

# ACHTERGRONDRAPPORT GRONDWATER

Project-MER PALLAS

Stichting Voorbereiding PALLAS-reactor

23 MEI 2022 - AS3-PUBLIC



## Contactpersoon

Divisie Water en Milieu

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

---

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1	Functie van dit achtergrondrapport	5
1.2	Voorgenomen activiteit	5
1.3	Leeswijzer	5
<b>2</b>	<b>ONDERZOEKSMETHODIEK</b>	<b>6</b>
2.1	Onderzoeksopzet	6
2.2	Uitgangspunten	6
<b>3</b>	<b>BEOORDELINGSKADER</b>	<b>8</b>
3.1	Wettelijk- en beleidskader	8
3.2	Beoordelingskader	9
<b>4</b>	<b>HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELING</b>	<b>12</b>
4.1	Huidige situatie	12
4.1.1	Geohydrologische bodemopbouw	12
4.1.2	Grondwaterstroming	12
4.2	Autonome ontwikkeling	17
4.2.1	Klimaatverandering	17
4.2.2	Kustverdedigingswerken	18
4.2.3	Overige ontwikkelingen	18
<b>5</b>	<b>MILIEUEFFECTEN</b>	<b>19</b>
5.1	Effecten tijdens de bouwfase	19
5.2	Effecten tijdens de exploitatie fase	21
5.2.1	Grondwaterstanden en stijghoogten	21
5.2.2	Grondwaterkwaliteit	21
5.3	Effectbeoordeling	22
<b>6</b>	<b>MITIGERENDE MAATREGELEN</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>LEEMTEN IN KENNIS</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUURLIJST</b>	<b>26</b>

## BIJLAGEN

<b>BIJLAGE A GRONDWATERMONITORING PALLAS</b>	<b>27</b>
<b>BIJLAGE B GRONDWATER MODELSTUDIE PALLAS</b>	<b>28</b>
<b>COLOFON</b>	<b>29</b>

# 1 INLEIDING

## 1.1 Functie van dit achtergrondrapport

De Stichting Voorbereiding PALLAS-reactor, verder PALLAS genoemd, heeft het voornemen om een multifunctionele nucleaire reactor te bouwen, die geschikt is voor het produceren van medische isotopen, industriële isotopen en het uitvoeren van nucleair technologisch onderzoek. Bij het bestemmingsplan PALLAS-plot is een plan-MER (milieueffectrapport) gevoegd ter onderbouwing.

Als belangrijke volgende stap in de procedures worden de vergunningen georganiseerd onder de Kernenergiewet en de Waterwet. Dit achtergrondrapport is opgesteld ten behoeve van het project-MER dat deze vergunningen moet onderbouwen. In het project-MER zelf is op hoofdlijnen de informatie uit dit achtergrondrapport overgenomen. Dit achtergrondrapport is gebaseerd op het Ontwerpkader, dat ook deel uitmaakt van het project-MER.

## 1.2 Voorgenomen activiteit

De voorgenomen activiteit voor dit achtergrondrapport is de aanleg en het exploiteren van de PALLAS-reactor. De informatie die nodig is op project-MER niveau is te vinden in het rapport Ontwerpkader, welke als bijlage is toegevoegd aan het project-MER. De hoofdpunten uit het Ontwerpkader zijn:

1. Het PALLAS-project kent een bouwfase, een overgangsfase en een exploitatiefase.
2. De bouwfase is opgedeeld in vijf clusters van bouwactiviteiten, te weten (a) Inrichting Lay Down Area (LDA) en tijdelijke toegangsweg, (b) Constructie secundaire koeling, (c) Bouwkuip, fundering en constructie reactorgebouw, (d) Constructie gebouwen, installatie en infrastructuur en (e) Afronding LDA en inrichting terrein. De bouwfase duurt in totaal ongeveer zes jaar.
3. In de overgangsfase zijn er twee reactoren in bedrijf op de Energy & Health Campus (EHC): de nieuwe PALLAS-reactor en de bestaande Hoge Flux Reactor (HFR).
4. In de exploitatiefase is de PALLAS-reactor in bedrijf en is de HFR buiten bedrijf gesteld.

## 1.3 Leeswijzer

Na dit eerste hoofdstuk:

- Beschrijft hoofdstuk 2 de gehanteerde onderzoeksmethodiek.
- Geeft hoofdstuk 3 het beoordelingskader.
- Zet hoofdstuk 4 de referentiesituatie uiteen, die bestaat uit de huidige situatie en relevante autonome ontwikkelingen.
- Staan in hoofdstuk 5 de milieueffecten beschreven.
- Somt hoofdstuk 6 op welke mitigerende maatregelen mogelijk zijn om negatieve milieueffecten te verminderen of op te heffen.
- Presenteert hoofdstuk 7 de geconstateerde leemten in kennis.
- Geeft hoofdstuk 8 inzicht in de bronnen voor dit achtergrondrapport.

## 2 ONDERZOEKSMETHODIEK

### 2.1 Onderzoeksopzet

In relatie tot grondwater worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- Wat zijn de effecten op de grondwaterstand, stijghoogte, grondwaterstroming en het zoutgehalte van het grondwater? Hierbij wordt ingegaan op de effecten tijdens de bouw en de permanente effecten na bouw van de reactor
- Wat is het effect van de veranderingen in bovengenoemde factoren op de functies in de omgeving, zoals:
  - Vegetatie (verdroging, verzilting).
  - Gebouwen (risico op zettingsschade).
  - Duinen als onderdeel van de zeewering (risico op zetting).
  - Landbouw (droogteschade, schade als gevolg van verzilting).
  - Grondwateronttrekkings- of infiltratiesystemen.
  - Mobiele verontreinigingen (invloed op beheersing).

De mogelijke effecten en de gevolgen voor de omgeving zijn onderzocht door middel van een regionale, 3D modelstudie. Ten behoeve van het plan-MER is een grondwater model opgesteld [1]. Voor het plan-MER is het model geverifieerd aan de hand van de monitoring resultaten en is het rekengrid verfijnd [2]. In de modelstudie zijn de grondwateraspecten in de huidige situatie in beeld gebracht. Vervolgens zijn de veranderingen ten gevolge van de bouw van de PALLAS-reactor met de huidige situatie vergeleken. Dit biedt inzicht in de veranderingen in grondwaterstanden, stijghoogtes en zoutgehalte van het grondwater ten gevolge van de bouw van de PALLAS-reactor.

### 2.2 Uitgangspunten

De uitgangspunten voor het aspect grondwater zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 *Uitgangspunten grondwater*

Aspect	Uitgangspunten
<b>Topografie</b>	Actueel hoogtebestand Nederland (AHN)
<b>Geohydrologische schematisering</b>	DINOloket: REGIS II v2.1 en GeoTOP; Feflow model zoals opgeleverd door Fugro
<b>Grondwaterstanden en stijghoogten</b>	DINOloket Monitoring netwerk <sup>1</sup>
<b>Zoutgehalte grondwater</b>	Grondwateranalyses DINOloket; Geo-elektrisch onderzoek (VES) DINOloket; Geleidbaarheidssonderingen Fugro (aangeleverd door Fugro); Monitoring netwerk
<b>Bodeminformatie</b>	Geologisch booronderzoek DINOloket; Sonderingen Fugro (aangeleverd door Fugro); Sonderingen diverse partijen (aangeleverd door HHNK); Boringen monitoring netwerk.
<b>Bathymetrie Noordzee</b>	European Observation and Data network
<b>Zoutgehaltes zeewater</b>	Analyses in <a href="http://www.live.waterbase.nl">http://www.live.waterbase.nl</a>
<b>Dieptes en breedtes sloten en kanalen</b>	Digitale Legger HHNK
<b>Chloridegehalte water in het Noordhollandsch Kanaal</b>	<a href="http://www.waterkwaliteitsportaal.nl/">http://www.waterkwaliteitsportaal.nl/</a> , <a href="http://hnk-water.nl/ol/pm2.html">http://hnk-water.nl/ol/pm2.html</a>
<b>Neerslag en verdamping</b>	Klimaatstations Petten (neerslag), Callantsoog (neerslag) en De Kooy (verdamping) van het KNMI

<sup>1</sup> Het monitoring netwerk is actief vanaf juli 2019. De resultaten van het eerste monitoringjaar (juli 2019-mei 2020) zullen in de tweede helft van 2020 worden gerapporteerd [12].

Aspect	Uitgangspunten
<b>Grondwateronttrekkingen</b>	Feflow model en rapportage zoals aangeleverd door Fugro; [3] ECN VGM Jaarverslagen 2013, 2014 en 2015 [4] [5]; Werkplan Verwijderen 'Tritium Hot Spots' op het HFR- terrein. NRG, 11 januari 2013. [6]

### 3 BEOORDELINGSKADER

#### 3.1 Wettelijk- en beleidskader

Tabel 2 Beleid, wet- en regelgeving aspect grondwater

Beleidsplan, wet, regel	Beschrijving van relevantie voor PALLAS
<b>DSR</b>	<p>In de Handreiking voor een veilig ontwerp en het veilig bedienen van kernreactoren [7] staan in de Dutch Safety Requirements (DSR) de volgende eisen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A programme of hydrogeological investigations shall be carried out to permit the assessment of radionuclide movement in hydrogeological units. This programme shall include investigations of the migration and retention characteristics of the soils, the dilution and dispersion characteristics of the aquifers, and the physical and physicochemical properties of underground materials, mainly related to transfer mechanisms of radionuclides in groundwater and their exposure pathways.</li> <li>• An assessment of the potential impact of the contamination of groundwater on the population shall be performed by using the data and information collected in a suitable model.</li> </ul> <p>Dispersie van radioactief materiaal via het grondwater is expliciet geen onderdeel van deze studie.<sup>2</sup></p>
<b>IAEA vereisten</b>	<p>Het Internationaal Atoomenergieagentschap (IAEA) heeft twee vereisten voor de aspecten bodem en water in relatie tot nucleaire reactoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IAEA Safety Requirements NS-R-3: 'Site Evaluation for Nuclear Installations' [8] vereist dat in verband met de fundering van de installatie het grondwaterregime en de grondwaterkwaliteit moeten worden bestudeerd. Dispersie van radioactief materiaal via het grondwater is expliciet geen onderdeel van deze studie.</li> <li>• IAEA Nuclear Energy Series Technical Reports 'Guides Managing Environmental Impact Assessment for Construction and Operation in New Nuclear Power Programmes' No. NG-T-3.11 [9] stelt dat modellering van transportroutes via grondwater een onderdeel is van het Safety Analysis Report. Dit is geen onderdeel van deze studie. NG-T-3.11 vereist wel een studie naar de gevolgen van de bouw, het gebruik van de PALLAS-reactor en ontmanteling van de installatie op het grondwater. Gebaseerd op de effectrapportage moet beschreven worden hoe de effecten op het grondwater tijdens bouw en gebruik van de installatie worden gemonitord.</li> </ul>
<b>Europese Kaderrichtlijn water</b>	<p>De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) [10] stelt eisen aan een goede kwantitatieve toestand en een goede chemische toestand van grondwater. Deze eisen zijn globaal benoemd. In de Grondwaterrichtlijn die eind 2006 van kracht is geworden, is een aantal chemische aspecten voor grondwater verder gespecificeerd. De duinen maken deel uit van grondwaterlichaam NLGW0016 (Duinen, Rijn-West) en het omringende gebied op land behoort tot grondwaterlichaam NLGW0011 (Zout, Rijn-West). Het 'Besluit van 15 oktober 2015 tot wijziging van het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009 en het Waterbesluit' geeft de nationaal vastgestelde drempelwaarden voor een goede chemische toestand van grondwaterlichamen. Dit betreft drempelwaarden voor de volgende stoffen/elementen: chloride, nikkel, arseen, lood en fosfaat.</p> <p>De bouw van de reactor kan mogelijk effecten hebben op de grondwaterstroming en de verdeling van zoet en zout grondwater. Hierbij is de drempelwaarde voor chloride van belang. Deze is voor grondwaterlichaam NLGW0016 vastgesteld op 160 mg/L. Dit betekent dat de chlorideconcentratie van het grondwater in de duinen niet hoger dan 160 mg/L mag zijn in 2027 en dat de grondwaterkwaliteit niet achteruit mag gaan. Voor NLGW0011 is geen drempelwaarde voor chloride vastgesteld. Deze richtlijn is onder andere geïmplementeerd in de Wet Bodem Bescherming en is daarmee ook relevant voor het aspect grondwaterverontreiniging.</p>
<b>Waterwet</b>	<p>De Waterwet stelt dat een vergunning de provincie noodzakelijk is voor industriële onttrekkingen, drinkwateronttrekkingen en onttrekkingen van grondwater voor bodemenergiesystemen (art. 6.4). Voor overige gevallen kan worden bepaald dat grondwateronttrekking verboden is zonder een vergunning van het waterschap (art. 6.5).</p>

<sup>2</sup> Dispersie van radioactief materiaal wordt in het kader van het plan-MER beschouwd in het achtergrondrapport Nucleaire veiligheid, kenmerk 078849873:E (ARCADIS/NRG 2016).



**Beleidsplan, wet, regel**

**Beschrijving van relevantie voor PALLAS**

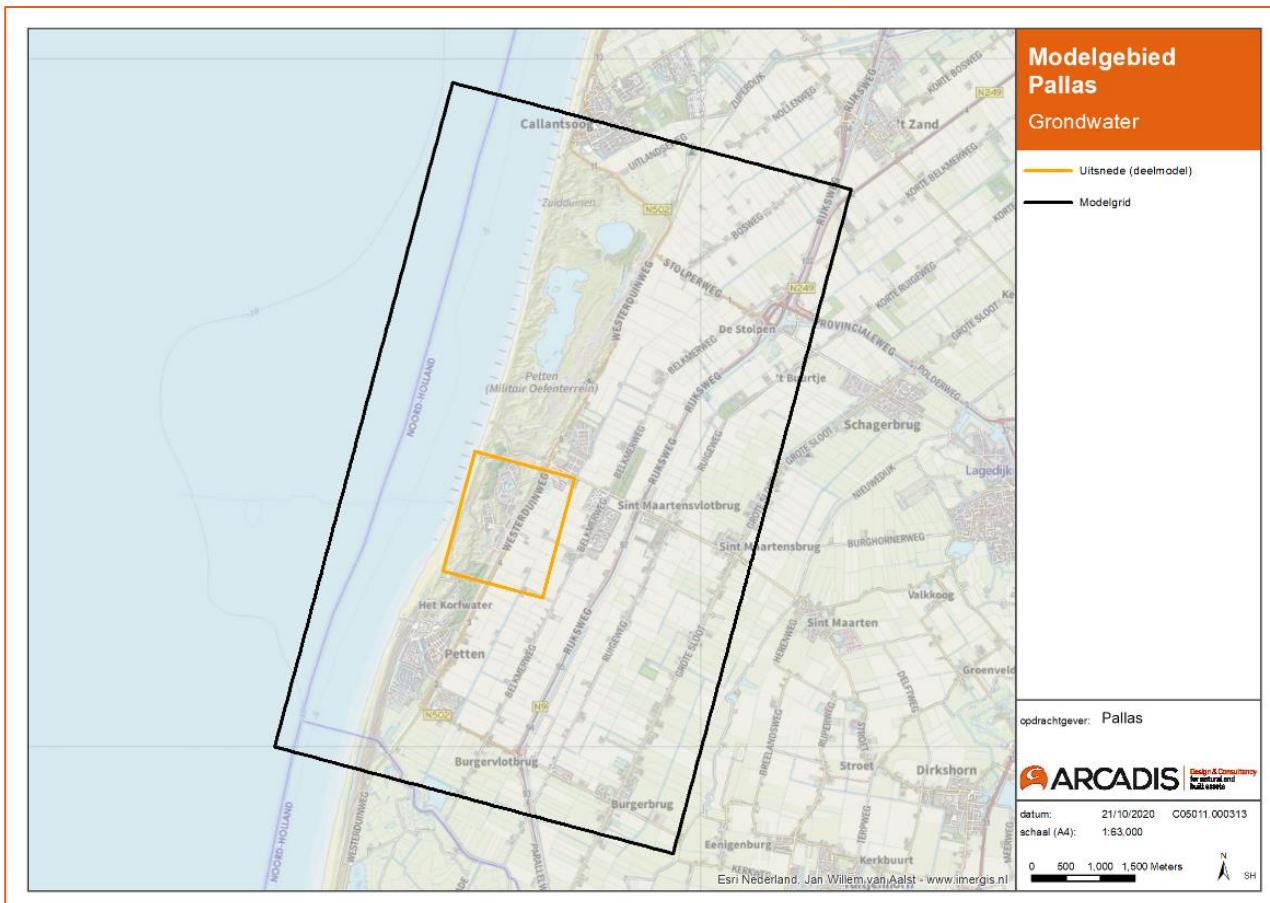
**Keur Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier**

De Keur Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier 2016 stelt dat het onttrekken van grondwater zonder daartoe strekkende vergunning verboden is. De Algemene regels behorende bij de Keur geven aan voor welke bronbemalingen geen vergunning vereist is (art. 17). Grondwateronttrekking ten behoeve van de bouw van de reactor heeft een vergunningplicht in het kader van de Waterwet wanneer de onttrekking langer duurt dan 6 maanden of wanneer er meer grondwater wordt onttrokken dan 8.000 m<sup>3</sup> per maand in kwetsbaar gebied of meer dan 15.000 m<sup>3</sup> buiten kwetsbaar gebied. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) is het bevoegd gezag in het gebied. De locatie van de PALLAS-reactor ligt buiten de door HHNK aangewezen kwetsbare gebieden. Dit betekent dat er een vergunningplicht is wanneer er meer grondwater wordt onttrokken dan 15.000 m<sup>3</sup>. Bij de Waterwet-vergunningaanvraag worden de effecten van de onttrekking op de omgeving beoordeeld. Hierbij wordt gekeken naar de effecten op vegetatie, zetting van gebouwen en effecten op waterkeringen. HHNK heeft tevens aangegeven een beoordeling te willen zien van eventuele kortsluitstromen die tussen verschillende watervoerende pakketten kunnen ontstaan als gevolg van funderingspalen. Eén van de mogelijk belangrijkste effecten is de invloed op de vegetatie in het omringende Natura 2000-gebied. Er mogen geen significante effecten optreden op de instandhoudingsdoelstellingen voor het Natura 2000-gebied. Met betrekking tot lozing van onttrokken grondwater zal gekeken moeten worden naar de samenstelling van het water en of dit op een oppervlaktewater geloosd mag worden.

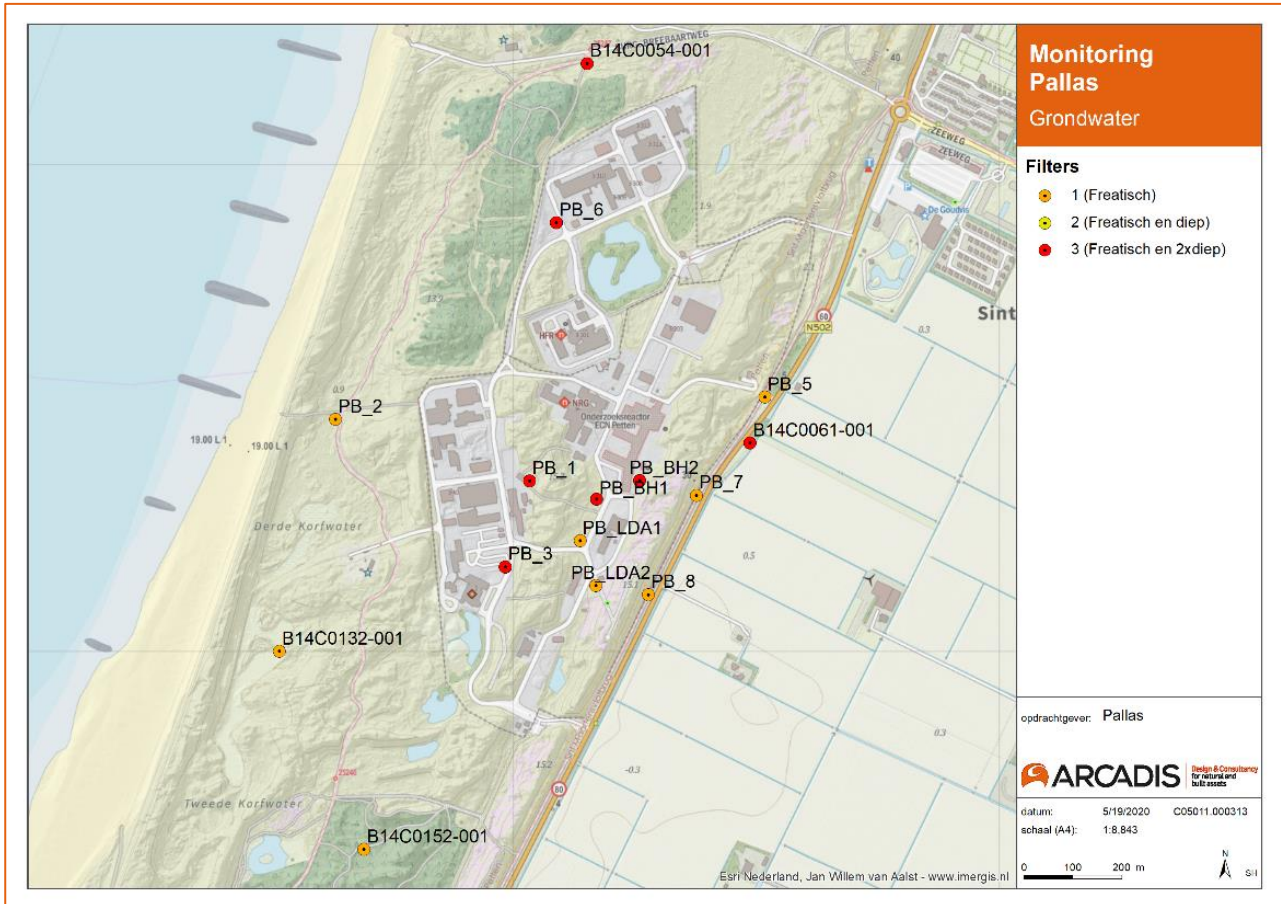
**3.2 Beoordelingskader**

**Studiegebied**

De modelstudie strekt zich uit over het gebied zoals weergegeven in Figuur 1. Het monitoringnetwerk op en rond de Energy & Health Campus (EHC) is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 1 Studiegebied grondwatermodellering met het regionale model (zwarte lijn) en de gedetailleerde uitsnede rond de reactorlocaties (gele lijn)



Figuur 2 Monitoringnetwerk

**Beoordelingskader**

Het aspect grondwater wordt beoordeeld conform het beoordelingskader dat in Tabel 3 is weergegeven. Per deelaspect wordt dit beoordelingskader verder uitgediept in de navolgende paragrafen.

Tabel 3 Beoordelingskader grondwater

Deelaspect	Beoordelingscriteria
<b>Grondwaterstanden/-stijghoogten</b>	Vegetatie
	Gebouwen
	Duinen als onderdeel van de waterkering
	Landbouw
	Grondwateronttrekkings- of infiltratiesystemen
<b>Grondwaterkwaliteit</b>	Mobiele verontreinigingen
	Zoutgehalte (als chlorideconcentratie)
	Verontreinigingen

Bij de bouw van de PALLAS-reactor wordt in principe geen grondwater onttrokken. De constructie van het reactorgebouw en naastgelegen pompgebouw is deels ondergronds en zal daardoor de natuurlijke grondwaterstroming deels blokkeren. Daarnaast worden diepe damwanden toegepast als grondkerende constructie langs de LDA en toegangsweg. Deze ondergrondse constructies en damwanden hebben invloed op grondwaterstanden en -stroming, stijghoogtes en de verdeling van zoet en zout grondwater. De effecten op het grondwater zijn beoordeeld voor de bouwfase en exploitatiefase voor het reactorgebouw en pompgebouw. De effecten worden uitgedrukt in:

- Verandering in grondwaterstanden en/of stijghoogtes.
- Veranderingen in het chloridegehalte van het grondwater.

Wat voor één beoordelingscriterium nadelig is, kan voor een ander criterium juist positief zijn. Bijvoorbeeld een grondwaterstandsverlaging kan een negatief effect op de vegetatie hebben, maar dit kan ook betekenen dat de bestaande permanente grondwaterbeheersing minder nodig is.

### Relevante fasen

Voor het deelaspect Grondwater zijn de effecten tijdens de bouwfase en in de exploitatiefase beschreven. De overgangsfase is niet separaat beoordeeld omdat de activiteiten in deze fase, de fase waarin de HFR en de PALLAS-reactor beide in bedrijf zijn, niet tot andere effecten leiden dan in de exploitatiefase.

### Beoordelingsschaal

Tabel 4 Scoretoekenning beoordeling grondwater

Score	Betekenis	Toelichting
++	Zeer positief effect	Komt niet voor.
+	Positief effect	Sterkere ondiepe kwel naar en vernatting van vochtige duinvalleien. Verbetering instandhoudingsdoelstellingen N2000 te verwachten. Verzoeting landbouwgebied. Minder grondwateronttrekking voor grondwaterbeheersing nodig. Beheersing van de verspreiding van verontreinigingen.
0	Geen effect	Geen effecten op het grondwaterregime.
-	Negatief effect	Geringe negatieve effecten op bestaande grondwateronttrekkingen/grondwatergebruik; Geringe verdroging/verziltting natte duinvalleien. Freatische grondwaterstand daalt minder dan 5cm ter plaatse van lage vegetatie en minder dan 10cm ter plaatse van bos. Gering risico op zettingsschade gebouwen en primaire waterkering; Geringe droogteschade/verzilttingsschade landbouw; Geringe negatieve effecten op de verspreiding van mobiele verontreinigingen.
--	Zeer negatief effect	Sterke negatieve effecten op bestaande grondwateronttrekkingen/grondwatergebruik; Sterke verdroging/verziltting natte duinvalleien. Instandhoudingsdoelstellingen komen in gevaar. Freatische grondwaterstand daalt meer dan 5cm ter plaatse van lage vegetatie en meer dan 10cm ter plaatse van bos. Sterk risico op zettingsschade gebouwen en primaire waterkering; Grote droogteschade/verzilttingsschade landbouw; Sterke negatieve effecten op de verspreiding van mobiele verontreinigingen.

## 4 HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELING

### 4.1 Huidige situatie

#### 4.1.1 Geohydrologische bodemopbouw

De geohydrologische basis (de geologische laag die de onderkant van het grondwatersysteem vormt) bestaat uit de tertiaire en pleistocene afzettingen van de Maassluis Formatie op een diepte van ongeveer NAP -230 m tot NAP -290 m. Deze afzettingen bestaan voornamelijk uit slecht doorlatende klei. Hierboven ligt een dikke laag goed doorlatende zandige afzettingen van de Peize en Waalre Formaties. Vanaf circa NAP -80 m gaan deze formaties over in de Urk Formatie. Op de beoogde locatie van de PALLAS-reactor komen in de Urk Formatie een aantal dunne kleilagen voor. Deze kleilagen eindigen ten oosten van de beoogde locatie van de PALLAS-reactor.

Boven circa NAP -50 m komt een afwisseling voor van goed doorlatende zandlagen en slecht doorlatende kleilagen. Deze afzettingen behoren tot de Drenthe Formatie, de Eem Formatie, de Kreftenheye Formatie en de Boxtel Formatie.

De bovenkant van de Boxtel Formatie en de onderkant van de holocene deklaag vormen een scheidende laag die de bovenliggende freatische aquifer scheidt van het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket hieronder.

De hydraulische weerstand van de diep gelegen scheidende lagen is relatief klein (enkele honderden dagen per scheidende laag). De eerste scheidende laag die de freatische watervoerende laag van het diepere watervoerende pakket scheidt, is de meest relevante scheidende laag in het kader van dit project. Deze scheidende laag, gelegen op circa NAP -3 m tot NAP -10 m, bestaat uit zandige klei en kleig zand met lokaal ingesloten veenlagen. Met name het basisveen heeft een zeer grote hydraulische weerstand. Deze laag komt ter plaatse van de reactor locatie voor met een dikte van circa 40 cm. In de omgeving varieert de dikte tussen 0 en 80 cm.

Het freatische pakket boven de eerste scheidende laag bestaat tussen ca. NAP -3 m en NAP +0 m uit zandige afzettingen die behoren tot de bovenkant van het Laagpakket van Walcheren (Formatie van Naaldwijk). Dit dunne zandpakket strekt zich zowel onder de duinen als het landbouwgebied ten oosten van de duinen uit. In het duingebied ten westen van de Westerduinweg is deze zandlaag bedekt met duinzand (Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Schoorl) tot plaatselijk ca. NAP +15 m, waardoor het freatische pakket in het duingebied veel dikker is dan in het landbouwgebied.

#### 4.1.2 Grondwaterstroming

De grondwaterstroming in de watervoerende lagen beneden de freatisch watervoerende laag is van west naar oost gericht. Drainage in de Wieringermeerpolder op circa 20 kilometer ten oosten van de locatie van de PALLAS-reactor veroorzaakt een verhang in stijghoogte van circa NAP 0 m aan de kust tot circa NAP -4,5 m in de polder.

Infiltratie van hemelwater heeft in de duinen een lens van zoet water gevormd, die het zoute water tot beneden de eerste scheidende laag verdringt. De freatische zoetwaterlens is uitermate belangrijk voor de kwaliteit van het grondwater in het duingebied en voor de duinvegetatie, vooral de vegetatie in de duinvalleien, waar kwel van zoet, carbonaatrijk water optreedt. Wanneer de freatische grondwaterstand hoog genoeg is bereikt het (zoete) freatische grondwater de laaggelegen duinvalleien en vormt daar drassige gebieden en meertjes. De grondwaterstanden in het duingebied variëren sterk onder invloed van neerslag en verdamping.

