



Oevergrondwaterwinning Alblasserwaard en Krimpenerwaard

Achtergrondrapport ontwikkeling grondwatermodel

Oasen N.V.

4 augustus 2025

Project Oevergrondwaterwinning Alblasserwaard en Krimpenerwaard
Opdrachtgever Oasen N.V.

Document Achtergrondrapport ontwikkeling grondwatermodel
Status Eindconcept
Datum 4 augustus 2025
Referentie 137390/25-010.488

Projectcode 137390
Projectleider Ir. T.H. van Wee
Projectdirecteur Ir. H.J. Mondeel

Auteur(s) S.B. van Terwisga MSc
Gecontroleerd door Ir. T.H. van Wee, P.M. van Dijk MSc
Goedgekeurd door Ir. T.H. van Wee

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.
© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Tekst- en datamining van (delen van) dit document, evenals enige verwerking of reproductie ervan door middel van kunstmatige intelligentie technologieën is uitdrukkelijk niet toegestaan, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Dit document (of delen ervan) mag niet worden veeleenvoudigd en/of anderszins worden gebruikt op enigerlei wijze voor het trainen van kunstmatige intelligentie technologieën, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	6
1.3	Leeswijzer	6
2	GEBIEDSBESCHRIJVING	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Maaiveld	7
2.3	Bodemopbouw	8
2.4	Oppervlaktewater	10
2.4.1	Lek	10
2.4.2	Waterpeilen	11
2.5	Grondwater	13
2.5.1	Onttrekkingen	13
2.5.2	Grondwaterstanden	14
2.5.3	Interactie Lekpeil en grondwaterstanden	17
2.5.4	Grondwaterkwaliteit	21
3	GRONDWATERMODELLERING	24
3.1	Uitgangspunten	24
3.2	Modelschematisatie	24
3.2.1	Modelgebied	24
3.2.2	Bodemschematisatie	26
3.2.3	Topsysteem	27
3.2.4	Vaste randvoorwaarden	31
3.2.5	Grondwateraanvulling	31
4	GEVOELIGHEIDS- EN BETROUWBAARHEIDSANALYSE	32
4.1	Analyse kalibratieresultaten aangeleverd OASEN-model	32

4.2	Betrouwbaarheidsanalyse model nabij mogelijke winlocaties	32
4.2.1	Winlocatie Den Hoek	33
4.2.2	Winlocatie Bergambacht West	35
4.2.3	Winlocatie Streefkerk West	36
4.2.4	Winlocatie Streefkerk Oost	38
4.2.5	Winlocatie Waal	39
4.2.6	Winlocatie Weerszijden Lek	41
4.2.7	Conclusies betrouwbaarheidsanalyse	41
4.3	Gevoeligheidsanalyse	41
4.3.1	Transmissiviteit eerste watervoerend pakket	41
4.3.2	Weerstand deklaag	42
4.3.3	Gevoeligheid lekweerstand	42
5	KALIBRATIE	44
5.1	Aanpassing deklaagweerstand	44
5.2	Aanpassen grondwateraanvulling	44
5.3	Resultaten optimalisatie	45
6	REKENSCENARIO'S	51
6.1	Ontwikkeling worst-case modellen	51
6.2	Rekenscenarios	52
6.3	Verziltingsmodel	53
6.4	Stroombaanberekeningen	54
7	REFERENTIES	55
	Laatste pagina	55
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Bodemopbouw Winlocaties	8
II	Boringen	5
III	Gemeten Chlorideconcentraties watervoerende pakketten	4
IV	Notitie aangeleverd Modelinstrumentarium OASEN	25
V	Gevoeligheidsanalyse	8

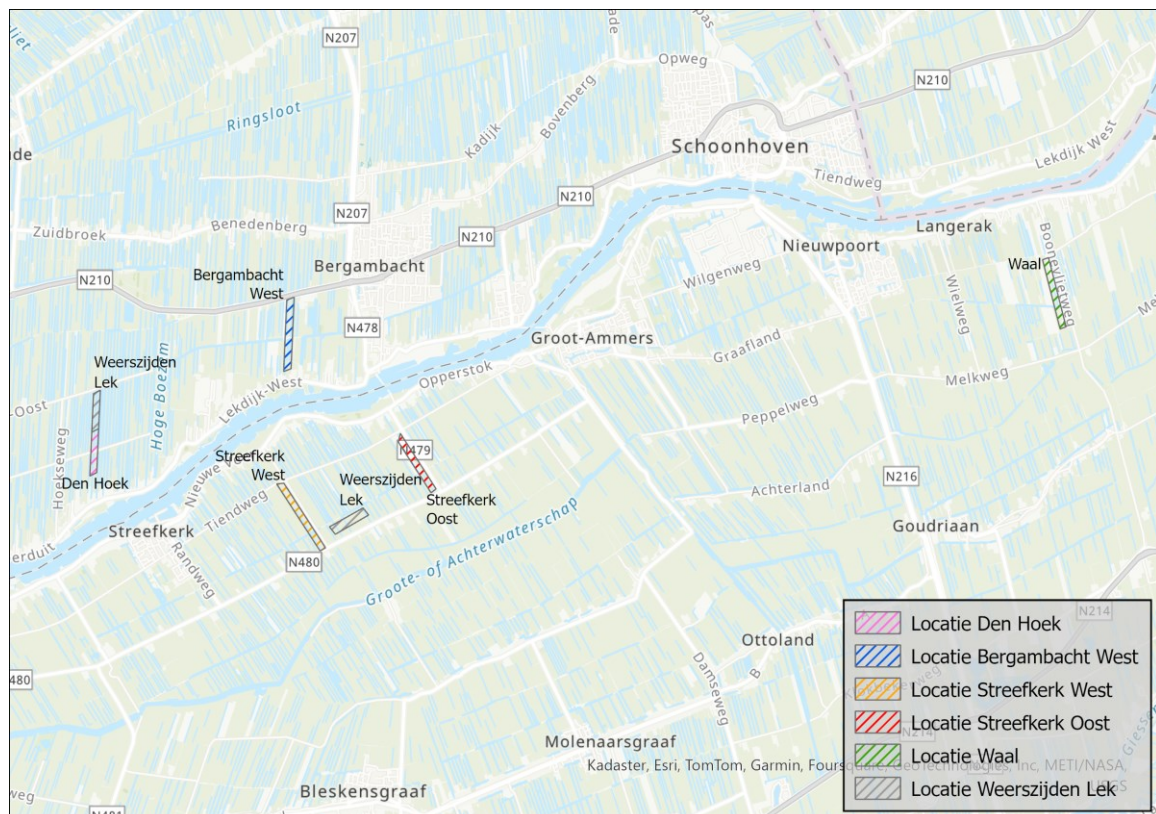
INLEIDING

1.1 Aanleiding

Door veranderende zuiveringsmethoden en een groeiende vraag naar drinkwater verwacht Oasen rond 2030 een tekort voor de leveringscapaciteit van drinkwater. Om leveringszekerheid te kunnen garanderen is extra win- en productiecapaciteit nodig. Voor de nieuwe winning voorziet Oasen een capaciteit van 8 miljoen m³ per jaar. Hiervoor zijn 6 locaties in beeld in de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard. De zoekgebieden voor de locaties zijn gegeven in afbeelding 1.1. Uitgebreidere achtergrondinformatie is gegeven in het hoofdrapport [ref. 16].

Om tot een locatiekeuze te komen wordt een MER uitgevoerd, waarbij de effecten op de omgeving worden bekeken per locatie. Om deze effecten te kunnen analyseren is een geohydrologische modellering nodig.

Afbeelding 1.1 De 6 locatiealternatieven



1.2 Doel

Het doel van dit rapport is om ontwikkeling van het geohydrologische model toe te lichten. Hiervoor wordt achtergrondinformatie gegeven over het modelgebied en worden keuzes met betrekking tot de modellering toegelicht.

1.3 Leeswijzer

In dit achtergrondrapport wordt informatie gegeven over de ontwikkeling van een grondwatermodel voor de huidige situatie. Eerst wordt in hoofdstuk 2 de beschrijving van het gebied toegelicht. Deze vormt de input voor de grondwatermodellering, welke is toegelicht in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 worden de resultaten gepresenteerd van de betrouwbaarheids- en gevoeligheidsanalyse. Hierna volgt in hoofdstuk 5 de toelichting op de (aanvullende) modelkalibratie. Tot slot wordt in hoofdstuk 6 ingegaan op de rekenscenario's en de input voor het verziltingsmodel.

2

GEBIEDSBESCHRIJVING

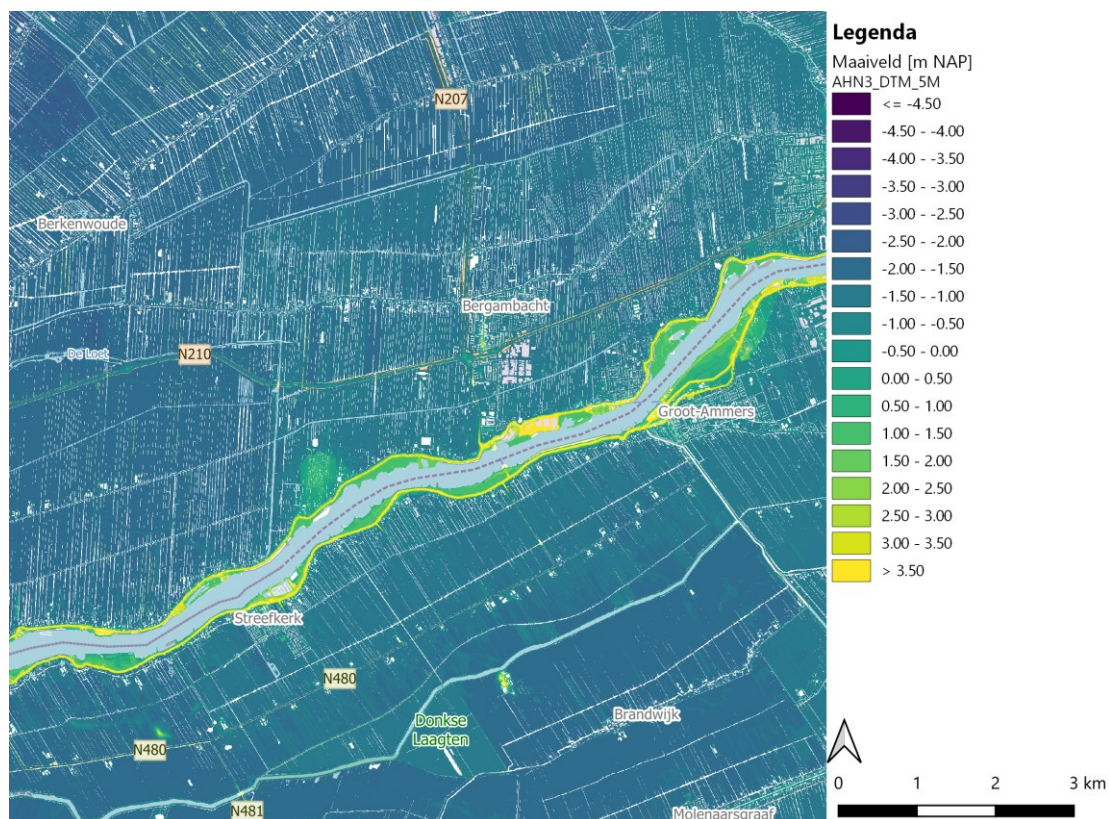
2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is inzicht gegeven in huidige regionale hydrogeologische situatie, waarbij de voorgestelde winveldlocaties meer in detail zijn uitgewerkt.

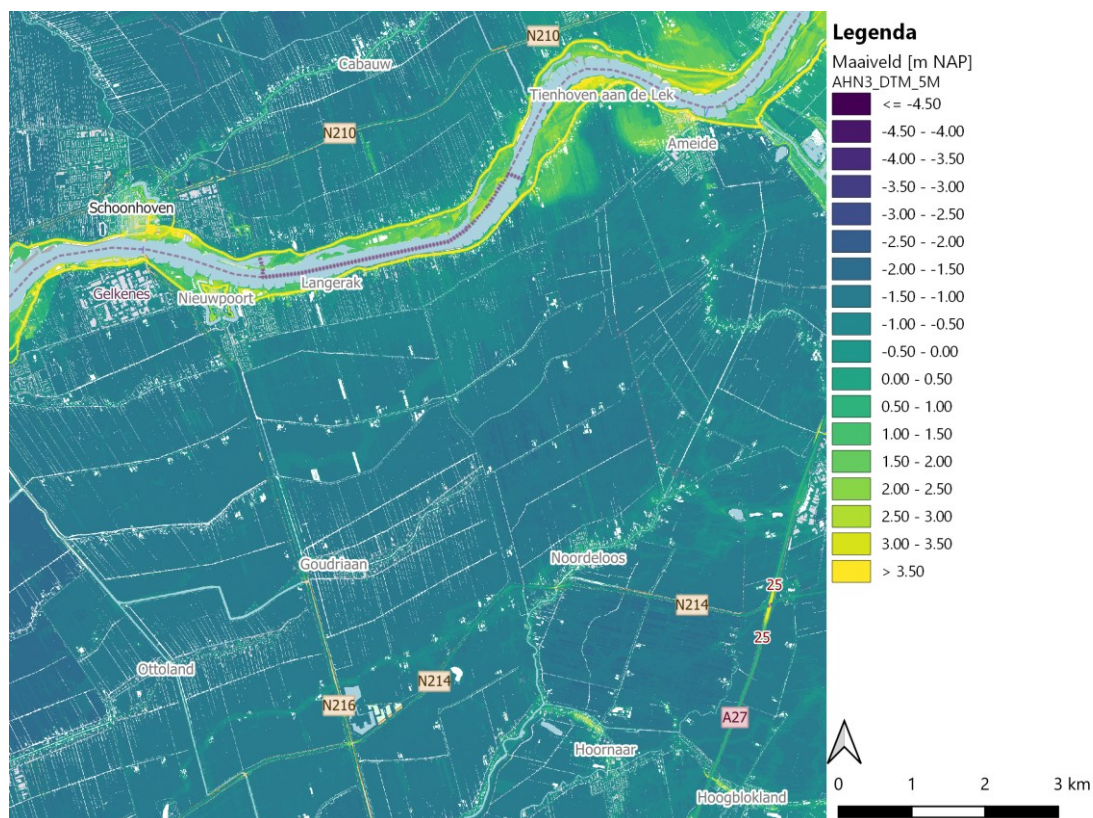
2.2 Maaiveld

De maaiveldhoogte in de omgeving van de putten is gegeven in afbeelding 2.1 en afbeelding 2.2. Over het algemeen is het maaiveld gelegen onder NAP. De dijken zijn hoger gelegen. Het maaiveld van de uiterwaarden is gelegen boven NAP.

Afbeelding 2.1 Maaiveldniveau rond Bergambacht [ref. 2]



Afbeelding 2.2 Maaiveld rondom winlocatie Waal [ref. 2]



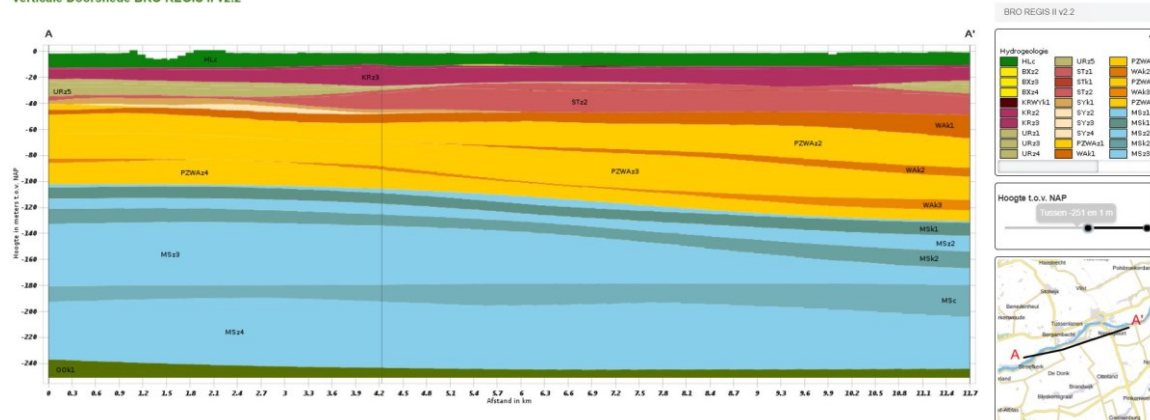
2.3 Bodemopbouw

In deze paragraaf wordt de regionale en de lokale bodemopbouw per beoogde winlocatie besproken.

Om inzicht te krijgen in de regionale bodemopbouw is REGIS geraadpleegd [ref. 13]. In afbeelding 2.3 is een profiel aangegeven tussen Streefkerk en Waal. In tabel 2.1 is de bodemopbouw en de hydrogeologische schematisatie samengevat.

Afbeelding 2.3 REGIS profiel Streefkerk - Waal

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



In het algemeen heeft het eerste watervoerend pakket, waar de onttrekking uiteindelijk plaats gaat vinden, een dikte van 30 tot 40 m.

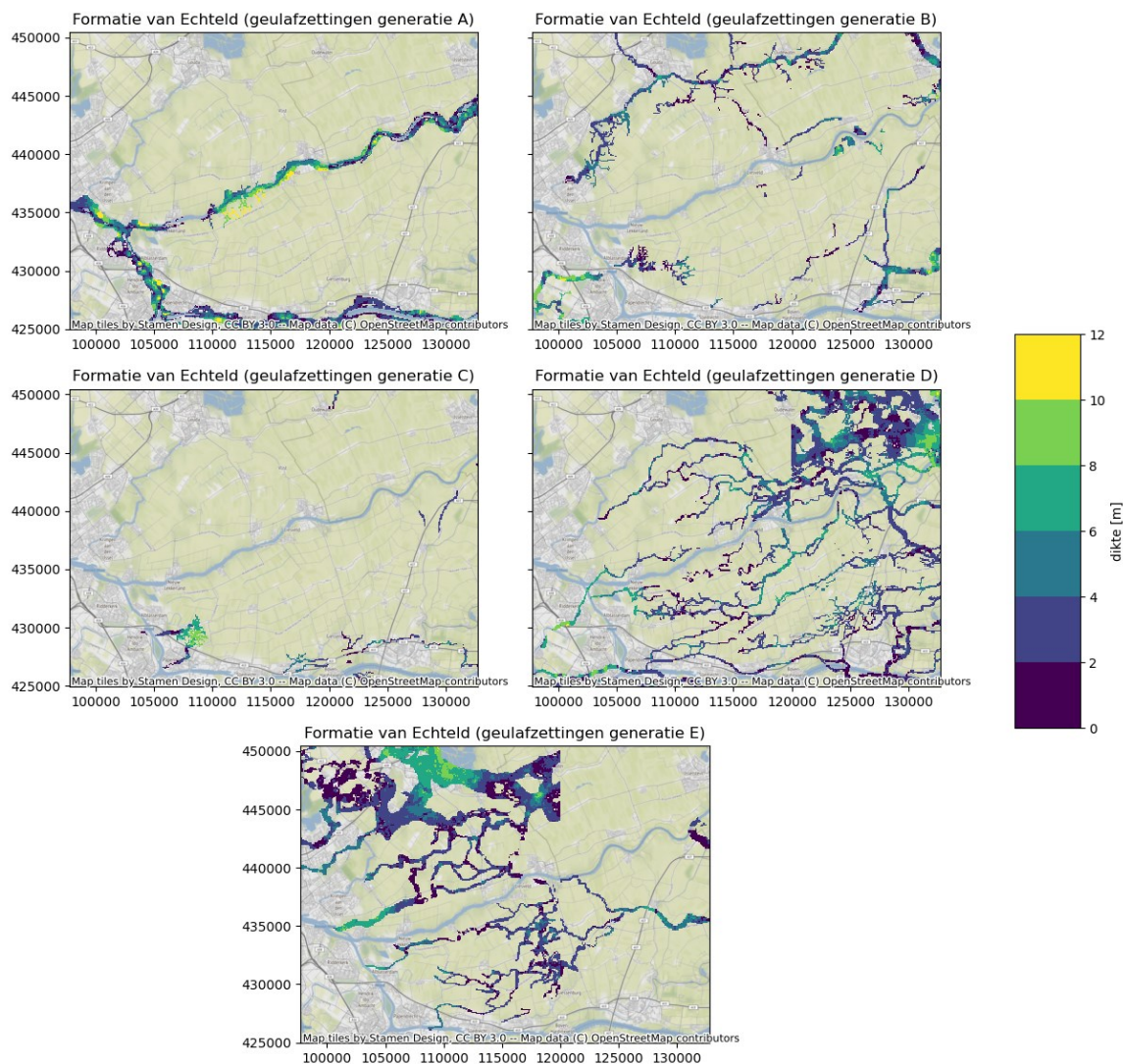
Tabel 2.1 Hydrogeologische schematisatie ondergrond

Formatie	Hydrogeologische schematisatie
holocene afzettingen	deklaag SDL1
formatie van Kreftenheye formatie van Boxtel formatie van Urk formatie van Sterksel formatie van Drenthe formatie van Stramproy formatie van Peize en formatie van Waalre, 1 ^e zandige eenheid	WVP 1
formatie van Waalre, 1 ^e kleiige eenheid	SDL 2
formatie van Peize en formatie van Waalre, 2 ^e zandige eenheid	WVP 2
formatie van Waalre, 2 ^e kleiige eenheid	SDL 3
formatie van Peize en formatie van Waalre, 3 ^e zandige eenheid	WVP 3
formatie van Waalre, 3 ^e kleiige eenheid	SDL 4
formatie van Peize en formatie van Waalre, 4 ^e zandige eenheid formatie van Maassluis, 1 ^e zandige eenheid	WVP 4
formatie van Maassluis, 1 ^e kleiige eenheid	SDL 5
formatie van Maassluis, 2 ^e zandige eenheid	WVP 5
formatie van Maassluis, 2 ^e kleiige eenheid	SDL 6
formatie van Maassluis, 3 ^e zandige eenheid	WVP 6
formatie van Maassluis, Complex	SDL 7, geohydrologische basis voor de grondwatermodellering in het basisgrondwatermodel

Daarnaast is de aanwezigheid van geulafzettingen in het projectgebied beschouwd. Deze zijn geïnventariseerd aan de hand van GeoTOP en zijn weergegeven in afbeelding 2.4. Hieruit volgt dat de meeste geulafzettingen in het projectgebied een dikte hebben tot ongeveer 6 m. Geulafzettingen van generatie A zijn over het algemeen dikker en liggen dicht bij de Lek. De dikte hiervan loopt op tot 12 m. Deze geulafzettingen zijn aanwezig in de deklaag en zorgen voor lokale vermindering van de weerstand van de deklaag.

In bijlage i is een gedetailleerde analyse van de bodemopbouw per winlocatie opgenomen.

Afbeelding 2.4 Dikte van geulafzettingen uit GeoTOP



In bijlage i is de lokale bodemopbouw nabij de te analyseren puttenvelden in detail uitgewerkt. In bijlage ii zijn boorprofielen per locatie opgenomen.

2.4 Oppervlaktewater

In het projectgebied zijn verschillende soorten oppervlaktewater aanwezig. Allereerst is er de Lek. Daarnaast is er het peilgestuurde oppervlaktewater in de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard. In deze paragraaf wordt ingegaan op deze verschillende oppervlaktewateren.

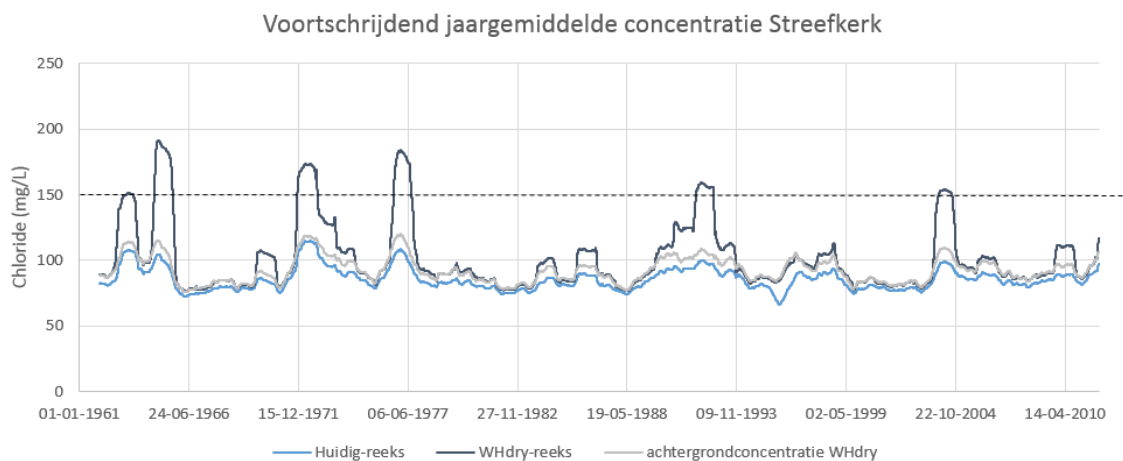
2.4.1 Lek

De Lek heeft een peil dat relatief veel fluctueert. Het peil in de Lek is ook afhankelijk van getijde-invloeden. Door deze getijde-invloeden kan het peil in een dag met meer dan 1 meter variëren. Onder normale omstandigheden ligt het peil in de Lek bij Schoonhoven tussen NAP -0,7 m en NAP +2,0 m.

Chloridegehalte

De chlorideconcentratie in de Lek is voor de locatie Streefkerk weergegeven in afbeelding 4.7. Oostelijk van Streefkerk wordt in de Lek een lagere concentratie verwacht, aangezien dat verder van de Noordzee af ligt. Op basis hiervan is de chlorideconcentratie in de Lek binnen het projectgebied gemiddeld ongeveer 70 mg/L.

Afbeelding 2.5 Voortschrijdend jaargemiddelde concentratie Streefkerk [ref. 8]



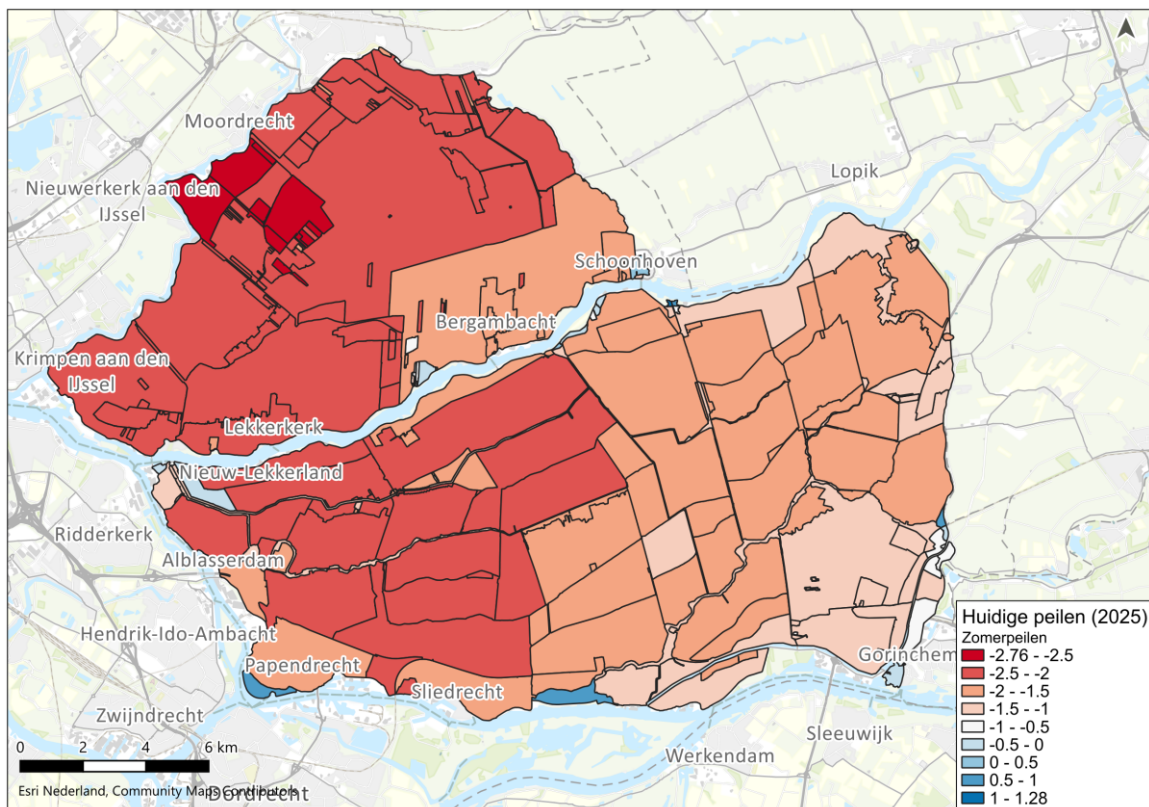
2.4.2 Waterpeilen

De mogelijke winvelden liggen in het beheergebied van 2 waterschappen:

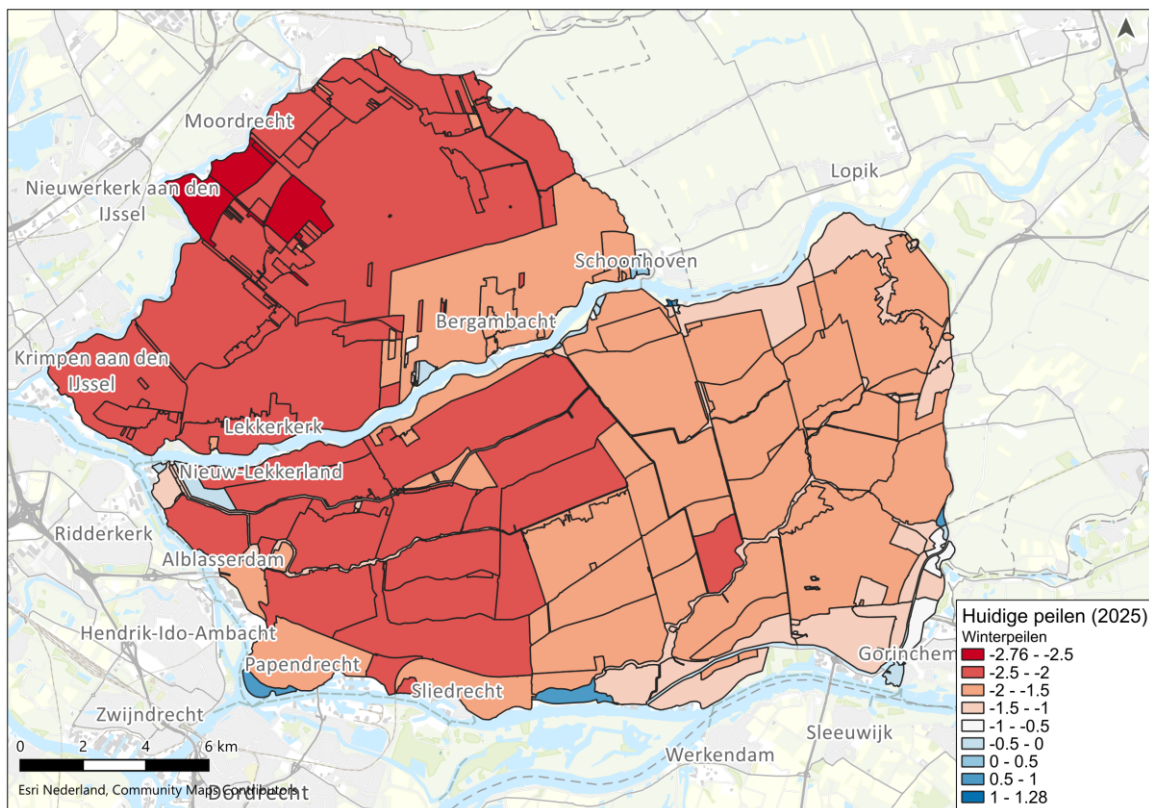
- het oppervlaktewater in de Alblasserwaard wordt beheerd door waterschap Rivierenland. De oppervlaktewaterpeilen zijn vastgesteld middels een peilbesluit in 2023 [ref. 14];
- het oppervlaktewater in de Krimpenerwaard valt onder hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. De oppervlaktewaterpeilen zijn vastgesteld middels een peilbesluit in 2021 [ref. 7].

afbeelding 2.6 toont de peilen voor de zomersituatie in de Alblasserwaard en Krimpenerwaard en afbeelding 2.7 toont de peilen voor de wintersituatie. In de Krimpenerwaard en het westen van de Alblasserwaard zijn de zomerpeilen relatief laag ten opzichte van het oosten van de Alblasserwaard.

