



KWR xxxx.xxx | Maart 2023

Wolphaartswater: Resultaten voorstudie en veldwerkplan

Rapport

Wolphaartswater: Resultaten voorstudie en veldwerkplan

KWR xxxx.xxx | Maart 2023

Opdrachtnummer

402045

Projectmanager

ir. H.J.M. (Eric) Broers

Opdrachtgever

Provincie Zeeland

Auteur(s)

dr. G. (Gilian) Schout (KWR), L.P. (Lennart) Brokx MSc (KWR)

Kwaliteitsborger(s)

Verzonden naar

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. KWR zal zich onthouden van verspreiding van dit rapport en het rapport derhalve niet verstrekken aan derden, tenzij partijen anders overeenkomen. Opdrachtgever is gerechtigd het rapport te verspreiden mits KWR daarvoor vooraf toestemming heeft verleend. Aan de toestemming voor de verspreiding van (onderdelen van) het rapport kan KWR voorwaarden verbinden.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

OWB, Ondergrondse Waterberging, ASR

Jaar van publicatie
2023

Meer informatie
Lennart Brokx MSc.
T +31 6 54294203
E lennart.brokx@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Maart 2023 ©

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

Samenvatting

In de polders van het voormalig eiland Wolphaartsdijk is op dit moment geen enkele vorm van zoetwatervoorziening, waardoor de agrarische sector zeer gevoelig is voor droogteschade. Ondergrondse waterberging (OWB) biedt potentieel een mogelijkheid om hier verandering in aan te brengen door de 's winters vallende neerslag ondergronds op te slaan om dit vervolgens terug te kunnen winnen in periode van droogte.

Deze tussenrapportage bevat een inventarisatie en 1^e analyse van de reeds beschikbare geohydrologische data voor het projectgebied. Op basis van deze analyse is een plan opgesteld voor een veldwerkcampagne met als belangrijkste onderdelen boringen, sonderingen, en waterkwaliteitsmetingen. Deze werkzaamheden zullen worden uitgevoerd in het voorjaar van 2023.

Op deze rapportage is geen kwaliteitsborging uitgevoerd en het heeft daarom geen officiële status en rapportnummer. Delen van dit rapport zullen worden hergebruikt in het eindrapport van dit project, waarop wel kwaliteitsborging zal worden uitgevoerd en welke dus wel officieel zal worden.

Inhoud

Rapport	2
Samenvatting	3
Inhoud	4
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doel en opzet voorstudie Wolphaartswater	6
2 Gebiedsschets op hoofdlijnen	7
2.1 Totstandkoming huidige bodemopbouw bij projectgebied	7
2.2 Oppervlaktewatersysteem	8
2.3 Bodemopbouw en geohydrologie	9
3 Beschikbare velddata	13
3.1 Hydrologie	13
3.1.1 Meteorologische gegevens	13
3.1.2 Afvoerdebiet en kwaliteit bij stuwen	13
3.1.3 EC-metingen Nitraatapp	14
3.1.4 Waterkwaliteitsmetingen gemaal de Piet	15
3.2 Geohydrologie	16
3.2.1 Boringen	16
3.2.2 Grondwatermeetnet	17
3.2.3 Stijghoogtes	19
3.2.4 Grondwaterkwaliteit	19
4 Verkennende berekeningen	21
4.1 Waterbalans	21
4.1.1 Neerslagoverschot en patronen	21
4.1.2 Geschatte waterbeschikbaarheid voor ondergrondse waterberging	22
4.1.3 Watervraag / watergebruik	23
4.2 Berekening opslagvolume in 'omgekeerde badkuip'	23
4.3 Numerieke modelsimulaties	24
4.3.1 Modelopzet	24
4.3.2 Numerieke methode	26
4.3.3 Scenario's	26
4.3.4 Resultaten	27
5 Veldwerkplan	30
5.1 Inleiding	30
5.2 Boringen en sonderingen	30

5.3	Uitvoering boring en filterstellingen	33
5.4	HPT sonderingen	34
5.5	Geofysische boorgatmetingen	35
5.6	Waterkwaliteitsbemonstering	35
5.7	Aanschaf en gebruik loggers	34
6	Doorkijk volgende fase	38
7	Referentielijst	39

Inleiding

1.1 Achtergrond

In de polders van het voormalig eiland Wolphaartsdijk is op dit moment geen enkele vorm van zoetwatervoorziening; de oppervlaktewateren zijn er 's zomers (wanneer er watervraag is) te zout. Het regenwater dat valt in de winter kan door een dik kleipakket aan het maaiveld ook niet in de bodem infiltreren en stroomt daardoor af naar het Veerse Meer en uiteindelijk naar zee. Het grondwater beneden de kleilaag is en blijft daardoor brak tot zout en er vormt zich van nature geen zoetwaterbel, zoals bijvoorbeeld op de Zeeuwse kreekruigen wel gebeurd.

Bovendien is de verwachting dat door klimaatverandering steeds langere droge periodes zullen voorkomen. De drie opeenvolgende zeer droge zomers van 2018, 2019 en 2020 waren een duidelijk voorbeeld van dit weerbeeld. De nadruk van het waterbeheer ligt van oudsher op het snel afvoeren van overtollig water, in plaats van het zo lang mogelijk vasthouden van zoetwater. In Wolphaartsdijk, waar dus geen alternatieve zoetwatervoorziening voorhanden is, heeft dit als gevolg dat het steeds moeilijker zal worden om de landbouw op de zelfde manier te blijven bedrijven, doordat het risico op droogteschade toeneemt.

In dit onderzoek zal worden onderzocht of de specifieke ondergrondse situatie, die is ontstaan door de geschiedenis van het landschap, mogelijk toch de kans biedt voor grootschalige zoetwateropslag. De ondergrond rondom het voormalige eiland bestaat namelijk tot een diepte van circa 30 m uit minder goed doorlatende afzettingen waartussen mogelijk een grote hoeveelheid zoetwater kan worden opgeslagen. In droge periodes kan dit water dan opgepompt worden en gebruikt worden voor agrarische doeleinden. In tegenstelling tot andere soortgelijke projecten in Zeeland, waarbij meer lokale oplossingen op perceel basis onderzocht worden, betreft dit project een onderzoek naar een grootschaligere, gebiedsgerichte oplossing. Bijkomend voordeel is daarom dat bij een succesvol project in een keer een grote slag geslagen kan worden met het verduurzamen van het watersysteem.

1.2 Doel en opzet voorstudie Wolphaartswater

Deze tussenrapportage omvat een beschrijving van de eerste fase van het project; de voorstudie. In deze voorstudie is op basis van bestaande gegevens een analyse gedaan van de ontstaansgeschiedenis van de ondergrond en het landschap in het projectgebied, de hydrologische en geohydrologische situatie, en overige belangrijke zaken (Hoofdstuk 2). Deze analyse is vervolgens gebruikt om een aantal voorlopige geohydrologische modelsimulaties uit te voeren van het mogelijke ondergrondse waterbergingsysteem (Hoofdstuk 4).

Daarnaast bevat dit rapport ook het veldwerkplan (Hoofdstuk 5), wat is opgesteld op basis van de gezamenlijke uitkomsten van deze voorstudie. In grote lijnen bestaat de veldwerkcampagne uit drie hoofdactiviteiten: sonderingen, boringen, en waterkwaliteitsmetingen van zowel oppervlakte- als grondwater. Hierbij is ook uitgebreid gekeken naar de reeds beschikbare velddata uit het gebied (Hoofdstuk 3).

Gebiedsschets op hoofdlijnen

2.1 Totstandkoming huidige bodemopbouw bij projectgebied

Om de huidige (geo)hydrologische situatie goed te kunnen begrijpen is het belangrijk de totstandkoming van het landschap en de ondergrond bij Wolphaartsdijk in detail te bekijken. Deze is namelijk het gevolg van een zeer dynamisch proces met veel veranderingen in de laatste duizenden en honderden jaren, welke hun weerslag hebben op de bodemopbouw en het geohydrologische systeem.

Aan het einde van de laatste ijstijd (circa 11.000 jaar geleden) was de zeespiegel veel lager dan nu. Zeeland was destijds bedekt met een laag dekzand afkomstig van de Noordzeebodem, wat gedurende een groot deel van deze ijstijd een woestijn was. In de polders ten westen van het dorp Wolphaartsdijk (waar het projectgebied ligt) ligt deze afzetting tegenwoordig op zo'n 15 m onder het maaiveld. Na de ijstijd ging de zeespiegel echter weer stijgen en vormde de duinen en strandwallen langs de Noordzeekust, inclusief Zeeland. Zoetwater dat door beken en rivieren werd aangevoerd kon zich nu ophopen acht deze duinen en vormde een veenmoeras. In nagenoeg heel Zeeland, met uitzondering van delen van Zeeuws-Vlaanderen, ontstond hierdoor een dik veenpakket aan het maaiveld.

Toen de zeespiegel nog verder steeg doorbrak de zee op meerdere plekken de strandwallen, en vormden zich getijdengeulen door de veenafzettingen heen. Dit proces werd versterkt doordat vanaf ongeveer de Romeinse tijd het veen werd afgewaterd met afwateringsgeultjes om het droog te leggen en te ontginnen. Deze drooglegging leidde bovendien tot inklinking en oxidatie van het veen waardoor het land langzaam lager kwam te liggen. Met verdere stijging van de zeespiegel trokken de geulen steeds dieper landinwaarts en geleidelijk aan verdronk bijna heel Zeeland in een landschap van kreken, slikken en schorren. Door de vorming van een aantal van de grotere geulen (het Sloe, de Schengen en de Zuidvliet) ontstond in deze periode ook Wolphaartsdijk als zijnde een eiland, tussen Noord- en Zuid Beveland. Geleidelijk aan verdween dit eiland echter ook weer bijna geheel onder water, met uitzondering van de gebieden direct rond het dorp Oud-Sabbinge.



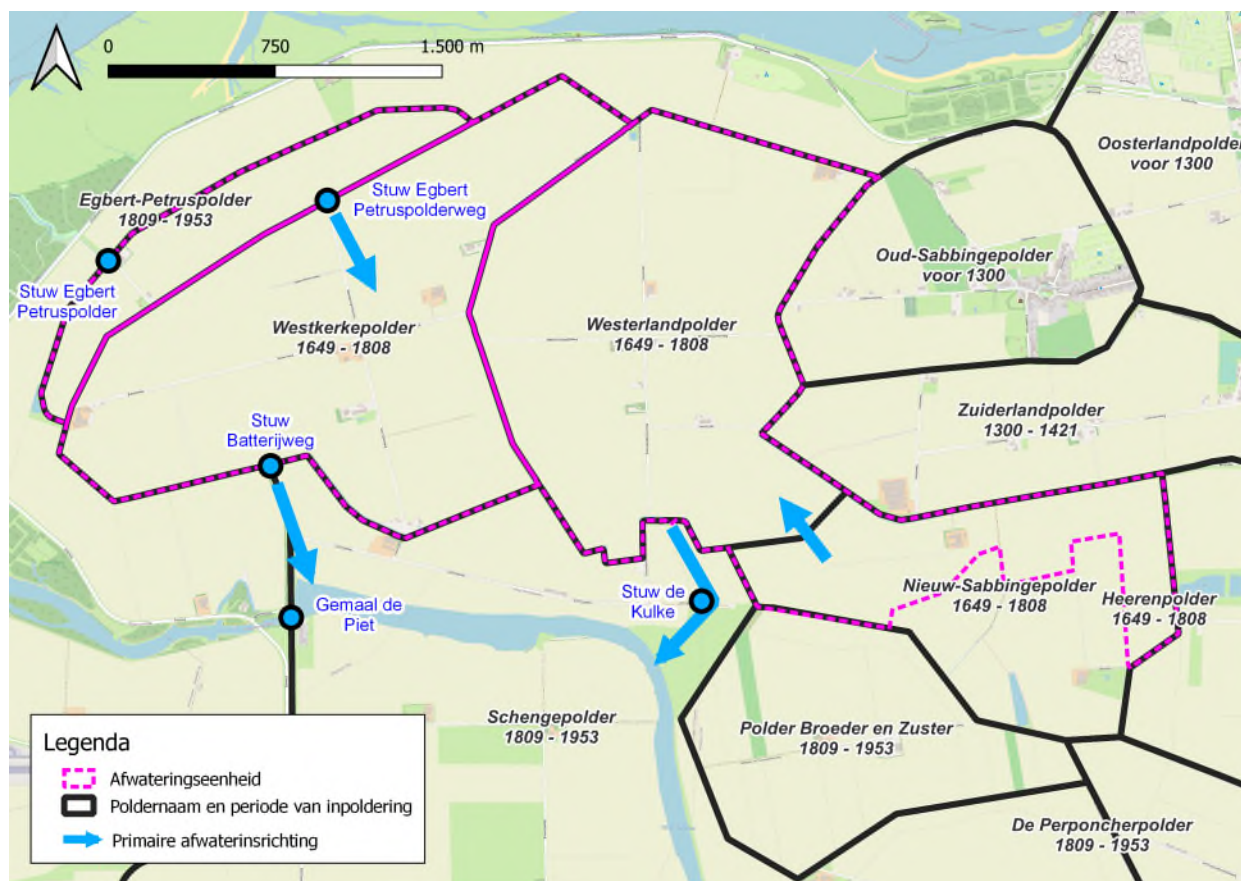
Figuur 0-1. Historische kaarten van Wolphaartsdijk en omgeving. Links: Kaart van Visscher Roman (1650). Rechts: Militaire kaart (1850). In de rechter situatie is Wolphaartsdijk al geen eiland meer, door inpoldering van de Wilhelminapolder. In de linker situatie is te zien dat de Westkerkepolder en de Egbert Petruspolder nog niet bedijkt waren, maar dat zich hier een schor gevormd had.

In de hierop volgende periode gaat het land juist weer opslibben. Op de schorren gingen weer meer mensen zich vestigen die meer stukken land gingen bedijken. De polder Oud Sabbinge, gelegen rond het dorp Oud Sabbinge, is een van de vroegst bedijkte polders van Zeeland (van voor het jaar 1216). De polders ten westen hiervan pas eeuwen later: de Nieuw Sabbingepolder, Westerlandpolder en Westkerkepolder allemaal in de 17^e eeuw, en de Egbert Petruspolder pas in de 19^e eeuw (zie Figuur 0-1 en Figuur 0-2). In 1809 kwam Wolphaartsdijk weer aan Zuid Beveland te leggen door de bedijking van Wilhelminapolder, waarna ook de rest van de breedte van de Schenge ten zuiden van Wolphaartsdijk volledig ingepolderd werd. In de jaren 60 werden met de bouw van de Deltawerken de

Zandkreekdam en de Veerse Gatdam gebouwd, waardoor het Veerse Meer ontstond. Dit vormt nog altijd de noordgrens van het voormalig eiland.

2.2 Oppervlaktewatersysteem

Het onderzoeksgebied maakt deel uit van een groter afvoergebied van de Westerschenge, wat via Gemaal de Piet afwatert op het Veerse Meer (Figuur 0-2). Het onderzoeksgebied zelf bestaat uit drie kleinere afvoergebieden. De Westerlandpolder vormt samen met het noordelijke deel van de Nieuw Sabbingepolder een enkel afwateringsgebied, waarvan water via stuw De Kulke naar de Westerschenge geleid wordt. Het tweede gebied is de **Westerlandpolder**, die ontsloten wordt via stuw Batterijweg. Het laatste afvoergebied is de Egbert Petruspolder. Onder normale omstandigheden wordt dit gebied afgewaterd via de **Westerlandpolder** en dus ook via de stuw Batterijweg. Onder extreme omstandigheden kan er echter ook via stuw Egbert Petruspolder direct op het Veerse Meer afgewaterd worden. Deze drie afvoergebieden omvatten in principe het wingebied voor water dat gebruikt zou kunnen worden voor infiltratie. Het totale oppervlak is 630 hectare (Tabel 0-1).



Figuur 0-2. Oppervlaktewatersysteem van het studiegebied in Wolphaartsdijk. De verschillende polders zijn zwart omrand, met labels die de naam van de polder en de periode van inpoldering aangeven (bron: cultuurhistorische kaart Zeeland - <https://www.zeeland.nl/loket/kaarten-en-cijfers/kaarten/kaart-cultuurhistorie-zeeland>). De afwateringsgebieden op de westkant van Wolphaartsdijk zijn met roze stippellijnen aangegeven. De blauwe peilen geven de primaire afvoer richting aan van het oppervlaktewater.

