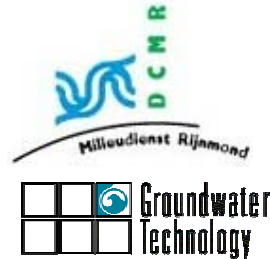




Tauw



ODFJELL



postadres

Postbus 12115
3004 GC Rotterdam
www.gtbv.nl

bezoekadres

Sheffieldstraat 13
3047 AN Rotterdam

tel: 010 238 2854
fax: 010 238 2869

SKB Demonstratie project PT5413,
Demonstratie van stoomgestimuleerde
extractie.
Evaluatierapport

Definitief

In opdracht van Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem
Opgesteld door Consortium SKB Project PT5413: Demonstratie van stoomgestimuleerde
extractie
Projectnummer G05A0024
Documentnaam F:\DATA\Project\gt05\G05A0024 NIET MEER
GEBRUIKEN\g05a0024.r08.doc

Datum

6 februari 2009

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Verontreinigingssituatie en verontreinigingshistorie Odfjell Rotterdam	2
1.3	Verontreinigingssituatie en verontreinigingshistorie Industrierrein België	2
1.4	Probleemstelling	4
1.5	Hypothese en doelstellingen	4
1.6	Leeswijzer	5
2	Uitvoering casussen	7
2.1	Odfjell Rotterdam (SKB gasolie Pilot)	7
2.2	Industrierrein België (creosoot pilot)	9
2.2.1	Bodemopbouw	9
2.2.2	Samenstelling en eigenschappen creosootolie	10
2.2.3	Verspreidingsgedrag creosootolie in de ondergrond	10
2.2.4	Verwijdering van creosootolie uit de ondergrond	11
3	Resultaten	15
3.1	Onderzoeksvragen/doelstellingen	15
3.2	Mobiliteit verontreiniging	16
3.3	Verwijdering gemobiliseerde verontreiniging	18
3.4	Mogelijkheid sturen opwarming van de bodem	19
3.5	Voorkomen verspreiding	23
3.6	Rendementverbetering bij hogere temperatuur	26
3.7	Biodegradatie in opgewarmde zone	29
3.8	Verschuiven aan de randen	30
3.9	Stoominjectie als kostenbesparende techniek	31
4	Evaluatie	33
4.1	Evaluatie pilot projecten	33
5	Conclusies projecten	37
5.1	Conclusies uit beantwoording onderzoeksvragen SKB project	37
5.2	Veralgemeeniging resultaten	39
6	Aanbevelingen	41

Bijlagen:

Bijlage A:	Overzichtkaart SKB pilot
Bijlage B:	Verontreinigingssituatie grond- en grondwater 2003
Bijlage C1:	Locatietekening saneringssysteem 2 ^e fase sanering
Bijlage C2:	Locatietekening saneringssysteem 3 ^e fase sanering
Bijlage D:	Locatietekening saneringssysteem creosoot pilot
Bijlage E:	Verontreinigingssituatie grond- en grondwater na ontgraving
Bijlage F1:	Verontreinigingssituatie grond na 2 ^e fase sanering
Bijlage F2:	Verontreinigingssituatie grondwater na 2 ^e fase sanering
Bijlage G1:	Verontreinigingssituatie grond na 3 ^e fase sanering
Bijlage G2:	Verontreinigingssituatie grondwater na 3 ^e fase sanering
Bijlage H:	Overzicht analyseresultaten Tauw
Bijlage I:	Overzicht analyseresultaten GT

1 Inleiding

Dit rapport is opgesteld in het kader van het SKB project: PT5413, Demonstratie van stoomgestimuleerde extractie.

Consortium

Voor de uitvoering van het project heeft penvoerder een consortium gevormd waarvan de deelnemers aan SKB bekend zijn gemaakt. Het consortium bestaat uit:

- Groundwater Technology (penvoerder);
- Odfjell Terminals (Rotterdam) BV;
- TAUW BV;
- DCMR Milieudienst Rijnmond.

1.1 Algemeen

De locatie van het demonstratieproject is het terrein van Odfjell Terminals (Rotterdam) BV (OTR), gelegen in het havengebied van Rotterdam.

Medio mei 2003 is een gasolielekkage ontstaan in een leiding op het bedrijfsterrein. De verontreiniging, ontstaan als gevolg van dit incident, wordt gesaneerd door het ontgraven van een deel van de verontreiniging en een in situ sanering van de resterende verontreiniging gebaseerd op stoom gestimuleerde extractie.

Aangezien in Nederland nog weinig praktijkervaring is met in situ sanering door middel van stoominjectie is men in het algemeen sceptisch over deze saneringstechniek.

De praktijkproef in het kader van dit SKB project is ingepast in de lopende sanering om meer inzicht te krijgen in de stoomgestimuleerde extractie, om de acceptatie van deze saneringstechniek te vergroten.

We laten naast het SKB project een tweede project (pilot) aan bod komen, aangezien de ervaringen die zijn opgedaan in het SKB project zijn meegenomen in deze pilot. Daarnaast geven de resultaten uit de pilot aanvullende informatie, die de demonstratie van stoomgestimuleerde in situ sanering in het kader van de SKB verheldert.

De 2 casussen die worden behandeld zijn:

- SKB project PT5413, stoomgestimuleerde extractie van een gasolieverontreiniging op het bedrijfsterrein van Odfjell Terminals Rotterdam;
- Pilot voor verwijdering van een zaklaag met creosootolie, waarbij verwijdering door pump & treat wordt vergeleken met een stoomgestimuleerde verwijdering. De pilot is uitgevoerd op een industrieterrein in België.

1.2 Verontreinigingssituatie en verontreinigingshistorie Odfjell Rotterdam

Op het bedrijfsterrein van Odfjell Terminals Rotterdam (OTR) is medio mei 2003 een gasolielekkage ontstaan in leiding S-6 nabij de manifold van steiger 10. Voor een overzichtkaart verwijzen we naar bijlage ¹

In overeenstemming met artikel 13 uit de Wet bodembescherming heeft OTR direct na de constatering van de lekkage, de oorzaak weggenomen, waarna onverwijld begonnen is met het uitvoeren van een bodemonderzoek.

Uit het uitgevoerde bodemonderzoek blijkt dat de grond in de kern tot maximaal 5,5 m-mv sterk verontreinigd is met gasolie. Aan de rand van de locatie is in de loop van het project een andere verontreiniging aangetoond op een diepte van circa 3,0-5,0 m-mv. Deze bestaat uit gasolie en benzine. (Het grondwater is sterk verontreinigd met van de spill afkomstig product, waarbij tevens drijflagen zijn geconstateerd.

Voor een overzichtstekening van de verontreinigingssituatie in de grond voorafgaand aan de sanering wordt verwezen naar bijlage B.

De saneringslocatie heeft een oppervlak van circa 250 m² (1000 m³). De locatie is in gebruik als doorgaande weg van en naar steiger 10. Op het maaiveld is deels een grasverharding en deels een stelcon/asfaltverharding aanwezig. Onder het maaiveld bevinden zich productleidingen, gelegen in een leidingtracé. Op de locatie zijn verder nog een betonnen manifold en betonnen poeren aanwezig, waarover productleidingen lopen.

Na het uitvoeren van ontgravingsmaatregelen door OTR, benodigd voor het uitvoeren van noodzakelijke herstelwerkzaamheden is in de ontgravingsput een restverontreiniging met minerale olie en vluchtige aromaten achtergebleven. Deze restverontreiniging is gesaneerd door middel van stoomgestimuleerde extractie.

1.3 Verontreinigingssituatie en verontreinigingshistorie Industrierrein België

Groundwater Technology B.V. heeft in België een pilootproef uitgevoerd voor de verwijdering van een zaklaag met creosootolie waarbij een verwijdering met pump & treat wordt vergeleken met een stoomgestimuleerde verwijdering.

Het terrein werd gebruikt voor het creosoteren van dwarsliggers. In bijlage 2 is een overzichtstekening van de locatie bijgevoegd. De creosoteerinstallatie bevond zich tot 2003 ter hoogte van kern 1; de activiteiten zijn naar een naastliggend perceel verplaatst.

Doelstelling van de pilootproef

Het doel van deze pilootproef is het verkrijgen van een grondig inzicht in de toepassingsmogelijkheden van stoominjectie als saneringsmethode op deze locatie.

De informatie verkregen in deze pilootproef zal ontwerpcriteria moeten leveren voor een totaal sanering, bovendien zal op basis van de pilootproef een inschatting gemaakt moeten worden van het mogelijke saneringsresultaat.

De locatie was in gebruik als creosoteer inrichting. Als gevolg hiervan is de bodem (grond en grondwater) op locatie verontreinigd met minerale olie, vluchtige aromatische koolwaterstoffen en PAK's (Met name: naftaleen, benzo(a)pyreen, fenantheen en fluorantheen). In het grondwater worden de bodemsaneringsnormen voor diverse PAK's in sterke mate overschreden ter hoogte van de creosoteerinstallatie en de creosoteerbakken. Onder de uitgang van de creosoteerinstallatie is een zaklaag vastgesteld.

Deze zaklaag bevindt zich op een kleilens op een diepte van 9 meter min maaiveld. Ter plaatse van de zaklaag wordt een pilootproef uitgevoerd.

Het betreft een pilootproef voor de verwijdering van een zaklaag met creosootolie waarbij een verwijdering met pump & treat wordt vergeleken met een stoomgestimuleerde verwijdering. De resultaten verkregen met de pilootproef vormen de basis voor het ontwerpen van een volwaardige sanering voor het gehele terrein. De resultaten van de pilootproef worden gebruikt om een totale sanering voor zaklagen op deze site te ontwerpen.

Werkzaamheden

Voor de pilootproef gaan we uit van een cirkel met een diameter van 10 meter. Binnen deze cirkel installeren we het grootste deel van de saneringsfilters en temperatuur strengen. Een aantal temperatuur meetpunten installeren we buiten deze cirkel om te beoordelen of het systeem als geheel een voldoende invloedsfeer heeft. In bijlage 2 zijn de overzichtstekeningen opgenomen, van het door ons voorgestelde saneringssysteem.

Door de aanleg van het ondergrondse deel van het stoominjectiesysteem gefaseerd aan te leggen is het mogelijk om gedurende de pilootproef geohydrologische informatie te verkrijgen zodat de dimensionering van het stoominjectiesysteem kan worden geoptimaliseerd.

De voorgestelde uitvoering bestaat daarmee grofweg uit de volgende stappen:

1. Plaatsing van de onttrekkingsput en omliggende monitoringspunten voor stijghoogten en monstername;
2. Starten met eerste fase pilootproef waarbij puur product en grondwater worden onttrokken door de opgestelde DM-Vex onttrekkingspomp. Tevens zal tijdens de koudwaterfase een test worden uitgevoerd met een onderwaterpomp;
3. Op basis van de evaluatie van de eerste resultaten (na twee weken onttrekken), bepalen van de positie van de 4 stoominjectiepunten en de temperatuurmonitoringspunten.
4. In de derde week na opstarten van de onttrekking, het plaatsen van de stoominjectiepunten en temperatuurpunten en opstarten temperatuur monitoring. Tevens monstername van grond- en grondwater uit de monitoringspunten;
5. Starten met stoominjectie. Tot doorbraak minimaal 1 maal per dag bemonsteren van het effluent. Uitgangspunt bij stoominjectie is dat het onttrekkingsdebiet groter of gelijk is aan het dubbele van het injectiedebiet;
6. Na doorbraak wordt de stoomdeken gedurende 5 weken in stand gehouden. Afhankelijk van de saneringsresultaten wordt de stoominjectie verlengd;

7. Na 8 weken stoominjectie, evalueren stand van zaken, indien mogelijk stoominjectie stoppen. Doorgaan met monitoring en onttrekking om afkoelingsproces in de ondergrond te volgen.

1.4 Probleemstelling

De probleemstellingen van het SKB project zijn:

- Het ontbreken van kennis en draagvlak van de techniek bij bevoegd gezagen en het adviserende bedrijfsleven;
- De veronderstelling van het bedrijfsleven dat de saneringstechniek kostentechnisch niet concurrerend kan zijn met de "reguliere" saneringstechnieken;
- Het ontbreken van kennis en vertrouwen in de toepasbaarheid van de techniek.

We verwachten dat we met de demonstratie bereiken dat de werking van de techniek bewezen zal zijn. Onder 'bewezen' verstaan we dat aangetoond wordt dat de techniek leidt tot verbetering van het saneringsrendement, zonder dat de in eerdere toepassingen gesignaleerde ongewenste randeffecten optreden en dat de techniek (c.q. het met de techniek te behalen resultaat) door het bevoegd gezag wordt geaccepteerd. Ongewenste effecten die zouden kunnen optreden zijn in hoofdzaak onbedoelde en ongecontroleerde verspreiding van de verontreiniging (verspreidingsrisico) en ongewenst ontsnappen van stoom (veiligheidsrisico).

Een gevolg zal zijn dat bodemverwarming door middel van stoominjectie door het adviserend bedrijfsleven in toepasselijke gevallen bij de afweging van saneringstechnieken zal worden meegewogen als één van de mogelijke kosteneffectieve saneringsvarianten. Een ander gevolg zal zijn dat de techniek door bevoegde gezagen (makkelijker) zal worden geaccepteerd. Ook verwachten we dat de techniek door het uitvoerend bedrijfsleven vaker zal worden voorgesteld als mogelijke uitvoeringswijze voor bodemsaneringen.

1.5 Hypothese en doelstellingen

De hypothese is dat verwarming van de bodem tot een kosteneffectieve verbetering van het saneringsrendement leidt.

De doelstelling van de demonstratie is aan te tonen dat:

- Hoofddoel:
 - * Stoominjectie een kostenbesparende techniek is om het rendement van 'traditionele' verwijderingstechnieken te verbeteren. (m.a.w. de economische waarde van de verbetering is groter dan de kosten ervan)
- Nevendoelen (gericht op de hypothese):
 - a. Aantonen dat met stoominjectie de mobiliteit van de verontreiniging toeneemt;

- b. Aantonen dat de gemobiliseerde verontreiniging uit de bodem wordt verwijderd (in dit geval door grondwater onttrekking en bodemlucht onttrekking);
- c. Demonstreren dat door correcte dimensionering van onttrekking, beluchting en stoominjectie, de mobilisatie van de verontreiniging, in combinatie met de toegepaste verwijdering, niet leidt tot verspreiding;
- d. Demonstreren dat het mogelijk is om de opwarming van de bodem voldoende nauwkeurig te sturen, in het geval van Odfjell dat de bodemtemperatuur stabiel op 70 - 100 °C gehouden kan worden en tegelijk de temperatuur van de bodem boven de te saneren zone (in het ondergronds pijptracé) niet hoger wordt dan 35 °C.
In het geval van de creosoot pilot, dat de temperatuur snel naar 120 °C gebracht kan worden en dat er op diepte een stoomdeken gecreëerd en in stand gehouden kan worden;
- e. Onderzoeken in hoeverre het rendement verbeterd kan worden als de temperatuur verder opgevoerd wordt;
- f. Onderzoeken of er in de opgewarmde zone biodegradatie optreedt en onderzoeken in welke mate de bodem na afkoeling nog biologische activiteit heeft;
- g. Onderzoeken welke verschijnselen optreden aan de randen van de verwarmde zone (aan de 'randen' van de verwarmde zone treden zeer interessante effecten op):
 - Positief: effecten op biologische omzetting van verontreiniging (stimulatie van de biodegradatie is geen onderdeel van het 'reguliere' deel van dit saneringsproject; dit project biedt wel een zeer goede kans hiernaar onderzoek te doen);
 - Negatief: ongewenste verschijnselen van verspreiding (o.a. door condensatie) zullen juist aan de randen optreden.

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een beknopt overzicht van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd tijdens het SKB project. Daarnaast wordt een vergelijkbaar project, stoomgestimuleerde verwijdering van creosootzaklaag (creosoot pilot), beschreven welke dient als aanvulling op de resultaten uit dit SKB project.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de uitvoeringsfasen beschreven waarna we in hoofdstuk 4 de resultaten bediscussiëren. In hoofdstuk 5 worden conclusies getrokken, waarna hoofdstuk 6 de aanbevelingen worden gegeven met betrekking tot de bruikbaarheid en de uitvoering van stoomgestimuleerde in situ technieken in de toekomst.

2 Uitvoering casussen

2.1 Odfjell Rotterdam (SKB gasolie Pilot)

Saneringsdoelstelling

Het doel van de saneringswerkzaamheden is het saneren van de ontstane bodemverontreiniging als gevolg van de spill tot de streefwaarde, of zover binnen de grenzen van redelijkheid haalbaar is. Historische, alsmede andersoortige verontreiniging dan de gasolie behorende bij het incident valt buiten de scope van de sanering.

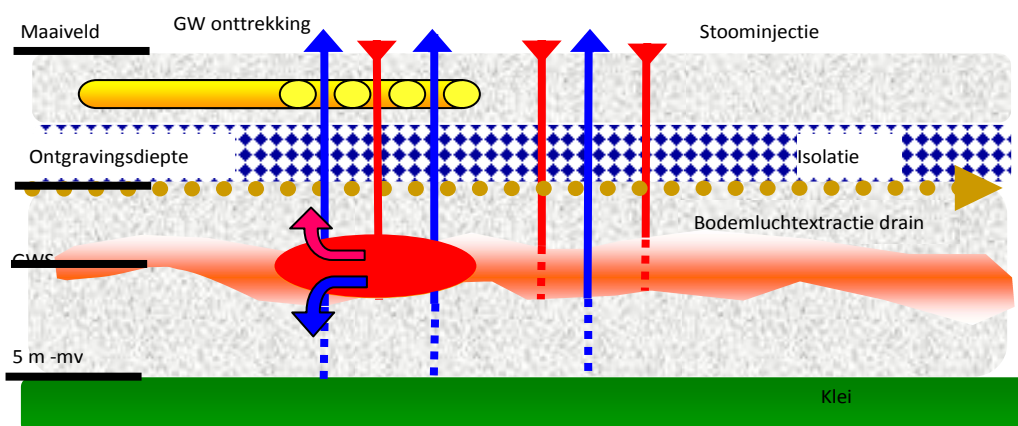
Fasering sanering

De uitvoering van de sanering kent drie fasen, namelijk:

0. Installeren noodmaatregel voor drijf laagonttrekking;
1. Ontgraven van de verontreinigde grond, met als eerste doel het vrijgraven van de lekkende leiding ten behoeve van inspectie en reparatie en als bijkomend doel het zo veel als technisch veilig uitvoerbaar verwijderen van de verontreinigde grond;
2. De eerste fase van stoomgestimuleerde in situ sanering, stomen tot maximaal 80°C;
3. De tweede fase van stoomgestimuleerde in situ sanering, stomen tot maximaal 120°C.

Het SKB project maakt deel uit van fase 2 en fase 3 van het saneringsproject. Figuur 1 hieronder geeft een schematische weergave van de saneringslocatie. In Figuur 2 is een overzicht van het extractiesysteem weergegeven. In bijlage C1 en C2 zijn de locatietekeningen van de 2^e en 3^e fase met de verschillende filters en monitoringspunten opgenomen.

Figuur 1: Schematische weergave saneringslocatie. Stoominjectie is rood gekleurd en onttrekking (stoom, water, bodemgassen en product) is blauw gekleurd.



In Tabel 1 is een chronologisch overzicht weergegeven van de totale sanering.

Tabel 1: Chronologisch overzicht in situ sanering steiger 10

van dag	tot dag	Gebeurtenis
-	1	Lekkage leiding S-6 ontdekt (omstreeks 14 mei 2003)
2	9	Bodemonderzoek op locatie
12	19	Fase 0: Plaatsen 6 tijdelijke onttrekkingsfilters voor drijf laagverwijdering en onttrekking drijf laag
18	109	Fase 1: Deelontgraving voor inspectie en revisie leidinggoot
89	106	Uitkeuring ontgraving
193	296	Fase 0: Herplaatsen filters noodmaatregel en onttrekking drijf laag
266	274	Aanbrengen 15 stoominjectie (S1-S15) en 14 grondwateronttrekkingsfilters (B1-B15)
348		Fase 2: Opstart 2 ^e fase sanering: eerste fase stoominjectie
420		Aanbrengen tijd- en temperatuurgestuurde stoomklep
587	768	Uitbreiden meetnet temperatuursensoren, gasmeetpunten en installeren extra koeling
761	764	Einde tweede fase sanering; Vaststellen verontreinigingssituatie voor aanvang derde fase sanering: tweede fase stoominjectie
775	775	Uit metingen blijkt het onomkeerbaar dichtslaan van onttrekkingsfilters
889	890	Plaatsen nieuwe onttrekkingsfilters voor 3 ^e fase (4, 5, C, E, F, G, H)
924		Start fase 3: Opwarming tot maximaal 120°C
952		Stoomtoevoer gestopt, start cooling down
965		Laatste metingen 3 ^e fase sanering
973		Vaststellen eindsituatie (medio januari 2006)

Fase 0 : Noodmaatregelen

Voorafgaand aan de sanering is als noodmaatregel een tijdelijk drijf laagonttrekkingsstelsel geïnstalleerd. In totaal is hierbij met een zestal onttrekkingsfilters circa 1.200 liter puur product verwijderd. Na de noodmaatregel is maximaal nog 1,1 centimeter drijf laag aangetoond in het saneringsgebied.

Eerste fase: ontgraven

In de eerste fase van de sanering is de leidingstraat over een lengte van 25 meter tot circa 2,7 m-mv ontgraven. Dit vond plaats in juni tot en met augustus 2003. In totaal is circa 600 m³ grond afgegraven. Deze grond is ter reiniging afgevoerd naar de grondreinigingslocatie in Tankput 34 op het terrein van OTR. De verontreinigingsgraad van de wanden en bodem van de ontgraving is middels onderzoek vastgesteld: dit onderzoek is gerapporteerd (bron 2).

Na aanleg van de systemen benodigd voor de in situ sanering is de ontgraving aangevuld met een laag isolerende argexkorrels (circa 0,7-1,0 m), van het onder- en bovenliggend bodemmateriaal gescheiden door HDPE-folie en zand tot aan het oorspronkelijk maaiveld. Daarna is de stelconverharding hersteld.

Tweede fase: in situ saneren tot 80°C.

De saneringssystemen zijn aangelegd in februari 2004 en opgestart in april 2004. Tijdens de uitvoering zijn enkele technische storingen opgetreden, die niet relevant zijn voor de beoordeling van het resultaat van de sanering. Hierdoor heeft de uitvoering langer geduurd dan voorzien.

Tijdens de uitvoering van deze fase bleek uit monitoringgegevens dat er naast de verontreiniging afkomstig uit het onderhavige geval ook een andere verontreiniging werd aangetrokken. Deze heeft een andere samenstelling en bevat naast gasolie ook benzine. Er is separaat onderzoek ingesteld, waarbij een andere bodemverontreiniging ten noorden van het onderhavige geval is aangetroffen. Rapportage hieromtrent geschiedt separaat; sanering van deze andere verontreiniging maakt geen deel uit van de hier gerapporteerde sanering.

In juni 2005 is de tweede fase beëindigd en is de verontreinigingssituatie wederom vastgelegd middels onderzoek. Daarbij bleek lokaal nog een restverontreiniging aanwezig te zijn.

Derde fase: in situ saneren tot 120°C.

Na vervanging van een aantal onttrekkingsfilters is de derde fase van de sanering gestart op 23 november 2005. Deze heeft storingsvrij gefunctioneerd. Op 21 december 2005 is de stoominjectie gestopt. In januari 2006 vond de laatste eindcontrole plaats.

2.2 Industrierrein België (creosoot pilot)

2.2.1 Bodemopbouw

Inzicht in de bodemopbouw en verontreinigings situatie ter plaatse van de pilootproef is van groot belang. Op basis van een aantal sonderingen en boringen en uit ervaring weten we dat de bodem heterogeen is samengesteld. De verdeling van de verontreiniging in de bodem is waarschijnlijk zeer heterogeen. Toch is het zeer wenselijk om vóór de plaatsing van de injectie- en onttrekkingmiddelen zekerheid te hebben omtrent de aanwezigheid van verontreiniging (zaklagen) in de bodem juist op de exacte locatie van het pilootproject.

Om meer gedetailleerde informatie over de bodemopbouw te krijgen is voorafgaand aan de plaatsing van de injectie- en onttrekkingsputten met een sonische boormethode ongestoorde kernen uit het boorgat te verkrijgen. De sonische boormethode is een methode om op een snelle en efficiënte wijze boorkernen te verkrijgen waarmee het mogelijk is om de bodemopbouw in detail te bestuderen en inzicht te krijgen in het mogelijk voorkomen van zowel de zaklaag als residuaal puur product in de meer ondiepere bodemlagen. Op basis van de verkregen resultaten zijn we de definitieve filterstellingen van injectie- en onttrekkingsputten, uiteraard in overleg met de bodemsaneringsdeskundige, bepaald.

Geohydrologie

De grondwateronttrekking tijdens de eerste fase van de pilootproef geeft een unieke kans om een inschatting te krijgen van de hydrologische eigenschappen van het pakket dat wordt beïnvloed tijdens de pilootproef. Hiervoor monitoren we de verlaging in de nabijheid van de pilootproef als functie van de gerealiseerde onttrekking. In paragraaf 5.1 is dit voorstel voor geohydrologische karakterisering nader uitgewerkt.

2.2.2 Samenstelling en eigenschappen creosootolie

Creosootolie bestaat uit een complex mengsel van tot wel 200 verschillende in elkaar oplosbare organische stoffen waarvan er maar een paar aanwezig zijn in een hoeveelheid groter dan 1 gewichtsprocent (Mueller et al., 1989). Dit betekent dat 40 – 45% van het mengsel uit een beperkt aantal stoffen bestaat. De samenstelling van creosootolie hangt af van de koolteer waaruit het gemaakt is.

Gemiddeld genomen bevat creosootolie 85% Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK), 10% fenolen en 5% heterocyclische aromaten met stikstof, zwavel en zuurstof. (Mueller et al., 1989).

Een aantal stoffen in creosootolie is zeer slecht oplosbaar in water wat betekent dat de afzonderlijke stoffen in creosootolie in staat zijn om zowel zak- als drijfslagen te vormen. Aangezien creosootolie een mengsel is van in elkaar opgeloste organische stoffen en dit mengsel als geheel zwaarder is dan water, vormt creosootolie in beginsel zaklagen. Pas als stoffen uit dit mengsel in water oplossen en daar de wateroplosbaarheid overschrijden kunnen drijfslagen ontstaan. Een illustratie van dit gedrag is gegeven in figuur 1. We hebben een peilbuis van de te saneren locatie bemonsterd en in het monster zowel een zak- als een drijfslag aangetroffen.

De vluchtigheid van de meeste stoffen in een creosootolie mengsel is zeer laag (zeer lage dampdrukken). Daarnaast liggen de kookpunten van de stoffen in het mengsel veelal boven de 180 °C.

2.2.3 Verspreidingsgedrag creosootolie in de ondergrond

De eigenschappen van creosootolie maken dat het verspreidingsgedrag in de bodem en het grondwater bijzonder gecompliceerd is en vergelijkbaar is met andere DNAPLs (Dense Non-Aqueous Phase Liquids). Bij het verplaatsen door de bodem blijft in een groot deel van de bodem een verontreiniging achter als residuaal puur product. Van de poriën waar product doorheen is gestroomd, zal 1 – 20% van het volume 'blijvend' gevuld zijn met product. Dit wordt veroorzaakt door een hogere viscositeit in combinatie met de capillaire krachten die optreden als gevolg van verschillen in poriegroottes.

Ter plaatse van de zaklagen (op slecht doorlatende bodemlagen met fijne poriën) kan 20 tot 60% van het porievolume gevuld zijn met creosootolie. Vanuit zowel de zaklagen als het residuaal product lost creosootolie op in het grondwater.

