een maximale vracht van de verontreiniging door het ijzerschermb wordt weggenomen.

- **Grondwatersnelheid**

Is de grondwatersnelheid hoog? Als de snelheid van het grondwater hoog is, zal de benodigde dikte van het ijzerschermb relatief groot zijn om een voldoende lange verblijftijd te bereiken en wordt het plaatsen van een ijzerschermb kostbaar. Echter er zijn al ijzerschermben op locaties in de VS geplaatst met een grondwatersnelheid van 500 m/jaar.

- **Geotechnische aspecten**

Zijn er obstakels in de ondergrond aanwezig? Als er kabels en leidingen, gesteente, funderingsresten etc. voorkomen wordt de plaatsing van een ijzerschermb complexer. In veel gevallen kan een kabel en leiding tracé dat dwars door het geplande ijzerschermb loopt worden opgevuld met cement/bentoniet. Een deel van het ijzerschermb wordt dan als een ondoorlatende barrière uitgevoerd. Indien er kabels en leidingen evenwijdig langs het geplande ijzerschermb lopen, kan overwogen worden om het water af te vangen met een damwand en te leiden naar een separate zuivering met reactief ijzer (zie optie 3 in figuur 2.3 verschillende vormen van een reactief schermb).

Beschikbare onderzoeksgegevens

Wanneer uit de eerste toetsing blijkt dat de locatie geschikt is voor een ijzerschermb, dient vastgesteld te worden of er voldoende onderzoeksgegevens zijn om het ijzerschermb te ontwerpen. Dit wordt gecontroleerd aan de hand van de onderzoeksvragen die in de checklist zijn aangegeven. Indien noodzakelijk wordt aanvullend bodemonderzoek verricht voor het ontwerp van het ijzerschermb.

Selectie geschikt reactief ijzer

Wanneer voldoende onderzoeksgegevens zijn verkregen kan gezocht worden naar geschikt reactief ijzer. Aanbevolen wordt om gebruik te maken van reactief ijzer dat al eerder goed getest is in kolomproeven. Bij de selectie van reactief ijzer dient gelet te worden op de volgende factoren:

- Reactiviteit: Hoe korter de halfwaardetijd is des te beter het ijzer is;
- Doorlatendheid: Voor een hoge reactiviteit is een kleine korrelgrootte nodig (groter specifiek oppervlak), terwijl voor een hoge doorlatendheid een grote korrelgrootte is benodigd;
- Stabiliteit: Het ijzer dient gedurende lange tijd zijn reactiviteit en doorlatendheid te behouden ook wanneer neerslagvorming vanuit de macrochemie optreedt.
- Zuiverheid: Het ijzer dient zuiver te zijn en mag dus geen hoge gehalten aan andere zware metalen bevatten.
- Beschikbaarheid en prijs: Het ijzer dient in grote hoeveelheden beschikbaar te zijn voor een redelijke prijs. Hierbij dient tevens gelet te worden op de transportkosten.