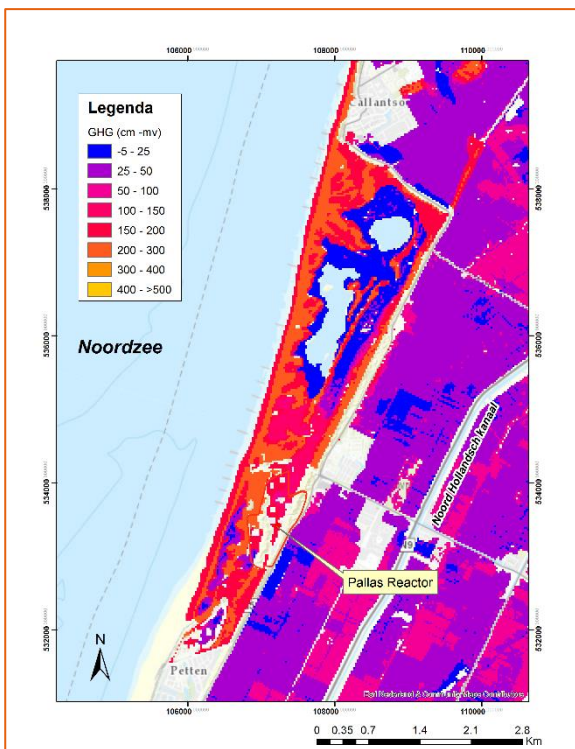
In het landbouwgebied ten oosten van de duinen wordt de grondwaterstand en -stroming bepaald door de afwateringsmiddelen. Het waterpeil in de sloten wordt bepaald door de polderpeilen, die seizoensgebonden variëren tussen NAP -0,9 en -0,3 m. Het waterpeil in het Noordhollandsch Kanaal varieert tussen ca. NAP -0,55 en -0,50 m. In natte perioden stroomt hierdoor het freatische grondwater in het landbouwgebied naar de oppervlaktewateren. In droge perioden wordt juist water vanuit het Noordhollandsch Kanaal via de sloten aangevoerd om de hoeveelheid zoet water in de freatische laag op peil te houden.



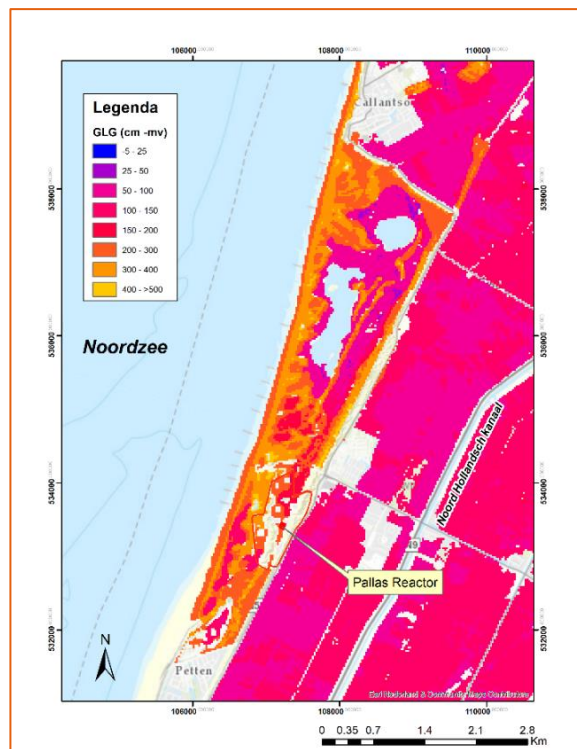
In Figuur 5 is de berekende infiltratie weergegeven voor de periode 1998-2006 die door het nationaal grondwater model NHI (nationaal hydrologisch instrumentarium) is berekend. Deze periode wordt beschouwd als een hydrologisch representatieve periode en is gebruikt voor het beschrijven van de gemiddelde hydrologische situatie. De gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zijn overgenomen uit [11] en weergegeven in Figuur 3 en Figuur 4.

De gemiddelde freatische grondwaterstanden zoals deze is gemeten in het monitoringnetwerk tussen juli 2019 en mei 2020 is weergegeven in Figuur 6 t/m Figuur 9. De grondwaterstanden bollen op in het midden van het duinmassief, met de hoogste grondwaterstanden ten noorden van de EHC. De laagste grondwaterstanden zijn gemeten in de zomer van 2019 (Figuur 6). De freatische grondwaterstanden stijgen in het najaar en de winter (Figuur 7 en Figuur 8) en dalen vervolgens weer in het voorjaar van 2020 (Figuur 9). De gemiddelde grondwaterstand was circa NAP +2 m in het centrum van het duinmassief en loopt af naar circa NAP +0 m aan de kust en NAP +0,5 m langs de Westerduinweg.

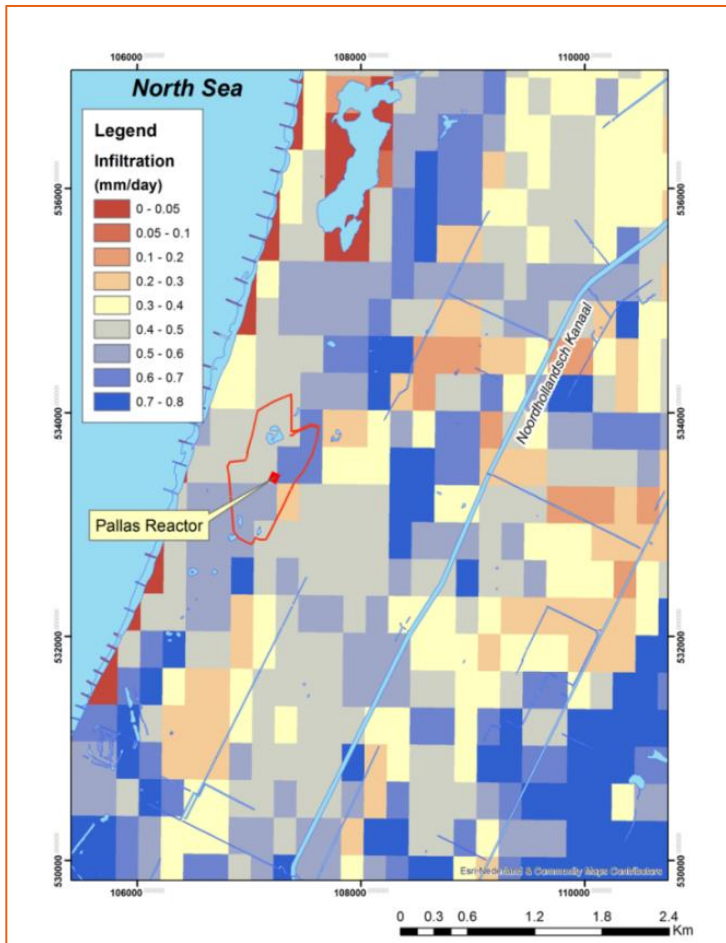
Er zijn geen monitoringgegevens van de freatische grondwaterstand in het landbouwgebied ten oosten van de Westerduinweg beschikbaar. De grondwaterstand in dit gebied zal min of meer de polderpeilen (tussen NAP -0,9 m en -0,3 m) volgen, met een geringe opbolling in het midden van de percelen.



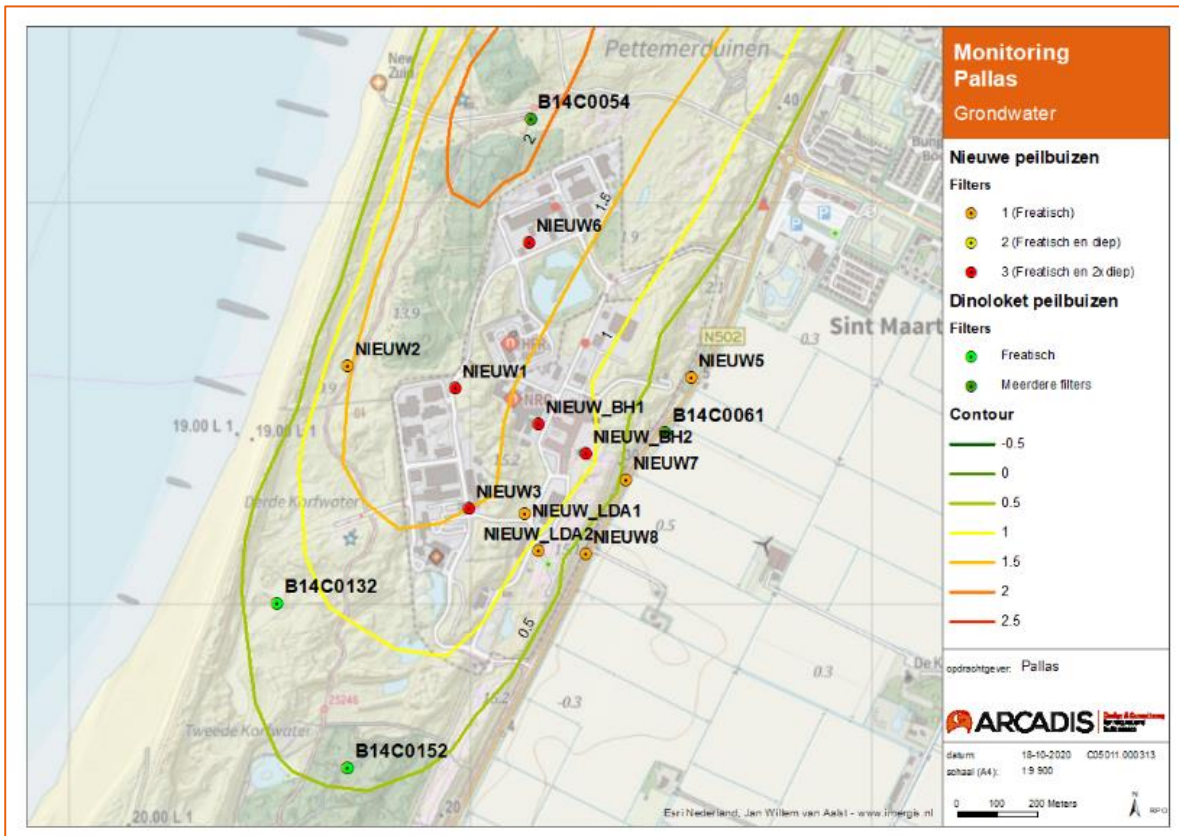
Figuur 3 GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) in cm beneden maaiveld (cm-mv) [11]



Figuur 4 GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) in cm beneden maaiveld (cm-mv) [11]

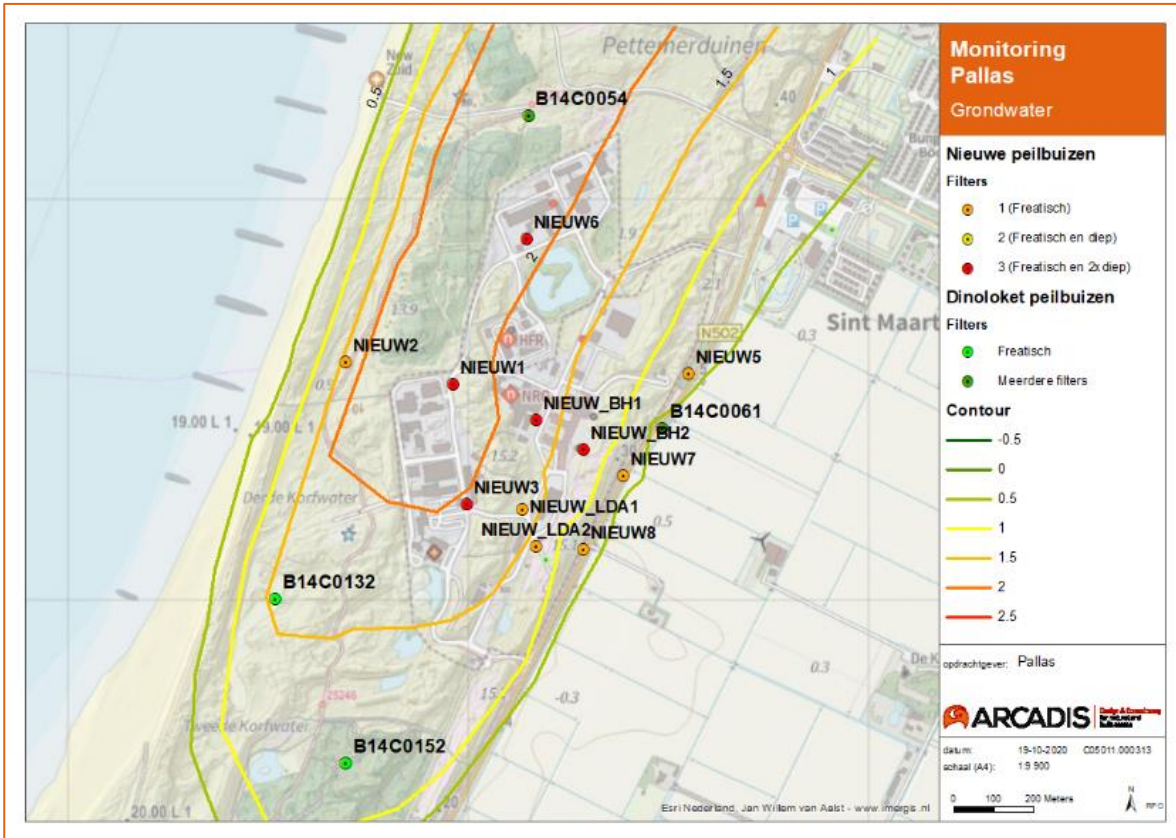


Figuur 5 Gemiddelde infiltratie (1998-2006), gebaseerd op het NHI

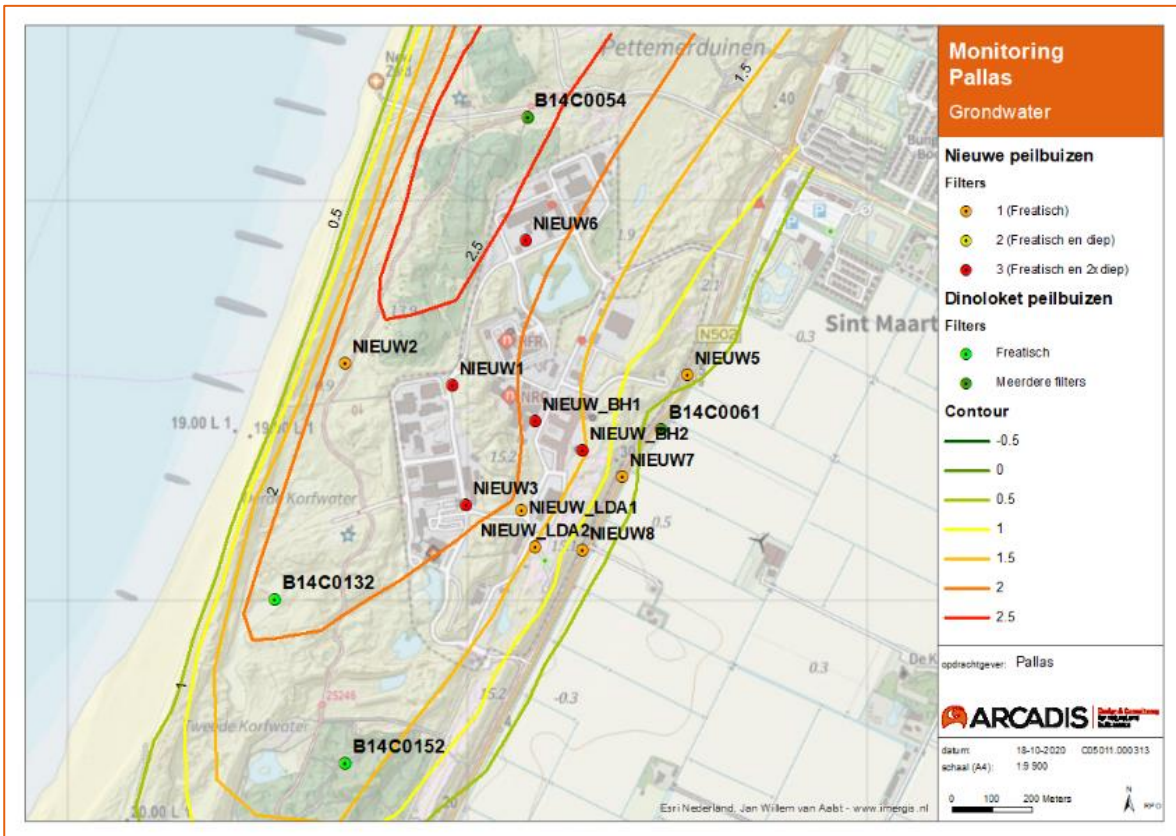


Figuur 6 Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 19 juli 2019

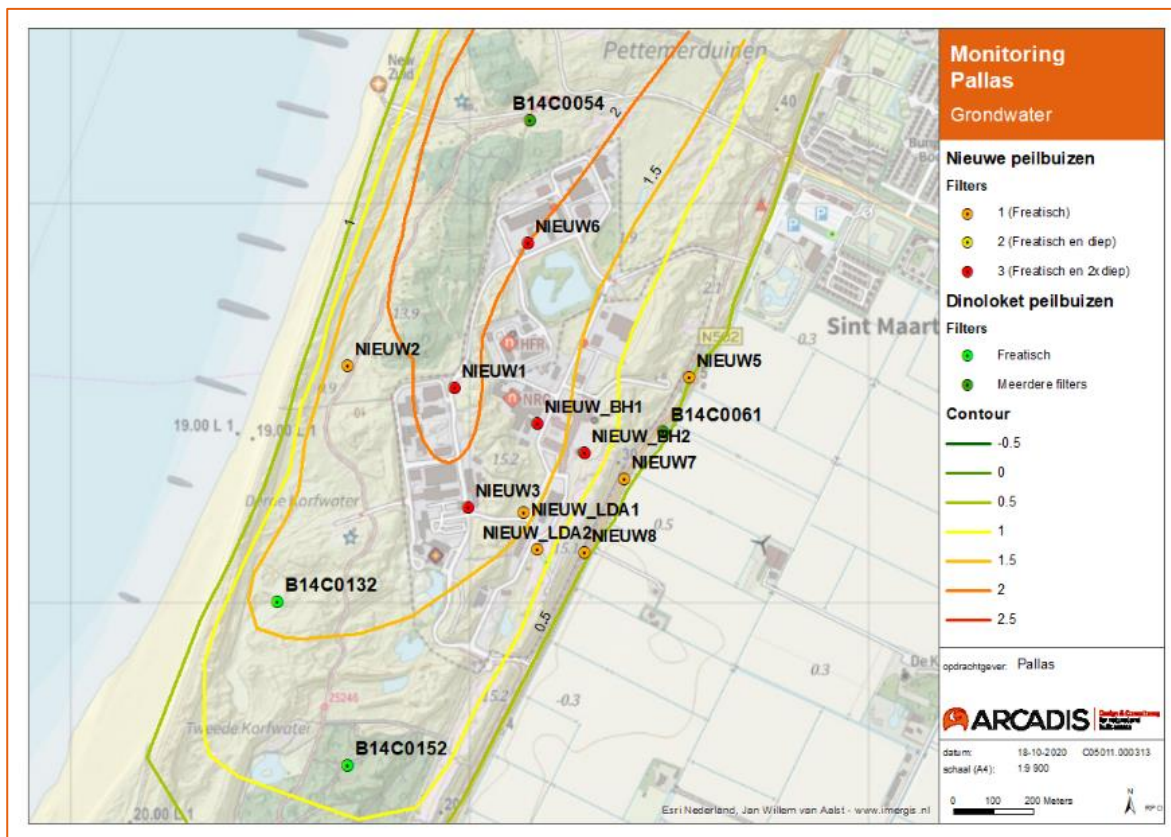




Figuur 7 Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 28 november 2019



Figuur 8 Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 26 februari 2020



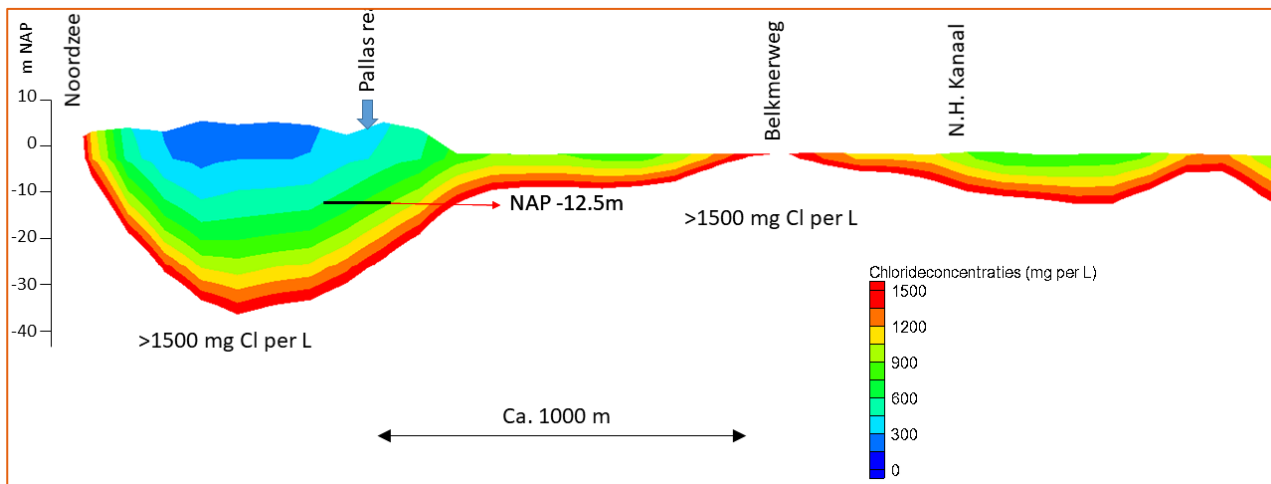
Figuur 9 Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 22 mei 2020

### Verdeling zoet en zout grondwater

Wat betreft de kwaliteit van het grondwater is het zoutgehalte de meest belangrijke parameter. Het zoutgehalte is van invloed op het fysische gedrag van het grondwater (dichtheidsstroming) en is van belang voor de ecologie en de landbouw. Zout water is aanwezig in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket in het agrarisch gebied tussen het duingebied en het Noordhollandsch Kanaal, ten oosten van de reactor locatie.

In het landbouwgebied ten oosten van de Westerduinweg is het grondwater in de dunne freatische laag zoet tot licht brak. Dit grondwater wordt in droge periode aangevuld met water uit het Noordhollandsch Kanaal, wat zoet tot licht brak is. Onder de duinen ligt het grensvlak tussen zoet/brak en zout grondwater op veel grotere diepte, tot tientallen meters beneden NAP. Het grensvlak tussen zoet (chlorideconcentratie <150 mg/l) en brak (chlorideconcentratie tussen 150 en 1500 mg/l) ter plaatse van de PALLAS-reactor blijkt op basis van de peilbuizen van het monitoringnetwerk [12] plaatselijk en tijdelijk dieper te liggen dan waar in het plan-MER vanuit is gegaan (Figuur 10). Het grensvlak lag tussen juli 2019 en mei 2020 ter plaatse van BH1 en BH2 op circa NAP -15 m. In de ruimere omgeving ligt het grensvlak nergens hoger dan rond NAP -1 m. Het grensvlak tussen brak en zout (chlorideconcentratie >1500 mg/l) ligt in de duinen tussen NAP -30 en -40 m en ten oosten van de duinen (peilbuis B14C0061-3) op circa NAP -20 m. Het grondwater tot de aanlegdiepte van het reactorgebouw (NAP -12,5 m) is zoet tot licht brak.





Figuur 10 Conceptuele verdeling chlorideconcentraties grondwater in een doorsnede ter plaatse de PALLAS-reactor uit het plan-MER.

## 4.2 Autonome ontwikkeling

### 4.2.1 Klimaatverandering

De autonome ontwikkelingen op het gebied van grondwater en grondwaterkwaliteit worden voornamelijk gestuurd door klimaatverandering en zeespiegelstijging. Veranderingen in neerslag en verdamping beïnvloeden de grondwateraanvulling en daarmee de grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit. Zeespiegelstijging zal versterkte intrusie van zout grondwater in de ondergrond van het studiegebied veroorzaken.

Het KNMI heeft in 2014 de KNMI'14 klimaatscenario's voor de toekomst geschetst [13]. Deze scenario's geven aan dat naast temperatuurstijging, de sterke stijging van de neerslaghoeveelheid in de winter (gemeten over de afgelopen eeuw) doorzet in de toekomst. De kans op langdurige zomerdroogte neemt naar het einde van de eeuw eveneens toe. Maar op momenten dat het regent, zal de intensiteit van zomerse buien in de toekomst volgens alle scenario-berekeningen fors hoger zijn. Ook hagel en onweer worden in alle scenario's heviger.

Een verhoging van de intensiteit van neerslag resulteert in meer oppervlakkige afstroming. Dit in combinatie met hogere temperaturen en daardoor meer verdamping kan betekenen dat de grondwateraanvulling door het neerslagoverschot geringer wordt, wat resulteert in lagere freatische grondwaterstanden in de zomer. Meer neerslag in de winter kan resulteren in hoge winter- en voorjaarsgrondwaterstanden. De verschillen tussen zomer en winter grondwaterstanden zullen groter worden.

Volgens de klimaatscenario's neemt het tempo van zeespiegelstijging aan de Noordzeekust toe. Het verschil tussen de scenario's is vooral afhankelijk van het verschil in wereldwijde opwarming. De zeespiegelstijging leidt tot sterkere intrusie van zeewater in de ondergrond. Mogelijk komt minder zoet water beschikbaar in de bouwvoor<sup>3</sup> van de landbouwgebieden. Daarnaast kan vorming en instandhouding van de zoet/brak waterbel in de duinen geringer worden.

Voor het MER is het peiljaar 2026 aangehouden. Daar zijn de onderliggende studies ook op gebaseerd. Voor nu zijn er ook geen recentere klimaatscenario's beschikbaar dan voor 2014. Het KNMI verwacht in 2021 en 2023 nieuwe scenario's te publiceren. De effecten van deze ontwikkelingen zullen voor deze tijdshorizon nog gering zijn en zijn daarom niet berekend of gekwantificeerd.

<sup>3</sup> Bouwvoor is de bovenste laag grond waarin de meest wortelvorming plaatsvindt.

## 4.2.2 Kustverdedigingswerken

Een andere ontwikkeling die mogelijk effect heeft op het grondwaterregime in het studiegebied, is de versterking van de kustverdediging langs de Hondsbossche en Pettemerzeewering. Langs deze dijk is aan de zeezijde een paar honderd meter brede strook zand opgespoten. De verwachting is dat dit (tijdelijk) leidt tot een toename van het zoutgehalte van het grondwater en verhoging van de grondwaterstanden binnendijks. In de zomer van 2015 bleek dat het oppervlaktewater in Petten zouter was dan voorheen. HHNK en de gemeente Schagen zijn direct gestart met het doorspoelen van het watersysteem. Onderzoek heeft inmiddels bevestigd dat de oorzaak van het zouter worden van het oppervlaktewater in Petten door de kustversterking komt<sup>4</sup>. Tevens bleek dat door het doorspoelen het oppervlaktewater in de naastliggende polder R (ten oosten van Petten) enkele periodes zouter is geweest. HHNK heeft in overleg met de agrariërs hiervoor een oplossing gevonden.

Het watersysteem in Petten is zodanig aangepast dat het water weer het normale gehalte zout bevat, en er geen extra zouthoudend water naar Polder R stroomt. Het zoutere water wordt afgeleid naar de Hazepolder en het gebied ten zuiden van Petten, waar het zouter worden van het oppervlaktewater door de dijkversterking geen probleem is. Deze gebieden (polders) waren altijd al brak en hebben een natuurfunctie. Naar verwachting zal het nog enkele jaren duren voordat al het zout uit het zand van de kustversterking gespoeld is.

In het Korfwater in Petten wordt sinds de aanleg van de kustversterking de grondwaterstand extra in de gaten gehouden. Er was namelijk ingeschat dat de grondwaterstand hier hoger wordt. Metingen hebben laten zien dat er plaatselijk een verhoging van de grondwaterstand optrad. Drainage is aangebracht om dit probleem dat zou kunnen optreden bij een woonwijk op te lossen.

## 4.2.3 Overige ontwikkelingen

Op de NRG-locatie vond een grondwateronttrekking plaats als sanering van een tritium verontreiniging in het grondwater. Volgens het werkplan zou deze sanering in 2019 worden beëindigd. De verspreiding van het tritium zou volgens het werkplan worden gemonitord.

---

<sup>4</sup> Ongepubliceerd onderzoek en monitoring van grondwaterstanden en zoutgehalten grondwater voor HHNK. Arcadis voert op dit moment een evaluatie van de monitoring onderzoeken over de afgelopen 5 uit in opdracht van HHNK.

## 5 MILIEUEFFECTEN

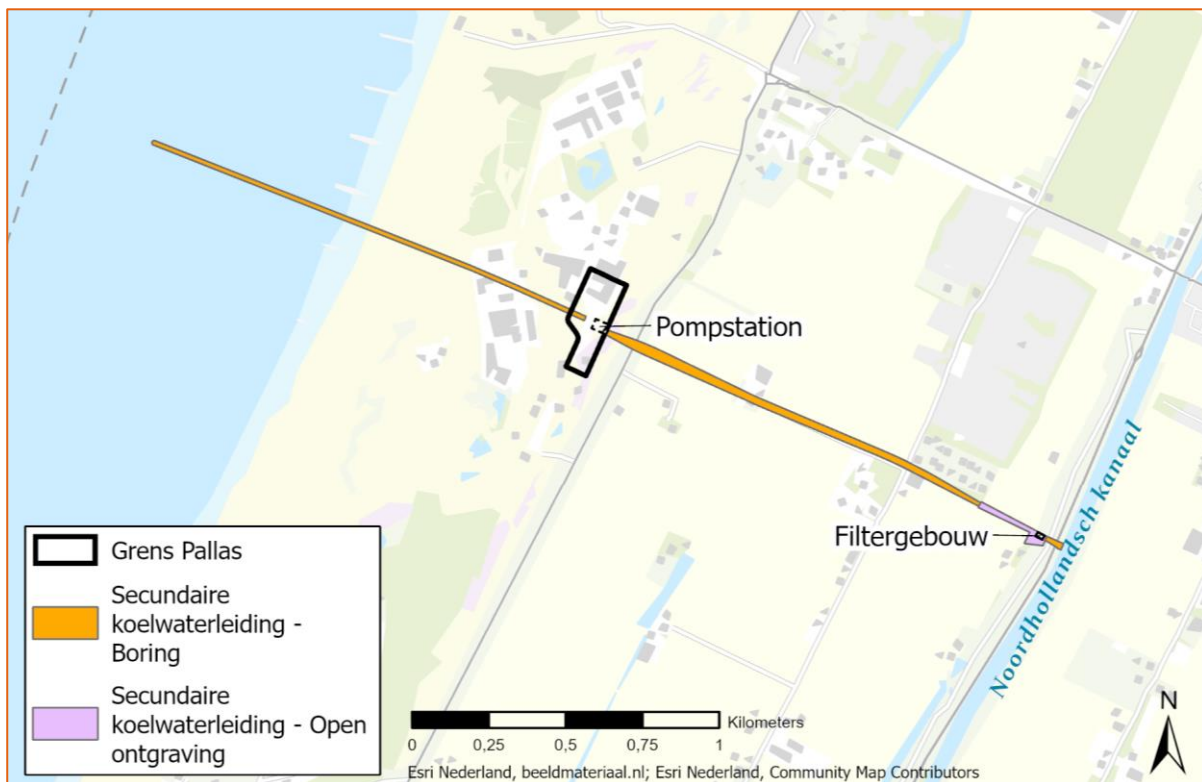
### 5.1 Effecten tijdens de bouwfase

De aanleg van de bouwkuip zal binnen diepwanden plaatsvinden. Deze wanden laten nauwelijks water door en na voltooiing van de PALLAS-reactor helemaal niet meer. Verticale stroming langs deze wanden is niet te verwachten. Voor funderingspalen kan dit anders zijn, afhankelijk van het soort funderingspalen dat gebruikt wordt. Dit kan tot verzoeting leiden in het watervoerend pakket onder de Holocene afzettingen.