Gezien de beperkte oplosbaarheid van een groot aantal componenten in de creosootolie zal slechts een gering percentage van de aanwezige verontreiniging in oplossing kunnen zijn. Nalevering aan de opgeloste fase is hierdoor een proces dat zeer lang zal voortduren.

2.2.4 Verwijdering van creosootolie uit de ondergrond

Verwijdering zonder stimulering met stoominjectie

Afhankelijk van de wijze van voorkomen in de ondergrond kan creosootolie worden verwijderd op de volgende manieren:

- Opgelost in grondwater kan creosootolie worden verwijderd door middel van grondwateronttrekking;
- Als zaklagen puur product kan creosootolie worden verwijderd door middel van een twee fasen onttrekking;
- Aanwezig in de dampfase (bodemplucht) kan creosootolie worden verwijderd door middel van bodemplucht extractie.

Aangezien een groot deel uit het creosootmengsel slecht oplosbaar is, zal alleen grondwateronttrekking een beperkt rendement hebben.

De effectiviteit van de verwijdering van puur product door middel van twee fasen onttrekking wordt vooral bepaald door de aanwezigheid van een continue pad waarlangs het product kan stromen in het poreus medium en de viscositeit van de vloeistof. Zodra de continuïteit van het pad wordt verbroken, zakt de effectiviteit van de verwijdering.

Om de continuïteit van het DNAPL-pad zo lang mogelijk te borgen is het van belang geleidelijk te onttrekken.

De effectiviteit van verwijdering door middel van de bodemplucht extractie is beperkt voor een groot deel van de componenten in het creosootolie mengsel vanwege de lage vluchtigheid.

Stoomgestimuleerde verwijdering

Ten aanzien van stoomgestimuleerde verwijderen maken we onderscheid tussen het gebruik van stoom om de temperatuur in de bodem op te warmen (tot maximaal circa 95 °C) voor verwijdering met warm water en gebruik van stoom voor verwijdering in de dampfase (temperatuur > 100 °C).

Verwijdering in warm water

Stoominjectie leidt er toe dat de bodem en het grondwater opwarmt. Hierdoor veranderen de eigenschappen van de creosootolie. De oplosbaarheid, dampspanning en reactiesnelheid (bepalend voor de snelheid waarmee fluxen en evenwichten zich instellen) nemen toe, de viscositeit en adsorptie affiniteit van creosootolie aan bodemdeeltjes nemen af. Al deze veranderingen maken dat de verwijdering met de in de vorige paragraaf beschreven technieken beter zal verlopen dan zonder verwarming (Davis, 1998).

De combinatie van een verhoogde oplosbaarheid en verlaagde viscositeit maakt dat het rendement van grondwateronttrekking en/of twee fasen onttrekking aanzienlijk hoger zal zijn. Meer product zal in opgeloste vorm en als puur product verwijderd worden.

Dampfase

Het ontstaan van de stoomdeken in de ondergrond gecombineerd met vacuümextractie zorgt voor een efficiënte verwijdering van vluchtige componenten. Uit de literatuur blijkt dat stoffen met een kookpunt lager dan water volledig worden verwijderd. Onder bepaalde condities kunnen stoffen met een kookpunt tot 175 °C uit de creosootolie in de stoomdeken verwijderd worden omdat de vluchtigheid toeneemt met toenemende temperatuur (Davis, 1998). Het deel van de creosootolie dat niet kan vervluchtigen bij de te bereiken temperaturen met stoominjectie kan alleen worden verwijderd als puur product. Ook dit proces gaat beter bij hogere temperaturen vanwege de afnemende viscositeit.

De effectiviteit van stoomgestimuleerde verwijdering van creosootolie hangt af van:

- de verhoogde oplosbaarheid in het grondwater;
- de snelheid van grondwateronttrekking;
- de verbeterde toestroom van puur product als gevolg van de verlaagde viscositeit en
- de mate van onttrekking via de dampfase.

Door een destillatie karakteristiek en een olie/teer karakterisatie op het puur product toe te passen kan de mate van verwijdering door de verschillende processen worden ingeschat.

Samenvattend concluderen wij dat de algemene karakteristieken van creosootolie er op wijzen dat de verwijdering via de dampfase beperkt zal zijn. Stoomgestimuleerde verwijdering leidt vooral tot een verbeterde toestroming van puur product en een verhoogde oplosbaarheid in het grondwater. Een te hoge temperatuur van het grondwater kan wellicht leiden tot een verminderde effectiviteit van de creosootverwijdering doordat de werking van de pomp om vloeistoffen af te pompen vermindert in de aanwezigheid van stoom.

Saneringsdoelstelling

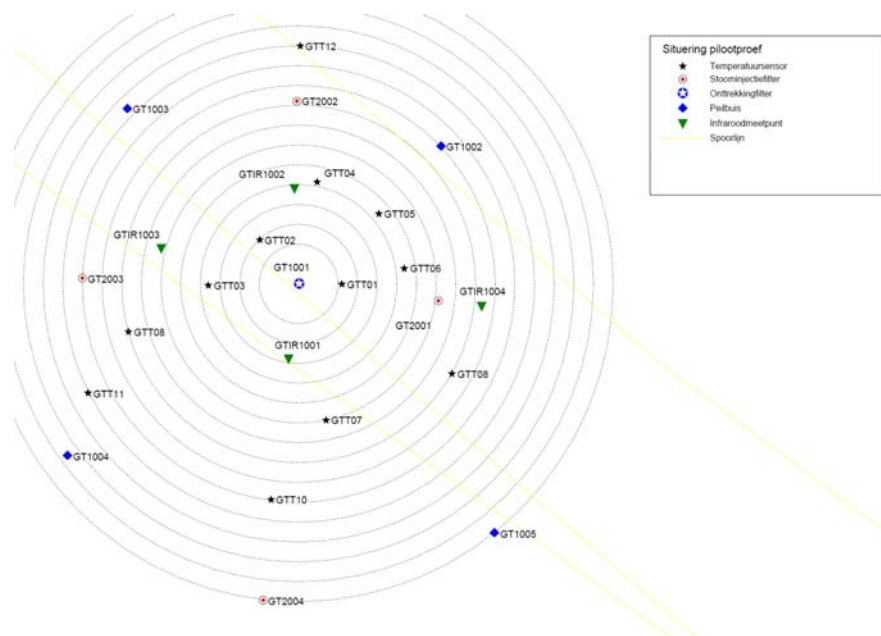
Het doel van de creosoot pilot is het verkrijgen van een grondig inzicht in de toepassingsmogelijkheden van stoominjectie als saneringsmethode op de locatie. De inzichten verkregen uit de creosoot pilot worden gebruikt om een ontwerp te maken voor een full-scale sanering van de locatie.

Fasering sanering

De aanleg van het ondergrondse deel van het saneringssysteem (koudwateronttrekking & stoominjectiesysteem) is gefaseerd uitgevoerd. Daarmee is gedurende de pilot geohydrologische informatie verkregen waarmee de dimensionering van het stoominjectiesysteem tijdens deze case kon worden geoptimaliseerd. De gefaseerde uitvoering bestond daarmee uit de volgende stappen:

- Fase 1: Standaard pump & treat, de "koud water" fase;
- Fase 2: Stoomgestimuleerde sanering;
- Fase 3: Afronding en rapportage.

Figuur 2: situering van de verschillende filters en monitoringspunten



Fase 1. Koud water fase

In Tabel 2 is beknopt de chronologie van de koudwater fase weergegeven. Deze fase onderscheidt de volgende activiteiten:

- Installatie filters GT1001 tot GT1009;
- Installatie hoogvacuüm meergefase extractiesysteem (DM-Vex) en waterzuivering;
- Uitvoering nul meting stijghoogten;
- Koudwater onttrekking inclusief meting stijghoogten;
- Aanpassen waterzuivering na doorbraak actief koolfilters;
- Uitvoeren test met onderwaterpomp.

De chronologie wordt in dagen vanaf de start gegeven (bij Odfjell wordt de chronologie op datum beschreven). In latere tabellen en figuren van deze pilot wordt de datum als leidraad voor het tijdsverloop gegeven. Dit maakt het interpreteren van grafieken erg lastig. Geef in de grafieken de fasen van de sanering aan.

Tabel 2: Chronologie activiteiten gedurende de koudwater fase.

Tijdspad	Activiteit
Dag 1	Start aanleg koudwater systeem inclusief monitoring filters (GT1001 tot en met GT1009)
Dag 3	Opstarten koudwateronttrekking
Dag 27	Einde koudwater onttrekking met DM-Vex, installatie onderwaterpomp
Dag 28	Opstarten onderwaterpomp
Dag 29	Stopzetten systeem in verband met overschrijding lozingseisen

Fase 2: Stoominjectie fase

In Tabel 3 is de chronologie van de stoominjectiefase weergegeven. Op hoofdlijnen bestaat deze fase uit:

- Installatie van injectiefilters;
- Plaatsing van ketels en manifold container;
- Eerste week met onderwaterpomp;
- Probleem onderwaterpomp met daaruit volgende storingen koeling en zuivering;
- Oplossing met behulp van DM-Vex;
- Problemen met verstopping van injectiefilters;
- Stopzetten stoominjectie.

Tabel 3: Beknopte chronologie verloop stoominjectiefase

Tijdspad	Activiteit
Dag 26-29	Installatie injectiefilters (GT2001 tot en met GT2004)
Dag 34	Aanlevering extra actief kool filters
Dag 35	Verwisselen kool
Dag 37	Ophogen terrein
Dag 37-43	Aansluiten stoomsysteem & proefdraaien en lekdicht maken van het gehele systeem
Dag 44	Opstarten van de stoominjectie
Dag 44-51	Stoominjectie met diverse kortdurende storingen op de stoomketel. Toenemende problemen met de koeling van de stroom op de DM-Vex
Dag 51	Stoomdoorbraak vanaf GT2001 naar GT1001
Dag 51-54	Continue problemen met onderwaterpomp, vervangen compressor voor grotere blijkt geen effect te hebben. DM-Vex valt uit door smelten klep
Dag 55-63	Stopzetten stoominjectie, start ombouw systeem waarbij onderwaterpomp vervangen is door DM-Vex
Dag 63	Opstarten Stoominjectie met DM-Vex voor wateronttrekking
Dag 66	Bijzetten tweede DM-Vex voor bodemluchtexttractie
Dag 66-71	Toenemende druk nodig om stoomflux te handhaven. Op 5 juli systeem stop gezet om verstopping in injectiefilters te testen.
Dag 73	Stoominjectie intermitterend op GT1004, 20 min aan, 20 min uit, totaal 40 kg stoom / uur.
Dag 78	Aquaquick in GT2001 en GT2002
Dag 83	Opstart stoominjectie op 3 filters continue
Dag 91-92	storing op stoomketel
Dag 93	Ketel vervangen, onderhoud DM-Vex, systeem opgestart
Dag 101	Stop stoominjectie
Dag 113	Stop onttrekkingsysteem en start demontage

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen uit het SKB projectplan op basis van de resultaten beantwoord. Hierbij zullen tevens resultaten van de creosoot pilot gebruikt worden om de beantwoording van de vragen te verhelderen. Voor de ruwe resultaten van het SKB project verwijzen we naar bijlage ², alsmede naar de rapportage "Meetgegevens SKB stoominjectieproject" met kenmerk G05A0024.e07. Voor de resultaten van het creosoot project verwijzen we naar bijlage ³.

3.1 Onderzoeksvragen/doelstellingen

De hoofdvraag van het onderzoek is:

- Is stoominjectie een kostenbesparende techniek om het rendement van 'traditionele' verwijderingstechnieken te verbeteren (m.a.w. de economische waarde van de verbetering is groter dan de kosten ervan)?;

In het projectplan zijn daarnaast 7 nevendoelestellingen/vragen gedefinieerd, die door het uitvoeren van het demonstratieprojecten beantwoord kunnen worden:

- a) Aantonen dat met stoominjectie de mobiliteit van de verontreiniging toeneemt;
- b) Aantonen dat de gemobiliseerde verontreiniging uit de bodem wordt verwijderd (in het onderhavige geval door grondwater onttrekking en bodemlucht onttrekking);
- c) Demonstreren dat het mogelijk is om de opwarming van de bodem voldoende nauwkeurig te sturen, in het onderhavige geval dat de bodemtemperatuur stabiel op 70 - 100 °C gehouden kan worden en tegelijk de temperatuur van de bodem boven de te saneren zone (in het ondergronds pijpentracé) niet hoger wordt dan 35 °C. In het geval van de creosoot pilot, dat de temperatuur snel naar 120 °C gebracht kan worden en dat er op diepte een stoomdeken gecreëerd en in stand gehouden kan worden;
- d) Demonstreren dat door correcte dimensionering van onttrekking, beluchting en stoominjectie, de mobilisatie van de verontreiniging, in combinatie met de toegepaste verwijdering, niet leidt tot verspreiding;
- e) Onderzoeken in hoeverre het rendement verbeterd kan worden als de temperatuur verder opgevoerd wordt;
- f) Onderzoeken of er in de opgewarmde zone biodegradatie optreedt en onderzoeken in welke mate de bodem na afkoeling nog biologische activiteit heeft;
- g) Onderzoeken welke verschijnselen optreden aan de randen van de verwarmde zone (aan de 'randen' van de verwarmde zone treden zeer interessante effecten op):
 - Positief: effecten op biologische omzetting van verontreiniging (stimulatie van de biodegradatie is geen onderdeel van het 'reguliere' deel van dit saneringsproject; dit project biedt wel een zeer goede kans hiernaar onderzoek te doen);
 - Negatief: ongewenste verschijnselen van verspreiding (o.a. door condensatie) zullen juist aan de randen optreden.

Hieronder worden de individuele vragen/doelstellingen ieder apart behandeld, waarna de hoofdvraag beantwoordt zal worden.

3.2 Mobiliteit verontreiniging

a. Aantonen dat met stoominjectie de mobiliteit van de verontreiniging toeneemt.

Door het verschil in verwijdering van (puur) product voor en tijdens stoominjectie met elkaar te vergelijken (koude en warme fase) kan bepaald worden of de mobiliteit van de verontreiniging tijdens stoominjectie toeneemt.

De verwijderde hoeveelheid product is tijdens de SKB pilot bepaald door:

- Het nemen van monsters van de grondwateronttrekking;
- Het nemen van condensaatmonsters na koeling van de onttrokken luchtstroom;
- Het bepalen van de hoeveelheid product in de afgekoelde dampfase door het uitvoeren van kwalitatieve metingen (FID, PID) gestaafd met kwantitatieve metingen (koolbuisjes).

Aanvullend is tijdens de Creosoot pilot gebruik gemaakt van twee olie- en waterscheiders (OWS) en een puur-producttank, om de verwijderde hoeveelheid puur product beter te kunnen bepalen.

Ontwikkeling van (puur) product in de tijd is tijdens het SKB project moeilijk te bepalen, aangezien de onttrokken stromen direct geloosd zijn op de algemene bedrijfsriolering van OTR. Om toch een inschatting te kunnen maken zijn monsters genomen van onttrokken grondwater, alsmede condensaatmonsters. Door de aanwezigheid van puur product in de grondwater- en condensaatmonsters zijn de concentraties echter moeilijk te meten. Dit komt omdat de opgeloste concentraties in evenwicht zijn met het puur product en maken de analyse in het laboratorium moeilijk, waarbij een grote ruis in de meetgegevens aanwezig zijn. Bovendien, de methode in het laboratorium meet alleen het opgeloste deel, en niet de hoeveelheid aanwezig als puur product. Omdat in dit project van de aanwezige bedrijfswaterzuivering gebruik is gemaakt, was het niet mogelijk de hoeveelheden onttrokken olie na afkoeling volumetrisch te bepalen.

Op basis van de aanwezige vracht voor en na stoominjectie is het duidelijk dat de verontreiniging gemobiliseerd en verwijderd wordt. Zie hiervoor tevens paragraaf 3.3 en bijlage ⁴.

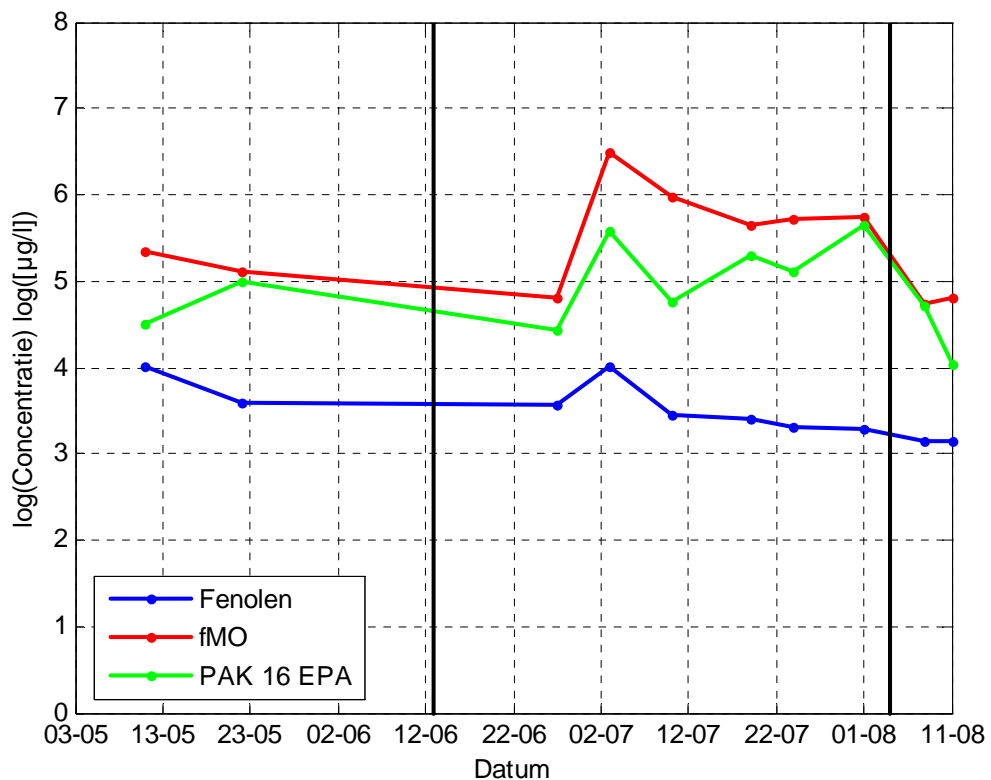
Gedurende de koudwaterfase van de creosoot pilot is in de OWS nauwelijks puur product afgescheiden. In de OWS is 2 tot 5 millimeter (10 tot 25 liter) product als zaklaag aangehouden op dag 22 na opstart van de sanering.

Aan het einde van de creosoot pilot was er in de OWS en de puur product tank ongeveer 2900 liter aan afgepompte zaklaag aanwezig.

Gezien het feit dat er (vrijwel) geen zaklaag is ontwikkeld tijdens de koudwater extractie is deze vracht volledig toe te schrijven aan de stoomgestimuleerde verwijdering. Als we aannemen dat de dichtheid van creosoot iets hoger is dan 1 kg/l (1.09 kg/l) dan is er minstens 2900 kg product verwijderd uit de bodem.

Indien er gekeken wordt naar de concentraties in het influent op de OWS gedurende de gehele creosoot pilot blijkt duidelijk dat gedurende de stoomfase de concentraties in het influent aanzienlijk hoger zijn dan gedurende de koud water fase. Zie hiervoor tevens Figuur 7 hieronder.

Hierbij wordt opgemerkt dat de stroom op de waterzuivering een combinatie is van onttrokken grondwater en condensaat uit de bodemluchtexttractie stroom. Individuele metingen van de concentratie aan verontreiniging in de onttrokken bodemlucht blijkt moeilijk, voor de koeling is het te heet en na de koeling is een groot deel uit de lucht fase gecondenseerd.



Figuur 3: Concentraties gemeten in de influent op de actief kool filter als functie van tijd. Concentraties zijn weergegeven als logaritme (3 = 1 000 µg/l, 6 = 1 000 000 µg/l). De verticale zwarte lijnen geven aan op welke momenten de stoominjectie is gestart respectievelijk gestopt.

3.3 Verwijdering gemobiliseerde verontreiniging

b. Aantonen dat de gemobiliseerde verontreiniging uit de bodem wordt verwijderd.

Om aan te tonen dat de gemobiliseerde verontreiniging wordt verwijderd kan het beste de verontreinigingssituatie van grond- en grondwater voor aanvang van de stoominjectie vergeleken worden met de verontreinigingssituatie na afloop van de stoominjectie.

In Tabel 4 is de verontreinigingssituatie tijdens de SKB pilot, voor aanvang van de 2^e saneringsfase (dus voor stoominjectie) vergeleken met de verontreinigingssituatie na stoominjectie.

Tabel 4: Verontreinigingssituatie in 2004 (na ontgraving) versus 2006 na stoominjectie

		Maximale concentratie	I-contour [m ²]	T-contour [m ²]	S-contour [m ²]	Vracht* [kg]
Grond 2004 [mg/kg d.s.]	Minerale olie	21.000 (B1072: 2,5-3,0 m-mv)	250	250	250	Circa 6.800
	BTEXN	46 (B1072: 2,5-3,0 m-mv)				Max. 60
Grond 2006 [mg/kg d.s.]	Minerale olie	750 (B04A: 4,5-5,0 m-mv)	0	zeer klein Een T-waarde contour van 1 m ² klinkt onwaarschijnlijk. Neem liever een omvang van 10 m ² o.i.d.	3,5	< 5
	BTEXN	< 0,2 (B04A: 4,5-5,0 m-mv)				0
Grondwater 2004 [µg/l]	Minerale olie	Drijf laag	250	250	250	Circa 2.000
	BTEXN	Drijf laag				"Verwaarloosbaar"
Grondwater 2006 [µg/l]	Minerale olie	560 (B4A: 5,25-6,25 m-mv)	0	zeer klein	3,5	< 1,5
	BTEXN	6,85 (B4A: 5,25-6,25 m-mv)				0

* Vrucht van 2004 is ingeschat op basis van de tijdens het bodemonderzoek aangetoonde concentraties. In 2006 is de vrucht berekend door gebruik te maken van de maximale aanwezige gehalten verontreiniging. Hierbij is voor de vrucht in de grond uitgegaan van:

- een laagdikte van 1,0 meter;
- de dichtheid van de grond van 1.700 kg/m³.

Voor grondwater is uitgegaan van:

- een laagdikte van 1 meter;
- een porositeit van 35%;

Tijdens de creosoot pilot is uitvoerig bodemonderzoek uitgevoerd, om de vrucht aan verontreiniging die verwijderd moet worden te schatten. Figuur 8 en 9 geven een 3D beeld van de verontreinigings situatie rondom de met stoom behandelde zone voorafgaand aan de behandeling. We hebben uit de figuren voor het weergegeven volume (magenta) van 585 m³ een totaal vrucht 263 kg aan minerale olie en 1084 kg aan PAK afgeleid. Uitgaand van de droge bulk dichtheid van 1600 kg grond/m³ betekent dit een gemiddelde concentratie aan verontreiniging in dit volume van 1439 mg/kg koolwaterstoffen.

Op basis van het verwijderde puur product hebben we ruim 2900 kg aan verontreiniging verwijderd. Deze vrucht is vrijwel geheel (ruim 99%) verwijderd tijdens de stoomfase. Zie hiervoor tevens paragraaf 3.2. Binnen het gesaneerde gebied is nagenoeg geen verontreiniging achtergebleven. Er is niet gecontroleerd of verspreiding naar de diepte heeft plaatsgevonden. Hiermee is aannemelijk gemaakt dat de door stoominjectie gemobiliseerde verontreiniging wordt verwijderd. Hierbij dienen een aantal opmerkingen gemaakt te worden:

- In de praktijk wordt bij een in-situ sanering vaak meer verontreiniging verwijderd dan er in eerste instantie op grond van boringen en grondmonsters is ingeschat;
- Het bodemvolume dat in de piloot is gesaneerd is niet goed te schatten, we verwachten dat dit volume waarschijnlijk kleiner is dan het volume weergegeven in en
- omdat vooral de zone tussen de injectie en onttrekkingfilters wordt aangepakt;
- Stoominjectie leidt tot een mobilisatie van verontreiniging wat betekent dat verontreiniging van buiten de behandelde zone eveneens komt toestromen.

3.4 Mogelijkheid sturen opwarming van de bodem

c. Demonstreren dat het mogelijk is om de opwarming van de bodem voldoende nauwkeurig te sturen.

In het geval van de reguliere sanering bij Odfjell is vooraf gesteld, dat de bodemtemperatuur stabiel op 70 tot 100 °C gehouden kan worden en tegelijk de temperatuur van de bodem boven de te saneren zone (in het ondergronds pijptracté) niet hoger wordt dan 35 °C. Tijdens het SKB project (3^e fase sanering) is tevens gekeken of de temperatuur in de bodem op te voeren is naar 120 °C.

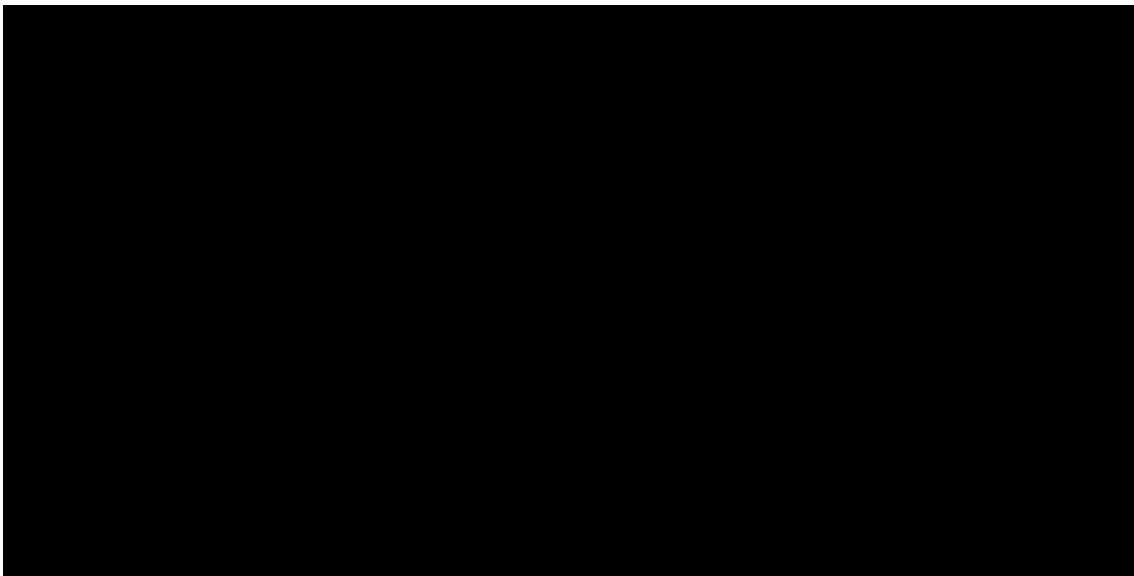
Bij de creosoot pilot is het van belang om een stabiele stoomdeken (temperaturen tot boven 100 °C) aan te leggen in de bodem, zonder dat dit risico's met zich meebrengt voor de activiteiten op maaiveld.

De te beheersen (veiligheids)-risico's werden vooraf bepaald op stoomdoorbraak naar het maaiveld, uittreden van creosoot (-dampen) uit het maaiveld en sterke verhitting ($> 50\text{ C}$) van het maaiveld.

Tweedimensionaal beeld temperatuurverloop

Om aan bovenstaande vraag en randvoorwaarden te voldoen, is de stoominjectie tijd- en temperatuurgestuurd. Tijdens de SKB pilot is de monitoring uitgevoerd met een 11-tal sensoren. Een overzicht van de locaties van de temperatuursensoren tijdens de het SKB project zijn te zien op bijlage C. Gedurende de Creosoot pilot zijn op 96 plaatsen (12 strengen van 8 thermokoppels) de temperaturen continue gelogd, wat eveneens te zien is in bijlage D.