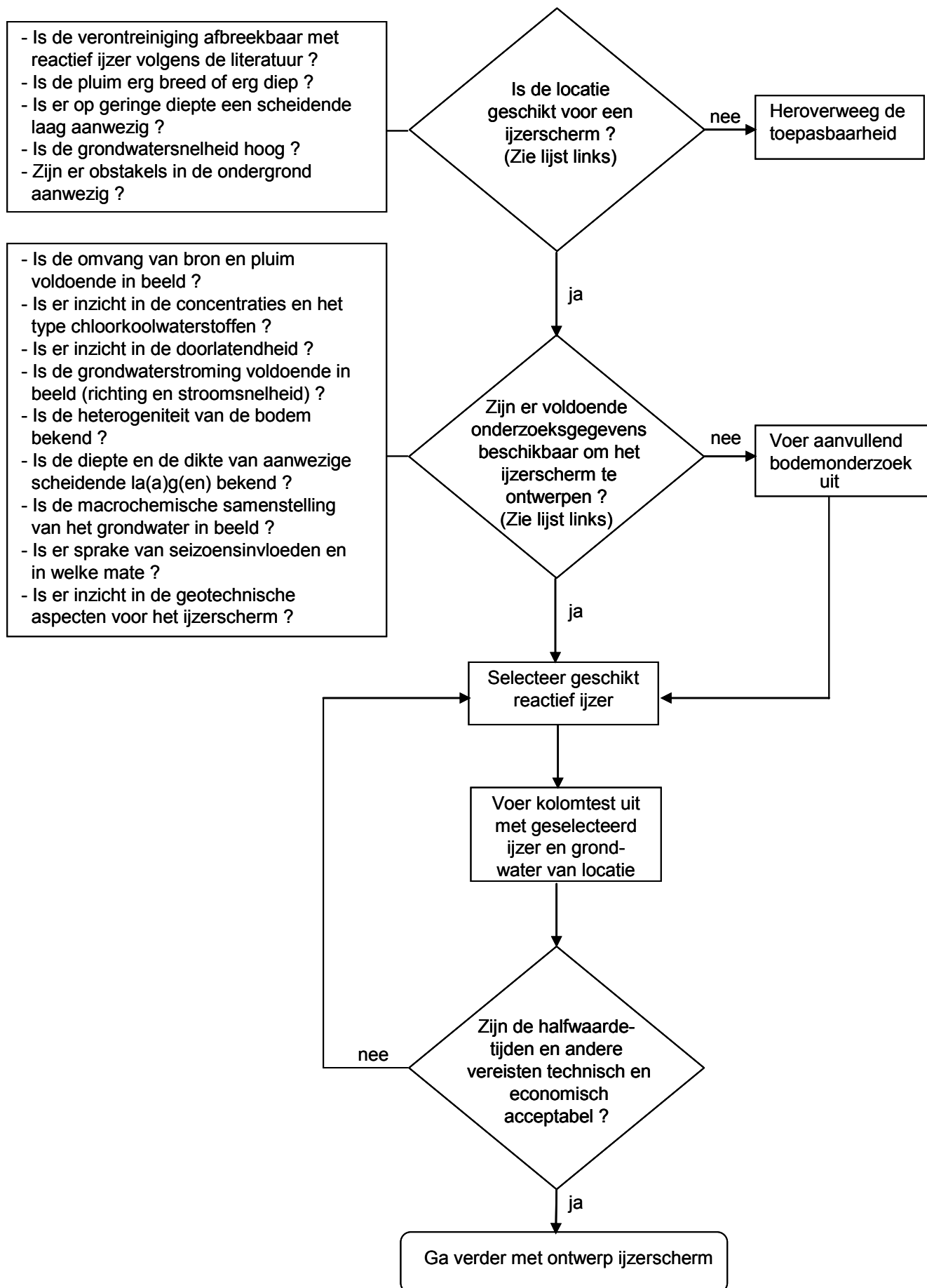
Uitvoering kolomtest

Op basis van een kolomtest kan de haalbaarheid voor een ijzerschermb vastgesteld worden. De kolomtest dient uitgevoerd te worden met het geselecteerde ijzer en met grondwater van de locatie door een laboratorium dat voldoet aan de eisen van ETI te Canada. Voor beschrijving van de kolomtest wordt verwezen naar bijlage 3.

Controle halfwaardetijden

De halfwaardetijden uit de kolomtest en andere vereisten dienen technisch en economisch acceptabel te zijn. De halfwaardetijden dienen zodanig gunstig te zijn dat volledige afbraak tot onschadelijke eindproducten mogelijk is.

Checklist toepassing ijzerschermb



Figuur 6.1 Checklist toepassing ijzerschermb

6.3 Methoden voor plaatsing van een ijzerscherm

Aan de hand van de diepte van de verontreiniging en de bodemopbouw kan een keuze worden gemaakt uit verschillende methoden voor het aanbrengen van ijzerschermen. Hieronder is per diepte aangegeven op welke wijze een ijzerscherm aangelegd kan worden:

- **Ijzerscherm < 7 m -mv: kettinggraver**

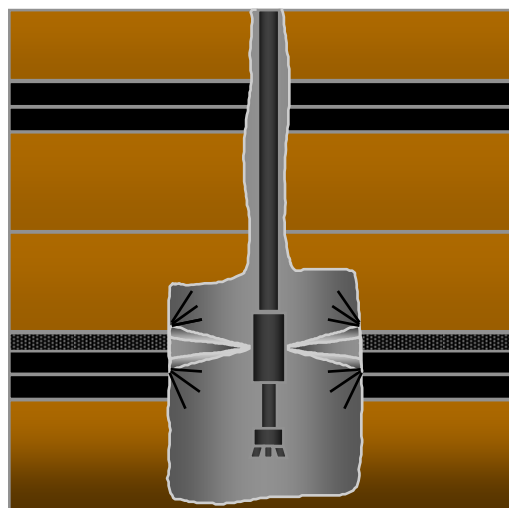
In Nederland kan tot een diepte van 7 m –mv een ijzerscherm geplaatst worden met een kettinggraver. Een kettinggraver heeft als voordeel dat gelijktijdig met het graven van de sleuf deze gevuld kan worden met reactief ijzer. De benodigde werkruimte is relatief groot. Er dient langs het ijzerscherm over een breedte van circa 20 m ruimte gereserveerd te worden voor een kettinggraver en een shovel die zorgt voor de aanvoer van het ijzergranulaat.

- **Ijzerscherm > 7 m –mv: diverse methoden**

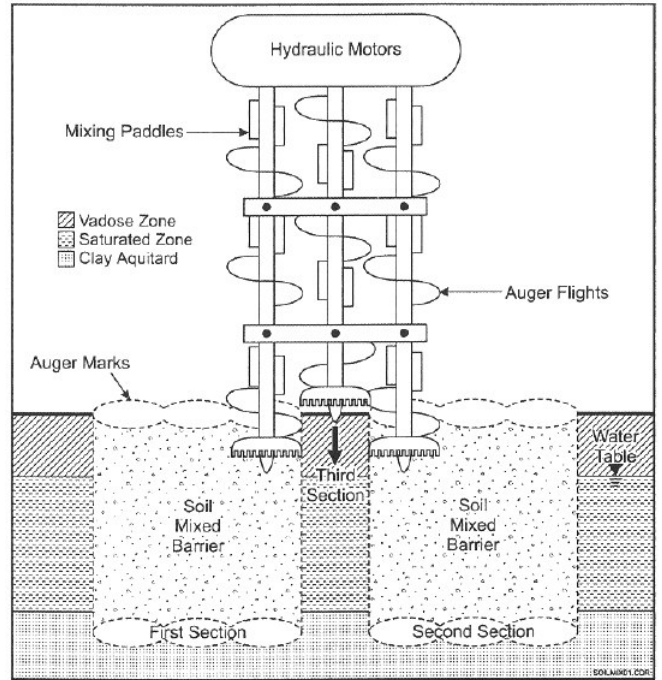
Voor de plaatsing van een ijzerscherm dieper dan 7 m –mv zijn verschillende methoden beschikbaar. Hierbij kan reactief ijzer met een (goed afbreekbare) biopolymeer slurry in de grond aangebracht door middel van de volgende technieken.

- **Injectietechnieken:** Onder hoge druk kan ijzerpoeder in een slurry worden geïnjecteerd met behulp van een slaghamersysteem of een jetsysteem. Het ijzerpoeder wordt aangeduid als nanoscale ijzer en heeft een grootte van 100-200 nm. De levensduur van nanoscale ijzer is wel korter dan van ijzergranulaat. Nanoscale ijzer heeft een gemiddelde levensduur van 3 tot 5 jaar afhankelijk van de samenstelling van het grondwater. Het ijzerscherm wordt meestal gevormd door twee of drie aaneengesloten rijen van injectiepunten. Tot op heden is bij de aanleg van een ijzerscherm met injectietechnieken een diepte van 18 m –mv bereikt.
- **Holle avegaarboringen:** Reactief ijzergranulaat kan met behulp van holle avegaarboringen in de bodem worden aangebracht. Met deze techniek wordt de grond naar het maaiveld geschroefd. Vervolgens wordt onder geleidelijk trekken van de avegaar het ijzer door de centrale buis naar beneden gepompt. Tot op heden is bij de aanleg van een ijzerscherm met holle avegaarboringen een diepte van 17 m –mv bereikt.
- **Hydrofracturing:** Onder extreme druk wordt water of lucht in de bodem geïnjecteerd, waardoor horizontale scheuren (fracturen) in de bodem worden gecreëerd. Deze techniek wordt in de olie-industrie veel toegepast. Vervolgens kan een slurry met nanoscale ijzer worden geïnjecteerd in de scheuren. Tot op heden is bij de aanleg van een ijzerscherm met hydrofracturing een diepte van 37 m –mv bereikt.
- **Diepwandtechnieken:** Met behulp van diepwand knijpers kan een ijzerscherm worden aangelegd. Hierbij wordt een biopolymeer slurry als steunvloeistof gebruikt. Na het graven van de sleuf wordt deze opgevuld met ijzergranulaat en wordt de vrijkomende steunvloeistof afgevoerd. Tot op heden is bij de aanleg van een ijzerscherm met diepwandtechnieken een diepte van 21 m –mv bereikt.