Uitgangspunt is dat de PALLAS-reactor in een kuip wordt aangelegd, waarbij onderwaterbeton wordt aangebracht onder de bodem van de kuip, om de werkzaamheden in den droge uit te kunnen voeren. In deze situatie vindt geen bemaling plaats (behalve mogelijk een kleine open bemaling om neerslag en geringe hoeveelheden lekwater af te voeren) en treedt geen verlaging van de stijghoogte op en de verandering van chloride concentratie is nihil. Om de effecten te bepalen zijn in de plan-MER fase modelberekeningen uitgevoerd. Ten behoeve van de onderhavige project-MER heeft detaillering van het model rond de EHC en modellering van alle geplande ingrepen in de ondergrond plaatsgevonden [2]. De monitoringgegevens [12] zijn gebruikt om het model te verfijnen en te verifiëren.

De aanleg van de koelwaterleiding (aanvoer en afvoer) zal grotendeels door een gestuurde boring (HDD) plaatsvinden. Alleen tussen het filtergebouw en het uittredepunt van de boor (300m afstand van het filterstation) zal de leiding in een open sleuf worden gelegd (zie Figuur 11). De open ontgraving zal worden uitgevoerd binnen een sleufbekisting om opbarsten van de sleufbodem te voorkomen. De ontgraving vindt gesegmenteerd plaats. Door de sleufbekisting wordt de noodzaak van grondwateronttrekking voorkomen en het risico op het aantrekken van zoute kwel gemitigeerd. Dat water wordt opgevangen, bemonsterd, en bij voldoende kwaliteit geloosd naar het Noordhollandsch Kanaal. Indien de kwaliteit onvoldoende is, dan wordt het water afgevoerd door een erkende verwerker.

Om het filtergebouw (en ter plaatse van het innamepunt) worden damwanden geplaatst. Binnen de damwanden wordt in den natte ontgraven en onderwaterbeton toegepast. De damwanden blijven in de eindsituatie staan en onder het maaiveld afgewerkt. Voor de constructie van het filtergebouw en het innamepunt wordt geen grondwater onttrokken. Het water in de bouwkuip dat na het aanbrengen van het onderwaterbeton wordt weggepompt wordt opgevangen, bemonsterd, en bij voldoende kwaliteit geloosd naar het Noordhollandsch Kanaal. Indien de kwaliteit onvoldoende is, dan wordt het water afgevoerd door een erkende verwerker.



Figuur 11 Koelwaterleidingen tracé

Het zand dat uit de bouwkuip en de sleuven voor de diepwanden wordt ontgraven zal worden opgeslagen op het EHC. Dit zand is grotendeels verzadigd met brak grondwater. Het zand uit de bouwkuip zal tijdelijk worden opgeslagen op of nabij de EHC.

Het zand uit de bouwkuip zal tijdelijk zo worden opgeslagen dat lozing van brak water op de onderliggende bodem en het grondwater wordt voorkomen. Als het schoon is, kan het ergens op het terrein in Petten in depot gaan of nuttig worden toegepast.

De volgende conclusies zijn getrokken per beoordelingscriterium:

- Vegetatie: Uit de modelberekeningen blijkt door de bouw van het reactorgebouw geen duinvalleien, laaggelegen natte locaties of de kwelzone ten oosten van het duingebied beïnvloed worden. Plaatsing van damwanden langs de LDA voor het afgraven van delen van de duinen heeft een effect op de grondwaterstanden en -flux. Dit effect is verwaarloosbaar wanneer damwanden worden toegepast die niet tot in de slecht doorlatende laag onder het zand reiken (niet dieper dan NAP -2m). Ook wanneer lange damwandplanken worden toegepast, is het effect op grondwaterafhankelijke natuur (voor zover aanwezig) nihil of afwezig. De effecten blijven beperkt tot de EHC en reiken niet tot in het aangrenzende Natura 2000-gebied.<sup>5</sup>
- Gebouwen: De PALLAS-reactor locatie ligt te midden van een aantal andere gebouwen. Dit betreffen gebouw 07, gebouw 15 en gebouw 204 op circa 50 m afstand. Andere gebouwen liggen op grotere afstand. Omdat geen bemaling van de reactorlocatie wordt toegepast, worden ter plaatse van deze gebouwen geen effecten verwacht.
- Duinen als onderdeel van de primaire kering: De effecten op het grondwater van de bouw van de PALLAS-reactor resulteren niet in zettingseffecten op de primaire waterkering.
- Landbouw:
  - Omdat geen bemaling voor de bouw van de reactor wordt toegepast, treden geen effecten in het landbouwgebied op.
  - Het gebruik van lange damwandplanken (tot in de slecht-doorlatende laag onder het duinzand) langs de LDA en toegangsweg resulteert in een kleine afname van de flux van zoet grondwater naar de sloot langs de Westerduinweg. Deze afname is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de inhoud van dit watersysteem. De hoeveelheid beschikbaar zoet water neemt niet af omdat het grondwater uiteindelijk rond de damwanden naar de sloot langs de Westerduinweg zal stromen.
- Grondwateronttrekkings- of infiltratiesystemen:
  - Het dichtstbijzijnde systeem dat grondwater gebruikt betreft het beheerssysteem van de tritiumvlek op ten minste 100 m ten noorden van de reactorlocatie. Deze sanering zou volgens het werkplan in 2019 zijn afgerond.
  - Er is een monobron<sup>6</sup> op circa 500 m ten noorden van de reactorlocatie aanwezig. Beïnvloeding van deze onttrekking vindt alleen plaats wanneer de reactorlocatie wordt aangelegd door middel van een grote bemaling. Omdat geen grootschalige bemaling zal plaatsvinden, worden de stijghoogten rond de monobron niet beïnvloed en worden ook de warme en koude grondwaterbellen niet verplaatst. Er wordt daarom ook geen beïnvloeding van de monobron verwacht.
  - Een derde grondwatersysteem is aanwezig ter plaatse van gebouw 13 en 204. Gebouw 204 is op circa 50 m afstand vanaf de reactorlocatie aanwezig. Vanwege het drooghouden (kelders) van gebouwen (gebouwen 13, 201 en 204) en leidingen wordt, indien de grondwaterstand daartoe aanleiding geeft, grondwater opgepompt en weer in de vijver op het terrein geloosd. Wanneer geen bemaling voor de bouw van de reactor wordt toegepast, dan worden er geen effecten op dit systeem verwacht.
- Mobiele verontreinigingen: De dichtstbijzijnde mobiele verontreiniging is voor zover bekend de tritiumverontreiniging op ten minste 100 m ten noorden van de reactorlocatie. Tijdens de bouwfase wordt ervan uitgegaan dat geen bemaling of een zeer geringe bemaling wordt toegepast en geen beïnvloeding van de vlek of het beheerssysteem plaatsvindt.

<sup>5</sup> Een deel van de damwanden zal echter wel tot NAP -3 m worden geplaatst. Wanneer de bodemlaag tussen NAP -2 m en -3 m, tegen de verwachting in, niet uit doorlatend zand blijkt te bestaan, dan zijn de berekende effecten van de damwanden zodanig (hogere grondwaterstanden in het Natura 2000-gebied, mogelijke beïnvloeding tritium verontreiniging) dat dan andere mitigerende maatregelen moeten worden getroffen. Die kunnen eventueel bestaan uit het aanleggen van drainage langs de damwanden en hevels/sifons naar de oostzijde van de damwanden.

<sup>6</sup> Een monobron is een bodemenergiesysteem bestaande uit twee bronnen in één boorgat....

Het gebruik van lange damwandplanken (tot in de slecht-doorlatende laag onder het duinzand) langs de LDA en toegangsweg, zal in veranderingen van freatische grondwaterstanden en het stromingspatroon van het ondiepe grondwater resulteren.

Het is niet de verwachting dat dit de verspreiding van de tritium verontreiniging zal beïnvloeden. NRG is verplicht de verspreiding van het tritium te blijven monitoren.

- De grondwaterkwaliteit (zoutgehalte) wordt niet negatief beïnvloed, door het gebruik van het vloeistofdichte folie en het opvangen en afvoeren van het uittredende water.

## 5.2 Effecten tijdens de exploitatie fase

### 5.2.1 Grondwaterstanden en stijghoogten

De deels ondergrondse bouw van het reactorgebouw vormt een blokkade voor de min of meer oostwaarts gerichte grondwaterstroming. Dit resulteert in een verhoging van de grondwaterstanden en stijghoogten ten westen van het gebouw en een verlaging van de grondwaterstanden en stijghoogten ten oosten van het gebouw. Om dit effect zoveel mogelijk te reduceren, is een drain op NAP +0m voorzien aan de bovenstroomse zijde van het gebouw. Deze drain voorkomt opstuwing van het freatische grondwater. Aan de benedenstroomse zijde van het gebouw wordt het water via een andere drain op NAP +0m geïnfilteerd. Het resultaat is een zeer geringe verlaging van de freatische grondwaterstand aan de zuid- en oostzijde van het gebouw.

De bouw van het pomphuis zal binnen damwanden plaatsvinden. Dit veroorzaakt extra blokkades voor de grondwaterstroming. Het effect van het pomphuis op de freatische grondwaterstand is zeer gering. Ten oosten van het pomphuis treedt een grotere verlaging van de freatische grondwaterstand op, tot 13 cm. Deze verlaging treedt alleen op binnen het bebouwde deel van de EHC. De keerwanden, die als grondkerende constructies langs de LDA en de toegangsweg worden aangebracht, worden na de bouw fase verwijderd. Uit sonderingen blijkt dat deze keerwanden niet tot in het kleipakket reiken, dat op -4 meter NAP ligt. Het zandpakket tussen onderkant keerwanden en kleipakket laat stroming toe, en dus worden geen effecten op de grondwaterstanden verwacht.

Het effect op de stijghoogte in de watervoerende pakketten vanaf circa NAP -8 m door de bouw van het reactorgebouw en de diepwanden is zeer gering, in de orde van grootte van enkele millimeters. Dit effect strekt zich tot enkele tientallen meters rond het reactorgebouw uit en beperkt zich dus tot de EHC. Het pomphuis heeft nauwelijks een extra effect hierop.

De funderingspalen doorsnijden mogelijk de slecht-doorlatende lagen op een diepte van circa NAP -22 tot NAP -31 m (Formatie van Kreftenheye en Eem Formatie)<sup>7</sup>. Wanneer wordt aangenomen dat er een geringe lekkage langs de funderingspalen kan optreden, blijkt er een minimale verlaging in stijghoogte te ontstaan in de watervoerende laag boven de kleilaag. Door de versterkte inzijging van het (zoete) freatische grondwater langs de funderingspalen daalt de chlorideconcentratie in het watervoerend pakket met fracties van milligrammen. Dit effect is praktisch nihil.

De funderingspalen van de andere gebouwen dan het reactorgebouw, welke de slecht-doorlatende Holocene afzettingen onder het duinzand (Laagpakket van Wormer, het Hollandveen en de Basisveenlaag) doorsnijden, hebben een minimaal effect op de freatische grondwaterstand (minder dan 1 mm) en het chloridegehalte van het grondwater (minder dan 1 mg/l verandering).

### 5.2.2 Grondwaterkwaliteit

De berekende effecten op de chlorideconcentraties ten gevolge de opstuwing en verlaging van de grondwaterstanden en stijghoogtes rond het reactorgebouw en het pomphuis zijn niet significant (kleiner dan 1 mg/l). Hierdoor wordt verwacht dat ook de blokkade van de grondwaterstroming door de damwanden onder het NHC (Nucleair Health Center) geen significant effect op de chlorideconcentraties zal hebben.

<sup>7</sup> Er zullen vibro-palen gebruikt worden, waarbij eerst een stalen casing (buis) in de grond wordt geheid, of in een voorgeboord gat wordt geplaatst. Deze casing wordt gevuld met wapening en beton waarna de casing getrokken wordt. Door het trekken van de casing kunnen, in theorie, ter hoogte van de slecht-doorlatende kleilagen geringe lekstromen optreden door zand dat in de ruimte tussen funderingspaal en de klei stroomt.



Voor de damwanden langs de LDA dalen de berekende freatische grondwaterstanden niet tot NAP +0 m of lager. Hierdoor wordt voorkomen dat brak of zout water uit de diepere watervoerende pakketten door de slecht doorlatende laag onder het duinzand en het Laagpakket van Walcheren omhoog kan kwellen. De damwanden zullen daarom geen effect op de freatische grondwaterkwaliteit hebben.

### 5.3 Effectbeoordeling

Tabel 5 en Tabel 6 geven de effectbeoordeling voor de bouwfase en overgangs- en exploitatiefase voor het aspect Grondwater, zoals in voorgaande paragraaf beschreven.

Tabel 5 Effectbeoordeling grondwater in de bouwfase

Deelaspect	Beoordelingscriterium	Score
<b>Grondwaterstanden en stijghoogten</b>	Vegetatie	0
	Gebouwen	0
	Duinen als onderdeel van de waterkering	0
	Landbouw	0
	Grondwateronttrekkings- of infiltratiesystemen	0
	Mobiele verontreinigingen	0
<b>Grondwaterkwaliteit</b>	Zoutgehalte	0
	Verontreinigingen	0

Tabel 6 Effectbeoordeling grondwater in de overgangs- en exploitatiefase

Beoordelingscriterium	Score	
<b>Grondwaterstanden en stijghoogten</b>	Vegetatie	0
	Gebouwen	0
	Duinen als onderdeel van de waterkering	0
	Landbouw	0
	Grondwateronttrekkings- of infiltratiesystemen	0
	Mobiele verontreinigingen	0
<b>Grondwaterkwaliteit</b>	Zoutgehalte	n.v.t.
	Verontreiniging	n.v.t.

Afgeleide effecten:

- **Vegetatie** (verdroging, verzilting): de freatische grondwaterstand in de duinen ten oosten van het reactorgebouw daalt met 1 tot 5cm. Waar damwanden worden toegepast als grondkerende constructies langs de LDA en de toegangsweg is de kans op een groter, tijdelijk, effect op de grondwaterstanden in de duinlichamen aanwezig. Wanneer de damwanden na de bouwfase worden verwijderd is dit effect afwezig in de exploitatiefase. De grondwaterstand in de natte duinvalleien wordt niet door beïnvloed. De effecten reiken niet tot in het Natura 2000-gebied.
- **Gebouwen** (risico op zettingsschade): de effecten op de grondwaterstand en stijghoogte zijn zo gering dat er geen risico op zetting wordt verwacht. De grootste effecten van de damwanden langs de LDA en toegangsweg treden op in de duinlichamen die niet zettingsgevoelig zijn (bestaan uit zand) en waar geen bebouwing op aanwezig is.
- **Duinen als onderdeel van de zeewering** (risico op zetting): er treden effecten op de grondwaterstand in de duinlichamen op als gevolg van de damwanden langs de LDA en de toegangsweg. Omdat de duinen zelf uit zand bestaan, wordt geen zetting verwacht.
- **Landbouw** (droogteschade, schade als gevolg van verzilting): er treedt geen verandering van de grondwaterstanden in het landbouwgebied ten oosten van de reactor op. Wel neemt de flux van (zoet) grondwater vanuit de duinen af als gevolg van de damwanden langs de LDA en de toegangsweg. Deze grondwaterflux wordt onderschept door de sloot ten oosten van de Westerduinweg. De vermindering van de flux naar deze sloot is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de inhoud van dit watersysteem en de hoeveelheden water die via de sloot worden aangevoerd.

De totale hoeveelheid zoet grondwater neemt niet af omdat het grondwater uiteindelijk om de damwanden heen zal stromen naar de sloot langs de Westerduinweg.

- **Grondwateronttrekkings- of infiltratiesystemen:** de grondwaterstand ter hoogte van de bestaande gebouwen direct ten westen van het reactorgebouw kan hoger worden. In het ontwerp is uitgegaan van de aanleg van een drainage en infiltratiesysteem rondom het reactorgebouw. Er zal daarom geen effect optreden op de beheersonttrekking ter plaatse.
- **Mobiele verontreinigingen** (invloed op beheersing): de tritium verontreiniging ligt buiten het invloedsgebied (het gebied waar de grondwaterstand met 5 cm of meer verandert) van de verhoging en verlaging van de grondwaterstanden rond het reactorgebouw.
- **Zoutgehalte:** De grondwaterkwaliteit (zoutgehalte) wordt niet negatief beïnvloed, door het gebruik van het vloeistofdichte folie en het opvangen en afvoeren van het uittredende water.
- **Verontreiniging:** In de bouwfase worden maatregelen getroffen om nieuwe verontreinigingen te voorkomen, zoals bijvoorbeeld het gebruik van vloeistofdichte folie op tanklocaties van materieel.

## 6 MITIGERENDE MAATREGELEN

In geval van het optreden van grondwaterstanden die buiten de natuurlijke variatie (vastgesteld in het monitoringonderzoek, voorafgaande aan de bouwfase) vallen, dienen de werkzaamheden stilgelegd te worden en onderzoek gedaan te worden naar de oorzaak en gevolgen van effect. Aan de hand van de aard en omstandigheden van het opgetreden effect worden passende maatregelen genomen. Hetzelfde geldt voor het optreden van negatieve veranderingen van de grondwaterkwaliteit, zoals bijvoorbeeld het zoutgehalte. Mochten er onvoorziene effecten optreden op de verspreiding van de nabije tritiumverontreiniging, dan dient eveneens de oorzaak onderzocht te worden en eventueel mitigerende maatregelen genomen te worden. Deze maatregelen zouden een interceptie systeem kunnen omvatten.



## 7 LEEMTEN IN KENNIS

De kennis over het grondwatersysteem en de eigenschappen daarvan worden continu aangevuld door middel van onder andere metingen aan het monitoringnetwerk. Dit biedt inzicht in de eigenschappen en het gedrag van het grondwater. De monitoring resultaten tot mei 2020 zijn hier verwerkt. De monitoring wordt echter voortgezet en dit zal tot verdere bevestiging of ontwikkeling van de kennis van het grondwatersysteem leiden.

De uitvoeringswijzen zijn nog niet helemaal uitgekristalliseerd. Uitgangspunt is daarbij dat er maatregelen worden genomen om het aantrekken van zoute kwel en spanningsbemaling met maatregelen te voorkomen. Er zal geen bemaling nodig zijn, afgezien van een kleine open bemaling binnen de sleufbekisting om intredend regenwater af te voeren, en er treden geen effecten naar het grondwater op.

## 8 LITERATUURLIJST

- [1] Arcadis, "Grondwater modelstudie PALLAS reactor Petten (rap.nr. 078997279)," Arcadis, Arnhem, 2017.
- [2] Arcadis, "Update grondwater modelstudie PALLAS reactor," Arcadis, Arnhem, 2020.
- [3] Fugro, "Regional groundwater flow study concerning site characterisation for use req. Pallas project," Fugro, Leidschendam, 2016.
- [4] ECN, „VGM Jaarverslag 2013 - ECN-E-14-020," ECN, Petten, 2014.
- [5] ECN, „VGM Jaarverslag 2014, ECN-E-15-021," ECN, Petten, 2015.
- [6] NRG, „Verwijderen van Tritium Hot Spots op het HFR terrein - Werkplan," NRG, Petten, 2013.
- [7] Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming, "Handreiking voor een veilig ontwerp en het veilig bedienen van kernreactoren," Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection, The Hague, 2015.
- [8] International Atomic Energy Agency, "IAEA Safety Standard Series - Site Evaluation for Nuclear Installations - No. NS-R-3," IAEA, Vienna, 2003.
- [9] International Atomic Energy Agency, "Guides Managing Environmental Impact Assessment for Construction and Operation in New Nuclear Power Programmes," IAEA, Vienna, 2014.
- [10] Het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie, "Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid," Europese Gemeenschap, Brussel, 2000.
- [11] J. Van der Gaast, H. Vroon and H. Massop, "Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken," STOWA, Amersfoort, 2010.
- [12] Arcadis, "Grondwatermonitoring - Periode juli 2019 - mei 2020," Arcadis, Arnhem, 2020.
- [13] KNMI, "KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective. Scientific Report WR2014-01," KNMI, De Bilt, 2014.

## BIJLAGE A GRONDWATERMONITORING PALLAS

# UPDATE GRONDWATER MODELSTUDIE

PALLAS reactor Petten

PALLAS

22 FEBRUARI 2021

## Contactpersoon

### Specialist Geohydrologie

M  
E

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

---

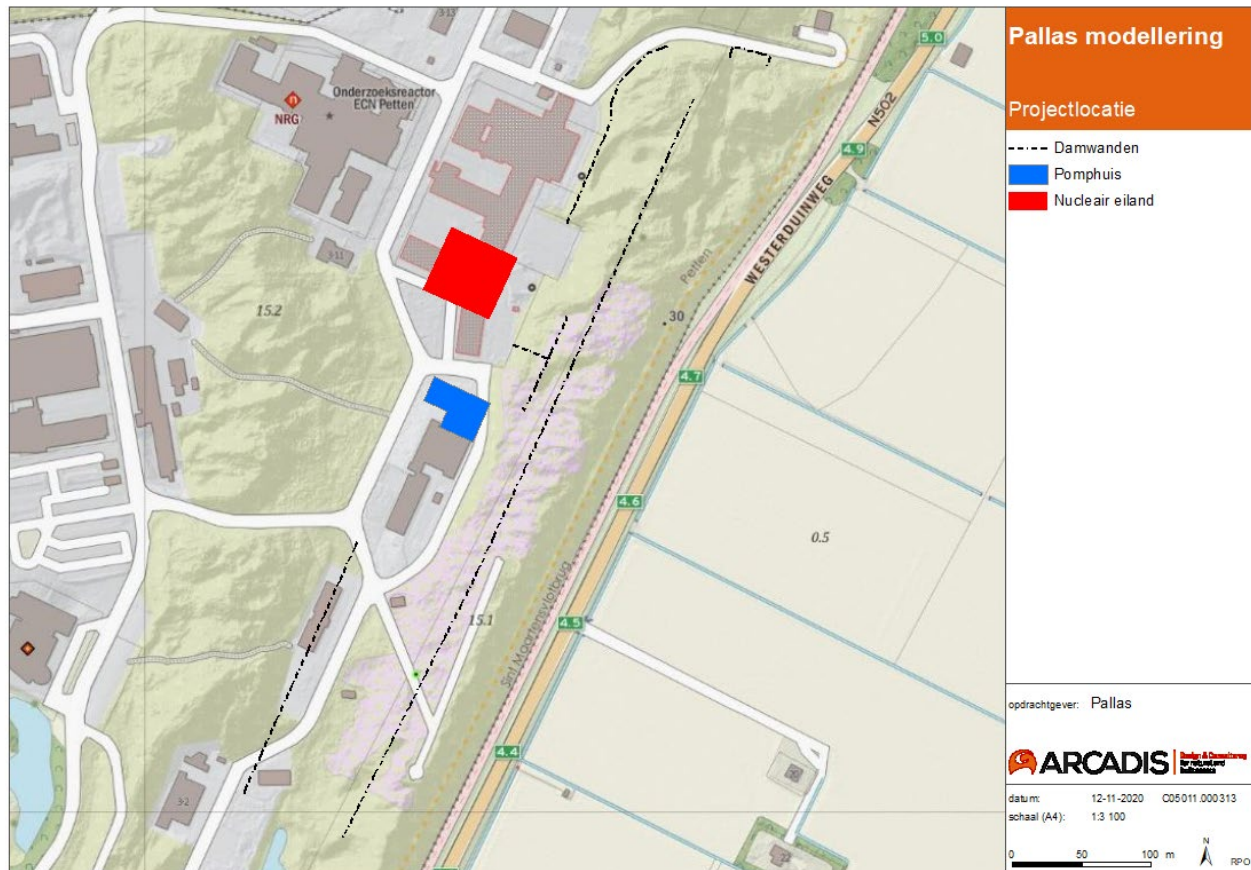
# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel	5
1.3	Leeswijzer	5
<b>2</b>	<b>UITGANGSPUNTEN MODEL</b>	<b>6</b>
2.1	Uitgangspunten	6
2.2	Monitoring 2019 - 2020	6
2.3	Controle en aanpassingen	8
<b>3</b>	<b>SCENARIOBEREKENINGEN</b>	<b>10</b>
3.1	Aanpassingen	10
3.2	Uitgangspunten	11
3.3	Modelscenario's	12
3.4	Resultaten	13
<b>4</b>	<b>OMGEVINGSEFFECTEN</b>	<b>17</b>
4.1	Vegetatie	17
4.2	Gebouwen	17
4.3	Duinen (primaire kering)	17
4.4	Landbouw	17
4.5	Onttrekkings- en infiltratiesystemen	17
4.6	Mobiele verontreinigingen	18
<b>5</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>19</b>
	<b>REFERENTIES</b>	<b>20</b>
	<b>COLOFON</b>	<b>21</b>

# 1 INLEIDING

## 1.1 Aanleiding

Arcadis is door PALLAS gevraagd om het mogelijke effect van de aanleg van een (nieuwe) nucleaire reactor, pomphuis en (tijdelijke) keerwanden op het grondwater in de omgeving te onderzoeken (Figuur 1). De geplande locatie van het reactorgebouw is de Westerduinweg 3 op de Energy and Health Campus Petten (EHC). Hierbij is uitgegaan van het Ontwerpkader Pallas ten behoeve van het Besluit-MER [1] d.d. 5 oktober 2020.



*Figuur 1. Ligging van de geplande PALLAS-reactor ('Nucleair eiland') en het pomphuis in de Energy and Health Campus Petten (EHC), samen met de te plaatsen (tijdelijke) keerwanden langs de toegangsweg en de LDA. De aangegeven drainagevoorziening (gele lijn) rondom het reactorgebouw is een (optionele) mitigerende maatregel.*

In de voorliggende modelstudie is voortgeborduurd op de voorgaande (geohydrologische) modelstudie [2], waarin een grondwatermodel is ontwikkeld en doorgerekend voor de destijds bekende ingrepen. Hierbij is ook een uitgebreide kalibratie en validatie van het model uitgevoerd. Uit dit onderzoek kwamen de volgende aanbevelingen en leemten in kennis [2] naar voren:

- Zonder bemaling van de locatie van het nucleaire eiland wordt ter plaatse van de gebouwen op de EHC geen effect verwacht. Ter controle wordt echter aanbevolen om een peilbuis te plaatsen en op enkele gebouwen hoogtewebouten te plaatsen om eventuele effecten waar te kunnen nemen.
- Het zoutgehalte is de meest belangrijke parameter voor de kwaliteit van het grondwater. Het zoutgehalte is van invloed op het fysische gedrag van het grondwater (dichtheidsstroming) en is van belang voor de ecologie en de landbouw. Directe meetgegevens van de huidige zoutverdeling zijn echter beperkt beschikbaar en daarmee een leemte in kennis.
- Het aanbrengen van diepe peilbuizen in het duingebied ten einde meer directe meetgegevens te verzamelen, brengt mogelijk schade toe aan de duinen. Dit moet worden afgewogen tegen de meerwaarde van monitoring.

Naar aanleiding van de voorgaande modelstudie en de bovengenoemde aanbevelingen en leemten in kennis is een monitoring uitgevoerd in de periode vanaf mei 2019. De monitoringresultaten tot en met mei 2020 [3] zijn voor onderhavige studie gebruikt. Hierbij zijn o.a. aanvullende peilbuizen geplaatst en is het zoutgehalte van de (diepe) peilbuizen bepaald. De gegevens uit dit monitoringsonderzoek – gemeten grondwaterstanden, stijghoogten en chlorideconcentraties – zijn gebruikt om het bestaande model [4] te verifiëren en aan te passen waar nodig.

## 1.2 Doel

Het doel van deze modelstudie is om de mogelijke effecten van de aanleg van een (nieuwe) nucleaire reactor, pomphuis en damwanden op het grondwater in de omgeving te bepalen. Binnen het onderzoek is daarnaast ook een controle en update van het bestaande model [4] uitgevoerd, waarbij de berekende stijghoogten en de initiële zoutconcentratie zijn vergeleken met de metingen uit de monitoring van 2019 t/m 2020.

De effecten die in deze modelstudie worden behandeld, zijn het effect op de freatische grondwaterstand, stijghoogten in de bodemlagen onder de deklaag, grondwaterstroming, zoutgehalte en het zoet-zout grensvlak. Onderzoek naar deze effecten is nodig voor het bepalen van eventuele risico's die door veranderingen in het grondwaterregime beïnvloed kunnen worden.

## 1.3 Leeswijzer

De hoofdstukken in voorliggend rapport volgen in grote lijnen de stappen van de vorige modelstudie [4]. Voor een uitgebreide beschrijving van de huidige situatie, de opbouw en uitgangspunten van het model, en de kalibratie en validatie van het model verwijzen we naar dit rapport. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de opbouw en de uitgangspunten van het model. De berekende effecten op het grondwater in de gebruiksfase (d.i. eindsituatie) van het model zijn beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de effecten voor de omgeving beschreven.



## 2 UITGANGSPUNTEN MODEL

Voor de beschrijving van de omgeving van de geplande ingrepen verwijzen we naar voorgaande rapporten [5, 4]. Dit geldt ook voor het grootste deel van de opbouw en uitgangspunten van het model, en de kalibratie en validatie. In dit hoofdstuk zijn alleen de wijzigingen in het model beschreven, die zijn uitgevoerd naar aanleiding van de monitoringsgegevens (periode mei 2019 t/m mei 2020).

### 2.1 Uitgangspunten

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het stationaire grondwatermodel, dat is ontwikkeld, gekalibreerd en gevalideerd in de voorgaande modelstudie naar de effecten van een nieuwe reactor [4]. Dit model is opgezet in de modelleeromgeving Groundwater Vistas (versie 7.24) met de modelcode SEAWAT. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van het originele model samengevat.

Tabel 1. Samenvatting modelkenmerken.