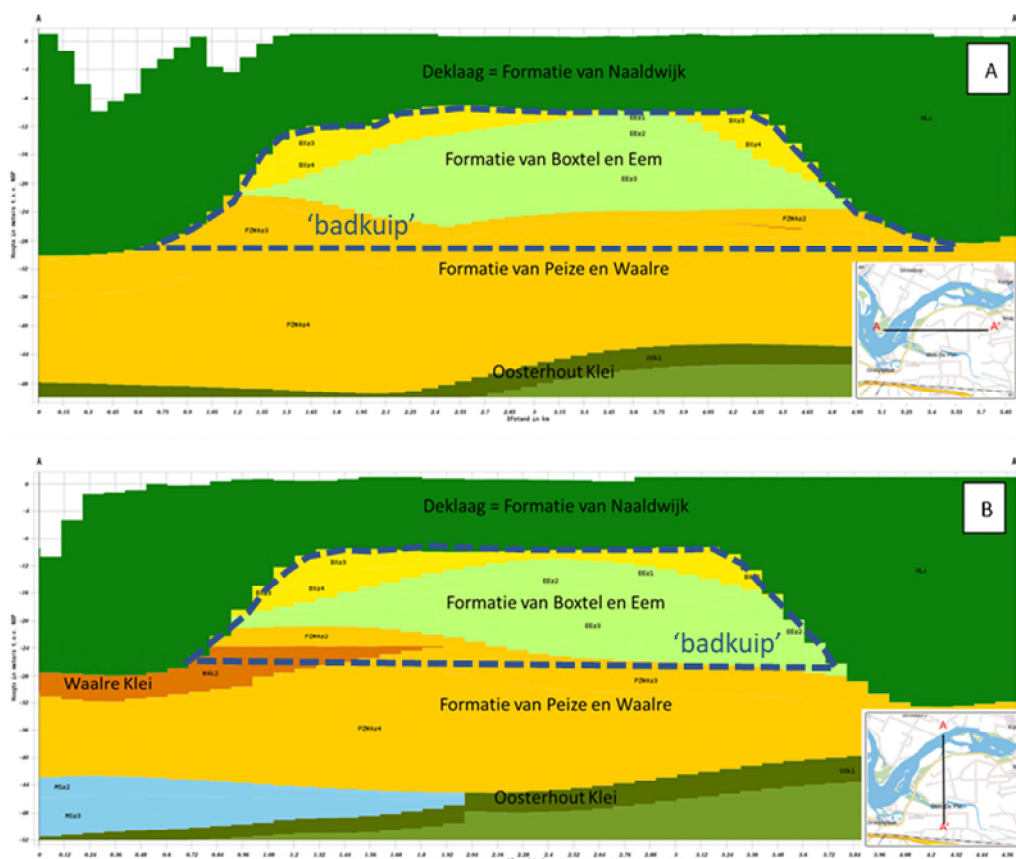
Tabel 0-1. Oppervlakten van de verschillende afwateringsgebieden. *Indien peil hoger wordt dan peil Veerse Meer (-0,3 mNAP) kan deze ook via de Egbert Petruspolder stuw direct op het Veerse Meer afvoeren.

Naam	ID	Oppervlak (Ha)	Afwatering via stuw:
Egbert Petruspolder	GPG12	59,2	Batterijweg (via Egbert Petruspolderweg)*
Westkerkepolder	GPG19	247,6	Batterijweg
Westerlandpolder	GPG1397	249,1	de Kulke
Nieuw Sabbingepolder (noord)	GPG1386	74,2	de Kulke
Totaal		630,1	

2.3 Bodemopbouw en geohydrologie

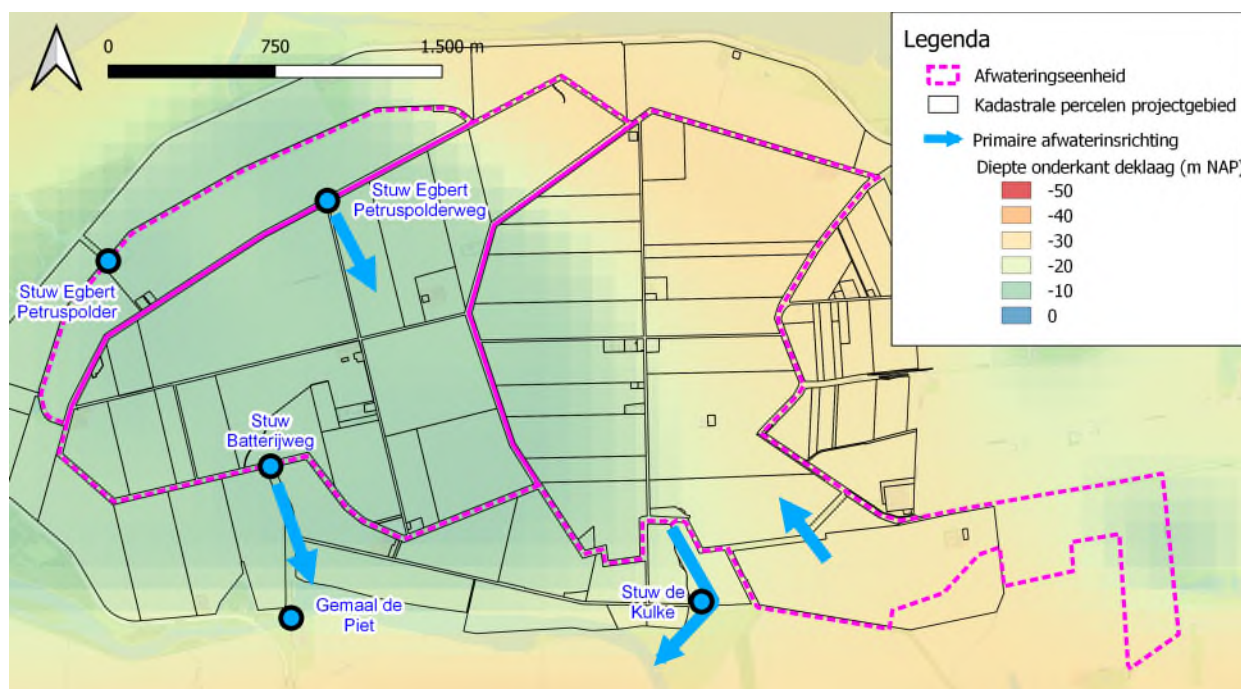
In Figuur 0-2 is een schematische weergave van de lagenopbouw op Wolphaartsdijk weergegeven, zoals geïnterpreteerd door het ondergrondmodel REGIS II (Vernes & van Doorn, 2005). In deze interpretatie is de oorsprong van het landschap, zoals hiervoor omschreven, duidelijk herkenbaar. Direct ter plekke van het projectgebied is de Holocene deklaag relatief dun en liggen de midden tot laat Pleistocene Formatie van Bortel en Formatie van Eem op ca. 10 tot 15 m-mv. Hieromheen is de Holocene deklaag met zo'n 30 m echter significant dikker, door toedoen van de kreken die dit deel van het voormalige eiland Wolphaartsdijk omringden en doorkruisten. De pleistocene formaties zijn daardoor weggespoeld en vervangen door Holocene geulafzettingen, welke bovenop de laat Pliocene tot vroeg Pleistocene Formatie van Peize en Waalre liggen.

De afzettingen van de Formaties van Eem, Bortel en Peize en Waalre zijn over het algemeen zandig en goed doorlatend. Dit zijn dan ook de pakketten waarin potentieel het ondergrondse waterbergingssysteem (OWB) aangelegd zou kunnen worden. Door de omsluiting van deze afzettingen met de normaal gesproken veel minder goed doorlatende Holocene afzettingen ontstaat een soort 'omgekeerde badkuip' (schematisch weergegeven in Figuur 0-2). De vraag die in deze studie voorligt is of deze bijzondere structuur in de bodemopbouw gebruikt zou kunnen worden om het geïnjecteerde zoete water op zijn plek te houden, daar waar het in normale omstandigheden en in afwezigheid van een dergelijke structuur door het dichtheidsverschil met het natuurlijke zoute grondwater snel zou gaan op- en afdrijven, en effectieve terugwinning niet of nauwelijks mogelijk is.



Figuur 0-3. a) West-oost doorsnede en b) Noord-zuid doorsnede met een schematische weergave van de laagpakketten in de ondergrond van Wolphaartsdijk afkomstig uit REGIS II (Vernes en van Doorn, 2005).

In Figuur 0-4 is de dikte van de Holocene deklaag in het projectgebied van bovenaf weergegeven (op basis van het REGISII model). De 'omgekeerde badkuip' is hier duidelijk te herkennen als het centrale gebied waar de deklaag dunner is dan in de omringende gebieden en dat dus ten westen, noorden en zuiden wordt omringd door geulafzettingen van onder andere het Sloe, de Schenge en de Zuidvliet. Het beslaat daarmee zo goed als de gehele Westkerkepolder en Egbert Petruspolder, inclusief bijbehorende stuwen. Ten oosten beslaat het alleen het westelijk deel van de Westerlandpolder, op basis waarvan geconcludeerd mag worden dat hier op enig moment ook een kreek/geul gelopen heeft dat het westelijk deel van Wolphaartsdijk scheidde van het oostelijk deel (waar Oud Sabbinge en Wolphaartsdijk nu liggen).

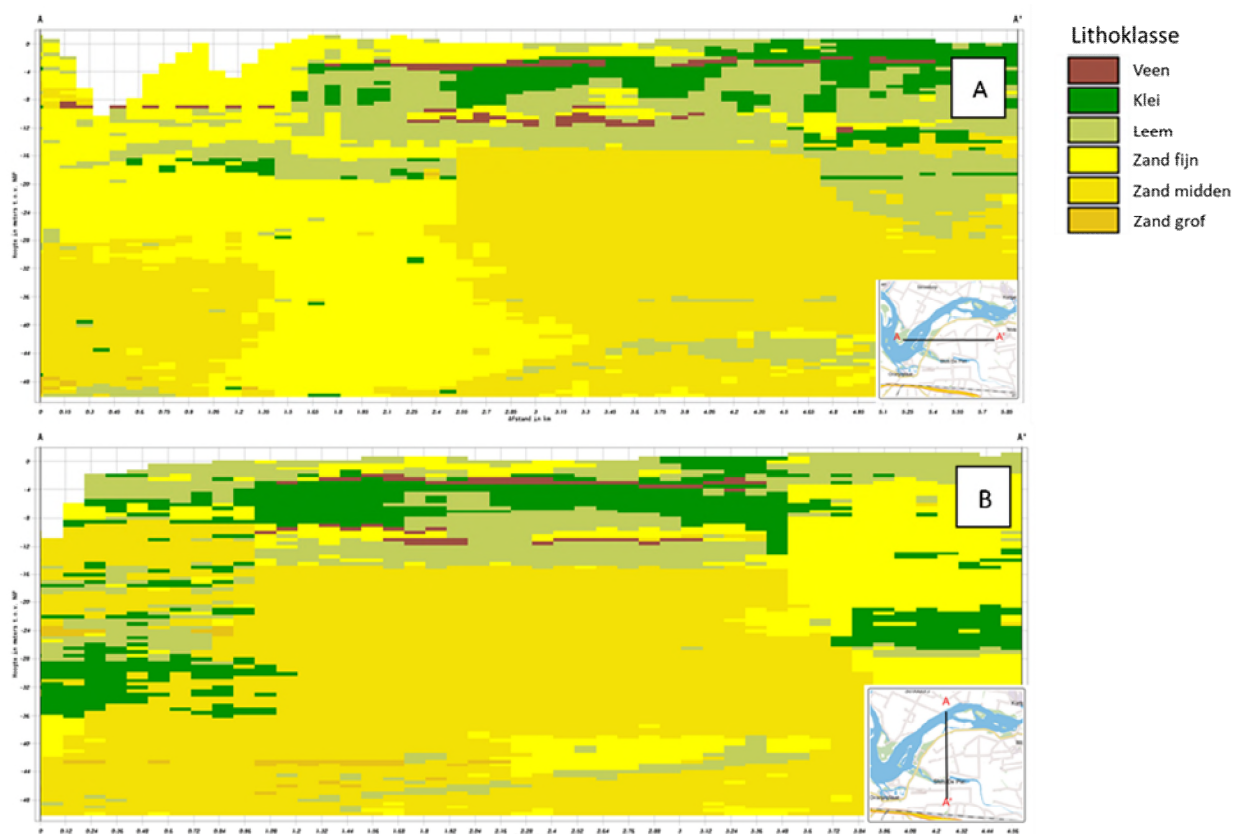


Figuur 0-4: Diepte van de onderkant van de Holocene deklaag ten opzichte van de afwateringsgebieden, stuwen, en kadastrale percelen. Diepte Holocene deklaag afkomstig uit REGIS II (Vernes en van Doorn, 2005).

In Figuur 0-5 is de lithologische bodemopbouw weergegeven volgens de interpretatie van het model GeoTOP (Stafleu et al., 2013). Deze interpretatie doet meer recht aan de mate van heterogeniteit die doorgaans in de ondergrond wordt aangetroffen, en geeft meteen een veel complexer beeld van de ondergrond dan de versimpelde versie van het REGISII model. Aan de hand van deze interpretatie zijn de randen van de 'omgekeerde badkuip' duidelijker gedefinieerd aan de oost- en noordzijde, waar deze voornamelijk uit klei en leem bestaan, dan aan de zuid- en westzijde, waar deze eerder fijn zandig lijken dan kleiig. Met name aan de westzijde zijn de holocene afzettingen moeilijk terug te zien in het formatiemateriaal en lijkt de verfijning al ten oosten van de randen plaats te vinden. In de beperkte hoeveelheid boringen die terug te vinden is in dit gebied worden ook nergens kleiige tot lemige lagen aangetroffen op de betreffende dieptes.

De Formatie van Peize en Waalre komt in het hele gebied voor tot ongeveer 45 a 50 m-mv, waarna deze overgaat in de Formatie van Oosterhout. In het noordelijke deel van het onderzoeksgebied lijkt aan de onderkant van de badkuip bovendien nog een dunne kleilaag aanwezig te zijn, de Waalre klei (Figuur 0-3B). In boringen op vaste land wordt hier een maximaal 1 meter dikke kleilaag aangetroffen, bij boringen net ten noorden van het voormalige eiland in het Veerse Meer neemt deze dikte toe tot ca. 6 meter. Ook in het zuiden van het gebied wordt bij een enkele boring (B48E0073) hier een zeer dunne kleilaag aangetroffen.

Onder de Formaties van Peize en Waalre ligt volgens het REGISII model een kleilaag van de Formatie van Oosterhout (Figuur 0-3B), die als hydrologische basis van het systeem zou kunnen dienen en opkegeling van dieper, zouter water zou kunnen tegengaan. Op basis van het GeoTOP model is deze kleilaag echter erg dun en misschien zelfs niet overal aanwezig (Figuur 0-5). Boringen tot op deze diepte zijn echter schaars in en rondom en onderzoeksgebied. De eerstvolgende kleilaag is de ca. 40 m dikke Boomse klei op 90 m-mv.



Figuur 0-5. West-oost doorsnede en b) Noord-zuid doorsnede met een schematische weergave van de meest waarschijnlijke lithoklasse in de ondergrond van Wolphaartswater afkomstig uit GeoTOP (Stafleu et al., 2013).