Afbeelding 2.6 Huidige peilen in de zomersituatie, waardes zijn gegeven in meter NAP [ref. 7, 14]



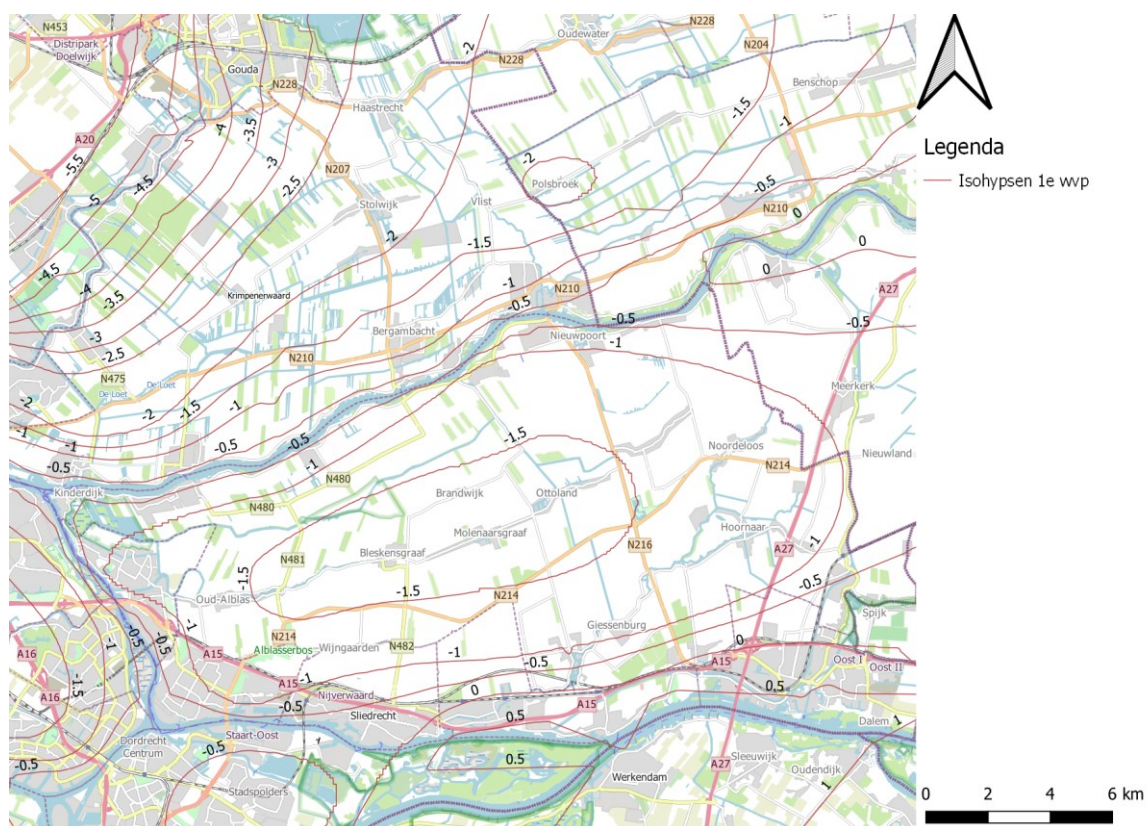
Afbeelding 2.7 Huidige peilen in de wintersituatie, waardes zijn gegeven in meter NAP [ref. 7, 14]



2.5 Grondwater

Voor een eerste beeld van de grondwaterstroming in het modelgebied wordt gekeken naar de isohypsen van 28 april 1995 [ref. 12]. Dit geeft een indicatie van de grondwaterstroming. Hieruit blijkt dat de grondwaterstroming in het eerste watervoerend pakket in het modelgebied loopt vanaf de Lek richting het binnendijkse gebied, zoals is weergegeven in afbeelding 2.8. De gradiënt van de grondwaterstroming naar het zuiden is daarbij wat minder dan die naar het noorden, door de lage stijghoogtes in het noordwesten.

Afbeelding 2.8 Regionaal beeld stijghoogte in het eerste watervoerend pakket [ref. 12]



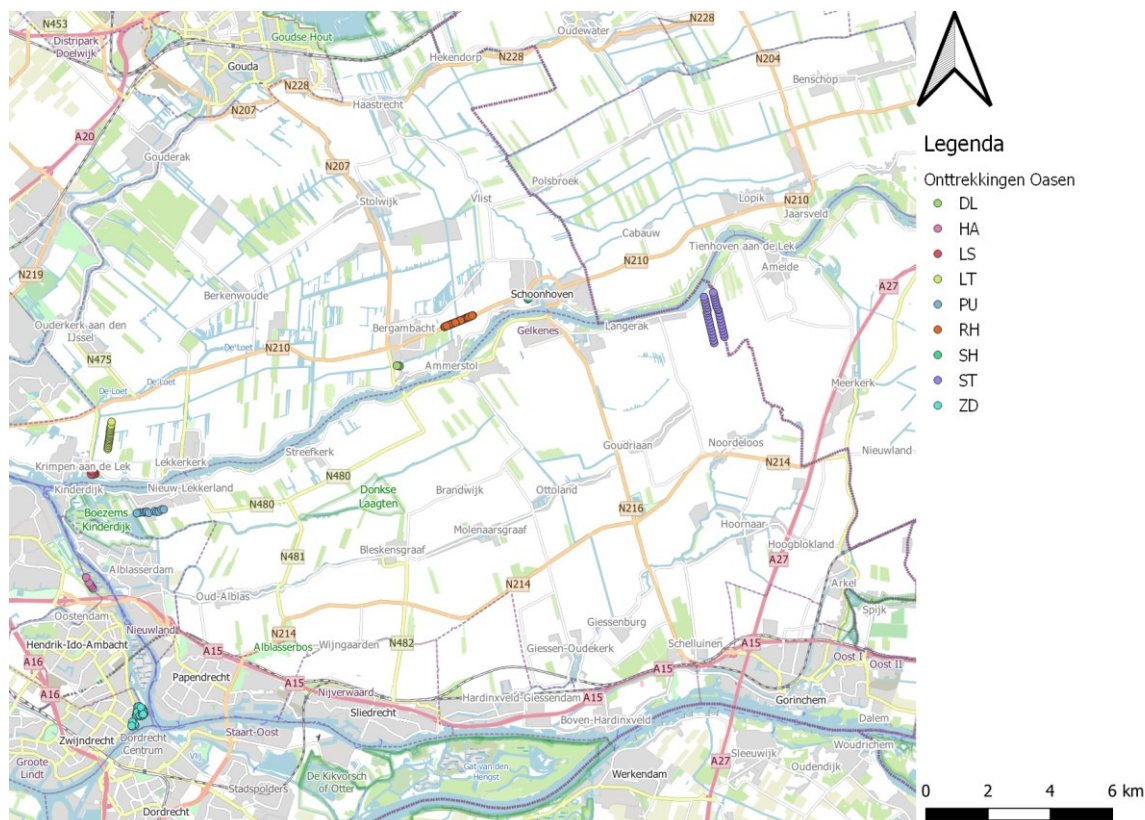
2.5.1 Onttrekkingen

In en nabij het modelgebied is een aantal onttrekkingen voor drinkwater aanwezig. De locaties zijn weergegeven in afbeelding 2.9. Deze hebben invloed op de lokale grondwaterstroming. Voor het huidige onderzoek zijn de belangrijkste onttrekkingen:

- Tiendwacht en Schuwacht (LT);
- Rodenhuis (RH);
- De Steeg (ST);
- De Put (PU).

De meeste van deze onttrekkingen vinden plaats in het eerste watervoerend pakket. Een uitzondering hierop is de onttrekking bij De Steeg. Bij deze winning wordt ook water onttrokken uit het tweede watervoerend pakket.

Abbeelding 2.9 Huidige onttrekkingen van Oasen in het modelgebied



2.5.2 Grondwaterstanden

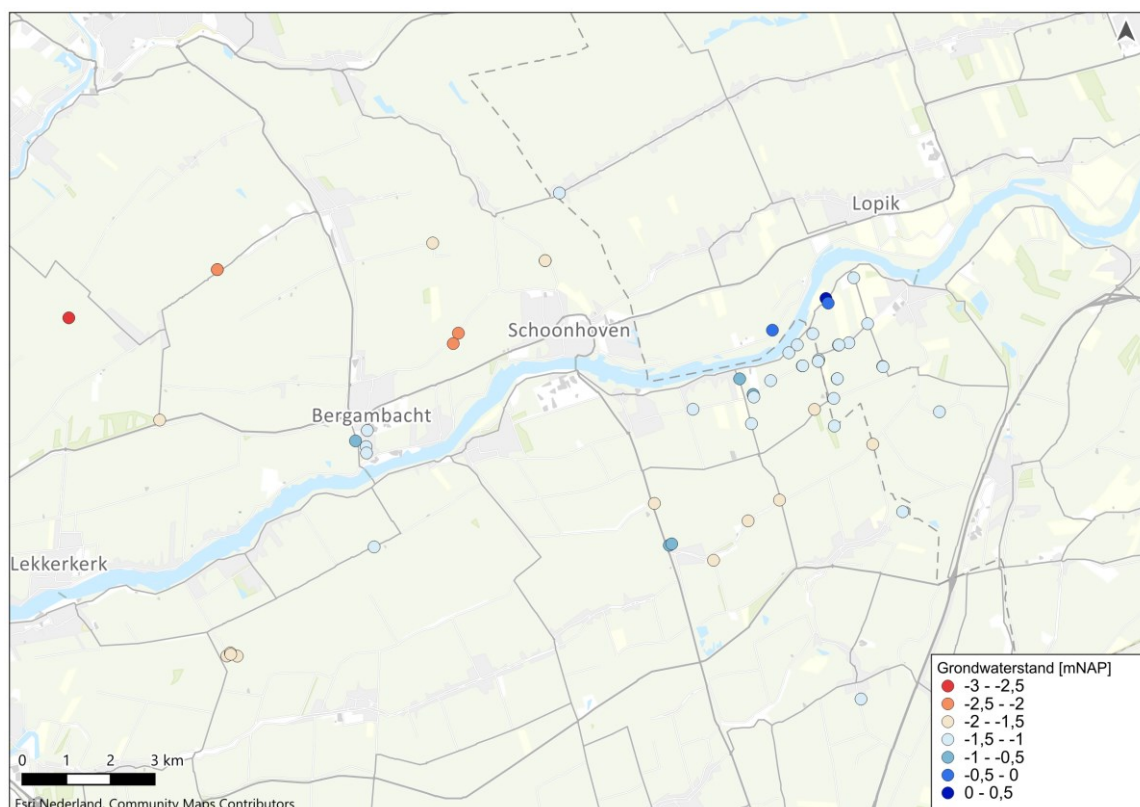
Een overzicht van grondwaterstandsmetingen ten opzichte van NAP uit Dinoloket is weergegeven in afbeelding 2.10, afbeelding 2.12, en afbeelding 2.13. In afbeelding 2.11 zijn de grondwaterstanden weergegeven ten opzichte van maaiveld. Hierbij is gekeken naar metingen vanaf 2005. Om een reeks te hebben die lang genoeg is zijn de peilbuizen daarnaast gefilterd op de eind en de startperiode van de metingen. Peilbuizen waar de metingen zijn begonnen na 2012 en metingen die zijn beëindigd voor 2010 zijn daarom niet meegenomen. Er zijn in het totaal 157 peilbuizen die hieraan voldoen.

Uit de metingen van deze peilbuizen volgt dat de grondwaterstand en stijghoogte het hoogst is in het oosten van het modelgebied en nabij de Lek. Deze neemt af richting het westen. Dit komt overeen met de eerder weergegeven stijghoogtes.

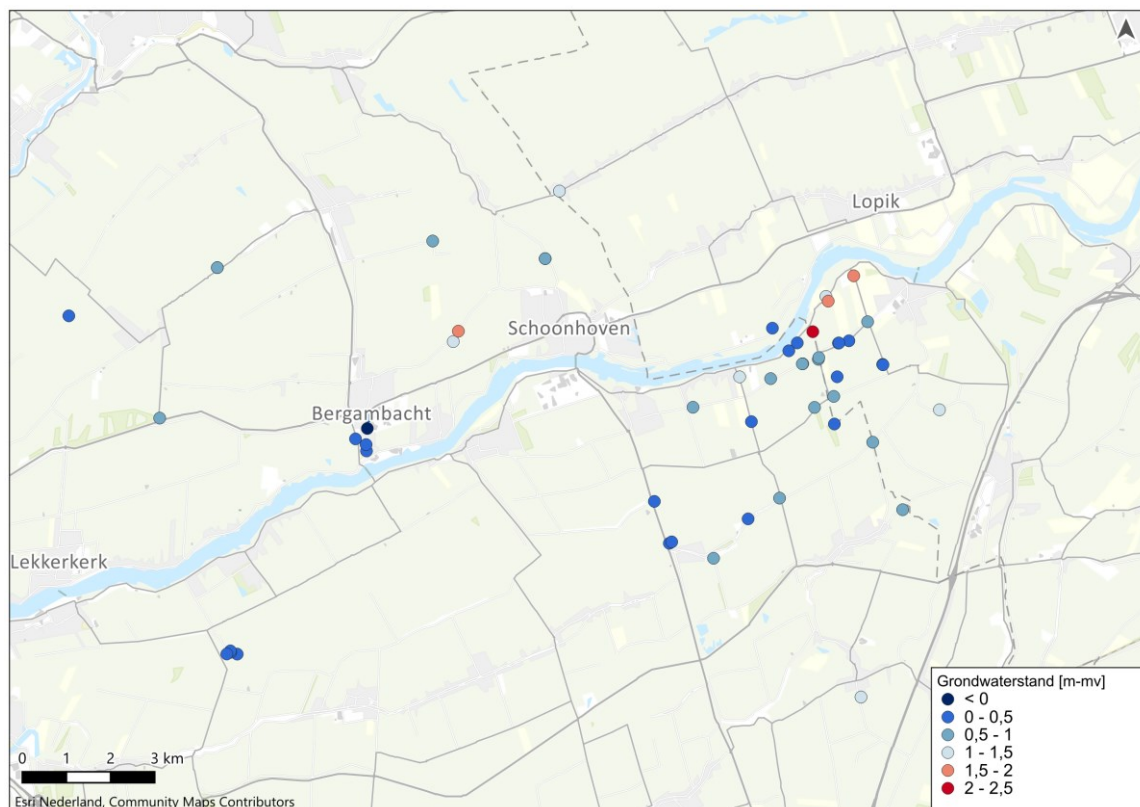
Uit de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld (afbeelding 2.11) is te zien dat de grondwaterstanden over het algemeen relatief ondiep zijn, namelijk tussen 0 en 1 meter onder maaiveld. Op een aantal locaties is de grondwaterstand dieper dan 1 meter onder maaiveld, zoals langs de Lek bij Tienhoven en ten westen van Schoonhoven.

De onttrekkingen in het gebied zijn zichtbaar in de stijghoogtes. Ten oosten van Bergambacht, bij winlocatie Rodenhuis, is een duidelijke verlaging van de stijghoogte te zien in het eerste watervoerend pakket. Ook bij winlocatie De Steeg, ten oosten van Waal, is in het eerste en tweede watervoerend pakket een lagere grondwaterstand gemeten dan in de omgeving.

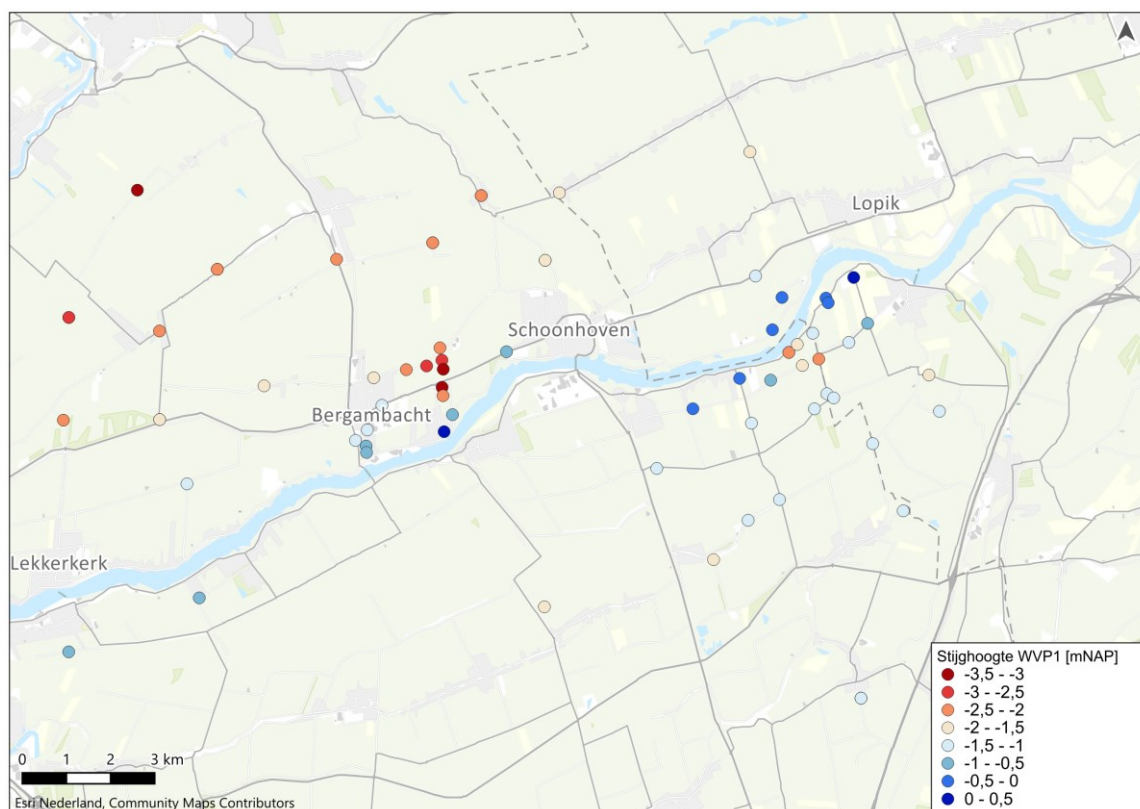
Afbeelding 2.10 Metingen van freatische grondwaterstanden uit Dinoloket. Gemiddelde waarden zijn weergegeven t.o.v. NAP



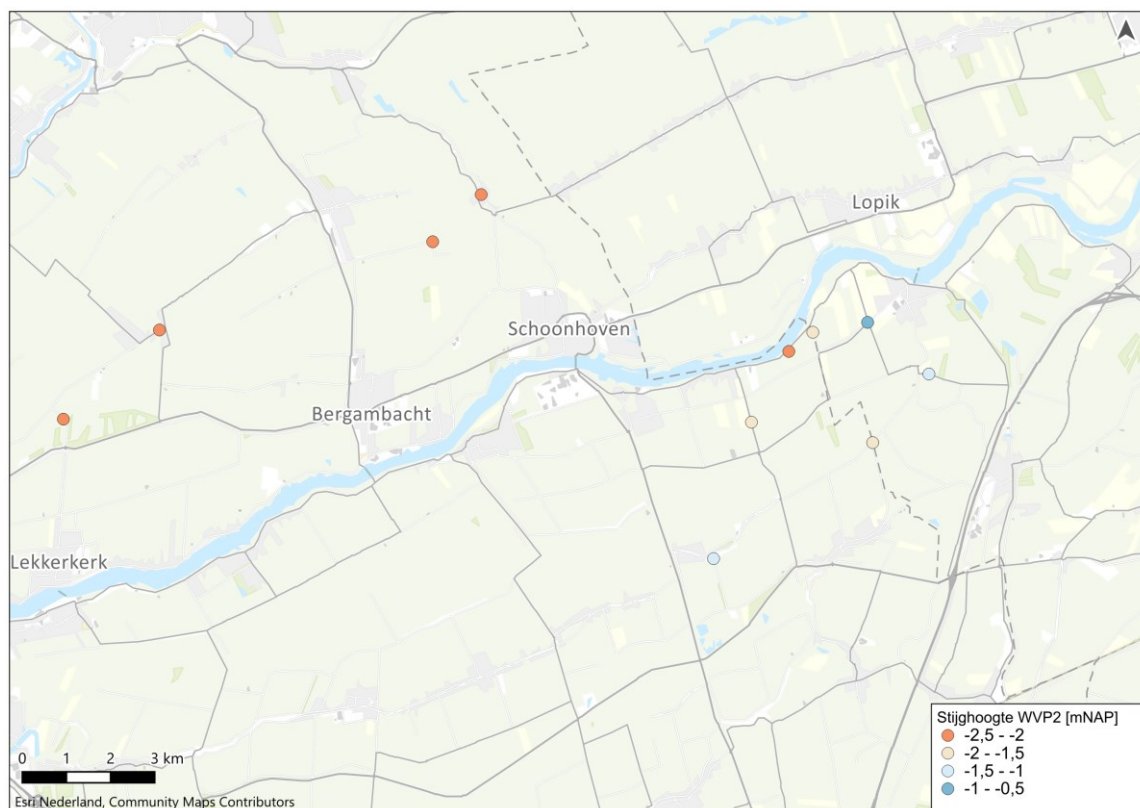
Afbeelding 2.11 Metingen van freatische grondwaterstanden uit Dinoloket. Gemiddelde waarden zijn weergegeven t.o.v. maaiveld



Afbeelding 2.12 Metingen van stijghoogte in het 1^e watervoerend pakket uit Dinoloket. Gemiddelde waarden zijn weergegeven t.o.v. NAP



Afbeelding 2.13 Metingen van stijghoogte in het 2^e watervoerend pakket uit Dinoloket. Gemiddelde waarden zijn weergegeven t.o.v. NAP

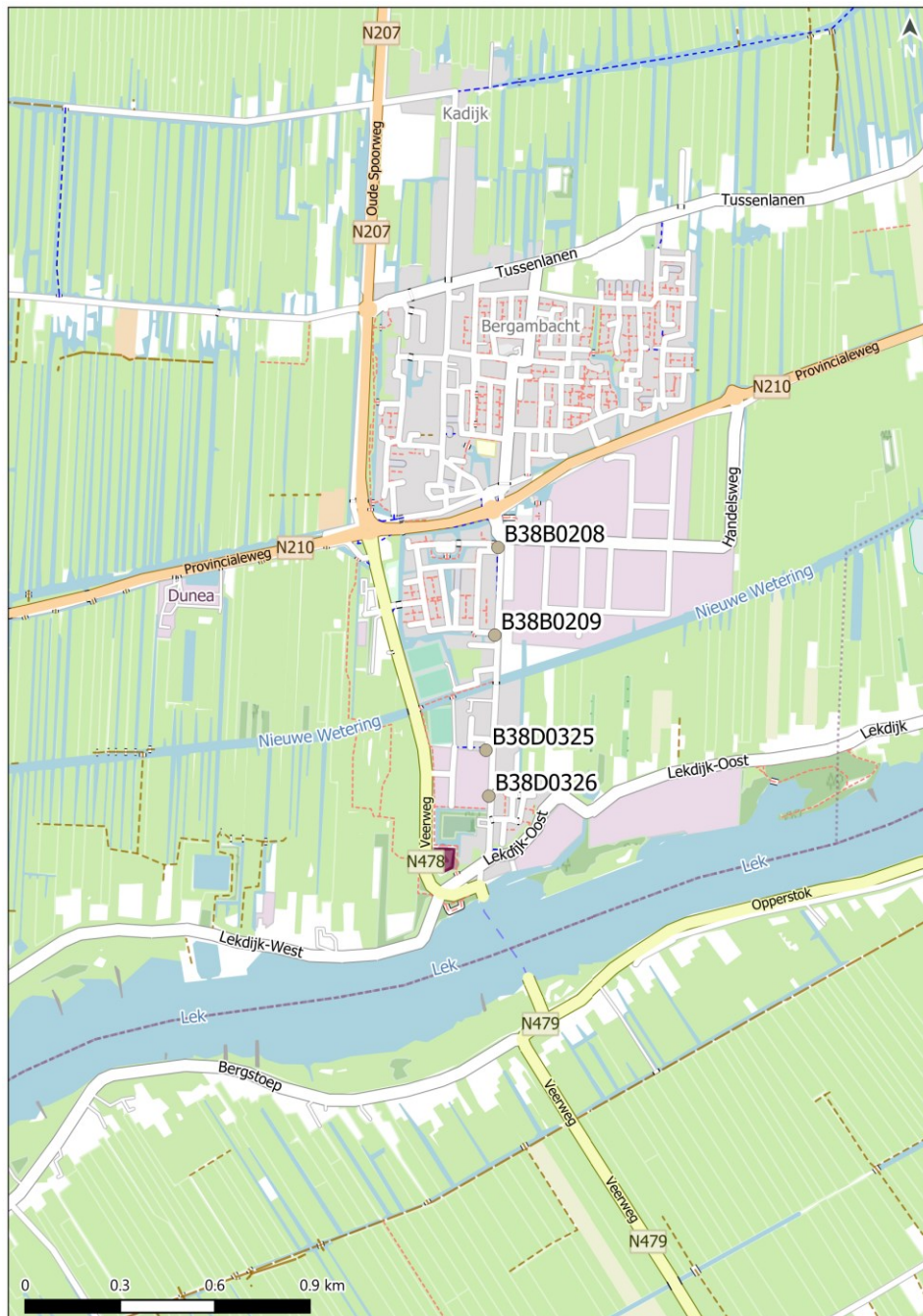


2.5.3 Interactie Lekpeil en grondwaterstanden

De grondwaterstanden en stijghoogte in de directe omgeving van de Lek, staan onder andere onder invloed van de Lekpeilen.

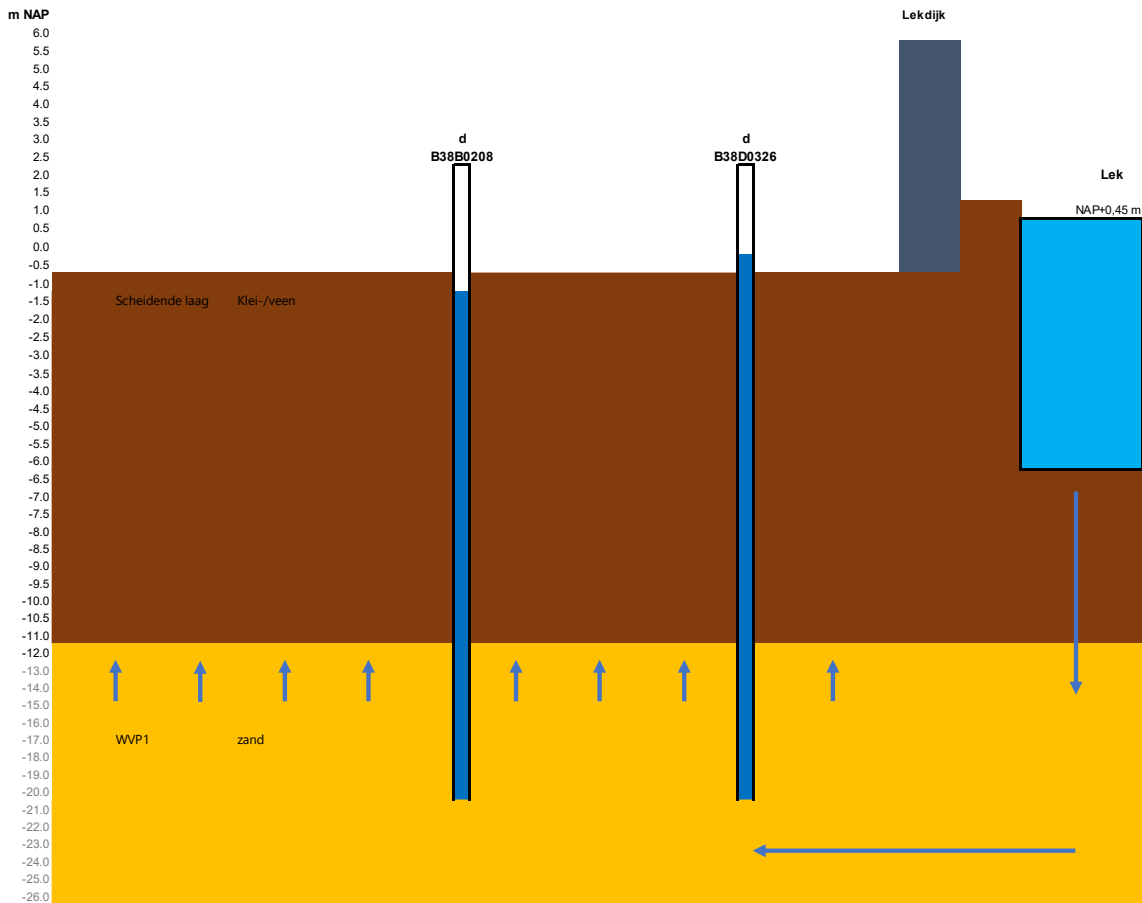
Voor het bepalen van de invloed van de Lek op de grondwaterstand en de stijghoogte is gekeken naar 4 peilbuizen die in een lijn loodrecht op de rivier staan. Deze peilbuizen staan bij Bergambacht en de locatie is weergegeven in afbeelding 2.14. Op deze locatie staan peilbuizen met filters zowel in de deklaag als in het watervoerend pakket.

Afbeelding 2.14 Locatie van de 4 peilbuizen die zijn geanalyseerd

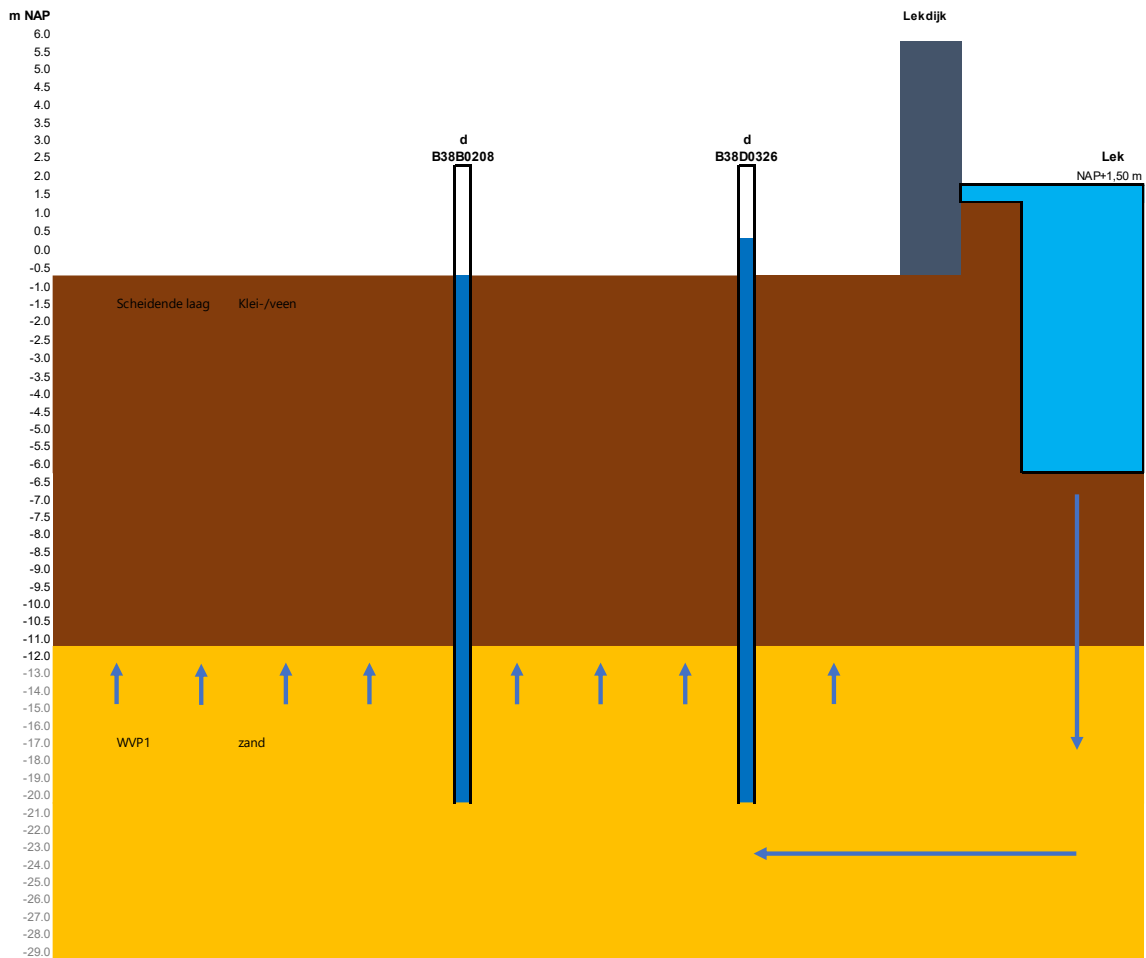


In afbeelding 2.15 is de interactie tussen de Lek en het grondwatersysteem schematisch weergegeven. De Lek heeft een infiltrerende werking en binnendijks doet zich een kwelsituatie voor. De hoogwatersituatie is schematisch weergegeven in afbeelding 2.16. Tijdens deze situatie neemt de stijghoogte in het achterland toe. Tijdens een laagwater situatie, welke schematisch is weergegeven in afbeelding 2.17, neemt het verhang in het achterland af.