Figuur 4: Temperatuurverloop in de bodem tijdens SKB project, 3e fase sanering Stoominjectie wordt aangegeven door de dikke blauwe lijn (waarde -15 bij injectie, waarde 0 indien geen injectie)



Alle thermokoppels meten een temperatuurstijging. Uit het verloop van de individuele lijnen is duidelijk onderscheid te zien tussen een temperatuur stijging veroorzaakt door warmte-diffusie en temperatuur stijging door stoomdoorbraak. De temperatuur stijging bij stoomdoorbraak is abrupt en vindt plaats in zeer korte tijd (bijvoorbeeld op 8.6 m-mv in GTT01), de temperatuur stijging door warmte diffusie is geleidelijk en is continue zolang er stoom wordt geïnjecteerd (bijvoorbeeld op 3.6 m-mv in GTT11).

Uit Figuur 4 blijkt dat de gemiddelde temperatuur in de te saneren bodemlaag tijdens de 3^e fase circa $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ bedraagt. Opwarming tot $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ is niet mogelijk gebleken, aangezien bij deze temperatuur de opwarming van de productleidingen te groot wordt. De aldaar geplaatste sensor T3 wordt continu en T1 sporadisch warmer dan 35 C . Gebleken is dat bij die temperaturen er geen merkbare opwarming van de producten in de leidingen optreedt.

Uit de resultaten blijkt dat de temperatuur in de bodem goed te sturen is, de te bereiken temperatuur wordt echter begrensd door sensor T1 en T3 nabij de productleidingen. De stoomschakeling is zo ingeregeld dat bij een temperatuur boven de 30°C de stoomtoevoer dicht gaat. Dat de temperatuur gedurende een korte periode verder stijgt is te wijten aan het kortstondig aanhoudende hittefront, nadat de stoomtoevoer al is afgesloten. In het algemeen vertonen alle thermokoppels van beide pilots een vergelijkbaar gedrag. In de grafieken is duidelijk het effect van het aan en uit zetten van de stoominjectie in te zien. De bodem warmt snel op bij stoomdoorbraak. Na het uitzetten van het systeem houdt de bodem de warmte vast. De afkoeling verloopt minder snel dan de opwarming.

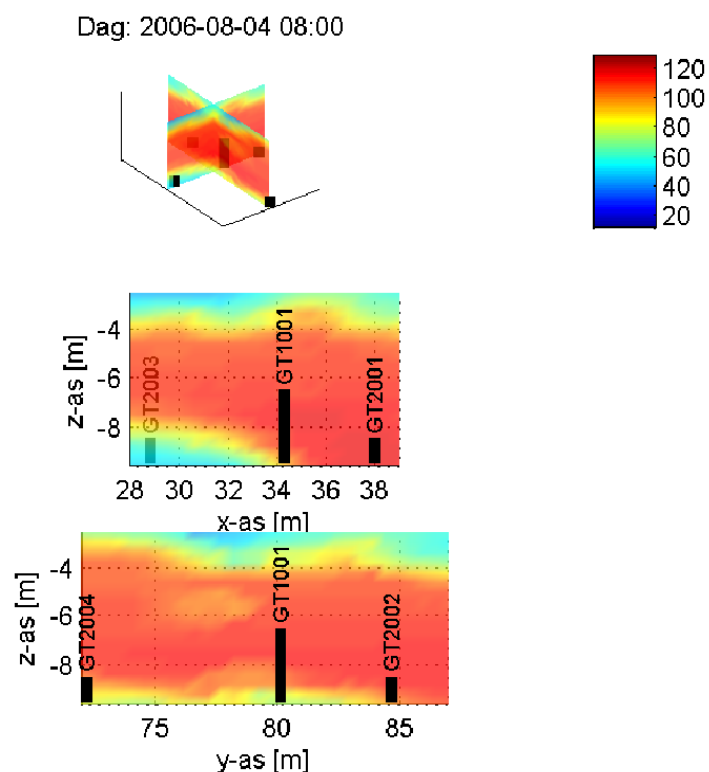
Driedimensionaal beeld temperatuurverloop

Aangezien alle thermokoppels tijdens de creosoot pilot automatisch zijn gelogd met een zelfde meetfrequentie (1 meting per 10 minuten) is een hoeveelheid gegevens verkregen waarmee de 3D-warmte ontwikkeling in de ondergrond is te visualiseren. Hiermee verkrijgen we een beter beeld van de heterogeniteit in warmteverdeling in de bodem. Daarnaast kunnen we vaststellen of er al dan niet complete stoomdoorbraak plaatsvindt gedurende de gehele periode. Het aantal sensoren in het SKB project is te laag om een goede 3D-visualisatie te kunnen maken, zodat hieronder alleen gebruik is gemaakt van gegevens uit de creosoot pilot. In Figuur 5 is de 3D temperatuurverdeling in de bodem te zien op de laatste dag van stoominjectie waarop overal een stoomdeken aanwezig is tussen de vier injectiefilters, in alle filters is stoomdoorbraak opgetreden. De stoomdeken heeft zich hierbij ontwikkeld van -4 m tot op -9.5 m. De roodgekleurde gebieden zijn warmer dan 100C; hier zal het grondwater in dampfase zijn overgegaan (kookpuntsverlagings-effecten buiten beschouwing gelaten).

De roodgekleurde gebieden zijn warmer dan 100 °C; hier zal het grondwater in dampfase zijn overgegaan (kookpuntsverlagings-effecten buiten beschouwing gelaten).

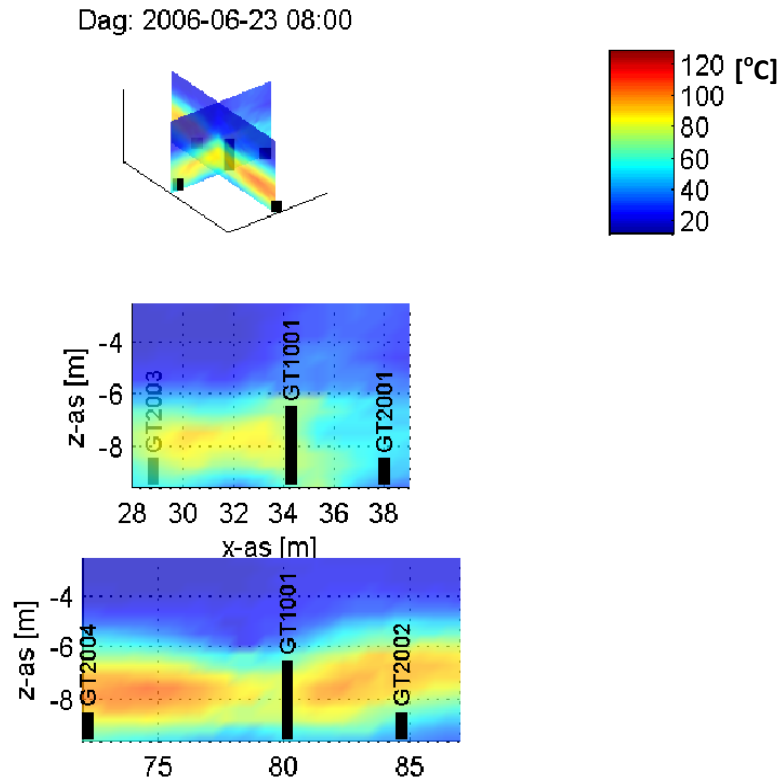
Uit Figuur 6 blijkt dat de positie van de stoomdeken goed te beheersen is met de onttrekingsput doordat er in de verticale richting sprake is van een zeer scherpe temperatuur gradiënt. Wel valt op dat de stoomdeken in verticale richting enkele meters boven de injectie- en onttrekkingsdiepte stijgt. Op dat niveau is de deken stabiel gebleken. De verticale ligging van de stoomdeken is 'hardware matig' stuurbaar door het aantal en onderlinge afstanden van de injectie- en extractiefilters correct te bepalen en 'software matig' stuurbaar door de verhouding injectie/onttrekking (druk en debiet) te manipuleren.

In Figuur 7 is de temperatuurverdeling weergegeven na uitzetten van het onttrekkingsstelsel op 19 juni. Uit de figuur blijkt dat ondanks het feit dat het onttrekkingsstelsel niet aan staat de warmte niet naar boven verspreidt.



Figuur 5: Temperatuurverdeling op de laatste dag van de stoominjectie. Alle assen in meters (x-as en y-as op eigen assstelsel, z-as ten opzichte van maaiveld). Injectiefilter GT2001-2004 en onttrekkingsfilter GT1001.

Figuur 6: Temperatuur verdeling nadat systeem extractiesysteem is uitgezet. Alle assen in meters (x-as en y-as op eigen assstelsel, z-as ten opzichte van maaiveld)



Verspreiding van warmte verloopt vanuit het injectiefilter richting het extractiefilter zoals is te zien in de visualisaties van de temperatuur verdeling. De stoomdeken verspreidt zich in zeer geringe mate in bovenwaartse richting en is goed te beheersen. Opvallend is dat de warmte in de bodem niet de neiging heeft om sterk te verspreiden. Op het moment dat het extractiefilter uitstaat blijft de warmte op dezelfde plaats, waarmee de bewezen is dat de temperatuur in de bodem voldoende te sturen en te beheersen is.

3.5 Voorkomen verspreiding

Demonstreren dat door correcte dimensionering van onttrekking, beluchting en stoominjectie, de mobilisatie van de verontreiniging, in combinatie met de toegepaste verwijdering, niet leidt tot verspreiding.

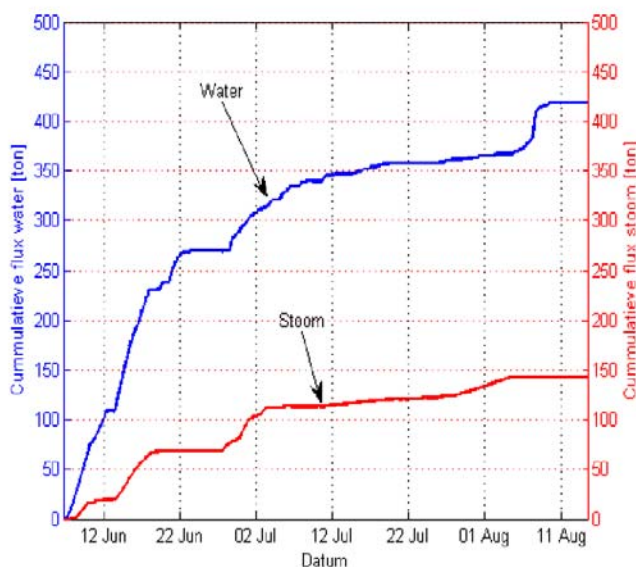
Om bovenstaande vraag te kunnen beantwoorden zijn onderstaande parameters bepaald:

- Het stoominjectiedebiet versus het debiet van de grondwateronttrekking;
- Het meten van verspreiding door middel van bodemgassondes;
- Het nemen van grondwatermonsters uit peilbuizen buiten de locatie.

Stoominjectie versus grondwateronttrekking

Om verspreiding te voorkomen, dient het debiet van de grondwaterextractie in combinatie met de bodemluchtexttractie groter te zijn dan het stoominjectiedebiet. Tijdens de stoomfase van de SKB pilot is het stoomdebiet niet gemeten omdat geen stoomdebietmeter beschikbaar was. Tijdens de stoomfase van de creosoot pilot zijn de debieten gemeten van de hoeveelheid geïnjecteerde stoom en de hoeveelheid water dat is onttrokken.

In Figuur 7 zijn de cumulatieve hoeveelheid geïnjecteerde stoom en onttrokken water weergegeven van de creosoot pilot. In de grafiek zien we dat er ongeveer 3 maal zoveel water is onttrokken als dat er aan stoom is geïnjecteerd. Naast het water dat onttrokken is, is er ook een onbekende maar grote hoeveelheid (vochtige) hete lucht onttrokken door middel van bodemlucht extractie. De gecombineerde extractie verklaart waarom de stoomdeken tussen injectie en onttrekkingsfilters op niet verplaatst en dat verspreiding van verontreiniging wordt tegengegaan.



Figuur 7: Gerealiseerde cumulatieve onttrekkingsflux en stoominjectieflux gedurende de stoominjectie fase

Duidelijk zichtbaar in Figuur 14 is het feit dat de hoeveelheid onttrokken grondwater sterk afneemt gedurende de periode dat een stoomdeken wordt gehandhaafd (ongeveer de periode van 2 juli tot 4 augustus). In deze periode wordt vooral hete lucht vanuit de filter onttrokken omdat er (vrijwel) geen water meer in de filter aanwezig is. Op het moment dat de stoomdeken niet meer aanwezig is (na 4 augustus) neemt de onttrokken hoeveelheid grondwater sterk toe.

Gebruik van gassondes tijdens SKB project

Indien de vervluchtigde verontreiniging op 3.5 m-mv niet afgevangen wordt door de bodemluchtexttractie, zullen de dampen zich langs de afdichtende folie verspreiden tot buiten de locatie.

In gassonden op 3-3.5 m-mv is de kwaliteit van de bodemlucht gemeten, met behulp van de PID, FID en Gas-analyser om te bepalen of verspreiding optreedt. Voor de locatie van de gassondes wordt verwezen naar bijlage C.

Door de aanwezigheid van een aromatenhoudende verontreiniging aan de noordzijde van de locatie, niet afkomstig van de lekkage, is het niet mogelijk gebleken om representatieve metingen uit te voeren op de gassondes.

Bemonsteren van peilbuizen

Na de reguliere stoominjectie bij Odfjell zijn op 20 juni 2005 monsters genomen uit 2 bestaande peilbuizen (1072 en 1074) en uit twee van de drie (1085 en 1087) nieuw geplaatste peilbuizen rondom de locatie. Uit de monsternamen blijkt dat in peilbuis 1072 een verweerde gasolieverontreiniging bevindt, niet afkomstig van de lekkage.

De hypothese kan gesteld worden dat gasolie versneld verweert als gevolg van de verhoogde temperatuur in de bodem (uitdamping van vluchtige verbindingen en versnelde biologische omzetting). Bestudering van chromatogrammen van analyses van monsters genomen tijdens de sanering in de kern van het verontreinigd gebied, in vergelijking met chromatogrammen van oudere, niet aan stoom blootgestelde, verontreiniging toont een duidelijk verschil. Bij stoomsaneren verdwijnen de lichte fracties preferentieel. Ook zwaardere fracties verdwijnen wel, maar breken niet wezenlijk versneld af; het chromatogram vertoont een 'afgekapt' patroon. De vluchtige componenten zijn verdwenen, de zwaardere zijn vrijwel onveranderd nog aanwezig. (zie bijlage)

(Kan de gasolie niet verweerd zijn ten gevolge van de uitdamping van vluchtige verontreinigingen en een versnelde biologische afbraak).

Hierbij wordt opgemerkt dat in de nieuwe geplaatste peilbuis 1086 aan de noordzijde van de locatie een drijfslag is aangetoond van circa 40 centimeter dikte. Uit separaat onderzoek blijkt dat het een drijfslag betreft van een benzineachtige verontreiniging, niet afkomstig van de lekkage uit 2003.

Tijdens het SKB project zijn verder geen monsters meer genomen uit deze omringende peilbuizen, aangezien besloten is om op basis van de eerste monsternamen het te behandelen gebied te verkleinen van 250 m² naar circa 40 m². Uit de opeenvolgende monsternamen blijkt dat de "nieuwe" vlek aan de noordzijde juist verder naar de locatie wordt toegetrokken, waarmee verspreiding tot buiten de locatie uitgesloten kan worden.

Zie hiervoor tevens bijlage F waarin de verontreinigingcontouren staan aangegeven voor en na de 3^e fase van de sanering, met daarbij de uitsplitsing tussen verontreiniging afkomstig van de lekkage en verontreiniging afkomstig van andere bron(nen).

Voor het pilot project in België is de kwaliteit van het grondwater na de pilot niet bepaald; dit was geen onderdeel van deze pilot, die gericht was op het onderzoeken van de massaverwijdering.

3.6 Rendementverbetering bij hogere temperatuur

e. *Onderzoeken in hoeverre het rendement verbeterd kan worden als de temperatuur verder opgevoerd wordt.*

Bovenstaande vraag kan op twee manieren beantwoord worden:

- Het vergelijken van de aanwezige vracht in grond en grondwater na de 2^e fase en na de 3^e fase van SKB project. In andere woorden, stomen tot circa 75°C versus stomen tot 95°C;
- Het vergelijken van de concentraties in het onttrokken grondwater- en de bodemlucht bij verschillende temperaturen.

Vergelijking vrachten

Op basis van het onderzoek heeft GT de vracht verontreiniging ingeschat nog aanwezig na de tweede en derde fase van de sanering. In Tabel 5 en Tabel 6 zijn de aanwezige vrachten weergegeven. De verontreinigingscontouren staan in bijlage E.

Tabel 5: Vracht verontreiniging na 2^e fase sanering

		Maximale concentratie	I-contour [m ²]	S-contour [m ²]	Vracht* [kg]
Grond 2005 [mg/kg d.s.]	Minerale olie	6.000 <small>(B4: 4,0-4,5 m-mv)</small>	3,0 <small>[2*1,5]</small>	34	Circa 160
	BTEXN	0,77 <small>(F: 3,1-3,6 m-mv)</small>			<0,1 kg
Grondwater 2005 [µg/l]	Minerale olie	560	24	42	< 15
	BTEXN	6,35			<0,1

* Uitgaande van een gemiddelde concentratie van 1.100 mg/kg d.s. minerale olie en een maximale concentratie van 0,77 mg/kg d.s vluchtige aromaten in grond en respectievelijk 400 en 2,77 µg/l.

Tabel 6: Vracht verontreiniging na 3^e fase sanering

		Maximale concentratie	I-contour [m ²]	T-contour [m ²]	S-contour [m ²]	Vracht* [kg]
Grond 2006 [mg/kg d.s]	Minerale olie	750 (B4A: 4,5-5,0 m-mv)	0	zeer klein	3,5	<5
	BTEXN	<0,2 (B4A: 4,5-5,0 m-mv)				0
Grondwater 2006 [µg/l]	Minerale olie	560 (4A: 5,25--6,25 m-mv)	0	zeer klein	3,5	< 1,5
	BTEXN	6,85 (4A: 5,25--6,25 m-mv)				0

* In 2006 is de vracht berekend door gebruik te maken van de maximale aanwezige gehalten verontreiniging. Hierbij is voor de vracht in de grond uitgegaan van:

- een laagdikte van 1,0 meter;
- de dichtheid van de grond van 1.700 kg/m³.

Voor grondwater is uitgegaan van:

- een laagdikte van 1 meter;
- een porositeit van 35%.

Op basis van de resultaten concluderen we dat de extra opwarming tijdens de derde fase een positieve invloed heeft op het verwijderingsrendement.

Opgemerkt wordt dat het bepalen van de aanwezige vracht bemoeilijkt is, door de aanwezigheid van verontreiniging, niet afkomstig van de spill uit 2003. Uit metingen blijkt dat deze verontreiniging naar de saneringslocatie wordt aangetrokken.

In de pilot in België is gekeken naar de ontwikkeling van onttrokken puur product en concentraties in influent en effluent bij koudwater onttrekking respectievelijk tijdens stoominjectie.

Fase 1: Koudwater fase

Deze gegevens zijn vermeld in sectie 3.2 op pagina 16

Fase 2: Stoominjectie fase

Als er puur product in een waterstroom aanwezig is zijn de concentraties moeilijk te meten. Dit komt doordat de opgeloste verontreinigingen in evenwicht zijn met het puur product. De hoge concentraties maken de analyse in het laboratorium moeilijk en er zal een grote ruis in de meetgegevens aanwezig zijn.

Bovendien, de methode gehanteerd in het laboratorium leidt er toe dat vooral het opgeloste deel wordt geanalyseerd, en niet de hoeveelheid aanwezig als puur product (vooral de waterfase wordt geëxtraheerd). Een grove schatting aan verwijderd product is te maken als we aannemen dat er gemiddeld $10^6 \mu\text{g/l}$ ($= 1 \text{ g/l} = 1 \text{ kg/m}^3$) op de OWS is geloosd. Op basis van de concentraties gemeten in het influent is de schatting dat er 500 kg product is verwijderd. Als we dit vergelijken met de afgepompte hoeveelheid zaklaag blijkt dit een zeer grote onderschatting. Influentmetingen op de OWS geven daarmee geen goed beeld van de verwijderde vracht.

Een schatting van de vracht van de luchtstroom dat over het luchtzijdige actief koolfilter is gegaan is te maken op grond van de flux en concentratie metingen in de luchtstroom. De hoogste concentratie in de metingen van Tauw betreft de meting op 1 augustus 2006 waar een totaal gehalte aan verontreiniging is gemeten van ongeveer $40 \mu\text{g}$ per buisje. Per meting is ongeveer 6 liter lucht door het buisje heen geleid, oftewel een vracht van $6.67 \mu\text{g/liter}$. Het maximaal gemeten luchtdebiet direct achter de DM-VEX was 11.6 m/s in een buis met een diameter van 3.2 cm . Dit is 9.3 liter/s ($33.6 \text{ m}^3/\text{uur}$). Om een inschatting te maken van de maximale hoeveelheid vracht verwijderd via de luchtfase kunnen we uitgaan van een doorloop tijd van 60 dagen. De maximaal verwijderde vracht is daarmee $9.3 * 60 * 24 * 3600 * 6.67 / 10^9 = 0.32 \text{ kg}$. Dit is ten opzichte van de 2.900 kg verwijderde puur product (zie paragraaf 4.2) verwaarloosbaar omdat dit wegvalt in de foutenmarge van ongeveer 10% (290 kg).

De verklaring voor deze zeer lage verwijderingsvracht in de luchtfase ligt in het feit dat de verwijderde verbindingen een lage vluchtigheid hebben. Gedurende de koeling condenseert het grootste deel waarmee deze verbindingen uit de lucht worden verwijderd. Om te weten wat er via de hete dampfase is verwijderd is het van belang om in de hete fase te bemonsteren. Dit kan feitelijk alleen met behulp van een draagbare gaschromatograaf. Dit werd in het begin van het project als te kostbaar verworpen. Aan het eind van het project is op aanbeveling van GT wel een monster van het condensaat van de DM-Vex genomen (4 augustus 2006). De analyseresultaten wijzen op de aanwezigheid van puur product in het monster en daarmee op een hoge vracht in de dampfase ($86.000 \mu\text{g/l}$ Minerale olie totaal en $343.000 \mu\text{g/l}$ PAK 16 EPA).

Het condensaat vanuit de bodemluchtextractiestroom wordt door de DM-Vex afgepompt naar de waterstroom op de waterzuivering. Dit betekent dat deze vracht verdisconteerd is in de eerder genoemde 2.900 kg .

Concentraties in onttrokken stromen

Uit bodemonderzoek voor en na stoominjectie blijkt dat bij de SKB pilot vrijwel alle gasolieverontreiniging verwijderd is. Om dit te staven op basis van de onttrokken stromen is echter tijdens het SKB project niet mogelijk gebleken, als gevolg van de aanwezigheid van een andersoortige verontreiniging, niet afkomstig van de lekkage in 2003.

Tijdens de creosoot pilot is de verwijdering van een creosootzaklaag met pump & treat vergeleken met een stoomgestimuleerde verwijdering. Op basis hiervan is een goede uitspraak te doen over het toenemend rendement bij een verhoogde temperatuur.

Uit de concentraties gemeten in het influent van de waterzuivering, blijkt dat tijdens stoomperioden, (27 juni tot en met 11 juli, 17 juli tot en met 24 juli en 27 juli tot en met 4 augustus) de influentconcentraties stijgen. Tijdens de koude fase van 13 mei tot en met 6 juni zijn de concentratie verschillen kleiner. Tijdens de afkoelfase, na 1 augustus neemt GT tevens een terugval in concentraties verontreiniging waar, wat de positieve invloed van stoominjectie op het verwijderingsrendement nogmaals duidelijk maakt. Zie tevens Figuur 7 in paragraaf 3.2.

3.7 Biodegradatie in opgewarmde zone

f. Onderzoeken of er in de opgewarmde zone biodegradatie optreedt en onderzoeken in welke mate de bodem na afkoeling nog biologische activiteit heeft.

Om te bepalen of biodegradatie optreedt, zijn tijdens het SKB project op de onttrokken stromen (bodemplucht en grondwater) isotopenanalyses uitgevoerd. Uitgangspunt is dat de gemeten CO₂ in het onttrekkingsstelsel afkomstig is van verschillende bronnen:

1. de omzetting van minerale olie;
2. de buitenlucht;
3. de omzetting van natuurlijk organisch stof (NOM);
4. het vrijkomen van CO₂ uit het grondwater;
5. het vrijkomen van CO₂ uit de omzetting van carbonaat (CO₃);
6. het aanzuigen van CO₂ uit de omringende bodem.

Voor de resultaten wordt verwezen naar bijlage H.

Uit de isotopenanalyses is afgeleid dat de CO₂ die aanwezig was in de monsters niet enkel afkomstig is van de bodem, de buitenlucht of de omzetting van minerale olie. Op basis van de analyses kan gesteld worden dat tussen 45% en maximaal 79% van de onttrokken CO₂ afkomstig is van de omzetting van de minerale olie verontreiniging. Een reëel geacht waarde hiervoor is 60%. Het verschil in de mate van omzetting tussen de stoomperiode en de afkoelperiode is niet bepaald door middel van isotopen analyses. Een indicatie van de mate van biologische activiteit tijdens de stoomfase en afkoelfase is eveneens te bepalen uit de gemeten gehalten van de afbraakparameters (O₂, CO₂ en CH₄) in de onttrokken afgekoelde bodemplucht. De gemeten gehalten zijn in Figuur 14 weergegeven.

Uit de figuur valt op te maken dat tijdens de stoomfase op de tijden dat de stoom daadwerkelijk aan staat (globaal 30-31 november, 4-5, 7, 10, 12, 14 en 19-20 december) de onderstaande gebeurtenissen zich herhalen:

- Het zuurstofgehalte in de onttrokken bodemplucht neemt af;
- Het gehalte koolzuurgas neemt toe;
- Het gehalte methaan neemt iets toe.

De afname van het zuurstofgehalte en de toename van het CO₂ gehalte kan ook het gevolg zijn van pyrolyse van de verontreiniging. Dit is een chemische reactie onder invloed van temperatuur die ook kooldioxide en water als eindproduct oplevert.

De stijging van het gehalte methaan is opmerkelijk. In aanwezigheid van zuurstof vindt aërobe afbraak plaats en wordt geen methaan geproduceerd. Methaan is het product van anaërobe afbraak. Waarschijnlijk is er sprake van een toename van de aërobe afbraak in de onverzadigde zone en een toename van de anaërobe afbraak in de verzadigde zone, waardoor methaan wordt geproduceerd. Door oververzadiging van methaan in het grondwater en de aangelegde onderdruk met de meerfase extractie wordt het methaan uit het grondwater verwijderd.

Tijdens de afkoelfase vanaf 21 december 2005 is dit effect net andersom, alle drie de parameters gaan naar buitenluchtkwaliteit. Hieruit blijkt dat de stoominjectie naast effect op de verdamping, ook een positief effect heeft op de biologische afbraakprocessen in de bodem. Op basis van de meetgegevens tijdens de afkoelfase concluderen we dat de biologische afbraak afneemt naar eenzelfde niveau als voor stoominjectie het geval is.

Uit de temperatuurgegevens in de bodem blijkt dat afkoeling van de bodem vele malen langer duurt dan de opwarming. Hierdoor zal de biologische activiteit ook langduriger op een hoog niveau blijven.

