



> Retouradres Postbus 16191 2500 BD Den Haag

ILT  
Inspectie Leefomgeving en  
Transport  
Team Juridische Zaken  
Koningskade 4  
2596 AA  
Den Haag  
Postbus 16191  
2500 BD  
Den Haag

Contactpersoon

11 NOV. 2013

Onze ref:  
A-0-13-0102.001

Betreft: **BESLUIT op uw verzoek om toezending van de rapportages  
grondwatermetingen bij de HRF/het terrein te Petten van de afgelopen  
5 jaar.**

**Datum**  
8 november 2013

Geachte

Per e-mail d.d. 21 augustus 2013 heeft u, met een beroep op de Wet openbaarheid van bestuur (Wob) verzocht om toezending van de rapportages over grondwatermetingen in Petten bij de HRF/het terrein van de afgelopen vijf jaar.

Per brief d.d. 16 september 2013 heb ik de ontvangst van uw verzoek bevestigd en de beslistermijn met vier weken verdaagd. Ook heb ik u medegedeeld dat ik NRG in de gelegenheid zal stellen een zienswijze over eventuele openbaarmaking te geven.

Daarna is er een aantal keren telefonisch contact met u geweest.

#### **Zienswijze**

Per brief d.d. 13 september 2013 en e-mailberichten d.d. 30 september en 11 oktober 2013 is NRG om een zienswijze gevraagd. NRG heeft telefonisch op 30 september 2013, bevestigd per e-mail d.d. 1 oktober 2013, aangegeven geen bezwaar te hebben tegen openbaarmaking van de in de brief d.d. 13 september 2013 en de e-mail d.d. 30 september, genoemde stukken met uitzondering van de persoonsgegevens. Op de e-mail d.d. 11 oktober 2013 is geen reactie ontvangen.

#### **Reikwijdte verzoek**

Onder de reikwijdte van uw verzoek vallen de volgende documenten:

1. Monitoring Radionucliden in grondwater NRG Petten 2011;
2. Monitoring Radionucliden in grondwater, April 2012;
3. Onderzoek tritium in grondwater, identificeren en elimineren van oorzaken, tussenrapportage periode februari - juli 2012;
4. Onderzoek tritium in grondwater, identificeren en elimineren van oorzaken. Rapportage periode juli - september 2012;
5. Monitoring Radionucliden in grondwater, November 2012;
6. Grondwateronderzoek NRG te Petten, Verspreiding tritium in het grondwater op het HFR –terrein. Opgesteld door Grontmij Nederland B.V. d.d. 20 december 2012.
7. Resultaten overzicht analyses grondwater 21 december 2012;
8. Verwijderen van “Tritium Hot Spots” op het HFR-terrein, Werkplan d.d. 11 januari 2013;
9. Engelstalig versie van het eindrapport van de incidentmelding “high tritium concentrations levels in groundwater, document nr. NRG 25209/13.118077. d.d. 20 februari 2013;
10. Voortgangsverslag nr. 1 Tritium Hot Spot Verwijderen/ Monitoring/Herstel leidingwerk (27 februari 2013);
11. Tritium Taskforce final Report, Tritium groundwater contamination at the High Flux Reactor Site d.d. 15/03/ 2013;
12. Voortgangsverslag nr. 2 Tritium Hot Spot Verwijderen/ Monitoring/Herstel leidingwerk (29 maart 2013);
13. Voortgangsverslag nr 3. Tritium Hot Spot Verwijderen/ Monitoring/Herstel leidingwerk (6 mei 2013);
14. Voortgangsverslag nr 4. Tritium Hot Spot Verwijderen /Monitoring /Herstel leidingwerk (7 juni 2013);
15. Rapportage Grondwatermonitoring Radionucliden Juni 2013.
16. Voortgangsverslag nr 5. Tritium Hot Spot Verwijderen / Monitoring/Herstel leidingwerk (4 juli 2013);
17. Voortgangsverslag nr 6. Tritium Hot Spot Verwijderen/ Monitoring/Herstel leidingwerk (9 augustus 2013);
18. Werkplan verwijderen van Tritium Hot Spots op het HFR terrein d.d. 20 september 2013;

**Wettelijk kader:**

Op grond van artikel 3, eerste lid van de Wob kan een ieder een verzoek om informatie neergelegd in documenten over een bestuurlijke aangelegenheid richten tot een bestuursorgaan of een onder de verantwoordelijkheid van een bestuursorgaan werkzame instelling of bedrijf. Hierbij hoeft geen belang te worden aangetoond.

Een verzoek om informatie wordt ingewilligd met inachtneming van artikel 10 en 11 van de Wob.

Voor milieu- informatie gelden ten opzichte van andere informatie ruimere openbaarheidsbepalingen. Enkele uitzonderingsgronden worden gerelativeerd.

**Overwegingen**

Ik heb de gevraagde informatie aangemerkt als milieu-informatie.

Op grond van artikel 10, tweede lid, aanhef en onder e van de Wob worden over gegevens van persoonlijke aard, van ambtenaren of door burgers aan de overheid verstrekt in het vertrouwen dat deze alleen door de overheid worden gebruikt voor het doel dat bij het verschaffen daarvan wordt beoogd, geen mededelingen gedaan indien het publieke belang van openbaarheid niet opweegt tegen het belang van de vertrouwelijkheid van de informatie (zie MvT, p. 35).

De afweging van genoemde belangen brengt met zich mee dat ik van mening ben dat het publieke belang van openbaarheid niet opweegt tegen het belang van de vertrouwelijkheid van de gegevens van persoonlijke aard, hieronder wordt in dit kader verstaan; namen van betrokken personen, directe telefoonnummers en - emailadressen. Dit betekent dat in alle documenten die gegevens onleesbaar zijn gemaakt.

Voor het overige heb ik geconstateerd dat de uitzonderingsgronden en beperkingen als vermeld in artikel 10 en 11 van Hoofdstuk V van de Wob niet van toepassing zijn.

**Besluit**

Ik besluit tot openbaarmaking van de verzochte documenten, met uitzondering van de persoonsgegevens.

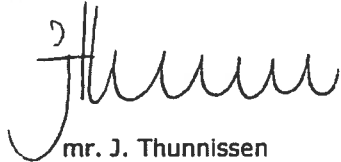
**Plaatsing op internet**

De stukken zullen ook op de internetsite [www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl) worden geplaatst.

Hoogachtend,

**Inspectie Leefomgeving  
en Transport**  
Juridische Zaken

DE MINISTER VAN ECONOMISCHE ZAKEN,  
namens deze,  
DE INSPECTEUR-GENERAAL LEEFOMGEVING EN TRANSPORT



Handwritten signature of Mr. J. Thunnissen in black ink.

mr. J. Thunnissen

**Bezwaar**

Tegen dit besluit kan degene wiens belang er rechtstreeks bij is betrokken binnen zes weken naar de dag van verzending ervan een gemotiveerd bezwaarschrift indienen bij de Minister van Economische Zaken, directie Wetgeving en Juridische Zaken, postbus 20401, 2500 EK 's-Gravenhage.

Dit besluit is verzonden op de in de aanhef vermelde datum



# BIJLAGE 1

# Monitoring Radionucliden in Grondwater

NRG Petten 2011

In opdracht van Business Units I&D en R&E

rev. nr.	datum	Omschrijving
B	27-12-2011	Definitief
A	21-12-2011	1 <sup>e</sup> concept

auteur(s):

beoordeeld:

naam:

goedgekeurd:

referentienr.: K5004.11/111580

26 pages 27-12-2011

© NRG 2011

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

# Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Radioactieve stoffen	9
2.1 Natuurlijke radioactiviteit	9
2.2 Kunstmatige radioactiviteit	9
2.3 Betekenis voor grondwater NRG	9
2.4 Vergunningskader grondwater NRG	10
3 Bemonstering en analyse	11
3.1 Bemonsteringsplan	11
3.2 Scope van analyse	11
3.3 Monsternamen Peilbuizen	11
3.4 Besmettingscontrole en vrijgave	11
3.5 Analyses	12
3.5.1 Gammaspectrometrie	12
3.5.2 Tritiumanalyse	12
4 Resultaten	13
4.1 Bemonstering	13
4.2 DWT	14
4.3 HCL/MPF	14
4.4 HFR	14
4.5 LFR Wasteput / Stekhal	14
4.6 WSF	14
5 Conclusies en Aanbevelingen	16
5.1 Conclusies	16
5.2 Aanbevelingen	16
Referenties	19
Verzendlijst	26

## Samenvatting

NRG ziet het als *good practice* op de hoogte te zijn van de radiologische situatie van het grondwater in de duinen onder haar faciliteiten. Het in 2010 rond de HFR ingerichte grondwatermeetnet is in 2011 uitgebreid met de monitoring van het grondwater bij andere relevante NRG faciliteiten.

Op 25 november 2011 zijn bij de DWT, HFR, HCL, LFR en WSF en de bijbehorende wasteputten grondwatermonsters genomen, die op twee manieren zijn geanalyseerd: een gammaspectrometrische analyse en een analyse op de aanwezigheid van tritium.

Geen van de totaal 13 monsters geeft na de gammaspectrometrische analyses een aanwijzing voor verontreiniging van het grondwater met radionucliden, zoals cesium-137 en cobalt-60. Na de tritiumanalyse liet één van de monsters een meetbare hoeveelheid tritium zien. Het betreffende monster is afkomstig uit een peilbuis van het HFR terrein, tussen het Primaire Pompgebouw en de reactorhal.

# 1 Inleiding

NRG bemonstert uit vergunningsplicht jaarlijks het grondwater van twee peilbuizen en analyseert de monsters op conventionele stoffen zoals minerale oliën en zware metalen. De analyseresultaten worden gerapporteerd aan het Bevoegd Gezag. Er bestaat voor NRG geen wettelijke verplichting om het grondwater te monitoren op radiologische stoffen.

Na een aanbeveling van een Safety Review Mission van de IAEA is in 2010 rond de HFR een radiologisch grondwatermeetnet ingericht [1]. NRG ziet dit als een *good practice* en heeft dit initiatief in 2011 uitgebreid met de monitoring van het grondwater bij andere relevante NRG faciliteiten.

NRG wil namelijk op de hoogte zijn en blijven van de situatie van het grondwater in de duinen onder haar faciliteiten. Net als de hek dosis- en luchtlozingsmonitoring draagt dit bij tot een versterkte beheersing van de milieusituatie van NRG.

Doelstelling van de monitoring is om periodiek het grondwater nabij relevante faciliteiten te onderzoeken op eventuele radioactieve verontreiniging. Hierbij gaat het om faciliteiten waar vloeibaar radioactief afval en/of actief water wordt opgeslagen, waardoor controle op het vloeistofdicht zijn van de voorzieningen nuttig is.

De praktische ervaringen bij de bemonsteringen en resultaten van analyses in 2011 zullen worden gebruikt voor het verder uitwerken van het monitoringsprogramma vanaf 2012.



## 2 Radioactieve stoffen

### 2.1 Natuurlijke radioactiviteit

In de aardbodem komen van nature radioactieve stoffen voor in concentraties die afhankelijk zijn van de grondsoort. De belangrijkste zijn kalium-40 en de radionucliden uit de vervalreeksen van natuurlijk uranium (U-238 en U-235) en van thorium-232. Door natuurlijke processen in de atmosfeer ontstaat tritium, dat in lucht, water en bodem is terug te vinden.

### 2.2 Kunstmatige radioactiviteit

In heel Nederland komen kunstmatige radionucliden in de bodem voor als gevolg van depositie vanuit de atmosfeer na bovengrondse kernproeven in de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw en in mindere mate na het reactorongeval in Tsjernobyl in 1986.

De nu nog in de bodem aanwezige radioactiviteit van de bovengrondse kernproeven wordt gedomineerd door cesium-137. Door het reactorongeval in Tsjernobyl is opnieuw cesium-137 op de Nederlandse bodem terechtgekomen, vergezeld van cesium-134. Deze door de mens veroorzaakte gebeurtenissen hebben ook geresulteerd in aanwezigheid van tritium in bodem en grondwater.

### 2.3 Betekenis voor grondwater NRG

Als we kijken naar de natuurlijke en kunstmatige activiteit in bodem (bijvoorbeeld zand of klei) dan kunnen we ten aanzien van radioactiviteit in grondwater twee opmerkingen plaatsen:

- Wat geldt voor bodem hoeft niet te gelden voor grondwater: het van nature aanwezige uranium is bijvoorbeeld slecht oplosbaar. Het kunstmatig in de bodem aanwezige cesium is goed oplosbaar, maar zal zich door haar biochemische eigenschappen grotendeels hechten in de bovenste 20 cm van de bodem.
- De uit de processen van NRG voortkomende nucliden, die zich in theorie in emissies kunnen bevinden zijn cesium-137, cobalt-60 en tritium. Uranium is nog nooit in lozingswater of als geloosde activiteit in lucht aangetoond en het is onwaarschijnlijk dat uranium in een emissie naar het grondwater terecht zal komen. Enerzijds, omdat het in het proces zodanig is ingekapseld en opgesloten dat het niet kan vrijkomen. Maar ook omdat uranium zich vanwege haar chemische eigenschappen vrijwel niet laat opnemen door (grond)water.

## 2.4 Vergunningskader grondwater NRG

In de twee integrale Kew-vergunningen van NRG-Petten zijn geen voorschriften opgenomen m.b.t. het lozen of het bemonsteren van radioactieve stoffen in het grondwater.

Op grond van de kernenergiewet is het verboden om zonder vergunning zich te ontdoen van radioactieve stoffen. Dat geldt dus ook voor lozing in de bodem. In art. 35 van het besluit Stralingsbescherming is echter wel een vrijstellingsgrens voor deze vergunningsplicht opgenomen. Deze vrijstellingsgrens voor lozing in de bodem is één miljoenste Re-ingestie per jaar. Eén Re-ingestie is voor bijvoorbeeld tritium gelijk aan 56 GBq. Eén miljoenste Re-ingestie, de vrijstellingsgrens, is dus gelijk aan 56 kBq. Deze hoeveelheid tritium zou men op jaarbasis zonder vergunning in de bodem mogen lozen.

Verder geldt er op basis van EU-regelgeving een limiet voor de activiteitsconcentratie van tritium in drinkwater [2] van 100 Bq/l.



## 3 Bemonstering en analyse

### 3.1 Bemonsteringsplan

Van oudsher zijn er zo'n 60 peilbuizen aanwezig op de Onderzoekslocatie Petten. Jaarlijks worden er hiervan vier bemonsterd en het grondwater wordt gecontroleerd op conventionele verontreiniging. In bijlage A zijn de overzichtstekeningen opgenomen van de lokaties van deze peilbuizen.

Voor de radiologische bemonsteringsronde in 2011 zijn in de nabijheid van NRG-faciliteiten of wasteputten 17 peilbuizen geselecteerd. Het betreft hier locaties waar vloeibaar radioactief afval of radioactief afvalwater wordt opgeslagen. Een uitzondering hierop is de WSF, waar uitsluitend opslag plaatsvindt van vast radioactief afval, maar waarvan bekend is dat een deel van het afval tritium bevat.

Een overzichtstabel van de 17 geselecteerde peilbuizen is opgenomen in Bijlage B. Omdat sommige peilbuizen al langere tijd geleden geplaatst zijn, was het van tevoren onzeker of alle peilbuizen vind- of bruikbaar waren. Indien mogelijk zou Grontmij in dat geval een monster nemen uit een nabije peilbuis.

### 3.2 Scope van analyse

Gezien de specifieke processen van NRG (zie ook onder 2.3) zal de analyse van de grondwatermonsters zich richten op cesium-137, cobalt-60 en tritium. De selectie voor deze scope is met name gebaseerd op de aanwezigheid van deze stoffen in radioactief afvalwater.

### 3.3 Monstername Peilbuizen

Voor het bemonsteren van de peilbuizen is de firma Grontmij ingeschakeld. Grontmij is erkend voor het uitvoeren van dergelijk veldwerk onder de procescertificaten BRL SIKB 2000 en BRL SIKB 2002. Vanuit elke peilbuis wordt één liter grondwater opgepompt, bewaard en vervoerd in een glazen literfles.

### 3.4 Besmettingscontrole en vrijgave

Net als bij de bemonstering van de HFR-peilbuizen in 2010 zal er een besmettingscontrole en vrijgave plaatsvinden door een Stralingscontroleur. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Interne Regeling 3.3.9 "Bepaling van radioactieve oppervlaktebesmetting".

## 3.5 Analyses

### 3.5.1 Gammaspectrometrie

Met gammaspectrometrische analyse kunnen de nucliden cesium-137 en cobalt-60 worden gemeten. Indien van een detecteerbare waarde wordt met deze methode ook het van nature aanwezige kalium-40 gemeten.

Voor de gammaspectrometrische bepaling van radionucliden in de monsters wordt gebruik gemaakt van meetopstellingen met high-purity germanium detectoren in lage-achtergrond omgeving. De bepalingen worden uitgevoerd conform NVN-5623, waarbij gebruik wordt gemaakt van referentiebronnen met bekende activiteiten van de te bepalen radionucliden in dezelfde geometrieën.

### 3.5.2 Tritiumanalyse

Tritium is een radioactief isotoop van waterstof. Dit radionuclide zendt geen  $\gamma$ -straling uit en moet daarom op andere wijze gemeten worden.

De tritiumanalyses worden uitgevoerd volgens NEN 6420. Hierbij wordt het monster gedestilleerd waarna het destillaat gemeten wordt op een TRICARB 2700 TR Liquid Scintillation Analyzer.

## 4 Resultaten

### 4.1 Bemonstering

Van de 17 vooraf geselecteerde peilbuizen zijn op 25 november 2011 uiteindelijk van 13 peilbuizen grondwatermonsters genomen. Deze resultaten zijn ook terug te vinden in de tabel in bijlage A:

- Drie peilbuizen nabij de HCL zijn niet gevonden. Voor deze peilbuizen was geen alternatief in de nabijheid.
- Eén peilbuis nabij de HCL was niet meer bruikbaar. Voor deze peilbuis was geen alternatief in de nabijheid.
- Eén peilbuis nabij de WSF is niet gevonden. Hiervoor is een alternatieve peilbuis bemonsterd.

De bemonsteringen in 2011 en de voorbereidingen hiervan hebben een aantal bruikbare ervaringen opgeleverd als het gaat om bijvoorbeeld coördinatie en uitvoering. Deze ervaringen worden samen met de betreffende afdelingen nader geëvalueerd, apart gerapporteerd en verwerkt in het monitoringsprogramma van 2012.

Hieronder worden de analyseresultaten samengevat in een tabel en per faciliteit besproken. Hierbij wordt een indeling gevolgd per faciliteit met vloeibaar radioactief afval of radioactief afvalwater, in alfabetische volgorde. De resultaten van de gammaspectrometrische en tritiumanalyses zijn gerapporteerd door RE Laboratory Services in zes notities en deze zijn opgenomen in de bijlagen.

Tabel 1. Overzichtstabel analyseresultaten monitoring radionucliden

<i>Faciliteit</i>	<i>Peilbuis</i>	<i>cesium 137</i>	<i>cobalt 60</i>	<i>kalium 40</i>	<i>tritium</i>
<b>DWT</b>	11	< MDA <sup>1</sup>	< MDA	Natuurlijk <sup>2</sup>	< MDA
	107	< MDA	< MDA	Natuurlijk	< MDA
<b>HCL/MPF</b>	1	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
	342	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
<b>HFR</b>	HGW-2/B2	< MDA	< MDA	< MDA	29 Bq/l
	HGW-4/41	< MDA	< MDA	Natuurlijk	< MDA
	HGW-1/B1	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
	HGW-3/N2	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
	HGW-0/N1	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
<b>Stekhal</b>	Ongenummerd	< MDA	< MDA	Natuurlijk	< MDA
<b>LFR wasteput</b>	Ongenummerd	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
<b>WSF</b>	310	< MDA	< MDA	Natuurlijk	< MDA
	307	< MDA	< MDA	Natuurlijk	< MDA

<sup>1</sup> < MDA (Minimaal Detecteerbare Activiteit) betekent een waarde zo laag dat het onder de betreffende meetcondities niet detecteerbaar is.

<sup>2</sup> "Natuurlijk" betekent een activiteit van kalium-40 die van nature aanwezig is.

## 4.2 DWT

De analyses van de grondwatermonsters uit de peilbuizen 11 en 107 nabij gebouw 21 (DWT) geven geen aanwijzing voor radioactieve verontreiniging van het grondwater. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in bijlagen D en E.

## 4.3 HCL/MPF

De analyses van de grondwatermonsters uit de peilbuizen 1 en 342 nabij de HCL/MPF geven geen aanwijzing voor radioactieve verontreiniging van het grondwater. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in bijlagen D en E.

## 4.4 HFR

De gammaspectrometrische analyse van de grondwatermonsters uit de vijf peilbuizen HGW-0 t/m HGW-4 rondom de HFR gebouwen, geven geen aanwijzing voor verontreiniging van het grondwater met de gammaspectrometrisch meetbare radionucliden, zoals cesium-137 en cobalt-60.

Tritiumanalyse van vier grondwatermonsters geven geen aanwijzing voor radioactieve verontreiniging. De analyse van het grondwatermonster uit peilbuis HGW-2 laat een meetbare activiteit van tritium zien ( $29 \pm 4$  Bq/l; detectielimiet: 10 Bq/l). Dit resultaat is bekend gemaakt aan het management van I&D-HFR, dat direct het initiatief heeft genomen de oorzaak van de meetbare activiteit van tritium te onderzoeken. Zie bijlagen D en E voor de analysesresultaten.

## 4.5 LFR Wasteput / Stekhal

De analyses van de grondwatermonsters uit de (niet genummerde) peilbuizen nabij de wasteput van de LFR en naast de Stekhal geven geen aanwijzing voor radioactieve verontreiniging van het grondwater. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in bijlagen D en E.

## 4.6 WSF

De analyses van de grondwatermonsters uit de peilbuizen 307 en 310 nabij de WSF geven geen aanwijzing voor radioactieve verontreiniging van het grondwater. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in bijlagen D en E.

## 5 Conclusies en Aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Van de vooraf beoogde 17 peilbuizen nabij NRG-faciliteiten en wasteputten was het mogelijk 13 peilbuizen te bemonsteren.

De bemonsteringen in 2011 en de voorbereidingen hiervan hebben een aantal bruikbare ervaringen opgeleverd als het gaat om bijvoorbeeld coördinatie en uitvoering. Deze ervaringen worden samen met de betreffende afdelingen nader geëvalueerd, apart gerapporteerd en verwerkt in het monitoringsprogramma van 2012.

De gammaspectrometrische analyses van de monsters uit de 13 peilbuizen nabij faciliteiten en wasteputten uit dit onderzoek geven geen aanwijzing voor verontreiniging van het grondwater met de gemeten radionucliden.

De tritiumanalyses van monsters uit 12 peilbuizen geven geen aanwijzing voor radioactieve verontreiniging. Eén van grondwatermonster uit een peilbuis tussen het Primaire Pompgebouw en de reactorhal laat een meetbare activiteit van tritium zien. (Peilbuis HGW-2:  $29 \pm 4$  Bq/liter). De gemiddelde activiteitsconcentratie van tritium in drinkwater ligt iets boven de 3 Bq/l, met een maximum van 16 Bq/l (2006) en een limietwaarde van 100 Bq/l [2].

### 5.2 Aanbevelingen

Na de afronding van de bemonsteringen en analyses van het grondwater worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Dat I&D-HFR initiatief neemt om de oorzaak van de meetbare activiteit van tritium in peilbuis HGW-2 te onderzoeken;
- Dat de resultaten in dit rapport op enigerlei wijze gerapporteerd worden aan het bevoegd gezag;
- Dat NRG de werkwijze van de monitoring in 2011 zal evalueren en resultaten van een evaluatie zal verwerken in een radiologisch monitoringsprogramma voor grondwater met ingang van 2012. Vanwege het Business Unit overstijgende karakter ligt het voor de hand dat NRG-QSE hierin de *lead* neemt;
- Ten behoeve van een monitoringsprogramma dat in 2012 start, zullen verschillende onderwerpen besproken moeten worden. Te denken valt aan coördinatie en uitvoering van de bemonsteringen, stroomsnelheid en -richting van het grondwater, het aantal peilbuizen, positie van de peilbuizen ten opzichte van de faciliteiten, frequentie van bemonstering en scope van de analyses.



## Referenties

- [1] Inrichting en oplevering HFR grondwatermeetnet; ref: 25041/10.103223.
- [2] G.J. Knetsch (ed.), Environmental Radioactivity in the Netherlands. Results in 2006. RIVM Report 610791002, 2007





# Bijlage A

## A.1 Overzichtstekeningen peilbuizen OLP



## Bijlage B

### B.1 Bemonsteringsplan en uitvoering

Gebouw nr.	Gebouw	Business Unit	Periode/nr.	Bemonsterd
07	HCL	I&D-Labs	349	X
07	HCL	I&D-Labs	1	Ja
07	HCL-WPUT	I&D-Labs	342	Ja
07	HCL-WPUT	I&D-Labs	345	X
07	MPF	I&D-Labs	358	X
07	MPF	I&D-Labs	351	X
21	DECO	R&E	11	Ja
21	DECO	R&E	107	Ja
26	WSF	I&D-Labs	109	X > 310
26	WSF	I&D-Labs	307	Ja
28	STEKHAL	I&D-Labs	Geen	Ja
28	LFR-WPUT	I&D-HFR	Geen	Ja
101/104	HFR	I&D-HFR	HGW-2/B2	Ja
102/104	HFR	I&D-HFR	HGW-4/41	Ja
104	HFR	I&D-HFR	HGW-1/B1	Ja
104	HFR	I&D-HFR	HGW-3/N2	Ja
150	HFR	I&D-HFR	HGW-0/N1	Ja

## Bijlage C

### C.1 Notities Grontmij inzake bemonstering

Peilbuizen, watermonsters en flessen

Projectcode: 315955W

Meetpunt hgw-4/41

Pellbuls	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maalvid	T.o.v.	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal						
1									0							
Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijfvl	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
hgw-4/41-1-1	25-11-2011	292	2	Slange	G		GE			G		187		6,72	/	12,9
Fles	Barcode	Opmerking	Type	Gefiltreerd	Conservering											
1	0600734099		FL													

Meetpunt hgw-1/b1

Pellbuls	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maalvid	T.o.v.	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal						
1									0							
Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijfvl	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
hgw-1/b1-1-1	25-11-2011	319	2	Slange	G		GE			G		529		7,27	/	13,2
Fles	Barcode	Opmerking	Type	Gefiltreerd	Conservering											
1	0600734103		FL													

Meetpunt hgw-2/b2

Pellbuls	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maalvid	T.o.v.	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal						
1									0							
Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijfvl	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
hgw-2/b2-1-1	25-11-2011	305	3	Slange	G		GE			G		322		7,81	/	16,8
Fles	Barcode	Opmerking	Type	Gefiltreerd	Conservering											
1	0600734107		FL													

Meetpunt hgw-0/n1

Pellbuls	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maalvid	T.o.v.	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal						
1									0							
Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijfvl	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
hgw-0/n1-1-1	25-11-2011	35	3	Slange	G		GE			G		336		7,88	/	13
Fles	Barcode	Opmerking	Type	Gefiltreerd	Conservering											
1	0600734104		FL													

Meetpunt hgw-3/n2

Pellbuls	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maalvid	T.o.v.	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal						
1									0							
Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijfvl	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
hgw-3/n2-1-1	25-11-2011	495	2	Slange	G		GE			G		402		7,54	/	12,6
Fles	Barcode	Opmerking	Type	Gefiltreerd	Conservering											
1	0600734108		FL													

Meetpunt lfr-wput

Pellbuls	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maalvid	T.o.v.	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal						
1									0							
Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijfvl	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
lfr-wput-1-1	25-11-2011	466	3	Slange	G		GE			G		552		7,33	/	14,3
Fles	Barcode	Opmerking	Type	Gefiltreerd	Conservering											



Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijf	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
342-1-1	25-11-2011	205	2	Slange	G		GE			G		480		7,57	/	11,7

Fles	Barcode	Opmerking	Type	Gefiltreerd	Conservering
1	0600741684		FL		

**Meetpunt 345**

Pellbuis	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maaivld	T.o.v	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal
1									0	

Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijf	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
345-1-1	25-11-2011			Slange										/		

niet gevonden

**Meetpunt 349**

Pellbuis	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maaivld	T.o.v	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal
1									0	

Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijf	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
349-1-1	25-11-2011			Slange										/		

niet gevonden

**Meetpunt 351**

Pellbuis	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maaivld	T.o.v	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal
1									0	

Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijf	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
351-1-1	25-11-2011			Slange										/		

niet gevonden

**Meetpunt 358**

Pellbuis	F.Van	F.Tot	T.o.v.	BOPB	Maaivld	T.o.v	Lengte	WWV	Diameter	Materiaal
1									0	

Waterm.	Datum	GWS	Vr.P.	Typ. P.	Opbr.	Drijf	Kleur	Geur	PID	Helderh	Min Ec	Ec	Eh	pH	Spoelsn./Tijd	Temp
358-1-1	25-11-2011			Slange										/		

1,20m zand/geen dopje

# Bijlage D

## D.1 Resultaten gammaspectrometrische analyses



## Notitie

aan :  
van : Petten , geb. 015/K10  
referentie : K5173/11.111679 RE/ '3946  
kopie : Petten , geb. 0374/3.32  
datum : 14-12-2011  
onderwerp : Resultaat gammaspectrometrische analyses.

In uw opdracht hebben wij met behulp van gammaspectrometrie de natuurlijke activiteit bepaald in zes monsters water.

De analysekosten komen ten laste van NRG budgetnummer 25136.10

De analyseresultaten staan in de bijlagen.

# PBKEN1

Geometrie	Mar_1L_1000g	Monstercode tellab	PBKEN1
Detector	Det 4 (b95603)	Monsterdatum	25-11-2011
Meetduur	57600 sec	Inpakdatum	25-11-2011
Meetmonster	0,932 kg	Meetdatum	25-11-2011
Firma	NRG	Ontvangstdatum	25-11-2011
		NRG Projectnr	25136.10

Monsternemer	Grontmij
Droge fractie	n.v.t.
Soort monster	water
Locatie	HFR LFR W PUT

MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing

Onderdeel **104-HFR-I&D HFR-HGW-3/42**

oorsprong	Radionuclide	Activiteit [Bq/kg]	2 Stand.dev.	Opmer- kingen 1, 2, 3
radio- nucliden	Cs-137	MDA 0,12		5
	Co-60	MDA 0,12		5

## Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 25-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 0 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt  $k=3$ .

Gecontroleerd door

## PBKEN2

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKEN2</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 5 (b05555)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,937 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>25136.10</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>MDA = minimaal te detecteren</i>	
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>	<i>activiteit (de activiteit is minder</i>	
<i>Locatie</i>	<i>HFR LFR W PUT</i>	<i>dan de hier genoemde waarde)</i>	
		<i>NB = niet bepaald</i>	
		<i>NVT = niet van toepassing</i>	

Onderdeel **102/104-HFR-I&D HFR-HGW-1/B1**

---

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer-</i>
		<i>[Bq/kg]</i>		<i>kingen</i>
				<i>1, 2, 3</i>
<i>radio-</i>	<i>Cs-137</i>	<i>MDA</i>	<i>0,12</i>	<i>5</i>
<i>nucliden</i>	<i>Co-60</i>	<i>MDA</i>	<i>0,12</i>	<i>5</i>

---

### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 25-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum en meetdatum is voor meer dan 0 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

PBKEN3

Geometrie	Mar_1L_1000g	Monstercode tellab	PBKEN3
Detector	Det 7 (b03505)	Monsterdatum	25-11-2011
Meetduur	57600 sec	Inpakdatum	25-11-2011
Meetmonster	0,937 kg	Meetdatum	25-11-2011
Firma	NRG	Ontvangstdatum	25-11-2011
		NRG Projectnr	25136.10
Monsternemer	Grontmij		
Droge fractie	n.v.t.	MDA = minimaal te detecteren	
Soort monster	water	activiteit (de activiteit is minder	
Locatie	HFR LFR W PUT	dan de hier genoemde waarde)	

NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing

Onderdeel **28-LFR-WPUT-I&D-HFR**

oorsprong	Radionuclide	Activiteit [Bq/kg]	2 Stand.dev.	Opmer- kingen 1, 2, 3
radio- nucliden	Cs-137	MDA 0,11		5
	Co-60	MDA 0,11		5

**Opmerkingen**

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 25-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum en meetdatum is voor meer dan 0 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

## PBKEN3

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKEN3</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 7 (b03505)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,937 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>25136.10</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>MDA = minimaal te detecteren</i>	
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>	<i>activiteit (de activiteit is minder</i>	
<i>Locatie</i>	<i>HFR LFR W PUT</i>	<i>dan de hier genoemde waarde)</i>	
		<i>NB = niet bepaald</i>	
		<i>NVT = niet van toepassing</i>	

Onderdeel **28-LFR-WPUT-I&D-HFR**

---

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmerkingen</i>
		<i>[Bq/kg]</i>		<i>1, 2, 3</i>
<i>radio-</i>	<i>Cs-137</i>	<i>MDA</i>	<i>0,11</i>	<i>5</i>
<i>nucliden</i>	<i>Co-60</i>	<i>MDA</i>	<i>0,11</i>	<i>5</i>

---

### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 25-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum en meetdatum is voor meer dan 0 % bereikt.
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

**PBKEN4**

NRG

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKEN4</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 2 (DI835)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,955 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>28-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>25136.10</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>MDA = minimaal te detecteren</i>	
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>	<i>activiteit (de activiteit is minder</i>	
<i>Locatie</i>	<i>HFR LFR W PUT</i>	<i>dan de hier genoemde waarde)</i>	
		<i>NB = niet bepaald</i>	
		<i>NVT = niet van toepassing</i>	

Onderdeel **102/104-HFR-I&DHFR-HGW-4/41**

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmerkingen</i>
		<i>[Bq/kg]</i>		<i>1, 2, 3</i>
	K-40	3,5	27 %	
<b>radio-nucliden</b>	Cs-137	MDA 0,11		5
	Co-60	MDA 0,12		5

**Opmerkingen**

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 28-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum en meetdatum is voor meer dan 38 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

## PBKEN5

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKEN5</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 2 (DI835)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,931 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>29-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>25136.10</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>HFR LFR W PUT</i>		

*MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing*

Onderdeel **150-HFR-I&DHFR-HGW-0/41**

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer- kingen 1, 2, 3</i>
<i>radio- nucliden</i>	<i>Cs-137</i>	<i>MDA 0,12</i>		<i>5</i>
	<i>Co-60</i>	<i>MDA 0,12</i>		<i>5</i>

### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 29-11-2011
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 46 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

## PBKEN6

<b>Geometrie</b>	Mar_1L_1000g	<b>Monstercode tellab</b>	PBKEN6
<b>Detector</b>	Det 1 (28-N-30193)	<b>Monsterdatum</b>	25-11-2011
<b>Meetduur</b>	57600 sec	<b>Inpakdatum</b>	25-11-2011
<b>Meetmonster</b>	0,932 kg	<b>Meetdatum</b>	29-11-2011
<b>Firma</b>	NRG	<b>Ontvangstdatum</b>	25-11-2011
		<b>NRG Projectnr</b>	25136.10
<b>Monsternemer</b>	Grontmij		
<b>Droge fractie</b>	n.v.t.		
<b>Soort monster</b>	water		
<b>Locatie</b>	HFR LFR W PUT		

MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing

Onderdeel **102/104-HFR-I&DHFR-HGW-2/B2**

oorsprong	Radionuclide	Activiteit [Bq/kg]	2 Stand.dev.	Opmer- kingen 1, 2, 3
radio- nucliden	Cs-137	MDA 0,087		5
	Co-60	MDA 0,097		5

### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 29-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 47 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door



## Notitie

aan : ~~Utrecht~~ , geb. 034/3.34  
van : Petten , geb. 015/K10  
referentie : K5173/11.111677  
kopie : Petten , geb. 0374/3.32  
datum : 14-12-2011  
onderwerp : Resultaat gammaspectrometrische analyses.  
Aanvraagnummer : G77955

In uw opdracht hebben wij met behulp van gammaspectrometrie de natuurlijke activiteit bepaald in twee monsters water.

De analysekosten komen ten laste van NRG budgetnummer K5130.40

De analyseresultaten staan in de bijlagen.

PBKCN1

NRG

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKCN1</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 2 (DI835)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,95 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>K5130.40</i>
		<i>Aanvraagnr</i>	<i>G77955</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>GEBOUW 21</i>		

*MDA = minimaal te detecteren activiteit (de activiteit is minder dan de hier genoemde waarde)*  
*NB = niet bepaald*  
*NVT = niet van toepassing*

Onderdeel **21-Deco-R&E-107**

<i>Oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmerkingen</i> 1, 2, 3
radio-nucliden	K-40		1,8	47 %
	Cs-137	MDA	0,12	5
	Co-60	MDA	0,12	5

**Opmerkingen**

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 25-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214. Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum en meetdatum is voor meer dan 0 % bereikt.
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door



PBKCN2

NRG

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKCN2</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 3 (b98542)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,939 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>K5130.40</i>
		<i>Aanvraagnr</i>	<i>G77955</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>GEBOUW 21</i>		

*MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing*

Onderdeel **21-Deco-R&E-11**

<i>Oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer- kingen 1, 2, 3</i>
<i>radio- nucliden</i>	<i>K-40</i>	<i>1,1</i>	<i>53 %</i>	
	<i>Cs-137</i>	<i>MDA 0,12</i>		<i>5</i>
	<i>Co-60</i>	<i>MDA 0,12</i>		<i>5</i>

**Opmerkingen**

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 25-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 0 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt  $k=3$

Gecontroleerd door



## Notitie

aan :  
van : Petten , geb. 015/K10  
referentie : K5173/11.111678 RE/  
kopie : Petten , geb. 0374/3.32  
datum : 14-12-2011  
onderwerp : Resultaat gammaspectrometrische analyses.

In uw opdracht hebben wij met behulp van gammaspectrometrie de natuurlijke activiteit bepaald in vijf monsters water.

De analysekosten komen ten laste van NRG budgetnummer k5100.40

De analyseresultaten staan in de bijlagen.

## PBKFN1

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKFN1</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 3 (b98542)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,935 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>29-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>K5100.40</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>HCL WSF EN STEKHAL</i>		

*MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing*

Onderdeel **07-HCL-I&DLABS-(021)1**

---

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer- kingen 1, 2, 3</i>
<i>radio- nucliden</i>	<i>Cs-137</i>	<i>MDA 0,12</i>		<i>5</i>
	<i>Co-60</i>	<i>MDA 0,13</i>		<i>5</i>

---

### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 29-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 47 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

## PBKFN2

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKFN2</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 4 (b95603)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,932 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>29-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>K5100.40</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>HCL WSF EN STEKHAL</i>		

*MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing*

### Onderdeel 07-HCLWPUT-I&DLABS-342

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer- kingen 1, 2, 3</i>
<i>radio- nucliden</i>	<i>Cs-137</i>	<i>MDA</i>	<i>0,12</i>	<i>5</i>
	<i>Co-60</i>	<i>MDA</i>	<i>0,11</i>	<i>5</i>

#### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 29-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 47 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

## PBKFN3

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKFN3</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 2 (DI835)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,928 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>30-11-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>K5100.40</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>HCL WSF EN STEKHAL</i>		

*MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing*

### Onderdeel 26-WSF-I&DLAB-307

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer- kingen 1, 2, 3</i>
	K-40		2,8	31 %
radio- nucliden	Cs-137	MDA	0,11	5
	Co-60	MDA	0,13	5

#### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 30-11-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 53 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt  $k=3$ .

Gecontroleerd door

## PBKFN4

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKFN4</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 2 (DI835)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,935 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>2-12-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>k5100.40</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>HCL WSF EN STEKHAL</i>		

*MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing*

### Onderdeel 26-WSF-I&DLAB-310

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer- kingen 1, 2, 3</i>
	K-40	2,7	35 %	
<i>radio- nucliden</i>	Cs-137	MDA 0,13		5
	Co-60	MDA 0,13		5

#### Opmerkingen

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 2-12-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 67 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt  $k=3$ .

Gecontroleerd door



## PBKFN5

<i>Geometrie</i>	<i>Mar_1L_1000g</i>	<i>Monstercode tellab</i>	<i>PBKFN5</i>
<i>Detector</i>	<i>Det 2 (DI835)</i>	<i>Monsterdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetduur</i>	<i>57600 sec</i>	<i>Inpakdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
<i>Meetmonster</i>	<i>0,934 kg</i>	<i>Meetdatum</i>	<i>3-12-2011</i>
<i>Firma</i>	<i>NRG</i>	<i>Ontvangstdatum</i>	<i>25-11-2011</i>
		<i>NRG Projectnr</i>	<i>k5100.40</i>
<i>Monsternemer</i>	<i>Grontmij</i>		
<i>Droge fractie</i>	<i>n.v.t.</i>		
<i>Soort monster</i>	<i>water</i>		
<i>Locatie</i>	<i>HCL WSF EN STEKHAL</i>		

*MDA = minimaal te detecteren  
activiteit (de activiteit is minder  
dan de hier genoemde waarde)  
NB = niet bepaald  
NVT = niet van toepassing*

### Onderdeel **28-STEKHAL-I&D-LABS-09**

<i>oorsprong</i>	<i>Radionuclide</i>	<i>Activiteit [Bq/kg]</i>	<i>2 Stand.dev.</i>	<i>Opmer- kingen 1, 2, 3</i>
	K-40		2,1	39 %
<i>radio- nucliden</i>	Cs-137	MDA	0,13	5
	Co-60	MDA	0,13	5

#### **Opmerkingen**

- 1) De activiteit is uitgedrukt in [Bq/kg] van het NIET gedroogde monster.
- 2) De referentiedatum voor de activiteitsbepaling is 3-12-2011.
- 3) Alle vermelde fouten zijn de berekende totale relatieve fouten (2 stand.dev.).
- 4) Uit de activiteitsbepaling van de radonochters Pb-214 en Bi-214.  
Radiologisch evenwicht met Ra-226 door ingroei tussen verpakkingsdatum  
en meetdatum is voor meer dan 74 % bereikt .
- 5) MDA bepaling volgens NEN 5623 met als betrouwbaarheidscoëfficiënt k=3.

Gecontroleerd door

## Bijlage E

### E.1 Resultaten Tritiumanalyses

## notitie

aan : Petten/034.334  
van : Petten/015.107  
datum : 15 december 2011  
referentie : K5172/11.111700  
onderwerp : Resultaat tritiumanalyse

Aanvraagformulienummer : Geen  
Tritium\_analysenr : 12093

Monsteromschrijving : grondwater  
Locatie : HCL-WSF-Stekhal  
Projectnummer : K5100.40  
Monsterdatum : 25 november 2011  
Meetdatum : 02 december 2011  
Bijzonderheden : Week 47

Monster	Activiteit (Bq/liter)
PBKFN1	< 10
PBKFN2	< 10
PBKFN3	< 10
PBKFN4	< 10
PBKFN5	< 10

## notitie

aan : Petten/034.334  
van : Petten/015.107  
datum : 15 december 2011  
referentie : K5172/11.111701  
onderwerp : Resultaat tritiumanalyse

Aanvraagformulienummer : Geen  
Tritium\_analysenr : 12094

Monsteromschrijving : grondwater  
Locatie : HFR-LFR  
Projectnummer : 25136.10  
Monsterdatum : 25 november 2011  
Meetdatum : 12 december 2011  
Bijzonderheden : Week 47

Monster	Activiteit (Bq/liter)
PBKEN1	< 10
PBKEN2	< 10
PBKEN3	< 10
PBKEN4	< 10
PBKEN5	< 10
PBKEN6	29 ± 4



## notitie

aan : Petten/034.334  
van : Petten/015.107  
datum : 15 december 2011  
referentie : K5172/11.111702 I  
onderwerp : Resultaat tritiumanalyse

Aanvraagformulienummer : G77955  
Tritium\_analysenr. : 12092

Monsteromschrijving : grondwater  
Locatie : Gebouw 21  
Projectnummer : K5130.40  
Monsterdatum : 25 november 2011  
Meetdatum : 02 december 2011  
Bijzonderheden : Week 47

Monster	Activiteit (Bq/liter)
PBKCN1	< 10
PBKCN2	< 10

# Verzendlijst

## **Business Unit I&D**

Business Unit Manager I&D

Manager I&D-Labs

Manager I&D-HFR

Manager I&D-HSE

## **Business Unit RE**

Business Unit Manager RE

Manager RE-DWT

Manager RE-HSE

## **Pallas Projectteam**

Manager Licensing

## **QSE**

Manager QSE

Algemeen Stralingsdeskundige

Adviseur Milieu

## **BIJLAGE 2**



# Monitoring Radionucliden in Grondwater April 2012

NRG Petten

In opdracht van Business Units I&D en R&E

rev. nr.	datum	Omschrijving
B	23-05-2012	Definitief
A	23-05-2012	1 <sup>e</sup> concept

auteur(s):  reviewed: F 

naam:  goedgekeurd

referentienr.: K5004.12/114427

23 pages 23-5-2012

## Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Radioactieve stoffen	9
2.1 Natuurlijke radioactiviteit	9
2.2 Kunstmatige radioactiviteit	9
2.3 Betekenis voor grondwater NRG	9
3 Bemonstering en analyse	11
3.1 Bemonsteringsplan	11
3.2 Scope van analyse	11
3.3 Monsternamen Peilbuizen	11
3.4 Besmettingscontrole en vrijgave	11
3.5 Analyses	13
3.5.1 Gammaspectrometrie	13
3.5.2 Tritium	13
4 Resultaten	15
5 Conclusies en Aanbevelingen	17
5.1 Conclusies	17
5.2 Aanbevelingen	17
Verzendlijst	19

## Samenvatting

NRG ziet het als *good practice* op de hoogte te zijn van de radiologische situatie van het grondwater in de duinen onder haar faciliteiten. Op 19 april 2012 heeft de eerste bemonstering van dit jaar plaatsgevonden.

Hierbij zijn in de nabijheid van relevante NRG faciliteiten en wasteputten, grondwatermonsters genomen, die op twee manieren zijn geanalyseerd: een gammaspectrometrische analyse en een tritiumanalyse.

Geen van de totaal 13 monsters geeft na de gammaspectrometrische analyses een aanwijzing voor verontreiniging van het grondwater met radionucliden, zoals Cobalt-60 en Cesium-137. Echter de tritiumanalyse toont aan dat één van de monsters een verhoogde tritiumwaarde heeft. Het betreffende monster is afkomstig uit peilbuis HGW-2 op het HFR terrein, tussen het Primaire Pompgebouw en de reactorhal. Bij eerdere bemonsteringen in het recente verleden is in deze peilbuis een aantal keer een verhoogde tritiumwaarde gemeten.

## 1 Inleiding

NRG bemonstert en analyseert periodiek het grondwater rond relevante faciliteiten. NRG ziet dit als een *good practice*. Naast de monitoring op stoffen uit de zwarte en grijze lijst voor milieuschadelijke stoffen heeft NRG na een start bij de HFR in 2010 het onderzoek in 2011 uitgebreid met een periodieke monitoring van radioactieve stoffen in het grondwater bij relevante andere NRG faciliteiten in Petten.

NRG wil op de hoogte zijn en blijven van de situatie van het grondwater in de duinen onder haar faciliteiten. Net als de hekdosis- en uitgaande luchtmonitoring in de gebouwen draagt dit bij tot een versterkte beheersing van de milieubelasting door NRG.

Doelstelling van de monitoring is om periodiek het grondwater nabij relevante faciliteiten te onderzoeken op eventuele radioactieve verontreinigingen. Hierbij gaat het om faciliteiten waar vloeibaar radioactief afval en/of actief water wordt opgeslagen, waardoor een risico op grondwaterverontreiniging bestaat. Daarnaast wil NRG aantonen dat geen ongecontroleerde lozingen van radioactiviteit naar het milieu plaatsvinden.

De praktische ervaringen bij de bemonsteringen en resultaten van analyses in 2011 en 2012 zullen worden gebruikt voor het verder uitwerken van een monitoringsprogramma in 2012.

## 2 Radioactieve stoffen

### 2.1 Natuurlijke radioactiviteit

In de aardbodem komen van nature radioactieve stoffen voor in concentraties die afhankelijk zijn van de grondsoort. De belangrijkste zijn kalium 40 en de radionucliden uit de vervalreeksen van natuurlijk uranium (U-238 en U-235) en van thorium-232. Door natuurlijke processen in de atmosfeer is ook tritium in lucht, water en bodem terug te vinden.

### 2.2 Kunstmatige radioactiviteit

In heel Nederland komen kunstmatige radionucliden in de bodem voor als gevolg van depositie vanuit de atmosfeer na bovengrondse kernproeven in de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw en na het reactorongeval in Tsjernobyl in 1986.

De nu nog in de bodem aanwezige radioactiviteit van de bovengrondse kernproeven wordt gedomineerd door Cesium-137. Door het reactorongeval in Tsjernobyl is opnieuw Cesium-137 op de Nederlandse bodem terechtgekomen, vergezeld van Cesium-134. Deze twee kunstmatige oorzaken hebben ook geresulteerd in aanwezigheid van tritium in bodem en grondwater.

### 2.3 Betekenis voor grondwater NRG

In relatie tot de beschikbare gegevens over bodem (bijvoorbeeld zand of klei) zijn ten aanzien van radioactiviteit in grondwater twee opmerkingen te plaatsen:

- Wat geldt voor bodem hoeft niet te gelden voor grondwater: het van nature aanwezige uranium is bijvoorbeeld slecht oplosbaar. Het kunstmatig in de bodem aanwezige cesium is goed oplosbaar, maar zal zich door haar chemische eigenschappen grotendeels hechten in de bovenste 20 cm van de bodem.
- De uit de processen van NRG voortkomende nucliden, die zich in theorie in emissies kunnen bevinden zijn cesium-137, kobalt-60 en tritium. Uranium is nog nooit in lozingswater of als geloosde activiteit in lucht aangetoond en is het onwaarschijnlijk dat het in een emissie naar het grondwater terecht zal komen. Enerzijds, omdat het in het proces zodanig is ingekapseld en opgesloten dat het niet kan vrijkomen. Maar ook omdat uranium zich vanwege haar chemische eigenschappen niet laat opnemen door (grond)water.

## 3 Bemonstering en analyse

### 3.1 Bemonsteringsplan

In deze bemonsteringsronde zijn in de nabijheid van faciliteiten of wasteputten, 13 peilbuizen geselecteerd. Een overzichtstabel van deze peilbuizen is opgenomen in Bijlage 1. Deze peilbuizen zijn in dit kader eerder bemonsterd op 25 november 2012.

### 3.2 Scope van analyse

Gezien de specifieke processen van NRG en chemische eigenschappen van de verschillende stoffen (zie ook onder 2.3) richt de analyse van de grondwatermonsters zich op Cesium-137, Kalium-40, Kobalt-60 en Tritium.

### 3.3 Monstername Peilbuizen

De monstername van de peilbuizen is door de firma Grontmij uitgevoerd. Grontmij is erkend voor het uitvoeren van dergelijk veldwerk onder de procescertificaten BRL SIKB 2000 en BRL SIKB 2002.

### 3.4 Besmettingscontrole en vrijgave

Net als bij eerdere bemonsteringen zal er een besmettingscontrole en vrijgave plaatsvinden door een Stralingscontroleur. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Interne Regeling 3.3.9 "Bepaling van radioactieve oppervlaktebesmetting".

## 3.5 Analyses

### 3.5.1 Gammaspectrometrie

Voor de gammaspectrometrische bepaling van radionucliden in de monsters wordt gebruik gemaakt van meetopstellingen met high-purity germanium detectoren in lage-achtergrond afscherming. De bepalingen worden uitgevoerd conform NVN-5623, waarbij gebruik wordt gemaakt van referentiebronnen met bekende activiteiten van de te bepalen radionucliden in dezelfde geometrieën.

### 3.5.2 Tritium

De tritiumanalyse wordt uitgevoerd volgens NEN 6420. Hierbij wordt het monster gedestilleerd waarna het destillaat gemeten wordt op een TRICARB 2700 TR Liquid Scintillation Analyzer.

## 4 Resultaten

Op 19 april 2012 werden uit 13 peilbuizen een grondwatermonster genomen. In de onderstaande tabel worden de analysesresultaten per peilbuis weergegeven. De certificaten van de gammaspectrometrische en tritiumanalyses worden per monster gerapporteerd door R&E Laboratory Services en zijn ter inzage beschikbaar bij de afdeling QSE.

Tabel 1. Analysesresultaten Grondwater 19 april 2012

Gebouw nr.	Gebouw	Peilbuisnr.	K-40	Cs-137	Co-60	3H
07	HCL	1	1,3 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	< 10
07	HCL-WPUT	342	1,4 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	< 10
21	DECO	11	1,3 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	< 10
21	DECO	107	1,7 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
26	WSF	310	1,7 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	< 10
26	WSF	307	1,7 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	< 10
28	STEKHAL	09	1,3 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
28	LFR-WPUT	Geen	1,3 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	< 10
101/104	HFR	HGW-2	1,5 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	228 ± 12
102/104	HFR	HGW-4	1,6 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
104	HFR	HGW-1	1,1 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	< 10
104	HFR	HGW-3	1,0 <sup>MDA</sup>	0,07 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	< 10
150	HFR	HGW-0	1,0 <sup>MDA</sup>	0,10 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	< 10

De waarden in tabel 1 zijn weergegeven in Bq/kg of Bq/liter (in het geval van 3H). De codering MDA bij K-40, Cs-137 en Co-60 wil zeggen Minimaal te Detecteren Activiteit. De activiteit is in dat geval minder dan de genoemde waarde. Het resultaat <10 in de 3H kolom betekent eveneens een waarde lager dan de detectiegrens. In het monster van peilbuis 107 komt K-40 net boven de detectie limiet uit. Dit vanwege de natuurlijke aanwezigheid van kalium 40.



## 5 Conclusies en Aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Geen enkele gammaspectrometrische analyse van de monsters uit de peilbuizen wijzen op een verontreiniging van het grondwater met de gemeten radionucliden.

De tritiumanalyses van monsters uit 12 peilbuizen geven geen aanwijzing voor radioactieve verontreiniging met Tritium. Echter: één grondwatermonster (HGW-2, tussen het Primaire Pompgebouw en de reactorhal) laat een verhoogde waarde van tritium zien:  $228 \pm 12$  Bq/liter. Bij eerdere bemonsteringen in het recente verleden is in deze peilbuis een aantal keer een verhoogde tritiumwaarde gemeten.

Dit resultaat is gerapporteerd aan het management van I&D-HFR en gemeld aan de Kernfysische Dienst. Het management van I&D-HFR heeft een projectleider aangewezen en een traject uitgezet om het onderzoek naar de verhoogde waarden van Tritium te intensiveren.

### 5.2 Aanbevelingen

Na de afronding van de bemonsteringen en analyses van het grondwater worden de volgende aanbevelingen gedaan:

I&D-HFR dient het onderzoek naar de oorzaak van de verhoogde waarden van Tritium in peilbuis HGW-2 te intensiveren.

Relevante resultaten van het bovengenoemde onderzoek dienen meegenomen te worden in het in 2012 verder uit te werken monitoringsprogramma.

## Bijlage A

### A.1 Bemonsteringsplan en uitvoering

Gebouwnr.	Gebouw	Business Unit	Peilbuisnr.	Bemonsterd
07	HCL	I&D-Labs	1	Ja
07	HCL-WPUT	I&D-Labs	342	Ja
21	DECO	R&E	11	Ja
21	DECO	R&E	107	Ja
26	WSF	I&D-Labs	310	Ja
26	WSF	I&D-Labs	307	Ja
28	STEKHAL	I&D-Labs	09	Ja
28	LFR-WPUT	I&D-HFR	Geen	Ja
101/104	HFR	I&D-HFR	HGW-2/B2	Ja
102/104	HFR	I&D-HFR	HGW-4/41	Ja
104	HFR	I&D-HFR	HGW-1/B1	Ja
104	HFR	I&D-HFR	HGW-3/N2	Ja
150	HFR	I&D-HFR	HGW-0/N1	Ja

# Bijlage B

## B.1 Overzichtstekeningen peilbuizen OLP

## Verzendlijst

### Business Unit I&D

Business Unit Manager I&D

Manager I&D-Labs

Manager I&D-HFR

Manager I&D-HSE

I&D-HFR

I&D HFR

Manager Licensing I&D-HFR

I&D Labs

### Business Unit RE

Business Unit Manager RE

Manager RE-DWT

Manager RE-HSE

Pallas Projectteam

Manager Licensing

### QSE

Manager QSE

Algemeen Stralingsdeskundige

Adviseur Milieu

# **Bijlage 3**

# Onderzoek tritium in grondwater, Identificeren en elimineren van oorzaken

Tussenrapportage periode  
februari-juli 2012

**Vertrouwelijk**

In opdracht van de Reactormanager

rev. nr.	datum	Omschrijving
A	13-7-2012	1 <sup>e</sup> concept voor intern commentaar

auteur(s):	[Author2]	reviewed:
	[Author3]	
naam:	Document2	goedgekeurd:
referentienr.:	25194.17/1153 [Keywords]	
35 pages	13-7-2012	

# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	5
Inleiding	7
1 Tritium project	8
1.1 Doel	8
1.2 Onderzoeksmethodiek	8
1.3 Uitvoer van het onderzoek	10
2 Resultaten	12
2.1 Chronologie	12
2.2 Peilbuismonsters	13
2.3 Condensafvoerleidingen	15
2.4 Inspectie op lekkage	17
2.5 Luchtafvoer via lucht behandel gebouw	17
2.6 Bemonstering en analyse	18
2.7 Aanvullende theorieën	18
3 Voorlopige conclusies	20
3.1 Uitgesloten oorzaken	20
3.2 Verder uitwerken	20
3.3 Aannemelijke oorzaken	21
3.4 Voorlopige conclusie	21
3.5 Acties	22
Lijst van tabellen	25
Lijst van figuren	26
Referenties	29
Bijlage A	31
A.1 Tripod methodiek	31
A.2 Verschillende Tripod instrumenten	32



A.2.1	Tripod accident investigation and analysis quick scan (TRIQ)	33
A.2.2	Tripod analysis and categorization kit (TRACK)	33
A.2.3	Tripod BETA	33
	Verzendlijst	35



## Samenvatting

In dit rapport wordt verslag uitgebracht over de voortgang naar het onderzoek van de verhoogde concentratie tritium in grondwater op peilbuis HGW-2 van het HFR terrein in Petten. Op 19 april 2012 is een waarde van 228 Bq/l vastgesteld in het grondwater van deze locatie. Deze waarneming maakt deel uit van het monitoringprogramma 'Radionucliden in grondwater' dat actief is sinds juni 2010 [2]. Dit omvat een meetnet van 13 peilbuizen verspreid over de onderzoek locatie Petten Figuur 0-1. In de peilbuis van HGW-2 zijn vaker verhoogde tritium waarden waargenomen maar geen andere radionucliden. In geen van de andere peilbuizen zijn radionucliden aangetoond.

Naar aanleiding van de verhoogde waarde aan tritium is een projectteam opgericht met de opdracht om de oorzaak te identificeren en deze zo mogelijk op te heffen. Het doel van dit project is om vast te stellen welke bron(en) hebben bijgedragen aan de verhoging van het tritiumgehalte in peilbuis HGW-2.

Uit alle testen die zijn uitgevoerd kan geconcludeerd worden dat de meest aannemelijk aanwijsbare oorzaak het condens van airco's en de luchtkoel installatie van het lucht behandel gebouw is. Dit condens werd niet gecontroleerd afgevoerd maar op het terrein werd vrijgezet. Tritium is in het grondwater van twee peilbuizen aangetoond, HGW-2 en HGW-20. Rekening houdend met de grondwaterstroom die zich verplaatst van zuidwest naar noordoost en het feit dat tritium bevattend condens stroomopwaarts aan het grondwater is toegevoegd, verklaart waarom in het water van beide peilbuizen tritium is aangetoond.

Dit rapport is een tussenrapportage, de definitieve rapportage wordt eind augustus 2012 opgeleverd. Het programma aan uitgezette acties wordt gedurende die periode voortgezet.



## Inleiding

In dit rapport wordt verslag uitgebracht over de voortgang naar het onderzoek van de verhoogde concentratie tritium in grondwater op peilbuis HGW-2 van het HFR terrein in Petten. Op 19 april 2012 is een waarde van 228 Bq/l vastgesteld in het grondwater van deze locatie. Deze waarneming maakt deel uit van het monitoringprogramma 'Radionucliden in grondwater' dat actief is sinds juni 2010 [2]. Dit omvat een meetnet van 13 peilbuizen verspreid over de onderzoek locatie Petten Figuur 0-1. In de peilbuis van HGW-2 zijn vaker verhoogde tritium waarden waargenomen maar geen andere radionucliden. In geen van de andere peilbuizen zijn radionucliden aangetoond.

Hoewel afvoeren van radioactieve stoffen aan de grond is verboden, voorziet de VTS [3] niet eenduidig in een specificatie voor activiteit concentratie in grondwater. Op 23 mei 2012 is een schriftelijke melding [6] aan de KFD gedaan over de constatering van tritium in het grondwater. Tegelijkertijd is een projectteam opgericht met de opdracht om de oorzaak te identificeren en deze zo mogelijk op te heffen.

Het doel van dit project is om vast te stellen welke bron(en) hebben bijgedragen aan de verhoging van het tritiumgehalte in peilbuis HGW-2. Vervolgens dienen preventieve of corrigerende maatregelen te worden gedefinieerd om de aanwezigheid van tritium respectievelijk te voorkomen of te minimaliseren. Om een zo breed mogelijk kennisgebied te omvatten is het projectteam onder andere opgebouwd uit de disciplines stralingshygiëne, chemie, engineering en veiligheidkunde. Voor het goed kunnen herleiden van de verhoging van de tritiumconcentratie en het benoemen en indelen van mogelijke bronnen, is gebruik gemaakt van de Tripod methodiek zie bijlage 3.4 .0.

Dit rapport is een tussenrapportage, de definitieve rapportage wordt eind augustus 2012 opgeleverd. In hoofdstuk 1 wordt het doel van het project beschreven en geeft uitleg welke methodiek is gebruikt voor het herleiden van de oorzaak. Gekeken is welke bronnen en lekpaden mogelijk aanwezig zouden kunnen zijn. Ook wordt een korte uitleg gegeven welke middelen zijn ingezet zoals extra analyses, peilbuizen en referentie monsters. Hoofdstuk 2 beschrijft de resultaten van het onderzoek tot nu toe (metingen trends oorzaken identificaties). Tot slot volgen in hoofdstuk 3 de voorlopige conclusies. In dit hoofdstuk wordt ook een overzicht gegeven met de genomen acties en maatregelen om de oorzaak weg te nemen of te minimaliseren.

## Tritium project

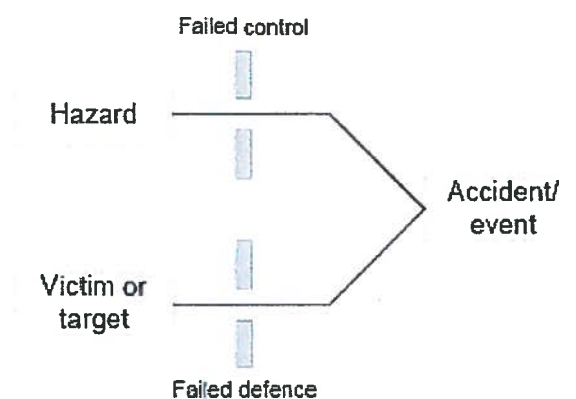
### Doel

Het doel van het project is om vast te stellen welke bron(en) hebben bijgedragen aan de verhoging van het tritiumgehalte in peilbuis HGW-2. Vervolgens dienen preventieve of corrigerende maatregelen te worden gedefinieerd en uitgevoerd om de aanwezigheid van tritium respectievelijk te voorkomen of te minimaliseren.

### Onderzoeksmethodiek

Naar aanleiding van de verhoogde concentratie is een Tripod onderzoek opgestart. Het kenmerk van deze methode is dat het verbanden kan leggen tussen het incident en gebeurtenissen en invloeden die ogenschijnlijk geen relatie met het incident te maken hebben. Het onderzoek is gebaseerd op het *Hazard and Effect Management Process* (HEMP) model (zie Figuur 0-1). Binnen dit model worden de volgende items onderscheiden:

- **Hazard:** Hetgeen schade toe kan brengen;
- **Victim/Target:** Hetgeen beschadigd kan worden;
- **Accident/Event:** De wijze waarop blootstelling aan de gevarenbron plaats kan vinden.



Figuur 0-1 het *Hazard and Effect Management Process* (HEMP) model

Nadere informatie met betrekking tot de Tripodmethodiek is beschreven in 0.

In een brainstormsessie is gediscussieerd en nagedacht om de mogelijke bronnen te benoemen voor een vermeende bijdrage aan de verhoging van de tritiumconcentratie in het grondwater van peilbuis HGW-2.

Hieronder een overzicht van de inventarisatie van mogelijke lekpaden. Voor deze tabel geldt dat de 'hazard' in alle gevallen tritium is, de 'target' het grondwater en de 'event' lekkage vanuit een object.

Tabel 0-1: Overzicht van objecten met mogelijke lekpaden

Object	Mogelijke lekpaden
Afvoerputten	Afvoerput offgas
	Zwanemeer afvoerput
	Drainputten
	Tritium condensaatopstelling
	lekkage van warm-drain put 04
	drain put in de hoge kelder PPG
	Pompputten
Tanks	Ondergrondse tanks A / B / C
	Groene tanks
Riolen	Ringriool om de HFR koepel
	Riolen op het terrein
Vloeren	Coating van vloer en wanden bij de pompputten
	Vloer monitorruimte
	Afvoergoten in HFR
Leidingen	Monitor leiding
	Waste leiding
	Condens Afvoerpijpjes Airco's
Luchtafvoer	Uitgaande luchtpijp van Lucht Behandelings Gebouw
	Deelstroom PPG
	Deelstroom Offgas
Reactor	Bassin
<b>Onderwerp</b>	<b>Mogelijke oorzaak</b>
Tritium monitoring	Monsternamen
	Analyse methode
Aanvullende theorieën	Relatie met afvalwatertransporten van PPG naar DWT
	Verhoging Tritium concentratie in offgas bij demontage van Libretto
	Meertjes / drinkwater / regenwater

## Uitvoer van het onderzoek

Aan de hand van de in Tabel 0-1 genoemde locaties is door middel van visuele inspectie nagegaan of het waarschijnlijk is of vanuit deze locaties tritium lekkage naar de omgeving heeft plaatsgevonden. Locaties die herstel of aanpassing behoeven zijn geïdentificeerd. Hierbij is een aangegeven of het herstel direct ofwel op een later moment moet worden uitgevoerd. Deze zijn vastgelegd in [5].

Vanaf de start van het onderzoek op 11 mei 2012 zijn de tritium analyses in het grondwater van peilbuis HGW-2 verhoogd naar één maal per twee weken in plaats van één maal per jaar. Ook zijn twee peilbuizen HGW-18 en 20 toegevoegd (zie de afbeelding boven Tabel 0-1). Deze liggen stroomafwaarts ten opzichte van HGW-2. De eerste monsters zijn genomen op 30 mei 2012. Om het meetprogramma verder te optimaliseren zijn op 12 juli drie nieuwe peilbuizen in gebruik genomen (HGW-1001 t/m 1003).

Verder zijn twee ideeën uitgewerkt die een eventuele relatie met de verhoogde waarneming aan tritium in de peilbuis hebben:

- De watertransporten van het primair pomp gebouw naar het gebouw van waste treatment;
- De waarneming van verhoogde tritium lozing in de uitgaande lucht van het lucht behandeling gebouw ten tijde van de demontage van het Libretto experiment.

Gedurende het onderzoek zijn daarnaast aanvullende testen uitgevoerd om gevonden resultaten nader te kunnen verklaren of verifiëren. Dit zijn de volgende testen:

- Tritium analyse van het water uit de meertjes die op OLP aanwezig zijn,
- Referentie metingen aan airco's en lucht behandel systemen,
- Tritium analyse van regenwater terplekke van de HFR in vergelijking met regenwater uit Castricum,
- De relatie onderzoeken van de tritiumconcentratie in de grondwatermonsters en de hoeveelheid neerslag.

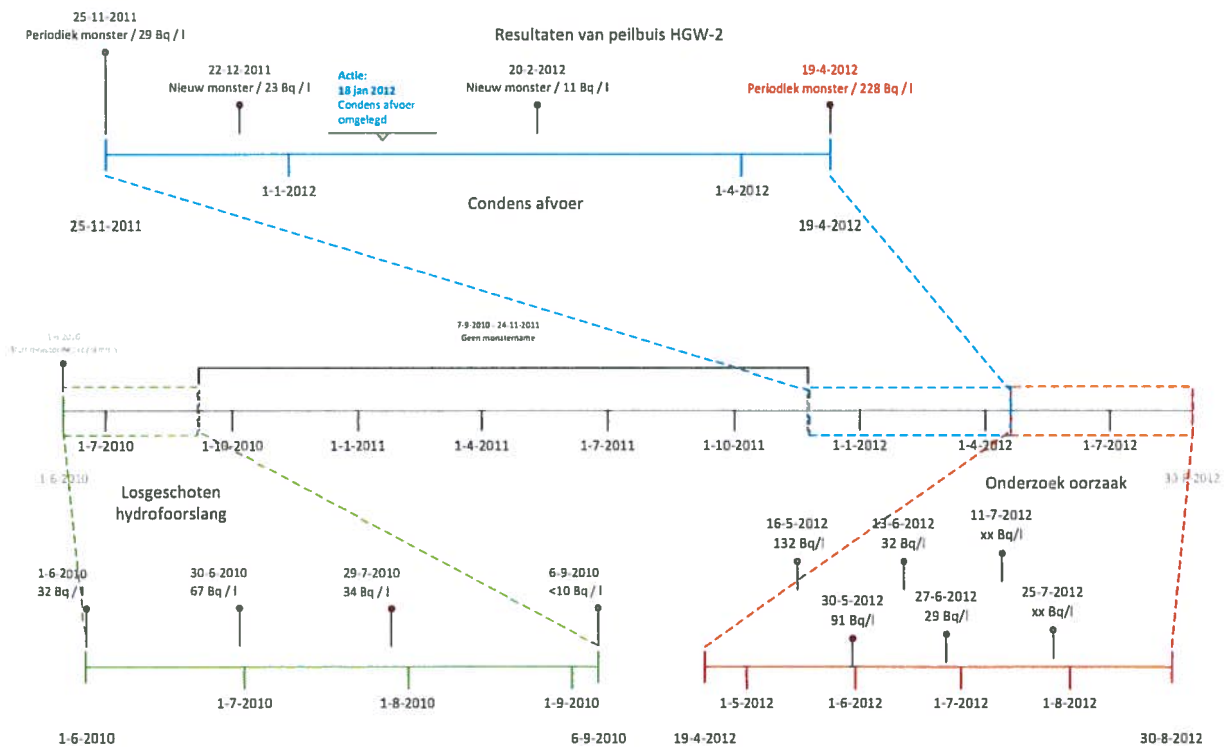


## Resultaten

Om een goed beeld te krijgen over de verzamelde resultaten in de afgelopen jaren, zijn deze in een tijdlijn verwerkt. In de volgende paragrafen worden de resultaten per onderwerp besproken.

### Chronologie

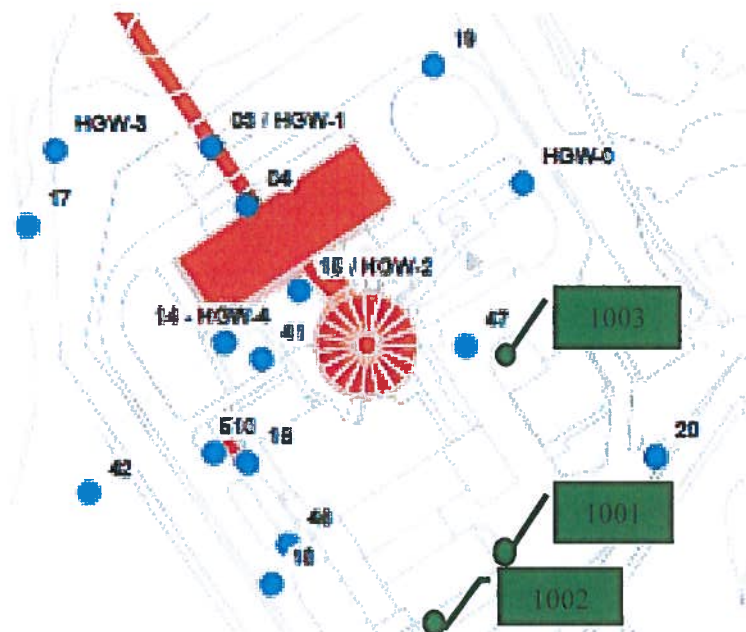
Hieronder een overzicht van de resultaten van tritium concentratie in het grondwater van peilbuis





## Peilbuismonsters

In Tabel 0-1 staat het overzicht van de drie peilbuizen die sinds 19 april 2012 zijn bemonsterd.



Tabel 0-1 Overzicht van Tritium analyseresultaten in Grondwater in Bq/l.

Datum	HGW-2	HGW-18	HGW-20	HGW-1001	HGW-1002	HGW-1003
19-apr-2012	228 Bq/l	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
16-mei-2012	132 Bq/l	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30-mei-2012	91 Bq/l	<10 Bq/l	<10	n.a.	n.a.	n.a.
13-jun-2012	32 Bq/l	<10 Bq/l	23 Bq/l *	n.a.	n.a.	n.a.
27-jun-2012	29 Bq/l	<10 Bq/l	13 Bq/l	n.a.	n.a.	n.a.
12-jul-2012	In analyse	In analyse	In analyse	In analyse	In analyse	In analyse

n.a betekend not applicable .

\*Onderzoek oorzaak heeft niet kunnen uitwijzen of dit monster foutief

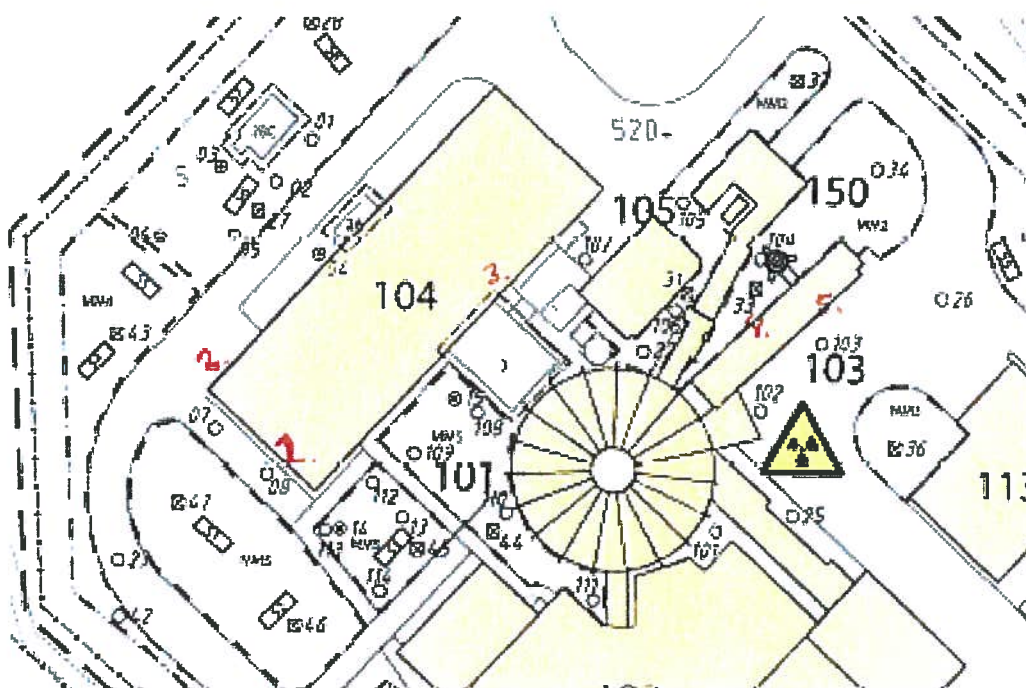
genomen is.

De concentratie tritium op locatie HGW-2 neemt aanzienlijk af en stabiliseert zich sinds half juni rond de 30 Bq/l. Peilbuizen HGW-18 en HGW-20 liggen stroomafwaarts ten opzicht van HGW-2 en zijn bemonsterd om informatie te krijgen of tritium inderdaad stroom afwaarts migreert. Pas in de tweede meting op locatie HGW-20 is een resultaat van 23 Bq/l waargenomen. In eerste instantie werd gedacht aan een kruisbesmetting omdat de voorgaande meting  $<10$  Bq/l was. Een onderzoek afwijking is uitgevoerd in de vorm van een vraag gesprek met de monsternemer en vastgelegd in [4]. De analist die de metingen heeft uitgevoerd heeft ter bevestiging nogmaals het monster geanalyseerd met de zelfde waarde als uitkomst. Het vermoeden van kruisbesmetting werd met het resultaat van 13 Bq/l van een nieuw genomen monster op 27 juni 2012 uitgesloten.

Als actie op deze waarneming zijn drie nieuwe peilbuizen geslagen om een gedetailleerder beeld te krijgen op de tritium aanwezigheid in het gebied tussen peilbuizen HGW-18 en HGW-20 en het lucht behandelingsgebouw. Op 12 juli zijn deze peilbuizen HGW-1001, HGW-1002 en HGW-1003 geplaatst en zijn direct bemonsterd. De nummering is afgegeven door de Grontmij.

## Condensafvoerleidingen

In januari werd vastgesteld dat de condens afvoerleiding van de airco van 'cel 8 PPG' rechtstreeks op het terrein afvoerde. Naar aanleiding daarvan zijn alle condens afvoeren in kaart gebracht en onderworpen aan een tritium analyse. De rode cijfers in onderstaande platte grond corresponderen met de labels uit Tabel 0-2 waar de resultaten van de tritiumanalyse in condens staan vermeldt.



Tabel 0-2 Overzicht van Tritium analysesresultaten in condens in Bq/l.

Datum	1 Laagspannings ruimte PPG	2 Verdeler ruimte PPG	3 Accuruumte PPG	4 Luchtcool installatie LBG	5 Monitorruimte LBG
25-mei-2012	75 Bq/l	26 Bq/l	Geen Condens	n.a.	Geen Condens
11-jun-2012	65 Bq/l	40 Bq/l	Geen Condens	230 Bq/l	Geen Condens
19-jun-2012	n.a.	n.a.	Geen Condens	317 Bq/l	Geen Condens
29-jun-2012*	n.a.	14 Bq/l	n.a.	n.a.	n.a.
07-jul-2012	n.a.	n.a.	25 Bq/l	n.a.	n.a.

n.a betekend not applicable . \* Na afdichten van kabeldoorvoeren, gemeten met Tritium condensaat opstelling.

Op 06 juli 2012 is een referentie meting uitgevoerd aan de airco van het secretariaat, het verzamelde condens bevat een tritium concentratie van 16 Bq/l.

Op 15 juni is opdracht gegeven het condenswater op te vangen en af te voeren via de 'hot drain' richting de verzamelopslag in het PPG.

Een opvallend resultaat is de waarde in het condens van de airco van het luchtbehandelingsgebouw, gemiddeld 275 Bq/l uit twee metingen. Uit een aantal schattingen is gebleken dat per uur 10 tot 12 liter condens wordt afgevoerd. Dit condens is afkomstig uit de circa 25000 m<sup>3</sup> buitenlucht die per uur wordt aangezogen en gekoeld. Ook dit condens liep via een grindbed de grond in en wordt per 15 juni gecontroleerd afgevoerd.

Om een antwoord te kunnen geven waar dit tritium vandaan komt zijn op twee locaties buiten de HFR referentie metingen gepland. De eerste is in het Jaap Goedkoop laboratorium circa 150 meter ten oosten van de HFR, de tweede in het Medisch Centrum Alkmaar op 20 km afstand ten zuiden van de HFR. Deze condens monsters moeten nog worden verzameld en geanalyseerd.

Het condens afkomstig uit de verdeler ruimte (airco 2) van het PPG heeft een gemiddelde van 33 Bq/l over twee metingen. Na de tweede meting zijn alle gaten in de vloer gedicht. Hiermee wordt uitgesloten dat lucht die tritium bevat van-uit de kelder naar de verdeler ruimte stroomt. De lucht in de verdeler ruimte is na deze aanpassingen opnieuw bemonsterd met een tritium condensaat opstelling om uit te sluiten dat het monster besmet werd met resten tritium uit de kunststof afvoer leidingen van de airco. Het resultaat van 14 Bq/l toont aan dat een reductie heeft plaats gevonden en ligt in een zelfde orde van grootte als de waarde die is gevonden in het condens van de airco van het HFR secretariaat.

Op twee locaties is ondanks lang verzamelen geen of onvoldoende condens opgevangen. Dit betreft de monitoringruimte in het luchtbehandelingsgebouw en de accuruimte van het PPG. Controle ter plaatse wees uit dat beide ruimten redelijk koel zijn. Pas op 7 juli 2012 werd in de accuruimte voldoende condens opgevangen om te analyseren. Het resultaat is 25 Bq/l.

## Inspectie op lekkage

Op 5 juli is een start gemaakt met de visuele inspectie op lekkage aan putten, leidingen en tanks. Vastgelegd is welke equipment van waarschijnlijke- zeer waarschijnlijk of onwaarschijnlijk van invloed zijn op tritium lekkage. Van de vastgestelde afwijkingen is geïnventariseerd wat direct te verhelpen is en wat planmatig moet worden hersteld. Het overzicht is vastgelegd in [5].

Hieronder een opsomming van de tot nu toe meest waarschijnlijke locaties die mogelijk tot een verhoging van de tritium concentratie op HGW-2 kunnen leiden.

- Leiding doorvoer van PPG naar HFR reactorhal via het Duct; Bitumen dak is verouderd en heeft geen regenafvoer. Regenwater loopt direct het terrein op dichtbij peilbuis HGW-2.
- Ionen drain pompput. De coating van de vloer is verouderd en vertoont krakelee,
- Verzamelputten in de hoge kelder en Zwanenmeer van het PPG. De status van deze putten is niet geïnspecteerd door het hoge stralingsniveau.
- Verzamelput in de subpileroom. De status niet kunnen inspecteren door het hoge stralingsniveau.

In de volgende stop wordt met beter plan en materiaal bekeken hoe de verzamelputten kunnen worden geïnspecteerd.

## Luchtafvoer via lucht behandel gebouw

Uit [1] is bekend dat de via de schoorsteen gemiddelde in de lucht geloosde hoeveelheid tritium circa 5,5 GBq per week bedraagt. Deze afvoer is opgebouwd uit drie deelstromen. De offgas die o.a. lucht wegzuigt boven het bassin, de afvoer van de hallucht en de afvoer van de lucht uit het primair pompgebouw (PPG). Door middel van extra metingen met een tweede 'tritium condensaat opstelling' worden momenteel achtereenvolgens deze deelstromen apart bemonsterd. De eerste meetresultaten leveren een globale indruk dat van de totale hoeveelheid geloosde  $^3\text{H}$ -activiteit ongeveer 60% afkomstig is uit de PPG-deelstroom, 39 % uit de offgas en < 1 % uit de hallucht. De meetsessies zullen komende weken worden herhaald ter verkrijging van een statistisch betrouwbaarder beeld.



## Bemonstering en analyse

Voor het uitvoeren van de monitoring van radionucliden in grondwater wordt gebruik gemaakt van een bemonstering- en een analysemethode. Beide methoden zijn onderworpen aan een beoordeling om de geschiktheid te bepalen. Deze evaluatie is vastgelegd in [4]. Hieronder staan de belangrijkste conclusies vermeld.

De monsternamen worden uitgevoerd volgens het VKB-protocol-2002 uitgegeven door Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (SIKB). Het protocol is afgeleid van diverse NEN normen voor bemonstering van grond en grondwater en beschrijft in detail het nemen van grondwatermonsters voor milieukundig onderzoek. De conclusie voor de bemonsteringsmethode is dat de monsternamenmethode geschikt is om een representatief monster te nemen met uitsluiting van verwisseling of kruisbesmetting.

Voor het vaststellen van het tritiumgehalte wordt de gestandaardiseerde NEN 6420 norm gehanteerd. Deelname aan ringtesten bevestigt de juistheid van de methode. Aanvullend worden bij de bepaling een aantal kwaliteit controles uitgevoerd. Toetsing op apparaat besmetting wordt gedaan door blanco 's toe te voegen in de meetserie. De monster-ontvangst, opslag, labeling en algemene laboratorium handelingen zijn voldoende om verwisseling van monsters te voorkomen. Geconcludeerd kan worden dat de analysemethode voor tritium bepaling in grondwatermonsters geschikt is en de verkregen resultaten valide zijn.

## Aanvullende theorieën

Naast de voor de hand liggende ideeën zijn twee suggesties geverifieerd op een mogelijke relatie met de vaststelling van tritium in het grondwater. De eerste betreft een verhoging de tritium concentratie in het offgas systeem in week 30 en 31 in 2011. De oorzaak van deze verhoging waren de demontage werkzaamheden van het Libretto experiment. In die weken werden lozingen van respectievelijk 23,7 en 10,7 GBq vastgesteld tegen een gemiddelde week lozing van 5 GBq per week. Een directe relatie tussen deze verhoging van in lucht geloosde activiteit en de aanwezigheid van tritium in grondwater is moeilijk te verklaren. Dit op grond van het aantal parameters dat onbekend is om van deze piek uitstoot in de lucht naar de aanwezigheid van tritium in het grondwater te komen. Aannemelijker is om te veronderstellen dat de al aanwezige uitstoot van 5 GBq gemiddeld per week een bepaalde bijdrage levert. De extra lozingen zouden daar een verhoging in kunnen geven. Deze hypothese kan alleen beantwoord worden wanneer het monitoring programma tritium in grondwater meer data oplevert.

De tweede suggestie die een bijdrage kan hebben geleverd zijn de wekelijkse afvalwater transporten van primair pomp gebouw naar het gebouw van waste treatment. Dit transport gebeurt één maal per week op vrijdag via de DWT leiding (decontamination waste treatment). Een overzicht van het aantal m<sup>3</sup> en MBq van dit afvalwater is te zien in Figuur 0-2 . De leiding ligt voornamelijk onder het maaiveld en is voorzien van een mantel om eventueel lekwater op te vangen. Controle op lekkage naar de mantel vindt wekelijks plaats door visuele inspectie op drie locaties. Lekkage is in voorgaande jaren nooit waargenomen.

In Tabel 0-3 een overzicht van overige analyseresultaten.

Tabel 0-3 Overzicht overige Tritium analyseresultaten in Bq/l.

Datum	Brandweer Meertje	Forum Meertje	GCO Meertje	Drinkwater PPG	Marmmerput BHCT	Regen water HFR	Regen water Castricum
30-mei-2012	<10 Bq/l	<10 Bq/l	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
01-jun-2012	n.a.	n.a.	<10 Bq/l	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
29-jun-2012	n.a.	n.a.	n.a.	<10 Bq/l	n.a.	n.a.	n.a.
13-jun-2012	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
20-jun-2012	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<10 Bq/l	n.a.	n.a.
6-jul-2012	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<10 Bq/l	<10 Bq/l
12-jul-2012	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a betekend not applicable .

De gevonden waarden in het opgevangen regenwater zijn beide <10 Bq/l.

## Voorlopige conclusies

Om tot een voorlopige conclusie te komen kunnen de bevindingen worden verdeeld in zaken die uitgesloten kunnen worden, die nader onderzocht moeten worden en aannemelijk zijn.

### Uitgesloten oorzaken

Er is vastgesteld dat de monsternamen en analysemethoden beide voldoende geborgd zijn om het grondwater monitoringprogramma reproduceerbaar uit te voeren.

Toevoeging van tritium aan de bodem door verhoging van de lozing van tritium uit de schoorsteen na demontage van het Libretto experiment wordt als niet aannemelijk beoordeeld. De al aanwezige uitstoot van 5 GBq tritium gemiddeld per week kan een bepaalde bijdrage leveren. De twee piek waarnemingen ten tijde van de demontage van het Libretto experiment hebben dan voor een flinke verhoging van het gemiddelde gezorgd. Echter het model dat ten grondslag ligt om van luchtuitstoot naar grondwaterbesmetting te verklaren bevat onbekende parameters. De grootste onbekende is de fractie tritium uit de schoorsteen die neerslaat in de directe omgeving van de HFR. Met het uitvoeren van referentie metingen aan luchtbehandeling installaties op andere locaties wordt het inzicht in dit model vergroot.

Het transport van afvalwater van het primair pomp gebouw naar het gebouw van waste treatment kan ook worden uitgesloten als mogelijke oorzaak. Uit het feit dat in de mantel om deze leiding nooit lekkage is aangetoond is onderbouwd dat afvalwater nooit in het grondwater is gekomen.

### Verder uitwerken

Inspecties van leidingen, tanks, putten en vloeren is voor het grootste deel uitgevoerd. De inspectie van drie verzamelputten worden in de volgende stop uitgevoerd. Het is dus nog niet uitgesloten of deze putten door lekkage een bijdrage geven in de verhoging van de tritiumconcentratie in het grondwater.

Regenwater dat vanaf het duct naar het terrein loopt kan in theorie besmet zijn en kan verhoging geven in het grondwater van peilbuis HGW-2. Het regenwater dat vanaf het duct loopt zal in de komende periode worden getest op de aanwezigheid van tritium.



Met het inzichtelijk maken van de concentraties tritium in de deelstromen van de afvoerstroom van het lucht behandel gebouw kan geen directe oorzaak worden aangewezen. Het uitvoeren van deze test geeft wel een duidelijk beeld hoe de verhoudingen zijn verdeeld van de totale hoeveelheid geloosde tritium activiteit. Deze meetsessies worden de komende weken vervolgd.

## Aannemelijke oorzaken

Uit alle testen die zijn uitgevoerd is de meest aannemelijk aanwijsbare oorzaak het condens van airco's en de luchtkoel installatie van het lucht behandel gebouw dat op het terrein werd vrijgezet. Tritium is in het grondwater van twee peilbuizen aangetoond, HGW-2 en HGW-20.

## Voorlopige conclusie

Rekening houdend met de grondwaterstroom die zicht verplaatst van zuidwest naar noordoost en het feit dat tritium bevattend condens stroomopwaarts aan het grondwater is toegevoegd, verklaart waarom in het water van beide peilbuizen tritium is aangetoond. Voor peilbuis HGW-2 geldt dat per 18 januari 2012 de tritium toevoer aan grondwater is beëindigd. Het resultaat van deze actie is naar het zich laat aanzien de afname van de tritiumconcentratie in het grondwater van HGW-2. Verdere monsternamen op beide punten, en overige locaties, blijft de komende tijd noodzakelijk om deze voorlopige conclusie te kunnen onderbouwen.

De overige conclusies zijn:

- Er is geen sprake meer van hoge tritiumactiviteit in het grondwater op het HFR terrein. Sinds half juni liggen de waarden rond de 30 Bq/l .
- De monsternamen en analyse van de grondwatermonsters voor de bepaling van tritium zijn voldoende geborgd en reproduceerbaar en daarmee geschikt om het tritium monitoringprogramma uit te voeren.

## Acties

In deze paragraaf een overzicht met de acties die zijn genomen om de aanwezigheid van tritium in het grondwater te onderzoeken of te voorkomen en acties die zijn genomen ter verbetering van eerder vastgestelde omissies in procedures.

- 18 januari 2012: In de grond lozen van de condens uit de airco uit de bassin warmtewisselaar ruimte van het primair pompgebouw is gestopt door het condens af te voeren via de drainputten naar de afvalwatertank.
- Mei 2012: Tijdsduur verkorten tussen het aanbieden monster en terugkoppeling van het meetresultaat.
- 15 mei 2012: Verhogen van de monstername frequentie op peilbuizen HGW-2, 18 en 20.
- 15 juni 2012: Condens van alle airco's van het primair pompgebouw en het lucht behandel gebouw gecontroleerd afvoeren naar de afvalwatertanks.
- 29 juni 2012: Tijdelijk stopzetten van monstername van afvalwater in pompputten.
- 12 juli 2012: Plaatsen van drie peilbuizen om een gedetailleerder beeld te krijgen van de tritium aanwezigheid in het gebied tussen peilbuizen.
- Juli 2012: Procedure HFR/QP05 aanpassen, in de classificatie het confinement van PPG toevoegen. Concept gereed medio september.