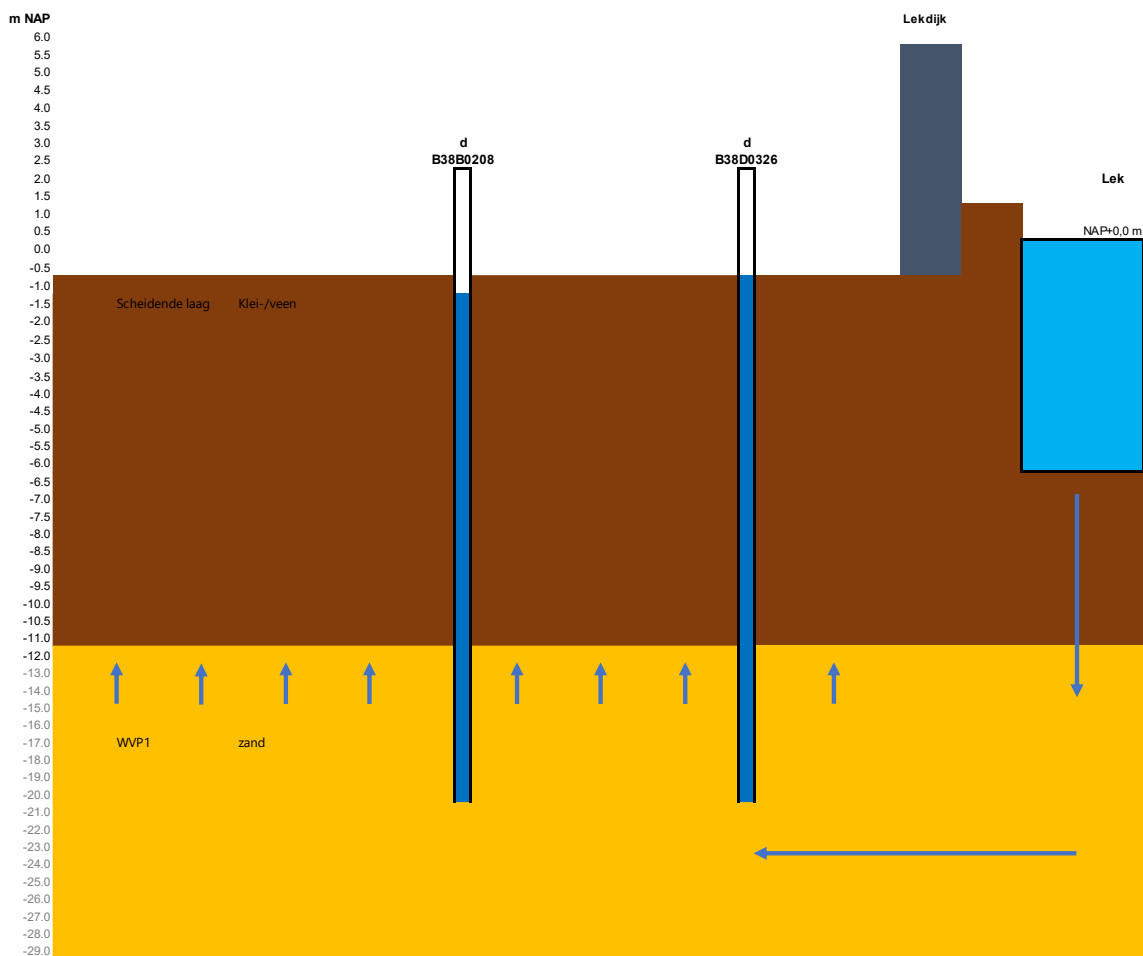
Afbeelding 2.15 Schematische weergave interactie Lek - grondwatersysteem tijdens een gemiddelde situatie



Afbeelding 2.16 Schematische weergave interactie Lek - grondwatersysteem tijdens een hoogwatersituatie



Afbeelding 2.17 Schematische weergave interactie Lek - grondwatersysteem tijdens een laagwater situatie

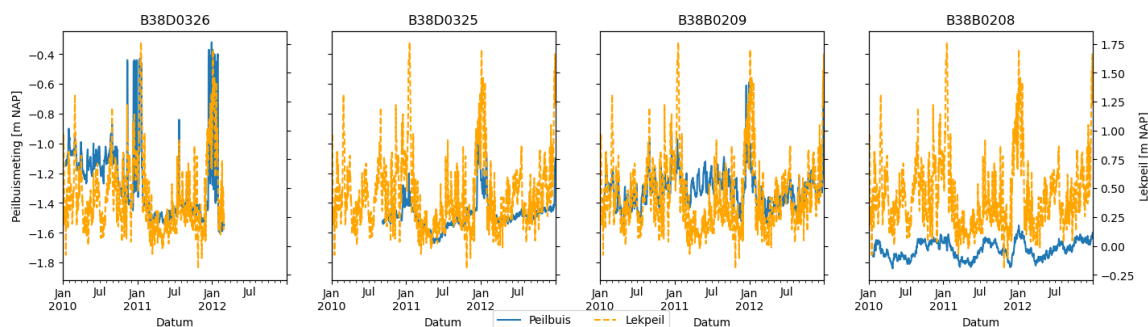


Voor de peilbuizen is gekeken naar het effect van het Lekpeil op de grondwaterstanden. In afbeelding 2.18 is de freatische grondwaterstand weergegeven. Naarmate de afstand tot de Lek afneemt, neemt ook over het algemeen de freatische grondwaterstand af. Ook zijn de reacties op veranderingen in het Lekpeil minder goed zichtbaar (met de afstand toenemende demping). Een verandering die bij de peilbuis het dichtst bij de Lek voor een stijging zorgt van bijna een meter, zorgt in de peilbuis het verst weg nog maar voor een verandering van 20 cm

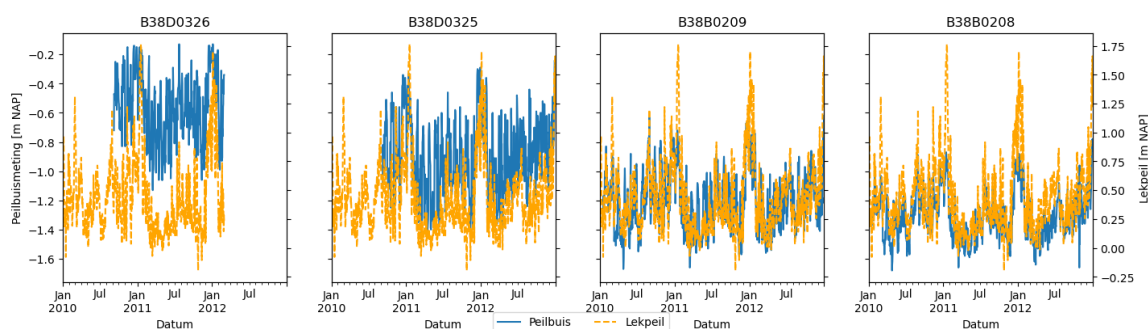
Bij de stijghoogte is een vergelijkbaar patroon te zien, welke is weergegeven in afbeelding 2.19. Hierin is duidelijk een afname van de stijghoogte te zien naarmate de afstand naar de Lek groter wordt. Daarnaast neemt ook de grootte van het effect van een verandering in de Lek af met een toenemende afstand. Wel is een reactie nog steeds waarneembaar.

Dit duidt erop dat de Lek over een groot gebied een invloed heeft op het grondwatersysteem rondom de Lek. Het effect hiervan is het grootst in gebieden die dicht bij de Lek liggen en neemt af naarmate de afstand tot de Lek toeneemt.

Abbeelding 2.18 Freatische grondwaterstand in de peilbuis en het Lekpeil bij Schoonhoven



Abbeelding 2.19 Stijghoogte in de peilbuis en het Lekpeil bij Schoonhoven



2.5.4 Grondwaterkwaliteit

Als indicatie van de grondwaterkwaliteit is de chlorideconcentratie in het grondwater nader beschouwd. De gemeten chlorideconcentraties in het eerste watervoerend pakket zijn weergegeven in afbeelding 2.20. Afbeeldingen van dieper gelegen watervoerende pakketten zijn weergegeven in bijlage III.

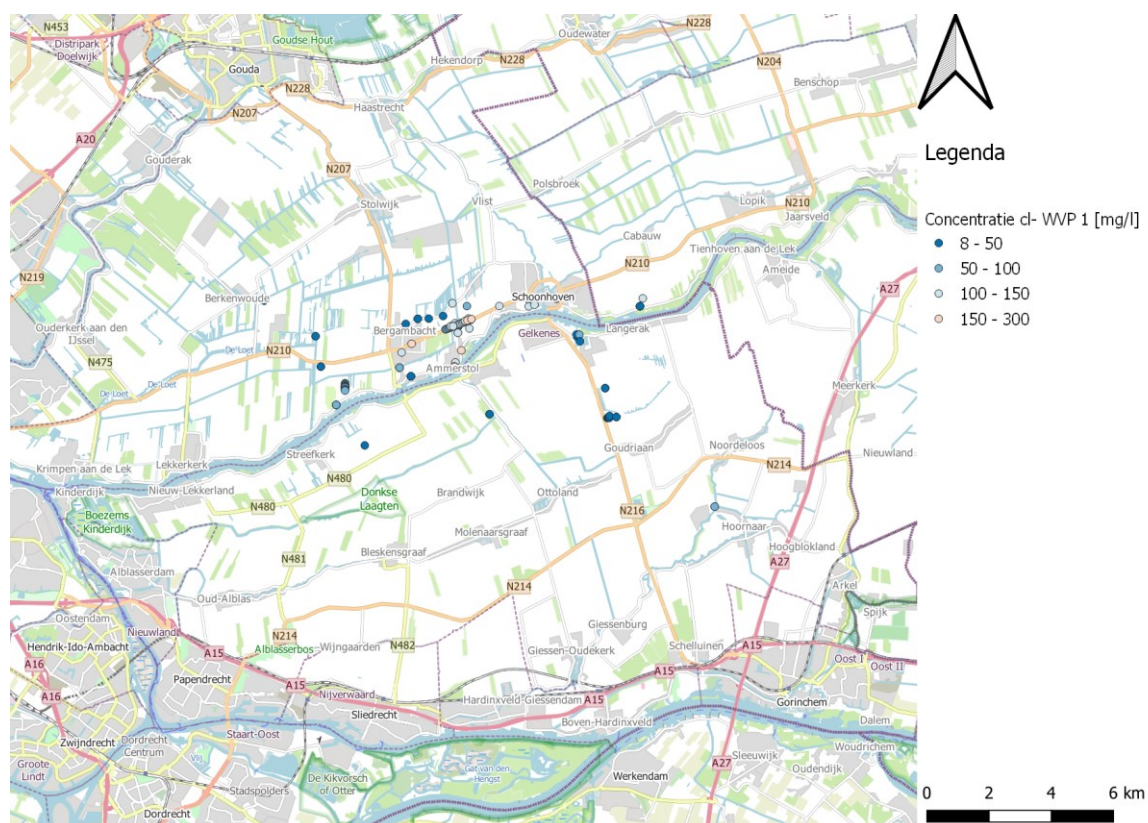
Hieruit volgt dat in het eerste watervoerend pakket de chloride concentratie ten oosten van Bergambacht, nabij Ammerstol, relatief hoog is ten opzichte van de concentraties die elders in het modelgebied zijn gemeten. Concentraties hoger dan 150 mg per liter komen hier voor.

Metingen ten westen van puttenveld Waal laten een lagere chloride concentratie zien, voor zowel diepe als ondiepe metingen. De concentratie chloride neemt wel toe naarmate de diepte toeneemt. Deze metingen zijn gedaan langs de Nieuwpoortseweg. De concentratie voor metingen in het eerste watervoerend pakket ligt hier onder de 50 mg per liter.

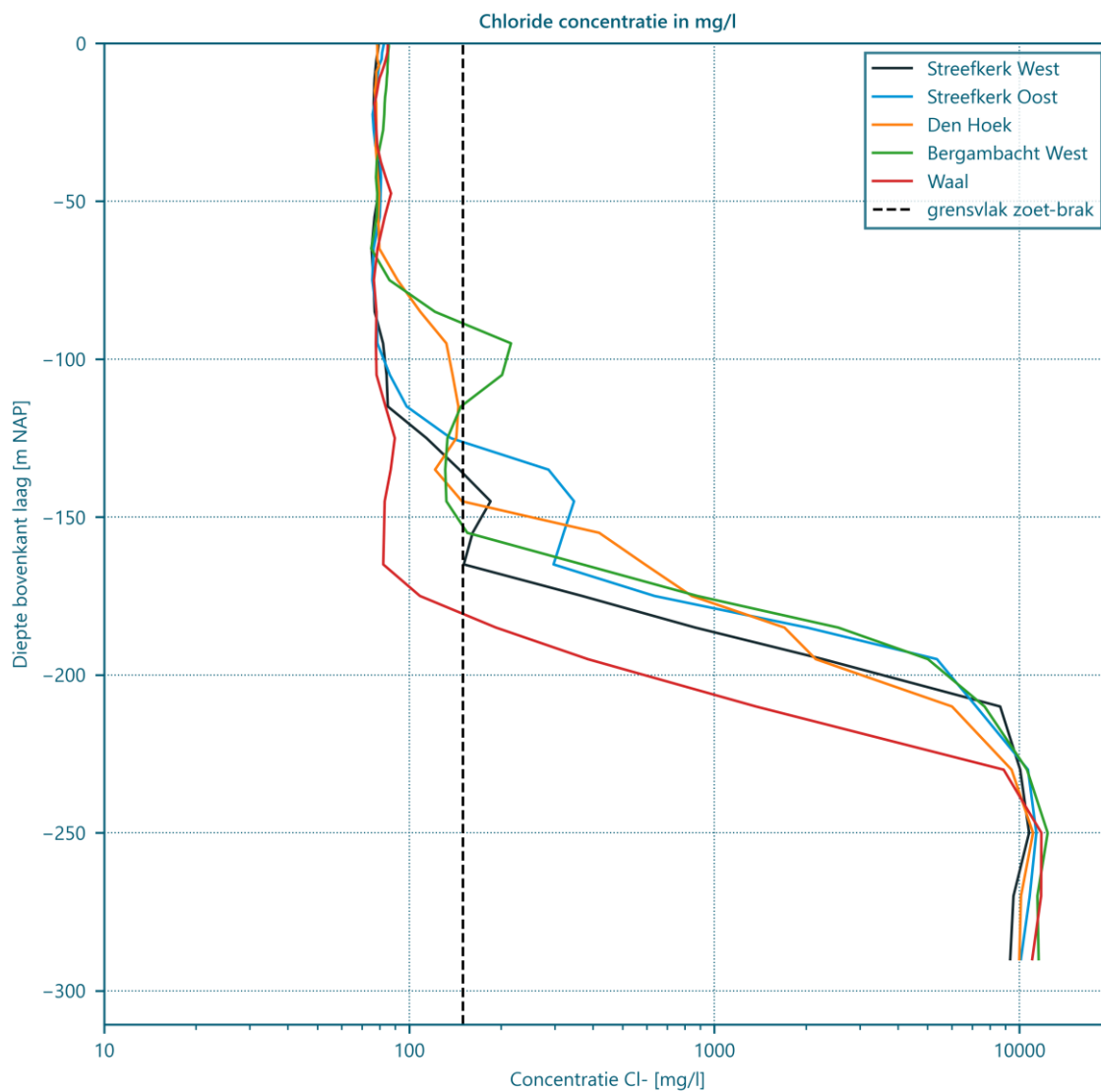
Nabij recreatiegebied de Kwakels, ten noordoosten van puttenveld Den Hoek, zijn de concentraties ook redelijk laag (tussen de 50 en 100 mg/l) en nemen toe met de diepte. Op een diepte van NAP -95 m is hier een concentratie van 572 mg/l gemeten.

Voor elke locatie is ook het verloop van de chlorideconcentratie over de diepte volgens het NHI geanalyseerd. Dit verloop is voor alle locaties weergegeven in afbeelding 2.21. Hieruit volgt dat in de meeste gevallen de overgang van zoet naar brak water (150 mg per liter) tussen NAP -100 m en NAP -150 m plaatsvindt. Op grotere dieptes neemt de concentratie snel toe.

Afbeelding 2.20 Gemeten chlorideconcentraties in het eerste watervoerend pakket in het modelgebied. Indien meerdere metingen zijn gedaan, is de gemiddelde waarde weergegeven



Afbeelding 2.21 Chloride concentratie over diepte voor de verschillende locaties [ref. 6]



3

GRONDWATERMODELLERING

3.1 Uitgangspunten

Vanuit Oasen is een gekalibreerd regionaal modelinstrumentarium aangeleverd [ref. 1]. Het model-instrumentarium is gebaseerd op Modflow 6 en is opgebouwd met behulp van flopy [ref. 3].

Het aangeleverde model is een stationair model dat de gemiddelde situatie benadert. Het door Oasen aangeleverde model is geanalyseerd op geschiktheid voor de benodigde berekeningen en zo nodig aangepast, waarbij tevens een stationair GHG- en GLG-model zijn ontwikkeld. Na deze aanpassingen is een aanvullende kalibratie uitgevoerd.

GHG- en GLG-model

Naast een model voor de gemiddelde situatie, worden 2 aanvullende stationaire modellen doorgerekend, die de GHG-situatie en de GLG-situatie nabootsen. Ten opzichte van de gemiddelde situatie worden hierin de gebruikte waterpeilen en de grondwateraanvulling aangepast.

Modellering MER fase 1 en fase 2

Het MER is opgedeeld in 2 fases. Fase 1 bestaat uit het locatiekeuzeonderzoek. In fase 2 wordt de voorkeurslocatie verder uitgewerkt.

Voor fase 1 van het MER wordt gebruik gemaakt van bestaande en beschikbare gegevens. Het gaat hier onder andere om gegevens van de ondergrond, zoals grondwaterstandsmetingen en boringen. Het grondwatermodel wordt op basis van deze gegevens opgesteld en gekalibreerd.

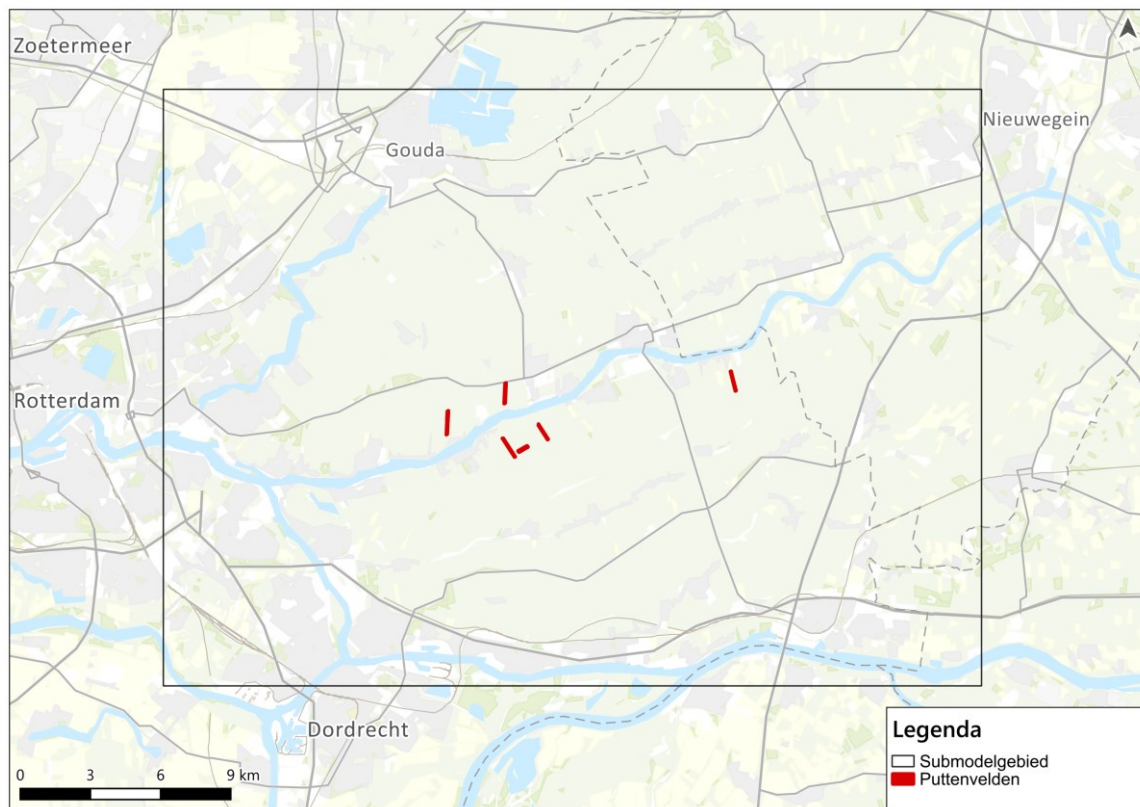
Voor het onderzoek naar de voorkeurslocatie (MER fase 2) is het waarschijnlijk dat er aanvullende (veld)onderzoeken worden uitgevoerd, zoals onderzoek naar de grondopbouw en waterkwaliteit. Deze informatie kan aanleiding geven om het grondwatermodel te optimaliseren. In fase 2 wordt beoordeeld of het noodzakelijk is om instationaire berekeningen met het grondwatermodel uit te voeren.

3.2 Modelschematisatie

3.2.1 Modelgebied

Het aangeleverde regionale model heeft een afmeting van ongeveer 50 bij 30 km. Aan de hand van indicatieve berekeningen van de beoogde winningen met het regionale model is een modelgebied bepaald voor het grondwatermodel. Dit model is kleiner dan het regionale model, maar is voldoende groot om de effecten van de beoogde winningen door te kunnen rekenen, zonder dat de effecten beïnvloed worden door de modelranden. Het modelgebied met de locatie van de winvelden is weergegeven in afbeelding 3.1. De ligging van de winvelden zijn belangrijk voor de schematisatie en discretisatie van het model.

Abbeelding 3.1 Modelgebied met ligging puttenvelden



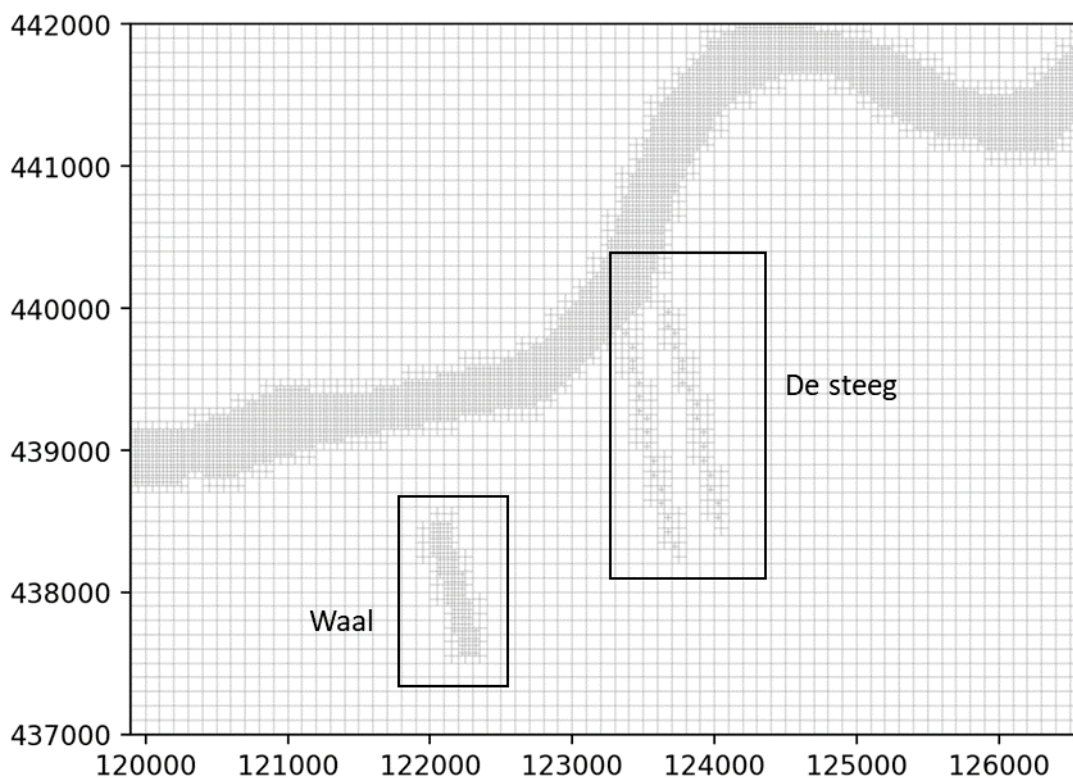
De resolutie van het model is 100 bij 100 m, met een verfijning tot 25 bij 25 m rondom de te onderzoeken winvelden en langs de Lek.

Het doel van het verfijnen van het grid nabij de te onderzoeken winlocaties is tweeledig. Enerzijds dienen de putten individueel in het model te worden ingebracht (om bijvoorbeeld het intrekgebied en de verblijftijden voldoende nauwkeurig te kunnen berekenen). Ten tweede kunnen zo de effecten van de winningen op stijghoogten en grondwaterstanden in de directe omgeving voldoende nauwkeurig berekend worden.

Er is gekozen om ter hoogte van de beoogde winlocaties een gridverfijning van 25 bij 25 door te voeren, dit is fijn genoeg om effecten en verblijftijden voldoende nauwkeurig te berekenen. Bij deze celgrootte kunnen putten individueel worden ingebracht. Daarnaast sluit deze verfijning aan bij de gebruikte invoerdata. Een verdere verfijning is technisch mogelijk, maar omdat invoergegevens niet beschikbaar zijn op een fijnere schaal, levert dit geen verbetering van de resultaten op. Daarnaast sluit deze gridgrootte aan bij de verfijning die is toegepast bij de huidige winningen in het regionale model en bij de studie die is uitgevoerd bij drinkwaterwinning De Put voor de aanpassing van het winveld [ref. 15].

Een voorbeeld hoe het grid rondom beoogde winlocatie Waal en bestaande winlocatie De Steeg is gemodelleerd, is weergegeven in afbeelding 3.2.

Afbeelding 3.2 Grid rondom puttenvelden Waal en De Steeg en bij de Lek



3.2.2 Bodemschematisatie

De ondergrond is in het model geschematiseerd middels 12 modellagen, op basis van 6 watervoerende pakketten en 6 slecht doorlatende lagen. Deze lagen zijn gebaseerd op de lagen uit REGIS, zoals besproken in paragraaf 2.3. De meeste modellagen bevatten 1 laag uit REGIS, met uitzondering van het eerste watervoerend pakket en het vierde watervoerend pakket. De opbouw van de lagen in het model is weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Overzicht van de lagen uit REGIS in elke modellaag van het modelinstrumentarium

Laag modelinstrumentarium	Geohydrologische benaming	Formatie
1	SDL 1	Holoceen
2	WVP 1	formatie van Kreftenheye formatie van Boxtel formatie van Urk formatie van Sterksel formatie van Drenthe formatie van Stramproy formatie van Peize en formatie van Waalre, 1 ^e zandige eenheid
3	SDL 2	formatie van Waalre, 1 ^e kleiige eenheid
4	WVP 2	formatie van Peize en formatie van Waalre, 2 ^e zandige eenheid
5	SDL 3	formatie van Waalre, 2 ^e kleiige eenheid
6	WVP 3	formatie van Peize en formatie van Waalre, 3 ^e zandige eenheid

Laag modelinstrumentarium	Geohydrologische benaming	Formatie
7	SDL 4	formatie van Waalre, 3 ^e kleiige eenheid
8	WVP 4	formatie van Peize en formatie van Waalre, 4 ^e zandige eenheid formatie van Maassluis, 1 ^e zandige eenheid
9	SDL 5	formatie van Maassluis, 1 ^e kleiige eenheid
10	WVP 5	formatie van Maassluis, 2 ^e zandige eenheid
11	SDL 6	formatie van Maassluis, 2 ^e kleiige eenheid
12	WVP 6	formatie van Maassluis, 3 ^e zandige eenheid

De transmissiviteit en dikte van de verschillende watervoerende pakketten zijn gebaseerd op REGIS. Voor modellagen bestaande uit meerdere eenheden is de transmissiviteit gesommeerd. De weerstand voor de slecht doorlatende lagen is aangenomen op 200 dagen per meter, met uitzondering van de deklaag.

Verbetering weerstand deklaag

In het aangeleverde model van Oasen is de deklaag niet altijd in detail opgenomen. In het gebruikte grondwatermodel is de deklaag in detail ingevoerd op basis van GeoTOP, waarbij per lithoklasse een weerstand is aangehouden. De bandbreedte van de initiële weerstand per lithoklasse is gegeven in tabel 3.2. De weerstand is gebaseerd op de totale dikte van de verschillende voorkomende lithoklassen binnen de deklaag, voor alle individuele modelcellen. In de kalibratie van het grondwatermodel zijn de waarden per lithoklasse geoptimaliseerd, zie paragraaf 5.

Tabel 3.2 Initiële ranges weerstanden per meter voor verschillende lithoklassen in GeoTOP, ten behoeve van weerstandbepaling deklaag. Ranges op basis van [ref. 4] en expert judgement

Lithoklasse	Weerstand [d/m]
veen	100 - 400
klei	100 - 150
zandige klei	10

Stramproy klei

De kleiige eenheid van de Stramproy formatie is in het basismodel niet als aparte modellaag aanwezig. De afwezigheid van de Stramproy is een keuze die is gemaakt op basis van modelkalibratie van het aangeleverde Oasen-model. Om deze reden wordt de Stramproy klei ook niet apart meegenomen in deze modellering.

3.2.3 Topsysteem

Belangrijke onderdelen uit het topsysteem zijn de polderwatergangen en het systeem rond de Lek. In deze paragraaf wordt besproken hoe deze in het model zijn geschematiseerd.

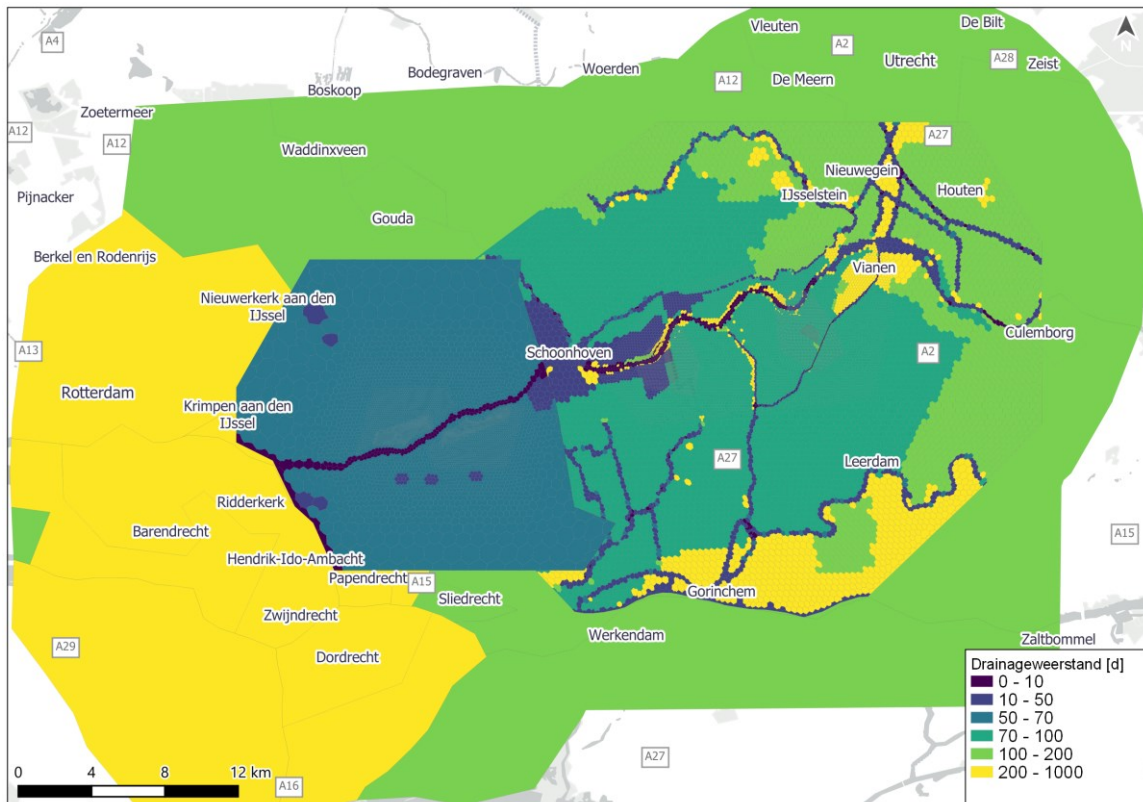
Polderwatergangen

Een nieuwe grondwateronttrekking zal leiden tot lokaal lagere grondwaterstanden, waarbij infiltratie vanuit de polderwatergangen naar het 1^e watervoerend kan optreden. Om de effecten van de voorgenomen grondwaterwinningen op freatische grondwaterstanden correct door te kunnen rekenen zijn de polderwatergangen daarom in het model dusdanig gemodelleerd dat zowel infiltratie van de watergangen naar de ondergrond als kwel naar de watergangen mogelijk is. Dit is gedaan door in MODFLOW het bestaande drain package te vervangen door een river-package. De infiltratieweerstandswaarden zijn

overgenomen uit het TRIWACO-model Krimpenerwaard en het model Alblasserwaard en Vijfherenlanden. Gegevens uit de modellen dekken het verwachte invloedsgebied van de te onderzoeken winningen. Buiten deze modelgebieden zijn de oorspronkelijke drainageweerstand gebruikt uit het OASEN-model.

Op basis van het geraadpleegde TRIWACO-model is de infiltratieweerstand gelijk gehouden aan de drainageweerstand. Deze weerstand ligt tussen de 50 en 500 dagen. Rondom de winningen is de infiltratieweerstand in de meeste gevallen 60 of 75 dagen. De gebruikte weerstand is weergegeven in afbeelding 3.3.

Afbeelding 3.3 Samengestelde drainage- en infiltratieweerstand

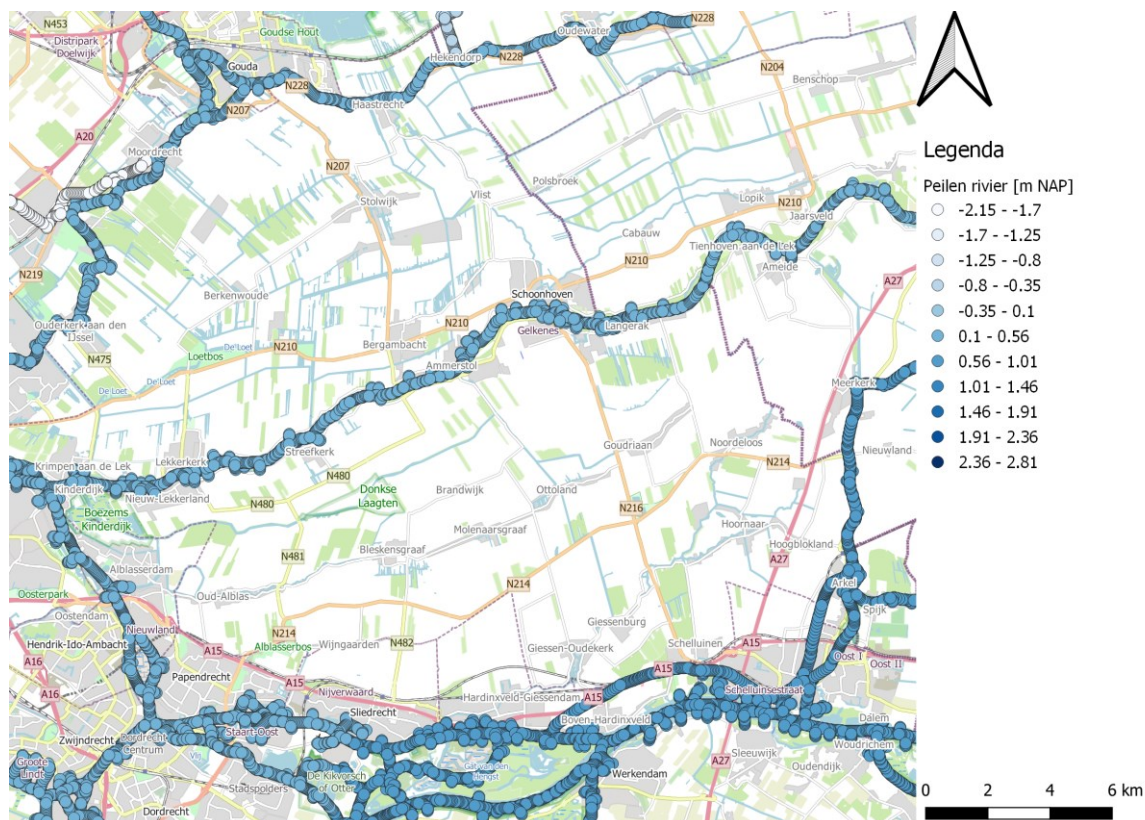


In de GHG- en GLG-situatie zijn respectievelijk de peilen tijdens de winter- dan wel de zomersituatie gebruikt. Deze zijn hetzelfde als in paragraaf 2.4.2. Het gebruikte peil in het gemiddelde model is de gemiddelde waarde van het peil in de zomer en de wintersituatie. De peilen voor de nieuwe peilgebieden rond de voorgenomen winningen zijn in eerste instantie gelijk aan de peilen in het peilgebied waar ze eerst onderdeel van waren. Door een andere indexatie, zullen deze peilen gaan afwijken.