3.8 Verschijnselen aan de randen

g. Onderzoeken welke verschijnselen optreden aan de randen van de verwarmde zone.

De te verwachten verschijnselen zijn onder te verdelen in:

- Positief:
 - * verhoogde oplosbaarheid in het grondwater;
 - * verhoogde vluchtigheid;
 - * verhoogde biologische afbraak;
 - * verlaagde adsorptie aan bodemdeeltjes;
 - * verlaagde viscositeit, dus betere toestroming.
- Negatief: ongewenste verschijnselen van verspreiding (o.a. door condensatie) zullen juist aan de randen optreden.

De positieve effecten zijn aangetoond in de kern van de pilots, zoals reeds bewezen is bij de beantwoording van de voorgaande vragen. Negatieve effecten, met name verspreiding van verontreiniging zijn niet vastgesteld tijdens het SKB project. De aanwezigheid van andere verontreinigingsbronnen rond het pilot gebied zou detectie van een beperkte verspreiding moeilijk hebben gemaakt. Er zijn vooralsnog echter geen aanwijzingen voor het optreden van verspreiding van de oorspronkelijke verontreiniging.

Tijdens de creosoot pilot is geen onderzoek uitgevoerd naar het saneringsresultaat, aangezien er buiten het in de pilot behandelde gebied ook vrij product aanwezig is.

3.9 Stoominjectie als kostenbesparende techniek

Hoofdvraag SKB project: Is stoominjectie een kostenbesparende techniek om het rendement van 'traditionele' verwijderingstechnieken te verbeteren?

Uit de 2 pilots blijkt dat stoominjectie een goede techniek is om het rendement van de traditionele verwijderingstechnieken te verbeteren. Daarnaast kan gesteld worden dat voor beide pilots geldt dat de stoomgestimuleerde extractie de enige techniek is die een saneringsresultaat kan behalen dat vergelijkbaar is met het volledig ontgraven van de gehele verontreiniging. Hierbij wordt opgemerkt dat dit met name geldt voor stoffen die vluchtig zijn bij temperaturen < 300 °C.

Om de economische haalbaarheid van de stoomgestimuleerde extractie te illustreren zijn hieronder in zijn een aantal (lopende of geoffreerde) cases van GT weergegeven waarbij de kosten voor stoominjectie zijn afgezet tegen de ontgravingsvariant. Hierbij tekenen we overigens wel aan dat het hier gaat om gevallen waarbij ontgraving moeilijk (maar niet onmogelijk) te realiseren is vanwege het gebruik c.q. de inrichting van de sanering.

Tabel 7: Kosten In situ sanering met stoom versus ontgravingsvariant

Case	Kosten stoominjectie	Kosten ontgraving
Steiger 10 Odfjell: (250 m ² gasolieverontreiniging (Diesel) onder doorgaande weg en pijpenrager)	€ 300.000 (exclusief stoomopwekking)	> € 750.000 (Excl. damwand en omleiden leidingtracé, NB de kosten zijn relatief hoog vanwege de aanwezige infrastructuur)
2.500 m ² puur product in leiding- tracé (benzine)	€ 500.000 (inclusief stoomopwekking)	> € 600.000 (Excl. damwand en omleiden leidingtracé)
8.000 m ² gasolie in leidingtracé (Nafta)	€ 750.000 (exclusief stoomopwekking)	> € 1.500.000 (Excl. damwand en omleiden leidingtracé)
300 m ² verontreinigd met gechlo- reerde verbindingen	€ 220.000 (inclusief stoomopwekking)	Onmogelijk (Aanwezigheid opstallen)
2.500 m ² verontreinigd met stookolie	€ 600.000 (inclusief stoomopwekking)	€ 800.000 (Excl. damwanden en amoveren opstallen)

In eenvoudige gevallen (verontreiniging goed bereikbaar, niet al te diep) zullen andere vormen van sanering economisch aantrekkelijker kunnen zijn dan stoomsaneren.

4 Evaluatie

4.1 Evaluatie pilot projecten

In deze paragraaf beschrijven we onze bevindingen en de knelpunten die tijdens het uitvoeren van de pilots naar voren zijn gekomen.

Onttrekking- en injectiefilters

Tijdens beide pilootproeven zijn in meer of mindere mate problemen ontstaan met de injectie- en onttrekkingsfilters. Uit de pilots blijkt, dat bij intermitterend injecteren of onttrekken van respectievelijk stoom en grondwater de kans van het dichtslaan van filters toeneemt. Na inspectie van beide type filters blijkt dat in de filters zand zit maar het is ook aannemelijk dat er mineralen neerslaan omdat het hete grondwater in beide gevallen waarschijnlijk oververzadigd is met carbonaten en ijzermineralen.

Tijdens de SKB- pilot zijn aanvullende onttrekkingsfilters geplaatst, aangezien de bestaande filters op circa 3 m-mv zijn afgewerkt, waardoor regeneratie niet mogelijk bleek.

Om dit te voorkomen zijn de filters tijdens de creosoot pilot tot boven maaiveld afgewerkt. De dichtgeslagen filters bij de creosoot pilot zijn goed te regenereren, door het afpompen van het aanwezige zand en door het gebruik van Aquaquick (een middel om kalk- en ijzer-aanslag in leidingwerk te verwijderen).

Type onttrekkingssysteem

Tijdens de creosoot pilot zijn twee configuraties voor de wateronttrekking getest. Het eerste is gebaseerd op het gebruiken van een vacuümsysteem dat een onderdruk in stand kan houden van 900 mbar (is 9 m opvoerhoogte). De tweede is gebaseerd op een pneumatische onderwaterpomp die water onder positieve druk opvoert.

Beide systemen hebben in principe goed gefunctioneerd en kunnen worden gebruikt voor full-scale saneringen en beiden hebben voor- en nadelen.

Onderwaterpomp:

De onderwaterpomp werkt op perslucht wat een compressor vereist. Om voor stoominjectie geschikt te zijn dient de onderwaterpomp aangepast te zijn op de omstandigheden, type verontreiniging en hoge temperaturen. In de pomp die tijdens de creosoot pilot was gebruikt is de zogeheten 'check-ball' namelijk ernstig vervormd, ondanks het feit dat deze volgens de fabrikant bestand zou zijn tegen de aanwezige drukken, temperaturen en verontreinigingen.

Bij een full-scale aanpak zal elke onttrekkingsput voorzien moeten zijn van een eigen onttrekkingspomp. Dit levert een flexibel systeem. Het nadeel hiervan zijn de hoge kosten.

Bij het gebruiken van een onderwaterpomp is de te hanteren onderdruk op het luchtonttrek-kingsysteem niet van belang omdat de pomp met een eigen overdruk functioneert. Dit betekent dat het systeem in principe eenvoudig te besturen is.

Vacuümsysteem:

Het gebruiken van een vacuümsysteem is complexer dan het systeem met een onderwaterpomp. Dit komt omdat er een combinatie is van 2 vacuümsystemen, één met een haalbuis tot onderin de filter en de ander met een haalbuis bovenin de stijgbuis. De uitdaging bij dergelijke installatie is ervoor te zorgen dat er voldoende drukverschil over de langste haalbuis is zodat deze de benodigde opvoerhoogte heeft opdat vloeistoffen van onderuit de filter naar boven kunnen worden aangezogen.

Het systeem uitgerust met twee DM-Vex installaties is in principe goed toe te passen. Daarbij geldt dat de bodemlucht extractie niet met een te grote onderdruk moet worden uitgevoerd omdat dan veel energie uit de bodem wordt gezogen (in de vorm van stoom).

Voordelen van water onttrekken met een vacuümsysteem zijn:

- er zijn geen bewegende onderdelen die ondergronds (in de stoomdeken) zitten. Dit betekent dat onderhoud en controle eenvoudiger en daarmee sneller is uit te voeren;
- een enkel vacuümsysteem kan onderdruk leveren voor een aantal extractiefilters. Voor de full-scale leidt dit tot aanzienlijk kostenvoordelen.

Een vacuümonttrekkingssysteem kent (in de gebruikelijke uitvoeringswijze) een beperkte toepassingsdiepte. Een diepte van 10 – 15 m is doorgaans haalbaar als er een combinatie van lucht en water onttrokken kan worden. Als er alleen vloeistoffen onttrokken worden is de maximale aanzuigdiepte beperkt tot circa 7 m.

Metten van injectie- en onttrekkingsdebieten

Tijdens de SKB pilot was een stoomdebietmeter niet beschikbaar. Hierdoor blijkt het lastig om te bepalen of er verspreiding van verontreiniging optreedt. Tijdens de creosoot pilot is dit ondervangen door een automatische gelogde debietmeter te installeren.

Onderscheid maken tussen de hoeveelheid vracht verwijderd met de dampfase en de hoeveelheid met de waterfase is in beide pilots niet goed mogelijk gebleken. Het is moeilijk om de hoeveelheid onttrokken bodemlucht en de concentratie aan verontreiniging in de bodemlucht te meten. De reguliere meetmethoden, zoals PID, koolbuisjes en online sensoren (petrosense) kunnen niet meten onder de geldende condities. Voor de koeling is het te heet en te vochtig, na de koeling is een groot deel uit de luchtfase gecondenseerd.

Om bruikbare resultaten te krijgen zijn tijdens de pilots condensaatmonsters genomen en zijn metingen in de koude luchtstromen verricht. Door de aanwezigheid van puur product in de condensaatmonsters zijn de concentraties echter moeilijk te meten. Dit komt omdat de opgeloste concentraties in evenwicht zijn met het puur product en maken de analyse in het laboratorium moeilijk, waarbij een grote ruis in de meetgegevens aanwezig zijn. Bovendien, de methode in het laboratorium meet alleen het opgeloste deel, en niet de hoeveelheid aanwezig als puur product.

De verwijdering van puur product in een olie waterafscheider blijkt vooralsnog de beste methode om een inschatting te maken van de verwijderde vrachten met de grondwateronttrekking en de bodemluchtexttractie. Bij meer vluchtige verontreinigingen zal ook terdege rekening gehouden moeten worden met de in dampfase verwijderde verontreiniging. Dit is (eventueel na koeling) te meten in de afgasreinigingsinstallatie.

Temperatuurmetingen in de bodem

Tijdens de SKB pilot is gebleken dat het aantal temperatuursensoren te weinig is om een nauwkeurig 3D beeld van het temperatuurverloop te maken. Tijdens de creosoot pilot is daarom gekozen voor een 12-tal strengen met 8 sensoren, om zo de warmteontwikkeling in de bodem te kunnen visualiseren.

Warmteverspreiding in ondergrond

Uit beide pilots blijkt dat de opwarming van de bodem sneller gaat dan dat de bodem afkoelt. Tevens blijkt dat de warmte op dezelfde plaats blijft en daarmee goed te controleren is. Na het bereiken van de beoogde temperatuur is de benodigde hoeveelheid stoom om deze temperatuur te handhaven klein. Hiermee dient rekening gehouden te worden in het ontwerp van een full-scale.

Verwachting toepassing stoomgestimuleerde extractie in de toekomst

Hieronder zijn de kansen en bedreigingen voor stoomgestimuleerde extractie in de toekomst weergegeven

Kansen:

- Met stoomgestimuleerde extractie is volledige sanering mogelijk, waarmee voldaan kan worden aan de eisen van bevoegd gezag. Indien het bevoegd gezag in de toekomst vaker uitgaat van de "best available technology" zou stoomgestimuleerde extractie een maatgevende in situ techniek kunnen worden;
- Door de snelle en volledige sanering is de waarde stijging van locaties groot, waardoor de stoominjectie zichzelf terugbetaalt. Locaties kunnen sneller gebruikt of verhandeld worden.

Bedreigingen:

- De aanhoudende perceptie bij het bedrijfsleven en adviesbureaus dat de techniek duurder is dan de huidige beschikbare technieken.
- Dat voor saneringslocaties te gemakkelijk de conclusie wordt getrokken dat volledige sanering niet mogelijk is.

5 Conclusies projecten

De algemene conclusie is dat stoominjectie in een aantal gevallen een geschikte in situ bodemsaneringstechniek is, die een positie in de markt verdient. Stoominjectie leidt tot een snelle in situ sanering, binnen enkele weken tot maanden is maximaal resultaat behaald.

5.1 Conclusies uit beantwoording onderzoeksvragen SKB project

Hieronder worden achtereenvolgens alle onderzoeksvragen/doelen herhaald, waarna de hieraan verbonden conclusies zijn beschreven.

a. Aantonen dat met stoominjectie de mobiliteit van de verontreiniging toeneemt.

Uit het toenemen van de gehalten verontreiniging in de onttrokken stromen tijdens de stoominjectie concluderen we dat de mobiliteit van de verontreiniging door stoominjectie toeneemt.

Op basis van de hoeveelheid puur product afgescheiden tijdens de koudwater fase en de stoomfase van de creosoot pilot, concluderen we dat stoominjectie verontreiniging mobiliseert. Op basis van de gehalten verontreiniging in het influent van de OWS gedurende de creosoot pilot concluderen we tevens dat stoominjectie de aanwezige verontreiniging mobiliseert.

b. Aantonen dat de gemobiliseerde verontreiniging uit de bodem wordt verwijderd.

Uit de resultaten van de uitgevoerde bodemonderzoeken voor en na stoominjectie blijkt dat de gasolie verontreiniging bij de SKB-pilot verwijderd is. Daarmee concluderen we dat verontreiniging door stoominjectie gemobiliseerd en verwijderd is. Het verwijderingsrendement van de sanering is circa 99%.

Op basis van de hoeveelheid puur product afgescheiden tijdens de koudwater fase (1%) en de stoomfase (99%) van de creosoot pilot, concluderen we dat de stoominjectie heeft geleid tot een sterke stijging in de vracht verwijderde verontreiniging. De enige realistische verklaring daarvoor is dat het opwarmen van de bodem middels stoominjectie heeft geleid tot mobilisatie van verontreiniging, die vervolgens is verwijderd. Tijdens de creosoot pilot is meer vracht verwijderd dan de initieel ingeschatte hoeveelheid. De vermoedelijke oorzaak voor deze discrepantie ligt in het aantrekken van verontreiniging van buiten de gesaneerde zone en mogelijk in de inherente onnauwkeurigheid in het bepalen van de aanwezige vracht.

c. Demonstreren dat het mogelijk is om de opwarming van de bodem voldoende nauwkeurig te sturen, in het geval van Odfjell dat de bodemtemperatuur stabiel op 70 - 100 °C gehouden kan worden en tegelijk de temperatuur van de bodem boven de te saneren zone (in het ondergronds pijptracté) niet hoger wordt dan 35 °C.

In het geval van de creosoot pilot, dat de temperatuur snel naar 120 °C gebracht kan worden en dat er op diepte een stoomdeken gecreëerd en in stand gehouden kan worden.

Uit de temperatuurgegevens van beide pilots concluderen we dat de bodem snel opwarmt en dat de warmte (stoomdeken) goed op zijn plaats is te houden. De techniek is goed toepasbaar, ook in gebieden waar restricties gelden voor de opwarming van de bodem. Er is sprake van een dynamisch systeem, dat op basis van frequente metingen voldoende stabiel valt te sturen. Door warmte-overdracht stijgt de temperatuur in de omgeving wel enigszins. Deze stijging blijft beperkt door de korte instandhoudingsfase.

d. Demonstreren dat door correcte dimensionering van onttrekking, beluchting en stoominjectie, de mobilisatie van de verontreiniging, in combinatie met de toegepaste verwijdering, niet leidt tot verspreiding.

Tijdens het SKB project is geen verspreiding van gasolieverontreiniging tot buiten de locatie waargenomen. Hieruit concluderen we dat geen verspreiding is opgetreden.

De verhouding tussen de hoeveelheid geïnjecteerde stoom en de hoeveelheid onttrokken grondwater tijdens de creosoot pilot is circa 1:3. Aangezien het onttrokken debiet groter is dan de geïnjecteerde stoomhoeveelheid kan geconcludeerd worden dat verspreiding niet is waargenomen

e. Onderzoeken in hoeverre het rendement verbeterd kan worden als de temperatuur verder opgevoerd wordt.

Uit de toename van de vrachtverwijdering bij opwarming tot 95 °C in vergelijking met opwarming tot circa 75 °C, concluderen we dat bij toenemende temperatuur het verwijderingsrendement verbetert.

Uit de toenemende concentraties verontreiniging in het influent van de creosoot pilot tijdens de stoomfase, blijkt eveneens dat het rendement verbetert, bij toename van de temperatuur. In het concrete voorbeeld van saneren van een zinklaag creosoot is het verwijderingsrendement met een factor 1000 toegenomen.

f. Onderzoeken of er in de opgewarmde zone biodegradatie optreedt en onderzoeken in welke mate de bodem na afkoeling nog biologische activiteit heeft.

Uit de gemeten gehalten van de afbraakparameters (O₂, CO₂ en CH₄) in de onttrokken afgekoelde bodemlucht tijdens de stoomfase versus de afkoelfase concluderen we dat stoominjectie een positief effect heeft op de biodegradatie. Aangezien afkoeling van de bodem langer duurt dan de opwarming, zal de biologische activiteit langduriger op een hoog niveau blijven.

g. Onderzoeken welke verschijnselen optreden aan de randen van de verwarmde zone.

Op basis van de resultaten concluderen we dat de positieve effecten, als verhoogde oplosbaarheid, betere vervluchtiging en de verhoogde biologische activiteit met name optreden in de kern van de pilots. Daarnaast concluderen we dat negatieve effecten, als verspreiding niet zijn waargenomen tijdens de SKB pilot.

Hoofdvraag SKB project: Is stoominjectie een kostenbesparende techniek om het rendement van 'traditionele' verwijderingstechnieken te verbeteren?

Op basis van de resultaten concluderen we dat stoominjectie een goede techniek is om het rendement van de traditionele verwijderingstechnieken te verbeteren. Tevens concluderen we dat stoomgestimuleerde extractie (op beide pilotlocaties) de enige techniek is die een saneringsrendement kan behalen dat vergelijkbaar is met het volledig ontgraven van de verontreiniging. Uit een kostenvergelijking van stoomgestimuleerde extractie en ontgraving voor een aantal cases concluderen we dat de economische haalbaarheid van stoominjectie in vergelijking met ontgraving goed is, vooral voor locaties met moeilijk bereikbaar verontreinigingen.

5.2 Veralgemeineringsresultaten

Uit de resultaten van de gerapporteerde onderzoeken en projecten, en sindsdien uitgevoerde projecten die niet in deze rapportage zijn verwerkt, kunnen een aantal algemene conclusies worden geformuleerd.

- Het toevoegen van warmte versnelt extractieve saneringsprocessen aanmerkelijk. De mate van versnelling is mede afhankelijk van de bereikte temperatuur en de aard van de verontreiniging. In concrete gevallen is een verkorting van de saneringstijd tot minder dan 10% van de met andere in situ saneringstechnieken noodzakelijke tijd aangetoond;
- Het toevoegen van warmte is bewezen effectief bij sanering van doorlatende bodems (vanaf fijn zand). Ook in een gelaagde bodem is de techniek effectief. In klei- en veenbodems is de techniek niet getest;
- Voor een succesvolle sanering is het niet noodzakelijk de temperatuur te verhogen tot boven het kookpunt van de verontreiniging;
- Het energieverbruik (voor het verwarmen van de bodem) bedraagt gemiddeld $0.5 \text{ W s}^{-1} \text{ m}^{-3}$; voor een sanering tot eindresultaat kan uitgegaan worden van een energieverbruik van circa 300 kW m^{-3} ; dit is ongeveer 25% van het verbruik bij ex-situ thermische grondreiniging (bron: www.bodemrichtlijn.nl);
- De benodigde energie kan zowel uit een op locatie aanwezige bedrijfsstoominstallatie worden betrokken als in een projectgebonden stoomketel worden gegenereerd.

6 Aanbevelingen

Op basis van de twee uitgevoerde pilots doen we de volgende aanbevelingen:

- Het uitvoeren van meerdere pilots en/of full-scale saneringen met stoomgestimuleerde extractie is aan te bevelen om het draagvlak van deze saneringstechniek te vergroten. Hiermee zullen naast de technologische kennis, tevens de economische randvoorwaarden voor stoomgestimuleerde saneringen verbeterd worden;
- Het is aan te bevelen om de mogelijkheden voor fluxmetingen in hete dampstromen nader te onderzoeken. Indien een goede (en financieel aantrekkelijke) methode voorhanden is, kunnen betere uitspraken worden gedaan over de verschillende fluxen bij stoomgestimuleerde extractie.

¹ Overzicht pilot locatie Odfjell Terminals (Rotterdam) BV

² Overzicht meetresultaten resultaten van het SKB project

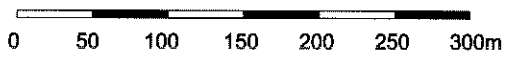
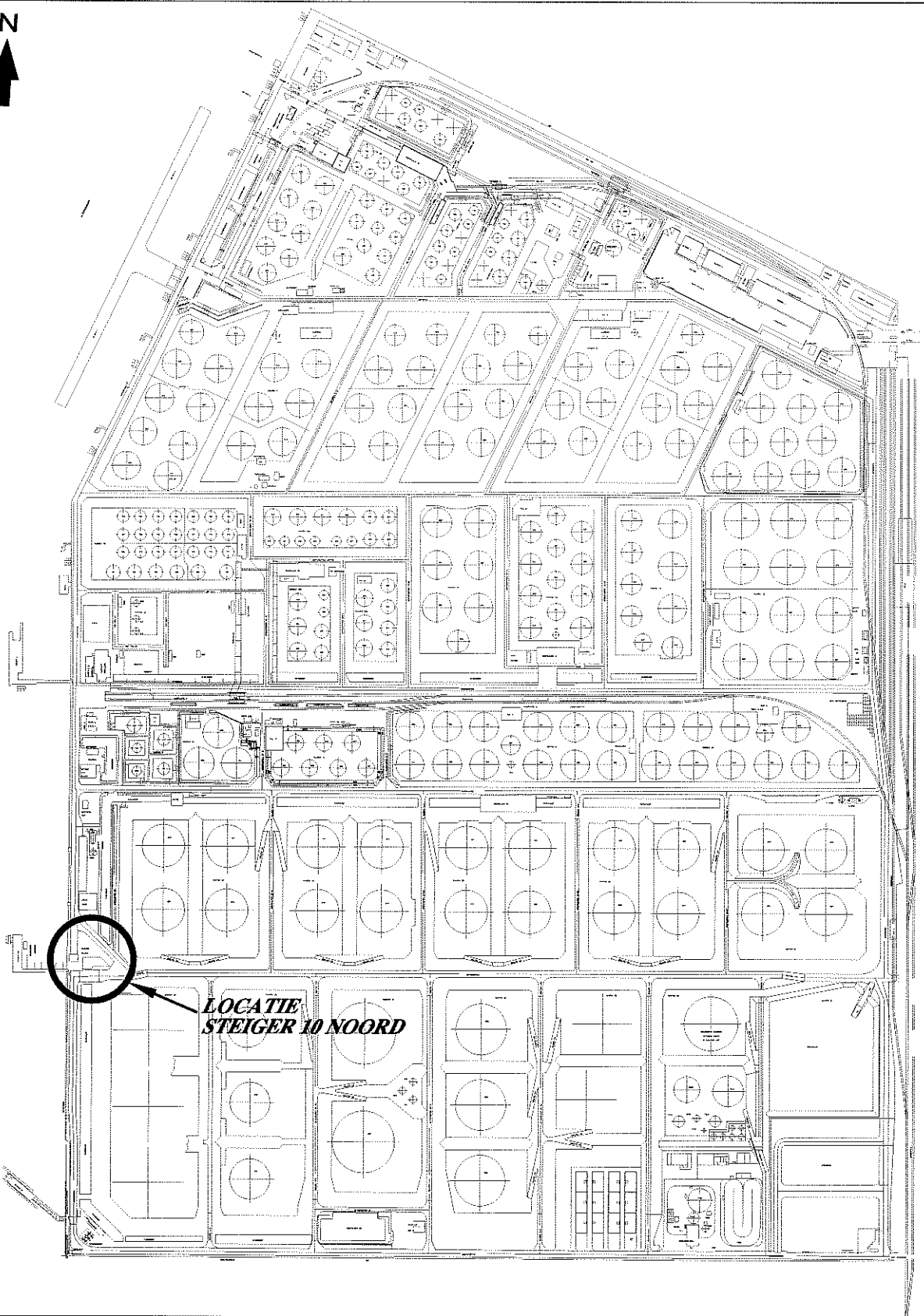
³ Resultaten creosootproject België

⁴ Verontreinigingssituatie na sanering, Odfjell Terminals (Rotterdam) BV

Bijlagen

Bijlage A:	Overzichtkaart SKB pilot
Bijlage B:	Verontreinigingssituatie grond- en grondwater 2003
Bijlage C1:	Locatietekening saneringssysteem 2 ^e fase sanering
Bijlage C2:	Locatietekening saneringssysteem 3 ^e fase sanering
Bijlage D:	Locatietekening saneringssysteem creosoot pilot
Bijlage E:	Verontreinigingssituatie grond- en grondwater na ontgraving
Bijlage F1:	Verontreinigingssituatie grond na 2 ^e fase sanering
Bijlage F2:	Verontreinigingssituatie grondwater na 2 ^e fase sanering
Bijlage G1:	Verontreinigingssituatie grond na 3 ^e fase sanering
Bijlage G2:	Verontreinigingssituatie grondwater na 3 ^e fase sanering
Bijlage H:	Overzicht analyseresultaten Tauw
Bijlage I:	Overzicht analyseresultaten GT

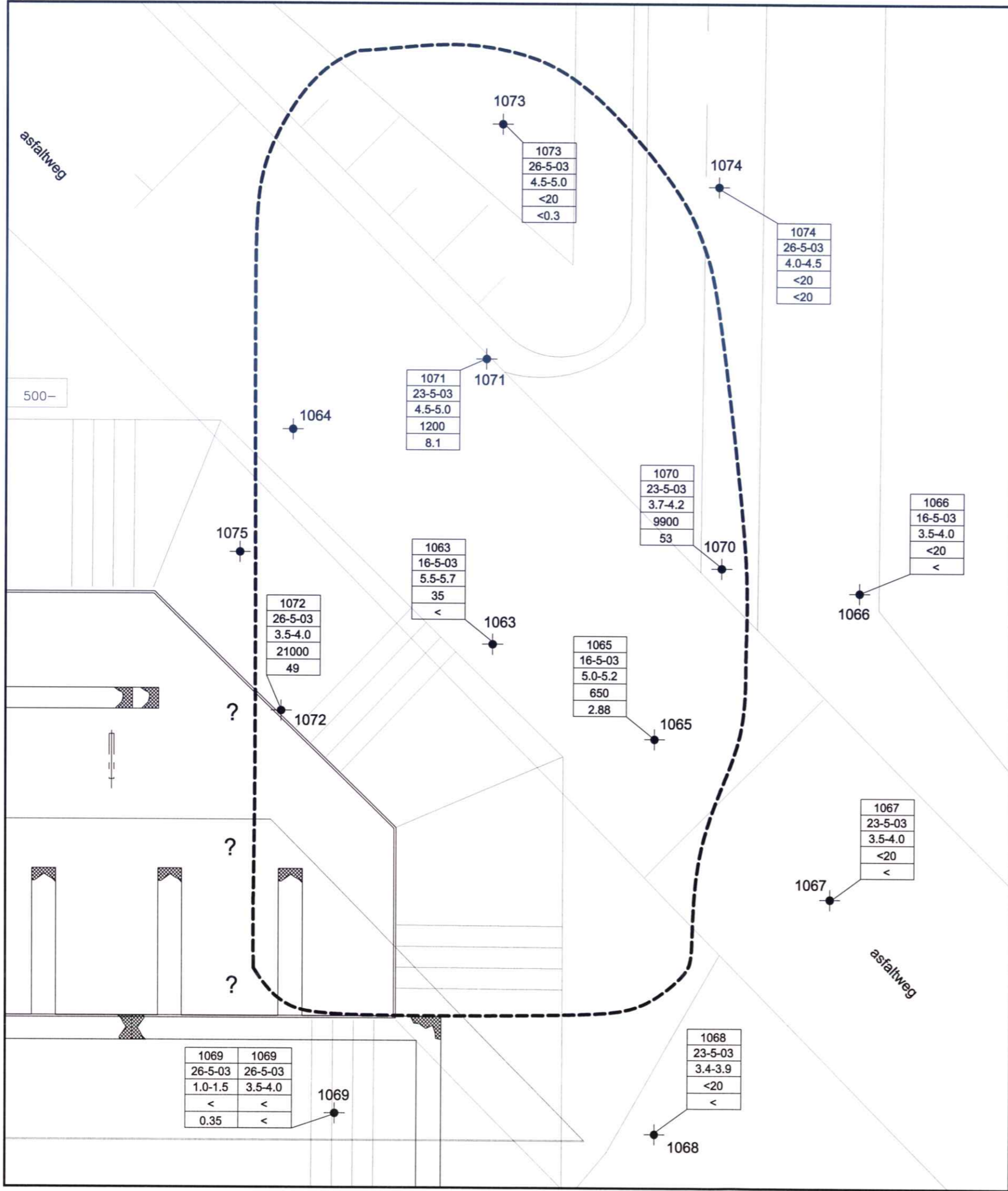
Bijlage A: Overzichtskaart SKB pilot



G5A024-00 PS1
formaat: A4

BIJLAGE	OVERZICHTSKAART		BIJLAGENR.	A	
PROJECT	SKB PILOT			GROUNDWATER TECHNOLOGY	
OPDRACHTGEVER	ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM				
DATUM	20-10-2006	SCHAAL	1:5000	PROJECTNR.	G05A0024