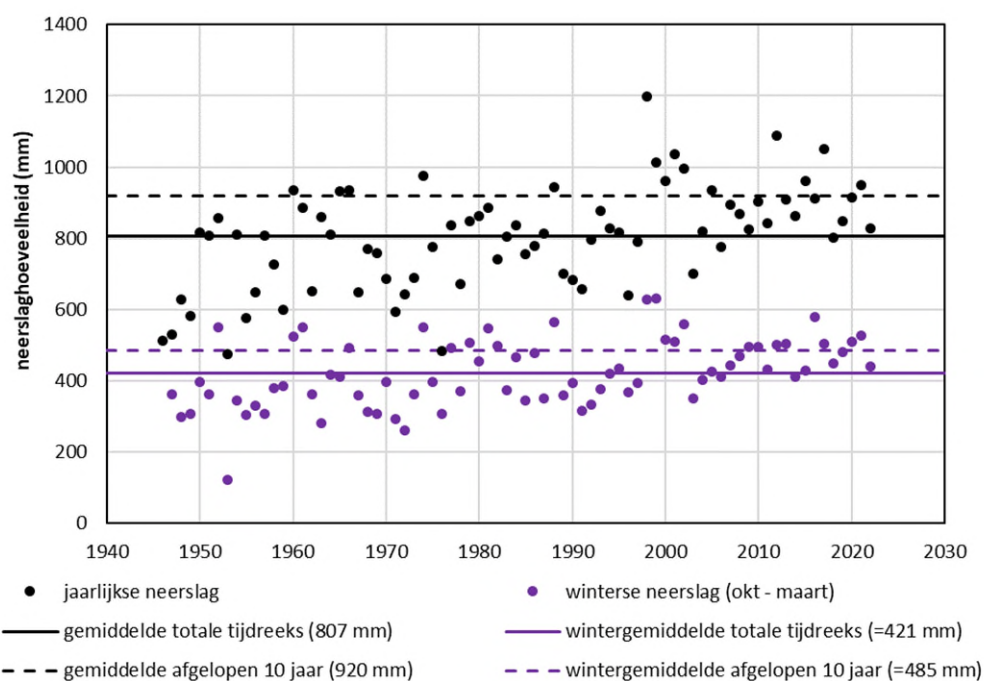
Beschikbare velddata

3.1 Hydrologie

3.1.1 Meteorologische gegevens

In Wolphaartsdijk is een neerslagstation van de KNMI waar al sinds 1947 de dagelijkse hoeveelheid neerslag gemeten wordt. De jaarlijkse totale hoeveelheid neerslag gedurende deze periode is te zien in Figuur 0-1 en fluctueert tussen grofweg 600 en 1000 mm/jaar, met een gemiddelde van 807 mm. Echter, er lijkt een trend te zijn van toenemende hoeveelheid neerslag, overeenkomstig is met de landelijke trend. Kijkend naar de laatste 10 jaar ligt het gemiddelde ook een stuk een hoger met 920 mm.

Voor ondergrondse waterberging is vooral de winterse neerslag interessant, omdat in tegenstelling tot zomerse neerslag deze anders vaak afgevoerd wordt en dus niet lokaal gebruikt wordt. De gemiddelde neerslag bij het weerstation Wolphaartsdijk voor de wintermaanden (oktober t/m maart) over de gehele meetperiode was 421 mm. Ook de hoeveelheid winterse neerslag lijkt hoger te zijn geworden in de afgelopen decennia; over de laatste 10 jaar genomen was deze 485 mm.



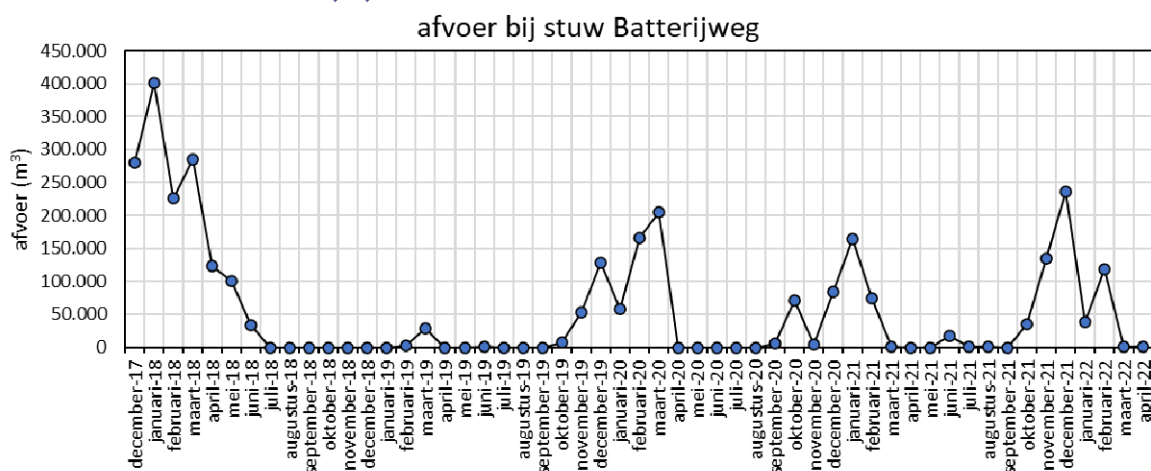
Figuur 0-1. Jaarlijkse totale neerslaghoeveelheid (zwart) en winterse neerslag (paars) bij weerstation Wolphaartsdijk gedurende periode 1947 tot 2022. Bron: KNMI.

Om waterbeschikbaarheid in te kunnen schatten is naast de neerslag ook de verdamping belangrijk om te weten. Deze wordt door het KNMI berekend o.b.v. de gemeten straling en temperatuur. Bij het weerstation in Wolphaartsdijk wordt echter alleen neerslag gemeten. Voor verdere berekeningen is daarom gebruik gemaakt van deze data het KNMI weerstation in Wilhelminadorp (net ten oosten van Wolphaartsdijk).

3.1.2 Afvoerdebiet en kwaliteit bij stuwen

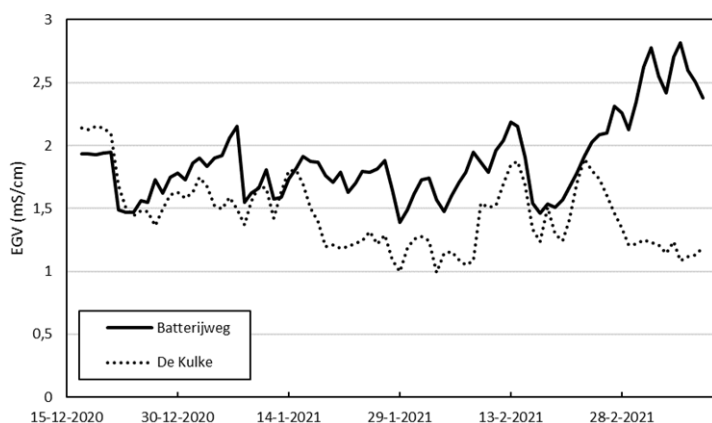
Het waterschap Scheldestromen heeft bij een van de twee stuwen die het projectgebied afwateren een debietmeter geïnstalleerd. Te zien is dat er vrij grote variatie is in de mate van afvoer per winterseizoen. Zo was er bijvoorbeeld bijna geen afvoer in de winter van '18-'19, terwijl in januari 2018 alleen al iets van 400.000 m³ is

afgevoerd over deze stuw. Over de periode 2018 t/m 2021 (de enige jaren waarvoor de totale tijdreeks beschikbaar is) was de jaarlijkse afvoer bij de Batterijweg gemiddeld 662.146 m³, waarvan het overgrote deel in het winterhalfjaar (591.295 m³). 



Figuur 0-2. Maandelijkse cumulatieve afvoer over de stuw Batterijweg. Data: Waterschap Scheldestromen.

Naast het debiet wordt bij beide stuwen ook de geleidbaarheid van het water gemeten (ook wel EGV - Elektrisch Geleidingsvermogen). Data hiervan is beschikbaar voor de periode december 2020 tot maart 2021 (Figuur 0-3). In die periode lag de EGV grotendeels rond de 1,5 mS/cm. Afhankelijk van de stuw en de periode nam deze echter ook toe tot 2,5 en of tot 1 mS/cm. EGV kan gebruikt worden als proxy voor de concentratie chloride in het water. Hierbij moet gezegd worden dat het voor dergelijk zoetwater onnauwkeurig is, omdat in tegenstelling tot bij zoutwater de EGV van zoetwater niet per se dominant door het chloridegehalte bepaald wordt (maar bijvoorbeeld ook door nitraat en bicarbonaat). Gebruik makend van de vergelijking in De Louw et al (2011) geeft een EGV van 1,5 mS/cm een chlorideconcentratie van slechts 90 mg/l. Bij 2,5 mS/cm is dit 565 mg/l. Op basis van de in dit project geplande lokale oppervlaktewater bemonsteringen en analyses zal de verhouding tussen chloride en EGV nauwkeuriger bepaald kunnen worden.

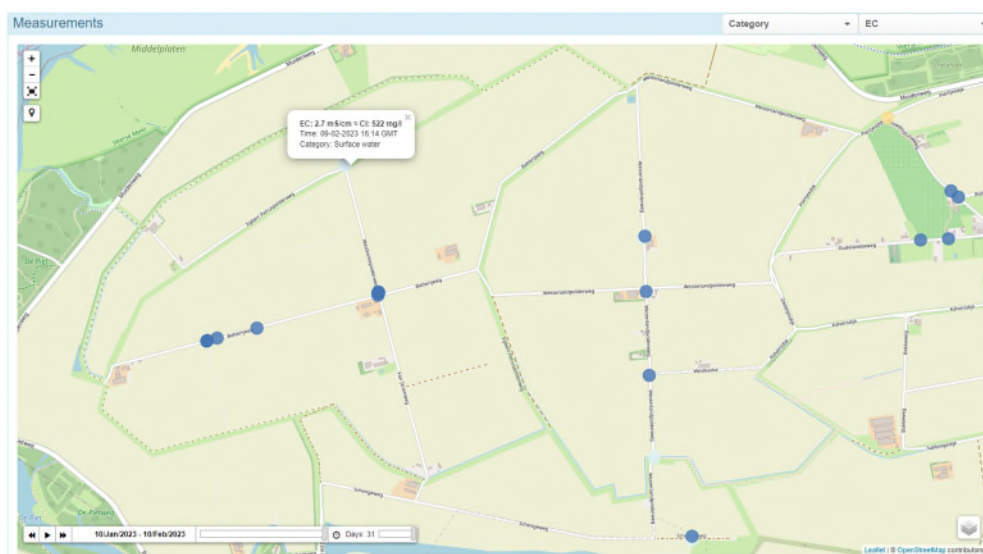


Figuur 0-3. Geleidbaarheid (EGV) van het uit het projectgebied afgevoerde oppervlaktewater bij de stuwen Batterijweg en de Kulke.

3.1.3 EC-metingen Nitraatapp

De Provincie Zeeland heeft meetapparatuur verspreid onder de bewoners van het onderzoeksgebied waarmee zij op eenvoudige wijze EC-metingen kunnen verrichten in de oppervlaktewaterlichamen in het gebied. Naast het vergaren van extra data over het zoutgehalte van het oppervlaktewater, heeft dit tevens tot doel om de bewoners van het gebied middels burgerwetenschap ('citizen science') te betrekken bij het project. De meetresultaten worden opgeslagen en gedeeld via de door Deltares ontwikkelde [Nitraat app](#). In de bijbehorende [web-based viewer](#)

worden de meetmomenten en -locaties, de EC-waarde en een daaruit volgende inschatting van de chlorideconcentratie weergegeven. Een voorlopige tussenstand van deze metingen is te zien in Figuur 0-4.



Figuur 0-4. Meetresultaten in Wolphaartsdijk in de web-based viewer van de Nitraat-app

3.1.4 Waterkwaliteitsmetingen gemaal de Piet

Naast de geleidbaarheidsmetingen zijn er meer gedetailleerde waterkwaliteitsparameters beschikbaar bij het gemaal de Piet ([Waterkwaliteitsportaal](#)). De aangetroffen waardes in 2020 voor de stoffen die zijn meegenomen in het Infiltratiebesluit of een operationele standaard voor putverstopping hebben zijn samengevat in Tabel 0-1. Vier stoffen overschrijden voor iedere meting de maximale toegestane waarde. Voor organisch koolstof en onopgeloste stoffen is het niet meer dan logisch dat de waarde niet voldoet aan de eisen voor infiltratie en dat hier voor oppervlaktewater nog een zuiveringsstap voor gezet moet worden voor het geïnfiltreerd kan worden. Het chloridegehalte bij gemaal de Piet is ook te hoog. Echter is het hier een stuk hoger dan dit bij beide stuwen lijkt te zijn (paragraaf 3.1.2), waar het chloridegehalte wél onder de 200 mg/l lijkt te liggen. De laatste stof die bij iedere meting overschreden wordt is sulfaat. Daarnaast zijn er nog een aantal stoffen waarin de bovengrens in sommige van de metingen overtroffen wordt; Arseen, chroom, koper, zink, nitraat en MCPA (een herbicide). Nitraat, sulfaat en MCPA zijn waarschijnlijk afkomstig uit de landbouw.

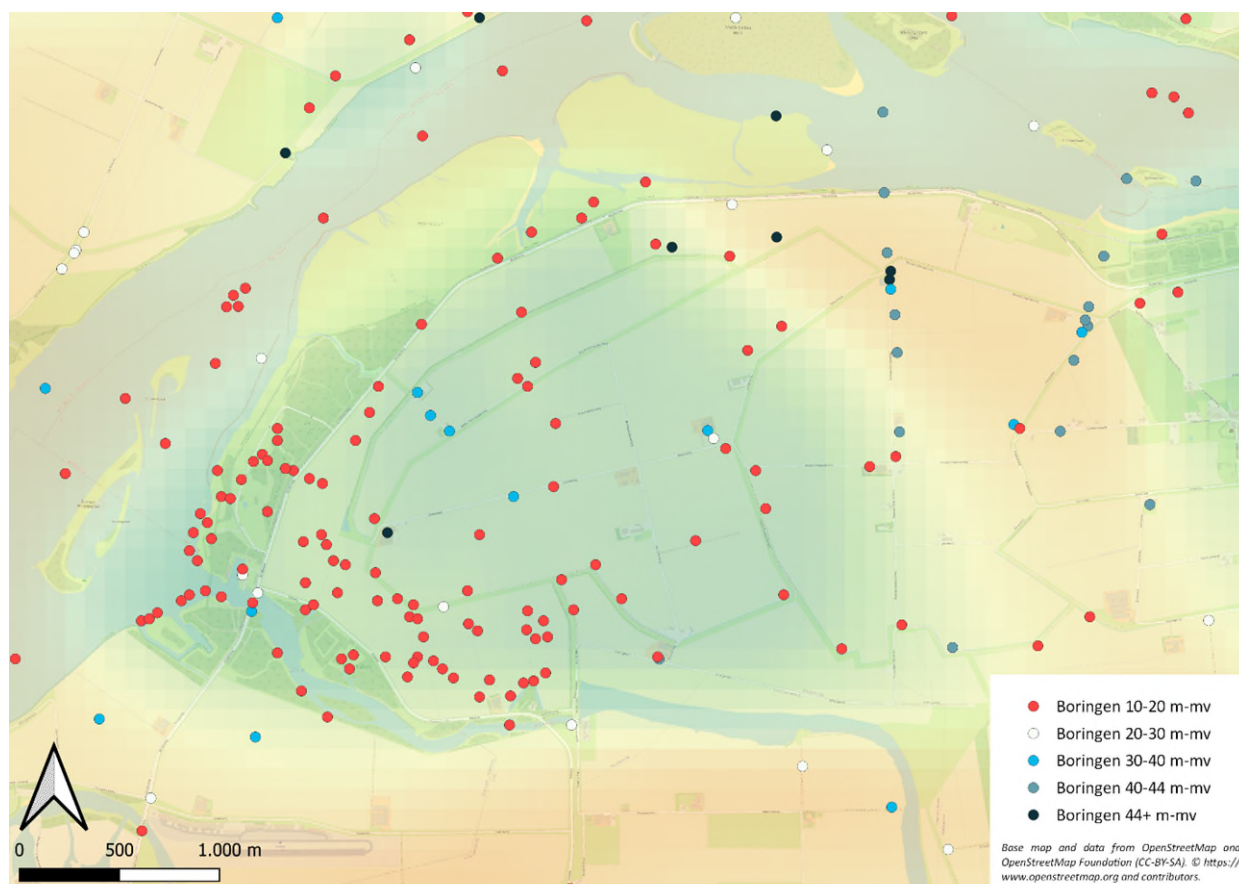
Tabel 0-1. Overzicht van de waterkwaliteitsparameters in 2020 bij Sluis de Piet waarvoor een wettelijke grens bestaat in het infiltratiebesluit of een operationele standaard tegen putverstopping. Schuinedrukte waarden zijn waarden onder de detectielimiet.