Overig oppervlaktewater

Het overige oppervlaktewater in het model bestaat voornamelijk uit de Lek en het Merwedekanaal. Het gemiddelde rivierpeil in het gebied ligt tussen de NAP +0,34 m en NAP +0,83 m. Dit is weergegeven in afbeelding 3.4.

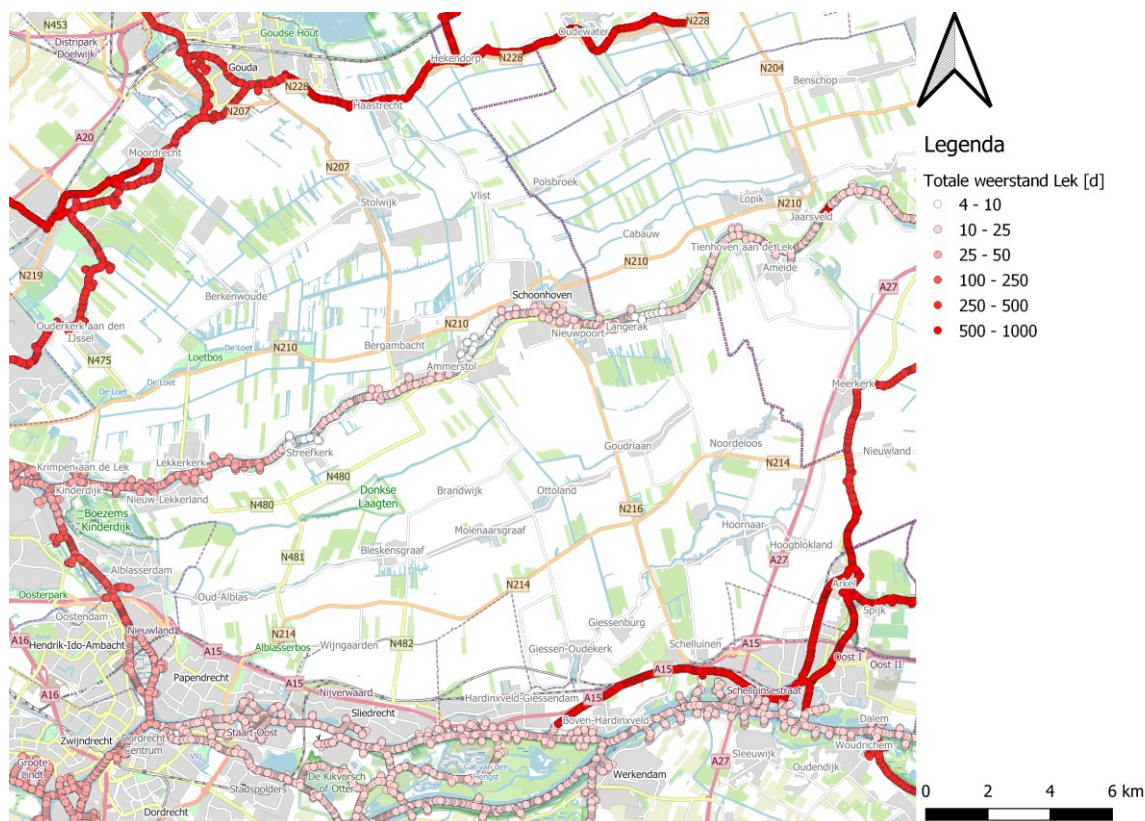
Afbeelding 3.4 De gemiddelde rivier- en kanaalpeilen, zoals deze in het modelinstrumentarium is aangehouden



Eerder is onderzoek gedaan naar de infiltratieweerstand van de Lekbodem [ref. 9]. Hierin wordt geconcludeerd dat de infiltratieweerstand zeer heterogeen is als gevolg van de (ruimtelijke) variabiliteit van erosie. Gemeld wordt een geschatte weerstand van 33-40 dagen, waarbij wordt opgemerkt dat deze weerstand de laatste decaden vermoedelijk is verminderd als gevolg van erosie.

De weerstand van de Lek is in het model meegenomen door het aanpassen van de weerstand van de deklaag. De weerstand die wordt aangehouden is weergegeven in afbeelding 3.5. Hieruit blijkt dat de weerstand in de slecht doorlatende laag onder de Lek tussen de 4 en 50 dagen is, waarbij de waarde in het westen hoger is dan in het oosten. De weerstand van de Lek zelf is 1 dag. Deze waarde lijkt goed overeen te komen met het eerder uitgevoerde onderzoek.

Abbeelding 3.5 Totale weerstand van de Lek (bodemweerstand rivier en weerstand SDL 1), zoals deze in het modelinstrumentarium is aangehouden



GHG- en GLG-model

In het aangeleverde, stationaire modelinstrumentarium is een gemiddeld oppervlaktewaterpeil aangehouden. Voor het berekenen van de GHG- en GLG-situatie zijn de waterstanden in de Lek aangepast voor de zomer en de winter.

Om deze Lekwaterstanden af te kunnen leiden, is gekeken naar waterstanden bij Bergambacht in WABES [ref. 11]. De tijdserie die is geanalyseerd loopt van oktober 1998 tot oktober 2011. Per seizoen en scenario is gekeken naar de gemiddelde waterstanden. Dit is weergegeven in tabel 3.3.

Tijdens de winter zijn de waterstanden in de Lek het hoogst. Deze winterwaterstanden zijn in het model opgenomen om de GHG-situatie te kunnen berekenen. De zomer Lekwaterstanden zijn gebruikt om de GLG-situatie door te rekenen.

Tabel 3.3 Lekwaterstanden bij Bergambacht [ref. 11]

	Waterstand [m NAP]
herfst (oktober - december)	0,47
winter (januari - maart)	0,62
lente (april - juni)	0,38
zomer (juli - september)	0,34

Afwezigheid watergang

Niet overall in het model is een watergang aanwezig. Dit komt met name voor in de uiterwaarden. Op locaties in de uiterwaarden waar geen watergang aanwezig is in het model (rivier of poldersloot), is een drain op maaiveld ingevoerd. Het niveau van de drain is bepaald op basis van de AHN. De maaiveldrain zorgt ervoor dat grondwaterstanden boven maaiveld worden afgetopt, en er oppervlakkige afstroming kan plaatsvinden. De hoogte van de maaiveldrain wordt ook vaak aangeduid als het OLF-vlak, waarboven dus Overland Flow kan plaatsvinden.

3.2.4 Vaste randvoorwaarden

Voor de buitenranden van het model worden vaste waardes aangehouden. De waardes die hier zijn gebruikt, zijn de waardes die volgen uit het OASEN-model waarbij het hele modelgebied is doorgerekend.

3.2.5 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling in het model is gebaseerd op de periode 2016-2019. De gemiddelde grondwateraanvulling is in eerste instantie gemiddeld 0,7 mm/d. Deze wordt vermenigvuldigd met het verharde oppervlak, waardoor deze per locatie varieert. In het kalibratieproces is de grondwateraanvulling geoptimaliseerd, zodat goed wordt aangesloten bij de metingen, binnen een plausibele bandbreedte.

Aanpassingen grondwateraanvulling zomer en winter-situatie

Zoals aangegeven, is het aangeleverde OASEN-model een stationair model. Om inzicht te krijgen in de GHG en GLG is een stationair zomer- en wintermodel opgesteld, waarbij de grondwateraanvulling is aangepast.

Om een GHG en GLG te kunnen berekenen zijn factoren afgeleid, waarmee de grondwateraanvulling kan worden aangepast. Deze methodiek is succesvol toegepast bij de vergunningaanvraag voor een gewijzigd winveld bij winning De Put [ref. 15]. De factoren die hierbij toegepast zijn, zijn als volgt:

- een vermenigvuldiging van de gemiddelde grondwateraanvulling op basis van het stationaire model met -0,9 voor het model om de GLG te kunnen bepalen (het zogenaamde 'zomermodel');
- een vermenigvuldiging van de gemiddelde grondwateraanvulling op basis van het stationaire model met 3,5 voor het model om de GHG te kunnen bepalen (het zogenaamde 'wintermodel').

Deze factoren zijn afgeleid ten behoeve van de modelontwikkeling voor de oevergrondwaterwinning De Put (Nieuw-Lekkerland) [ref. 5]. Om na te gaan of de modellen op deze wijze een voldoende betrouwbare GHG en GLG berekenen, zijn de berekende GxG's vergeleken met op basis van metingen afgeleide GxG's en waar nodig aanvullend gekalibreerd. Dit is in hoofdstuk 5 aangegeven.

4

GEVOELIGHEIDS- EN BETROUWBAARHEIDSANALYSE

Er zijn veel aanpassingen gedaan aan het oorspronkelijk aangeleverd gekalibreerd model, zoals is aangegeven in hoofdstuk 3. Er is daarom een aanvullende modelkalibratie uitgevoerd.

Het gehele kalibratieproces bestaat uit de volgende onderdelen:

- analyse kalibratieresultaten aangeleverd OASEN-model;
- betrouwbaarheidsanalyse van het model nabij de mogelijke winlocaties;
- gevoeligheidsanalyse;
- aanpassing ijkset;
- optimalisatie parameters stationair model;
- optimalisatie parameters zomer- en wintersituatie.

4.1 Analyse kalibratieresultaten aangeleverd OASEN-model

Het stationair, regionaal OASEN-grondwatermodel is opgesteld en gekalibreerd voor de periode 2016-2019. Een introductie tot het modelinstrumentarium, met daarin een toelichting van de kalibratie is opgenomen in bijlage IV. In dat document zijn het doel van de kalibratie, de kalibratieprocedure en het resultaat toegelicht.

Opgemerkt moet worden dat met name rondom de bestaande winningen meetreeksen beschikbaar zijn, en de kalibratie van het regionale model door Acacia zich daarop heeft gericht. Wat dit betekent voor de betrouwbaarheid van het grondwatermodel voor de beoogde winlocaties is in de volgende paragraaf nader uitgewerkt.

De resultaten van het aangeleverde, gekalibreerde model worden beschouwd als pre-kalibratie resultaten voor de aanvullende kalibratie na het uitvoeren van de modelverbeteringen, ten behoeve van het MER onderzoek.

4.2 Betrouwbaarheidsanalyse model nabij mogelijke winlocaties

Omdat er nabij de te onderzoeken winlocaties weinig metingen van grondwaterstanden en stijghoogten of boringen beschikbaar zijn is betrouwbaarheidsanalyse uitgevoerd.

Hierbij is gekeken naar de mogelijke bandbreedte voor de verschillende geohydrologische parameters, zoals K_D - en c -waarden, in relatie tot de effecten van de winning op freatische grondwaterstanden. Deze bandbreedte is een factor die is gebaseerd op de betrouwbaarheid van de parameters. Indien de waarde van de parameters met een grote zekerheid kunnen worden bepaald, is er sprake van een kleine bandbreedte. Als er echter minder zekerheid is in de bodemopbouw, en dus de geohydrologische parameters, wordt de bandbreedte die de parameters kunnen hebben groter.

De onzekerheid in de bodemopbouw is afhankelijk van verschillende onderdelen. Deze onderdelen zijn onder andere de aanwezigheid van zandige geulen in de deklaag, de aanwezigheid van Stramproy klei en de dikte van de Waalre klei.

Voor de bepaling van de bandbreedte op basis van expert-judgement wordt gebruik gemaakt van boorprofielen en peilbuisdata uit Dinoloket (www.dinoloket.nl) binnen een straal van circa 1,0 km van de locatie.

Aangezien voor de bepaling van het maximale gebied waar effecten aan maaiveld kunnen optreden voornamelijk de weerstand van de deklaag, de doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket en de aanwezigheid van de Waalre Klei van belang zijn, wordt voor de onzekerheid alleen naar de eerste 3 modellagen gekeken.

Om een inschatting te geven van de bandbreedte, is er een maatlat gemaakt van de factoren bij verschillende niveaus van zekerheid van de modelparameters. Deze maatlat is gegeven in tabel 4.1. De waarden in de maatlat zijn gebaseerd op het feit dat het huidige model een gekalibreerd regionaal model is. Afwijkingen tussen kD- en c-waarden die groter zijn dan een factor 1,5 worden ten opzichte van het gekalibreerde model (wat is opgesteld op basis van REGIS II) wordt niet waarschijnlijk geacht.

Tabel 4.1 Maatlat voor bandbreedte in geohydrologische parameters

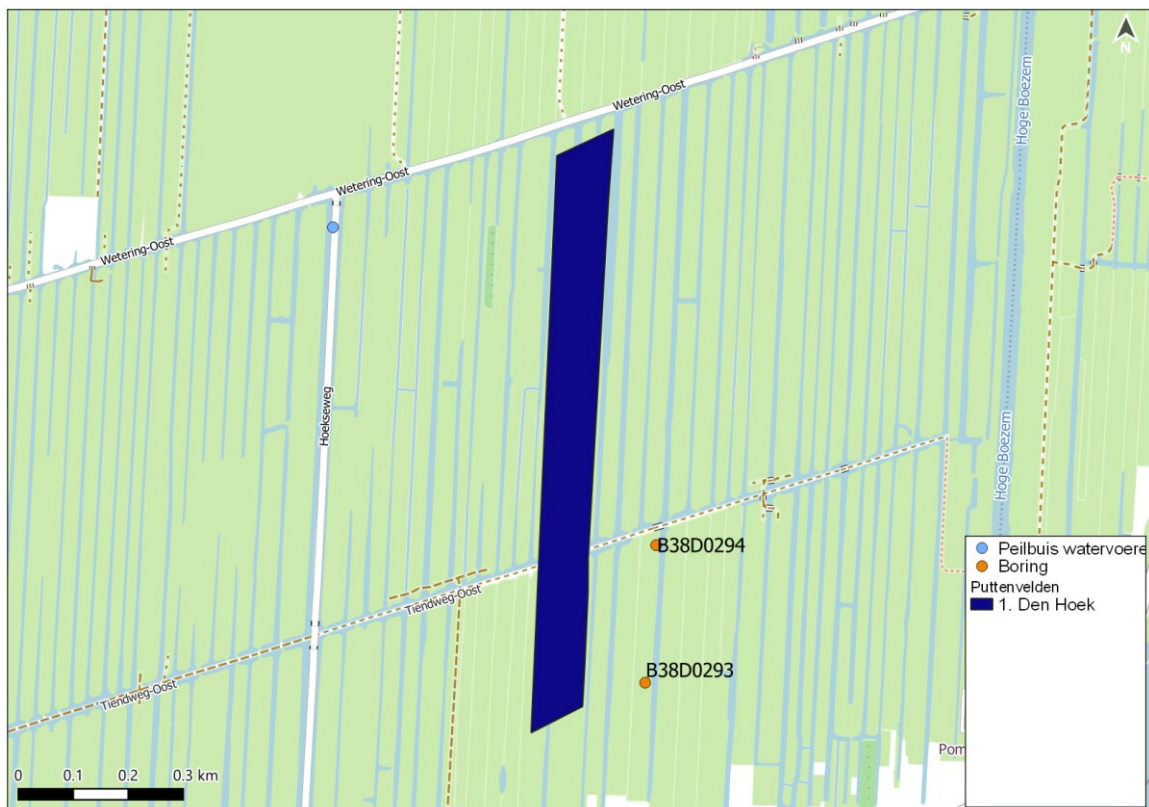
Zekerheid	Bandbreedte	Toelichting
zeer zeker	0,95 - 1,05	veel boorgegevens, veel gemeten grondwaterstanden gebruikt bij de kalibratie, geen afwijking REGIS in model/boring
redelijk zeker	0,90 - 1,10	minder boorgegevens/grondwaterstanden; kleine heterogeniteiten
minder zeker	0,75 - 1,25	weinig gegevens van boringen/grondwaterstanden, grotere heterogeniteiten
onzeker	0,50 - 1,50	(vrijwel) geen boorgegevens, geen gemeten grondwaterstanden in de directe omgeving van de potentiële onttrekkingslocatie of boorgegevens komen niet goed overeen met de REGIS schematisatie

4.2.1 Winlocatie Den Hoek

Een overzicht van beschikbare boringen en peilbuizen in de omgeving is gegeven in afbeelding 4.1. Bij Den Hoek zijn 2 boringen aanwezig, welke zijn weergegeven in bijlage ii. Deze boringen gaan tot een diepte van NAP -32 m. Uit deze boringen volgt een dikte van de deklaag van 10 tot 12 m. Deze lijkt hier dus vlakdekkend en homogeen aanwezig te zijn. Hieronder ligt in de boringen een watervoerend pakket tot de onderkant van de boring. De boringen zijn niet diep genoeg om de aanwezigheid van Stramproy klei en Waalre klei te bepalen. In REGIS is op deze locatie zowel Stramproy klei als Waalre klei aanwezig.

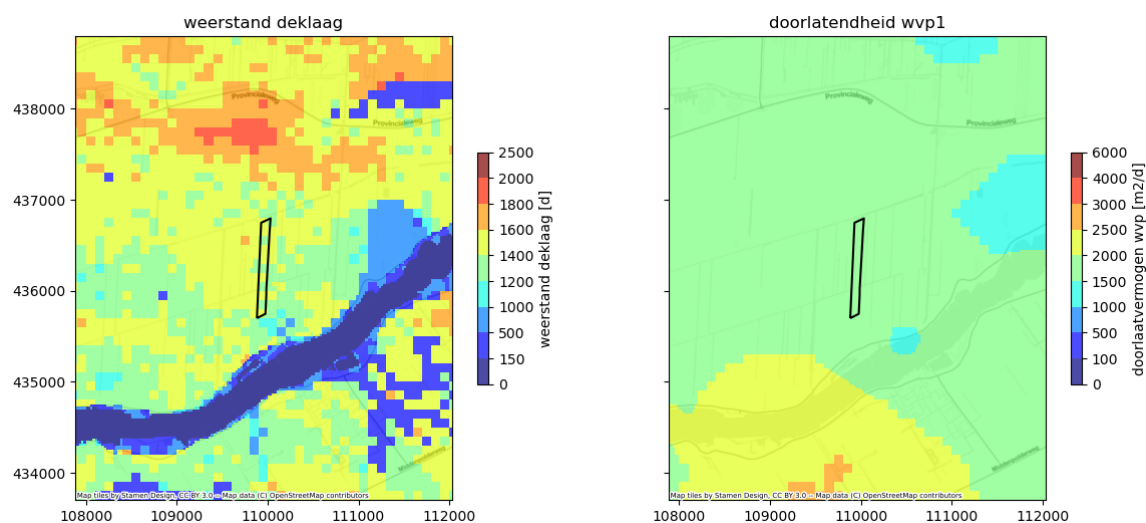
Op 400 m van het puttenveld is ook een peilbuis aanwezig in het eerste watervoerend pakket met meetgegevens over de kalibratieperiode. In de validatie van het huidige model is hier een verschil van 16 cm bepaald. Het model had hier een hogere stijghoogte dan de meting in de peilbuis. De afwijking valt nog binnen de marge van de kalibratiecriteria van het model.

Afbeelding 4.1 Overzicht boringen en peilbuizen



De waarden van de parameters in het model zijn weergegeven in afbeelding 4.2. In het model zijn geen geulen aanwezig en is er beperkte variatie in het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket. Op basis van de boringen en peilbuizen is een inschatting gemaakt van de bandbreedte van de modelparameters. Voor de deklaag en eerste watervoerend pakket is er redelijke zekerheid over de geohydrologische parameters. Voor de scheidende laag is deze zekerheid lager. De bandbreedte is gegeven in tabel 4.2.

Afbeelding 4.2 Parameters in het gekalibreerde model



Tabel 4.2 Overzicht verwachte modelparameters en bandbreedte Den Hoek, voorafgaand aan de aanvullende kalibratie

Laag	Gebiedsvariantie c-waarde in model bij de locatie [d]	Gebiedsvariantie kD in model bij de locatie [m ² /d]	Zekerheid parameter in het model	Bandbreedte factor
deklaag (SDL 1)	1.200 - 1.600	-	redelijk zeker	0,90 - 1,10
WVP 1	-	1.500 - 2.000	redelijk zeker	0,90 - 1,10
SDL2	240 - 730	-	onzeker	0,50 - 1,50

4.2.2 Winlocatie Bergambacht West

Een overzicht van beschikbare boringen en peilbuizen in de omgeving is gegeven in afbeelding 4.3. Op een afstand tot 1 km van het puttenveld bij Bergambacht West zijn meerdere boringen aanwezig, welke zijn weergegeven in bijlage ii. Een hiervan is een diepe boring ten oosten, met een diepte tot NAP -85 m. Uit de boringen blijkt dat de deklaag hier een dikte heeft van 10 tot 12 m. Uit de diepe boring blijkt dat de Stramproy klei op deze locatie niet aanwezig is. De Waalre klei is hier wel aanwezig.

Op een afstand tot circa 1,2 km zijn hier 5 peilbuizen aanwezig. Uit een eerdere analyse bleek dat de verschillen in stijghoogte hier in 3 van de 5 peilbuizen kleiner zijn dan 5 cm. Deze peilbuizen meten ook de freatische grondwaterstand. Deze wordt over het algemeen iets te laag gemodelleerd. Dit kan erop duiden dat de deklaagweerstand te hoog is gemodelleerd. Op basis van de boringen en peilbuizen is een inschatting gemaakt van de bandbreedte van de modelparameters. Deze is gegeven in tabel 4.3.

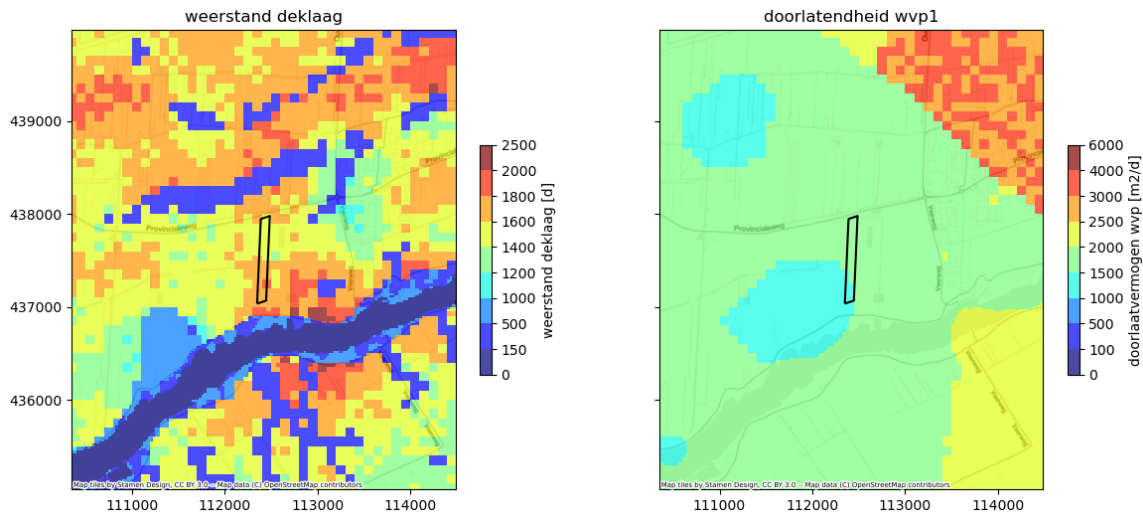
Afbeelding 4.3 Overzicht boringen en peilbuizen



De waarden van de parameters in het model zijn weergegeven in afbeelding 4.4. In de omgeving van het puttenveld zijn in het model wat geulen aanwezig, te zien aan de lage doorlatendheid. Er is een beperkte

variatie in het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket. Op basis van de boringen en peilbuizen is een inschatting gemaakt van de bandbreedte van de modelparameters. Voor het eerste watervoerend pakket en de scheidende laag is er redelijke zekerheid over de geohydrologische parameters. Voor de deklaag is deze zekerheid lager, vanwege de mogelijke aanwezigheid van zandgeulen. De bandbreedte is gegeven in tabel 4.3.

Afbeelding 4.4 Parameters in het gekalibreerde model



Tabel 4.3 Overzicht verwachte modelparameters en bandbreedte Bergambacht West, voorafgaand aan de aanvullende kalibratie

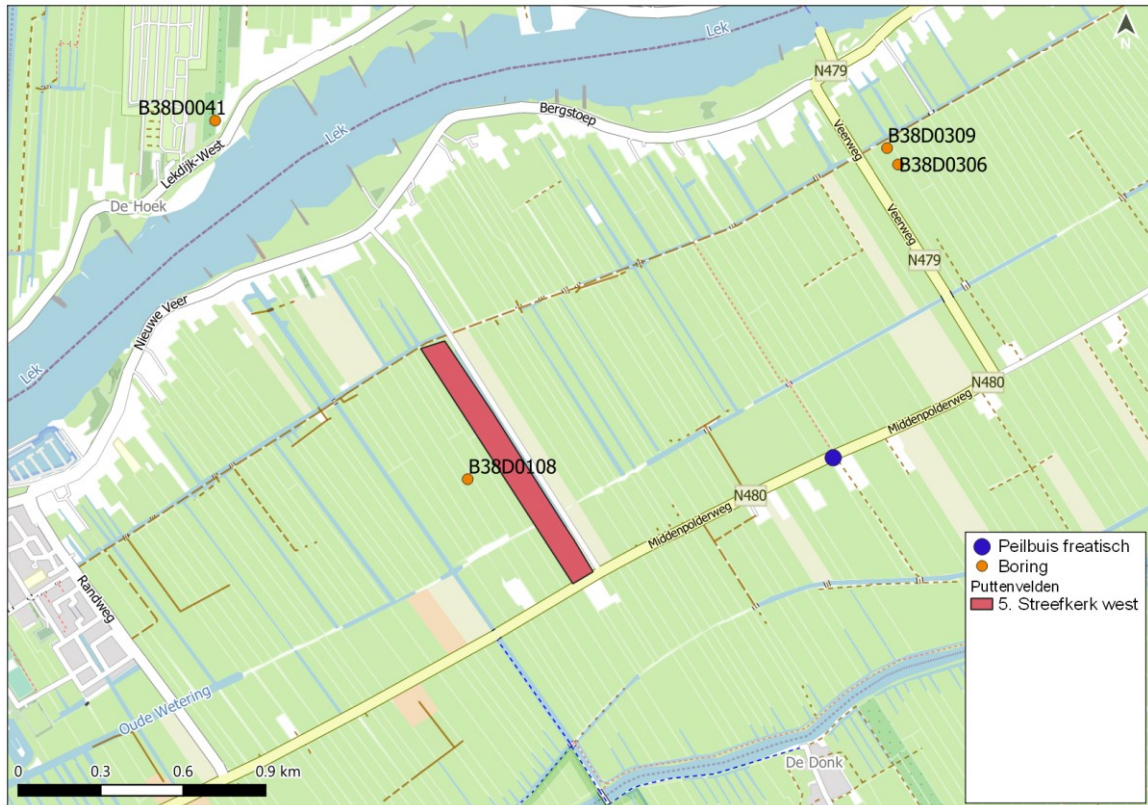
Laag	Gebiedsvariantie c-waarde in model bij de locatie [d]	Gebiedsvariantie kD in model bij de locatie [m²/d]	Zekerheid parameter in het model	Bandbreedte factor
deklaag (SDL 1)	1.600 - 1.800	-	minder zeker	0,75 - 1,25
WVP 1	-	1.000 - 2.000	redelijk zeker	0,90 - 1,10
SDL2	300 - 600	-	redelijk zeker	0,90 - 1,10

4.2.3 Winlocatie Streefkerk West

Een overzicht van beschikbare boringen en peilbuizen in de omgeving is gegeven in afbeelding 4.5. Bij Streefkerk West is 1 boring aanwezig. Deze boring ligt vlak naast het puttenveld en heeft een diepte van ruim 120 m. De boring is weergegeven in bijlage ii. De boring laat zien dat de deklaag een dikte heeft van ongeveer 10 m. Hieronder zijn geen kleilagen meer aanwezig in de boring. Wel is er op een diepte van 35 tot 40 m een laag leem aanwezig.

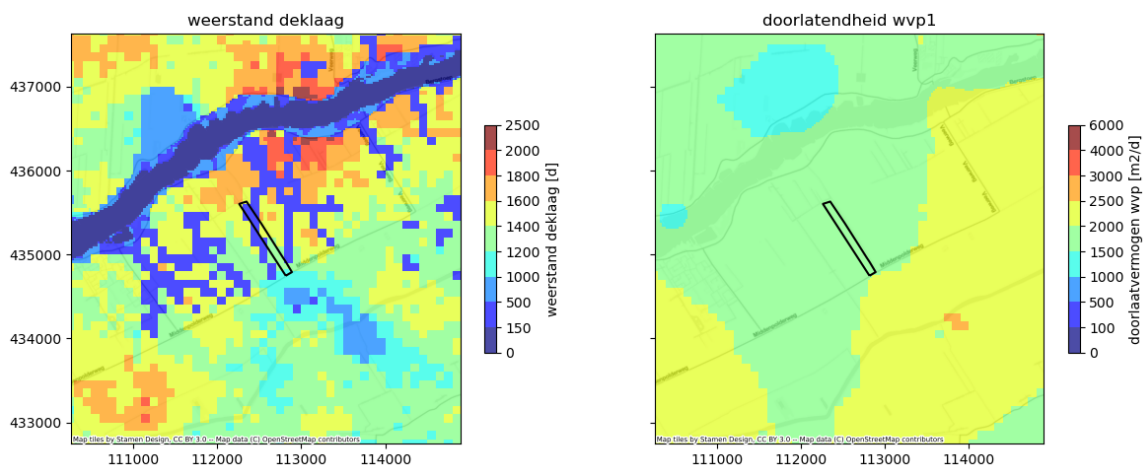
Rondom Streefkerk West is op ongeveer 1 km afstand een freatische peilbuis aanwezig. Vanwege de afstand wordt aangenomen dat deze peilbuis beperkte informatie geeft over de bodemopbouw bij het puttenveld.

Afbeelding 4.5 Overzicht boringen en peilbuizen



De waarden van de parameters in het model zijn weergegeven in afbeelding 4.6. Hieruit blijkt dat in de deklaag geulen aanwezig zijn. Deze geulen zijn niet zichtbaar in de boring. Het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket heeft in het model weinig variatie. In de boring is hier ook een dikke zandlaag aanwezig. In de boring is na de deklaag geen klei meer aanwezig. In de boring zit wel van 35 tot 40 m een leemlaag van 5 m, wat voor enige weerstand zorgt. Verwacht wordt dat dit een weerstand heeft van ongeveer 500 dagen. Om deze reden is er voor gekozen om enkel een lage factor in de bandbreedte te gebruiken. Op basis van de boringen en peilbuizen is een inschatting gemaakt van de bandbreedte van de modelparameters. Deze is gegeven in tabel 4.4.

Afbeelding 4.6 Parameters in het gekalibreerde model



Tabel 4.4 Overzicht verwachte modelparameters en bandbreedte Streefkerk West, voorafgaand aan de aanvullende kalibratie

Laag	Gebiedsvariantie c-waarde in model bij de locatie [d]	Gebiedsvariantie kD in model bij de locatie [m ² /d]	Zekerheid parameter in het model	Bandbreedte factor
deklaag (SDL 1)	500 - 1.800	-	minder zeker	0,75 - 1,25
WVP 1	-	1.500 - 2.000	redelijk zeker	0,90 - 1,10
SDL2	400 - 1.100	-	onzeker	0,50 - 1,00

4.2.4 Winlocatie Streefkerk Oost

Een overzicht van beschikbare boringen en peilbuizen in de omgeving is gegeven in afbeelding 4.7. Bij Streefkerk Oost zijn 2 boringen aanwezig. De diepste boring heeft een diepte van 88 m en ligt 200 m van het puttenveld. Deze is weergegeven in bijlage ii. Uit deze boring volgt een deklaagdikte van ongeveer 7 m. Hierna volgt een watervoerend pakket tot ongeveer NAP -45 m. In de boring is Stramproy klei wel aanwezig, Waalre klei is hierin afwezig.

Rondom Streefkerk Oost is op ongeveer 600 m afstand een freatische peilbuis aanwezig. Vanwege de afstand wordt aangenomen dat deze peilbuis beperkte informatie geeft over de bodemopbouw bij het puttenveld.

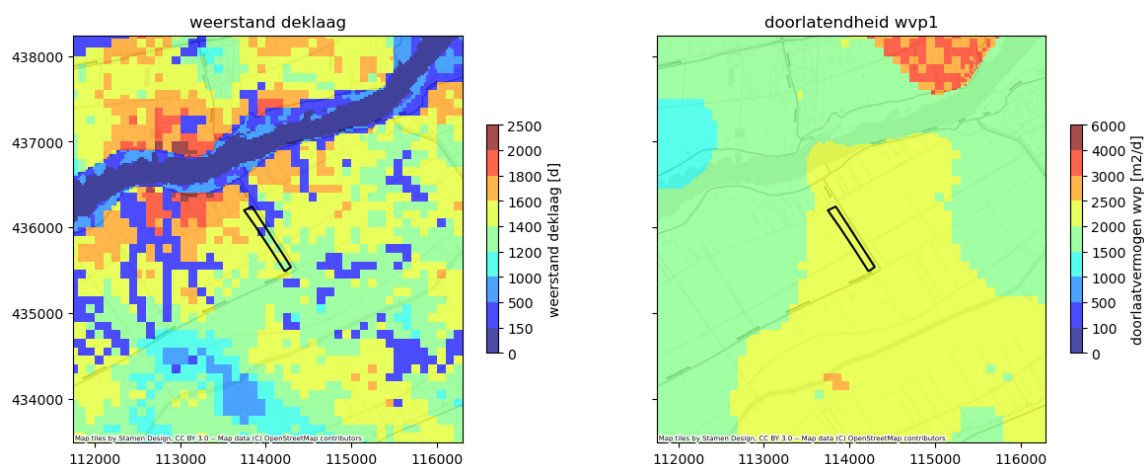
Afbeelding 4.7 Overzicht boringen en peilbuizen



De waarden van de parameters in het model zijn gegeven in afbeelding 4.8. Deze geulen zijn niet zichtbaar in de boring. Het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket heeft in het model weinig variatie. In de boring is hier ook een dikke zandlaag aanwezig. In de boring is wel Stramproy klei aanwezig, wat de doorlatendheid van het watervoerend pakket minder zeker maakt. In de boring is geen Waalre klei aanwezig.