Bijlage B: Verontreinigingssituatie grond- en grondwater 2003



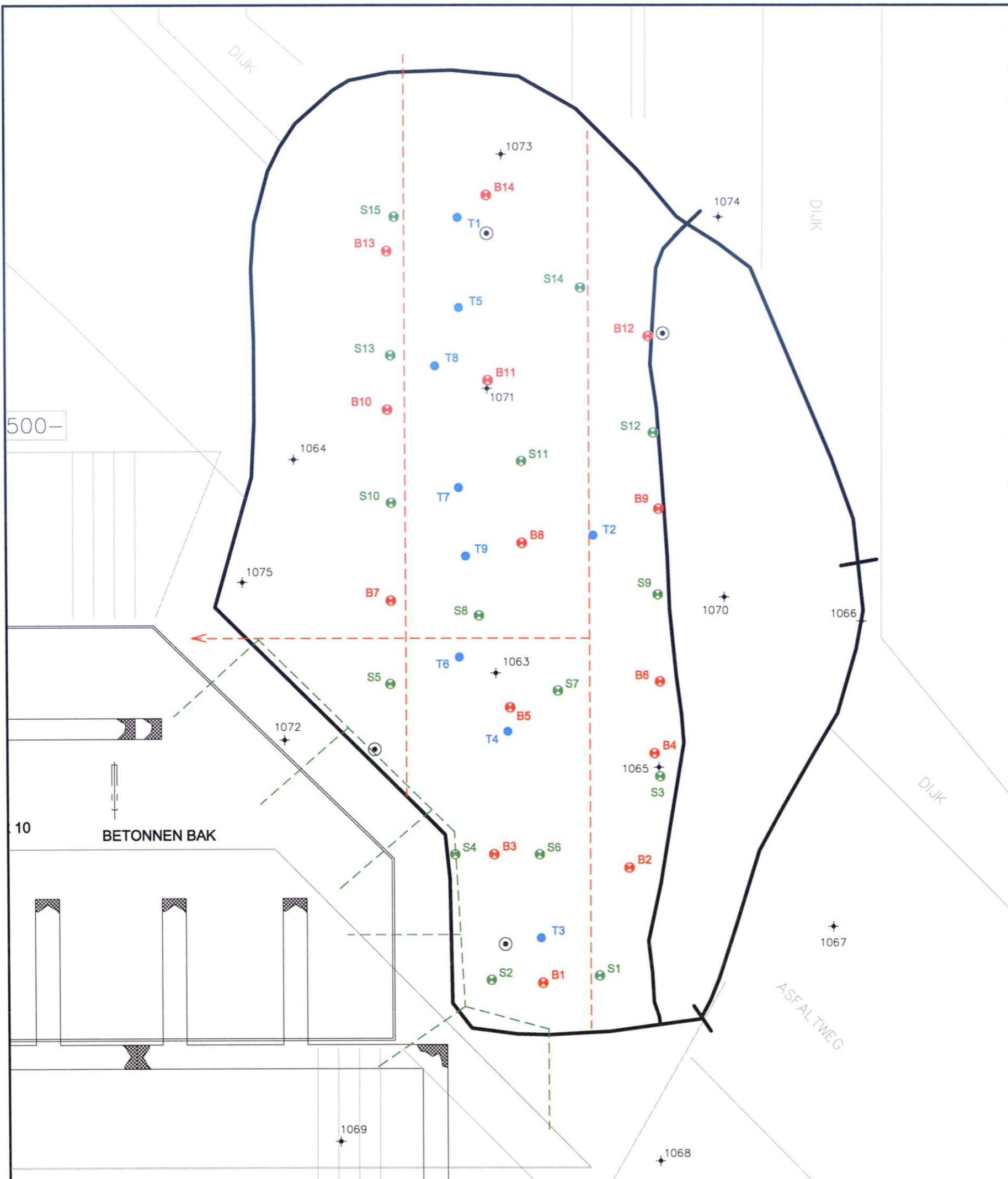
VERKLARING:

- NIEUWE PEILBUIS
 - VERONTREINIGINGSCONTOUR
- | | |
|---------|---------------------|
| 1065 | MONSTERPUNT |
| 16-5-03 | DATUM |
| 5.0-5.2 | DIEPTE (in m-mv) |
| 650 | MIN. OLIE (mg/kgds) |
| 2.88 | BTEXN (mg/kgds) |



G6A024-02 PS1 formaat: A3	BIJLAGE VERONTREINIGINGSSITUATIE GROND- EN GRONDWATER 2003		BIJLAGENR. B
	PROJECT SKB PILOT		<p>GROUNDWATER TECHNOLOGY</p>
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM		
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100	

Bijlage C1: Locatietekening saneringsysteem 2^e fase sanering



VERKLARING:

- PEILBUIS
- MONITORINGSBUIS / LOCATIE EVENTUEEL GRONDMONSTER
- (B1-B14) - TFE FILTER (4.75-5.25M-MV)
- (S1-S15) - STOOMINJECTIEFILTER (4.25-4.75M-MV)
- TEMPERATUURSENSOR
- ONDIEPE BLE-DRAIN PP
- ONDIEPE BLE-DRAIN HDPE OP ±1M-MV
- ONTGRAVINGGRENS

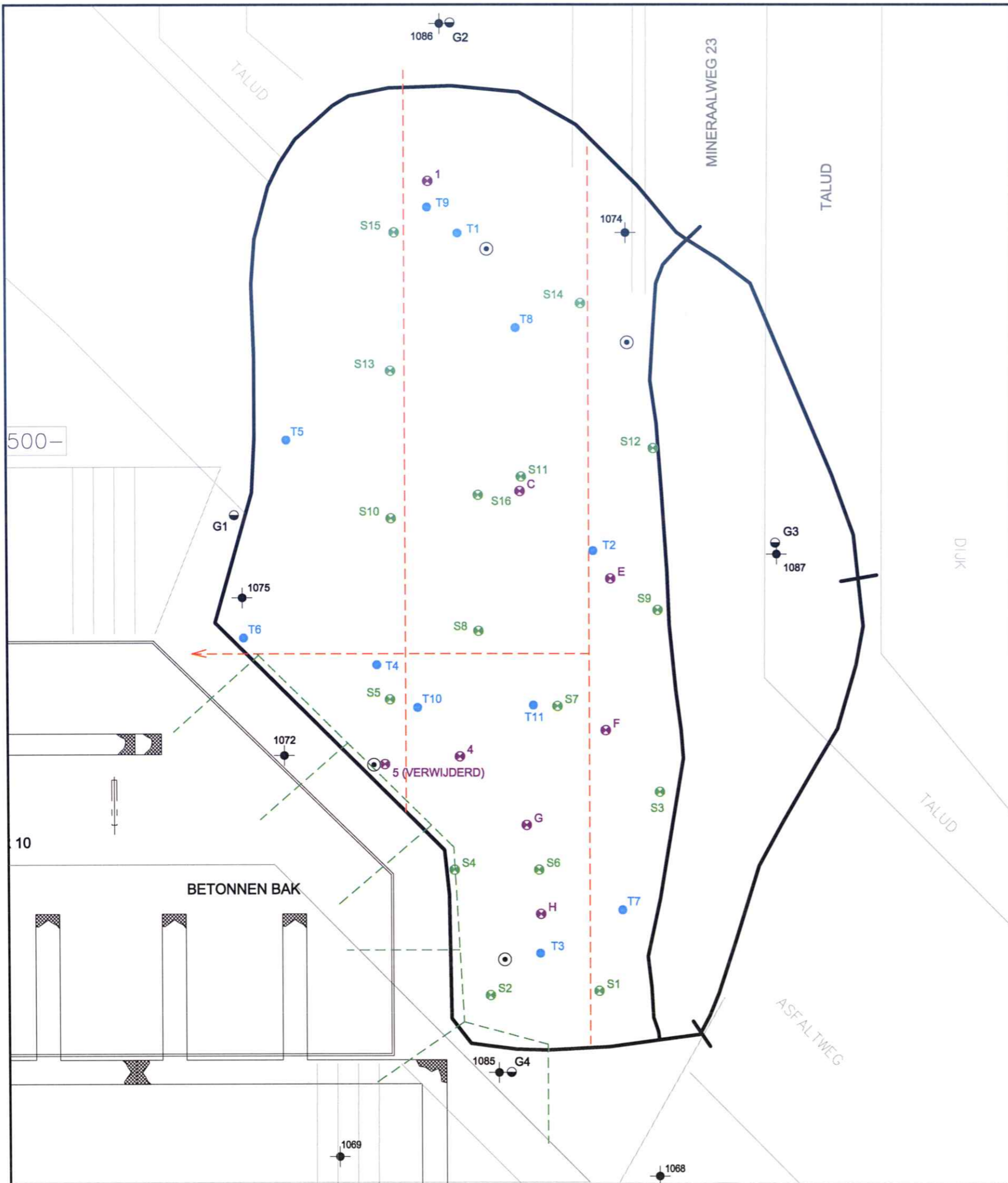
TEMPERATUURSENSOR

POSITIE	NR	DIEPTE (M-MV)
T1	(143)	1.0
T2	(129)	1.0
T3	(137)	1.0
T4	(130)	3.0
T5	(134)	3.0
T6	(128)	4.75
T7	(126)	4.75
T8	(133)	5.25
T9	(131)	6.25



G5A024-03 PS1 formaat: A3	BIJLAGE OVERZICHTSTEKENING IN SITU SANERINGSSYSTEEM FASE 2		BIJLAGENR. C1
	PROJECT SKB PILOT		 GROUNDWATER TECHNOLOGY
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM		
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100	PROJECTNR. G05A0024

Bijlage C2: Locatietekening saneringssysteem 3^e fase sanering



VERKLARING:

- PEILBUIS
- GASSONDE (3M-MV)
- LOCATIE EVENTUEEL GRONDMONSTER
- TFE FILTER (4.75-5.75M-MV)
- STOOMINJECTIEFILTER (4.25-4.75M-MV)
- TEMPERATUURSENSOR
- ONDIEPE BLE-DRAIN PP
- ONDIEPE BLE-DRAIN HDPE OP ±1M-MV
- ONTGRAVINGGRENS

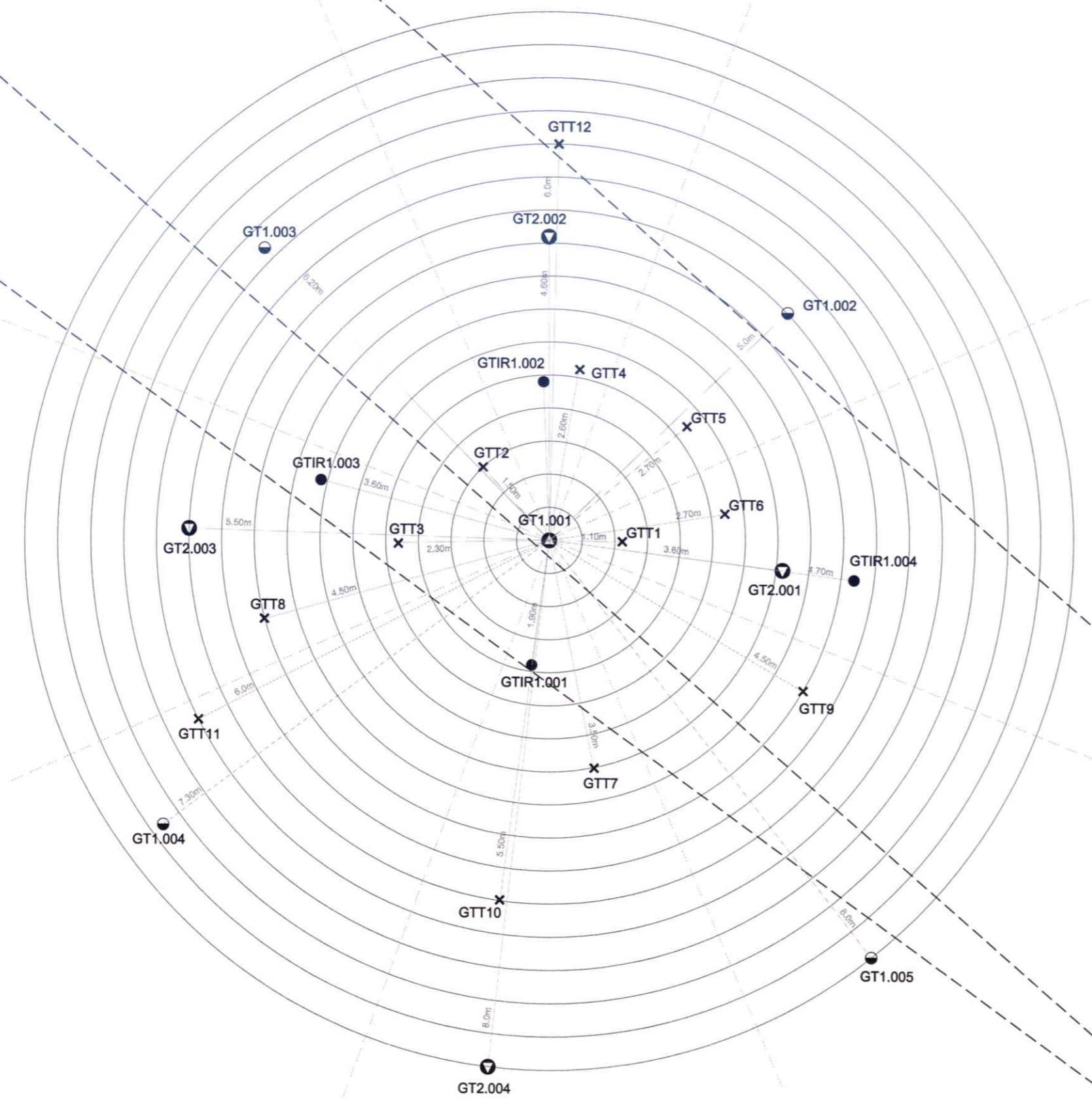
TEMPERATUURSENSOR

POSITIE	NR	DIEPTE (M-MV)
T1	(143)	1.0
T2	(129)	1.0
T3	(137)	1.0
T4		2.5
T5		3.5
T6		3.5
T7		4.75
T8		4.75
T9		5.25
T10		5.25
T11		6.00



GSA024-04 PS1 formaat: A3	BIJLAGE OVERZICHTSTEKENING IN SITU SANERINGSSYSTEEM FASE 3		BIJLAGENR. C2
	PROJECT SKB PILOT		 GROUNDWATER TECHNOLOGY
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM		
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100	

Bijlage D: Locatietekening saneringsysteem creosoot pilot



LEGENDA

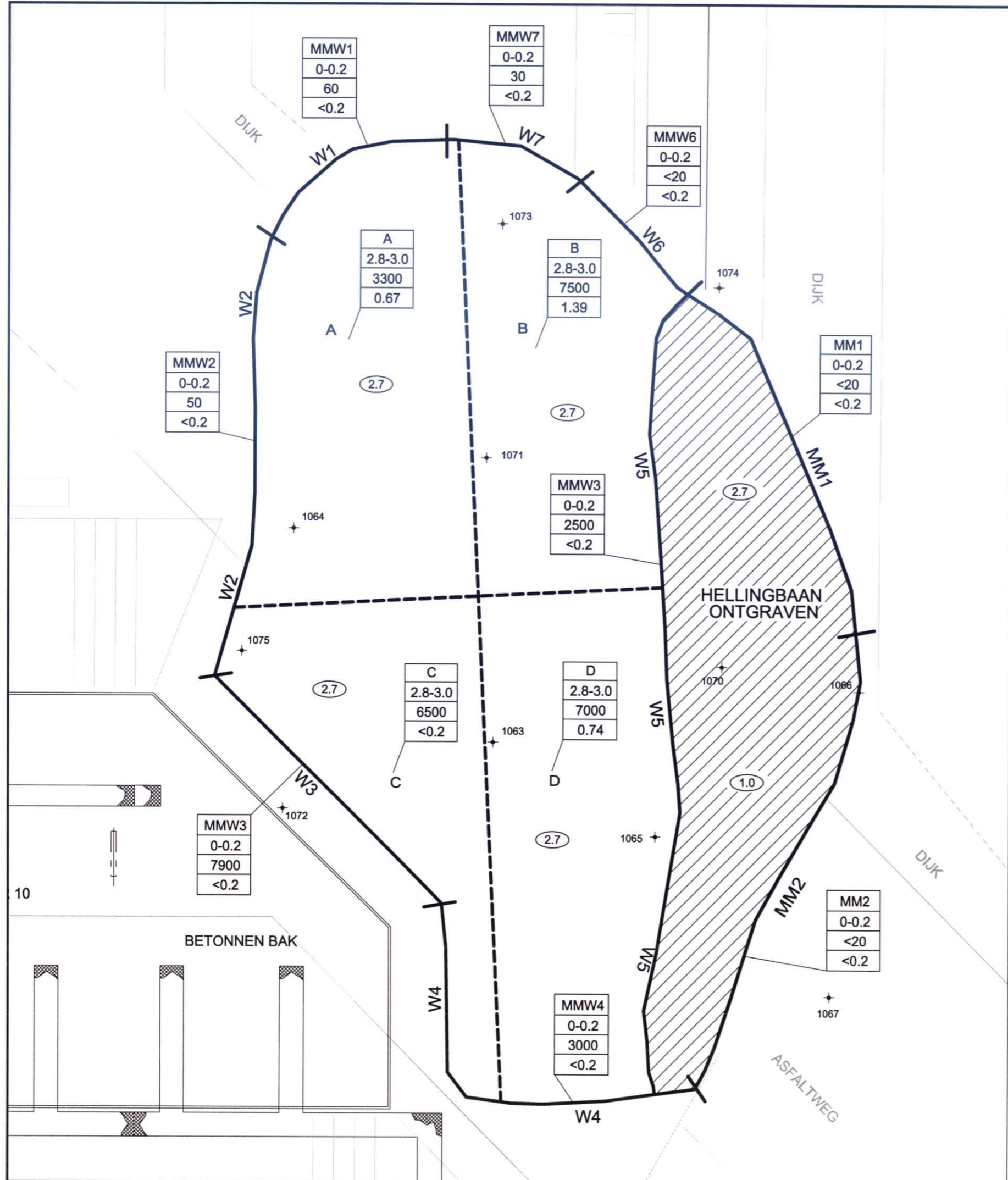
- Stijghoogte-monitoringsfilter (filterstelling 8,5 tot 9,5m-mv)
- Extractiefilter (filterstelling 6,5 tot 9,5m-mv)
- Stoominjectiefilter (filterstelling 8,5 tot 9,5m-mv)
- Glasfiberbuis, handmeting (0 tot 10m-mv)
- Thermokoppelstreng (2,6 tot 9,6m-mv)
 - .001= 9,6
 - .002= 8,6
 - .003= 7,6
 - .008= 2,6

Spoorlijn

BIJLAGE	LOCATIETEKENING SANERINGSSYSTEEM VOORAF PILOT	
PROJECT	CREOSOOT PILOT	
OPDRACHTGEVER	---	
SCHAAL	1:75	BIJLAGENR. D
DATUM	20-10-2006	 GROUNDWATER TECHNOLOGY
PROJECTNR.	G05A0024	
FILENR.	G5A024-05 PS1 (A3)	

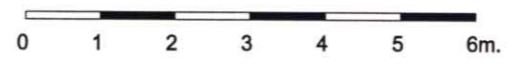
**Bijlage E:
na ontgraving**

Verontreinigingssituatie grond- en grondwater

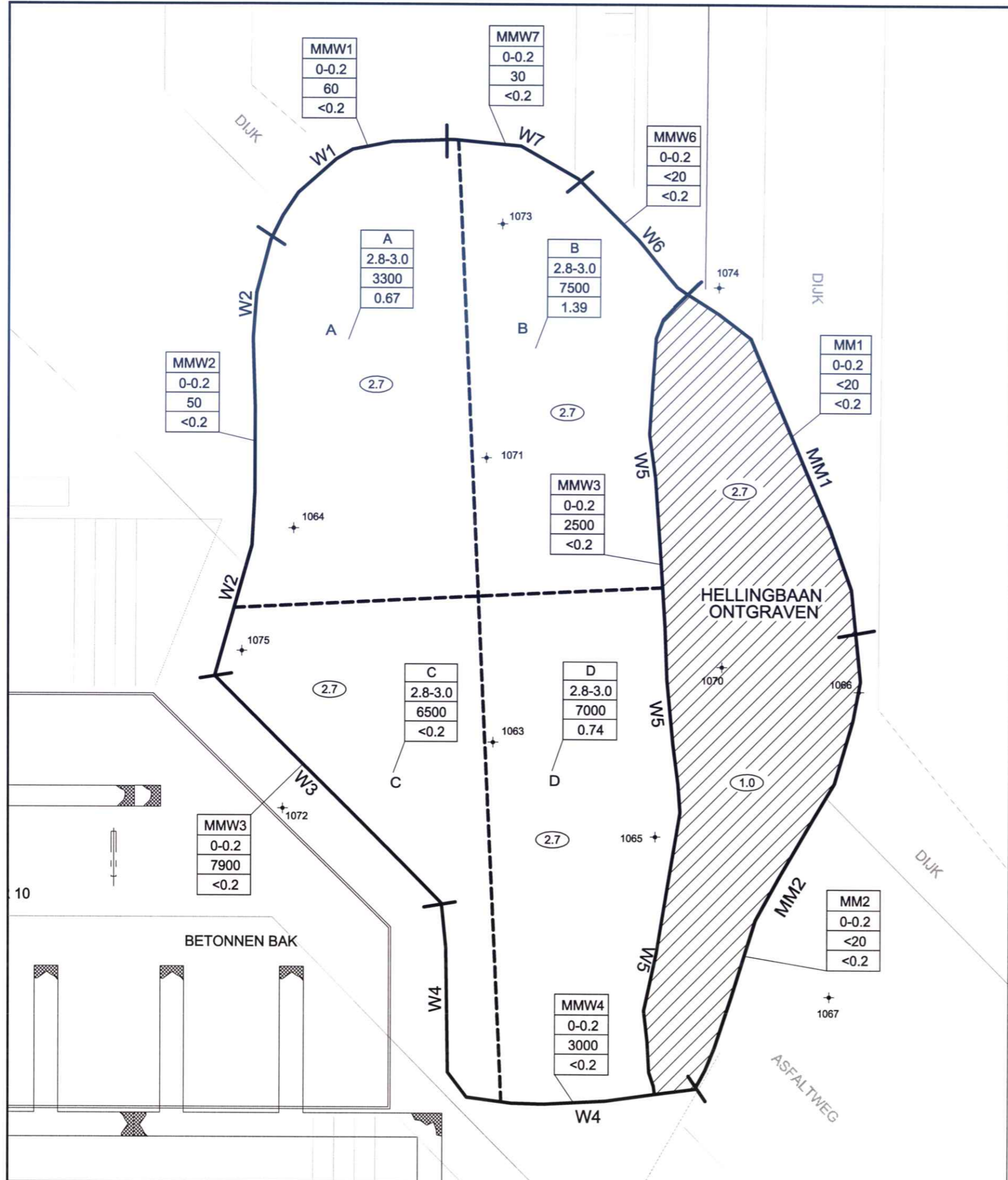


VERKLARING:

- PEILBUIS
- MENGMONSTER PUTBODEM
- MENGMONSTER PUTWAND
- MENGMONSTER PUTWAND
- ONTGRAVINGSDIEPTE (m-mv)
- ONTGRAVINGSGRENS
- MONSTERPUNT
- DIEPTE (in m-mv / m-putwand)
- MIN. OLIE (mg/kgds)
- BTEXN (mg/kgds)



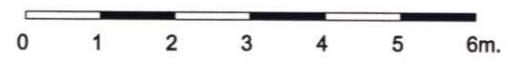
formaat: A3 G5A024-06 PS1	BIJLAGE VERONTREINIGINGSSITUATIE NA DE ONTGRAVING		BIJLAGENR. E
	PROJECT SKB PILOT		
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM		
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100	PROJECTNR. G05A0024
GROUNDWATER TECHNOLOGY			



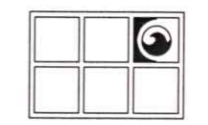
VERKLARING:

- PEILBUIS
- MENGMONSTER PUTBODEM
- MENGMONSTER PUTWAND
- MENGMONSTER PUTWAND
- ONTGRAVINGSDIEPTE (m-mv)
- ONTGRAVINGSGRENS
- | | |
|------|-------|
| MM2 | 0-0.2 |
| <20 | |
| >0.2 | |

 - MONSTERPUNT
- | | |
|-------|--------------------------------|
| 0-0.2 | - DIEPTE (in m-mv / m-putwand) |
| <20 | - MIN. OLIE (mg/kgds) |
| >0.2 | - BTEXN (mg/kgds) |