## Lijst van tabellen

<u>Tabel 1-1: Overzicht van objecten met mogelijke lekpaden</u> .....	9
<u>Tabel 2-1 Overzicht van Tritium analyseresultaten in Grondwater in Bq/l.</u> .....	13
<u>Tabel 2-2 Overzicht van Tritium analyseresultaten in condens in Bq/l.</u> .....	15
<u>Tabel 2-3 Overzicht overige Tritium analyseresultaten in Bq/l.</u> .....	19
<u>Tabel A-1 Overzicht van de Basisrisicofactoren</u> .....	32

# Lijst van figuren

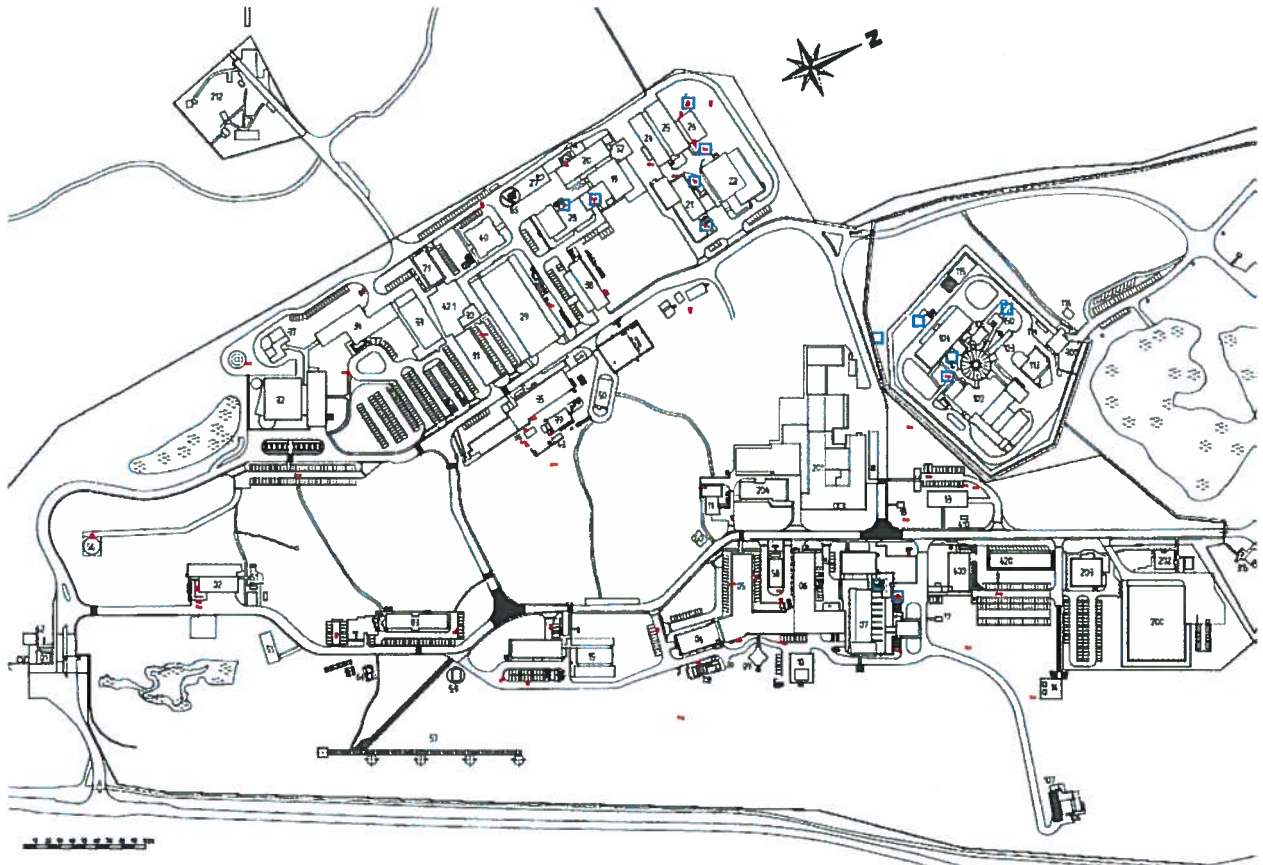
Figuur 1-1 het *Hazard and Effect Management Process* (HEMP) model..... 8

Figuur 0-1 13 peilbuizen op Onderzoek Locatie Petten. .... 26

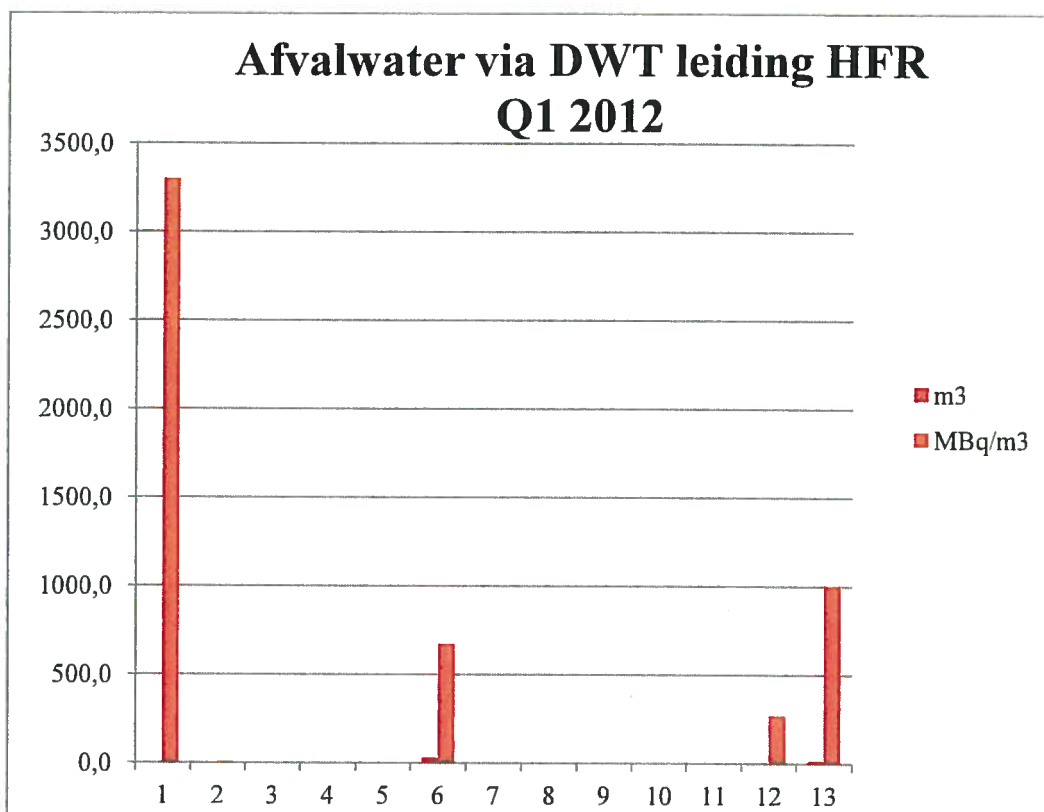
Figuur 0-2 ..... 27

Figuur A-1 Tripodmodel ..... 31

Figuur 0-1 13 peilbuizen op Onderzoek Locatie Petten.



Figuur 0-2



## Referenties

- [1] "Stralingshygiene HFR review 2001-2011" (NRG K5138/12.112826 d.d. 20 februari 2012)
- [2] "Monitoring Radionucliden in Grondwater April 2012" (NRG K5004.12/114427 d.d. 23 mei 2012)
- [3] Veiligheidstechnische specificaties van de HFR, HFR/Q/P00 NRG 21449/10.83029 rev D, 15 september 2010
- [4] Evaluatie en onderzoek afwijkingen.docx: NRG 25194.17/115250 d.d. 14 mei 2012
- [5] Inventarisatie Leidingen, putten en vloeren.xlsx: NRG 25194.17/ 115251 d.d. 5 juli 2012
- [6] Aanbieding melding verhoogde tritium concentratie in het grondwater: 114539 d.d. 25 mei 2012



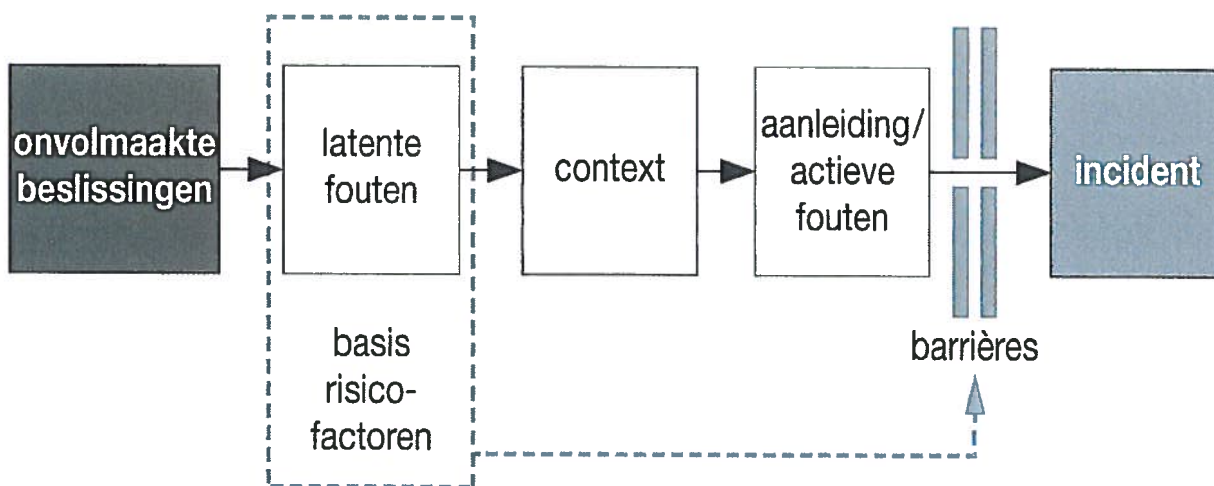


## 0 Tripod methodiek

De Tripod methodiek is met financiële steun van Shell ontwikkeld door de universiteiten van Leiden en Manchester. De methodiek schenkt aandacht aan de invloed van management en cultuur op de totstandkoming van ongevallen. Meer dan 70% van de ongevallen kennen voor een belangrijk deel een directe oorzaak in menselijk falen. Beleid dat direct gericht is op het beïnvloeden van menselijk handelen blijkt echter niet de meest duurzame en effectieve manier om ongevallen te voorkomen. Menselijk falen wordt namelijk veroorzaakt door de omgeving (context) waarin mensen hun werkzaamheden verrichten.

De Tripod methodiek maakt onderscheid tussen het incident, de directe oorzaken (menselijke en technische fouten), de context waarin de kans op deze fouten groter was, en de latente fouten (verborgen organisatorische gebreken) die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van die context (zie Figuur 0-1).

Figuur 0-1 Tripodmodel



Op basis van wetenschappelijk onderzoek worden binnen Tripod elf typen latente factoren onderscheiden (zie Tabel 0-1).

Tabel 0-1 Overzicht van de Basisrisicofactoren

<b>Branche-specifieke BRF's</b>	<b>Generieke BRF's</b>	<b>Mitigatie BRF</b>
Ontwerp	Procedures	Beschermingsmiddelen
Materiaal & middelen	Training & opleiding	
Onderhoud	Communicatie	
Orde & netheid	Tegenstrijdige doelstellingen	
Omgevingsfactoren	Organisatie	

Deze elf latente factoren worden de “basisrisicofactoren” (BRF's) genoemd. Tien BRF's zijn gericht op het voorkomen van ongevallen, de zogenaamde preventie BRF's. De preventie BRF's kunnen worden onderverdeeld in branche specifieke- en generieke factoren. De elfde BRF heeft geen invloed op het ontstaan van ongevallen. Deze is gericht op het beperken van de consequenties van een ongeval, de zogenaamde mitigatie BRF.

Het doel van Tripod is het identificeren van BRF's die de grootste bijdrage leveren aan het ontstaan van ongevallen. Door het verbeteren van deze factoren kan een reeks ongevallen worden voorkomen. De latente factoren (condities die door de organisatie geboden worden) zijn altijd aanwezig en daardoor controleerbaar. Om deze reden is de Tripod methodiek zowel prospectief als reactief inzetbaar.

## Verschillende Tripod instrumenten

Voor het identificeren en categoriseren van zwak ontwikkelde basisrisicofactoren zijn verschillende instrumenten ontwikkeld. In deze bijlage zijn de Tripod instrumenten globaal beschreven en toegelicht.

### 0.1.1 TRIPOD ACCIDENT INVESTIGATION AND ANALYSIS QUICK SCAN (TRIQ)

TRIQ is een reactief toepasbaar instrument waarmee BRF's die bijgedragen hebben aan het ontstaan van een ongeval kunnen worden geïdentificeerd en gecategoriseerd. Het instrument is gebaseerd op gidswoorden.

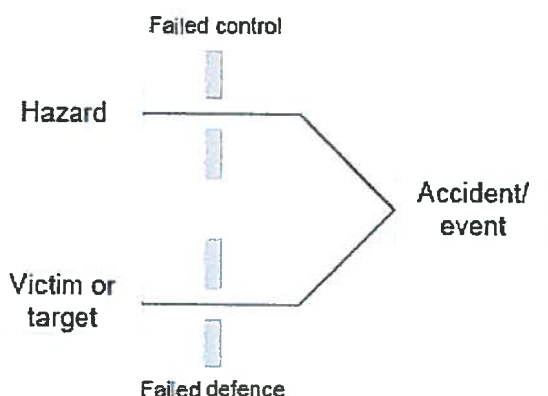
### 0.1.2 TRIPOD ANALYSIS AND CATEGORIZATION KIT (TRACK)

TRACK is net zoals TRIQ ontwikkeld voor ongevallenonderzoek. TRACK faciliteert het onderzoek op basis van twee vragenlijsten. De eerste vragenlijst is bedoeld voor het identificeren van de directe oorzaken. Deze directe oorzaken zijn de menselijke of technische fouten die zijn opgetreden als gevolg van zwak ontwikkelde BRF's.

Op basis van de tweede vragenlijst worden de geïdentificeerde directe oorzaken gerangschikt onder de latente factoren van de betreffende BRF. Eindresultaat van de analyse is een BRF profiel, aangevuld met een lijst van geïdentificeerde directe oorzaken en de onderliggende latente factoren.

### 0.1.3 TRIPOD BETA

Tripod Beta is een menugestuurd software-instrument waarmee onderzoekers in staat zijn om een elektronische boomstructuur te creëren van een ongeval. Binnen het instrument worden twee verschillende modellen gebruikt. Het gaat hierbij om het HEMP (*Hazard and Effect Management Process*) model en het Tripod model. Het eerste model (zie Figuur 0-2) wordt gebruikt om inadequate, afwezige of falende beheersmaatregelen en beschermingmiddelen te identificeren. Dit model wordt het *Hazard, Event en Target* (HET) diagram genoemd.



Figuur 0-2 The Hazard and Effect Management Process (HEMP) model

Na de identificatie van een inadequate, afwezige of falende barrière wordt op basis van het Tripod model (zie Figuur 0-1) de latente factor bepaald. Een inadequate, afwezige of falende barrière wordt dus als een afzonderlijk incident gezien.

# Verzendlijst

# **Bijlage 4**

# Onderzoek tritium in grondwater, Identificeren en elimineren van oorzaken

Rapportage periode juli -september 2012

**Vertrouwelijk**

In opdracht van de Reactormanager

rev. nr.	datum	Omschrijving
B	14-9-2012	Na verwerking van commentaar
A	11-9-2012	1 <sup>e</sup> concept voor intern commentaar

auteur(s):

reviewed:

goedgekeurd:

referentienr.: 25194.17 / 12.116060 rev B

56 pages 14-9-2012





# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave		3
Samenvatting		5
Inleiding		9
1	Achtergrond	11
2	Tritiumproject	13
2.1	Doel	13
2.2	Opzet van het onderzoek	13
2.2.1	Hypothese 1	13
2.2.2	Hypothese 2	13
2.2.3	Overige oorzaken	14
2.3	Uitvoer van het onderzoek	14
2.3.1	Peilbuismonsters	14
2.3.1	Condenswater van airco's	15
2.3.2	Inspecties	15
3	Resultaten	17
3.1	Peilbuizen	17
3.2	Resultaten Hypothese 1	18
3.2.1	Condenswater afvoer van airco's	18
3.2.2	Inspectie op lekkage	19
3.2.3	Spill incidenten	20
3.3	Resultaten Hypothese 2	22
3.3.1	Literatuur	22
3.3.2	Tritiumaanvoer en verspreiding op het HFR terrein	22
3.3.3	Relatie met meteorologie	24
3.3.1	Luchtafvoer via lucht behandel gebouw HFR	25
3.4	Overige oorzaken	25
3.4.1	Aanvullende theorieën	25
3.4.2	Bemonstering en analyse	26
4	Conclusies	28



4.1.1	Samenvatting belangrijkste resultaten:	28
4.1.2	Discussie	30
4.1.3	Implicaties voor vervolgonderzoek	31
4.2	Eindconclusie	32
5	Uitgevoerde acties	34
Lijst van tabellen		37
Lijst van figuren		44
Referenties		51
Bijlage A	Lijst met gebruikte afkortingen	54
Verzendlijst		56

## Samenvatting

In dit tussenrapport wordt verslag uitgebracht over het onderzoek naar de verhoogde concentratie tritium in het grondwater van peilbuis HGW-2 op het HFR terrein in Petten. Deze waarneming maakt deel uit van het monitoringprogramma 'Radionucliden in grondwater' dat actief is sinds juni 2010 [3]. Dit monitoringprogramma omvat een meetnet van 13 peilbuizen verspreid over de onderzoek locatie Petten. In de peilbuis van HGW-2 zijn vaker verhoogde tritium waarden waargenomen maar geen andere radionucliden.

Naar aanleiding van de verhoogde waarde aan tritium is een projectteam opgericht met de opdracht om de oorzaak te identificeren en deze zo mogelijk te elimineren. Het doel van dit project is om vast te stellen welke bron(en) hebben bijgedragen aan de verhoging van het tritiumgehalte in peilbuis HGW-2. Gedurende het onderzoek zijn peilbuizen bij geplaatst waar hogere waarden in werden aangetoond dan initieel gevonden werden op HGW-2. Om deze reden is de scope uitgebreid met de taak de uitgebreidheid te bepalen van het gebied waarin de verhoging voorkomt.

Dit rapport is het tweede tussenrapport, het eerste tussenrapport is op 15 juli 2012 is opgeleverd. Een eindrapport wordt opgeleverd indien de oorzaak van de hoge tritiumactiviteit concentraties in het grondwater kunnen worden verklaard.

De volgende conclusies zijn tot nu toe getrokken:

- De tritiumactiviteits concentraties in het grondwater op het HFR terrein laten een afnemende trend zien op alle peilbuislocaties,
- In geen van de grondwatermonsters zijn andere radionucliden aangetoond dan tritium,
- Hoge waarden Bq/l in het grondwater in de peilbuizen op het HFR terrein zijn niet afkomstig van tritium neerslag uit de omgevingslucht,
- Er zijn geen aanwijsbare recente lekkages vastgesteld aan installaties die de hoge tritiumactiviteit in grondwater kunnen verklaren,
- Een mogelijke oorzaak lijkt het spill incident in de monitorruimte van het PPG. Deze heeft in januari 2004 plaatsgevonden,
- De monsternamen en analyse van de grondwatermonsters voor de bepaling van tritium zijn voldoende geborgd en reproduceerbaar en daarmee geschikt om het tritiummonitoringprogramma uit te voeren.





## Inleiding

In dit tussenrapport wordt verslag uitgebracht over het resultaat van het onderzoek naar de verhoogde concentratie tritium in grondwater op peilbuis HGW-2 van het HFR terrein in Petten. Op 25 nov 2011 is een waarde van 29 Bq/l vastgesteld in het grondwater van deze locatie. De schriftelijke melding aan de KFD is op 16 januari 2012 gedaan [1]. Vervolgens werd op 19 april 2012 een waarde van 228 Bq/l vastgesteld in het grondwater van deze locatie. De schriftelijke vervolgmelding aan de KFD werd gedaan op 25 mei 2012 [2]. Deze laatste waarneming is uitgevoerd in het kader van het monitoringprogramma 'Radionucliden in grondwater' dat actief is sinds juni 2010 [3]. Dit programma bemonstert het grondwater uit een meetnet van 13 peilbuizen verspreid over de onderzoek locatie Petten. De frequentie waarmee wordt gecontroleerd is één maal per jaar. In de peilbuis van HGW-2 zijn vaker verhoogde tritium waarden waargenomen maar geen andere radionucliden.

De VTS [4] voorziet op dit moment niet eenduidig in een specificatie voor activiteit concentratie in grondwater. De vrijstellingsgrenzen voor vergunningplicht bedragen voor tritium  $1 \text{ MBq/g} = 1 \text{ GBq/liter}$  en  $1 \text{ GBq}$  totaal. Voor lozen in de bodem is de vrijstellingsgrens:  $10^{-6} \text{ Re}_{\text{ing}}/\text{j} = 56 \text{ kBq/j}$ . De EU grenswaarde voor tritium in drinkwater is  $100 \text{ Bq/liter}$ .

Naar aanleiding van de verhoogde waarde van 19 april 2012 is een projectteam opgericht met de opdracht om de oorzaak te identificeren en deze zo mogelijk op te heffen. Het doel van dit project is om vast te stellen welke bron(nen) hebben bijgedragen aan de verhoging van het tritiumgehalte in peilbuis HGW-2. Vervolgens werden preventieve of corrigerende maatregelen gedefinieerd om de aanwezigheid van tritium respectievelijk te voorkomen of te minimaliseren. Om een zo breed mogelijk kennisgebied te omvatten is het projectteam onder andere opgebouwd uit de disciplines stralingshygiëne, chemie, engineering en veiligheidskunde.

Dit rapport beschrijft alle activiteiten en resultaten om de oorzaak van de verhoging van tritium in het grondwater te verklaren. In hoofdstuk 1 wordt de achtergrond beschreven. In hoofdstuk 2 wordt het doel van het project beschreven en geeft uitleg welke onderzoeksopzet is gebruikt voor het herleiden van de oorzaak. Onderzocht is welke bronnen en lekpaden mogelijk aanwezig zouden kunnen zijn. Ook wordt een korte uitleg gegeven welke middelen zijn ingezet zoals extra analyses, peilbuizen en referentie monsters. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van het onderzoek tot nu toe (metingen trends oorzaken identificaties). Tot slot volgen in hoofdstuk 4 de conclusies. In hoofdstuk 5 staat een overzicht van de genomen acties en maatregelen om de oorzaak weg te nemen of te minimaliseren.



# 1 Achtergrond

Het HFR monitoringprogramma 'Radionucliden in grondwater' dat actief is sinds juni 2010 [3] is ingericht naar een aanbeveling van de IAEA[10]. Om een beeld te krijgen van de tritiumactiviteit concentraties in de afgelopen jaren, zijn deze in een tijdlijn verwerkt, zie Figuur 2. In deze figuur zijn vier perioden te onderscheiden:

1. De periode van 1 juni 2010 tot en met 6 september 2010. In deze periode werd een verhoogde activiteit in het grondwater aangetoond op peilbuislocatie HGW-2. De verhoging van de activiteit werd toegeschreven aan een losgeschoten hydrofoorslang. Van dit incident wordt verder verslag gedaan in paragraaf: 0.
2. De periode vanaf 6 september 2010 tot en met 25 november 2011. In deze periode zijn geen metingen uitgevoerd. Het resultaat op 6 september was  $<10\text{Bq/l}$ , de meting van 25 november maakte deel uit van het monitoringprogramma.
3. De periode 25 november 2011 tot en met 19 april 2012. In deze periode werd een verhoogde tritiumactiviteit, met een dalende trend, in het grondwater vastgesteld. Deze aanwezigheid van tritium werd toegeschreven aan condenswater uit een airco dat dichtbij peilbuis HGW-2 in de grond liep.
4. De huidige periode van af 19 april 2012 tot en met september 2012. In het grondwatermonster dat op 19 april werd genomen van peilbuis HGW-2 werd een tritiumactiviteits concentratie van  $228\text{ Bq/l}$  aangetoond waarmee de dalende trend werd doorbroken. Dit was aanleiding om in een breder verband te onderzoeken wat de oorzaak van deze verhoging was.





## 2 Tritiumproject

### 2.1 Doel

Het doel van het project is om vast te stellen welke bron(nen) bijgedragen aan de verhoging van het tritiumgehalte in de grondwaterpeilbuizen op het HFR terrein. Vervolgens dienen preventieve of corrigerende maatregelen te worden gedefinieerd en uitgevoerd om de aanwezigheid van tritium respectievelijk te voorkomen of te minimaliseren.

### 2.2 Opzet van het onderzoek

De hoofdvraag bij dit onderzoek is het kunnen verklaren waarom in het grondwater een verhoogde tritium activiteit concentratie wordt aangetoond. Om dit te kunnen verklaren zijn de volgende hypothesen onderzocht:

- Er lekt tritiumhoudende vloeistof uit een onderdeel van de HFR installatie,
- Er is een mechanisme dat tritium van buiten de HFR het grondwater inbrengt.

#### 2.2.1 Hypothese 1

Voor het bewijzen van de eerste hypothese is een lijst opgesteld met mogelijke bronnen en lekpaden. Door visuele inspectie is vastgesteld of lekkage heeft plaatsgevonden. Er was al vastgesteld dat het condens van airco's tritiumactiviteit bevat, deze inventarisatie is uitgebreid. Verder is nagegaan of er in het verleden incidenten hebben voorgedaan waarbij 'tritium spill' naar de omgeving heeft plaats gevonden.

#### 2.2.2 Hypothese 2

Voor de tweede hypothese is literatuuronderzoek uitgevoerd. Er is gezocht naar mechanismen hoe tritium zich kan verspreiden in de omgeving van een reactor. Om een idee over de verspreiding van tritium in de omgeving te krijgen zijn aanvullende testen uitgevoerd:

- Tritiumanalyse van het water uit de meertjes in de buurt van de HFR,

- Referentiemetingen aan airco's en luchtbehandelingssystemen op afstand van de HFR,
- Tritiumanalyse van regenwater terplekke van de HFR in vergelijking met regenwater op 30 km afstand van de HFR,
- De relatie onderzoeken van de tritiumconcentratie in de grondwatermonsters en de hoeveelheid neerslag.

### 2.2.3 Overige oorzaken

Verder zijn twee ideeën uitgewerkt die een eventuele relatie met de verhoogde waarneming aan tritiumactiviteits concentratie in het grondwater van de peilbuizen hebben:

- De afvalwatertransporten van het primair pomp gebouw naar het gebouw van waste treatment;
- De waarneming van verhoogde tritiumlozing in de uitgaande lucht van het luchtbehandelingsgebouw ten tijde van de demontage van het Libretto experiment.

Als laatste zijn de monsternamen en analyse methode geëvalueerd om onjuistheden in deze procedures uit te sluiten.

## 2.3 Uitvoer van het onderzoek

### 2.3.1 Peilbuismonsters

Vanaf de start van het onderzoek op 11 mei 2012 zijn de tritium analyses in het grondwater van de aanwezige peilbuizen verhoogd naar één maal per twee weken in plaats van één maal per jaar. Dit is gedaan om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de concentraties in de tijd. Later zijn extra peilbuizen bij geplaatst om meer informatie te krijgen over de verspreiding van tritium op het HFR terrein.

Figuur -1 geeft het overzicht van de locatie van de peilbuizen op het HFR terrein. De in de figuur aangeduide peilbuizen HGW (0 t/m 4) worden in het jaarlijks monitoringprogramma [3] gecontroleerd. De positie van deze buizen is zo gekozen ten opzichte van gebouwen en de stromingsrichting van het grondwater dat lekkage uit de gebouwen kan worden aangetoond in het grondwater. Deze evaluatie is uitgevoerd in [5]. HGW 0 is bedoeld als nul meting, deze ligt stroomopwaarts voor de bebouwing. Vanaf de start van dit onderzoek zijn ook peilbuizen 18 en 20 meegenomen in de tritium analyses. Deze liggen stroomafwaarts ten opzichte van HGW-2. De eerste monsters zijn genomen op 30 mei 2012.

Op 12 juli zijn de peilbuizen 1001 t/m 1003 bijgeplaatst en liggen stroom afwaarts van de hierboven genoemde peilbuizen. Deze drie nieuwe peilbuizen zijn geslagen om een gedetailleerder beeld te krijgen in het gebied tussen peilbuizen HGW-18 en HGW-20 en het lucht behandelingsgebouw. Op 22 augustus zijn peilbuizen 1014 en 1015 geplaatst om een gedetailleerder beeld te krijgen in het gebied tussen de HFR en peilbuizen 1001 en 1002.

De hierboven beschreven peilbuizen hebben een diepte tussen 3,5 en 4,5 meter diep vanaf het maaiveld. Locatie 1014 en 1015 hebben naast de bovengenoemde diepte een extra peilbuis tussen de 6,5 en 7,5 meter onder het maaiveld. Hier is voor gekozen om eventuele lekkages uit dieper gelegen delen van de HFR installatie te kunnen vaststellen.

### **2.3.1 Condenswater van airco's**

In januari 2012 werd bekend dat het condenswater van de airco van 'cel 8 PPG' 5 a10 kBq/l tritiumactiviteit had. Dit werd aangemerkt als veroorzaker van de hoge activiteits concentraties op HGW-2. Om deze reden lag de eerste focus op het direct voorkomen van ongecontroleerde afvoer van tritium houdende vloeistoffen uit de HFR gebouwen. De airco's op het HFR terrein zijn geïnventariseerd en het condens is verzameld en geanalyseerd op tritiumactiviteit, zie [Figuur 3](#). Op 15 juni is gestart met het gecontroleerd opvangen en afvoeren van condenswater uit airco's naar de warmdrain.

### **2.3.2 Inspecties**

Voor het vaststellen van eventuele lekkages is vooraf een lijst opgesteld met putten, leidingen en tanks, zie [Tabel 1](#) en [Figuur 5](#). De onderstreepte cijfers uit tabel 1 corresponderen met cijfers in figuur 5.

Door middel van inspecties is vastgesteld of betreffende put, tank of leiding heeft kunnen lekken. Daar waar installaties niet visueel beoordeeld konden worden is gecontroleerd of lekdetectiesystemen zijn aangesproken.



## 3 Resultaten

### 3.1 Peilbuizen

Gedurende dit onderzoek is frequentie van één maal per twee weken het grondwater geanalyseerd op tritiumactiviteit. Dit is gedaan om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de concentraties in de tijd. Een overzicht van alle tritiumactiviteits metingen in het grondwater is gegeven in

Tabel 2. De locaties van deze peilbuizen staan in Figuur -1. Als algemene trend geldt dat de activiteits concentraties sinds de waarneming op locatie HGW-2 van 19 april 2012 op alle peilbuis locaties dalen. In het lage concentratiegebied schommelt de tritiumactiviteit tussen de <10 Bq/l en 17 Bq/l. Met een analyseonzekerheid in dit meetbereik van  $\pm 3$  Bq/l blijft over. Het is onduidelijk of deze afname een seizoens gebonden gevolg is of dat dit komt door het stoppen van aanvoer van condenswater met tritium sinds 18 januari dichtbij HGW-2 en 15 juni voor alle overige condenswaterafvoerleidingen.

De hoogste waarneming is op dit moment op locatie HGW-1014, 24 augustus op een diepte van 7 meter, 12913 Bq/l. De waarde op 11 september op deze diepte is 12045 Bq/l. Deze hoge waarde op deze diepte kan onmogelijk afkomstig zijn van condenswater van airco's. Een waarde van 12913 Bq/l is een honderdste deel van bassinwater dat een tritiumactiviteits concentratie van 1 MBq/l heeft.

Aangezien de eerste tritiumactiviteits concentraties op locaties HGW 1001 en 1002 hoog waren, zijn op de volgende monsters ook gammaspectrometrische analyses uitgevoerd. Het idee was dat indien de hoge concentraties afkomstig zijn van een lekkage uit het bassin dit mogelijk terug te zien is in de gamma-analyse. In

Tabel 2 zijn op de monsters gemarkeerd met een \* gammaspectrometrische analyses uitgevoerd. In geen van de monsters zijn radionucliden aangetoond. Dit kan meerdere oorzaken hebben. Het kan zijn dat er in geen geval gamma radionucliden in het grondwater aanwezig waren of de aanwezige radionucliden waren kortlevend en dus vervallen op het moment van analyse. Een andere mogelijkheid is complexvorming van radionuclide met organische componenten in de bodem. Tritium bezit dit vermogen niet en wordt meegevoerd door de grondwaterstroom waar andere radionucliden worden gefixeerd in de bodem. Om deze reden kan niet geconcludeerd worden dat het water afkomstig is uit één van de bassins.

## 3.2 Resultaten Hypothese 1

### 3.2.1 Condenswater afvoer van airco's

In januari 2012 werd vastgesteld dat de condenswaterafvoerleiding van de airco van 'cel 8 PPG' rechtstreeks op het terrein afvoerde. Dit was op enkele meters van de peilbuis HGW-2. Het condenswater van deze afvoer bevatte 5 a 10 kBq/l. Dit werd als verklaring gezien voor de verhoogde tritium concentraties welke werden waargenomen in het grondwater van HGW-2 in de monsters van november en december 2011. De afvoer is op 18 januari 2012 op de warmdrain afvoer gemonteerd.

In dit onderzoek zijn alle condensafvoeren van het luchtbehandelingsgebouw en PPG in kaart gebracht. Een aantal is onderworpen aan een tritiumanalyse. De rode cijfers in [Figuur 3](#) corresponderen met de labels uit waar de resultaten van de tritiumanalyse in condenswater staan vermeld. In kantoorgebouw 102 staat in de kamer van het secretariaat een airco, de afvoer is op het riool gemonteerd. Op de eerste verdieping van gebouw 102 staan in kamers 106 en 107 een gezamenlijke airco deze airco loost op het dak en loopt vervolgens weg via de regenwater afvoer. De airco's van de Dacos PC ruimte naast de regelkamer lozen op het riool. Op 15 juni is opdracht gegeven het condenswater van alle airco's op te vangen en af te voeren naar de 'warm drain'.

Het tritium dat in het condenswater wordt aangetoond is afkomstig uit de lucht binnen de gebouwen. Het condenswater van de airco uit 'cel 8 PPG' bevatte 5 a 10 kBq/l. Deze hoge waarden worden veroorzaakt door de warmtewisselaar die in deze ruimte staat opgesteld. Het condenswater van de airco's uit de niet radiologische zones in het PPG; laagspanningsruimte(1), verdeler ruimte(2) en accuruimte(3) hebben een alle drie een vergelijkbaar concentratie niveau tussen de 25 en 75 Bq/l. Het condenswater uit de airco van het secretariaat van de HFR, heeft de laagst gemeten waarden, 16 en 29 Bq/l. Het secretariaat ligt verder weg van de reactorhal en heeft geen actieve luchtverversing. Rekening houdend met de variatie in de vraag naar koele lucht en luchtwisselingen per dag, kan uit deze gegevens geconcludeerd worden dat tritiumhoudende lucht zich verplaatst door de gebouwen.

De hoogste waarnemingen zijn gedaan in het condenswater van het luchtbehandelingsgebouw en in de regelkamer. Respectievelijk 317 Bq/l en 1205 Bq/l. Voor beide installaties geldt dat buitenlucht wordt ingenomen. Het tritium dat in het condenswater wordt aangetoond is mogelijk van natuurlijke afkomst. In paragraaf 3.3.2. wordt hier verder op in gegaan.

### 3.2.2 Inspectie op lekkage

De resultaten van de inspecties aan tanks, leidingen, vloeren en putten staan in Tabel 1. De onderstreepte cijfers verwijzen naar Figuur 5.

Het resultaat van de inspectie van de DWT leiding (nr. 10) van de put naar het DWT gebouw staat beschreven in paragraaf 3.4.1. Het leiding deel (nr. 44) van de pomp put (nr. 18) naar de pomp put (nr. 10) moet nog gecontroleerd worden. Dit gebeurt door het leidingdeel op druk te brengen. Deze procedure zal ook worden toegepast voor de spoelleiding (nr. 22) van het bassin naar de opslag tanks (nr. 21).

Tank A, B en C (nr. 12 & 14) konden niet worden geïnspecteerd omdat ze zijn ingegraven in de grond. De tanks zijn voorzien van detectie systemen om overstromingen vast te stellen. Navraag wees uit dat de afgelopen twee jaar deze alarmen niet zijn aangesproken. Voorgaande jaren zijn deze alarmen enkele malen actief geweest, dit was alleen tijdens hevige regenval. Ook de dupervaten (nr. 15) konden niet worden geïnspecteerd. Dit zijn opslagvaten voor demiwater en vormen geen risico voor tritium verspreiding.

Op vloer van de begane grond ter hoogte van het loodkasteel van het PRS zijn kleine hoeveelheden vocht gemeld in de orde van milliliters (nr. 26 & 27). De wand vertoont enige scheurtjes en leksporen. Om de oorzaak van deze lekkage te verklaren zijn de leidingen van de overloopgoot van het bassin geïnspecteerd met een flexibele camera. Bij deze inspectie zijn geen lekken in de afvoerleidingen waargenomen, de scheurtjes in de wand zijn niet verklaard.

Gezien de hoeveelheid tijd die nodig was voor het schoonmaken van de putten in het PPG resteerde er geen tijd voor het inspecteren van de putten in de HFR. De putten in de HFR met de nummers 30 t/m 31 en 40 t/m 41 worden in de periode september, oktober geïnspecteerd.

In de monitorruimte van het PPG werd vastgesteld dat eventueel lekwater uit de meetopstellingen niet direct wordt opgevangen. Dit lekwater kan via kabel doorvoeren naar de onderliggende kruipruimte weglekken. Lekkage heeft hier plaatsgevonden, dit staat beschreven in de volgende paragraaf.

Op deze laatste vaststelling na zijn geen aanwijsbare of vermoedelijke lekkages aangetoond die in verband kunnen worden gebracht met de verhoogde tritium activiteitconcentraties in het grondwater.



### 3.2.3 Spill incidenten

#### Lekkage monitoringruimte PPG

Op 20 januari 2004 is een lekkage van primair water waargenomen in de monitoringruimte van het PPG. Dit incident is vastgelegd in POS B2004/2. Deze lekkage was afkomstig van de splijtingsproductmonitor. Na een visuele inspectie is een bajonetaansluiting niet goed terug geplaatst. Hierbij is geschat dat tussen de 100 tot 500 liter primair water de kruipruimte van het PPG is ingelopen. Primair water heeft een gemiddelde tritiumactiviteits concentratie van  $2 \text{ GBq/m}^3$ . De totale tritium activiteit bij 500 liter is dan  $1 \text{ GBq}$ . Na 8,5 jaar is door verval  $0,6 \text{ GBq}$  totale activiteit respectievelijk  $1,2 \text{ MBq/l}$  concentratie over. Indien de 500 liter primair water volledig is opgenomen door het grondwater dan ondervindt dit een verdunning door de continue aanvoer van nieuw grondwater. Voor verplaatsingssnelheden op het HFR terrein van het grondwater kan 5 meter per jaar worden aangehouden [6]. Het watervolume in een kubieke meter grond is globaal 250 tot 300 liter. Wordt deze verdunning in het jaarlijkse verval meegerekend in de vervalformule, dan resulteert dit in een activiteits concentratie van circa  $36 \text{ kBq/l}$ . De activiteitsconcentratie op locatie HGW-1014 was op 22 augustus 2012  $1,1 \text{ kBq/l}$  en  $13 \text{ kBq/l}$  op respectievelijk 4 en 7 meter diepte. De afstand hemelsbreed van de plaats van de lekkage naar peilbuis HGW-1014 is 35 meter. Met een verplaatsing van grondwater van 5 meter per jaar komt het front van deze spill daar na 7 jaar. De afstand hemelsbreed van de plaats van de lekkage naar peilbuis HGW-1002 en HGW-1001 is 95 meter. Het front van de spill zou dan pas na 19 jaar bij deze peilbuizen aankomen. Met een verplaatsings snelheid van groter dan 12 meter per jaar kan het front wel deze peilbuizen bereiken. Deze verdubbeling lijkt onwaarschijnlijk maar in [6] zijn grondwaterverplaatsingen ter hoogte van het HCL vermeld van 40 tot 80 meter per jaar. Hogere waarden voor grondwater verplaatsing zijn ook aannemelijk in de buurt van fundamenten en heipalen. Ondanks dat de geschatte grondwater verplaatsingen 5 meter per jaar zijn, kan het mogelijk zijn dat de hoge waarden op peilbuislocaties HGW-1001, 1002 en 1014 afkomstig zijn van de spill in de monitorruimte. Kanttekening bij deze mogelijkheid is dat de activiteitconcentraties op bovengenoemde locaties op dit moment een snel dalende trend laten zien.

### Losgeschoten hydrofoorslang

Op 2 mei 2010 werd geconstateerd dat er drinkwater in de kelder van de reactorhal stond. De oorzaak was een losgesprongen slangkoppeling van het hydrofoor-water dat werd gebruikt bij booractiviteiten tijdens de BPL reparatie. Dit incident is gerapporteerd aan de KFD in [7].

Het water dat op de vloer in de kelder kwam werd verplaatst via tanks en warmdrainleidingen naar het Zwanenmeer in het PPG. Het niveau van het water in het Zwanenmeer is visueel gecontroleerd om zeker te stellen dat geen lekkage naar buiten optrad. Binnen de onzekerheid van deze visuele waarneming werd een hoeveelheid lekwater geschat op 'enkele tientallen' liters. Hoe groot de factor verdamping heeft bijgedragen is onbekend. Het is waarschijnlijk dat tijdens het verpompen tritium vanuit het leidingensysteem aan het hydrofoor-water is toegevoegd. Na de tijdelijke opslag in het Zwanenmeer is het water afgevoerd naar het DWT waar het werd opgeslagen in een speciale tank. Een monster uit deze tank bevatte op 9 september 2010 een tritiumactiviteits concentratie van 6,1 kBq/l.

In de eerste resultaten op locatie HGW-2 van het monitoringprogramma 'Radionucliden in grondwater'[3] werd in juni 2010 een verhoogde tritiumactiviteit concentratie vastgesteld van 32 Bq/l. Vervolgens is in de periode juni tot en met september 2010 sprake geweest van lage tritiumactiviteit in het grondwater van locatie HGW-2. In het monster van 6 september 2010 was de concentratie <10 Bq/l, zie Figuur 2. Met deze vaststelling werd aangenomen dat de verhoogde waarnemingen op locatie HGW-2 gerelateerd konden worden aan het lekwater uit het Zwanenmeer en dat dit volledig verdund was met het grondwater en dus niet meer aantoonbaar.

De funderings diepte van het zwanenmeer is 9,25 meter onder het maaiveld. De peilbuis ligt op 10 meter horizontale afstand vanaf het midden van het Zwanenmeer en bevindt zich stroomopwaarts van het punt van lekkage. Een spil van 50 liter water met een concentratie van 6,1 kBq/l op een diepte van 9,25 meter is waarschijnlijk niet de oorzaak geweest van de bovengenoemde waarden in het grondwater van HGW-2.

## 3.3 Resultaten Hypothese 2

### 3.3.1 Literatuur

In januari 2007 gaf de *Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC)* opdracht tot het uitvoeren van een onderzoek naar tritiumvrijzetting in Canada. Doel van dit initiatief is het krijgen van inzicht in tritiummigratie en tritiumvrijzetting ter onderbouwing van regelgeving. Referentie [8] geeft een overzicht van literatuur over de verspreiding van tritium in de atmosfeer en de verplaatsing van tritium uit de lucht naar de grond en grondwater. In hoofdstuk 3 wordt het mechanisme beschreven hoe tritium uit de lucht zich kan verplaatsen naar de grond. De grootste bijdrage wordt geleverd door tritiumdamp uitwisseling en neerslag. In hoofdstuk 5 wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de verspreiding van tritium concentraties in lucht, aarde en grondwater. Dit onderzoek is uitgevoerd op het terrein van SRB Technologies in Ottawa. Tijdens het onderzoek bedroegen de jaarlozingen tritium naar de lucht in 2005 en 2006 respectievelijk 270000 en 74000 GBq / jaar. Grondmonsters werden binnen een straal van 100 m rond de schoorsteen genomen. Aanvullend werden verzamelmonsters genomen van regenwater dat van de schoorsteen afdroop. De gemiddelde waarden van dit water varieert tussen 2.3 MBq/l en 3 kBq/l. De waarden van de tritiumactiviteitsconcentratie in het grondwater van 33 peilbuizen varieerde van 100 tot 58000 Bq/l. Conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Tritium vanuit een luchtafvoer (schoorsteen) veroorzaakt aanwezigheid van tritium in de grond en grondwater,
- In dit proces doen zich vertragingstijden voor gezien de variatie in parameters die van invloed zijn.
- Uit het overzicht van de monsterlocaties blijkt dat in de nabijheid van de schoorsteen hogere concentraties tritiumactiviteit voorkomen. Op korte onderlinge afstanden zijn grote concentratieverschillen te zien.

Een belangrijke aanbeveling uit de studie is om de tritiummonitoring in lucht, grond en grondwater te continueren om inzicht te krijgen in de verdeling en vertragingstijden en voor het juist kunnen beoordelen van dosis schattingen en veiligheidsbeoordelingen.

### 3.3.2 Tritiumaanvoer en verspreiding op het HFR terrein

Zoals besproken in bovenstaande paragraaf zijn tritiumdampuitwisseling en neerslag de belangrijkste processen waarop tritium in de bovenste aardlaag kan komen. Vanaf deze plek migreert het naar diepere lagen. Voor de situatie op het HFR geldt dat het DWT en de HFR de grootste tritiumlozing naar de lucht

zorgen. Voor 2012 geldt respectievelijk gemiddeld 1 GBq, en 5,5 GBq/week. De bijdrage van het HCL is 0,2 GBq/week. Het HFR complex ligt fysiek in de dominante windrichting van het DWT. Er is dus een continue aanvoer tritium in de lucht richting HFR waarbij opgemerkt moet worden dat er tal van parameters een rol spelen die van invloed zijn op migratie naar de grond. Naast dominante windrichting en type neerslag zijn hoogte en uitstootsnelheid uit de schoorsteen, topografische micro-effecten en wervelingen rondom gebouwen van invloed.

Er is onderzocht of de hoge concentraties bij locaties HGW-1001 en 1002 een verband kunnen hebben met het ketelhuis nabij deze locaties. In het grondwater van deze peilbuizen zijn de hoge tritiumactiviteits concentraties waargenomen,

Tabel 2. Bij de verbranding van het gas wordt omgevingslucht aangezogen. Tritium dat zich in deze lucht bevindt zal zich verdelen over het condens en verbrandingsgassen. De verbrandingsgassen worden in de buitenlucht afgeblazen, het condens wordt via de afvoer geloosd op het riool. Een eenmalige meting van dit condenswater gaf een tritiumactiviteits concentratie van  $<10$  Bq/l.

Een andere mogelijkheid voor de verhoging op beide locaties is dat regenwater dat vanaf het dak voor aanvoer van tritium in het grondwater zorgt. Beide locaties liggen stroomafwaarts van regenpijpen waar het regenwater de grond in loopt. Van dit verzamelde regenwater uit deze regenpijp zijn geen monsters genomen. Het is niet duidelijk of een concentratie van 7,8 kBq / liter in het grondwater, rekening houdend met het verdunningseffect, veroorzaakt kan worden door dit verzamelde regenwater.

Voor het meertje dat tussen het HFR gebouw en het GCO gebouw in ligt, geldt dat het ook in de dominante windrichting van de HFR schoorsteen ligt. In het water van dit meertje is net als in de twee andere meertjes op het OLP terrein geen waarde boven de detectiegrens van 10 Bq/l aangetoond. De vraag kan gesteld worden of het neerslagproces als beschreven in paragraaf 3.3.1 hier dus wel op gaat. Tijdens een regenbui in juli zijn twee regenwatermonsters genomen waarbij de regen direct in een emmer is opgevangen. De emmer op het HFR terrein stond onder de pluim van de HFR schoorsteen. De andere emmer stond in Castricum 30 km ten zuiden van het HFR terrein. Beide tritiumactiviteits concentraties waren kleiner dan 10 Bq/l.

De koelinstallatie van de regelkamer betreft zijn koellucht uit de buitenlucht. Het condenswater van de airco heeft een gemiddelde van 856 Bq/l. De vraag kan gesteld worden of dit natuurlijk aanwezig tritium is of dat dit uit de directe omgeving van de reactor komt. Data van het luchtbehandelingsgebouw kan dit onderbouwen. Het condenswater van de airco van het luchtbehandelingsgebouw bevat gemiddeld 275 Bq/l. Uit een aantal schattingen is gebleken dat per uur 10 tot 12 liter condens wordt afgevoerd. Dit condens is afkomstig uit de circa 25000 m<sup>3</sup> buitenlucht die per uur wordt aangezogen en gekoeld. Indien

de buitenlucht 0,1 Bq tritium per m<sup>3</sup> bevat en al het aanwezige vocht in de lucht condenseert in deze installatie geeft dit 2500 Bq/h in circa 10 liter water. Dit komt redelijk overeen het gemiddelde 275 Bq/l. Vermoedelijk is het tritium in dit condenswater dus van natuurlijke oorsprong.

De gedachtegang om de hoge waargenomen tritiumactiviteit in het condenswater van het luchtbehandelingsgebouw te verklaren was dat lucht afkomstig uit de HFR schoorsteen direct de invoer wordt in getrokken. Om deze theorie te verifiëren zijn monsters genomen van andere luchtbehandelingsystemen van vergelijkbare omvang. De eerste twee monsters zijn genomen uit de druppelvangsters van de luchtbehandelkasten van het Jaap Goedkoop laboratorium (JGL) 200 meter ten zuidoosten van de HFR. In beide monsters werd minder dan 10 Bq/l aangetoond. De verkregen hoeveelheid condenswater was beperkt, 50 ml per kast omdat de luchtbehandelkasten van het JGL geen actieve koelinstallatie hebben. Het is niet bekend uit welk volume lucht dit condenswater afkomstig was. Twee andere monsters zouden uit de luchtbehandelkasten van het Medisch Centrum Alkmaar worden genomen. Het MCA ligt 20 km ten zuiden van de HFR. In deze kasten werd geen condenswater aangetroffen, omdat ook deze kasten niet zijn voorzien van actieve koelinstallaties.

### **3.3.3 Relatie met meteorologie**

Om de verandering van de tritiumactiviteitsconcentratie in het grondwater van de peilbuizen te verklaren is onderzocht welke relatie het weer hier mee heeft. Uit de literatuur [8] is bekend dat tritium door neerslag uit de lucht ook door dampuitwisseling in het poriewater van de eerste 10 cm van de bovengrond kan komen. Bij luchtafvoer via een schoorsteen is dampuitwisseling het dominante proces en wordt versterkt bij regen. Hierbij geldt dat lichte neerslag door de gunstigere oppervlak – inhoud relatie een groter afvangeffect heeft dan regen met grote druppels.

Voor de evaluatie is HGW-2 als locatie genomen, omdat hier het grootste aantal tritiumactiviteitsconcentratie waarden bekend van zijn. Verder geldt dat de afnemende trend van de activiteitsconcentratie geldt voor alle peilbuislocaties. Neerslaggegevens zijn afkomstig van het KNMI weerstation in Petten. Er is gebruik gemaakt van de 24-uurs neerslagsom in millimeter neerslag, de duur van de neerslag is op dit weerstation niet beschikbaar.



Figuur 4 zijn de activiteitconcentraties in het grondwater van HGW-2 en de neerslag gedurende de monitoring periode weergegeven. De gesommeerde hoeveelheid neerslag voorafgaand aan de monsternamen is weergegeven in mm. Uit deze waarden kan geconcludeerd worden dat er geen directe relatie is tussen de neerslag en de afname van de activiteitsconcentratie. De afname van 228 naar 132 Bq/l is voorafgegaan door 55,1 mm neerslag. De afname van 132 naar 93 Bq/l is slechts 2,7 mm gevallen. De afname wordt kennelijk veroorzaakt door na-ijlende effecten. Om een juiste relatie tussen afname van activiteitconcentratie en neerslag te verklaren is een grotere dataset nodig. Bovendien geldt dat er meerdere parameters en factoren van invloed zijn. Wel of geen bestrating rondom de peilbuis, aanvoer van regenafvoer van een gebouw. De duur en vorm van de neerslag speelt een rol ook in combinatie met locatie van de peilbuis ten opzichte van de schoorsteen. De waterverplaatsing die zich in de grond voltrekken zijn ook van belang. Naast de verticale verplaatsing van water naar diepere lagen, speelt ook de verdringing rond obstakels in de grond een rol.

Vooralsnog lijkt de afname van de activiteitconcentratie eenvoudiger te verklaren door grondwaterverplaatsing dan door de hoeveelheid regenval.

### 3.3.1 Luchtafvoer via lucht behandel gebouw HFR

Uit referentie [9] is bekend dat de via de schoorsteen gemiddelde in de lucht geloosde hoeveelheid tritium circa 5,5 GBq per week bedraagt. Deze afvoer is opgebouwd uit drie deelstromen. De offgas die o.a. lucht wegzuigt boven het bassin, de afvoer van de hal lucht en de afvoer van de lucht uit het primair pompegebouw (PPG). Door middel van extra metingen met een tweede 'tritiumcondensaatopstelling' worden momenteel achtereenvolgens deze deelstromen apart bemonsterd. De eerste meetresultaten leveren een globale indruk dat van de totale hoeveelheid geloosde tritiumactiviteit ongeveer 60% afkomstig is uit de PPG-deelstroom, 39% uit de offgas en < 1% uit hallucht. Deze metingen worden gecontinueerd tot een grotere dataset is verkregen.

## 3.4 Overige oorzaken

### 3.4.1 Aanvullende theorieën

Naast de voor de hand liggende ideeën zijn twee suggesties geverifieerd op een mogelijke relatie met de vaststelling van tritium in het grondwater. De eerste betreft een verhoging de tritiumconcentratie in het offgas systeem in week 30 en 31 van 2011. De oorzaak van deze verhoging waren de demontagewerkzaamheden van het Libretto-experiment in de HFR. In die genoemde weken werden

lozingen van respectievelijk 23,7 en 10,7 GBq vastgesteld tegen een gemiddelde weeklozing van 5 GBq tritium per week. Een directe relatie tussen deze verhoging van in lucht geloosde activiteit en de aanwezigheid van tritium in grondwater is moeilijk te verklaren. Dit op grond van het aantal onbekende parameters om van deze piekuitstoot in de lucht naar de aanwezigheid van tritium in het grondwater te komen. Aannemelijker is om te veronderstellen dat de al aanwezige uitstoot van 5 GBq tritium gemiddeld per week een bepaalde bijdrage levert. De extra lozingen zouden daar een verhoging in kunnen geven. Deze hypothese kan alleen beantwoord worden wanneer het monitoringsprogramma tritium in grondwater meer data oplevert.

De tweede suggestie die een bijdrage kan hebben geleverd zijn de wekelijkse afvalwatertransporten van primairpompgebouw naar het gebouw van waste treatment. Dit transport gebeurt één maal per week op vrijdag via de DWT leiding (Decontamination Waste Treatment). Een overzicht van het volume ( $m^3$ ) en activiteit (MBq) van dit afvalwater is te zien in [Figuur 6](#). De leiding ligt voornamelijk onder het maaiveld en is voorzien van een mantel om eventueel lekwater op te vangen. Controle op lekkage naar de mantel vindt wekelijks plaats door visuele inspectie op drie locaties. Lekkage is in voorgaande jaren niet waargenomen.

### **3.4.2 Bemonstering en analyse**

Voor het uitvoeren van de monitoring van radionucliden in grondwater wordt gebruik gemaakt van een bemonstering- en analysemethode. Beide methoden zijn onderworpen aan een beoordeling om de geschiktheid te bepalen. Deze evaluatie is vastgelegd in [11]. Hieronder staan de belangrijkste conclusies vermeld.

De monsternamen worden uitgevoerd volgens het VKB-protocol-2002 uitgegeven door Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (SIKB). Het protocol is afgeleid van diverse NEN normen voor bemonstering van grond en grondwater en beschrijft in detail het nemen van grondwatermonsters voor milieukundig onderzoek. De conclusie voor de bemonsteringsmethode is dat de monsternamenmethode geschikt is om een representatief monster te nemen met uitsluiting van verwisseling of kruisbesmetting.

Voor het vaststellen van het tritiumgehalte wordt de gestandaardiseerde NEN 6420 norm gehanteerd. Deelname aan ringtesten bevestigt de juistheid van de methode. Aanvullend worden bij de bepaling een aantal kwaliteitscontroles uitgevoerd. Toetsing van apparatuur besmetting wordt gedaan door blanco 's toe te voegen in de meetserie. De monsterontvangst, opslag, labeling en algemene laboratoriumhandelingen zijn voldoende om verwisseling van monsters te voorkomen.

Een extra controle op de meetmethode is in de eerste week van augustus uitgevoerd. Acht monsters zijn voor controle door het RIVM geanalyseerd. De resultaten staan in

Tabel 5. De analyseresultaten in zowel de hoge als lage concentraties komen goed overeen. Geconcludeerd kan worden dat de analysemethode voor tritiumbepaling in grondwatermonsters geschikt is en de verkregen resultaten valide zijn.



## 4 Conclusies

### 4.1.1 Samenvatting belangrijkste resultaten:

#### Peilbuis monitoring

De tritiumactiviteits concentraties op de gemonitorde peilbuizen laten een dalende trend zien. In de grondwatermonsters waar gammaspectrometrische analyse op uitgevoerd is, zijn geen andere radionucliden aangetoond.

#### Condenswater afvoer van airco's

In het condenswater van de airco's die de lucht van kantoren en PPG koelen worden concentraties tritiumactiviteit gevonden kleiner dan 75 Bq/l. Dit geldt niet voor de koelinstallatie van het luchtbehandelingsgebouw en de regelkamer. Deze betrekken buitenlucht, in dit condensaat worden waarden gevonden tussen 0,3 en 1,2 kBq/l.

#### Inspectie van putten, tanks en leidingen

Het resultaat van de inspecties tot nu toe hebben geen aanwijsbare oorzaken kunnen achterhalen.

#### Spill incidenten

Er zijn twee spill incidenten vastgesteld waar tritiumhoudend water vrij is gekomen. In mei 2010 het incident met de losgeschoten hydrofoorslang. De hoeveelheid lekwater bedraagt ten hoogste enkele tientallen liters. Een monster van dit water had een tritiumactiviteits concentratie van 6,1 kBq/l. Gezien het volume en de concentratie kan deze spill geen verklaring zijn van de verhoging in de peilbuizen. In januari 2004 vond een lekkage van primair water in de monitorruimte van het PPG plaats. De totale tritiumactiviteit van 500 liter was 1 GBq, 2 MBq/liter. Deze spill kan een mogelijkheid zijn qua volume en concentratie. Dit moet in vervolgonderzoek worden onderzocht.

#### Literatuur

In het document [8] van de Canadian Nuclear Safety Commission wordt een literatuuroverzicht gegeven over onderzoeken naar de verspreiding van tritium in de atmosfeer en de verplaatsing van tritium uit de lucht naar de grond. Conclusies in dit document zijn;

- Tritium vanuit een luchtafvoer (schoorsteen) veroorzaakt aanwezigheid van tritium in de grond en grondwater,
- In dit proces doen zich vertragingstijden voor gezien de variatie in parameters die van invloed zijn;
- Uit het overzicht van de monsterlocaties blijkt dat in de nabijheid van de schoorsteen hogere concentraties tritiumactiviteit voorkomen. Op korte onderlinge afstanden zijn grote concentratieverschillen te zien.

#### Tritium aanvoer en verspreiding op het HFR terrein

Voor de OLP geldt dat ten aanzien van luchtlozingen het DWT en HFR de grootste tritiumbronnen zijn, respectievelijk 1 en 5,5 GBq/week. In het water van de drie meertjes die verspreid over het terrein liggen, is geen tritium aangetoond boven de detectiegrens van 10 Bq/l. Dit geldt ook voor de regenwatermonsters.

De aanwezigheid van tritium in het condenswater van het lucht behandelgebouw en van de regelkamer zijn vermoedelijk van natuurlijke oorsprong.

In de condenswatermonsters van de luchtbehandelinstallatie die zijn genomen in het naburige JGL is geen tritium aangetoond. Dit komt omdat in deze installatie de lucht niet actief wordt gekoeld.

Uit het beperkte onderzoek naar de afname van de tritiumactiviteit concentratie en de relatie met de hoeveelheid gevallen neerslag is geen verband gevonden. Naast de kleine set data en het aantal onbekende parameters dat van invloed is, kan hier geen onderbouwde conclusie worden getrokken.

#### Overige resultaten

Een directe relatie met de piekuitstoot ten gevolge van de demontagewerkzaamheden van het Libretto experiment in de HFR wordt uitgesloten. In die genoemde weken werden lozingen van respectievelijk 23,7 en 10,7 GBq vastgesteld tegen een gemiddelde weeklozing van 5 GBq tritium per week.

Aannemelijker is om te veronderstellen dat de al aanwezige uitstoot van 5 GBq tritium gemiddeld per week een bepaalde bijdrage levert. De extra lozingen zouden daar een verhoging in kunnen geven.

Lekkage van de DWT-leiding wordt uitgesloten: bij wekelijkse controle van deze leiding is nooit een lekkage waargenomen.

Uit de beoordelingen van de bemonstering en analysemethode kan geconcludeerd worden dat deze beide geschikt zijn voor de tritiumbepaling in grondwatermonsters en de verkregen resultaten valide zijn.

## 4.1.2 Discussie

### Hypothese 1

Voor het onderbouwen van de hypothese dat tritiumhoudende vloeistof uit tanks, leidingen of putten lekt zijn geen aanwijzingen gevonden. Er heeft een kleine lekkage aan de wand van het bassin plaatsgevonden, bij detailonderzoek in de afvoerleidingen van de bassinoverloopleiding zijn geen defecten gevonden. Deze kleine lekkages kunnen geen oorzaak zijn van de verhoging in het grondwater.

De tritiumactiviteits concentraties in het grondwater van alle de peilbuizen nemen af. Aanvoer van schoon grondwater resulteert in een verdunningseffect. Onduidelijk is of deze afname direct verband houdt met het gecontroleerd opvangen van tritium bevattend condenswater uit airco's of dat seizoenseffecten ook een rol spelen. Een mogelijkheid dat deze concentraties verhogen in een ander seizoen kunnen niet worden uitgesloten. Het blijven volgen van de tritiumactiviteits concentratie in deze peilbuizen kan uitsluitend geven. De hoge waarden tritiumactiviteit in het grondwater zijn niet te verklaren door het weglekken van condenswater uit airco's met lagere waarden tritiumactiviteit.

De hoge waarden in peilbuizen HGW-1014 en HGW-1002 kunnen niet anders zijn veroorzaakt door lekkage van water met zeer hoge concentraties tritium. Het condenswater van de airco's als oorzaak kan worden uitgesloten, omdat deze concentraties veel te laag zijn. Rekening houdend met de grondwaterstroom die zich verplaatst van zuidwest naar noordoost zijn de hoge waarden gevonden op HGW-1002 mogelijk afkomstig van HGW-1014. Met de huidige verkregen dataset kan een globale afbakening worden vastgesteld. Deze afbakening volgt de lijn 'monitorruimte PPG & HGW-1002, HGW 1014' en valt samen met de bovengenoemde grondwaterverplaatsing. De buiten deze lijn gelegen peilbuis locaties HGW-18, 1003 en 20 hebben lage tritiumactiviteits concentraties.

Er is geen aantoonbare relatie tussen het spill incident in de monitorruimte van het PPG en de hoge waarden op peilbuis locaties HGW-1002 en HGW 1014. Hoewel deze drie punten in elkaars verlengde liggen en samenvallen met de grondwater stroom en de tritiumactiviteits concentraties op HGW-1002 lager zijn dan op HGW-1014, geven berekeningen aan grondwater verplaatsingssnelheid en afstand geen sluitende onderbouwing.

### Hypothese 2

Er zijn een aantal argumenten gevonden om aan te nemen dat tritium van buiten de HFR komt. Uit [8] is bekend dat in de directe omgeving van kernreactoren tritium wordt aangetoond in grondwater. Kanttekening bij de vergelijking met de situatie beschreven in dit document is dat de HFR een gemiddelde jaaruitstoot van ongeveer 300 GBq per jaar, de fabriek beschreven in het voorbeeld heeft in

2005 en 2006 een jaaruitstoot van 270000 en 74000 GBq / jaar respectievelijk. In het grondwater van dit voorbeeld werden tritiumactiviteits concentraties gerapporteerd variërend van 100 tot 58000 Bq/l.

Het condenswater van de regelkamer en luchtbehandelingsgebouw vertonen tritiumactiviteits concentraties en lijken van natuurlijke oorsprong te zijn. Aangezien de luchtinname van beide installaties in de dominante windrichting liggen van de afvoer van het DWT kan van deze luchtlozing ook een bijdrage worden verwacht. Hoe groot deze bijdrage is, is onduidelijk. Andere uitgevoerde activiteitanalyses van water uit de meertjes in de omgeving, regenwater en condenswater uit de verwarmingsketel vertonen geen concentraties boven de detectiegrens van 10 Bq/l. Deze testjes zijn slechts eenmalig uitgevoerd.

Hoewel aanwezigheid van tritium in de omgevingslucht van de HFR aantoonbaar is, blijkt uit de uitgevoerde testen dat dit niet direct terug te vinden is in regen of het nabij gelegen meertjes. De lage tritiumactiviteits concentraties in de peilbuizen HGW-2, 18, 20 en 1003 kunnen er op duiden dat dit de basislijn is die voor het grondwater in de peilbuizen op het HFR terrein geldt.

#### **4.1.3 Implicaties voor vervolgonderzoek**

- Voor het achterhalen van de oorzaak van de hoge waarnemingen op HGW 1002 en 1014 worden peilbuizen bij geplaatst. Inspecties aan leidingen en tanks worden voortgezet. De data die behoren bij het spill incident in de monitorruimte van het PPG worden geëvalueerd. Onderzocht moet worden of met deze data een reconstructie kan worden gemaakt
- De lage waarden in Bq's/l op HGW-2, 18, 20 en 1003 geven een idee van een basislijn. Gezien deze lage waarden en de afnemende trend op de andere peilbuislocaties is er geen noodzaak om met een frequentie van één keer per twee weken te monitoren. Bovengenoemde peilbuizen zullen eens per kwartaal worden bemonstert.
- De scope van de opdracht wordt uitgebreid met het vaststellen van de verspreiding in het grondwater. Hiervoor worden peilbuizen stroomafwaarts bijgeplaatst.

## 4.2 Eindconclusie

Gezien de lage concentraties in peilbuizen HGW-2, 18, 20 en 1003 en de negatieve resultaten in de aanvullende omgevingstesten kan de hypothese dat het tritium uit de directe omgeving afkomstig is worden verworpen. De hoge waarden Bq/l in het grondwater zijn niet afkomstig door tritium neerslag uit de omgevingslucht.

Hoewel een kleine vermoedelijke lekkage heeft plaatsgevonden aan de bassinwand is dit niet de oorzaak van de hoge waarden in het grondwater. In de resterende inspecties aan tanks, leidingen en putten zijn geen aanwijzingen gevonden voor lekkage. Omdat een aantal inspecties nog moeten worden uitgevoerd kan hypothese 1 niet gemotiveerd worden geaccepteerd of verworpen.

Een relatie tussen het spill incident in de monitorruimte van het PPG en de hoge waarden op peilbuis locaties HGW-1002 en HGW 1014 lijkt een mogelijke oorzaak. Deze drie punten liggen in elkaars verlengde en vallen samen met de grondwater stroom. Daarentegen geven berekeningen aan grondwater verplaatsingssnelheid en afstand geen sluitende onderbouwing. Er moet verder onderzocht worden of met de data van dit spill incident een reconstructie kan worden gemaakt.

De overige conclusies zijn:

- De tritiumactiviteits concentraties in het grondwater op het HFR terrein laten een afnemende trend zien op alle peilbuislocaties.
- In geen van de grondwatermonsters zijn andere radionucliden aangetoond.
- De monsternamen en analyse van de grondwatermonsters voor de bepaling van tritium zijn voldoende geborgd en reproduceerbaar en daarmee geschikt om het tritiummonitoringprogramma uit te voeren.



## 5 Uitgevoerde acties

Hieronder een overzicht met de acties die zijn genomen om de aanwezigheid van tritium in het grondwater te onderzoeken of te voorkomen en acties die zijn genomen ter verbetering van eerder vastgestelde omissies in procedures.

- 18 januari 2012: Op de grond lozen van de condenswater uit de airco uit de bassin warmtewisselaar ruimte van het primair pompgebouw is gestopt door het condens af te voeren via de drainputten naar de afvalwatertank.
- Mei 2012: Tijdsduur verkorten tussen het aanbieden monster en terugkoppeling van het meetresultaat.
- 15 mei 2012: Verhogen van de monstername frequentie op peilbuizen HGW-2, 18 en 20.
- 15 juni 2012: Condenswater van alle airco's van het primair pompgebouw en het luchtbehandel gebouw gecontroleerd afvoeren naar de afvalwatertanks.
- 29 juni 2012: Tijdelijk stopzetten van monstername van afvalwater in pompputten.
- 12 juli 2012: Plaatsen van drie peilbuizen om een gedetailleerder beeld te krijgen van de tritium-aanwezigheid in het gebied tussen peilbuizen HGW-2 en 20.
- Juli 2012: Procedure HFR/QP05 aanpassen, in de classificatie zal het confinement van PPG worden toegevoegd. Concept gereed medio september.
- 22 augustus 2012: Bijplaatsen van peilbuizen 1014 en 1015 om een gedetailleerder beeld te krijgen in het gebied tussen de HFR en peilbuizen 1001 en 1002.
- 7 september 2012: Inspectie van de bassin overloopleiding met een mobile camera om de leksporen op de bassinwand te verklaren.





## Lijst van tabellen

Tabel 1. Overzicht van potentiële lekpaden: putten, leidingen en tanks.

Vet onderstreepte cijfers corresponderen met de cijfers uit Figuur 5. Groen is uitgevoerd, Zwart moet worden uitgevoerd, **Rood** mogelijke oorzaak

Nr	Gebouw	Ruimte	Object	Resultaat na inspectie	Waarschijnlijk
1	PPG	Hoge kelder PPG	Verzamelput (warm-drain 04 )	Geen sporen van lekkage waargenomen	Nee
2	PPG	Hoge kelder PPG	Vloer	Vertoont op verschillende plaatsen craquelé	Nee
3	PPG	Hoge kelder PPG	Secundaire bypass (onder cel 8)	Vloerplaten van de stempels zijn verroest door oude lekkage	Nee
4	PPG	Zwanenmeer	Vloer	Akkoord, Vloer is onlangs gerepareerd	Nee
5	PPG	Zwanenmeer	Verzamelput (warm-drain 05 )	Geen sporen van lekkage waargenomen	Nee
6	PPG	Zwanenmeer	Verval tanks	Geen sporen van lekkage waargenomen	Nee
7	PPG	Zwanenmeer	Groene tanks	Geen sporen van lekkage waargenomen	Nee
8	PPG	Zwanenmeer	Plafond	Dak van het Duct is lek, staat nu een opvangbak	Nee
9	PPG	Vacuüm put buiten	Secundair monitoringleiding uit met lekdetectie	Geen sporen van lekkage waargenomen	<i>onbekend</i>
<u>10</u>	PPG	Inspectieput PPG-DWT	Afvalwater leiding naar DWT	Geen lekkage waargenomen / Deel v/d leiding is vervangen op HFR terrein	Nee
<u>11</u>	PPG	Buiten, zuid zijde PPG	Verzamelput verzamelt douchewater	Niet inspecteerbaar	Nee
<u>12</u>	PPG	Tank A, Ionen wisselaars	Buiten, wateropslag na ionenwisseling	Inspecteren niet mogelijk / Lekdetectie	Nee
<u>13</u>	PPG	Buiten, west zijde PPG Ionen drain pompput	Ionen drain pompput met lekdetectie	Coating verouderd	Nee

Nr	Gebouw	Ruimte	Object	Resultaat na inspectie	Waarschijnlijk
<u>14</u>	PPG	Hars dump tank B&C, overkapping met houten platen	Opslag uitgeputte harsen,	Inspectie niet mogelijk, dak is slecht / Lekdetectie	Nee
<u>15</u>	PPG	Opslag tanks 15, 30 m3 Duper	Opslag duper water	Inspectie niet mogelijk	Nee
<u>16</u>	PPG	Monitor ruimte PPG	Appendages monitoring installatie	Lekwater kan via kabeldoorvoeren naar kruipruimte lopen	Ja
<u>17</u>	BNCT	Marmerput	Verzamelput ingebouwd in BNCT gebouw	Wordt niet meer gebruikt, dak is zeer slecht	Nee
<u>18</u>	PPG	Pomput buiten, west zijde PPG	Pomput voor groene tanks	Vloer coating verouderd, moet hersteld worden	Nee
<u>19</u>	PPG	Duct	Dak	Bitumen verouderd	Nee
<u>20</u>	PPG	Duct	Aansluiting HFR	Bitumen verouderd	Nee
<u>21</u>	PPG	Buiten noord zijde PPG, Opslag tanks voor Bassin	Opslag tanks voor bassin water	Put OK, Vloer vertoont scheurtjes	Nee
<u>22</u>	PPG	Buiten noord zijde PPG, Opslag tanks voor Bassin	Leiding naar opslag tanks bassin water	resultaat ?	onbekend
23	HFR	2e Bordes	Vloer	Vloer vertoont craquelé / Oppervlakte scheuren en kale plekken	Nee
24	HFR	2e Bordes	Schroputjes, 2 geïnspecteerd	Enig vuil in het bezink gedeelte, geen lek	Nee
25	HFR	3e Bordes	Wasbak / Afvoer voor dweilwater	Schoon	Nee
26	HFR	3e Bordes	Overloop leiding naar valve station	Verdachte leiding, zie ook Wand bassin	Nee
27	HFR	2e bordes	Wandbassin naast PRS loodkasteel	wand vertoont scheurtjes, lekkage wordt soms gemeld	Nee
28	HFR	Kelder	Schroputjes, 2 geïnspecteerd	Putjes staan droog	Nee
29	HFR	Kelder	Put 46 - HD Cubicle	Put staat droog	Nee

Nr	Gebouw	Ruimte	Object	Resultaat na inspectie	Waarschijnlijk
30	HFR	Kelder	Put 47 - Offgas	resultaat ? / onlangs schoongemaakt	onbekend
31	HFR	Kelder	Put 48 - Pipe corridor (via offgas ruimte)	resultaat ?	onbekend
32	HFR	Kelder	Put 49 / 51 Facility pompkamer	resultaat ?	onbekend
33	HFR	Kelder	Verzamelput 44 ringriool	resultaat ?	onbekend
34	HFR	Kelder	Verzamelput 45 ringriool	resultaat ?	onbekend
35	HFR	Begane grond	Vloer	Enkele scheuren maar gerepareerd	Nee
36	HFR	BNCT ruimte	Wasbak	Ruimte afgesloten / Toegang via J. Lutgeringk	Nee
37	HFR	Offgasruimte	Lek aftap bassin 1 & 2	Onlangs schoongemaakt en gecoat	Nee
38	HFR	Offgasruimte	Doorvoerschot	Geen sporen van lekkage waargenomen	Nee
39	PPG	Zwanenmeer	Doorvoerschot	Geen sporen van lekkage waargenomen	Nee
40	HFR	Subpile room	Onderzijde Bassin	Lekspoorstje. Wordt gecontroleerd opgevangen in maatbeker	Nee
41	HFR	Subpile room	Verzamel put	Onbekend	onbekend
42	HFR	Subpile room	Verzamel bak aftap ? Links om de hoek	Onbekend	onbekend
43	HFR	HFR hal	Opvang goot Valve station = put 50	Visueel geïnspecteerd / Ontbrekende coating	Nee
44	HFR	Leiding van uit pomput, zie 18	Spoel / Dump leiding bassinwater	Onbekend	onbekend

Tabel 2 Overzicht van tritium analysesresultaten in grondwater in Bq/l.

Datum	HGW 2	HGW 18	HGW 20	HGW 1001	HGW 1002	HGW 1003	HGW 1014	HGW 1015
19-apr-2012	228 Bq/l	-	-	-	-	-	-	-
16-mei-2012	132 Bq/l	-	-	-	-	-	-	-
30-mei-2012	91 Bq/l	<10 Bq/l	<10 Bq/l	-	-	-	-	-
13-jun-2012	32 Bq/l	<10 Bq/l	23 Bq/l	-	-	-	-	-
27-jun-2012	29 Bq/l	<10 Bq/l	13 Bq/l	-	-	-	-	-
12-jul-2012	17 Bq/l	<10 Bq/l	13 Bq/l	589 Bq/l	7852 Bq/l	25 Bq/l	-	-
25-jul-2012	<10 Bq/l	<10 Bq/l	<10 Bq/l	320 Bq/l	6996 Bq/l	<10 Bq/l	-	-
08-aug-2012	<10 Bq/l	<10 Bq/l	<10 Bq/l	343 Bq/l*	6103 Bq/l*	12 Bq/l	-	-
24-aug-2012 4 meter diep	17 Bq/l	<10 Bq/l	15 Bq/l	180 Bq/l	5242 Bq/l	13 Bq/l	1105 Bq/l*	<10 Bq/l*
24-aug-2012 7 meter diep	-	-	-	-	-	-	12913 Bq/l*	39 Bq/l*
05-sep-2012 4 meter diep	<10 Bq/l	<10 Bq/l	<10 Bq/l	112 Bq/l	4406 Bq/l	<10 Bq/l	650 Bq/l <sup>1)</sup>	<10 Bq/l
05-sep-2012 7 meter diep	-	-	-	-	-	-	11891 Bq/l <sup>1)</sup>	43 Bq/l
11-sep-2012 4 meter diep	-	-	-	-	-	-	1038 Bq/l	-
11-sep-2012 7 meter diep	-	-	-	-	-	-	12045 Bq/l	-

(- = deze monsters zijn niet genomen) \*In de gammaspectrometrische analyse zijn geen radionucliden aangetoond

<sup>1)</sup> De hoge en de lage waarden kwamen niet overeen met de resultaten 'diep' en 'ondiep' van 24 augustus. Om deze reden zijn op 11 september nieuwe monsters genomen in peilbuis HGW-1014. Op basis van de resultaten van 11 september zijn de resultaten van 24 augustus in de tabel op de juiste plek gezet.

Tabel 3 Overzicht van activiteits concentratie van tritium in condenswater van airco's in Bq/l.

Locatie	Datum	Resultaat
1 Laagspanningsruimte PPG	25-mei-2012	75 Bq/l
1 Laagspanningsruimte PPG	11-jun-2012	65 Bq/l
2 Verdeler ruimte PPG	25-mei-2012	26 Bq/l
2 Verdeler ruimte PPG	11-jun-2012	40 Bq/l
2 Verdeler ruimte PPG	29-jun-2012*	14 Bq/l
3 Accuruimte PPG	07-jul-2012	25 Bq/l
4 Luchtkoel installatie LBG	11-jun-2012	230 Bq/l
4 Luchtkoel installatie LBG	19-jun-2012	317 Bq/l
4 Luchtkoel installatie LBG	31-aug-2012	233 Bq/l
5 Monitorruimte LBG	mei / augustus	Geen condens
6 VZO ruimte HFR	14-aug-2012	135 Bq/l
7 Regelkamer	13-jul-2012	507 Bq/l
7 Regelkamer	14-aug-2012	1205 Bq/l
8 Secretariaat	06-jul-2012	16 Bq/l
8 Secretariaat	15-jul-2012	29 Bq/l

\* Na afdichten van kabeldoorvoeren, gemeten met tritium condensaat opstelling.



Tabel 4 Overzicht overige activiteit concentratie van tritium in Bq/l.

Object / Locatie	Datum	Resultaat
Forum meertje	30-mei-2012	<10 Bq/l
Brandweer meertje	30-mei-2012	<10 Bq/l
GCO meertje	01-jun-2012	<10 Bq/l
Drinkwater PPG	29-jun-2012	<10 Bq/l
Marmersput BNCT	20-jun-2012	<10 Bq/l*
Regenwater HFR	6-jul-2012	<10 Bq/l
Regenwater Castricum	6-jul-2012	<10 Bq/l
Condenswater lucht behandel kast-1 JGL	17-jul-2012	<10 Bq/l
Condenswater lucht behandel kast-2 JGL	17-jul-2012	<10 Bq/l
Condenswater Ketelhuis	27-aug-2012	<10 Bq/l

\*In de gammaspectrometrische analyse zijn geen radionucliden aangetoond

Tabel 5 vergelijking analyseresultaten RIVM en NRG activiteit concentratie van tritium in Bq/l.

Monster	Resultaten RIVM	Resultaten NRG
HGW-2 25-jul-2012	9,7 ± 1,5 Bq/l	<10 Bq/l
HGW-18 25-jul-2012	2,9 ± 1,4 Bq/l	<10 Bq/l
HGW-20 25-jul-2012	9,7 ± 1,4 Bq/l	<10 Bq/l
HGW-1001 25-jul-2012	320 ± 11 Bq/l	320 ± 10 Bq/l
HGW-1002 25-jul-2012	7000 ± 200 Bq/l	6996 ± 283 Bq/l
HGW-1003 25-jul-2012	17,5 ± 1,6 Bq/l	<10 Bq/l
HGW-1001 12 juli 2012	630 ± 230 Bq/l	589 ± 43 Bq/l
HGW-1002 12 juli 2012	8000 ± 300 Bq/l	7852 ± 314 Bq/l

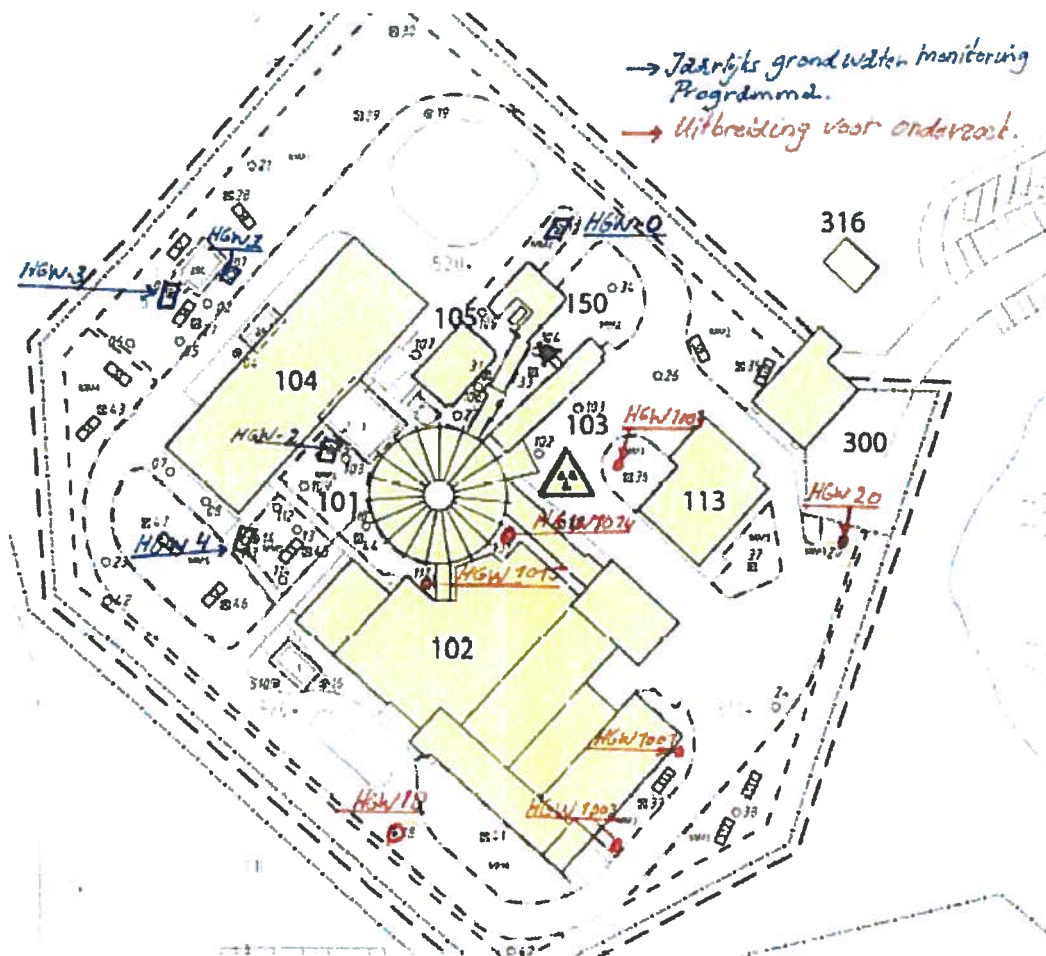


## Lijst van figuren

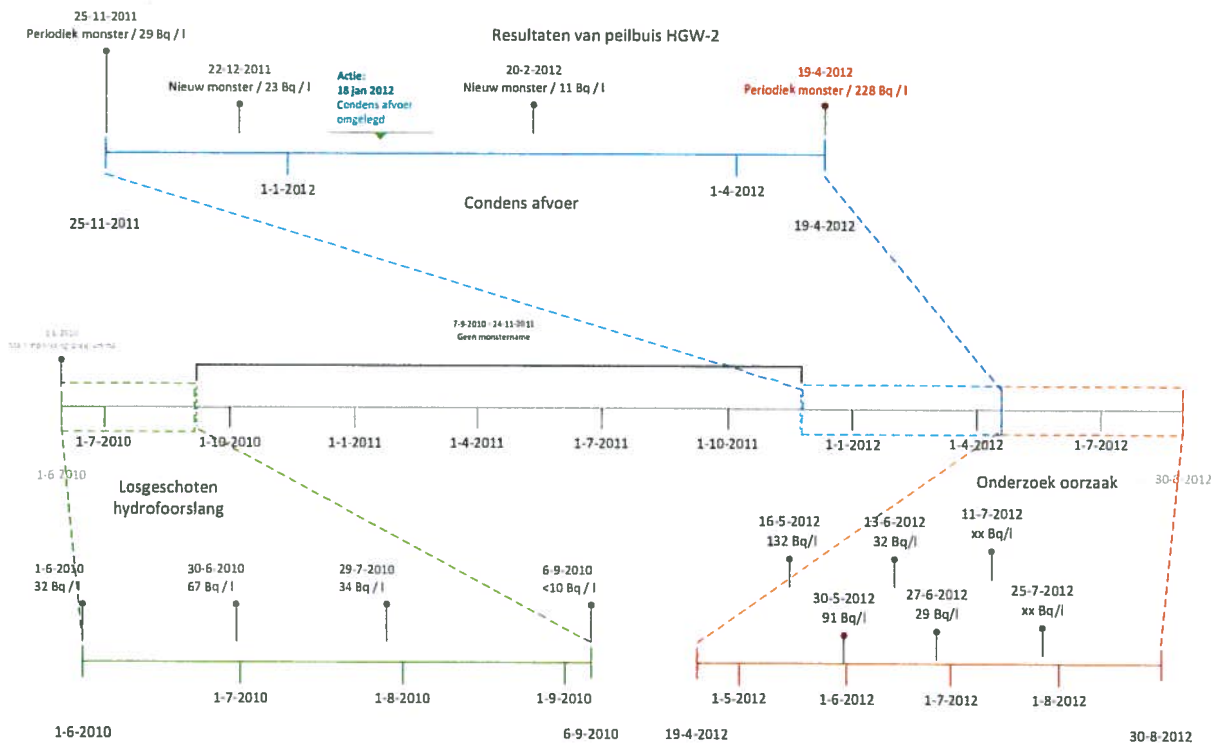
<u>Figuur 1 De peilbuizen op het HFR terrein.</u> .....	45
<u>Figuur 2 Historie van tritiumactiviteits concentratie in peilbuis HGW-2</u> .....	46
<u>Figuur 4 Overzicht van de locaties van airco's</u> .....	46
<u>Figuur 5 Tritium activiteits concentratie en neerslag in mm in de periode april juni 2012.</u> .....	47
<u>Figuur 6 Plattegrond van leidingen, tank en putten.</u> .....	48
<u>Figuur 7 Overzicht van het volume (m<sup>3</sup>) en activiteit (MBq) van afvalwater via DWT leiding</u> .....	49



Figuur -1 De peilbuizen op het HFR terrein.



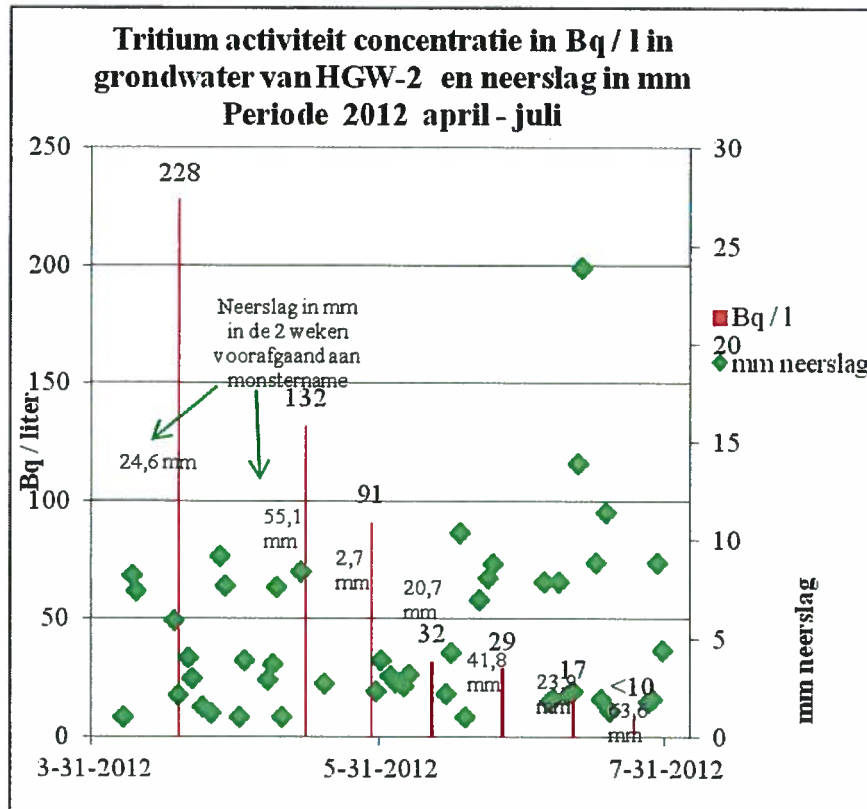
**Figuur 2** Historie van tritiumactiviteits concentratie in peilbuis HGW-2



**Figuur 3** Overzicht van de locaties van airco's

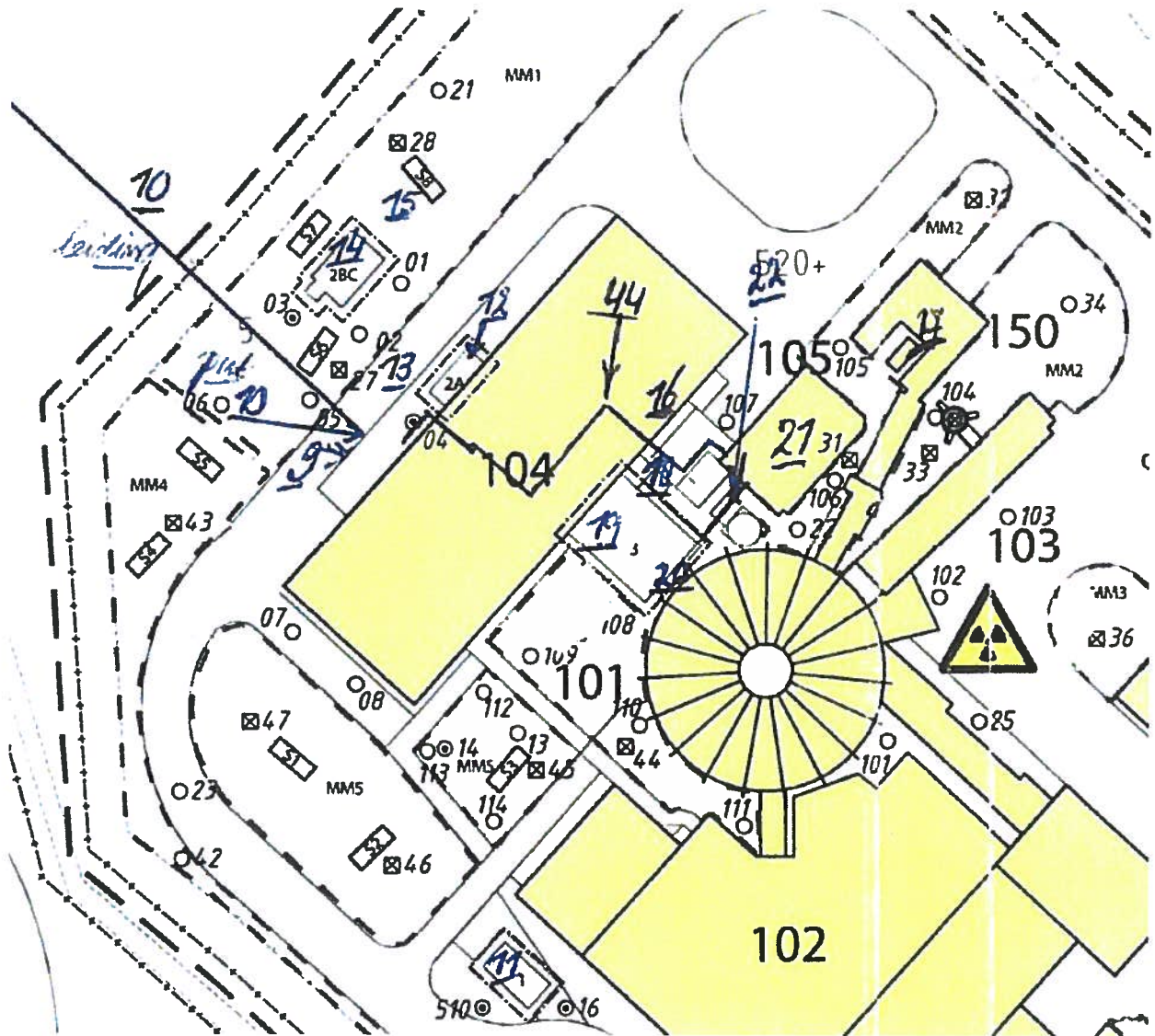


Figuur 4 Tritium activiteits concentratie en neerslag in mm in de periode april juni 2012

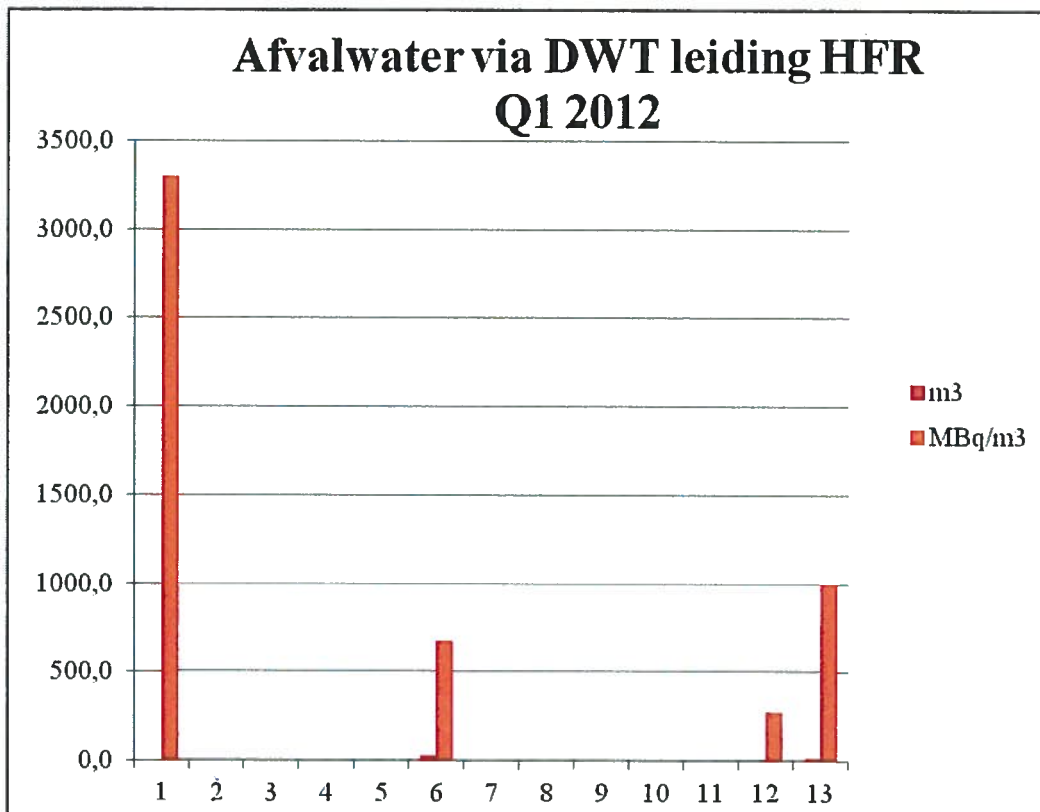


Figuur 5 Plattegrond van leidingen, tank en putten

Cijfers corresponderen met onderstreepte cijfers uit Tabel 1



Figuur 6 Overzicht van het volume (m<sup>3</sup>) en activiteit (MBq) van afvalwater via DWT leiding







## Referenties

- [1] Melding / Rapportage onveilige situatie aan de overheid; Verhoging concentratie tritium in een grondwatermonster; K5149/12.112157 d.d. 16 jan 2012
- [2] Melding / Rapportage onveilige situatie aan de overheid; Verhoogde tritium concentratie in het grondwater: 114539 d.d. 25 mei 2012
- [3] “Monitoring Radionucliden in Grondwater April 2012” (NRG K5004.12/114427 d.d. 23 mei 2012)
- [4] Veiligheidstechnische specificaties van de HFR, HFR/Q/P00 NRG 21449/10.83029 rev D, 15 september 2010
- [5] Locaties potentiële bronnen t.b.v. inrichting grondwatermeetnet, NRG 25041/09.98856, 26 november 2009
- [6] Grontmij, “Geohydrologisch onderzoek NRG terrein”, (GM-0064108, d.d. 14 juni 2012).
- [7] Melding / Rapportage onveilige situatie aan de overheid; Hydrofoor-water lekkage in de kelder van reactor hal HFR: 25076/10.102703 d.d. 14 oktober 2010
- [8] Canadian Nuclear Safety Commission. December 2009. “Investigation of the Environmental Fate of Tritium in the Atmosphere”; INFO-0792
- [9] “Stralingshygiëne HFR review 2001-2011” (NRG K5138/12.112826 d.d. 20 februari 2012)
- [10] Safety Review Mission IAEA, 16-18 februari 2009, page 28 (recommendation R1)
- [11] Evaluatie en onderzoek afwijkingen.docx: NRG 25194.17/115250 d.d. 14 mei 2012
- [12] Inventarisatie Leidingen, putten en vloeren.xlsx: NRG 25194.17/ 115251 d.d. 5 juli 2012
- [13] Melding / Rapportage onveilige situatie aan de overheid; Verhoogde tritium concentratie in het grondwater: K5149/12.113770 d.d. 13 april 2012







## Bijlage A Lijst met gebruikte afkortingen

DWT	Decontamination & Waste treatment
HCL	Hot Cell Laboratories
HFR	Hoge Flux Reactor
HGW	HFR Grondwater
JGL	Jaap Goedkoop Laboratorium
OLP	Onderzoek Locatie Petten
PPG	Primair Pomp Gebouw





## Verzendlijst

NRG Petten

Archief HFR

HvdW (circuleren)

KFD

# **Bijlage 5**



# Monitoring Radionucliden in Grondwater November 2012

NRG Petten

In opdracht van Business Units I&D en R&E

rev. nr.	datum	Omschrijving
A		

auteur(s): \_\_\_\_\_ reviewed: \_\_\_\_\_

naam: \_\_\_\_\_ goedgekeurd: \_\_\_\_\_

referentienr.: K5004.12/117700

16 pages 19-12-2012

© NRG 2012

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

# Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Bemonstering en analyse	9
2.1 Bemonsteringsplan	9
2.2 Scope van analyse	9
2.3 Monstername Peilbuizen	9
2.4 Analyses	9
2.4.1 Gammaspectrometrie	9
2.4.2 Tritium	9
3 Resultaten	11
4 Conclusies	13
Verzendlijst	14





## Samenvatting

NRG ziet het als *good practice* op de hoogte te zijn van de radiologische situatie van het grondwater in de duinen onder haar faciliteiten. De bemonsteringen en analyses in deze rapportage hebben medio november 2012 plaatsgevonden.