Dit maakt de waarde van de weerstand van de scheidende laag onzeker. Op basis van de boringen en peilbuizen is een inschatting gemaakt van de bandbreedte van de modelparameters. Deze is gegeven in tabel 4.5.

Afbeelding 4.8 Parameters in het gekalibreerde model



Tabel 4.5 Overzicht verwachte modelparameters en bandbreedte Streefkerk Oost, voorafgaand aan de aanvullende kalibratie

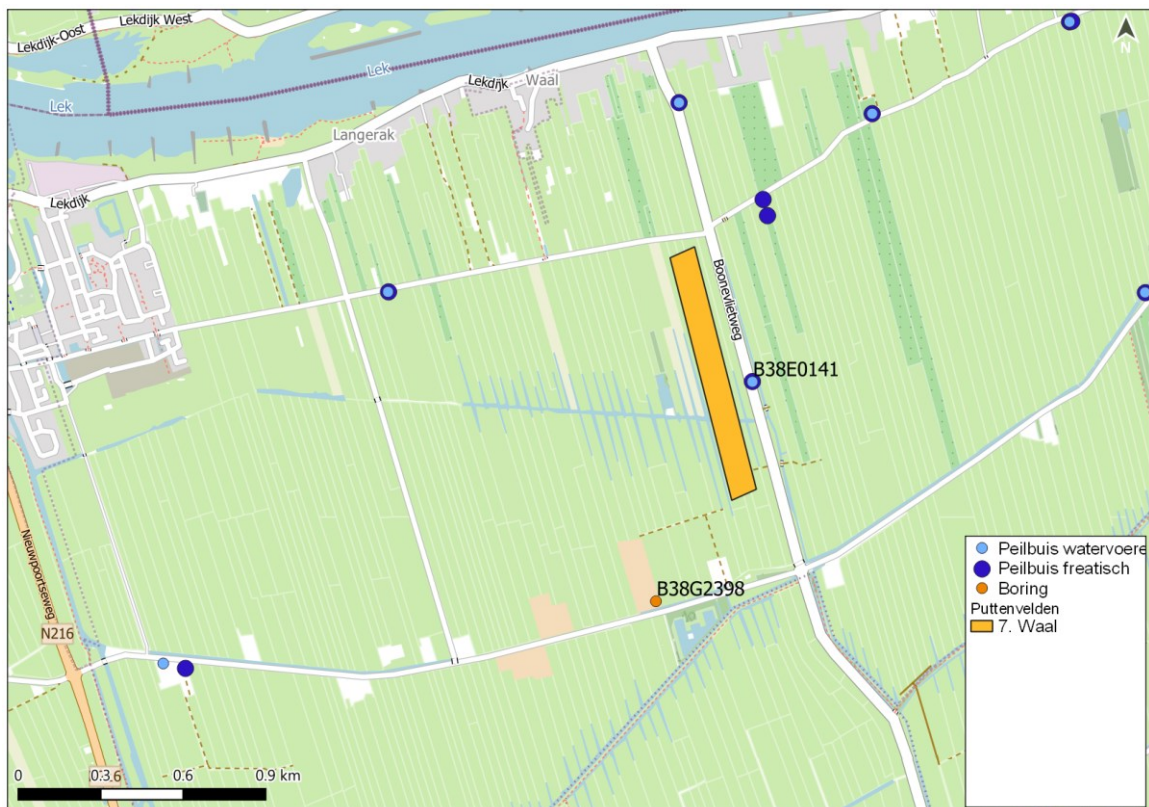
Laag	Gebiedsvariantie c-waarde in model bij de locatie [d]	Gebiedsvariantie kD in model bij de locatie [m²/d]	Zekerheid parameter in het model	Bandbreedte factor
deklaag (SDL 1)	500 - 1.600	-	redelijk zeker	0,90 - 1,10
WVP 1	-	2.000 - 2.500	minder zeker	0,75 - 1,25
SDL2	530 - 840	-	onzeker	0,50 - 1,50

4.2.5 Winlocatie Waal

Een overzicht van beschikbare boringen en peilbuizen in de omgeving is gegeven in afbeelding 4.9. Bij Waal zijn 2 boorprofielen beschikbaar, welke zijn weergegeven in bijlage ii. Uit deze boringen volgt een deklaagdikte van 10-18 m. Hierna volgt een watervoerend pakket, welke aanwezig is tot de Waalre klei. Stramproy klei is hier niet aanwezig.

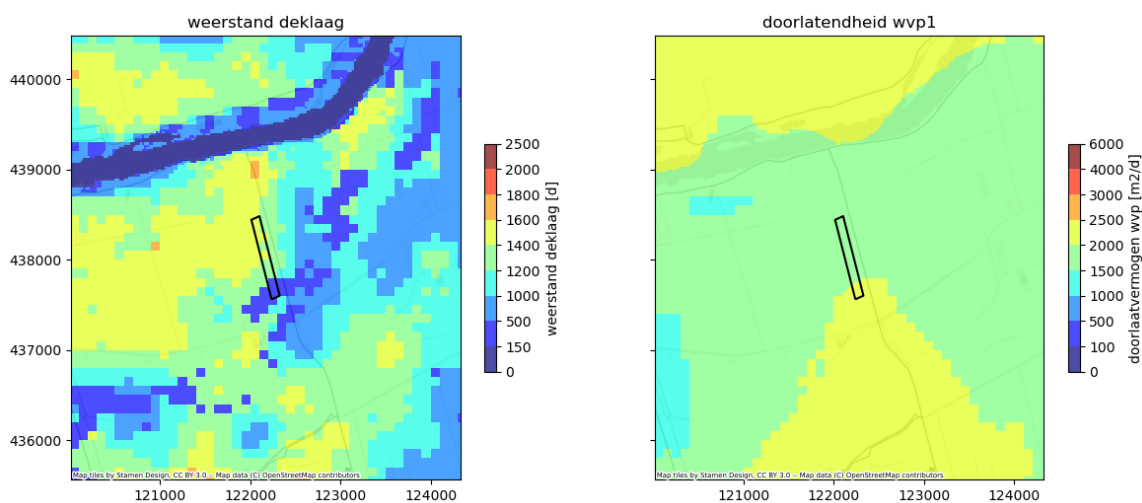
In de omgeving zijn 5 peilbuizen aanwezig die de freatische grondwaterstand meten. Van deze peilbuizen meten 3 ook de stijghoogte. Uit een vergelijking tussen een modelberekening en de metingen blijkt dat de freatische grondwaterstanden iets te laag worden gemodelleerd. De stijghoogtes nabij de Lek zijn iets te hoog gemodelleerd.

Afbeelding 4.9 Overzicht boringen en peilbuizen



De parameters in het gekalibreerde model zijn weergegeven in afbeelding 4.10. Hieruit blijkt dat in het model enkele geulen aanwezig zijn. In het algemeen zit er ook variatie in de weerstand van de deklaag. In combinatie met de lichte afwijkingen met de peilbuismetingen maakt het dat de waarde van de deklaag minder zeker is. Het model vertoonde ook lichte afwijking van de peilbuismetingen in het eerste watervoerend pakket. Dit maakt de doorlatendheid hier minder zeker. In de boringen in de omgeving is de Waalre klei aanwezig. Hierdoor is de waarde van de scheidende laag redelijk zeker. Op basis van de boringen en peilbuizen is een inschatting gemaakt van de bandbreedte van de modelparameters. Deze is gegeven in tabel 4.6.

Afbeelding 4.10 Parameters in het gekalibreerde model



Tabel 4.6 Overzicht verwachte modelparameters en bandbreedte Waal, voorafgaand aan de aanvullende kalibratie

Laag	Gebiedsvariatie c-waarde in model bij de locatie [d]	Gebiedsvariatie kD in model bij de locatie [m ² /d]	Zekerheid parameter in het model	Bandbreedte factor
deklaag (SDL 1)	500 - 1.600	-	minder zeker	0,75 - 1,25
WVP 1	-	1.500 - 2.500	minder zeker	0,75 - 1,25
SDL2	1.060 - 2.450	-	redelijk zeker	0,90 - 1,10

4.2.6 Winlocatie Weerszijden Lek

De winlocatie Weerszijden Lek bestaat uit een combinatie van de locatie Den Hoek en een puttenveld parallel van de Lek in de omgeving van locatiealternatief Streefkerk West. De betrouwbaarheid verschilt hier dus voor de noord- en de zuidkant van het model. De betrouwbaarheid is hier voor de noordkant gelijk aan locatie Den Hoek en voor de zuidzijde aan locatiealternatief Streefkerk West.

Tabel 4.7 Overzicht verwachte modelparameters en bandbreedte Weerszijde Lek, voorafgaand aan de aanvullende kalibratie

Laag	Zekerheid parameter in het model noordzijde Lek	Bandbreedte factor noordzijde Lek	Zekerheid parameter in het model zuidzijde Lek	Bandbreedte factor zuidzijde Lek
deklaag (SDL 1)	redelijk zeker	0,90 - 1,10	minder zeker	0,75 - 1,25
WVP 1	redelijk zeker	0,90 - 1,10	redelijk zeker	0,90 - 1,10
SDL2	onzeker	0,50 - 1,50	onzeker	0,50 - 1,00

4.2.7 Conclusies betrouwbaarheidsanalyse

Op basis van de betrouwbaarheidsanalyse is duidelijk dat rondom de meeste beoogde winlocaties beperkt gegevens metingen van stijghoogten of grondwaterstanden beschikbaar zijn. Een aanvullende kalibratie is daarom uitgevoerd van het gehele model, en niet per beoogde winlocatie, waarbij als eerste een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

Als volgende stap in het kalibratieproces is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij worden modelparameters gevarieerd en wordt nagegaan wat dit betekent voor grondwaterstanden en stijghoogten. De meest gevoelige parameters, te weten de transmissiviteit van het eerste watervoerend pakket, de weerstand van de deklaag en de weerstand van de Lekbodem zijn hierbij gevarieerd en de effecten op het hydrologisch systeem zijn berekend.

4.3.1 Transmissiviteit eerste watervoerend pakket

Voor de transmissiviteit van het watervoerend pakket zijn 2 scenario's doorgerekend. Een scenario met hoge transmissiviteit, waarbij de doorlatendheid verhoogd is met 1,5, en een scenario met een lage transmissiviteit, waarbij een factor van 0,75 is gebruikt. De verschillen voor de verschillende gevoeligheidsscenario's met het referentiemodel zijn weergegeven in bijlage V.

In het geval dat de transmissiviteit van het eerste watervoerend pakket wordt aangepast, gebeurt er in alle gevallen weinig met de grondwaterstand in de deklaag. Wel verandert de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. De grootste verschillen zijn in dit geval te zien bij Bergambacht West en bij Streefkerk West. Ook bij Waal is een verschil in het eerste watervoerend pakket te zien. Deze is voornamelijk zichtbaar rondom de winning bij de Steeg.

4.3.2 Weerstand deklaag

Voor de weerstand van de deklaag zijn 2 scenario's doorgerekend. Een scenario met hoge weerstand, waarbij de weerstand verhoogd is met een factor 1,5, en een scenario met een lage weerstand, waarbij een factor van 0,75 is gebruikt. De verschillen voor de verschillende scenario's met het referentiemodel zijn weergegeven in bijlage v.

Als de weerstand in de deklaag wordt verhoogd daalt de freatische grondwaterstand. Dit is het geval voor alle locaties. De verschillen zijn het grootst bij Den Hoek. In de andere gevallen zijn de verschillen vaak tussen de 0 en 5 cm, wat betekent dat de freatische waterstand hier niet heel gevoelig is voor verschillen in weerstand van de deklaag.

In het watervoerend pakket neemt de stijghoogte toe. Ook hier zijn de verschillen de grootst bij Den Hoek. Daarnaast zijn er ook verschillen te zien bij Streefkerk West en Streefkerk Oost. Verschillen lopen hier op tot 25 cm.

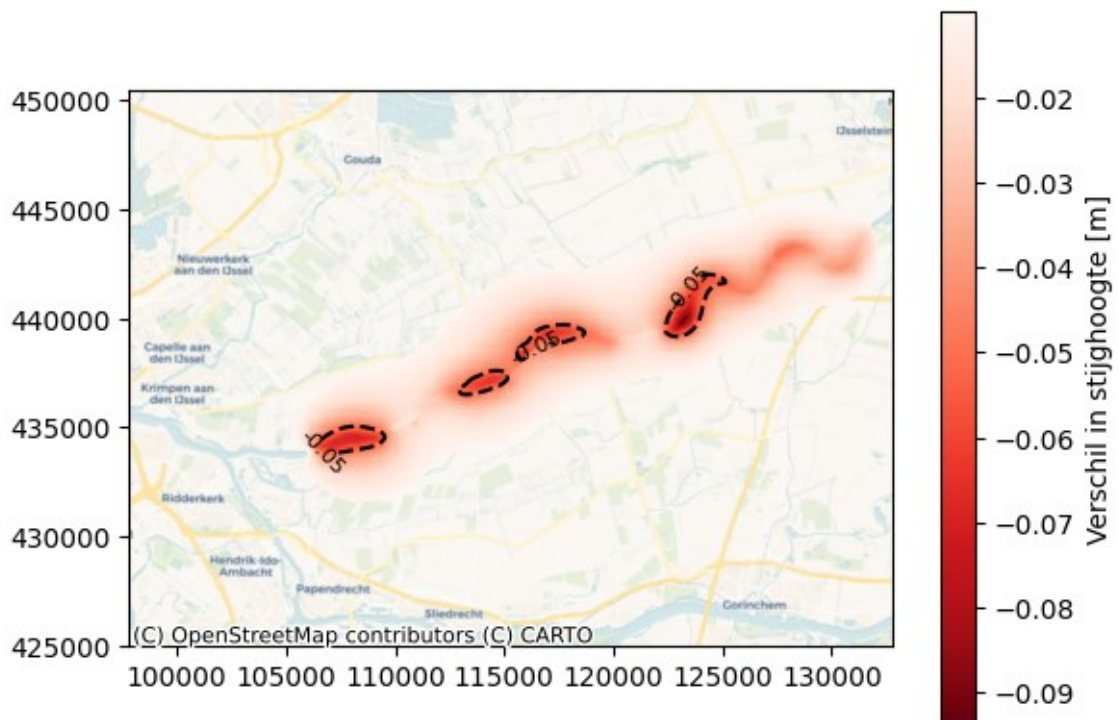
Een verlaging van de weerstand laat een vergelijkbaar beeld zien, waarbij de waterstanden bij Den Hoek het meest veranderen. In het watervoerend pakket zijn ook hier verschillen te zien bij Streefkerk West en Streefkerk Oost.

4.3.3 Gevoeligheid lekweerstand

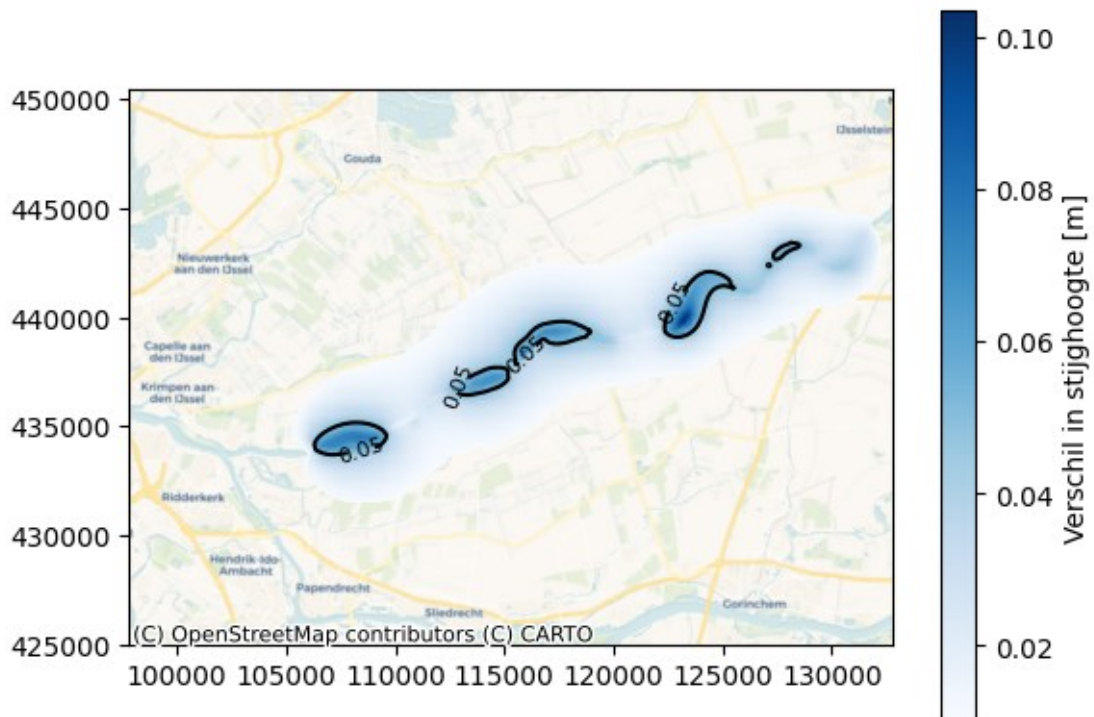
Om te inventariseren wat de gevoeligheid is van het model voor een verschil in weerstand van de Lek zijn voor de gemiddelde situatie 2 aanvullende modellen doorgerekend. Voor deze modellen is de weerstand van de slecht doorlatende laag direct onder de Lek vermenigvuldigd met een factor 1,25 (hogere weerstand) en 0,75 (lagere weerstand).

In afbeelding 4.11 en afbeelding 4.12 is de vergelijking gegeven met het model met de originele lekweerstand. In de directe omgeving van de Lek zijn in dit geval kleine verschillen te zien. Deze verschillen zijn het grootst direct onder de Lek. De verschillen zijn in beide gevallen maximaal ongeveer 10 cm. In het geval van een verhoogde weerstand is de stijghoogte lager, terwijl de stijghoogte bij een lage weerstand verhoogd is.

Afbeelding 4.11 Lekweerstand hoog (verhoogde lekweerstand - origineel). Een positieve waarde betekent een verhoging van de stijghoogte bij een verhoging van de weerstand van de Lek



Afbeelding 4.12 Lekweerstand laag (verlaagde lekweerstand - origineel). Een positieve waarde betekent een verhoging van de stijghoogte bij een verlaging van de weerstand van de Lek



5

KALIBRATIE

Voorafgaand aan de modelkalibratie zijn een betrouwbaarheidsanalyse en een gevoeligheidsanalyse van het model uitgevoerd, zie vorige hoofdstuk. Uit de betrouwbaarheidsanalyse volgt dat rondom de meeste beoogde winlocaties beperkt metingen van stijghoogten of grondwaterstanden beschikbaar zijn. Een aanvullende kalibratie is daarom uitgevoerd van het gehele model, en niet per beoogde winlocatie. Deze kalibratie is hieronder uitgebreider toegelicht.

Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat het aanpassen van de deklaagweerstand effect heeft op zowel de grondwaterstand als op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Een aanpassing van de transmissiviteit van het eerste watervoerend pakket heeft met name invloed op de stijghoogte. Het wijzigen van de Lekweerstand heeft met name effect op de stijghoogte direct langs de Lek.

Voor de kalibratie zijn 2 stappen uitgevoerd:

- aanpassen deklaagweerstand;
- optimalisatie grondwateraanvulling.

Op basis van de kalibratie zijn aanpassingen gedaan aan de deklaagweerstand. De resultaten na deze kalibratiestap gaven **geen** aanleiding om de **transmissiviteit** en de **Lekweerstand** verder aan te passen. Ten slotte is de grondwateraanvulling aangepast.

5.1 Aanpassing deklaagweerstand

De deklaagweerstand is aangepast door de weerstand van de verschillende lithoklassen uit GeoTOP bij te werken. De geoptimaliseerde deklaagweerstand is gegeven in tabel 5.1.

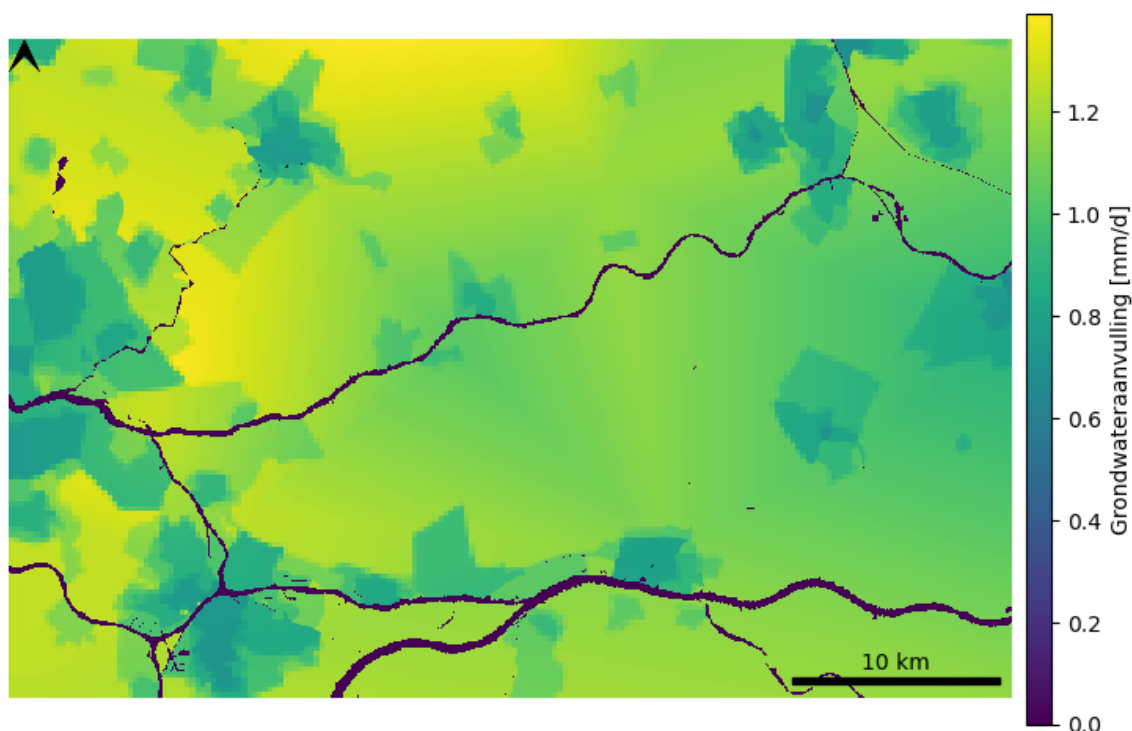
Tabel 5.1 Geoptimaliseerde deklaagweerstand per meter voor verschillende lithoklassen in GeoTOP

Lithoklasse GeoTOP	Geoptimaliseerde weerstand [d/m]
veen	250
klei	150
zandige klei	10

5.2 Aanpassen grondwateraanvulling

Na het aanpassen van de deklaagweerstand was de freatische grondwaterstand nog te laag. De volgende aanpassing is het veranderen van de grondwateraanvulling. Deze is verhoogd van gemiddeld 0,7 mm/d naar gemiddeld 1,1 mm/d. De geoptimaliseerde grondwateraanvulling in het modelgebied is gegeven in afbeelding 5.1. De grondwateraanvulling rond de bebouwde kernen is lager dan buiten deze kernen, doordat het percentage verhard oppervlakte hier hoger is.

Afbeelding 5.1 Grondwateraanvulling in het modelgebied



Er is gekozen om de grondwateraanvulling te optimaliseren, en niet bijvoorbeeld de drainageweerstand, omdat de drainageweerstand zijn aangeleverd vanuit een gekalibreerd (Triwaco)model. Door de grondwateraanvulling te optimaliseren kan eenvoudig een significante verbetering van de modelprestatie worden bereikt, zonder afbreuk te doen aan de reeds gekalibreerde informatie vanuit het Triwaco-model.

Kalibratie van infiltratieweerstanden is niet mogelijk op de potentiële winlocaties, omdat in de huidige situatie en kwel optreedt. Ook hier hebben we de gegevens vanuit het Triwaco-model gebruikt, waarbij een gelijke infiltratie- en drainageweerstand wordt gebruikt.

5.3 Resultaten optimalisatie

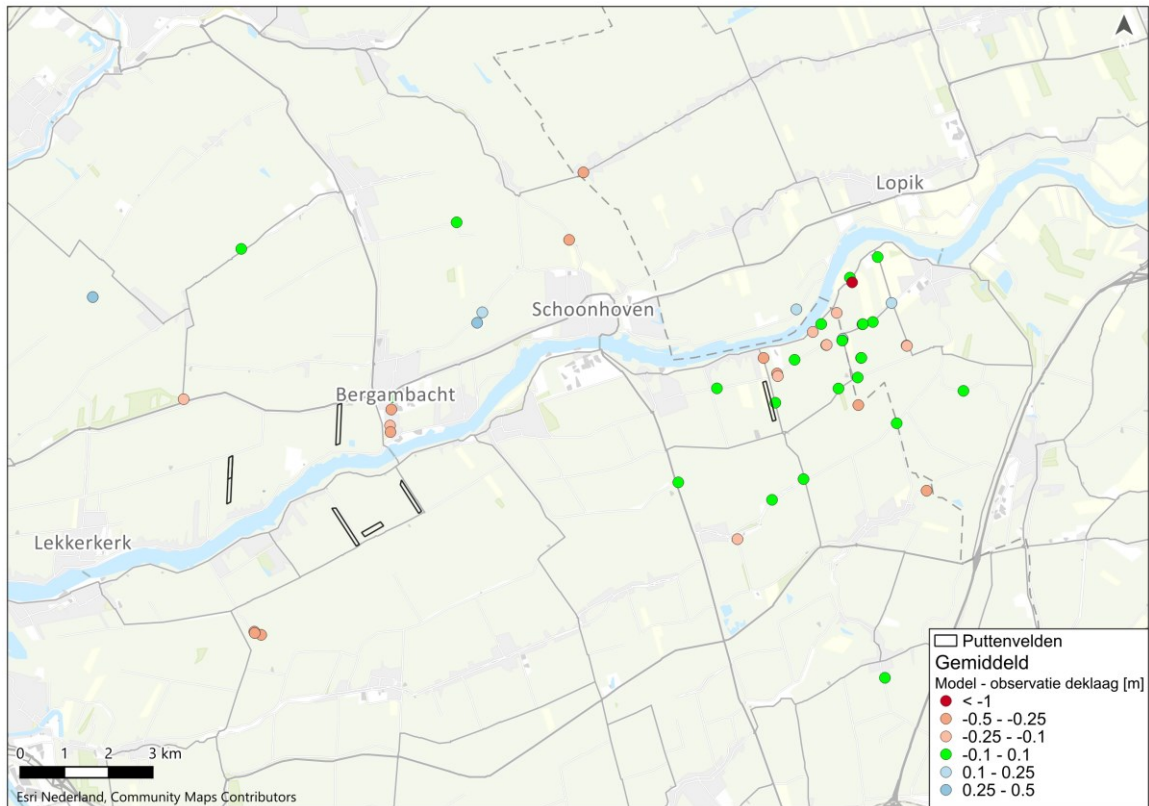
De resultaten voor de deklaag en het eerste watervoerend pakket zijn gegeven in afbeelding 5.2 en afbeelding 5.3. De gemodelleerde grondwaterstanden en stijghoogten komen goed overeen met de gemeten waarden. De verschillen tussen de gemodelleerde waarde en gemeten waarden zijn acceptabel voor een regionaal model. Uit tabel 5.2. blijkt dat gemiddeld genomen de grondwaterstanden iets te hoog worden berekend (12 cm) en de stijghoogten iets te laag (5 cm). De resultaten uit het eerste watervoerend pakket rond de Lek zijn niet eenduidig te hoog of te laag, waardoor er geen aanleiding is om de Lekweerstand aanvullend te kalibreren.

Tabel 5.2 Statistieken van de vergelijking tussen model en ijkset, na optimalisatie van de deklaag weerstand en 1^e WVP

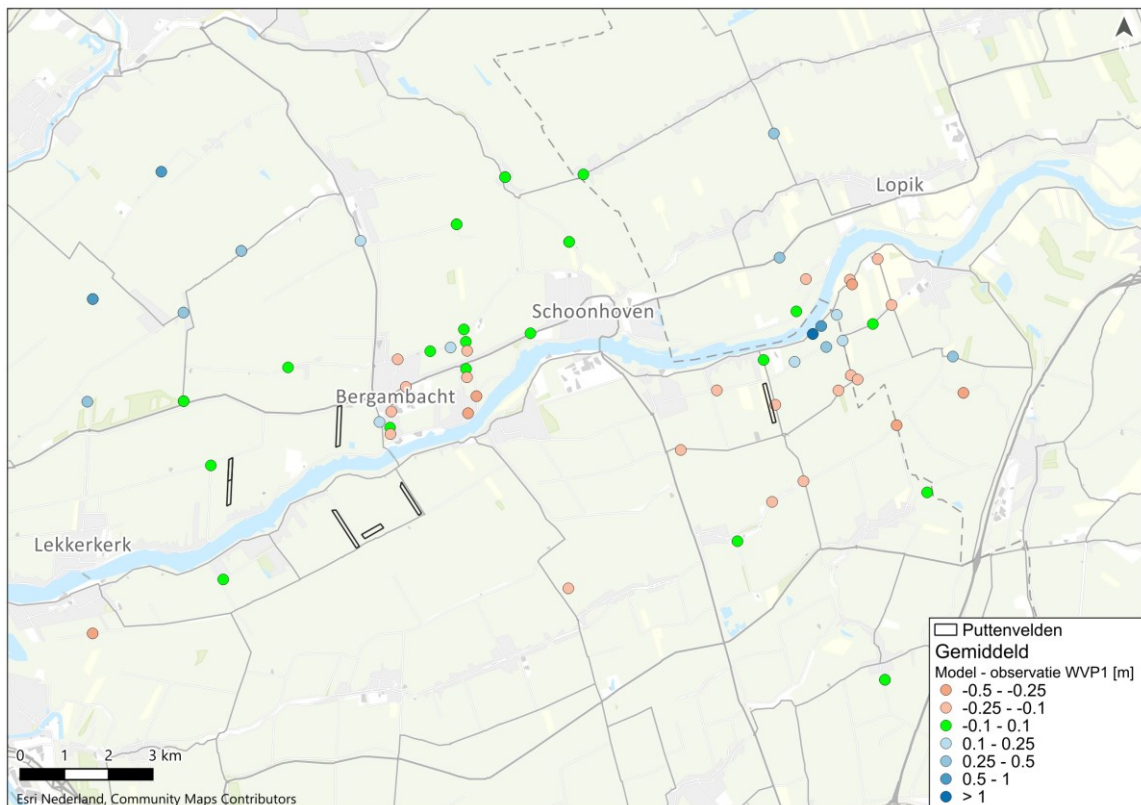
	Deklaag	WVP1
gemiddelde fout (meting – model) [m]	0,12 (was 0,16)	-0,05 (was -0,17)
gemiddelde absolute fout [m]	0,19 (was 0,26)	0,22 (was 0,24)
RMSE [m]	0,27 (was 0,40)	0,32 (was 0,37)

Wat betreft stijghoogte en freatische grondwaterstanden is de kalibratie voldoende en wordt het model geschikt geacht voor de verdere effectmodellering.

Afbeelding 5.2 Modelberekening - observatie voor de deklaag. Groter dan 0 is hoger gemodelleerd dan de observatie



Afbeelding 5.3 Modelberekening - observatie voor het eerste watervoerend pakket. Groter dan 0 is hoger gemodelleerd dan de observatie

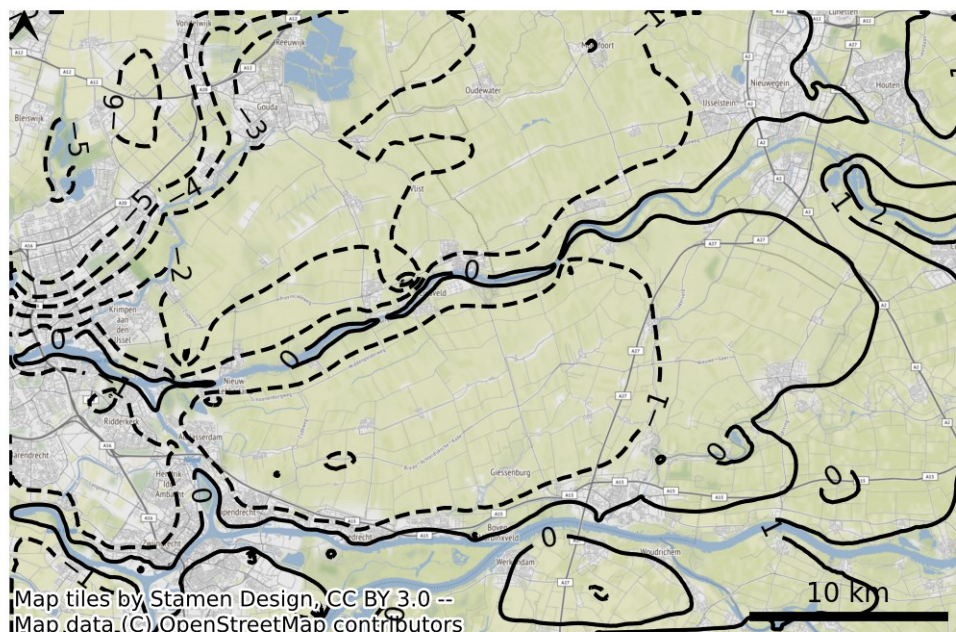


Isohypsens eerste watervoerend pakket

Aangezien de stijghoogte een regionaal beeld geeft zijn de berekende isohypsens in het watervoerend pakket enkel geanalyseerd voor het hele modelgebied. De gemodelleerde stijghoogte in het eerste watervoerend pakket is weergegeven in afbeelding 5.4. Vergelijkbaar met de isohypsens die zijn weergegeven in hoofdstuk 3 neemt de stijghoogte af richting het noorden. In tegenstelling met deze eerder weergegeven isohypsens zijn de bestaande drinkwaterwinningen in het model duidelijker zichtbaar. Dit is bijvoorbeeld te zien bij De Steeg en Rodenhuis. Dit komt ook overeen met de metingen, die laten zien dat de stijghoogte rondom deze winvelden lager is dan in de directe omgeving.