Modeleigenschappen	Waarde
Bodemopbouw	GeoTOP (maaiveld tot NAP -30 m) REGIS II / FEFLOW (NAP -30 tot -250 m)
Modelgebied	10 km lengte, 6 km breedte
Modelresolutie (horizontaal)	100 x 100 m, lokale verfijning naar 25 x 25 m
Laagdikte	1 m (maaiveld tot NAP -30 m) 1,5 tot 25 m (NAP -30 tot -250 m)
Grondwateraanvulling	0,8 mm per dag
Kalibratie	Periode: 1996 – 2005 Gemiddelde afwijking: -0,02 m Absoluut gemiddelde afwijking: 0,12 m
Validatie	Periode: 2006 – 2015 Gemiddelde afwijking: 0,07 m Absoluut gemiddelde afwijking: 0,16 m

### 2.2 Monitoring 2019 - 2020

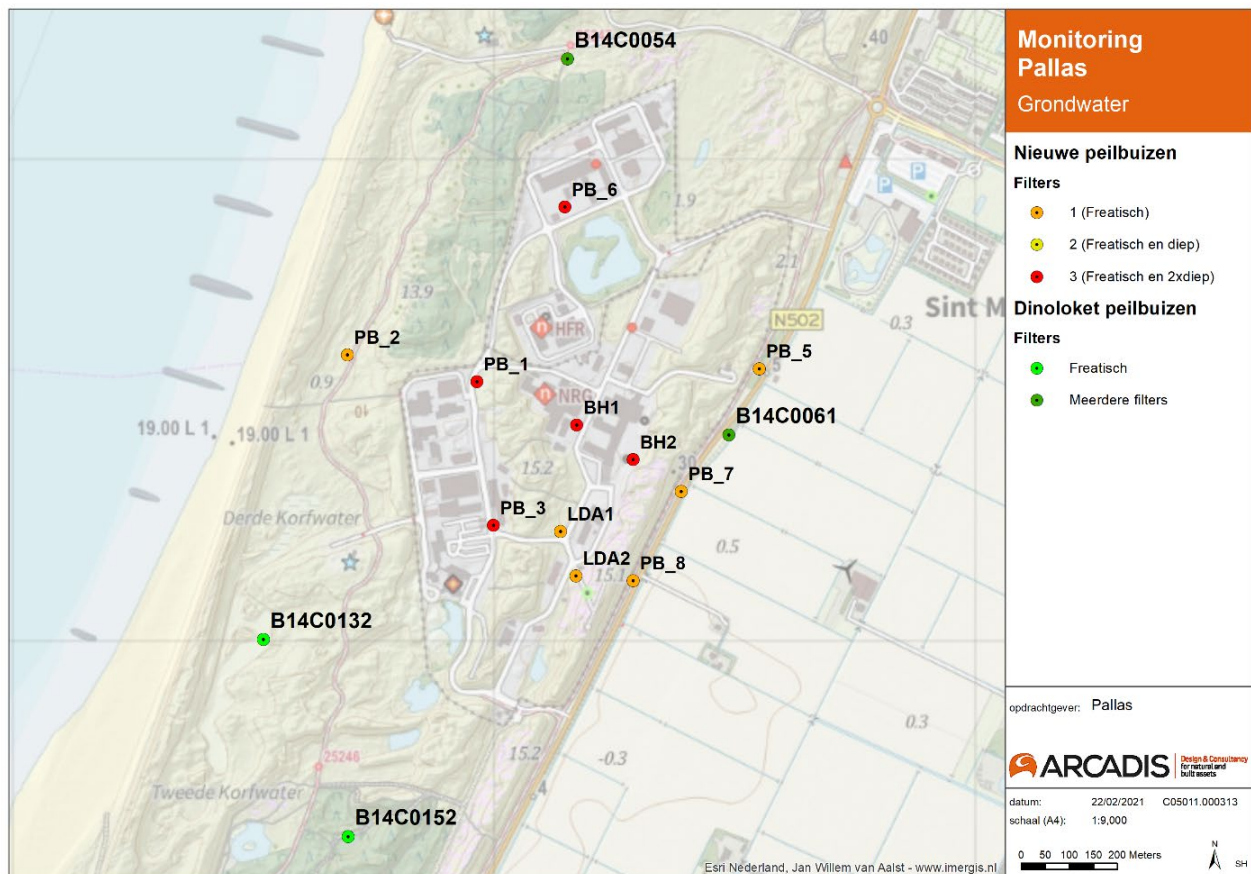
In de periode mei 2019 t/m mei 2020 [3] is een monitoring uitgevoerd om een beter beeld te krijgen van de huidige geohydrologische situatie. Hierbij zijn van 18 juli 2019 t/m 27 mei 2020 de grondwaterstanden en stijghoogten bemeaten van bestaande en nieuwe peilbuizen (Figuur 2), en tussen 13 en 15 mei 2019 zijn grondwatermonsters genomen, waarvan o.a. de chlorideconcentratie is bepaald. De gemeten gemiddelde grondwaterstand en stijghoogte, en de gemeten chlorideconcentraties (Tabel 2) zijn vergeleken met het gekalibreerde model uit de voorgaande modelstudie [4] en waar nodig is het model aangepast.

In Tabel 2 is naast de gemeten chlorideconcentratie ook de geleidbaarheid (EC) en een classificatie van het type grondwater aangegeven (d.i. zoet, brak of zout grondwater). Hierbij is – evenals in de voorgaande modelstudie – zoet grondwater gedefinieerd als water met een chloridegehalte kleiner dan 150 mg/l (blauw), en zout grondwater als water met een chloridegehalte groter dan 1.500 mg/l (oranje). Oftewel brak grondwater is gedefinieerd als water met een chloridegehalte tussen 150 en 1.500 mg/l (paars).

Uit de gemeten chlorideconcentraties volgt dat de bovenste meters van het grondwater in het duingebied bestaan uit zoet tot licht brak grondwater (< 250 mg/l). De diepte van het zoet-brak grensvlak (150 mg/l) bevindt zich of dicht bij het maaiveld (PB\_1, PB\_3, PB\_6) of tussen NAP -9 en -14 m (B14C0054, BH1, BH2). Zout grondwater is alleen aangetroffen bij peilbuis B14C0061, hier geven de metingen echter geen eenduidig beeld over de diepte van het brak-zout grensvlak.

Tabel 2. Bemonsterde EC-waarden en chlorideconcentraties (13 tot 15 mei 2019).

Peilbuis	Filterdiepte (NAP - m)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	Chloride (mg/l)	Classificatie
B14C0054	-1,1 tot -2,1	630	58	zoet
	-9,1 tot -10,1	2.150	510	brak
	-19,1 tot -20,1	1250	74	zoet
B14C0061	-12,77 tot -13,77	7.200	2.100	zout
	-34,77 tot -35,77	5.380	1.400	brak
	-45,77 tot -46,77	> 20.000	11.000	zout
B14C0132	0,13 tot -0,37	690	99	zoet
B14C0152	1,1 tot 0,6	748	98	zoet
BH1	-0,3 tot -1,3	520	58	zoet
	-14,3 tot -15,3	1.090	210	brak
	-29,3 tot -30,3	870	130	zoet
BH2	-0,7 tot -1,7	770	110	zoet
	-14,2 tot -15,2	870	150	brak
	-29,2 tot -30,2	960	210	brak
LDA1	0,3 tot -0,7	660	100	zoet
LDA2	0,4 tot -0,6	630	110	zoet
PB_1	-1,6 tot -2,6	1.220	170	brak
	-14,2 tot -15,2	2.050	300	brak
	-29,2 tot -30,2	1.230	420	brak
PB_2	0,2 tot -0,9	510	66	zoet
PB_3	-1,1 tot -2,1	1.250	240	brak
	-13,6 tot -14,6	1.540	260	brak
	-28,6 tot -29,6	3.120	580	brak
PB_5	0,4 tot -0,6	810	110	zoet
PB_6	2 tot 1	1.200	230	brak
	-14,8 tot -15,8	1.720	320	brak
	-29,7 tot -30,7	2.900	680	brak
PB_7	0,3 tot -0,7	560	55	zoet
PB_8	0,2 tot -0,8	1.000	200	brak



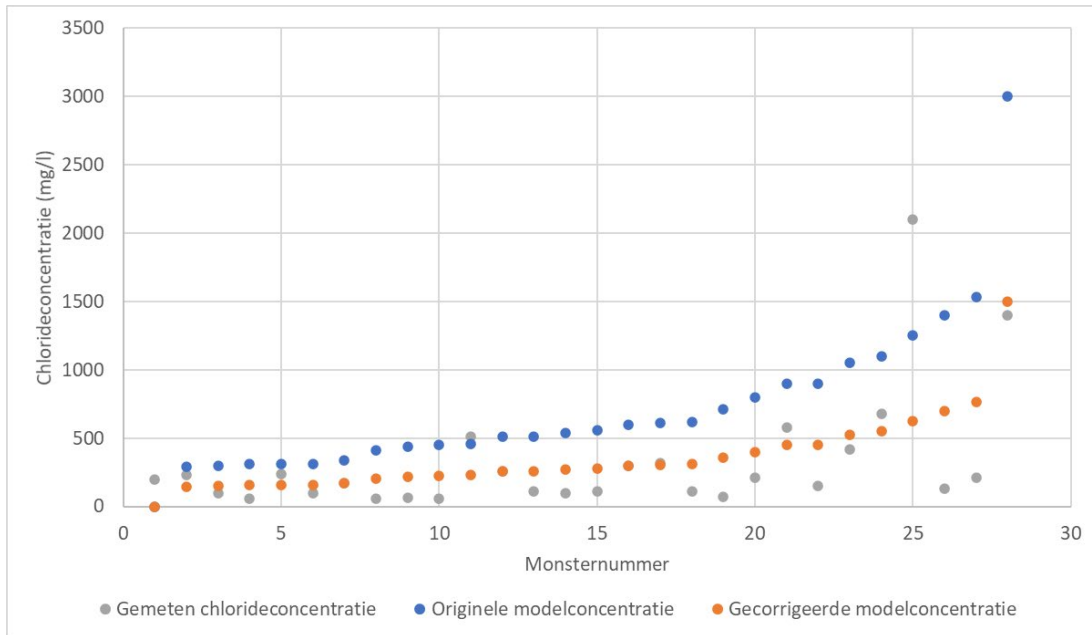
Figuur 2. Kaart met monitoringslocaties (vier uit DINOloket en elf nieuwe peilbuizen).

## 2.3 Controle en aanpassingen

Om te verifiëren of de chlorideconcentraties in het eerdere ontwikkelde grondwatermodel aansluiten of overeenkomen bij de recente metingen (Tabel 2) zijn de gemeten chlorideconcentraties vergeleken met de initiële chlorideconcentraties uit het bestaande grondwatermodel (Figuur 3). Omdat alleen in peilbuis B14C0061 zout grondwater is aangetroffen, en de aangetroffen chlorideconcentraties geen eenduidig beeld geven van de diepte van het brak-zout grensvlak, is geconcentreerd op de zone onder dit grensvlak (chlorideconcentraties kleiner dan 1.500 mg/l). Voor de leesbaarheid is daarom in Figuur 3 ook de meting (en modelwaarde) van het derde filter van peilbuis B14C0061 weggelaten.

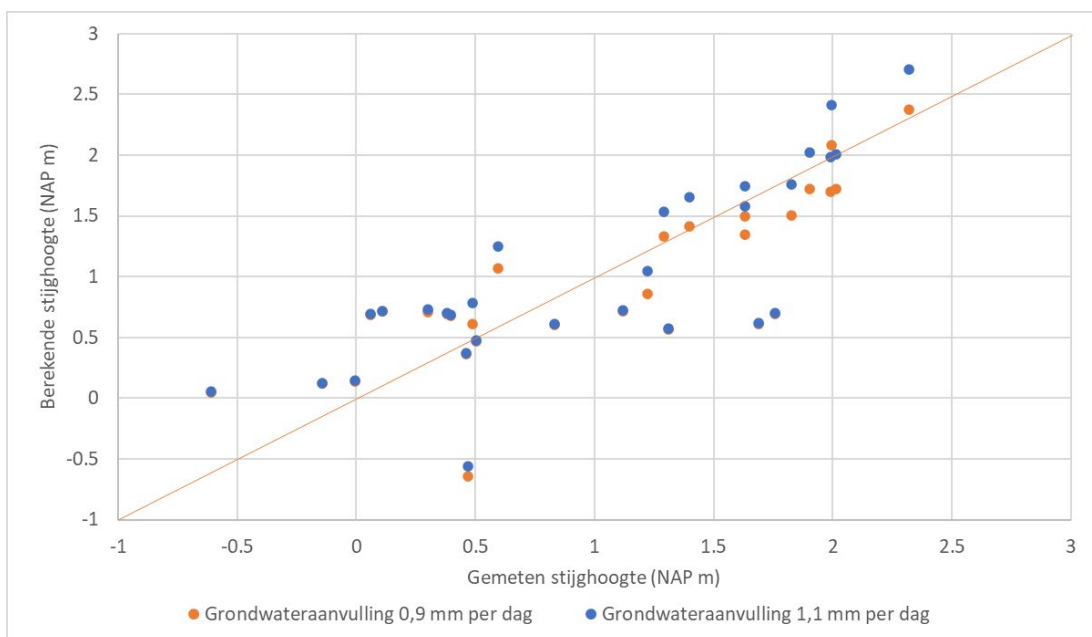
In Figuur 3 is goed te zien dat de gemeten chlorideconcentraties (grijze punten) onder het brak-zout grensvlak (chlorideconcentraties kleiner dan 1.500 mg/l) systematisch lager zijn dan de initiële chlorideconcentraties uit het bestaande grondwatermodel (blauwe punten). Oftewel, in het bestaande model wordt de chlorideconcentratie van het ondiepe grondwater overschat (d.i. in werkelijkheid is het grondwater zoeter). Omdat de metingen (Tabel 2) geen duidelijke aanleiding geven om het brak-zout grensvlak aan te passen, is alleen een correctie uitgevoerd ten aanzien van de chlorideconcentratie tussen het maaiveld en het brak-zout grensvlak. Als correctie zijn alle (initiële) chlorideconcentraties met een waarde kleiner dan 1.500 mg/l gehalveerd (oranje punten).

Door deze correctie sluit de modelwaarde beter aan bij de gemeten chlorideconcentraties. Lokale afwijkingen zijn niet opgenomen in het model, omdat we slechts één meetwaarde hebben van de chlorideconcentratie op de monitoringslocaties. Hierdoor zijn toevallige uitschieters, meetfouten of verwisselingen van filters niet uit te sluiten.



Figuur 3. Gemeten chlorideconcentratie (grijs), originele chlorideconcentratie model (blauw), gecorrigeerde chlorideconcentratie (oranje), gesorteerd op de (originele) modelconcentratie (van laag naar hoog).

Om te verifiëren of de gemeten stijghoogten aansluiten bij het model zijn de gemeten gemiddelde stijghoogten vergeleken met de stationaire stijghoogten uit het bestaande grondwatermodel (Figuur 4). Hierbij is de grondwateraanvulling aangepast naar het gemiddelde neerslagoverschot over de meetperiode 18 juli 2019 t/m 27 mei 2020. Dit is geschat op basis van de gemeten neerslag en referentiegewas-verdamping bij het weerstation De Kooy: 0,9 mm/d. Uit Figuur 4 volgt dat de gemeten en berekende stijghoogte naar benadering overeenkomen: een gemiddelde afwijking van -0,08 m, en absoluut gemiddelde afwijking van 0,37 m. Alleen de stijghoogten tussen 1 en 2,5 m NAP worden systematisch onderschat door het model. Een mogelijke verklaring voor deze onderschatting is dat de werkelijke (actuele) verdamping in het duingebied lager is, en dus de werkelijke grondwateraanvulling hoger is. Om dit te illustreren, is ook een vergelijking toegevoegd bij een grondwateraanvulling van 1,1 mm/d. Vanwege de relatief kleine afwijking met de metingen, en omdat het niet zeker is of de werkelijke grondwateraanvulling daadwerkelijk hoger is, is de grondwateraanvulling bij de scenarioberekeningen niet aangepast (zie paragraaf 2.1).



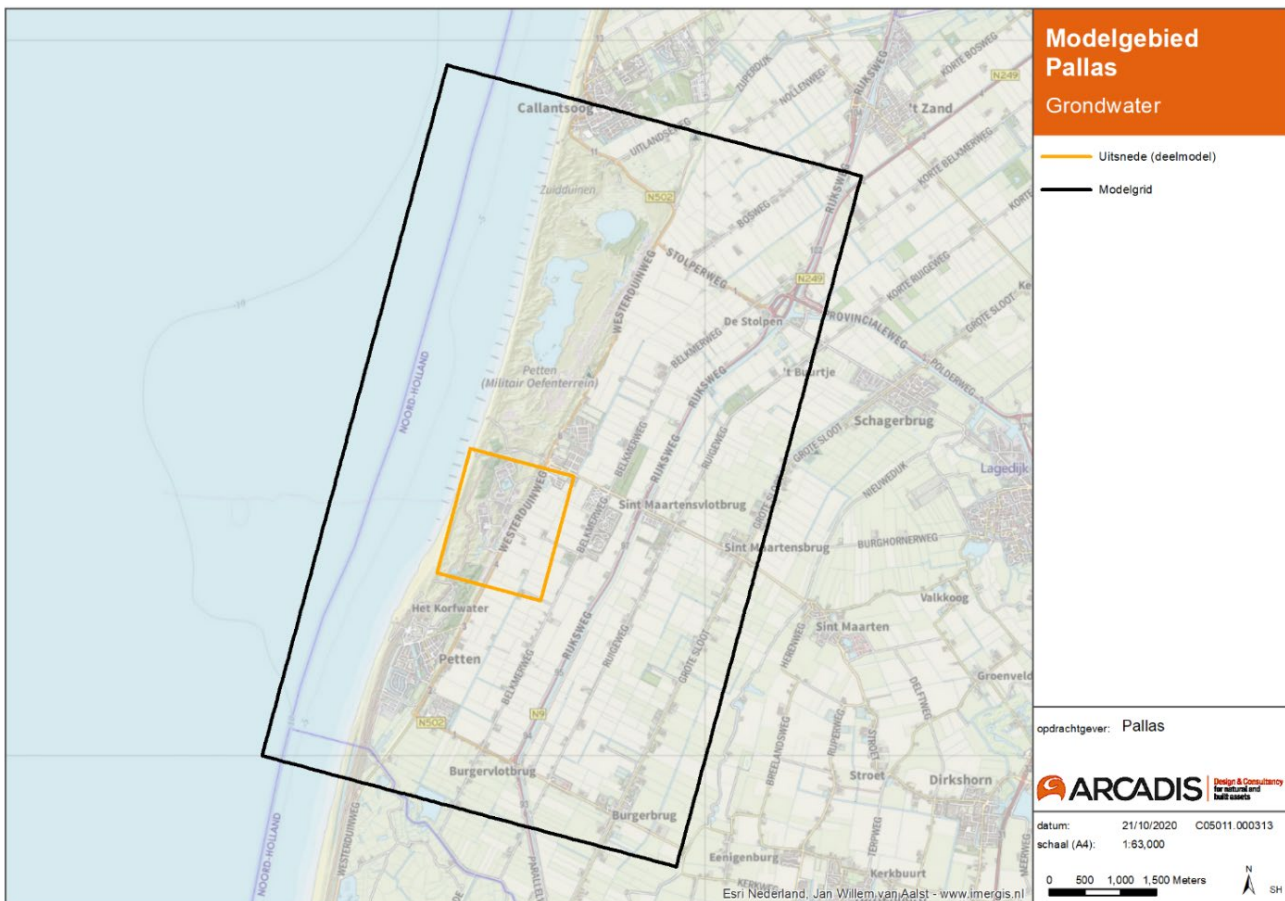
Figuur 4. Gemeten gemiddelde stijghoogte (18 juli 2019 t/m 27 mei 2020) uitgezet tegen de berekende stationaire stijghoogte (na correctie chlorideconcentratie) bij een grondwateraanvulling van 0,9 mm/d (oranje) en 1,1 mm/d (blauw).

### 3 SCENARIOBEREKENINGEN

#### 3.1 Aanpassingen

Voor de scenarioberekeningen is gebruik gemaakt van het stationaire grondwatermodel, dat is ontwikkeld en beschreven in de voorgaande modelstudie [4]. Naar aanleiding van de monitoring van mei 2019 t/m mei 2020 [3] is daarin wél de huidige (3D-)verdeling van de chlorideconcentratie aangepast (zie paragraaf 2.3).

Om de ingrepen (e.g. damwanden) in een hoger detailniveau te kunnen doorrekenen, is een uitsnede gemaakt (d.i. 'dochtermodel') uit het bovengenoemde model (Figuur 5). In dit deelmodel is – evenals bij de voorgaande modelstudie – een gridresolutie van 5 bij 5 m gehanteerd. Hierbij zijn de bodemparameters in de kleinere modelcellen gelijk gehouden als in de grotere modelcellen van het overkoepelende model (d.i. 'moedermodel'). Om de uitstraling naar het oostelijk gelegen landbouwgebied correct in beeld te kunnen brengen, is het oppervlaktewater van het poldergebied opnieuw geschematiseerd op een schaal van 5 bij 5 m. Voor de ligging, het waterpeil, de bodemhoogte, en bodembreedte van de waterlopen is uitgegaan van leggegevens van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Gebaseerd op metingen in het Noordhollandsch Kanaal [2] is de gemiddelde chlorideconcentratie van de waterlopen geschat op 300 mg/l. De overige randvoorwaarden zijn gelijk gehouden aan het overkoepelende model.



Figuur 5. Grenzen van het overkoepelende model (zwarte lijn) en het deelmodel (oranje lijn)



## 3.2 Uitgangspunten

De geplande ingrepen – met een mogelijk effect op de grondwaterstroming en grondwaterstanden – die zijn onderzocht in dit rapport bestaan uit: (1) de aanleg van een reactorgebouw, (2) de aanleg van een pomphuis, en (3) enkele (tijdelijke) keerwanden langs de toegangsweg en de LDA (Figuur 1). De aanlegmethoden en de aanlegdiepten van alle ingrepen zijn beschreven in Tabel 3. Hierbij zijn het ontwerp kader [1] en de meest recente ontwerp tekeningen 'Nuclear Island – Construction Pit' en 'Secondary Cooling – Construction pit' d.d. 25-09-2020 als uitgangspunt genomen.

Voor alle onderdelen van het ontwerp geldt dat er bij de werkzaamheden weinig tot geen bemaling wordt toegepast en in de constructiefase geen effecten optreden [4], zodat alleen de effecten van de eindsituatie dienen te worden onderzocht.

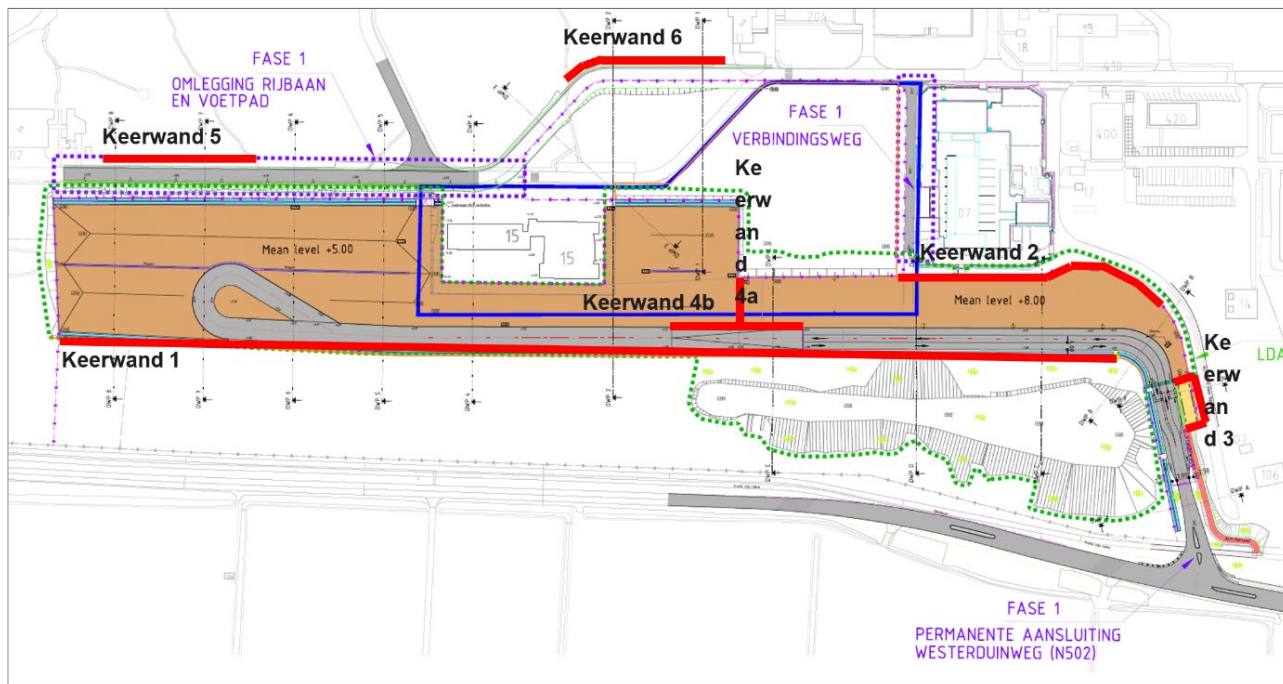
Tabel 3. Onderdelen van het ontwerp, die (mogelijk) invloed kunnen hebben op de (lokale) grondwaterstanden.

Onderdelen	Aanlegmethode	Aanlegdiepte	Voorgaand onderzoek
Reactorgebouw	Aanleg d.m.v. diepwanden: - ontgraving in den natte (binnen diepwanden); - funderingspalen (vibropalen); - onderwaterbeton op de bodem.	- Onderzijde gebouw max. NAP -22,2 m (diepte van onderwaterbeton); - funderingspalen tot max. NAP -53 m; - diepwanden tot max. NAP -37 m.	Zie Variant B2 in [4].
Pomphuis <sup>1</sup>	Aanleg d.m.v. diepwanden: - ontgraving in den natte (binnen diepwanden); - onderwaterbeton op de bodem.	- Onderzijde gebouw max. NAP -9,3 m; - diepwanden tot max. NAP -16,5 m.	Zie Variant B2 in [4].
Koelwaterleiding	Horizontaal gestuurde boring (HDD). Hierbij is geen bemaling nodig.	Niet relevant.	Optie niet eerder onderzocht.
(Tijdelijke) keerwanden	Geen bemaling nodig.	Variabele einddiepte [6], maximaal NAP -3 m, zie Tabel 4.	Zie model scenario's in [7].
Afgraving / ophoging	Afgraving of ophoging langs de toegangsweg en de LDA. Hierbij is geen bemaling nodig.	- Tussen de keerwanden wordt het maaiveld afgevlakt naar NAP 8 t/m 5 m; - hoogte storthoop NAP 11,5 m.	Zie model scenario's in [7].

Omdat nauwelijks tot geen bemaling nodig is – vanwege de gekozen aanlegmethode – worden tijdens de aanleg geen significante effecten ten aanzien van de grondwaterstand verwacht. Dit betekent dat voor het bepalen van de effecten alleen de gebruiksfase (d.i. eindsituatie) is onderzocht, waarin een blokkade van grondwaterstroming optreedt, bovenstrooms een opstuwing ontstaat en benedenstrooms een verlaging.

Evenals bij de voorgaande modelstudie [4] zijn de effecten van de plaatsing van damwanden berekend door ondoorlatende wanden in het model op te nemen. Hierbij is uitgegaan van bovengenoemde aanlegdiepte (d.i. onderzijde reactorgebouw, maximale diepte damwanden).

<sup>1</sup> Bij het pomphuis worden evenals bij het reactorgebouw ook funderingspalen toegepast, dit betreft echter palen met een kleinere diameter (micropalen), waarbij geen substantiële lekstromen te verwachten zijn.



Figuur 6. Overzicht tijdelijke keerwanden (rode lijnen), waarbij met de groene stippellijn het terrein is aangegeven waar een afgraving of ophoging plaatsvindt.

Tabel 4. Onderzijde (tijdelijke) keerwanden [NAP m], voor de ligging van de wanden zie Figuur 6.

1 noord	1 midden	1 zuid	2	3	4a en 4b	5	6
+2	-3	-2	+5	+6	0	+0.2	+4.3

Ter mitigatie van de effecten van de aanleg van het reactorgebouw is in de voorgaande modelstudie de aanleg van een drainage-/infiltratievoorziening rondom het gebouw voorgesteld. De locatie van de drainage-/infiltratievoorziening is aangegeven in Figuur 1 en omschreven in Tabel 5.

Tabel 5. Aanvullende maatregelen bij het ontwerp, die dienen om (negatieve) effecten te mitigeren.

Onderdelen	Beschrijving	Aanlegdiepte	Voorgaand onderzoek
Infiltratie aan de buitenzijde van het reactorgebouw.	Infiltratievoorziening aan de zuidoostelijke zijde van het reactorgebouw: met een totale infiltratieflux van 14,25 m <sup>3</sup> /d.	De infiltratievoorziening wordt aangelegd op NAP 0 m.	Variante B2
Drainage aan de buitenzijde van het reactorgebouw.	Drainageleiding aan de noordwestelijke zijde van het reactorgebouw: - drainagehoogte NAP 1,6 m; - doorlatendheid van 50 m <sup>2</sup> /d.	De drainageleiding wordt aangelegd op NAP 0 m.	Variante B2

### 3.3 Modelscenario's

Voor de modelberekeningen zijn de uitgangspunten uit paragraaf 3.2 gehanteerd voor de berekening van de (mogelijke) geohydrologische effecten in de eindsituatie. Omdat nauwelijks tot geen bemaling nodig is – vanwege de gekozen aanlegmethode – zijn de tijdelijke effecten niet doorgerekend. Evenals in de voorgaande modelstudie [4] is de aanleg van een drainage-/infiltratievoorziening rondom het reactorgebouw opgenomen als ontwerpuitgangspunt. Omdat de (tijdelijke) keerwanden (mogelijk) enige tijd blijven staan, zijn deze ook opgenomen in de berekening van de effecten in de eindsituatie.

Echter, voor een deel van de keerwanden (met name keerwand 1 midden en 1 zuid) geldt dat de samenstelling van de bodemlaag tussen NAP -1 en -3 m van groot belang is voor de uiteindelijke geohydrologische effecten, omdat lange secties tot in deze bodemlaag zijn geprojecteerd. De bodemopbouw ter plaatse van de geprojecteerde damwanden is echter (nog) niet onderzocht en de aan- of afwezigheid van een zandige bovenlaag tot NAP -3 m ter plaatse van de keerwanden is daarom niet zeker. Boringen en sonderingen (CPTUE109 en 110) – op enige afstand van de geplande locaties van de keerwanden – geven aan dat er een goede kans is dat de bodemlaag tussen NAP -1 en -3 m bestaat uit doorlatend (zandig) materiaal. Echter, of dit ter plaatse van de keerwanden ook werkelijk zo is, kan alleen worden aangetoond wanneer sonderingen ter plaatse worden uitgevoerd. Voor meer informatie verwijzen we naar [7].