Bij toepassing van bovengenoemde technieken is het vooral belangrijk om vast te stellen tot welke diepte een ijzerscherm economisch nog haalbaar is. Over het algemeen vormen injectietechnieken en holle avegaarboringen de meest rendabele opties voor het aanbrengen van reactief ijzer op grote diepten.



Figuur 6.2 Ijzerscherm aanbrengen door injectie met een jetsysteem (Bron: ETI)



Figuur 6.3 IJzerscherm aanbrengen met avegaarboringen tot 17 m Japan 2002 (Bron: ETI)



Figuur 6.4 IJzerscherm aanbrengen met diepwandtechnieken Turijn 2004 (Bron: ETI en NTP Milieu)

6.3 Stappenplan voor ontwerp en dimensionering

Wanneer op basis van de checklist blijkt dat de locatie geschikt is voor een ijzerschermbaan kan gestart worden met het ontwerp en de dimensionering van het ijzerschermbaan. In figuur 6.5 is hiertoe een stappenplan weergegeven.

Aan de hand van het uitgevoerde bodemonderzoek en indien nodig het aanvullend onderzoek wordt inzicht verkregen in de volgende aspecten:

- **Karakteristieken watervoerend pakket**

De karakteristieken van het watervoerend pakket omvatten de stijghoogte, diepte en dikte van de scheidende laag, doorlatendheid en porositeit van de verschillende lagen, stroomsnelheid van het grondwater, de omvang en de verspreiding van de pluim. De informatie is benodigd voor de geohydrologische modellering en het ontwerp van het ijzerschermbaan.

- **Samenstelling grondwaterverontreiniging**

De informatie over de concentraties en type chloorkoolwaterstoffen wordt gebruikt voor de selectie van geschikt reactief ijzer, het uitvoeren van kolomproeven en het bepalen van de halfwaardetijden en de dikte van het ijzerschermbaan.

- **Samenstelling macrochemie**

De macrochemische samenstelling is benodigd om de levensduur van het ijzerschermbaan te bepalen en het geschikte reactief ijzer te selecteren. Kennis van de aanwezigheid van de macrochemie kan gebruikt worden om te evalueren of mogelijk neerslagen kunnen ontstaan, die de reactiviteit en de doorlatendheid van het ijzerschermbaan kunnen beïnvloeden. Ook veldparameters zijn goede indicatoren om de condities voor eventuele neerslagen vast te stellen.

Belangrijke macrochemische parameters zijn hierbij:

- pH, Ec, redoxpotentiaal en zuurstof (veldmetingen)
- nitraat, ijzer, sulfaat, methaan, chloride, calcium en magnesium (laboratoriumanalyses)