Parameter.code	minimum	maximum	median	average	eenheid	Omschrijving	Wettelijke grens (infiltratiebesluit)	Operationele standaard (putverstopping)
As	7	52	10	21.91667	ug/l	arseen	10	2
BaA	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	benzo(a)antracene	som 0,1	
BaP	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	benzo(a)pyreen	som 0,1	2
BbF	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	benzo(b)fluorantheen	som 0,1	
BghiPe	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	benzo(ghi)perylene	som 0,1	2
BkF	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	benzo(k)fluorantheen	som 0,1	
Cd	0.4	0.4	0.4	0.4	ug/l	cadmium	0.4	2
Cl	330	3240	1675	1706.667	mg/l	chloride	200	
Co	0.27	3.6	0.29	1.228571	ug/l	kobalt	20	2
Corg	7.6	15	9.5	10.63333	mg/l	koolstof organisch		
Cr	1	6.2	1	1.483333	ug/l	chromium	2	2
Cu	1.6	440	1.75	38.425	ug/l	koper	15	
DClvs	0.005	0.005	0.005	0.005	ug/l	dichloorvos	0.1	2
Dmtat	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	dimethoat	0.1	
Fen	0.01	0.011	0.01	0.01025	ug/l	fenantreen	0.02	2
Flu	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	fluorantheen	som 0,1	
HBCD	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	som HBCD (technisch mengsel, niet-gespecif. broom-posities)		2
HCB	0.001	0.001	0.001	0.001	ug/l	hexachloorbenzeen	0.05	
Hg	0.05	0.05	0.05	0.05	ug/l	kwik	0.05	2
HxCltDen	0.001	0.001	0.001	0.001	ug/l	hexachloorbutadieen	0.05	
InP	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	indeno(1,2,3-cd)pyreen	som 0,1	2
MCPA	0.05	0.19	0.08	0.1	ug/l	2-methyl-4-chloorfenoxya	0.1	
NH4	0.065	0.51	0.205	0.257	mg/l	ammonium	2.5	2
NO3	0.05	9.5	1.575	2.941667	mg/l	nitraat	5.6	
Naf	0.02	0.043	0.02	0.02575	ug/l	naftaleen	0.1	2
Ni	5	14	5	5.75	ug/l	nikkel	15	
OS	7.9	47	17.5	20.99167	mg/l	Onopgeloste stoffen		0.1
PO4	0.05	2.5	0.685	0.908333	mg/l	fosfaat	0.4	
Pb	5	5	5	5	ug/l	lood	15	0.1
SO4	180	480	335	320	mg/l	sulfaat	150	
T4ClC2e	0.1	0.1	0.1	0.1	ug/l	tetrachlooretheen (per)	0.5	0.1
TCIC2e	0.1	0.1	0.1	0.1	ug/l	trichlooretheen (tri)	0.5	
Zn	2.8	170	4.5	19.20833	ug/l	zink	65	0.1
aHCH	0.001	0.001	0.001	0.001	ug/l	alfa-hexachloorcyclohexaan	0.05	
cHCH	0.001	0.001	0.001	0.001	ug/l	gamma-hexachloorcyclohexaan	0.05	0.1
iptrn	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	isoproturon	0.1	
linrn	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	linuron	0.1	0.1
metlCl	0.01	0.03	0.01	0.015	ug/l	metolachloor	0.1	
mevfs	0.01	0.01	0.01	0.01	ug/l	mevinfos	0.1	0.1

3.2 Geohydrologie

3.2.1 Boringen

In het studiegebied zijn in verleden reeds een behoorlijk aantal boringen uitgevoerd die zijn opgenomen in [DINOLOket](#). De locaties van de boringen dieper dan 10 meter zijn weergegeven in Figuur 0-5. Het grootste deel van de boringen zit in het traject 10-20 m-mv en geven enkel informatie over de holocene deklaag en de aanwezigheid van de zandige Formaties van Bostel en Eem. Diepere boringen, die informatie bevatten over de aanwezigheid van de Waalre Keli en de samenstelling van het zandige pakket in de Peize en Waalre Formatie zijn schaarser. Slechts enkele boringen zijn diep genoeg om uitsluitsel te geven over de aanwezigheid en dikte van het kleipakket in de Formatie van Oosterhout. Sondeergegevens zijn nagenoeg afwezig in het gebied, behalve een enkele in het meest zuidwestelijke gedeelte.



Figuur 0-5. Reeds uitgevoerde boringen dieper dan 10 meter in en rondom het studiegebied. Achtergrondkleuren weergeven de diepte van de onderkant van deklaag (groen = ondiep, oranje = diep).

3.2.2 Grondwatermeetnet

In een vijftal peilbuizen in en rond het onderzoeksgebied worden nog actief de grondwaterstand gemeten. De locaties van deze peilbuizen zijn weergegeven in Figuur 0-6 en de metadata van de bemeten peilbuisfilters is samengevat in Tabel 0-2. Voor de 5 peilbuizen wordt alleen het bovenste filter bemeten. Bij 4 van de 5 peilbuizen zijn er ook nog meerdere diepere filters aanwezig, die niet actief bemeten worden. Op basis van een eerste veldbezoek lijkt het op zijn minst voor peilbuizen B48E0230, B48E0150 en B48E0156 mogelijk ook te diepere filters te bemeten. De filterstellingen van deze diepere filters zijn gegeven in Tabel 0-3.



Figuur 0-6: Locaties van de actief bemeten peilbuizen in het projectgebied.

Tabel 0-2. Locaties en filterstellingen van de nog bemeten peilbuizen in het gebied.

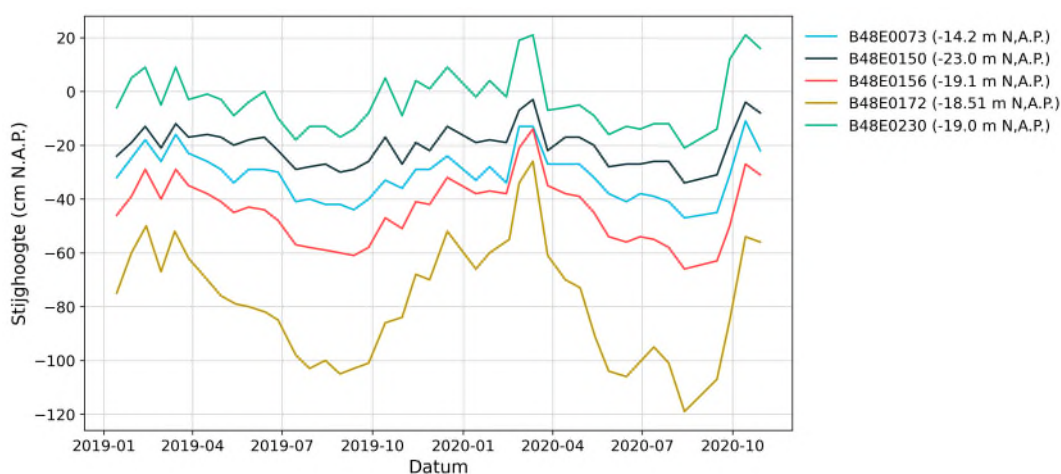
Locatie	Externe aanduiding	X (RD)	Y (RD)	Breedtegraad (WS84)	Lengtegraad (WS84)	Maaiveld (m t.o.v. NAP)	Meetpunt (m MV)	Bovenkant filter (m NAP)	Onderkant filter (m NAP)
B48E0073	48EP0015	41968	393749	51.52137	3.758497	0.68	0.38	-13.7	-14.7
B48E0150	48EP0020	43119	395643	51.53862	3.774472	0.75	0.75	-22.5	-23.5
B48E0156	48EP0014	43972	394886	51.53199	3.787003	0.35	0.67	-18.6	-19.6
B48E0172	48EP0172	44714	393942	51.52365	3.79799	0.94	0.87	-18.01	-19.01
B48E0230	48EP0011	40920	394887	51.53138	3.743033	1.4	0.62	-18.5	-19.5

Tabel 0-3: Filterstellingen onbemeten filters in bemeten peilbuizen

Locatie	Filternummer	Meetpunt (m MV)	Bovenkant filter (m NAP)	Onderkant filter (m NAP)
B48E0230	002	0.66	-26.8	-27.8
B48E0230	003	0.61	-36	-37
B48E0073	002	0.68	-28.7	-29.7
B48E0073	003	0.63	-44.2	-45.2
B48E0150	002	0.85	-29.7	-30.7
B48E0150	003	0.82	-37.6	-38.6
B48E0150	004	0.79	-42.7	-43.7
B48E0156	002	0.62	-27.6	-28.6
B48E0156	003	0.58	-38.3	-39.3

3.2.3 Stijghoogtes

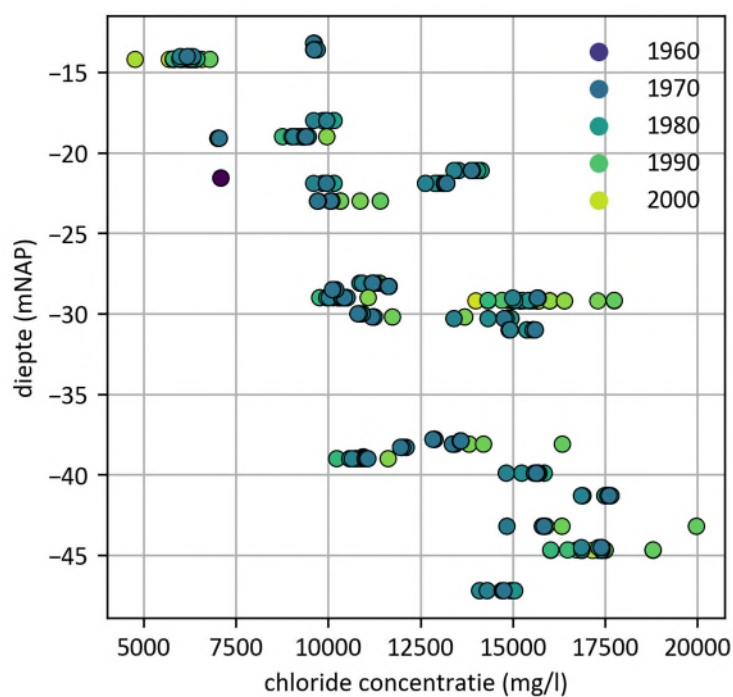
In het onderstaande Figuur 0-7 zijn de grondwaterstanden voor de periode januari 2019 tot oktober 2020 weergegeven. De grondwaterstand in het gebied fluctueert over het algemeen tussen 0 tot -1 m NAP en bevindt zich daarmee ca. 0.5 – 2 m-mv. In het westen van het gebied, met meer invloeden van het Veerse Meer, is de stijghoogte ongeveer een meter hoger dan in het oosten van het gebied. Op basis van de verschillen lijkt de natuurlijke grondwaterstroming in het gebied relatief laag, ordegrrootte 1-10 m/jaar.



Figuur 0-7. Gemeten stijghoogten in de bemeten peilbuisfilters in de periode januari 2019 – oktober 2020.

3.2.4 Grondwaterkwaliteit

In het verleden zijn er bij meerdere peilbuizen monsters van de grondwaterkwaliteit genomen. Deze data is beschikbaar via [DINOLoket](#). De laatste beschikbare meting stamt uit 2003. Deze meetdata geeft een beeld van het chloridegehalte in de ondergrond (Figuur 0-8). Uit deze meetdata blijkt dat het grondwater net onder de holocene deklaag al relatief brak tot zout is met zoon 5 tot 7 g/l, en dat dit chloride gehalte toeneemt tot bijna zeewaterconcentratie (~ 19 g/l) op 45 meter beneden maaiveld. Veel van deze metingen betreffen herhaalmetingen in dezelfde peilbuizen waarin relatief grote variatie is aangetroffen. Er lijkt over de meetperiode echter geen duidelijke trend te zijn van toe- of afnemende chloride concentraties. Nauwkeurige bepaling van de chlorideconcentraties en zoet-zout overgang in de geplande proefboring is dus van groot belang om dit beeld scherper te krijgen.



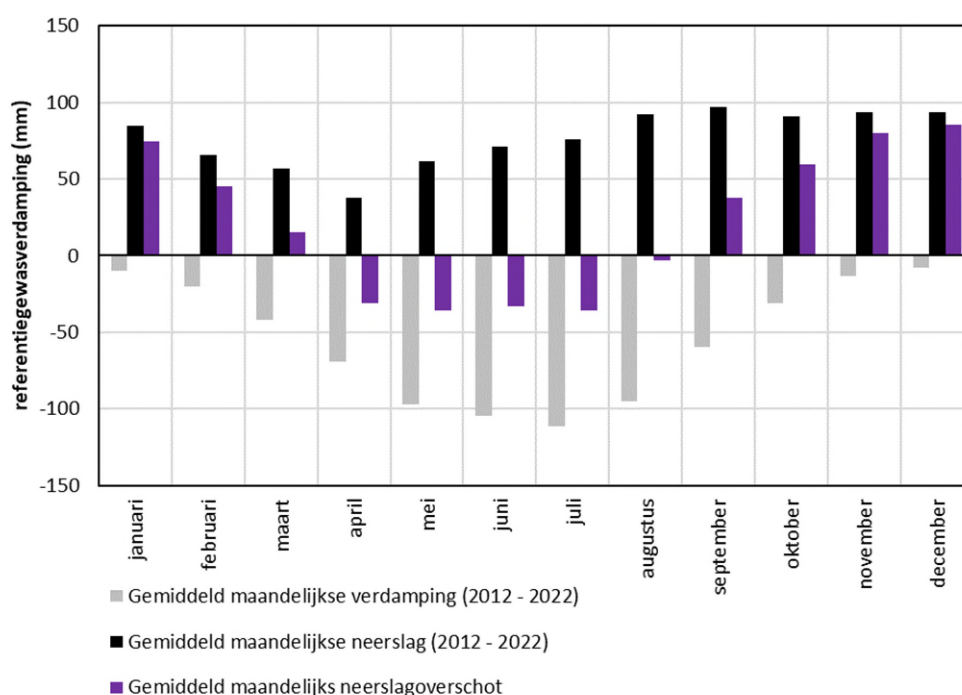
Figuur 0-8. Chlorideconcentratie in het grondwater voor verschillende meetpunten bij Wolphaartsdijk.

Verkennde berekeningen

4.1 Waterbalans

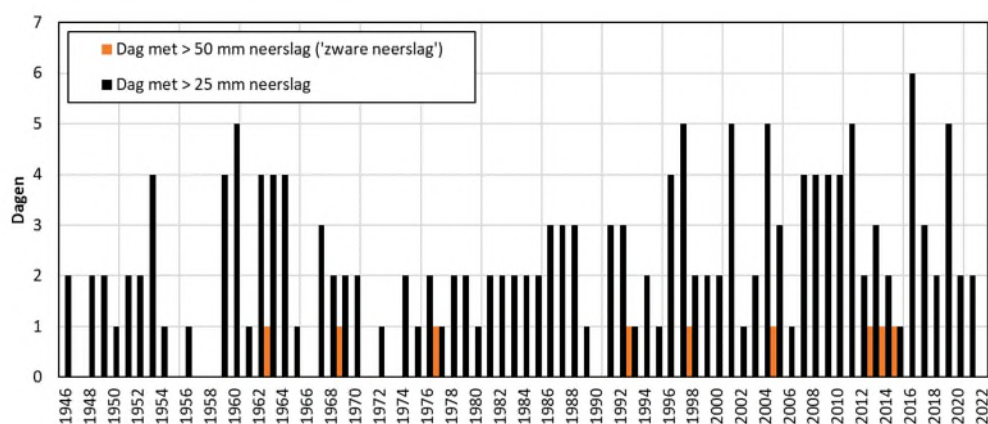
4.1.1 Neerslagoverschot en patronen

Op basis van de beschikbare meteorologische gegevens (zie paragraaf 3.1.1) is het gemiddelde neerslagoverschot per jaar berekend voor iedere maand afzonderlijk. In December was het overschot gemiddeld het hoogst met 85 mm. Het gemiddelde totale overschot gedurende het winterhalfjaar was 360 mm. Hierbij moet gezegd worden dat de door het KNMI berekende verdamping op basis van een referentiegewas is (gras) terwijl de het landgebruik in het projectgebied voornamelijk uit bouwland en niet grasland bestaat. De daadwerkelijke mate van verdamping kan daardoor dus afwijken.



Figuur 0-1. Fluctuatie in de gemiddelde maandelijkse neerslag, verdamping en het hieruit afgeleide neerslagoverschot gedurende de afgelopen 10 jaar. Neerslag en verdamping op basis van KNMI data van weerstations Wolphaartsdijk en Wilhelminapolder.

Naast de variatie in het neerslagoverschot binnen een jaar is ook gekeken naar trends in het voorkomen van extreme regenval. Algemeen wordt aangenomen dat extreme regenval vaker zal voorkomen door invloed van klimaatverandering. Voor het inschatten van de waterbeschikbaarheid en de haalbaarheid van ondergrondse waterberging is dit relevant, omdat bij extreme regenval veel afstromend water in korte tijd geborgen dient te worden, maar dit vaak niet kan omdat de infiltratiecapaciteit van putten beperkend is. Op basis van de meetgegevens van het neerslagstation in Wolphaartsdijk is het voorkomen van dagen met meer dan 50 en 25 mm regen bekeken (Figuur 0-2). Dagen met >50 mm neerslag is de KNMI definitie van zware neerslag. Een grote verandering in het voorkomen van dergelijke dagen lijkt niet aan de orde te zijn, alhoewel er mogelijke een licht positieve trend waar te nemen is die past in de eerder genoemde landelijke trends.