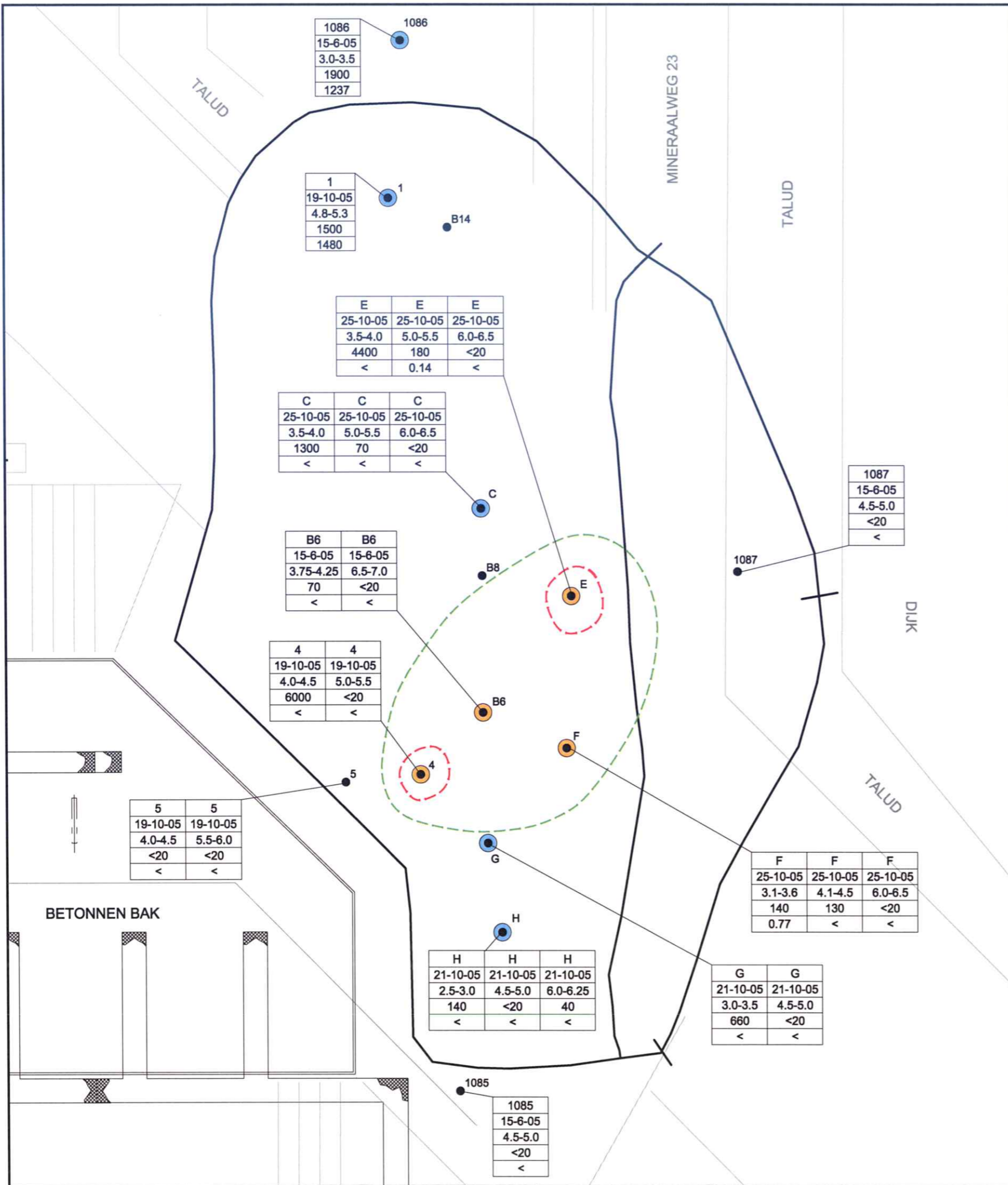


formaat: A3 G5A024-06 PS1	BIJLAGE VERONTREINIGINGSSITUATIE NA DE ONTGRAVING		BIJLAGENR. E
	PROJECT SKB PILOT		
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM		
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100	



GROUNDWATER TECHNOLOGY

Bijlage F1: Verontreinigingssituatie grond na 2^e fase sanering



1086
15-6-05
3.0-3.5
1900
1237

1
19-10-05
4.8-5.3
1500
1480

E	E	E
25-10-05	25-10-05	25-10-05
3.5-4.0	5.0-5.5	6.0-6.5
4400	180	<20
<	0.14	<

C	C	C
25-10-05	25-10-05	25-10-05
3.5-4.0	5.0-5.5	6.0-6.5
1300	70	<20
<	<	<

B6	B6
15-6-05	15-6-05
3.75-4.25	6.5-7.0
70	<20
<	<

4	4
19-10-05	19-10-05
4.0-4.5	5.0-5.5
6000	<20
<	<

5	5
19-10-05	19-10-05
4.0-4.5	5.5-6.0
<20	<20
<	<

H	H	H
21-10-05	21-10-05	21-10-05
2.5-3.0	4.5-5.0	6.0-6.25
140	<20	40
<	<	<

F	F	F
25-10-05	25-10-05	25-10-05
3.1-3.6	4.1-4.5	6.0-6.5
140	130	<20
0.77	<	<

G	G
21-10-05	21-10-05
3.0-3.5	4.5-5.0
660	<20
<	<

1085
15-6-05
4.5-5.0
<20
<

1087
15-6-05
4.5-5.0
<20
<

VERKLARING:

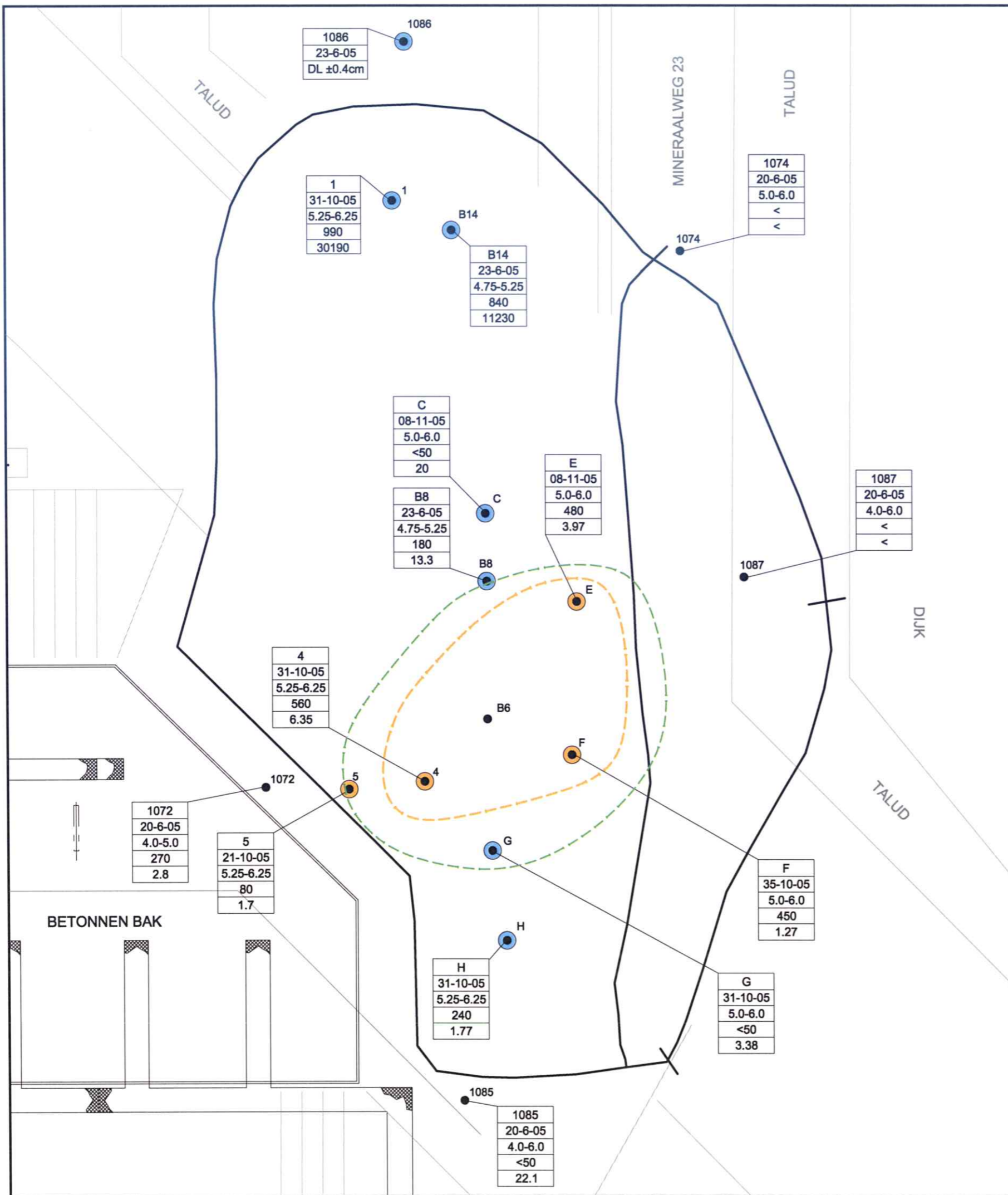
- LOCATIE MONSTERPUNT
 - ONTGRAVINGGRENS
 - S-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - I-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - GASOLIESPILL
 - BENZINE / ANDERE VERONTREINIGING
- | | |
|---------|-----------------------|
| 1065 | - MONSTERPUNT |
| 16-5-03 | - DATUM |
| 5.0-5.2 | - DIEPTE (in m-mv) |
| 650 | - MIN. OLIE (mg/kgds) |
| 2.88 | - BTEXN (mg/kgds) |



GSA024-07 PS1 formaat: A3	BIJLAGE VERONTREINIGINGSSITUATIE GROND NA TWEDE FASE SANERING		BIJLAGENR. F1
	PROJECT SKB PILOT		
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM		
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100	PROJECTNR. G05A0024



Bijlage F2: Verontreinigingssituatie grondwater na 2^e fase sanering



VERKLARING:

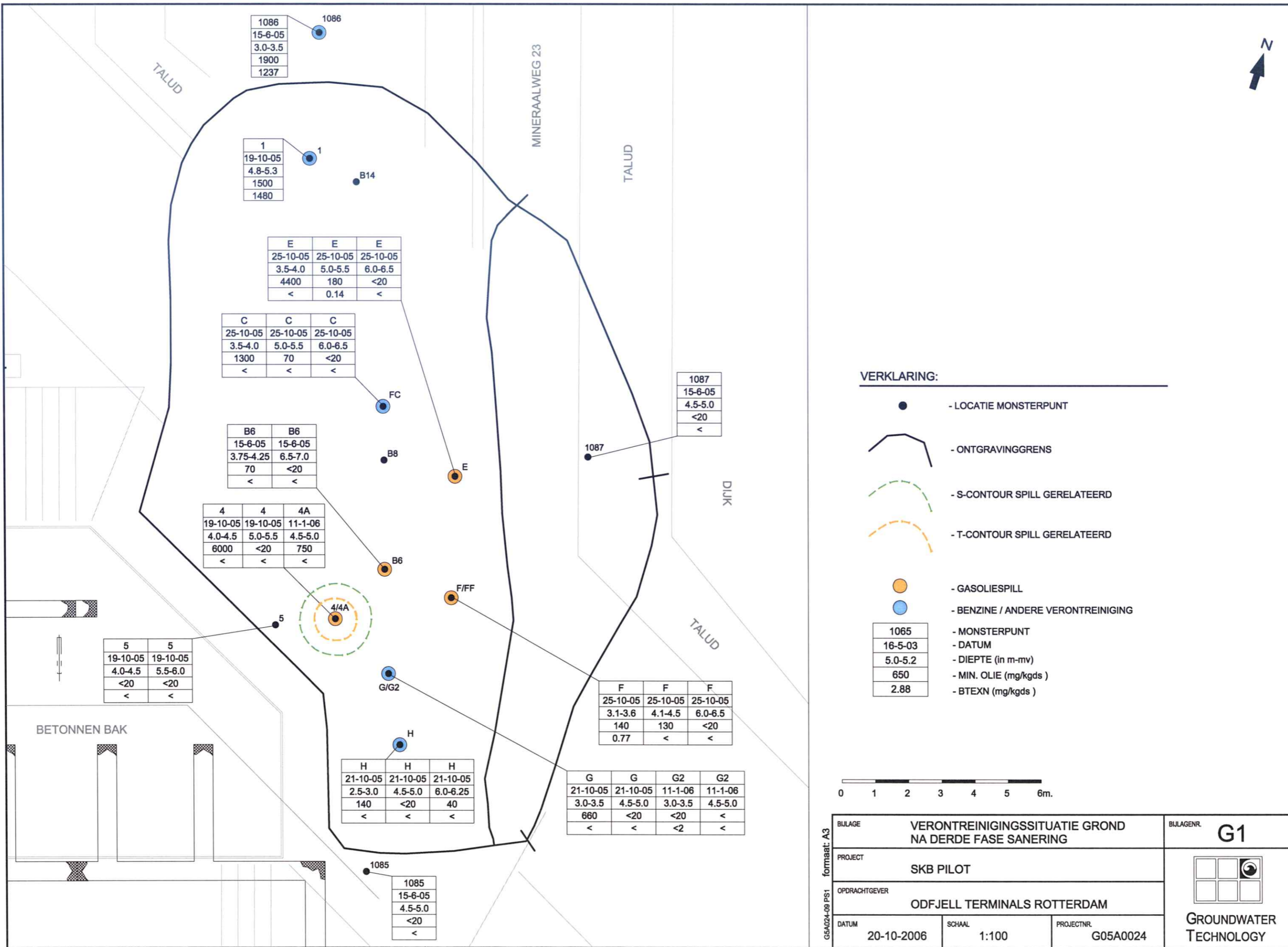
- LOCATIE MONSTERPUNT
 - ONTGRAVINGGRENS
 - S-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - T-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - GASOLIESPILL
 - BENZINE / ANDERE VERONTREINIGING
- | | |
|---------|--------------------|
| 1085 | - MONSTERPUNT |
| 20-6-05 | - DATUM |
| 4.0-6.0 | - DIEPTE (in m-mv) |
| <50 | - MIN. OLIE (ug/l) |
| 22.0 | - BTEXN (ug/l) |
- DL - DRIJFLAAG (cm)



formaat: A3 GSA024-08 PS1	BIJLAGE VERONTREINIGINGSSITUATIE GRONDWATER NA TWEEDE FASE SANERING	BIJLAGENR. F2
	PROJECT SKB PILOT	
	OPRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM	
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100



Bijlage G1: Verontreinigingssituatie grond na 3^e fase sanering



1086
15-6-05
3.0-3.5
1900
1237

1
19-10-05
4.8-5.3
1500
1480

E	E	E
25-10-05	25-10-05	25-10-05
3.5-4.0	5.0-5.5	6.0-6.5
4400	180	<20
<	0.14	<

C	C	C
25-10-05	25-10-05	25-10-05
3.5-4.0	5.0-5.5	6.0-6.5
1300	70	<20
<	<	<

B6	B6
15-6-05	15-6-05
3.75-4.25	6.5-7.0
70	<20
<	<

4	4	4A
19-10-05	19-10-05	11-1-06
4.0-4.5	5.0-5.5	4.5-5.0
6000	<20	750
<	<	<

5	5
19-10-05	19-10-05
4.0-4.5	5.5-6.0
<20	<20
<	<

H	H	H
21-10-05	21-10-05	21-10-05
2.5-3.0	4.5-5.0	6.0-6.25
140	<20	40
<	<	<

1085
15-6-05
4.5-5.0
<20
<

1087
15-6-05
4.5-5.0
<20
<

F	F	F
25-10-05	25-10-05	25-10-05
3.1-3.6	4.1-4.5	6.0-6.5
140	130	<20
0.77	<	<

G	G	G2	G2
21-10-05	21-10-05	11-1-06	11-1-06
3.0-3.5	4.5-5.0	3.0-3.5	4.5-5.0
660	<20	<20	<
<	<	<2	<

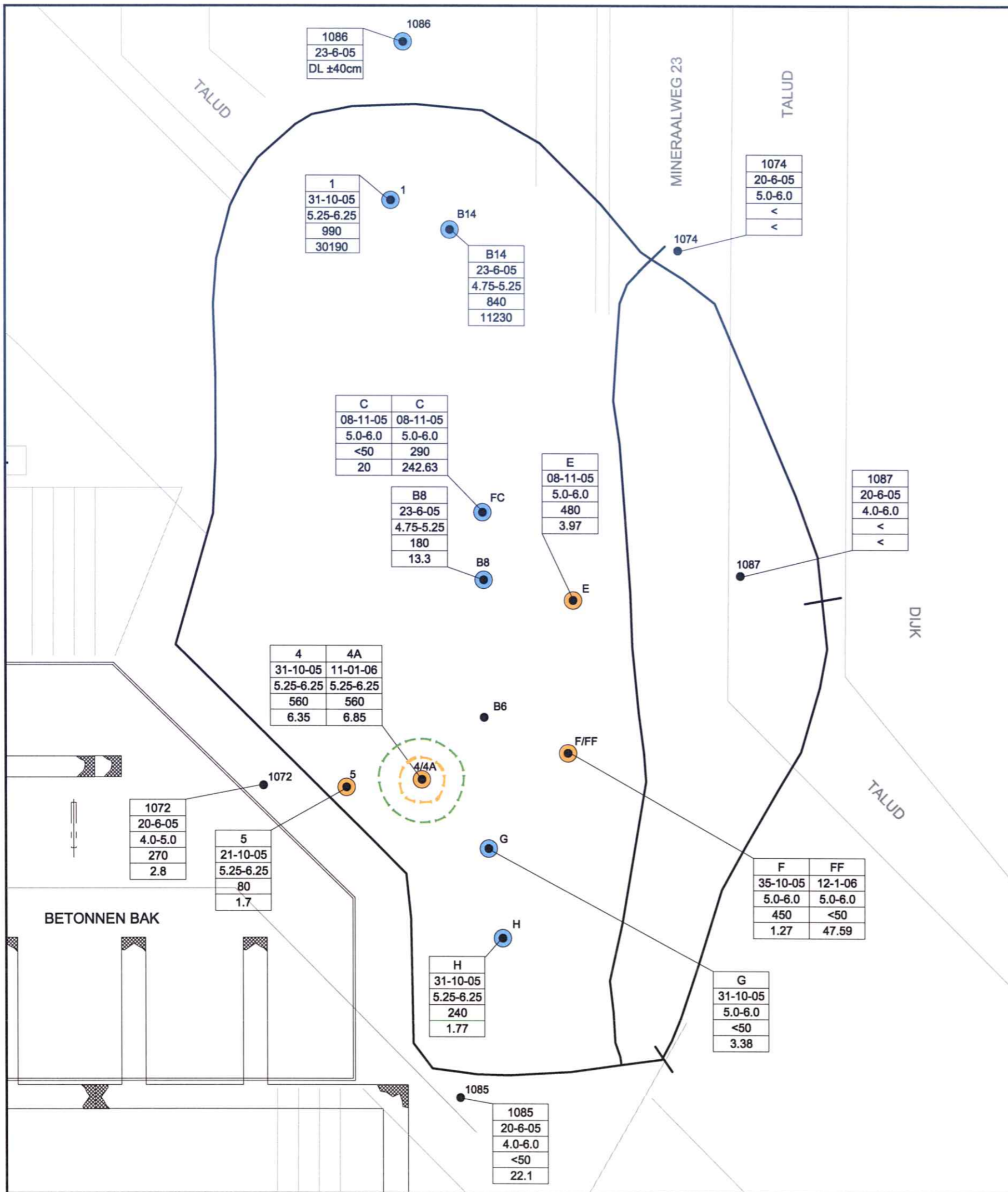
VERKLARING:

- LOCATIE MONSTERPUNT
 - ONTGRAVINGGRENS
 - S-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - T-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - GASOLIESPILL
 - BENZINE / ANDERE VERONTREINIGING
- | | |
|---------|-----------------------|
| 1065 | - MONSTERPUNT |
| 16-5-03 | - DATUM |
| 5.0-5.2 | - DIEPTE (in m-mv) |
| 650 | - MIN. OLIE (mg/kgds) |
| 2.88 | - BTEXN (mg/kgds) |



GSA024-09 PS1 formaat: A3	BIJLAGE VERONTREINIGINGSSITUATIE GROND NA DERDE FASE SANERING		BIJLAGENR. G1
	PROJECT SKB PILOT		
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM		
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100	PROJECTNR. G05A0024

Bijlage G2: Verontreinigingssituatie grondwater na 3^e fase sanering

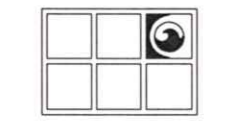


VERKLARING:

- LOCATIE MONSTERPUNT
 - ONTGRAVINGGRENS
 - S-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - T-CONTOUR SPILL GERELATEERD
 - GASOLIESPILL
 - BENZINE / ANDERE VERONTREINIGING
- | | |
|---------|--------------------|
| 1085 | - MONSTERPUNT |
| 20-6-05 | - DATUM |
| 4.0-6.0 | - DIEPTE (in m-mv) |
| <50 | - MIN. OLIE (ug/l) |
| 22.0 | - BTEXN (ug/l) |
| DL | - DRIJFLAAG (cm) |



formaat: A3 G5A024-10 PS1	BIJLAGE VERONTREINIGINGSSITUATIE GRONDWATER NA DERDE FASE SANERING	BIJLAGENR. G2
	PROJECT SKB PILOT	
	OPDRACHTGEVER ODFJELL TERMINALS ROTTERDAM	
	DATUM 20-10-2006	SCHAAL 1:100



**GROUNDWATER
TECHNOLOGY**

Bijlage H: Overzicht analyseresultaten Tauw

datum	locatie	type				
13-6-2005	B6 3 75-4 25 TOC	grond	Calciumcarbonaat	% v DS		10
13-6-2005	B6 3 75-4 25 TOC	grond	Calciumcarbonaat	g/kg		100
13-6-2005	B6 3 75-4 25 TOC	grond	Droge stof	%		73.1
13-6-2005	B6 3 75-4 25 TOC	grond	Organische stof	% v DS		2.4
13-6-2005	B6 3 75-4 25 TOC	grond	Gloeirest	% v DS		96.9
13-6-2005	B6 3 75-4 25 TOC	grond	Gloeiverlies	% v DS		3.1
13-6-2005	B6 3 75-4 25 TOC	grond	Fractie < 2 um	% v DS		10
20-6-2005	pb 1074	grondwater	TC	mg TC/L		110 mg C/L
20-6-2005	pb 1074	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		9.3 mg C/L
20-6-2005	pb 1074	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
20-6-2005	pb 1087	grondwater	TC	mg TC/L		95 mg C/L
20-6-2005	pb 1087	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		9.7 mg C/L
20-6-2005	pb 1087	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
20-6-2005	pb 1072	grondwater	TC	mg TC/L		250 mg C/L
20-6-2005	pb 1072	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		18 mg C/L
20-6-2005	pb 1072	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
20-6-2005	pb 1085	grondwater	TC	mg TC/L		550 mg C/L
20-6-2005	pb 1085	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		19 mg C/L
20-6-2005	pb 1085	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
20-6-2005	pb 1074	FID	Bodemlucht	ppmv		<1
20-6-2005	pb 1086	FID	Bodemlucht	ppmv		17
20-6-2005	pb 1087	FID	Bodemlucht	ppmv		<1
20-6-2005	pb 1085	FID	Bodemlucht	ppmv		<1
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE	FID	Effluentgas BLE	ppmv		1860
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (1e comp)	Akool	Benzeen	ug/buis (3L)		170 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (1e comp)		Tolueen	ug/buis (3L)		490 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (1e comp)		Ethylbenzeen	ug/buis (3L)		73 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (1e comp)		Meta- en Para xyleen	ug/buis (3L)		230 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (1e comp)		Orthoxyleen	ug/buis (3L)		82 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (1e comp)		C6 - C10	ug/buis (3L)		4000 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (2e comp)	Akool	Benzeen	ug/buis (3L)		0.08 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (2e comp)		Tolueen	ug/buis (3L)		0.2 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (2e comp)		Ethylbenzeen	ug/buis (3L)		<0.05 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (2e comp)		Meta- en Para xyleen	ug/buis (3L)		0.07 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (2e comp)		Orthoxyleen	ug/buis (3L)		<0.05 mg/m³
20-6-2005	G2 Effluentgas BLE (2e comp)		C6 - C10	ug/buis (3L)		<0.5 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX	FID	Effluentgas DMVEX Verdund	ppmv		1130
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (1e comp)	Akool	Benzeen	ug/buis (3L)		54 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (1e comp)		Tolueen	ug/buis (3L)		200 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (1e comp)		Ethylbenzeen	ug/buis (3L)		140 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (1e comp)		Meta- en Para xyleen	ug/buis (3L)		570 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (1e comp)		Orthoxyleen	ug/buis (3L)		240 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (1e comp)		C6 - C10	ug/buis (3L)		4600 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (2e comp)	Akool	Benzeen	ug/buis (3L)		<0.05 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (2e comp)		Tolueen	ug/buis (3L)		0.2 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (2e comp)		Ethylbenzeen	ug/buis (3L)		0.1 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (2e comp)		Meta- en Para xyleen	ug/buis (3L)		0.4 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (2e comp)		Orthoxyleen	ug/buis (3L)		0.1 mg/m³
20-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX (2e comp)		C6 - C10	ug/buis (3L)		28 mg/m³
21-6-2005	B8	grondwater	Totaal koolstof	mg TC/L		170 mg C/L
21-6-2005	B8	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		15 mg C/L
21-6-2005	B8	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
21-6-2005	B14	grondwater	Totaal koolstof	mg TC/L		94 mg C/L
21-6-2005	B14	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		17 mg C/L
21-6-2005	B14	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
21-6-2005	W3 Finaal effluent DMVEX	grondwater	Totaal koolstof	mg TC/L		180 mg C/L
21-6-2005	W3 Finaal effluent DMVEX	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		12 mg C/L
21-6-2005	W3 Finaal effluent DMVEX	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
24-6-2005	PB 1086	FID				1.7
24-6-2005	PB 1086	PID				24.5
24-6-2005	G2 Effluentgas BLE	FID	Effluentgas BLE			32000
24-6-2005	G2 Effluentgas BLE	PID	Effluentgas BLE			491
24-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX	FID	Effluentgas DMVEX Verdund			219
24-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX	PID	Effluentgas DMVEX Verdund			196
27-6-2005	G2 Effluentgas BLE	Akool	Totaal koolstof GCMS C6-C16	ug/buis (3L)		2400 mg/m³
27-6-2005	G2 Effluentgas BLE	FID	Effluentgas BLE	ppmv		3130
27-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX	Akool	Totaal koolstof GCMS C6-C16	ug/buis (3L)		2500 mg/m³
27-6-2005	G3 Effluentgas DMVEX	FID	Effluentgas DMVEX Verdund	ppmv		4860
21-12-2005	G2 Effluentgas BLE	FID	Effluentgas BLE			10.000
21-12-2005	G2 Effluentgas BLE	PID	Effluentgas BLE			2000
21-12-2005	G3 Effluentgas DMVEX	FID	Effluentgas DMVEX Verdund			11
21-12-2005	G3 Effluentgas DMVEX	PID	Effluentgas DMVEX Verdund			1
21-12-2005	G3 Effluentgas DMVEX	FID	Effluentgas DMVEX onverdund			2000
21-12-2005	G3 Effluentgas DMVEX	PID	Effluentgas DMVEX onverdund			80-150
21-12-2005	W3 Finaal effluent DMVEX	grondwater	TOC	mg/L		88 mg C/L
21-12-2005	W2 Condensaat BLE	grondwater	TOC	mg/L		14 mg C/L
10-1-2006	F rode dop	grondwater	TOC	mg/L		75 mg C/L
10-1-2006	F rode dop	grondwater	TOC	mg/L		93 mg C/L
10-1-2006	F zwarte dop	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		11 mg C/L
10-1-2006	F zwarte dop	grondwater	Bicarbonaat (HCO3-)	mmol/L		14 mg C/L
10-1-2006	F zwarte dop	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
10-1-2006	F zwarte dop	grondwater	Carbonaat (CO3 2-)	mmol/L		<0.1 mg C/L
11-1-2006	4A 4.0 - 4.5 m-mv	grond	Droge stof	%		78.9
11-1-2006	4A 4.0 - 4.5 m-mv	grond	Organische stof	g/kg Ds		5.4
11-1-2006	G2 4.0 - 4.5 m-mv	grond	Calciumcarbonaat	g/kg Ds		120



Notitie

Concept

Contactpersoon ir. M. (Marcus) van Zutphen

Datum 21 maart 2006

Kenmerk N001-4382178MZU-V01

Overzicht meetwaarden en interpretatie koolstof isotopenanalyses Odfjell Botlek

Inleiding

Voor het SKB-project-PT5413, demonstratie van stoomgestimuleerde extractie heeft Tauw onderdelen van de monitoring uitgevoerd. Het doel van de werkzaamheden van Tauw was om in samenwerking met Groundwater Technology (GT) aan te tonen of en zo ja hoe de verontreinigde bodem door middel van stoom gestimuleerd extractie wordt gesaneerd. Hierbij is het van belang om voor de uitvoering van de proef verschillende balansen op te kunnen stellen. De belangrijkste balansen zijn de stofbalans en de energiebalans. Een derde, maar minder cruciale balans is de waterbalans.