- **Permeabel scherm of funnel & gate**

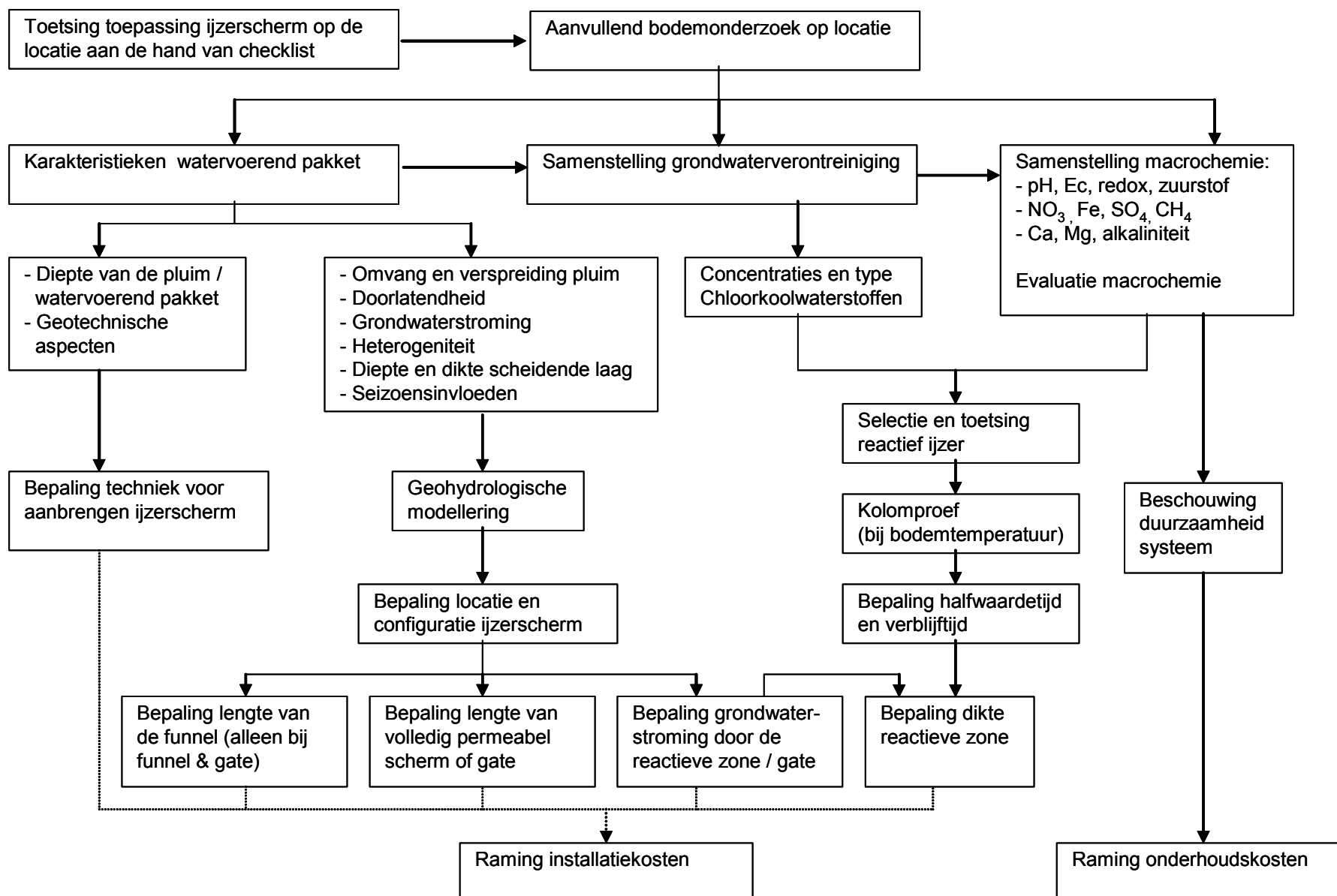
In het stappenplan wordt onderscheid gemaakt tussen een permeabel scherm of een funnel & gate. Hierbij geldt dat een permeabel ijzerschermbaan het meest eenvoudig is uit te voeren. Dit type ijzerschermbaan is wereldwijd het meest toegepast en heeft tot op heden het minste onderhoud. Daarmee is de duurzaamheid van dit schermtypen het grootst.

Bij funnel & gate systemen (trechter en poort) wordt de waterstroom via damwanden geconcentreerd naar enkele openingen waarin reactief ijzer is aangebracht (Zie figuur 2.3). Het voordeel is dat op deze wijze de hoeveelheid reactief ijzer beperkt kan worden. Tevens kan het reactieve ijzer als een cassette in de gate aangebracht worden, waardoor het ijzer relatief gemakkelijk te vervangen is. Het nadeel van een funnel & gate systeem is dat het leidt tot opstuwning van het grondwater in de gate. Dit betekent dat het scherm breder moet zijn dan de pluim om te voorkomen dat de verontreiniging om het scherm heen stroomt. Daarnaast kan de relatief grote snelheid in de gate leiden tot nadelige effecten zoals verstoppingen met fijn materiaal.

Voor een funnel & gate is daarom een nauwkeurige geohydrologische modellering van groot belang om tot het juiste ontwerp en dimensionering te komen. Op basis van het ontwerp en de dimensionering van het ijzerschermbaan kan een raming worden gemaakt van de installatiekosten en eventuele onderhoudskosten.