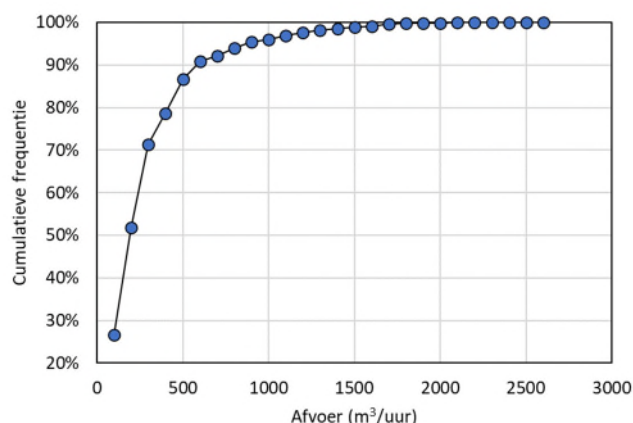
Figuur 0-2. Aantal dagen per jaar met >50 mm (KNMI definitie van 'dag met zware neerslag') en >25 mm neerslag. Bron: KNMI neerslagstation Wolphaartsdijk.

4.1.2 Geschatte waterbeschikbaarheid voor ondergrondse waterberging

Voor het afvangen van water ter infiltratie in een mogelijke OWB zijn er eigenlijk twee smaken mogelijk in het projectgebied: ofwel direct gebruik van oppervlaktewater uit de sloten, ofwel infiltratie van drainwater uit een samengestelde drainagenetwerk, zoals bijvoorbeeld eerder is toegepast bij het Drainstore/Meulwater project in Kruijningen (van Dooren et al., 2021).

De waterbeschikbaarheid vanuit de sloten is te bepalen op basis van de debieten bij de stuwen. Zoals eerder bepaald in paragraaf 3.1.2 was de gemiddelde afvoer per jaar bij stuw de Batterijweg 662.146 m^3 . Echter, de kans is aanwezig dat het zoutgehalte van afvoer tijdens zomermaanden te hoog ligt en dit water dus niet beschikbaar zou zijn voor infiltratie. Nemen we alleen de afvoer in het winterhalfjaar als van voldoende kwaliteit voor infiltratie dan zou er 591.295 m^3 beschikbaar zijn per jaar voor infiltratie. Voor stuw de Kulke zijn geen debietmetingen beschikbaar. Ervan uitgaand dat deze evenveel water afvoert per m^2 afvoergebied dan zal deze naar schatting 623.095 m^3 per jaar afvoeren. Totaal gaat het dan om $1.214.390 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Dan moet nog rekening gehouden worden met dat de afvoer vaak in pieken gebeurt, samenhangend met de eerder genoemde extreme regenval. Om de totale infiltratiecapaciteit van een puttenveld niet te over dimensioneren (wat grote kosten met zich mee zou brengen) is gekeken naar hoe vaak dergelijke piekafvoeren voor komen, op basis van de gemeten kwartierafvoer bij stuw de Batterijweg (Figuur 0-3). Te zien is dat de maximaal gemeten afvoer rond de $2500 \text{ m}^3/\text{uur}$ lag. Maar als het systeem bijvoorbeeld gedimensioneerd zou worden zodat 80% van de afvoer afgevangen kan worden zou dat overeenkomen met een afvoer bij de batterijweg van $\sim 420 \text{ m}^3/\text{uur}$, en zou je totaal nog $0,8 \times 1.214.390 \approx 1$ miljoen m^3 per jaar kunnen infiltreren.



Figuur 0-3. Cumulatieve frequentieverdeling van de afvoer bij stuw de Batterijweg. Debieten lager dan $1 \text{ m}^3/\text{kwartier}$ worden niet geregistreerd en zijn dus niet meegerekend.

Het is echter bekend dat de kwaliteit van oppervlaktewater vaak minder gunstig is voor infiltratie in een OWB systeem dan dat van drainwater. Dit omdat de vaak hoge concentraties onopgeloste stoffen en organische stof en de hoge microbiologische activiteit zouden zorgen voor snelle verstopping van de infiltratieputten, waardoor een hoge voorzuiveringsinspanning noodzakelijk is. Van het oppervlaktewater in de afvoergebieden zelf is de waterkwaliteit niet bekend. Zoals eerder besproken is in ieder geval de concentratie organisch koolstof en de concentratie onopgeloste stoffen bij gemaal de Piet aanzienlijk hoger dan operationeel gewenst. In hoeverre dat in het projectgebied ook zo is zal met de waterkwaliteitsbemonstering duidelijk worden.

De kwantiteit aan water die beschikbaar zou kunnen komen door het aanleggen van samengestelde drainage in het gebied is niet eenvoudig in te schatten gezien hier geen metingen van zijn. Kijkend naar het eerder berekende neerslagoverschot in het winterhalfjaar (360 mm) zou dit voor het totale oppervlak van de 2 afvoergebieden (630 Ha) betekenen dat er een neerslagoverschot van $2,27 \text{ Mm}^3$ per jaar is. De vraag is echter welk deel hiervan ook via de drains wordt afgevoerd. Bij de proefboerderij Rusthoeve (Noord-Beveland) is dat voor een aantal percelen in detail bepaald. Op die locatie werd 194 mm van het gemeten neerslagoverschot van 310 mm (=62%) afgevoerd via drains. Dit zou voor het projectgebied betekenen dat er $0,62 \times 2,27 = 1,41 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ zou kunnen worden afgevangen via samengestelde drainage. Dit lijkt een overschatting gezien de totale geschatte afvoer bij de stuwen uit het hele gebied met $1,21 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ al lager ligt. Verder kan niet worden aangenomen dat alle percelen op deze manier zullen worden ontsloten met drainage, en liggen met name de percelen op de polder Nieuw-Sabbinge vrij ver van het potentiële infiltratiegebied. Wel geeft het aan dat ook deze methode kansrijk is om jaarlijks een aanzienlijke hoeveelheid zoetwater af te kunnen vangen.

4.1.3 Watervraag / watergebruik

In de huidige situatie wordt er in het projectgebied door het gebrek aan zoetwaterbron niet berekend en is er dus geen watergebruik. Ook wordt aangenomen dat bij ingebruikname van een eventueel OWB systeem er niet meteen in de eerste jaren onttrokken zal kunnen worden, omdat er eerst voldoende zoetwaterbuffer opgebouwd zal moeten worden. Daarna zal het opgeslagen zoete water gebruikt kunnen worden voor beregening in droge periodes. De hoeveelheden water die daarbij duurzaam weer kunnen worden onttrokken worden in een latere fase van dit project bepaald.

4.2 Berekening opslagvolume in 'omgekeerde badkuip'

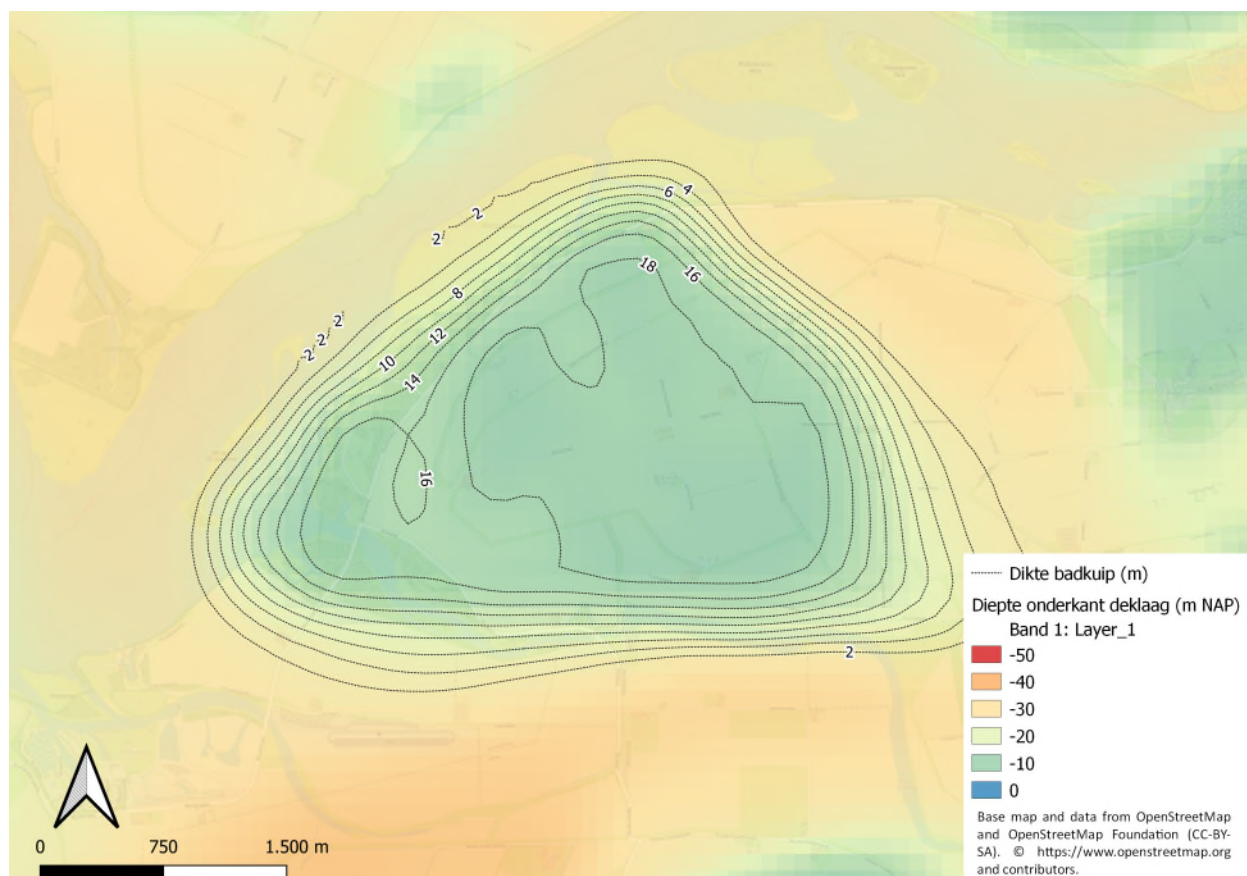
Het uitgangspunt van het project was om gebruik te maken van de geologische structuren onder Wolphaartsdijk om water op te slaan: het vullen van de 'omgekeerde badkuip' van de zandige lagen van Bortel en Eem en het bovenste gedeelte van Peize-Waalre die omgeven zijn met minder doorlatende kreekafzettingen. Zoals te zien is in Figuur 0-4, is deze vorm duidelijk terug te zien in de dikte van de Holocene deklaag in REGIS II (Vernes & van Doorn, 2005).

Om uit te zoeken of het vullen van deze structuur haalbaar is, is het allereerst zaak een inschatting te maken van het volume dat in deze 'omgekeerde badkuip' opgeslagen kan worden. Deze inschatting is gemaakt aan de hand van een GIS-analyse met de data van REGIS II (Vernes & van Doorn, 2005). De analyse is uitgevoerd op basis van de volgende aannames.

- De bovenkant van de 'omgekeerde badkuip' wordt gedefinieerd door de onderkant van de holocene deklaag (Figuur 0-4).
- De onderkant van de 'omgekeerde badkuip' ligt op -28 m NAP, op basis van de noord-zuid en oost-west doorsneden in **Error! Reference source not found.** (Figuur 0-3).
- De porositeit van de zandlagen is 0,35.

Op basis van deze inschatting is het opslagvolume in de 'omgekeerde badkuip' $49,9 \text{ Mm}^3$. In totaal zou er dus minimaal 50 Mm^3 water nodig zijn op de volledige badkuip te vullen. De diepte van de badkuip is in dat geval ca. 18 meter (Figuur 0-4).

De diepte van de onderkant van de 'omgekeerde badkuip' is niet exact te bepalen en varieert per zijde. Deze afbakening heeft echter wel grote invloed op het opslagvolume van de badkuip. Daarom is dezelfde analyse ook uitgevoerd met de onderkant van de 'omgekeerde badkuip' op respectievelijk -26 m NAP en -30 m NAP. Hieruit komen opslagvolumes van respectievelijk $41,5 \text{ Mm}^3$ en $59,1 \text{ Mm}^3$ naar voren. Een opslagvolume van 50 Mm^3 kan dus enkel beschouwd worden als indicatie.



Figuur 0-4: Diepte van de onderkant van de deklaag (bovenkant 'omgekeerde badkuip') en de hieruit volgende dikte van de 'omgekeerde badkuip' wanneer de onderkant van de badkuip op -28 m NAP ligt.

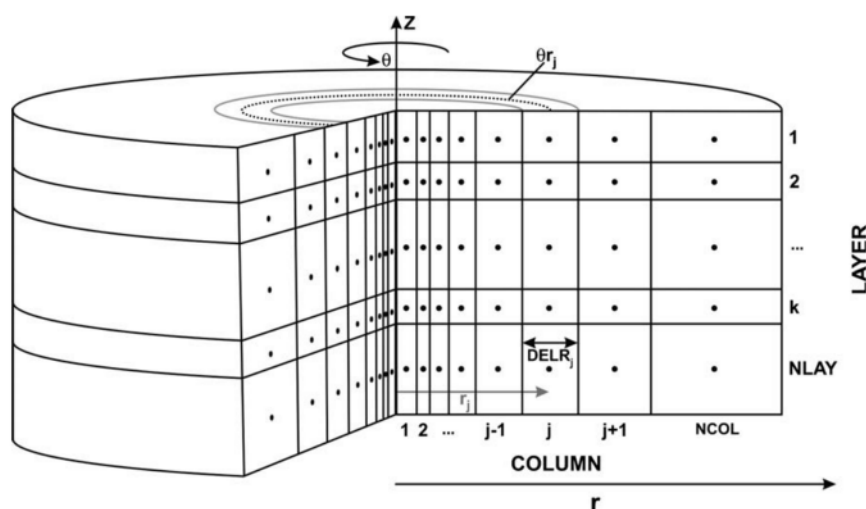
4.3 Numerieke modelsimulaties

Om een eerste beeld te krijgen van de potentie voor grootschalige ondergrondse waterberging op Wolphaartsdijk zijn een aantal modelsimulaties uitgevoerd. In deze fase van het project, vóór de uitvoering van het geologische veldonderzoek, is er voor gekozen dit te doen aan de hand van een versimpelde weergave van het grondwatersysteem. De focus lag met name op inzicht verkrijgen in hoeverre de 'omgekeerde' badkuip gevuld zou kunnen worden door grootschalige infiltratie.

4.3.1 Modelopzet

Om de rekentijd van het model sterk te beperken, is gebruik gemaakt van een radiaal-symmetrisch model (Figuur 0-5). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het model horizontaal vanuit het middelpunt in alle richtingen symmetrisch is, waardoor het model 2D doorgerekend kan worden waarbij de verschillende bodemparameters gecorrigeerd

moeten worden voor het toenemende oppervlak van elke cel verder van het middelpunt gebruik makende van de methodes zoals omschreven door Langevin (2008).



Figuur 0-5. Opzet van een radiaal-symmetrisch model (Langevin, 2007).