Bij de NRG faciliteiten HCL, WSF, DWT en LFR zijn grondwatermonsters genomen, die op twee manieren zijn geanalyseerd: een gammaspectrometrische analyse en een tritiumanalyse. Wegens het lopende tritiumproject bij de HFR zijn peilbuizen aldaar buiten beschouwing gelaten.

Geen van de totaal 14 monsters geeft na de gammaspectrometrische of tritiumanalyses een aanwijzing voor verontreiniging van het grondwater met radionucliden.



# 1 Inleiding

NRG bemonstert periodiek het grondwater rond relevante faciliteiten en analyseert deze op relevante radionucliden. NRG ziet dit als een *good practice* en heeft na een start bij de HFR in 2010 dit initiatief in 2011 uitgebreid met een periodieke monitoring van het grondwater bij andere relevante NRG faciliteiten.

Doelstelling van de monitoring is om periodiek het grondwater nabij relevante faciliteiten te onderzoeken op eventuele radioactieve verontreiniging. Hierbij gaat het om faciliteiten waar vloeibaar radioactief afval en/of actief water wordt opgeslagen, waardoor een risico op grondwaterverontreiniging bestaat bij het falen van containment.

De bemonsteringen en analyses in deze rapportage hebben medio november 2012 plaatsgevonden.



## 2 Bemonstering en analyse

### 2.1 Bemonsteringsplan

In deze bemonsteringsronde zijn in de nabijheid van HCL, WSF, DWT en LFR 14 peilbuizen geselecteerd. De filters van deze peilbuizen bevinden zich in het freatische deel van het grondwater. In de bijlagen zijn overzichtstekeningen opgenomen van deze peilbuizen

### 2.2 Scope van analyse

Gezien de specifieke processen van NRG richten de analyses van de grondwatermonsters zich op Cesium-137, Cobalt-60 en Tritium.

### 2.3 Monstername Peilbuizen

Voor het bemonsteren van de peilbuizen is de firma Grontmij ingeschakeld. Grontmij is erkend voor het uitvoeren van dergelijk veldwerk onder de procescertificaten BRL SIKB 2000 en BRL SIKB 2002.

### 2.4 Analyses

#### 2.4.1 Gammaspectrometrie

Voor de gammaspectrometrische bepaling van radionucliden in de monsters wordt gebruik gemaakt van meetopstellingen met high-purity germanium detectoren in een lage-achtergrond omgevingsafscherming. De bepalingen worden uitgevoerd conform NVN-5623, waarbij gebruik wordt gemaakt van referentiebronnen met bekende activiteiten van de te bepalen radionucliden in dezelfde geometrieën.

#### 2.4.2 Tritium

De tritiumanalyse wordt uitgevoerd volgens NEN 6420. Hierbij wordt het monster gedestilleerd waarna het destillaat gemeten wordt op een TRICARB 2700 TR Liquid Scintillation Analyzer.



### 3 Resultaten

Op 14 en 15 november en 5 december 2012 werden uit 14 peilbuizen grondwatermonsters genomen. In de onderstaande tabel worden de analysesresultaten per peilbuis weergegeven. De resultaten van de gammaspectrometrische en tritiumanalyses worden per monster gerapporteerd door R&E Laboratory Services en zijn ter inzage beschikbaar bij de afdeling QSE.

Tabel 1. Analysesresultaten Grondwater november 2012

Gebouw	Peilbuisnr	K-40	Cs-137	Co-60	<sup>3</sup> H
HCL	1009	2,2	0,11 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	< 10
HCL	1010	1,1 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	< 10
HCL	1011	1,5 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
HCL	1012	2,0	0,12 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
HCL	1013	1,5	0,11 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	< 10
DWT	11	1,4 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	< 10
DWT	107	1,3 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
WSF	110	1,8 <sup>MDA</sup>	0,15 <sup>MDA</sup>	0,16 <sup>MDA</sup>	< 10
WSF	310	0,93 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	< 10
WSF	1004	1,1 <sup>MDA</sup>	0,089 <sup>MDA</sup>	0,089 <sup>MDA</sup>	< 10
WSF	1007	1,3 <sup>MDA</sup>	0,095 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
WSF	1008	1,5 <sup>MDA</sup>	0,14 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
STEKHAL	9	1,7 <sup>MDA</sup>	0,14 <sup>MDA</sup>	0,14 <sup>MDA</sup>	< 10
LFR-WPUT	317	3	0,14 <sup>MDA</sup>	0,14 <sup>MDA</sup>	< 10

De waarden in tabel 1 zijn weergegeven als activiteitsconcentratie in Bq/kg of Bq/liter (in het geval van <sup>3</sup>H). De codering MDA bij K-40, Cs-137 en Co-60 wil zeggen Minimaal Detecteerbare Activiteit. De activiteit is in dat geval minder dan de genoemde waarde. Het resultaat <10 in de <sup>3</sup>H kolom betekent eveneens een waarde lager dan de detectiegrens. In het monster van peilbuis 107 komt K-40 toevallig net boven de detectielimiet uit. Dit vanwege de natuurlijke aanwezigheid van kalium 40.





## 4 Conclusies

Geen enkele gammaspectrometrische analyse van de monsters uit de peilbuizen wijst op een verontreiniging van het grondwater met de gemeten radionucliden.

Geen enkele tritiumanalyse van monsters uit de peilbuizen wijst op een verontreiniging met tritium.

# Verzendlijst

## Business Unit I&D

Business Unit Manager I&D

Manager I&D-Labs

Manager I&D-HFR

Manager I&D-HSE

LSD I&D-HFR

Manager Licensing I&D-HFR

LSD I&D Labs

## Business Unit RE

Business Unit Manager RE

Manager RE-DWT

Manager RE-HSE

LSD RE

## Pallas Projectteam

Manager Licensing

## QSE

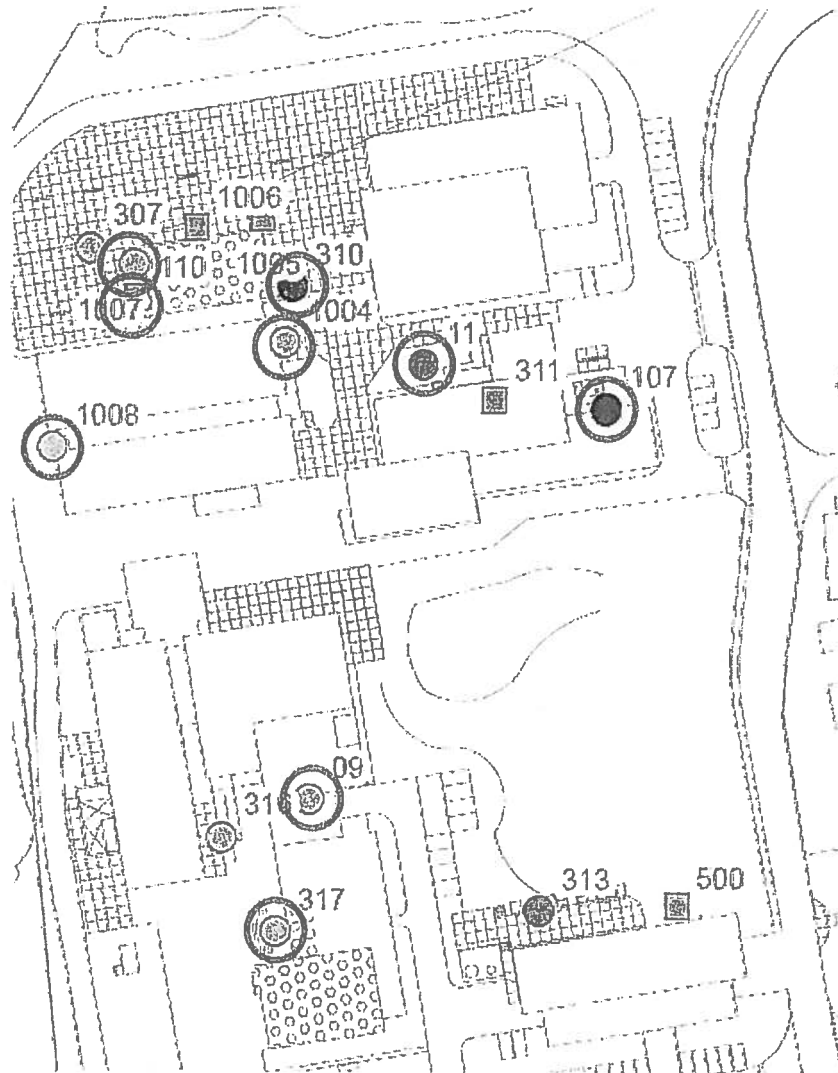
Manager QSE

Algemeen Stralingsdeskundige

Adviseur Milieu

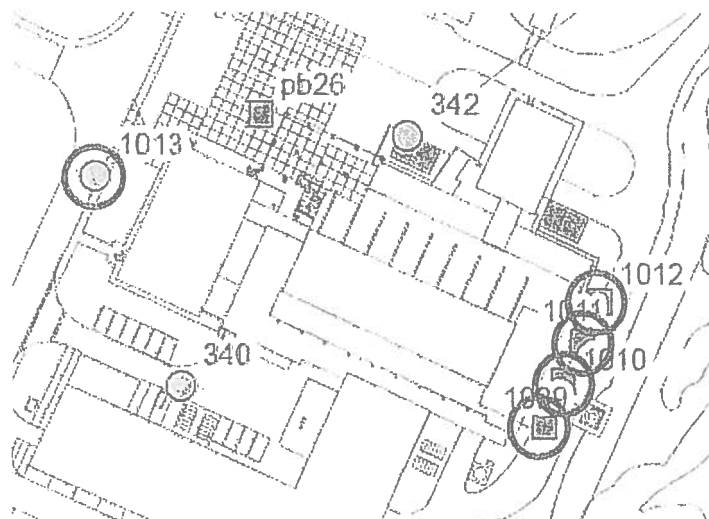
# Bijlage A

Locaties van peilbuizen nabij WSF, DWT en LFR. De omcirkelde peilbuizen zijn bemonsterd.



# Bijlage B

Locaties peilbuizen nabij HCL. De omcirkelde peilbuizen zijn bemonsterd.

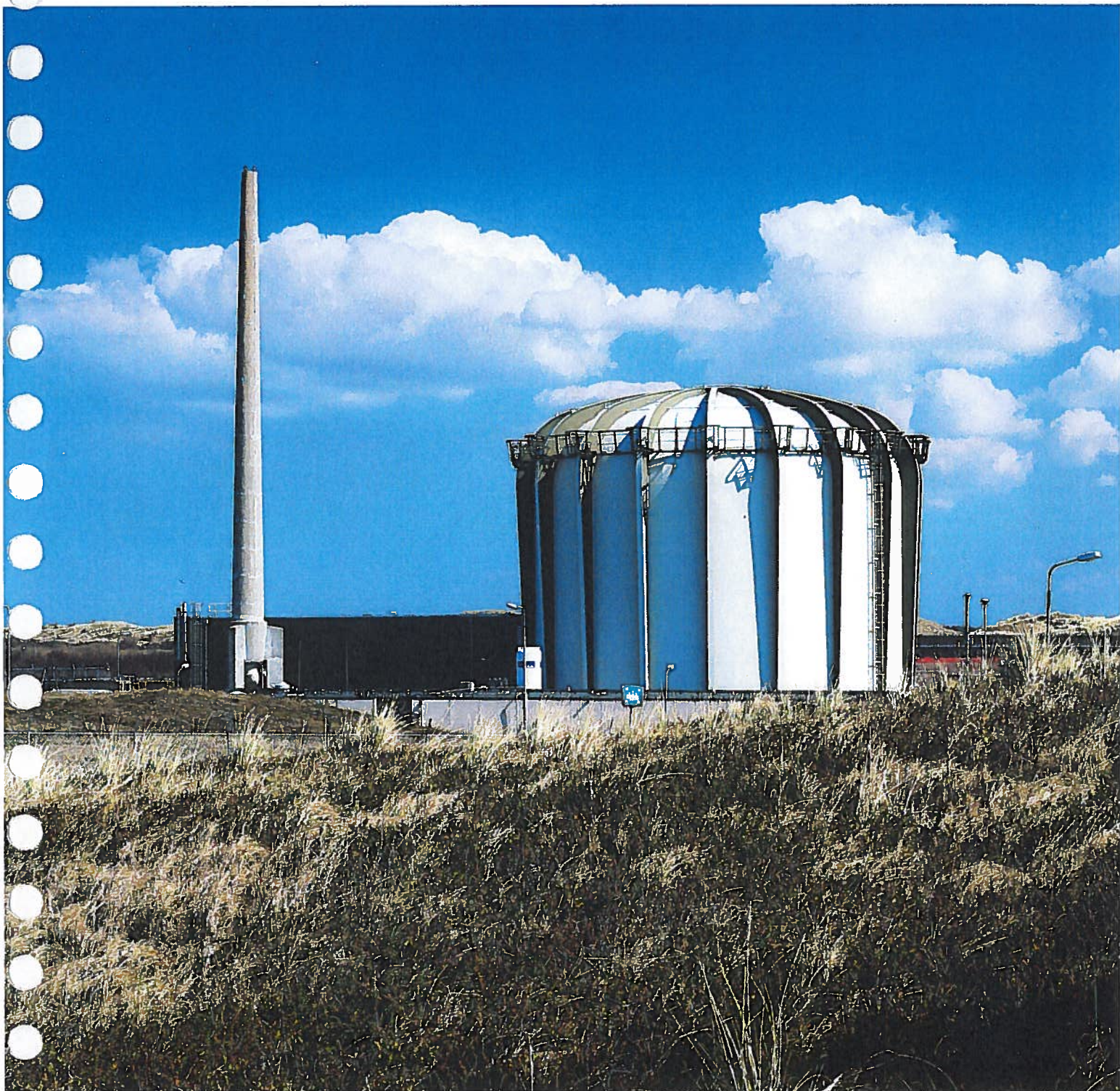


## **Bijlage 6**



Grondwateronderzoek NRG te Petten

# Verspreiding tritium in het grondwater op het HFR-terrein



# **Grondwateronderzoek NRG te Petten**

Verspreiding tritium in het grondwater op het HFR-terrein

Definitief

Nuclear Research and consultancy Group  
Westerduinweg 3  
P.O. Box 25  
1755ZG Petten  
The Netherlands  
Contactpersoon:

Grontmij Nederland B.V.  
Alkmaar, 20 december 2012

# Verantwoording

**Titel** : Grondwateronderzoek NRG te Petten  
**Subtitel** : Verspreiding tritium in het grondwater op het HFR-terrein  
**Projectnummer** : 325775  
**Referentienummer** : GM-0086148  
**Revisie** : D01  
**Datum** : 20 december 2012

**Auteur(s)** :

**E-mail adres** :

**Gecontroleerd door** :

**Paraaf gecontroleerd** :

**Goedgekeurd door** :

**Paraaf goedgekeurd** :

**Contact** : Grontmij Nederland B.V.  
Robijnstraat 11  
1812 RB Alkmaar  
Postbus 214  
1800 AE Alkmaar  
T +31 72 547 57 57  
F +31 72 850 26 57  
[www.grontmij.nl](http://www.grontmij.nl)



# Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
1.1	Algemeen.....	4
1.2	Leeswijzer.....	5
2	Terreinonderzoek.....	6
3	Gebiedsbeschrijving.....	7
3.1	Algemeen.....	7
3.2	Maaiveldverloop.....	7
3.3	Bodemopbouw.....	7
3.4	Grondwaterstanden en stijghoogten.....	9
3.5	Oppervlaktewaterpeilen.....	14
3.6	Grondwateronttrekkingen.....	15
3.7	Neerslag en infiltratie.....	15
3.8	Kelders.....	17
3.9	Bodemverstoringen.....	17
3.10	Grondwaterkwaliteit.....	18
4	Modelonderzoek.....	21
4.1	Inleiding.....	21
4.2	Modelopbouw.....	21
4.3	Kalibratie.....	24
4.4	Conclusie model en kalibratie.....	25
4.5	Gevoeligheidsanalyse.....	27
4.6	Stroombaanberekeningen.....	28
4.7	Massatransport en dispersie.....	30
4.8	Resultaten massatransportberekeningen.....	34
4.9	Vergelijking berekeningsresultaten en gemeten verspreiding.....	35
4.10	Indicatieve saneringsmaatregelen.....	35
4.11	Concentratie bij autonome ontwikkeling.....	38
5	Conclusies en aanbevelingen.....	39
5.1	Conclusies.....	39
5.2	Aanbevelingen.....	40

Bijlage 1: Boorprofielen

Bijlage 2: Locaties peilbuizen

Bijlage 3: Grondwaterisohypsen 16 2012

Bijlage 4: Verontreinigingssituatie tritium (december 2012)

Bijlage 5: Verontreinigingssituatie met isohypsen

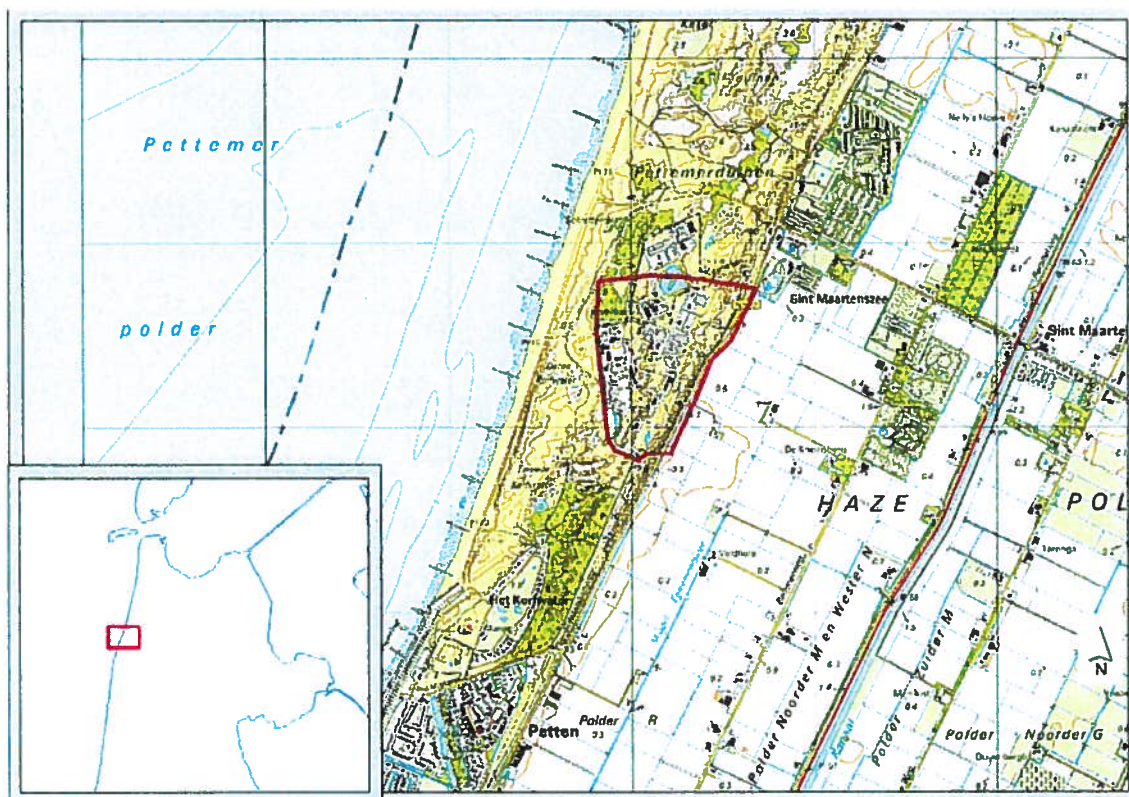
Bijlage 6: Gevoeligheidsanalyse grondwatermodel

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

De Nuclear Research and consultancy Group (NRG) beheert in het duingebied Petten de hoge fluxreactor (HFR). In de HFR wordt gebruik gemaakt van radioactieve stoffen en isotopen. NRG bemonstert en analyseert periodiek het grondwater rondom relevante faciliteiten op het eigen terrein. NRG wil op de hoogte zijn en blijven van de situatie van het grondwater (waterkwaliteit en kwantiteit) in de duinen onder haar faciliteiten.

De planlocatie is globaal weergegeven in onderstaande Figuur 1-1.



Figuur 1-1 Ligging plangebied

In het meetnet rond de HFR zijn bij reguliere kwaliteitsmetingen sinds eind 2011 verhoogde tritiumgehalten aangetroffen. Momenteel blijkt sprake te zijn van een "verontreinigingspluim" waarvan (ten tijde van aanvang van dit onderzoek, d.d. oktober 2012) de bron nog niet was achterhaald en waarvan de verspreiding nog niet in beeld was. In termen van bodembeleid was de pluim op dat moment nog niet "afgeperkt".

Het was eerste prioriteit dat NRG de oorsprong van de verhoogde gehalten zou achterhalen en de verspreiding in beeld zou brengen. Op de tweede plaats wilde NRG tevens de toekomstige verplaatsing van tritium vaststellen om risico's te inventariseren en om de noodzakelijke maatregelen te kunnen formuleren.

In voorliggende rapportage zijn deze twee zaken nader onderzocht. De huidige verspreiding van tritium is vastgesteld op basis van veldwerk. De nadere verspreiding van tritium worden vervolgens vastgesteld op basis van modelonderzoek.

## **1.2 Leeswijzer**

Dit rapport is opgebouwd uit vijf hoofdstukken, waarvan het eerste hoofdstuk de inleiding en aanleiding bevat. In hoofdstuk 2 worden de veldwerkzaamheden en resultaten daarvan besproken op basis waarvan de huidige verspreiding in beeld is gebracht. In de hoofdstukken 3 en 4 is de tweede doelstelling van het onderzoek beschreven en bevat achtereenvolgens een gebiedsbeschrijving en de resultaten van de huidige verspreiding (hoofdstuk 3). In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van het modelonderzoek beschreven. In hoofdstuk 5 komen tot slot de conclusies van het onderzoek aan bod.

## 2 Terreinonderzoek

Ten behoeve van het voorliggend onderzoek is een uitgebreid veldwerk uitgevoerd. Dit veldwerk bestaat uit:

- zetten van boringen, maken boorbeschrijvingen en plaatsen van peilbuizen;
- inmeten van de peilbuizen ten opzichte van NAP;
- handmatig opnemen van de grondwaterstanden in alle peilbuizen;
- registreren van grondwaterstanden in de tijd met behulp van een datalogger;
- nemen van grondwatermonsters in alle peilbuizen.

Naast de bestaande peilbuizen zijn vanaf september 2012 voornamelijk peilbuizen bijgeplaatst. Bij het plaatsen van de peilbuizen is de uitkomende grond beschreven, waardoor een duidelijk beeld van de bodemopbouw beschikbaar is. De boorbeschrijvingen zijn weergegeven in bijlage 1.

De meeste peilbuizen zijn geplaatst op een diepte van circa NAP +0,5 m à NAP +1,5 m, en op circa NAP -3,0 m à NAP -1,5 m. In totaal staan er op het ECN-terrein nu circa 200 peilbuisfilters. Hiervan staan er ongeveer 150 nabij de HFR, met op elke locatie een ondiep (circa NAP +1,0 m) en een diep (circa NAP -2,0 m) peilbuisfilter. In bijlage 2 is een overzicht van de peilbuizen gegeven.

De peilbuizen zijn allen ingemeten ten opzichte van NAP. Daarna zijn de grondwaterstanden gemeten ten opzichte van de bovenzijde van de peilbuis. Door deze gegevens aan elkaar te koppelen is er op het moment van meten een ruimtelijk beeld van de grondwaterstanden beschikbaar.

In één peilbuis (te weten peilbuis HGW19\_2) op het HFR-terrein is een grondwaterdatalogger geplaatst, die de grondwaterstanden registreert met een interval van 10 minuten. Hierdoor is inzicht verkregen in het verloop van de grondwaterstanden in de tijd.

Uit de peilbuizen is op meerdere momenten een grondwatermonster genomen. In de regel is (of wordt) elke peilbuis tweemaal bemonsterd. De grondwatermonsters worden door NRG geanalyseerd op tritium.



## 3 Gebiedsbeschrijving

### 3.1 Algemeen

Op basis van archiefgegevens, deels aangeleverd door NRG, en de middels terreinonderzoek verzamelde gegevens is een fysieke beschrijving gemaakt van het onderzoeksgebied. Hierin zijn de gegevens beschreven die van belang zijn bij de verspreiding van stoffen in het grondwater. Deze gegevens zijn van belang voor algemeen inzicht in de fysieke situatie maar tevens benodigd/bepalend voor de uit te voeren grondwatermodellering (hoofdstuk 4).

In Figuur 3-1 is een overzicht gegeven van het terrein, waarin de ligging van de HFR is aangegeven.



Figuur 3-1 Overzicht terrein NRG met de ligging van de HFR

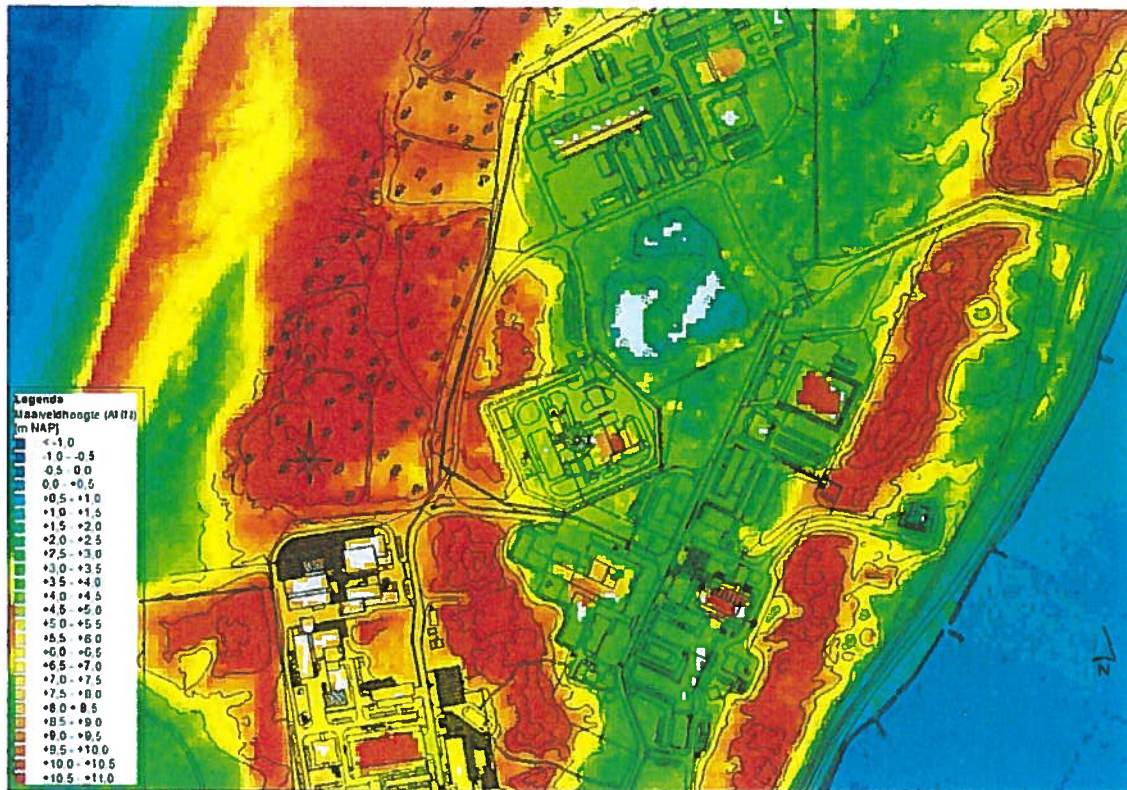
### 3.2 Maaiveldverloop

Aan de oostzijde van het duingebied, in de Hazepolder, ligt het maaiveldniveau op ongeveer NAP 0,0 m à NAP +1,0 m. Aan de westzijde, op het strand aan zee verloopt het maaiveld van circa NAP +3,0 m aan de duinvoet naar zeeniveau. In het duingebied verloopt het maaiveldniveau sterk: de hoogste duintoppen hebben een hoogte van circa NAP +10 m, terwijl de duinvalleien op ongeveer NAP +4 m liggen. Het HFR-terrein is bij aanleg uitgevlakt en ligt op NAP +4,4 m à NAP +4,8 m. Het maaiveldverloop is in Figuur 3-2 nader weergegeven.

### 3.3 Bodemopbouw

Op het terrein zijn een groot aantal peilbuizen geplaatst. Van de boringen zijn beschrijvingen opgesteld. Aan de hand van de boorgegevens is de bodemopbouw beschreven. Daarnaast is gebruik gemaakt van aangeleverde sondeergegevens van het NRG-terrein, gegevens uit de DINO-database van TNO en bodemgegevens uit het KIWA-onderzoek uit 1992.





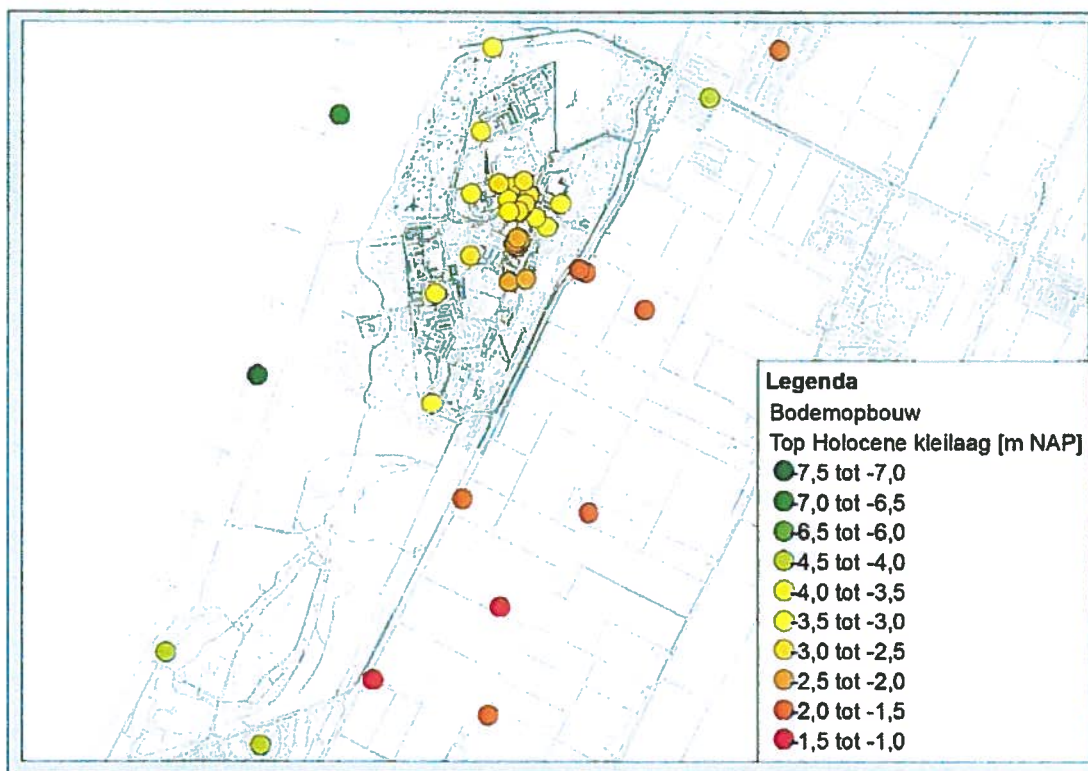
Figuur 3-2 Maaiveldhoogte op het NRG-terrein (bron: AHN-1)

De boorbeschrijvingen zijn weergegeven in bijlage 1.

De bodemopbouw kan als volgt worden geschematiseerd:

- Zandige toplaag - Vanaf maaiveld (tot circa NAP 0 m) bestaat de bodem uit matig grof zand. De doorlaatfactor (k-waarde) van dit zand wordt geschat op 10 à 15 m/d. Dit zijn de zogenaamde Jonge Duinen. Lokaal komt vervolgens een dunne veen- en kleilaag voor op een diepte van circa NAP 0 m. Waarschijnlijk is dit de oude bodem op de Oude Duinen en strandzand.
- Tussen circa NAP -0,5 en NAP -3 m bevinden zich de Oude Duinen en strandzand, die bestaan uit matig grof zand. De doorlatendheid wordt geschat op 10 à 15 m/d.
- Vanaf een diepte van circa NAP -2 m à NAP -3 m komt een enkele meters dikke klei- en veenlaag voor. Deze laag bestaat uit kleiige wadafzettingen (Duinkerken), kleiafzettingen (Velsen) en veen (Basisveen). Aan de westzijde ligt de bovenzijde van deze lagen dieper dan aan de oostzijde. Nabij het strand en in zee is deze laag geheel afwezig. Deze lagen vormen de onderzijde van de Holocene deklaag. De hydraulische weerstand wordt geschat op 5.000 tot 30.000 dagen. De diepte van deze laag is vastgesteld op basis van de uitgevoerde boringen en andere beschikbare bodemgegevens. Een weergave van de diepteligging van deze laag is weergegeven in Figuur 3-3.
- Onder de Holocene deklaag (onderzijde NAP -7,5 m à NAP -9,5 m) komen Pleistocene zanden (formatie van Boxtel) voor met een laagdikte van circa 5 m. De doorlatendheid van dit zand is ongeveer 5 m/d.
- Onder de Boxtelzandlaag komen tot een diepte van circa NAP -20 m afwisselend klei- en zandlagen voor. Daaronder ligt een circa 200 m dik goeddoorlatend zandpakket.

De dikte en het niveau van de bovenste Holocene kleilaag zijn op Figuur 3-3 in kaart gebracht. De hoogte is afgeleid op basis van de uitgevoerde boringen en aanvullende archiefgegevens.



Figuur 3-3 Ligging bovenzijde Holocene kleilaag

### 3.4 Grondwaterstanden en stijghoogten

Zoals in hoofdstuk 2 is aangegeven zijn er op de locatie peilbuizen geplaatst op circa 4, 7 en 15 m –mv (zie bijlage 2). De meeste peilbuizen zijn geplaatst in het Holocene zandpakket. Eén peilbuis is geplaatst in het pleistocene zand. In de peilbuizen zijn grondwaterstanden gemeten.

#### *Freatische grondwaterstand*

Van de verzamelde grondwaterstanden zijn isohypsenkaarten samengesteld. Isohypsen zijn lijnen met gelijke stijghoogte/grondwaterstand. Met behulp van isohypsenkaarten kan de grondwaterstroming worden afgeleid. Globaal kan gesteld worden dat de grondwaterstanden verlopen tussen een lage stand aan zee en in de polder, en een hoge grondwaterstand op het NRG-terrein. Op het terrein is er sprake van opbolling van de grondwaterstand ten gevolge van neerslag.

De volgende metingen van grondwaterstanden/isohypsenkaarten zijn in het verleden uitgevoerd:

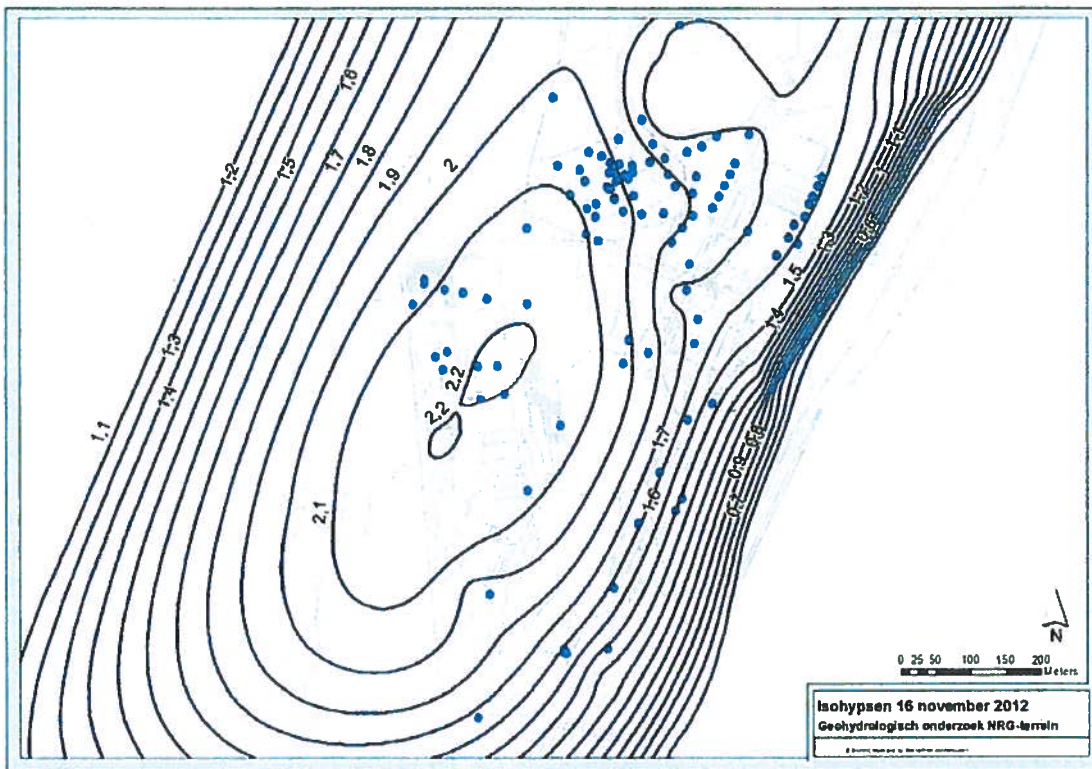
- in 1992 is door KIWA een isohypsen-patroon opgesteld, op basis van een beperkt aantal peilbuizen in de omgeving (KIWA, 1992);
- in 1992 is door Grontmij op basis van peilbuismetingen over het NRG-terrein een lokaal isohypsenpatroon opgesteld (Grontmij, 1992)

Recent zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- op 29 maart 2012 zijn peilbuizen over het gehele terrein ingemeten. Dit zijn deels dezelfde peilbuizen als in 1992, en deels recentere peilbuizen;
- na bijplaatsen van peilbuizen voor onderhavig project (zie hoofdstuk 2) zijn op 1 en 2 november grondwaterstanden gemeten rond de HFR;
- op 16 november zijn alle aanwezige peilbuizen op het NRG-terrein, inclusief een uitgebreid netwerk op het HFR-terrein, bemeaten.

In Figuur 3-4 is het isohypsenpatroon weergegeven van de metingen op 16 november 2012. Tevens zijn de isohypsen weergegeven in bijlage 3.





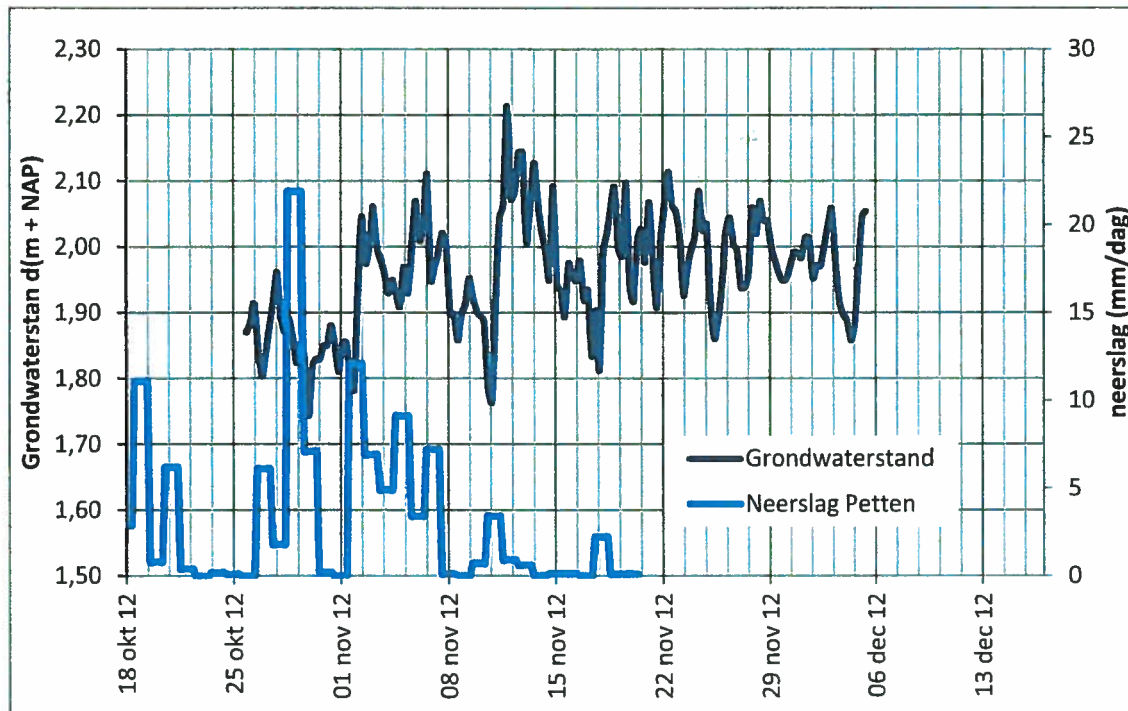
Figuur 3-4 Isohypsens in het ondiepe (freatische) pakket met de daarbij gehanteerde peilbuizen. In de onderste figuur is het detail gegeven van het gebied bij de HFR.

Als gevolg van de variërende diepteligging van de kleilaag neemt de dikte van het doorstroomde freatische pakket toe in westelijke richting. Ter hoogte van de polders bedraagt de doorstroomde dikte 2-3 meter, aan het strand bedraagt de doorstroomde dikte maximaal 8 meter.



De waterscheiding bevindt zich hierdoor meer oostelijk ligt dan wanneer er sprake is van een continue dikte.

Op het HFR-terrein is tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden een drukopnemer geplaatst in peilbuis HGW19\_2 (zie bijlage 2 voor ligging peilbuis). Hiermee wordt meer inzicht verkregen in de fluctuatie in de grondwaterstand en met name in de kortdurende pieken tijdens en na neerslag. De gemeten grondwaterstanden over de periode 25 oktober tot en met 5 december 2012 zijn in Figuur 3-5 weergegeven. De neerslag is in de figuur bijgewerkt tot en met 20 november 2012.



Figuur 3-5 Verloop grondwaterstand in peilbuis HGW19\_2

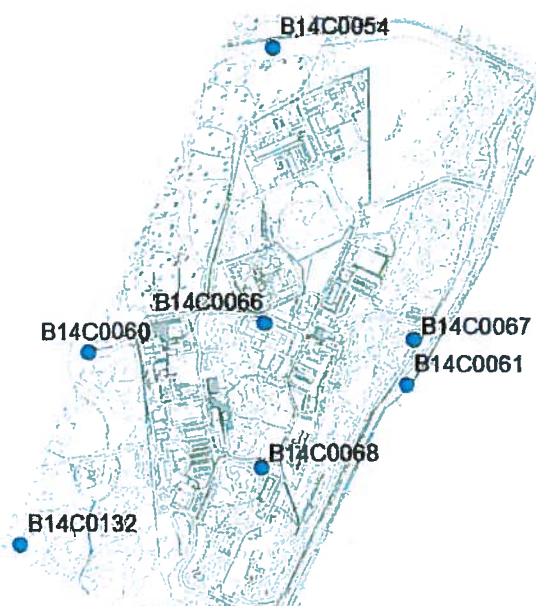
#### Maatgevende grondwaterstand

Aan de hand van gegevens uit de DINO-database van TNO is vastgesteld in welke mate de grondwaterstandsmetingen uit 2012 als hoog of laag kunnen worden gekenmerkt. Hiermee wordt meer inzicht verkregen in het stromingspatroon en of er verschillen zijn tussen jaargetijden. Van verschillende peilbuizen in de omgeving zijn grondwaterstandsreeksen bekeken. Echter, er zijn ten tijde van rapporteren (medio december) geen recente grondwaterstandsgegevens van deze peilbuizen beschikbaar.

In Figuur 3-6 zijn onder andere peilbuizen B14C0066 en B14C0132 uit de DINO-database weergegeven. Peilbuis B14C0066 bevindt zich op een afstand van circa 100 m ten zuiden van de reactor. Helaas zijn de laatst beschikbare metingen van deze peilbuis van 2003, waardoor er een minder nauwkeurig beeld van de huidige grondwaterstanden is. Peilbuis B14C0132 bevindt zich in het duingebied op een afstand van circa 900 m ten zuidwesten van de HFR (zie onderstaande Figuur 3-6 voor ligging peilbuis). De laatst beschikbare metingen van deze peilbuis zijn van 14 augustus 2012. Deze twee peilbuizen kunnen als representatief worden verondersteld voor het onderzoeksgebied. Van deze peilbuizen kan op basis van langjarige metingen een hoge, een gemiddelde en een lage grondwaterstand worden ingeschat. Ook is duidelijk wanneer de grondwaterstand hoog is en wanneer laag.

Zoals aangegeven zijn er (nog) geen metingen van 16 november 2012 beschikbaar, het moment dat de opname van de grondwaterstanden werd uitgevoerd. Om de gemeten grondwaterstanden van 16 november 2012 te kunnen vergelijken en te kunnen inschatten of deze hoog of laag zijn, dienen deze te worden vergeleken met de langjarige metingen van de DINO-peilbuizen B14C0066 en B14C0132.

Omdat de grondwaterstanden op 16 november 2012 van deze peilbuizen (nog) niet beschikbaar zijn, is aan de hand van tijdreeksanalyse de grondwaterstand gemodelleerd voor de niet beschikbare periode tot en met november. De grondwaterstandgegevens zijn nader geanalyseerd waarna gemiddeld hoge (GHG), gemiddeld lage (GLG), en gemiddelde grondwaterstand (GG) zijn afgeleid.



Figuur 3-6 Ligging van de in DINO aanwezige peilbuizen in het studiegebied

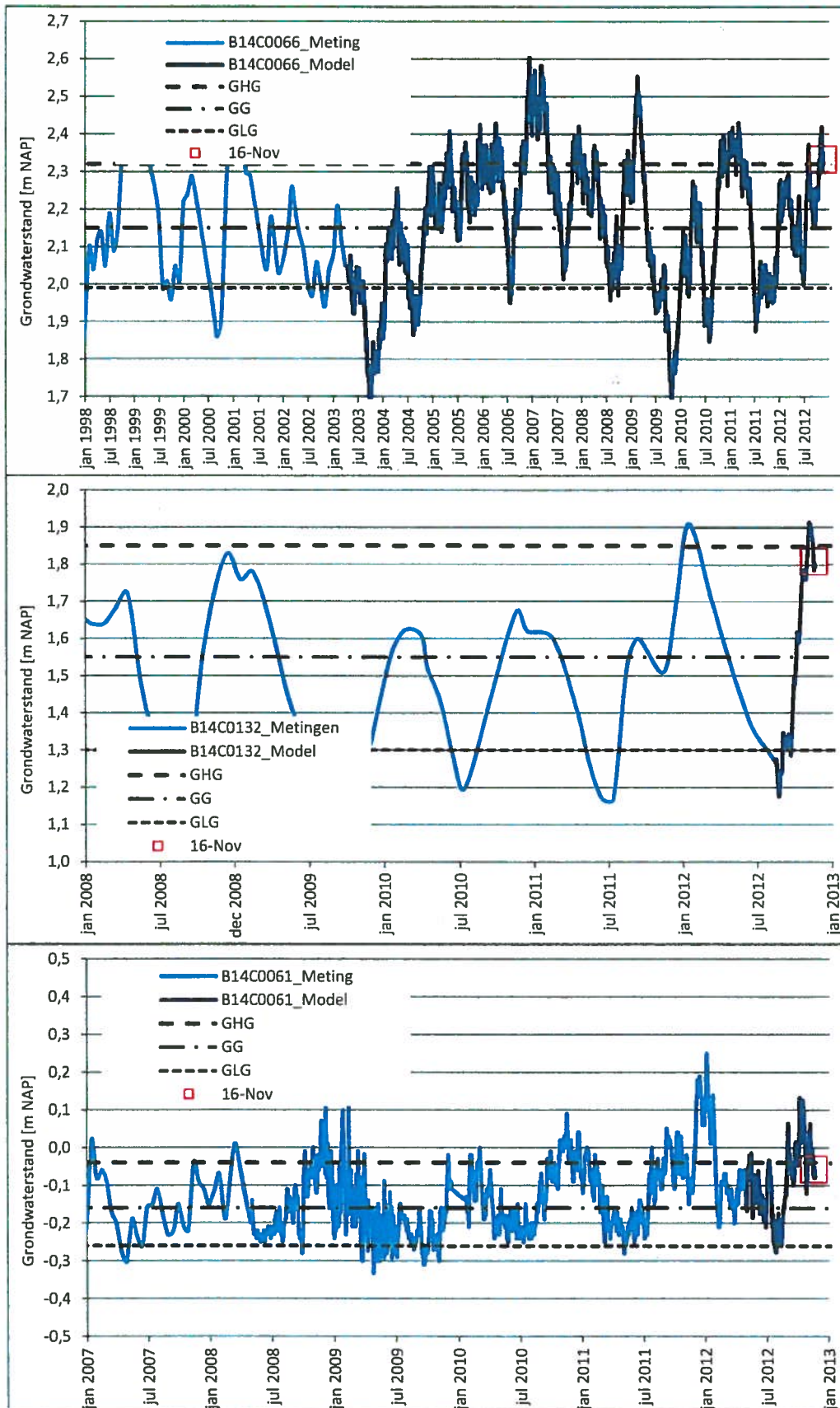
In Figuur 3-7 zijn de gemeten waarden (lichtblauw) en de berekende waarden (donkerblauw), en lijnen van GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand), GG (Gemiddelde Grondwaterstand) en GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) weergegeven. Ook is de berekende waarde van 16 november weergegeven.

Uit de analyse blijkt dat de natuurlijke jaarlijkse fluctuatie in de tijd ongeveer 1,0 m bedraagt. Er is een duidelijk seizoenspatroon zichtbaar met hoge grondwaterstanden in de winter en lage grondwaterstanden in de zomer. Uit hiervoor beschreven tijdreeksanalyse blijkt dat de grondwaterstand tijdens de meting op 16 november zich ongeveer op de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) bevond.

Ten westen van het onderzoeksgebied bevindt zich de zee. De grondwaterstand staat sterk onder invloed van de zee. Het getij heeft een grote invloed op de freatische grondwaterstanden nabij het strand. Het getij varieert tussen ongeveer NAP -0,8 m en NAP +1,0 m. Als gevolg van golfloop op het strand en infiltratie op het strand, bedraagt de gemiddelde grondwaterstand op het strand ongeveer NAP +0,5 m.

Aan de oostzijde van het plangebied ligt de Hazepolder. Hier wordt het grondwaterpeil sterk gereguleerd door sloten en drainage. Het grondwaterpeil ligt hier op ongeveer NAP -0,5 m.

Ten westen van de HFR wordt ongeveer ter plaatse van de toegangsweg naar de HFR de waterscheiding aangetroffen. Dit is het punt waar de hoogste grondwaterstanden worden aangetroffen. Ten westen van deze waterscheiding stroomt al het water naar het westen. Ten oosten van de waterscheiding stroomt het grondwater oostwaarts.



Figuur 3-7 Langjarige grondwaterstanden – gemeten en gemodelleerd. GHG = Gemiddeld Hoogste grondwaterstand, GG = Gemiddelde Grondwaterstand, GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand



### Stijghoogten eerste watervoerend pakket

De stijghoogten in het eerste watervoerend pakket zijn bekend ter plaatse van de Westerduinweg in TNO-buis B14C0061 (voor ligging peilbuis, zie Figuur 3-6). De stijghoogte fluctueert in deze peilbuis tussen circa NAP -0,04 m en NAP -0,26 m, bij een gemiddelde stijghoogte van NAP -0,16 m. Stijghoogten op grotere diepten (dieper dan circa NAP -40 m) liggen enkele cm's lager.

Op het terrein is de stijghoogte ook bekend in peilbuis 1002\_3 (voor ligging, zie bijlage 2). Aan de hand van langjarige meetgegevens van peilbuis B14C0061 en een tijdreeksanalyse (zie Figuur 3-6 en Figuur 3-7) is vastgesteld dat tijdens de handmeting op 16 november de stijghoogte in peilbuis B14C0061 zich iets onder de GHG bevond. De gemeten stijghoogte in peilbuis 1002\_3 bedroeg NAP +0,48 m. Hieruit volgt dat de gemiddelde stijghoogte in peilbuis 1002\_3 circa NAP +0,38 m bedraagt.

Analyse van peilbuizen langs de kust laten zien dat de gemiddelde stijghoogte ter plaatse van de zee ongeveer NAP 0,0 m à NAP +0,25 m is.

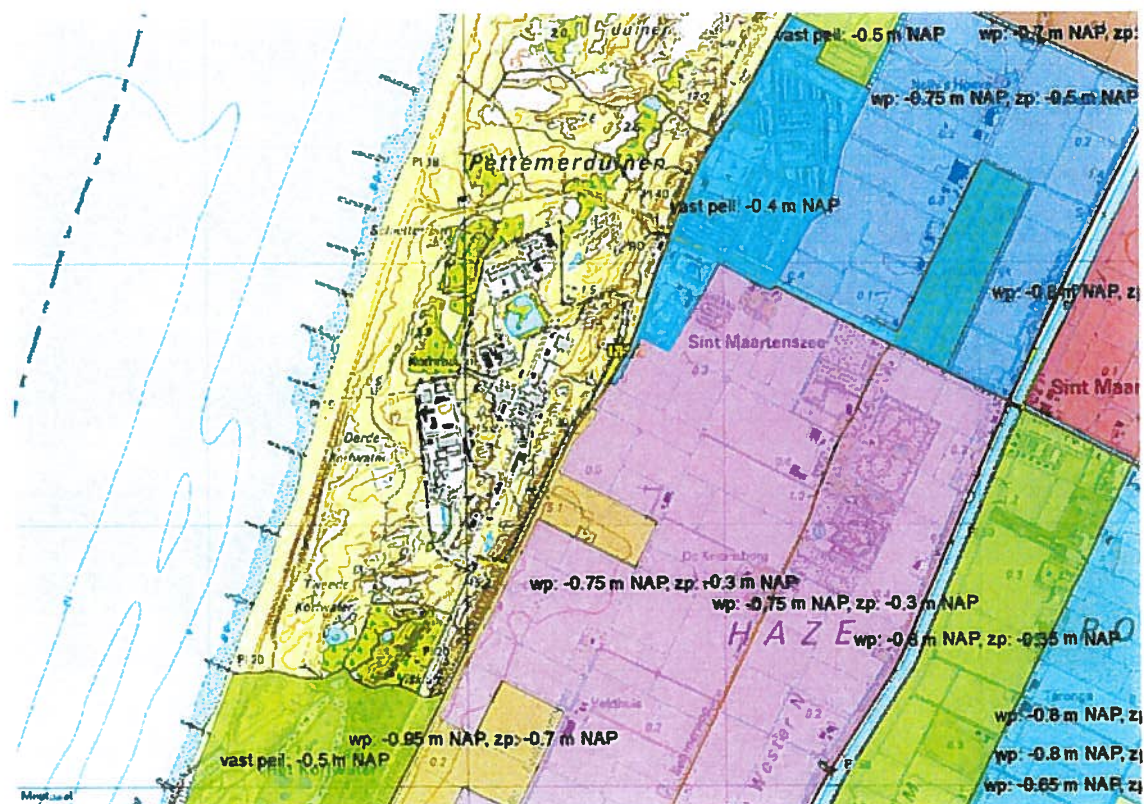
## 3.5 Oppervlaktewaterpeilen

### Zee

Ten westen van het onderzoeksgebied ligt de zee, waarvan het getij varieert tussen ongeveer NAP -0,8 m en NAP +1,0 m.

### Polderpeilen

Ten oosten van het onderzoeksgebied ligt de Hazepolder. Hier worden verschillende peilen gehandhaafd. De zomer- en winterpeilen in het poldergebied zijn in Figuur 3-8 weergegeven. Hieruit blijkt dat het waterpeil in de sloot aan de teen van het duin, langs de Westerduinweg, in de zomer wordt gehandhaafd op NAP -0,7 m en in de winter op NAP -0,95 m. In het achterliggende land worden peilen gehanteerd van NAP -0,3 m cq. NAP -0,75 m. In het duingebied worden geen vaste peilen gehandhaafd.



Figuur 3-8 Oppervlaktewaterpeilen in het poldergebied

### Duinmeertjes

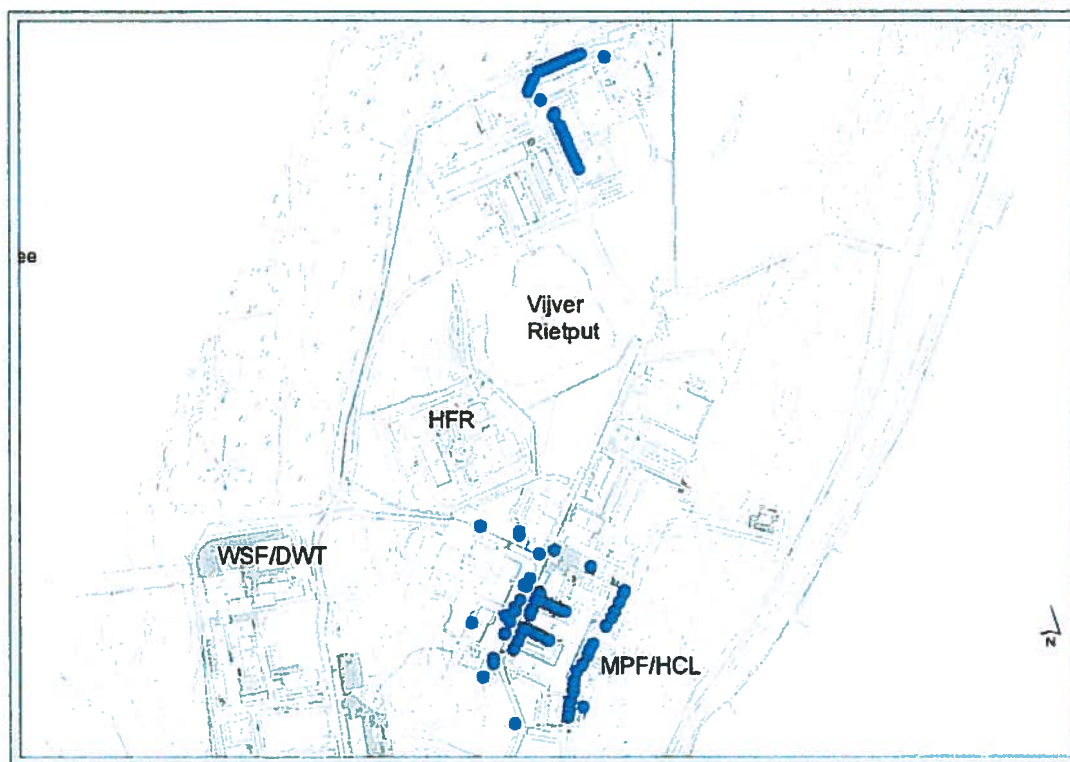
Op het terrein en in het duingebied zijn meerdere duinmeertjes aanwezig. Over het algemeen volgen deze de fluctuaties van de grondwaterstand.

Op het GCO-terrein, direct ten noorden van de HFR, is de Rietput aanwezig. Neerslag van daken van onder andere de HFR wordt afgevoerd naar dit duinmeer. Indien het peil in het meertje te hoog wordt, wordt het water afgepompt en via leidingen afgevoerd. Jaarlijks wordt circa 20.000 à 40.000 m<sup>3</sup> water uit de vijver afgevoerd (periode 2009-2012).

### 3.6 Grondwateronttrekkingen

Op het terrein in de omgeving van de HFR is grondwaterbemaling van het ECN aanwezig. Deze onttrekt grondwater om voldoende ontwatering te behouden ter plaatse van de bebouwing. Er wordt alleen bemalen wanneer de grondwaterstand te hoog wordt (ten opzichte van bebouwing). De grondwaterstanden waarop de installatie aan- of uitgaat zijn niet bekend. In (Figuur 3-9 zijn de vermoedelijke locaties van de bronbemalingen weergegeven. Dit geeft inzicht in de locaties van de grondwateronttrekkingen. Aan de zuidzijde van het terrein is geen bemaling aanwezig. De bemaling concentreert zich op het gebied rond de MPF/HCL (gebouw 04-07) (ligging gebouwen zie Figuur 3-1).

Jaarlijks wordt ongeveer 12.000 à 16.000 m<sup>3</sup> grondwater onttrokken (periode 2009-2012).



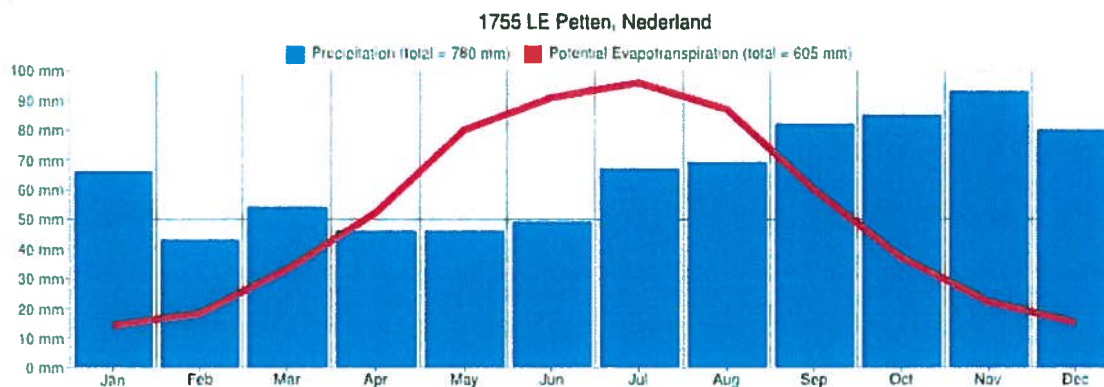
Figuur 3-9 Ligging bemalingsputten

### 3.7 Neerslag en infiltratie

De gemiddelde jaarlijkse neerslag op de locatie bedraagt ongeveer 780 mm. Een deel hiervan verdampt, een deel wordt via kolken en riolering afgevoerd, het overige deel infiltreert in de bodem. Een deel van het geïnfiltreerde grondwater wordt door planten en bomen opgenomen en verdampt, terwijl de rest het grondwater aanvult. Deze netto aanvulling van het grondwater wordt de nuttige neerslag genoemd.

In Figuur 3-10 zijn de gemiddelde neerslag en potentiële open water-verdamping weergegeven.

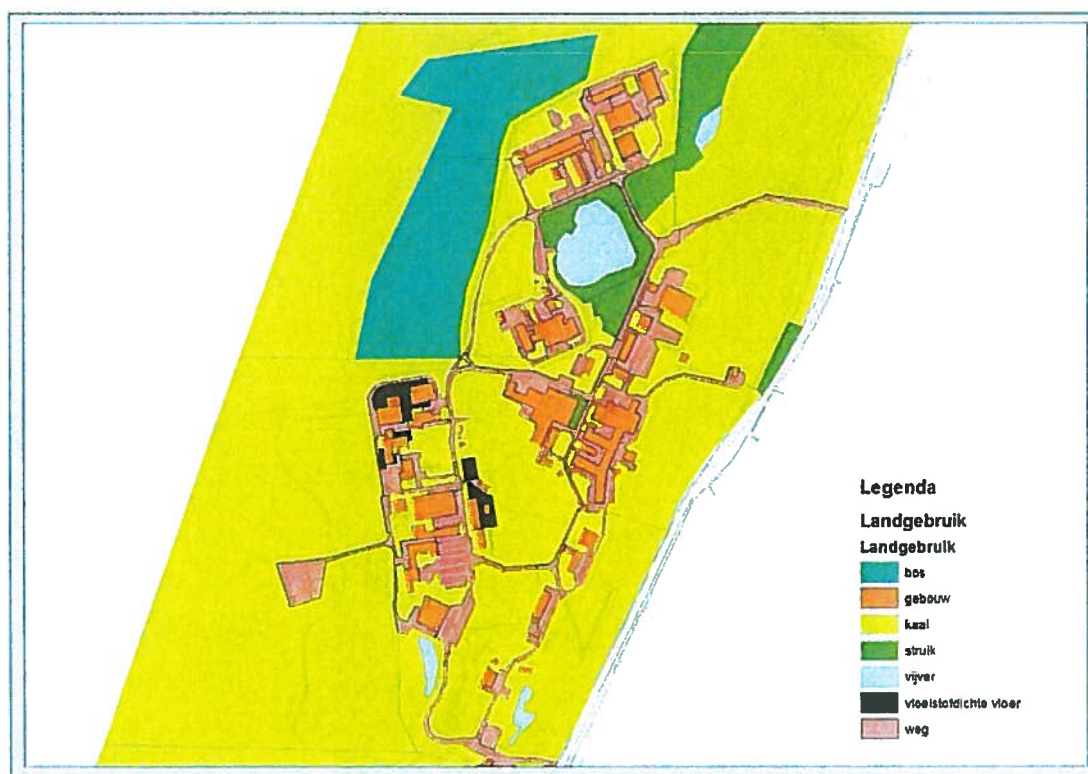




Figuur 3-10 Gemiddelde neerslag en potentiële verdamping

De nuttige neerslag is afhankelijk van het landgebruik; neerslag op gebouwen wordt (bij de meeste gebouwen) via riolering afgevoerd, terwijl op kale grond veel water in de bodem kan infiltreren. Bij natte rietvegetatie zal veel bodemvocht verdampen, mogelijk meer dan de neerslag, terwijl op wegen slechts een deel van de neerslag verdampt en wordt afgevoerd.

De mate waarin neerslag al dan niet in de bodem infiltreert is mede bepalend voor de grondwaterstroming. Om inzicht daarin te verkrijgen is inzicht nodig in het landgebruik. Er zijn verschillende typen landgebruik, zoals wegverharding, bebouwing, kale grond, en struiken. De landgebruikstypen zijn voor het terrein in kaart gebracht. Deze zijn in Figuur 3-11 weergegeven.



Figuur 3-11 Landgebruikskartaal

Op basis van de landgebruikskaart is de aanvulling aan het grondwater vastgesteld.

**Tabel 3-1 Neerslagoverschot (hoeveelheid nuttige neerslag) in mm/d per landgebruikstype**

Landgebruik	Neerslagoverschot in mm/d
Bos-noord (droog bos)	0,5
Bos-zuid (natte duinvallei)	-1,0
Gebouw	0,0
Kaal duingebied	1,3
Struik	0,0
Vijver	0,0
Vloeistofdichte vloer	0,0
Weg	0,7

### 3.8 Kelders

Verschillende gebouwen op het terrein hebben kelders die tot in het grondwater steken. De bestaande kelders zijn in Figuur 3-12 weergegeven. Deze kelders kunnen een obstakel vormen voor de grondwaterstroming, waardoor lokaal het grondwaterstromingspatroon wordt beïnvloed.



Figuur 3-12 Aanwezige kelders met diepte

### 3.9 Bodemverstoringen

Tijdens aanleg van de reactor en omliggende bebouwing eind jaren '50, begin jaren '60, is de bodem ontgraven voor de aanleg van de kelders. Uit de bouwtekeningen blijkt dat de bodem ter plaatse van de reactor is ontgraven tot een diepte van NAP -2,2 m. Dit betekent dat de bodem is uitgegraven tot boven de kleilaag (NAP -2,5 m tot NAP -3,5 m in de directe omgeving van de reactor). De kleilaag is derhalve intact gebleven.

Er zijn bij de aanleg van de kelders (voor zover bekend) geen damwanden geplaatst, die de kleilaag eventueel hebben doorsneden.

Om de kelders in den droge te kunnen aanleggen heeft men de grondwaterstand verlaagd middels grondwaterbemaling. Deze bemaling is alleen in het ondiepe pakket uitgevoerd (bovenste meters). In sommige gevallen kan de bodem opbarsten wanneer een hoge waterdruk onder de kleilaag aanwezig is. Uit een korte analyse is gebleken dat dit op de projectlocatie naar verwachting niet heeft plaatsgevonden (geen opbarstgevaar). Daarom wordt aangenomen dat er geen spanningsbemaling in het watervoerend pakket (op een diepte van circa NAP -10 m) is toegepast, en er geen bronfilters door de kleilaag zijn geplaatst. De kleilaag is ten behoeve van grondwaterbemaling naar verwachting niet doorboord.

De reactor is gefundeerd op circa 100 palen welke door de kleilaag zijn geheid tot in het Pleistocene zand. Ter plekke van de reactor is de kleilaag derhalve verstoord.

### 3.10 Grondwaterkwaliteit

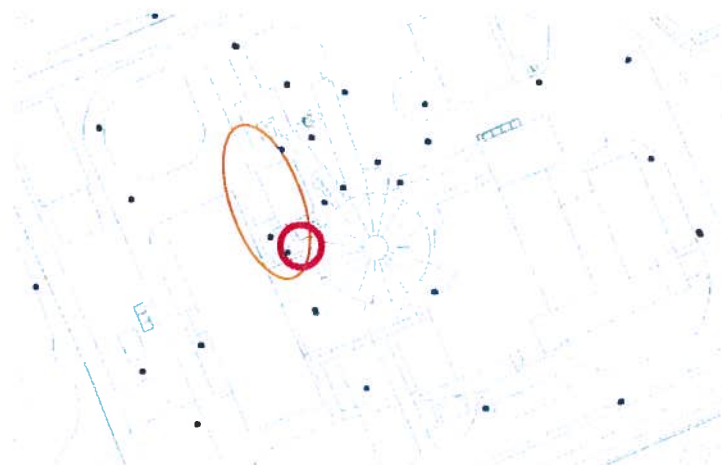
#### *Chloride*

Uit de gegevens van de DINO-database van TNO blijkt dat het ondiepe grondwater, boven de kleilaag op circa NAP -3 m, zoet is met chloridegehalten van ongeveer 150 à 1.000 mg/l. Dit komt door de aanvulling van zoet regenwater. In het diepe grondwater, onder de kleilaag op circa NAP -20 m, is het chloridegehalte vele malen hoger door de invloed van zee. Het chloridegehalte bedraagt hier ongeveer 5.000 à 15.000 mg/l.

#### *Tritium*

Sinds 2010 wordt het grondwater rond de HFR gemonitord op de aanwezigheid van tritium. Vanaf eind 2011 is er tritium in het grondwater aangetroffen. Vanaf dat moment is de monitoring geïntensiveerd. Er zijn vaker monsters genomen en er zijn meer peilbuizen bijgeplaatst (zie hoofdstuk 2).

Aan de westzijde van de reactor is tijdens graafwerkzaamheden begin november 2012 een lekkage aangetroffen in een van de afvoerleidingen. De locatie van het aangetroffen lek is weergegeven in Figuur 3-13. De leiding bevindt zich op circa 2 m -mv, terwijl de grondwaterstand zich op circa 2,75 m -mv bevindt. Door NRG is een globale (conservatieve) inschatting gemaakt van de lekkage. Ingeschat is dat ongeveer 10 maal per jaar zo'n 50 liter per keer is gelekt, met een tritiumconcentratie van 1 MBq/l is weggelekt. Dit komt ongeveer overeen met gemiddeld (ordegrootte) 1 liter per dag.



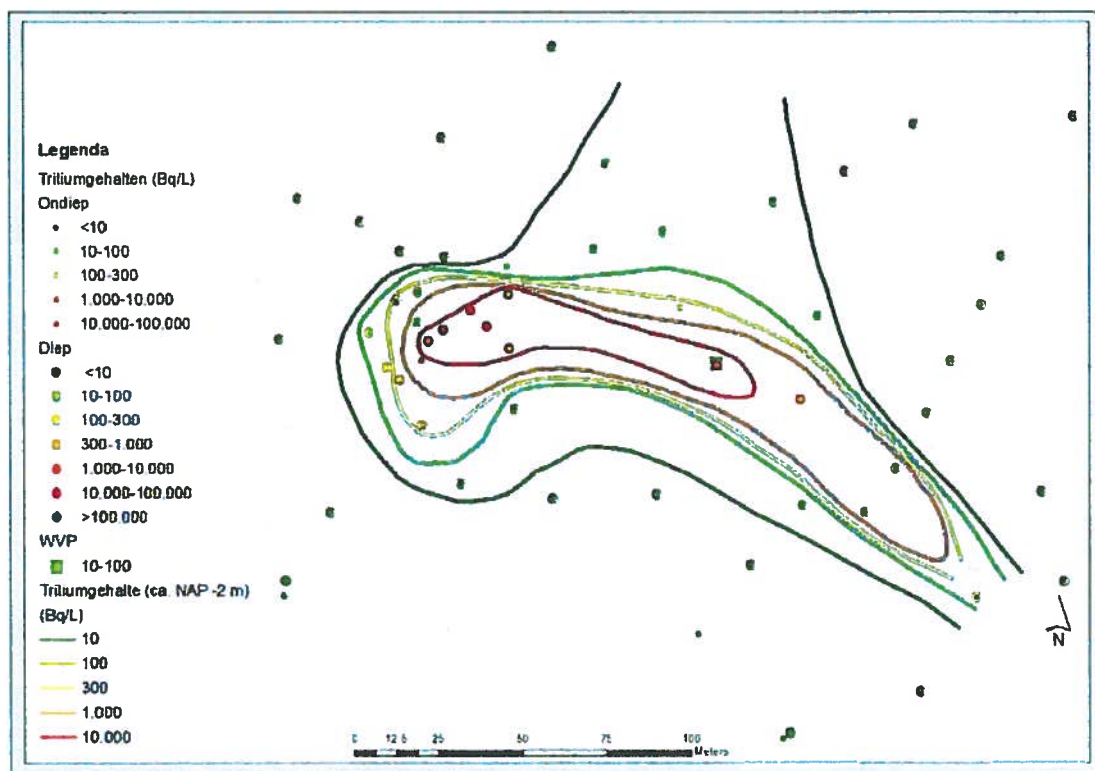
Figuur 3-13 Locatie aangetroffen lekkage in leiding (rode cirkel) en mogelijke bronlocaties kleinere lekken (oranje ovaal)

Gezien de waargenomen patronen van verontreiniging en op basis van drukproeven (november 2012) van een aantal leidingen is ingeschat dat nog een 'tweede' lek aanwezig moet zijn geweest (van kleinere orde). De inschatting is dat dit lek circa 0,1 liter/dag groot moet zijn geweest met een concentratie van 180 kBq/l. Deze lekkage is aanwezig (geweest) op één of meerdere locaties waar deze leidingen lopen (zie Figuur 3-13).



Aan de hand van de analyses is vastgesteld waar tritium is aangetroffen en in welke mate deze is verspreid. In Figuur 3-14 is de gemeten verspreiding van tritium in het grondwater aangegeven. Deze verspreiding is gemeten aan de hand van gemeten concentraties in peilbuizen. Omdat niet alle peilbuizen gelijktijdig zijn bemonsterd is in onderstaande overzichtstekening de laatst gemeten tritiumwaarde weergegeven. De figuur is ook weergegeven in bijlage 4 en in bijlage 5 met isohypsen.

In de figuur is een onderscheid gemaakt tussen "diepe" en "ondiepe" peilbuizen. Dit onderscheid is gemaakt om de verschillen aan te duiden over de diepte van het freatisch watervoerend pakket. Het freatische pakket heeft een dikte van ongeveer 5 m, waardoor er verschillen bestaan in het pakket zelf (afwijkende concentraties boven- en onder in het pakket). De "ondiepe" peilbuizen staan bovenin het pakket, net onder de grondwaterstand. De "diepe" peilbuizen staan onderin het freatische pakket, vlak boven de onderliggende kleilaag. De "diepe" peilbuizen zijn aangegeven met een klein rondje, de "diepe" met een groter rondje. Daarnaast is er één peilbuis op grotere diepte, onder de kleilaag geplaatst. Deze is aangegeven met een vierkantje. Het tritiumgehalte is aangegeven in verschillende klassen van verontreiniging. Dit is gedaan met kleurcodes.



Figuur 3-14 Tritiumgehalten in het grondwater met contourlijnen

Uit analyse van de gemeten concentraties blijkt dat de concentratie toeneemt met de diepte: ondiep is de verontreiniging (in veel gevallen) lager dan in de diepe peilbuis. Dit is het gevolg van aanvulling van neerslag van bovenaf, waardoor het verontreinigde grondwater steeds dieper zakt en bovenin het pakket bijmenging met schoon water plaatsvindt.

De aanwezige tritiumverontreiniging is door de grondwaterstroming verplaatst en "uitgesmeerd". Hierdoor is een pluim ontstaan, die zich uitstrekt tot voorbij de eerste peilbuizenraai naar het oosten. De lengte van deze pluim bedraagt ongeveer 150 m. Nabij de bron is de concentratie het hoogst, boven 100.000 Bq/l. Stroomafwaarts zijn de gehalten lager. Direct aan de oostzijde van de HFR zijn de gehalten al ruim 10 maal lager, rond 11.000 Bq/l. Nog verder stroomafwaarts neemt het gehalte verder af, tot circa 200 Bq/l nabij de eerste raai. De pluim is smal met een breedte van ongeveer 25 m.

Daarnaast is een klein deel van de verontreiniging verplaatst richting de Rietput. Echter, de concentraties zijn hier beduidend lager, zo rond 20 à 60 Bq/l.

Hoe de twee stromen, de grote pluim richting het oosten, en de pluim met lage concentraties richting de Rietput, zich verhouden dient nader te worden uitgezocht. Mogelijk is dit patroon ontstaan onder invloed van de seizoenen.

In het diepe watervoerend pakket, onder de kleilaag (op een diepte van circa NAP -10 m), is een lichte verhoging van tritium aangetroffen (waarden tussen 17 en 22 Bq/l).

## 4 Modelonderzoek

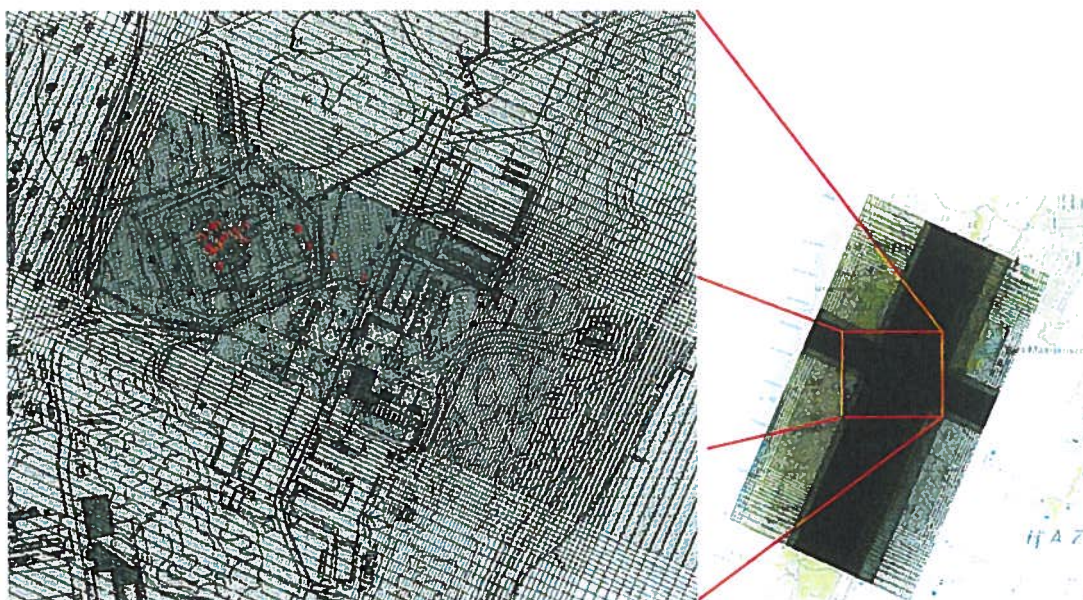
### 4.1 Inleiding

Om de verontreiniging te kunnen beoordelen in termen van risico, leeftijd, verspreidingsrichting en voor het opstellen van maatregelen voor sanering is een modelonderzoek uitgevoerd. Dit modelonderzoek is uitgevoerd met behulp van het programma 'MODFLOW' waarmee de grondwaterstroming kan worden gesimuleerd.

In het model zijn alle gegevens van de ondergrond (laagopbouw van de bodem, doorlatendheid van de bodemlagen, maaiveldverloop, ondergrondse bebouwing) en hydrologische randvoorwaarden (oppervlaktewaterpeilen, grondwateronttrekkingen, stijghoogten/grondwaterstanden, neerslagoverschot, verharding) opgenomen. Deze gegevens zijn in Hoofdstuk 3 beschreven.

### 4.2 Modelopbouw

Het gebied is geschematiseerd in een rechthoekig grid met breedte 1.250 en lengte 2.200 meter. Het grid heeft als oorsprong  $X = 106.100$  m en  $Y = 532.700$  m in het RD-stelsel. Het modelgrid bestaat uit 251 rijen, 253 kolommen en 6 lagen en is 24 graden geroteerd zodat het duinsysteem en de modelranden zo goed mogelijk samenvallen met zowel de kustlijn in het westen als de polders in het oosten. Omdat een loodrecht op deze lijnen gerichte stroming wordt verwacht is het roteren van het grid van belang zodat bij stoftransportberekeningen numerieke dispersie wordt geminimaliseerd. Het grid is ter plaatse van de verontreiniging sterk verfijnd (celgrootte +/- 2 meter), onder meer om de lokale informatie zo nauwkeurig mogelijk in het model te kunnen brengen (zie Figuur 4-1).



Figuur 4-1 Gridschematisatie van het hydrologische model.



### Verticale schematisatie

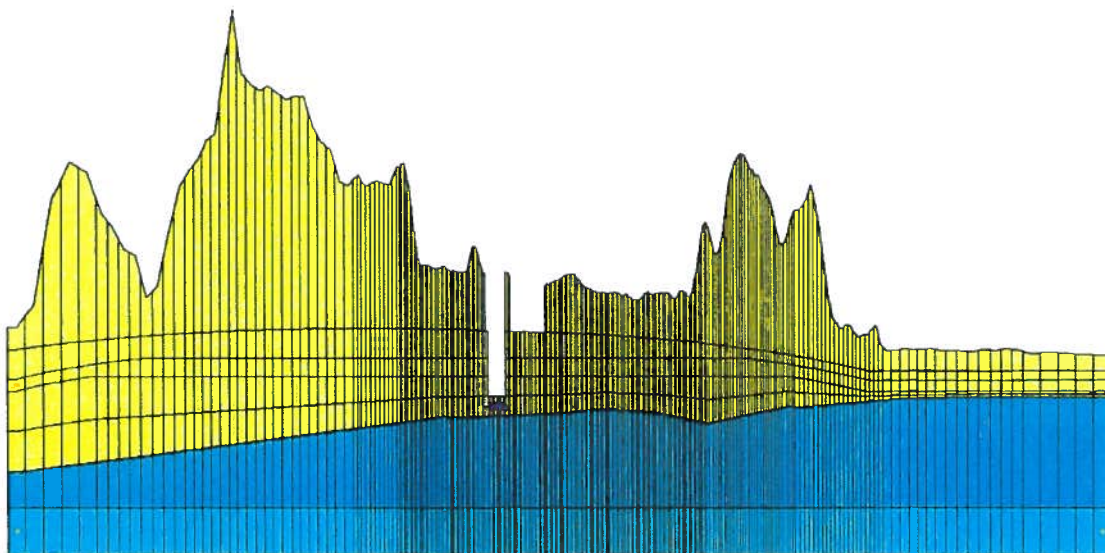
In het grid is vervolgens de laagopbouw ingevoerd. Het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) is gebruikt om de maaiveldhoogte in te voeren. De top van de Holocene kleilaag die tevens de bodem van het freatische pakket vormt is door middel van een interpolatie van alle beschikbare boring- en sonderingsgegevens in het model gebracht. De overige lagen zijn met een vaste hoogte of vaste methodiek afgeleid en in het model geschematiseerd. Als modelbasis is de onderkant van het eerste watervoerend pakket genomen. Hoewel de tweede scheidende laag ontbreekt ter hoogte van de kust en het eerste watervoerende pakket aldaar 76 m dik kan zijn is dit voor de verspreiding van de pluim niet van belang omdat de stijghoogte aan deze rand bekend is en vast is gezet.

Voor verspreiding van de pluim is vooral het centrale deel van het eerste watervoerend pakket van belang. Daarom is voor het eerste watervoerende pakket een dikte aangenomen die nabij de HFR aanwezig is.

Voor de laagindeling van het model is het verzadigde deel van het freatische pakket in vier lagen verdeeld. Hiermee kan de ondiepe en diepe verspreiding op een juiste wijze in beeld worden gebracht. Tevens kan op deze wijze de ondergrondse bebouwing overeenkomstig de reële situatie in het model worden ingevoerd. In Figuur 4-2 en Tabel 4-1 is de gehanteerde laagindeling nader weergegeven.