Ter onderbouwing van de stofbalans zijn door Tauw verschillende metingen uitgevoerd. De metingen hadden betrekking op concentraties aan verontreinigende stoffen in de geëxtraheerde vloeistof en gasstromen en de concentraties, gemeten met de FID in enkele peilbuizen rondom de verontreinigingslocatie.

De FID metingen uitgevoerd door Tauw zijn uitgevoerd op 20 juni, 24 juni, 27 juni en 21 december 2005. Daarnaast zijn op 20 juni en 27 juni luchtmonsters genomen met actief koolbuisjes voor de sorptie van vluchtige koolwaterstoffen ter analyse aangeboden aan het laboratorium van AL-West. Tevens zijn grondwater en grondmonster door GT genomen en in opdracht van Tauw door het laboratorium van AL-West geanalyseerd.

Op 21 december 2005 zijn ook vloeistofmonsters genomen van het condensaat (monsterpunt W2) en het totaal effluent (monsterpunt W3) en gasmonsters van de BLE-unit. Deze monsters zijn geanalyseerd door het Centrum voor Isotopen Onderzoek (CIO) van de Universiteit Groningen. Tevens zijn twee grondmonsters door GT genomen welke voor isotopen onderzoek zijn opgestuurd naar het CIO.

Bij het CIO zijn de $\delta^{13}\text{C}$ en de ^{14}C isotopengehalten bepaald. $\delta^{13}\text{C}$ is een maat voor de verhouding van de stabiele ^{12}C en ^{13}C isotopen. Verschillende processen in de natuur hebben een verschuiving of fractionering van de $\delta^{13}\text{C}$ tot gevolg (zie bijlage 1 en 2). Het ^{14}C gehalte wordt uitgedrukt als activiteit in procenten ten opzichte van het tegenwoordig aanwezige ^{14}C . Met het percentage kan de ouderdom van een monster berekend worden op basis van de halfwaardetijd van 5.730 jaar.

Het doel van het uitvoeren van het isotopenonderzoek is om met een grotere zekerheid de herkomst vast te kunnen stellen van de gemeten hoeveelheden CO₂ in het effluent van de BLE-unit. CO₂ kan afkomstig zijn van de volgende bronnen.

- omzetting van minerale olie;
- aangezogen buitenlucht uit de omgeving;
- andere in de bodem plaatsvindende processen.

Resultaten

De verkregen analytische resultaten zijn al per e-mail verstuurd en tevens in de bijlage toegevoegd.

Uit een analyse van de standaard metingen blijkt dat in de ondergrond op de locatie een hoog gehalte aan carbonaat aanwezig is: 10% van de droge stof. Daarnaast is de fractie organische stof met circa 4,3 % (gemiddeld van 5,4 en 3,1%) ook aanzienlijk. Het lutum gehalte is 10% van droge stof.

De resultaten van de isotopen analyses staan weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Resultaten analyses koolstofisotopen

Monster	¹⁴ C gecorr. Activiteit (%)	¹⁴ C Ouderdom YB Present	δ ¹³ C
BLE Effluent gas	23,93	11490	-23,26
(duplo)	41,56	7055	-22,91
DMVEX Effluent gas	21,41	9150	-22,94
(duplo)	32,02	12380	-28,47
W2 Condensaat BLE	42,97	7550	-36,97
W3 Finaal effluent DMVEX	39,07	6820	-1,96
<i>Referenties</i>			
Buitenlucht	100	0	-8
Minerale olie	0	<50.000	-22 tot -28
Natuurlijk Organisch stof (NOM)	20 - 100	<9.000	-22 tot -28 ¹
CO ₂ uit CO ₂	0 - 100	0 tot <50.000	~ 23 ²

¹ Zie figuur in de bijlage 1

² Zie figuur in de bijlage 2

Ten aanzien van de $\delta^{13}\text{C}$ waarden voor het condensaat en het finaal effluent van de DM-VEX moet opgemerkt worden dat bij condensatie en verdampingsprocessen sterke fractiescheidingen plaatsvinden. De lichtere fracties (^{12}C) zullen eerder verdampen en slechter condenseren.

Interpretatie

Uit de isotoopanalyses is kan worden afgeleid dat CO_2 die aanwezig was in de monsters niet enkel afkomstig is van de bodem, de buitenlucht of de omzetting van minerale olie. Voor een goede inschatting van de herkomst zijn verschillende aannamen noodzakelijk.

Uitgangspunt is dat de gemeten CO_2 in het onttrekkingsstelsel afkomstig is van verschillende bronnen:

1. de omzetting van minerale olie;
2. de buitenlucht;
3. de omzetting van natuurlijk organisch stof (NOM);
4. het vrijkomen van CO_2 uit het grondwater;
5. het vrijkomen van CO_2 uit de omzetting van carbonaat (CO_3);
6. het aanzuigen van CO_2 uit de omringende bodem.

De karakteristieken van de buitenlucht en van minerale olie zijn zeer goed bekend. Gezien de historie van de formatie waaruit de verontreiniging wordt onttrokken wordt gesteld dat de in de ondergrond aanwezig NOM vrijwel zeker minder dan 9000 jaar oud zijn: van na de laatste ijstijd, en waarschijnlijk zelf van veel jongere datum. Dit houdt dat de ^{14}C activiteit 20 % tot 100 % is. Door dat voor het aanbrengen van de ophooglaag gebruik gemaakt is van havenslib, mogelijk aangevuld met zeezand wordt ook de ouderdom van de in de bodem aanwezig kalk als zeer beperkt aangenomen.

Het CO_2 gehalte van de buitenlucht is vrij constant en is 350 ppmV. Het CO_2 gehalte in de bodemlucht is gemiddeld 3000 tot 5000 ppmV. Het CO_2 dat vrijkomt als gevolg van uitdamping van in het grondwater opgeloste CO_2 en dat in de ondergrond wordt geproduceerd door de omzetting van carbonaat is sterk afhankelijk van de pH van de bodem en de thermodynamische processen die in de ondergrond optreden.

Door Groundwater Technology is een CO_2 -gehalte van circa 3500 ppmV aangetroffen in de geëxtraheerde bodemlucht. Een inschatting en onderbouwing van de fractie van de onttrokken CO_2 die afkomstig is van de omzetting van minerale olie. Op basis van de isotoopmetingen en de bovenstaande aannamen en gegevens is in het onderstaande een onderbouwing van deze fractie gemaakt.

Concept

Kenmerk N001-4382178MZU-V01

Voor de inschatting van de maximale hoeveelheid CO₂ die afkomstig is van de omzetting van minerale olie worden de volgende aannamen gebruikt:

Herkomst CO ₂	gecorr. ¹⁴ C Activiteit	δ ¹³ C
Gemeten waarden	21,41	24,4 (gem.)
minerale olie	0%	van -22 tot -28
buitenlucht	100%	-8
NOM	100%	-22 tot -28
Carbonaat	100%	-23
bodemlucht in de omgeving	100%	-22 tot -28
bij de onttrekking heeft fractionering op basis van massa niet opgetreden		

Op basis van deze aannamen en de ¹⁴C analyseresultaten is de maximale hoeveelheid CO₂ uit de minerale olie 78,59% (100 % - 21,41%). 21,41% is het laagst waargenomen gehalte van de duplo analyses. 78,59% van 3500 ppmV is 2750 ppmV.

De herkomst van de resterende CO₂ (750 ppmV) is derhalve afkomstig van een mengsel van de resterende fracties (buitenlucht, NOM, carbonaat en bodemlucht in omgeving). Vanuit de buitenlucht kan maximaal 350 ppmV komen, en de rest is afkomstig van de resterende bronnen. De gemeten δ ¹³C van het luchtmengsel is 24,4, in de range van de waarde voor de bodemcomponenten. Doordat de δ ¹³C voor de buitenlucht laag is (-8) is het zeer onwaarschijnlijk dat een aanzienlijke fractie afkomstig is vanuit de buitenlucht.

Voor de inschatting van de minimale hoeveelheid CO₂ die afkomstig is van de omzetting van minerale olie worden de volgende aannamen gebruikt :

Herkomst CO ₂	gecorr. ¹⁴ C Activiteit	δ ¹³ C
Gemeten waarde	41,56	24,4 (gem.)
minerale olie	0%	van -22 tot -28
buitenlucht	100%	-8
NOM	20%	-22 tot -28
carbonaat	20%	-23
bodemlucht in de omgeving	20%	-22 tot -28
bij de onttrekking heeft fractionering op basis van massa niet opgetreden		

Op basis van deze aannamen en de ¹⁴C is de maximale hoeveelheid CO₂ uit de minerale olie 58,44% (100 % - 41,56%). 41,56% is het hoogst waargenomen gehalte van de duplo analyses.



Concept

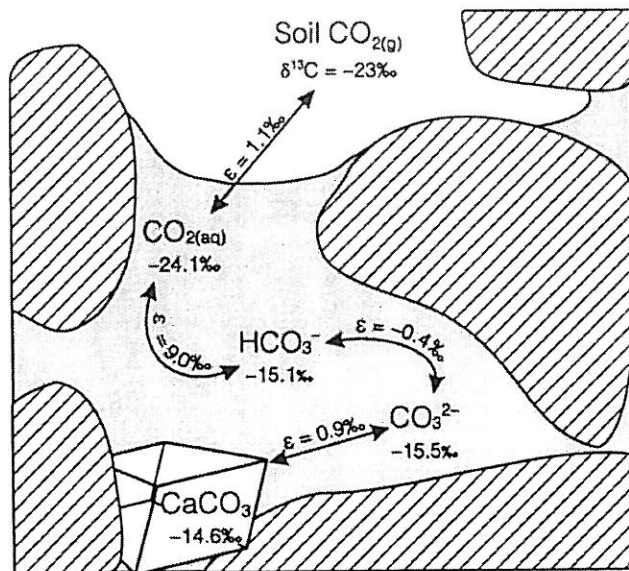
Kenmerk N001-4382178MZU-V01

58,44% van 3500 ppmV is 2045 ppmV. Maar door de eveneens lage gecorrigeerde waarde ^{14}C van de CO_2 uit de NOM, het carbonaat en vanuit de omgeving is dit een overschatting. Een meer realistisch geschatte minimale hoeveelheid CO_2 uit de minerale olie is 45%.

De resterende CO_2 (1455 ppmV) is afkomstig van een mengsel van de resterende fracties (buitenlucht, NOM, carbonaat en bodemlucht in omgeving). Vanuit de buitenlucht kan maximaal 350 ppmV afkomstig zijn, en de rest (1105 ppmV) is afkomstig van de resterende bronnen. Doordat de $\delta^{13}\text{C}$ voor de buitenlucht laag is (-8) is het niet waarschijnlijk dat een aanzienlijke fractie afkomstig is van uit de buitenlucht.

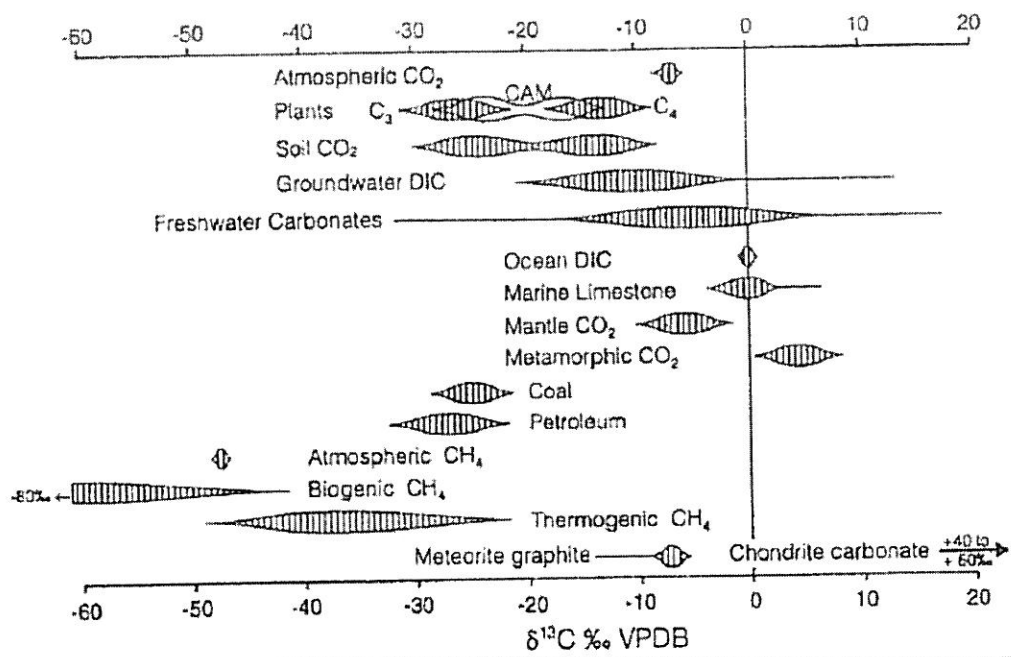
Op basis van deze analyses kan gesteld worden dat tussen 45 en maximaal 79% van de onttrokken CO_2 afkomstig is van de omzetting van de minerale olie verontreiniging. Een reeel geachte waarde hiervoor is 60%.

Bijlage 1 Fractionering $\delta^{13}\text{C}$ in bodem uit CO_3



Figuur $\delta^{13}\text{C}$ uit CO_3

Bijlage 2 $\delta^{13}\text{C}$ in natuurlijke verbindingen



Figuur $\delta^{13}\text{C}$ uit planten

Bijlage I: Overzicht analyseresultaten GT

Samenstelling verontreiniging stoominjectie

datum	locatie	concentratie (ug/l)										samenstelling										verhouding aromaten/olie	verh. M.o dvex/koeler
		vluchtige aromaten						minerale olie				vluchtige aromaten					minerale olie						
		benzeen	tolueen	ethylbenzeen	xylenen	total	naftaleen	C10-C40	C10-C12	C12-C22	C22-C30	C30-C40	% benzeen	%ethylbenzeen	% toluen	% xylenen	% C10-C12	%C12-C22	% C22-C30	% C30-C40			
26-04-2004	effluent DM-Vex	27	19	13	140	200	57	14000	260	13000	1100	120	13,6	9,5	6,5	70,4	1,8	89,8	7,6	0,8	0,0143		
29-04-2004	effluent DM-Vex	27	14	11	56	110	30	29000	2100	26000	640	120	25,0	13,0	10,2	51,9	7,3	90,1	2,2	0,4	0,0038		
09-06-2004	effluent DM-Vex	1500	12000	8000	41000	63000	2300	120000	21000	88000	6900	590	2,4	19,2	12,8	65,6	18,0	75,5	5,9	0,5	0,5250	1,3793	
09-07-2004	effluent DM-Vex	660	3000	1100	7700	12000	350	23000	5400	17000	1000	95	5,3	24,1	8,8	61,8	23,0	72,4	4,3	0,4	0,5217	2,5843	
12-07-2004	effluent DM-Vex	750	3500	1300	9500	15000	410	14000	2700	11000	570	45	5,0	23,3	8,6	63,1	18,9	76,8	4,0	0,3	1,0714	8,7500	
28-07-2004	effluent DM-Vex	510	1300	350	3500	5700	160	23000	3800	18000	1000	65	9,0	23,0	6,2	61,8	16,6	78,7	4,4	0,3	0,2478	46,0000	
18-08-2004	effluent DM-Vex	340	630	91	660	1700	36	9700	320	8900	470	10	19,8	36,6	5,3	38,3	3,3	91,8	4,8	0,1	0,1753	0,4850	
25-08-2004	effluent DM-Vex	220	450	86	1400	2200	86	24000	800	23000	520	55	10,2	20,9	4,0	64,9	3,3	94,4	2,1	0,2	0,0917	4,8000	
21-09-2004	effluent DM-Vex	310	570	34	550	1500	11	810	110	680	25	0	21,2	38,9	2,3	37,6	13,5	83,4	3,1	0,0	1,8519	0,6750	
21-10-2004	effluent DM-Vex	130	270	53	280	740	7,9	400000	3100	380000	13000	1900	17,7	36,8	7,2	38,2	0,8	95,5	3,3	0,5	0,0019	16,6667	

0,3314

10,1675

datum	locatie	concentratie (ug/l)										samenstelling										verhouding aromaten/olie	verh arom vex/koel
		vluchtige aromaten						minerale olie				vluchtige aromaten					minerale olie						
		benzeen	tolueen	ethylbenzeen	xylenen	total	naftaleen	C10-C40	C10-C12	C12-C22	C22-C30	C30-C40	% benzeen	%ethylbenzeen	% toluen	% xylenen	% C10-C12	%C12-C22	% C22-C30	% C30-C40			
09-06-2004	effluent koeler	11	21	5,9	43	80	9,3	87000	6100	81000	210	0	13,6	26,0	7,3	53,2	7,0	92,8	0,2	0,0	0,0009	787,5000	
09-07-2004	effluent koeler	12	19	1,6	7,8	41	<0,2	8900	120	8700	75	25	29,7	47,0	4,0	19,3	1,3	97,5	0,8	0,3	0,0046	292,6829	
12-07-2004	effluent koeler	41	83	11	66	200	2,1	1600	110	1500	15	10	20,4	41,3	5,5	32,8	6,7	91,7	0,9	0,6	0,1250	75,0000	
28-07-2004	effluent koeler	17	47	9,7	75	150	<0,7	500	55	440	10	10	11,4	31,6	6,5	50,4	10,7	85,4	1,9	1,9	0,3000	38,0000	
18-08-2004	effluent koeler	55	120	15	90	280	2,6	20000	410	19000	280	10	19,6	42,9	5,4	32,1	2,1	96,4	1,4	0,1	0,0140	6,0714	
25-08-2004	effluent koeler	58	160	31	160	410	2,3	5000	440	4500	40	10	14,2	39,1	7,6	39,1	8,8	90,2	0,8	0,2	0,0820	5,3659	
21-09-2004	effluent koeler	75	190	26	160	450	<2	1200	110	1100	0	0	16,6	42,1	5,8	35,5	9,1	90,9	0,0	0,0	0,3750	3,3333	
21-10-2004	effluent koeler		210	1100		250	1400	2900		43		24000	1700	22000	540	10		7,1				0,1208	0,2552

Bijlage 9.3: Analyseresultaten grond na 2^e fase sanering [mg/kg d.s.]

Tabel 1: resultaten controlemonsters na 2^e fase sanering in mg/kg d.s.

Monster	Datum	Diepte (m-mv)	Minerale olie	Benzeen	Tolueen	Ethylbenzeen	Xylenen	Naftaleen	Interpretatie
B6-6	15-06-05	3,75-4,25	70	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Gasolie met zware fractie
B6-17	15-06-05	6,5-7,0	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
1085-21	15-06-05	4,5-5,0	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
1086-14	15-06-05	3,0-3,5	1.900	18	270	150	780	19	Mengsel benzine gasolie, niet van spill
1087-20	15-06-05	4,5-5,0	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
01-8	19-10-05	4,8-5,3	1.500	64	380	170	850	16	Mengsel benzine gasolie, niet van spill
04-8	19-10-05	4,0-4,5	6.000	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Gasolie van spill, lichte fractie verwijderd
04-10	19-10-05	5,0-5,5	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
05-7	19-10-05	4,0-4,5	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
05-10	19-10-05	5,5-6,0	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
C-8	25-10-05	3,5-4,0	1.300	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Geen verse gasolie spill
C-11	25-10-05	5,0-5,5	70	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Humus
C-13	25-10-05	6,0-6,5	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
E-8	25-10-05	3,5-4,0	4.400	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Gasolie van spill, lichte fractie eruit
E-11	25-10-05	5,0-5,5	180	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	Humus
E-13	25-10-05	6,0-6,5	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
F-7	25-10-05	3,1-3,6	140	<0,05	<0,05	0,77	<0,05	<0,1	Mengsel gasolie spill met zware fractie
F-9	25-10-05	4,1-4,5	130	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Mengsel gasolie spill met zware fractie
F-13	25-10-05	6,0-6,5	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
G-7	21-10-05	3,0-3,5	660	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Geen verse gasolie spill
G-10	21-10-05	4,5-5,0	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
H-3	21-10-05	2,5-3,0	140	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Geen verse gasolie van spill, tevens zware fractie
H-7	21-10-05	4,5-5,0	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
H-10	21-10-05	6,0-6,25	40	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	"Schoon"

Bijlage 9.4: Analyseresultaten grondwater na 2^e fase sanering [$\mu\text{g/l}$]

Tabel 1: resultaten controlemonsters grondwater na 2e fase sanering in $\mu\text{g/l}$

Monster	Datum	Diepte (m-mv)	Minerale olie	Benzeen	Tolueen	Ethylbenzeen	Xylenen	Naftaleen	Interpretatie
B-8	23-06-05	4,75-5,25	180	4,7	3,0	0,89	4,7	<1	"Verweerde" Gasolie
B-14	23-06-05	4,75-5,25	840	2.900	3.900	820	3.400	210	Benzineverontreiniging
01-1-2	31-10-05	5,25-6,25	990	8.700	11.000	1.900	8.500	90	Benzineverontreiniging
1072-1	20-06-05	4,0-5,0	270	2,4	0,26	<0,2	<0,5	<0,2	"Verweerde" Gasolie
1074-1	20-06-05	5,0-6,0	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	Schoon
1085-1	20-06-05	4,0-6,0	<50	0,80	4,0	2,8	13	1,1	"Schoon"
1087-1	20-06-05	4,0-6,0	<50	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,2	Schoon
04-1-2	31-10-05	5,25-6,25	560	1,2	2,1	0,51	1,9	0,64	Mengsel benzine en gasolie
05-1	21-10-05	5,25-6,25	80	0,73	<0,2	0,73	<0,5	0,24	Mengsel benzine en gasolie
C-1-1	08-11-05	5,0-6,0	<50	1,1	0,31	<0,2	0,58	<0,4	Benzine
E-1-1	08-11-05	5,0-6,0	480	0,77	3,2	<0,2	<0,5	<0,2	Gasolie van spill, lichte fractie verwijderd
F-1-1	31-10-05	5,0-6,0	450	0,83	<0,2	<0,2	<0,5	0,44	Gasolie van Spill
G-1-1	31-10-05	5,0-6,0	<50	1,2	1,1	0,25	0,83	<0,2	"Schoon"
H-1-2	31-10-05	5,25-6,25	240	0,33	0,87	<0,2	0,57	<0,2	"Verweerde" Gasolie

Bijlage 11.3: Analyseresultaten grond na 3^e fase sanering [mg/kg d.s.]

Tabel 1: resultaten controlemonsters na 3^e fase sanering in mg/kg d.s.

Monster	Datum	Diepte (m-mv)	Minerale olie	Benzeen	Tolueen	Ethylbenzeen	Xylenen	Naftaleen	Interpretatie
04A-10	11-01-06	4,0-4,5	750	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Gasolie van spill, lichte fractie verwijderd
G2-10	11-01-06	4,0-4,5	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon
G2-13	11-01-06	5,5-6,0	<20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	Schoon

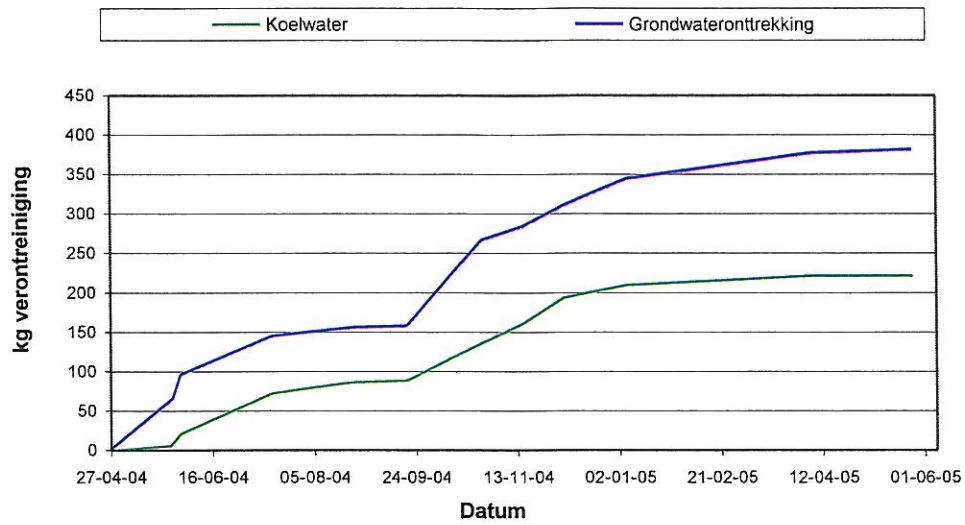
Bijlage 11.4: Analyseresultaten grondwater na 3^e fase sanering [$\mu\text{g/l}$]

Tabel 1: resultaten controlemonsters grondwater na 3^e fase sanering in $\mu\text{g/l}$

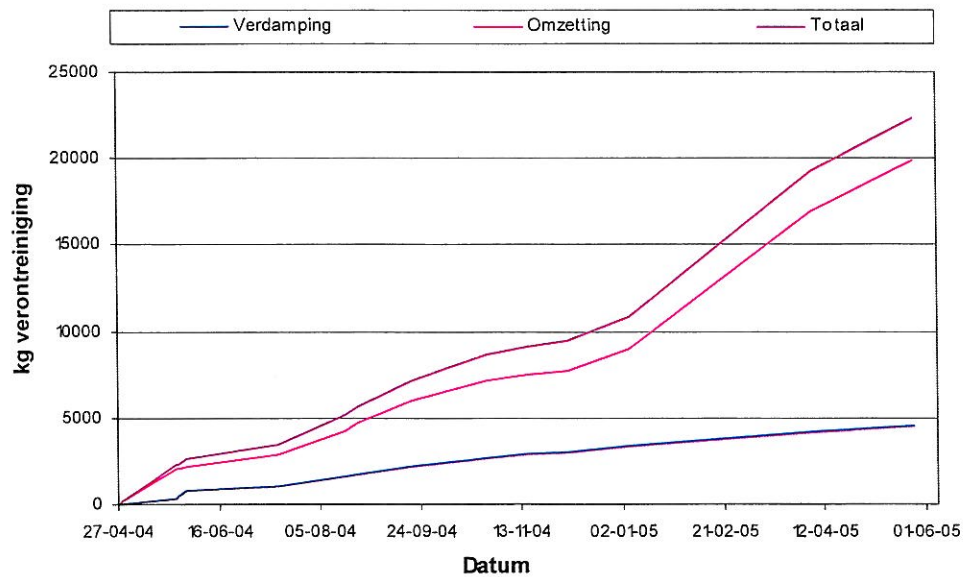
Monster	Datum	Diepte (m-mv)	Minerale olie	Benzeen	Tolueen	Ethylbenzeen	Xylenen	Naftaleen	Interpretatie
F4-1-1	11-01-06	5,25-6,25	560	1,8	0,66	0,99	2,2	1,2	Mengsel benzine en gasolie
FC-1-1	12-01-06	5,0-6,0	290	1.100	9,3	350	950	17	Benzine
FF-1-1	12-01-06	5,0-6,0	<50	14	15	2,2	16	0,39	Benzine

Bijlage 8: Resultaten procesmetingen en vrachtverwijdering tijdens 2^e fase sanering