Uit de isohypsens blijkt ook dat de Lek een belangrijke invloed heeft op de stijghoogte. Nabij de Lek zijn de hoogste stijghoogtes gemodelleerd.

Afbeelding 5.4 Gemodelleerde stijghoogte in het eerste watervoerend pakket in m NAP na aanvullende kalibratie



Kalibratie GHG-model en GLG-model

Zoals aangegeven is zijn de winter- en zomermodellen opgebouwd door aanpassing van de grondwateraanvulling met een bepaalde factor en aanpassing van de peilen. De peilen kunnen niet worden gewijzigd, omdat deze vastliggen in het peilbesluit. De enige parameter die kan worden aangepast is dus de grondwateraanvulling.

Door de berekende grondwaterstand en de grondwaterstand op basis van metingen met elkaar te vergelijken is grondwateraanvullingsfactor geoptimaliseerd.

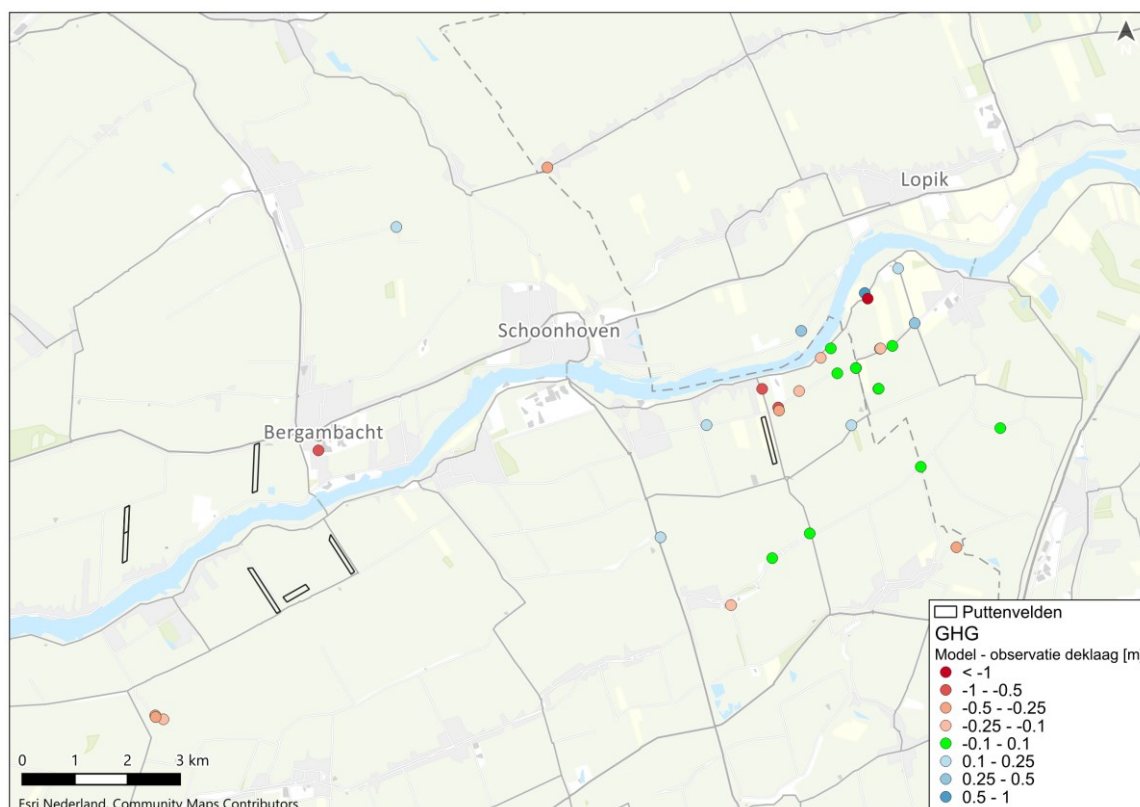
Wintersituatie

In afbeelding 5.5 zijn de verschillen tussen gemeten en gemodelleerde freatische waterstanden weergegeven bij de initiële aanpassingsfactor van 3,5. De statistieken voor het GHG-model zijn gegeven in tabel 5.3.

Tabel 5.3 Statistieken voor het GHG-model

		GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) GHS (gemiddeld hoogste stijghoogte)
Deklaag	gemiddelde afwijking (meting - model) [m]	0,14
	gemiddelde absolute afwijking [m]	0,26
	RMSE [m]	0,38
WVP	gemiddelde afwijking (meting - model) [m]	0,08
	gemiddelde absolute afwijking [m]	0,24
	RMSE [m]	0,32

Afbeelding 5.5 Verschillen in freatische grondwaterstand tussen metingen en model voor het GHG-model



De resultaten geven geen aanleiding de factor van 3,5 x de gemiddelde neerslag voor de grondwateraanvulling van het GHG-model aan te passen.

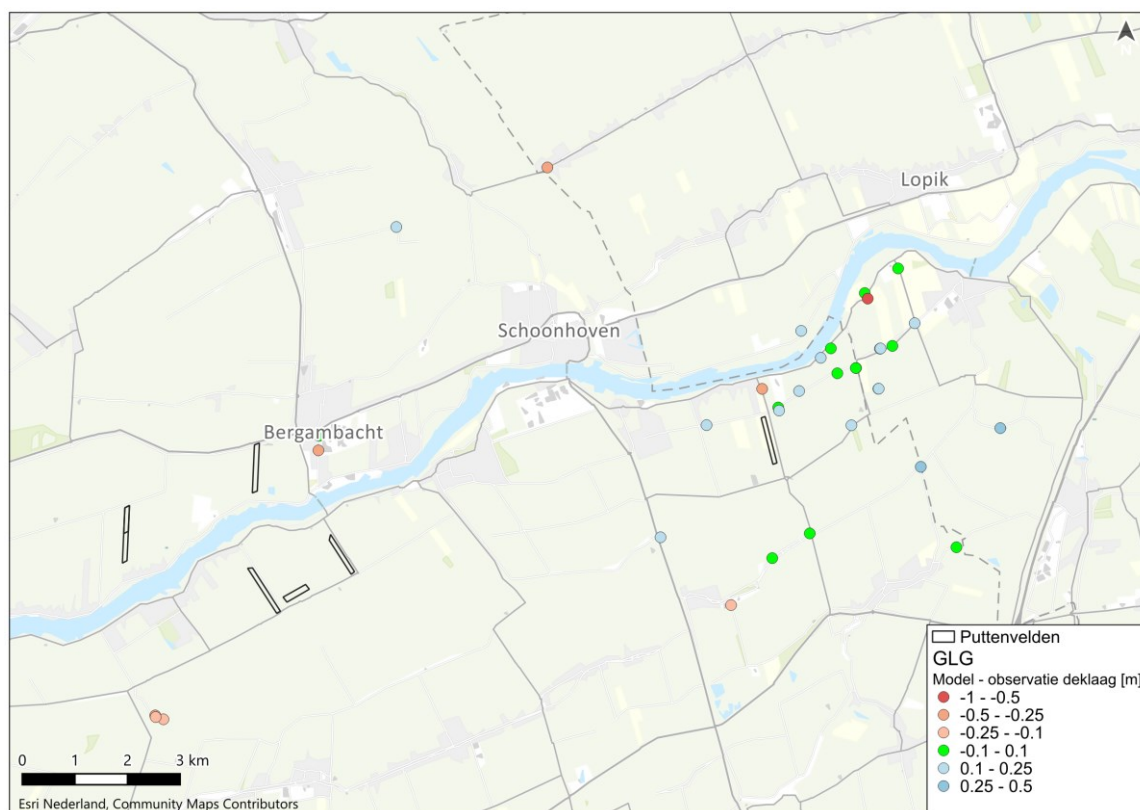
Zomersituatie

In de zomersituatie is het uitgangspunt voor de aanpassing van de grondwateraanvulling factor van -0,9, conform onderzoek bij winning De Put. In het geval van een vermenigvuldigingsfactor van -0,9 voor de grondwateraanvulling wordt de GLG gemiddeld te laag berekend. Om deze reden zijn ook nog modellen met andere factoren doorgerekend. Na optimalisatie bleek factor 0,3 het beste resultaat te geven. De statistische parameters zijn in tabel 5.4 weergegeven en de peilbuizen zijn weergegeven in afbeelding 5.6.

Tabel 5.4 Statistieken voor verschillende factoren voor de grondwateraanvulling

		GLG / GLS (factor 0,3)
Deklaag	gemiddelde afwijking (meting - model) [m]	0,00
	gemiddelde absolute afwijking [m]	0,17
	RMSE [m]	0,25
WVP	gemiddelde afwijking (meting - model) [m]	-0,20
	gemiddelde absolute afwijking [m]	0,26
	RMSE [m]	0,43

Afbeelding 5.6 Resultaten voor een GLG-model met een factor 0,3



6

REKENSENARIO'S

6.1 Ontwikkeling worst-case modellen

Ten opzichte van de verwachtingswaarde is er een best case situatie en een worst case situatie voor wat betreft effecten. Daarom zijn er aanvullend op de modellen op basis van de verwachtingswaarde die hierboven zijn gedefinieerd, worst-case modellen gedefinieerd. In de worst-case situatie zijn de effecten groter dan de effecten bij de verwachtingswaarde. Er wordt niet verwacht dat deze effecten daadwerkelijk optreden, maar door onzekerheid in de geohydrologische situatie kan het niet worden uitgesloten dat deze situatie optreedt.

Deze modellen worden onder andere gebruikt voor input bij de berekening van de effecten op bodemdaling en verzilting. Geohydrologische uitgangspunten hierbij zijn een variatie in bodemparameters (in weerstand van de deklaag, doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket en de weerstand van de tweede slecht doorlatende laag) en debiet.

Voor de effectberekening worden daarom verschillende scenario's doorgerekend. Naast het basisscenario (B), gaat het hier ook om worst case scenario's (W), om de uiterste effecten te bepalen. In deze paragraaf worden de scenario's die worden doorgerekend verder toegelicht.

Voor het bepalen welke parametercombinatie in deze situatie maatgevend is, moet worden bepaald wat een worst case situatie inhoudt. In tabel 6.1 is een overzicht gegeven van verschillende worst case situaties met bijbehorende parametercombinaties. Hierbij wordt uitgegaan dat parameters worden aangepast ten opzichte van de verwachtingswaarde, welke aanwezig is in het gekalibreerde model.

Tabel 6.1 Overzicht van verschillende worst case situaties met bijbehorende parameters. Parameterwaardes zijn ten opzichte van de verwachtingswaarde

Situatie	kD eerste watervoerend pakket	Weerstand deklaag	Weerstand 1 ^e scheidende laag
grootste daling op maaiveld, klein invloedsgebied	laag	laag	hoog
grootste gebied met effect (verandering freatische grondwaterstand) aan maaiveld	hoog	laag	hoog
grootste upconing	laag	hoog	laag

In het veenweidegebied is er bij een daling van het waterniveau een risico op zettingen. Hierdoor wordt gekozen om een worst-case situatie door te rekenen waarbij zich de grootste freatische verlagingen voordoen. Daarnaast is vanuit de provincie de upconing van belang. Deze worst-case situatie ten aanzien van upconing wordt ook doorgerekend. Dit betekent dat er voor een worst-case benadering 2 scenario's worden doorgerekend.

Dit zijn:

- grootste daling op maaiveld (WA);
- grootste upconing (WB).

In paragraaf 4.2 zijn bandbreedtes aangegeven. Voor parameters die een hogere waarde hebben dan de verwachtingswaarde wordt de waarde vermenigvuldigd met de hoogste factor voor de bandbreedte. Voor parameters die een lagere waarde hebben dan de verwachtingswaarde wordt de verwachtingswaarde vermenigvuldigd met de laagste factor voor de bandbreedte. De parameters worden in een straal van een kilometer rondom het puttenveld aangepast.

6.2 Rekenscenarios

De scenario's die worden doorgerekend voor het MER-onderzoek (fase 1, locatiebepaling) zijn gegeven in tabel 6.2.

Tabel 6.2 Door te rekenen scenario's fase 1

Naam	Scenario	Onttrekking nieuw winveld	Vergelijken met	Effect-beschrijving	Input voor	Opmerkingen
B	situatie 2023	geen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	gekalibreerd model huidige situatie
B1	referentie + winning (GEM, GLG, GHG)	gemiddeld Q	B0	hydrologische + afgeleide effecten	alle afgeleide effecten, m.u.v. verzilting	gekalibreerd model
WA0	referentie met worst case parameters maaiveld daling	geen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	lagere kD, lagere weerstand deklaag, hogere weerstand scheidende laag
WA1	referentie met worst case parameters (WA0) + worst case winning (GLG)	1,4 x gemiddeld Q (zomerpiek onttrekking)	WA0	hydrologische effect op de GLG	bodemdaling	lagere kD, lagere weerstand deklaag, hogere weerstand scheidende laag
WB0	referentie met worst case parameters upconing	gemiddeld Q	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	lagere kD, hogere weerstand deklaag, lagere weerstand scheidende laag
WB1	worst case referentie + winning	gemiddeld Q	WB0	hydrologische effecten	verzilting	lagere kD, hogere weerstand deklaag, lagere weerstand scheidende laag

Het worst-case rekenscenario A (scenario WA) bestaat uit een combinatie van worst case parameters voor de grootste verlagingen aan maaiveld en een maximaal onttrekkingsdebiet, dat in de zomer tijdelijk onttrokken kan worden. De onttrekking van het puttenveld kent een maximum (zomer)debiet per dag dat nooit groter is

dan 1,4 keer het gemiddelde debiet per dag [ref. 10]. In geval van calamiteiten kan het nodig zijn dit maximale debiet gedurende een periode van 26 dagen achter elkaar te onttrekken. In dit geval wordt voor 2 maanden het maximum maanddebiet van 10 procent van het maximum jaardebiet bereikt. Dit debiet van 1,4 keer het gemiddelde dagelijkse debiet wordt gebruikt als het debiet tijdens een worst case scenario. Voor worst case rekenscenario B (scenario WB), wordt gerekend met een gemiddeld debiet. Dit wordt gedaan omdat upconing plaatsvindt over een lang tijdsbestek. Hierdoor vindt upconing plaats tijdens zowel periodes met een hoog debiet als met een lager debiet.

6.3 Verziltingsmodel

De basis voor het verziltingsmodel zijn de grondwaterstromingsberekeningen van de worst-case situatie. Voor de bouw van het verziltingsmodel zijn 2 extra parameters van belang, de concentratie van chloride in het grondwater en de concentratie van chloride in het lekwater.

Daarnaast wordt een porositeit en een dispersiefactor ingevoerd, conform de waarden die zijn gehanteerd bij het verziltingsonderzoek bij De Put [ref. 15]. Deze waardes zijn de volgende:

- porositeit: 0,3 [-];
- dispersiefactor: 1 [m].

Chloridegehalte grondwater

In paragraaf 2.5.4 gekeken naar de concentraties van chloride in het grondwater, op basis van metingen en gegevens uit het NHI. Deze gegevens vormen de basis voor de uitgangspunten van de chlorideconcentraties voor elke modellaag van het verziltingsmodel. De initiële chlorideconcentratie die gebruikt wordt is gegeven in tabel 6.3.

Tabel 6.3 Uitgangspunten chlorideconcentraties per modellaag, op basis van chloride concentraties uit Dinoloket en het NHI

Laag	Concentratie cl- grondwatermodel (mg/l)	Gemiddelde concentratie cl- NHI (mg/l)	Gemiddelde concentratie cl- Dino (mg/l)	Aantal metingen (DINO)
1	80	87		
2	90	90	85	115
3	96			
4	102	102	21	11
5	109			
6	116	116	73	7
7	132			
8	148	148	198	3
9	154			
10	160	-	160	2
11	267			
12	374	374	482	2

6.4 Stroombaanberekeningen

Voor het bepalen van de reistijd en de potentiële beschermingsgebieden worden stroombaanberekeningen uitgevoerd. Stroombaanberekeningen worden uitgevoerd door vanaf elke put 900 punten te laten vertrekken. Met achterwaartse berekeningen worden reistijden en stroombaanberekeningen gemaakt. Ook in deze berekeningen wordt uitgegaan van een porositeit van 0,3 [-].

REFERENTIES

- 1 Acacia Water, 2020, Introductie: Oasen modelinstrumentarium. Status: Eindrapport.
Kenmerk: AW_180_AD_201006.
- 2 AHN, 2019, Algemeen Hoogtebestand Nederland 3.
- 3 Bakker, M., Post, V., Langevin, C.D., Hughes, J.D., White, J.T., Leaf, A.T., Paulinski, S.R., Larsen, J.D., Toews, M.W., Morway, E.D., Bellino, J.C., Starn, J.J., and Fienen, M.N., 2019, FloPy v3.3.1 - release candidate: U.S. Geological Survey Software Release, 15 December 2019,
<http://dx.doi.org/10.5066/F7BK19FH>
- 4 Bot, B., 2016, Grondwaterzakboekje.
- 5 C.H. van Immerzeel, 2016, IJking grondwatermodel de Put.
- 6 Delsman, J.R., Oude Essink, G.H.P., Huizer, S., Bootsma, H., Mulder, T., Zitman, P., Romero Verastegui, B., 2020. Actualisatie zout in het NHI - Toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model, Deltares rapport 11205261-003-BGS-0001. Utrecht.
- 7 Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, 2021, Toelichting peilbesluiten Krimpenerwaard.
- 8 Hydrologic, 2018, Verzilting op de Lek, P954.
- 9 I.H. Phernambucq, 2015, The vertical hydraulic resistance of the Lek River and consequences for travel times.
- 10 Oasen, nd, Functionele Eisen en ontwerprichtlijnen Winputten en Puttenvelden.
- 11 Rijksoverheid, nd, Instrument waterbeschikbaarheid hoofdwatersysteem (WABES). Beschikbaar via:
<https://wabes.nl/#/>.
- 12 TNO, 1995, Isohypsens.
- 13 TNO, 2017, REGIS II v2.2.
- 14 Waterschap Rivierenland, 2023, Peilbesluit Alblasserwaard. Beschikbaar via:
<https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR702135/1>.
- 15 Witteveen+Bos, 2020, Vergunningentraject wijziging winning - Geohydrologisch effectrapport ZS De Put - Eindrapport. Status: Definitief. Referentie: 118193/20-005.733.
- 16 Witteveen+Bos, 2025, Oevergrondwaterwinning Alblasserwaard/Krimpenerwaard - Milieueffectrapport fase 1 (locatieonderzoek) - Hoofdrapport . Referentie: 143484_25-010.495

Bijlage(n)

BIJLAGE: BODEMOPBOUW WINLOCATIES

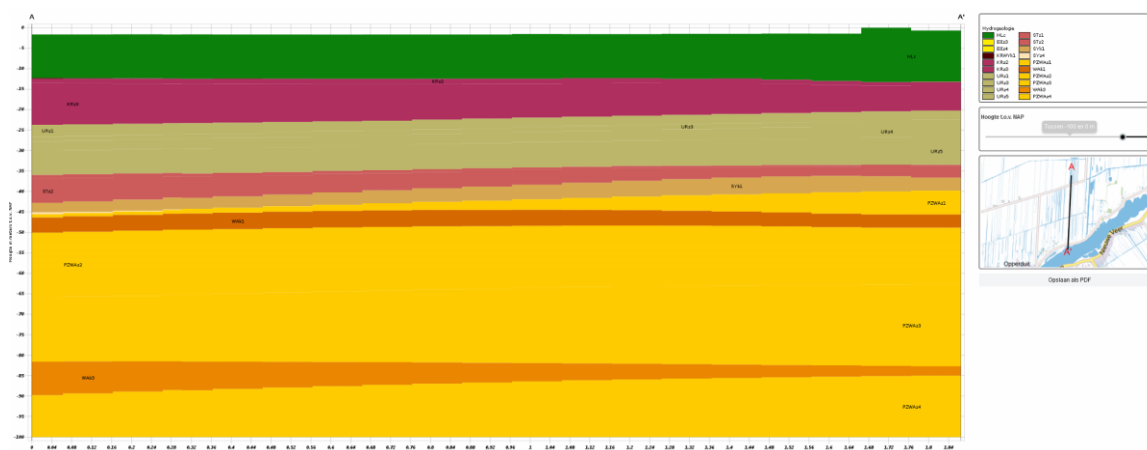
I.1 Winlocatie Den Hoek

De bodemopbouw bij de polder Den Hoek is gegeven in afbeelding I.1 en afbeelding I.2. Onder een Holocene deklaag met een dikte van circa 11 m is het 1^e WVP aanwezig, met een dikte van ruim 30 m. Het 1^e WVP wordt aan de onderzijde begrensd door de Waalre klei 1. De 2^e kleiige eenheid van de formatie van Waalre afwezig.

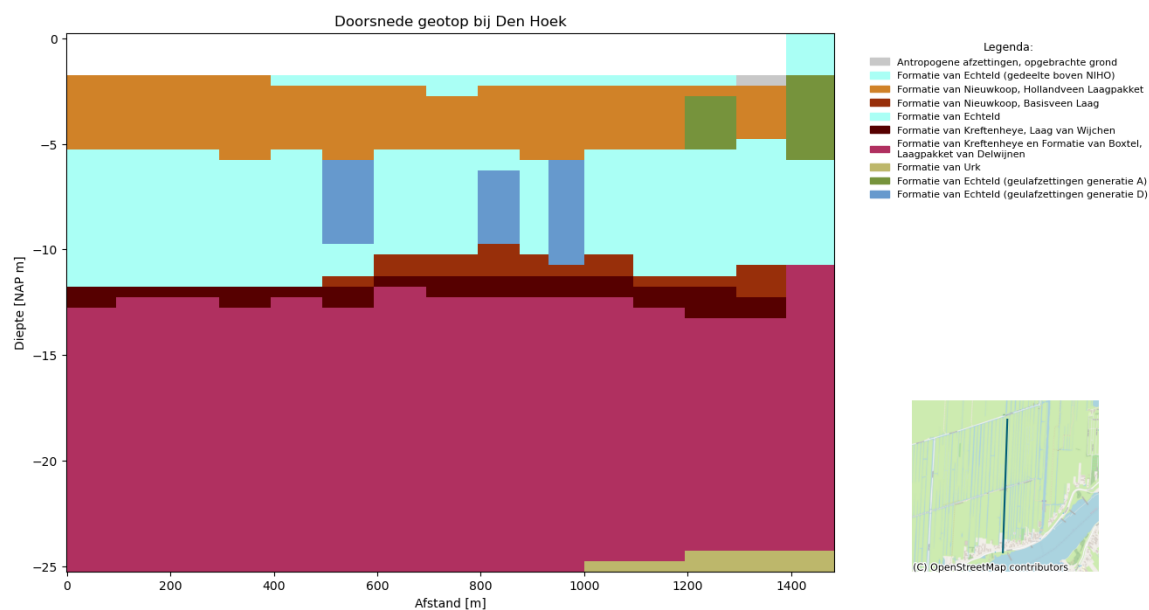
In tabel I.1 Schematische bodemopbouw modelinstrumentarium bij puttenveld Den Hoek is de modelschematisatie van de ondergrond opgenomen. De transmissiviteit van het 1^eewatervoerend pakket beduidend hoger dan die van de onderliggende pakketten.

In afbeelding I.2 is de ondiepe bodemopbouw weergegeven. Binnen de Holocene deklaag is Holland veen en Basisveen aanwezig. Tussen het Holland veen en het Basisveen bevinden zich geulafzettingen. Deze geulafzettingen hebben een maximale dikte van ongeveer 5 m en komen voornamelijk voor richting de Lek.

Afbeelding I.1 Bodemopbouw nabij polder Den Hoek uit REGIS



Abbeelding I.2 Ondiepe bodemopbouw nabij polder Den Hoek uit GeoTOP



Tabel I.1 Schematische bodemopbouw modelinstrumentarium bij puttenveld Den Hoek

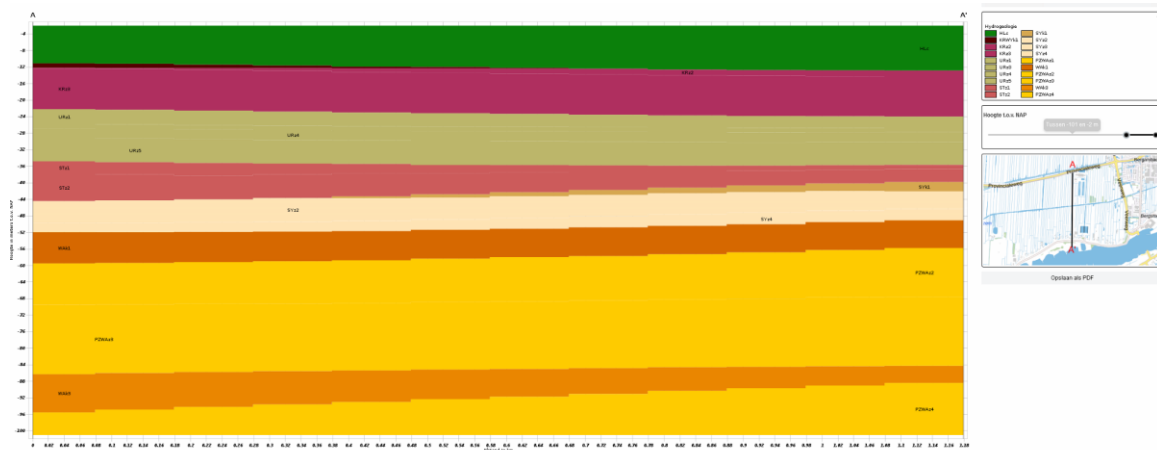
Laag modelinstrumentarium	Geohydrologische beschrijving	Lithostratigrafie	Laagdikte [m]
1	SDL 1 (deklaag)	holoceen	11
2	WVP 1	formatie van Kreftenheye formatie van Bortel formatie van Urk formatie van Sterksel formatie van Drenthe formatie van Stramproy formatie van Peize en formatie van Waalre, 1 ^e zandige eenheid	32,3
3	SDL 2	formatie van Waalre, 1 ^e kleiige eenheid	4
4	WVP 2	formatie van Peize en formatie van Waalre, 2 ^e zandige eenheid	14,6
5	SDL 3	formatie van Waalre, 2 ^e kleiige eenheid	0,5
6	WVP 3	formatie van Peize en formatie van Waalre, 3 ^e zandige eenheid	18
7	SDL 4	formatie van Waalre, 3 ^e kleiige eenheid	5,2
8	WVP 4	formatie van Peize en formatie van Waalre, 4 ^e zandige eenheid formatie van Maassluis, 1 ^e zandige eenheid	17,8
9	SDL 5	formatie van Maassluis, 1 ^e kleiige eenheid	8,7
10	WVP 5	formatie van Maassluis, 2 ^e zandige eenheid	8,5
11	SDL 6	formatie van Maassluis, 2 ^e kleiige eenheid	11,9
12	WVP 6	formatie van Maassluis, 3 ^e zandige eenheid	46,7

I.2 Winlocatie Bergambacht West

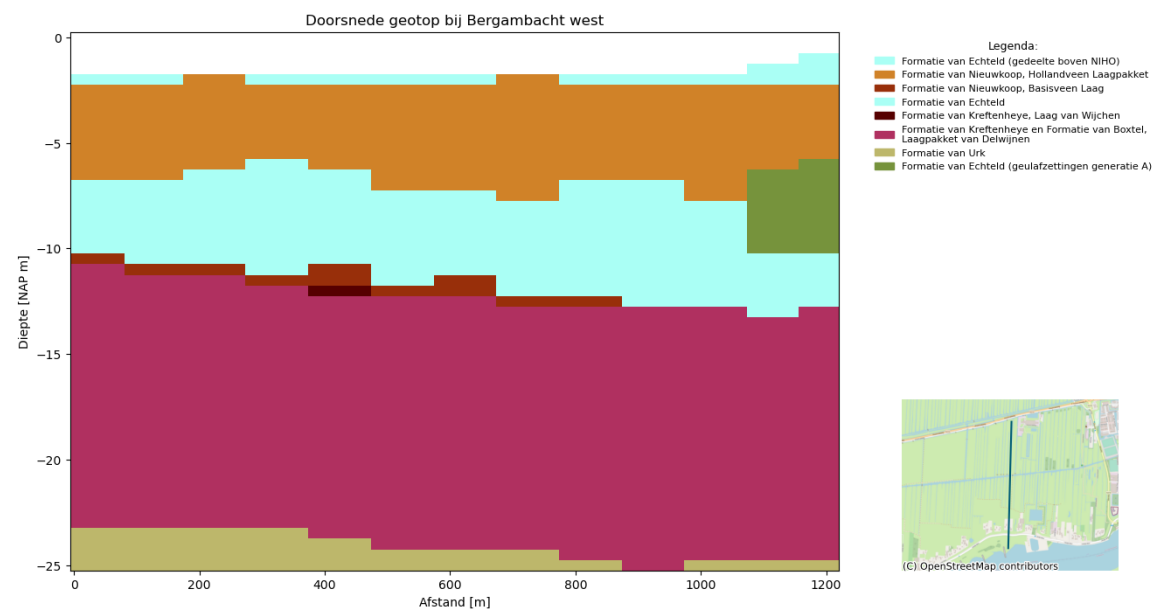
De bodemopbouw bij de Bergambacht West is gegeven in afbeelding I.3 en afbeelding I.4. Hierin is de tweede kleiige eenheid van de formatie van Waalre afwezig. Dit is ook meegenomen in de schematisatie weergegeven in tabel I.2.

De ondiepe bodemopbouw bestaat voornamelijk uit kleiige eenheden, zoals de eenheid van Echteld, naast Holland veen en Basisveen. Nabij de Lek is een geulafzetting te zien met een dikte van ongeveer 4 m. Deze geulafzetting bevindt zich tussen kleilagen.

Afbeelding I.3 Bodemopbouw nabij Bergambacht West uit REGIS



Afbeelding I.4 Ondiepe bodemopbouw nabij Bergambacht West uit GeoTOP



Tabel I.2 Schematische bodemopbouw modelinstrumentarium bij puttenveld Bergambacht West

Laag modelinstrumentarium	Geohydrologische beschrijving	Laagdikte [m]
1	SDL 1 (deklaag)	10,6
2	WVP 1	38,9
3	SDL 2	6,8
4	WVP 2	10,7
5	SDL 3	0,5
6	WVP 3	16
7	SDL 4	7,5
8	WVP 4	14,6
9	SDL 5	8,7
10	WVP 5	10,2
11	SDL 6	10,9
12	WVP 6	43,6

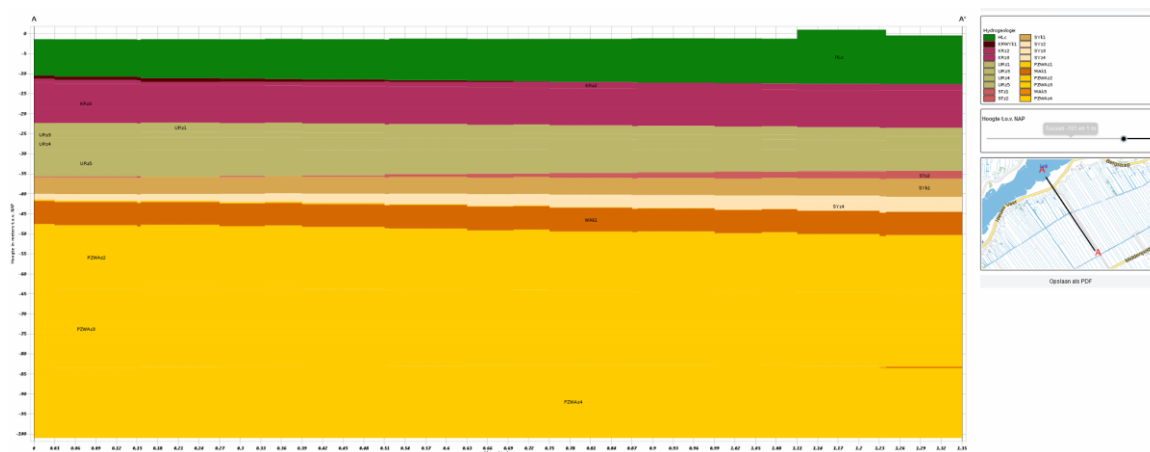
I.3 Winlocatie Streefkerk West

De bodemopbouw bij Streefkerk West is gegeven in afbeelding I.5 en afbeelding I.8. De Stramproy klei die in deze afbeelding zichtbaar is, is niet meegenomen in de schematische bodemopbouw die is gegeven in tabel I.3. De eerste slecht doorlatende laag die hier is meegenomen is de eerste kleiige eenheid van de formatie van Waalre. De Stramproy klei heeft lokaal een weerstand van 100 tot 500 dagen.