**Tabel 4-1**      **Laagindeling/schematisatie van de ondergrond**

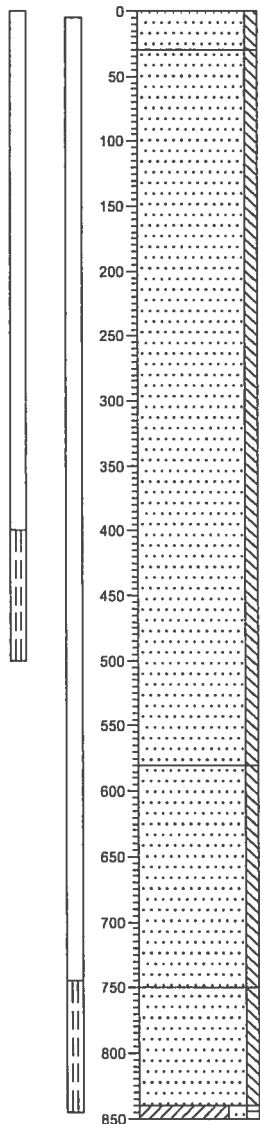
Modellaag	Schematisatie onderkant van de laag	Doorlatendheid (k-waarde)
Bovenkant	maaiveldhoogte bepaalt de top van laag 1	Freatisch pakket, $k=12$ m/d
Laag 1	onderkant van laag 1 op ongeveer 0,5 m onder de berekende grondwaterstand	Freatisch pakket, $k=12$ m/d
Laag 2	onderkant van laag 2 op NAP 0 m	Freatisch pakket, $k=12$ m/d
Laag 3	onderkant van laag 3 op NAP -1 m	Freatisch pakket, $k=12$ m/d
Laag 4	onderkant midden tussen de onderkant van laag 3 en laag 5	Freatisch pakket, $k=12$ m/d
Laag 5	(eerste) scheidende laag met top afgeleid uit boringen en sonderingen	Freatisch pakket, $k=12$ m/d
Laag 6	onderkant op NAP -8,3 m	1 <sup>o</sup> scheidende laag $k=0,0001$ m/d
Laag 7	watervoerende pakket, onderzijde (en tevens geohydrologische basis) op NAP -11 m	1 <sup>o</sup> watervoerende pakket, $k=1,5$ m/d



**Figuur 4-2**      **Weergave van een doorsnede ten behoeve van verticale schematisatie**

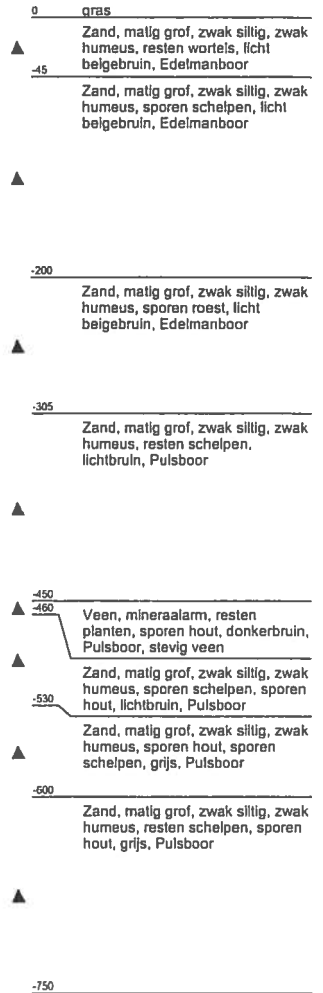
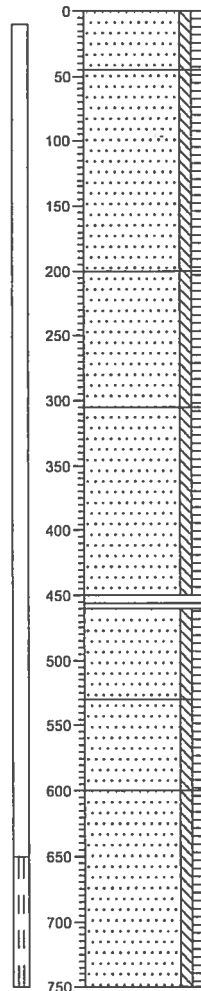
### Boring: 1049

X:  
Y:  
Datum: 29-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG: 580  
Referentievlak: 580



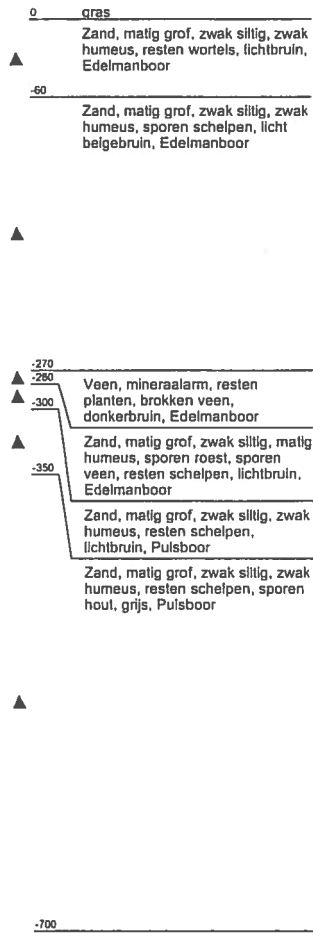
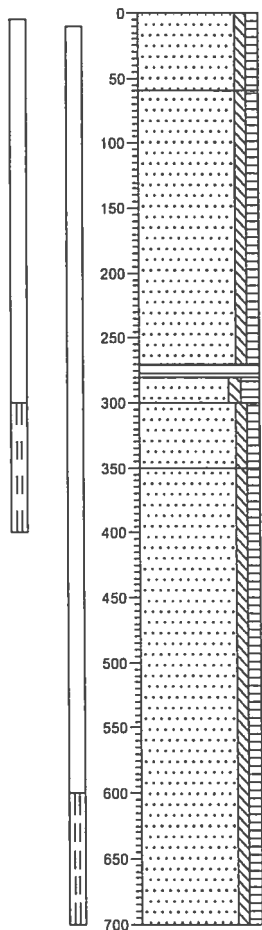
### Boring: 1050

X:  
Y:  
Datum: 29-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



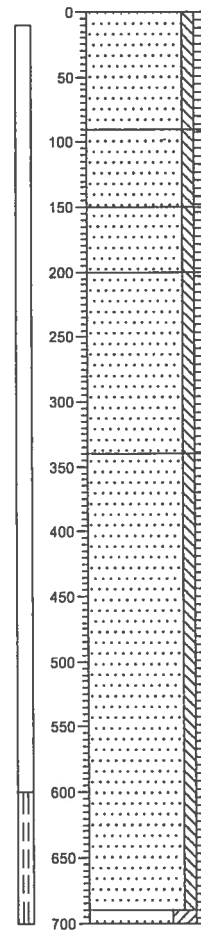
# Boring: 1051

X:  
Y:  
Datum: 30-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



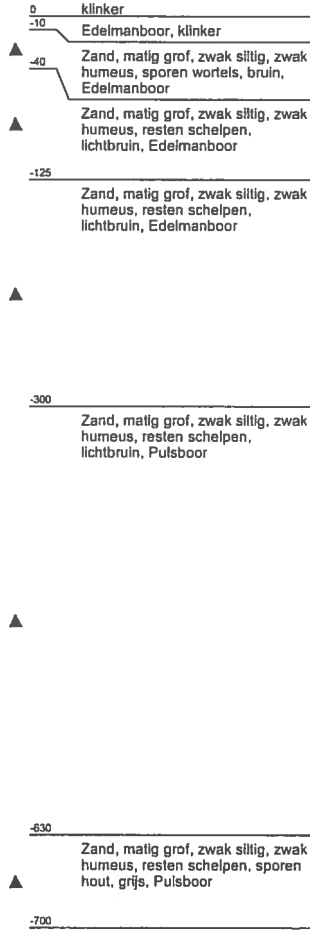
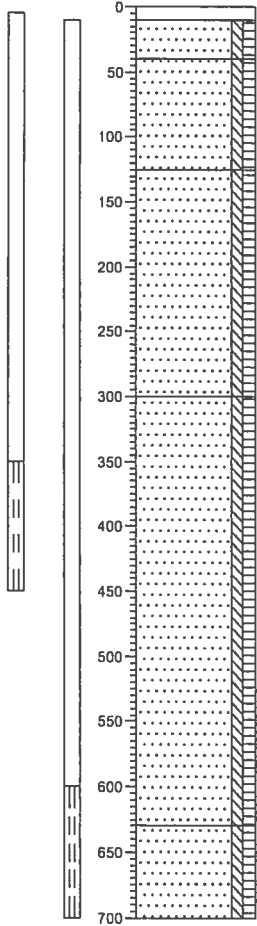
# Boring: 1052

X:  
Y:  
Datum: 26-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



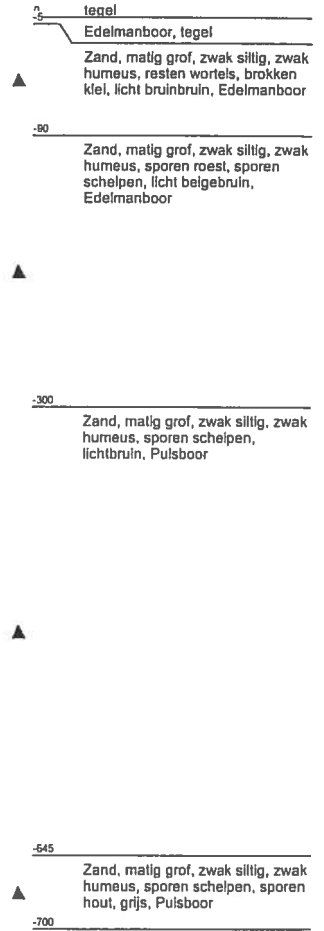
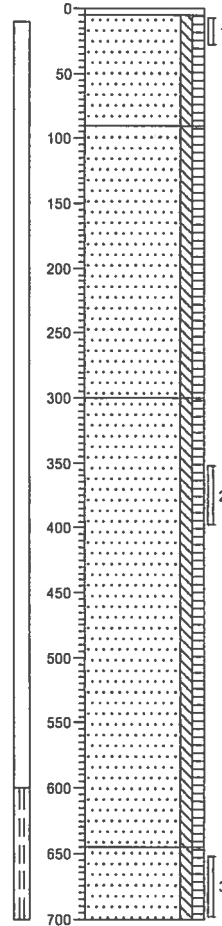
**Boring: 1053**

X:  
Y:  
Datum: 1-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



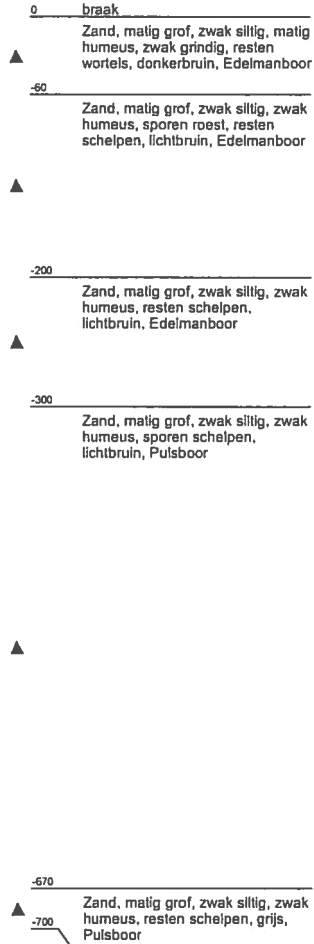
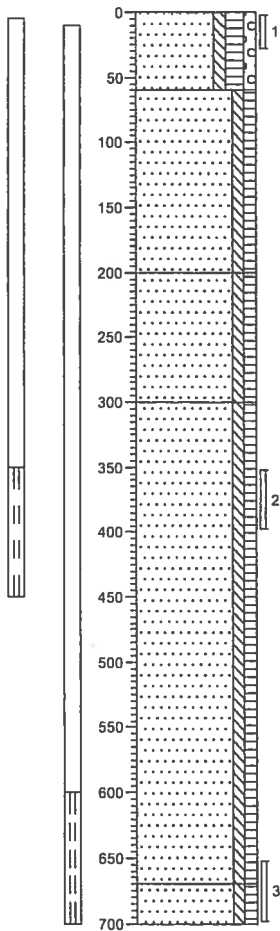
**Boring: 1054**

X:  
Y:  
Datum: 2-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



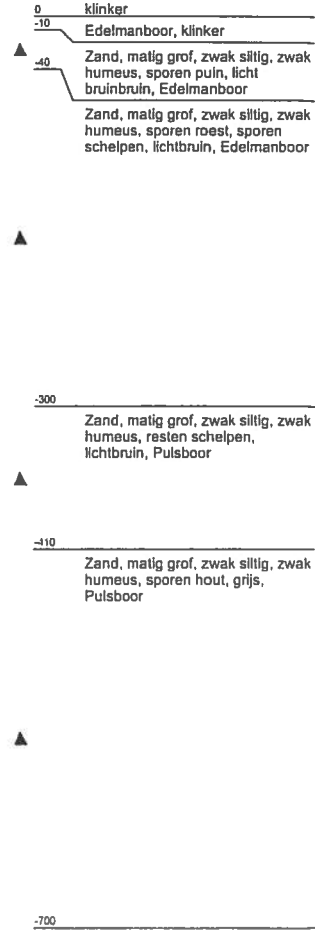
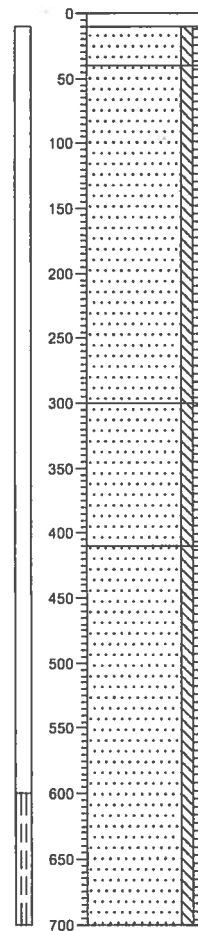
## Boring: 1055

X:  
 Y:  
 Datum: 1-11-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld



## Boring: 1057

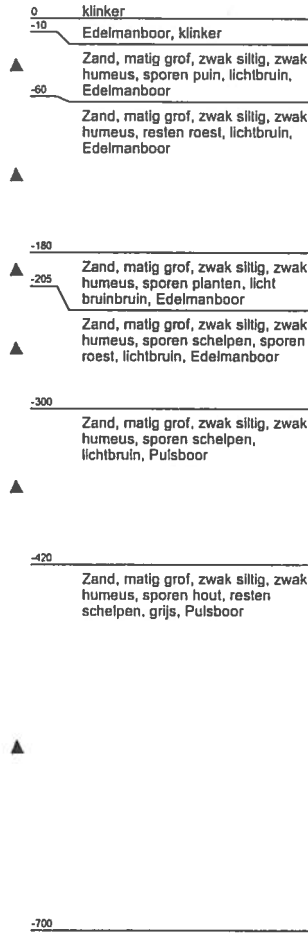
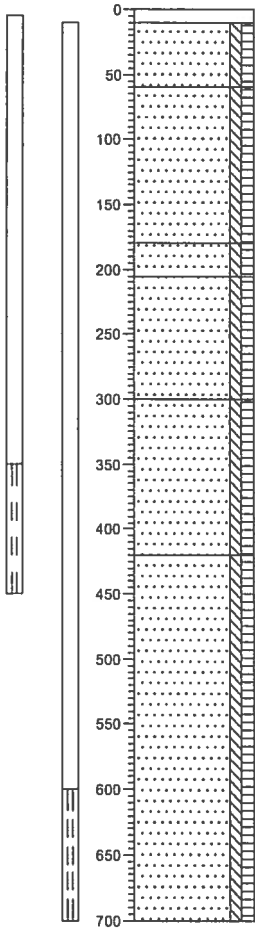
X:  
 Y:  
 Datum: 2-11-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld





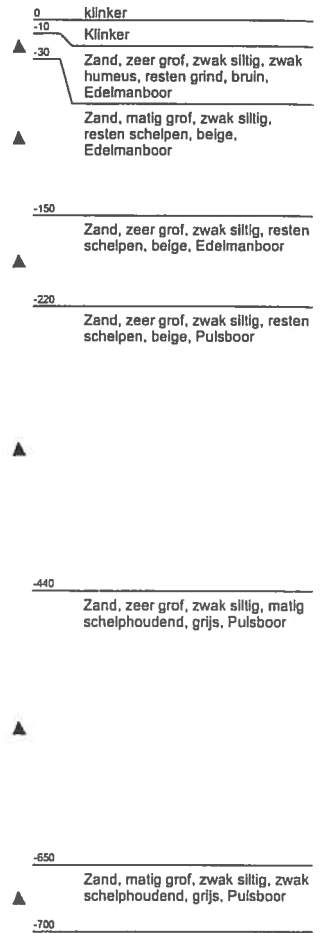
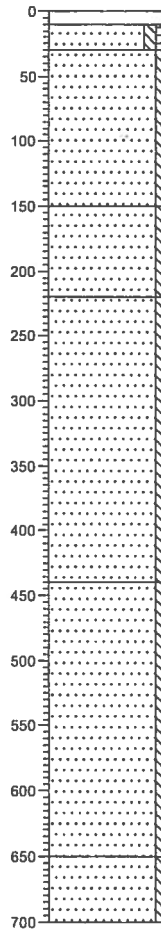
# Boring: 1058

X:  
Y:  
Datum: 2-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



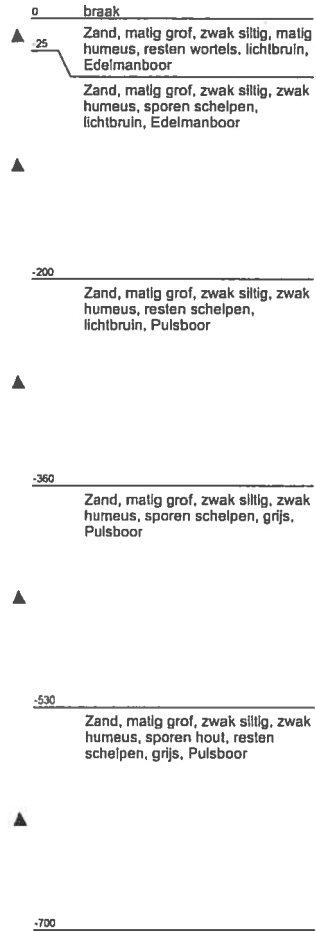
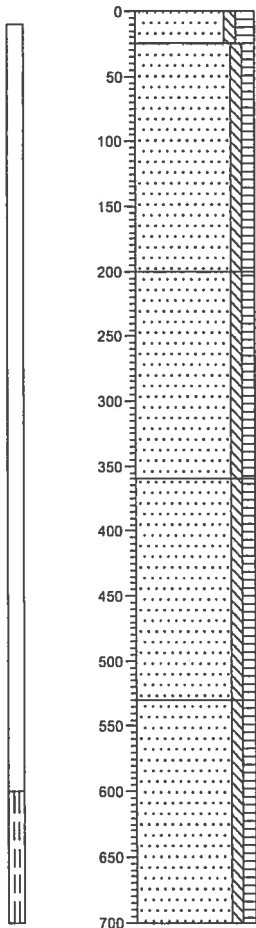
# Boring: 16-2

X:  
Y:  
Datum: 19-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



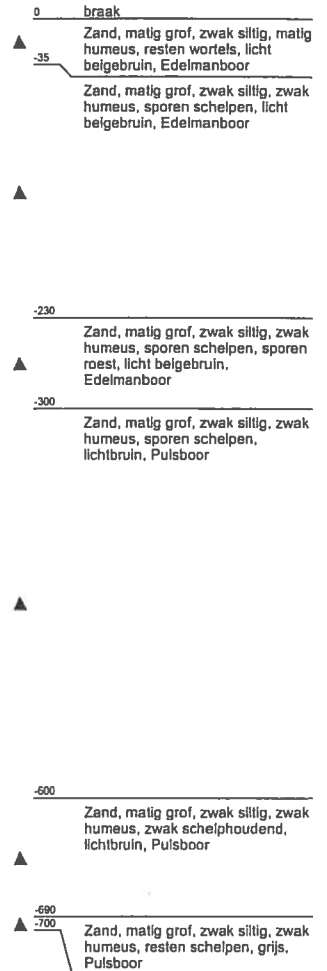
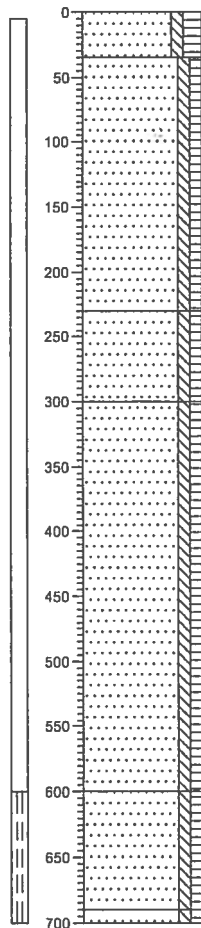
**Boring: 103-2**

X:  
Y:  
Datum: 15-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



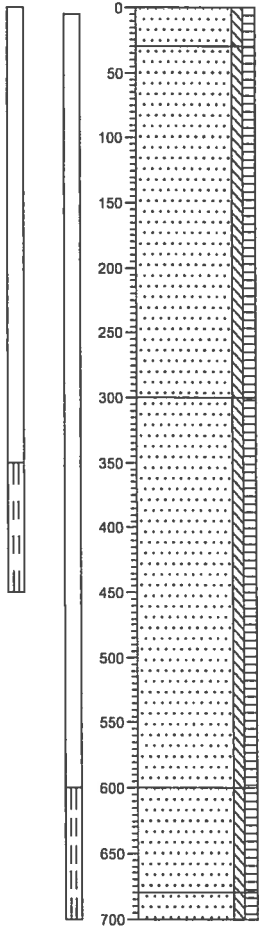
**Boring: 1059**

X:  
Y:  
Datum: 9-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



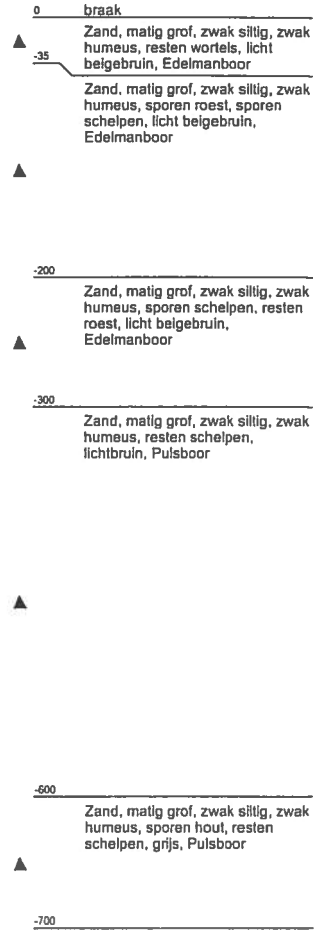
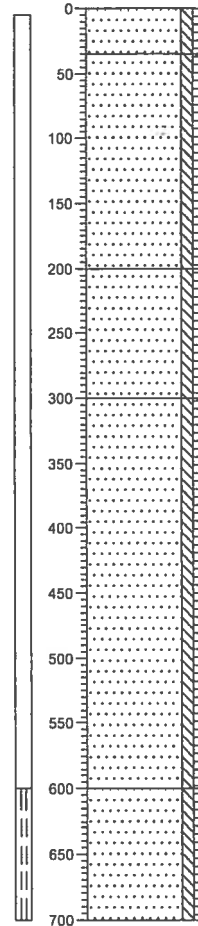
**Boring: 1060**

X:  
Y:  
Datum: 9-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



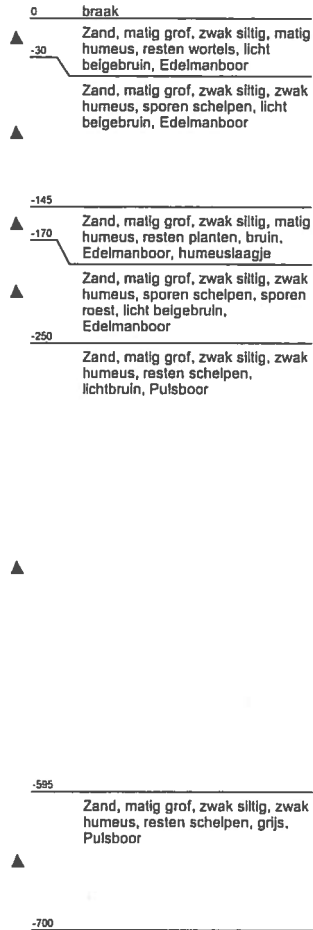
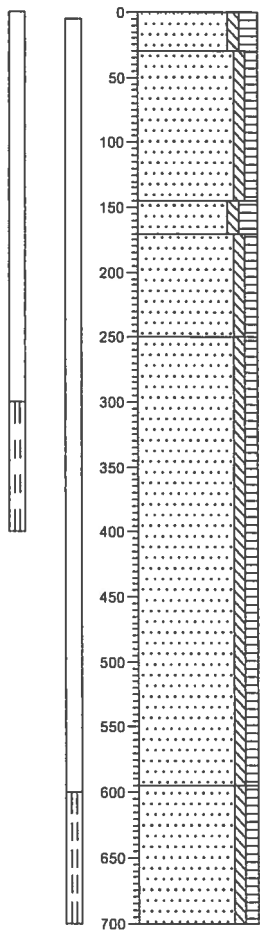
**Boring: 1061**

X:  
Y:  
Datum: 9-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



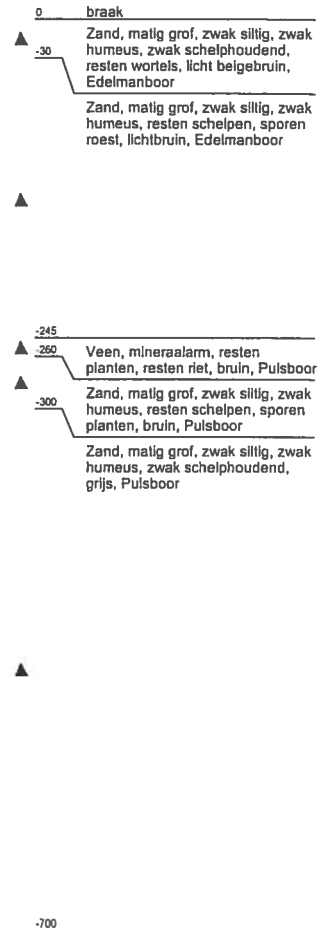
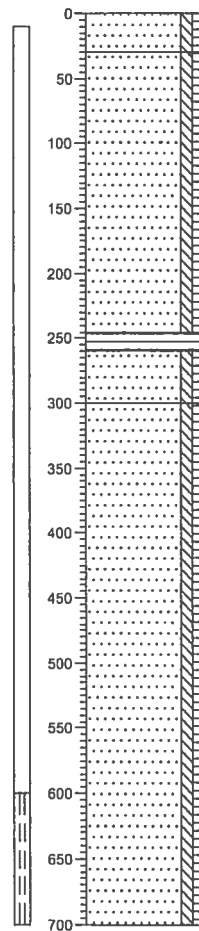
# Boring: 1062

X:  
Y:  
Datum: 9-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



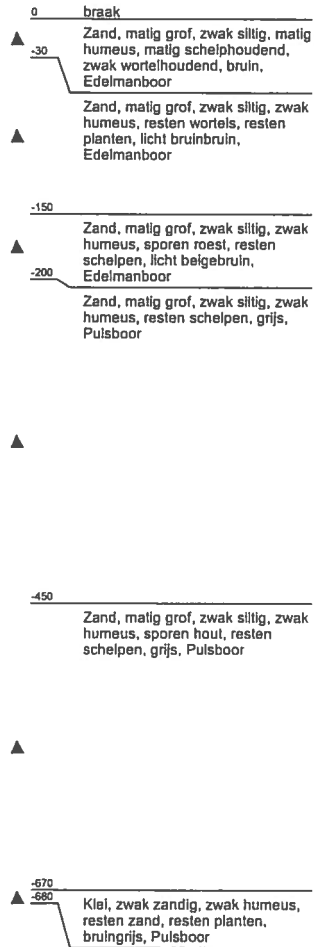
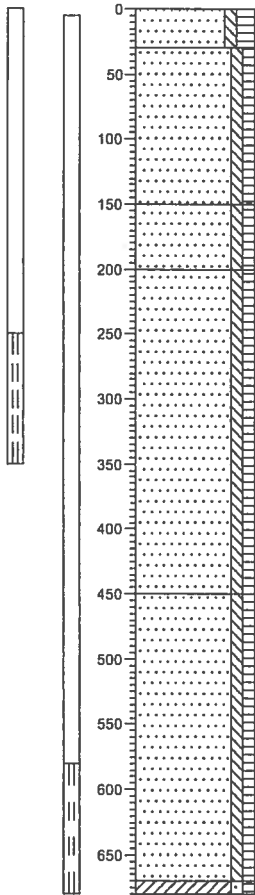
# Boring: 1063

X:  
Y:  
Datum: 7-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



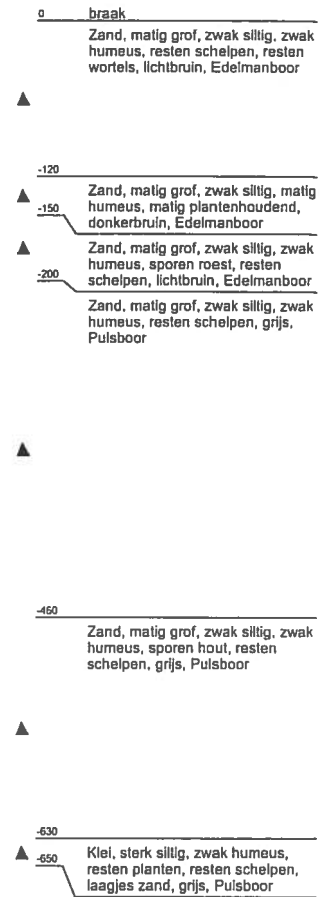
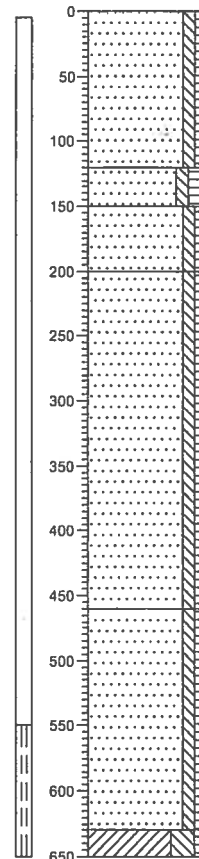
# Boring: 1064

X:  
Y:  
Datum: 7-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



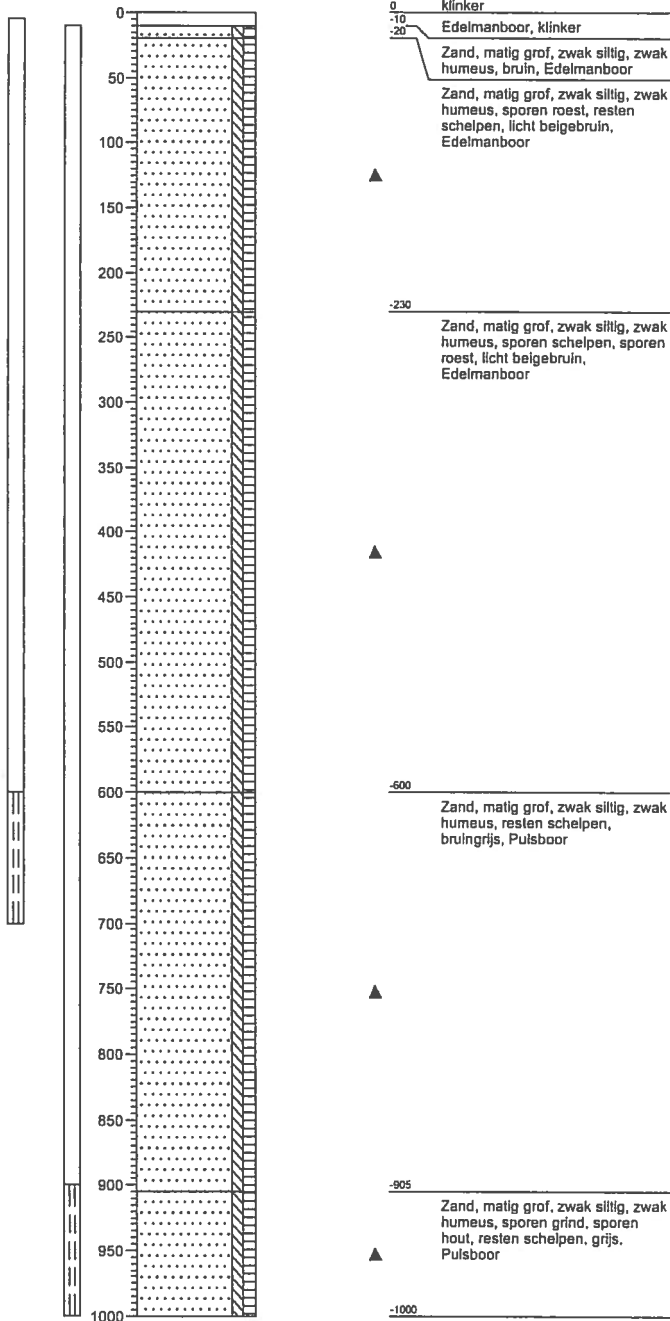
# Boring: 1065

X:  
Y:  
Datum: 7-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



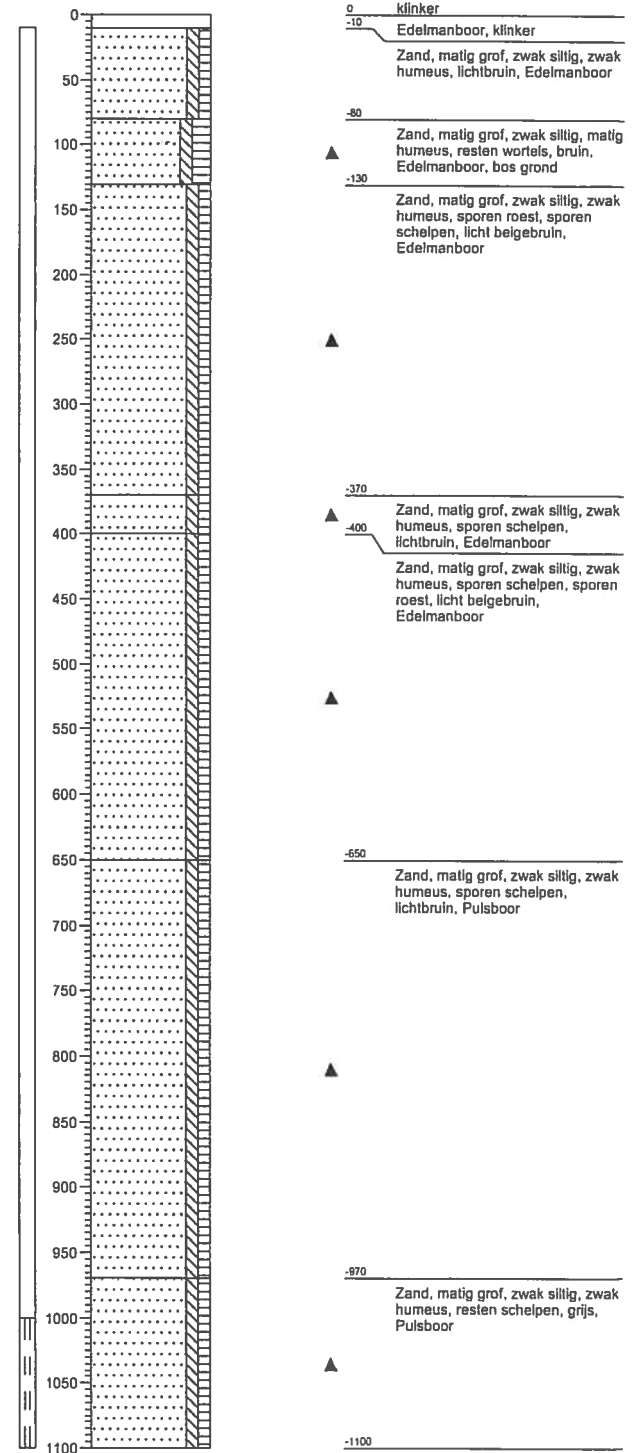
# Boring: 1066

X:  
Y:  
Datum: 6-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



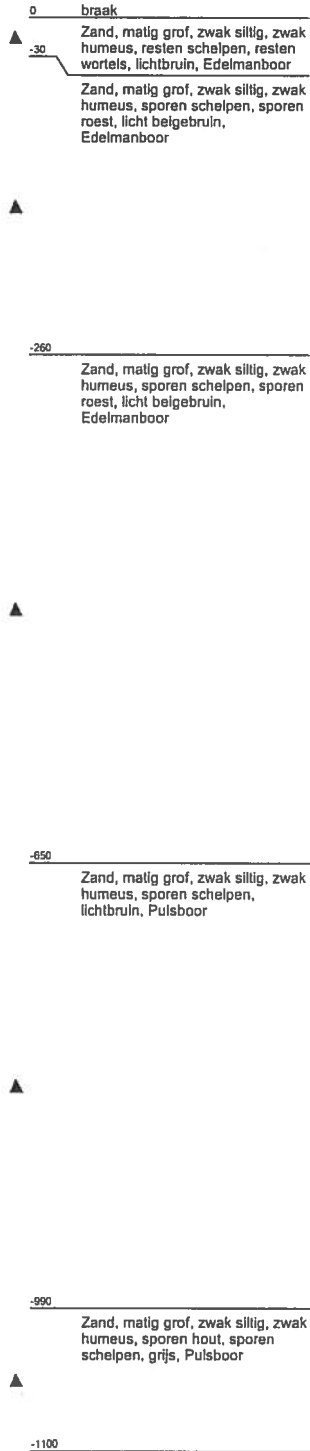
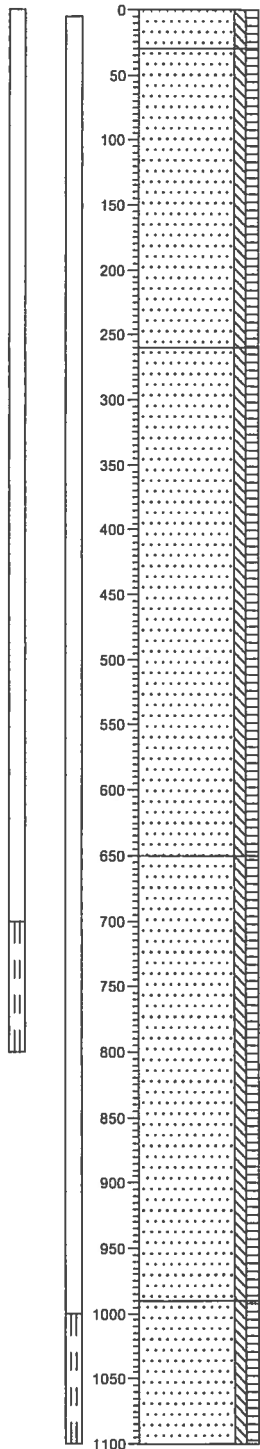
# Boring: 1067

X:  
Y:  
Datum: 8-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



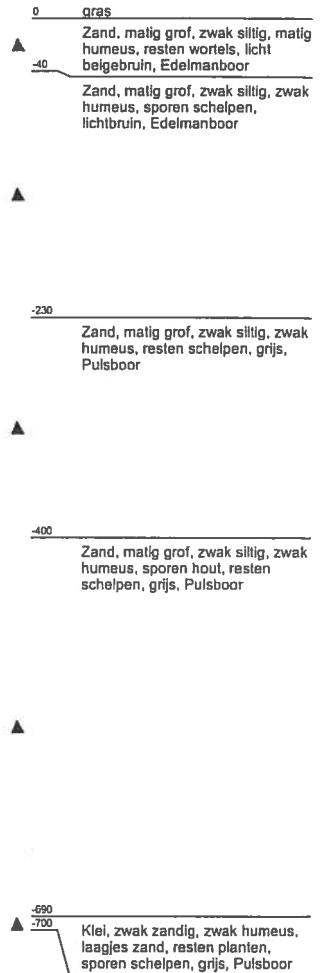
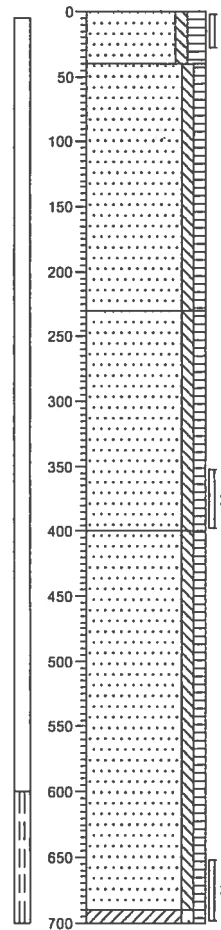
**Boring: 1068**

X:  
 Y:  
 Datum: 8-11-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld



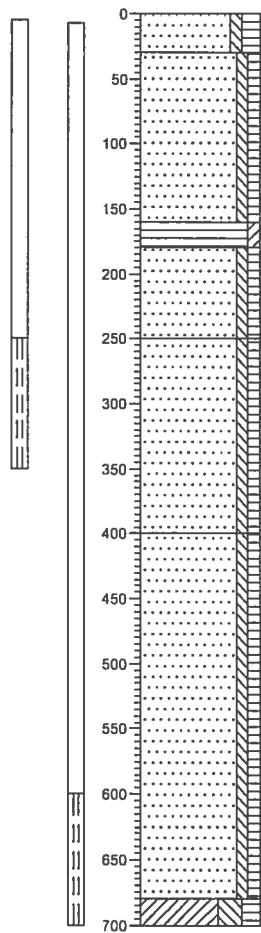
**Boring: 1069**

X:  
 Y:  
 Datum: 6-11-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld



# Boring: 1074

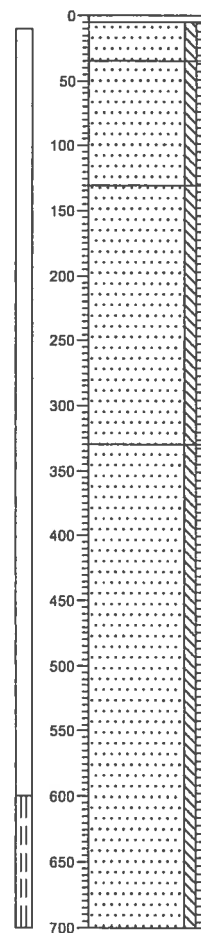
X:  
Y:  
Datum: 14-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



0 braak  
▲ -30 Zand, matig grof, zwak siltig, matig humeus, resten wortels, bruin, Edelmanboor  
Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, sporen roest, licht beigebruin, Edelmanboor  
▲ -160  
▲ -160 Veen, zwak kleiig, matig veenhoudend, resten planten, bruin, Edelmanboor, humeus laagje  
▲ Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, resten planten, lichtbruin, Pulsboor  
▲ -250 Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, sporen schelpen, grijs, Pulsboor  
▲ -400 Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, resten schelpen, sporen hout, grijs, Pulsboor  
▲ -650  
▲ -700 Klei, sterk siltig, matig humeus, resten planten, sporen schelpen, grijs, Pulsboor

# Boring: 1076

X:  
Y:  
Datum: 14-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld

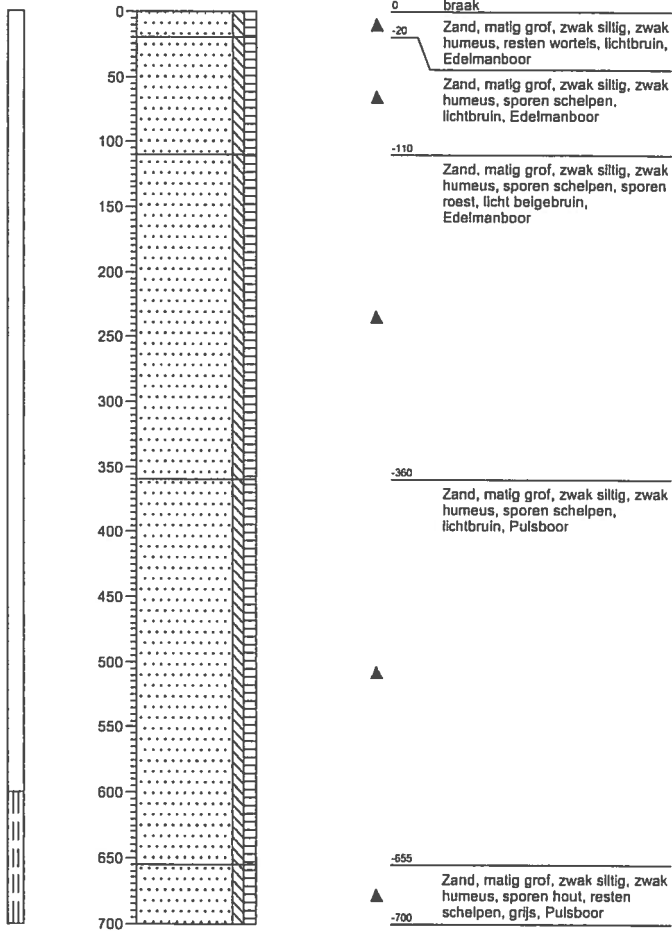


0 tegel  
▲ -5 Edelmanboor, tegel  
▲ -35 Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, sporen wortels, bruin, Edelmanboor  
▲ Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, sporen puin, licht beigebruin, Edelmanboor  
▲ -130 Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, sporen schelpen, lichtbruin, Edelmanboor  
▲ -330 Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, sporen schelpen, sporen hout, grijs, Pulsboor, holleruimtes in de grond  
▲ -700



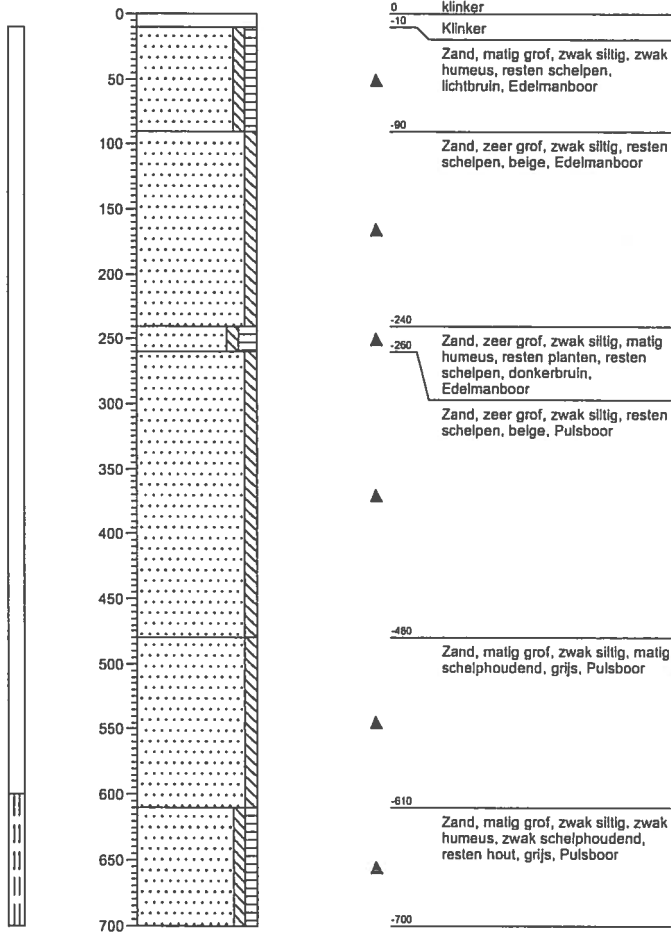
**Boring: HGW3/n2-2**

X:  
Y:  
Datum: 13-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



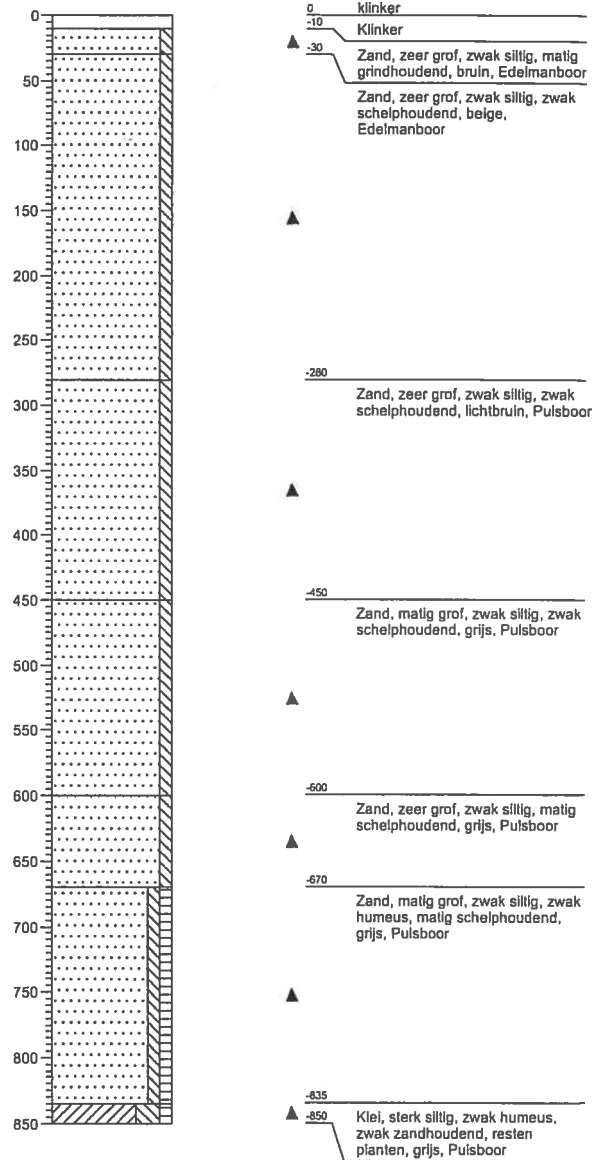
### Boring: 18-2

X:  
Y:  
Datum: 19-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



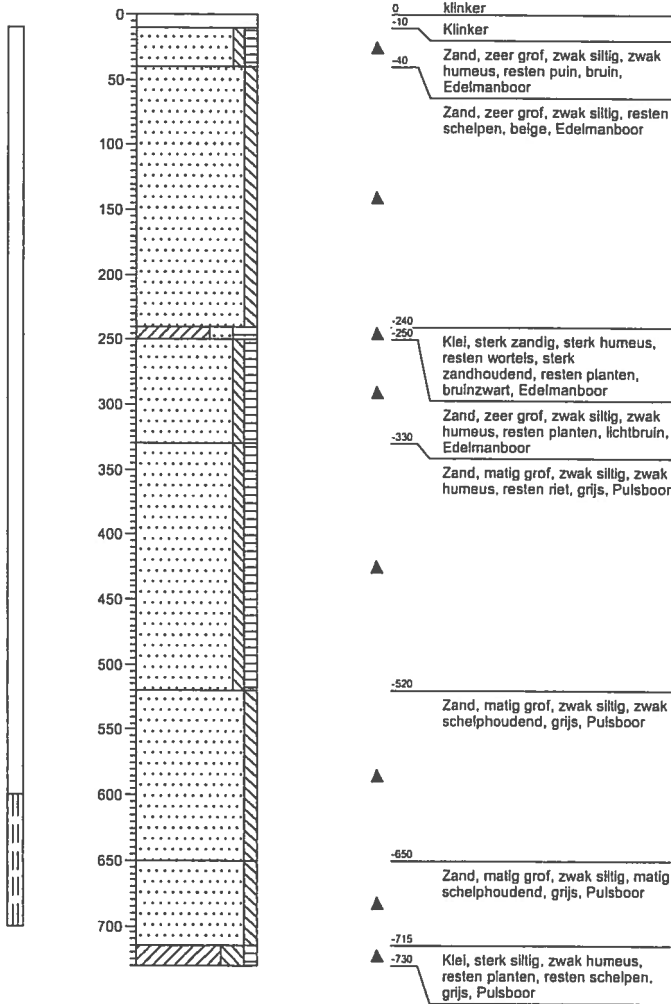
### Boring: 19-2

X:  
Y:  
Datum: 23-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



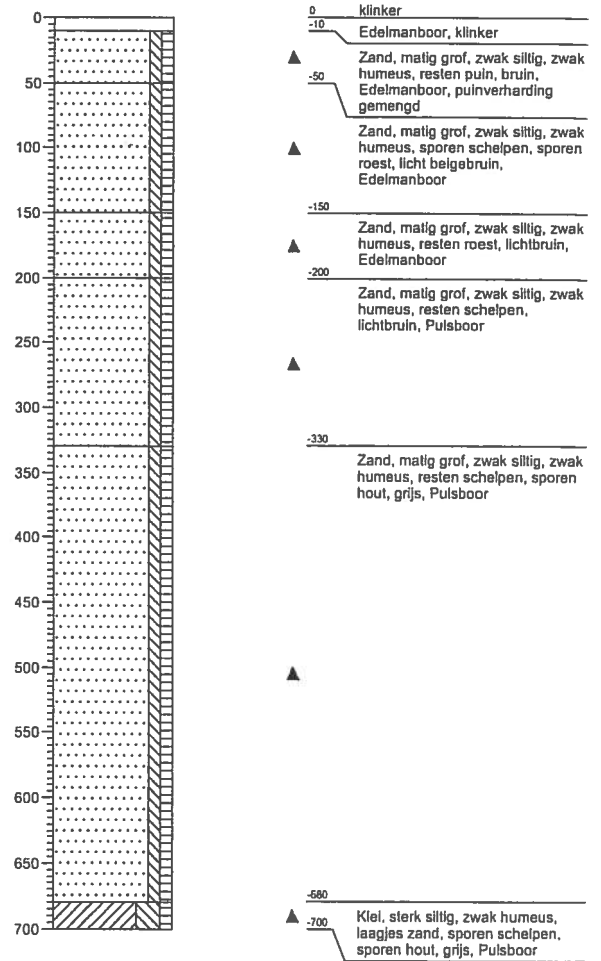
**Boring: 20-2**

X:  
 Y:  
 Datum: 18-10-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld



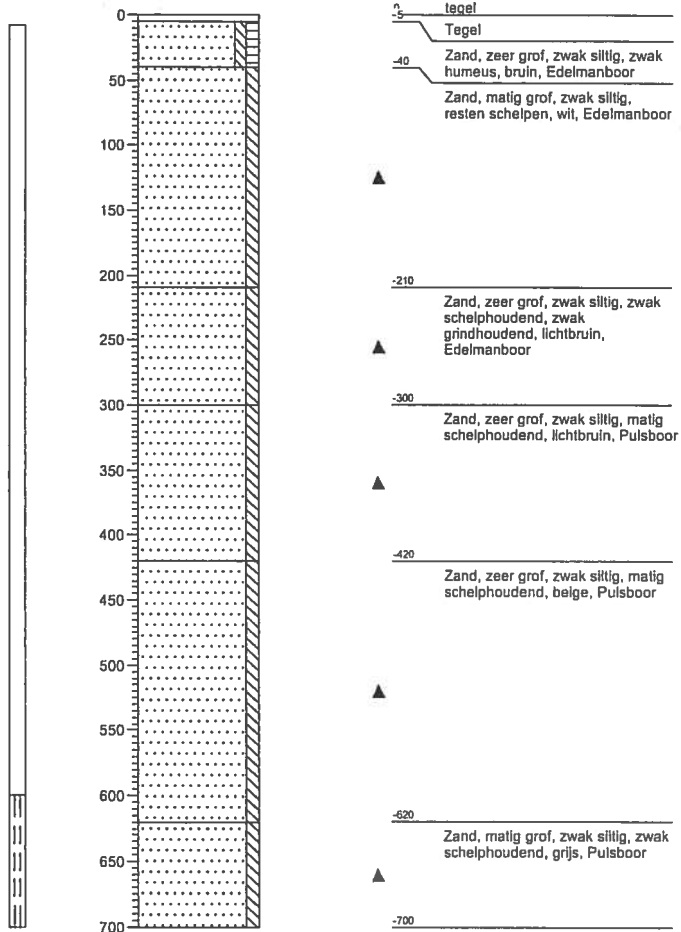
**Boring: 355-2**

X:  
 Y:  
 Datum: 29-10-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld



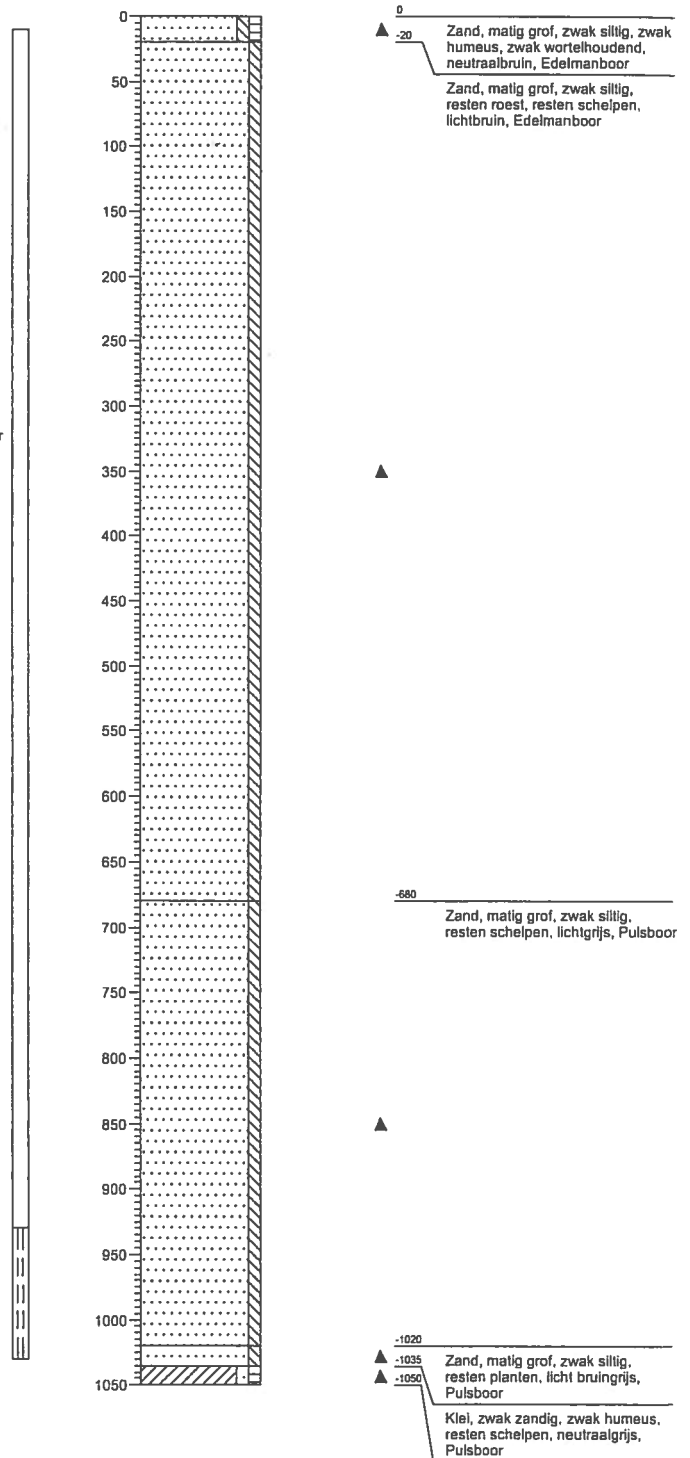
# Boring: 4-2

X:  
Y:  
Datum: 19-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



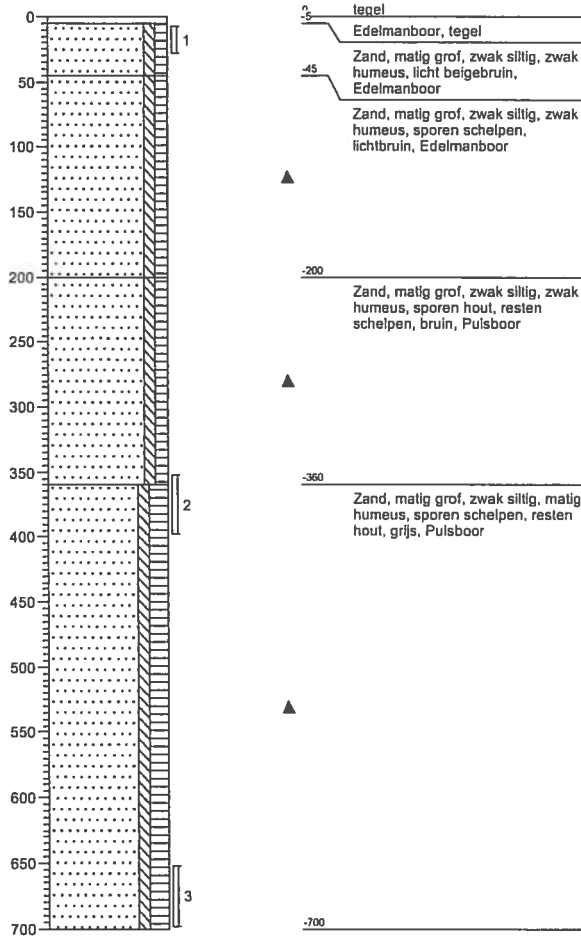
# Boring: 44-pb04-2

X:  
Y:  
Datum: 29-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG: 680  
Referentievlak:



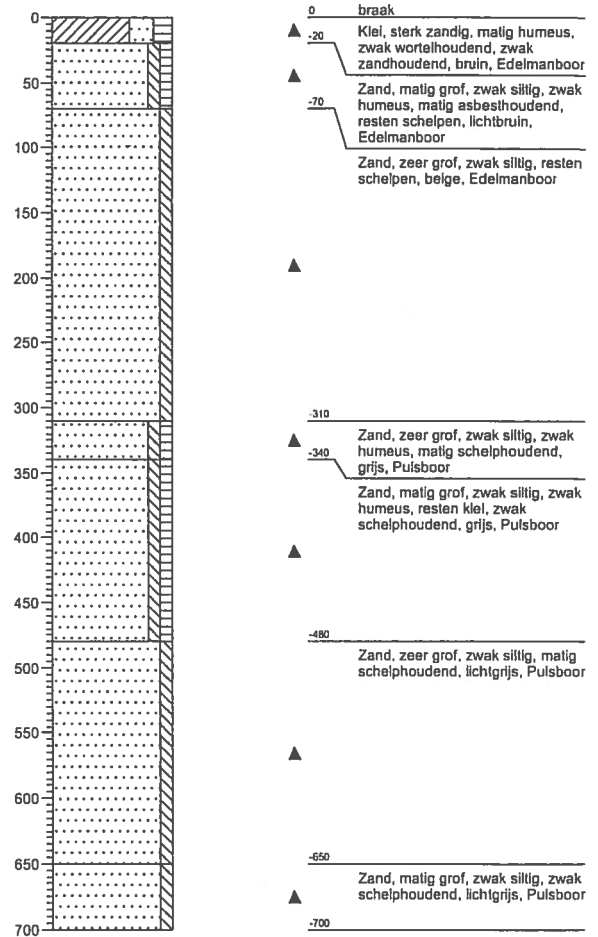
## Boring: BM2001

X:  
 Y:  
 Datum: 25-10-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlak: maaiveld



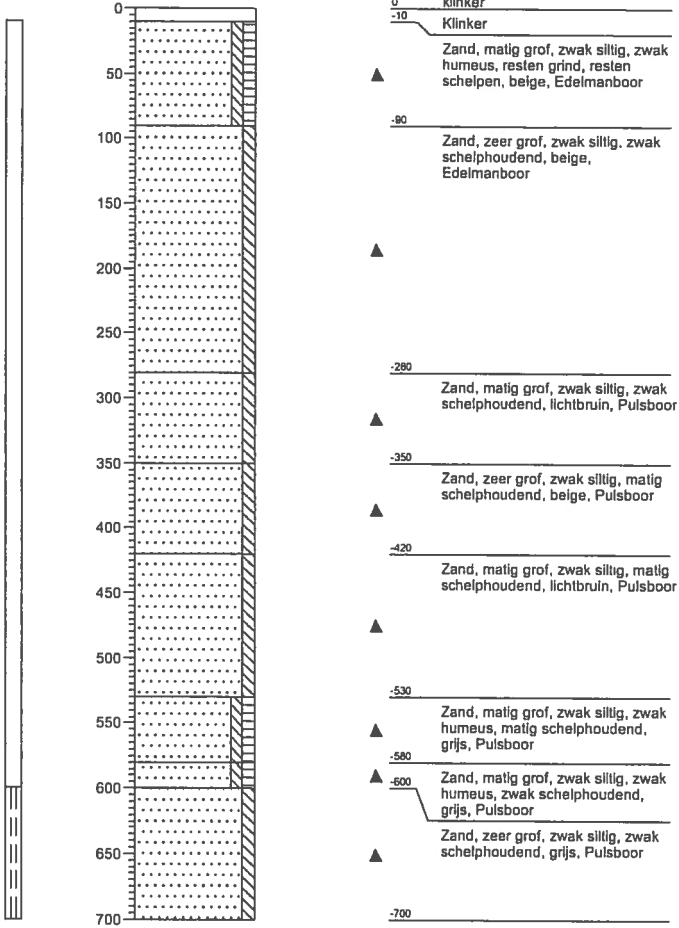
## Boring: HGW 2-2

X:  
 Y:  
 Datum: 23-10-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlak: maaiveld



**Boring: HGWN1-02**

X:  
Y:  
Datum: 22-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



## **Bijlage 6**

### Randvoorwaarden

Ter hoogte van de polder (ostrand) en ter hoogte van de kust (westrand) is voor het diepe watervoerende pakket de stijghoogte vastgezet. De stijghoogte in het diepe pakket is aan beide randen vastgelegd op NAP 0 m, overeenkomstig met de aldaar waargenomen stijghoogten in aanwezige putten. De stijghoogte ter plaatse van de HFR (NAP +0,5 m) kan door middel van kalibratie van de weerstand van de scheidende laag en de doorlatendheid van het watervoerende pakket worden verkregen. De noord- en zuidrand van het model zijn in eerste instantie geschematiseerd als 'dicht' en de berekende grondwaterstand kan daar vrij opbollen.

In het freatische pakket is aan de west- en het westelijk deel van de zuidrand de stijghoogte in eerste instantie vastgezet op NAP +1 m, overeenkomstig met de waargenomen grondwaterstanden in het strand. Omdat uit nadere analyse (paragraaf 3.4) blijkt dat dit iets lager kan zijn zal deze rand nog worden aangepast en wordt deze in de gevoeligheidsanalyse (nog uit te voeren) meegenomen. De grondwaterstand op het strand is wat hoger dan het gemiddelde zeepeil doordat bij vloed sterke aanvulling optreedt die bij eb niet volledig uitstroomt.

### Oppervlaktewater

In het gebied zijn enkele natte duinvalleien aanwezig waarin gedurende natte omstandigheden plasvorming kan optreden. De modelresultaten aldaar kunnen worden beoordeeld op plausibiliteit omdat een berekende grondwaterstand vlakbij maaiveld wordt verwacht.

In het gebied is tevens een drietal niet-natuurlijke oppervlaktewaterlichamen aanwezig die de stroming beïnvloeden. Dit zijn twee waterlichamen (vijver Forum en vijver brandweer) nabij de ingang van het ECN-terrein en een grote plas net ten noorden van het HFR-terrein (Rietput). De doorlatendheid is zodanig gekozen dat een het grondwaterpeil net naast het oppervlaktewater, net als in de observaties, nagenoeg gelijk is aan het oppervlaktewaterpeil.

**Tabel 4-2 Schematisatie oppervlaktewaterlichamen**

Oppervlaktewaterlichaam	Waterstand [m + NAP]	Doorlatendheid [m <sup>2</sup> /d per m <sup>2</sup> ]
Rietput - Terrein ten noorden van HFR	1,74	1
Vijver Forum - Water ten westen van ingang	1,92	1
Vijver brandweer - Water ten noorden van ingang ECN	1,39	1

### Drainage

Drainage is toegepast in het oostelijk deel van het model, in de gebieden waarin een ontwateringspatroon met streefpeilen aanwezig zijn. De opgegeven zomerpeilen (zie paragraaf 3.5) zijn direct in het model toegepast (met een doorlatendheid van 1 m<sup>2</sup>/d per m<sup>2</sup>). Alleen voor de rand-sloot (op overgang duingebied-polders), waarin het peil zeer laag is, is het peil van de nabijgelegen polder ingesteld omdat de sloot anders te veel invloed (lage stijghoogten) op de omgeving bleek te hebben.

### Neerslag

Voor het neerslagoverschot zijn de waarden gehanteerd zoals beschreven in paragraaf 3.7, Figuur 3-11 en Tabel 3-1. Bij de kalibratie voor de verspreidingsrichting van de pluim is de oorspronkelijke invoer met 4 procent verlaagd.

### Onttrekkingen

Op het ECN-terrein is een bemalingssysteem aangelegd (zie Figuur 3-9) die, gelet op de ontrokken debieten, van belang is voor de grondwaterstroming in het gebied. Omdat niet bekend is welke van de putten actief is en of het noordelijk deel actiever is dan het zuidelijke is voor beide gebieden een centraal gelegen ondiepe onttrekking in het model geschematiseerd met voor beide onttrekkingen een debiet van 18 m<sup>3</sup>/dag. Omdat geen peil bekend is kon niet worden ingeschat welk van de twee systemen het meeste water zal aantrekken. Uit de uitgevoerde berekening bleek het invoeren van de onttrekking in het zuiden een positief effect had op het mo-



delresultaat: de pluim buigt verder naar het zuiden af (overeenkomstig de waarnemingen/gemeten concentraties).

#### Kelders

De in het gebied aanwezige ondergrondse bebouwing is in het model gebracht door handmatig de gebouwen tot de gewenste diepte (modellaag) te selecteren en inactief te maken. De HFR zelf heeft daarbij extra aandacht gekregen, omdat niet bekend was in hoeverre onder de reactor nog zand aanwezig is.

### 4.3 Kalibratie

Tijdens het opstellen van het model zijn diverse aanpassingen gedaan om de geobserveerde grootschalige stijghoogtepatronen te kunnen simuleren. Vervolgens is de kalibratie voortgezet om zodoende de verspreidingsrichting en het verspreidingspatroon van de pluim verder te optimaliseren.

Kalibratie is handmatig uitgevoerd op de volgende parameters:

- De vaste stijghoogterand in het freatische pakket aan de zuidrand, welke gezien de korte afstand tot het peilvak net ten zuiden van de modelrand 'vlak' moet worden getrokken (d.w.z. geen opbolling, zie Figuur 3-8). De hoogte van NAP +1 m is gekozen omdat de westrand ook die vaste stijghoogte heeft. Gezien de afstand tot het HFR-terrein is verder niet gekalibreerd aan deze rand. De stijghoogte aan de westrand is mogelijk wel van invloed en daarom onderdeel van de gevoeligheidsanalyse.
- Het drainageniveau in de oostelijk gelegen polders: de diep gelegen kwelsloot bleek te veel invloed te hebben. Er is gekozen niet te kalibreren op de uitreeweerstand maar om deze sloot op een peil gelijk aan die van de aanliggende polders te stellen, 30 centimeter hoger dan het werkelijk aanwezige peil. Zodoende is aan de oostrand een goede overeenkomst tussen modelberekeningen en gemiddelde geobserveerde grondwaterstanden bereikt.
- Er is een reductie van het neerslagoverschot in het zuidelijke deel van het modelgebied doorgevoerd. Deze is gereduceerd omdat gemeten grondwaterstanden systematisch veel te hoog bleken en omdat geen verklaring kon worden gevonden in de nabij de hoofdingang gelegen vijvers. Gezien de aanwezigheid van enkele oppervlaktewateren en een berekend peil dat regelmatig boven maaiveld uitkwam is het gebied niet als 'droge kale duingrond' in het model gebracht maar is de nuttige neerslag gehalveerd. Door de grote afstand tot de HFR is deze aanpassing niet van belang in zoverre dat ze wel aangeeft dat de netto aanvulling grote onzekerheden kan hebben afhankelijk van de vochtcondities in de bodem.
- De doorlatendheid van de kleilaag en van het eerste watervoerend pakket zijn zodanig geoptimaliseerd dat een opbolling werd gerealiseerd die een zelfde orde grootte heeft als de geobserveerde opbolling. Zodoende kan met behulp van stroombaanberekeningen het risico voor het diepe watervoerende pakket nader worden geanalyseerd. Het bleek niet mogelijk een k-waarde van 5 aan te houden, omdat anders de opbolling te laag zou zijn en de weerstand van de scheidende laag sterk verlaagd zou moeten worden. In dat geval werden de grondwaterstanden in het freatische pakket veel te laag berekend. De k-waarde van het eerste watervoerend pakket is zodoende gesteld op 1,5 m/d.
- De oppervlaktewateren zijn met een voldoende doorlatendheid in het model gezet om de grondwaterstanden aldaar zodanig te beïnvloeden dat zij nagenoeg gelijk zijn aan het oppervlaktewaterpeil. Bij inmeten bleken zij immers relatief weinig af te wijken van het grondwaterpeil: er kan derhalve een kleine invloed verondersteld worden. Voor het water ten noorden van de HFR is een grotere invloed zichtbaar en daarmee ontstaat de noodzaak voor een nadere (gevoeligheids-)analyse.

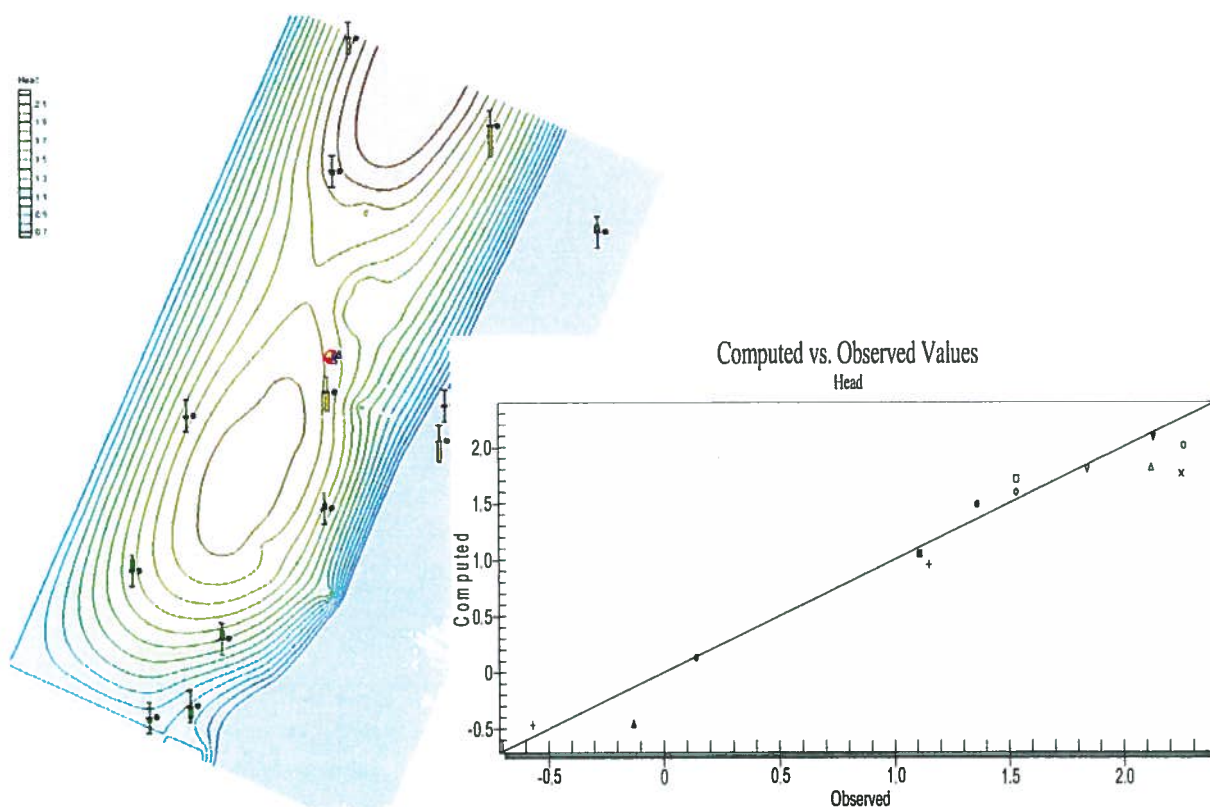
Met name de diepteligging van de kelder van de HFR, welke zich bevindt op NAP -2,2 m en daarmee 80 cm boven de top van de kleilaag is van invloed op de initiële verspreiding. Door de barrièrewerking van de kelder treedt stroomopwaarts (ten westen) stuwing op waardoor behalve een gradiënt langs de ronde kelder ook een gradiënt onder de kelder aanwezig is. Juist doordat de verontreiniging centraal achter de reactorkelder ontstaat, wordt deze omlaag getrokken, in de modellering net niet tot onder de reactor zelf, maar wel tot bijna onder in het freatische pak-

ket. Daarmee worden de verhoogde concentraties dieper in het freatisch pakket direct bij de bron verklaard.

De doorlatendheid (k-waarde) van het freatische pakket, het neerslagoverschot en het peil in het oppervlaktewater net ten noorden van het HFR-terrein blijken veruit het belangrijkste voor de berekening van de grondwaterstroming. Bij kalibratie is de k-waarde van het freatische pakket en het neerslagoverschot met maximaal 10% van de initieel gekozen waarden gevarieerd om een verspreiding en een grondwaterstand te berekenen die overeenkomst met het waargenomen patroon. Met een neerslagoverschot van 0,96 maal de initieel genomen waarden en een k-waarde van 12 m/d (was 15 m/d) is een goede overeenkomst tussen de waargenomen en de berekende verspreiding verkregen.

Voor de meeste peilbuizen is een goede overeenkomst tussen gemeten en berekende grondwaterstanden bereikt. Grote afwijkingen worden waargenomen in oude putten die al tientallen jaren niet actief zijn gemeten (onder andere de put net ten zuiden van het HFR-terrein). Op de uiterste noordrand van het model worden ook fors lagere grondwaterstanden berekend, echter deze is niet van invloed op de situatie van het verspreidingsgebied op het HFR-terrein.

In Figuur 4-3 is een grafisch overzicht gegeven van de berekende grondwaterstanden (kleuren figuur) met daarbij de afwijkingen ten opzichte van de gemeten grondwaterstand. In de grafiek zijn de berekende en gemeten waarden tegen elkaar uitgezet. Deze punten moeten bij een juiste kalibratie niet teveel afwijken van de getrokken 1:1-lijn.



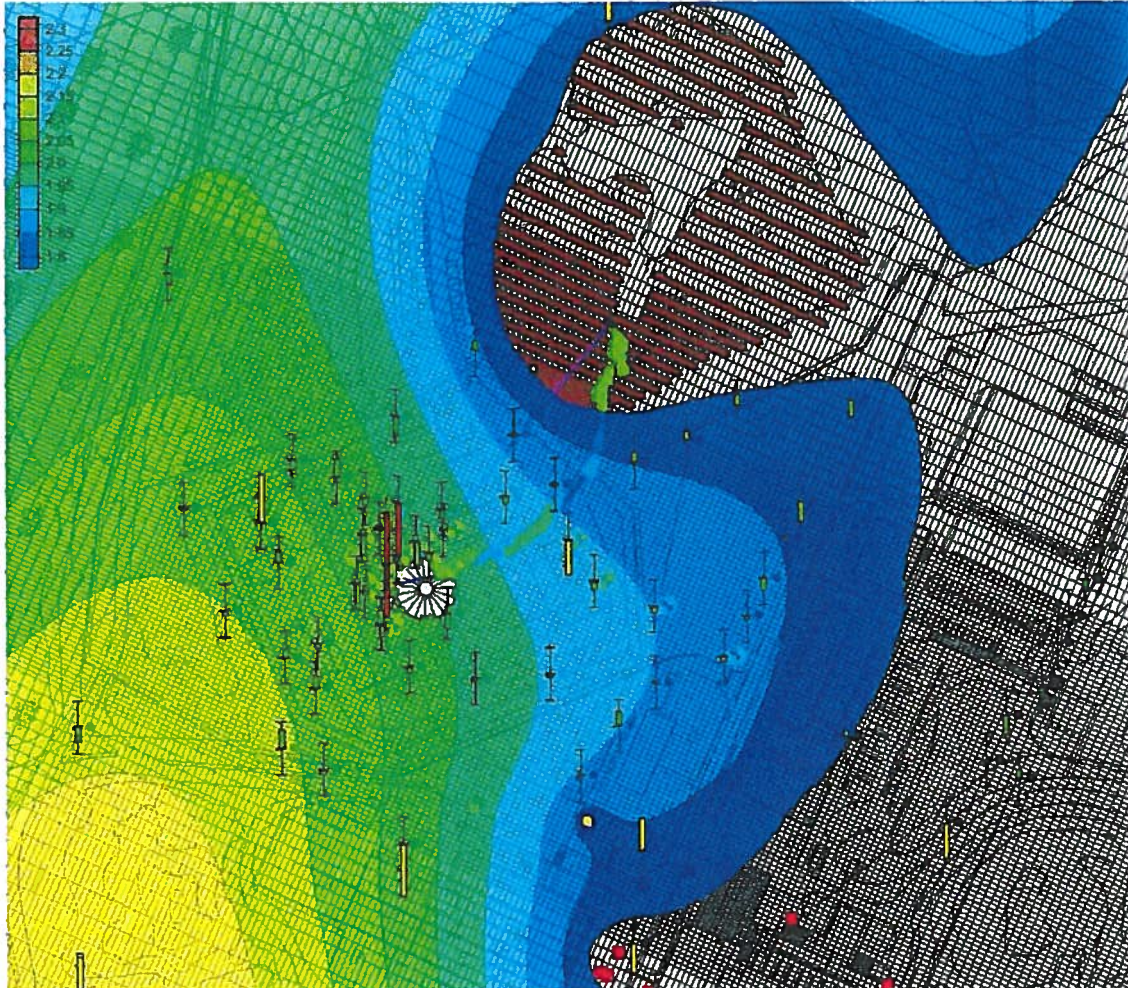
Figuur 4-3 Weergave van het kalibratieresultaat voor gemiddelde stijghoogten

#### 4.4 Conclusie model en kalibratie

Momenteel is het model dusdanig gekalibreerd dat het berekende stijghoogtepatroon regionaal gezien een goede overeenkomst vertonen met het gemeten (regionale) patroon (zie Figuur 4-4). Ter plaatse van het HFR terrein wijken stijghoogten maximaal 10 centimeter af, deels door de gedane aanpassingen om de verspreidingsrichting van de pluim goed te kunnen simuleren.



De lokale kalibratie levert voorslagnog een beeld op dat niet strookt met de overige waarnemingen en dat daarnaast wijst op sterke niet-stationaire effecten door seizoensale verschillen. Om grondwaterstanden in de meest oostelijke raai goed te simuleren moest de weerstand van de duinenrij ten oosten van het HFR-terrein sterk verhoogd worden om de gewenste 'opstuwung' te bereiken. Dit wijst op sterke niet-stationaire effecten, omdat er geen verschil in de doorlatendheid van deze eolische zanden wordt verwacht.



*Figuur 4-4 Kalibratieresultaat voor lokale stijghoogten waarbij een zeer hoge nauwkeurigheid is bereikt (groene afwijkingen liggen binnen 5cm, met andere woorden op het HFR-terrein worden meestal afwijkingen >1 mm tot 1 cm berekend)*

De resultaten van de lokale kalibratie (waarbij een aanpassing in de oostelijke duinenrij moest worden uitgevoerd) zijn van groot belang voor de interpretatie van de verspreiding van de pluim: er blijkt dat wanneer het huidige stijghoogtepatroon stationair aanwezig zou zijn, deze zich naar het oppervlaktewater ten noorden van het terrein verplaatst. De afwijking van het lokaal gekalibreerde model is dermate klein (van minder dan 1 mm tot 1 cm) dat met zekerheid gezegd kan worden dat op dit moment het jongere deel van de pluim zich naar de rietplas verplaatst.

Een nadere niet-stationaire aanpak is nodig om te valideren of de effecten van niet-stationaire grondwaterstroming het waargenomen patroon afdoende kunnen verklaren. Nader onderzoek zal naar verwachting niet leiden tot wijziging van inzicht voor de aanpak voor een sanering, met name omdat de pluim goed in beeld is en omdat bij sanering doorgaans ruime veiligheidsmarges gehanteerd worden.

#### 4.5 Gevoeligheidsanalyse

In bijlage 6 zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse weergegeven. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd op de volgende parameters:

- variërend peil in de duinvijver (plaspeil);
- de doorlatendheid van het freatische pakket en de netto neerslag (k en N);
- neerslagoverschot bij verharding met een verschillende doorlatendheid ( $N_{\text{verhard}}$ );
- de grondwaterstand ter plaatse van het strand ( $GWS_{\text{strand}}$ ).

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat conform de verwachting de opbolling van het grondwater in de duinen met name afhankelijk is van het neerslagoverschot en van de doorlatendheid van het freatische pakket. Bij een lage k-waarde (doorlatendheid) stroomt het grondwater langzamer en wordt de opbolling groter. Tevens geldt dat bij een groter neerslagoverschot de opbolling groter wordt. Op dezelfde manier blijkt het peil in de vijver een directe invloed te hebben: bij een hogere opbolling komt het peil relatief lager te liggen waardoor de pluim meer afbuigt richting de Rietput.

Omdat een groot aandeel van het ECN-terrein verhard is kan een aanpassing in de netto neerslag in de verharde gebieden (wegen, parkeerplaatsen) een grote invloed uitoefenen. Afhankelijk van de doorlatendheid van de verharding en van de wijze waarop grote buien al dan niet worden afgevoerd is deze parameter relatief onzeker.

Concluderend stellen wij dat de drie parameters k, N (en  $N_{\text{verhard}}$ ) en plaspeil zeer gevoelig zijn en onderling afhankelijk zijn. De grondwaterstand en de waargenomen verspreiding van de pluim kan worden gemodelleerd met verschillende combinaties van deze parameters. Om de "werkelijke parameterisatie" te weten te komen is nader onderzoek noodzakelijk. Dit kunnen de volgende typen onderzoek zijn:

- uitvoeren van een pompproef om de doorlatendheid van het freatische pakket te onderzoeken;
- het niet-stationair doorrekenen en kalibreren van het model op de gemiddelde verspreiding van de pluim en op het in november waargenomen stijghoogtepatroon;
- het monitoren van de grondwaterstand op twee of drie representatieve locaties alsmede het waterpeil van de Rietput om het effect van de plas vast te stellen;
- het dateren van de pluim om direct een extra 'meting' te hebben waardoor de combinatie neerslagoverschot en doorlatendheid een vaste relatie krijgt.

Op basis van expert-judgement is een schatting gedaan naar de onzekerheid in de parameters en in welke mate dit voor de sanering nog van belang kan zijn. De onzekerheid wordt geschat op maximaal een factor 2 van de werkelijke waarde<sup>1</sup>. Daarmee is voor de te nemen saneringsmaatregelen voldoende basis aanwezig om een systeem te dimensioneren (aangezien voor de sanering hogere onzekerheidsmarges worden gehanteerd).

#### *Ligging waterscheiding*

Ten westen van de waterscheiding stroomt het grondwater richting de zee, ten oosten van de waterscheiding richting de polders. Bij zowel het 'lokale kalibratieresultaat' als het stationair gegijkte model bevindt de waterscheiding zich ter hoogte van de weg aan de westzijde van het HFR-terrein (zie Figuur 4-5).

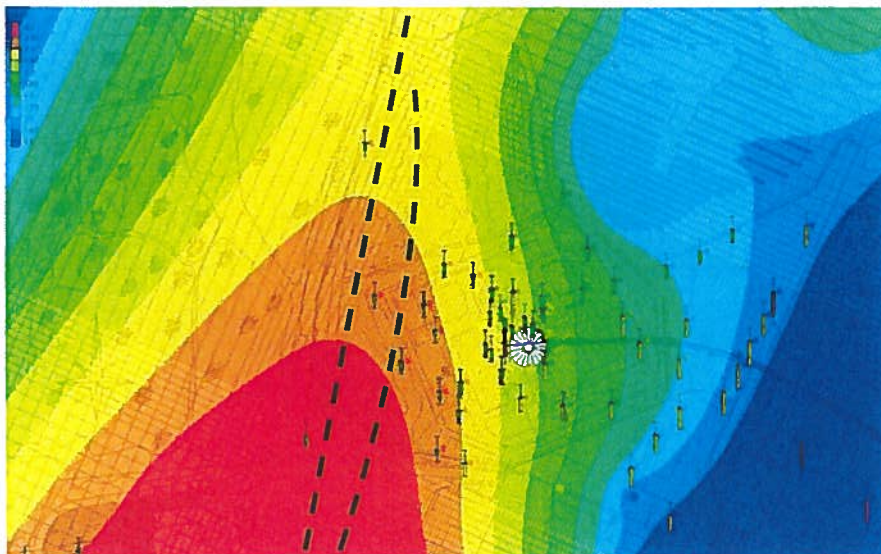
Ook op basis van de gemeten stijghoogten en het isohypsenpatroon kan worden afgeleid dat de waterscheiding zich ongeveer ter hoogte van de weg bevindt en mogelijk nog iets oostelijker

<sup>1</sup> Deze factor is op de volgende manier ingeschat: Het neerslagoverschot kan in geen geval meer dan 50 procent afwijken omdat van kaal duingebied en van gebouwen een goede schatting aanwezig is en vooral voor verharde gebied de onzekerheid groot is. Verhard gebied behelst enkele tientallen procenten van het landgebruik in het interessegebied. Door de grote gevoeligheid voor het peil in de Rietput zal de onzekerheid nog groter dan 50% kunnen zijn. Tijdens de gevoeligheidsanalyse blijkt de leeftijd van de pluim maximaal enkele tientallen procenten af te wijken.



daarvan. De noordwestelijke hoek van het HFR-terrein bevindt zich min of meer op de waterscheiding.

Tijdens uitvoering van de gevoeligheidsanalyse zijn slechts geringe verschillen berekend in de ligging van de waterscheiding. De verschillen zijn aangegeven in Figuur 4-5.



Figuur 4-5 Onzekerheid in de ligging van de waterscheiding

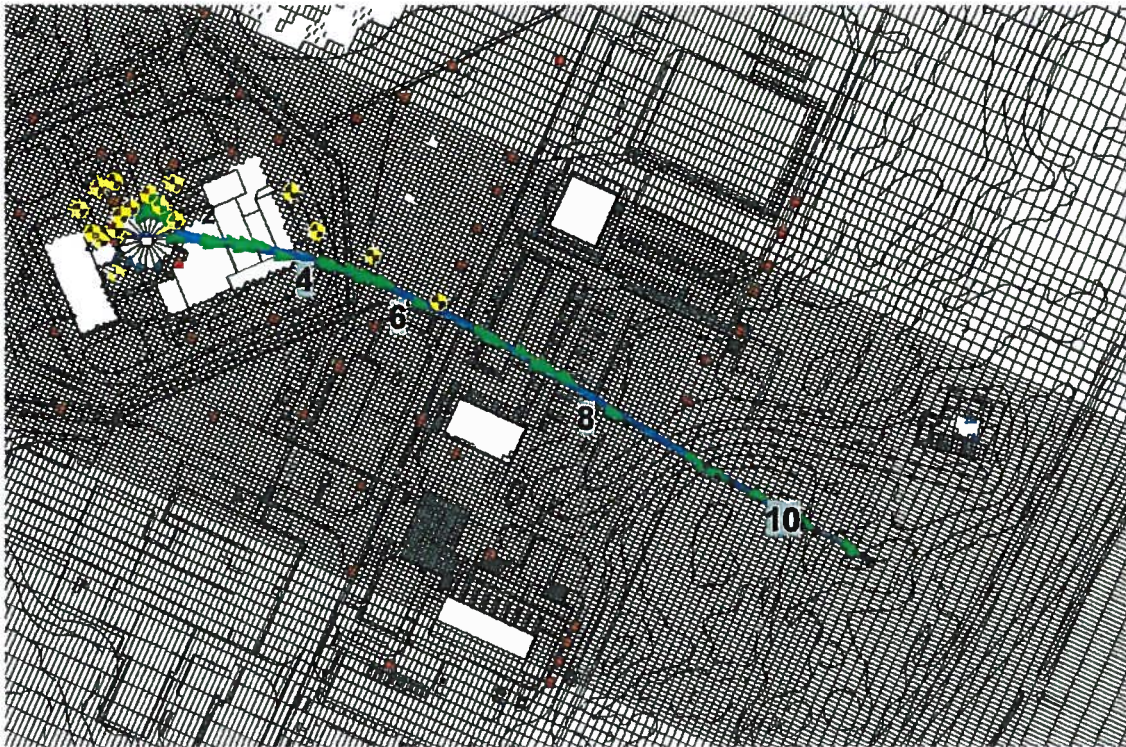
#### *Invloed vijver Rietput*

Bij de lokale kalibratie op lokale stijghoogten (Figuur 4-4) is een stromingsrichting naar de Rietput vastgesteld. Dit was derhalve de situatie voor half november 2012 waarbij relatief hoge grondwaterstanden zijn gemeten. De Rietput is sterk bepalend voor de richting van de grondwaterstroming. Andere parameters hebben echter een grotere invloed. Uit de gevoeligheidsanalyse is immers geconcludeerd dat een verandering van het peil in de Rietput minder invloed heeft dan de jaarlijkse fluctuatie in de grondwaterstand ten gevolge van het neerslagoverschot. Een peilverschil in de Rietput van 25 cm heeft minder invloed op de stromingsrichting dan een verschil van 10% in het neerslagoverschot (stationair berekend).

De invloed van het onttrekken van water (uit de Rietput) op het peil in de Rietput is niet bekend. Het berekenen van het peil is zeer complex waarbij een dynamische waterbalans moet worden opgesteld. Daarbij moet tevens rekening worden gehouden met de grote invloed van verdamping op het peil. Uitgaande van een oppervlak van de Rietput van 15.000 m<sup>2</sup> (1.5 ha) wordt bij een onttrekking van 150 m<sup>3</sup> de waterstand met 0,01 m verlaagd.

#### **4.6 Stroombaanberekeningen**

Figuur 4-6 toont een stroombaan als resultaat van het regionaal gekalibreerde model. De gele meetpunten zijn punten waarin de verontreiniging daadwerkelijk is aangetroffen. Vanuit de HFR volgt de stroombaan het pad waarop in het veld ook verhoogde concentraties zijn aangetroffen. De groene pijlen geven de reistijd aan in stappen van 2 jaar. De reistijden langs de stroomlijnen zijn als zwarte cijfers (in jaren) in de figuur weergegeven.



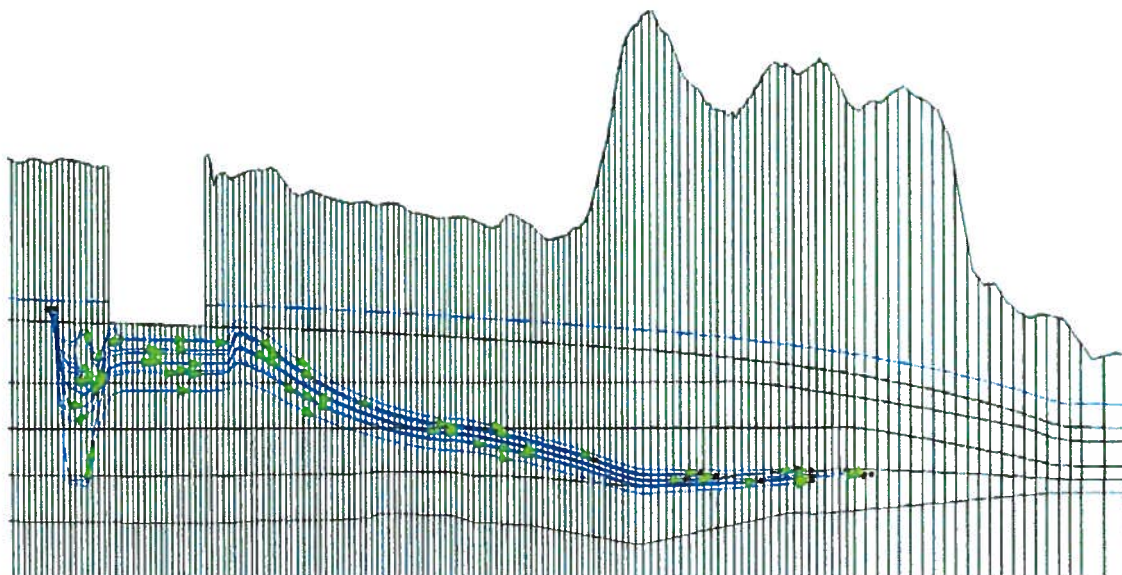
Figuur 4-6 Stroombaan van het grondwater vanuit de bronlocatie ten westen van de HFR

De verspreiding van de pluim blijkt sterk te worden beïnvloed door de ondergrondse bebouwing. Ten eerste vormt de reactor zelf een barrière waar het grondwater omheen en onderdoor stroomt. Door onder de reactor 1 meter watervoerend pakket (tussen NAP -2 en -3 m) aan te houden (met een gelijke doorlatendheid) blijkt de verontreiniging zich volgens de waargenomen patronen te verspreiden: zowel direct bij de bron naar de diepte als in noordelijke richting om de reactorkamer heen. In de huidige berekeningen stroomt weliswaar grondwater onder de reactor door, maar betreft het geen verontreinigd grondwater (zie Figuur 4-7 en Figuur 4-8).

De eerste 2 jaar (nadat het lek is ontstaan) vindt met name verspreiding plaats in het centrale deel nabij de HFR (zie Figuur 4-6). In de bovenste laag is zichtbaar dat de pluim bij de kelder van een bijgebouw stopt. Echter, na 5 jaar komt de verontreiniging achter het gebouw weer 'omhoog' in de bovenste modellaag. Dit komt omdat het terrein verhard is waardoor geen aanvulling van neerslag plaatsvindt en derhalve geen schone bijmenging met het grondwater plaatsvindt. Dit gebeurt pas in het duingebied meer stroomafwaarts, waardoor in de eerste modellaag (de bovenste halve meter van het freatische grondwater) geen verontreiniging meer wordt aangetroffen. Door aanvulling met neerslag wordt de pluim steeds verder "de diepte in gedrukt" en zal stroomafwaarts de pluim alleen in de diepe filters worden aangetroffen.