Om deze reden zijn twee scenario's gemodelleerd:

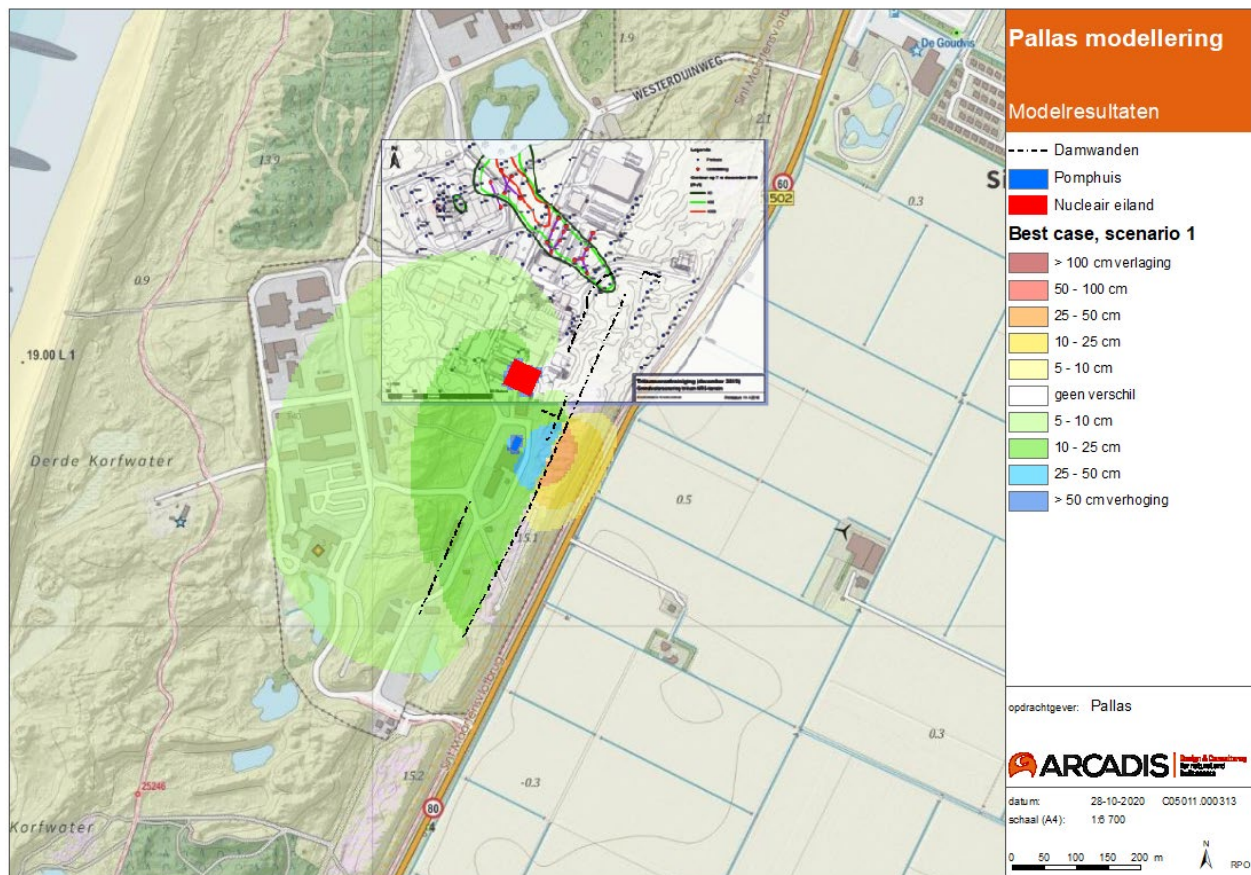
- een **best case-scenario**, waarin een zandige, doorlatende zone voorkomt tussen NAP -1 en -3 m;
- een **worst case-scenario**, waarbij deze zandige zone ontbreekt en het Laagpakket van Walcheren vanaf NAP -1 m kleiig en ondoorlatend is. In dit geval treedt meer opstuwing langs keerwand 1 op.

Effecten kleiner dan 5 cm zijn zodanig klein dat ze niet te onderscheiden zijn van natuurlijke fluctuaties in de grondwaterstand en er worden ook geen negatieve effecten bij een grondwaterstandsding van minder dan 5 cm verwacht. Veranderingen kleiner dan 5 cm zijn daarom als niet-significant beschouwd.

### 3.4 Resultaten

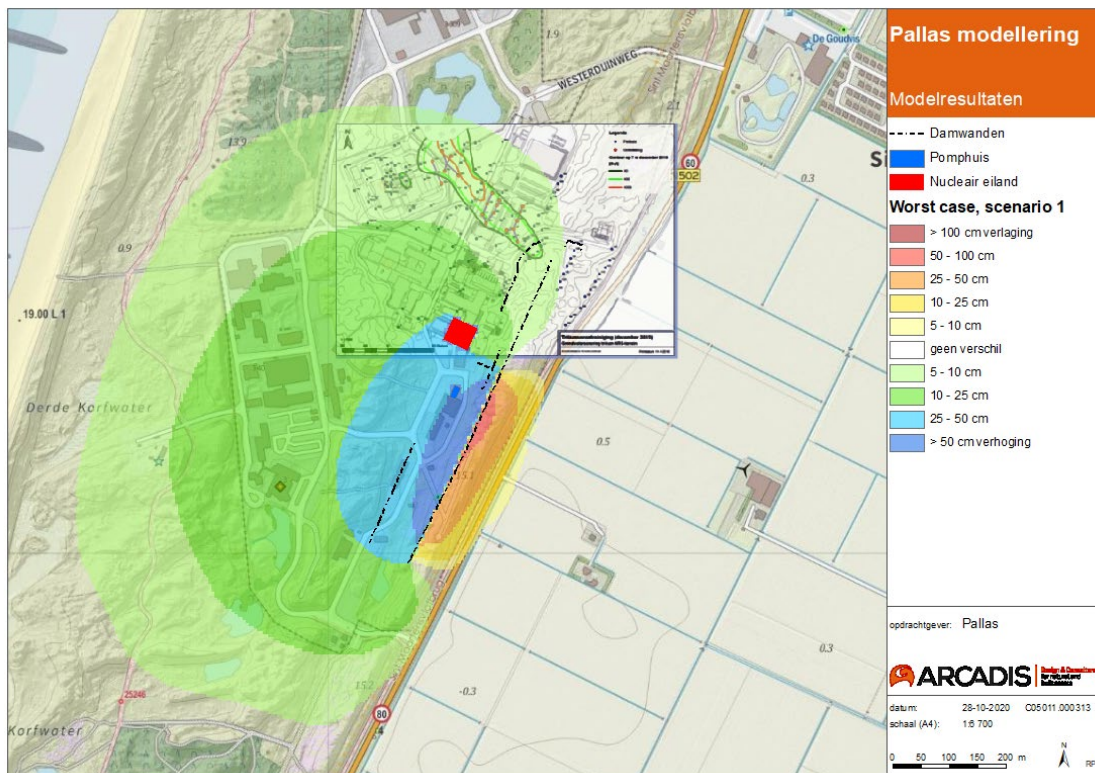
#### Blokkade grondwaterstroming

Ter plaatse van de geplande ingrepen stroomt het grondwater in het freatische watervoerende pakket hoofdzakelijk van west naar oost [3]. De plaatsing van de diepwanden en (tijdelijke) keerwanden zal een deel van deze stroming blokkeren. Dit leidt tot een opstuwing van de freatische grondwaterstand en stijghoogten aan de westzijde van de wanden, en een verlaging aan de oostzijde.



*Figuur 7. Het opstuwende en verlagende effect van de geplande ingrepen op de freatische grondwaterstand in de gebruiksfase van het beoogde ontwerp in het 'best case'-scenario, zonder mitigerende maatregelen. De laatst bekende contouren van de tritiumverontreiniging zijn ten noorden van het Nucleair eiland geprojecteerd.*





Figuur 8. Het opstuwende en verlagende effect van de geplande ingrepen op de freatische grondwaterstand in de gebruiksfase van het beoogde ontwerp in het 'worst case'-scenario, zonder mitigerende maatregelen. De laatst bekende contouren van de tritiumverontreiniging zijn ten noorden van het Nucleair eiland geprojecteerd.

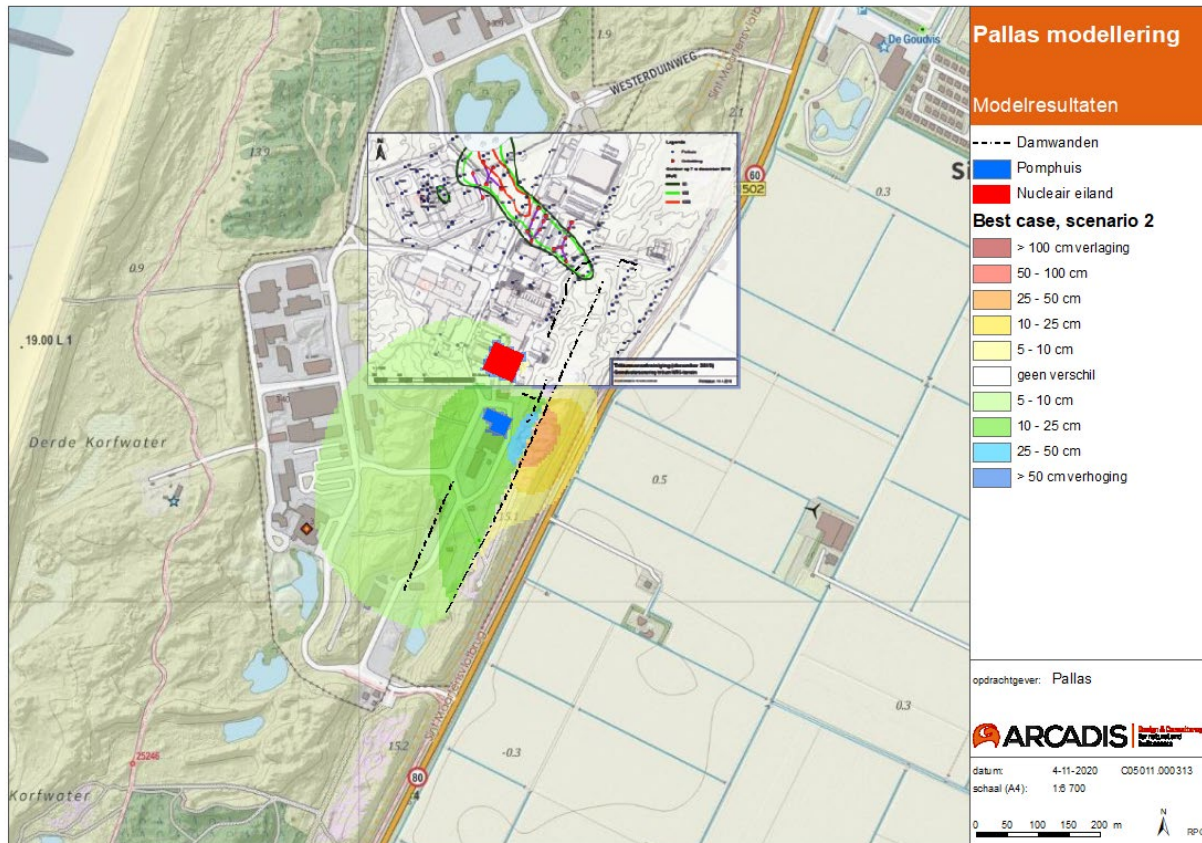
Voor het 'best case'-scenario is de opstuwing en verlaging van de freatische grondwaterstand zonder mitigerende maatregel weergegeven in Figuur 7. Te zien is dat de opstuwing van de freatische grondwaterstand klein is, en alleen nabij keerwand 1 maximaal 30 centimeter bedraagt. Ook de verlaging aan de oostzijde beslaat een relatief klein gebied, waarbij naastgelegen polders niet beïnvloed worden, omdat het effect niet voorbij de aanwezige sloten reikt. Op meer dan circa 500 m van de reactor zijn de effecten kleiner dan 5 cm en naar verwachting niet aan te tonen met metingen.

Voor het 'worst case'-scenario is de opstuwing en verlaging van de freatische grondwaterstand zonder mitigerende maatregel weergegeven in Figuur 8. Te zien is dat de opstuwing van de freatische grondwaterstand groter is, en nabij keerwand 1 maximaal 60 centimeter bedraagt. Ook de verlaging aan de oostzijde is groter, met een maximale daling van 60 centimeter. De freatische grondwaterstand in de nabijgelegen polder wordt in dit scenario alleen in lichte mate (5 – 10 cm) beïnvloed. In het aangrenzende Natura 2000-gebied wordt de freatische grondwaterstand licht verhoogd (5 tot 25 cm). Omdat dit een gebied met natte duinvalleien betreft, wordt niet verwacht dat dit een negatief effect geeft. Op meer dan circa 600 m van de reactor zijn de effecten kleiner dan 5 cm en naar verwachting niet aan te tonen met metingen.

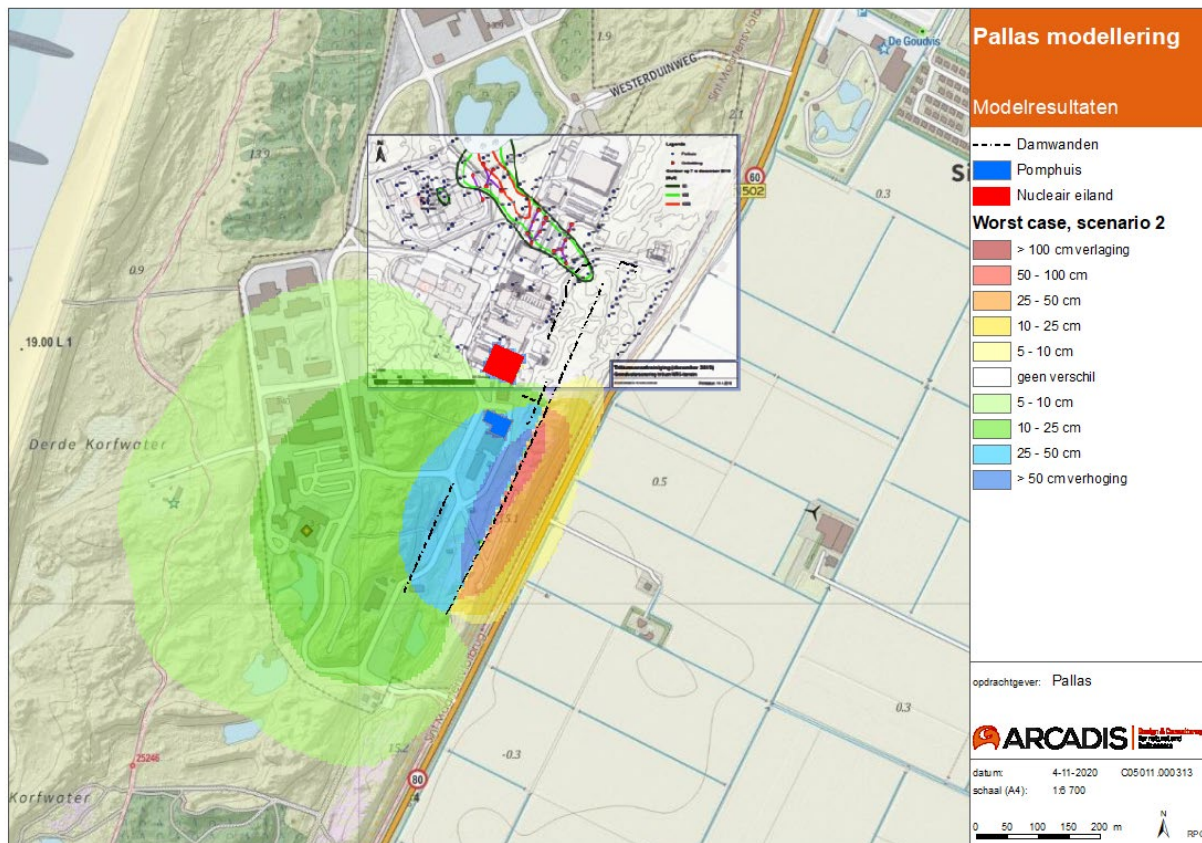
In beide scenario's zijn de berekende effecten op de chlorideconcentraties ten gevolge van de opstuwing en verlaging van de grondwaterstanden en stijghoogtes niet significant en daarom niet weergegeven.

#### Maatregel: drainage- en infiltratievoorzieningen

De effecten op de freatische grondwaterstand worden voorkomen door een drain aan te leggen op de van nature gemiddeld hoogst optredende grondwaterstand aan de bovenstroomse zijde van het gebouw (circa NAP +1,0 m) en eventueel drainagewater via een infiltratiedrain aan de benedenstroomse zijde van het gebouw te retourneren. Ten gevolge van de aanleg van de (tijdelijke) keerwand treedt echter geen daling op aan de oostzijde van het reactorgebouw, waardoor gedurende de aanwezigheid van de keerwanden geen infiltratie nodig is om een daling van de grondwaterstand aan de oostzijde van het reactorgebouw op te vangen. Daarom is bij de berekeningen alleen het effect van een drainagevoorziening doorgerekend. Het effect op de freatische grondwaterstand bij toepassing van de drainage in het 'best case'-scenario is weergegeven in Figuur 9 en in het 'worst case'-scenario in Figuur 10. Deze drainage- en infiltratievoorzieningen zijn opgenomen in het ontwerp.



Figuur 9. Het opstuwende en verlagende effect van de geplande ingrepen op de freatische grondwaterstand in de gebruiksfase van het beoogde ontwerp in het 'best case'-scenario, met maatregelen.



Figuur 10. Het opstuwende en verlagende effect van de geplande ingrepen op de freatische grondwaterstand in de gebruiksfase van het beoogde ontwerp in het 'worst case'-scenario, zonder maatregelen.



Door de toepassing van drainage rondom het reactorgebouw wordt de opstuwning nabij en ten noorden van het reactorgebouw gemitigeerd, waardoor ook geen effect meer optreedt in het 'worst case'-scenario. Hierbij is het belangrijk dat het drainageniveau wordt afgesteld op de huidige (gemeten) freatische grondwaterstand om te voorkomen dat de drainage de tritiumverontreiniging zou kunnen aantrekken. De huidige, natuurlijke grondwaterstroming moet hierbij zoveel mogelijk in stand gehouden worden.

### **Funderingspalen**

De funderingspalen van het reactorgebouw doorsnijden slechtdoorlatende lagen tussen dieptes van NAP -16 tot NAP -47 m (Formaties van Kreftenheye en Boxtel en de Eem Formatie). Echter, een aanzienlijk deel van deze doorsnijding vindt plaats binnen de diepwanden, die tot ca. NAP -31 m reiken. De berekeningen laten zien dat de grondwaterstroming binnen deze diepwanden zo gering is en dat eventuele lekkage langs de funderingspalen geen effect heeft op grondwaterstanden, stijghoogten of chlorideconcentraties. Voor het gedeelte van de funderingspalen dat tot onder de onderzijde van de diepwanden van het reactorgebouw reikt (tussen NAP -31 tot NAP -47 m), geldt dat daar geen slechtdoorlatende lagen aanwezig zijn. Oftewel, een risico op lekkage van grondwater (door het doorsnijden van slechtdoorlatende lagen) via de funderingspalen van het reactorgebouw is niet te verwachten.

## 4 OMGEVINGSEFFECTEN

Uit de scenarioberekeningen (hoofdstuk 3) blijkt dat de geohydrologische effecten van het reactorgebouw, het pomphuis, en de (tijdelijke) keerwanden klein tot verwaarloosbaar zijn. Significante effecten (meer dan 5 cm) worden alleen binnen een straal van 50 m vanaf de reactorlocatie verwacht.

Uit voorgaande modelberekeningen [4] bleek dat door de toepassing van bemaling – gedurende de aanleg – (tijdelijk) een relatief grote daling van de grondwaterstand zou kunnen optreden. Onder andere vanwege deze grote effecten is voor een aanlegmethode gekozen waarbij weinig tot geen bemaling nodig is.

In de onderstaande paragrafen is voor de omliggende belangen besproken of voor deze belangen positieve of negatieve effecten zijn te verwachten:

- vegetatie (verdroging, verzilting);
- gebouwen (risico op zettingsschade);
- duinen als onderdeel van de zeewering (risico op zetting);
- landbouw (droogteschade, schade als gevolg van verzilting);
- grondwateronttrekkings- of infiltratiesystemen;
- mobiele verontreinigingen (invloed op beheersing).

### 4.1 Vegetatie

Uit de scenarioberekeningen blijkt dat in de eindsituatie een opstuwung van de grondwaterstand ten westen van de (tijdelijke) keerwanden, het reactorgebouw en het pomphuis optreedt. Alleen in de 'worst case'-situatie reikt deze opstuwung tot buiten de EHC, tot in het Natura 2000-gebied rondom de EHC. Maar dit heeft naar verwachting geen negatief effect op de natuurwaarden. In een droge zomer kan dit zelfs een positief effect hebben op de natte vegetatie in de lage delen van de duinen.

Ten oosten van de (tijdelijke) keerwand treedt een daling van de freatische grondwaterstand op. In deze duinenrij bevindt zich echter geen grondwaterafhankelijke vegetatie.

### 4.2 Gebouwen

De reactorlocatie ligt te midden van een aantal andere gebouwen (Figuur 1). In de eindsituatie (d.i. gebruiksfase) wordt ter plaatse van deze gebouwen geen significant effect door opstuwung verwacht. Ter controle wordt echter aanbevolen om hier een peilbuis te plaatsen en op enkele gebouwen hooggebouten te plaatsen om eventuele effecten waar te kunnen nemen.

### 4.3 Duinen (primaire kering)

De zeereep (de eerste duinenrij, grenzend aan het strand) dient als primaire kering. Hier worden weinig tot geen significante effecten berekend in de eindsituatie. Alleen in de 'worst case'-situatie reikt het effect tot in of nabij de zeereep. Bovendien geldt dat in de duinen alleen een potentiële verhoging van de grondwaterstand en stijghoogte optreedt. Dit betekent dat geen zetting zal optreden in mogelijke zettingsgevoelige klei- en veenlagen in de duinen.

### 4.4 Landbouw

Uit de scenarioberekeningen volgt dat door de aanleg van de reactor en de damwanden geen significante effecten in het landbouwgebied optreden. Alleen in het 'worst case'-scenario worden de freatische grondwaterstanden in een klein gedeelte van de nabijgelegen polder in lichte mate (5 – 10 cm) beïnvloed.

### 4.5 Onttrekkings- en infiltratiesystemen

Het dichtstbijzijnde grondwatersysteem betreft het beheerssysteem van de tritiumvlek op ten minste 100 m ten noorden van de reactorlocatie. Dit systeem is inmiddels gestaakt (zie verder paragraaf 4.6).

Een monobron ligt op circa 500 m ten noorden van de reactorlocatie. Ter plaatse van deze monobron vindt weinig tot geen beïnvloeding plaats. Er wordt daarom ook geen beïnvloeding van de monobron verwacht.

Een derde grondwatersysteem is aanwezig ter plaatse van gebouw 13 en 204. Gebouw 204 ligt op circa 50 m afstand vanaf de reactorlocatie. In de gebruiksfase van de reactor wordt bij toepassing van een drain aan de bovenstroomse zijde van het reactorgebouw (onderdeel van het ontwerp) weinig tot geen effect op de grondwaterstand verwacht, en daardoor ook geen effect op de beheersbemaling van gebouwen 204 en 13.

## 4.6 Mobiele verontreinigingen

De dichtstbijzijnde mobiele verontreiniging is een tritiumverontreiniging (voor zover de omvang bekend is in 2015) op ten minste 100 m ten noorden van de reactorlocatie. Alleen in het 'worst case'-scenario zonder mitigerende maatregel treedt een beïnvloeding van de freatische grondwaterstand op in deze vlek. Dat betekent dat de verspreiding van de tritiumverontreiniging beïnvloed kan worden. Dit is in principe niet toegestaan. Echter, in het 'worst case'-scenario met mitigerende maatregel en het 'best case'-scenario vinden geen effecten ter plaatse van de verontreiniging op.

Op basis van de herziene interventiebeschikking van 4 mei 2017 is de bestaande beheersonttrekking mogelijk inmiddels gestaakt. Deze beheersonttrekking is dus naar verwachting niet meer aanwezig, waardoor deze ook niet (meer) potentieel beïnvloed wordt door de aanleg- of gebruiksfase. De tritiumpluim zal zich met de grondwaterstroming in zuidoostelijk richting uitbreiden. Met uitzondering van het 'worst case'-scenario zonder mitigerende maatregel blijft de pluim buiten het invloedsgebied van veranderde freatische grondwaterstanden. Het is daarom aan te raden om nader onderzoek uit voeren ter plaatse van de keerwanden (met name keerwand 1 midden en zuid) en/of de drainagevoorziening rondom het reactorgebouw te realiseren om een mogelijk beïnvloeding van de tritiumverontreiniging uit te sluiten.

## 5 CONCLUSIE

Het in 2017 opgestelde grondwatermodel [4] voldoet nog en er zijn geen nieuwe inzichten waardoor de modelopbouw of -parameters aangepast moeten worden. Alleen de initiële (dus huidige) chlorideconcentraties van het freatische grondwater zijn aangepast aan de inzichten die uit de grondwatermonitoring zijn gekomen.

Op basis van de beschikbare gegevens is het 'best case'-scenario het meest waarschijnlijk. Het 'best case'-scenario is daarmee ook de 'best guess'. In dit geval strekken de effecten van de damwanden zich wel ver uit, maar blijven de grondwaterstandverhogingen binnen de grenzen van de EHC. De tritiumverontreiniging (voor zover de omvang bekend is in 2015) wordt dan niet beïnvloed. De grondwaterstandverlaging aan de oostzijde van de keerwand zal zich tot de sloot langs de Westerduinweg beperken. Het effect van grondwaterstandverlaging beperkt zich dus tot de oostelijke helft van de duinenrij, waar geen grondwaterafhankelijke vegetatie voorkomt.

Mocht het 'worst case'-scenario waarschijnlijk blijken, bijvoorbeeld op grond van de uitkomsten van het sondeonderzoek nabij de keerwanden (met name nabij keerwand 1 midden en zuid), dan strekken de effecten zich tot buiten de EHC uit tot in het Natura 2000-gebied. Indien geen drainagevoorziening rondom het reactorgebouw wordt aangelegd als mitigerende maatregel zal het effect uitstrekken tot het gebied waar in 2015 de tritiumverontreiniging is gekarteerd. Het is daarom aan te raden om nader onderzoek uit voeren ter plaatse van de keerwanden (met name keerwand 1 midden en zuid) en/of de drainagevoorziening rondom het reactorgebouw te realiseren om een mogelijk beïnvloeding van de tritiumverontreiniging uit te sluiten.

## REFERENTIES

- [1] Arcadis, "Ontwerpkader Pallas t.b.v. Besluit-MER", 2020.
- [2] Arcadis, "Achtergrondrapport Bodem en Water", 2017.
- [3] Arcadis, "Grondwatermonitoring, periode mei 2019 - mei 2020", 2020.
- [4] Arcadis, "Grondwater modelstudie PALLAS reactor Petten", 2017.
- [5] Arcadis, "Radioactivity related studies, PALLAS site characterisation", NRG, 2016.
- [6] Arcadis, "Ontwerp tijdelijke keerwanden, Voorontwerp (VO) ", 2020.
- [7] Arcadis, "Effecten grondkerende damwanden LDA", 2020.
- [8] PALLAS, "Onderbouwing voor keuze locatie LDA op OLP", 2018.

## COLOFON

UPDATE GRONDWATER MODELSTUDIE  
PALLAS REACTOR PETTEN

KLANT  
PALLAS

AUTEUR

PROJECTNUMMER  
C05011.000642.0100/LB

ONZE REFERENTIE  
D10017559:61

DATUM  
22 februari 2021

STATUS  
Definitief

GECONTROLEERD DOOR

Senior specialist Geohydrologie

### **Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 4261 261

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)



## BIJLAGE B GRONDWATER MODELSTUDIE PALLAS

# GRONDWATERMONITORING

Periode mei 2019 - juni 2020

PALLAS

15 OKTOBER 2020

## Contactpersoon

**Junior Geohydroloog**

M  
E

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

---

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel van de monitoring	4
1.3	Aanpak	4
1.4	Leeswijzer	5
<b>2</b>	<b>BESCHRIJVING MEETNET</b>	<b>6</b>
2.1	Parameters	6
2.2	Monitoringslocaties	6
<b>3</b>	<b>MEETRESULTATEN</b>	<b>9</b>
3.1	Grondwaterstanden, stijghoogten	9
3.1.1	Grondwaterstroming	13
3.2	Grondwaterkwaliteit	16
3.2.1	Tritiumconcentraties	16
3.2.2	Analyse grondwaterkwaliteit	16
3.2.3	Analyse handmetingen en chlorideconcentratie	16
<b>4</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>21</b>
	<b>BIJLAGE A. CONCENTRATIES VERHOOGDE PARAMETERS</b>	<b>22</b>
	<b>BIJLAGE B. CONTOURLIJNEN FILTER 2 VAN NIEUWE PEILBUIZEN (NAP -14 M)</b>	<b>24</b>
	<b>BIJLAGE C. EC-WAARDE EN AFGELEIDE CHLORIDECONCENTRATIE VAN OVERIGE HANDMETINGEN</b>	<b>27</b>
	<b>COLOFON</b>	<b>32</b>

## 1 INLEIDING

Vanaf mei 2019 wordt op en rond de locatie voor de beoogde PALLAS reactor op de Energy & Health Campus (EHC) in Petten (Noord-Holland) een grondwatermonitoring uitgevoerd. Deze monitoring is erop gericht om de grondwaterstanden, stijghoogten, zoutgehalten (zoet-brak grensvlak) en eventuele (grondwater)verontreinigingen in beeld te brengen en eventuele veranderingen te signaleren en te verklaren.

Ten behoeve van de monitoring zijn in april 2019 peilbuizen geplaatst. Halverwege mei 2019 zijn handmetingen van grondwaterstanden/stijghoogtes en veldmetingen uitgevoerd en is grondwater bemonsterd. In juli 2019 zijn de peilbuizen uitgerust met automatische loggers en worden grondwaterstanden/stijghoogten en de elektrische geleidbaarheid van het grondwater gemonitord. De monitoring wordt gecontinueerd en ieder kwartaal worden de data van de monitoringpeilbuizen verzameld en verwerkt. De resultaten van het eerste jaar van de monitoring (mei 2019-juni 2020) zijn geanalyseerd en beschreven in deze rapportage.

### 1.1 Aanleiding

De voornaamste aanleiding voor het uitvoeren van dit onderzoek is om de (mogelijke) geohydrologische effecten (bijvoorbeeld verandering van grondwaterstanden, stijghoogten en grondwaterkwaliteit) als gevolg van de bouw van de PALLAS-reactor te monitoren.