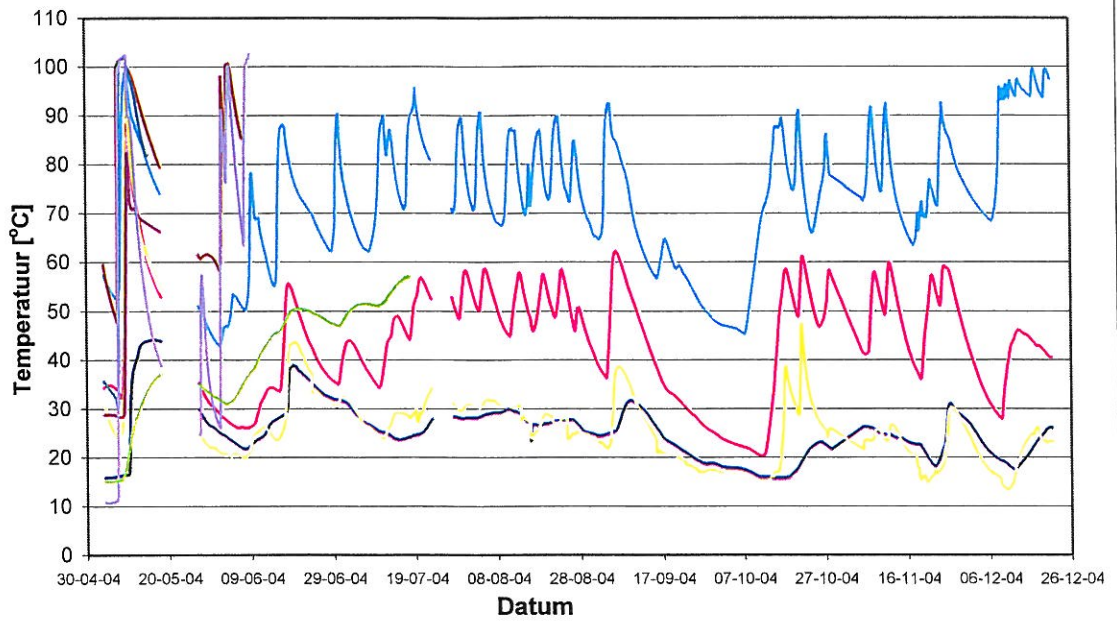
Massaverwijdering



Massaverwijdering

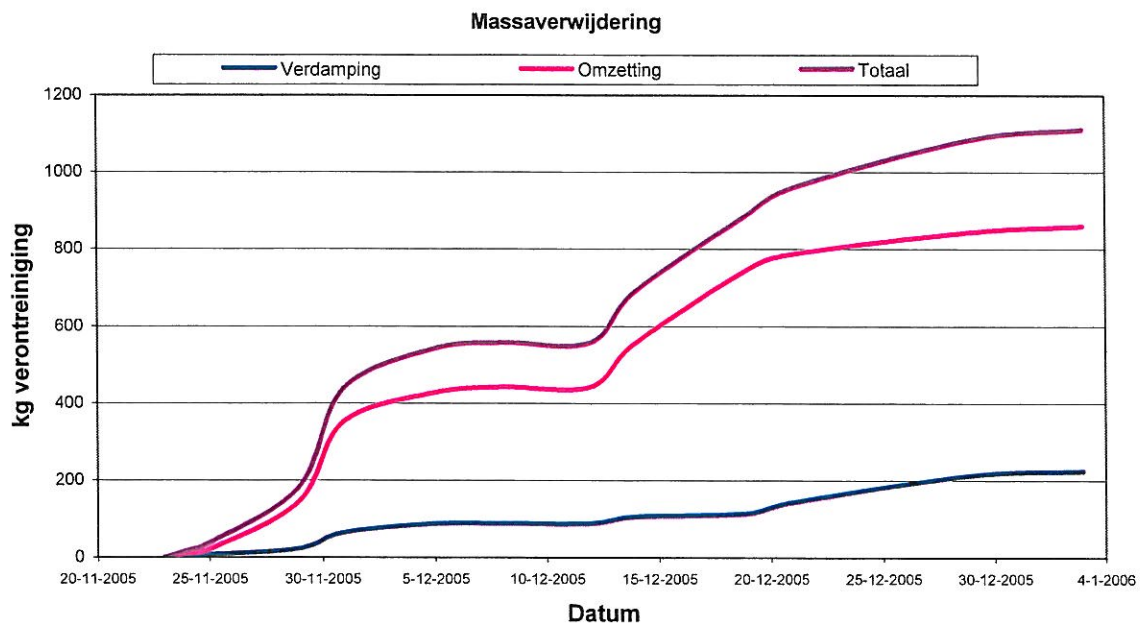
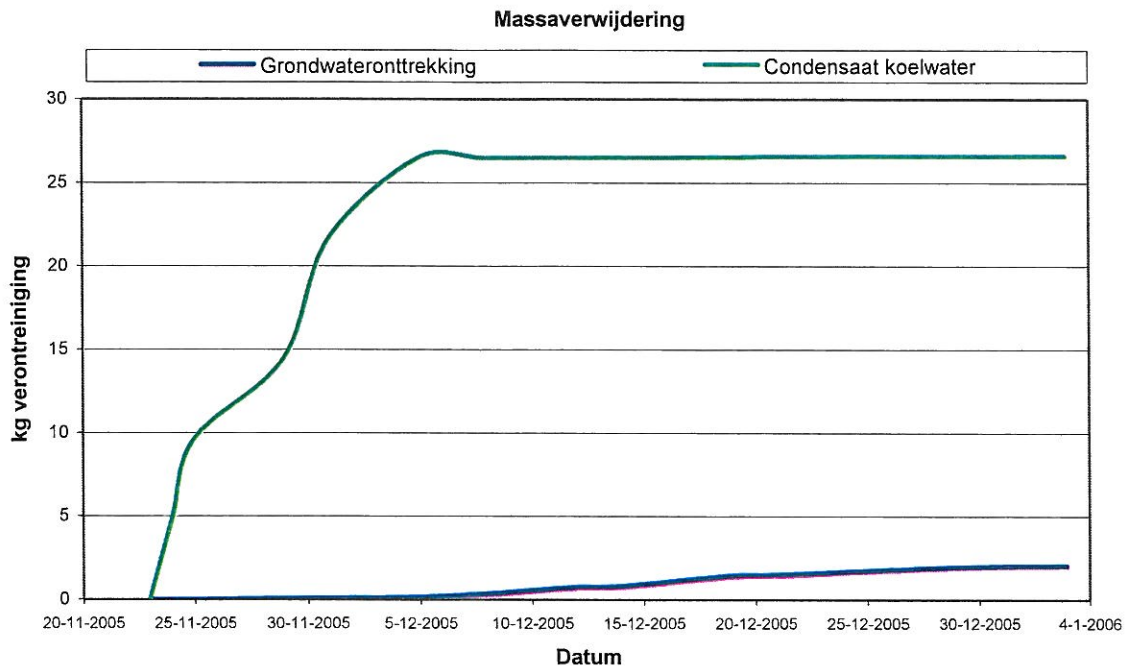


Temperatuurverloop stoominjectie, 2e fase sanering

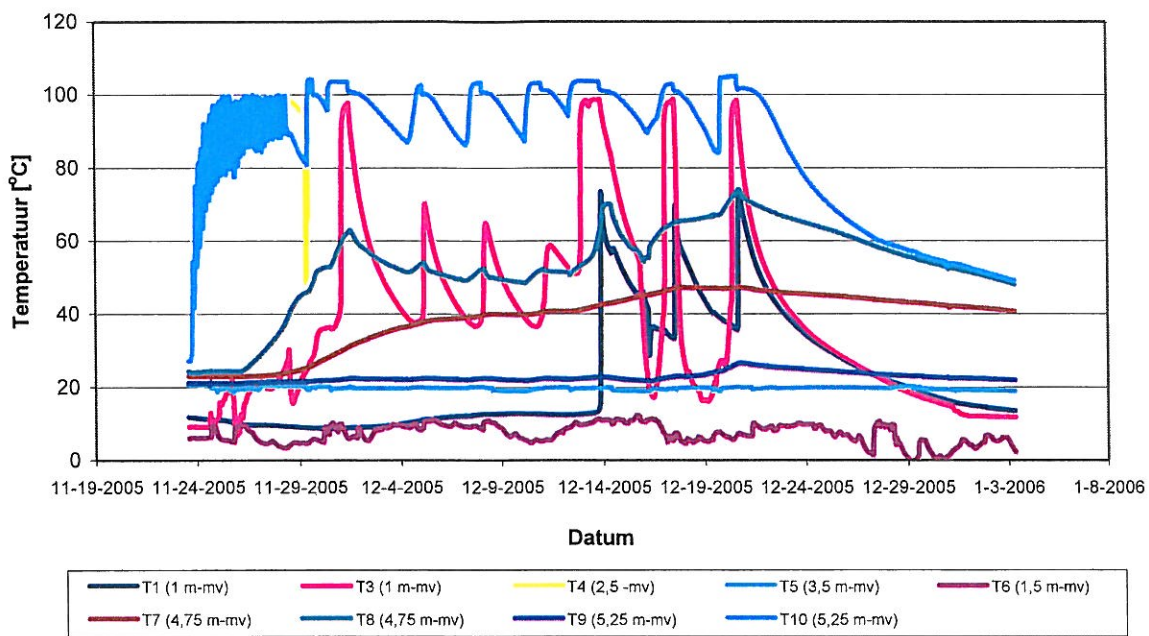


- | | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| — T1 (1m-mv) | — T2 (1m-mv) | — T3 (1m-mv) | — T4 (3m-mv) | — T5 (3m-mv) |
| — T6 (4,75m-mv) | — T7 (4,75 m-mv) | — T8 (5,25 m-mv) | — T9 (6,25 m-mv) | |

Bijlage 10: Resultaten procesmetingen en vrachtverwijdering tijdens 3^e fase sanering



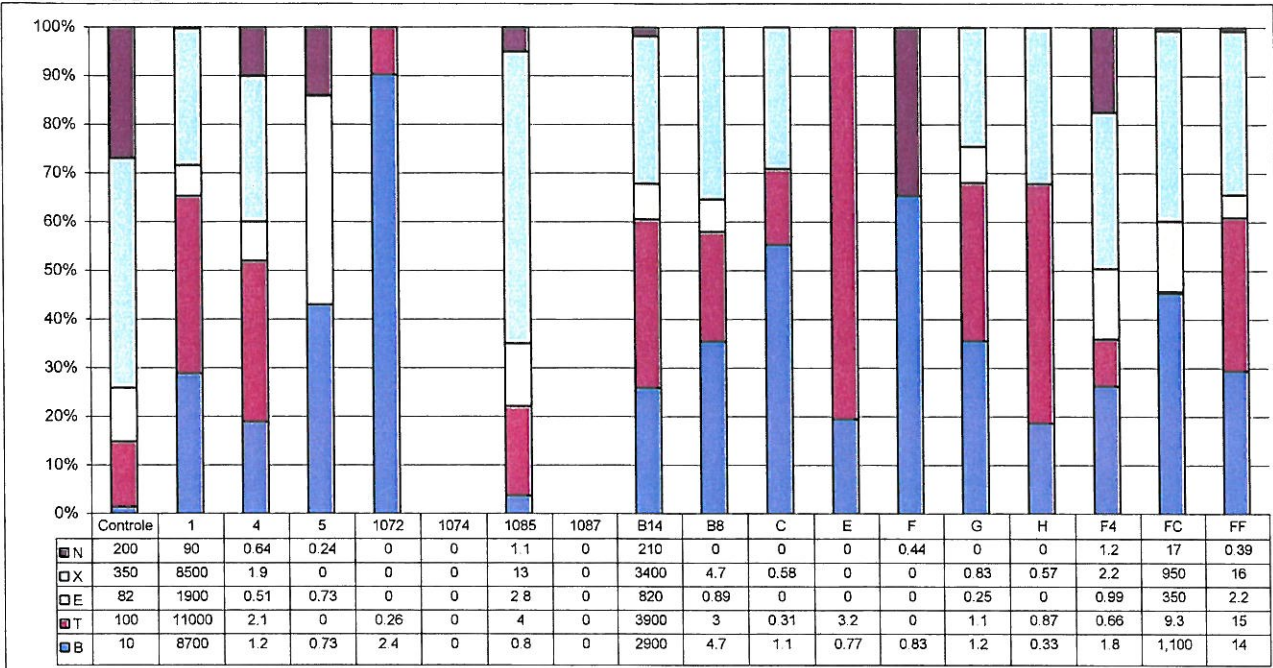
Temperatuurverloop stoominjectie, 3e fase sanering



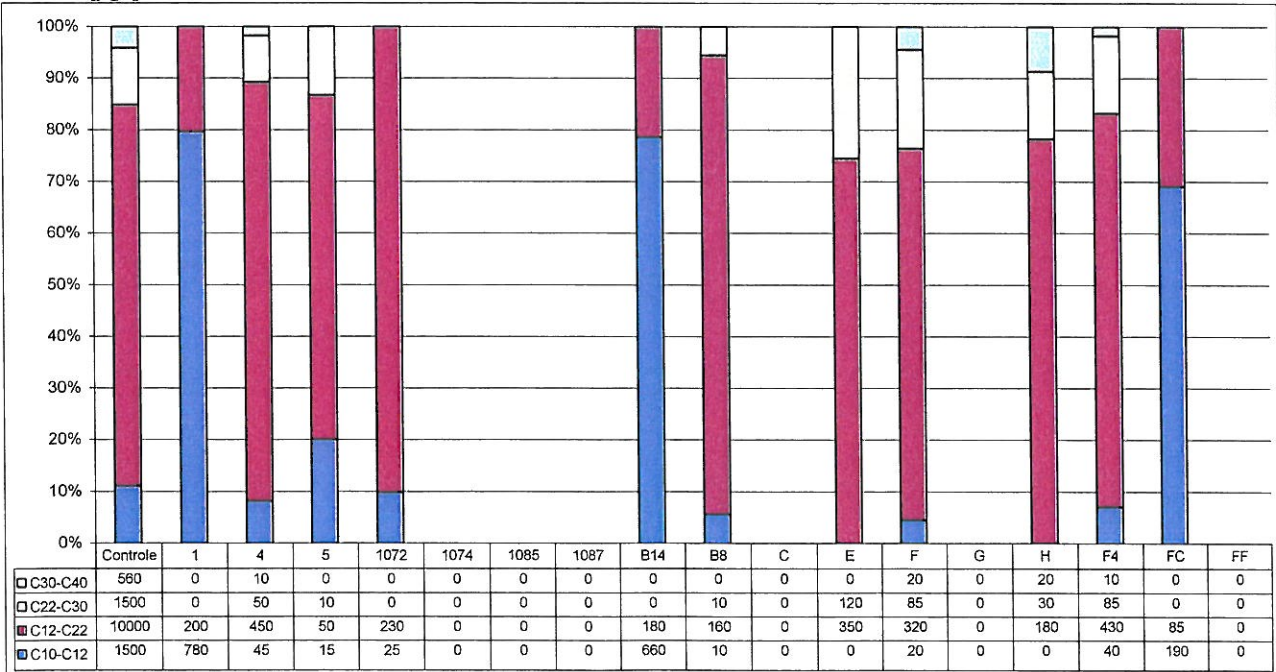
Bijlage 12: Fractieverdeling grond en grondwatermonsters tijdens sanering

Fractieverdeling grondwatermonsters

Aromaten [$\mu\text{g/l}$]



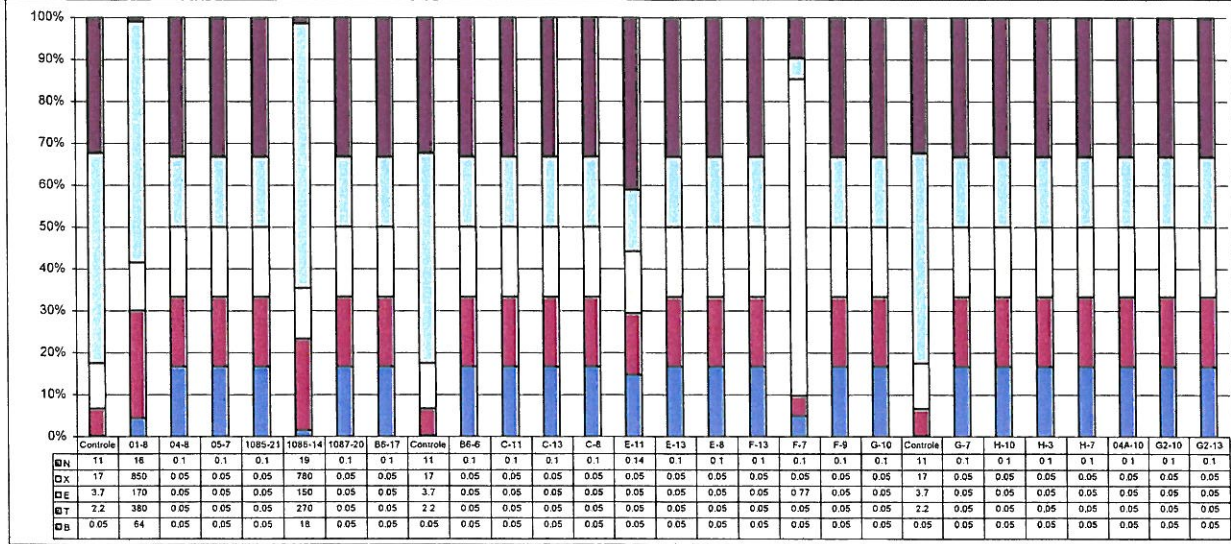
Alifaten [$\mu\text{g/l}$]



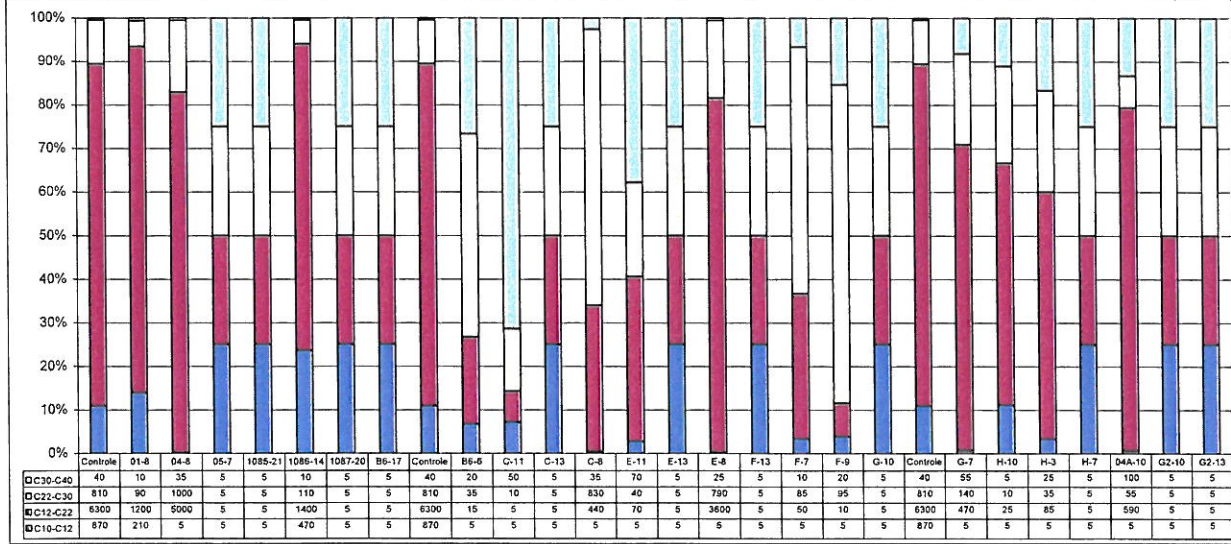
Bijlage 12: Fractieverdeling grond en grondwatermonsters tijdens sanering

Fractieverdeling grondmonsters

Aromaten [mg/kg d.s.]



Allifaten [mg/kg d.s.]



Fase	Meetpunt	Soort	Straal (m)	Datum	Flow_(m/s)	Temp_(°C)	Druk_(KPa)	Rh_(%)	PID_(PPMv)	FID_(PPMv)	CH ₄ _(%)	CO ₂ _(%)	O ₂ _(%)
2e fase SKB	B5	water		38707									
2e fase SKB	B5	water		38715									
2e fase SKB	B5	water		38720									
1e fase SKB	B6	water		38524		23,5							
1e fase SKB	B6	water		38525		33,4							
1e fase SKB	B6	water		38526		30,6							
1e fase SKB	B6	water		38527		36,7							
1e fase SKB	B6	water		38530									
1e fase SKB	B6	water		38531									
1e fase SKB	B6	water		38532		28							
2e fase SKB	B6	water		38680									
2e fase SKB	B6	water		38681									
2e fase SKB	B6	water		38682									
2e fase SKB	B6	water		38685									
2e fase SKB	B6	water		38687									
2e fase SKB	B6	water		38691									
2e fase SKB	B6	water		38692									
2e fase SKB	B6	water		38693									
2e fase SKB	B6	water		38694									
2e fase SKB	B6	water		38698									
2e fase SKB	B6	water		38700									
2e fase SKB	B6	water		38705									
2e fase SKB	B6	water		38707									
2e fase SKB	B6	water		38715									
2e fase SKB	B6	water		38720									
1e fase SKB	B7	water		38524		24,1							
1e fase SKB	B7	water		38525		34,4							
1e fase SKB	B7	water		38526		30,5							
1e fase SKB	B7	water		38527		35,3							
1e fase SKB	B7	water		38530									
1e fase SKB	B7	water		38531									
1e fase SKB	B7	water		38532		34							
2e fase SKB	B7	water		38680									
2e fase SKB	B7	water		38681									
2e fase SKB	B7	water		38682									
2e fase SKB	B7	water		38685									
2e fase SKB	B7	water		38687									
2e fase SKB	B7	water		38691									
2e fase SKB	B7	water		38692									
2e fase SKB	B7	water		38693									
2e fase SKB	B7	water		38694									
2e fase SKB	B7	water		38698									
2e fase SKB	B7	water		38700									
2e fase SKB	B7	water		38705									
2e fase SKB	B7	water		38707									
2e fase SKB	B7	water		38715									
2e fase SKB	B7	water		38720									
1e fase SKB	B8	water		38524		21,9							
1e fase SKB	B8	water		38525		29,3							
1e fase SKB	B8	water		38526		36							
1e fase SKB	B8	water		38527		31,1							
1e fase SKB	B8	water		38530									
1e fase SKB	B8	water		38531									
1e fase SKB	B8	water		38532		47							
2e fase SKB	B8	water		38680									
2e fase SKB	B8	water		38681									
2e fase SKB	B8	water		38682									
2e fase SKB	B8	water		38685									
2e fase SKB	B8	water		38687									
2e fase SKB	B8	water		38691									
2e fase SKB	B8	water		38692									
2e fase SKB	B8	water		38693									
2e fase SKB	B8	water		38694									
2e fase SKB	B8	water		38698									
2e fase SKB	B8	water		38700									
2e fase SKB	B8	water		38705									
2e fase SKB	B8	water		38707									
2e fase SKB	B8	water		38715									
2e fase SKB	B8	water		38720									
1e fase SKB	B9	water		38524		21							
1e fase SKB	B9	water		38525		29,7							
1e fase SKB	B9	water		38526		26,5							
1e fase SKB	B9	water		38527		36,5							
1e fase SKB	B9	water		38530									
1e fase SKB	B9	water		38531									
1e fase SKB	B9	water		38532		30							
2e fase SKB	B9	water		38680									
2e fase SKB	B9	water		38681									
2e fase SKB	B9	water		38682									
2e fase SKB	B9	water		38685									
2e fase SKB	B9	water		38687									
2e fase SKB	B9	water		38691									
2e fase SKB	B9	water		38692									
2e fase SKB	B9	water		38693									
2e fase SKB	B9	water		38694									
2e fase SKB	B9	water		38698									
2e fase SKB	B9	water		38700									
2e fase SKB	B9	water		38705									
2e fase SKB	B9	water		38707									
2e fase SKB	B9	water		38715									
2e fase SKB	B9	water		38720									
1e fase SKB	B10	water		38524		21,6							

Fase	Meetpunt	Soort	Straal (m)	Datum	Flow_(m/s)	Temp_(°C)	Druk_(KPa)	Rh_(%)	PID_(PPMv)	FID_(PPMv)	CH ₄ _(%)	CO ₂ _(%)	O ₂ _(%)
1e fase SKB	F	water		38527									
1e fase SKB	F	water		38530									
1e fase SKB	F	water		38531									
1e fase SKB	F	water		38532									
2e fase SKB	F	water		38680		14							
2e fase SKB	F	water		38681		22,1							
2e fase SKB	F	water		38682									
2e fase SKB	F	water		38685		58,1							
2e fase SKB	F	water		38687		46,3							
2e fase SKB	F	water		38691		47							
2e fase SKB	F	water		38692									
2e fase SKB	F	water		38693									
2e fase SKB	F	water		38694		29,1							
2e fase SKB	F	water		38698		43,5							
2e fase SKB	F	water		38700		23							
2e fase SKB	F	water		38705		66,6							
2e fase SKB	F	water		38707		75,6							
2e fase SKB	F	water		38715		50,3							
2e fase SKB	F	water		38720		34,1							
1e fase SKB	E	water		38524									
1e fase SKB	E	water		38525									
1e fase SKB	E	water		38526									
1e fase SKB	E	water		38527									
1e fase SKB	E	water		38530									
1e fase SKB	E	water		38531									
1e fase SKB	E	water		38532									
2e fase SKB	E	water		38680		23,8							
2e fase SKB	E	water		38681		23,8							
2e fase SKB	E	water		38682									
2e fase SKB	E	water		38685		43,1							
2e fase SKB	E	water		38687		83,1							
2e fase SKB	E	water		38691		73							
2e fase SKB	E	water		38692									
2e fase SKB	E	water		38693									
2e fase SKB	E	water		38694		42,4							
2e fase SKB	E	water		38698		47,4							
2e fase SKB	E	water		38700		50,5							
2e fase SKB	E	water		38705		80							
2e fase SKB	E	water		38707		80,2							
2e fase SKB	E	water		38715		50							
2e fase SKB	E	water		38720		40,3							
1e fase SKB	H	water		38524									
1e fase SKB	H	water		38525									
1e fase SKB	H	water		38526									
1e fase SKB	H	water		38527									
1e fase SKB	H	water		38530									
1e fase SKB	H	water		38531									
1e fase SKB	H	water		38532									
2e fase SKB	H	water		38680									
2e fase SKB	H	water		38681									
2e fase SKB	H	water		38682									
2e fase SKB	H	water		38685									
2e fase SKB	H	water		38687									
2e fase SKB	H	water		38691									
2e fase SKB	H	water		38692									
2e fase SKB	H	water		38693									
2e fase SKB	H	water		38694		23							
2e fase SKB	H	water		38698		35,7							
2e fase SKB	H	water		38700		32							
2e fase SKB	H	water		38705		31,7							
2e fase SKB	H	water		38707		35,5							
2e fase SKB	H	water		38715		21,9							
2e fase SKB	H	water		38720		25,3							
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38523									
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38524							0	0,03	20,8
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38525							0,02	0,03	21,1
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38526									
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38527									
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38530									
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38531									
1e fase SKB	Buitenlucht	gas		38532									
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38679									
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38680							0	0,02	21
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38681							0	0,02	21
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38685							0	0,02	21
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38687							0	0,02	21
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38691							0,01	0,03	21,8
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38694							0,01	0,03	21,8
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38698									
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38700							0	0,03	21
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38705									
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38707									
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38715							0	0,03	21
2e fase SKB	Buitenlucht	gas		38720							0	0,03	21