De verspreiding in de tijd blijkt sterk afhankelijk van de afgelegde weg in de eerste jaren (zie Figuur 4-6 en Figuur 4-7). Op basis van de berekeningen blijkt de leeftijd van het grondwater nabij het meest verafgelegen verontreinigde filter (peilbuis 1071\_2) 7 jaar oud te zijn. Door de invloed van de ondergrondse bebouwing (kelder van de HFR) in de eerste jaren ontstaat een mengwater met een leeftijd tussen de 6 en 8 jaar oud. Nabij de tweede raai wordt de leeftijd van het grondwater op 9 tot 10 jaar berekend. Dit is de marge waarbij nog geen rekening is gehouden met de onzekerheden volgend uit de gevoeligheidsanalyse. Rekening houdend met de onzekerheden uit de gevoeligheidsanalyse is de leeftijds marge maximaal 25% (7 à 12 jaar oud).





Figuur 4-7 Verspreiding van de pluim stroomafwaarts van de reactor na 10 jaar met tijdstappen van 2 jaar (groene pijltjes). Na 10 jaar stopt de berekening (zwarte puntjes bij de groene pijltjes).

#### 4.7 Massatransport en dispersie

Aan de hand van stroombaanberekeningen is een goed beeld verkregen van de verspreidingsrichting en -snelheid van de verontreiniging. Er is nog weinig bekend over de hoeveelheid verontreiniging (de vracht), de dispersie en het verval van de verontreiniging. Daarom zijn stoftransportberekeningen uitgevoerd. Daarbij is gemiddelde een lekkage van 1 liter/dag met een concentratie van 1 MBq/L (aannahme/informatie dhr. F. Draaisma 16 november 2012) ingevoerd. Er is derhalve sprake van een gemiddelde emissie van 1 MBq per dag. Daarnaast is in de berekeningen rekening gehouden met radioactief verval van Tritium.

Ten behoeve van de stoftransportberekening is een (kleiner) modelnetwerk gedefinieerd in het freatische pakket en alleen voor het gebied waar de verontreiniging zich zal verplaatsen. In de lagen 1 en 2 van het model is ter plaatse van het lek elk 0,5 liter verontreinigd water (1 MBq/l) ingebracht. Vervolgens is deze verontreiniging 16 jaar doorgerekend, omdat binnen dit tijdsbestek een stabiele eindsituatie ontstaat. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in Figuur 4-8 en Figuur 4-9, en laat de initiële berekeningsresultaten zien.

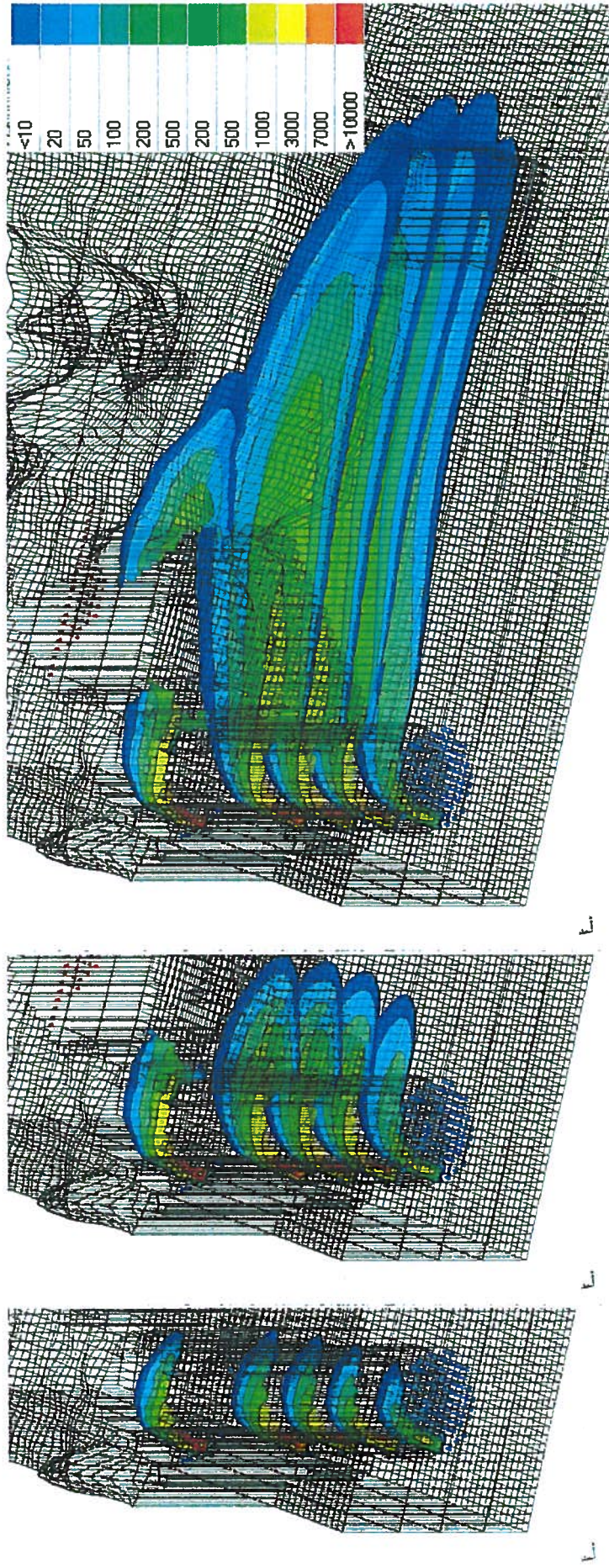
##### *Dispersie en advectie*

Advectie is een ander woord voor stroming. Tritium verplaatst zich in het grondwater net zo snel als het grondwater zelf omdat het deel van de watermoleculen uitmaakt. Behalve 'advectief transport' is ook dispersie van belang. Dispersie is het proces waarbij tijdens het transport concentratieverschillen steeds geleidelijker worden doordat tussen de zandkorrels snelheidsverschillen aanwezig zijn en menging optreedt.

Niet-stationaire stroming veroorzaakt advectief transport en leidt in het stoftransportmodel tot schijnbare dispersie of modeldispersie. Wanneer de grondwaterstroming bijvoorbeeld gedurende twee maanden per jaar noordwaarts gericht is en 10 maanden oostwaarts zal een 'driehoekige' pluim ontstaan waarin de kern nog steeds overwegend oostwaarts stroomt maar waarin de pluim naar het noorden toe 'uitwaaiert'. Dit kan met name zo zijn wanneer naar het noorden de grondwaterstroming in oostelijke richting steeds zwakker wordt, iets wat in de onderhavige situatie het geval is.

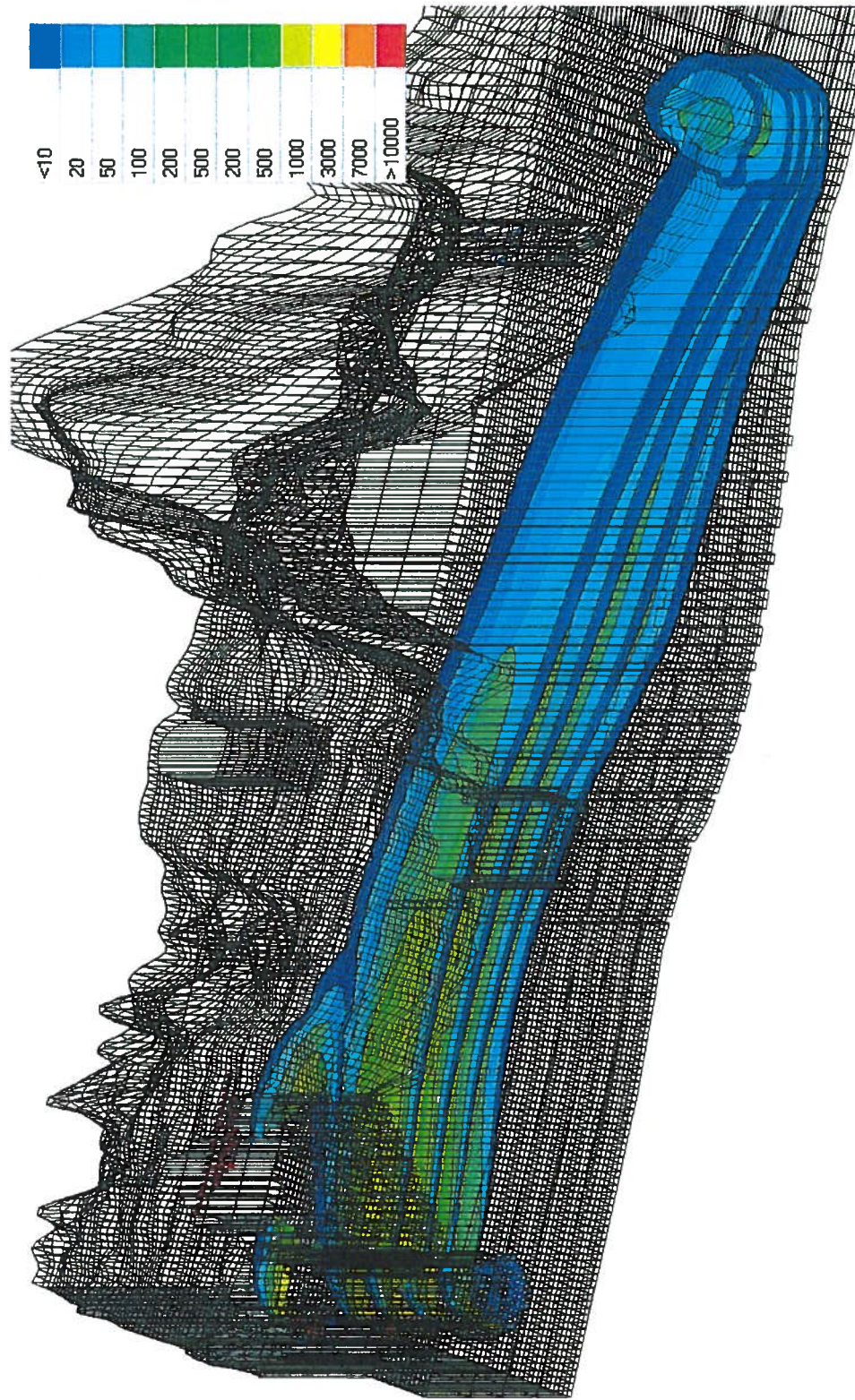
Er is bij de berekeningen een lage dispersiecoëfficiënt (bijna 0) aangehouden waardoor in de berekeningen de effecten van de 'modeldispersie' zichtbaar zijn. Bij een dispersie van 0 kan van de stroombaanberekeningen worden uitgegaan die in de vorige paragraaf zijn beschreven. Uit de metingen is echter al bekend dat de pluim een bepaalde breedte heeft en dat dispersie significant is.





Figuur 4-8 Verspreiding van de pluim nabij de reactor na 1, 2 en 5 jaar. Rechts de legenda voor het tritiumgehalte (Bq/L)



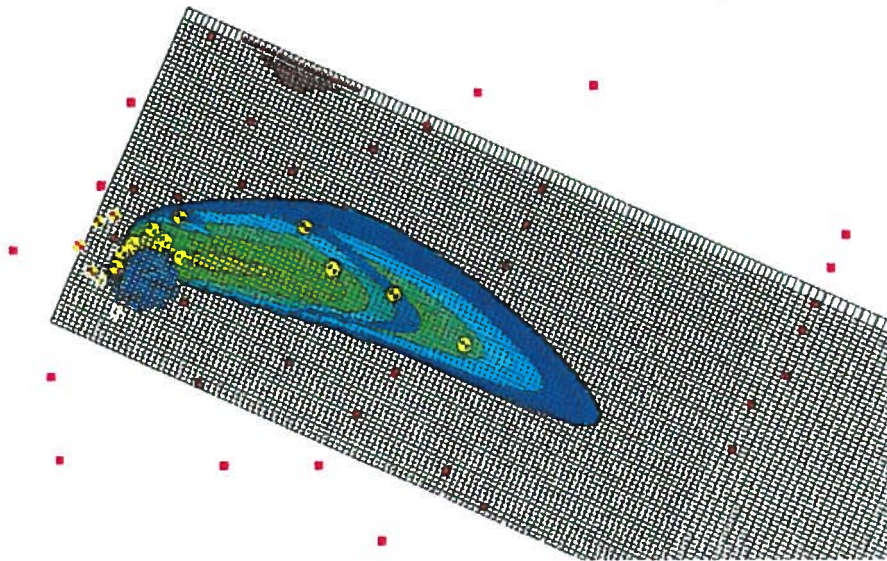


Figuur 4-9 Verspreiding van de pluim na 12 jaar (stabiele eindsituatie)

#### 4.8 Resultaten massatransportberekeningen

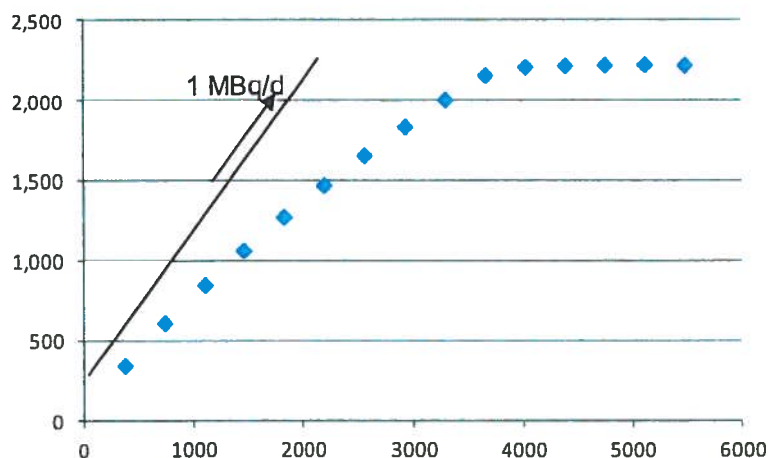
Uit de berekeningen is gebleken dat met de gekozen berekeningsmethodiek (MMOC) modeldispersie optreedt met eenzelfde ordegrrootte als die in het veld aanwezig is. In het model blijkt er sprake te zijn van een lichte 'uitwaaiering' in noordelijke richting. Bij een andere rekenmethodiek of kleinere modeldiscretisatie zal een smallere pluim worden berekend, maar zal een niet-stationaire berekening nodig zijn om de waargenomen patronen op een juiste wijze te kunnen simuleren.

De berekende concentraties in het groene gebied (zie Figuur 4-10, na een periode van 6 jaar) bedragen 300 tot 1.000 Bequerel per liter. In de bronzone wordt meer dan 10.000 Bequerel per liter berekend. De berekende waarden komen goed overeen met de waargenomen waarden. Dat geldt tevens voor de breedte van de pluim. Deze berekening komt redelijk overeen met de huidige aangetroffen situatie in de peilbuizen (eind november 2012).



Figuur 4-10 Verspreiding van de pluim na 6 jaar alle lagen (de 'lagen' liggen over elkaar)

De totale aanwezige hoeveelheid tritium in de bodem is weergegeven in Figuur 4-11. In eerste instantie neemt de hoeveelheid toe met 1 MBq/dag, wat gelijk is aan de lozing. Na verloop van tijd vakt de toename af, als gevolg van radioactief verval. De hoeveelheid activiteit in de bodem neemt toe tot 2.200 MBq. Nadat de tritiumpluim na circa 12 jaar (circa 4.000 dagen) de polder-sloot aan de oostzijde bereikt, wordt een stabiele situatie bereikt en blijft de totale concentratie in de bodem constant.



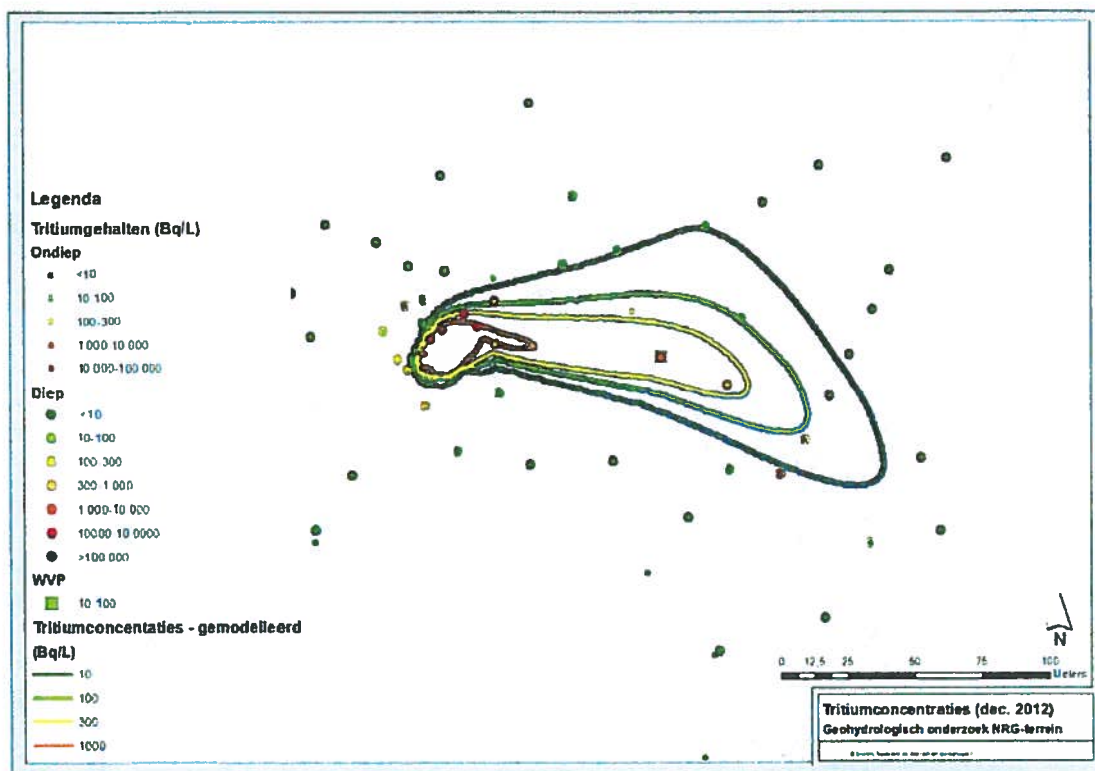


Figuur 4-11 Aanwezige totale grondwatervrucht in MBq (y-as) tegen de tijd in dagen (x-as)

#### 4.9 Vergelijking berekeningsresultaten en gemeten verspreiding

In Figuur 4-12 zijn de met het model berekende isoconcentratielijnen geplot op een kaart met de gemeten concentraties. Er blijkt dat de berekende concentraties iets worden onderschat maar dat de verspreiding naar het noorden wel goed wordt voorspeld. Dit wijst erop dat de pluim in werkelijkheid smaller is en dat de verspreiding naar het noorden (naar de Rietput) veroorzaakt wordt doordat gedurende korte perioden met hoge grondwaterstanden een noordelijk gerichte grondwaterstroming optreedt.

Ook is te zien dat de pluim iets verder naar het zuiden afbuigt en zich al iets verder heeft verspreid. In de volgende paragraaf wordt bij de berekening van een indicatieve saneringsmaatregel behalve bovenstaande berekening ook een berekening met een andere oplossingsmethode toegepast om een variant door te rekenen waarbij een veel smallere pluim met hogere concentraties wordt berekend. Gezien de waargenomen verspreiding in noordelijke richting is de daarvoor doorgekende saneringsvariant mogelijk niet toereikend.



Figuur 4-12 Vergelijking berekeningsresultaten massatransportberekeningen met geobserveerde verspreiding

#### 4.10 Indicatieve saneringsmaatregelen

Momenteel wordt gemiddeld 60.000 – 100.000 m<sup>3</sup> water per jaar uit de vijver onttrokken (circa 80 m<sup>3</sup>/dag). Het water wordt vooral kortdurend bij hoge grondwaterstanden afgevoerd. Hiermee wordt het peil in de vijver gehandhaafd op circa NAP +1,6 m à NAP +1,8 m, waarbij de pieken worden verlaagd. Wanneer het peil in de Rietput circa 20 cm hoger wordt ingesteld, zal een meer oostelijk gerichte grondwaterstroming plaatsvinden. Er zal dan geen of nauwelijks grondwater meer richting de Rietput stromen.

Uit de aangetroffen tritiumconcentraties blijkt dat de stroming richting de vijver slechts een zeer beperkt deel van het jaar plaatsvindt. Het is dus de vraag of het daadwerkelijk effect heeft het peil te verhogen. Aangezien binnen afzienbare tijd (ordegrootte een jaar) de aanwezige veront-

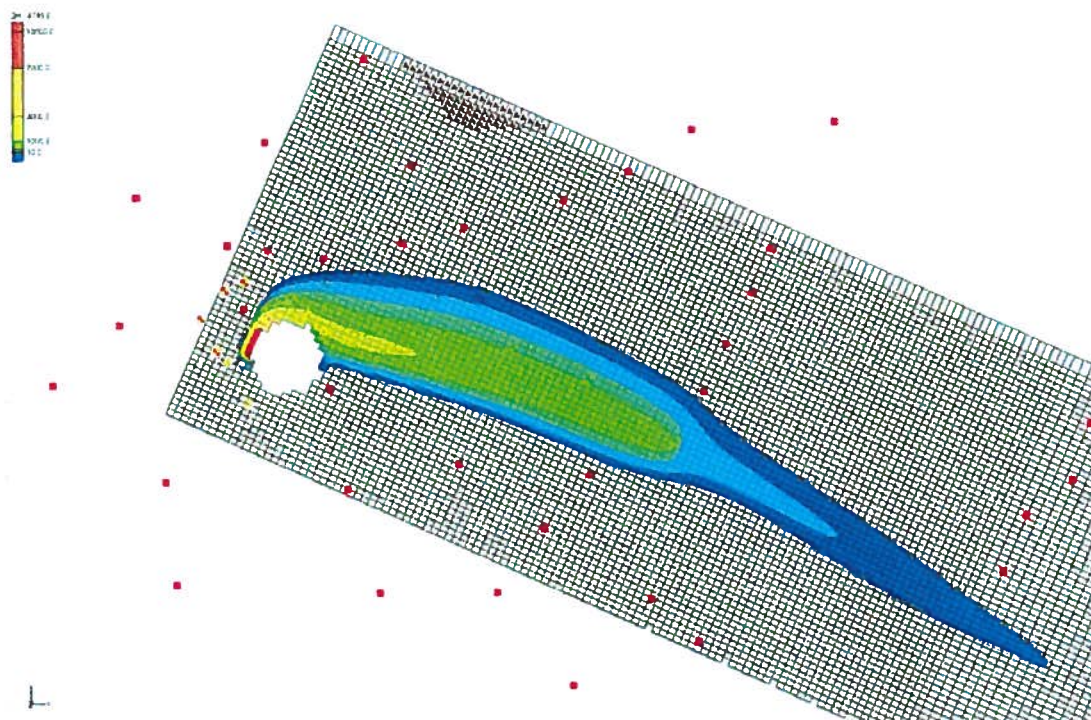
reiniging zal worden gesaneerd, is de verwachting dat de toename van de verontreiniging in dit deel beperkt zal zijn, ook als het oppervlaktewaterpeil niet wordt aangepast.

Het aanpassen van het oppervlaktewaterpeil is echter wel een zeer eenvoudige maatregel, waarmee de grondwaterstroming positief kan worden beïnvloed. De maatregel is zeer eenvoudig, waardoor de grondwaterstroming naar de vijver afneemt, maar de totale verontreinigingsvracht is in de huidige situatie al beperkt.

Ter indicatie is een eerste mogelijke saneringsmaatregel doorgerekend. Daartoe is ter plaatse van de meest verafgelegen waarnemingsput (waarin de verontreiniging is aangetroffen) een onttrekking van  $5 \text{ m}^3/\text{d}$  in het model ingevoerd in de vierde modellaag ( $1 \text{ m}^3/\text{d}$  bleek niet toereikend om de verplaatsing te stoppen). Bij een onttrekking van  $5 \text{ m}^3/\text{d}$  zal alleen nog water uit de perifere zones ( $<50 \text{ Bq/l}$ ) tot voorbij de beheersing verplaatsen. Een concentratie  $<100 \text{ Bq/l}$  is echter acceptabel.

De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in Figuur 4-13. Een debiet van  $10 \text{ m}^3/\text{d}$  blijkt afdoende om de verontreiniging volledig te beheersen. In een definitief ontwerp zal aan de hand van nader overeen te komen uitgangspunten een meer gedetailleerde berekening moeten worden gemaakt. Nadere detaillering ten aanzien van uitgangspunten is noodzakelijk voor de huidige leeftijd van de lekkage, een eventuele toename van de lekkage, het stoppen van de lekkage en de te hanteren veiligheidsmarge. Daarbij zal gebruik worden gemaakt van verschillende 'stress periods' om de verschillende fasen (start lekkage, start beheersing) beter in beeld te krijgen. Om de verontreiniging in een korter tijdsbestek te saneren kan daarnaast nog een variant worden opgesteld waarin meerdere onttrekkingsputten (ook dicht bij de HFR) worden ingezet. In een aanvullend model- en/of saneringsonderzoek dient dit nader te worden uitgewerkt.

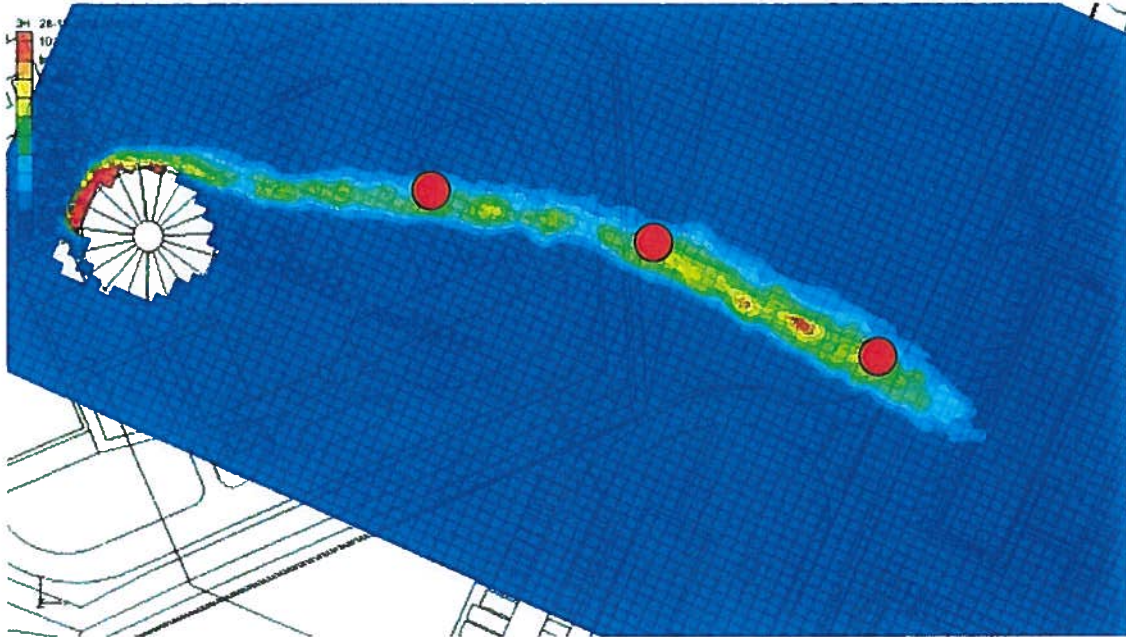
Bij een onttrekking van  $5 \text{ m}^3/\text{d}$  zal in het onttrokken grondwater een activiteit van ongeveer  $350 \text{ Bq/l}$  aanwezig zal zijn.



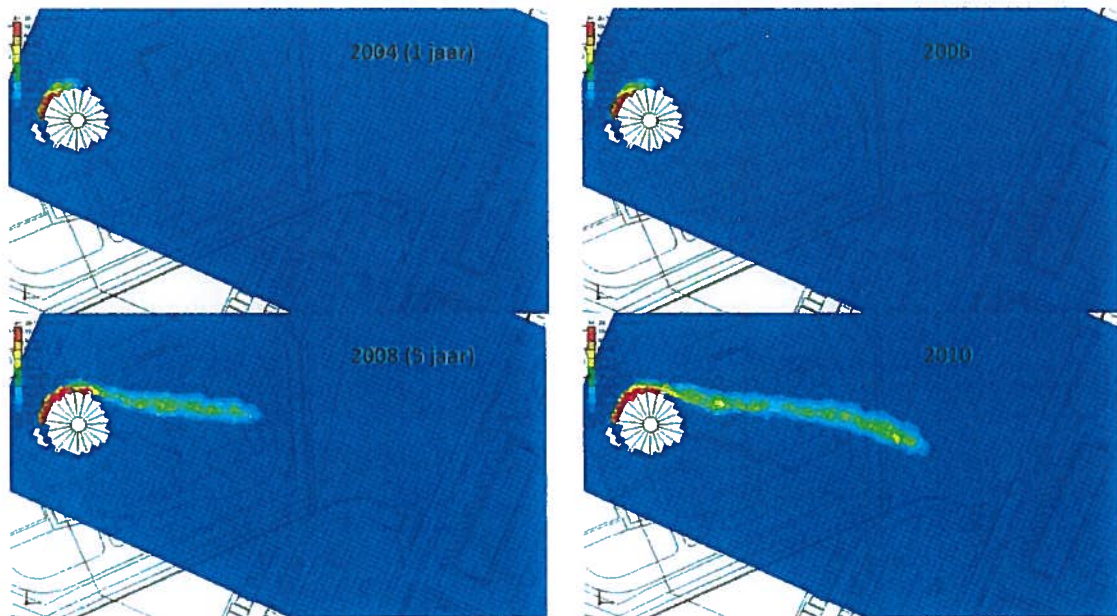
Figuur 4-13 Effect enkelvoudige beheersmaatregel met onttrekking  $5 \text{ m}^3/\text{d}$

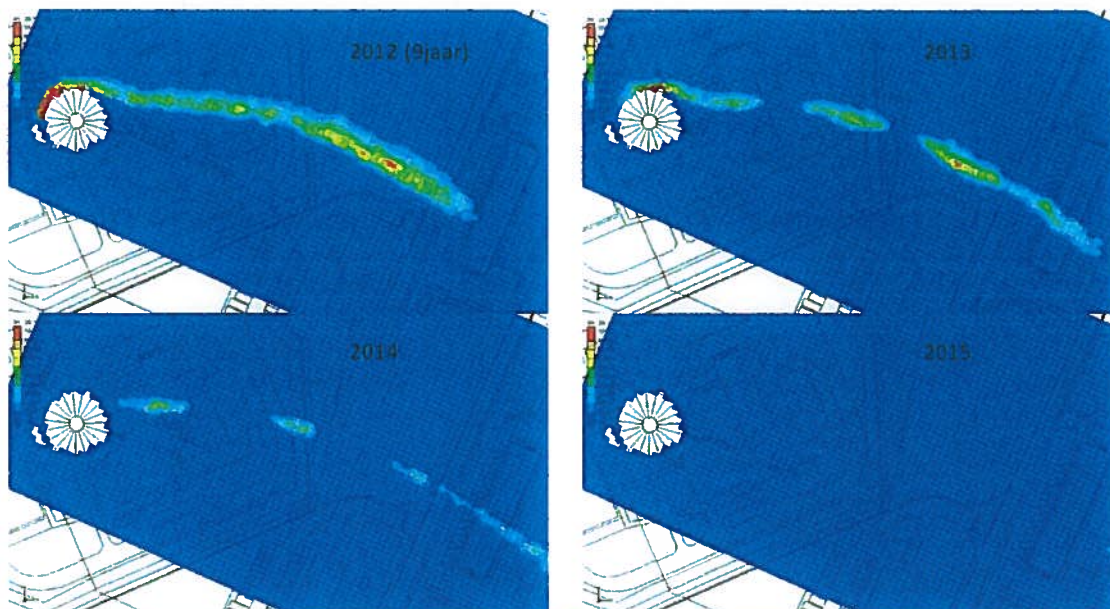


In Figuur 4-15 is een tweede saneringsmaatregel doorgerekend waarbij met 3 onttrekkingsputten de 9 jaar oude pluim binnen 3 jaar volledig wordt gesaneerd. De theoretische locaties van de putten zijn in Figuur 4-14 weergegeven. Elke onttrekkingsput onttrekt in deze variant 2 m<sup>3</sup>/dag. Daarbij is een andere berekeningsmethodiek (met lagere modeldispersie) toegepast dan in de voorgaande berekeningen.



Figuur 4-14 Theoretische locaties onttrekkingsputten





*Figuur 4-15 Verloop Tritium concentratie bij sanering middels 3 onttrekkingsputten (start sanering 2012)*

#### **4.11 Concentratie bij autonome ontwikkeling**

Indien geen saneringsmaatregelen worden genomen (maar wel vanaf 1 december 2012 de lekkage wordt gedicht) zal volgens het model de pluim stroomafwaarts verder verdunnen en mengen met het langsstromende schone grondwater. De grondwater concentraties Tritium nabij de sloot ten oosten van het duingebied worden berekend op <math><20\text{ Bq/l}</math>. Dat is op het moment dat de eerste verontreiniging aankomt bij de sloot (d.d. 1 december 2018). In de jaren daarna is er sprake van een toename oplopend tot 80-100 Bq/l in 2022. Na het jaar 2024 neemt de tritium concentratie zeer snel af naar 0.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Op basis van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- er is een duidelijke verontreinigingspluim aanwezig die voornamelijk oostwaarts stroomt en welke nagenoeg geheel is afgeperkt. Het front van de pluim wordt naar verwachting in de tweede helft van december 2012 vastgesteld middels aanvullende boringen en bemonstering.
- de tritium bron is op het HFR-terrein aangetroffen. Het betrof een lekkende leiding, waaruit een geschatte hoeveelheid van 50 liter water per keer, ongeveer 10 maal per jaar, is gelekt. Dit water had een concentratie van ongeveer 1 MBq/l. Er is nog een kleine aanvullende bron gevonden die de concentraties westelijk van de HFR verklaren.
- op afstand van de bron wordt de verontreiniging voornamelijk op diepte aangetroffen. Nabij de HFR worden de verontreinigingen zowel diep als ondiep aangetroffen. Dit kan als volgt verklaard worden (onderbouwd door het grond- en stoftransportmodel):
  - de bron bevindt zich ondiep en verplaatst zich op het terrein nauwelijks naar de diepte doordat geen grondwateraanvulling aan maaiveld plaatsvindt.
  - nabij de reactor vindt snel transport naar de diepte plaats doordat ook onder de reactor nog een watervoerende laag aanwezig is. Hierdoor wordt de boven de grondwaterspiegel onstane verontreiniging behalve noordelijk om de HFR heen ook naar beneden verplaatst.
- doordat de waterscheiding ten westen van de HFR ligt, stroomt al het grondwater op het HFR-terrein globaal oostwaarts. De waterscheiding ligt ongeveer 100 à 150 m ten westen van de reactor. Dit betekent dat de verontreiniging niet wordt veroorzaakt door een mogelijke bron westelijk van de waterscheiding, zoals bij de WSF of DWT.
- uit de stijghoogtemetingen van november 2012 welke in het model tot op de centimeter zijn gekalibreerd, volgt een grondwaterstroming in de richting van de Rietput. Uit de stijghoogte analyse, de waargenomen pluimontwikkeling en de tijdreeksanalyse blijkt dat dit een uitzonderlijke situatie is die optreedt tijdens relatieve hoge grondwaterstanden (GHG). De licht verhoogde tritiumconcentraties tussen de HFR en de Rietput worden door deze stroming verklaard. Seizoensvariaties zijn derhalve van groot belang voor de verspreiding op de locatie.
- uit de gevoeligheidsanalyse zijn met name de parameters voor doorlatendheid (van freatisch pakket) en neerslagoverschot als zeer gevoelig gebleken. Deze parameters zijn eveneens onderling sterk afhankelijk. De grondwaterstand op één moment in de tijd of de waargenomen verspreiding van de pluim kan worden voorspeld met verschillende combinaties van waarden voor deze parameters.
- de gemiddelde grondwaterstroming is benaderd met een stationaire modellering.
- uit het model wordt voor de tritiumpluim een leeftijd berekend van ongeveer 9 jaar met een onzekerheid van een jaar naar boven en beneden (marge 8-10 jaar). De marge wordt veroorzaakt door de afgelegde weg nabij de reactor en de onzekerheid volgend uit de gevoeligheidsanalyse.
- door het vijverpeil in de Rietput te verhogen (orde grootte 20 cm) wordt de toestroming van grondwater (met tritium) naar de vijver sterk beperkt. Echter, aangezien de huidige toestroming en de aangetroffen concentraties beperkt zijn, heeft het verhogen van het vijverpeil weinig effect op de aanwezige concentraties in het gehele verontreinigingsgebied. De vraag dient te worden gesteld of deze maatregel doelmatig is.



## 5.2 Aanbevelingen

Omdat de waargenomen verspreiding van tritium ook naar het noorden plaats vindt wordt aanbevolen een niet-stationaire berekening met het model uit te voeren.

Om de 'werkelijke parameterisatie' voor het model te achterhalen is nader onderzoek noodzakelijk. Dit kunnen de volgende typen onderzoek zijn:

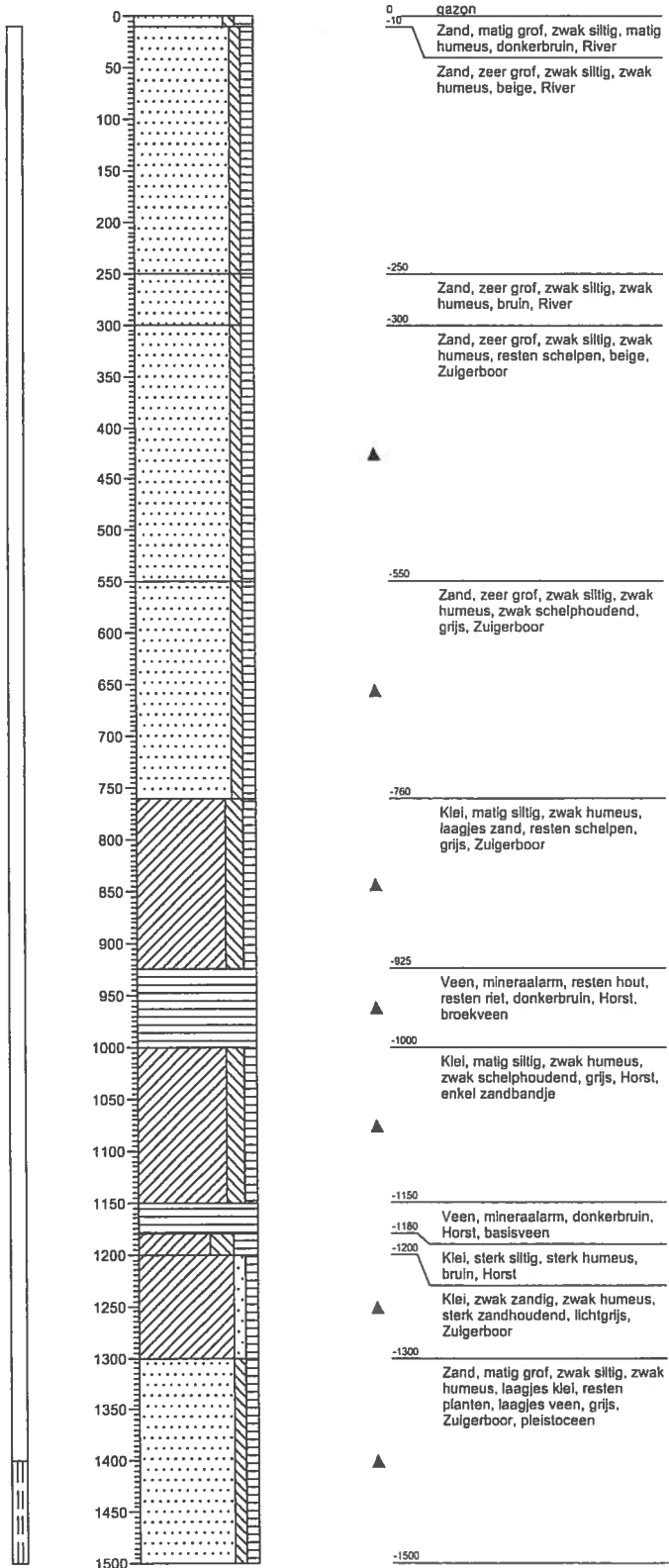
- uitvoeren van een pomproef om de doorlatendheid van het freatische pakket te onderzoeken;
- het niet-stationair doorrekenen en kalibreren van het model op de gemiddelde verspreiding van de pluim en op het in november waargenomen stijghoogtepatroon;
- het monitoren van de grondwaterstand in de tijd op twee of drie representatieve locaties alsmede het waterpeil van de Rietput om de werking van de plas vast te stellen;
- het dateren van de pluim om direct een extra 'meting' te hebben waardoor de combinatie neerslagoverschot en doorlatendheid een vaste relatie krijgt;
- het meten van de grondwaterstanden in alle peilbuizen op een moment dat de grondwaterstanden laag zijn (in de zomer).

# **Bijlage 1**

## **Boorprofielen**

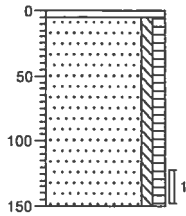
**Boring: 1002-3**

X:  
 Y:  
 Datum: 23-10-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlak: maaiveld



### Boring: 1017

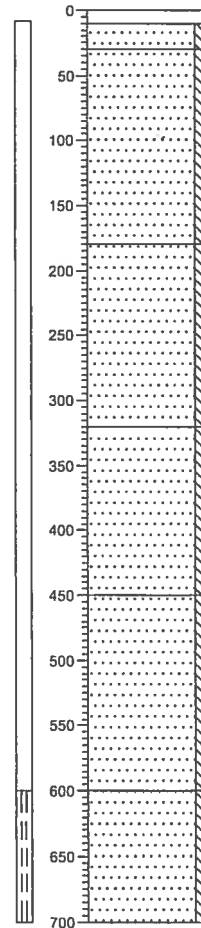
X:  
Y:  
Datum: 2-11-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



tegel  
Edelmanboor, tegel  
Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus, sporen schelpen, licht beigebruin, Edelmanboor

### Boring: 1022

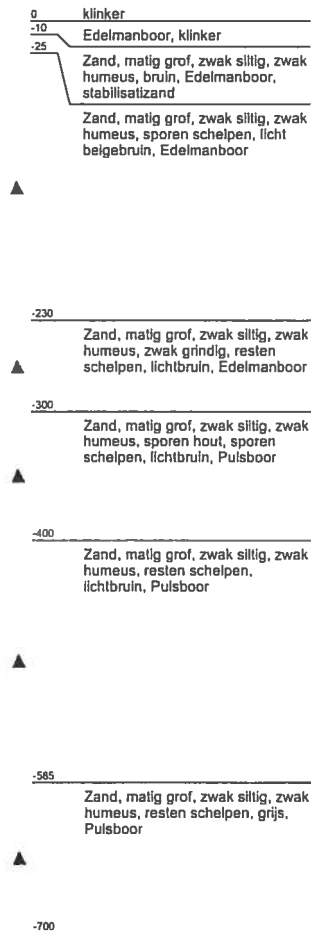
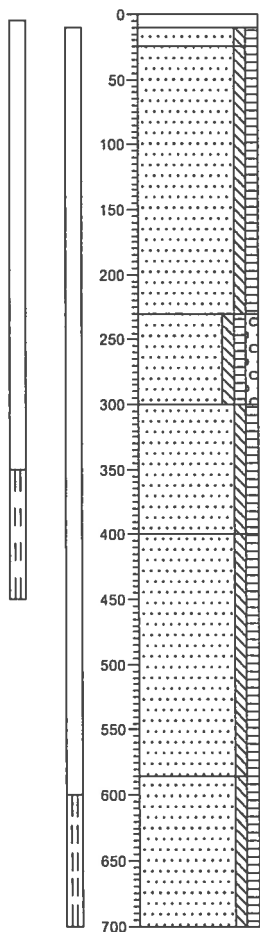
X:  
Y:  
Datum: 18-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



0 klinker  
-10 Klinker  
-30 Zand, uiterst grof, zwak siltig, matig grindhoudend, bruin, Edelmanboor  
Zand, zeer grof, zwak siltig, resten schelpen, beige, Edelmanboor  
-180 Zand, zeer grof, zwak siltig, resten schelpen, beige, Edelmanboor  
-320 Zand, matig grof, zwak siltig, resten schelpen, grijs, Pulsboor  
-450 Zand, zeer grof, zwak siltig, zwak schelphoudend, grijs, Pulsboor  
-600 Zand, zeer grof, zwak siltig, matig schelphoudend, grijs, Pulsboor  
-700

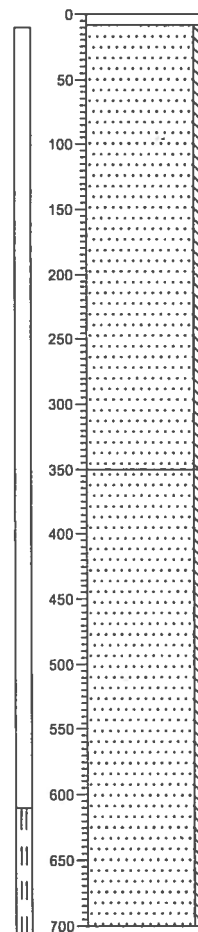
# Boring: 1024

X:  
Y:  
Datum: 24-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



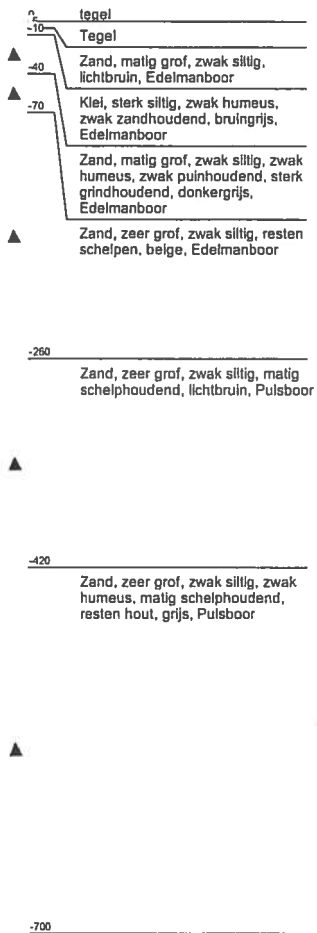
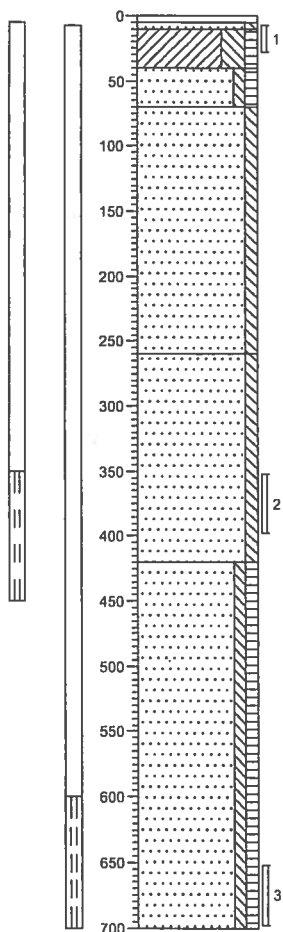
# Boring: 1025

X:  
Y:  
Datum: 25-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG: 350  
Referentievlaak:



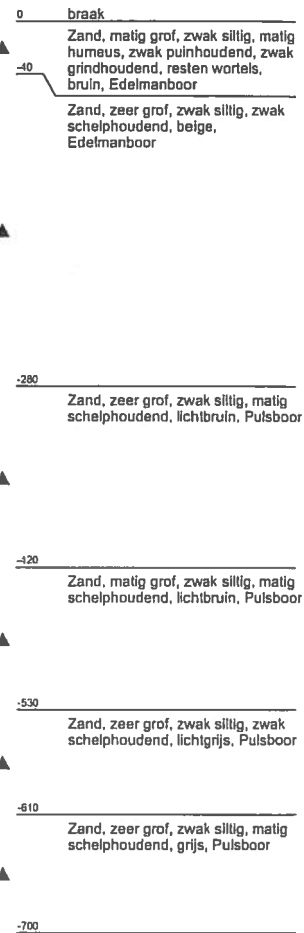
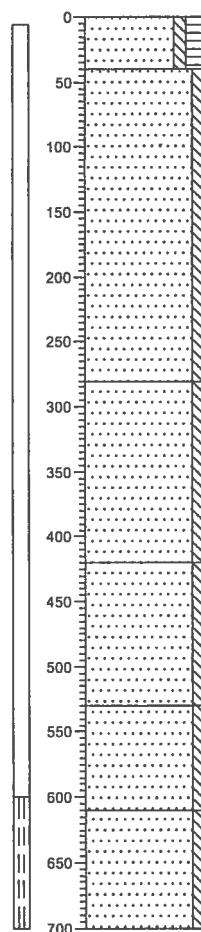
**Boring: 1026**

X:  
 Y:  
 Datum: 22-10-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld



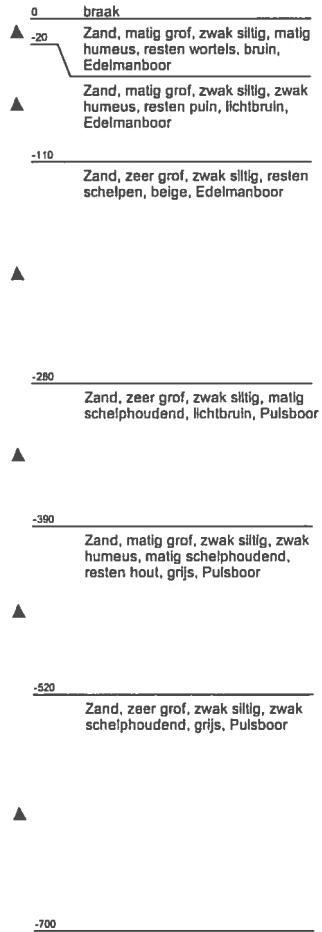
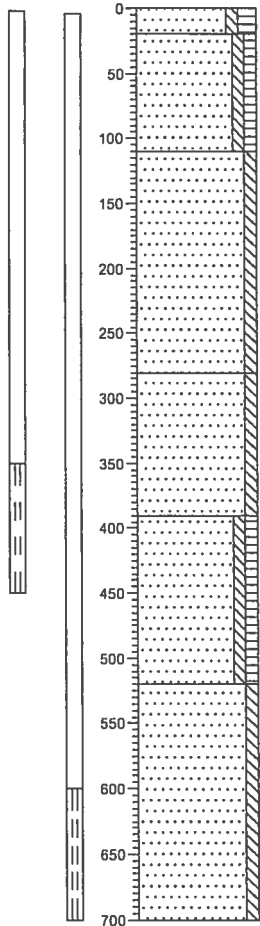
**Boring: 1027**

X:  
 Y:  
 Datum: 23-10-2012  
 GWS:  
 GHG:  
 GLG:  
 Referentievlaak: maaiveld



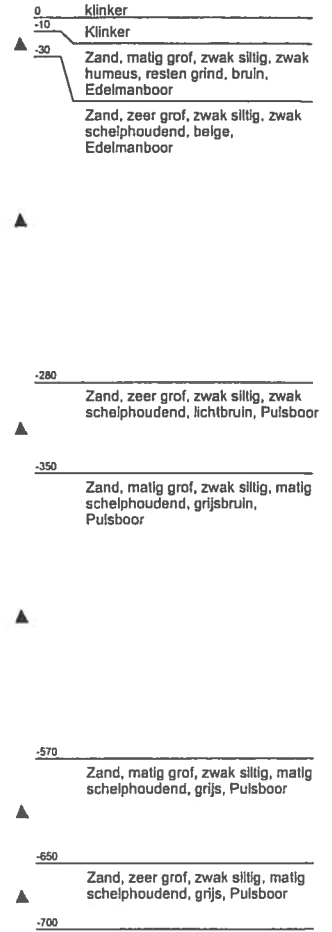
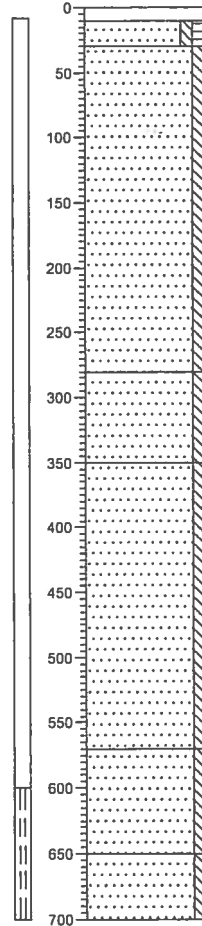
### Boring: 1028

X:  
Y:  
Datum: 23-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



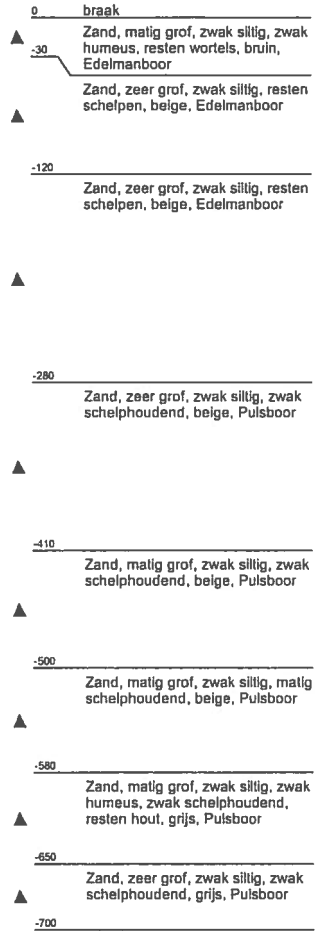
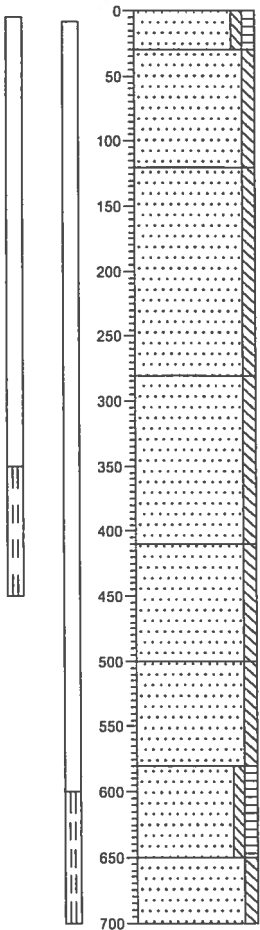
### Boring: 1031

X:  
Y:  
Datum: 24-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlaak: maaiveld



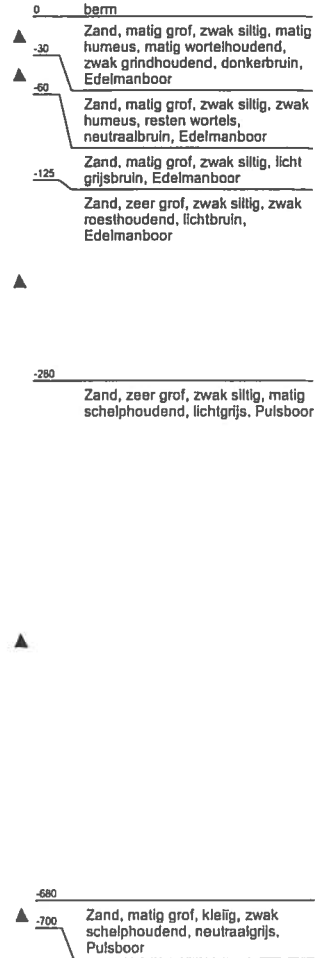
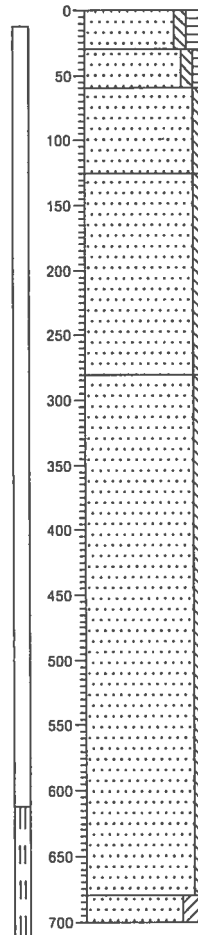
# Boring: 1033

X:  
Y:  
Datum: 19-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaierveld



# Boring: 1038

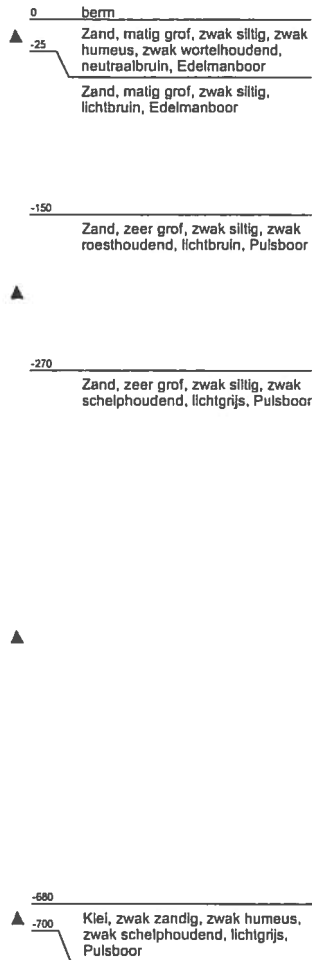
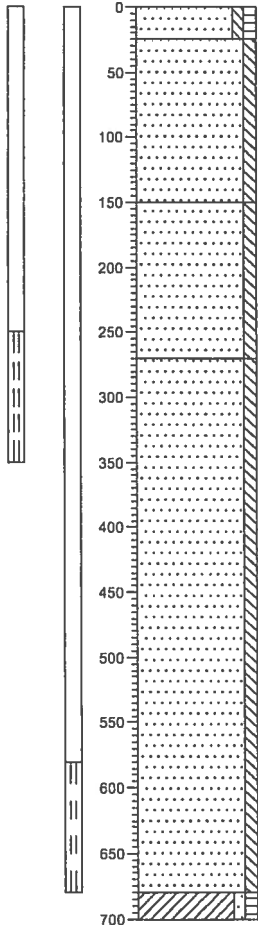
X:  
Y:  
Datum: 25-10-2012  
GWS:  
GHG: 125  
GLG: 280  
Referentievlak:





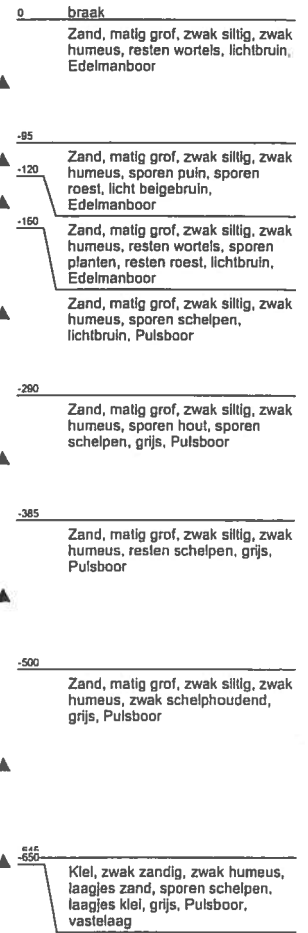
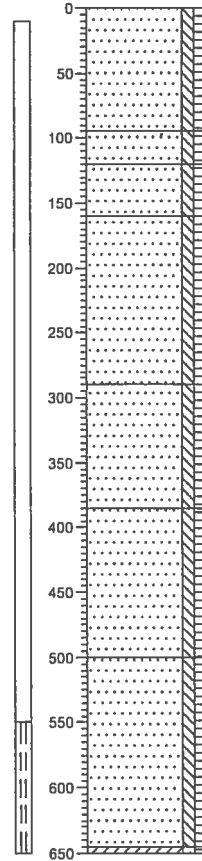
**Boring: 1039**

X:  
Y:  
Datum: 25-10-2012  
GWS:  
GHG: 150  
GLG: 270  
Referentievlak: :



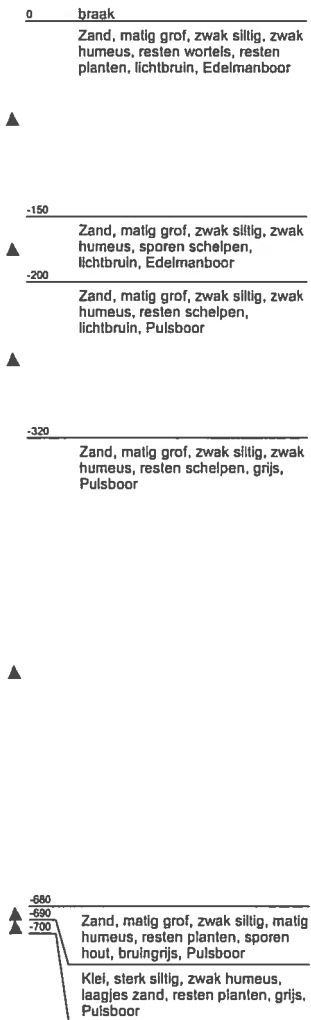
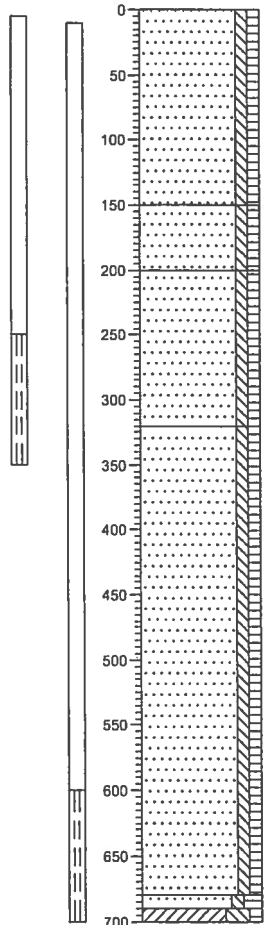
**Boring: 1040**

X:  
Y:  
Datum: 25-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



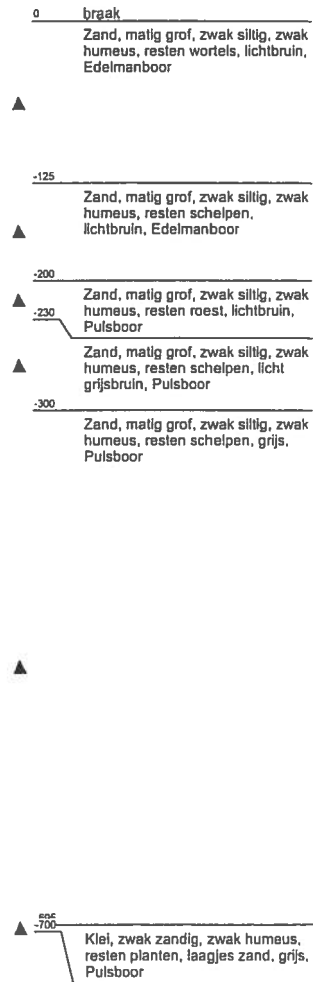
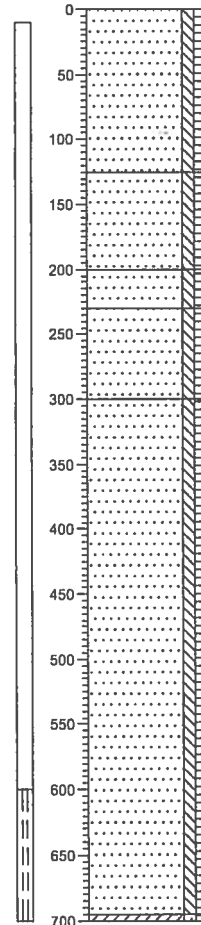
### Boring: 1041

X:  
Y:  
Datum: 26-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



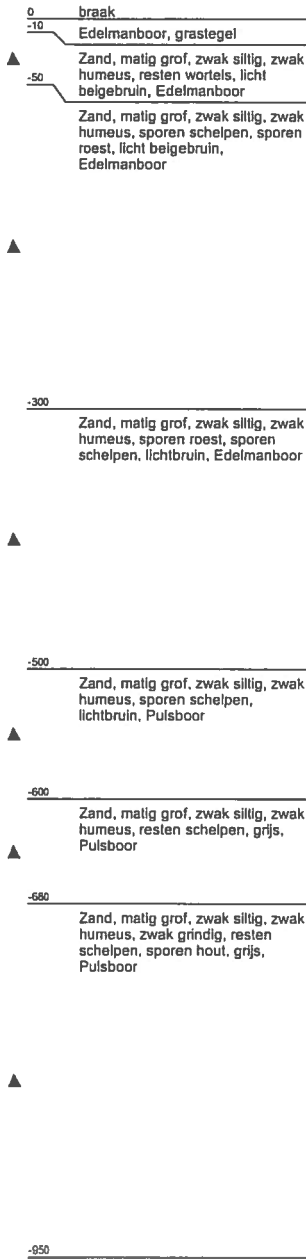
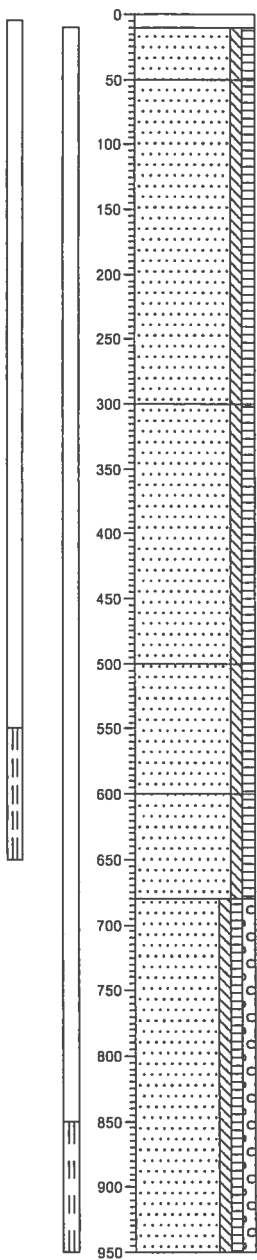
### Boring: 1042

X:  
Y:  
Datum: 26-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



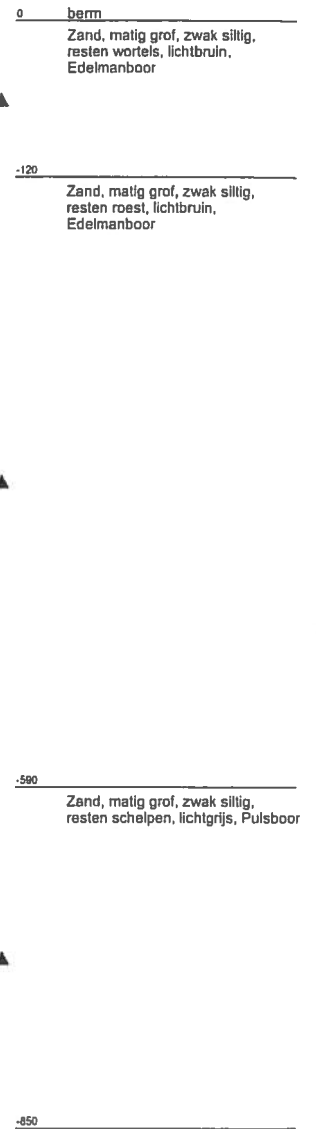
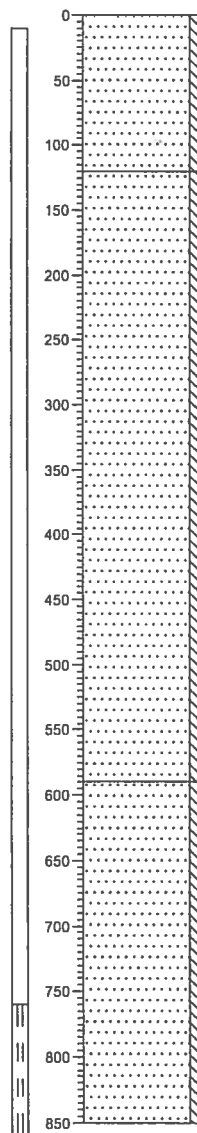
**Boring: 1047**

X:  
Y:  
Datum: 29-10-2012  
GWS:  
GHG:  
GLG:  
Referentievlak: maaiveld



**Boring: 1048**

X:  
Y:  
Datum: 29-10-2012  
GWS:  
GHG: 590  
GLG:  
Referentievlak:



## **Bijlage 6**

## **Bijlage 2**

### Locaties peilbuizen

## Legenda

### Peilbuizen

■ Diepte (NAP) niet bekend

### Ondiep (>NAP -1 m)

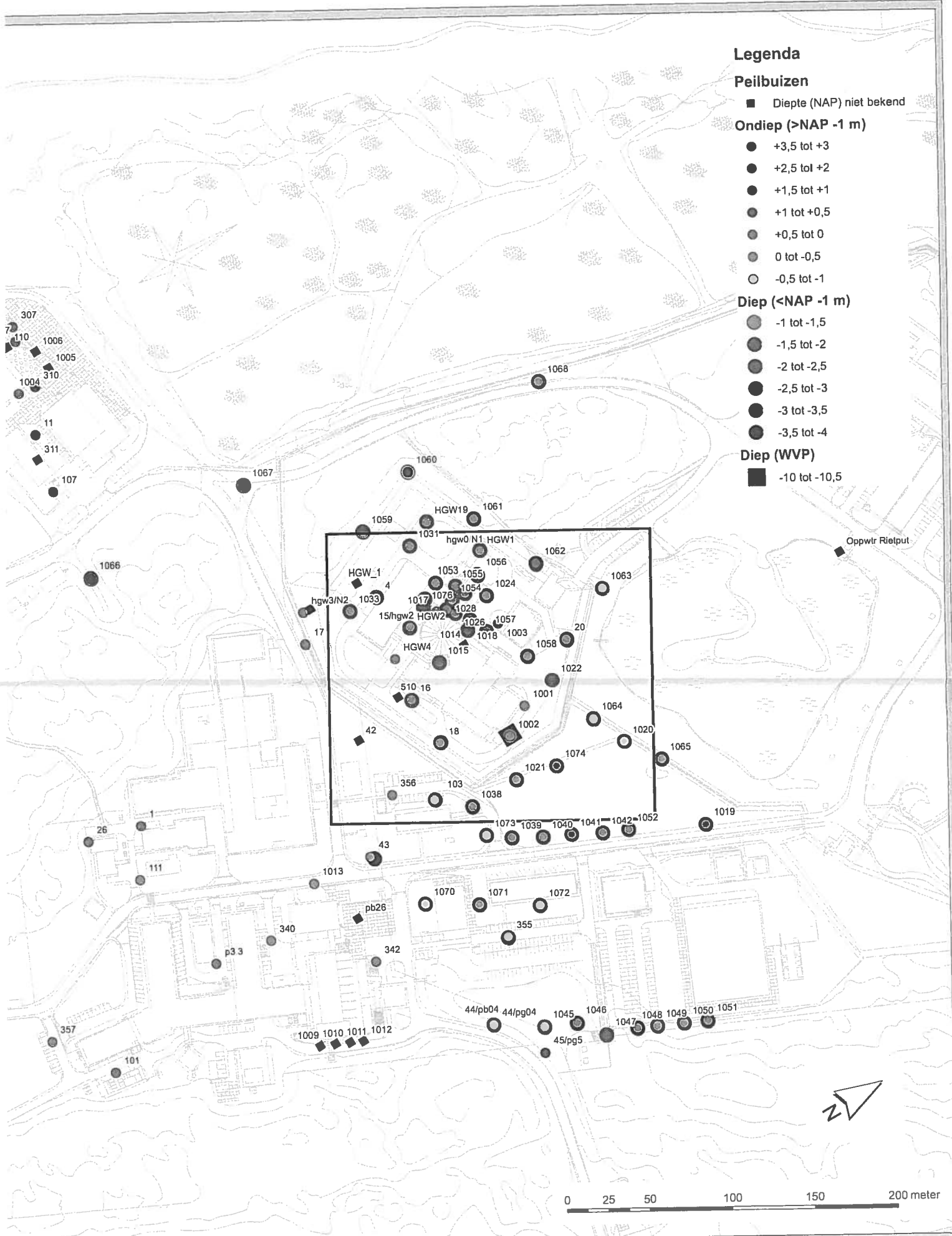
- +3,5 tot +3
- +2,5 tot +2
- +1,5 tot +1
- +1 tot +0,5
- +0,5 tot 0
- 0 tot -0,5
- -0,5 tot -1

### Diep (<NAP -1 m)

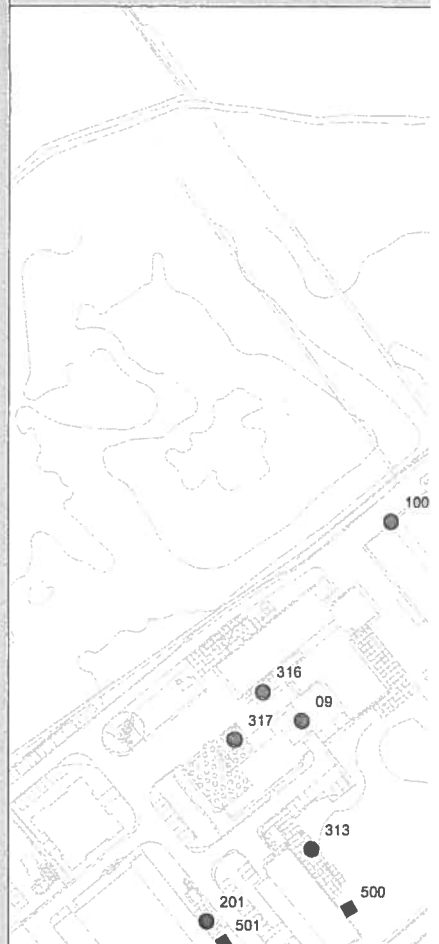
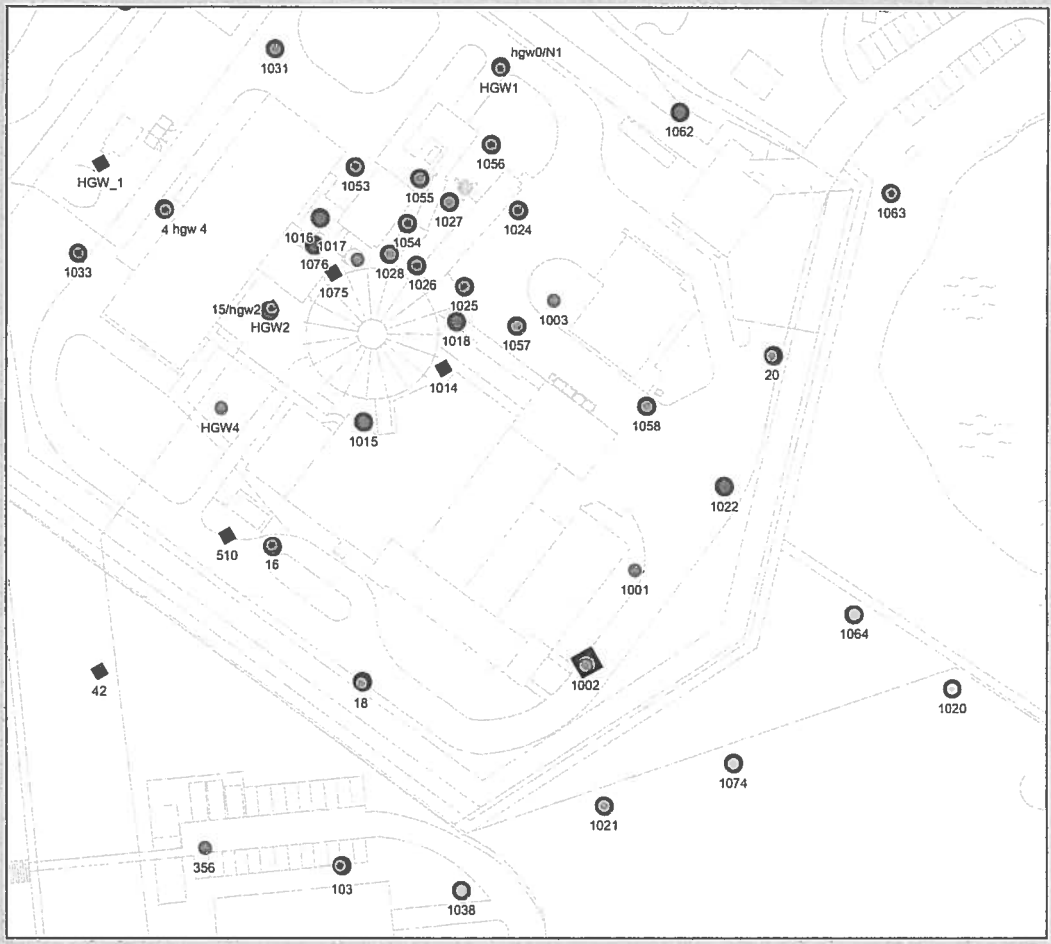
- -1 tot -1,5
- -1,5 tot -2
- -2 tot -2,5
- -2,5 tot -3
- -3 tot -3,5
- -3,5 tot -4

### Diep (WVP)

- -10 tot -10,5



## Peilbuislocaties NRG-terrein (2012) Geohydrologisch onderzoek NRG-terrein



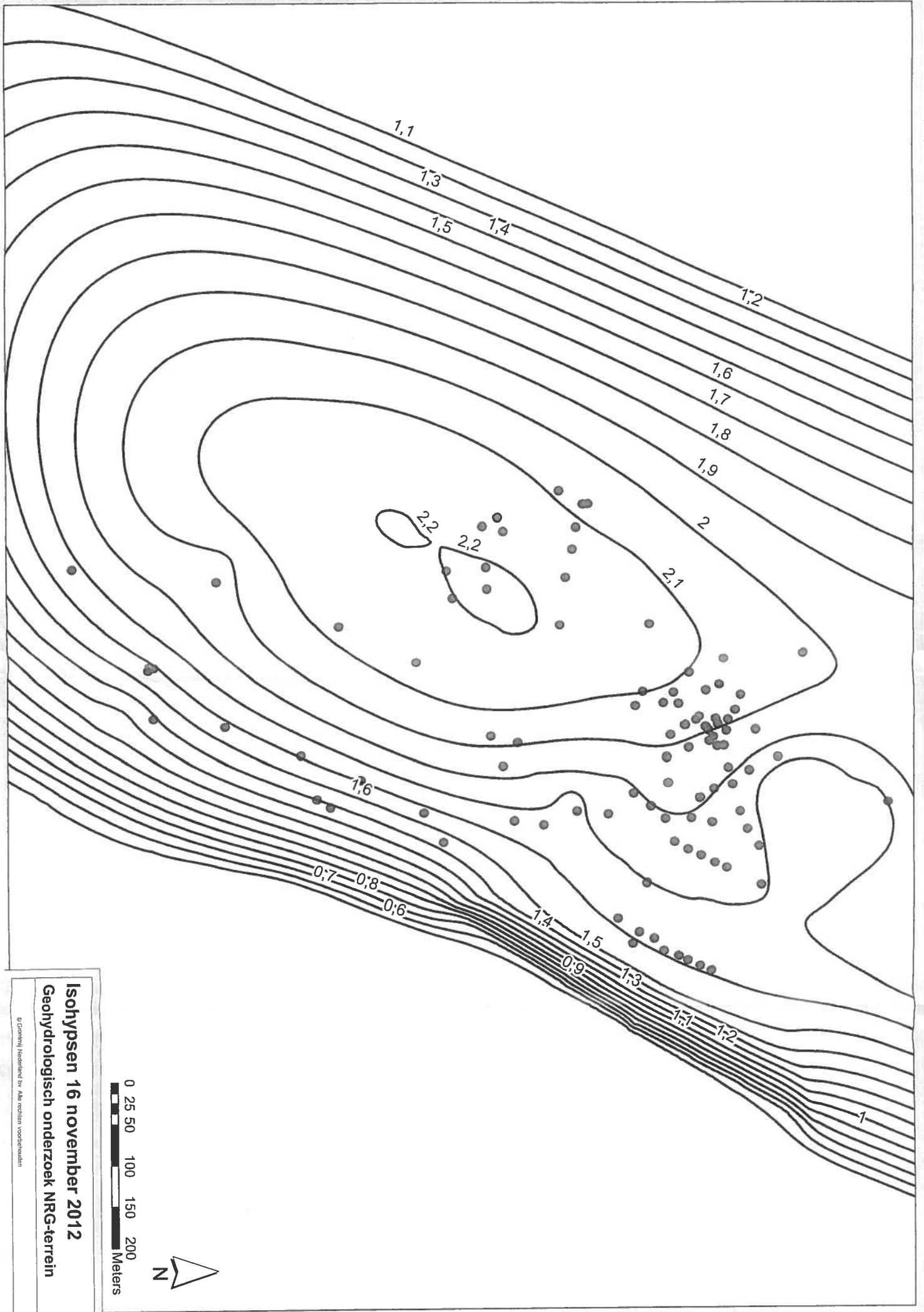




Locatie [-]	Meetpunt/Filter [-]	X-coord. [m]	Y-coord. [m]	Bovenkant peilbuis [m NAP]	Maalveldniveau [m NAP]	Diepte [m]	Diepte_NAP [m NAP]	Grondwaterstand maart 2012		Grondwaterstand 16 november 2012		Opmerkingen [-]
								[m t.o.v. bov.kant pb]	[m NAP]	[m t.o.v. bov.kant pb]	[m NAP]	
1056	1056_2	107.105	533.681	4.922	4.989	7,00	2,08			2,90	2,022	
1057	1057_1	107.137	533.668	4.633	4.717	4,50	0,15			2,70	1,953	
1057	1057_2	107.137	533.668	4.625	4.717	7,00	2,38			2,67	1,955	
1058	1058_1	107.162	533.681	4.638	4.737	4,50	0,14			2,71	1,928	
1058	1058_2	107.162	533.681	4.618	4.737	7,00	-2,38			2,70	1,918	
1059	1059_1	107.047	533.635	5.356	5.374	4,50	0,86			3,25	2,106	
1059	1059_2	107.047	533.635	5.330	5.374	7,00	-1,67			3,23	2,1	
1060	1060_1	107.030	533.677	5.572	5.544	4,50	1,07			3,49	2,082	
1060	1060_2	107.030	533.677	5.546	5.544	7,00	-1,45			3,47	2,076	
1061	1061_1	107.074	533.696	4.996	5.059	4,50	0,50			2,94	2,056	
1061	1061_2	107.074	533.696	4.963	5.059	7,00	-2,04			2,90	2,063	
1062	1062_1	107.117	533.714	4.517	4.569	4,00	0,52			2,52	1,997	
1062	1062_2	107.117	533.714	4.490	4.569	7,00	2,51			2,49	2	
1063	1063_1	107.150	533.741	3.924	3.935	4,00	-0,08			2,10	1,824	
1063	1063_2	107.150	533.741	3.892	3.935	7,00	-3,11			2,09	1,802	
1064	1064_1	107.216	533.695	3.267	3.277	3,50	-0,23			1,44	1,834	
1064	1064_2	107.216	533.695	3.244	3.277	6,70	3,46			1,54	1,786	
1065	1065_1	107.258	533.718	3.326	3.369	3,50	-0,17			1,51	1,799	
1065	1065_2	107.258	533.718	3.309	3.369	6,30	-2,99			1,15	2,127	
1066	1066_1	106.986	533.480	8.277	8.314	7,00	1,28			6,13	2,121	
1066	1066_2	106.986	533.480	8.251	8.314	10,00	-1,75			6,13	2,121	
1067	1067_1	106.986	533.588	8.773	8.796	8,00	0,77			6,62	2,153	
1067	1067_2	106.985	533.588	8.755	8.796	11,00	-2,25			6,59	2,165	
1068	1068_1	107.023	533.773	8.338	8.407	8,00	0,34			6,30	2,038	
1068	1068_2	107.023	533.773	8.330	8.407	11,00	-2,67			6,29	2,04	
1069	1069_1	106.915	532.893	3.838	3.853	4,00	-0,16			2,11	1,728	
1069	1069_2	106.915	532.893	3.812	3.853	6,90	-3,09					
1070	1070_1	107.260	533.551	3.496	3.546	4,00	-0,50					
1070	1070_2	107.260	533.551	3.446	3.546	7,00	-3,55					
1071	1071_1	107.277	533.579	3.695	3.745	4,00	-0,31					
1071	1071_2	107.277	533.579	3.645	3.745	7,00	-3,36					
1072	1072_1	107.296	533.610	3.687	3.737	4,00	-0,31					
1072	1072_2	107.296	533.610	3.637	3.737	7,00	-3,35					
1073	1073_1	107.243	533.604	3.888	3.938	4,00	-0,11					
1073	1073_2	107.243	533.604	3.838	3.938	7,00	-3,16					
1074	1074_1	107.229	533.662	3.428	3.472	3,50	-0,07			1,54	1,888	
1074	1074_2	107.229	533.662	3.405	3.472	6,80	-3,40			1,52	1,885	
1075	1075_1	107.111	533.643	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B					niet aanwezig
1075	1075_2	107.111	533.643	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B					niet aanwezig
1076	1076_1	107.111	533.643	4.769	4.837	4,00	0,77			2,73	2,039	
1076	1076_2	107.105	533.643	4.723	4.837	7,00	-2,28			2,70	2,023	
15/hgw2	15/hgw2	107.111	533.630	4.906	#N/B	5,00	-0,09	3	1.906	2,90	2,006	
44/pb04	44/pb04_2	107.344	533.548	6.749	6.762	10,35	-3,60			5,04	1,709	
44/pb04	44/pb04	107.344	533.548	6.806	#N/B	7,00	-0,19	5,4	1.406	5,02	1,786	
45/pb5	45/pb5	107.374	533.566	7.184	7.129	6,00	1,18			5,51	1,674	
hgw 4	hgw 4-2	107.085	533.622	4.887	4.923	#N/B	#N/B			2,81	2,077	
HGW_1	HGW_1	107.071	533.616	5.052	5.018	#N/B	#N/B	3,1	1.946	2,98	2,072	
hgw0/n1	hgw0/n1	107.093	533.689	4.916	#N/B	5,00	-0,08	3,1	1.816	2,93	1,966	
hgw0/n1	hgw0/n1-2	107.093	533.690	4.942	5.023	#N/B	#N/B			2,91	2,032	
HGW1	HGW1_1	107.093	533.689	4.962	5.015	#N/B	#N/B					
HGW1	HGW1_2	107.093	533.690	4.939	5.015	7,00	-2,06					
HGW19	HGW19_1	107.062	533.671	4.991	5.034	4,70	0,29			3,02	1,972	
HGW19	HGW19_2	107.061	533.671	4.903	5.034	7,00	-2,10			2,86	2,043	
HGW2	HGW2_1	107.111	533.630	4.934	4.951	#N/B	#N/B					
HGW2	HGW2_2	107.111	533.629	4.843	4.951	7,00	-2,16			2,79	2,053	
hgw3/n2	hgw3/n2	107.070	533.579	5.777	5.777	5,50	0,28	3,9	1.936	3,71	2,067	
HGW3/N2	HGW3/N2_2	107.070	533.583	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B			3,66		
HGW4	HGW4	107.123	533.612	4.802	4.850	4,50	0,30			2,77	2,032	
p3_3	p3_3	107.226	533.424	3.196	#N/B	2,85	0,35	1,6	1.596	1,46	1,736	
pb01	pb01	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	4,00	#N/B					
pb26	pb26	107.246	533.511	3.546	#N/B	#N/B	#N/B	1,9	1.646			
Oppwtr Forumvlyver	-	106.932	533.067	2.358	#N/B	n.v.t.	#N/B			0,44	1,918	
Oppwtr Rietput	-	107.205	533.875	3.620	#N/B	n.v.t.	#N/B			1,90	1,72	
Oppwtr Brandweer	-	107.099	532.989	1.960	#N/B	n.v.t.	#N/B			0,57	1,39	
301_brandweer	301_brandweer	107.036	532.984	3.357	3.449	3,50	-0,14			1,75	1,607	
303_brandweer	303_brandweer	107.037	532.989	3.394	3.493	3,50	-0,11			1,72	1,674	
pb ongenummerd (B)	pb ongenummerd (B)	107.040	532.982	3.344	3.413	3,50	-0,16			1,72	1,624	

## **Bijlage 3**

Grondwaterisohypsen 16 2012

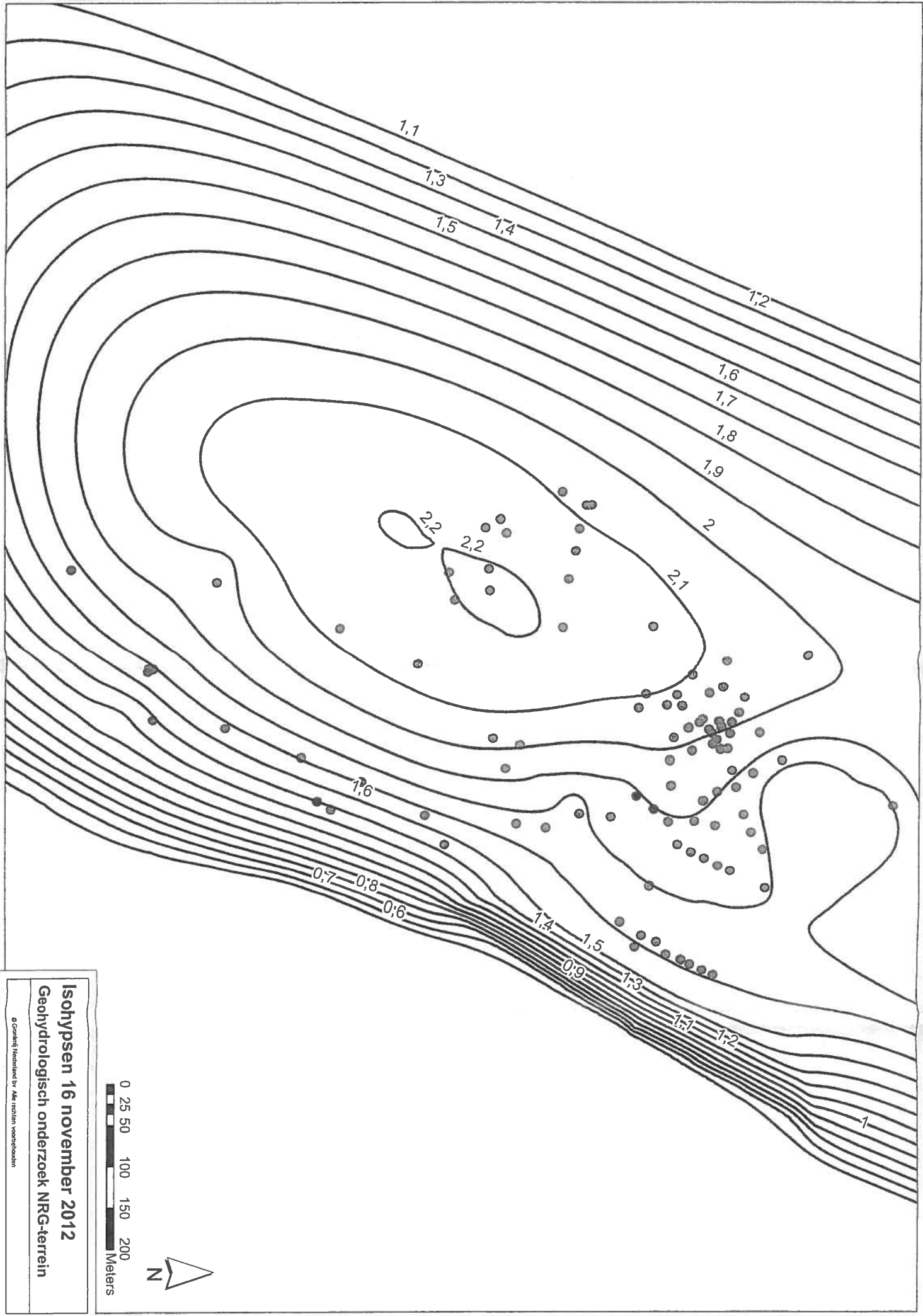


**Isohyphen 16 november 2012**  
**Geohydrologisch onderzoek NRG-terrein**

© Geoninl Nederland by Aals rechten voorbehouden

0 25 50 100 150 200  
 Meters





**Isohypsen 16 november 2012**  
**Geohydrologisch onderzoek NRG-terrein**

© Geografisch Instituut van de Universiteit van Amsterdam

0 25 50 100 150 200  
 Meters



## **Bijlage 4**

Verontreinigingssituatie tritium (december 2012)

**Tritiumconcentraties (dec. 2012)**  
**Geohydrologisch onderzoek NRG-terrein**

© Geonmi, Nadelstand by Alle rechten voorbehouden



**Legenda**  
 Tritiumgehalten (Bq/L) Tritiumgehalte (ca. NAP -2 m)

- Ondiep**
- <10
  - 10-100
  - 100-300
  - 1.000-10.000
  - 10.000-100.000
- Diep**
- <10
  - 10-100
  - 100-300
  - 300-1.000
  - 1.000-10.000
  - 10.000-100.000
  - >100.000