Naast de aanleg van de PALLAS-reactor zelf spelen er andere ontwikkelingen die betrekking hebben op PALLAS, en die theoretisch invloed kunnen hebben op de grondwaterstanden, stijghoogten en grondwaterkwaliteit:

1. aanleg van leidingen voor de aanvoer of afvoer van koelwater;
2. plaatsen van damwanden voor de aanleg van de laydown area (LDA);
3. opslag van zand dat bij het graven van de bouwput vrijkomt.

In de evaluatie van geohydrologische effecten zullen alle bovengenoemde activiteiten worden meegenomen.

### 1.2 Doel van de monitoring

In dit monitoringsonderzoek onderscheiden wij de volgende doelstellingen:

- Analyse van de geohydrologische effecten (verandering van grondwaterstanden, stijghoogten en grondwaterkwaliteit) voor de aanleg van (1) de (diepe) ondergrondse delen van de PALLAS-reactor, (2) de aanleg van één of meerdere aan- of afvoerleidingen van koelwater, (3) de activiteiten die bij de LDA plaats zullen vinden en (4) de opslag van vrijkomend zand. Hierbij wordt in het bijzonder gekeken naar nabijgelegen natte duinvalleien en landbouwgebieden.
- Verzamelen van aanvullende gegevens voor het verder verfijnen van het regionale grondwatermodel, zodat dat model voor de besluit-MER en eventuele overige engineering vraagstukken kan worden gebruikt. Daarom is het ook van belang om stijghoogten en zoutconcentraties in de diepere lagen te monitoren, omdat er op het moment van de voorbereiding van de plan-MER weinig tot geen informatie hierover beschikbaar was.

### 1.3 Aanpak

Om tijdens en na de aanleg van de PALLAS-reactor en/of overige werkzaamheden een onderscheid te kunnen maken tussen effecten van de aanleg en natuurlijke variaties, is het belangrijk om eerst de (huidige) nulsituatie in beeld te brengen. Daarom is de monitoring ruim voor de start van de werkzaamheden begonnen, zodat een betrouwbaar beeld kan worden gevormd van de grondwaterstanden, stijghoogten en grondwaterkwaliteit in de huidige situatie.

De monitoringslocaties en de te monitoren parameters zijn bepaald op basis van een schatting van de mogelijke effecten die kunnen optreden door de aanleg van de reactor en nabijgelegen belangen en belanghebbenden.

Op basis van eerder uitgevoerd onderzoek, en zoals beschreven in het voorgaande monitoringsplan (Arcadis, Monitoringsplan Grondwater Pallas, 2019) voorzien wij de volgende aandachtspunten:

1. Natura 2000-gebied Zwanenwater en Pettemerduinen;
2. landbouwgebieden ten oosten van de EHC;
3. verspreiding van de aanwezige tritiumverontreiniging.

## **1.4 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het monitoringssysteem waarna de analyseresultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 3.

## 2 BESCHRIJVING MEETNET

Ten behoeve van de monitoring van de stijghoogte en de grondwaterkwaliteit zijn metingen uitgevoerd in bestaande en nieuw geplaatste peilbuizen. In dit hoofdstuk worden de gemeten parameters en de locaties van de peilbuizen toegelicht.

### 2.1 Parameters

Het meetnet is opgezet langs drie raaien met verschillende aantallen peilbuizen, waarbij per peilbuis de grondwaterstand, stijghoogten en zoutgehalten continu worden gemonitord met gewone divers (TD-divers) en CTD-divers. CTD-divers meten naast de grondwaterstand/stijghoogte en temperatuur, ook de elektrische geleidbaarheid (EC-waarde). De EC-waarde is gebruikt om het zoutgehalte van het grondwater te schatten. Door dit continu te meten, kunnen ook (kleine) veranderingen in het zoutgehalte van het grondwater worden opgemerkt.

Om meer zekerheid te krijgen over de grondwaterkwaliteit, en met name het zoutgehalte van het grondwater, worden de freatische peilbuizen 1x per kwartaal bemonsterd. Hierbij worden veldmetingen uitgevoerd van de pH, de elektrische geleidbaarheid (EC-waarde) en de troebelheid van het water. Bij de start van de monitoring (mei 2019) zijn de pH, de EC-waardes, de chlorideconcentratie en de troebelheid bepaald voor de freatische en de diepere filters.

Uit de freatische peilbuizen zijn grondwatermonsters genomen en geanalyseerd op het standaard analysepakket conform NEN 5740:2009+A1:2016. De gemeten concentraties zijn geëvalueerd conform de Circulaire Bodemsanering 2013.

Tijdens de bemonstering van de peilbuizen wordt de stijghoogte gemeten door middel van handmetingen. De handmetingen voor de stijghoogte zijn altijd uitgevoerd voor de freatische en diepere filters. De handmetingen dienen als controle en kalibratie van de automatische metingen.

Voor een volledig overzicht van de te monitoren parameters, zie Tabel 1.

Tabel 1. Gemonitorde parameters

Parameter	Watervoerend pakket	Frequentie
Grondwaterstand	Freatisch pakket	Continu met TD of CTD diver, met een uurlijks meetinterval. Ieder kwartaal vindt een handmeting plaats.
Stijghoogte	Dieper gelegen pakketten	Continu met TD of CTD diver, met een uurlijks meetinterval. Ieder kwartaal vindt een handmeting plaats.
Elektrische geleidbaarheid (EC-waarde)	Freatisch en dieper gelegen pakketten	Continu met CTD diver, met een uurlijks meetinterval. Ieder kwartaal vindt een handmeting plaats.
Grondwaterparameters (GP) NEN 5740:2009+A1:2016	Freatisch en dieper gelegen pakketten	Eenmalig na installatie van de peilbuizen en tijdens de bouwwerkzaamheden 1x per kwartaal.
Troebelheid (TH)	Freatisch en dieper gelegen pakketten.	Ieder kwartaal vindt een handmeting plaats van de freatische grondwaterstand.
Tritium (3H)	Freatisch en dieper gelegen pakketten	Eenmalig na installatie van de peilbuizen.

### 2.2 Monitoringslocaties

Voor dit monitoringsonderzoek wordt – waar mogelijk – gebruik gemaakt van bestaande peilbuizen van de meetnetten van de provincie Noord-Holland en Staatsbosbeheer. Echter om een volledig ruimtelijk beeld te krijgen en voldoende meetpunten te hebben voor alle genoemde aandachtspunten (zie hoofdstuk 1) zijn nieuwe peilbuizen geplaatst. In Tabel 2 en Tabel 3 is een overzicht gegeven van de bestaande en nieuwe peilbuizen, die zijn opgenomen in het meetnet. Eén van de geplande peilbuizen, PB\_4, was in de beschreven meetperiode nog niet geplaatst.

Tabel 2. Bestaande peilbuizen (bron: DINOloket)

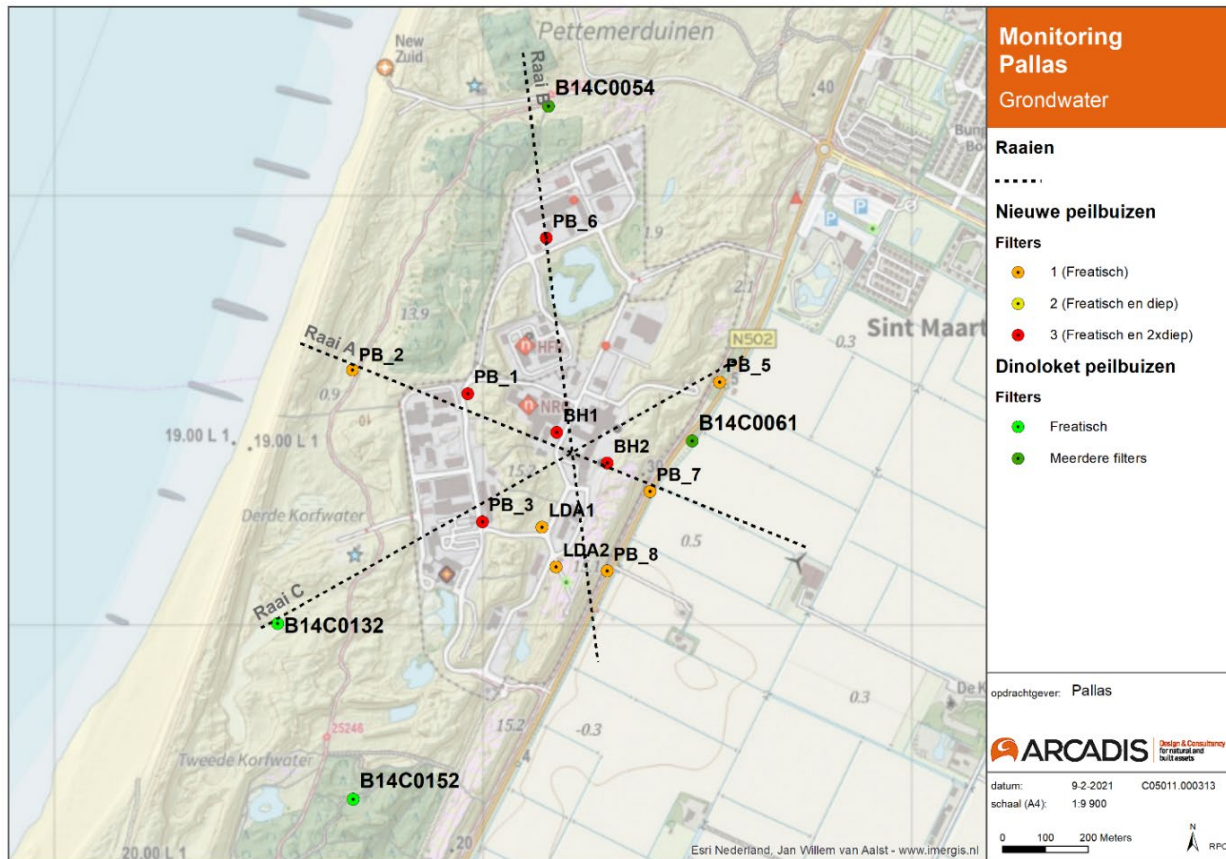
Peilbuis	Filter	Filterdiepte [m - mv]	Bovenkant [NAP m]	Drukmeter	Analyse
B14C0054	001	6,97 – 7,97	6,29	CTD	GP, TH
	002	14,97 – 15,97	6,26	CTD	TH (eenmaal)
	003	24,98 – 25,98	6,24	CTD	TH (eenmaal)
B14C0061	001	14,00 – 15,00	1,84	TD	TH (eenmaal), 3H
	002	36,00 – 37,00	1,81	CTD	TH (eenmaal), 3H
	003	47,00 – 48,00	1,80	TD	TH (eenmaal), 3H
B14C0132	001	1,57 – 2,07	2,14	CTD	GP
B14C0152	001	0,68 – 1,18	2,28	CTD	GP

Tabel 3. Nieuwe peilbuizen (PB\_4 was (nog) niet geplaatst)

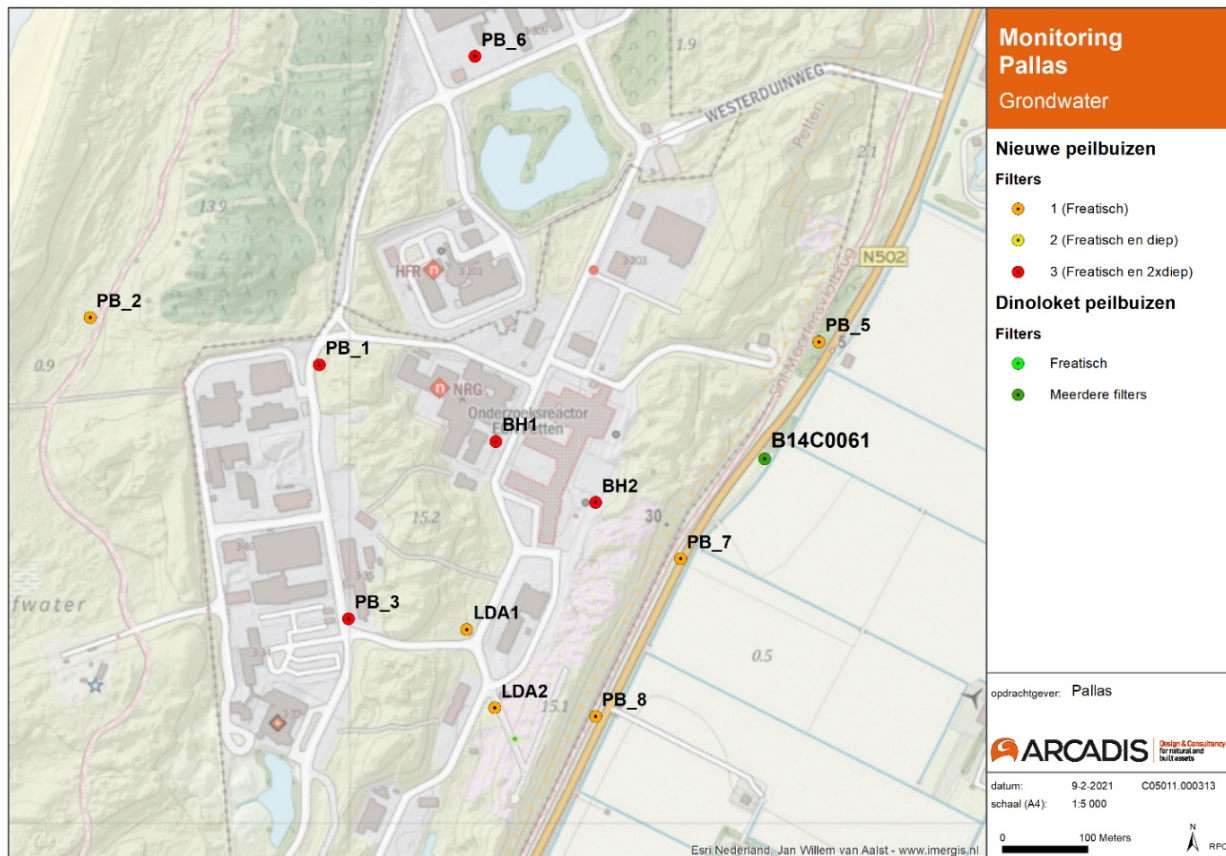
Peilbuis	Filter	Filterdiepte [m - mv]	Bovenkant [NAP m]	Drukmeter	Analyse
PB_1	001	8,00 – 9,00	6,36	CTD	GP, TH, 3H
	002	20,50 – 21,50	6,33	CTD	TH (eenmaal), 3H
	003	35,50 – 36,50	6,29	CTD	TH (eenmaal), 3H
PB_2	001	2,50 – 3,50	2,65	CTD	GP, TH, 3H
PB_3	001	6,50 – 7,50	5,43	CTD	GP, TH, 3H
	002	19,00 – 20,00	5,39	CTD	TH (eenmaal), 3H
	003	34,00 – 35,00	5,36	CTD	TH (eenmaal), 3H
PB_5	001	2,00 – 3,00	2,38	CTD	GP, TH, 3H
PB_6	001	4,00 – 5,00	3,94	CTD	GP, TH
	002	18,00 – 19,00	3,91	CTD	TH (eenmaal)
	003	33,00 – 34,00	3,86	CTD	TH (eenmaal)
PB_7	001	2,00 – 3,00	2,33	CTD	GP, TH, 3H
PB_8	001	2,00 – 3,00	2,23	CTD	GP, TH, 3H
BH1	001	3,00 – 4,00	2,71	CTD	GP, TH, 3H
	002	17,00 – 18,00	2,74	CTD	TH (eenmaal), 3H
	003	32,00 – 33,00	2,70	CTD	TH (eenmaal), 3H
BH2	001	4,00 – 5,00	3,30	CTD	GP, TH, 3H
	002	17,50 – 18,50	3,28	CTD	TH (eenmaal), 3H
	003	32,50 – 33,00	3,30	CTD	TH (eenmaal), 3H
LDA1	001	3,00 – 4,00	3,31	CTD	GP, TH, 3H
LDA2	001	4,00 – 5,00	4,38	CTD	GP, TH, 3H

In Figuur 1 en Figuur 2 zijn de monitoringslocaties weergegeven.





Figuur 1. Kaart met monitoringslocaties (vier uit DINOloket; Tabel 3, en elf nieuwe peilbuizen; Tabel 4). Peilbuis PB\_4 (nabij het Noordhollandsch Kanaal) was in de beschreven periode nog niet geplaatst.



Figuur 2. Detailkaart van de monitoringslocaties op de EHC.

### 3 MEETRESULTATEN

De gemeten grondwaterstanden, stijghoogten, geleidbaarheid en overige grondwaterparameters (zie Tabel 1) zijn geanalyseerd en de resultaten van deze analyses zijn beschreven in dit hoofdstuk.

Voor zowel de (freatische) grondwaterstanden als de stijghoogten is een tijdreeksanalyse uitgevoerd om te onderzoeken of en in hoeverre de gemeten fluctuaties verklaard kunnen worden door neerslag, verdamping en/of het zeewaterpeil (paragraaf 3.1).

Ook is voor verschillende momenten gedurende monitoring de richting van de grondwaterstroming onderzocht (paragraaf 3.1.1). Vervolgens zijn de resultaten van de tritiumanalyses en de gemeten grondwaterkwaliteitsparameters (aan de hand van NEN 5740:2009+A1:2016, paragraaf 3.2.1) getoetst aan de geldende normen.

De resultaten van de overige analyses zijn daarna beschreven (paragraaf 3.2.2). Daarna zijn de fluctuaties in de chlorideconcentraties beschreven (paragraaf 3.2.3). Voor de interpretatie van de chlorideconcentraties is ook gebruik gemaakt van de gemeten elektrische geleidbaarheid (EC-waarde).

#### 3.1 Grondwaterstanden, stijghoogten

Voor de beschreven analyses zijn de automatische drukmetingen gecompenseerd voor de barometrische drukveranderingen en eventueel gecorrigeerd door middel van handmetingen. Daarna is voor elke stijghoogte- of grondwaterreeks een controle uitgevoerd, waarbij gaten en (sterk) afwijkende waarden in de meetreeks zijn verwijderd. Hierbij kan gedacht worden aan plotselinge sprongen in de gemeten grondwaterstanden, die te relateren zijn aan momenten waarop de drukmeter(s) zijn uitgelezen.

##### Tijdreeksanalyse

De invloed van neerslag, verdamping en het zeewaterpeil op de (freatische) grondwaterstanden en stijghoogten is onderzocht met het tijdreeksanalyseprogramma Menyanthes (versie 3.x.b.y). Voor de periode juli 2019 tot en met mei 2020 is onderzocht of het stijghoogteverloop verklaard kan worden door deze zogenoemde 'verklarende variabelen'. Voor alle peilbuizen zijn vier verschillende tijdreeksanalyses uitgevoerd, die bestaan uit verschillende combinaties van verklarende variabelen (alle met een tijdstap van één uur):

1. neerslag (meetstation Petten) en verdamping (weerstation De Kooy);
2. zeewaterpeil (meetpunt Q1 platform, ten westen van Den Helder);
3. neerslag (meetstation Petten) en het zeewaterpeil (meetpunt Q1 platform);
4. neerslag (meetstation Petten), verdamping (weerstation De Kooy) en het zeewaterpeil (meetpunt Q1 platform).

Op basis van lineaire regressie zijn deze verklarende variabelen gefit op de gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. De EVP (explained variance percentage) is één van de belangrijkste parameters in de tijdreeksanalyse. Deze parameter geeft aan in hoeverre het verloop van de stijghoogte of grondwaterstand verklaard wordt door de verklarende variabelen, de EVP gedefinieerd is als:

$$EVP = \frac{\sigma_{h(t)}^2 - \sigma_{n(t)}^2}{\sigma_{h(t)}^2} * 100\%$$

waarbij  $\sigma_{h(t)}^2$  (de variantie van de stijghoogte) en  $\sigma_{n(t)}^2$  (die van de residuen) worden berekend uit de individuele metingen. Wanneer het verloop in stijghoogte volledig verklaard wordt door de verklarende variabelen zijn de verschillen tussen gemeten en berekend, de residuen, 0. De  $\sigma_{n(t)}^2$  is dan 0 en de EVP bedraagt 100%. In het algemeen wordt gesteld dat de verklarende variabelen het gemeten verloop voldoende kunnen verklaren als de verklaarde variantie (EVP) groter is dan 70%.

Naast de EVP zijn de evaporatiefactor en de drainagebasis weergegeven. Deze parameters van de tijdreeksanalyse geven informatie over de betrouwbaarheid van de tijdreeksanalyse. De drainagebasis geeft de hoogte (in NAP m) weer waarop de grondwaterspiegel zich zou instellen als verklarende variabelen geen rol spelen. Deze hoogte moet zich hydrologisch gezien op een realistisch niveau bevinden.

De evaporatiereductiefactor geeft de factor van de evaporatie weer, die is gemeten bij het weerstation. Voor ondiepe filters wordt een grotere evaporatiefactor verwacht dan bij diepere filters, omdat de verdamping groter is bij ondiepe filters. De evaporatiefactor is realistisch als die tussen de 0,1 en 2,0 ligt.

Wanneer een peilbuis een EVP onder de 70% geeft bij alle vier de tijdreeksanalyses, dan spelen andere processen buiten de genoemde variabelen een rol. In Tabel 4 zijn per peilbuis de EVP-waarden, drainagebasis en evaporatiefactor weergegeven.

Tabel 4. Berekenede EVP, evaporatiefactor (Evap) en drainagebasis (DNG) waarden van de vier tijdreeksanalyses. De gekleurde waarden geven onrealistische waarden weer.

Peilbuis	Filterdiepte [m -mv]	EVP 1 - Neerslag + verdamping	Evaporatie- factor	Drainage- basis [m]	EVP 2 -De zee	Drainage- basis [m]	EVP 3 - Neerslag + de zee	Drainage- basis [m]	EVP 4 - Neerslag, verdamping + de zee	Evaporatie- factor	Drainage- basis [m]
B14C0054	6,97 - 7,97	99,27%	0,35	1,02	0%	2,32	98,81%	-1,66	99,35%	0,29	0,64
	14,97 - 15,97	76,87%	2,42	0,40	72,79%	0,23	72,79%	0,23	84,73%	2,68	0,67
	24,98 - 25,98	57,57%	1,88	0,09	59,09%	0,02	59,09%	0,02	74,58%	2,05	0,09
B14C0061	14,00 - 15,00	42,67%	0,8	-0,77	58,44%	-0,06	58,44%	-0,06	71,52%	0,85	-0,25
	36,00 - 37,00	59,13%	1,95	-0,09	51,45%	-0,17	51,45%	-0,17	76,97%	2,07	-0,11
	47,00 - 48,00	26,81%	1,68	-0,55	33,32%	-0,64	33,32%	-0,64	48,41%	1,3	-0,58
B14C0132*	1,57 - 2,07	99,20%	0,13	-2,7	0%	2,0	98,82%	-7,0	99,23%	0,14	-2,9
B14C0152	0,68 - 1,18	99,85%	0,43	-4,73	0%	1,29	0,00%	1,29	99,82%	0,45	-2,97
BH1	3,00 - 4,00	98,68%	0,17	-82,79	0,03%	1,63	0,03%	1,63	98,65%	0,17	-77,68
	17,00 - 18,00	88,12%	1,76	0,55	75,31%	0,42	75,31%	0,42	94,94%	0,67	0,28
	32,00 - 33,00	77,34%	2,57	0,47	67,77%	0,31	67,77%	0,31	86,98%	2,59	0,44
BH2	4,00 - 5,00	96,08%	0,01	-148,20	73,75%	1,30	73,75%	1,3	96,15%	0,01	-120,71
	17,50 - 18,50	70,75%	0	-0,01	62,36%	0,41	62,36%	0,41	89,56%	0	0,15
	32,50 - 33,50	88,15%	2,15	0,47	77,40%	0,31	77,40%	0,31	94,93%	1,09	0,33
LDA1	3,00 - 4,00	98,53%	0,26	-1,25	0%	1,63	0,00%	1,63	98,61%	0,27	-0,85
LDA2	4,00 - 5,00	98,13%	0,17	-5,31	0%	1,22	0,00%	1,22	98,18%	0,21	-2,15

\* De meetreeks van peilbuis B14C0132 loopt van december 2019 tot mei 2020 vanwege onbetrouwbare metingen in de periode voor december.

Peilbuis	Filterdiepte [m -mv]	EVP 1 - Neerslag + verdamping	Evaporatie- factor	Drainage- basis [m]	EVP 2 -De zee	Drainage- basis [m]	EVP 3 - Neerslag + de zee	Drainage- basis [m]	EVP 4 – Neerslag, verdamping + de zee	Evaporatie- factor	Drainage- basis [m]
PB_1	8,00 - 9,00	98,19%	0,16	-4,98	0%	1,99	0,00%	1,99	98,23%	0,2	-1,38
	20,50 - 21,50	95,05%	0,83	0,64	80,58%	0,73	80,58%	0,73	97,27%	0,36	0,06
	35,50 - 36,50	56,76%	1,59	0,14	51,88%	0,08	51,88%	0,08	73,80%	1,74	0,12
PB_2	2,50 - 3,50	99,2%	0,47	0,16	87,61%	1,71	87,61%	1,71	99,22%	0,46	0,14
PB_3	6,50 - 7,50	98,15%	0,37	-0,23	0%	1,83	0,00%	1,83	98,29%	0,34	-0,29
	19,00 - 20,00	97,17%	0,23	-0,19	84,97%	1,17	84,97%	1,17	98,58%	0,07	-1,77
	34,00 - 35,00	30,07%	0,01	1,53	26,60%	1,67	26,60%	1,67	40,31%	0	1,56
PB_5	2,00 - 3,00	70,44%	0,08	-61,12	54,54%	0,45	54,54%	0,45	70,55%	0,07	-149,68
PB_6	4,00 - 5,00	98,68%	0,41	1,29	87,94%	1,89	87,94%	1,89	98,77%	0,36	1,13
	18,00 - 19,00	95,84%	179,06	2,22	0%	1,76	0,00%	1,76	97,36%	4,94	1,88
	33,00 - 34,00	79,66%	1021,13	2,26	62,15%	0,97	62,15%	0,97	83,54%	794,24	1,37
PB_7	2,00 - 3,00	96,93%	0	-3,35	71,22%	0,53	71,22%	0,53	97,00%	0	-3,01
PB_8	2,00 - 3,00	98,39%	0,17	-22,97	0%	0,47	0,00%	0,47	98,36%	0,17	-40,08



De EVP is voor bijna alle filters in de freatische grondwaterstand hoger dan 70% wanneer neerslag en verdamping gebruikt worden als verklarende variabelen. De zeewaterhoogte zorgt in combinatie met neerslag en verdamping voor de hoogste EVP. De EVP van de diepere filters (onder 10 m-mv) worden voornamelijk hoger als alle drie de verklarende variabelen gebruikt worden. Dit is ook te verwachten, omdat het stijghoogteverloop op diepte in mindere mate wordt beïnvloed door neerslag en verdamping door de aanwezigheid van slechtdoorlatende kleilagen.

De diepste filters van peilbuizen B14C0061 en PB\_3 en de freatische filters van peilbuis PB\_5 hebben een EVP onder de 70% bij alle tijdreeksanalyses. Oftewel, de verklarende variabelen kunnen onvoldoende de variantie in de stijghoogte verklaren. De stijghoogte in peilbuis PB\_5 toont erg sterke pieken die niet verklaard konden worden met de tijdreeksanalyse. Hoogstwaarschijnlijk spelen andere processen bij deze peilbuis een rol. In volgende monitoringrapportages zullen langere tijdreeksen worden geanalyseerd en kan de variantie in deze peilbuizen verder worden geanalyseerd en mogelijk verklaard worden. Voor de diepste filters van B14C0061 en PB\_3 geldt dat de stijghoogte op deze diepte altijd lastiger is te verklaren met neerslag en verdamping. Daarnaast speelt de waterhoogte van de zee een kleine rol bij peilbuizen B14C0061 en PB\_3.

### 3.1.1 Grondwaterstroming

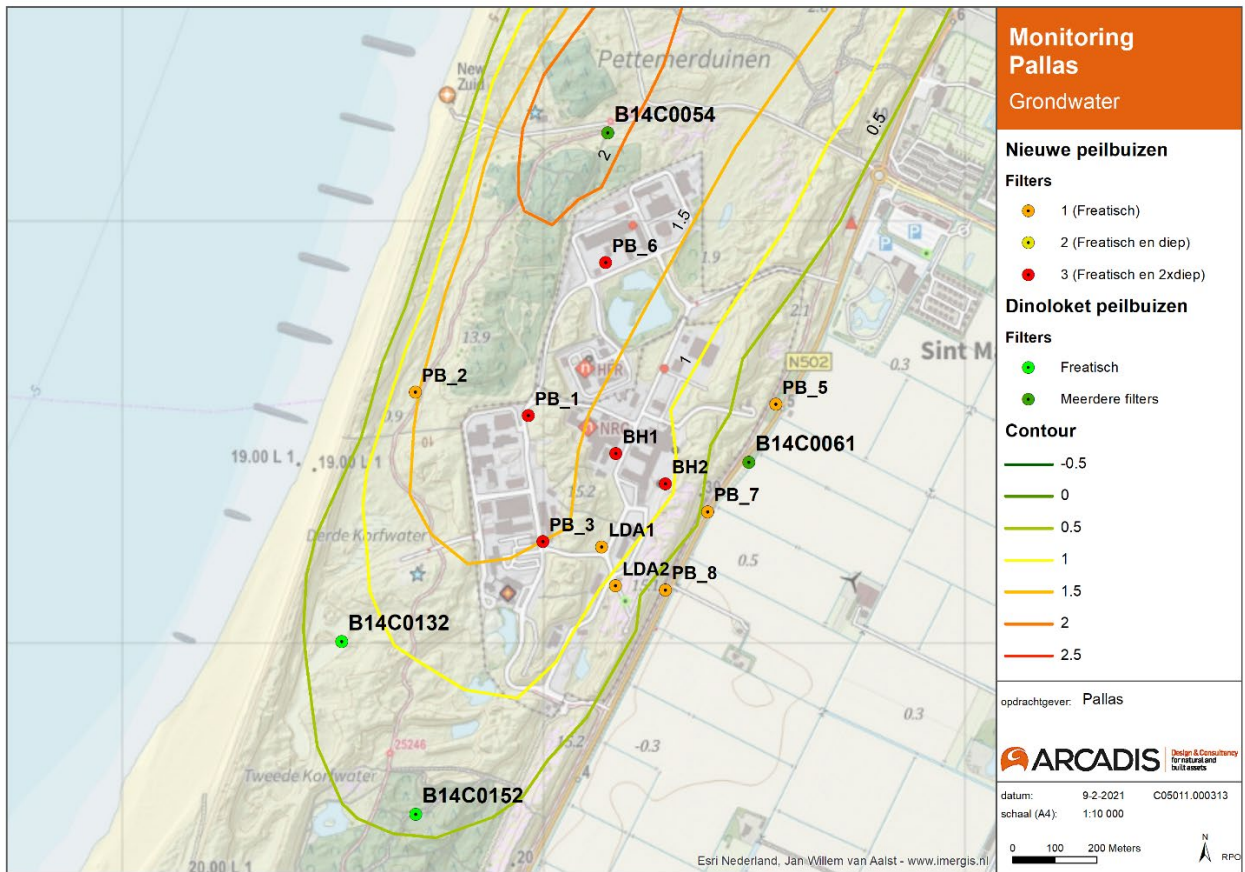
De gemeten freatische grondwaterstand is in Figuur 3, Figuur 4, Figuur 5 en Figuur 6 gevisualiseerd aan de hand van de metingen voor vier verschillende momenten:

- 19 juli 2019;
- 28 november 2019;
- 26 februari 2020;
- 22 mei 2020.