Stappenplan ontwerp en dimensionering ijzerschermb

Figuur 6.5 Stappenplan ontwerp en dimensionering ijzerschermb



7. CONCLUSIES

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de doelstellingen voor de demonstratie ingegaan op conclusies die getrokken kunnen worden uit dit demonstratieproject.

Bekendheid geven aan de techniek van ijzerschermen

Bij de aanleg van het ijzerscherm in Katwijk is het consortium er in geslaagd om landelijke bekendheid te geven aan de techniek van ijzerschermen. Er zijn diverse artikelen over de realisatie van het ijzerscherm in Katwijk verschenen in het Technisch weekblad, de Telegraaf, het Leids Dagblad en de Katwijkse post. Ook zijn door TV Oost TV opnamen gemaakt van de aanleg van het ijzerscherm welke zijn uitgezonden in de nieuwsuitzending van TV Oost.

Demonstratie van de toepassingsmogelijkheden voor ijzerschermen

De demonstratie in Katwijk betreft het eerste ijzerscherm in Nederland, dat volledig is gevuld met een mix van reactief ijzergranulaat en zand. Met dit demonstratieproject heeft het consortium het ijzerscherm op de Nederlandse Bodemsaneringsmarkt geïntroduceerd. De toepassingsmogelijkheden voor ijzerschermen zijn gedemonstreerd aan de hand van de presentaties die door Grontmij en NTP zijn gegeven op ondermeer Bodem Breed in 2005 en de on-site bijeenkomst Reactieve Schermen op 5 oktober 2006 in Katwijk. Op de on-site bijeenkomst is ter demonstratie een video over de aanleg van het ijzerscherm vertoond en zijn de bezoekers op de locatie langs het ijzerscherm geleid. De demonstratie van het ijzerscherm op de on-site bijeenkomst is met veel belangstelling gevolgd door de ruim 65 bezoekers.

Nadere dimensionering van ijzerscherm aan de hand van kolomexperiment

Aan de hand van de uitgevoerde kolomtest is door VITO geconcludeerd dat een reactief ijzerscherm haalbaar is voor de locatie in Katwijk. De kolomtest heeft aangetoond dat de belangrijkste VOCI-componenten CIS en VC in het grondwater kunnen worden afgebroken tot onder de gestelde normen na een gemiddelde verblijftijd van 67uur in een 100% reactief ijzerscherm. De levensduur van het ijzerscherm is op basis van macrochemische analyses in de kolomtest en de stroomsnelheid van het grondwater naar verwachting minstens 20 jaar volgens ETI te Canada.

De dikte van het ijzerscherm is op basis van de verblijftijd en de stroomsnelheid van 1,6 m/jaar gedimensioneerd op circa 2,2 cm voor een scherm met 100% ijzer. Wanneer een sleuf met een breedte van 30 cm wordt opgevuld met 20% ijzer en 80% drainagezand is de effectieve dikte van het ijzer gelijk aan: $30 \text{ cm} \times 0,20 = 6 \text{ cm}$. Het ijzerscherm heeft dan een overdimensionering van een factor 2,7.

Om een maximale zekerheid te garanderen is in de haard van de verontreiniging een ijzer/zand mengsel gebruikt van 40:60 vol.%. De effectieve dikte van het ijzer is dan gelijk aan: $30 \text{ cm} \times 0,40 = 12 \text{ cm}$. Het ijzerscherm heeft in de haard dan een overdimensionering van een factor 5,4. Geconcludeerd kan worden dat deze extra overdimensionering een maximale zekerheid levert voor de werking van het ijzerscherm.

Evaluatie aanleg ijzerscherm in Katwijk

Voor het aanbrengen van het ijzerscherm is met een kettinggraver een sleuf gegraven van circa 5,5 m diep en 30 cm breed. Via een trechter is deze sleuf, gelijktijdig met het graven, gevuld met het mengsel van zand en ijzergranulaat. In de haard van de verontreinigingspluim is het ijzerscherm over een lengte van 30 m gevuld met het zand/ijzer mengsel in de verhouding 40:60 vol %. Aansluitend is het ijzerscherm over een lengte van 90 m gevuld met het zand/ijzer mengsel in de verhouding 20:80 vol %.