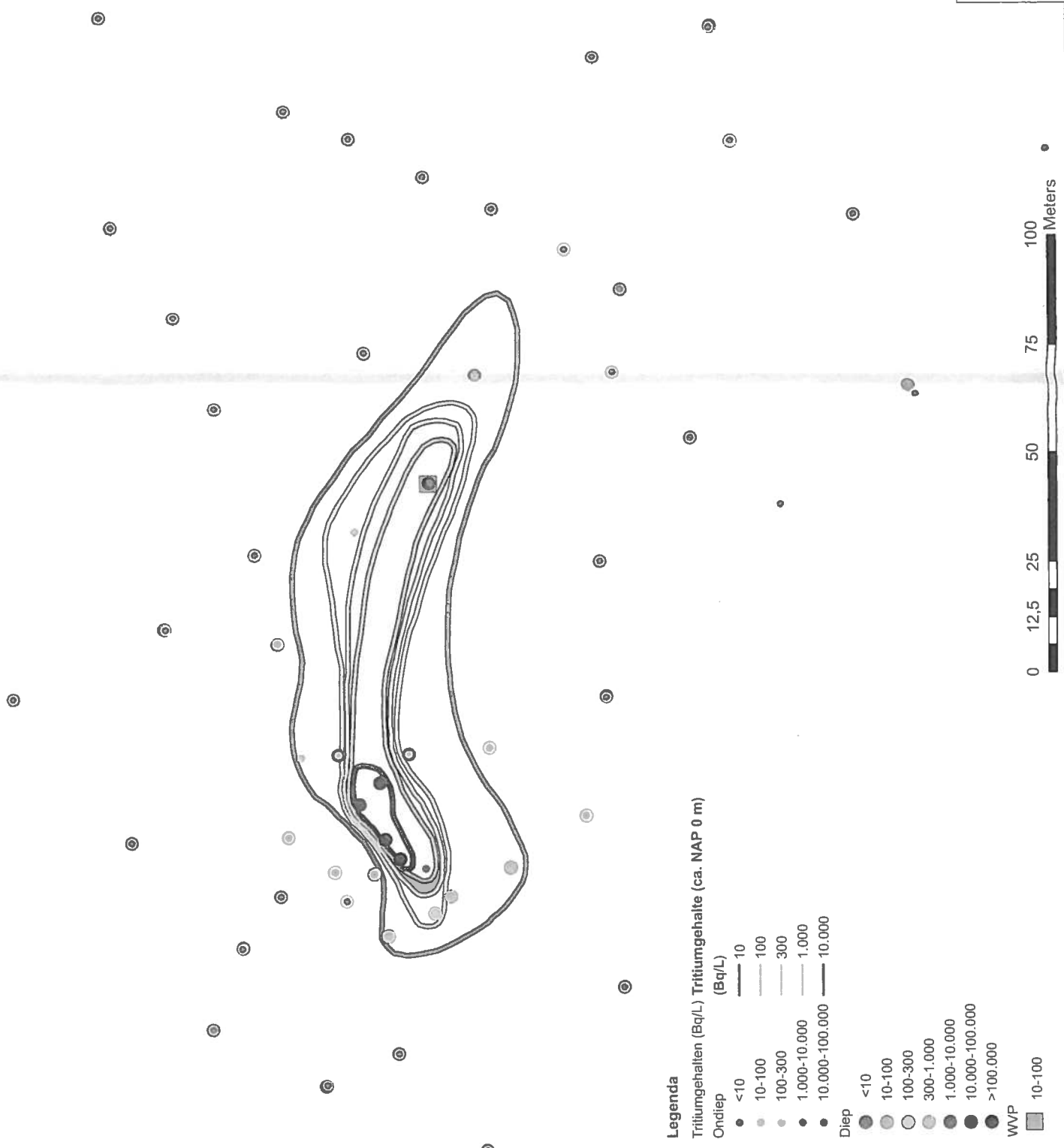
WVP

10-100



**Tritiumconcentraties (dec. 2012)**  
**Geohydrologisch onderzoek NRG-terrein**

© Grontmij Nederland bv. Alle rechten voorbehouden



**Legenda**  
**Tritiumgehalten (Bq/L) Tritiumgehalte (ca. NAP 0 m)**

- Ondiep**
- <10
  - 10-100
  - 100-300
  - 1.000-10.000
  - 10.000-100.000
- Diep**
- <10
  - 10-100
  - 100-300
  - 300-1.000
  - 1.000-10.000
  - 10.000-100.000
  - >100.000

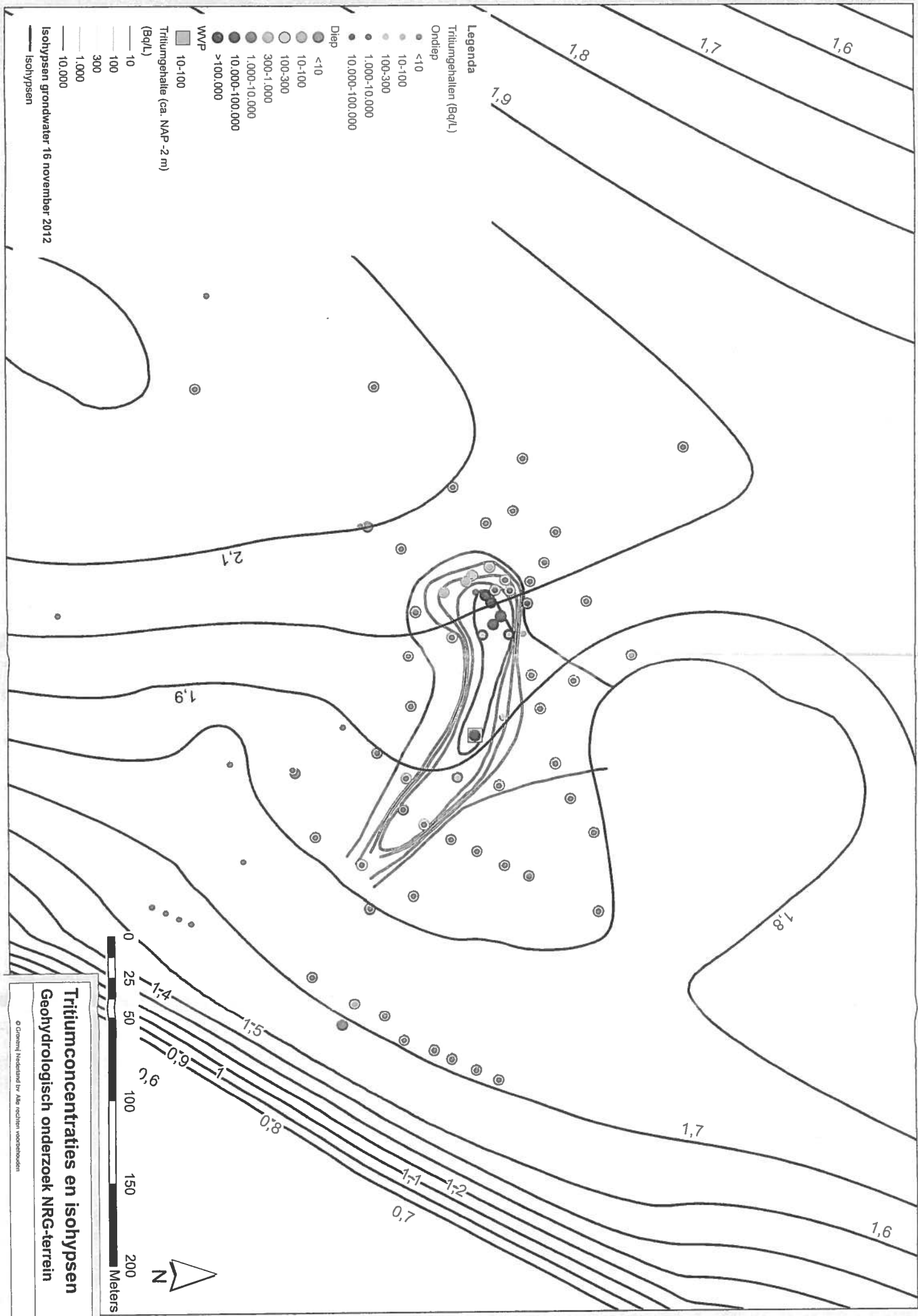
- WVP**
- 10-100



## **Bijlage 5**

### Verontreinigingssituatie met isohypsen





**Legenda**

**Tritiumgehalten (Bq/L)**

**Ondiep**

• <10

• 10-100

• 100-300

• 1.000-10.000

• 10.000-100.000

**Diep**

• <10

• 10-100

• 100-300

• 300-1.000

• 1.000-10.000

• 10.000-100.000

• >100.000

**WW/P**

■ 10-100

**Tritiumgehalte (ca. NAP -2 m)**

(Bq/L)

— 10

— 100

— 300

— 1.000

— 10.000

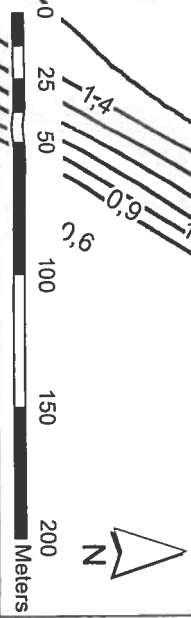
**Isohyphen**

— Isohyphen

Isohyphen grondwater 16 november 2012

**Tritiumconcentraties en isohyphen**  
**Geohydrologisch onderzoek NRG-terrein**

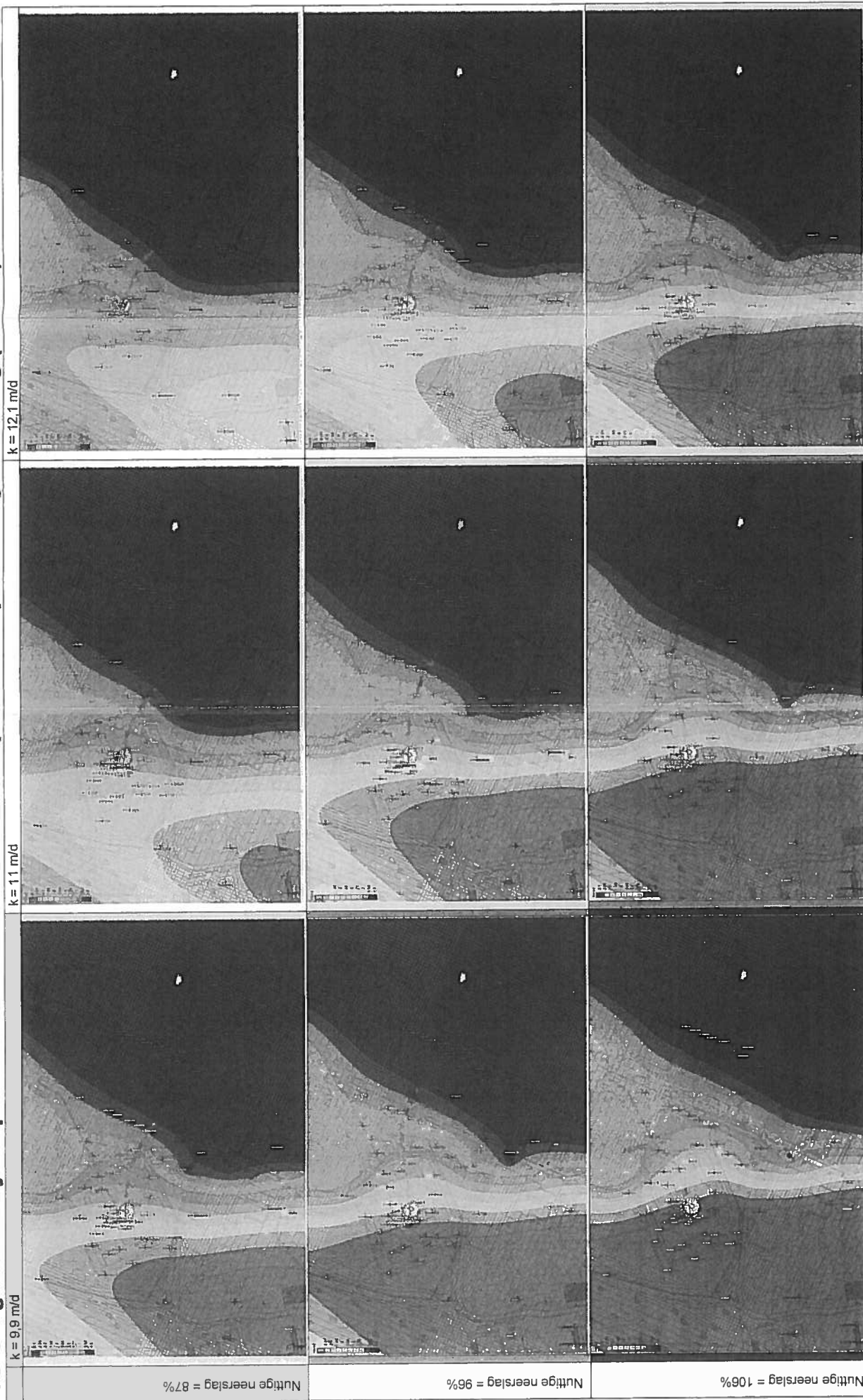
© Gemeentelijk Bestuur van Aals, rechten voorbehouden



## **Bijlage 6**

### Gevoeligheidsanalyse grondwatermodel

### Gevoeligheidsanalyse op de k-waarde van het freatische pakket en op de nuttige neerslag (+/- 10%)



k = 9,9 m/d

k = 11 m/d

k = 12,1 m/d

Nuttige neerslag = 87%

Nuttige neerslag = 96%

Nuttige neerslag = 106%

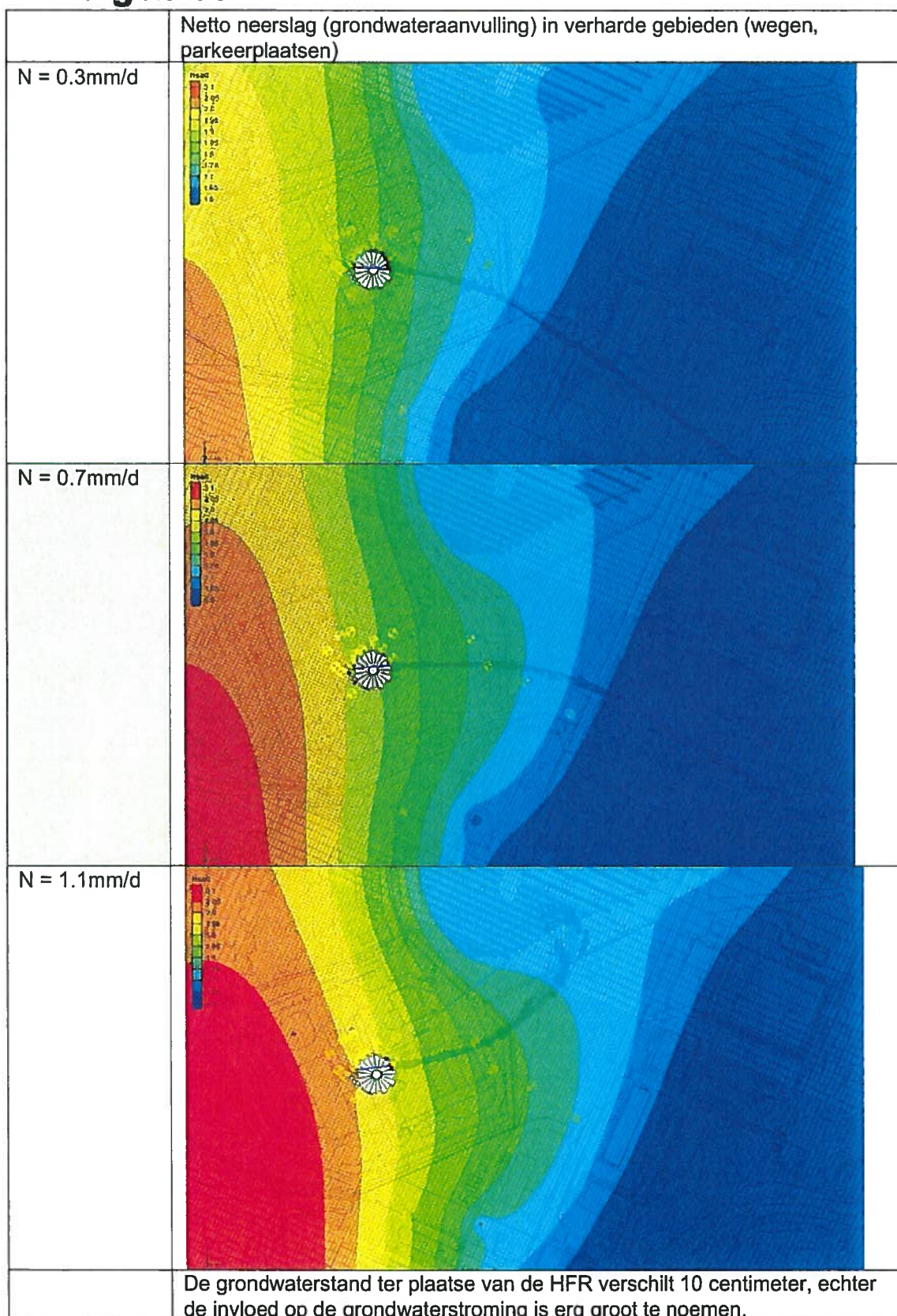
Een 10% aanpassing leidt tot grote verschillen in zowel de grondwaterstroming als de freatische grondwaterstand.

## Gevoeligheidsanalyse op het peil in de Rietput

Vast peil = 164 cm		
Vast peil = 170 cm		
Vast peil = 176 cm (waargenomen en model- waarde)		
Vast peil = 182 cm		
Vast peil = 188 cm		
De Rietput heeft directe invloed op de grondwaterstanden in de omgeving, en is eveneens sterk bepalend voor de stromingsrichting.		

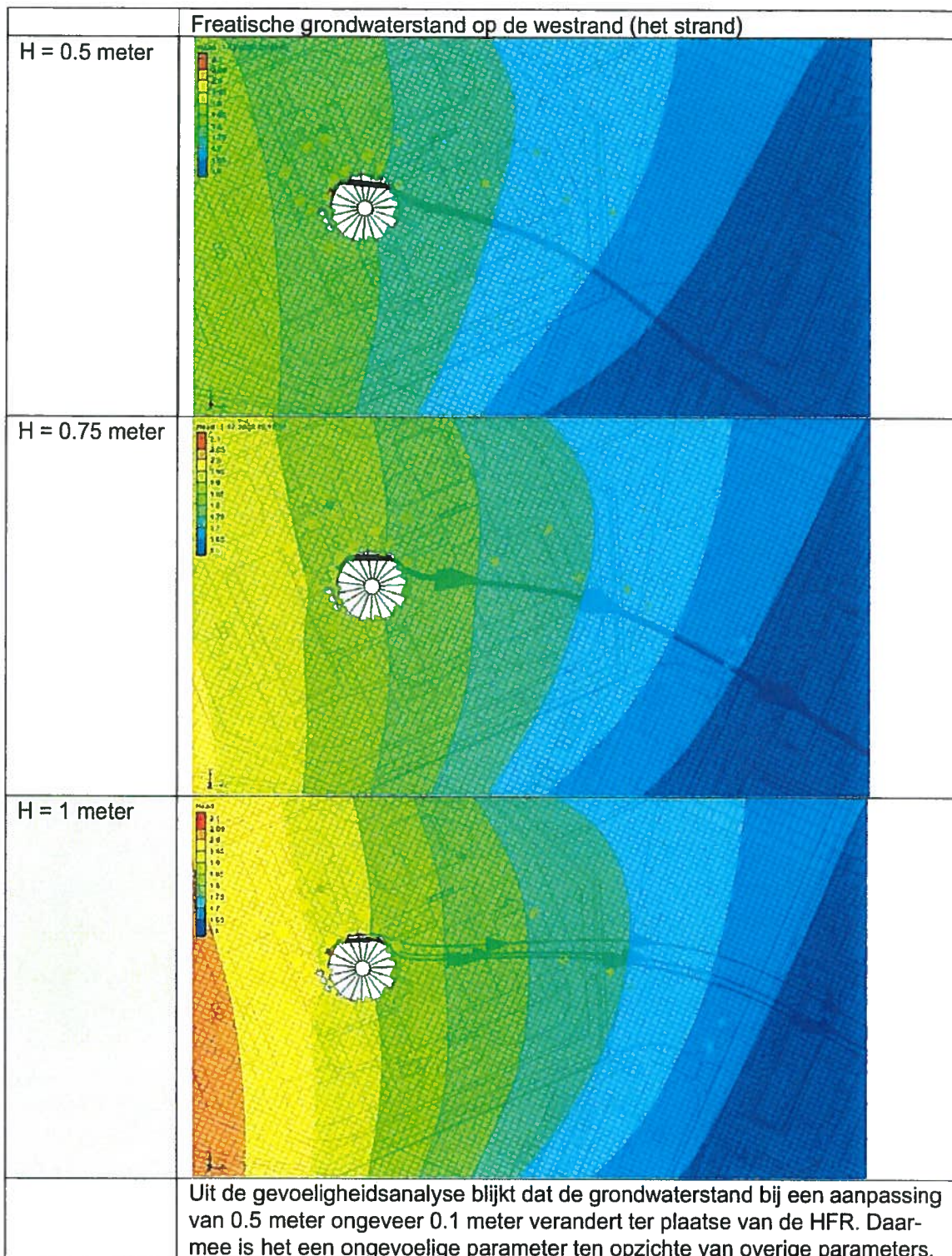


## Gevoeligheidsanalyse op de aanvulling in verhard gebied





## Gevoeligheidsanalyse op de grondwaterstand ter plaatse van het strand



**[www.grontmij.nl](http://www.grontmij.nl)**



# **Bijlage 7**



Overzicht van tritium analyseresultaten in grondwater in Bq/l 2012

Datum	BM		HGW		HGW		HGW		HGW		HGW	
	2001	2002-1	2002-2	0/N1	0/N1-2	1	2	2-2	3/N2-1	3/N2-2	4	4-2
				4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep		4 meter diep	7 meter diep
25-11-2011				<10		<10	29		<10		<10	
19-04-12				<10		<10	228		<10		<10	
16-05-12							132					
30-05-12							91					
7-06-12												
13-06-12							32					
19-06-12												
27-06-12							29					
7-07-12												
12-07-12							17					
17-07-12												
24-07-12												
25-07-12							<10					
8-08-12							<10					
24-08-12							17					
27-08-12												
5-09-12							15					
11-09-12							-					
24-09-12												
28-09-12							21					
1-10-12												
9-10-12												
10-10-12							27					











340	342	355-1	355-2	356	510	1001	1002	1003	1004	1007	1008										
4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep		4meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep	4 meter diep
	<10																				
	<10																				
						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						589	7852	25													
						320	6996	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
						343	6103	12													
						180	5242	13													
						112	4406	<10													
						-	-	-													
						170	1941	-													
						107	4634	14													

		<10		<10										
		< 10	< 10		240	1964	16220	22	11					
	<10							20						
								17				<10	<10	<10
			<10											
Historisch reeds aanwezig	<b>HGW</b>	Historisch reeds aanwezig		Historisch reeds aanwezig	Historisch reeds aanwezig	3H project Simon	3H project Simon	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	3H project Simon				



1009	1010	1011	1012	1013	1014		1015		1016		1017	1047
					1	2	1	2	1	2	1	2*
				4 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep
					1	2	1	2	1	2	1	
					-	-	-	-	-	-	-	
					-	-	-	-	-	-	-	
					-	-	-	-	-	-	-	
					-	-	-	-	-	-	-	
					-	-	-	-	-	-	-	
					-	-	-	-	-	-	-	
					-	-	-	-	-	-	-	
					-	-	-	-	-	-	-	
					1105	12913	<10	39	-	-	-	
					650	11891	<10	43	-	-	-	
					1038	12045	-	-	-	-	-	
					1977	11549	-	-	<10	349	13530	
							<10	36	26	229	7588	



1018		1019		1020		1021		1022		1024		10
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3808	80733	<10	<10	<10	<10	463	1445					
6538	76457	<10	<10	<10	<10	105	1657					

12852	68156	< 10	< 10	< 10	< 10	17	1634	< 10	66						
											<10				
												<10		11000	
								<10	100						
														136883	
														182049	
46658	39187													148799	
Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim

25	1026	1027	1028	1031	1033	10			
2	1	2	1	2	1	2	1		
7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep		

		68726	121647	< 10	407	17500	176550	< 10	< 10	< 10	< 10									25	
36906																					
59093	14245	239797	<10	357	6111	335296	18	<10	28	<10											
45936	3048	246500			9163	97915															
49823	1819	303106			1473	41385															
Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim	Afperken 3H pluim								229 ± 25	

De groen gekleurde monsters waren in eerste instantie verwisseld door verkeerd gerepa

38	1039	1040	1041	1042	1043	1045	1046	
2 7 meter diep	1 4 meter diep	2 7 meter diep	1 4 meter diep	2 7 meter diep	1 4 meter diep	2 7 meter diep	1 4 meter diep	2 7 meter diep

	< 10	< 10	229	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10		< 10	< 10	12	< 10			
	23	< 10	463	< 10	< 10										< 10	< 10	< 10	< 10			
1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	1e Raai	Is dit peilbuis 44?	2e Raai	2e Raai	2e Raai	2e Raai	2e Raai		

ireerde peilbuizen



1047		1048		1049		1050		1051		1052		1053	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep	4 meter diep	7 meter diep







60		1061		1062		1063		1064		1065		1066		10	
2	7 meter diep	1	4 meter diep	2	7 meter diep	1	4 meter diep	2	7 meter diep	1	4 meter diep	2	7 meter diep	1	4 meter diep









74	1076		Airco NDO gebouw	Airco Laagspanningsru imte	Airco Verdelers ruimte	Airco LBG	Airco Regelkamer	Airco Secretariaat
	2 7 meter diep	1 4 meter diep						
			<10		14		507	29
					40	230		
				75	26			
						317		








									<10	<10
									< 10	< 10
									Controle sloot water bollen velden	Controle sloot water bollen velden



< 10	< 10				
< 10	< 10				
		2596	34	75241	184118
					229340 ± 8297
Controle sloot water bollen velden	Controle sloot water bollen velden				



# **Bijlage 8**

# Verwijderen van 'Tritium Hot Spots' op het HFR-terrein

Werkplan

**Vertrouwelijk**

In opdracht van Tritium Task Force

rev. nr.	datum	omschrijving
C	11 januari 2013	Na verwerken intern commentaar
B	27 december 2012	Na verwerken commentaar
A	30 november 2012	1 <sup>e</sup> concept voor interne review

auteur(s):

reviewed:

naam:

Werkplan\_Hot Spots  
verwijderen\_C\_SP.docx

goedgekeurd:

referentienr.:

NRG-25209.60 / 12.117391

30 pages

11-1-2013

© NRG 2013

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekend-gemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.



# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave		3
Samenvatting		5
Lijst van afkortingen		7
Inleiding		9
1	Doel en uitgangspunten	11
1.1	'Tritium Hot Spots'	12
2	Ontwerp verwijderen tritium 'hot spots'	13
2.1	Onderbouwing van de methode	13
2.1.1	Selectie van peilbuizen	13
2.1.2	Volume van het onttrekken	14
2.1.3	Effect op het concentratieverloop	14
2.1.4	Duur van de operatie	15
2.2	Voorwaarden	15
2.2.1	Veiligheid, gezondheid en milieu	15
2.2.2	Organisatorisch	16
2.2.3	Stralingshygiënische risico's	16
2.2.4	Vergunningen	17
3	Werkwijze	19
3.1	Oppompen	19
3.2	Opslag	19
3.3	Afvoeren	19
3.4	Monitoring	20
3.5	Decontaminatie	20
3.6	Omgang met tritiumhoudend grondwater	20
Referenties		21
Lijst van figuren		23
Bijlage A	Schema's	25
Bijlage B	Analyse resultaten Grondwater	29



## Samenvatting

Met de vaststelling van sterk verhoogde tritiumconcentraties in grondwater op het HFR terrein eind september 2012, is een uitgebreid onderzoek gestart om de omvang vast te stellen, de oorzaak te achterhalen en verdere verspreiding te voorkomen. Deze activiteiten zijn georganiseerd in het Tritium Task Force team. Een van de opdrachten van dit team is het onderzoeken van de mogelijkheden om tot sanering te komen.

NRG heeft de activiteiten voor verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in twee fasen gedeeld. Fase 1 is het verwijderen van 'hot spots' en Fase 2 is de definitieve sanering. In de definitieve sanering ligt de focus op het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in het gehele verspreidingsgebied.

Dit document beschrijft de werkwijze die gehanteerd wordt bij het verwijderen van de 'hot spots'.

Samengevat omvat de procedure voor het verwijderen van 'tritium hot spots':

- er wordt gebruik gemaakt van twee mobiele pompopstellingen, cluster 1 en 2,
- het onttrekkingsvolume is maximaal 2 m<sup>3</sup>/ per dag per opstelling,
- beide pompen zullen worden voorzien van een eigen bufferopslag van ten minste 1 m<sup>3</sup>,
- de gebufferde opgepompte hoeveelheden grondwater worden dagelijks opgehaald door de 4 m<sup>3</sup> tankwagen van het DWT voor cluster 2 en via de HFR-DWT leiding verpompt voor cluster 1,
- per week zal maximaal 20 m<sup>3</sup> grondwater naar het DWT afgevoerd.



## Lijst van afkortingen

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
DWT	Decontamination and Waste Treatment
EPA	Environmental Protection Agency
HGW	HFR Grondwater
HFR	Hoge Flux Reactor
I&D	Irradiation & Development
Kew	Kernenergiewet
KFD	Kern Fysische Dienst
LBG	Lucht Behandelings Gebouw
NFPA	National Fire Protection Association
OLP	Onderzoeks Locatie Petten
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
Re	Radiotoxiciteitsequivalent
TRA	Taak Risico Analyse
TTF	Tritium Task Force
VTS	Veiligheids Technische Specificaties HFR
WVO	Wet Verontreiniging Oppervlaktewater





## Inleiding

Met de vaststelling van de sterk verhoogde tritiumconcentraties in grondwater op het HFR terrein eind september 2012 is een uitgebreid onderzoek gestart om de oorzaak te lokaliseren en de omvang vast te stellen. Deze activiteiten zijn georganiseerd in het Tritium Task Force team [1]. Een van de opdrachten van dit team is het onderzoeken van de mogelijkheden om verspreiding van de tritiumvervuiling te voorkomen en hoe sanering uit te voeren.

In een vergelijkbaar geval van tritium in grondwater, dat is opgetreden in de Verenigde Staten (Brookhaven), wordt in de “lessons learned” [2] geadviseerd om zo snel mogelijk te starten met het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater op locaties waar de hoogste concentraties worden gemeten (‘hot spots’). Inhoudelijk betekent dit dat het grondwater uit de ‘hot spots’ wordt opgepompt, eventueel opgeslagen en vervolgens afgevoerd. Uitstellen van ‘hot spot’ sanering kan lijden tot een complexere sanering nadien.

NRG heeft de activiteiten voor verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in twee fasen verdeeld. Fase 1 is het verwijderen van de ‘hot spots’ en Fase 2 is de definitieve sanering. In de definitieve sanering ligt de focus op het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in het gehele verspreidingsgebied.

Het doel van het werkplan is het vastleggen van de afwegingen die zijn gevolgd om de tritium ‘hot spots’ te verwijderen. Het werkplan geeft informatie over het doel, uitgangspunten, de onderbouwing van de methode en onder welke voorwaarden het werk mag worden uitgevoerd. De werkzaamheden zullen worden uitgevoerd door NRG-medewerkers. Voor de uitvoering van de werkzaamheden zal een specifieke werkinstructie worden opgesteld. Verder dient er een Interne Toestemming van de Algemeen Stralingsdeskundig te zijn.

Het werkplan is bedoeld om intern goedkeuring te krijgen voor de gevolgde aanpak.



# 1 Doel en uitgangspunten

Het primaire doel van het verwijderen van tritium 'hot spots' is het verlagen van de tritium-activiteitsconcentratie om langdurige en complexere sanering te voorkomen. Het tweede doel is er op gericht om het effect van de grondwateronttrekking op het concentratieverloop in de tijd vast te stellen. Het onttrekken van grondwater in het verontreinigde gebied zal een stroming van schoon grondwater veroorzaken naar het onttrekkingspunt. De aanvoer van dit grondwater zal een verdunning veroorzaken waarmee de activiteitsconcentratie van het tritium afneemt.

Het doel van het verwijderen van grondwater op 'hot spots' locaties is:

- Het direct verlagen van de tritiumactiviteitsconcentratie op de 'hot spot' locaties,
- Het voorkomen van langere en complexere sanering van het grondwater,
- Het genereren van een dataset met tritiumactiviteitsconcentraties waaruit kan worden vastgesteld wat het concentratie verloop in de tijd per peilbuis is en wat de onderlinge invloed op de concentratie is door het onttrekken van grondwater uit diepe en ondiepe peilbuizen. Met deze informatie worden stuurparameters geïdentificeerd die nodig zijn voor de werkelijke sanering.

Uitgangspunten:

- Het grondwater dat onttrokken zal worden wordt geclassificeerd als bedrijfsafvalwater,
- Met het onttrekken van grondwater wordt er van uitgegaan dat in het verontreinigde gebied een stroming ontstaat naar de onttrekkingspunten. Door deze stroming wordt schoon en verontreinigd grondwater aangevoerd waarmee de activiteitsconcentratie afneemt.
- Het doel is niet een vrijstellingslimiet te bereiken, dit volgt in de latere sanering.
- Het verwijderen van de 'hot spots' heeft prioriteit boven het verkrijgen van data voor monitoring. Door het onttrekken van grondwater op de 'hot spots' kan de representativiteit van monitoring worden verstoord.

## 1.1 'Tritium Hot Spots'

'Hot spot' locaties worden gedefinieerd als peilbuizen met de hoogst waargenomen tritiumactiviteitsconcentraties op het HFR terrein. Er wordt een ondergrens van 10.000 Bq/l gehanteerd. Boven deze concentratie worden de peilbuizen als 'hot spot' aangemerkt.

Hieronder een overzicht van de hoogste gevonden recente waarden uit de dataset sinds de start van het uitgebreide analyseprogramma in mei 2012. Alleen de peilbuizen van 7 meter diep zijn gegeven. In het algemeen geldt dat op 4 meter diep een lagere tritiumactiviteitsconcentratie wordt gevonden dan op 7 meter diepte in diezelfde peilbuis.

Tabel 1-1: Overzicht van peilbuizen met de hoogste tritiumactiviteitsconcentratie

Monsterdatum	Peilbuisnummer ( 7 m diep)	Activiteitsconcentratie (Bq / l)
20-12-2012	1028	41385
20-12-2012	1026	303106
20-12-2012	1018	39187
20-12-2012	1025	49823
20-12-2012	1057	25621
2-11-2012	1002	16220
26-10-2012	1014	11308

## 2 Ontwerp verwijderen tritium ‘hot spots’

In een vergelijkbaar geval van tritium in grondwater, dat is opgetreden in de Verenigde Staten (Brookhaven), wordt in de “lessons learned” [2] geadviseerd om zo snel mogelijk te starten met het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater op locaties waar de hoogste concentraties worden gemeten (‘hot spots’). Ook in het aanbevelingsrapport van Golder over de saneringsopties [3] wordt voor de korte termijn een ‘short-term approach’ voorgesteld. Inhoudelijk betekent dit dat het grondwater uit de ‘hot spots’ wordt opgepompt, eventueel opgeslagen en vervolgens afgevoerd.

Samengevat omvat de procedure voor het verwijderen van ‘tritium hot spots’:

- er wordt gebruik gemaakt van twee mobiele pompopstellingen, cluster 1 en 2,
- het onttrekkingsvolume is maximaal 2 m<sup>3</sup>/ per dag per opstelling,
- beide pompen zullen worden voorzien van een eigen bufferopslag van ten minste 1 m<sup>3</sup>,
- de gebufferde opgepompte hoeveelheden grondwater worden dagelijks opgehaald door de 4 m<sup>3</sup> tankwagens van het DWT voor cluster 2 en via de HFR-DWT leiding verpompt voor cluster 1.
- per week zal maximaal 20 m<sup>3</sup> opgepompt grondwater naar het DWT afgevoerd.

### 2.1 Onderbouwing van de methode

In Tabel 1-1 staan de peilbuizen die zijn geïdentificeerd als ‘hot spots’ locatie. Deze locaties worden verdeeld in twee clusters op grond van de fysieke scheiding door het LBG, zie Figuur A-1.

Cluster 1 bevindt zich bij de ingang van de koud-water opslagtanks. Vanuit deze locatie wordt het grondwater van peilbuizen 1028 en 1026 onttrokken.

Cluster 2 bevindt zich bij de Horizontale buizen opslag. Hier wordt grondwater van peilbuizen 1014, 1018, 1025 en 1057 betrokken.

#### 2.1.1 Selectie van peilbuizen

Alleen van grondwater uit de peilbuizen van 7 meter diep zal grondwater worden onttrokken. De motivatie hiervoor is dat uit de laatste metingen van de Grontmij blijkt dat de horizontale grondwaterstromen ter hoogte van het PPG ongeveer 5 m per jaar zijn, 10 cm per week. Verder is gegeven dat deze grondwaterstroming door de aanwezigheid van gebouwfunderingen zich minder snel horizontaal verplaatst, maar mogelijk verticaal wordt versneld. Uit de dataset met tritiumactiviteit blijkt

dat peilbuizen van 4 meter diep lagere waarden hebben dan peilbuizen van 7 meter diep. Verder wordt er vanuit gegaan dat onttrokken grondwater in een straal rond de peilbuis zal worden aangevuld. Dit zal grondwater afkomstig van dezelfde diepte, maar ook grondwater van minder diepe niveaus zijn.

### 2.1.2 Volume van het onttrekken

Het volume dat per dag wordt onttrokken per peilbuis is maximaal 2 m<sup>3</sup> per peilbuis. Het maximum voor het onttrekken van grondwater wordt bepaald door mogelijk dichtslibben of beschadiging van het filter in de peilbuis. Dit maximum ligt bij 2 m<sup>3</sup> / h. Om de effectiviteit van het 'hot spots' verwijderen zo groot mogelijk te houden wordt met een laag debiet grondwater onttrokken. De redematie hiervan is dat door dit lage debiet grondwaterstromingen minimaal worden verstoord en dus minder verdunning van de 'hot spots' zal plaatsvinden. Dit aspect wordt ook nagestreefd door de geselecteerde buizen wisselend te onttrekken. In de eerste weken wordt gestart met een onttrekkingsdebiet van 1 m<sup>3</sup> per dag om vast te stellen wat het effect op de peilbuizen is. Bij een positieve beoordeling wordt het volume verhoogd tot maximaal 2 m<sup>3</sup> per dag. Overigens geldt volgens de Grontmij dat een onttrekkingsdebiet kleiner dan 5 m<sup>3</sup> per uur geen kans is op zetting van gebouwen.

### 2.1.3 Effect op het concentratieverloop

Voor het bepalen van het effect van de grondwateronttrekking worden meerdere gradiënten vastgesteld.

1. Het bepalen van de tritiumactiviteitsconcentratie in de peilbuizen waar grondwater uit wordt onttrokken. Met het volgen van dit verloop wordt het directe effect van de grondwateronttrekking vastgesteld. Per cluster wordt één peilbuis gevolgd. Hoewel grondwater alleen uit de peilbuis van 7 meter diep wordt onttrokken, worden monsters van zowel 4 meter en 7 meter diep genomen. Deze monsters worden een maal per week voor aanvang van de pompactie genomen.
2. Het bepalen van de concentratie in de peilbuizen die zich verder van de onttrekkingsbuizen bevinden. Met het volgen van dit verloop wordt het indirecte effect van de grondwateronttrekking vastgesteld. Hierbij wordt één peilbuis aan het begin van de pluim gevolgd en één peilbuis halverwege. Van beide peilbuizen wordt een monster op 4 meter en 7 meter diep genomen. Aangenomen wordt dat dit indirecte effect niet heel groot zal zijn. Om deze reden wordt met een frequentie van 1 maal per week monsters genomen.
3. Het bepalen van de gemiddelde tritiumactiviteitsconcentratie in de bufferopslag en de som van het totale onttrokken grondwatervolume. Met deze parameters kan een uitspraak worden gedaan over de procentuele afname van de initiële tritiumvrijzetting.

#### 2.1.4 Duur van de operatie

Voor de duur van de operatie wordt voorlopig uitgegaan van drie maanden. Indien binnen deze periode door metingen wordt aangetoond dat de activiteitsconcentraties in de peilbuizen genoemd in Tabel 1-1 onder de 100 Bq/l komt, wordt gestopt met verwijderen van grondwater. De volgende afwegingen zijn van invloed voor het bepalen van de duur van de operatie:

- Op de 'hot spots' wordt in eerste instantie gestart met het verwijderen van tritiumhoudend grondwater met een activiteitsconcentratie boven de 10.000 Bq/l. Het doel is niet een vrijstellingslimiet te bereiken, dit volgt in de latere sanering.
- Het maximum volume dat via DWT binnen de Wvo-vergunning van de zeelozingsleiding naar zee mag worden afgevoerd is 8000 m<sup>3</sup>. De helft van dit volume wordt globaal per jaar verbruikt. Rekening houdend met een reserve van 1000 m<sup>3</sup> en een maximum volume dat per week wordt opgepompt van 20 m<sup>3</sup> kan deze operatie 150 weken worden volgehouden.
- Het verwijderen van tritiumhoudend grondwater is in twee fasen gedeeld. Fase 1 is het verwijderen van 'hot spots' en Fase 2 is de definitieve sanering. Verwacht wordt dat fase 2 begin april 2013 van start gaat.
- Het onttrekken van grondwater bij een bodemsanering is vergunningsplichtig bij 15.000 m<sup>3</sup>/maand en de onttrekking mag niet langer duren dan 6 maanden.

## 2.2 Voorwaarden

### 2.2.1 Veiligheid, gezondheid en milieu

Voor de beoordeling van de werkzaamheden is een Taak Risico Analyse uitgevoerd. Met deze methodiek worden risico's op het gebied van veiligheid, gezondheid en milieu in kaart gebracht en preventieve acties gedefinieerd. Zie Bijlage C voor de uitgevoerde Taak Risico Analyse. De TRA maakt onderdeel uit van de werkvergunning die voor het plaatsen van de slangen in de peilbuizen en het installeren van de pompen zal worden opgesteld.

Voor de omgang met tritiumhoudend grondwater met activiteitsconcentraties boven de 100 Bq/l is een stralingshygiënisch regime van toepassing verklaard en een werkinstructie beschikbaar. Deze instructie is opgesteld met ALARA als uitgangspunt bij het uitvoeren van de werkzaamheden. Deze werkinstructie zal waar nodig worden aangepast voor de 'hot spot' sanering.



Een voorwaarde voor het afvoeren van afvalwater dat zich in het lozingsbassin van het DWT bevindt, voldoet aan de criteria zoals omschreven in de WVO vergunning WSW 2006/6504. Van grondwater uit peilbuizen HGW 1002, 1057 en 1076 zijn chemische analyses uitgevoerd. De analyseresultaten staan vermeld in Bijlage B. Alle resultaten voldoen aan de gestelde criteria behalve het arseen gehalte in het grondwater van HGW 1057. Dit gehalte bedraagt 0,06 mg/kg, is hoger dan de grenswaarde van 0,04 mg/kg. Aangezien het grondwater via de waterbehandelingsbassin wordt verdund en behandeld, zullen de concentraties van verontreinigingen, waaronder dit arseen, hoogstwaarschijnlijk lager zijn dan de criteria zoals omschreven in de WVO vergunning. Van het te lozen water worden monsters genomen en geanalyseerd.

### **2.2.2 Organisatorisch**

De hele operatie wordt beschouwd als een niet-routinematige procedure. Om controle op het pompproces te houden wordt de operatie niet gedurende nacht maar alleen in dagdiensturen op werkdagen uitgevoerd.

Gedurende een periode van vorst worden de activiteiten niet uitgevoerd. Bij een door het KNMI afgegeven weeralarm worden de werkzaamheden eveneens opgeschort.

### **2.2.3 Stralingshygiënische risico's**

NRG-medewerkers en derden zouden in contact kunnen komen met het grondwater bijvoorbeeld tijdens monsternamen (de inhoud van een monsterfles bedraagt 1 liter) uit peilbuizen of gedurende het oppompen van grondwater. Doordat tritium een zuivere bètastraler is, waarbij de bètadeeltjes een maximale doordringdiepte hebben van 4 mm in lucht en 5 micrometer in water (daarmee komen ze niet door kleding of de hoornlaag van de huid), is de stralingsdosis door externe bestraling door grondwater nul. Inhalatie van getritieerde waterdamp en absorptie daarvan door de huid leiden niet tot significantie blootstelling bij de tot op heden gevonden concentraties (ca. 300 - 360 kBq/l) in grondwater.

De rechtstreekse ingestie van 1 liter grondwater (of meer) wordt als hoogst onwaarschijnlijk beschouwd, maar is qua blootstelling het maatgevende scenario. Ingestie van 1 liter van dit grondwater met 330 kBq aan tritium geeft een effectieve volg dosis van ca. 6 microSv.

Op de HFR-inrichting vinden monsternamen en andere handelingen met tritiumhoudend grondwater onder stralingshygiënisch regime en toezicht plaats. Daarmee wordt de kans op ingestie van grondwater dermate laag en de kans op blootstelling zodanig klein dat er geen aanvullende maatregelen voor de bescherming van mens en milieu noodzakelijk zijn.

#### 2.2.4 Vergunningen

Het opgepompte grondwater mag worden geclassificeerd als bedrijfsafvalwater [4]. Radioactief bedrijfsafvalwater wordt op dit moment afgevoerd, na behandeling en filtratie, via de zeelozingsleiding van DWT. Deze wijze van afvoeren is vergund met de WVO- vergunning (8 november 2006; WSW 2006/6504). Per jaar mag NRG 8000 m<sup>3</sup> per jaar via de zeelozingsleiding naar zee afvoeren. Gemiddeld wordt 4000 m<sup>3</sup> gebruikt voor afvoer van bedrijfsafvalwater. Het resterende volume is beschikbaar voor onvoorziene verrichtingen. Het lozen van vloeibare radioactieve afvalstoffen is vergund middels DGM/SAS/2001049111 van 2 augustus 2001.

Het onttrekken van grondwater bij een bodemsanering is vergunningsplichtig bij 15.000 m<sup>3</sup> / maand en de onttrekking mag niet langer duren dan 6 maanden. Het hoogheemraadschap is hierbij het bevoegd gezag. De 'hot spot' sanering voldoet aan deze algemene regels van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier 2010 [5].



## 3 Werkwijze

Het uitgangspunt van de werkwijze is een om een werkbare en flexibele mogelijkheid te creëren voor het onttrekken, bufferen en afvoeren van het grondwater. Een belangrijk aandachtspunt is om te voorkomen dat eenmaal opgepompt grondwater niet opnieuw de bodem inkomt. Om deze reden wordt gebruik gemaakt van lekbakken en toezicht tijdens het pompen. Voor het ontwerp van de materialen is gekozen voor robuuste en chemische-industrie gecertificeerde materialen.

### 3.1 Oppompen

Voor het oppompen wordt gekozen voor een slangenpomp met een minimum capaciteit van 40 en maximaal 450 liter / uur. Voor de bijbehorende slangenpomp slang worden gekozen voor slijtvaste type bestemd voor waterige vloeistoffen met een lange levensduur. De pomp zal worden geplaatst in een lekbak voorzien van lekkage signalering. Indien lekkage optreedt schakelt de pomp af. De pomp is voorzien van een programmering in debiet en batch grootte.

De slang die de peilbuis in gaat wordt bovengronds gekoppeld aan de slang van de slangenpomp. Deze slangen zijn uitgevoerd van slijtvaste kwaliteit en bestand tegen vervorming. Om deze reden worden deze slangen niet voorzien van een containment. Koppelingen om de slang van de slangenpomp te verbinden met de zuig- en de persslang zijn lekvrij en zullen zich in een lekbak bevinden.

### 3.2 Opslag

Het opgepompte grondwater wordt tijdelijk opgeslagen in een 1000 liter polyethyleen industrie bulk container voorzien van een verzinkt buisframe en vast aan een pallet verbonden. Dit geheel wordt geplaatst op een 1800 liter opvangbak voorzien van signalering met alarm indien lekkage plaatsvindt. Deze bak voldoet aan de EPA- en OSHA/NFPA voorschriften.

### 3.3 Afvoeren

Cluster 1: Vanaf de 1 m<sup>3</sup> bulkcontainer wordt een slangverbinding gemaakt naar de pomp in de 'hot drain pump pit'. Hiervoor is een aansluiting op de pomp beschikbaar. Het water wordt via de HFR-DWT leiding verpompt naar het DWT volgens de bestaande operationele procedure.

Cluster 2: Voor het afvoeren van het verzamelde grondwater wordt gebruik gemaakt van de DWT 4 m<sup>3</sup> tankauto. Deze tankauto is voorzien van een pomp waarvan de slang in de 1 m<sup>3</sup> bulkcontainer kan worden geplaatst. Onder de pomp en koppeling bevindt zich een lekbak om eventuele spill op te vangen. Na het vullen van de tankauto rijdt deze naar het DWT waar het op een vloeistofdichte vloer volgens de routinematige procedure wordt verpompt naar de bassins van het Waterbehandelingsgebouw.

### 3.4 Monitoring

Om inzicht te krijgen in het verloop van de tritiumactiviteitsconcentraties per peilbuis en de totaal verwijderde tritiumactiviteit worden analyses uitgevoerd. Ook wordt bijgehouden hoeveel grondwater is verwijderd op welke datum. Details staan in de monsternameschema's van 3.6Bijlage A.

### 3.5 Decontaminatie

Na afronding van de 'hot spot' sanering worden slangen en de bulkcontainer gespoeld met drinkwater. Het verzamelde spoelwater wordt afgevoerd via de DWT-tankwagen. De materialen zullen worden hergebruikt in de saneringsfase, tenzij blijkt dan de kwaliteit op dat moment niet voldoet aan de eisen die in de saneringsfase aan deze materialen wordt gesteld.

### 3.6 Omgang met tritiumhoudend grondwater

De 'hot spot' sanering wordt uitgevoerd onder een stralingshygiënisch regime. De bestaande werkinstructie voor de omgang met tritiumhoudend grondwater zal, indien nodig, worden aangepast aan de werkwijze bij de 'hot spot' sanering, inclusief het maken van aansluitingen tussen de slangen uit de peilbuizen en de slangenpomp. De ASD dient een interne toestemming af te geven voor de handelingen.

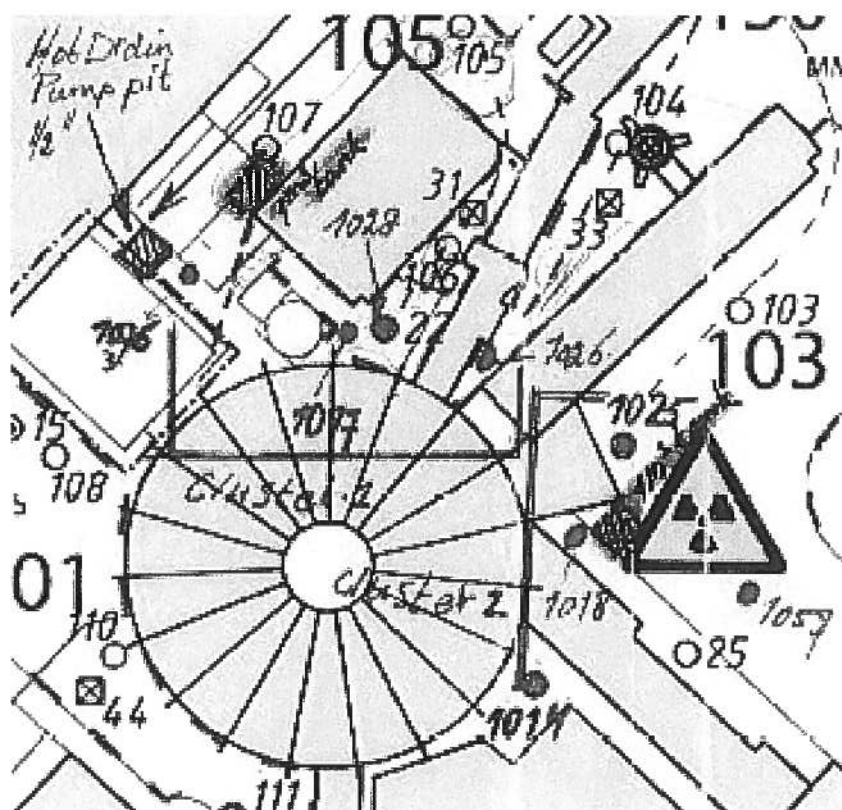
## Referenties

- [1] [Rijksoverheid](#), Projectplan “Tritium Task Force – Oorzaak, Impact en Mitigering Tritium in grondwater”, NRG-rapport 25209/12.116548, 5 november 2012.
- [2] [Brookhaven National Laboratory](#), “Lessons Learned in Detecting, Monitoring, Modeling and Remediating Radioactive Ground-water Contamination”. NUREG/CR-7029, April 2011.
- [3] [Golder](#), Report “Mitigation and Remediation Options Appraisal Support”, Golder-report 12514270722.500/B.0, December 2012.
- [4] [Ministerie van Economische zaken](#), Email “Bedrijfsafvalwater”, Ministerie van Economische zaken, 5 december 2012.
- [5] Algemene regels bij de keur Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier 2010. Artikel 13 - Vrijstelling grondwater- en bodemsaneringen.



## Lijst van figuren

Figuur A-1: Overzicht cluster 1 en cluster 2 op HFR terrein







Bijlage A Schema's

Schematisch overzicht

Grondwateronttrekking			Monstername					
Cluster	Peilbuis	Onttrekkingsvolumen	Direct	Diepte in m	Indirect (referentie)	Diepte in m	Gemiddelde $\langle H \rangle$	Totaal volume
1	1026		1026	4	1076	4	Per container	Per container
	1028			7		7		
2	1014	1 a 2 m <sup>3</sup> per dag*	1025	4	1002	4	Per container	Per container
	1018							
	1025			7		7		
	1057							
*eerste vier weken 1 m <sup>3</sup> , later 2 m <sup>3</sup> per dag		Aan het begin van de week				Per container		



# Monsternameschema Cluster 1

Monsternameschema Cluster 1			Week:			
Dag	Gemiddelde concentratie		Direct		Indirect	
	Uit container	Paraaf / datum	Uit peilbuis	Paraaf / datum	Uit peilbuis	Paraaf / datum
Ma			1026-4m		1076-4m	
			1026-7m		1076-7m	
Di						
Wo						
Do						
Vrij						
Za						
Zo						

## Monsternameschema Cluster 2

monsternameschema Cluster 2			Week:			
Dag	Gemiddelde concentratie		Direct		Indirect	
	Uit container	Paraaf / datum	Uit peilbuis	Paraaf / datum	Uit peilbuis	Paraaf / datum
Ma			1025-4m		1002-4m	
			1025-7m		1002-7m	
Di						
Wo						
Do						
Vrij						
Za						
Zo						

# Bijlage B Analyse resultaten Grondwater

## Energieonderzoek Centrum Nederland

Westerduinweg 3  
NL 1755 LE Petten

E&EE - MT&A



### VOORLOPIG Analyse rapport

Box: 16986

Pagina: 2 van 3

Client: Petrus. S  
Project beschrijving: grondwater

Projectnr: 5.2085.01.83.01

Rapport datum:

Seq Code	Parameter	Rep	Onv. datum	Kj-N mg/kg	CZV mg/l	EOX µg/l	Geleidbaarheid mS/cm	pH	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg
1	HGW 1002	1	17-12-2012	1.6	17	1.4	0.93	7.2	0.0370	<0	0.0415
2	HGW 1057	2	17-12-2012	1.4	<15	<1.0	0.99	7.4	0.0615	<0	0.0361
3	HGW 1076	1	17-12-2012	<1.0	<15	<1.0	1.10	7.3	<0.0180	<0	0.0195

Seq Code	Parameter	Rep	Onv. datum	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sa mg/kg	Zn mg/kg	Hg mg/kg
1	HGW 1002	1	17-12-2012	0.0238	0.0190	<0	0.1398	<0
2	HGW 1057	1	17-12-2012	0.0222	0.0248	<0	0.0601	<0
3	HGW 1076	1	17-12-2012	<0.0084	<0.0057	<0	0.0582	<0

### HSE Taak-risico analyse

<b>Activiteit:</b> Tritium 'Hot Spots' verwijderen op het HFR terrein. Doormiddel van slangen en slangenpomp grondwater onttrekken uit peilbuizen. Het onttrokken water wordt gebufferd en afgevoerd.	<b>Datum van</b> 14-1-2013
	<b>Datum tot:</b> 31-3-2013
	<b>Werkvergunningnr:</b> Nader in te vullen

Taak	Gevaar	Beheersmaatregel	Actienemer
Voorbereidende werkzaamheden:			
Slangen plaatsen in peilbuizen	Betreden van asbest besmet terrein	Kleding en toegangsprocedure volgen	S. Petrus / Onderhoudsdienst
Slangen plaatsen in peilbuizen	Struikelen	Orde en netheid op de werkplaats	S. Petrus / Onderhoudsdienst
Uitvoeren van pomptest	Vrijkomen van tritium besmet grondwater	Vrijkomend water opvangen in lekbakken	S. Petrus / Onderhoudsdienst
Routinematige werkzaamheden:			
Wisselen van koppeling	Vrijkomen van tritium besmet grondwater	Vrijkomend water opvangen in lekbakken	S. Petrus / RBW
Maken van een mengmonster	Vrijkomen van tritium besmet grondwater	Vrijkomend water opvangen in lekbakken	S. Petrus / RBW

# **Bijlage 9**



## Incident Report / Unsafe situation to Government

Petten, 20 februari 2013

---

Incident : High tritium concentrations levels in groundwater.  
Facility : High Flux Reactor Petten  
Tech. Spec. : HFR/Q/P00 NRG 21449/10.83029 rev F  
INES indicatie : 0

---

Date incident : May 11 2012

Type of report : Final report.

Status report :  Preliminary report  Follow Up  End report

\_\_\_\_\_  
Authorr :

\_\_\_\_\_  
Reviewed :

\_\_\_\_\_  
Pages: 5

\_\_\_\_\_  
Approved :

Document ID: NRG 25209 / 13.118077

---



## 6 Lessons learned

The lessons learned from this case are summarized in the attachment 1.

## 7 Preventive actions

- The design of sub-pavement pipes will be changed. Tubes, pipes, couplings and fittings will be constructed in a leak proof configuration, accessible for visual inspection.
- An 'asset integrity plan' will be implemented.

Coded Watchlist IRSRR <sup>1</sup>

<i>Event parameter</i>	<i>Code</i>
1. Report category	: 1.1.1 (unanticipated releases of radioactive material)
2. Plant status prior to the event	: 2.3.1 (normal shutdown)
3. Failed/affected systems	: 3.6.0 (other auxiliary systems)
4. Failed/affected components :	4.2.6 (tubes, pipes, ducts)
5. Cause of the event	: 5.1.1.1 (corrosion, erosion, fouling) and 5.7.4 (aging)
6. Effects on operations	: 6.0 (Unidentified or no significant effect on operation or not relevant) and 6.9 (outage extension)
7. Characteristics of the incident	: 7.5 (significant degradation of safety function)
8. Nature of failure or error	: 8.1 (single failure or error)
9. Nature of recovery actions	: 9.1 (recovery by human action)

## 8 Distributionlist

KFD'

<sup>1</sup> Coding conform IAEA's guide on Incident Reporting System for Research Reactors.



**Attachment 1: “Lessons Learned” Tritium project**

<b>Observation / Lesson</b>	<b>Solution/Recommendation</b>
<p>The initial low amount of boreholes to sample groundwater was insufficient to identify the cause and spreading of the tritium plume. This resulted in premature conclusions in relation to the root cause.</p>	<p>The sample plan to collect groundwater samples should be of dense enough to detect the small portion of the plume</p>
<p>The Lessons Learned of the ‘Bottom Plug liner Repair’ in relation with the galvanic corrosion was insufficient applied on all affected systems of components. Only the primary safety systems were inspected thoroughly.</p>	<p>The approach of the system assessment should not be limited by primary safety systems, the asset integrity program should also incorporate aging problems in equipment and auxiliary systems.</p>
<p>The idea to separate the project in 4 subprojects resulted in short decision making due to the fact that several actions were parallel executed. This resulted also in quick and clear reporting.</p>	
<p>The use of an clearly organized Sharepoint was a great support to share documents and information between subprojects.</p>	
<p>The first groundwater results with low concentrations resulted in the perception that there was only one root cause (condensate water of the airco). The consequences of this fallacy was losing time by finding the main root cause of the tritium contamination.</p>	<p>Finding of one root cause may not regard the idea all root causes are disclosed. A well-organized approach by means of a list stated with all potential sources is essential.</p>
<p>Groundwater findings revealed presence of tritium only. Consequently it was difficult to identify the real source. The absence other nuclides attributed to the conclusion condensate water of airco’s are the source of tritium .</p>	<p>Since tritiated water is a highly mobile and all other radionuclides can easily bound to soil organic components, the spreading of other nuclides than tritium is limited and can only demonstrated in soil samples in the vicinity of the leakage.</p>
<p>The project plan with clearly stated objectives and responsibilities was early available. This resulted in clear goals for the team members and contributed to successful realization of project results.</p>	

Looking back in time the project was scaled up to a higher priority level on the right moment. This decision was taken on the moment that it became clear that the initial identified cause was not the clarification of new high findings.

The work plan for the removal of the Nitrogen storage tank was thoroughly discussed with Safety, Environment and contractor representatives.

During working out of these activities contradictory instructions were given to workers due to misinterpretation of the safety instructions. The cause of this occurrence is related to; - more than one contact person, - high pressure on ; - the accompanying documentation was stated in office language instead of work area language.

Less to non-daily control by Safety representatives on the work place.

Good participation between NRG – KFD – Lloyds to come to early agreement to execute pipe leak testing.

Participation off all involved departments on site to result in extensive solutions

The performance of operational activities should be tight to the scope of the job to prevent confusion during work out.

During critical activities a Safety department representative should be present for monitoring and control.



# **Bijlage 10**

## notitie



aan : KFD

van :

kopie :

datum : 27-2-2013

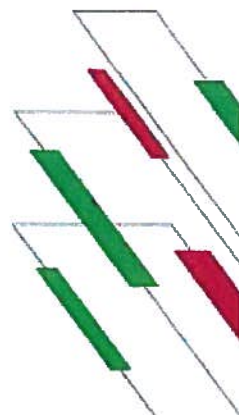
referentie : 25213 /13.118804 ID HFR, ...

onderwerp : Voortgangsverslag [1]: Tritium Hot Spot Verwijderen / Monitoring / Herstel  
leidingwerk

LS

Hierbij stuur ik u het voortgangsverslag, dd. 27 februari 2013 betreffende de werkzaamheden van Tritium activiteiten.

Met vriendelijke groet



## Voortgangsverslag nr. 1 (27 Februari 2013)

### 1 Tritium Hot Spot Verwijderen

- Met het verwijderen van de Tritium hot spots is begonnen op 11 februari 2013. Er is één werkende pomp beschikbaar. Met deze pomp wordt op cluster 2 grondwater onttrokken. Een nieuwe pomp wordt in week 10 verwacht. Na montage kan deze pomp in week 11 op cluster 1 worden ingezet.
- Een overzicht van de verwijderde hoeveelheden grondwater en becquerellen staan in onderstaande tabel:

Activiteit reductie (uitgaande van 10 GBq bronterm)								
Week	Verwijderd volume in m <sup>3</sup>		Cumulatief in m <sup>3</sup>	Verwijderde GBq			Totaal Percentage	
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 1 & 2	Cluster 1	Cluster 2	Totaal	In %	Cumulatief
7	0	4,9	4,9	0,00	0,13	0,13	1,3	1,3
8	0	2,0	6,9	0,00	0,10	0,10	1,0	2,3
9*	0	3,0	9,9	-	-	-	-	-

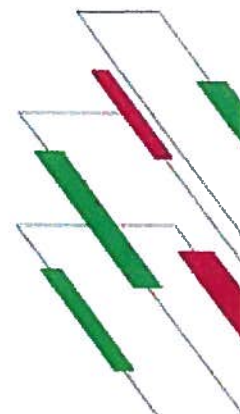
\* Resultaat t/m 26 februari. Tritiumactiviteitconcentratie nog niet bekend.

- De maandelijkse monsternamen van 18 peilbuizen buiten het hot spot gebied is uitgevoerd op 20 februari. De resultaten staan in onderstaande tabellen:

Maand	Peilbuizen HGW - 4 m diep, Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
Februari	<10	76	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Maand	Peilbuizen HGW - 7m diep, Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
Februari	<10	<10	<10	<10	15	12	73	<10	3001

Op locatie HGW-2 is de concentratie in de peilbuis van 4 meter diep toegenomen tot 76 Bq/l. Voorgaande meting was 18 Bq/l op 26 oktober 2012. In de peilbuis van 7 meter diep is de activiteitconcentratie gereduceerd naar <10 Bq/l. Voorgaande meting was 359 Bq/l op 26 oktober 2012.

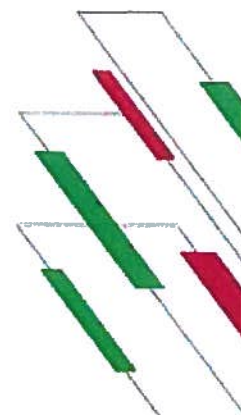


## 2 Monitoringprogramma OLP

- De monstername in het 'hot spot' gebied is gestopt en is nu onderdeel 'hot spot' sanering. Het resultaat in peilbuis HGW1028 7 meter diep op 8 februari is 20709 Bq/l. Voorgaande meting op 1 februari 2013 was 5263 Bq/l. In zowel monstername als analyse is geen aanwijzing gevonden om de verhoging te verklaren. Op 20 februari is een nieuw monster genomen in peilbuizen op locatie HGW 1028. De resultaten van deze monstername zijn: 92 Bq/l op 4 meter diep, de dalende trend heeft hier doorgezet. Op 7 meter diep is de concentratie bijna gehalveerd , er is 11494 Bq/l aangetoond. Vooralsnog kan de kortstondige verhoging in de peilbuis van 7 meter niet worden verklaard.
- De opzet voor het grondwater monitoring programma OLP 2013 is gereed.

## 3 Herstel leidingwerk:

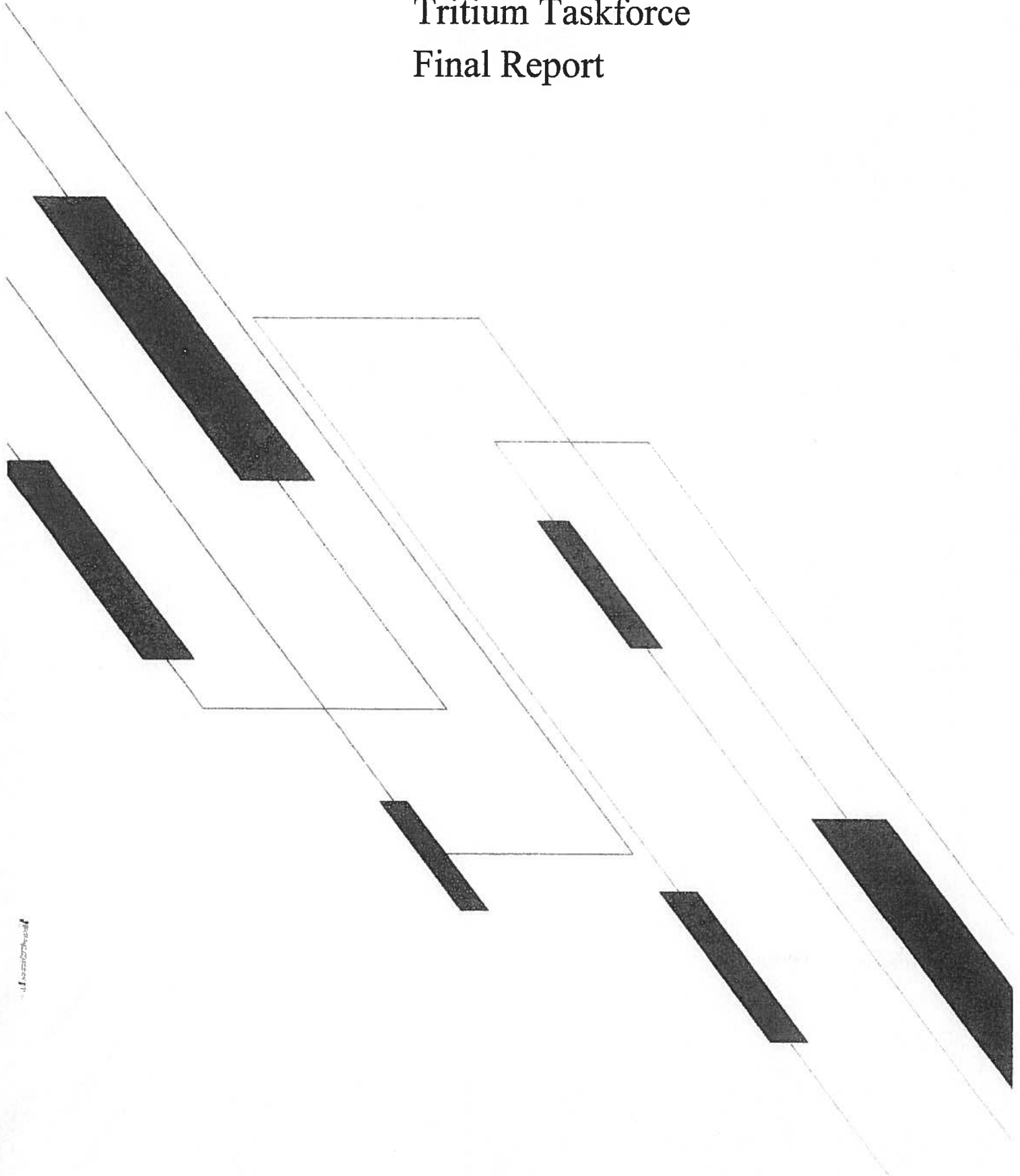
- Plan van aanpak 'Herstel leidingwerk' wordt aangevuld met opmerkingen van KFD. Gepland gereed week 10.
- Bouwvergunning wordt eind week 9 aangeleverd door gemeente Schagen.
- Voorbereidende werkzaamheden voor het storten van de betonnen bak zijn gereed.





# **Bijlage 11**

Tritium Taskforce  
Final Report





# Tritium Taskforce Final Report

Tritium groundwater contamination  
at the High Flux Reactor Site

**Confidential**

Under the contract of BU Director I&D

rev. no.	date	description
B	14/03/2013	Review comments incorporated
A	13/03/2013	1st draft for review

author(s): \_\_\_\_\_ reviewed: \_\_\_\_\_

name: Report TTF final.docx approved: \_\_\_\_\_

reference.: 25209/13.118980

55 pages 15/03/2013

© NRG 2013

Subject to agreement with the client, the information contained in this report may not be disclosed to any third party and NRG is not liable for any damage arising out of the use of such information.

## Contents

<b>Summary</b>		<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Tritium Taskforce</b>	<b>12</b>
2.1	Scope of Work	12
2.2	Project organization	12
2.3	Project description	14
2.3.1	Phase 1, Identification	15
2.3.2	Phase 2, Control/elimination	16
2.3.3	Phase 3, Remediation	16
<b>3</b>	<b>Tritium Taskforce findings</b>	<b>18</b>
3.1	Identification of potential <sup>3</sup> H sources	18
3.1.1	Root cause analysis (RCA)	18
3.1.2	Findings Root Cause Analysis	21
3.2	Identification of the affected area	22
3.2.1	Determination of the Tritium plume	23
3.2.2	Hydrogeological model of the Tritium plume	26
3.3	Control & elimination	30
3.3.1	Elimination of Tritium sources	30
3.3.2	Control of the Tritium plume	30
3.4	Remediation of the Tritium plume	32
3.4.1	Remediation options appraisal	32
3.4.2	Legal Frame work	36
<b>4</b>	<b>Impact on operations HFR and OLP</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>Communication</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Lessons learned</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Conclusions</b>	<b>43</b>
<b>References</b>		<b>45</b>
<b>List of tables</b>		<b>47</b>
<b>List of figures</b>		<b>47</b>
<b>Appendix A</b>		<b>48</b>
A.1	HFR Site overview	48
A.2	Overview of monitoring wells "Onderzoeklocatie Petten" (OLP).	49
A.3	Detailed view of monitoring wells at the HFR	50
A.4	Deliverables work packages TTF	51
A.5	Planning TTF work package deliverables	52
A.6	Groundwater Elevation Contour plot OLP	53
A.7	Impact on operation HFR and OLP	54
<b>Distribution list</b>		<b>55</b>

NRG

## Summary

During 2012, the groundwater monitoring program around the High Flux Reactor revealed unexpected high levels of Tritium in groundwater at the reactor site and beyond the reactor indicating a plume of contaminated groundwater heading for the boundary of the "Onderzoeks Locatie Petten". Efforts to deal with this observation were scaled up and a Tritium Taskforce was installed. The Tritium Taskforce had the following assignment: a) to perform fact-finding and a root cause analysis to find (potential) sources of uncontrolled release of Tritium in to the groundwater, b) re-establish containment of these sources, c) determine the extent of the affected area using measurements and hydrogeological modeling, and d) determine the options including legal basis, for mitigation and remediation of the Tritium contaminated area. In addition the TTF developed a communication strategy to keep all relevant stakeholders informed about the progress concerning this issue.

A root cause analysis was started and mid November 2012 two sources of Tritium were detected, The sources were subterranean single walled pipe-lines from the reactor's auxiliary systems. The plume size and subsequent hydrogeological modeling of the plume supported the root cause analysis.

Source related mitigation actions were taken immediately and short and long-term plume remedial options were assessed.

The underlying report describes the results of work performed within the Tritium taskforce over the period October 2012 until February 2013, when the taskforce was adjourned and remaining tasks were transferred to projects within normal business operation of the HFR.

# 1 Introduction

Since the early sixties, the High Flux Reactor (HFR) in Petten has been an essential link in the chain of nuclear facilities worldwide. Nuclear Research and consultancy Group (NRG) operates this facility and employs around 500 people. The High Flux Reactor (HFR) on the “Onderzoeklocatie Petten” (Figure 1) is a 50 MWth tank-in-pool-type multipurpose reactor. The reactor serves as a neutron source for civilian, technological and scientific research and for the production of radioisotopes for medical and industrial applications. This reactor uses plate-type fissile materials with low-enriched uranium and burnable neutron poison, light water as moderator/coolant and beryllium as reflector. Characteristic technical features of the reactor are that the reactor vessel is only slightly pressurized and its reactor vessel is placed under water in a pool.

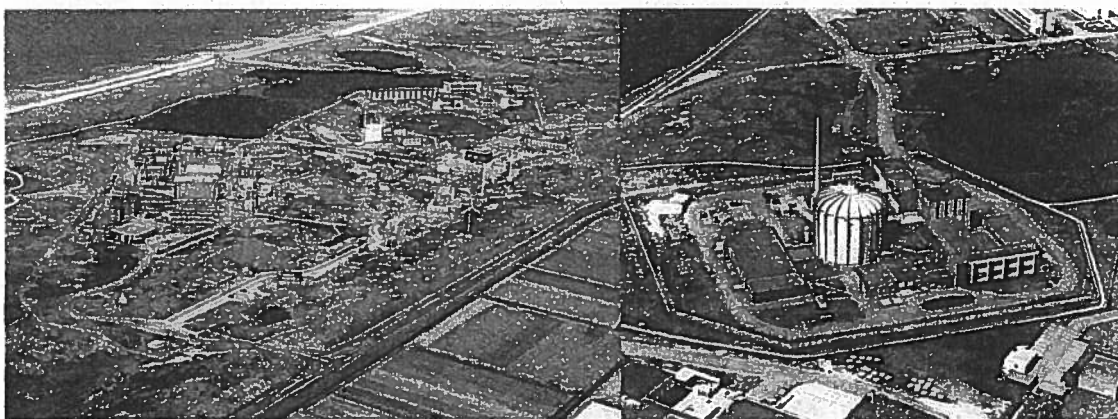


Figure 1: Areal photograph "Onderzoeklocatie Petten" (OLP) (left) and detail HFR site (right).

The HFR runs around the clock, with on average 11 cycles of 28.5 full power days per year. Average annual reactor availability is about 80%. Safety has the highest priority for NRG. NRG's goal is to provide reliability of supply in order to contribute to optimal patient care. Utilizing the HFR, NRG has become a key supplier of medical radioisotopes and services for about 60 % of European medical radioisotope demand.

During the In Service Inspection of the HFR in August 2008 a small gas bubble trace was observed in the primary cooling water system of the HFR. The bubble trace was located in one of the inward deformations of the north reducer in the vicinity of the flange of the air jacket pipe system. From earlier observations it was known already that deformations in both reducers have taken place, but this was the first time that a



bubble trace was noticed in one of the deformations. As the possible impact on safety of this phenomenon was unknown, NRG decided not to restart the HFR. After adding additional technical and organizational measures to maintain safety and after national and international reviews, a ministerial order was issued authorizing NRG to operate the reactor for one year on a temporary license. Part of the license conditions was that NRG had to develop a repair plan in order to start repair works on the primary cooling water system before the end of the license period. The reactor was restarted in February 2009 and during the license period a repair plan, also known as the Bottom Plug Liner Repair Project (BPLRP), was worked out. In February 2010 the repair works started and in September 2010 construction was completed and the reactor was started up for production.

During the review of the Bottom Plug Liner Repair Project, the IAEA recommended to implement facility groundwater monitoring as an important defense in the early detection of releases of radionuclides to the environment. Secondly, releases of radionuclides into the soil or groundwater under normal operation are not permitted under Dutch Law and no permissible limits exist. The groundwater monitoring program was started in June 2010 using 5 wells (HGW 0 to 4) located at the HFR site (Figure 2).

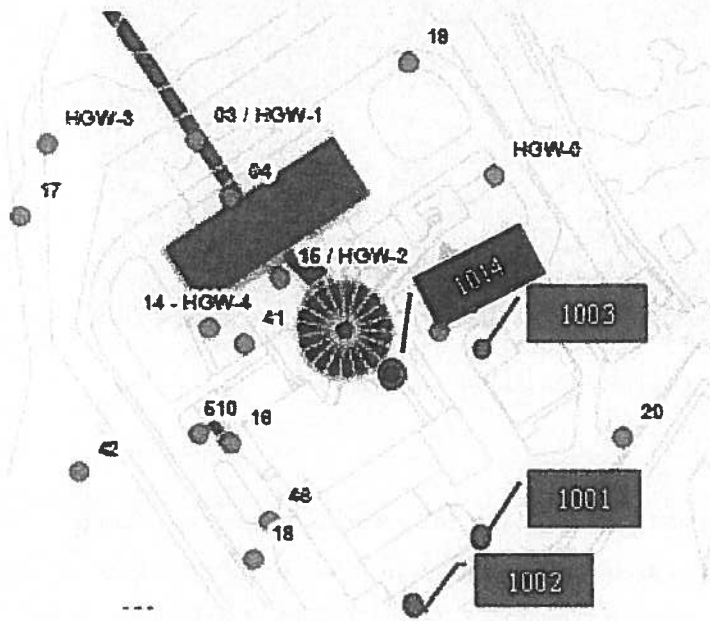


Figure 2: Location of groundwater monitoring wells at the HFR site, mid 2012.

As a result of the monitoring program elevated Tritium concentrations were observed at the HGW-2 well close to the primary pump building. The Tritium concentration ranged from 32 to 67 Bq/l over a 3 months period. In the samples no other radionuclides were observed. After this period the Tritium concentration in groundwater returned to a level below the detection limit (<10 Bq/l). This temporarily elevation of Tritium



levels in groundwater has been attributed to a hydrant connection incident in May 2010 during the BPL repair process where a flexible water hose used for cooling of drills used in the repair process got disconnected from a hydrant, resulting a partial flooding of the reactor basement. During the flooding the water got contaminated with Tritium which is always present within the HFR confinement. The water was pumped into the “swane lake”, a connecting subterranean duct between the HFR and the primary pump building, and subsequently pumped up in a storage tank and transported to NRG’s wastewater facilities. The actual Tritium concentration in the storage tank was equal to 6.1 kBq/l. The estimated leak from the “swan lake” into the groundwater was in the order of 10’s of liters. Assuming dilution with normal groundwater, it could be explained that this one-off spill could not be detected anymore in September 2010.

During a sampling session in November 2011, renewed elevated levels of Tritium (29 Bq/l) were observed in the HGW-2 monitoring well. After confirmation of the result, this fact was reported to the regulatory authority (KFD) in January 2012 [1] and an investigation to identify the source of the Tritium release was started. As a source the condenser drain of an air-conditioning unit in the PPG close to HGW-2 was identified that released its contents into the soil. After rerouting the drain and controlled collection of water of the drain, the Tritium levels decreased and it was assumed that the source of the Tritium release was identified.

In April 2012, HGW-2 monitoring well again presented a high level of Tritium in groundwater (228 Bq/l) and a project team was designated to address the situation.

Subsequently in June 2012, levels in HGW-2 decreased over a 2-month period to about 30 Bq/l whilst monitoring well number 20 showed elevated levels of Tritium (10-20 Bq/l) indicating that based on the known groundwater flow from West to East, a possible plume of Tritium in the groundwater under the HFR premises exists [2][3].

The chronology of measurements in HGW-2 is depicted in Figure 3.

In April 2012, it was decided to place 3 additional wells (1001- 1003) to get insight about the extent of plume (Figure 2). In addition, two small lakes on the Petten site were sampled for Tritium and Tritium levels showed to be below the detection limit.

In July 2012, the results from wells 1001, 1002 and 1003 indicated Tritium levels equal to 600, 7000 and 25 Bq/l respectively indicating that the Tritium levels in groundwater were much higher than seen in previous wells used for monitoring and the plume of the contaminated groundwater almost reached the boundary of the HFR site . This lead to upstream placement of additional wells each provided with a shallow (4m) and deep (7m) sampling point.



In August 2012, the monitoring results of one of these wells (well number 1014, see Figure 2) showed Tritium concentrations up to 13 kBq/l at the 7m below surface level indicating that groundwater was more contaminated than previous shown and the level of contamination is highest in deeper layers of groundwater [4].

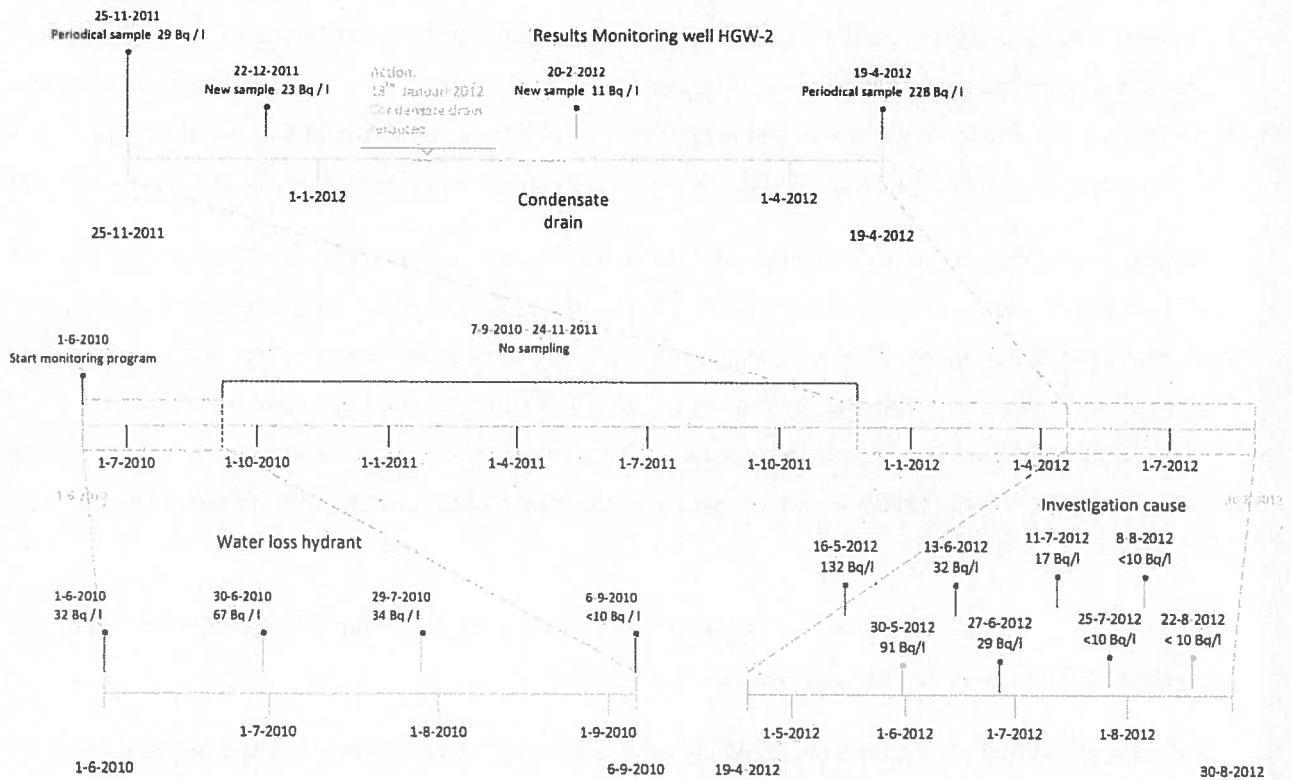


Figure 3: Chronology of measurements in monitoring well HGW-2, June 2010- July 2012.

In September 2012, additional wells were installed close to the Air Treatment building (well number 1018), basin water storage tank building (well number 1017) and eastwards outside the HFR site (well number 1021). Measurements showed Tritium concentrations up to 80 kBq/l (well number 1018) within the HFR premises and 1.4 kBq/l outside the HFR premises indicating that the plume was already below the premises of a neighboring institute and therefore not under the jurisdiction of NRG (see for detailed location buildings and well locations appendices A.1,A.2 and A.3).

The combination of these events lead to the installment of a Tritium Taskforce on October 6<sup>th</sup>, 2012. The findings were reported at a meeting with the Regulatory Authority (KFD) in October 11<sup>th</sup>, 2012.



On October 14<sup>th</sup>, NRG received a letter from the Regulatory Authority (KFD) requesting a detailed plan to mitigate the existing situation [5]. Subsequently, a project plan was sent to the Regulatory Authority (KFD) on October 19<sup>th</sup>, 2012 and subsequently approved on October 26<sup>th</sup>, 2012 [6].

The Tritium Taskforce had the following assignment:

- To perform fact-finding and a root cause analysis to find (potential) sources of uncontrolled release of Tritium in to the groundwater,
- To re-establish containment of these sources,
- To determine the extent of the affected area using measurements and hydrogeological modeling,
- To determine the options including legal basis, for mitigation and remediation of the Tritium contaminated area.

The underlying report describes the results of work performed within the Tritium taskforce over the period October 2012 until February 2013, when the taskforce was adjourned and remaining tasks were transferred to projects within normal business operation of the HFR.



## 2 Tritium Taskforce

### 2.1 Scope of Work

The scope of work of the Tritium Taskforce was defined as:

- To determine the impact of the Tritium contamination on:
  - man and environment
  - the operation of the HFR and other operations on the research location “Onderzoekslocatie Petten (OLP)
- To perform fact-finding and a root cause analysis to find (potential) sources of uncontrolled release of Tritium in groundwater;
- To install of a monitoring program and development of a hydrogeological model to assess the magnitude of the Tritium contamination and the development of the plume in time.
- To assess the options, including the legal basis, for mitigation and remediation of the Tritium contamination in groundwater;
- To mitigate of the possible business operational consequences for the HFR and other operations on the (OLP).
- To set up adequate communication channels with various stakeholders such as:
  - Employees on the OLP
  - Companies on the OLP
  - General public (local and nationwide)
  - Authorities (public officials and regulatory authorities)

### 2.2 Project organization

For the Tritium Taskforce a dedicated project organization was set up (Figure 4). The client is represented by the BU Director Irradiation & Development and the project team is led by the assigned Project Manager responsible for the execution of the overall project. The project team was established with key members responsible for the execution of specific work packages within the project. During the execution of the project the work packages Business impact and Mitigation Source were added to the Taskforce organization.

The project organization was extended with steering committee in which besides internal NRG stakeholders neighboring companies on the OLP were represented. The main purpose of the steering committee was:

- Exchange of information concerning impact Tritium contamination on man and environment and business processes;
- Exchange of information concerning technical and infrastructural aspects of ground and groundwater management;
- Coordination of safety and legal aspects;
- Synchronization of communication;

Project organization Tritium Taskforce

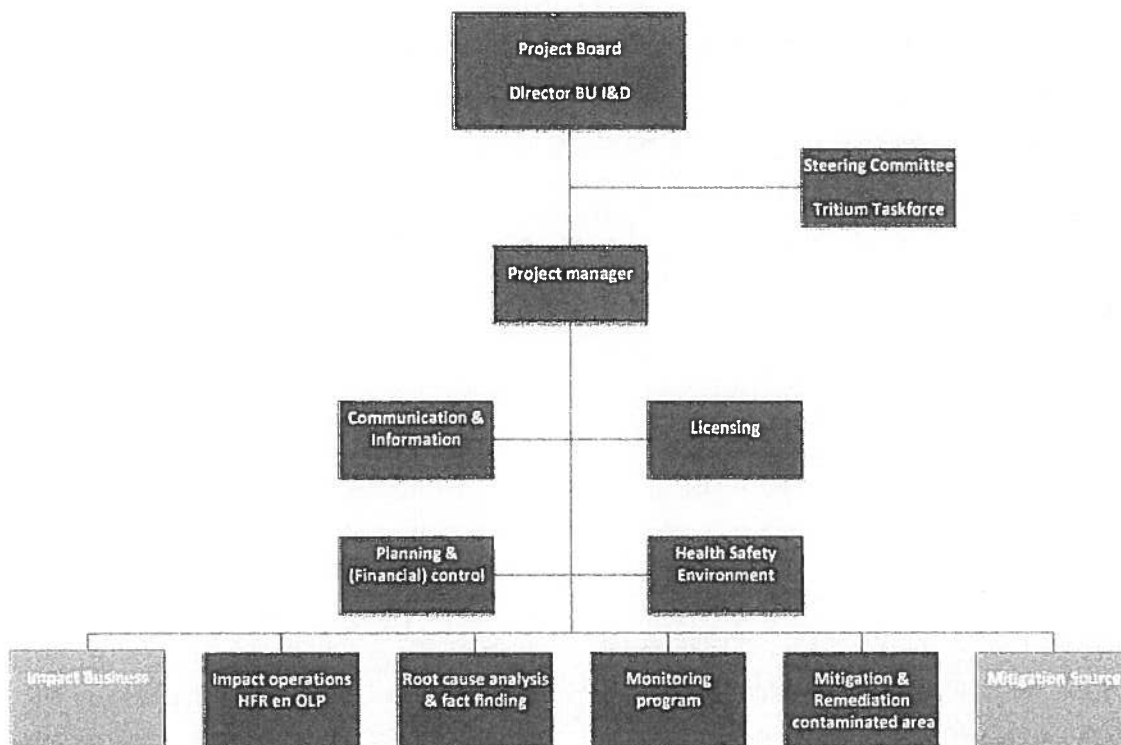


Figure 4: Tritium Taskforce project organization.

Besides work packages the project organization included licensing, communication, project control and health safety & environment (HSE) competences.



During the start-up phase of the taskforce, operational experience with uncontrolled release of radionuclides in groundwater of other facilities (i.e. Brookhaven National Laboratories, USA) were taken into account [7].

In addition, external consultants were acquired for groundwater modeling and an appraisal of remediation options.

Progress reports were provided every fortnight before scheduled meetings with either steering committee or regulatory authority. Copies of the progress reports were also sent to the Reactor Safety Committee and HFR Safety Committee.

For the purpose of document control a dedicated SharePoint-site was set up and was only accessible for steering committee and project members.

Communication guidelines were established using NRG's mission statement and adopted core values for its operational management: safety and reliability, market and client orientation, professionalism and expertise, openness and transparency, financial robustness.

For communication purposes different stakeholder groups were identified that can roughly be divided in internal stakeholders, external/local authorities, central authorities and external non-governmental stakeholders.

External communication was carefully synchronized with communication departments of the Ministry of Economic Affairs and the Regulatory Authority (KFD)

## 2.3 Project description

All activities were directed to identify, mitigate and eliminate sources of uncontrolled release of radionuclides. Secondly, to characterize the extent of the Tritium plume and to manage the Tritium plume providing initial control of the Tritium plume, achieving short-term Tritium removal and to assess the long-term remediation options for removal of Tritium contaminated groundwater. The following project phases were identified:

1. Identification of Tritium sources and the extent of the Tritium plume
2. Control and or elimination of source(s) and control of the contaminated area
3. Remediation of the contaminated groundwater

These different phases of the project are schematically shown in Figure 5.

Due to a mutual established commitment by NRG and the Regulatory Authority (KFD) to take actions within 2.5 months, phase 1 and 2 were carried out in parallel.

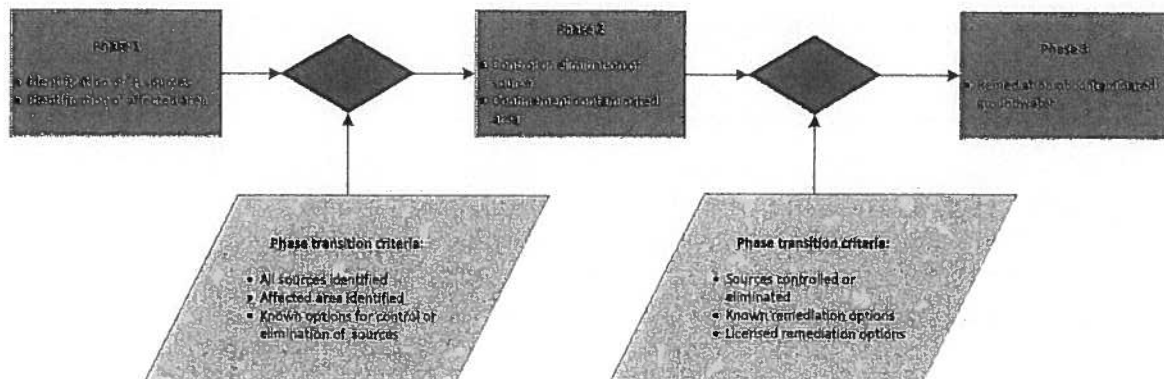


Figure 5: Phases of the Tritium Taskforce Project.

### 2.3.1 Phase 1, Identification

In the identification phase the following activities were carried out:

1. Identification of potential sources and release paths using a structured root cause analysis:
  - a. Potential sources are:
    - i. Actual sources during operation of the facility;
    - ii. Historical incidents;
  - b. Sources are excluded on the basis of checks and a verification of the “defense in depth” principle.
2. Determination of the extent of the Tritium plume:
  - a. Determination the monitoring grid, horizontally and vertically;
  - b. To perform radionuclide measurements in soil and groundwater ;
  - c. To obtain a 3-D hydrogeological model

Activity 2 was subcontracted to Grontmij, NL whereas the analysis of groundwater samples was carried out by NRG.