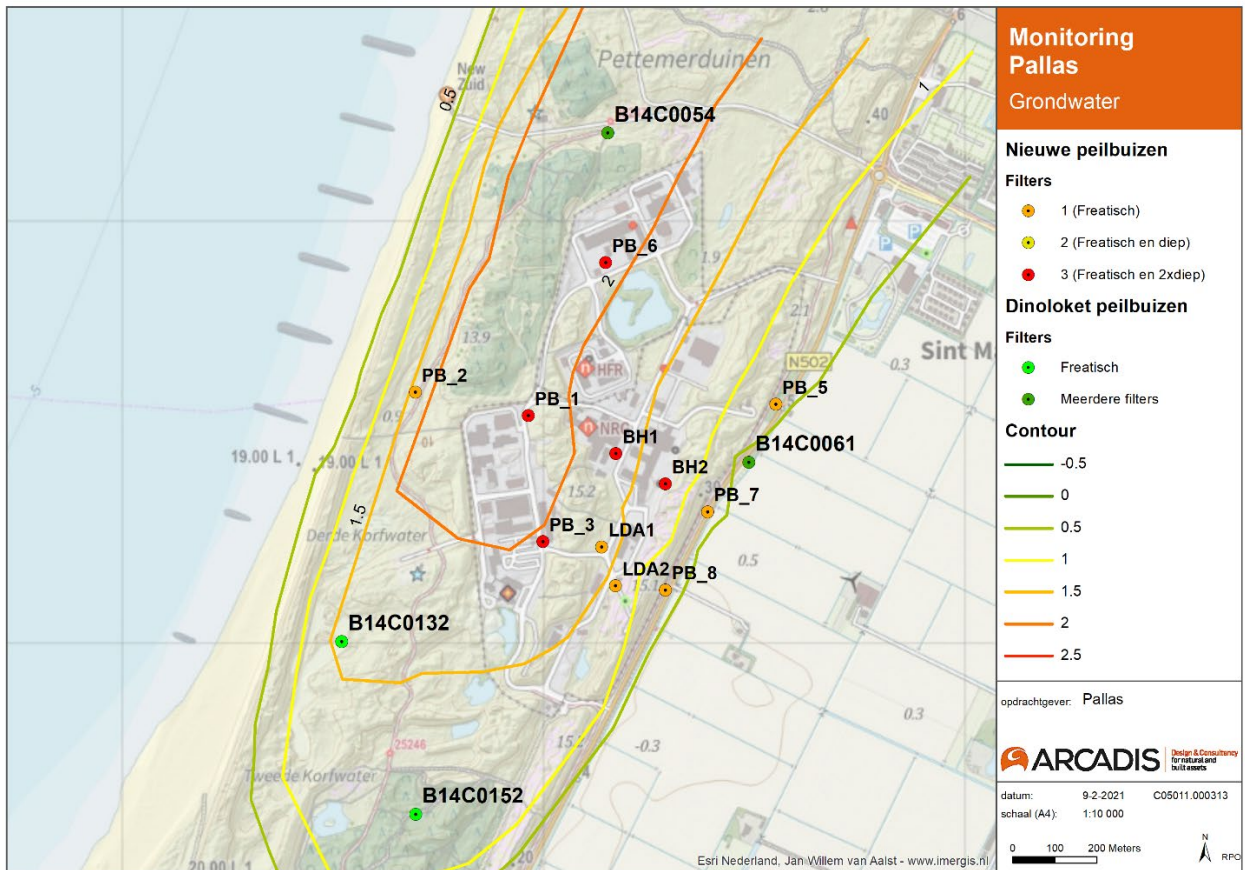
Op basis van de gemeten freatische grondwaterstand op deze momenten is een interpretatie gemaakt van het freatische isohypsenpatroon. De peilbuizen dekken niet het volledige duingebied. De contouren voor de gebieden zonder peilbuis zijn geïnterpreteerd met behulp van de berekende contouren uit het achtergrondrapport (Arcadis, Achtergrondrapport bodem en water, 2017).

De grondwaterstand ligt hoger in het duingebied dan het omliggende gebied. De grondwaterstand (in NAP m) stijgt gedurende de wintermaanden en is weer gedaald in mei 2020 vanwege de droge lente van 2020 in Nederland. De peilbuizen tussen de duinen en het poldergebied ten oosten van de duinen tonen ook deze veranderingen in de grondwaterstand, maar met een minder grote amplitude. In juli lag de grondwaterstand onder de NAP 0,5 m, in de winter steeg de grondwaterstand tot boven de NAP 0,5 m en in mei 2020 lag de grondwaterstand weer dicht bij de NAP 0,5 m. De freatische grondwaterstanden in PB1 en PB2 tonen interessante verschillen. De grondwaterstanden suggereren dat in de winter (november 2019 en februari 2020) het grondwater van PB2 naar PB1 stroomt en in de zomer (juli 2019 en mei 2020) andersom.

De stijghoogten van de diepere filters zijn minder sterk verhoogd in het duingebied. De stijghoogte van de filters op een diepte van NAP -14 m (filter diepte 2 van de nieuwe peilbuizen) en NAP -30 m (filter diepte 3 van de nieuwe peilbuizen) komen sterk met elkaar overeen. De contourlijnen van de filters op NAP -14 m zijn weergegeven in Bijlage B.

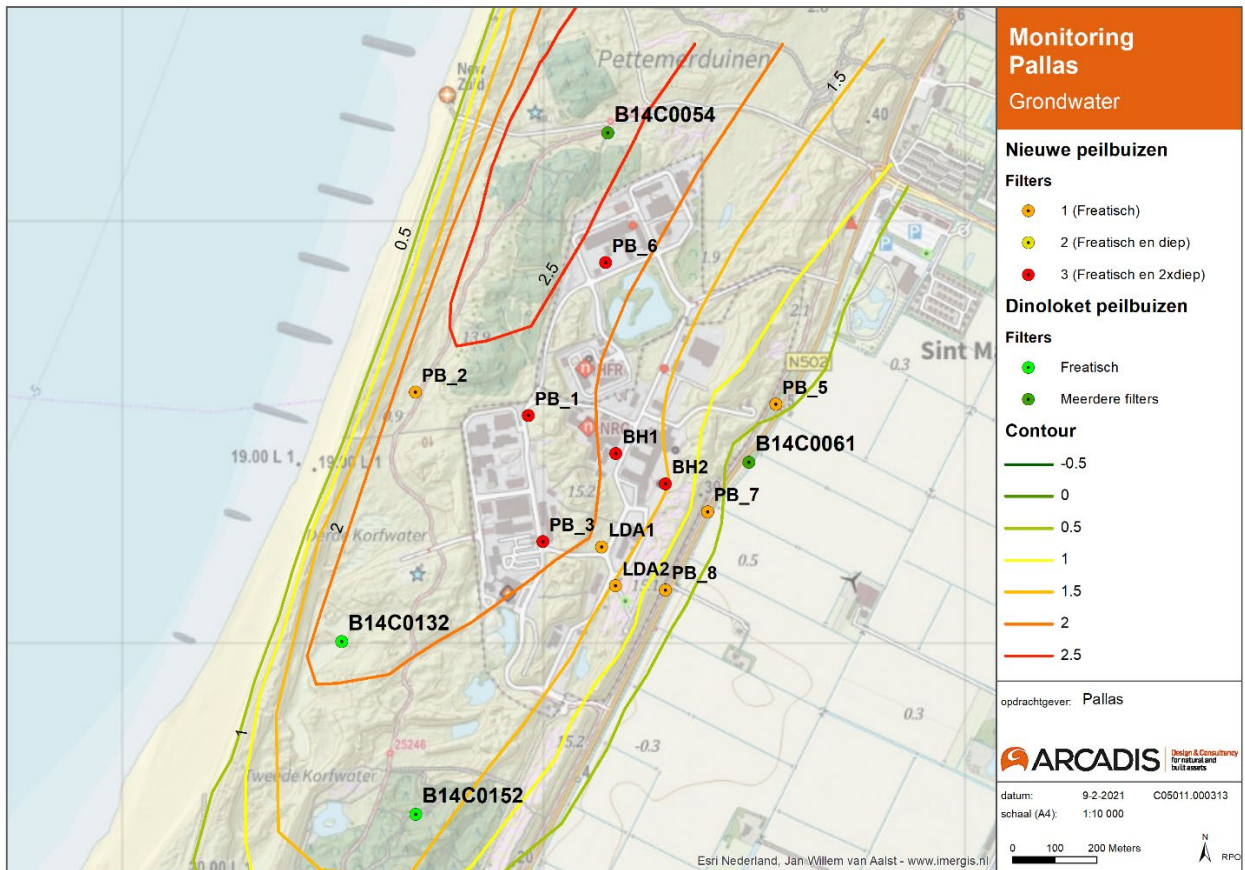


Figuur 3. Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 19 juli 2019.

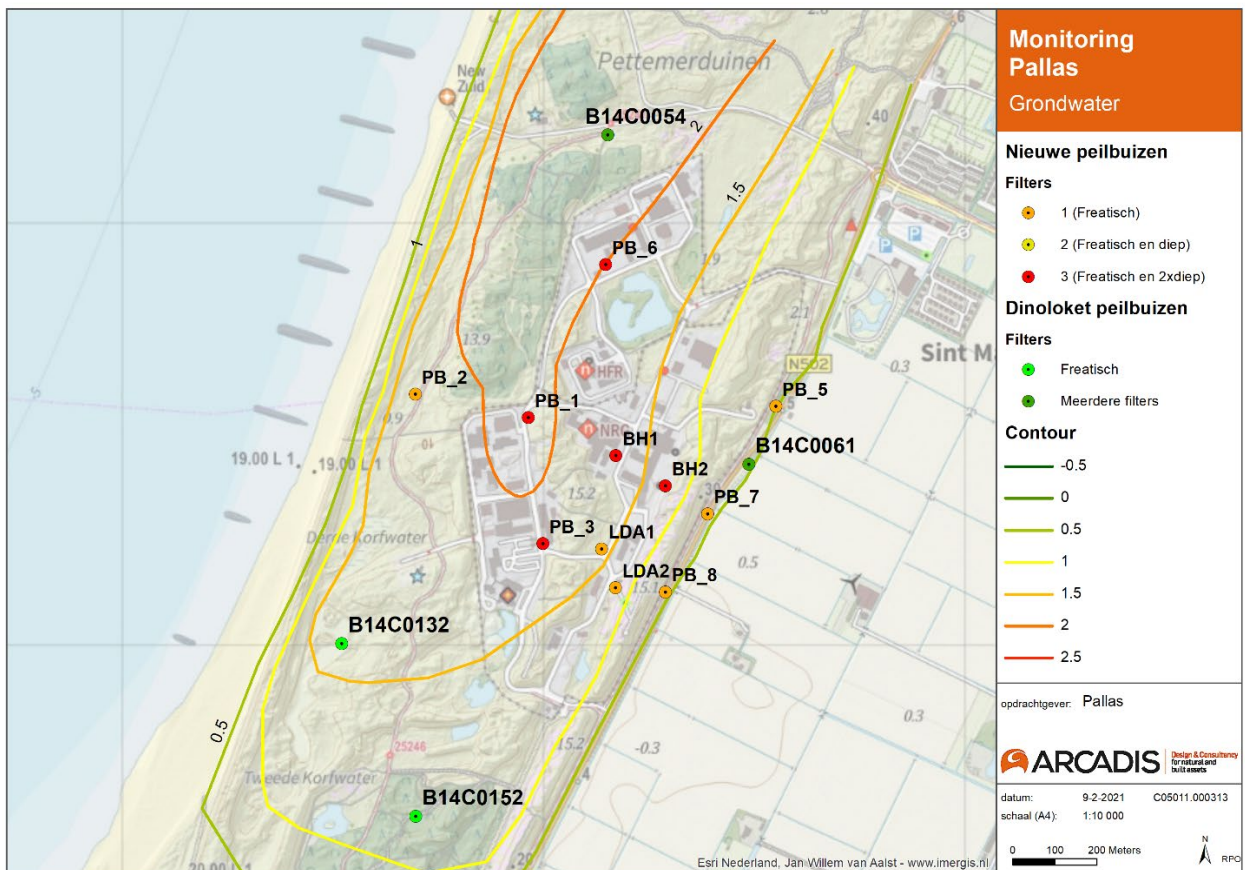


Figuur 4. Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 28 november 2019.





Figuur 5. Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 26 februari 2020.



Figuur 6. Contourlijnen van de freatische grondwaterstand op 22 mei 2020.

## 3.2 Grondwaterkwaliteit

In deze paragraaf wordt ingegaan op (1) de tritiumconcentraties, (2) de gemeten de parameters uit het NEN5740 grondwaterpakket en (3) de gemeten chlorideconcentraties en geleidbaarheid.

### 3.2.1 Tritiumconcentraties

Op 17 mei 2019 is het grondwater bemonsterd en zijn analyses van de tritiumconcentraties uitgevoerd. Op geen van de locaties zijn waarden hoger dan de detectielimiet van 10 Bq/l gemeten. Dit betekent dat er geen sprake is van een tritiumverontreiniging op de onderzochte locaties.

### 3.2.2 Analyse grondwaterkwaliteit

De grondwatermonsters zijn genomen door HB-adviesbureau. De analyses zijn uitgevoerd door Eurofins. De metingen zijn alleen uitgevoerd voor de freatische filters en op vier verschillende momenten:

- 15 mei 2019 (initieel);
- 23 augustus 2019 (Q1);
- 27 november 2019 (Q2);
- 26 februari 2019 (Q3).

Op deze momenten zijn in enkele peilbuizen licht verhoogde concentraties van de volgende stoffen aangetroffen (zie Bijlage A):

- barium (alle vier kwartalen);
- molybdeen (alle vier kwartalen);
- zink (Q1, Q2 en Q3);
- cis/trans-1,2-dichloroetheen (Q1 en Q2);
- xyleen (Q1).

HB-adviesbureau verwacht bij deze concentraties geen gevaren voor de veiligheid bij de bouw.

### 3.2.3 Analyse handmetingen en chlorideconcentratie

In dit onderzoek is extra aandacht besteed aan de huidige chlorideconcentraties van het grondwater in en nabij de EHC. Daarom zijn na het plaatsen van de nieuwe peilbuizen alle filters van het monitoringsysteem bemonsterd, is de elektrische geleidbaarheid (EC) in het veld en laboratorium gemeten en de chlorideconcentratie geanalyseerd. Vervolgens zijn elk kwartaal monsters van de freatische filters, waarin voornamelijk zoet tot brak water voorkomt, genomen. Hierbij is alleen de EC-waarde gemeten. Met de EC-waardes is de chlorideconcentratie berekend met onderstaande formule die ook is gebruikt in de achtergrondrapportage (Arcadis, Achtergrondrapport bodem en water, 2017):

$$1 \frac{\text{mg Cl}^{-1}}{\text{L}} = 0.5472 * \frac{\mu\text{S}^{1.2409}}{\text{cm}}$$

De EC-waardes en chlorideconcentraties zijn weergegeven in Bijlage C. Voor de chlorideconcentraties geldt dat water met een concentratie boven de 150 mg/l brak water is en boven de 1.500 mg/L zout water is. Meerdere freatische monsters bleken brak te zijn. Het aantal freatische filters met brak water neemt af in de winter. Zout water is alleen aangetroffen bij peilbuis B14C0061 die naast het poldergebied ligt. Bij deze peilbuis vond er echter maar een handmeting plaats.

De elektrische geleidbaarheid is buiten de handmetingen ook continu gemeten door de CTD-divers. Bij het berekenen van de chlorideconcentratie uit de EC-waardes is dezelfde formule gebruikt als bij de handmetingen.

De gemeten chlorideconcentraties zijn gegroepeerd op basis van de locatie van de peilbuizen en de diepte van de filters. De gemeten concentraties zijn geplotted tegen de tijd (Figuur 7, Figuur 8, Figuur 9, Figuur 10 en Figuur 11).

### Ondiepe filters (NAP 0 m)

De chlorideconcentraties zijn het laagst langs de polder en op de projectlocatie. Het water in de freatische filters van PB3, PB5, LDA2 en PB1 is gedurende de hele monitoringsperiode of een gedeelte van de monitoringsperiode brak. In het duingebied zijn de chlorideconcentraties over het algemeen hoger. Voornamelijk het water in het freatische filter van B14C0054 heeft een hoge chlorideconcentratie. Daarnaast valt de stijging en daling van de chlorideconcentratie bij PB2 op. De relatief forse stijging van de chlorideconcentratie is (deels) te verklaren door de locatie van de peilbuis: bij hogere windsnelheden (in de winter) kan door 'sea spray' zeewater verder het duingebied inwaaien. Het is echter de vraag of hierbij dergelijk groot effect kan optreden. Plotse fluctuaties in de concentratie over een korte periode kan duiden op een verandering van de diepte waarop de CTD-diver hangt.

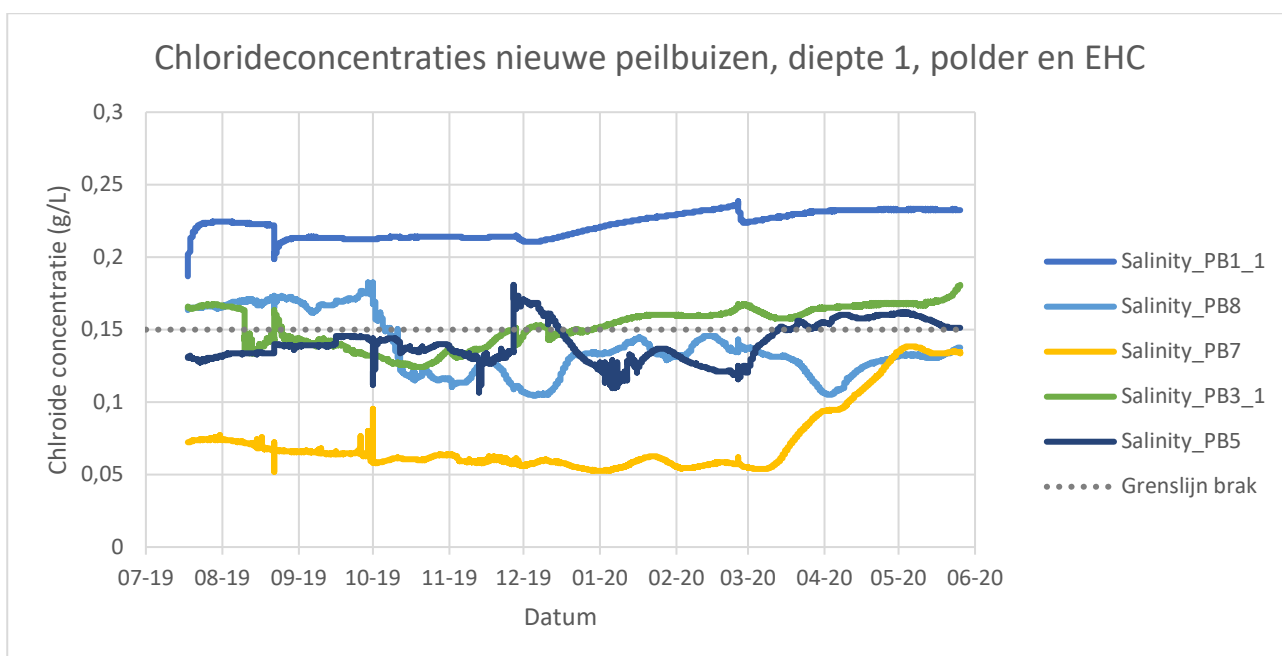
De handmetingen van B14C0054 komen alleen in november overeen met de gemeten EC-waarden door de CTD-diver. Op de andere momenten was de EC-waarde bij de handmeting lager dan de door de CTD-diver gemeten EC-waarde. De handmetingen van LDA1 en LDA2 waren tevens lager dan de door de CTD-diver gemeten EC-waarde.

### Filters op diepte 2

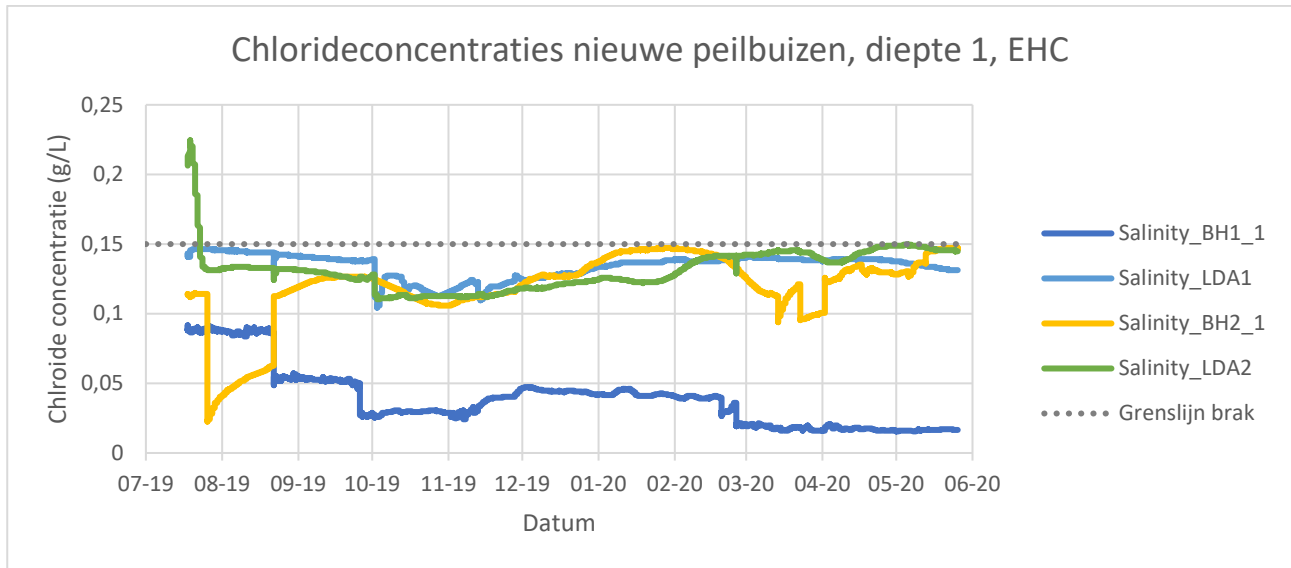
Op een diepte van NAP -14 m wordt een hogere chlorideconcentratie gemeten. Het water in de filters op deze diepte is op bijna alle momenten brak. De chlorideconcentratie van het tweede filter van BH2 valt op door de sterke stijging aan het einde van de monitoringsperiode. Deze stijging is echter niet te verklaren. Het filter van peilbuis B14C0054 ligt op een geringere diepte: NAP -9 m. Desondanks is in dit filter een zeer hoge chlorideconcentratie gemeten. Deze peilbuis ligt dicht bij de kust, waardoor de hogere chlorideconcentratie verklaard kan worden.

### Filters op diepte 3

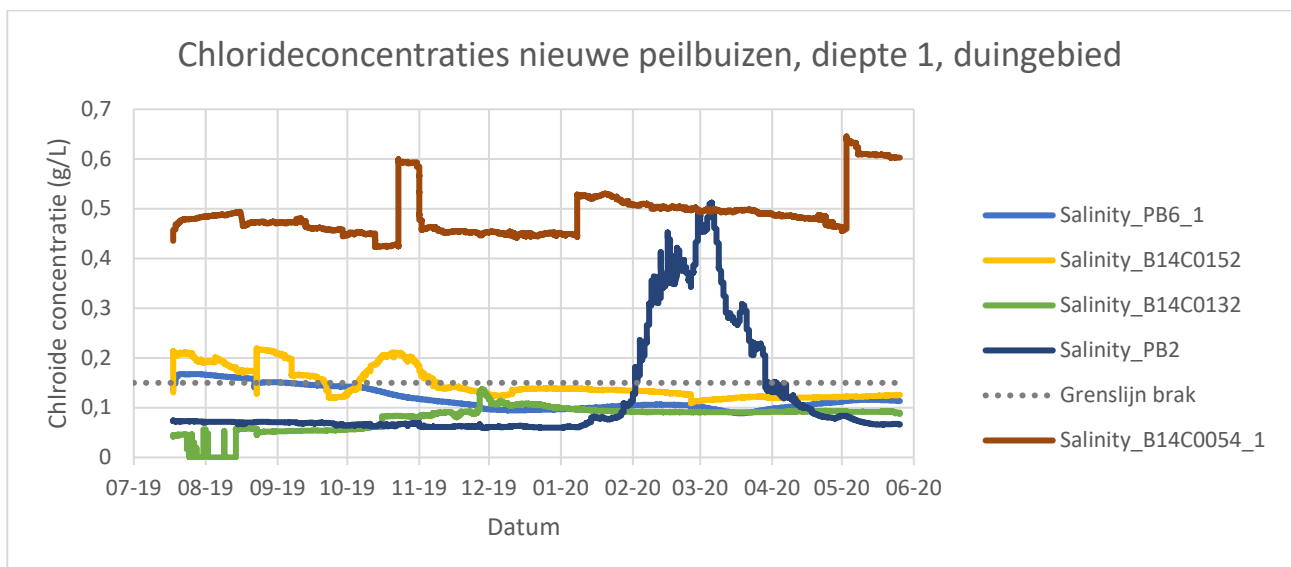
Op een diepte van NAP -30 m was het grondwater in alle filters brak of zout. De hoogste concentratie is gemeten in peilbuis 1. Het is onduidelijk waardoor de concentratie bij dit filter veel hoger is. Bij de handmetingen is ook een veel lagere concentratie gemeten bij deze peilbuis. Het grondwater van het tweede filter van B14C0061 op een diepte van NAP -45 m heeft daarna de hoogste chlorideconcentratie.



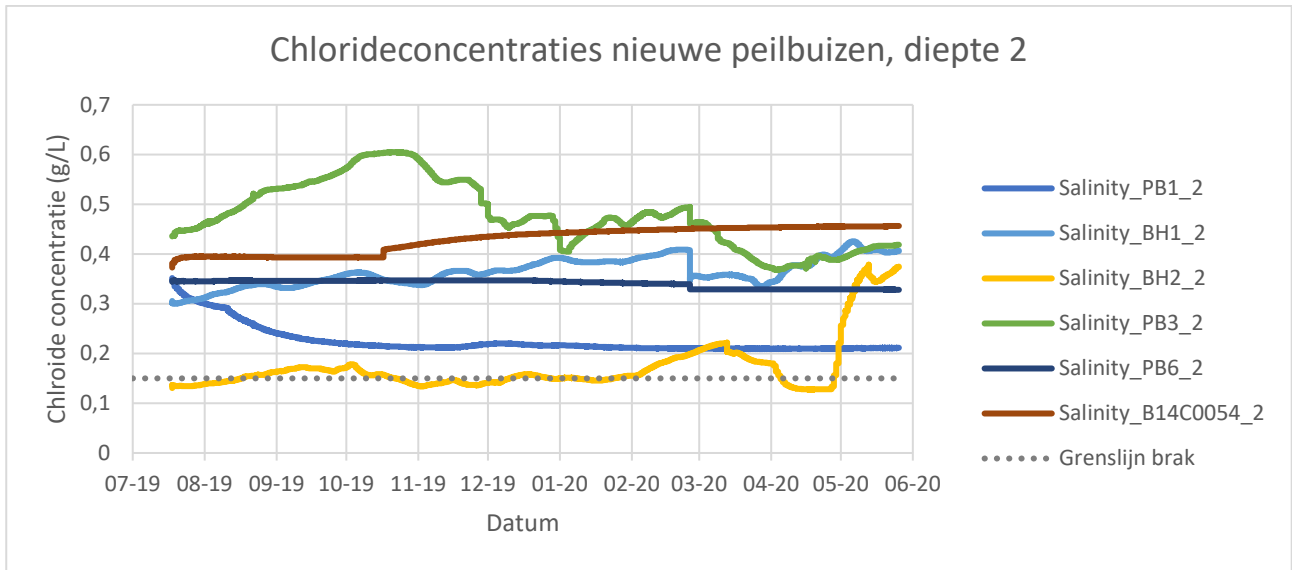
Figuur 7. De chlorideconcentraties van de freatische filters. De concentraties zijn berekend op basis van de EC-metingen van de CTD-divers. De peilbuizen staan langs de polder en op de EHC.



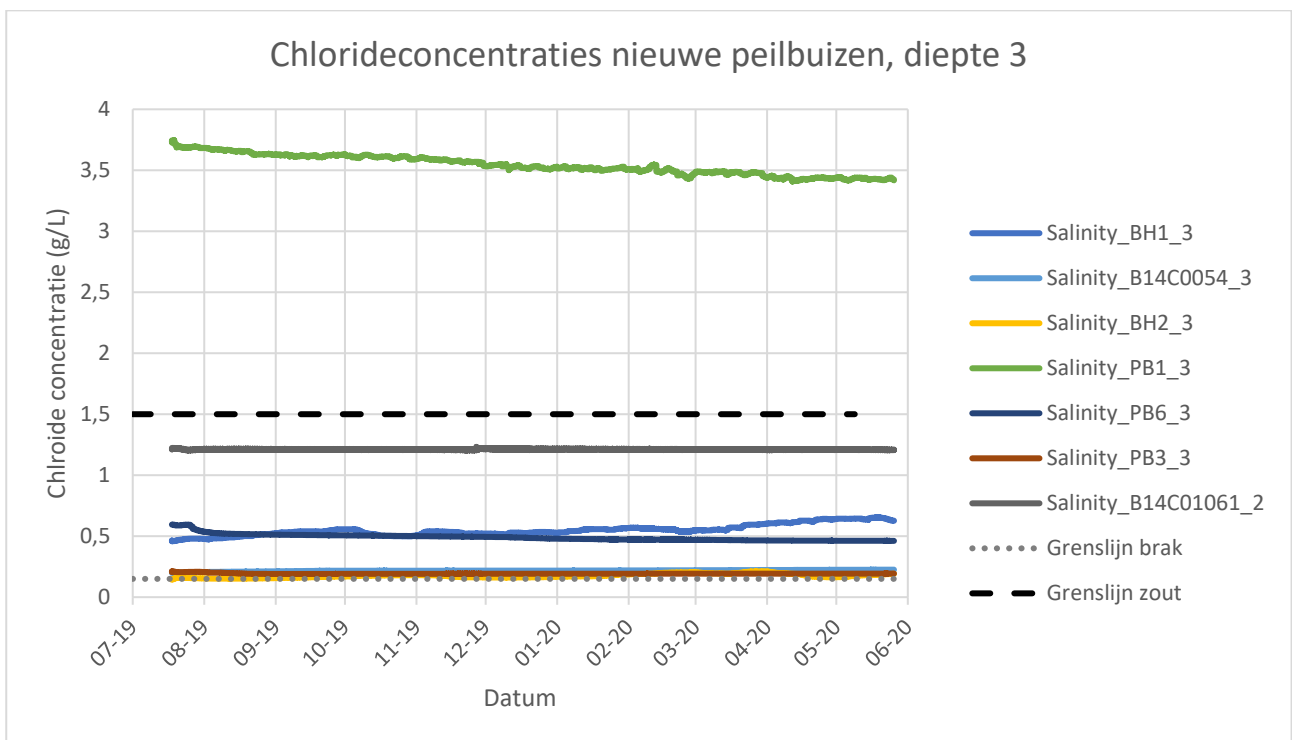
Figuur 8. De chlorideconcentraties van de freatische filters. De concentraties zijn berekend op basis van de EC-metingen van de CTD-divers. De peilbuizen staan op de EHC.