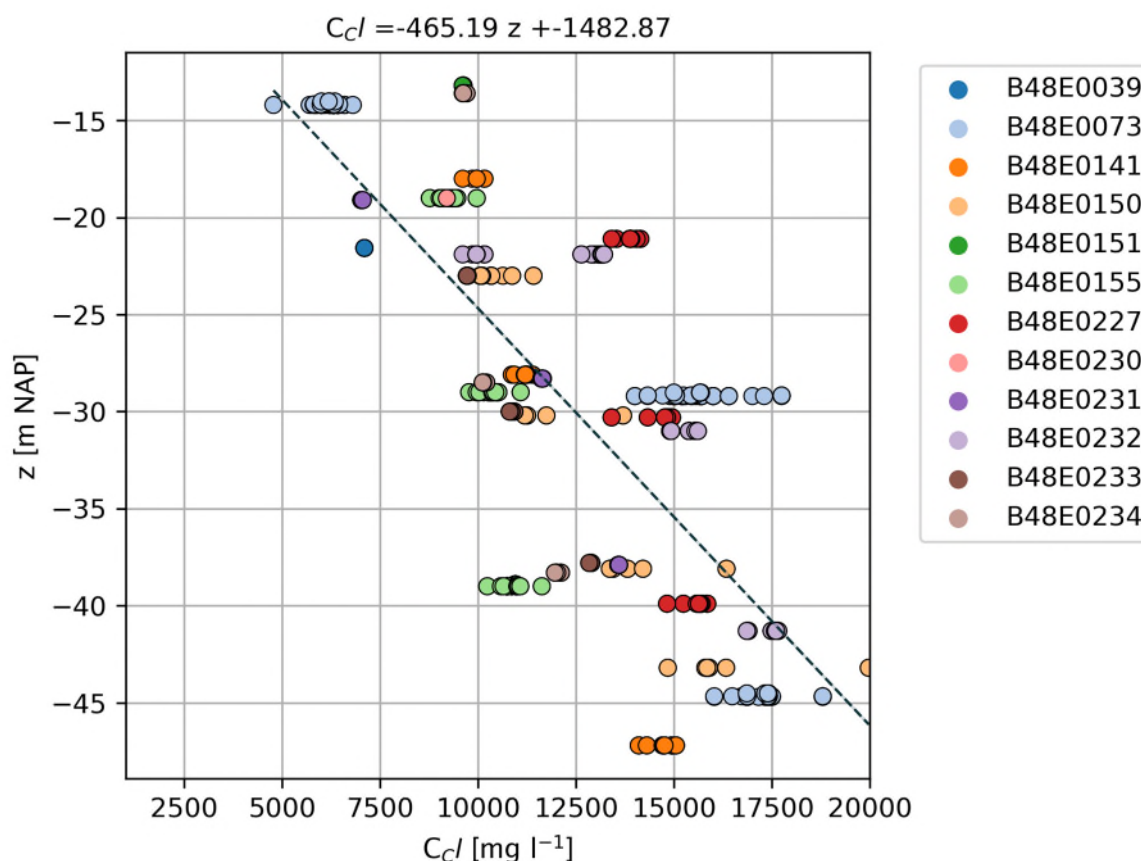
Volgend uit deze radiaal-symmetrische benadering, bevindt het middelpunt ($r = 0$ m) zich in het midden van de 'omgekeerde badkuip' en is de straal van de badkuip vanaf dit middelpunt gelijk in alle richtingen. De badkuip is in de simulaties dus cirkelvormig, waar deze in de praktijk wat meer driehoekig is (zie bijv. Figuur 0-4).

Binnen het grondwatermodel worden 3 geohydrologische eenheden onderscheiden (Tabel 0-1); de holocene deklaag, het eerste watervoerende pakket (WVP1) en de Oosterhout Klei. WVP1 omvat hierbij de Formatie van Bortel, de Eem Formatie en de Formatie van Peize en Waalre. In het midden van het model ligt de bovenkant van WVP1, en dus de onderkant van de Holocene deklaag, op -11 m NAP. Tussen 1200 en 2250 meter vanaf het centrum van het model neemt de dikte van WVP1 geleidelijk af en de dikte van de Holocene deklaag geleidelijk toe. Dit zijn de randen van de 'omgekeerde badkuip'. De afstand tot het centrum en de overgangszone is zo opgezet, dat het opslagvolume binnen de 'omgekeerde badkuip' ongeveer gelijk is aan 50 Mm^3 , vergelijkbaar met de grootte die gevonden bij de berekeningen in Paragraaf 4.2.

Voor de initiële zoet-zoutverdeling in de ondergrond is gebruik gemaakt van de gegevens beschreven in 3.2.4. De overgang van zoet naar zout water over de diepte is gegeven door de lineaire trendlijn door de datapunten heen (Figuur 0-6). Hierbij wordt een minimum- en maximumconcentratie gehanteerd van respectievelijk 100 mg/l en 19.400 mg/l (de chlorideconcentratie van zeewater).

Tabel 0-1. Geohydrologische modelopbouw.

Laag	Bovenkant m NAP	Onderkant m NAP	Horizontale doorlatendheid m/dag	Verticale doorlatendheid m/dag	Porositeit -
Holocene deklaag	0	-11 tot -28	0,05	0,005	0,2
WVP1	-11 tot -28	-44	20	2	0,35
Oosterhout Klei	-44	-45	0,05	0,005	0,2



Figuur 0-6. Metingen van de chlorideconcentratie in het modelgebied en gebruikte zoet-zoutgradiënt.

4.3.2 Numerieke methode

Voor het uitvoeren van de numerieke simulaties wordt gebruik gemaakt van MODFLOW 6 (Langevin et al., 2017), software voor geohydrologische modellering waarin grondwaterstroming en stoftransport dynamisch worden gekoppeld. Voor het invoeren en wegschrijven van de invoerparameters wordt gebruik gemaakt van het Python-pakket FloPy (Bakker et al., 2018).

Dichtheidsstroming wordt meegenomen in de simulaties, gebruik makend van een lineair verband tussen het zoutgehalte (in de vorm van de chlorideconcentratie) en de dichtheid van het grondwater. Om, ondanks de dichtheidsverschillen, stabiele initiële condities en randvoorwaarden in het model te creëren, zijn de initiële stijghoogtes en stijghoogtes bij de randvoorwaarden gedefinieerd volgens Langevin et al. (2019).

4.3.3 Scenario's

De simulaties hebben tot doel om een eerste inschatting te maken of en hoe een zoetwaterbel gecreëerd kan worden binnen de 'omgekeerde badkuip'. Op basis van de berekeningen in paragraaf 4.1.2 gebeurt dit in de simulaties met een debiet van 1 Mm³/jaar en wordt in totaal 50 Mm³ geïnfiltreerd over een periode van 50 jaar. De aanname hierbij is dat infiltratie gedurende de helft van ieder jaar plaatsvindt en het systeem het andere half jaar niet wordt gebruikt.

De volgende scenario's zijn gesimuleerd:

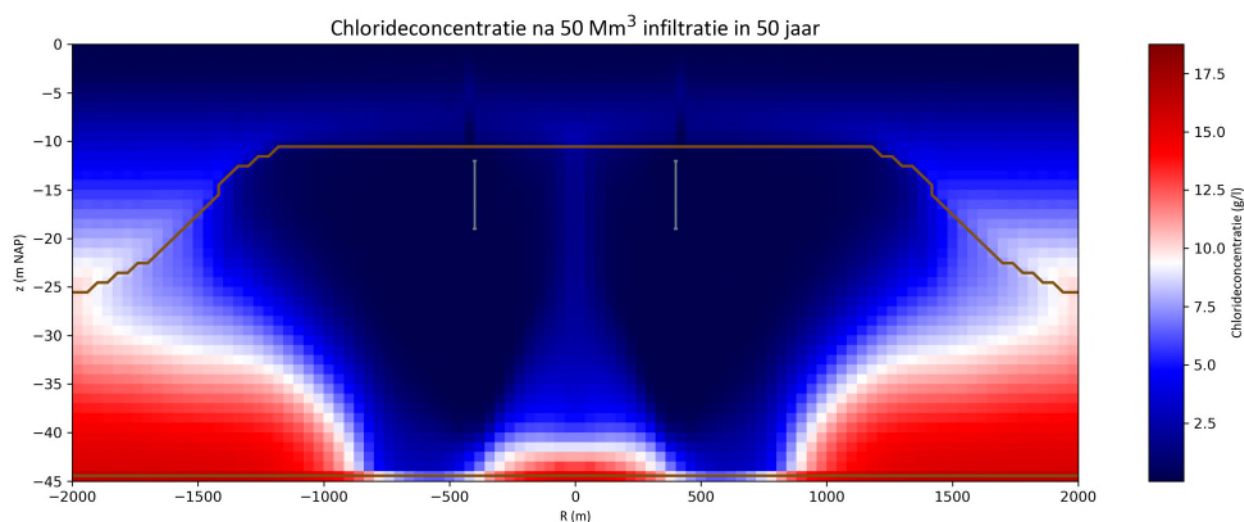
1. Infiltratie vanuit het midden van de 'omgekeerde badkuip'. Omdat infiltreren het infiltreren van 1 Mm³/jaar vanuit 1 punt niet realistisch is vanwege de enorme overdruk die hierbij ontstaat, wordt dit scenario gesimuleerd door een kring van putten te plaatsen op 400 meter van het centrum van het gebied. Om de effecten van dichtheidsstroming te beperken, worden de filters geplaatst op 11,75-19,75 m-NAP.

2. Hetzelfde scenario als 1, echter met de aanwezigheid van de Waalre klei op -24 tot -26 m NAP, met een weerstand van 50 dagen. Het doel van dit scenario is het effect van de al dan niet aanwezige Waalre klei te duiden.
3. Een scenario waarin het zoete water evenredig geïnfiltreerd wordt door putten die overal tussen het centrum van het modelgebied en $R=1200$ m zitten, als 'ideale' infiltratiemethode waarbij het zoete water evenredig over de badkuip verdeeld wordt, over de eerste 5 meter direct onder de deklaag.

4.3.4 Resultaten

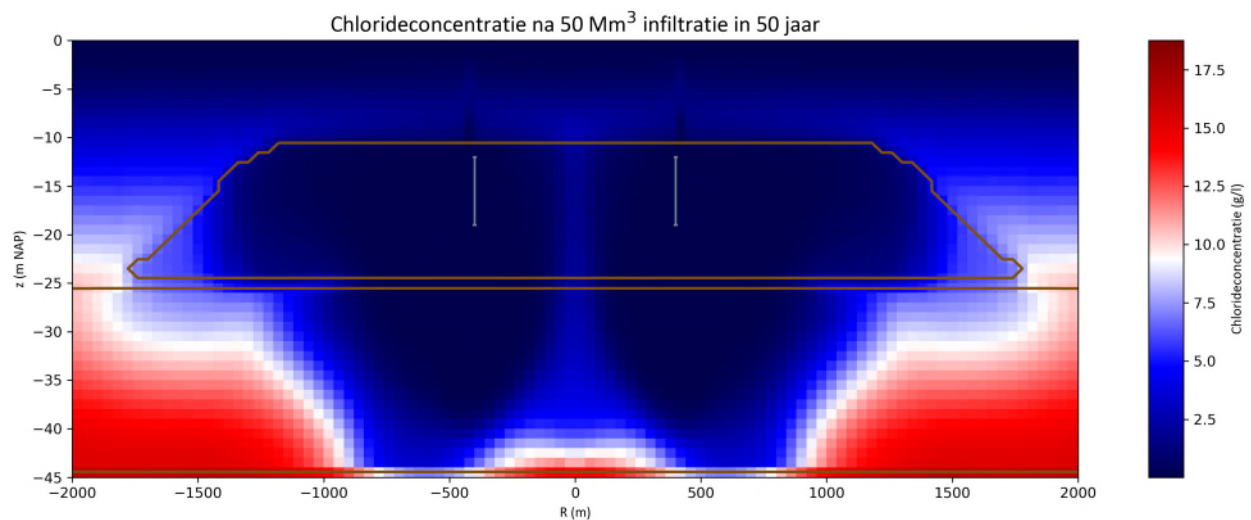
In Figuur 0-7 is de chlorideconcentratie in de ondergrond weergegeven nadat in 50 jaar 50 Mm^3 aan zoetwater is geïnfiltreerd door een kring van putten op 400 meter van het centrum van de badkuip, scenario 1 zoals hierboven gedefinieerd. Uit het figuur blijkt dat:

- Een deel van het water tijdens infiltratie naar de onderkant van het watervoerende pakket zal stromen;
- Er sprake is van sterke oprijving door het dichtheidscontrast tussen zoet en zout water, wat leidt tot het schuine grensvlak tussen de zoetwaterbel en het omliggende grondwater;



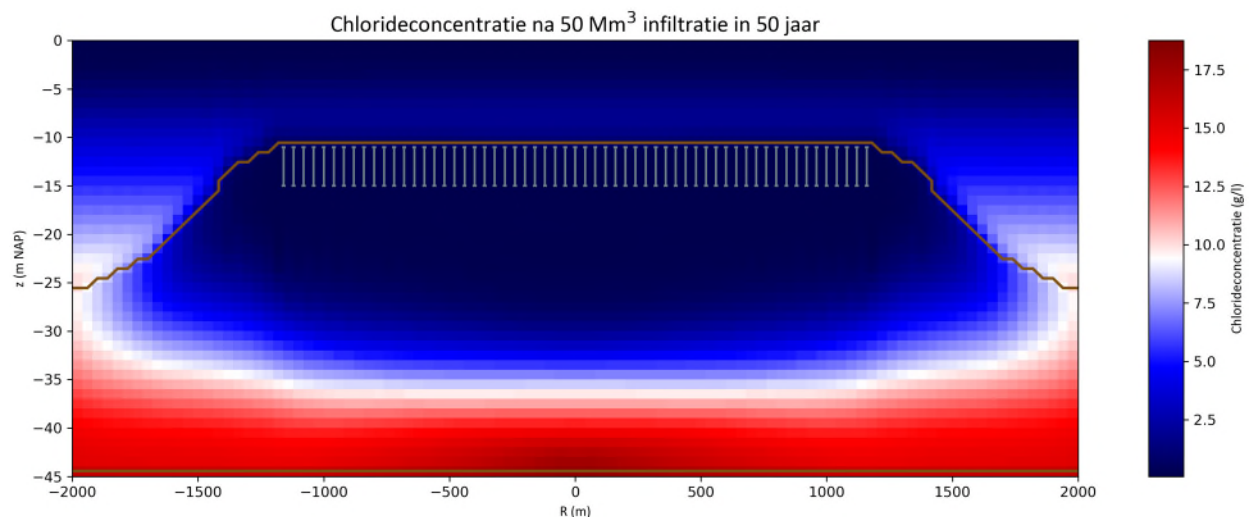
Figuur 0-7: Chlorideconcentratie in de ondergrond na infiltratie van 50 Mm^3 in 50 jaar in scenario 1.

In Figuur 0-8 is het resultaat weergegeven in het geval dat de Waalre Klei in het gehele gebied aanwezig is. Ten opzichte van het scenario zonder Waalre klei (Figuur 0-7) valt op dat het zoete water beter in de badkuip blijft hangen, maar dat het na verloop van tijd ook door de Waalre Klei heen zal gaan naar de zanden van de Peize-Waalre formatie.



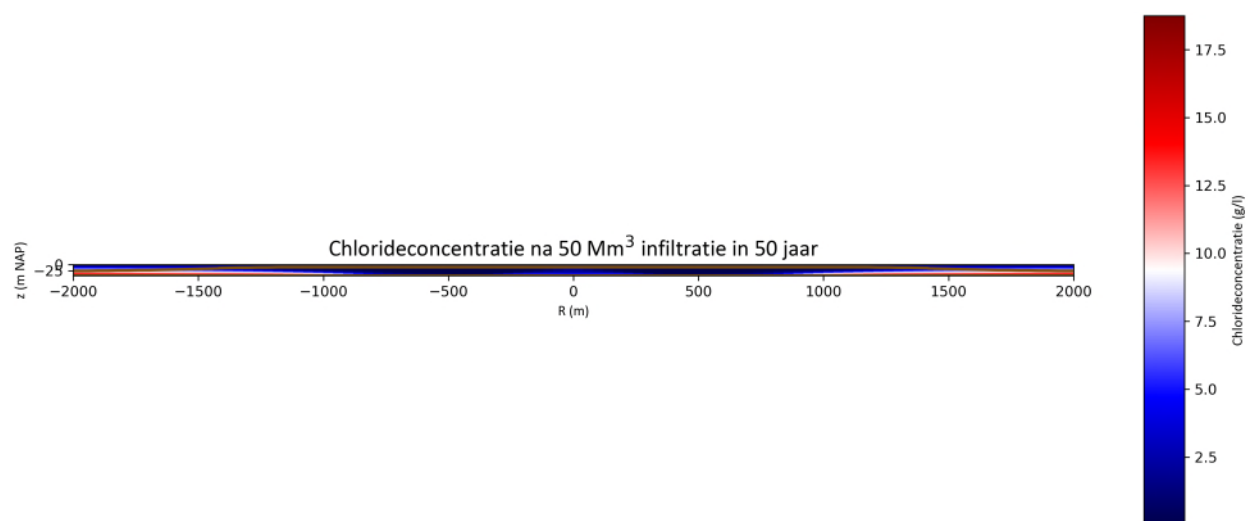
Figuur 0-8. Chlorideconcentratie in de ondergrond na infiltratie van 50 Mm³ in 50 jaar in scenario 2 mét aanwezigheid van de Waalse Klei

Uit Figuur 0-9 blijkt dat de 'omgekeerde badkuip' kan wel relatief egaal gevuld worden wanneer het zoete water gelijkmatig over het projectgebied geïnfiltreerd wordt. In de praktijk is echter de vraag hoe realistisch het is een dergelijke hoeveelheid putten te installeren.



Figuur 0-9. Chlorideconcentratie in de ondergrond na infiltratie van 50 Mm³ in 50 jaar in scenario 3 bij gelijkmatige verdeling van de infiltratieputten.