### **2.3.2 Phase 2, Control/elimination**

In the control/elimination phase the following activities were carried out:

1. Identification of options to restore containment of Tritium sources;
2. Identification of options to manage the Tritium plume:
  - a. Control of dispersion;
  - b. Short-term removal of Tritium.

Activity 2 was subcontracted to Golder Associates, UK.

### **2.3.3 Phase 3, Remediation**

In the Remediation phase the following activities were carried out:

1. To obtain a legal framework to carry out any remediation activities:
  - Legal status of contaminated groundwater;
  - Defining a remediation target concentration in groundwater;
  - Obtaining the necessary licenses for remediation activities;
2. To carry out a medium to long-term groundwater remediation options appraisal:
  - Do nothing;
  - Removal of contaminated groundwater;
  - Containment of contaminated groundwater;
  - Slowing migration of the plume.

Activity 2 was subcontracted to Golder Associates, UK.

During the execution of the activities within the project, the potential impact on normal business operation was continuously assessed. In addition, "lessons learned" were logged to be used to define actions/measures to prevent future spills.

All activities were translated in project deliverables in 4 work packages:

1. Root cause analysis
2. Monitoring Program
3. Mitigation & Remediation
4. Impact on operations HFR and OLP





A listing of the various deliverables is given in Appendix A.4. The deliverables were carefully monitored for time and costs. Planning for these deliverables is given in Appendix A.5.

During the execution of the project 2 work packages were added, Business Impact and Mitigation Source. The work packages Business Impact addressed the consequences of a possible delay in return to service of the HFR with respect to medical isotopes production and also included the registration of "Lessons Learned". The work package Mitigation Source was involved in mitigating the observed leakages from pipes and the preparation of repair modalities of the affected pipes.



## 3 Tritium Taskforce findings

### 3.1 Identification of potential $^3\text{H}$ sources

Investigation of the potential source(s) of the HFR Tritium plume was a major focus of the initial responses to the discovery of tritium in the groundwater beneath and East of the HFR. Due to localization and extent of the Tritium plume and the known groundwater flow directions, it was concluded that the HFR and/or its auxiliary systems must have been the source of Tritium contaminating the groundwater.

The following findings supported the conclusion that the HFR must have been the principal source of the tritium in the groundwater:

1. The results of groundwater sampling indicated high Tritium concentrations close to and down gradient of the HFR,
2. concentrations of tritium below detection limit ( $<10$  Bq/l) were found immediately westward of the HFR,
3. The highest levels of contamination were found in the immediate vicinity of the HFR
4. Data on concentrations in the plume and known groundwater flow rate were consistent with an assumed long-term continuous source.

For the source identification responsible for the Tritium plume on and beyond the HFR site, a root cause analysis was carried out.

#### 3.1.1 Root cause analysis (RCA)

The RCA was carried out by a multidisciplinary team supplemented with external experts. The first step in the RCA consisted of identifying all reactor components and auxiliary systems that contained either liquid or gaseous forms of Tritium and had the potential to release Tritium into the environment. Then a possible failure mode for each source was established. The scenarios to be determined involved either leakage or uncontrolled releases, including historical incidents. In total 7 different source types in 9 systems/locations were identified, resulting in 40 different root cause scenarios. All root cause scenarios were subjected to fact finding and evidence gathering. This could involve amongst others pressure test, leakage testing, visual inspection, containment checks. For the dismissal or acceptance of a certain scenario an unanimous decision of the team was needed. Based on the highest measured Tritium concentration in groundwater (80

kBq/l) priority was given to those sources and scenarios that would generate spills with concentrations > 80 kBq/l (Table 1).

Identified <sup>3</sup> H source	Vapour/Liquid	Systems/release pathway
Primary cooling water ( <sup>3</sup> H concentration ~ 2 GBq/m <sup>3</sup> )	Liquid	Leakage pipe-line systems and storage tanks
	Vapour	Via off gas. Evaporation via expansion vessel; condensation & leakage
Reactor Basin water ( <sup>3</sup> H concentration ~ 1 GBq/m <sup>3</sup> )	Liquid	Leakage pipe-line systems and storage tanks
	Liquid	Leakage Basin
	Vapour	Reactor Hall ventilation & off gas; condensation & leakage
Condensate Tritium measuring system	Liquid	Leakage or wrong drain
Wastewater	Liquid	Leakage hot drain system
		Leakage waste storage Facility containment

Table 1: Prioritized sources of Tritium.

However, all 40 scenarios were subjected to fact finding and evidence gathering.

Schematic lay-outs of pipelines and storage tanks containing either radioactive liquids or vapor are given in Figure 6 and Figure 7.

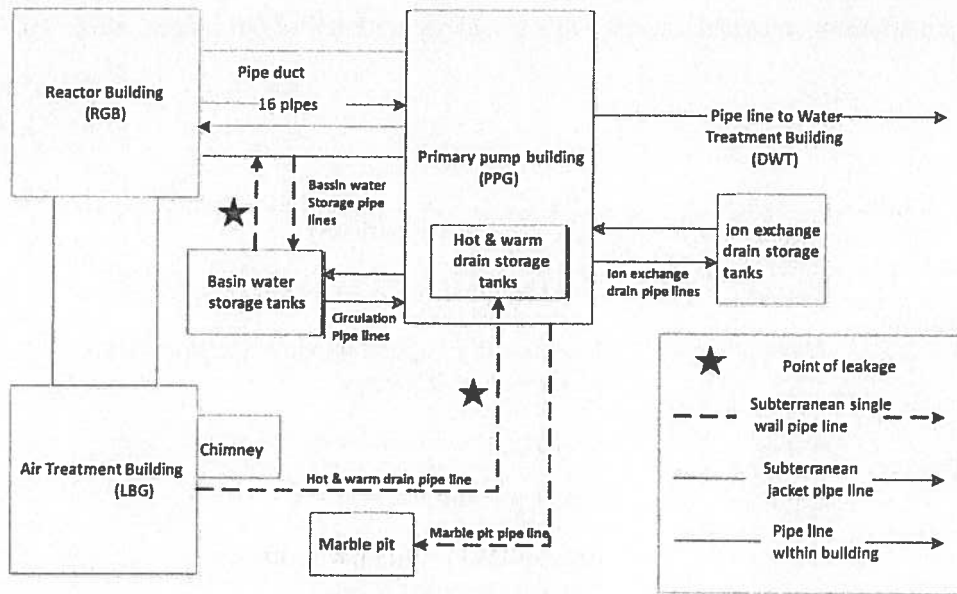


Figure 6: Schematic lay-out of pipe-lines and storage tanks containing radioactive liquids.

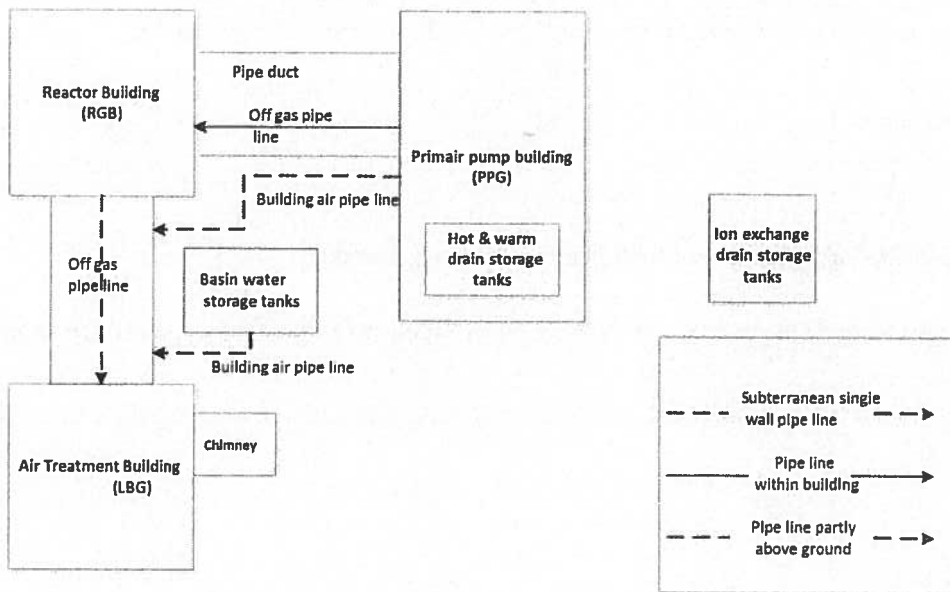


Figure 7: Schematic lay-out of pipe-lines and storage tanks containing radioactive vapors.

### 3.1.2 Findings Root Cause Analysis

The root cause analysis team provided valuable input to the work package Monitoring in providing guidance on the placement of additional monitoring wells. This led to the placement of monitoring wells (numbers 1028, 1026 and 1025) close to and downstream of the Basin water storage tank building (building number 105) which showed Tritium levels up to 175 kBq/l end of October 2012 (See also section 3.2).

These basin water storage tanks are being used during reactor maintenance stops when reactor basin water level in the reactor is lowered for various maintenance activities. When the pool water level is lowered or raised reactor basin water is pumped through 2 subterranean aluminum pipe-lines (4" and 6") to the basin water storage tanks. These pipe-lines were not easily accessible for inspection since a liquid nitrogen storage tanks on a large concrete slab was located on top of them. When it proved to be impossible to do a pressure test on these pipe-lines, it was decided to remove the liquid nitrogen tank and concrete slab and subsequently to dig out the pipe-lines for a visual inspection. This process was complicated by the fact that the ground to be removed contained asbestos. The whole procedure was conducted under an asbestos working permit and included special precautions to deal with asbestos. On November 11th 2012, during a scheduled Reactor maintenance stop, a leak was observed in the 4" pressure pipe-line during pumping of basin water from the basin storage tanks to the reactor basins (Figure 8). A water sample was taken at the leakage point and confirmed using tritium analysis and gamma spectroscopy to be reactor basin water with a Tritium concentration equal to 1.13 MBq/l. The leak was temporarily closed with a jacket and the use of the basin water storage tanks pipe-lines was disabled.



Figure 8: Uncovered basin water storage tank pipe-lines (left) and observed leak in the 4" line (right)

The observed leak rate in the uncovered affected pipe-line was about 10 liter per hour. The total leakage volume due to pumping during a reactor stop was estimated to be 20 liters. Residual volume of the pipe-



line is estimated to be about 30 liters. The hydrogeological model of the Tritium plume indicated that the Tritium spill started about 7- 12 years ago (see section 3.2). Given on average 10 reactor stops/year and an assumed spill period of about 10 years, the total volume basin water that was released is conservatively estimated to be  $5 \text{ m}^3$ . Without correction for radioactive decay this results in a Tritium source term for the total release in order of 6 GBq.

Subsequent ultrasonic wall thickness showed that the overall wall thickness of the pipe-lines was consistent with the as built specifications ( 4" pipe-line, 7.3 mm; 6" pipe-line, 8.5 mm). However, the 4" pipe-line showed multiple spots where the wall thickness was decreased to 0.3-1.3 mm. The 6" pipeline had 1 spot where the wall thickness was decreased to 2 mm. During construction, the pipe-lines were covered corrosion preventing PE tape and bitumen slabs. The latter were fixed around the pipe-lines using toothed steel clamps which in time probably made contact with aluminum pipe-line thus creating a galvanic corrosion process resulting in pitting of the pipe-lines.

In another RCA scenario involving the hot & warm drain pipe-line, a hydraulic test showed leakage of hot & warm drain pipe-line at the connection to the Air Treatment Building (PPG). The pipe-line was taken out of use and an alternative disposal route with containment is currently being used. Under normal operating conditions, the hot & warm drain pipe-line carries about 0.3 liter of condensate per week from the air treatment facilities with a Tritium concentration of 100-200 kBq/l. Given an assumed spill period of about 10 years, the total volume condensate that was released is conservatively estimated to be  $0.15 \text{ m}^3$ . Without correction for radioactive decay this results in an additional Tritium source term in order of about 0.03 GBq.

All other root cause scenarios did not reveal additional uncontrolled releases of radionuclides and were excluded as source for the contamination.

### 3.2 Identification of the affected area

With the discovery that the Tritium plume had extended beyond the HFR site, it was important to characterize the plume in further detail and to use a hydrogeological model to predict when the plume would reach the boundaries of the OLP. In addition the model would help to predict when the release into groundwater had started.

### 3.2.1 Determination of the Tritium plume

In order to further characterize the plume a large number of additional wells have been placed on the HFR site as well as east of the site in the direction on the boundary of the OLP:

- Based on the general hydrogeological model of the OLP [3], two well lines to the East were installed. The first line with well numbers 1019, 1038-1042 1052 and 1073, served to determine the width of the plume. The second line of wells with well numbers 1045-1051 served as a monitoring guard for the plume reaching the OLP boundary.
- A number of monitoring wells were placed on the perimeter of the HFR (well number 1059-1063) and close to the pond North of the HFR (well number 1064 and 1065) to determine whether the plume had reached the EC owned Joint Research Centre, Institute of Energy and to determine the watershed close to the HFR where the groundwater flow reverses and flows to the West, towards the sea.
- A number of monitoring wells were placed as part of the root cause analysis close to reactor components and auxiliary systems that contained either liquid or gaseous forms of Tritium.
- Additional monitoring wells (well number 1071-72) were placed East of the HFR perimeter.
- Based on the Tritium level in well number 1071 the monitoring guard line was extended with 3 monitoring wells (well number 1077-1079)

All well locations were equipped with shallow (4m) and deeper (7m) monitoring depth in upper aquifer (See section 3.2.2 for hydrological and geological details). All wells were calibrated for position, depth and monitored for groundwater flow and level. The data served as input for hydrogeological model.

In general monitoring of the plume revealed that the contamination was more or less confined to the deeper part of the upper aquifer. To date, only one monitoring well (15m) is deployed to monitor the lower aquifer. The results indicate tritium level between 17 – 22 Bq/l.

Monitoring of the wells of the first line, end of October 2012, indicated that the plume had already reached on well (well number 1039) of the first monitoring line. Close to this position, a network of groundwater drains is located, used to control groundwater and surface water at this location. This pumping system discharges its water to a pond at the Southside on the OLP. On average, 12000 – 16000 m<sup>3</sup> water per year is pumped away. Sampling of this pond revealed no elevated Tritium levels (< 10 Bq/l).

The monitoring data as of end of October 2012 were used to define an exclusion zone where no ground excavation activities and related groundwater extractions were allowed to minimize disturbance of the Tritium plume.



To date, monitoring of the second line and samples taken of the surface water in the ditch East outside the OLP, show no Tritium levels above the detection limit ( $< 10$  Bq/l).

Monitoring of the perimeter of the HFR West and North showed no elevated Tritium levels ( $< 10$  Bq/l). However, monitoring close to the pond North-east of the HFR showed increased levels tritium (10-100 Bq/l) indicating the influence of this pond on groundwater flow direction. Monitoring of the pond itself revealed no elevated Tritium levels ( $< 10$  Bq/l).

Placement of monitoring wells close the reactor and its auxiliary structures showed when analyzed, a clear indication where a source of tritium release could be located (Figure 9; Appendix A.3).

Monitoring well number 1028 showed Tritium levels of 176 kBq/l. As show in section 3.1.2 the dominant leakage pathway was detected close to this well. North of this location, 2 other wells (numbers 1055 and 1027) showed elevated levels of Tritium in groundwater ( $\sim 400$  Bq/l) that based on groundwater flow direction seemed unrelated to the high levels observed at well number 1028. As show in section 3.1.2 an additional minor leakage pathway was detected close to these wells. This illustrates that carefully positioned wells yielded valuable information and strongly supported the Root Cause Analysis.

After the detection and mitigation of the main Tritium leakage pathway at the basin storage tank pipe-line, very high concentrations (135 – 363 kBq/l) were detected close to that area in December 2012.

Comparison of the values of monitoring well number 1028 of 24,25 October and 4,5 December 2012 (sampling dates both about 3 weeks after a reactor maintenance stop) showed a twofold increase in tritium concentration. This suggests that ground package and concrete slab above the pipe-line prior removal, provided enough pressure to reduce the leakage rate compared with excavated situation. This also indicated that the estimated Tritium source term is a conservative estimate.

Due to observed high concentration of Tritium in groundwater, it was decided to perform a weekly monitoring of the hotspots around the reactor. The results of this monitoring is given in Table 2. The data clearly show that compared with the undisturbed situation, the excavation resulted in temporarily high concentrations in the shallow (4m) monitoring wells downstream and a fast flow of tritium downstream of the source of leakage point. To date the situation has settled again.





Figure 9: Birds Eye view monitoring wells HFR.

Overview Tritium monitoring in groundwater Bq/l (2012/2013)

Date	1028		1026		1025		1018		1014		1057		Source detected
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	4 meter depth	7 meter depth	4 meter depth	7 meter depth	4 meter depth	7 meter depth	4 meter depth	7 meter depth	4 meter depth	7 meter depth	4 meter depth	7 meter depth	
24, 26-10-2012	17500	176550	68726	121647			12852	68156					
29, 30-10-2012													
1, 2-11-2012					11000	36906			83	11308	76	26503	
14 Um 18-11-2012													
15, 16-11-2012													
1-12-2012													
4, 5-12-2012	6111	335296	14245	239797	136883	59093					29	23900	
14, 15-12-2012	9163	97915	3048	246500	182049	45936							
20-12-2012	1473	41385	1819	303106	148799	49823	46658	39187			52	25621	
28-12-2012	13504	7277	770	363934	82232	60752	38563	20844			10	25094	
11-1-2013	1464	11014	698	317333	18797	60915	80893	19270			16	26437	
18-1-2013	832	7317	1811	214796	9017	69675	108608	22504			18	21942	
25-1-2013	588	6254	6350	194199	4667	58713	105363	30120			72	17933	
1-2-2013	237	2563	2759	77289	6755	79751	57636	33909			295	14346	
8-2-2013	130	20709	2624	65595	21341	61587	10784	27361			249	12242	

→ Increasing distance from source

Table 2: Overview Tritium monitoring after discovery and mitigation of tritium leakage pathway.



The removed ground below the basin storage tank pipe-line was analyzed for radionuclides. The radionuclides detected were Na-24 (1340 Bq/kg), K-40 (129 Bq/kg), Co-60 (30 Bq/kg) and Cd-115 (130 Bq/kg), Cs-137 (39 Bq/kg) and W-187 (26 Bq/kg). Under Dutch Law, the removed ground was not regarded as radioactive waste or as radioactive substance and can therefore be used to fill up the excavation after the repair of the pipe-line has been completed.

For the characterization of the plume, 136 additional monitoring wells were installed and about 600 Tritium analyses were carried out.

### 3.2.2 Hydrogeological model of the Tritium plume

#### Geology

The site lies within the Pettemer dunes approximately 500 m from the North Sea. Ground level in the immediate vicinity of the HFR site is approximately 4.4 – 4.8 m NAP but the surrounding dunes reach 10 m NAP. The geological profile beneath the site is summarized in Table 3.

Geological unit	Top elevation NAP	Base elevation NAP	Aquifer
Coarse Sand (Dune Sand)	5.0 m	1.0 to 0.6 m	Upper Aquifer (shallow)
Peat and clay (discontinuous)	0.6	0.0 m	
Coarse sand ( Dune and Beach Sand)	-0.5 m	-3.0 m	Upper Aquifer (deep)
Clay and Peat	-2.0 to -3.0 m	-7.5 to -9.5 m	Aquiclude
Sand	-7.5 to -9.5 m	-12.5 to -14.5 m	Lower Aquifer

Table 3: Geological profile HFR site.

#### Hydrology

There are two aquifers of interest beneath the HFR site: an upper aquifer in the sands overlying the clay layer at ~2.5 – 8.0 m NAP and a lower aquifer below the clay layer.

Based on the monitoring wells and earlier obtained data [3], a groundwater elevation contour plot for the upper aquifer was obtained (see Appendix A.6). The groundwater flow rate at the reactor site and boundary of the OLP is in the order of 5 and 40-80 m/year respectively. Due to difference in depth of the clay layer, the upper aquifer has a maximal thickness of 8 meter at the beach side and about 2-3 meter when it enters the polder east of the OLP.

The available monitoring well data, knowledge about the infrastructure like cellars and the used foundation of reactor and other buildings, and groundwater stressors like pumping and discharge, were used in MODFLOW to calibrate the hydrogeological modeling of the Tritium plume. The model was used to make a judgment of the contamination plume in terms of risk, age, plume path and remedial actions. Contaminant transport was calculated using MMOC. Details of this work performed by Grontmij, NL are given in [8]. Complementary data were provided by Golder Associates, UK [9].

The main results and conclusion of the modeling were:

- There is a clear defined narrow Tritium plume present, travelling Eastward. The plume distribution in the shallow upper aquifer is approximately 110 m long and 20 m wide. In the deeper upper aquifer the plume is approximately 190 m long and 40 m wide. The plume widens to the East.
- At the reactor site the plume was rapidly deepening at the source area due to the influence of building foundations on the groundwater flow path and/or changing hydraulic conductivity in upper aquifer below 0 – 1 m NAP.
- Using the estimated leakage rate from the observed Tritium source, the mass transport calculations predicted the observed monitoring data well (Figure 10, Figure 11).
- Temporarily lowered water levels in the pond North-east of the reactor due to seasonal changes has broadened the Tritium plume to the North.
- The age of the Tritium plume is 9 years plus/minus 1 year.
- The watershed is located 100 – 150 m west of the reactor, indicating that the groundwater flow direction at the reactor site is to the East. The observed Tritium plume is therefore not related to possible Tritium sources West of the Reactor.

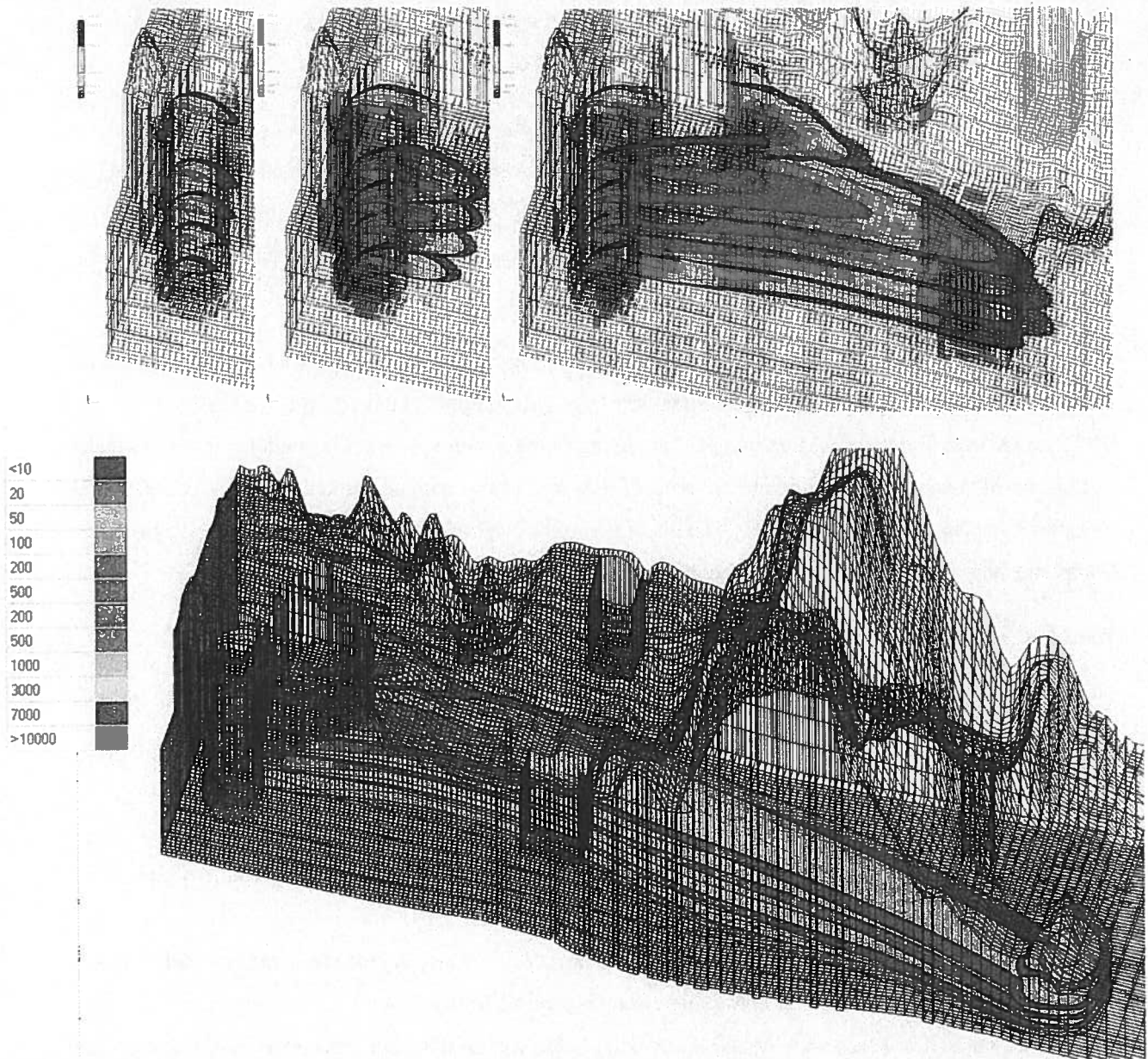


Figure 10: Tritium plume distribution after 1, 2, 5 and 12 years (stable end situation). Legend: Tritium concentration (Bq/l).

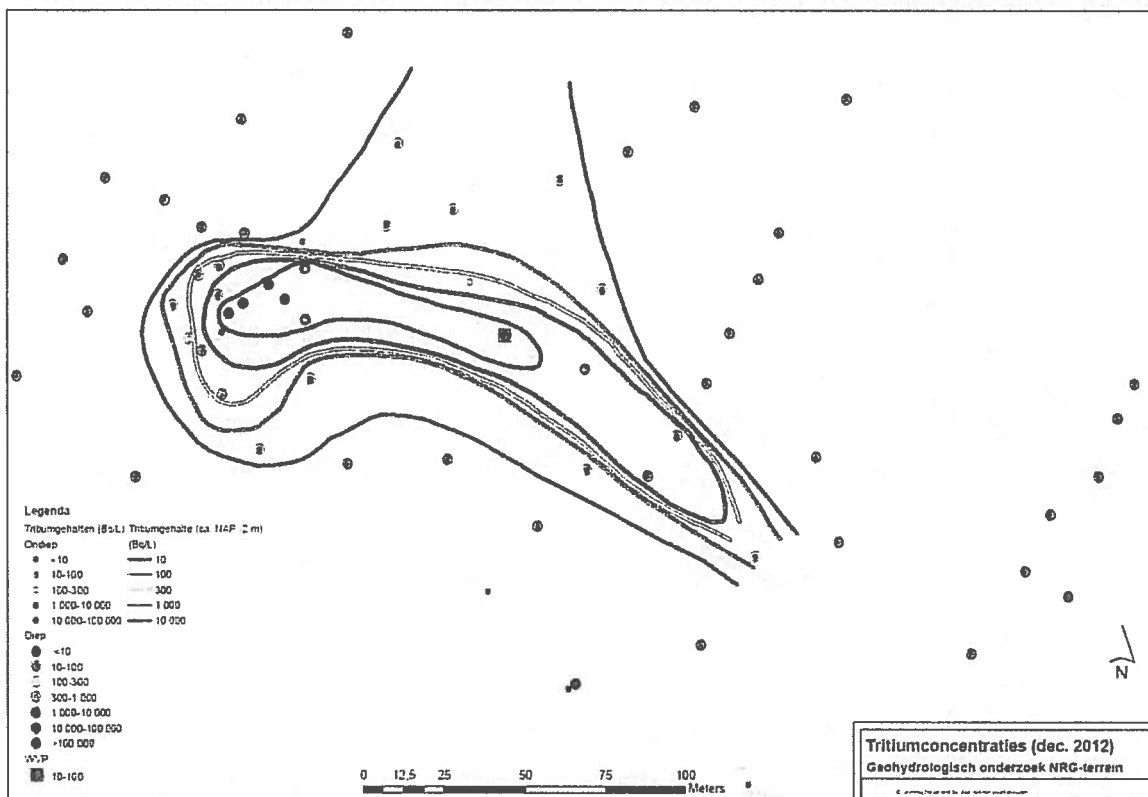
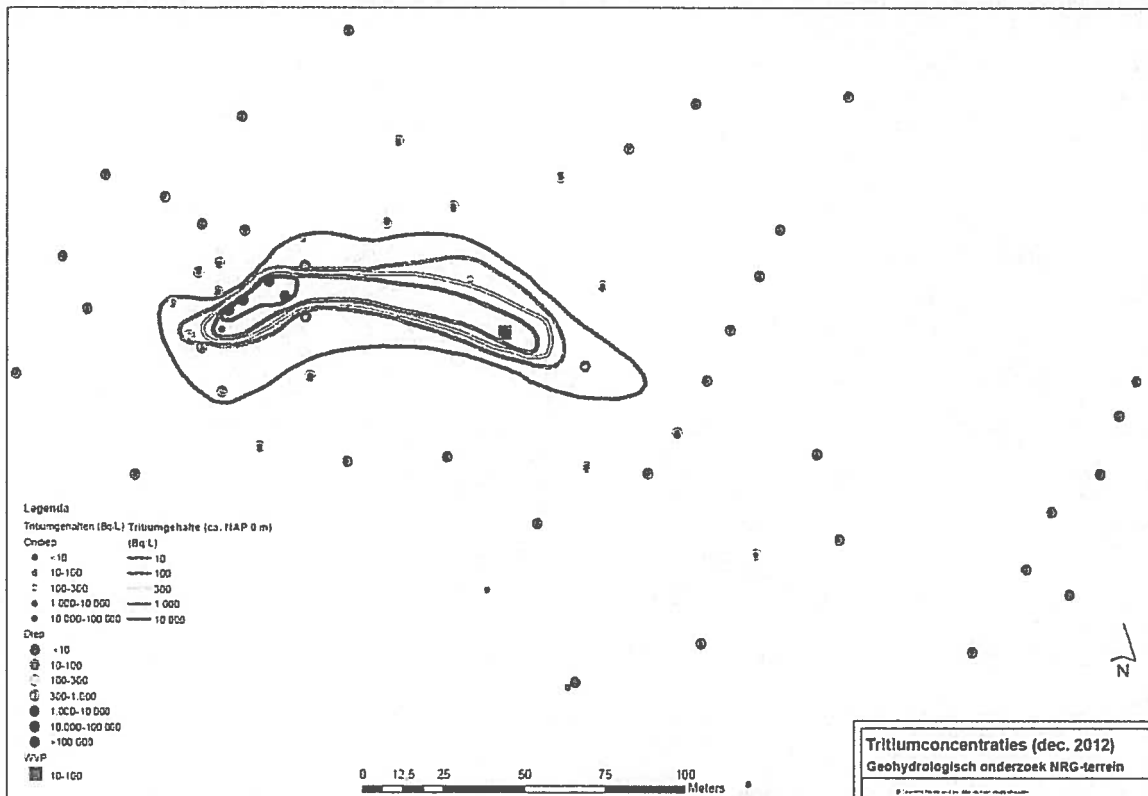


Figure 11: Tritium iso-concentration contour plots versus actual data (upper panel shallow aquifer; lower panel deeper aquifer).



### 3.3 Control & elimination

#### 3.3.1 Elimination of Tritium sources

At the discovery of the 2 Tritium sources, leakage of tritium containing liquids were immediately stopped. Both involved pipe-lines were put out of order.

For the basin water storage tank pipe-line, an alternative pumping circuit with double containment and a possibility to perform visual inspection was available. After performing a pressure test, the Regulatory Authority (KFD) granted approval for the use of the alternative pumping system during reactor maintenance stops. For the hot & warm drain pipe an alternative disposal route with containment is currently being used.

Both pipe-lines will be replaced by new pipe-lines and will be placed in concrete water tight casing which will act as containment and allows visual inspection. For that purpose the warm and hot drain pipe-line will be rerouted.

#### 3.3.2 Control of the Tritium plume

Taking into account the recommendations/lesson learned from Brookhaven National laboratory [7], to remove so-called Hot spots as soon as possible to control/remediate the Tritium Plume, Golder Associates made an appraisal of the preferred short-term option [9]. The following factors were considered:

The short-term option should:

- be suitable for rapid design and installation at the site and should ideally utilize readily available technology;
- have an immediate impact on the Tritium contamination at the site, by maximizing the quantity of Tritium that is removed from the groundwater, and or maximizing the physical or hydraulic control of the plume;
- be compatible with the permitted water disposal quantities at the site;
- not have a detrimental impact on the Reactor and support structures at the site (i.e. no large settlements);
- include a monitoring scheme to collect data on hydrogeological conditions, plume extent and tritium concentration levels to be used in the design of the medium to long-term remediation solution.

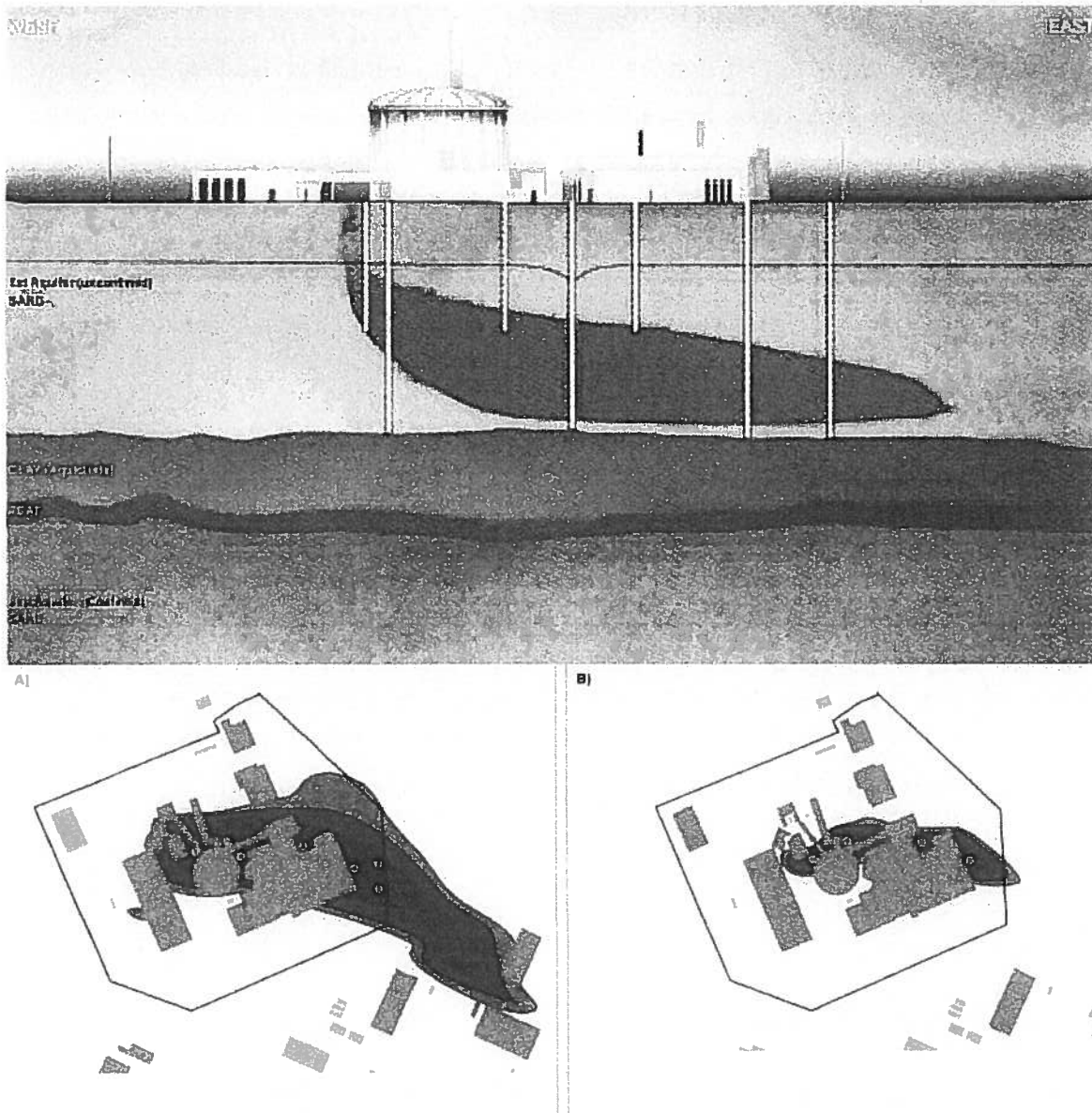


Figure 12: Schematic sectional view the preferred option source removal (top) and potential zones for installation of pumped wells (bottom A: deep wells; bottom B: shallow wells in the upper aquifer).

The preferred short-term option was a source removal system targeted at the existing plume beneath the Reactor site. This option is show schematically in Figure 12 and uses a system of pumped wells installed in the center of the plume, i.e. the area with the highest concentration of tritium, to carry out controlled pumping, at low flow rate and small drawdown, to minimize risk of damaging settlement, to remove Tritium and slow the rate of expansion of the plume.





On January 25<sup>th</sup>, 2013 NRG submitted a proposal to use a source removal system for control of the tritium plume to the Regulatory Authority (KFD) which was approved on January 31<sup>st</sup>, 2013 [10], [11].

NRG put in a request to the regulator to regard the contaminated groundwater as wastewater from normal operation. In that way, the tritium contaminated groundwater could be processed as wastewater from the HFR within its current license and operating procedures. On February 12<sup>th</sup>, 2013 received the approval from the regulator to regard the contaminated groundwater as wastewater [12].

Pumping groundwater from the upper aquifer < 15000 m<sup>3</sup> per month and no longer than 6 months only required a notification with the regulatory authority for groundwater, Hoogheemraadschap Noorderkwartier (HHNK).

The pumped groundwater will be disposed of, without any treatment to remove Tritium, via the existing jacket pipe-line between the HFR and NRG's wastewater treatment facility (DWT), where it after processing, will be discharged to the North Sea under its current licenses. For this purpose the pipe-line underwent a hydraulic pressure test to ensure containment. Dependent on the location of the wells the pumped groundwater might alternatively be transported by tank lorry to DWT.

The source removal system was installed in January 2013 and is using the well numbers 1014, 1018, 1025, 1026 1028 and 1057 for source removal. The source removal system is currently in operation since February 11<sup>th</sup>, 2013. Results of the source removal activities will be reported separately.

## 3.4 Remediation of the Tritium plume

### 3.4.1 Remediation options appraisal

For the long-term management of the Tritium plume a number of remediation options are available. NRG subcontracted Golder Associates to perform a remediation options appraisal based on the conceptual site model (CSM). Typically, a CSM is defined in terms of a contaminant source, a contaminant pathway and a receptor, in this case surface water in the polder outside the OLP. The purpose of remediation is to mitigate the impact of the contamination on the receptor.

The strategic remedial approaches which potentially could be used to manage the Tritium plume are:

- Do nothing. The only effect is natural dilution of the plume as a result of the 12.3 year half-life of Tritium, along with dispersion and dilution;
- Source removal. Pumping Tritium contaminated groundwater from wells located within the plume;



- Source containment. Physically containing the Tritium source and plume to halt any down hydraulic gradient migration by the use of barriers or pumping wells;
- Slow down the migration of the plume by capping, i.e. removing the impact of infiltration.

In addition to those set out above, combinations of these strategic options were also identified during a site visit by Golder Associates and considered in the list of options. These, along with further consideration of combinations of approach and other potential approaches to Tritium contaminated water which have been considered by other, were captured in a full list of option for consideration. These options are:

- Monitored natural attenuation (effectively the “do nothing” option);
- Direct pumping from the plume;
- In situ treatment of Tritium
- Permeable reactive barrier;
- Continuous containment barrier;
- Partial downstream containment barrier;
- Continuous containment barrier with groundwater pumping from plume;
- Partial containment barrier in downstream zone, along with groundwater pumping behind barrier and groundwater pumping from the plume;
- Continuous containment barrier with groundwater pumping from plume and capping over part of the site;
- Partial downstream containment barrier with groundwater pumping from behind barrier and capping over part of the site;
- Capping over part of the site;
- Hydraulic control using vertical wells;
- Hydraulic control using drainage ditches;
- Hydraulic control using vertical wells and capping over part of the site;
- Hydraulic control using ditches and capping part of the site.

It should be noted that in line with the findings of the US NRC at Brookhaven National Laboratory [7], no detailed consideration was given to industrial or laboratory scale Tritium separation and detritiation technologies. These technologies are in general designed for high concentration/low volume applications and not for the high volume/low concentration conditions present in typically environmental settings.

With the use of assessment criteria the various options were assessed. These criteria can be roughly divided in: a) technology, b) site specific considerations and constraints and c) public acceptance.

The essential criteria that considered were:



- Technically feasible technology (public acceptability weighted);
- Remediation performance;
- Implications on existing infrastructure;
- Impact of the construction/operation/maintenance of the preferred remedial system on Reactor operation and NRG standard work practises.

Based on the criteria developed and their application, along with professional judgement, four approaches have been identified as potential options for further study (Figure 13) . These four options are:

1. Pumping directly from the plume;
2. Continuous containment barrier around entire plume, along with groundwater pumping;
3. Partial containment in downstream zone, along with groundwater pumping behind the barrier and groundwater pumping from the plume
4. Hydraulic control using vertical wells

It should be noted that containment barriers solutions scored poor with respect to the criteria implications on existing infrastructure but score good on the public acceptance criteria.

It is clear from the options appraisal that approaches where a component of groundwater pumping/removal is present, generally are considered preferable due to the relative ease in which they can be applied, with minimal impact on site infrastructure and reactor operation and their ability to meet existing public acceptance criteria.

Drawback of this option is that it generates large volumes of discharge water contaminated with Tritium and will require a permitted discharge route for this water. Limits on water volume and total activity could lower the performance of this option. In addition this option will lower the water table near the reactor, which could cause consolidation settlements of the ground.

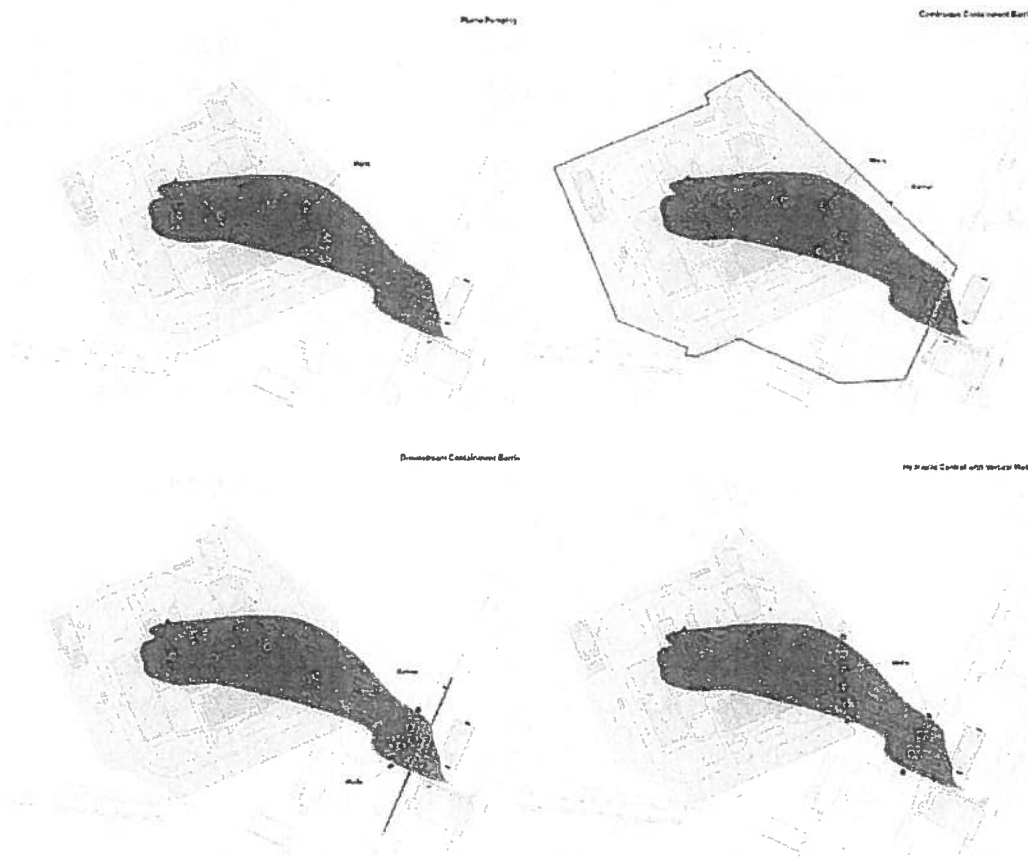


Figure 13: Options short list for remediation of the Tritium plume.

Upper left: Pumping directly from the plume; Upper right: Continuous barriers with groundwater pumping; Lower left: Downstream barrier with groundwater pumping from barrier and plume; Lower right: Hydraulic control using vertical wells.

The full detailed remediation options appraisal is given in [9].

Although the definitive remediation option still needs to be determined, preliminary model calculations have been carried out by Grondmij [8]. The following options were considered.

The option “do nothing” results in an ultimate Tritium concentration at the ditch at the Westerduinweg (the receptor) of 20 Bq/l in 2018. In the following years the concentration will increase to 80-100 Bq/l in 2022 and will decrease fast after 2024.

The option groundwater pumping in the plume using 3 extraction wells at a pump rate of 2 m<sup>3</sup>/day for each well will remediate the plume completely in 3 years.

Further transport calculations are needed to optimize the groundwater pumping/removal option.



### 3.4.2 Legal Frame work

For the remediation of the Tritium plume it is important to clearly define the legal framework. For the preferred option the following aspects need to be solved:

1. Legal status of contaminated groundwater;
2. Defining a remediation target concentration in groundwater;
3. Obtaining the necessary licenses for remediation activities;

The objective is to designate the contaminated groundwater as wastewater from normal HFR operations. This allows discharge under NRG's current Nuclear Act license to the North Sea after the water has been processed through NRG's wastewater treatment facility DWT which has currently a permitted discharge volume of 8000 m<sup>3</sup>/year. However, the installation has the capacity to discharge 25000 m<sup>3</sup>/year. Alternatively, discharge of the contaminated groundwater through the HFR's sewage system is a licensed possibility.

Currently no remedial target concentration has been defined by the Regulator. Based on international experience it has been suggested to the Regulator to use the EU drinking water guidance limit (100 Bq/l) as remedial target. This limit is well below the WHO drinking water limit (7610 Bq/l) and US drinking water standard (740 Bq/l) and in accordance with recently published recommendation by the Canadian Nuclear Safety Commission to use a design objective for nuclear power plant of 100 Bq/l Tritium in groundwater [13].

The fact that no drinking water is produced using surface water close to the OLP will ensure further dilution and minimize any potential risk.

Currently The Ministry of Economic Affairs is addressing the level of the remedial target.

Remedial actions on the HFR and OLP will involve a number of licenses from different regulatory bodies. Licenses to be obtained are:

- A remediation license (IL&T)
- Groundwater extraction license (HHNL)

A change in NRG's current discharge license to obtain a 25000 m<sup>3</sup> discharge volume/year (RWS) might be mandatory.

NRG has asked the Ministry of Economic Affairs to coordinate the licensing process for remediation of the Tritium plume. The Ministry of Economic Affairs will organize a workshop with other regulatory bodies



and local stake holders in the first half of 2013 to address the current situation and will probably define the remedial target at 100 Bq/l.



## 4 Impact on operations HFR and OLP

During the execution of the project a number of risks were defined that could have a major impact on the operations of the HFR and other facilities.

A major factor was the time constraint for the identification phase, effectively 2.5 months to find and mitigate the Tritium source(s). This was mitigated by adequate internal resources and contracting outside resources and allowing the various work packages to operate in parallel. This de-phasing and ignoring phase transition criteria proved to accelerate the process.

A number of scenarios were determined and rated for operational, financial and social impact (See Appendix A.7).

Scenarios involving mitigation of the source and temporarily shutdown of the reactor and not finding a source were considered to have the largest potential impact. The work package Business Impact assessed the consequences of a possible delay in return to service of the HFR with respect to (medical) isotopes production and other contracted irradiations. With respect to medical isotopes, NRG communicated on a regular basis with customers, the European industrial association of Nuclear Medicine (AIPES) and other Reactors involved in the supply chain of medical isotopes.

When the source was found, mitigation of the source was rather simple. This involved temporarily shutdown of the reactor due to qualification of the alternative pump system for the basin water storage tanks. End of November, the Tritium plume was not considered to have an impact on reactor start-up/operation.. However, the remediation of the Tritium will still have some consequences on daily operations on the reactor site itself and could have a significant financial impact if remediation can't be performed with a realistic remedial target and using NRG's wastewater treatment facility.

The monitoring data as of end of October 2012 were used to define a exclusion zone where no ground excavation activities and related groundwater extractions were allowed to minimize disturbance of the Tritium plume. Specific health physics rules were imposed for activities within the exclusion zone.

As a consequence of the Tritium issue at the HFR, and the source being related to inadequate asset integrity management of auxiliary systems of the reactor, the Regulatory Authority (KFD) imposed an asset integrity program on NRG for the whole site.

## 5 Communication

Within the TTF the Communication guide lines were established using NRG's mission statement and adopted core values for its operational management: safety and reliability, market and client orientation, professionalism and expertise, openness and transparency, financial robustness.

A communication matrix was established that identified the following stake holders:

- Employees NRG, including works council
- Safety committees NRG
- Governing Bodies NRG
- Employees on the OLP
- Companies on the OLP
- Nuclear companies in the Netherlands
- General public (local and nationwide)
- (local) Authorities (policy making and regulatory bodies)

The sequence of communication was always NRG/OLP, Authorities followed by general public.

The steering committee in which neighboring companies on the OLP were represented functioned well with respect to:

- Exchange of information concerning impact Tritium contamination on man and environment and business processes;
- Exchange of information concerning technical and infrastructural aspects of ground and groundwater management;
- Coordination of safety and legal aspects;
- Synchronization of communication.

For employees of NRG and neighboring institutes an assessment "impact Tritium on man and environment" was prepared.

To keep employees informed, a general and dedicated presentation was given for companies on the OLP.

A taskforce outline and project plan were prepared for NRG management and NRG's governmental bodies.



Progress reports were provided every fortnight for NRG Management, steering committee and regulatory authority. Copies of the progress reports were also sent to the Reactor Safety Committee and HFR Safety Committee.

NRG provided supporting information to Dutch government to answer questions from parliament.

Local general public was informed at a public meeting in the municipality of Zijpe in October 2012.

External communication reported only major milestones and was carefully synchronized with communication departments of the Ministry of Economic Affairs and the Regulatory Authority (KFD). Before External communication occurred, Q&A's were prepared.

In general, public concern with the Tritium plume was low.



## 6 Lessons learned

On February 20<sup>th</sup> 2013, an “Incident report/unsafe situation to Government” was sent to the Regulatory authority (KFD) [14]. This included an attachment addressing lessons learned.

In this report an updated version is presented.

### Lessons Learned during Tritium project

Observation / Lesson	Solution/Recommendation
The initially limited number of monitoring wells for monitoring groundwater contamination was insufficient to adequately identify potential uncontrolled releases.	The lay-out of a monitoring grid should be based on location of potential sources and an adequate understanding of the hydrogeological model involved.
The lessons learned from the “Bottom Plug liner repair” in relation with galvanic corrosion was only applied on the primary safety systems and not auxiliary systems where containment is also an issue.	An Asset Integrity Plan should not only include primary safety systems, but also auxiliary systems and supporting equipment.
Connecting underground pipe-lines carrying radionuclides from auxiliary systems of the reactor did not have adequate containment and were not subjected to visual or functional inspections	Connecting underground pipe-lines carrying radionuclides from auxiliary systems of the reactor should have additional containment and readable accessible for visual or functional testing.
Initial monitoring results with low Tritium concentrations influenced the early investigation. The perception was that there was only one cause (condensate water of the air-conditioning) and possible other causes were not pursued.	When starting a root cause analysis, all identified source/scenarios combinations should checked and validated. Before they can be excluded from the root cause analysis.
Groundwater analysis revealed only tritium. Consequently it was difficult to identify the real source. The absence of other nuclides contributed to the conclusion condensate water of air-conditioning systems were the source of tritium.	Tritiated water is a highly mobile and all other radionuclides are easily bound to soil organic components. The spreading of other nuclides than tritium is limited and can only demonstrated in soil samples in the vicinity of the leakage. Elevated Tritium concentrations should however be marked as an indicator for loss of containment.



---

The work plan for the removal of the Nitrogen storage tank was thoroughly discussed with Health Safety & Environment and contractor representatives. During execution of these activities contradictory instructions were given to workers due to misinterpretation of the safety instructions. The causes identified were: more than one contact person, performance under pressure and the accompanying documentation was stated in office language instead of laymen's language.

Inadequate daily control by Safety representatives on the work place.

The installment of the TTF enabled a high priority and adequate resources.

The project plan with clearly stated objectives and responsibilities, was readily available. This resulted in clear goals for the team members and contributed to successful realization of project results.

Separation of the project in 4 work packages that were executed in parallel, allowed a quick decision making process and lead to fast results. The separation also allowed quick and clear reporting between work packages.

The use of an organized Share-point was a great support to share documents and information between work packages.

Participation of all technical departments on site resulted in quick solutions.

Early involvement of policy making regulator bodies enabled the early remediation phase.

Communication strategy and authorization were clearly defined and enabled quick communication.

The instructions for operational activities should be adequate and informative for the workers that carry out the work.

During critical activities a Safety department representative should be present for monitoring and control.

## 7 Conclusions

The Tritium Taskforce met its objectives to: a) perform fact-finding and a root cause analysis to find (potential) sources of uncontrolled release of Tritium in to the groundwater, b) re-establish containment of these sources, c) determine the extent of the affected area using measurements and hydrogeological modeling, and d) determine the options including legal basis, for mitigation and remediation of the Tritium contaminated area.

With respect to the legal basis, NRG has asked the Ministry of Economic Affairs to coordinate the licensing process for remediation of the Tritium plume. The Ministry of Economic Affairs will organize a workshop with other regulatory bodies and local stake holders in the first half of 2013 to address the current situation and will probably define the remedial target at 100 Bq/l.

The objectives were met within the budgetary and time constraints.

In addition the TTF developed a communication strategy to keep all relevant stakeholders informed about the progress concerning this issue.

A root cause analysis was started and mid November 2012 two sources of Tritium were detected, The sources were subterranean single walled pipe-lines from the reactor's auxiliary systems. The plume size and subsequent hydrogeological modeling of the plume supported the root cause analysis.

Source related mitigation actions were taken immediately and short and long-term plume remedial options were assessed.



## References

- [1] Melding / Rapportage onveilige situatie aan de overheid; Verhoging concentratie Tritium in een grondwatermonster; K5149/12.112157 d.d. 16 jan 2012
- [2] Onderzoek Tritium in grondwater, Identificeren en elimineren van oorzaken, Tussenrapportage periode februari-juli 2012, 25194.17/1153, juli 2012
- [3] Geohydrologisch onderzoek NRG terrein, Rapport GM-0064108, Grontmij, 2012
- [4] Onderzoek Tritium in grondwater, Identificeren en elimineren van oorzaken, Tussenrapportage periode juli-september 2012, 25194.17 / 12.116060 rev. B, 14 September 2012
- [5] Brief KFD, Plan van aanpak met betrekking tot de Tritium verontreiniging, ILT-KFD/2012-1850\_256\_WTO, 12 oktober 2012
- [6] Brief KFD, Plan van aanpak m.b.t. de Tritiumverontreiniging in de bodem, 26 oktober 2012
- [7] Brookhaven National Laboratory, "Lessons Learned in Detecting, Monitoring, Modeling and Remediating Radioactive Ground-water Contamination". NUREG/CR-7029, April 2011
- [8] Verspreiding tritium in het grondwater op het HFR-terrein, Rapport GM-0086148, Grontmij, 2012
- [9] Mitigation and Remediation Options Appraisal Support, Report number 122514270722.500/B.0 Golder Associates, 2012
- [10] Werkplan "Verwijderen van Tritium Hotspots op het HFR terrein. 25209.60/12.117391 rev.D, 2013
- [11] Brief KFD, Verwijderen van 'Tritium Hot spots op het HFR terrein', 72668-01, 31 Januari 2013
- [12] Brief Ministerie Economische Zaken, Sanering tritium verontreiniging van het grondwater, kenmerk DGETM-PDNIV / 13002889, 12 Februari 2013
- [13] Tritium Studies project Synthesis Report, INFO-0800 rev.1, January 2011
- [14] Incident melding "High Tritium levels in groundwater" final report, 25209/13.118077, februari 2013

## List of tables

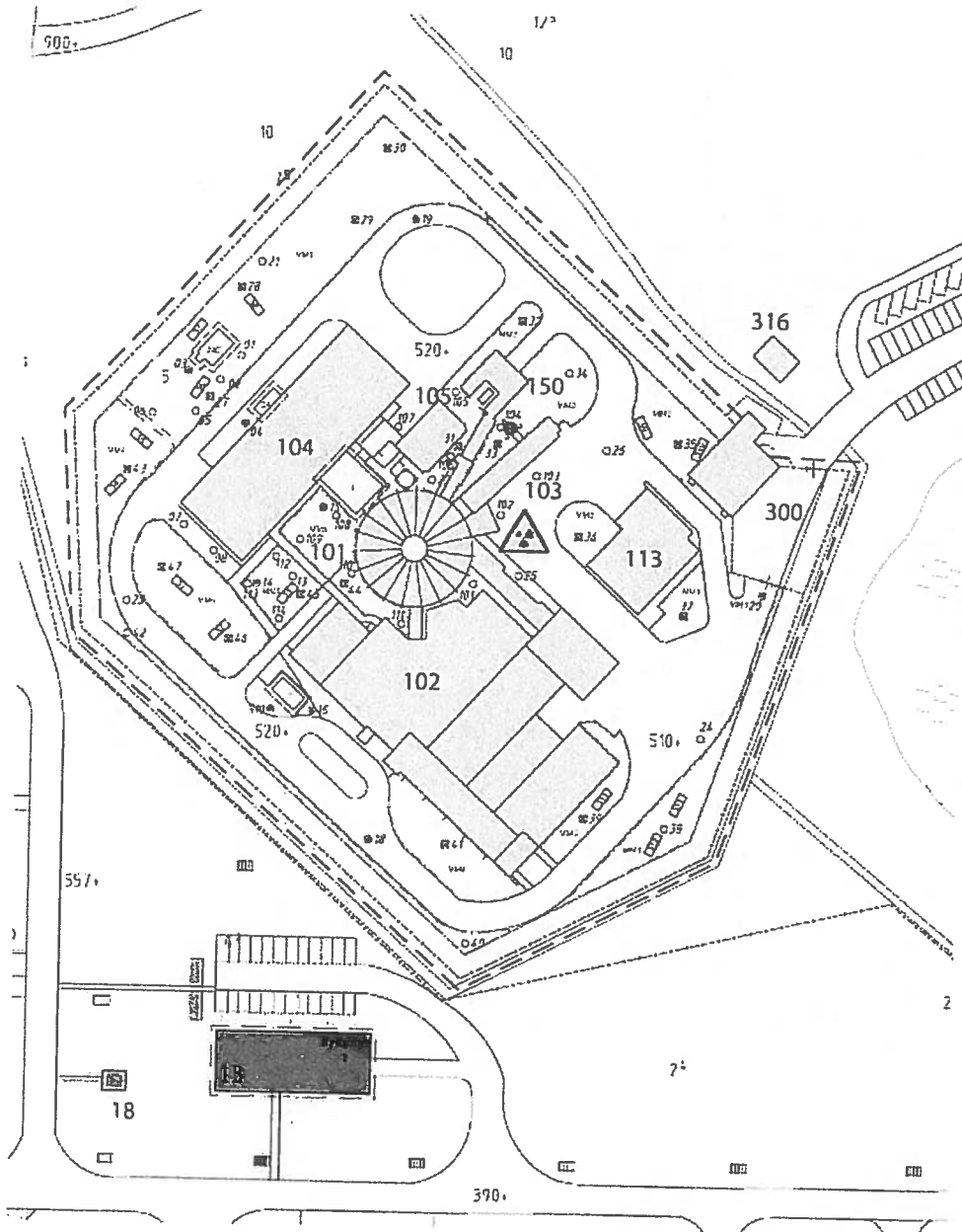
Table 1: Prioritized sources of Tritium.	19
Table 2: Overview Tritium monitoring after discovery and mitigation of tritium leakage pathway.	25
Table 3: Geological profile HFR site.	26

## List of figures

Figure 1: Areal photograph "Onderzoekslocatie Petten" (OLP) (left) and detail HFR site (right).	7
Figure 2: Location of groundwater monitoring wells at the HFR site, mid 2012.	8
Figure 3: Chronology of measurements in monitoring well HGW-2, June 2010- July 2012.	10
Figure 4: Tritium Taskforce project organization.	13
Figure 5: Phases of the Tritium Taskforce Project.	15
Figure 6: Schematic lay-out of pipe-lines and storage tanks containing radioactive liquids.	20
Figure 7: Schematic lay-out of pipe-lines and storage tanks containing radioactive vapors.	20
Figure 8: Uncovered basin water storage tank pipe-lines (left) and observed leak in the 4" line (right)	21
Figure 9: Birds Eye view monitoring wells HFR.	25
Figure 10: Tritium plume distribution after 1, 2, 5 and 12 years (stable end situation). Legend: Tritium concentration (Bq/l).	28
Figure 11: Tritium iso-concentration contour plots versus actual data (upper panel shallow aquifer; lower panel deeper aquifer).	29
Figure 12: Schematic sectional view the preferred option source removal (top) and potential zones for installation of pumped wells (bottom A: deep wells; bottom B: shallow wells in the upper aquifer).	31
Figure 13: Options short list for remediation of the Tritium plume.	35

# Appendix A

## A.1 HFR Site overview



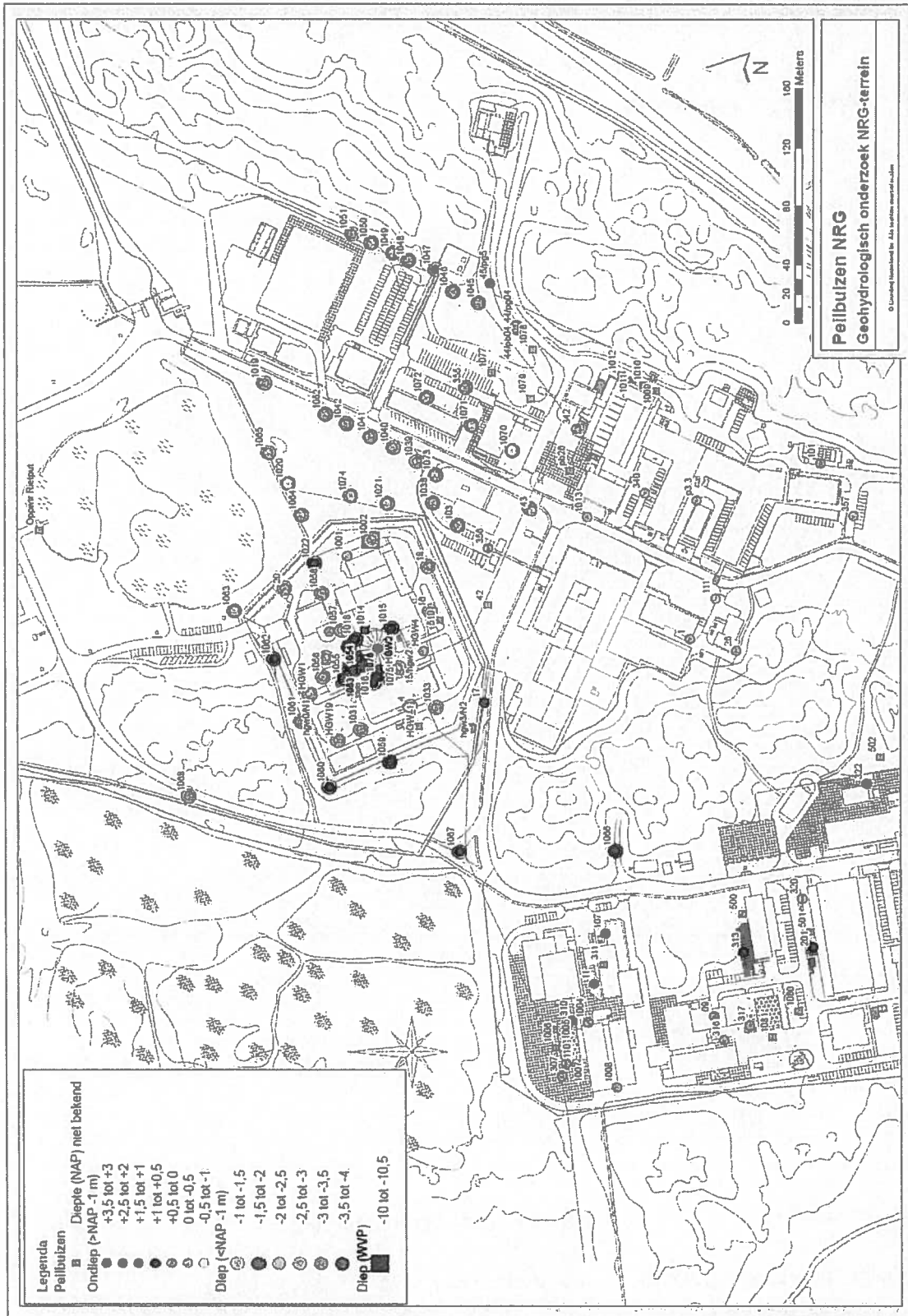
101: Reactor Building

103: Air Treatment Building (LBG)

104: Primary Pump Building (PPG)

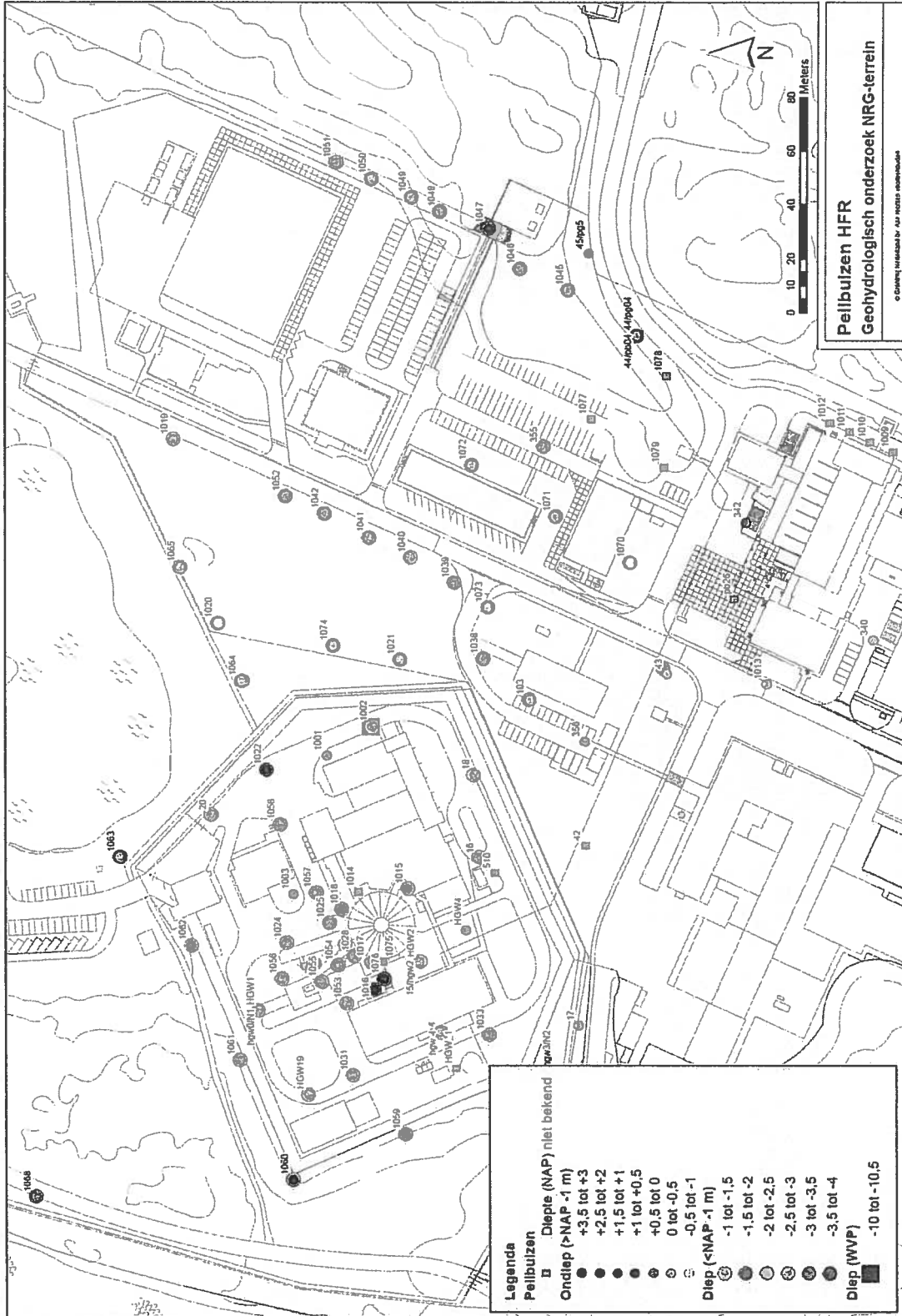
105: Basin Water Storage Tanks Building

A.2 Overview of monitoring wells “Onderzoekslocatie Petten” (OLP).





### A.3 Detailed view of monitoring wells at the HFR



## A.4 Deliverables work packages TTF

### Root Cause analysis

TTF.RCA.01	Identification potential <sup>3</sup> H sources
TTF.RCA.02	System diagrams transport & basin water storage
TTF.RCA.03	System diagrams ventilation & air treatment
TTF.RCA.04	System diagrams HFR & DWT
TTF.RCA.05	(historical) Incidents
TTF.RCA.06	Periodical checks containment, basin water storage & transport systems
TTF.RCA.07	distribution <sup>3</sup> H through stack to environment
TTF.RCA.08	Check/inspection designated potential distribution pathways/sources
TTF.RCA.09	Investigation diffusion <sup>3</sup> H through containment materials
TTF.RCA.10	Prediction groundwater migration using ground modeling (dependent on TTF-MON-03)
TTF.RCA.11	Conclusion on most probable cause
TTF.RCA.12	Verification source and distribution pattern and model (dependent on TTF-MON-06)

### Monitoring program

TTF.MON.01	determination of the boundary of the plume
TTF.MON.02	placement of additional monitoring wells, 1st boundary guard on OLP and 2nd boundary guard OLP border); ground- & groundwater samples
TTF.MON.03	Delivery hydrogeological model
TTF.MON.04	1st results hydrogeological model & model predictions
TTF.MON.05	additional questions
TTF.MON.06	Definitive report Grontmij

### Mitigation & remediation

TTF.MIT.01	Repair & containment options tritium sources
TTF.MIT.02	Legal basis & limit for remediation groundwater
TTF.MIT.03	Interim Evaluation remediation options report
TTF.MIT.04	Final Evaluation remediation option report
TTF.MIT.05	Hot spot removal HFR site

### Impact on operation HFR & OLP

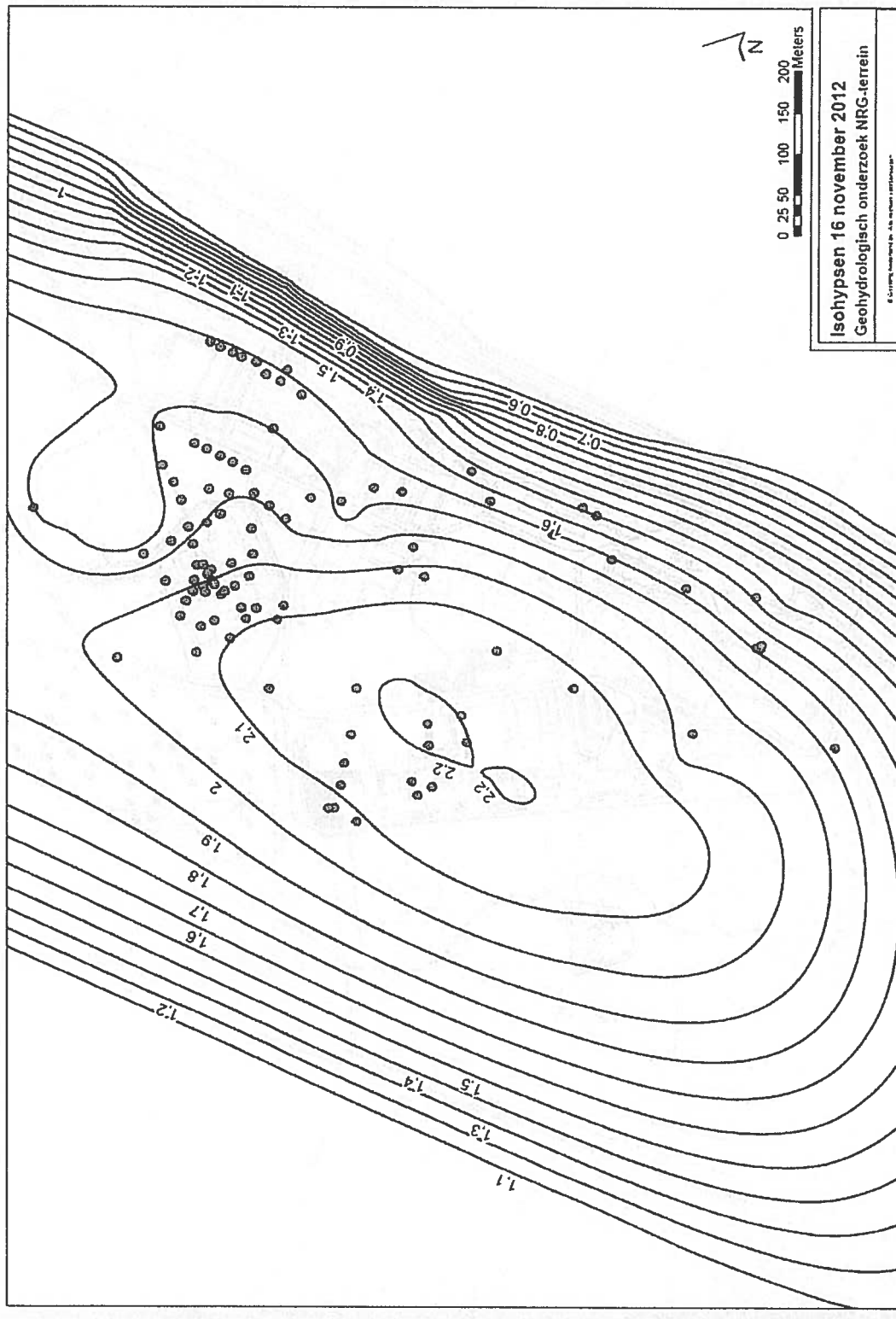
TTF.IMP.01	Scenario's continuation operation HFR
TTF.IMP.02	Lessons learned log
TTF.IMP.03	Update IRSRR (Incident Reporting System Research Reactors)



# A.5 Planning TTF work package deliverables

START	END	DELIVERABLE
15 October 2012		<b>Tritium Tailorize Planning</b>
		TFE.RCA.07 distribution <sup>3</sup> H through stack to environment
		TFE.RCA.08 Checks/inspection designated potential distribution pathways/sources
		TFE.RCA.09 Investigation diffusion <sup>3</sup> H through containment materials
		TFE.RCA.10 Prediction groundwater migration using ground modeling (dependent on TFE-MON-03)
		TFE.RCA.11 Conclusion on most probable cause
		TFE.RCA.12 Verification source and distribution pattern and model (dependent on TFE-MON-06)
		<b>Monitoring program</b>
		TFE.MON.01 determination of the boundary of the plume
		TFE.MON.02 placement of additional monitoring wells, 1st boundary guard on OLP and 2nd boundary guard OLP border; ground & groundwater samples
		TFE.MON.03 Delivery hydrogeological model
		TFE.MON.04 1st results hydrogeological model & model predictions
		TFE.MON.05 additional questions
		TFE.MON.06 Delimitive report (Drommij)
		<b>Mitigation &amp; remediation</b>
		TFE.MIT.01 Repair & containment options tritium sources
		TFE.MIT.02 Legal basis & limit for remediation groundwater
		TFE.MIT.03 Interim Evaluation remediation options report
		TFE.MIT.04 Final Evaluation remediation option report
		TFE.MIT.05 Hot spot removal HFR site
		<b>Impact on operation HFR &amp; OLP</b>
		TFE.IMP.01 Scenario's continuation operation HFR
		TFE.IMP.02 Lessons learned log
		TFE.IMP.03 Update IRSB (Incident Reporting System Research Factory)

A.6 Groundwater Elevation Contour plot OLP





## A.7 Impact on operation HFR and OLP

Scenario	Evidence	Effect	Action	Impact on operation	Financial Impact	Social Impact
1 Historical spill	No actual loss containment No actual loss of containment Loss of containment uncertain loss of containment uncertain	Tritium levels in plume decrease; plume will reach OLP boundary Tritium levels in plume do not decrease; plume will reach OLP boundary Tritium levels in plume decrease; plume will reach OLP boundary Tritium levels in plume do not decrease; plume will reach OLP boundary	possible remediation remediation is necessary possible remediation remediation is necessary	none none Limited though uncertain possible shut down Reactor	possibly high/ short period possibly high/ long period possibly high/ short period possibly high/ long period	Although low levels of Tritium, high perception of risk High perception of risk Although low levels of Tritium, high perception of risk High perception of risk
2 Source of tritium identified	Simple mitigation leakage Simple mitigation leakage mitigation involves temporarily shut down Reactor mitigation involves temporarily shut down Reactor	Tritium levels in plume decrease; plume will reach OLP boundary Tritium levels in plume do not decrease; plume will reach OLP boundary Tritium levels in plume decrease; plume will reach OLP boundary Tritium levels in plume do not decrease; plume will reach OLP boundary	possible remediation remediation is necessary possible remediation remediation is necessary	none none High depending on the time period needed for the repair High depending on the time period needed for the repair	possibly high/ short period possibly high/ long period High. Loss of production and costs of remediation High. Loss of production and costs of remediation	Although low levels of Tritium, high perception of risk High perception of risk Although low levels of Tritium, high perception of risk; unstable medical isotope supply High perception of risk; unstable medical isotope supply
3 Source of tritium not identified		Tritium levels in plume decrease; plume will reach OLP boundary Tritium levels in plume do not decrease; plume will reach OLP boundary	possible remediation remediation is necessary	Temporarily shut down Reactor Temporarily shut down Reactor	High. Loss of production and costs of remediation High. Loss of production and costs of remediation	Although low levels of Tritium, high perception of risk; unstable medical isotope supply High perception of risk; unstable medical isotope supply

## Distribution list

NRG-extern via Manager Licensing

KFD

Ministry of Economic Affairs

ECN

JRC-IE

Covidien

NRG

I&D

Steering committee TTF

Project team TTF

Safety committee

HSC (elektronische kopie via RM)

RVC (elektronische kopie via RM)





**Petten**

+31 (0)224 56 4950  
Westerduinweg 3  
P.O. Box 25  
1755 ZG Petten  
The Netherlands

**Arnhem**

+31 (0) 26 356 85 24  
Utrechtseweg 310  
P.O. Box 9034  
6800 ES Arnhem  
The Netherlands

More information  
[www.nrg.eu](http://www.nrg.eu)  
[info@nrg.eu](mailto:info@nrg.eu)



## **Bijlage 12**

## Voortgangsverslag nr. 2 (29 maart 2013)

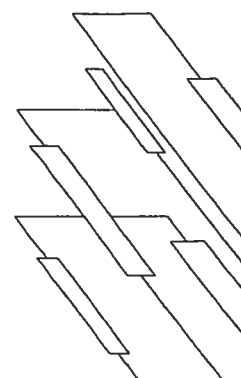
### 1 Tritium Hot Spot Verwijderen

- Per 14 maart is het volume grondwater dat wordt onttrokken verhoogd naar 2 m<sup>3</sup> per dag. In week 11 waren 3 vorstdagen, op deze dagen is geen grondwater onttrokken. Een tweede pomp is in week 12 bijgezet. Door vorst is minder grondwater onttrokken dan gepland. In week 13 waren door aanhoudende vorst de aanvoerslangen bevroren. Om deze reden is niet gestart met grondwater onttrekken. Een overzicht van de verwijderde hoeveelheden grondwater en becquerellen staan in onderstaande tabel:

<b>Activiteit reductie (uitgaande van 10 GBq bronterm)</b>								
Week	Verwijderd volume in m <sup>3</sup>		Cumulatief in m <sup>3</sup>	Verwijderde GBq			Totaal Percentage	
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 1 & 2	Cluster 1	Cluster 2	Totaal	In %	Cumulatief
7	0	4,9	4,9	0,00	0,13	0,13	1,3	1,3
8	0	2,0	6,9	0,00	0,10	0,10	1,0	2,3
9	0	5,0	11,9	0,00	0,14	0,14	1,4	3,8
10	0	5,0	16,9	0,00	0,14	0,14	1,4	5,1
11	0	4,0	20,9	0,00	0,26	0,26	2,6	7,7
12	5,7	6,0	32,5	0,08	0,18	0,26	2,6	10,3
13*	0	0	0	0	0	0	0	10,3

\* Resultaten t/m 26 maart.

- In voortgangsverslag 1 werd melding gedaan van een opgaande trend op locatie 1028. De recente resultaten bevestigen de opgaande trend, zowel op 4 als op 7 meter diep. Op locatie 1028 is sinds 18 maart 2013 3 m<sup>3</sup> onttrokken. Een verklaring kan zijn dat water met een hogere activiteitsconcentratie naar het onttrekkingspunt wordt getrokken. De trend zal de komende weken nauwlettend worden gevolgd.



- De resultaten van de monitoring van het begin van de pluim (locatie 1076) laten zien dat de activiteitsconcentratie met 87% is gedaald op 7 meter diep en 39% op 4 meter diep. In het midden van de pluim (locatie 1002) zijn deze afnames 35% respectievelijk 45%.

Monitoring van de pluim					
Locatie	Datum	Bq/l	Datum	Bq/l	Afname
1076-7	2-11-2012	878	18-3-2013	112	87%
1076-4		71		43	39%
1002-7	11-2-2013	20538	18-3-2013	13390	35%
1002-4		6902		3812	45%

- De maandelijkse monsternamen van 18 peilbuizen buiten het hot spot gebied is uitgevoerd op 21 maart. Per abuis is locatie 1073 niet bemonsterd, deze wordt in de volgende maandmonitoring meegenomen. De resultaten staan in onderstaande tabellen:

Maand	Peilbuizen 4 m diep, Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
Februari	<10	76	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Maart	<10	37	<10	<10	<10	<10	<10	<10	*

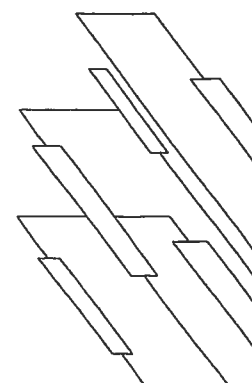
\* Deze locatie is niet bemonsterd. Waarde van locatie 103-1 in nabijheid van 1073 is < 10 Bq/l.

Maand	Peilbuizen 7m diep, Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
Februari	<10	<10	<10	<10	15	12	73	<10	3001
Maart	<10	<10	<10	<10	29	<10	66	<10	*

\* Deze locatie is niet bemonsterd. Waarde van locatie 103-2 in nabijheid van 1073 is < 10 Bq/l.

Op locatie 2 is de concentratie in de peilbuis van 4 meter diep afgenomen ten opzichte van de vorige waarneming. Op locatie 20 is de concentratie in de peilbuis van 7 meter diep gestegen en is hiermee de hoogste waarde van vier waarneming sinds 24 oktober 2012. Gezien de resultaten op locatie 1063 (beide peilbuizen <10 Bq/l) bevindt de grens van de tritiumpluim zich nog steeds tussen locatie 20 en 1063.

- Aanvankelijk was het plan om het 'hot spot verwijderen' te laten duren tot eind maart. Om de periode tot aan de definitieve sanering te overbruggen is besloten om het 'hot spot verwijderen' te verlengen tot de maximale duur van zes maanden. Dit betekent dat de actie zal duren tot en met 11 augustus 2013.



- Om ook grondwater met hoge tritiumactiviteitsconcentraties onder de HFR gebouwen te kunnen onttrekken wordt een peilbuis bijgeplaatst. Deze peilbuis zal zich in het hart van de tritiumpluim bevinden. Na beschikbaar hebben van de eerste meetresultaten wordt beoordeeld of deze locatie wordt opgenomen in het 'hot spot verwijderen'.

## 2 Tritium kwartaalmonitoring

- De kwartaalmonsters zijn genomen op 21 maart. Een aantal peilbuislocaties valt samen met de hierboven vermelde maandmonsters. De resultaten van de overige peilbuislocaties staan in onderstaande tabellen:

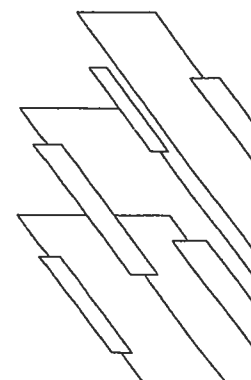
<b>Kwartaal</b>	<b>Peilbuizen 4 m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.</b>						
	16	103	1031	1063	1077	1078	1079
<b>Q1</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

<b>Kwartaal</b>	<b>Peilbuizen 7 m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.</b>						
	16	103	1031	1063	1077	1078	1079
<b>Q1</b>	<10	<10	<10	<10	22	<10	<10

- Met een waarde van 22 Bq/l in peilbuis 1077 wordt vastgesteld dat de piek aan de oostzijde van de pluim is opgeschoven. De voorgaande waarde op locatie 1077 van 28 dec 2012 was <10 Bq/l. In de volgende maandmonitoring wordt locatie 355 ter controle bemonsterd. Locatie 355 licht oostelijke ten opzicht van locatie 1077.

## 3 Herstel leidingwerk:

- De werkzaamheden voor het herstel van het leidingwerk is op 18 maart gestart. De betonnen vloer is gestort. De bekisting voor de wanden is aangebracht. De werkzaamheden liggen op schema.
- Documentatie:  
 Verzonden documentatie 13 maart: Aardbevingsanalyse betongoot.  
 Verwachte verzending naar KFD 29 maart: Aardbevingsanalyse leidingwerk.  
 Verwachte verzending naar KFD 8 april: Kwalificatie leidingwerk voor montage.



# **Bijlage 13**

## Voortgangsverslag nr. 3 (06 mei 2013)

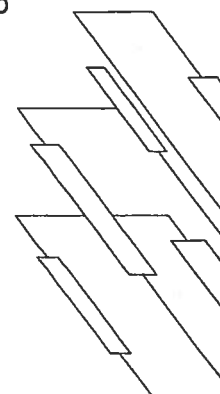
### 1 Tritium Hot Spot Verwijderen

- Een overzicht van de verwijderde hoeveelheden grondwater en becquerellen staan in onderstaande tabel:

Activiteit reductie (uitgaande van 10 GBq bronterm)								
Week	Verwijderd volume in m <sup>3</sup>		Cumulatief in m <sup>3</sup>	Verwijderde GBq			Afname in %	Cumulatieve % afname
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 1 & 2	Cluster 1	Cluster 2	Totaal		
7 t/m 11	0	20,9	20,9	0,00	0,77	0,77	7,7	7,7
12 t/m 16	31,2	32,0	63,2	0,20	2,00	2,20	22,0	29,7
17	10,0	9,6	19,6	0,12	0,36	0,48	4,8	34,5
18*	8,0	6,0	14,0	0,07	0,33	0,40	4,0	38,5

\* Resultaten t/m 30 april.

- In voortgangsverslag 1 werd melding gedaan van een opgaande trend op locatie 1028 (verhoging van 11494 naar 16283 Bq/l). In voortgangsverslag 2 werd een mogelijke opgaande trend bevestigd. Sinds 19 maart is uit deze peilbuis 7 m<sup>3</sup> grondwater verwijderd. De waarden van de laatste metingen op locatie 1028 voor de peilbuizen 4 en 7 meter diep zijn ver beneden de 1000 Bq/l. Een eventueel nieuwe bron is hiermee uitgesloten.
- Op 10 april is gestopt met hot spot verwijderen op cluster 1, de waarden van beide peilbuizen 4 en 7 meter diep op locaties 1026 en 1028 zijn lager dan 10000 Bq/l.
- Op 3 april 2013 zijn nieuwe peilbuizen geslagen in de nabijheid van de HFR gebouwen. Deze locatie is gelabeld met nummer 1082, zie bijlage 1. De waarden van de eerste monsternamen op 4 april zijn respectievelijk voor de buizen 4 en 7 meter diep 2506 Bq/l en 2295 Bq/l. De verwachting was dat deze waarden hoger zouden liggen omdat locatie 1082 in het verlengde ligt van de hoge concentraties op locaties 1018 en 1025. De waarde op locatie 1082 ligt echter op het huidige niveau van locatie 1002 dat in het verlengde van de stroombaan ligt.



- De maandelijkse monstername van 18 peilbuizen buiten het hot spot gebied is uitgevoerd op 23 april. De resultaten staan in onderstaande tabellen:

Maand	Peilbuizen - 4 m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
Februari	<10	76	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Maart	<10	37	<10	<10	<10	<10	<10	<10	*
April	<10	35	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

\* Deze locatie is niet bemonsterd. Waarde van locatie 103-1 in nabijheid van 1073 is < 10 Bq/l.

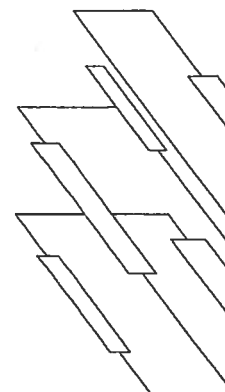
Maand	Peilbuizen - 7m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
Februari	<10	<10	<10	<10	15	12	73	<10	3001
Maart	<10	<10	<10	<10	29	<10	66	<10	*
April	<10	<10	<10	<10	51	<10	31	<10	1524

\* Deze locatie is niet bemonsterd. Waarde van locatie 103-2 in nabijheid van 1073 is < 10 Bq/l.

- Op locatie 20 is de concentratie in de peilbuis van 7 meter diep gestegen. Dit is een stijgende trend sinds de eerste waarnemingen van 24 oktober 2012.
  - Op locaties 1024 en 1073 zijn de concentraties in de peilbuizen van 7 meter met de helft gezakt.
  - De overige locaties geven een stabiel beeld.
- In voortgangsverslag 2 werd melding gedaan van een verhoging in peilbuis 7 meter op locatie 1077, van 0 naar 22 Bq/l. Ter controle zijn bij de maandmonstername extra monsters genomen om de verspreiding in dit gebied in beeld te brengen. De resultaten van deze extra monstername staan in onderstaande tabellen:

Extra monsters	Peilbuizen 4 m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.						
	355	1021	1038	1039	-	-	-
April	<10	1967	<10	<10	-	-	-

Extra monsters	Peilbuizen 7 m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.						
	355	1021	1038	1039	-	-	-
April	<10	10615	11	743	-	-	-



- Op locatie 1021 is de concentratie in de peilbuis van 4 meter gestegen naar 1967 Bq/l. In de peilbuis van 7 meter diep is de waarde gestegen naar 10615 Bq/l. Voorgaande concentraties op 26 oktober 2012 voor 4 en 7 meter zijn respectievelijk <10 en 23 Bq/l. Als directe actie is op de dag dat deze waarden bekend werden een pompinstallatie geïnstalleerd om grondwater op te pompen en af te voeren. Op moment van schrijven is per 26 april is 8 m<sup>3</sup> onttrokken en afgevoerd. Dit volume omvat ongeveer 74 MBq.
- De voorgaande metingen van peilbuis 1038 en 1039 zijn van 16 november 2012. De waarden in de 4 / 7 meter peilbuizen waren respectievelijk <10 / 23 Bq/l en <10 / 463 Bq/l. De stijging in de 7 meter peilbuis op locatie 1039 is opmerkelijk ten opzichte van de daling in de 7 meter peilbuis op locatie 1073 van dezelfde datum. Deze buis ligt slechts enkele meters ten zuiden verder. In de maandmonitoring van mei worden de locaties 355, 1021, 1039, 1071, 1072, 1077 bemonsterd om de verspreiding in de punt van de pluim te volgen.

## 2 Tritium kwartaalmonitoring

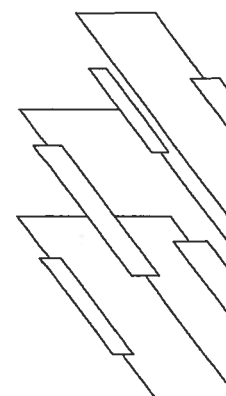
- Er zijn deze maand geen kwartaalmonsters genomen. Voor het tweede kwartaal is de monsternamen gepland in juni.