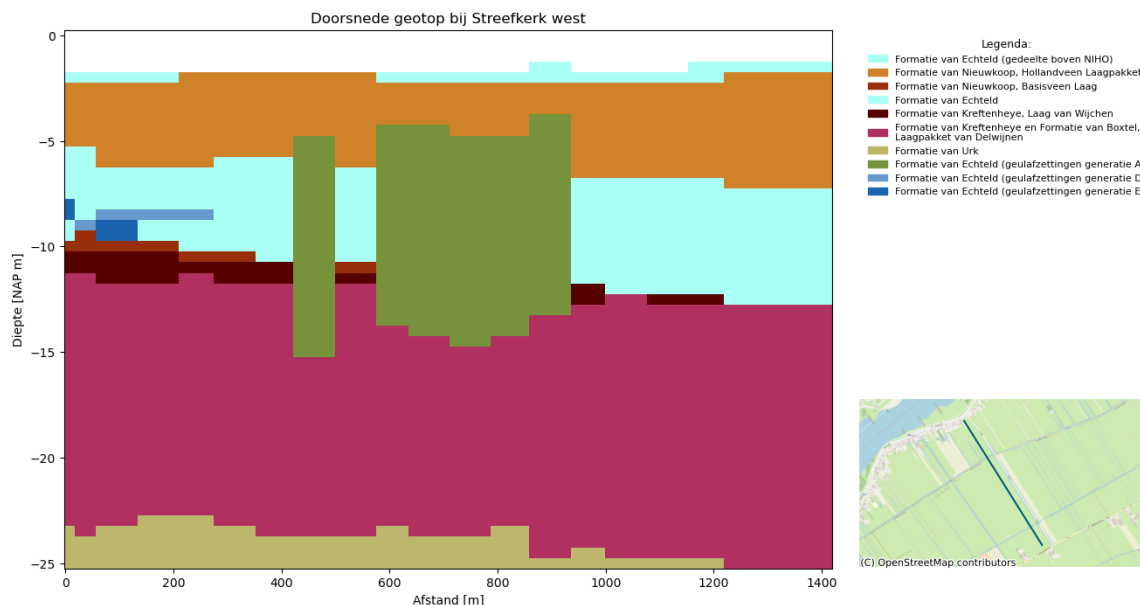
Daarnaast is de tweede en derde kleiige eenheid van de Waalre formatie afwezig. Deze hebben in de schematisatie ook een weerstand van 0,1 dag.

Op enkele locaties zijn geulafzettingen te zien onder het Hollandveen. Deze geulafzettingen hebben een dikte van maximaal 10 m. Deze geulafzettingen lopen door tot in het eerste watervoerend pakket.

Afbeelding I.5 Bodemopbouw nabij Streefkerk West uit REGIS



Afbeelding I.6 Ondiepe bodemopbouw bij Streefkerk West uit GeoTOP



Tabel I.3 Schematische bodemopbouw modelinstrumentarium bij puttenveld Streefkerk West

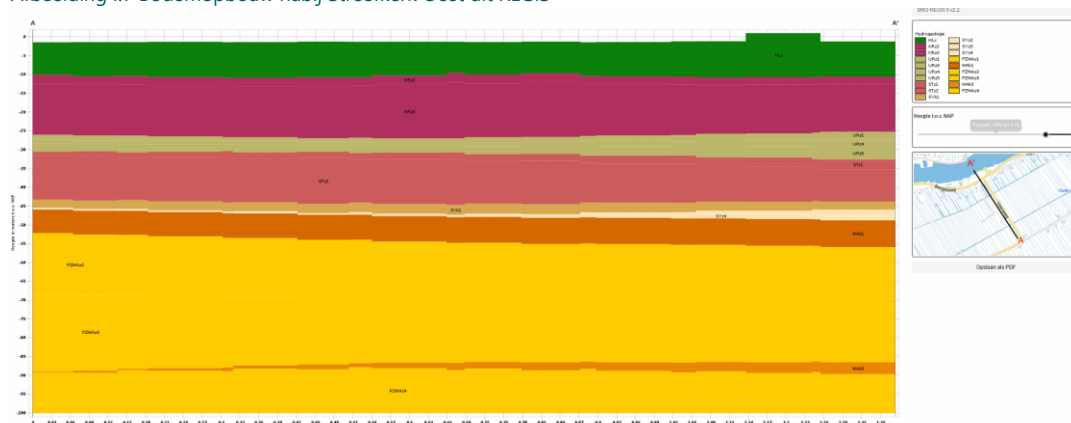
Laag modelinstrumentarium	Geohydrologische beschrijving	Laagdikte [m]
1	SDL 1	9
2	WVP 1	31,9
3	SDL 2	5,7
4	WVP 2	15,6
5	SDL 3	0,5
6	WVP 3	19,3
7	SDL 4	0,5
8	WVP 4	18,7
9	SDL 5	9,4
10	WVP 5	6,9
11	SDL 6	9,6
12	WVP 6	51,4

I.4 Winlocatie Streefkerk Oost

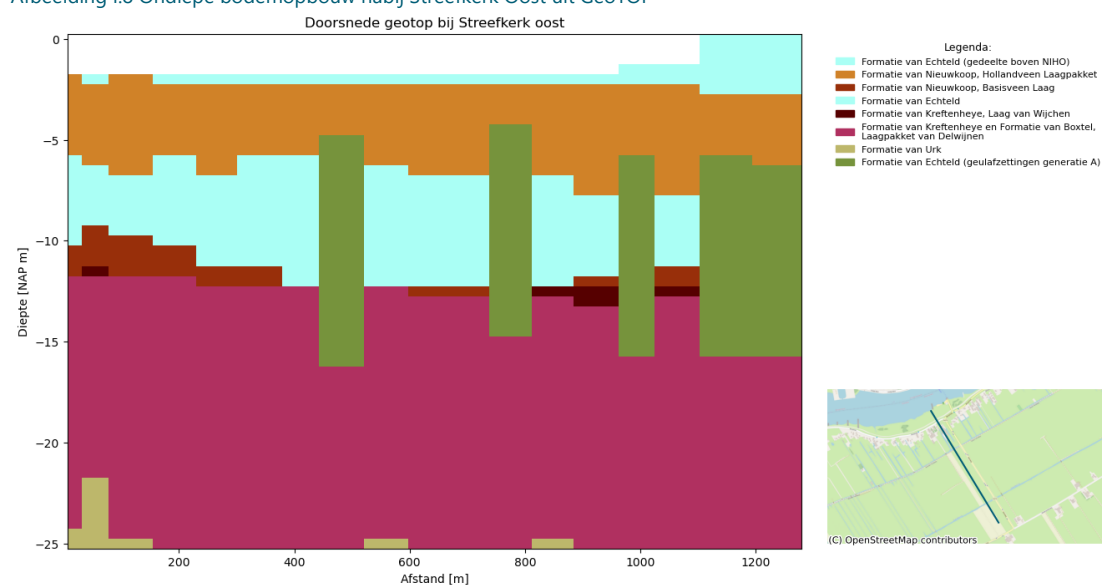
De bodemopbouw bij Streefkerk Oost is gegeven in afbeelding I.7 en afbeelding I.8. De Stramproy klei die in deze afbeelding zichtbaar is, is niet meegenomen in de schematische bodemopbouw die is gegeven in tabel I.4. De eerste slecht doorlatende laag die hier is meegenomen is de eerste kleiige eenheid van de formatie van Waalre. De Stramproy klei heeft lokaal een weerstand van 100 tot 500 dagen.

Daarnaast is de tweede kleiige eenheid van de Waalre formatie afwezig. Deze heeft in de schematisatie ook een weerstand van 0,1 dag. De derde kleiige eenheid van de Waalre formatie is bij Streefkerk Oost wel aanwezig, maar is dun. Hierdoor is de weerstand hier beperkt. Op verschillende plekken nabij de Lek zijn geulafzettingen aanwezig. Deze geulafzettingen hebben een dikte van ruim 10 m en lopen door tot het watervoerend pakket. Holland veen en Basisveen is aanwezig.

Abbeelding I.7 Bodemopbouw nabij Streefkerk Oost uit REGIS



Abbeelding I.8 Ondiepe bodemopbouw nabij Streefkerk Oost uit GeoTOP



Tabel I.4 Schematische bodemopbouw modelinstrumentarium bij puttenveld Streefkerk Oost

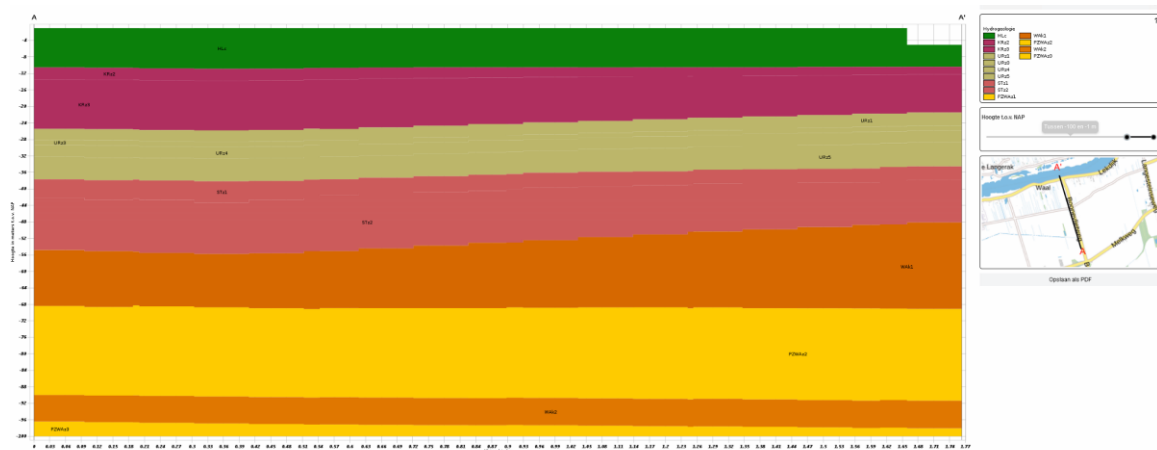
Laag modelinstrumentarium	Geohydrologische beschrijving	Laagdikte [m]
1	SDL 1	9
2	WVP 1	36,1
3	SDL 2	6,4
4	WVP 2	15,7
5	SDL 3	0,5
6	WVP 3	18,9
7	SDL 4	1
8	WVP 4	18,6
9	SDL 5	8,5
10	WVP 5	7,7
11	SDL 6	8,8
12	WVP 6	47,1

I.5 Winlocatie Waal

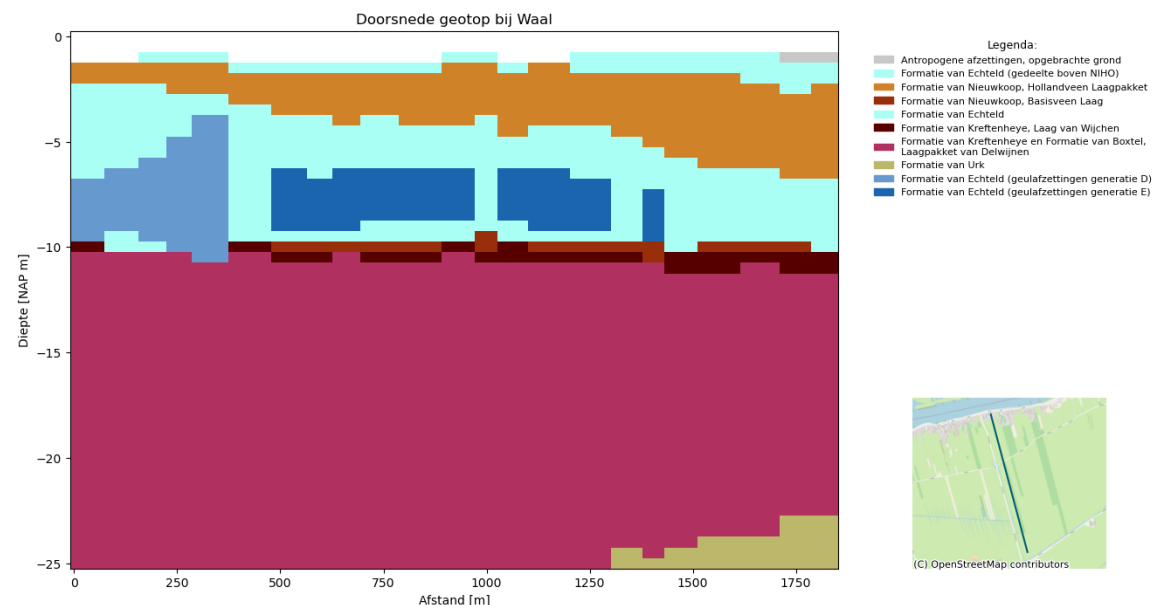
De bodemopbouw nabij Waal is gegeven in afbeelding I.9 en afbeelding I.10. Opvallend is dat het eerste watervoerend pakket en de tweede slecht doorlatende laag dikker zijn nabij Waal dan bij de andere gebieden. Dit is ook te zien aan de schematisatie in tabel I.5. De transmissiviteit van het eerste watervoerend pakket is in dit geval niet veel hoger dan bij andere puttenvelden. De weerstand in de tweede slechte doorlatende laag is wel hoger.

Nabij Waal zijn enkele geulafzettingen aanwezig. Deze geulafzettingen hebben een dikte tot ongeveer 5 m. In tegenstelling tot doorsneden bij andere locaties zijn de geulafzettingen hier aanwezig over een groot gedeelte van de doorsnede. Holland veen en Basisveen is aanwezig.

Afbeelding I.9 Bodemopbouw nabij Waal uit REGIS



Afbeelding I.10 Ondiepe bodemopbouw nabij Waal uit GeoTOP



Tabel I.5 Schematische bodemopbouw modelinstrumentarium bij puttenveld Waal

Laag modelinstrumentarium	Geohydrologische beschrijving	Laagdikte [m]
1	SDL 1 (deklaag)	9,7
2	WVP 1	44,1
3	SDL 2	14
4	WVP 2	21,6
5	SDL 3	6,5
6	WVP 3	15,1
7	SDL 4	9,7
8	WVP 4	10,9
9	SDL 5	10,5
10	WVP 5	16,4
11	SDL 6	9,8
12	WVP 6	7,4

I.6 Winlocatie Weerszijden Lek

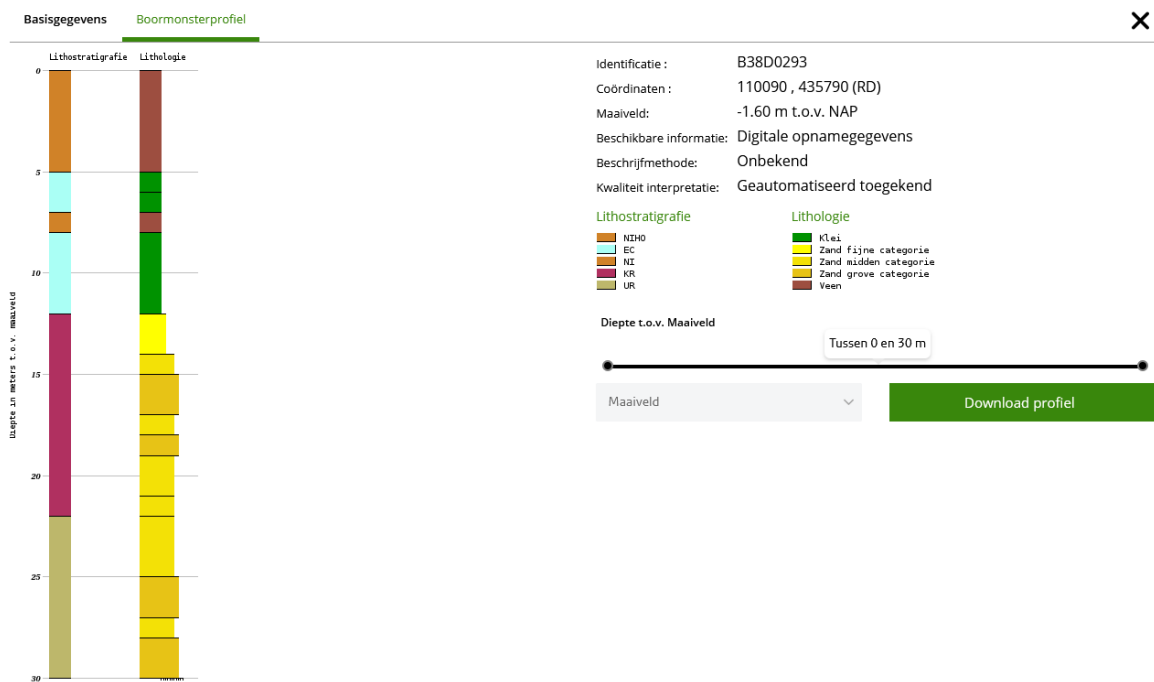
De bodemopbouw van de winlocatie Weerszijden Lek is vergelijkbaar met de bodemopbouw bij Den Hoek ten noorden van de Lek en de locaties Streefkerk Oost en Streefkerk West ten zuiden van de Lek.



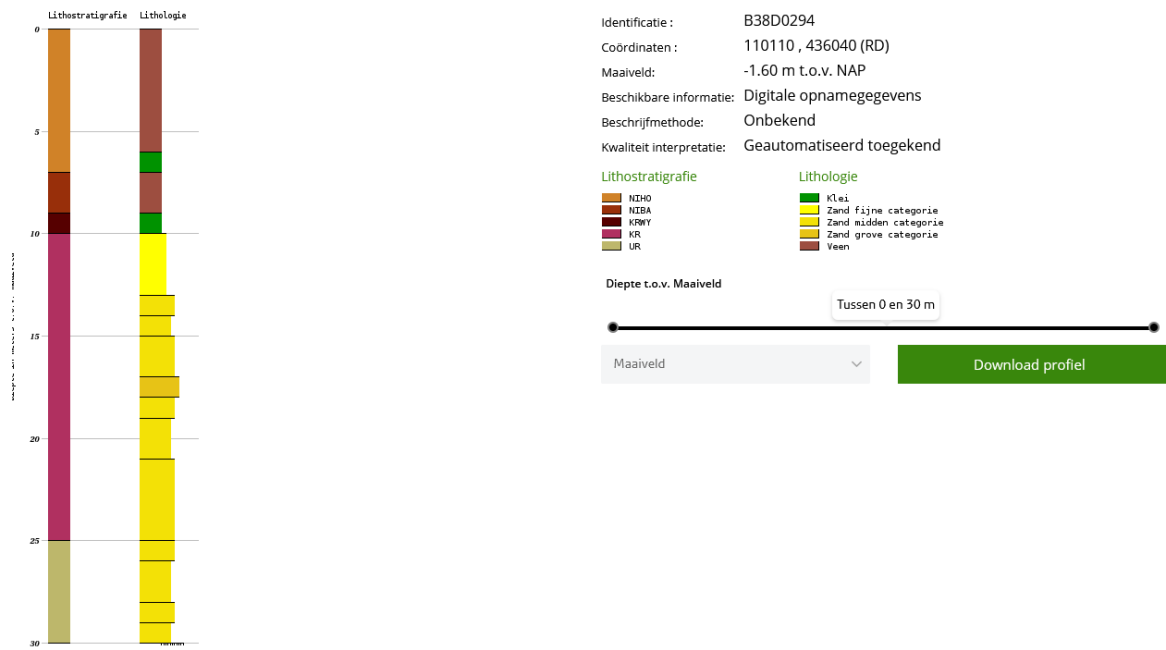
BIJLAGE: BORINGEN

II.1 Boorprofielen Den Hoek

Afbeelding II.1 Boormonsterprofiel behorende bij boring B38D0293

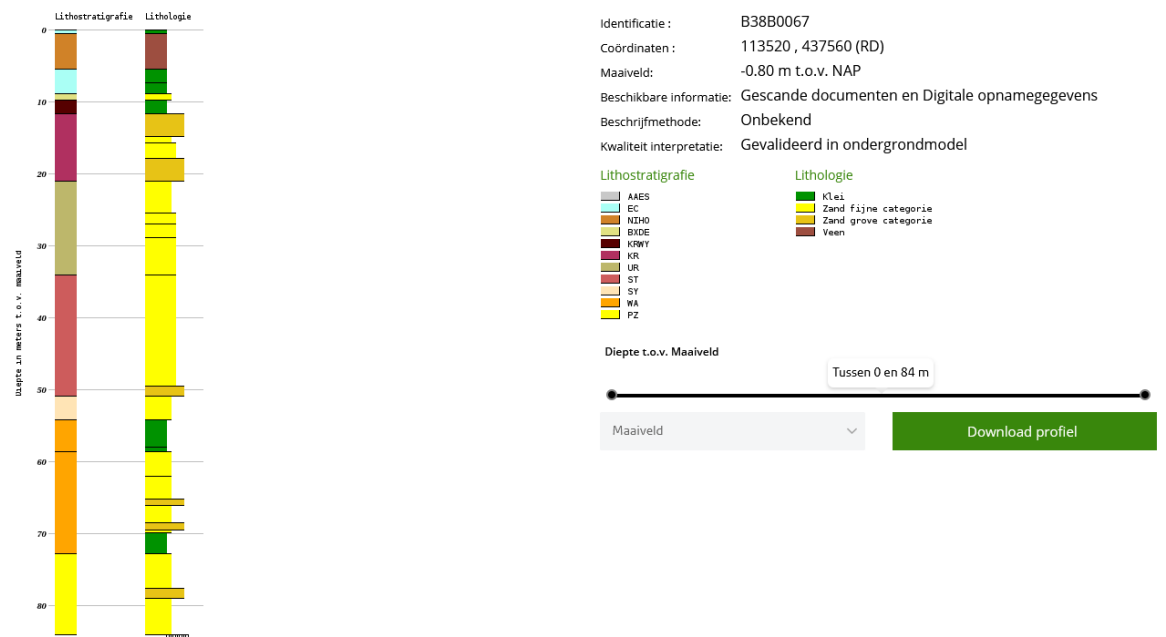


Afbeelding II.2 Boormonsterprofiel behorende bij boring B38D0294

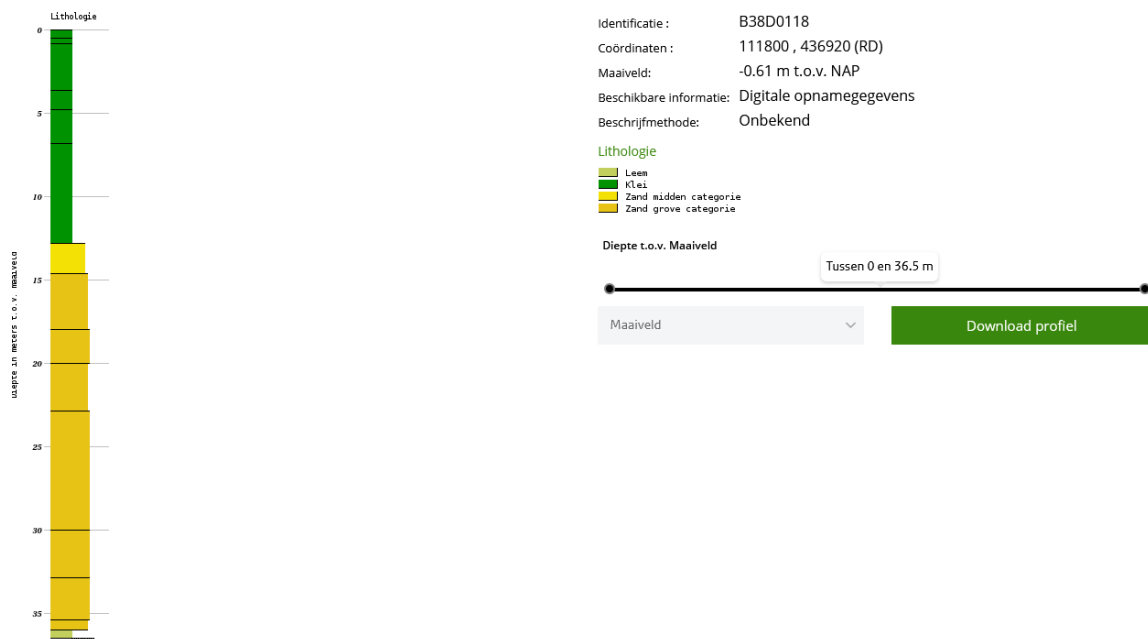


II.2 Boorprofielen Bergambacht West

Afbeelding II.3 Boorprofiel B38B0067

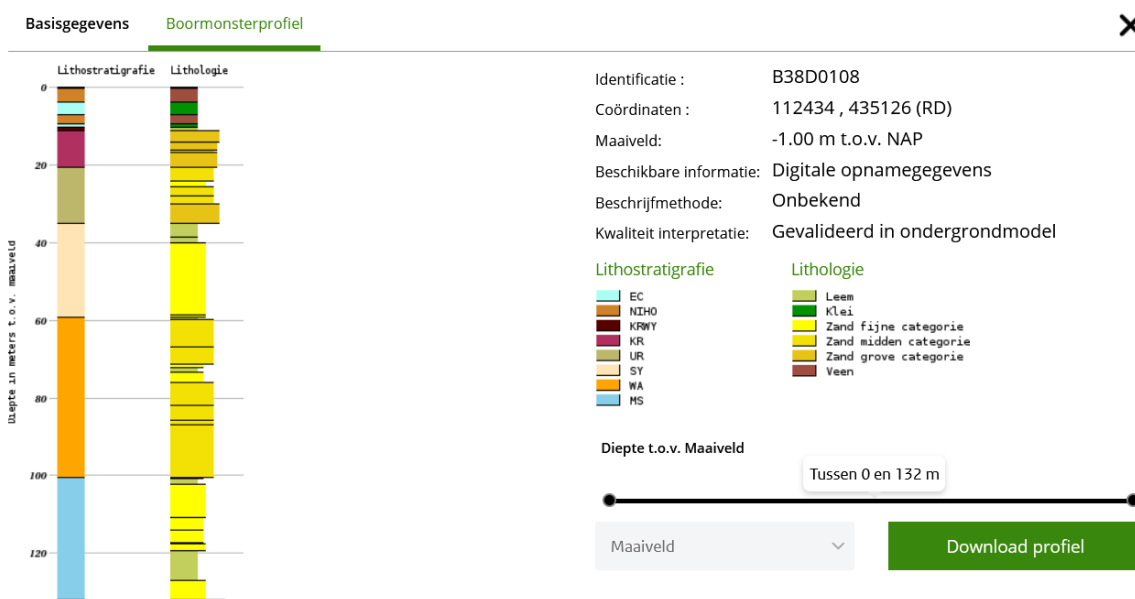


Afbeelding II.4 Boorprofiel B38D0118



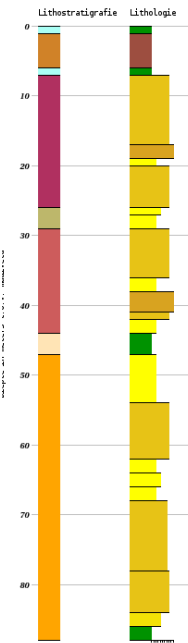
II.3 Boorprofiel Streefkerk West

Afbeelding II.5 Boring B38D0108



II.4 Boorprofiel Streefkerk Oost

Afbeelding II.6 Boorprofiel B38D0306



Identificatie : B38D0306
Coördinaten : 114000 , 436270 (RD)
Maaiveld: -1.20 m t.o.v. NAP
Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
Beschrijfmethode: Onbekend
Kwaliteit interpretatie: Gevalideerd in ondergrondmodel

Lithostratigrafie
EC
NIHO
UR
ST
SY
WA

Lithologie
Klei
Zand fijne categorie
Zand midden categorie
Zand grove categorie
Grind
Veen