De 'omgekeerde badkuip' waar binnen dit project over gesproken wordt is duidelijk zichtbaar in doorsneden uit DINOLoket (bijv. Figuur 0-3) en modelresultaten zoals degene hiervoor besproken. Bij deze doorsneden is echter een verticale overdrijving toegepast. Het plotten van de horizontale x-as en verticale z-as echter op dezelfde schaal (Figuur 0-10) geeft echter een heel ander beeld. In dat geval is de 'omgekeerde badkuip' nauwelijks meer als zodanig herkenbaar, maar is er eerder sprake van een 'omgekeerd plat bord'.



Figuur 0-10: Chlorideconcentratie in de ondergrond na infiltratie van 50 Mm³ in 50 jaar in scenario 1; gelijke schaal x- en y-as.

Veldwerkplan

5.1 Inleiding

Op basis van de bovenstaande analyse zijn een aantal doelen gedefinieerd voor de veldwerkcampagne. Hierbij is vooral gekeken naar factoren die op basis van de bestaande data nog niet goed genoeg bekend zijn, wel belangrijk zijn voor het bepalen van de haalbaarheid van een OWB en waar met veldwerk invulling aan valt te geven. In grote lijnen gaat het om drie categorieën: (1) de geologie/bodemopbouw, (2) de geohydrologie en (3) het oppervlaktewatersysteem.

Met betrekking tot de bodemopbouw zijn de volgende onzekerheden gedefinieerd:

- precieze ligging van de overgang van Holocene en Pleistocene afzettingen (randen van de badkuip) en de overgang hierbij in doorlatendheid,
- de weerstand van de Holocene deklaag,
- de doorlatendheid en transmissiviteit van de Eem Formatie en Peize/Waalre Formatie,
- de aanwezigheid en weerstand van de Waalre klei,
- de aanwezigheid en dikte onderliggende kleilaag Oosterhout formatie.

Met betrekking tot de geohydrologie:

- zoet-zout verdeling van het grondwater in de badkuip (verticaal en horizontaal),
- bepalen kwel/inzijing in en rondom de omgekeerde badkuip,
- overige grondwaterkwaliteitsparameters, zoals bijv. redox toestand,
- de mate van achtergrondstroming.

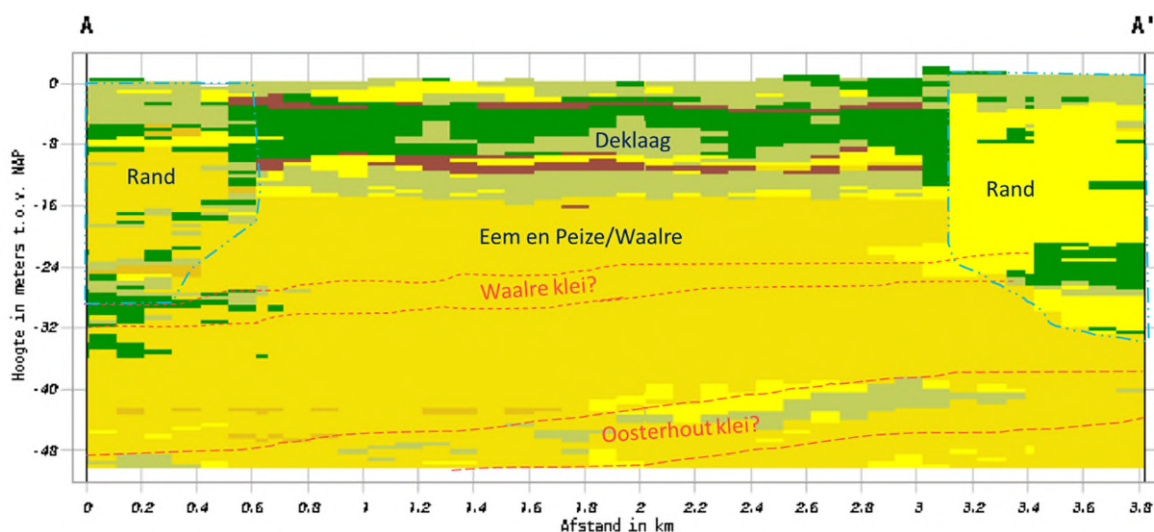
Met betrekking tot het oppervlaktewatersysteem:

- chemische samenstelling stuw- en drainwater,
- zoutgehalte sloten,
- potentiële flux bij drains bij aanleggen samengestelde drainage,
- flux en bij stuw de Kulke.

Om de mate van onzekerheid in deze factoren te verkleinen zijn een aantal veldwerkzaamheden ingepland, namelijk CPT sonderingen ('cone penetration test') incl. geleidbaarheidsmetingen, HPT sonderingen ('hydraulic profiling tool' incl. mini-pomprouwen, boringen (welke afgewerkt worden als monitoringsputten) en waterkwaliteitsmetingen van grond- en oppervlaktewater. In de volgende paragrafen worden de geplande activiteiten in meer detail omschreven.

5.2 Boringen en sonderingen

Aan de hand van al aanwezige gegevens is een eerste inschatting van de bodemopbouw gemaakt. Echter bestaat er nog een grote mate van onzekerheid over de bodemopbouw. Om hiervan een beter beeld te krijgen, zullen binnen dit project verschillende boringen en sonderingen worden uitgevoerd. De nadruk zal liggen op het in kaart brengen van de hierboven genoemde onzekerheden. In Figuur 0-1 is een overzicht gegeven van de te onderzoeken onderdelen.



Figuur 0-1: Overzicht van de verschillende onderdelen die middels de boringen en sonderingen onderzocht zullen worden.

Tijdens het veldwerk worden dus zowel boringen, HPT-sonderingen als CPT-sonderingen uitgevoerd. Per type meting zal het volgende in kaart gebracht worden:

- Boringen. Korrelgrootteverdeling per meter boring en reguliere boorbeschrijving voor het nauwkeurig in kaart brengen van de bodemopbouw en om indirect de doorlatendheid te kunnen berekenen. Daarnaast ook de mogelijkheid tot het uitvoeren van boorgatmetingen en het installeren van filters voor het monitoren van de stijghoogte en grondwaterkwaliteit.
- HPT-sonderingen inclusief mini-pompproef: Absolute doorlatendheid en bergingscoëfficiënt van watervoerende pakketten, bodemopbouw plus de geleidbaarheid van het water.
- CPT-sonderingen: Bodemopbouw en de geleidbaarheid van het water (overgang zoet-zout).

In totaal konden er binnen het budget 2 boringen, 22 CPT-sonderingen en 2 HPT-sonderingen ingepland worden. De boringen worden uitgevoerd door Schijf Grondboringen, de CPT sonderingen door van der Straaten Geotechniek en de HPT sonderingen door Fugro.

Het grootste deel van CPT-boringen zal worden gebruikt om de overgang tussen de Pleistocene Eem Formatie en Peize/Waalre Formatie en de holocene kreekafzettingen inzichtelijk te krijgen, oftewel de 'randen van de omgekeerde badkuip'. Hiertoe zullen de sonderingen in een drietal lijnen ongeveer loodrecht op deze rand uitgevoerd worden. Deze sonderingen zijn te zien in Figuur 0-2 als de sonderingen die loodrecht op de overgang van een gebied met een relatief dunne Holocene deklaag (de badkuip) naar een relatief dikke (kreekafzettingen). Op veel plaatsen is het onmogelijk een lijn van metingen loodrecht op de rand te doen. Hier worden ook verspreid CPT- en een enkele HPT-sonderingen gedaan. De rest van de sonderingen en de andere boring zullen gebruikt worden voor het in kaart brengen van de pleistocene watervoerende pakketten.

De veldcoördinaten van de boringen, HPT-sonderingen en CPT-sonderingen zijn terug te vinden in respectievelijk Tabel 0-1, Tabel 0-2 en Tabel 0-3. Om interpretatie van de boringen en sonderingen te vergemakkelijken, zijn een aantal boringen en sonderingen op dezelfde plek geplaatst. Overlappende boringen en sonderingen zijn: Boring_01 en CPT_06; HPT_02 en CPT_15; Boring_02, HPT_01 en CPT_09. In werkelijkheid zullen deze boringen en sonderingen enkele meters uit elkaar uitgevoerd worden.

Tabel 0-1. Geplande locaties van de boringen.

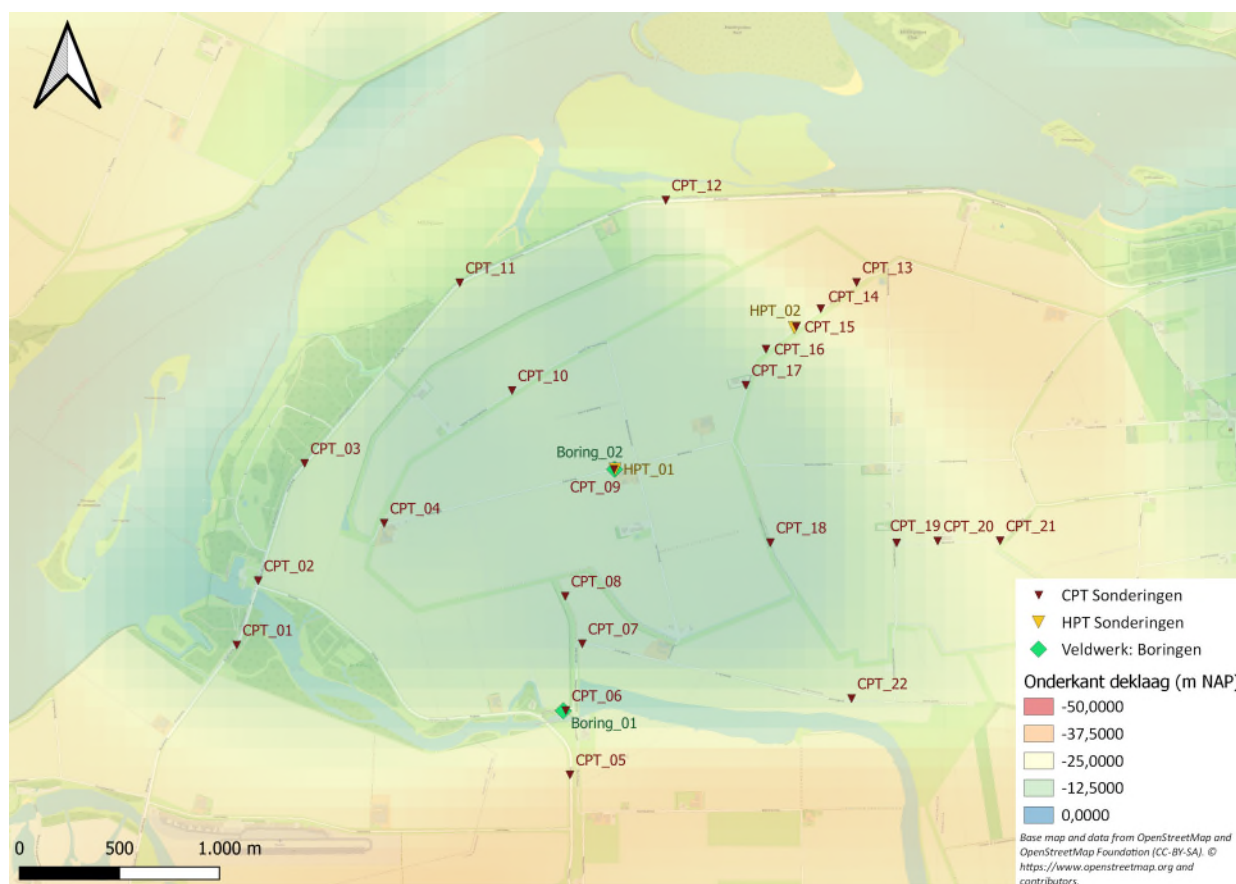
Veldcode	X (RD)	Y (RD)	Breedte-graad (WS84)	Lengte-graad (WS84)
Boring_01	41491	393484	51.51889	3.75171
Boring_02	41747	394691	51.52979	3.75501

Tabel 0-2. Geplande locaties voor de HPT-sonderingen.

Veldcode	X (RD)	Y (RD)	Breedte-graad (WS84)	Lengte-graad (WS84)
HPT_01	41750	394691	51.52979	3.75505
HPT_02	42646	395398	51.53632	3.76774

Tabel 0-3. Geplande locaties voor de CPT-sonderingen.

Veldcode	X (RD)	Y (RD)	Breedte-graad (WS84)	Lengte-graad (WS84)	Veldcode	X (RD)	Y (RD)	Breedte-graad (WS84)	Lengte-graad (WS84)
CPT_01	39857	393812	51.52151	3.72807	CPT_12	42003	396036	51.54193	3.75827
CPT_02	39964	394134	51.52442	3.72951	CPT_13	42957	395625	51.53842	3.77214
CPT_03	40197	394720	51.52974	3.73267	CPT_14	42778	395493	51.53720	3.76961
CPT_04	40595	394421	51.52713	3.73850	CPT_15	42655	395403	51.53637	3.76786
CPT_05	41524	393163	51.51601	3.75229	CPT_16	42504	395291	51.53533	3.76572
CPT_06	41503	393484	51.51889	3.75189	CPT_17	42403	395111	51.53370	3.76433
CPT_07	41585	393818	51.52191	3.75296	CPT_18	42526	394324	51.52665	3.76635
CPT_08	41500	394056	51.52403	3.75166	CPT_19	43158	394322	51.52676	3.77546
CPT_09	41745	394690	51.52978	3.75498	CPT_20	43363	394332	51.52689	3.77841
CPT_10	41234	395084	51.53322	3.74749	CPT_21	43675	394333	51.52696	3.78290
CPT_11	40973	395623	51.53801	3.74356	CPT_22	42932	393544	51.51972	3.77245



Figuur 0-2: Locaties van de geplande boringen sonderingen.

5.3 Uitvoering boring en filterstellingen

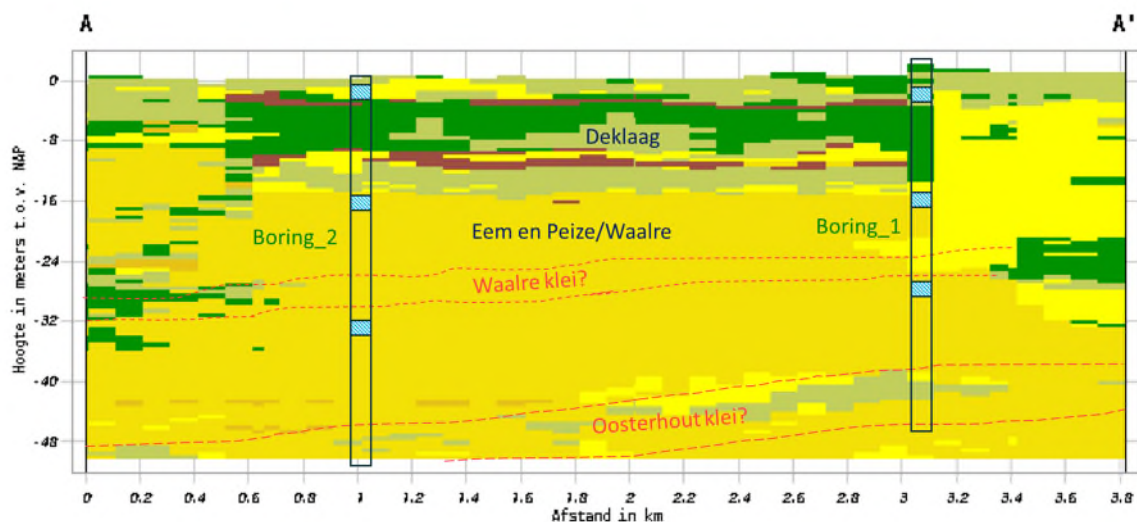
Een van de doelen van de boring is de aanwezigheid en dikte van de Oosterhout Klei (OOK1) in kaart te brengen. Om deze reden zullen de boringen worden uitgevoerd tot de onderkant van deze formatie. Omdat het niet zeker is dat er op deze diepte klei wordt aangetroffen, is het dus niet zeker dat er een duidelijk eindpunt van de boring bepaald kan worden. Daarom is er aan de hand van de al beschikbare gegevens over de geohydrologie in het gebied (Figuur 0-3) een maximum diepte bepaald waarop de Oosterhout Klei kan worden aangetroffen. Dit betreft dan ook de maximale einddiepte van de boringen. Voor Boring 1 is deze diepte 50 meter, voor Boring 2 55 meter.