Figuur 9. De chlorideconcentraties van de freatische filters. De concentraties zijn berekend op basis van de EC-metingen van de CTD-divers. De peilbuizen staan in het duingebied of verder verwijderd van de EHC.



*Figuur 10. De chlorideconcentraties van de filters op een diepte van NAP -14 m en NAP -9 m (peilbuis B14C0054). De concentraties zijn berekend op basis van de EC-metingen van de CTD-divers.*



*Figuur 11. De chlorideconcentraties van de filters op een diepte van NAP -30 m, NAP -45 m en NAP -19 m voor peilbuizen B14C0061 en B14C0054. De concentraties zijn berekend op basis van de EC-metingen van de CTD-divers.*



## 4 CONCLUSIE

De grondwaterstand van de freatische filters is in de meeste gevallen goed te verklaren door de verdamping en neerslag. Voor de diepere filters geldt dat de zeewaterhoogte in combinatie met verdamping en neerslag de variantie van de stijghoogte goed kan verklaren. Voor enkele peilbuizen (PB5 en de diepste filters van B14C0061 en PB3) zijn de fluctuaties niet goed te verklaren door de verklarende variabelen die gebruikt zijn bij de tijdreeksanalyse. Bij metingen in dieper gelegen watervoerende lagen, onder slechtdoorlatende kleilagen, worden de gemeten stijghoogten in mindere mate verklaard door neerslag, verdamping en de hoogte van de zee (e.g. het getij). Door de aanwezigheid van vooral de eerste scheidende laag is ook te verwachten dat de neerslag en verdamping een minder direct en kleiner effect hebben op de aanwezige grondwaterdynamiek. Dit betekent dat de gehanteerde verklarende factoren (neerslag, verdamping en de zee) geen volledig beeld geven van de oorzaak van alle fluctuaties in de stijghoogte. Uitbreiding van de meetreeks in een volgende monitoringrapportage kan mogelijk meer duidelijkheid bieden.

Uit contourlijnen van de grondwaterstanden blijkt dat deze in het duingebied hoger zijn tijdens de winter en lager in de zomer. De freatische grondwaterstanden in het duingebied zijn echter altijd hoger dan in het poldergebied ten oosten van de duinen en het zeewaterniveau. Hierdoor zal stroming plaatsvinden enerzijds van het duingebied naar het poldergebied en anderzijds vanuit de duinen naar de zee. De freatische grondwaterstanden van PB1 en PB2 tonen aan dat in de winter water stroomt van PB2 (dichter bij de zee) naar PB1 en in de zomer andersom.

Tritium is nergens boven de detectielimiet aangetroffen. De concentraties van andere grondwaterkwaliteitparameters duiden op enkele lichte en lokale grondwaterverontreinigingen in het gebied. De chlorideconcentratie zijn het hoogst in de peilbuizen dicht bij de kust en in het diepe filter van peilbuis B14C0061. In sommige gevallen komen de EC-waardes van de CTD-divers niet goed overeen met de EC-waardes die zijn gemeten bij handmetingen. Echter, om veranderingen in het zoutgehalte te kunnen detecteren, volstaan de CTD-divermetingen.

Het isohypsenpatroon en de hoogten van de grondwaterstanden en stijghoogten die uit deze monitoring kunnen worden afgeleid, komen goed overeen met de berekende isohypsen en hoogten uit de modelstudie uit 2017 (Arcadis, Achtergrondrapport bodem en water, 2017). De verticale verdeling van zoet, brak en zout grondwater en de absolute zoutconcentraties komen redelijk overeen met waar in 2017 van uit is gegaan. Op basis van de hier besproken metingen zullen de concentraties in een nieuwe versie van het grondwatermodel worden aangepast.



## 5 REFERENTIES

Arcadis. (2016). *Grondwater modelstudie PALLAS reactor Petten*. Arnhem.

Arcadis. (2017). *Achtergrondrapport bodem en water*. Arcadis.

Arcadis. (2019). *Monitoringsplan Grondwater Pallas*. Arcadis.

## **BIJLAGE A. CONCENTRATIES VERHOOGDE PARAMETERS**

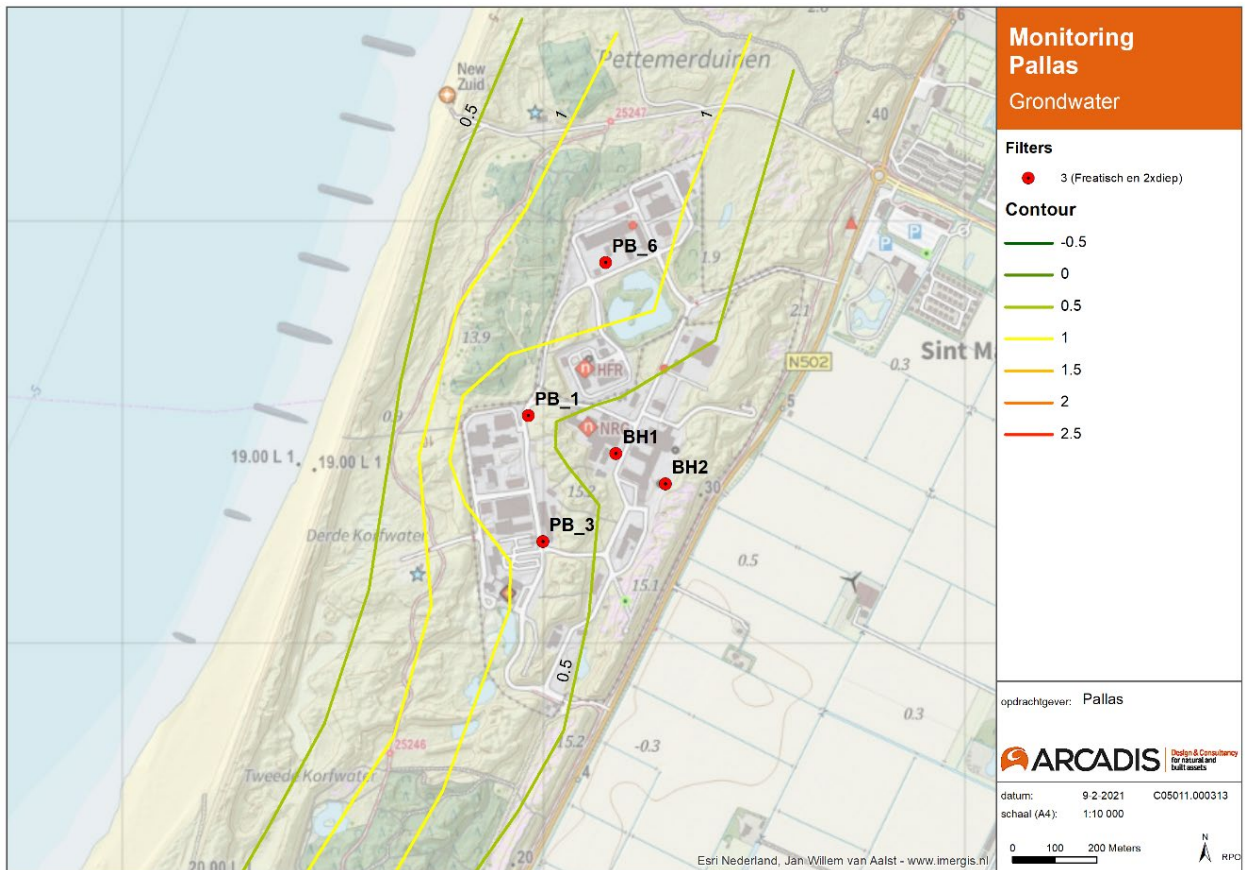


				piezometer	B14C0054	B14C0132	B14C0152	BH-1	BH-2	LDA-1	LDA-2	Pb-1	Pb-2	Pb-3	Pb-5	Pb-6	Pb-7	Pb-8		
Initial Survey				m-gl	6,97-7,97	1,57-2,07	0,68-1,18	3,00-4,00	4,00-5,00	3,00-4,00	4,00-5,00	8,00-9,00	2,50-3,5	6,50-7,50	2,00-3,00	4,00-5,00	2,00-3,00	2,00-3,00		
				date	15-05-2019	15-05-2019	15-05-2019	14-05-2019	13-05-2019	13-05-2019	13-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	14-05-2019	15-05-2019	15-05-2019		
Parameters				evaluation levels	µg/l															
				S	T	I														
Barium	50	338	625	<	<	<	<	24	<	<	<	25	<	32	<	22	<	<		
Molybdene	5	153	300	<	<	<	<	<	<	4,4	<	<	<	<	2,1	6,7	<	<		
Q1				piezometer	B14C0054	B14C0132	B14C0152	BH-1	BH-2	LDA-1	LDA-2	Pb-1	Pb-2	Pb-3	Pb-5	Pb-6	Pb-7	Pb-8		
				m-gl	6,97-7,97	1,57-2,07	0,68-1,18	3,00-4,00	4,00-5,00	3,00-4,00	4,00-5,00	8,00-9,00	2,50-3,5	6,50-7,50	2,00-3,00	4,00-5,00	2,00-3,00	2,00-3,00		
				date	23-08-2019	23-08-2019	23-08-2019	22-08-2019	22-08-2019	22-08-2019	22-08-2019	22-08-2019	23-08-2019	22-08-2019	22-08-2019	22-08-2019	22-08-2019	22-08-2019		
Parameters				evaluation levels	µg/l															
				S	T	I														
Barium	50	338	625	<	24	41	<	75	<	<	<	46	34	<	<	23	<	<		
Molybdene	5	153	300	<	<	<	<	<	6,3	<	<	<	<	<	<	<	<	<		
Zinc	65	433	800	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	11	<		
cis/trans-1,2-dichloroethene	0,01	10	20	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	<	<	<	<		
xylene (sum)	0,2	35	70	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,2	<	<		
Q2				piezometer	B14C0054	B14C0132	B14C0152	BH-1	BH-2	LDA-1	LDA-2	Pb-1	Pb-2	Pb-3	Pb-5	Pb-6	Pb-7	Pb-8		
				m-gl	6,97-7,97	1,57-2,07	0,68-1,18	3,00-4,00	4,00-5,00	3,00-4,00	4,00-5,00	8,00-9,00	2,50-3,5	6,50-7,50	2,00-3,00	4,00-5,00	2,00-3,00	2,00-3,00		
				date	27-11-2019	27-11-2019	27-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	27-11-2019	28-11-2019	27-11-2019	27-11-2019	27-11-2019	27-11-2019		
Parameters				evaluation levels	µg/l															
				S	T	I														
Barium	50	338	625	53	<	26	82	97	49	<	<	44	48	30	<	35	31	<		
Molybdene	5	153	300	<	<	<	<	<	4,7	<	<	<	<	<	<	2,7	<	<		
Zinc	65	433	800	<	<	11	<	19	13	<	<	<	<	<	11	10	<	<		
cis/trans-1,2-dichloroethene	0,01	10	20	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	<	<	<	<		
Q3				piezometer	B14C0054	B14C0132	B14C0152	BH-1	BH-2	LDA-1	LDA-2	Pb-1	Pb-2	Pb-3	Pb-5	Pb-6	Pb-7	Pb-8		
				m-gl	6,97-7,97	1,57-2,07	0,68-1,18	3,00-4,00	4,00-5,00	3,00-4,00	4,00-5,00	8,00-9,00	2,50-3,5	6,50-7,50	2,00-3,00	4,00-5,00	2,00-3,00	2,00-3,00		
				date	27-11-2019	27-11-2019	27-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	28-11-2019	27-11-2019	28-11-2019	27-11-2019	27-11-2019	27-11-2019	27-11-2019		
Parameters				evaluation levels	µg/l															
				S	T	I														
Barium	50	338	625	<	no	<	<	23	<	<	<	22	<	<	<	<	<	<		
Molybdene	5	153	300	<	samples	<	<	<	4,8	<	<	<	<	<	<	<	<	<		
Zinc	65	433	800	<	#	<	32	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<		

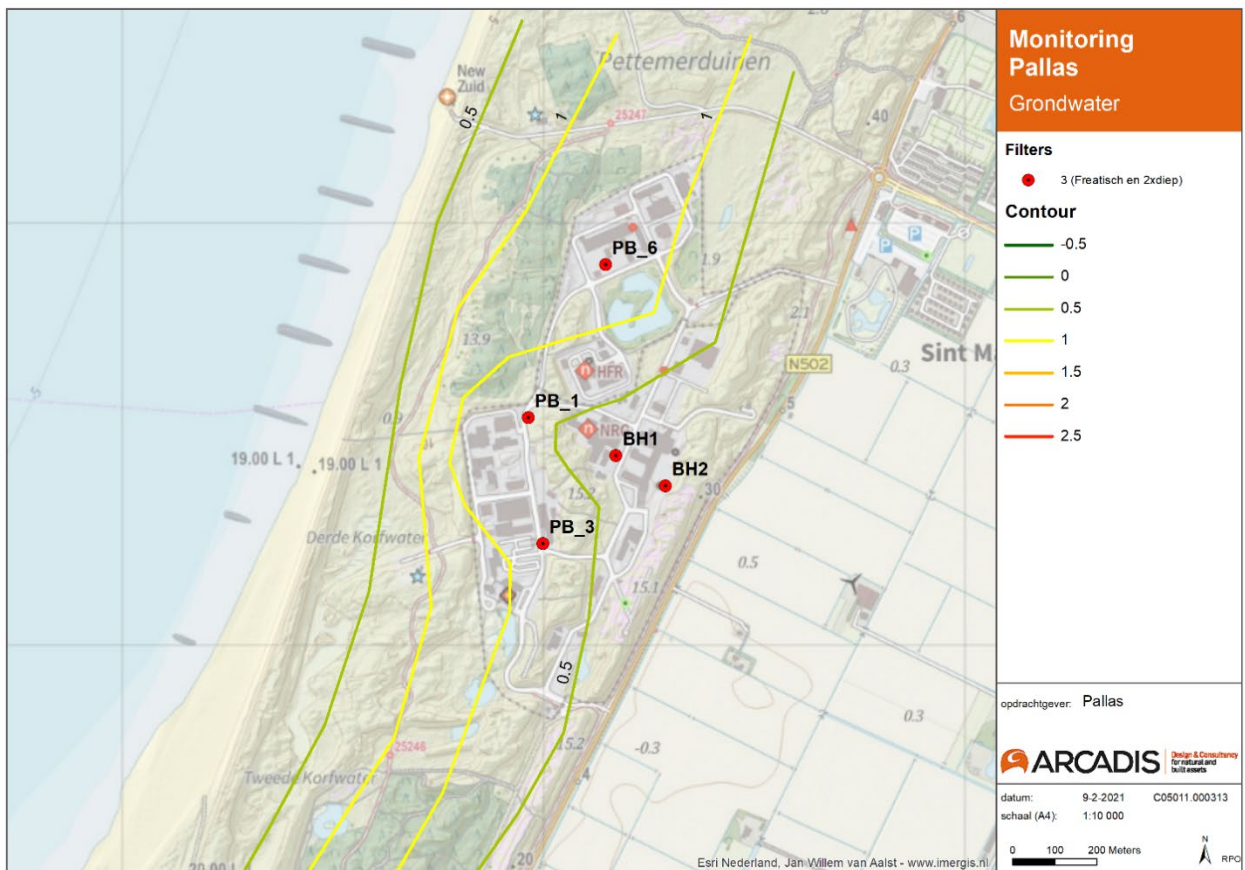
**Note** In this evaluation parameters are presented, for with concentrations locally exceed detection limits.  
**#** Due to excessive rainfall, piezometer B14C0132 was fully submersed <- no samples taken

**Evaluation analyses according to Dutch Circulaire Bodemsanering 2013**  
 below or equal to S- reference level (not contaminated)  
 below or equal to T-level (slightly contaminated)  
 below or equal to I-level (moderately contaminated)  
 over I-level (severely contaminated)

## **BIJLAGE B. CONTOURLIJNEN FILTER 2 VAN NIEUWE PEILBUIZEN (NAP -14 M)**

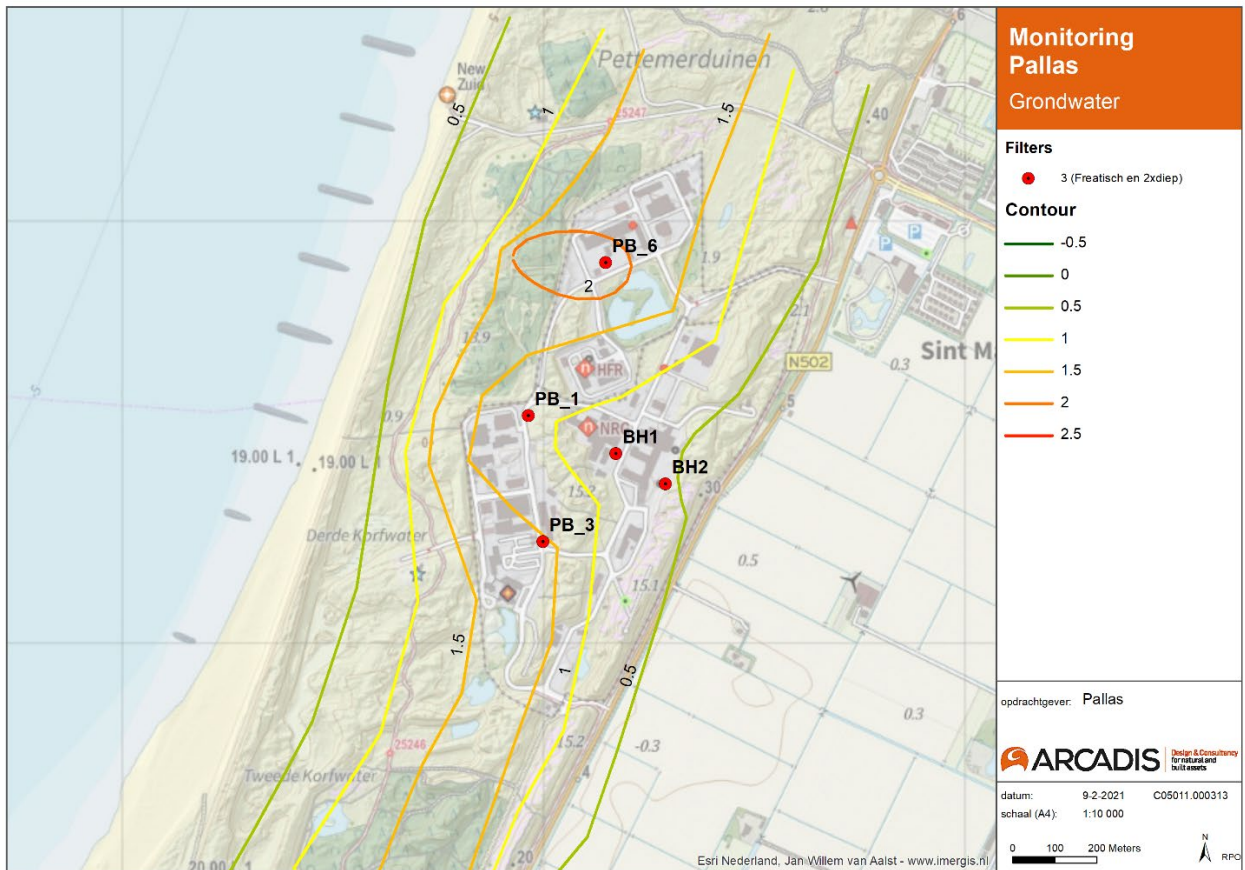


Figuur B.1. Contourlijnen van de stijghoogte op 19 juli 2019.

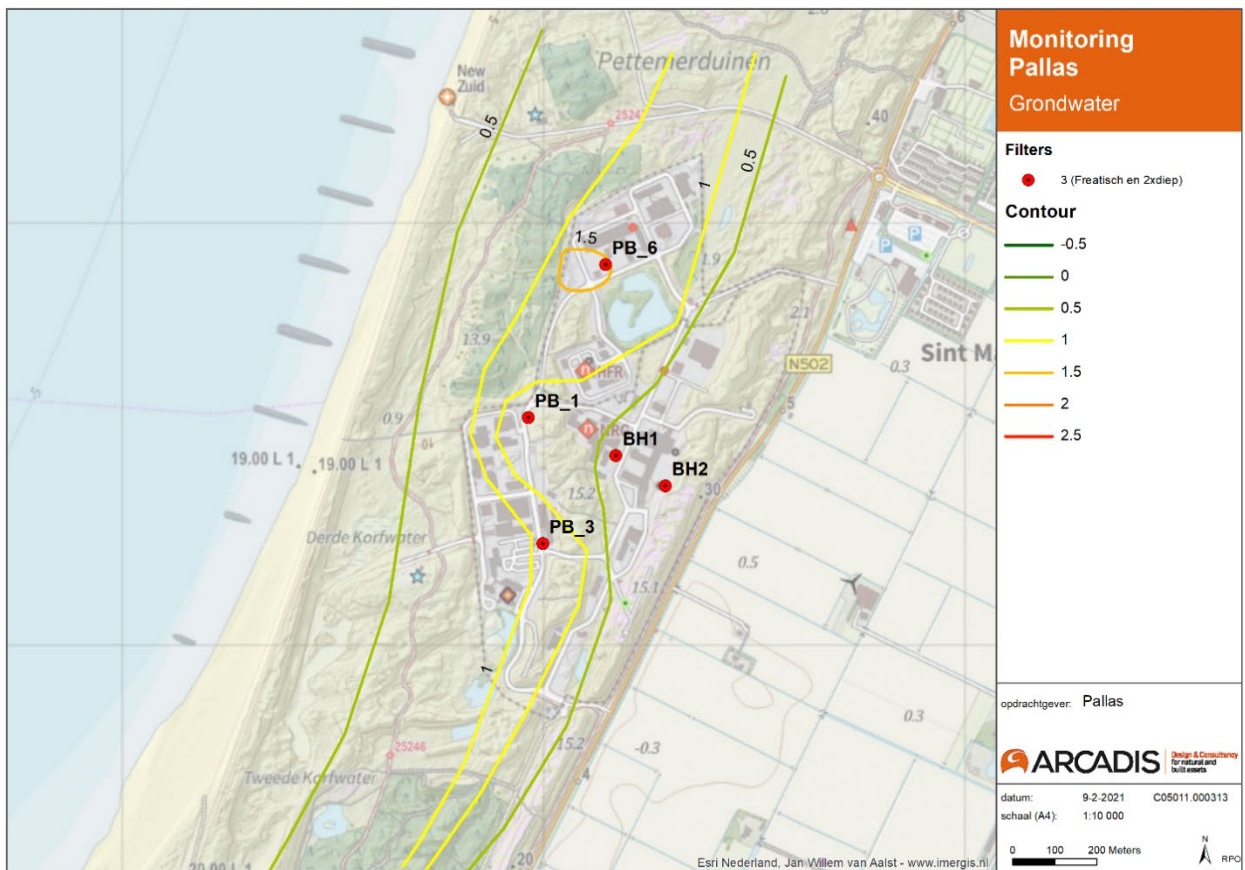


Figuur B.2. Contourlijnen van de stijghoogte op 28 november 2019.





Figuur B.3: Contourlijnen van de stijghoogte op 26 februari 2020.



Figuur B.4. Contourlijnen van de stijghoogte op 22 mei 2020.



## **BIJLAGE C. EC-WAARDE EN AFGELEIDE CHLORIDE- CONCENTRATIE VAN OVERIGE HANDMETINGEN**

Peilbuis	Datum	Filterdiepte (m – mv)	EC ( $\mu$ S/cm)	Chloride (mg/l)
B14C0054	Mei 2019	6,97 - 7,97	630	54
	Mei 2019	14,97 - 15,97	2.150	510
	Mei 2019	24,98 - 25,98	1.250	74
B14C0061	Mei 2019	14,00 - 15,00	7.200	2.100
	Mei 2019	36,00 - 37,00	5.380	1.400
	Mei 2019	47,00 - 48,00	> 20.000	11.000
B14C0132	Mei 2019	1,57 - 2,07	690	99
B14C0152	Mei 2019	0,68 - 1,18	748	98
	Mei 2019	3,00 - 4,00	520	58
	Mei 2019	17,00 - 18,00	1,09	210
BH1	Mei 2019	32,00 - 33,00	870	130
	Mei 2019	4,00 - 5,00	770	110
	Mei 2019	17,50 - 18,50	870	150
BH2	Mei 2019	32,50 - 33,50	960	210
	Mei 2019	3,00 - 4,00	660	100
LDA1	Mei 2019	4,00 - 5,00	630	110
LDA2	Mei 2019	8,00 - 9,00	1.220	170
	Mei 2019	20,50 - 21,50	2.050	300
	Mei 2019	35,50 - 36,50	1.230	420
PB_1	Mei 2019	2,50 - 3,50	510	66
	Mei 2019	6,50 - 7,50	1.250	240
PB_2	Mei 2019	19,00 - 20,00	1.540	260
	Mei 2019	34,00 - 35,00	3.120	580
	Mei 2019	2,00 - 3,00	810	110
PB_3	Mei 2019	4,00 - 5,00	1.200	230
	Mei 2019	18,00 - 19,00	1.720	320
	Mei 2019	33,00 - 34,00	2.900	680
PB_4	Mei 2019	2,00 - 3,00	560	55
	Mei 2019	2,00 - 3,00	1.000	200

Piëzometer	Date	Filter depth (m -mv)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	Cl (mg/l)
B14C0054	Augustus 2019	6.97 - 7.97	500	70.2
B14C0132	Augustus 2019	1.57 - 2.07	640	95.4
B14C0152	Augustus 2019	0.68 - 1.18	1.310	232.0
BH1	Augustus 2019	3.00 - 4.00	500	70.2
BH2	Augustus 2019	4.00 - 5.00	760	118.0
LDA1	Augustus 2019	3.00 - 4.00	560	80.8
LDA2	Augustus 2019	4.00 - 5.00	640	95.4
PB_1	Augustus 2019	8.00 - 9.00	870	139.6
PB_2	Augustus 2019	2.50 - 3.50	510	72.0
PB_3	Augustus 2019	6.50 - 7.50	860	137.6
PB_5	Augustus 2019	2.00 - 3.00	730	112.3
PB_6	Augustus 2019	4.00 - 5.00	830	131.7
PB_7	Augustus 2019	2.00 - 3.00	570	82.6
PB_8	Augustus 2019	2.00 - 3.00	930	151.6

Piëzometer	Date	Filter depth (m -mv)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	Cl (mg/l)
B14C0054	November 2019	6.97 - 7.97	2250	453.9
B14C0132	November 2019	1.57 - 2.07	870	139.6
B14C0152	November 2019	0.68 - 1.18	960	157.7
BH1	November 2019	3.00 - 4.00	560	80.8
BH2	November 2019	4.00 - 5.00	810	127.8
LDA1	November 2019	3.00 - 4.00	-	-
LDA2	November 2019	4.00 - 5.00	590	86.2
PB_1	November 2019	8.00 - 9.00	1050	176.3
PB_2	November 2019	2.50 - 3.50	460	63.3
PB_3	November 2019	6.50 - 7.50	870	139.6
PB_5	November 2019	2.00 - 3.00	840	133.7
PB_6	November 2019	4.00 - 5.00	570	82.6
PB_7	November 2019	2.00 - 3.00	520	73.7
PB_8	November 2019	2.00 - 3.00	860	137.6

Piëzometer	Date	Filter depth (m -mv)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	Cl (mg/l)
B14C0054	Februari 2020	6.97 - 7.97	450	61.6
B14C0132	Februari 2020	1.57 - 2.07	-	-
B14C0152	Februari 2020	0.68 - 1.18	80	7.2
BH1	Februari 2020	3.00 - 4.00	490	68.5
BH2	Februari 2020	4.00 - 5.00	710	108.5
LDA1	Februari 2020	3.00 - 4.00	560	80.8
LDA2	Februari 2020	4.00 - 5.00	480	66.7
PB_1	Februari 2020	8.00 - 9.00	910	147.6
PB_2	Februari 2020	2.50 - 3.50	1380	247.5
PB_3	Februari 2020	6.50 - 7.50	820	129.7
PB_5	Februari 2020	2.00 - 3.00	630	93.5
PB_6	Februari 2020	4.00 - 5.00	430	58.2
PB_7	Februari 2020	2.00 - 3.00	360	46.7
PB_8	Februari 2020	2.00 - 3.00	710	108.5

## COLOFON

GRONDWATERMONITORING  
PERIODE MEI 2019 - JUNI 2020

KLANT  
PALLAS

AUTEUR

PROJECTNUMMER  
C05011.000642.0100/LB

ONZE REFERENTIE  
D10017441:46

DATUM  
15 oktober 2020

STATUS  
Definitief

GECONTROLEERD DOOR

Senior specialist Geohydrologie

### **Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 4261 261

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)



## COLOFON

ACHTERGRONDRAPPORT GRONDWATER  
PROJECT-MER PALLAS

**KLANT**

Stichting Voorbereiding PALLAS-reactor

**AUTEUR**

**PROJECTNUMMER**

C05011.000642

**ONZE REFERENTIE**

D10008766:149

**DATUM**

23 mei 2022

**STATUS**

Definitief

**GECONTROLEERD DOOR**

**VRIJGEGEVEN DOOR**

**Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 4261 261

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)