Diepte t.o.v. Maaiveld

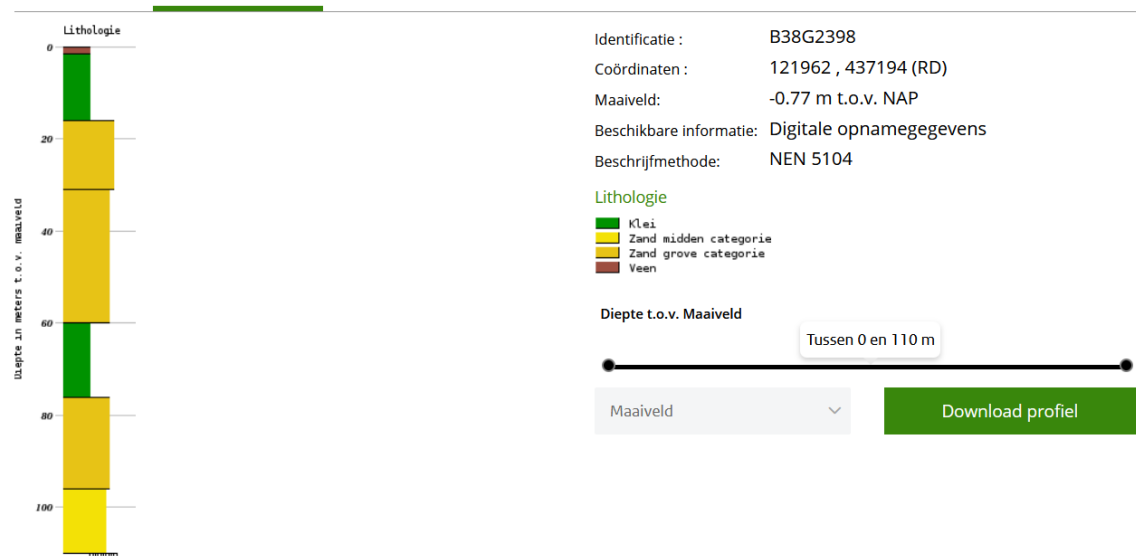
Tussen 0 en 88 m

Maaiveld

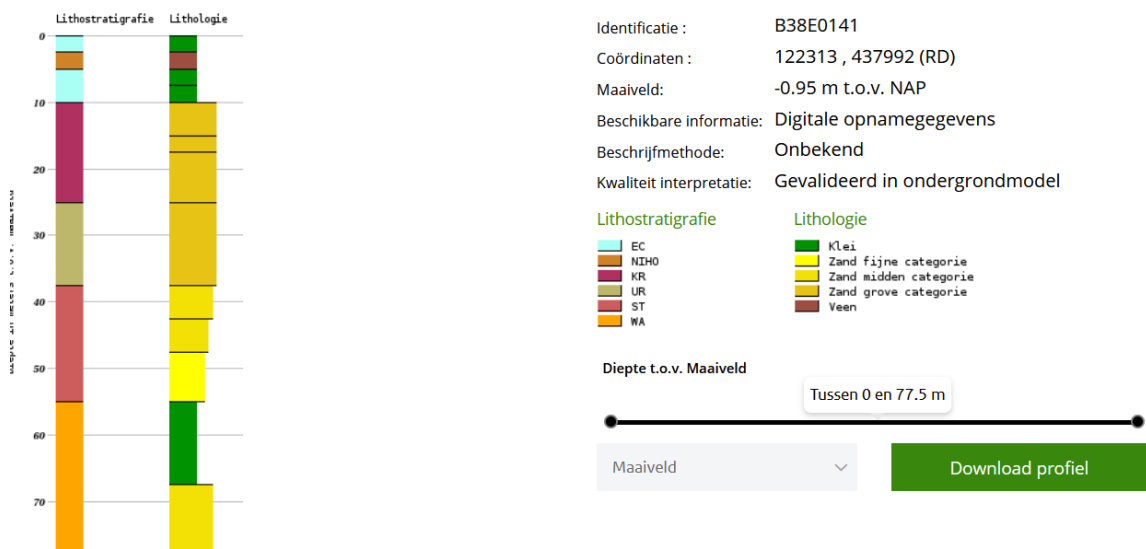
Download profiel

II.5 Boorprofielen Waal

Afbeelding II.7 Boorprofiel B38G2398



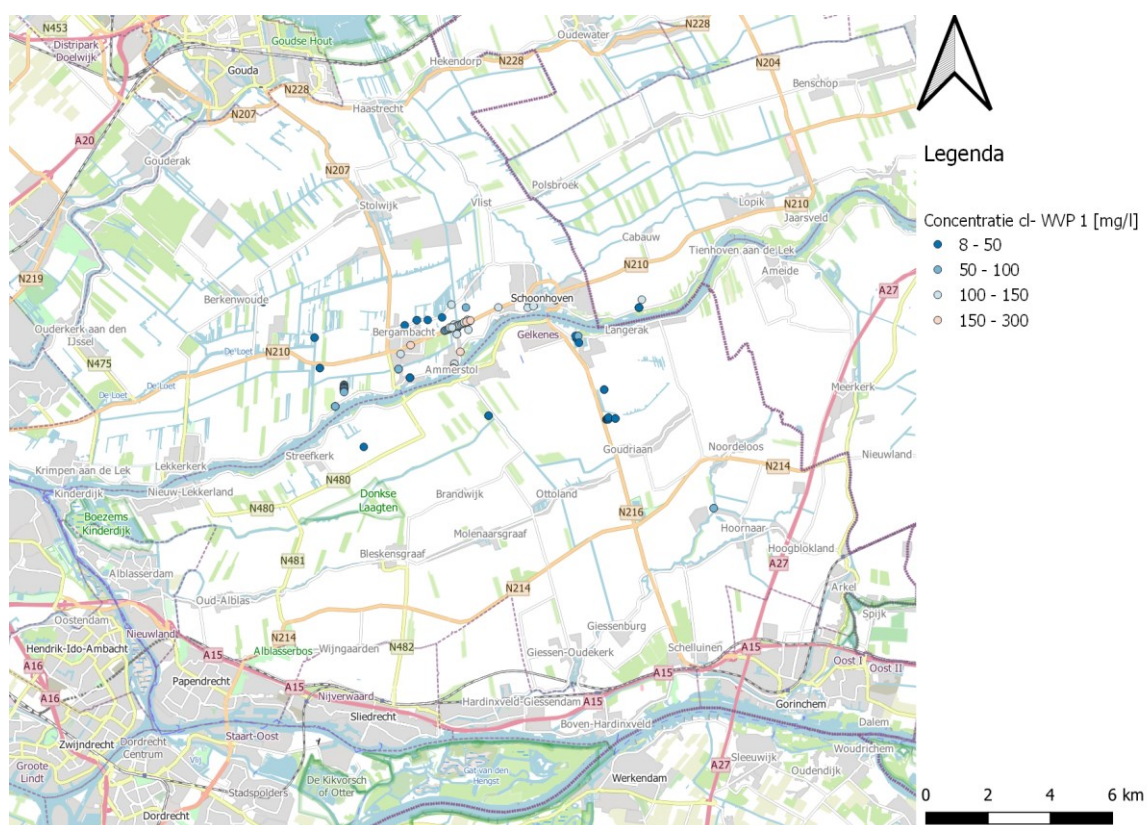
Afbeelding II.8 Boorprofiel B38E0141



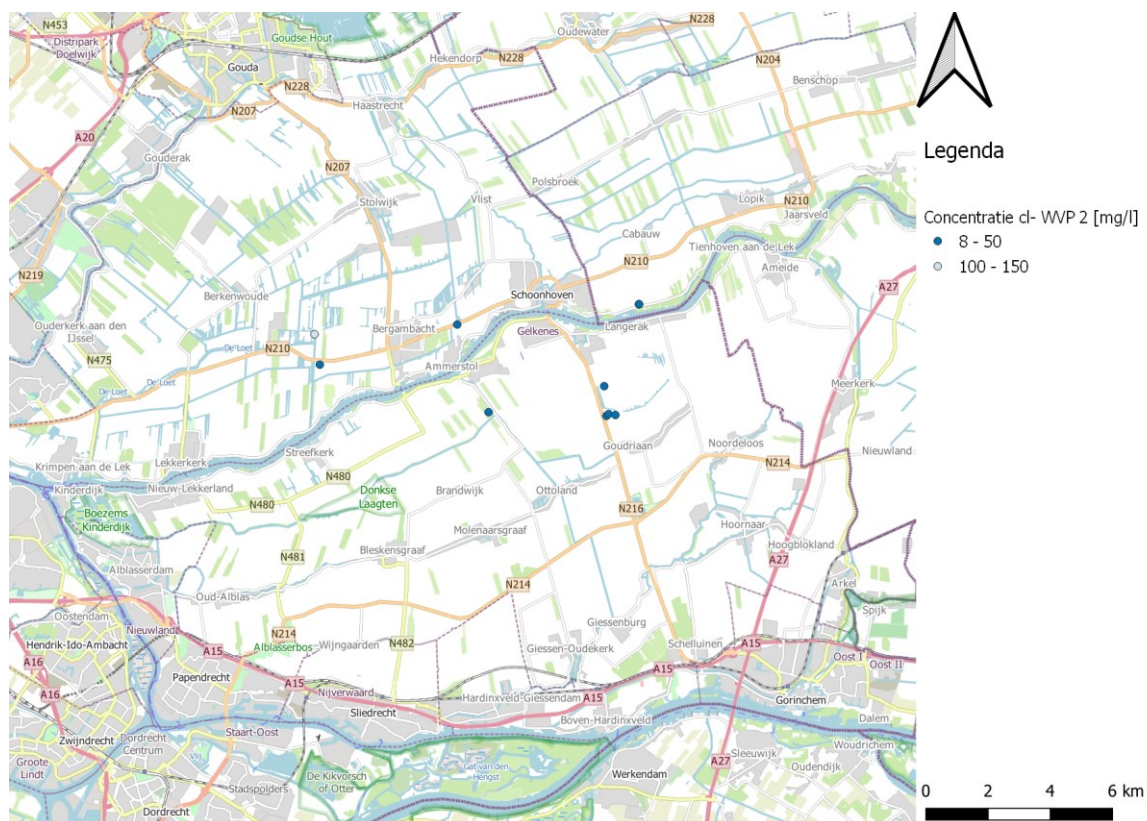


BIJLAGE: GEMETEN CHLORIDECONCENTRATIES WATERVOERENDE PAKKETTEN

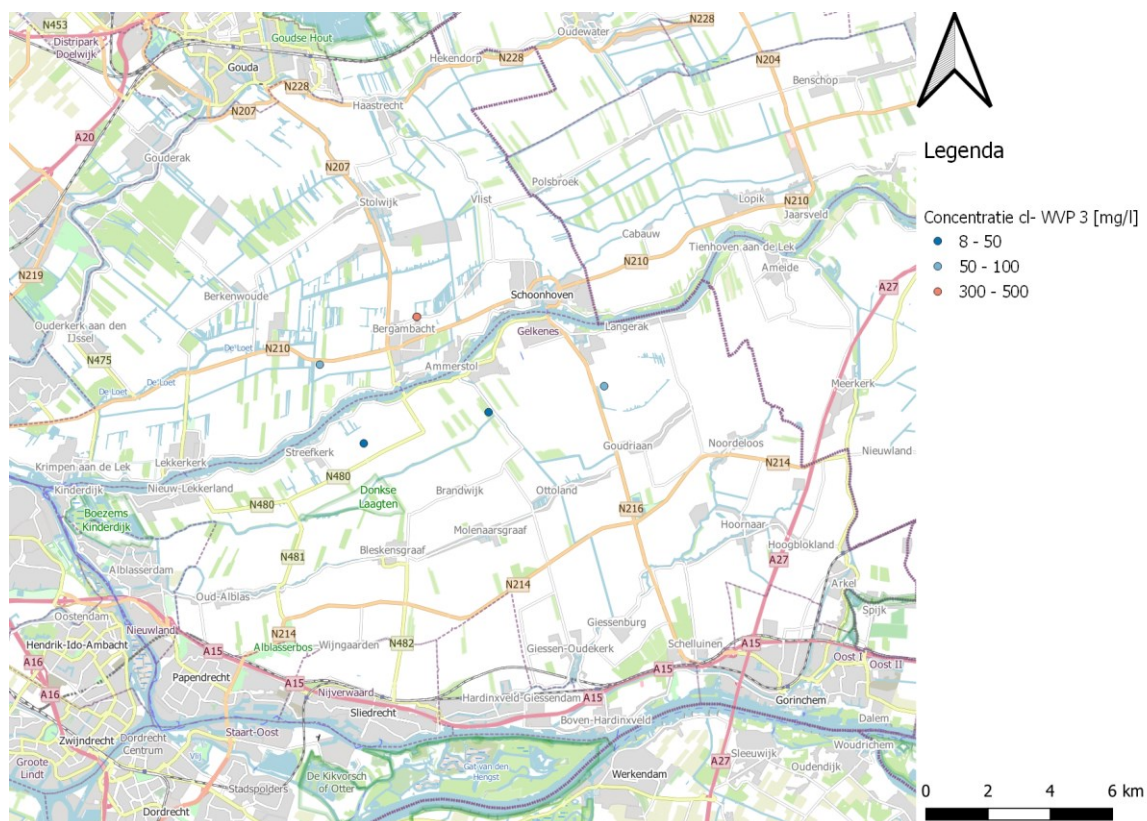
Afbeelding III.1 Gemeten chlorideconcentraties in het eerste watervoerend pakket in het modelgebied. Indien meerdere metingen zijn gedaan, is de gemiddelde waarde weergegeven



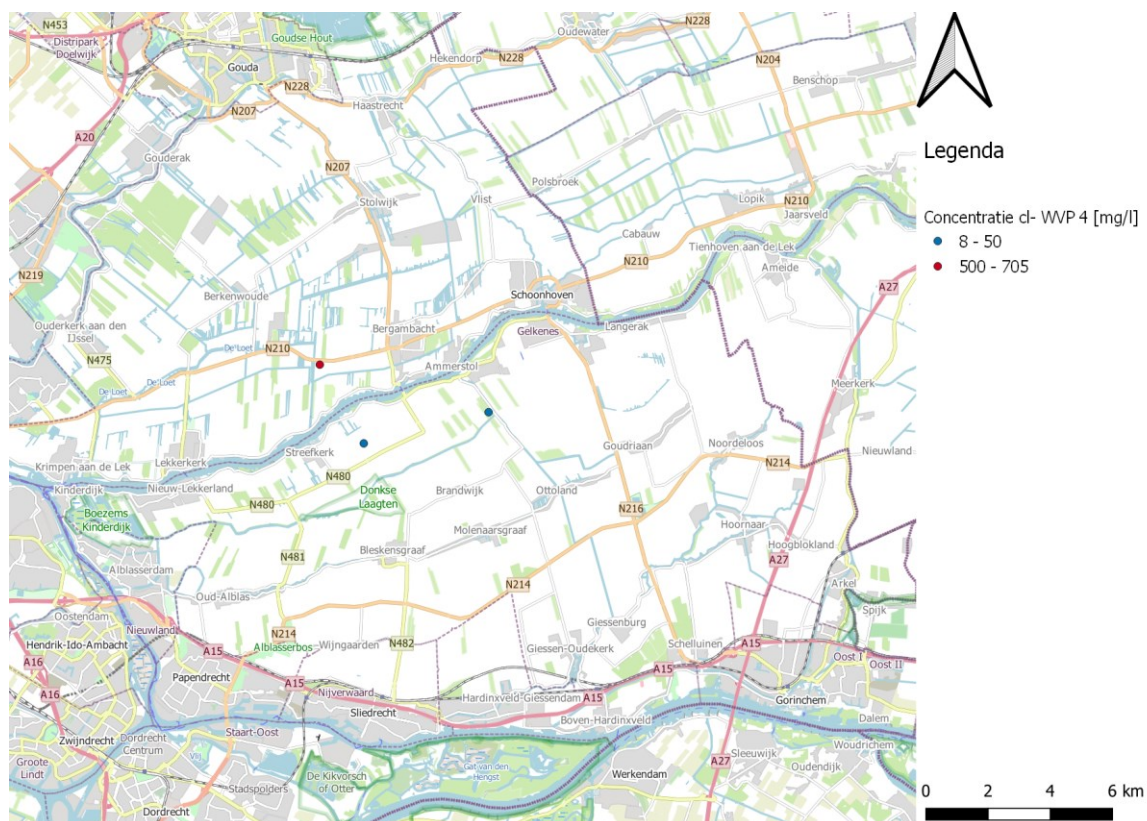
Afbeelding III.2 Gemeten chlorideconcentraties in het tweede watervoerend pakket in het modelgebied. Indien meerdere metingen zijn gedaan, is de gemiddelde waarde weergegeven



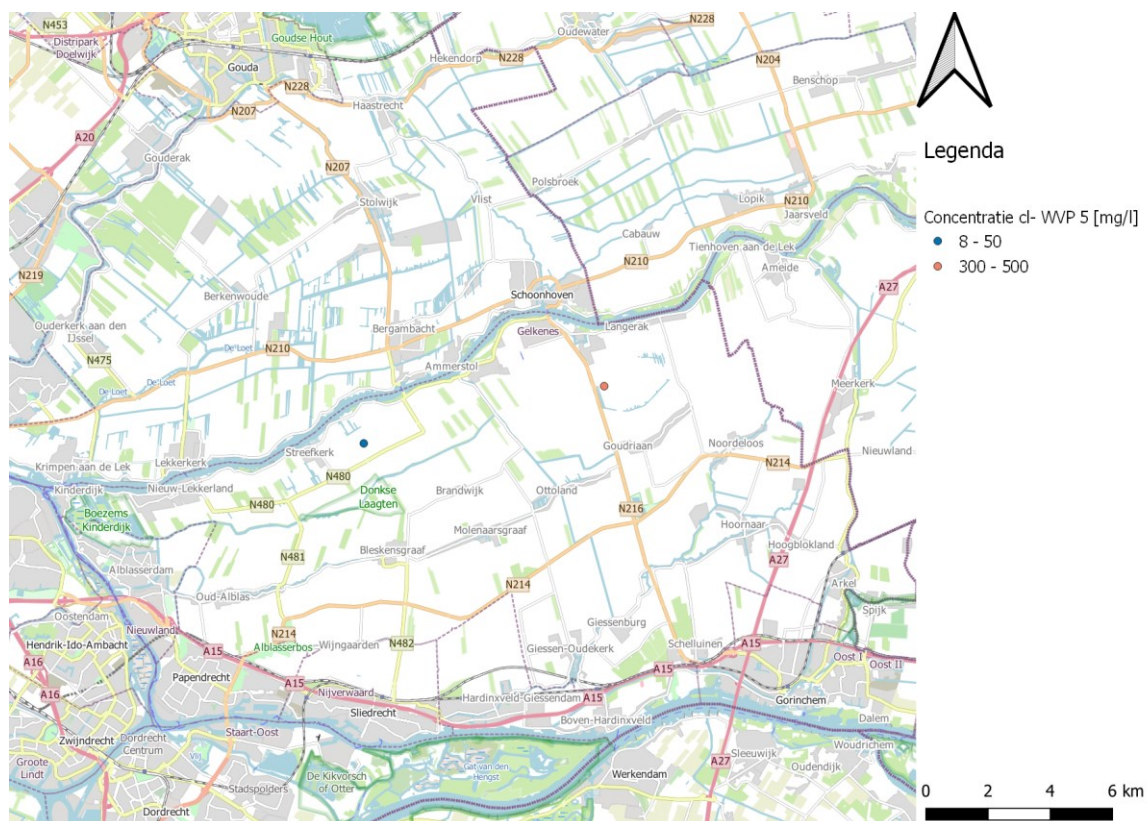
Afbeelding III.3 Gemeten chlorideconcentraties in het derde watervoerend pakket in het modelgebied. Indien meerdere metingen zijn gedaan, is de gemiddelde waarde weergegeven



Afbeelding III.4 Gemeten chlorideconcentraties in het vierde watervoerend pakket in het modelgebied. Indien meerdere metingen zijn gedaan, is de gemiddelde waarde weergegeven



Afbeelding III.5 Gemeten chlorideconcentraties in het vijfde watervoerend pakket in het modelgebied. Indien meerdere metingen zijn gedaan, is de gemiddelde waarde weergegeven



Concentratie chl-a WVP 6 [mg/l]

- 150 - 300
- 500 - 705

0 2 4 6 km

IV

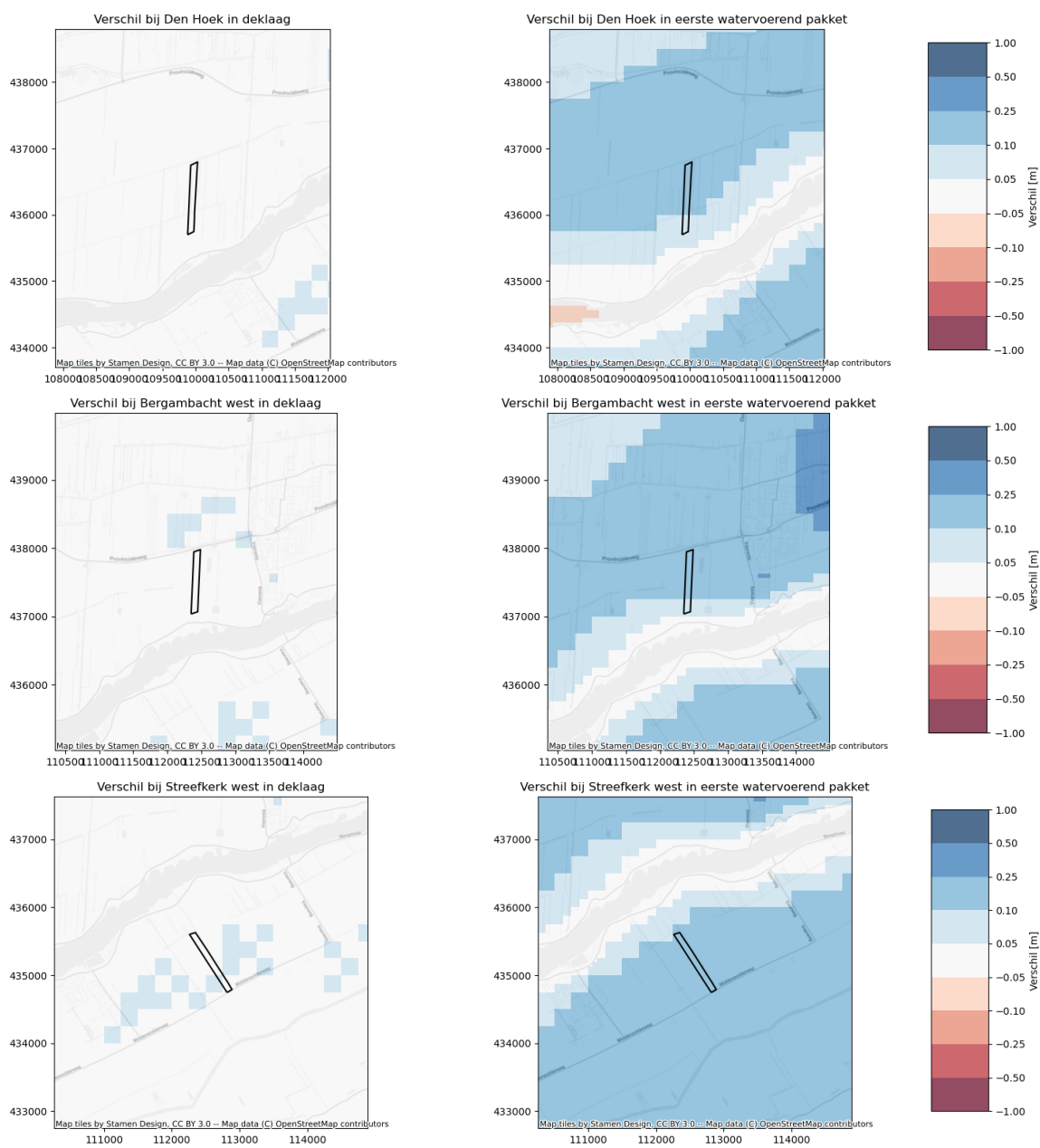
BIJLAGE: NOTITIE AANGELEVERD MODELINSTRUMENTARIUM OASEN

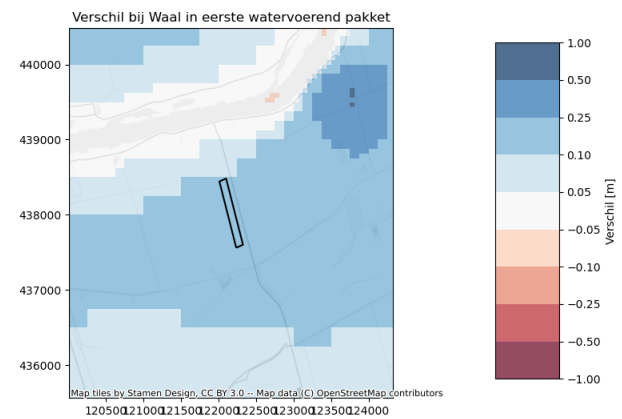
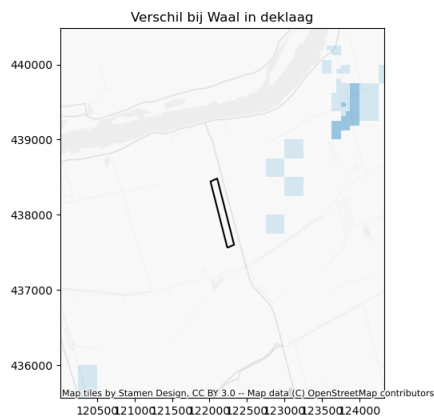
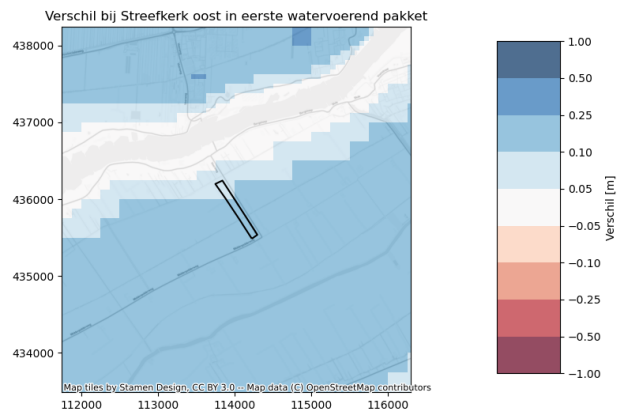
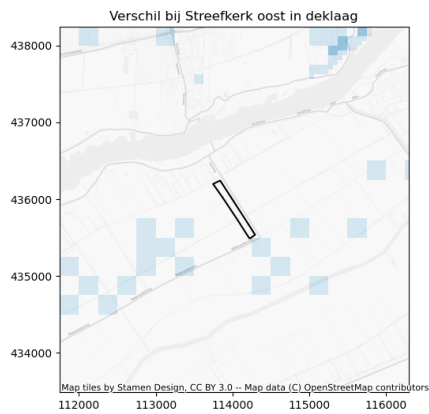


BIJLAGE: GEVOELIGHEIDSANALYSE

V.1 Verhoging transmissiviteit

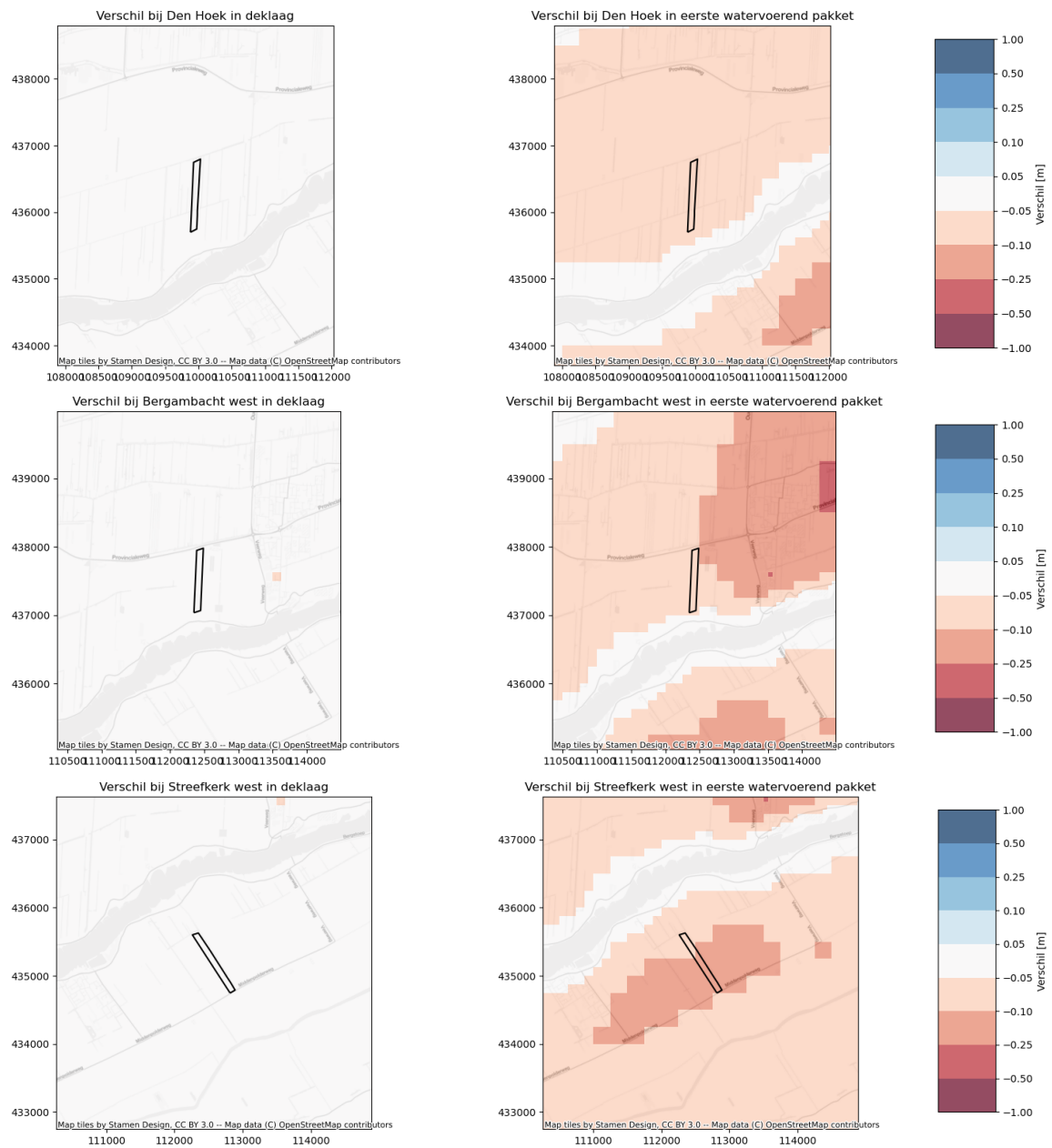
Afbeelding V.1 Verschillen in de deklaag en het eerste watervoerend pakket bij een verhoging van de transmissiviteit

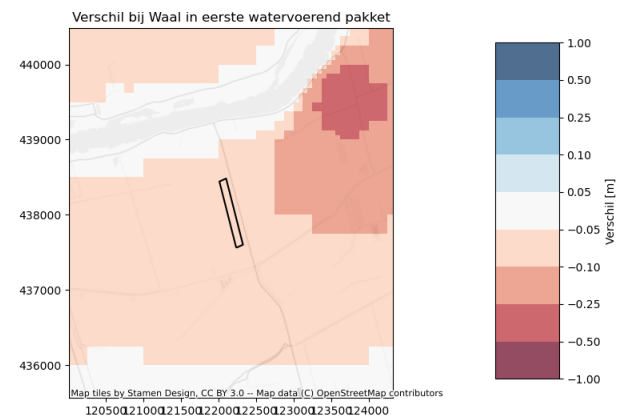
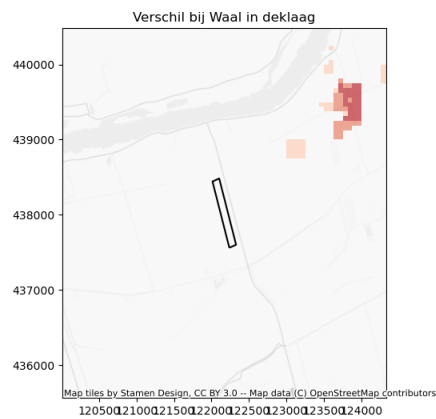
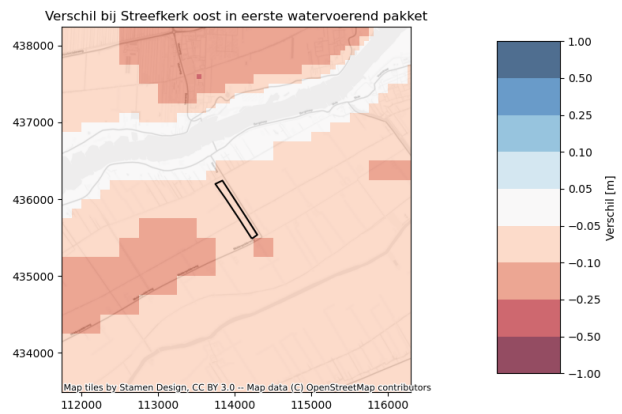
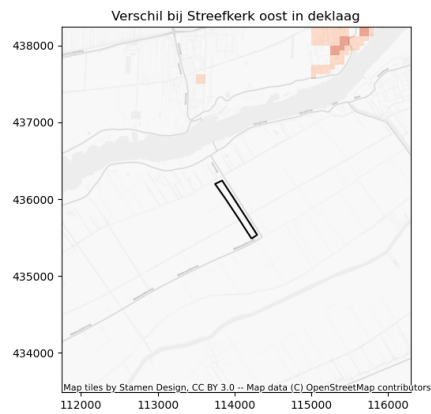




V.2 Verlaging transmissiviteit

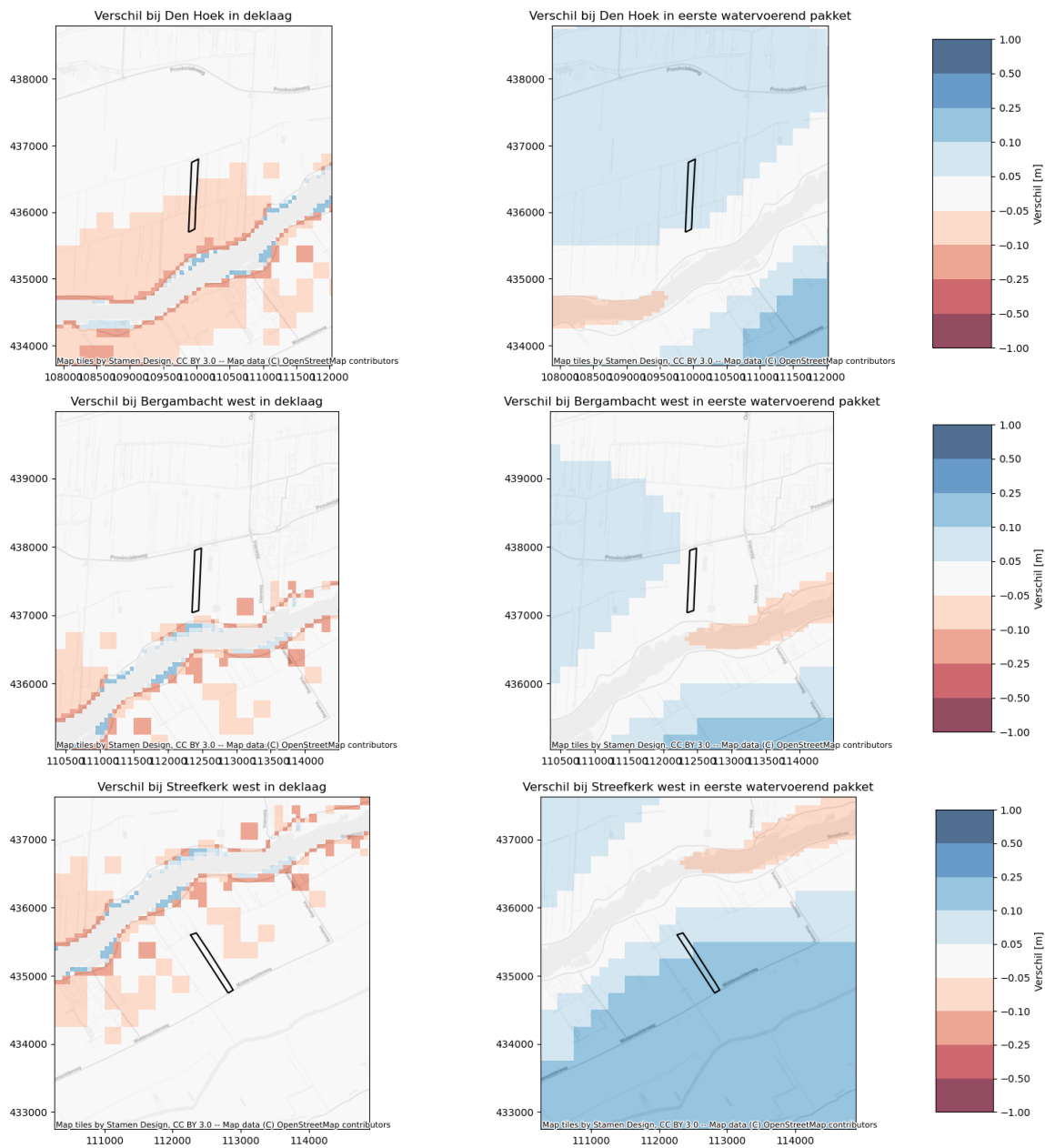
Afbeelding V.2 Verschillen in de deklaag en het eerste watervoerend pakket bij een verlaging van de transmissiviteit

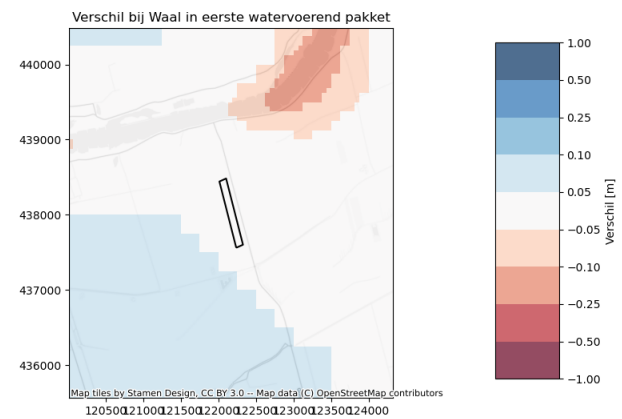
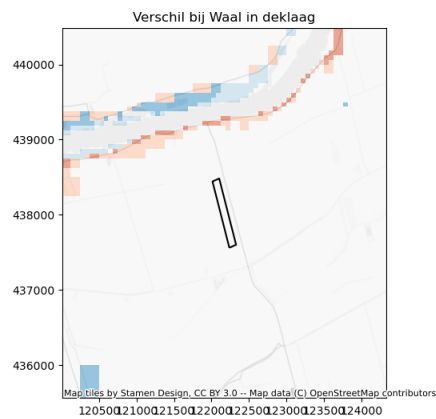
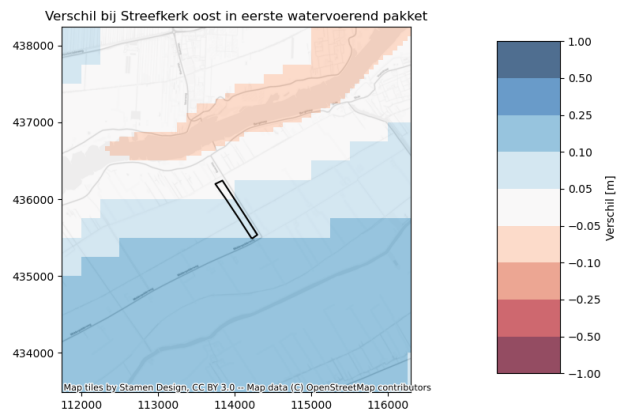
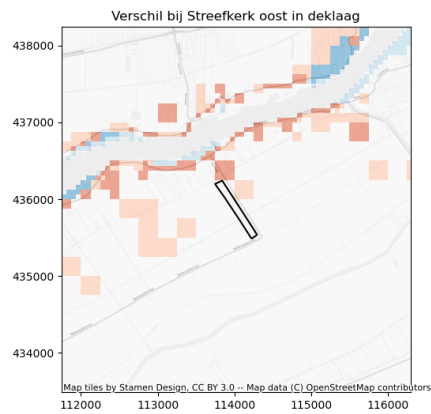




V.3 Verhoging deklaagweerstand

Afbeelding V.3 Verschillen in de deklaag en het eerste watervoerend pakket bij een verhoging van de deklaagweerstand





V.4 Verlaging deklaagweerstand

Afbeelding V.4 Verschillen in de deklaag en het eerste watervoerend pakket bij een verlaging van de deklaagweerstand