Beide boringen zullen gebruikt worden als monitoringsput voor het meten van de stijghoogte en de EGV via loggers (zie Hoofdstuk 4), en het nemen van waterkwaliteitsmonsters. Hiervoor zullen in beide putten een drietal putfilters worden geïnstalleerd. Deze filters zullen als volgt over de diepte worden verdeeld:

- Filter 1 op 1-8 m-mv. Filter in een zandig deel van de deklaag, om eventuele kwel en/of inzijging in beeld te brengen. Tijdens de boring zal pas duidelijk worden of en welk deel van de deklaag kan worden gebruikt voor het installeren van een monitoringsfilter.
- Filter 2 op ca. 16-18 m-mv. Filter direct onder de deklaag, voor het monitoren van het grondwater bovenin de Eem Formatie, direct onder de deklaag. In een later stadium eventueel te gebruiken als monitoringsfilter voor de ondergrondse waterberging.
- Filter 3 op ca. 30-35 m-mv: filter direct onder de al dan niet aanwezige Waalre klei. Gebruikt om eventuele kwelfluxen in kaart te brengen en potentiële stijghoogteverschillen door de aanwezigheid van de Waalre Klei.

De boringen worden uitgevoerd met een boordiameter van 240 mm. De twee ondiepste peilbuizen krijgen een

diameter van 32 mm en diepste peilbuis een diameter van 90 mm. Dit zodat deze groot genoeg is voor het uitvoeren van boorgatmetingen. De filterbuizen worden omstort met filtergrind, de rest van de het boorgat wordt aangevuld met aanvulklei (Microliet).



Figuur 0-3: Potentiële filterstellingen van de twee boringen.

5.4 Aanschaf en gebruik loggers

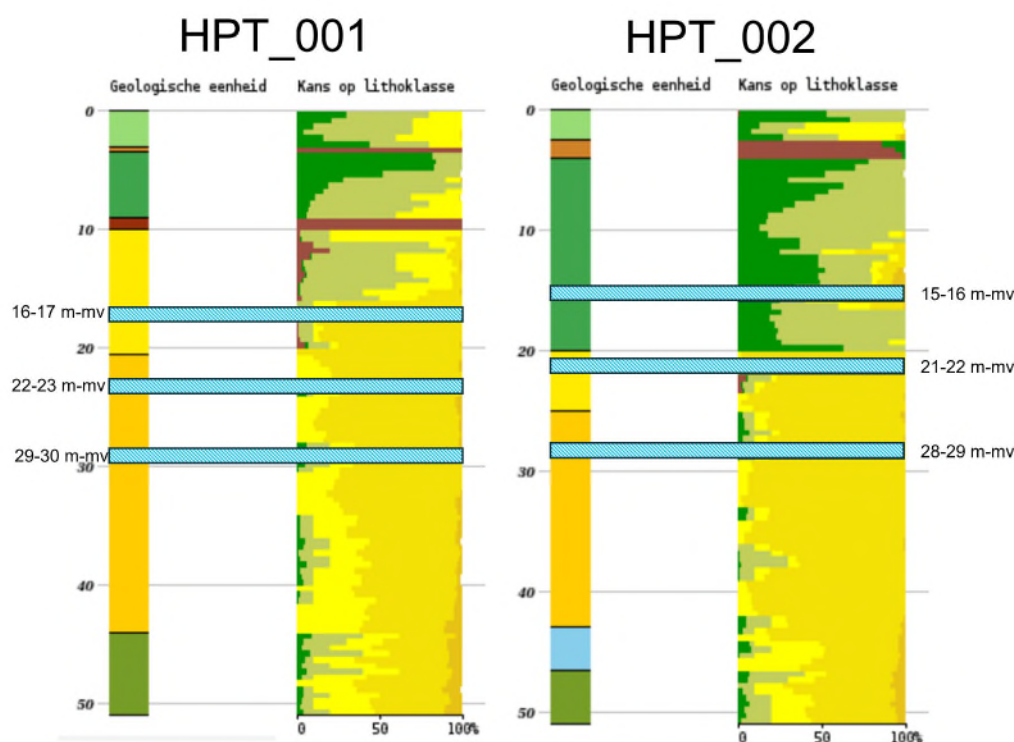
Gekozen is voor LTC logger van het merk Solinst (waterlevel, temperature and conductivity). Binnen het voor het project begrootte budget konden drie loggers aangeschaft worden. Deze loggers zullen in drie van de zes nieuwe peilbuizen geïnstalleerd worden. Op basis van de resultaten van het veldwerk wordt nog nader bepaald welke drie.

De loggers zullen tevens gebruikt worden voor het EC-routen van de sloten. Bij het EC-routen wordt een geleidbaarheidslogger aan een drijver met een hengel langzaam door de sloten verplaatst. Het is daarmee een goedkope, effectieve manier om gedetailleerd inzicht te krijgen in de zoet-zout verdeling van oppervlaktewaters (Delsman & Kramer, 2017), wat relevant kan zijn om bijvoorbeeld zones met sterke kwel vast te stellen.

5.5 HPT sonderingen

De CPT-sonderingen zullen met name worden gebruikt om een beeld te krijgen van de overgang tussen fijner materiaal (de Holocene deklaag) en grover materiaal (het watervoerende pakket). HPT-sonderingen kunnen, in combinatie met de mini-pompproef, ook gebruikt worden om een inschatting te krijgen van de doorlatendheid van het pakket. Aangezien beide methoden technisch mogelijk zijn tot maximaal 30 m-mv, kunnen de metingen hoogstwaarschijnlijk gebruikt worden om de aanwezigheid van de Waalre Klei in kaart te brengen. Dit is niet het geval voor de Oosterhout klei.

De minipompproeven zullen dus gebruikt worden om een inschatting te krijgen van de doorlatendheid van de watervoerende lagen. HPT_001 bevindt zich in het midden van de badkuip (Figuur 0-2). Hier zal de mini-pompproef uitgevoerd worden op drie diepten in het watervoerende pakket, zoals te zien is in Figuur 0-4. HPT_002 bevindt zich op de rand van de 'omgekeerde badkuip'. Indien mogelijk zal de bovenste mini-pompproef hier uitgevoerd worden in een meer doorlatend stuk van de holocene deklaag.



Figuur 0-4. Bodemopbouw op de locaties van de HPT-sonderingen op basis van GEOTOP en voorgestelde diepten voor de drie mini-pompproeven per locatie.

5.6 Geofysische boorgatmetingen

De boorgatmetingen zullen worden uitgevoerd door Deltares en hierbij wordt minimaal een gamma ray en een resistivity meting uitgevoerd in beide van de twee nieuwe putten. Gamma ray metingen worden gebruikt voor het bepalen van het kleigehalte, en zijn daarom zeer geschikt voor het vaststellen van scheidende lagen. Op basis van de resistivity metingen

5.7 Waterkwaliteitsbemonstering

De chemische en microbiologische samenstelling van water bepaald voor een belangrijk deel de benodigde zuiveringsinspanning en het ontwerp van mogelijke infiltratieputten. De waterkwaliteitsbemonsteringen binnen het project hebben dan ook als doel om een goede toetsing uit te kunnen voeren van de haalbaarheid van infiltratie van oppervlakte en/of drainwater, vanuit zowel operationeel als juridisch oogpunt. Daarnaast wordt ook een nulmeting van de nieuw te plaatsen grondwaterputten uitgevoerd, ter bevestiging van het beeld van de grondwatersamenstelling. Om binnen het gestelde budget voor de waterkwaliteitsanalyses te blijven (8 k€) zijn hiervoor een korte lijst en een lange lijst met chemische analyses samengesteld. Daarnaast zal op 2 monsters ook een uitgebreide meting van de aanwezige bestrijdingsmiddelen uitgevoerd worden (lange lijst+). Naast de lab analyses worden ook een aantal metingen ter plekke met veldsensoren uitgevoerd, te weten: EGV, pH, en troebelheid.

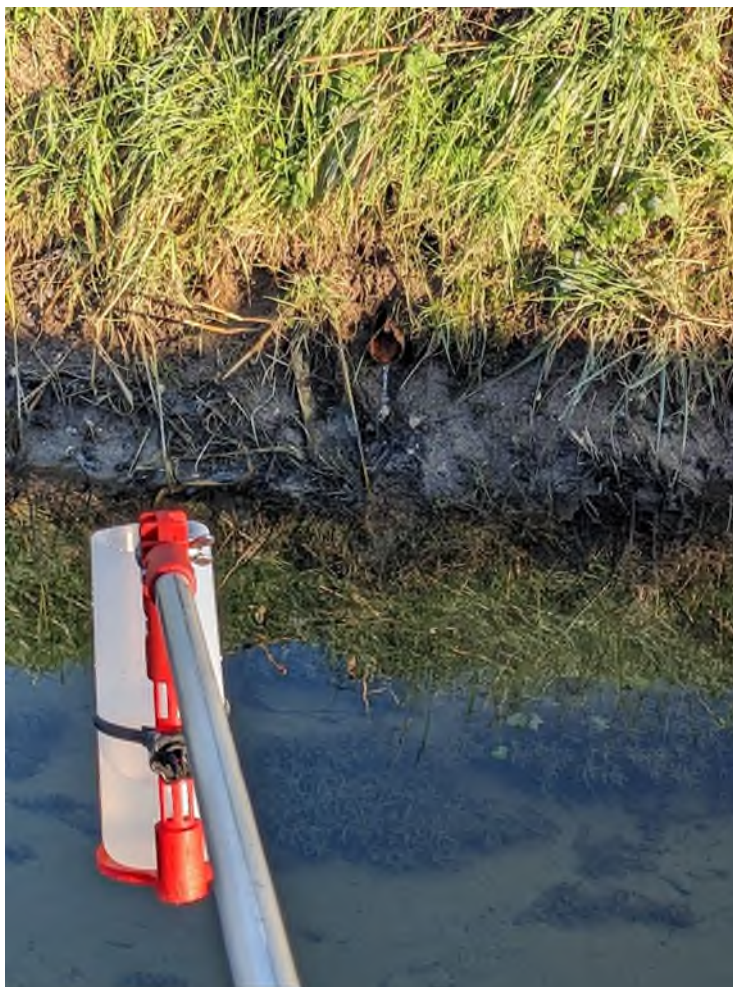
Tabel 0-4. Analyselijsten voor de watermonsters.

Analyses	Korte lijst (a)	Lange lijst (b)	Lange lijst + (c)
Chloride	1	1	1
Bromide		1	1
Natrium	1	1	1
Calcium	1	1	1
Magnesium		1	1
Ijzer (opgelost)	1	1	1
Ijzer (totaal)		1	1
Mangaan	1	1	1
Sulfaat	1	1	1
Nitraat	1	1	1
Ammonium (NH ₄)	1	1	1
Arseen		1	1
Aluminium		1	1
o-PO ₄		1	1
pH + HCO ₃	1	1	1
Opgelost organische stof (DOC)	1	1	1
Totaal zwevende stof (TSS)	1	1	1
Bestrijdingsmiddelen			1
ATP		1	1

Omdat er alleen voldoende water voor infiltratie beschikbaar zal zijn in het winterhalfjaar zal er vooral bemonsterd worden in en rond de wintermaanden en worden de echte zomermaanden overgeslagen. Het geplande schema is weergegeven in Tabel 0-5. Daarin is te zien dat er in de winter en voorjaar van 22/23 4 bemonsteringsrondes gepland zijn en in het najaar/winter 2023 nog eens 2. Bij de eerste 4 rondes worden 2 oppervlaktewater monsters genomen en 1 drainwater monster, en bij de laatste 2 rondes 1 oppervlaktewater en 1 drainwater. Daarnaast zijn 6 monsters gereserveerd voor de analyse van de nulmetingen in de nieuwe grondwaterput(ten). De oppervlaktewaterbemonsteringen zullen steeds nabij en stroomopwaarts worden uitgevoerd van de stuwen Batterijweg en de Kulke. Voor het drainwater zal een representatieve goed lopende drain worden gezocht.

Tabel 0-5. Bemonsteringsschema, locaties, en analyselijst.

Locatie meting	dec-22			feb-23			apr-23			jun-23			sep-23			nov-23		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Waterkwaliteit bij stuwen	1	1		1		1	1	1		1	1		1			1		
Waterkwaliteit bij drain		1			1		1			1			1			1		
Nulmeting grondwaterput(ten)										6								
TOTAAL	1	2	0	1	0	2	2	1	0	2	7	0	1	1	0	1	1	0



Figuur 0-5. Bemonstering drainwater bij 1^e bemonsteringsronde (14-12-2022). Locatie van deze drain is 51.5293, 3.7567 (WGS84).

Doorkijk volgende fases

De in hoofdstuk 0 van dit rapport beschreven veldwerkzaamheden worden volgens planning grotendeels in de periode maart tot begin mei uitgevoerd. Alleen de waterbemonstering en analyse loopt langer door (tot aan eind 2023).

Zodra de gegevens uit het veldwerk binnen beginnen te komen zal parallel begonnen worden aan de volgende fase (fase 3) van het project; 'verwerking en 1e interpretatie velddata'. In deze fase wordt het geologisch model van het projectgebied geüpdatet op basis van de resultaten, welke dan als basis kan dienen voor de hierop volgende modelsimulaties. Een tussenrapport wordt opgesteld waarin de resultaten van het veldwerk en het geüpdatete geologisch model overzichtelijk uiteengezet worden. In de hierop volgende fase wordt de haalbaarheid van OWB in het projectgebied definitief bepaald, en zal gezocht worden naar werkbare conceptuele modellen voor de uitvoering en beheer van de OWB. Voor een belangrijk deel zal dit gestoeld zijn op modelleringen van een aantal scenario's voor ondergrondse waterberging in het gebied. De volledige planning en onderdelen van het project zijn schematisch weergegeven in Figuur 0-1.

Fase			Subonderdeel	Activiteit	Planning																					
					2022				2023								2024									
					aug	sep	okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	okt	nov	dec		
1	Voorstudie	1,1	Uitwerken intentieverklaring																							
		1,2	Bureau en modelstudie																							
		1,3	Uitwerken veldwerk- en projectplan																							
		1,4	rapport: resultaten deskstudie en veldwerkplan																							
2	Veldcampagne	2,1	uitvoering boring- en sonderingscampagne																							
		2,2	uitvoeren WQ bemonstering																							
3	Verwerking veldwerk data	3,1	interpretatie sonderingen, boringen, sedimentanalyse																							
		3,2	interpretatie waterkwaliteitsmetingen																							
		3,3	rapport: resultaten veldwerkcampagne, creëren geologisch model																							
4	Uitwerking technische opties voor grootschalige OWB	4,1	Scenario-modellering incl. uitwerken waterbalans																							
		4,2	Verkenning zuiveringsopties en beheermodellen																							
		4,3	Toepasbaarheid methodiek in andere delen van Zeeland																							
		4,4	Opzet projectplan vervolgtraject 'route naar realisatie'																							
		4,5	Opstellen eindrapport																							

Figuur 0-1. Planning van het project zoals bepaald in het projectvoorstel. Oorspronkelijke planning is met 3 maanden opgeschoven gezien de later dan verwachte startdatum van het project.

Referentielijst

- Bakker, M., Post, V., Langevin, C. D., Hughes, J. D., White, J. T., Starn, J. J., & Fienen, M. N. (2018). *FloPy v3.2.9: U.S. Geological Survey Software Release, 19 February 2018*.
- De Louw, P. G. B., Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B. R., Gunnink, J., Van Baaren, E. S., & Oude Essink, G. H. P. (2011). Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(12), 3659–3678. <https://doi.org/10.5194/hess-15-3659-2011>
- Delsman, J. R., & Kramer, M. (2017). Handreiking doelmatiger doorspoelen. *Deltares Rapport 11200588-030*, 39.
- Langevin, C. D. (2008). Modeling axisymmetric flow and transport. *Ground Water*, 46(4), 579–590. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00445.x>
- Langevin, C. D., Hughes, J. D., Banta, E. R., Niswonger, R. G., Panday, S., & Provost, A. M. (2017). Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods. *Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Book 6, Chap. A55, 197 P.*, 197. <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/tm6A55>
- Langevin, C. D., Panday, S., & Provost, A. M. (2019). Hydraulic-Head Formulation for Density-Dependent Flow and Transport. *Groundwater*, 58(3), 349–362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gwat.12967>
- Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F. S., Gunnink, J. L., Schokker, J., Dambrink, R. M., Hummelman, H. J., & Schijf, M. L. (2013). *GeoTop modelling*.
- van Dooren, T. C. G. W., Ros, S. E. M., & van der Schans, M. (2021). *KWR 2021.114. DrainStore: vergroten van zoetwaterbeschikbaarheid voor irrigatie door koppeling van peilgestuurde drainage en ondergrondse waterberging*.
- Vernes, R. W., & van Doorn, T. H. . (2005). *Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid; Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. NITG-05-038-B*.