Na het aanbrengen van het ijzerschermbreedte is de breedte van het ijzerschermbreedte gecontroleerd en bleek dat de gerealiseerde breedte 22 cm was. De gerealiseerde breedte vormt echter geen risico voor de werking van het ijzerschermbreedte, aangezien nog steeds sprake is van een ruime overdimensionering van een factor 4.

Aan beide zijden van het ijzerschermbreedte is een folieschermbreedte aangebracht over een lengte van circa 30 m. Door de toepassing van het folieschermbreedte kon de hoeveelheid ijzer beperkt worden tot 120 m. Het LDPE-folie is aan de noordzijde met het ijzerschermbreedte gekruist in een hoek van 120°. Aan de zuidzijde is het LDPE-folie noodgedwongen evenwijdig langs het ijzerschermbreedte getrokken in verband met de nabijheid van de sloot. Dit heeft overigens geen gevolgen voor de werking van het ijzerschermbreedte.

Nulmeting monitoring ijzerschermbreedte

Na aanleg van het ijzerschermbreedte is het monitoringnetwerk met peilbuizen uitgebreid en is een nulmeting verricht. Over het algemeen blijkt dat de gehalten aan VOCl lager zijn dan bij voorgaande monitoringronden. Dit kan mogelijk samenhangen met de regen die in de periode van de bemonstering is gevallen. In het volkstuintencomplex zijn voor VOCl enkele streefwaarde overschrijdingen en een tussenwaarde overschrijding waargenomen. Verder zijn hier geen verhoogde gehalten aan VOCl aangetoond.

Om de werking van het ijzerschermbreedte goed te kunnen volgen zijn 2 raaien met peilbuizen (C1 t/m C6) voor, in en achter het ijzerschermbreedte geplaatst. Ter plaatse van de peilbuizen C1 t/m C6 blijkt dat in het ijzerschermbreedte al een afname van CIS en VC na 1 maand is opgetreden. Direct achter het ijzerschermbreedte zijn nog gehalten aangetoond die de interventiewaarden overschrijden. Naar verwachting doven de verhoogde gehalten achter het ijzerschermbreedte binnen enkele jaren uit door de werking van het scherm. Aan de onderzijde van het ijzerschermbreedte zijn geen verhoogde gehalten aangetroffen. Samenvattend kan gesteld worden dat de monitoring een positief beeld van de verontreinigingssituatie oplevert zoals die zich nu ontwikkelt.

Voor een goede evaluatie van de werking van het ijzerschermbreedte zijn meerdere monitoringronden benodigd. Na een jaar monitoren zal de werking van het ijzerschermbreedte voor SKB geëvalueerd worden in het tweede SKB-rapport met de titel 'Fase 2: Evaluatierapport werking ijzerschermbreedte Katwijk'.

Het verankeren van de toepassingsmogelijkheden van de techniek bij bevoegd gezag

Voor de verankering van de toepassingsmogelijkheden van ijzerschermbreedten is een checklist opgesteld die het bevoegd gezag en eindgebruikers kunnen gebruiken om te beoordelen of toepassing van een ijzerschermbreedte mogelijk is op een met VOCl verontreinigde locatie. Tevens is op de website van SKB informatie beschikbaar gesteld over het demonstratieproject, de on-site dag, de presentaties en publicaties. Verwacht wordt dat wanneer de goede werking van het ijzerschermbreedte in Katwijk wordt aangetoond bevoegde gezagen gemakkelijker zullen kiezen voor een innovatieve en kosteneffectieve beheersing van een VOCl-verontreiniging middels een ijzerschermbreedte.

BIJLAGE 1 UITGANGSSITUATIE VOCL-VERONTREINIGING

BIJLAGE 2 REFERENTIEPROJECTEN

BIJLAGE 3 SAMENVATTING KOLOMTEST

BIJLAGE 4 DOORLATENDHEIDSMETINGEN

BIJLAGE 5 ONTWERPREGELS ETI CANADA

BIJLAGE 6 ONTWERP IJZERSCHERM

BIJLAGE 7 MODELBEREKENINGEN

BIJLAGE 8 GEGEVENS IJZERGRANULAAT EN DRAINZAND

BIJLAGE 9 NULMETING VOCL-VERONTREINIGING

BIJLAGE 10 GRONDWATERSTANDEN EN ISOHYPSEN