## 3 Herstel leidingwerk:

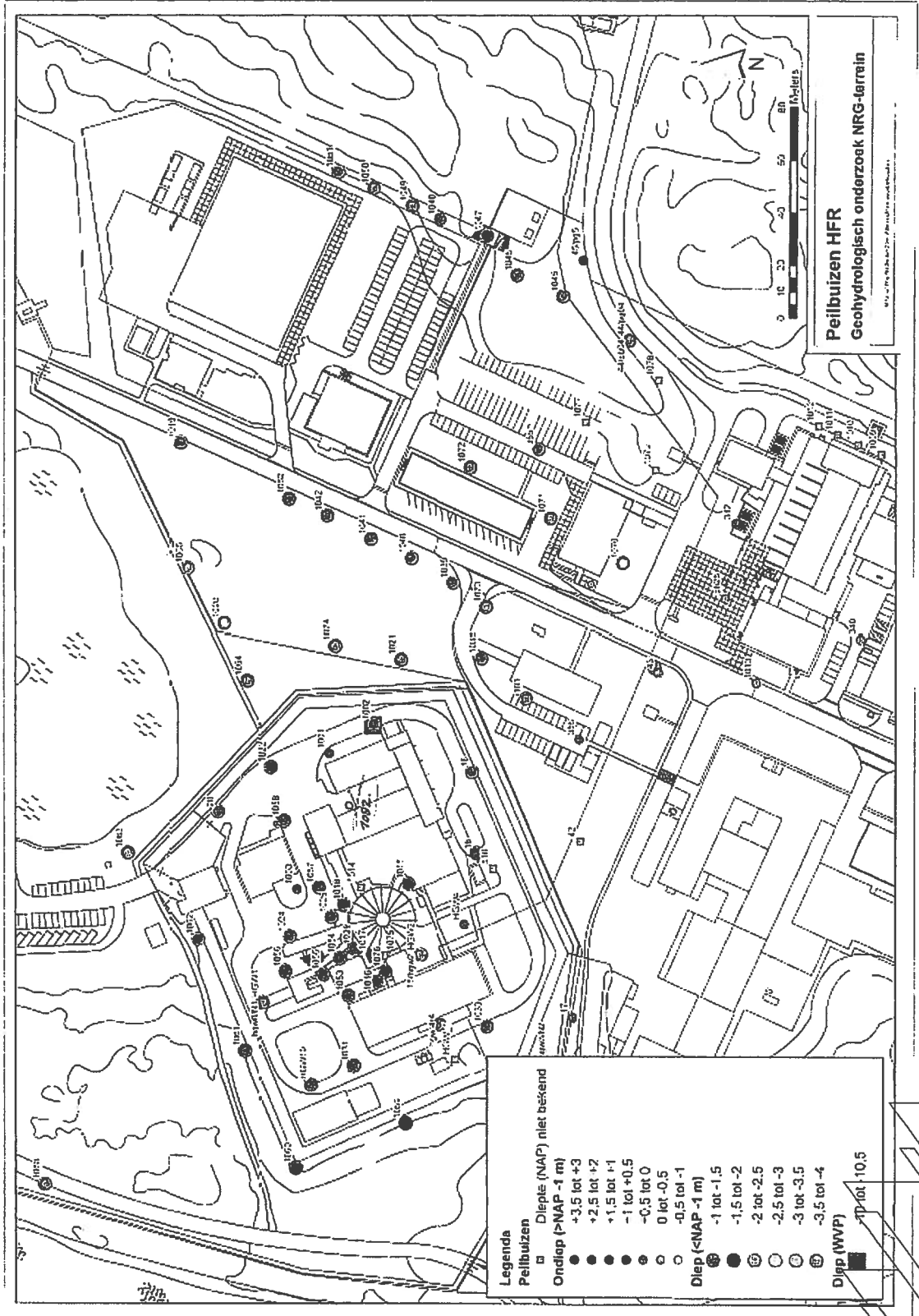
- De werkzaamheden voor het herstel van het leidingwerk is op 18 maart gestart. De betonnen vloer, wanden en deksel zijn gestort. De laswerkzaamheden om het nieuwe leidingwerk aan de oude leidingen te monteren zijn in week 18 gestart. De werkzaamheden liggen op schema.

## Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht van peilbuislocatie NRG terrein







# **Bijlage 14**

## notitie

aan : KFD

van :

kopie :

datum : 7-6-2013

referentie : 25213 /13.120602

onderwerp : Voortgangsverslag [4]: Tritium Hot Spot Verwijderen / Monitoring / Herstel  
leidingwerk

LS

Hierbij stuur ik u het voortgangsverslag, dd. 07 jun 2013 betreffende de werkzaamheden van Tritium activiteiten.

Met vriendelijke groet



## Voortgangsverslag nr. 4 (07 juni 2013)

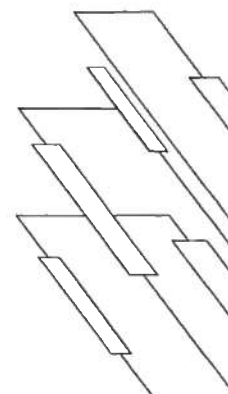
### 1 Tritium Hot Spot Verwijderen

- De verwijderde hoeveelheden grondwater en becquerellen staan in onderstaande tabel:

<b>Activiteit reductie (uitgaande van 10 GBq bronterm)</b>								
Week	Verwijderd volume in m <sup>3</sup>		Cumulatief in m <sup>3</sup>	Verwijderde GBq			Afname in %	Cumulatieve % afname
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 1 & 2	Cluster 1	Cluster 2	Totaal		
7 t/m 11	0	20,9	20,9	0,00	0,77	0,77	7,7	7,7
12 t/m 16	31,2	32,0	63,2	0,20	2,00	2,20	22,0	29,7
17 t/m 21	60,0	68,6	212,7	0,40	2,90	3,30	33,5	63,2
22	14,0	20,0	246,7	0,05	0,58	0,63	6,3	69,5

- Op 20 mei is het volume dat per dag per pompstelling wordt opgepompt verhoogd van 2 naar 3 kuub.
- Op locatie 1018 wordt per 26 mei in het weekend doorgepompt.
- Op 10 april is gestopt met hot spot verwijderen op locaties 1026 en 1028. Dit zijn de locaties die het dichtste bij het lek lagen. Op 27 mei zijn beide locaties bemonsterd. De resultaten voor de 4 en 7 meter buizen van locatie 1026 zijn respectievelijk: 136 en 28 Bq/l. Voor locatie 1028; 19 en 227 Bq/l.
- De hoogste waarden bevinden zich op locatie 1018 en 1025. Monsterdatum 27 mei:
  - 1018-4: 19968 Bq/l; 1018-7: 29687 Bq/l
  - 1025-4: 78 Bq/l; 1025-7: 4571 Bq/l.

Voorlopig wordt alleen doorgepompt op locatie 1018.



- De maandelijkse monsternamen van 18 peilbuizen buiten het hot spot gebied is uitgevoerd op 27 mei. De resultaten staan in onderstaande tabellen:

Maand	Peilbuizen - 4 m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
<b>Februari</b>	<10	76	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Maart</b>	<10	37	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-
<b>April</b>	<10	35	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Mei</b>	<10	17	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Maand	Peilbuizen - 7m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
<b>Februari</b>	<10	<10	<10	<10	15	12	73	<10	3001
<b>Maart</b>	<10	<10	<10	<10	29	<10	66	<10	-
<b>April</b>	<10	<10	<10	<10	51	<10	31	<10	1524
<b>Mei</b>	<10	<10	<10	<10	25	<10	<10	<10	940

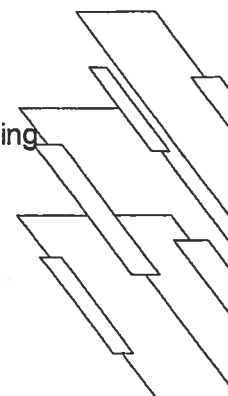
- Alle bemonsterde locaties geven een stabiel beeld of een dalende trend aan.
- Extra monsternamen is uitgevoerd om een beeld te krijgen van de verplaatsing in de punt van de tritiumpluim. De resultaten van deze extra monsternamen staan in onderstaande tabellen:

Extra monsters	Peilbuizen 4 m diep, Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.							
	355	1021	1038	1039	1040	1071	1072	1077
<b>April</b>	<10	1967	<10	<10	<10	-	-	-
<b>Mei</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Extra monsters	Peilbuizen 7 m diep Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.							
	355	1021	1038	1039	1040	1071	1072	1077
<b>April</b>	<10	10615	11	743	<10	-	-	-
<b>Mei</b>	<10	4935*	<10	2307	<10	281	<10	21

\* Waarde afkomstig uit de buffertank

- Op locatie 1021 is direct na vaststellen van de verhoging (23 april) een pompopstelling geplaatst om grondwater te onttrekken. Per 31 mei 2013 is 66 kuub grondwater onttrokken. Dit volume heeft een reductie van 53% gerealiseerd.



- De locaties 1073, 1039 en 1040 liggen op één lijn, zie bijlage. De lengtemiddenlijn van de pluim loopt vermoedelijk precies door locatie 1039 gezien de stijging op 7 meter diepte. Op locatie 1040 wordt geen verhoging waargenomen, op locatie 1073 nemen de concentraties af. De concentratie verlaging op locatie 1073 kan niet volledig worden veroorzaakt door het onttrekken van grondwater op locatie 1021. Deze trend heeft zich namelijk al ingezet sinds februari 2013. Als extra monstername bij de kwartaalmonitoring wordt locatie 1070 bemonsterd.

## 2 Tritium kwartaalmonitoring

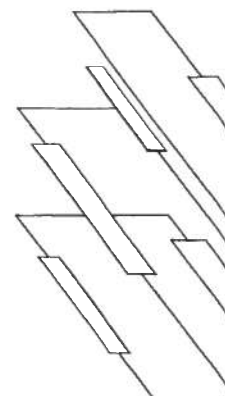
- Deze maand zijn geen kwartaalmonsters genomen. Voor het tweede kwartaal is de monstername gepland op 23 juni.

## 3 Herstel leidingwerk:

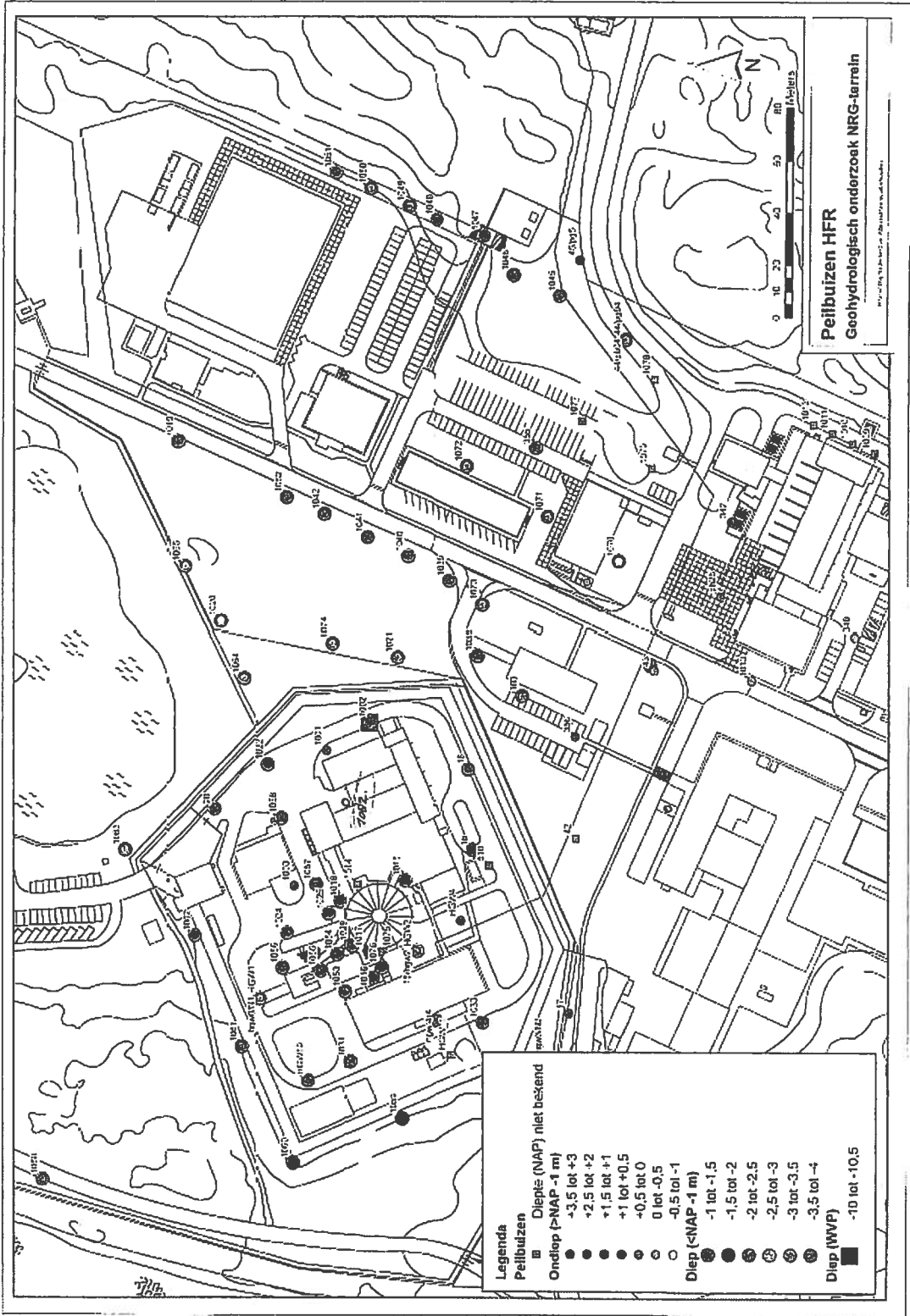
- De drain- en vulleiding van de bassintransportkoelleidingen zijn, na ontvangst van 'geen bezwaar', in gebruik genomen.

## Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht van peilbuislocatie NRG terrein



Bijlage 1: Overzicht van peilbuislocatie NRG terrein



# **Bijlage 15**





# Rapportage Grondwatermonitoring Radionucliden Juni 2013

NRG Petten

In opdracht van Business Units I&D en R&E

rev. nr.	datum	Omschrijving
A		

auteur(s): \_\_\_\_\_ reviewed: \_\_\_\_\_

naam: \_\_\_\_\_ goedgekeurd: \_\_\_\_\_

referentienr.: K5004.13/121115

19 pages 20-8-2013

© NRG 2013

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

# Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Bemonstering en analyse	9
2.1 Bemonsteringsplan	9
2.2 Scope van analyse	9
2.3 Monsternamen Peilbuizen	9
2.4 Analyses	9
2.4.1 Gammaspectrometrie	9
2.4.2 Tritium	9
3 Resultaten	11
4 Conclusies	13
Verzendlijst	15

## Samenvatting

In lijn met het grondwatermonitoringsprogramma voor 2013<sup>1</sup> zijn eind juni 2013 bij de NRG faciliteiten HFR, HCL, WSF, DWT en LFR grondwatermonsters genomen.

De grondwatermonsters zijn op twee manieren geanalyseerd: een gammaspectrometrische analyse en een tritiumanalyse.

Geen enkele gammaspectrometrische analyse van de monsters uit de peilbuizen wijst op een verontreiniging van het grondwater met de gemeten radionucliden.

Zoals verwacht is er in drie monsters (peilbuizen 1015-2, 1028-1 en 1028-2) tritium aangetoond. Deze drie peilbuizen bevinden zich namelijk binnen de contouren van de tritiumverontreiniging van het HFR-terrein. Deze resultaten zullen als informatie worden gebruikt binnen het project voor monitoren van de tritiumpluim bij de HFR.

Voor alle andere bemonsterde peilbuizen geldt dat geen enkele analyse resulteert in een waarde boven de detectiegrens. Bij deze monsters is er dus geen aanwijzing op verontreiniging met tritium.

---

<sup>1</sup> Programma Grondwatermonitoring Radionucliden OLP, NRG Petten 2013

# 1 Inleiding

NRG bemonstert periodiek het grondwater rond relevante faciliteiten en analyseert deze op relevante radionucliden. NRG ziet de monitoring van grondwater als een *good practice*. Na een start bij de HFR in 2010 is dit initiatief in 2011 uitgebreid met een periodieke monitoring van het grondwater bij andere relevante NRG faciliteiten.

Doelstelling van deze onderzoeken is om het grondwater nabij relevante faciliteiten met regelmaat te analyseren op eventuele radioactieve verontreiniging. Hierbij gaat het om faciliteiten waar vloeibaar radioactief afval en/of actief water wordt opgeslagen, waardoor een risico op grondwaterverontreiniging bestaat in een onverhoopt geval van falen van containment.

De WSF kijkt af op het punt van vloeibaar afval. In de WSF wordt slechts *vast* radioactief afval opgeslagen. Desondanks ziet NRG het als toegevoegde waarde om ook peilbuizen in de nabijheid van de WSF te monitoren

De bemonsteringen en analyses in deze rapportage vinden plaats volgens het Programma Grondwatermonitoring Radionucliden OLP en zijn eind juni 2013 uitgevoerd.

## 2 Bemonstering en analyse

### 2.1 Bemonsteringsplan

In het Programma Grondwatermonitoring Radionucliden OLP zijn in de nabijheid van HCL, WSF, DWT en LFR 32 peilbuizen geselecteerd. Deze peilbuizen bevinden zo veel als mogelijk in de buurt en stroomafwaarts van een relevante faciliteit of object.

De filters van deze peilbuizen bevinden zich in het freatische deel van het grondwater. Dit grondwaterpakket bevindt zich grofweg tussen de 4 en 7 meter onder maaiveldniveau. Met 23 peilbuizen uit deze selectie wordt de bovenste meter van het grondwater bemonsterd. Met 9 peilbuizen worden uit de onderste meter van dit grondwaterpakket monsters genomen.

In de bijlagen zijn overzichtstekeningen opgenomen van deze peilbuizen.

### 2.2 Scope van analyse

Gezien de specifieke processen van NRG richten de analyses van de grondwatermonsters zich op Cesium-137, Cobalt-60 en Tritium.

### 2.3 Monsternamen Peilbuizen

Voor het bemonsteren van de peilbuizen is de firma Grontmij ingeschakeld. Grontmij is erkend voor het uitvoeren van dergelijk veldwerk onder de procescertificaten BRL SIKB 2000 en BRL SIKB 2002.

### 2.4 Analyses

#### 2.4.1 Gammaspectrometrie

Voor de gammaspectrometrische bepaling van radionucliden in de monsters wordt gebruik gemaakt van meetopstellingen met high-purity germanium detectoren in een lage-achtergrond omgevingsafscherming. De bepalingen worden uitgevoerd conform NVN-5623, waarbij gebruik wordt gemaakt van referentiebronnen met bekende activiteiten van de te bepalen radionucliden in dezelfde geometrieën.

#### 2.4.2 Tritium

De tritiumanalyse wordt uitgevoerd volgens NEN 6420. Hierbij wordt het monster gedestilleerd waarna het destillaat gemeten wordt op een TRICARB 2700 TR Liquid Scintillation Analyzer.

### 3 Resultaten

Op 23 tot en met 26 juni 2013 werden uit 30 van de 32 selecteerde peilbuizen grondwatermonsters genomen. In de onderstaande tabel worden de analyseresultaten per peilbuis weergegeven. De resultaten van de gammaspectrometrische en tritiumanalyses worden per monster gerapporteerd door R&E Laboratory Services en zijn ter inzage beschikbaar bij de afdeling QSE.

Tabel 1. Analyseresultaten Grondwater 23 – 26 juni 2013

Gebouw	Peilbuissnr.	K-40	Co-60	Cs-137	<sup>3</sup> H
HFR	2-1	0,7 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	0,1 <sup>MDA</sup>	< 10
	2-2	1,5 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	3-1	1 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	3-2	1,4 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
	4-1	1,3 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	4-2	1,9 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
	16-1	0,9 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	< 10
	16-2	0,8 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	1015-1	1,5 <sup>MDA</sup>	0,14 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	1015-2	1,4 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	961*
	1018-1	X	X	X	X
	1018-2	X	X	X	X
	1028-1	1,1 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	0,1 <sup>MDA</sup>	41*
	1028-2	1,4 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	307*
HCL	1009	1,3 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	1010	0,9 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	< 10
	1011	1,1 <sup>MDA</sup>	0,1 <sup>MDA</sup>	0,1 <sup>MDA</sup>	< 10
	1012	1 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,09 <sup>MDA</sup>	< 10
	1013	1,4 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
DWT	11	1,4 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	107	0,9 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,07 <sup>MDA</sup>	< 10
WSF	110	1,4 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	< 10
	307	1,2 <sup>MDA</sup>	0,1 <sup>MDA</sup>	0,1 <sup>MDA</sup>	< 10
	310	1,6 <sup>MDA</sup>	0,14 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	< 10
	1004	1,5 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	1007	1,9 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
	1008	0,5 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	< 10
STEKHAL	9	1,2 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	0,1 <sup>MDA</sup>	< 10
LFR	1080-1	0,9 <sup>MDA</sup>	0,07 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	< 10
	1080-2	0,8 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	0,12 <sup>MDA</sup>	< 10
	1081-1	1,3 <sup>MDA</sup>	0,13 <sup>MDA</sup>	0,11 <sup>MDA</sup>	< 10
	1081-2	0,6 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	0,08 <sup>MDA</sup>	< 10

## 4 Conclusies

Geen enkele gammaspectrometrische analyse van de monsters uit de peilbuizen wijst op een verontreiniging van het grondwater met de geselecteerde radionucliden. Alle resultaten geven een waarde lager dan de MDA en zijn dus lager dan in een gammaspectrometrische bepaling gedetecteerd kan worden.

Zoals verwacht is er in drie monsters (peilbuizen 1015-2, 1028-1 en 1028-2) tritium aangetoond. Deze drie peilbuizen bevinden zich namelijk binnen de contouren van de tritiumverontreiniging van het HFR-terrein. Deze resultaten zullen als informatie worden gebruikt binnen het project voor monitoren van de tritiumpluim bij de HFR.

Voor alle andere bemonsterde peilbuizen geldt dat geen enkele analyse resulteert in een waarde boven de detectiegrens. Bij deze monsters is er dus geen aanwijzing op verontreiniging met tritium.

# Verzendlijst

## Business Unit I&D

Business Unit Manager I&D

Manager I&D-Labs

Manager I&D-HFR

Manager I&D-HSE

LSD I&D-HFR

Manager Licensing I&D-HFR

LSD I&D Labs

## Business Unit RE

Business Unit Manager RE

Manager RE-DWT

Manager RE-HSE

LSD RE

## Pallas Projectteam

Manager Licensing

## QSE

Manager QSE

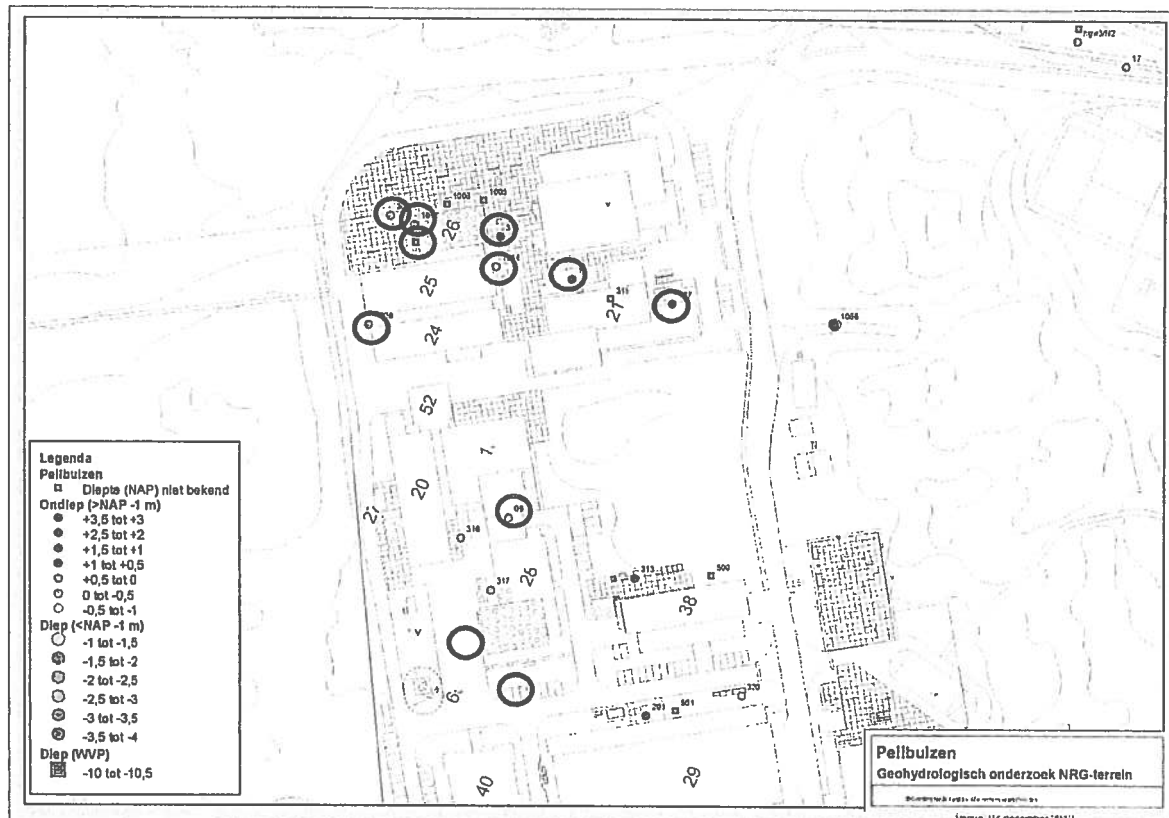
Algemeen Stralingsdeskundige

Adviseur Milieu



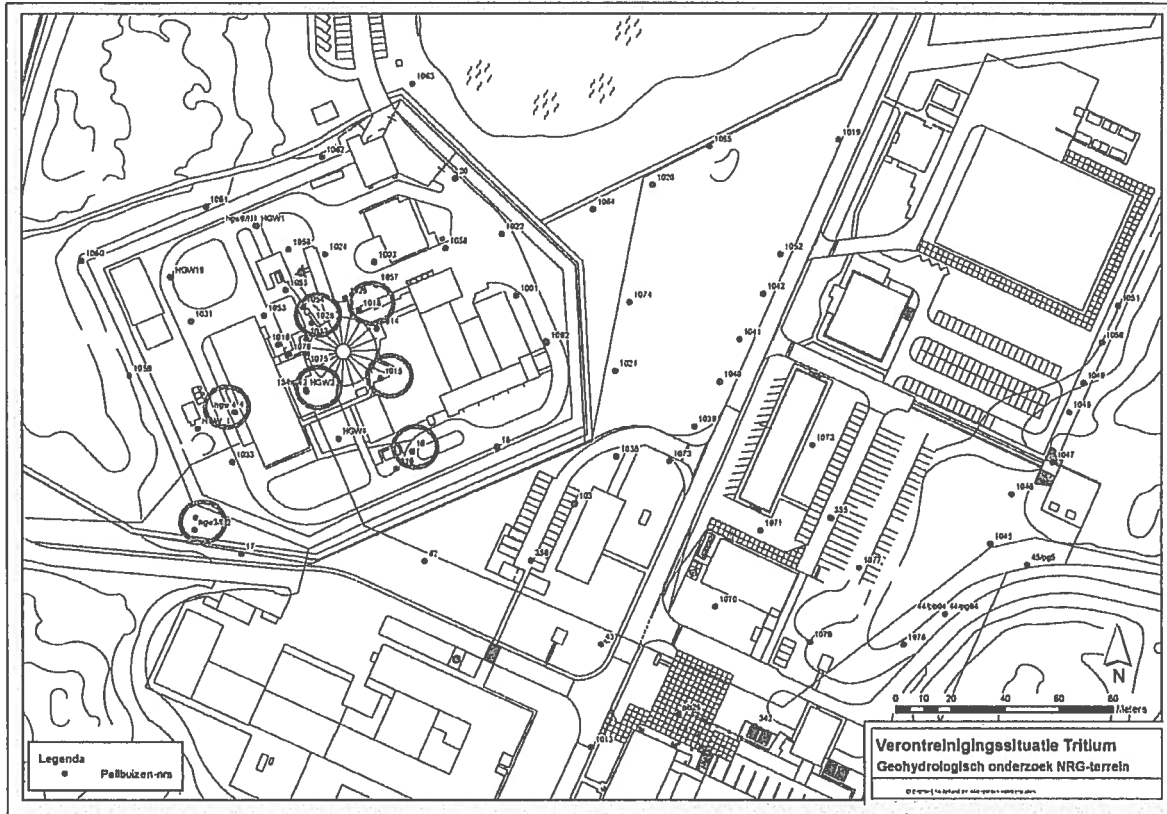
# Bijlage A

Locaties van peilbuizen nabij WSF, DWT en LFR. De omcirkelde peilbuizen zijn bemonsterd.



# Bijlage C

Tekening peilbuislocaties HFR terrein. De omcirkelde peilbuizen zijn bemonsterd.



# **Bijlage 16**

## notitie

aan : KFD

van :

kopie :

datum : 4-7-2013

referentie : 25213 /13.121025

onderwerp : Voortgangsverslag [5]: Tritium Hot Spot Verwijderen / Monitoring / Herstel  
leidingwerk

LS

Hierbij stuur ik u het voortgangsverslag, dd. 04 jul 2013 betreffende de werkzaamheden van Tritium activiteiten.

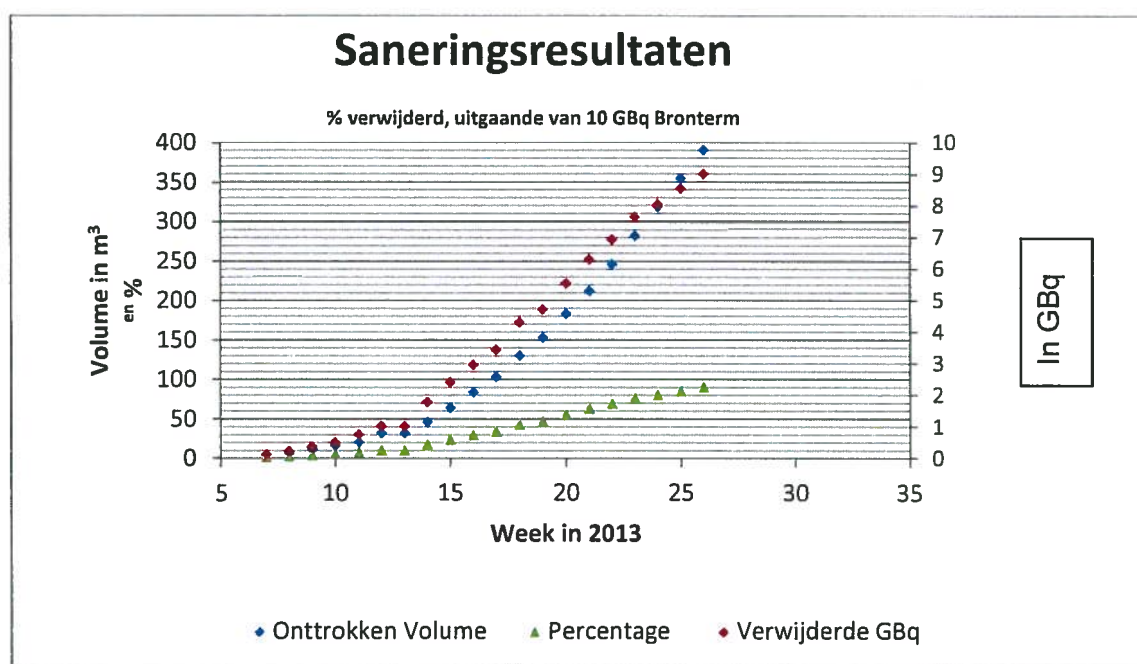
Met vriendelijke groet

## Voortgangsverslag nr. 5 (04 juli 2013)

### 1 Tritium Hot Spot Verwijderen

- De verwijderde hoeveelheden grondwater en becquerellen staan in onderstaande tabel en grafiek:

Activiteit reductie (uitgaande van 10 GBq bronterm)								
Week	Verwijderd volume in m <sup>3</sup>		Cumulatief in m <sup>3</sup>	Verwijderde GBq			Afname in %	Cumulatieve % afname
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 1 & 2	Cluster 1	Cluster 2	Totaal		
7 t/m 11	0	20,9	20,9	0,00	0,77	0,77	7,7	7,7
12 t/m 16	31,2	32,0	63,2	0,20	2,00	2,20	22,0	29,7
17 t/m 21	60,0	68,6	212,7	0,40	2,90	3,30	33,5	63,2
22	14,0	20,0	246,7	0,05	0,58	0,63	6,3	69,5
23	15,0	21,0	282,7	0,07	0,64	0,71	7,1	76,6
24	15,0	21,0	318,7	0,06	0,34	0,40	4,0	80,6
25	15,0	21,0	354,7	0,06	0,44	0,50	5,0	85,5
26	15,0	21,0	390,7	0,06	0,39	0,46	4,6	90,1



- De waarde van de 10 GBq bronterm wordt op dit moment door Grontmij geëvalueerd. Zodra de nieuwe waarde bekend is worden de saneringsresultaten opnieuw berekend.

- In onderstaande tabellen staan de resultaten van de sanering per 'hot spot' locatie .  
Deze locaties waren in december 2012 aangemerkt als 'hot spot'.  
(Definitie 'hot spot': activiteitsconcentraties > 10.000 Bq/l in peilbuizen van 7 meter diep).

<i>Hot spot's</i>	<i>Hot spot locaties 4 m diep , concentraties in Bq/l</i>						
	1028	1026	1025	1018	1014	1057	1002
<b>Januari 2013</b>	588	6350	4667	105363	83	72	6902
<b>Juni 2013</b>	41	2053	312	458	29	79	1376

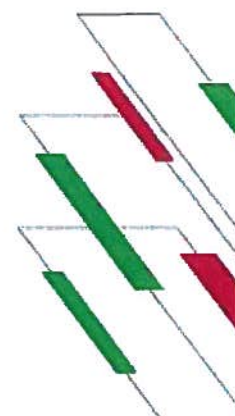
<i>Hot spot's</i>	<i>Hot spot locaties 7 m diep , concentraties in Bq/l</i>						
	1028	1026	1025	1018	1014	1057	1002
<b>Januari 2013</b>	6254	194199	58713	30120	11308	17933	20538
<b>Juni 2013</b>	307	2302	388	17321	468	92	710

- Alleen locatie 1018 peilbuis 7 meter heeft nog een waarde > 10.000 Bq/l.

- De hoogste activiteitsconcentraties bevinden zich op dit moment op de locaties 1018 en 1021. Locatie 1021 ligt iets buiten het HFR terrein. De waarden staan in onderstaande tabel vermeld:

<i>Hoogste concentraties</i>	<i>Tritiumactiviteitsconcentraties in Bq/l</i>			
	1018-4	1018-7	1021-4	1021-7
<b>Juni</b>	458	17321	16	6594

- Alleen op deze twee locaties wordt grondwater onttrokken en afgevoerd.

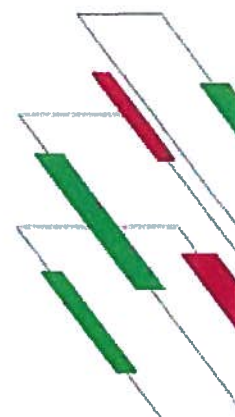


- De maandelijkse monsternamen van 18 peilbuizen buiten het hot spot gebied is uitgevoerd op 24 juni. De resultaten staan in onderstaande tabellen, de locaties van de bemonsterde peilbuizen staan in bijlage 1:

Maand monstername	Peilbuizen - 4 m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
<b>Februari</b>	<10	76	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Maart</b>	<10	37	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-
<b>April</b>	<10	35	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Mei</b>	<10	17	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Juni</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Maand monstername	Peilbuizen - 7m diep , Tritiumactiviteitconcentratie in Bq/l.								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
<b>Februari</b>	<10	<10	<10	<10	15	12	73	<10	3001
<b>Maart</b>	<10	<10	<10	<10	29	<10	66	<10	-
<b>April</b>	<10	<10	<10	<10	51	<10	31	<10	1524
<b>Mei</b>	<10	<10	<10	<10	25	<10	<10	<10	940
<b>Juni</b>	<10	<10	<10	<10	29	<10	<10	<10	821

- Alle bemonsterde locaties geven een stabiel beeld of een dalende trend aan.
- Hoewel uit de peilbuizen van locatie 1073 nooit grondwater is onttrokken, blijft de dalende trend op deze locatie zich voortzetten. De concentraties in de 4 meter diepe peilbuis zijn sinds begin 2013 kleiner dan 10 Bq/l.





- Extra monsternamen zijn uitgevoerd om een beeld te krijgen van de verplaatsing in de punt van de tritiumpluim. Een aantal van de locaties vallen samen met de kwartaalmonitoring. De resultaten van de extra monsternamen staan in onderstaande tabellen:

<b>Extra monsternamen</b>	<b>Peilbuizen 4 m diep, Tritiumactiviteitsconcentratie in Bq/l.</b>							
	355	1021	1038	1039	1040	1071	1072	1077
<b>April</b>	<10	1967	<10	<10	<10	-	-	-
<b>Mei</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	355	1021	1073	1070	1040	1079	1083	1077
<b>Juni</b>	<10	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10

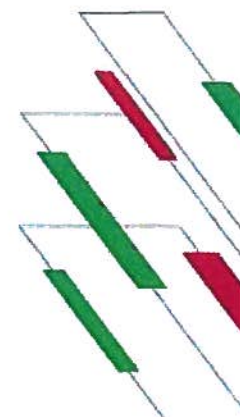
<b>Extra monsternamen</b>	<b>Peilbuizen 7 m diep Tritiumactiviteitsconcentratie in Bq/l.</b>							
	355	1021	1038	1039	1040	1071	1072	1077
<b>April</b>	<10	10615	11	743	<10	-	-	-
<b>Mei</b>	<10	4935*	<10	2307	<10	281	<10	21
	355	1021	1073	1070	1040	1079	1083	1077
<b>Juni</b>	<10	6594	821	<10	<10	<10	25	28

\* Waarde afkomstig uit de buffertank

- Uit de lage waarden uit peilbuizen 1072- en 1083-7 meter diep blijkt dat de pluim in oostelijke richting is verplaatst. De zuidelijk gelegen peilbuizen 1070, 1079 en de noordelijke peilbuizen op locatie 355 zijn allemaal kleiner dan 10 Bq/l.

## 2 Tritium kwartaalmonitoring

- De kwartaalmonsters voor het tweede kwartaal zijn genomen op 25 en 26 juni. Alle peilbuizen van de locaties 16, 1031 en 1079 hebben concentraties lager dan 10 Bq/l. De resultaten van de overige kwartaalmonsters op het NRG terrein (peilbuizen 1077 en 1079) staan vermeld in de tabellen 'Extra monsternamen'.



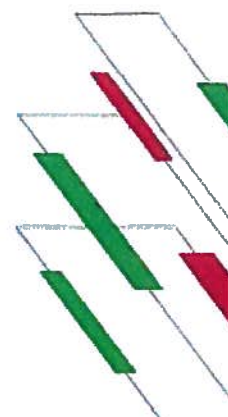


### 3 Herstel leidingwerk:

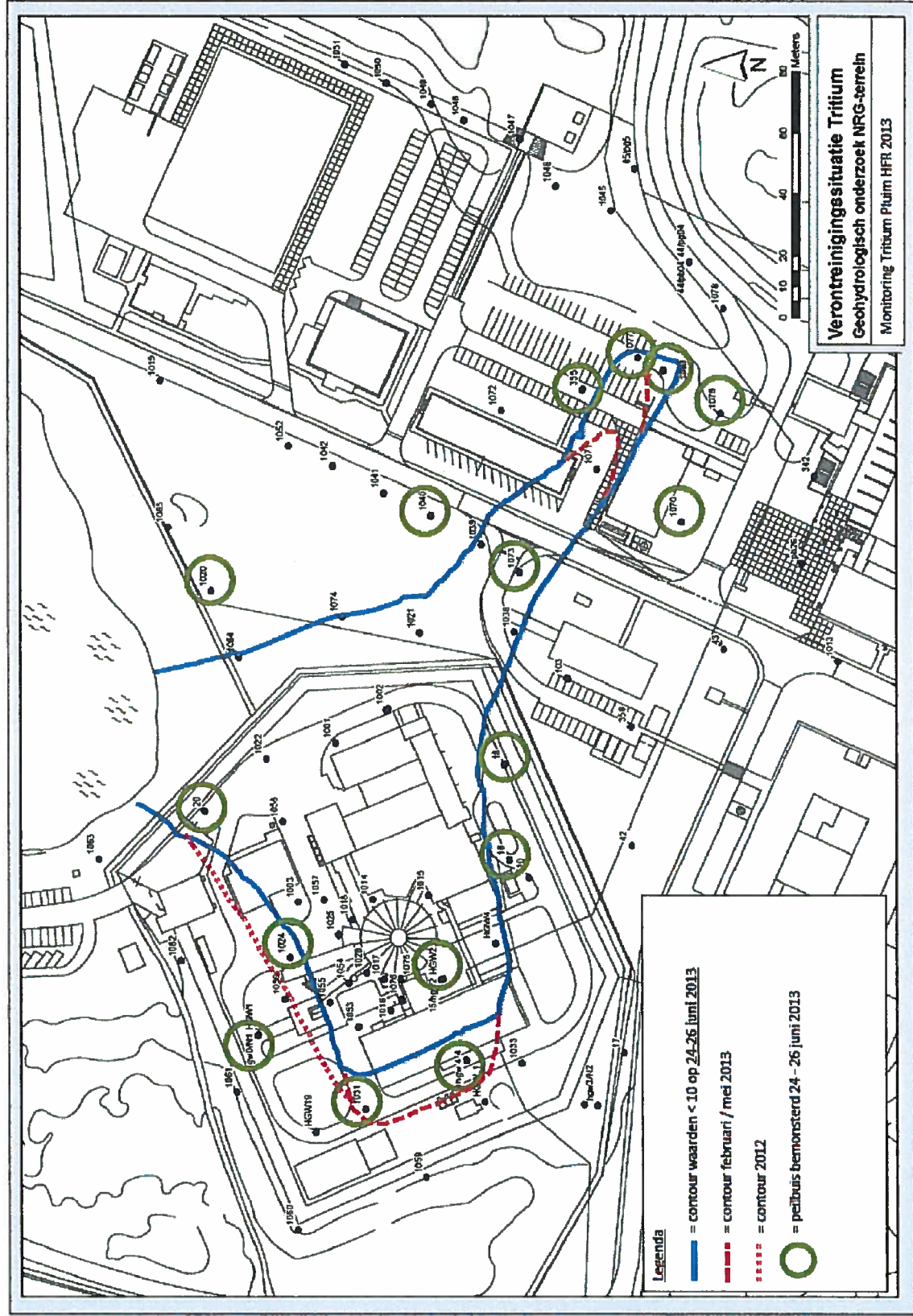
- De drain- en vulleiding van de bassinwater transportleidingen zijn, na ontvangst van 'geen bezwaar', in gebruik genomen. Door de nieuw aangebrachte betonnenbak komen ook de warm-drainleiding uit het LBG en de regeneratieleidingen naar de harsbedden te liggen. Een wijzigingsvoorstel voor deze modificatie is in voorbereiding.

## Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht van peilbuislocaties en contourwaarden op het NRG terrein



Bijlage 1: Overzicht van peilbuislocaties en contourwaarden op het NRG terrein



## **Bijlage 17**

**notitie**

aan : KFD

van :

kopie :

datum : 9-8-2013

referentie : 25213 /13.121511

onderwerp : Voortgangsverslag [6]: Tritium Hot Spot Verwijderen / Monitoring / Herstel  
leidingwerk

LS

Hierbij stuur ik u het voortgangsverslag, dd. 09 augustus 2013 betreffende de werkzaamheden van Tritium activiteiten.

Met vriendelijke groet

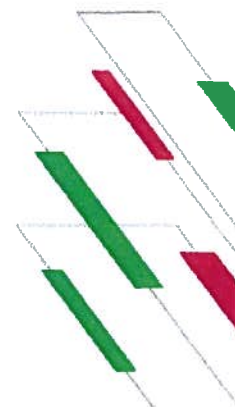


## Voortgangsverslag nr. 6 (09 augustus 2013)

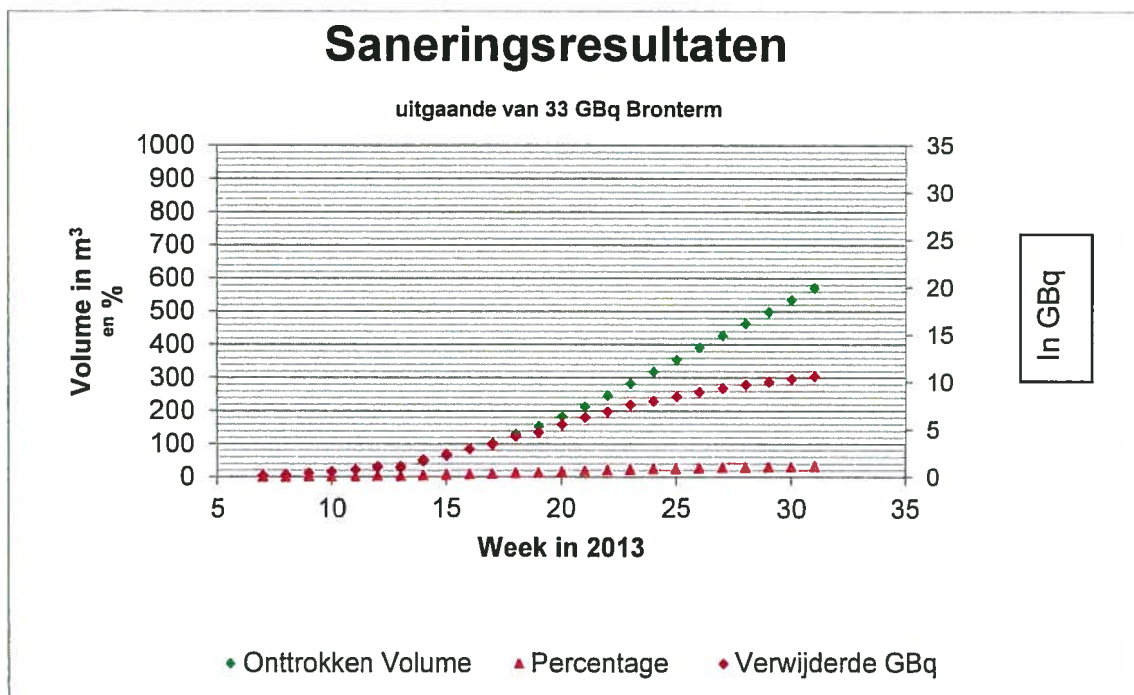
### 1 Tritium Hot Spot Verwijderen

- Grontmij heeft een evaluatie van de bronterm uitgevoerd. Na interpolatie van de analyseresultaten tot en met januari 2013 wordt geschat dat de bronterm circa 33 GBq moet zijn. De voorgaande schatting van de bronterm (10 GBq) was gebaseerd op de waargenomen leksnelheid met een extrapolatie over 10 jaar. Het december rapport van Grontmij leek dit te bevestigen omdat daar abusievelijk 4 Gbq was gerapporteerd terwijl 43 Gbq in het model was ingevoerd. Het verschil tussen de toenmalige bronterm (43 GBq) en de huidige schatting wordt veroorzaakt door verfijning van het model en invoer van meer meetdata.
- De verwijderde hoeveelheden grondwater en activiteit staan in onderstaande tabel en grafiek op basis van de aangepaste bronterm:

Activiteits-reductie (uitgaande van 33 GBq bronterm)								
Week	Verwijderd volume in m <sup>3</sup>		Cumulatief in m <sup>3</sup>	Verwijderde GBq			Afname in %	Cumulatieve % afname
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 1 & 2	Cluster 1	Cluster 2	Totaal		
7 t/m 11	0	20,9	20,9	0,00	0,77	0,77	2,3	2,3
12 t/m 16	31,2	32,0	84,1	0,23	1,96	2,20	6,7	9,0
17 t/m 21	60,0	68,6	212,7	0,44	2,91	3,30	10,0	19,0
22 t/m 26	74,0	104,0	390,7	0,30	2,39	2,69	8,2	27,2
27 t/m 31	75,0	105,0	570,7	0,26	1,40	1,65	5,0	32,2





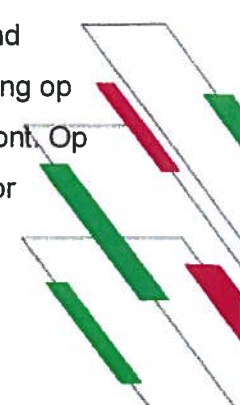


- In onderstaande tabellen staan de resultaten van de sanering per 'hot spot' locatie . Deze locaties waren in december 2012 aangemerkt als 'hot spot'. (Definitie 'hot spot': activiteitsconcentraties > 10.000 Bq/l in peilbuizen van 7 meter diep).

Hot spot's	Hot spot locaties 4 m diep , concentraties in Bq/l						
	1028	1026	1025	1018	1014	1057	1002
Januari 2013	588	6350	4667	105363	83	72	6902
Juni 2013	41	2053	312	458	29	79	1376
Juli 2013	117	355	33	190	80	34	1480

Hot spot's	Hot spot locaties 7 m diep , concentraties in Bq/l						
	1028	1026	1025	1018	1014	1057	1002
Januari 2013	6254	194199	58713	30120	11308	17933	20538
Juni 2013	307	2302	388	17321	468	92	710
Juli 2013	830	870	248	9180	479	42	1260

- Alle locaties hebben inmiddels lagere activiteitsconcentraties dan de theoretische 'hot spot' definitie van 10.000 Bq/l.
- De waarden op locatie 1002 en 1028 zijn ten opzicht van de voorgaande maand toegenomen. Op beide locaties wordt geen grondwater onttrokken. De verhoging op locatie 1002 kan verklaart worden door opschuiven van het tritiumvervuilingsfront. Op locatie 1028 is nieuwe bestrating aangebracht, neerslag kan hier niet meer voor verdringing van de vervuiling zorgen.



- De hoogste activiteitsconcentraties bevinden zich op dit moment op de locaties 1018 en 1021. Locatie 1021 ligt iets buiten het HFR terrein. De waarden worden vermeld in onderstaande tabel:

<b>Hoogste concentraties</b>	<b>Tritiumactiviteitsconcentraties in Bq/l</b>			
	1018-4	1018-7	1021-4	1021-7
<b>Juni</b>	458	17321	16	6594
<b>Juli</b>	190	9180	<10	2680

- Deze maand werd alleen op deze twee locaties grondwater onttrokken en afgevoerd. De activiteitsconcentraties zijn sterk gedaald.
- De maandelijkse monsternamen van 18 peilbuizen buiten het hot spot gebied is uitgevoerd op 1 augustus. De resultaten staan in onderstaande tabellen, de locaties van de bemonsterde peilbuizen staan in bijlage 1:

<b>Maand monstername</b>	<b>Peilbuizen - 4 m diep , Tritiumactiviteitsconcentratie in Bq/l.</b>								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
<b>Februari</b>	<10	76	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Maart</b>	<10	37	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-
<b>April</b>	<10	35	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Mei</b>	<10	17	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Juni</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Juli</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

<b>Maand monstername</b>	<b>Peilbuizen - 7m diep , Tritiumactiviteitsconcentratie in Bq/l.</b>								
	1	2	4	18	20	1020	1024	1040	1073
<b>Februari</b>	<10	<10	<10	<10	15	12	73	<10	3001
<b>Maart</b>	<10	<10	<10	<10	29	<10	66	<10	-
<b>April</b>	<10	<10	<10	<10	51	<10	31	<10	1524
<b>Mei</b>	<10	<10	<10	<10	25	<10	<10	<10	940
<b>Juni</b>	<10	<10	<10	<10	29	<10	<10	<10	821
<b>Juli</b>	<10	<10	<10	<10	57	<10	<10	<10	630

- Alle bemonsterde locaties geven een stabiel beeld of een dalende trend aan.
- Hoewel uit de peilbuizen van locatie 1073 nooit grondwater is onttrokken, blijft de dalende trend op deze locatie zich voortzetten. De concentraties in de 4 meter diepe peilbuis zijn sinds begin 2013 kleiner dan 10 Bq/l.

- Extra monsternamen zijn uitgevoerd om een beeld te krijgen van de verplaatsing in de punt van de tritiumpluim. De resultaten van de extra monsternamen staan in onderstaande tabellen. Voor de locaties van de bemonsterde peilbuizen wordt verwezen naar bijlage 1.

<b>Extra monsternamen</b>	<b>Peilbuizen 4 m diep, Tritiumactiviteitsconcentratie in Bq/l.</b>							
	355	1021	1038	1039	1040	1071	1072	1077
<b>April</b>	<10	1967	<10	<10	<10	-	-	-
<b>Mei</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	355	1021	1073	1070	1040	1079	1083	1077
<b>Juni</b>	<10	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	1001	1021	1071	1039	1078	1079	1083	1077
<b>Juli</b>	2330	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

<b>Extra monsternamen</b>	<b>Peilbuizen 7 m diep Tritiumactiviteitsconcentratie in Bq/l.</b>							
	355	1021	1038	1039	1040	1071	1072	1077
<b>April</b>	<10	10615	11	743	<10	-	-	-
<b>Mei</b>	<10	4935*	<10	2307	<10	281	<10	21
	355	1021	1073	1070	1040	1079	1083	1077
<b>Juni</b>	<10	6594	821	<10	<10	<10	25	28
	1001	1021	1071	1039	1078	1079	1083	1077
<b>Juli</b>	-	2680	349	5150	<10	<10	35	67

\* Waarde afkomstig uit de buffertank

- De punt van de pluim bevindt zich tussen locatie 1083 en 1078. De concentraties in de diepe buizen van locatie 1077 en 1083 zijn verhoogd ten opzichte van de vorige maand. In de peilbuizen van locatie 1078 is nog geen tritium aangetoond.
- Locatie 1001 heeft één peilbuis van 4 meter diep. Het resultaat van de analyse was 2330 Bq/l. De voorgaande waarde was 240 Bq/l in oktober 2012. Waarschijnlijk komt dit door opschuiven van het tritiumvervuilingsfront met de grondwaterstroming mee. Een andere mogelijke verklaring is dat door verdamping van water uit het nabij gelegen meertje in combinatie met de geringe neerslag in juli de grondwaterstroom tijdelijk van oostelijke naar noordelijke richting verbreedt.





- De concentratie in de peilbuis van locatie 1039 7 meter diep is verdubbeld naar 5150 Bq/l. Met de vaststelling van deze waarde is besloten de grondwater onttrekking te verplaatsen van locatie 1021 (concentratie 2680 Bq/l) naar locatie 1039.
- Op locatie 1002 is een monster genomen uit de peilbuis van 15 meter diep. Deze peilbuis bemonstert het diepe watervoerende pakket onder de kleilaag. Het resultaat van de huidige analyse is 19 Bq/l en is vergelijkbaar met de drie voorgaande metingen in oktober en november 2012 ( 22, 20 en 17 Bq/l).

## 2 Tritium kwartaalmonitoring

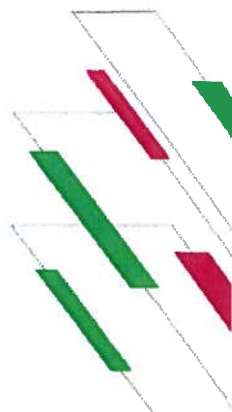
- De kwartaalmonsters voor het derde kwartaal staan gepland in september.

## 3 Herstel leidingwerk:

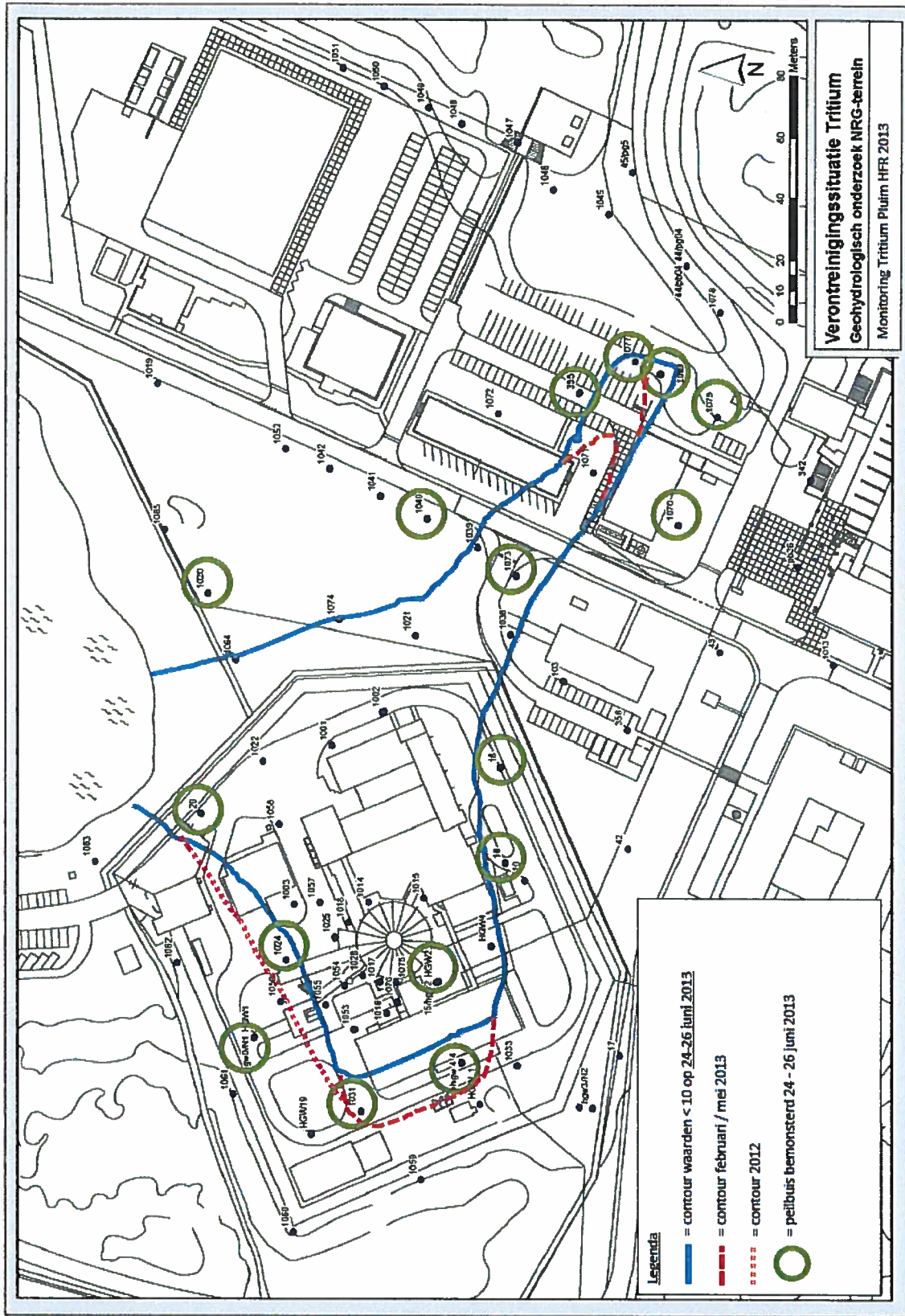
- Een wijzigingsvoorstel voor de modificatie van de warm-drainleiding uit het LBG en de regeneratieleidingen naar de harsbedden is aangeboden aan KFD ter informatie.

## Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht van peilbuislocaties en contourwaarden op het NRG terrein, situatie juni 2013.



Bijlage 1: Overzicht van peilbuislocaties en contourwaarden op het NRG terrein, situatie juni 2013



# **Bijlage 18**

# Verwijderen van 'Tritium Hot Spots' op het HFR- terrein

Werkplan

**Vertrouwelijk**

In opdracht van Tritium Task Force

rev. nr.	datum	omschrijving
F	20 september 2013	Aanpassingen na nieuwe inzichten
E	05 februari 2013	Na verwerken aanvullend commentaar KFD
D	24 januari 2013	Na verwerken commentaar KFD
C	11 januari 2013	Na verwerken intern commentaar
B	27 december 2012	Na verwerken commentaar
A	30 november 2012	1 <sup>e</sup> concept voor interne review

auteur(s):

reviewed:

naam: Werkplan\_Hot Spots  
verwijderen\_F.docx

goedgekeurd:

referentienr.: NRG-25209 60 / 12 117391

25 pages 20-9-2013

© NRG 2013



Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

## Inhoudsopgave

Inhoudsopgave		3
Samenvatting		5
Lijst van afkortingen		7
Inleiding		9
1	Doel en uitgangspunten	12
1.1	'Tritium Hot Spots'	13
2	Ontwerp verwijderen tritium 'hot spots'	14
2.1	Opzet van de aanpak	14
2.1.1	Selectie van peilbuizen	14
2.1.2	Onttrekkingsvolume	15
2.1.3	Monitoren van effecten	15
2.1.4	Duur van de operatie	16
2.2	Voorwaarden	16
2.2.1	Veiligheid, gezondheid en milieu	16
2.2.2	Organisatorisch	17
2.2.3	Stralingshygiënische risico's	17
2.2.4	Vergunningen	18
3	Werkwijze	19
3.1	Oppompen	19
3.2	Opslag	19
3.3	Afvoeren	19
3.4	Monitoring	20
3.5	Decontaminatie	20
3.6	Omgang met tritiumhoudend grondwater	20
Referenties		21
Bijlage A	Overzicht van peilbuislocaties en contourwaarden op het NRG terrein, situatie augustus 2013	23



Bijlage B	Analyseresultaten Grondwater	24
Bijlage C	HSE Taak-risico analyse	25



## Samenvatting

Met de vaststelling van sterk verhoogde tritiumconcentraties in grondwater op het HFR terrein eind september 2012, is een uitgebreid onderzoek gestart om de omvang vast te stellen, de oorzaak te achterhalen en verdere verspreiding te voorkomen. Deze activiteiten zijn georganiseerd in het Tritium Task Force team. Een van de opdrachten van dit team is het onderzoeken van de mogelijkheden om tot sanering te komen.

NRG heeft de activiteiten voor verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in twee fasen gedeeld. Fase 1 is het verwijderen van 'hot spots' en Fase 2 is de definitieve sanering. In de definitieve sanering ligt de focus op het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in het gehele verspreidingsgebied.

Dit document beschrijft de werkwijze die gehanteerd wordt bij het verwijderen van de 'hot spots'.

Samengevat omvat de procedure voor het verwijderen van 'tritium hot spots':

- er wordt gebruik gemaakt van twee mobiele pompopstellingen,
- het onttrekkingsvolume is maximaal 3 m<sup>3</sup>/ per dag per pompopstelling,
- beide pompen zullen worden voorzien van een eigen bufferopslag van ten minste 1 m<sup>3</sup>,
- de gebufferde opgepompte hoeveelheden grondwater worden dagelijks opgehaald door de 4 m<sup>3</sup> tankwagen van het DWT,
- per week zal maximaal 36 m<sup>3</sup> grondwater naar het DWT afgevoerd.

Met revisie F van dit document worden de aanpassingen in de werkwijze beschreven om de effectiviteit van het hot spot saneren te onderhouden. Deze aanpassingen zijn gedaan op basis van de opgedane kennis en ervaring en betreffen het verhogen van het onttrekkingsvolume van 2 naar 3 m<sup>3</sup> per dag en doorpompen met één pompopstelling in het weekend. Verder is het monitoringschema aangepast om het effect van de verplaatsing van de tritiumverontreiniging beter te kunnen volgen.

NRG





## Lijst van afkortingen

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
DWT	Decontamination and Waste Treatment
EPA	Environmental Protection Agency
HGW	HFR Grondwater
HFR	Hoge Flux Reactor
I&D	Irradiation & Development
Kew	Kernenergiewet
KFD	Kern Fysische Dienst
LBG	Lucht Behandelings Gebouw
NFPA	National Fire Protection Association
OLP	Onderzoeks Locatie Petten
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
Re	Radiotoxiciteitsequivalent
TRA	Taak Risico Analyse
TTF	Tritium Task Force
VTS	Veiligheids Technische Specificaties HFR
WVO	Wet Verontreiniging Oppervlaktewater

NRG



## Inleiding

Met de vaststelling van de sterk verhoogde tritiumconcentraties in grondwater op het HFR terrein eind september 2012 is een uitgebreid onderzoek gestart om de oorzaak te lokaliseren en de omvang vast te stellen. Deze activiteiten zijn georganiseerd in het Tritium Task Force team [1]. Een van de opdrachten van dit team is het onderzoeken van de mogelijkheden om verspreiding van de tritiumvervuiling te voorkomen en hoe sanering uit te voeren.

In een vergelijkbaar geval van tritium in grondwater, dat is opgetreden in de Verenigde Staten (Brookhaven), wordt in de “lessons learned” [2] geadviseerd om zo snel mogelijk te starten met het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater op locaties waar de hoogste concentraties worden gemeten (‘hot spots’). Inhoudelijk betekent dit dat het grondwater uit de ‘hot spots’ wordt opgepompt, eventueel opgeslagen en vervolgens afgevoerd. Uitstellen van ‘hot spot’ sanering kan lijden tot een complexere sanering nadien.

NRG heeft de activiteiten voor verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in twee fasen verdeeld. Fase 1 is het verwijderen van de ‘hot spots’ en Fase 2 is de definitieve sanering. Met het verwijderen van grondwater uit de ‘hot spots’ wordt een begin gemaakt met het verwijderen van grondwater met de hoogste tritiumactiviteitsconcentraties. In de definitieve sanering ligt de focus op het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater in het gehele verspreidingsgebied.

Het doel van het werkplan is het vastleggen van de afwegingen die zijn gevolgd om de tritium ‘hot spots’ te verwijderen. Het werkplan geeft informatie over het doel, uitgangspunten, de onderbouwing van de methode en onder welke voorwaarden het werk mag worden uitgevoerd. De werkzaamheden zullen worden uitgevoerd door NRG-medewerkers. Voor de uitvoering van de werkzaamheden zal een specifieke werkinstructie worden opgesteld. Verder dient er een Interne Toestemming van de Algemeen Stralingsdeskundig te zijn.

Bij het opstellen van Revisie F van dit document is inmiddels zeven maanden ervaring opgedaan. In deze periode is ook de uitgangssituatie gewijzigd. De initieel gedefinieerde hot spots zijn allemaal lager dan de theoretische 10.000 Bq/l grens. De contouren van het verontreinigde gebied zijn enigszins gewijzigd, zie bijlage 3.6Bijlage A. Om de effectiviteit van het hot spot verwijderen te onderhouden zijn enkele aanpassingen noodzakelijk. Waaronder verhogen van het dagelijks onttrekkingsvolume en doorpompen in het weekend. Verder is het monitoringschema aangepast om het effect van de verplaatsing van de tritiumverontreiniging beter te kunnen volgen.

Het werkplan is bedoeld om intern goedkeuring te krijgen voor de gevolgde aanpak.

NRG





## 1 Doel en uitgangspunten

Het primaire doel van het verwijderen van tritium 'hot spots' is het verlagen van de tritium-activiteitsconcentratie om langdurige en complexere sanering te voorkomen. Het tweede doel is erop gericht om het effect van de grondwateronttrekking op het concentratieverloop in de tijd vast te stellen. Het onttrekken van grondwater in het verontreinigde gebied zal een stroming van schoon grondwater veroorzaken naar het onttrekkingspunt. De aanvoer van dit grondwater zal een verdunning veroorzaken waarmee de activiteitsconcentratie van het tritium afneemt.

Het initiële doel van het verwijderen van grondwater op 'hot spots' locaties was het direct verlagen van de hoge tritiumactiviteitsconcentratie op de 'hot spot' locaties. Door het sterk reduceren van de tritiumconcentraties ten gevolge van hot spot sanering en het verplaatsen van de pluim is de strategie gewijzigd in zoveel mogelijk tritiumactiviteit te verwijderen en verplaatsing van de pluim en een complexere sanering van het grondwater in de toekomst te voorkomen.

Uitgangspunten:

- Het grondwater dat onttrokken zal worden wordt geclassificeerd als bedrijfsafvalwater,
- Met het onttrekken van grondwater wordt er van uitgegaan dat in het verontreinigde gebied een stroming ontstaat naar de onttrekkingspunten. Door deze stroming wordt schoon en verontreinigd grondwater aangevoerd waarmee de activiteitsconcentratie afneemt.
- Het doel is niet een vrijstellingslimiet te bereiken, dit volgt in de latere sanering.
- Het verwijderen van de 'hot spots' heeft prioriteit boven het verkrijgen van data voor monitoring. Door het onttrekken van grondwater op de 'hot spots' kan de representativiteit van monitoring worden verstoord.



## 1.1 'Tritium Hot Spots'

'Hot spot' locaties werden initieel gedefinieerd als peilbuizen met de hoogst waargenomen tritiumactiviteitsconcentraties op het HFR terrein met een ondergrens van 10.000 Bq/l gehanteerd. Boven deze concentratie worden de peilbuizen als 'hot spot' aangemerkt. In deze fase van de hot spot sanering worden peilbuizen met de hoogste concentraties aangemerkt als hot spot.

Hieronder een overzicht van de hoogste gevonden recente waarden uit de dataset sinds de start van het uitgebreide analyseprogramma in mei 2012. Alleen de peilbuizen van 7 meter diep zijn gegeven. In het algemeen geldt dat op 4 meter diep een lagere tritiumactiviteitsconcentratie wordt gevonden dan op 7 meter diepte in diezelfde peilbuis. De tabel is aangevuld met de resultaten van 7 maanden hot spot saneren en de laatste hoogste waarneming in de pluim. Een overzicht van de peilbuizen en de contourwaarden van 100 Bq/l is gegeven in 3.6Bijlage A.

Tabel 1-1: Overzicht van peilbuizen met de hoogste tritiumactiviteitsconcentratie

Monsterdatum hoogste concentratie	Peilbuis (7 m diep)	Activiteits- concentratie (Bq / l)	Onttrokken volume (m <sup>3</sup> )	Activiteits- concentratie (Bq / l) Per september 2013
20-12-2012	1028	41385	7	850
20-12-2012	1026	303106	10	126
20-12-2012	1018	39187	283	3940
20-12-2012	1025	49823	52	76
20-12-2012	1057	25621	4	58
2-11-2012	1002	16220	10	1330
26-10-2012	1014	11308	7	630
<b>Aanvullingen per september 2013</b>				
23-4-2013	1021	10615	248	5450
19-8-2013	1039	10330	57	5730
29-8-2013	1022	---	0	24700
8-9-2013	1058	---	0	12000

## 2 Ontwerp verwijderen tritium 'hot spots'

In een vergelijkbaar geval van tritium in grondwater, dat is opgetreden in de Verenigde Staten (Brookhaven), wordt in de "lessons learned" [2] geadviseerd om zo snel mogelijk te starten met het verwijderen van het tritiumhoudende grondwater op locaties waar de hoogste concentraties worden gemeten ('hot spots'). Ook in het aanbevelingsrapport van Golder over de saneringsopties [3] wordt voor de korte termijn een 'short-term approach' voorgesteld. Inhoudelijk betekent dit dat het grondwater uit de 'hot spots' wordt opgepompt, gebufferd in een tank en vervolgens afgevoerd.

Samengevat omvat het ontwerp voor het verwijderen van 'tritium hot spots':

- er wordt gebruik gemaakt van twee mobiele pompopstellingen, ,
- het onttrekkingsvolume is maximaal 3 m<sup>3</sup>/ per dag per opstelling,
- beide pompen zullen worden voorzien van een eigen bufferopslag van ten minste 1 m<sup>3</sup>,
- de gebufferde opgepompte hoeveelheden grondwater worden dagelijks opgehaald door de 4 m<sup>3</sup> tankwagen van het DWT ,.
- per week zal maximaal 36 m<sup>3</sup> opgepompt grondwater naar het DWT afgevoerd worden.

### 2.1 Opzet van de aanpak

In Tabel I-1 staan de peilbuizen die zijn geïdentificeerd als 'hot spots' locatie. De indeling per cluster wordt niet meer toegepast. Op basis van de recente monitoringdata is de strategie gewijzigd in :

- onttrekken van grondwater uit peilbuizen met de hoogste tritiumactiviteitsconcentraties
- beperken van verplaatsing van de pluim

#### 2.1.1 Selectie van peilbuizen

Alleen van grondwater uit de peilbuizen van 7 meter diep zal grondwater worden onttrokken. De motivatie hiervoor is dat uit de metingen van de Grontmij blijkt dat de horizontale grondwaterstromen ter hoogte van het PPG ongeveer 5 m per jaar zijn, 10 cm per week. Verder is gegeven dat deze grondwaterstroming door de aanwezigheid van gebouwfunderingen zich minder snel horizontaal verplaatst, maar mogelijk verticaal wordt versneld. Uit de dataset met tritiumactiviteit blijkt dat peilbuizen van 4 meter diep lagere waarden hebben dan peilbuizen van 7 meter diep. Verder wordt er



vanuit gegaan dat onttrokken grondwater in een straal rond de peilbuis zal worden aangevuld. Dit zal grondwater afkomstig van dezelfde diepte, maar ook grondwater van minder diepe niveaus zijn. Dit wordt bevestigd door de verzamelde dataset verkregen tijdens het hot spot saneren.

### 2.1.2 Onttrekkingsvolume

Het volume dat per dag wordt onttrokken per peilbuis wordt verhoogd van 2 m<sup>3</sup> naar maximaal 3 m<sup>3</sup> per peilbuis. Het maximum voor het onttrekken van grondwater wordt bepaald door mogelijk dichtslibben of beschadiging van het filter in de peilbuis. Dit maximum ligt bij 2 m<sup>3</sup> / h . Bij het gehanteerde lage onttrekkingsvolume van 2 m<sup>3</sup> per dag is het dichtslibben niet waargenomen. Om de effectiviteit van het 'hot spots' verwijderen zo groot mogelijk te houden wordt met een laag debiet grondwater onttrokken. De redematie hiervan is dat door dit lage debiet grondwaterstromingen minimaal worden verstoord en dus minder verdunning van de 'hot spots' zal plaatsvinden.

In de eerste weken is gestart met een onttrekkingsdebiet van 1 m<sup>3</sup> per dag om vast te stellen wat het effect op de peilbuizen is. Na een positieve beoordeling is het volume verhoogd tot maximaal 2 m<sup>3</sup> per dag op 14 maart 2013. Om het effect van de hot spot sanering te verhogen is per 20 mei 2013 het onttrekkingsvolume verhoogd naar 3 m<sup>3</sup> per dag. Overigens geldt volgens de Grontmij dat een onttrekkingsdebiet kleiner dan 5 m<sup>3</sup> per uur geen kans is op zetting van gebouwen.

### 2.1.3 Monitoren van effecten

Voor het bepalen van het effect van de grondwateronttrekking worden meerdere tritiumgradiënten vastgesteld volgens onderstaande monstername plan.

1. Het bepalen van effect van hot spot saneren in de peilbuizen waar grondwater uit wordt onttrokken of is onttrokken. Met het volgen van tritiumactiviteitsconcentraties wordt het effect van de grondwateronttrekking vastgesteld. Hoewel grondwater alleen uit de peilbuis van 7 meter diep wordt onttrokken, worden monsters van zowel 4 meter en 7 meter diep genomen. Deze monsters worden twee keer per maand genomen.
2. Voor het vaststellen van het verplaatsen van de verontreinigingspluim wordt op maand basis op strategische locaties monsters genomen. Dit zullen tenminste 10 peilbuislocaties zijn maar afhankelijk van de verplaatsing van de pluim kunnen deze op andere peilbuislocaties worden genomen.
3. Het bepalen van de gemiddelde tritiumactiviteitsconcentratie in de bufferopslag en de som van het totale onttrokken grondwatervolume. Met deze parameters kan de totale onttrokken activiteit worden

berekend en kan een uitspraak worden gedaan over de afname van de initiële tritiumvrijzetting. Deze monsters worden per m<sup>3</sup> bemonstert. Aan het einde van de week wordt een verzamelmonster gemaakt en geanalyseerd.

Om de effecten van de grondwateronttrekking op de hydrologie in de nabijheid van het 'hot spot' gebied vast te stellen, is gebruik gemaakt van drie drukopnemers die in peilbuizen zijn geplaatst. In het 'hot spot' gebied waren dat peilbuizen 1003 en 1053. Ter referentie buiten het 'hot spot' gebied werd een drukopnemer in peilbuis HGW 19 geplaatst. De resultaten van deze effectstudie zijn gerapporteerd door Grontmij [7].

#### **2.1.4 Duur van de operatie**

Het verwijderen van tritiumhoudend grondwater is in twee fasen gedeeld. Fase 1 is het verwijderen van 'hot spots' en Fase 2 is de definitieve sanering. Verwacht wordt dat fase 2 in 2014 van start gaat.

Het doel is om met hot spot saneren de periode te overbruggen tot de werkelijke sanering van start gaat. Tussentijdse tijd wordt gebruikt voor het definiëren van een terugsaneerlimiet. Dit wordt gedaan in overleg met EZ. Door Grontmij is inmiddels een saneringsplan opgesteld [6]. De mogelijkheid is onderzocht of de definitieve sanering uitgevoerd kan worden met een verlengde hot spot sanering. Deze effectenstudie is gerapporteerd in [7].

## 2.2 Voorwaarden

### **2.2.1 Veiligheid, gezondheid en milieu**

Voor de beoordeling van de werkzaamheden is een Taak Risico Analyse uitgevoerd. Met deze methodiek worden risico's op het gebied van veiligheid, gezondheid en milieu in kaart gebracht en preventieve acties gedefinieerd. Zie Bijlage C voor de uitgevoerde Taak Risico Analyse. De TRA maakt onderdeel uit van de werkvergunning die voor het plaatsen van de slangen in de peilbuizen en het installeren van de pompen zal worden opgesteld.

Voor de omgang met tritiumhoudend grondwater met activiteitsconcentraties boven de 100 Bq/l is een stralingshygiënisch regime van toepassing verklaard en een werkinstructie beschikbaar. Deze instructie is opgesteld met ALARA als uitgangspunt bij het uitvoeren van de werkzaamheden. Deze werkinstructie zal waar nodig worden aangepast voor de 'hot spot' sanering.

Een voorwaarde voor het afvoeren van afvalwater dat zich in het lozingsbassin van het DWT bevindt, voldoet aan de criteria zoals omschreven in de WVO vergunning WSW 2006/6504. Van grondwater uit peilbuizen HGW 1002, 1057 en 1076 zijn chemische analyses uitgevoerd. De analyseresultaten staan vermeld in Bijlage B. Alle resultaten voldoen aan de gestelde criteria behalve het arseen gehalte in het grondwater van HGW 1057. Dit gehalte bedraagt 0,06 mg/kg, is hoger dan de grenswaarde van 0,04 mg/kg. Aangezien het grondwater via de waterbehandelingsinstallatie wordt verdund en behandeld, zullen de concentraties van verontreinigingen, waaronder dit arseen, hoogstwaarschijnlijk lager zijn dan de criteria zoals omschreven in de WVO vergunning. Van het te lozen water worden monsters genomen en geanalyseerd. Hieruit blijkt dat de concentratie arseen lager is dan de genoemde grenswaarde.

### **2.2.2 Organisatorisch**

Het geheel van activiteiten wordt beschouwd als een niet-routinematige procedure. Om controle op het pompproces te houden wordt tijdens werkdagen niet gedurende nacht maar alleen in dagdiensturen gepompt. In het weekend wordt bij één pompstelling doorgepompt tijdens de ochtenddienst.

Tijdens dagen met vorst worden de activiteiten niet uitgevoerd. Bij een door het KNMI afgegeven weeralarm worden de werkzaamheden eveneens opgeschort.

### **2.2.3 Stralingshygiënische risico's**

NRG-medewerkers en derden zouden in contact kunnen komen met het grondwater bijvoorbeeld tijdens monsternamen (de inhoud van een monsterfles bedraagt 1 liter) uit peilbuizen of gedurende het oppompen van grondwater. Doordat tritium een zuivere bètastraler is, waarbij de bètadeeltjes een maximale doordringdiepte hebben van 4 mm in lucht en 5 micrometer in water (daarmee komen ze niet door kleding of de hoornlaag van de huid), is de stralingsdosis door externe bestraling door grondwater nul. Inhalatie van getritieerde waterdamp en absorptie daarvan door de huid leiden niet tot significantie blootstelling. Ook niet bij de tot op heden hoogst gevonden concentraties (ca. 300 - 360 kBq/l) in grondwater.

De rechtstreekse ingestie van 1 liter grondwater (of meer) wordt als hoogst onwaarschijnlijk beschouwd, maar is qua blootstelling het maatgevende scenario. Ingestie van 1 liter van dit grondwater met 330 kBq aan tritium geeft een effectieve volgdosis van ca. 6 microSv.

Op de HFR-inrichting vinden monsternamen en andere handelingen met tritiumhoudend grondwater onder stralingshygiënisch regime en toezicht plaats. Daarmee wordt de kans op ingestie van grondwater dermate laag en de kans op blootstelling zodanig klein dat er geen aanvullende maatregelen voor de bescherming van mens en milieu noodzakelijk zijn.

#### 2.2.4 Vergunningen

Het opgepompte grondwater mag worden geclassificeerd als bedrijfsafvalwater [4]. Radioactief bedrijfsafvalwater wordt op dit moment afgevoerd, na behandeling en filtratie, via de zeelozingsleiding van DWT. Deze wijze van afvoeren is vergund met de WVO- vergunning (8 november 2006; WSW 2006/6504). Per jaar mag NRG 8000 m<sup>3</sup> per jaar via de zeelozingsleiding naar zee afvoeren. Gemiddeld wordt 4000 m<sup>3</sup> gebruikt voor afvoer van bedrijfsafvalwater. Het resterende volume is beschikbaar voor onvoorziene verrichtingen. Het lozen van vloeibare radioactieve afvalstoffen is vergund middels DGM/SAS/2001049111 van 2 augustus 2001, laatselijk gewijzigd op 25 september 2012 (DGETM-PDNIV / 12314044). Het onttrekken van grondwater bij een bodemsanering is vergunningsplichtig, maar vanwege het beperkte onttrekkingsvolume (< 15.000 m<sup>3</sup> / maand) volstaat voor de hot spot sanering een melding. De onttrekking mag niet langer duren dan 6 maanden. Het hoogheemraadschap is hierbij het bevoegd gezag. Per 11 augustus 2013 heeft NRG voor de tweede keer deze melding gedaan. De 'hot spot' sanering voldoet aan deze algemene regels van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier 2010 [5].



## 3 Werkwijze

Het uitgangspunt van de werkwijze is een om een werkbare en flexibele mogelijkheid te creëren voor het onttrekken, bufferen en afvoeren van het grondwater. Een belangrijk aandachtspunt is om te voorkomen dat eenmaal opgepompt grondwater niet opnieuw de bodem inkomt. Om deze reden wordt gebruik gemaakt van lekbakken en toezicht tijdens het pompen. Voor het ontwerp van de materialen is gekozen voor robuuste en chemische-industrie gecertificeerde materialen.

### 3.1 Oppompen

Voor het oppompen wordt gekozen voor een slangenpomp met een minimum capaciteit van 40 en maximaal 450 liter / uur. Voor de bijbehorende slangenpomp slang worden gekozen voor slijtvaste type bestemd voor waterige vloeistoffen met een lange levensduur. De pomp zal worden geplaatst in een lekbak voorzien van lekkage signalering. Indien lekkage optreedt schakelt de pomp af. De volumes worden per batch van 1 m<sup>3</sup> opgepompt en gebufferd.

De slang die de peilbuis in gaat wordt bovengronds gekoppeld aan de slang van de slangenpomp. Deze slangen zijn uitgevoerd van slijtvaste kwaliteit en bestand tegen vervorming. Om deze reden worden deze slangen niet voorzien van een containment. Koppelingen om de slang van de slangenpomp te verbinden met de zuig- en de persslang zijn lekvrij en zullen zich in een lekbak bevinden.

### 3.2 Opslag

Het opgepompte grondwater wordt tijdelijk opgeslagen in een 1000 liter polyethyleen industrie bulk container voorzien van een verzinkt buisframe en vast aan een pallet verbonden. Dit geheel wordt geplaatst op een 1800 liter opvangbak voorzien van signalering met alarm indien lekkage plaatsvindt. Deze bak voldoet aan de EPA- en OSHA/NFPA voorschriften.

### 3.3 Afvoeren

Voor het afvoeren van het verzamelde grondwater wordt gebruik gemaakt van de DWT 4 m<sup>3</sup> tankauto. Deze tankauto is voorzien van een pomp waarvan de slang in de 1 m<sup>3</sup> bulkcontainer kan worden geplaatst.

Onder de pomp en koppeling bevindt zich een lekbak om eventuele spill op te vangen. Over de tankwaggen wordt een dekzeil gespannen zodat bij neerslag de lekbak niet volloopt.

Na het vullen van de tankauto rijdt deze naar het DWT waar het op een vloeistofdichte vloer volgens de routinematige procedure wordt verpompt naar de bassins van het Waterbehandelingsgebouw.

### 3.4 Monitoring

Om in het 'hot spot' gebied inzicht te krijgen in het verloop van de tritiumactiviteitsconcentraties per peilbuis en de totaal verwijderde tritiumactiviteit worden monster genomen volgens het monstername plan beschreven in paragraaf 2.1.3. Monsters worden genomen in 1 liter polyethyleen flessen, gelabeld met datum, locatie en peilbuisnummer. De flessen worden in een lekbak aangeboden aan het laboratorium.

### 3.5 Decontaminatie

Na afronding van de 'hot spot' sanering worden slangen en de bulkcontainer gespoeld met drinkwater. Het verzamelde spoelwater wordt afgevoerd via de DWT-tankwaggen. De materialen zullen worden hergebruikt in de saneringsfase, tenzij blijkt dan de kwaliteit op dat moment niet voldoet aan de eisen die in de saneringsfase aan deze materialen wordt gesteld.

### 3.6 Omgang met tritiumhoudend grondwater

De 'hot spot' sanering wordt uitgevoerd onder een stralingshygiënisch regime. De bestaande werkinstructie voor de omgang met tritiumhoudend grondwater zal, indien nodig, worden aangepast aan de werkwijze bij de 'hot spot' sanering, inclusief het maken van aansluitingen tussen de slangen uit de peilbuizen en de slangenpomp. De ASD dient een interne toestemming af te geven voor de handelingen (afgegeven op 4 februari 2013 onder nummer 2013-06).



## Referenties

- [1] [Rijksoverheid](#), Projectplan “Tritium Task Force – Oorzaak, Impact en Mitigering Tritium in grondwater”, NRG-rapport 25209/12.116548, 5 november 2012.
- [2] [Brookhaven National Laboratory](#), “Lessons Learned in Detecting, Monitoring, Modeling and Remediating Radioactive Ground-water Contamination”. NUREG/CR-7029, April 2011.
- [3] [Golder Associates](#), Report “Mitigation and Remediation Options Appraisal Support”, Golder-report 12514270722.500/B.0, December 2012.
- [4] [Ministerie van Economische zaken](#), Email “Bedrijfsafvalwater”, 5 december 2012.
- [5] Algemene regels bij de keur Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier 2010. Artikel 13 - Vrijstelling grondwater- en bodemsaneringen.
- [6] [Rijksoverheid](#), Plan van aanpak “Locatie HFR terrein en omgeving te Petten” Grontmij 327397-D1, 11 maart 2013.
- [7] [Grontmij](#), Sanering tritiumverontreiniging HFR “Effect hotspotsanering, saneringsvarianten en pluimontwikkeling” Grontmij, GM-0111793-DEF, 16 september 2013.

NRG



# Bilage B Analyseresultaten Grondwater

Energieonderzoek Centrum Nederland  
 Westerdijkweg 3  
 NL 1735 LE Petten

EREE - MTK&A

VOORLOPIG Analyse rapport

Box: 16986

Pagina: 2 van 3

Client: Perus S  
 Project beschrijving: grondwater

Projectnr: 5.2085.01.83.01

Rapport datum:

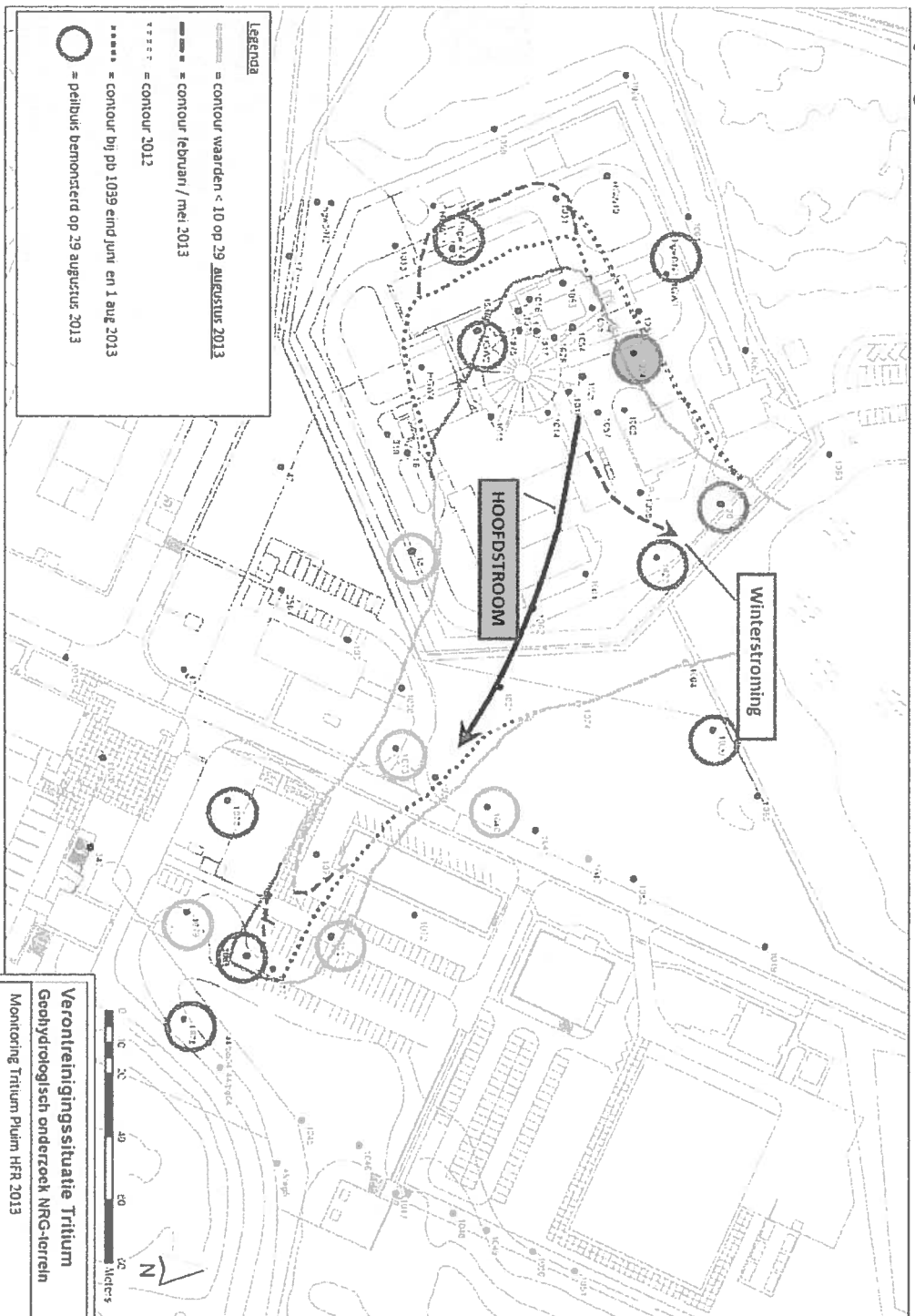


Code	Parameter	Eenhheid	Testcode	Onrusting	Analyse datum	Rep	Omz. datum	Kj-N	CZV	EOX	Gedebaarheid	pH	As	Cd	Cr
								mg/kg	mg/l	µg/l	µS/cm		mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	HGWI 1002	Ni	B S211	MK	18-12-2012	1	17-12-2012	1.6	17	1.4	0.93	7.2	0.0370	0	0.0415
								DL=1	DL=15	DL=1	DL=1	DL=0.088	DL=0.002	DL=0.012	
2	HGWI 1057	Pb	B S211	MK	18-12-2012	1	17-12-2012	1.4	15	1.0	0.99	7.4	0.0615	0	0.0361
								DL=1	DL=15	DL=1	DL=1	DL=0.088	DL=0.002	DL=0.012	
3	HGWI 1076	Sn	B S211	MK	18-12-2012	1	17-12-2012	1.0	15	1.0	1.10	7.3	0.0180	0	0.0195
								DL=1	DL=15	DL=1	DL=1	DL=0.088	DL=0.002	DL=0.012	

Seq Code	Parameter	Eenhheid	Testcode	Onrusting	Analyse datum	Rep	Omz. datum	Ni	Pb	Sn	Zn	Hg
								mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	HGWI 1002	Ni	B S211	MK	18-12-2012	1	0.0238	0.0190	0	0.1398	0	0
								DL=0.042	DL=0.029	DL=0.058	DL=0.034	DL=0.00013
2	HGWI 1057	Pb	B S211	MK	18-12-2012	1	0.0222	0.0248	0	0.0601	0	0
								DL=0.042	DL=0.029	DL=0.058	DL=0.034	DL=0.00013
3	HGWI 1076	Sn	B S211	MK	18-12-2012	1	0.0084	0.0057	0	0.0382	0	0
								DL=0.042	DL=0.029	DL=0.058	DL=0.034	DL=0.00013



Bijlage A Overzicht van peilbuislocaties en contourwaarden op het NRG terrein, situatie augustus 2013



## Bijlage C HSE Taak-risico analyse

### HSE Taak-risico analyse

<b>Activiteit:</b> Tritium 'Hot Spots' verwijderen op het HFR terrein. Doormiddel van slangen en slangenpomp grondwater onttrekken uit peilbuizen. Het onttrokken water wordt gebufferd en afgevoerd.
<b>Datum van:</b> 14-1-2013
<b>Datum tot:</b> 11-2-2014
<b>Werkvergunningnr.:</b> 13999

Taak	Gevaar	Beheersmaatregel	Actienemer
Voorbereidende werkzaamheden:			
Slangen plaatsen in peilbuizen	Betreden van asbest besmet terrein	Kleding en toegangsprocedure volgen	Onderhoudsdienst
Slangen plaatsen in peilbuizen	Struikelen	Orde en netheid op de werkplaats	Onderhoudsdienst
Uitvoeren van pomptest	Vrijkomen van tritium besmet grondwater	Vrijkomen water opvangen in lekbakken	Onderhoudsdienst
Routinematige werkzaamheden:			
Wisselen van koppeling	Vrijkomen van tritium besmet grondwater	Vrijkomen water opvangen in lekbakken	RBW
Maken van een mengmonster	Vrijkomen van tritium besmet grondwater	Vrijkomen water opvangen in lekbakken	RBW
Afvoeren van opgepomt grondwater	Overlopen tankwagen DWT door regenval	Overkapping plaatsens op de tankwagen DWT	



