



Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek: uitvoeringsgericht ecohydrologisch onderzoek in het kader van duurzaam herstel van de hydrologie en de realisatie van een natte natuurkern van > 300 ha

Karakterisatie biotische en abiotische omgevingskenmerken

Agentschap voor Natuur en Bos

19 april 2024

Project Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek: uitvoeringsgericht ecohydrologisch onderzoek in het kader van duurzaam herstel van de hydrologie en de realisatie van een natte natuurkern van > 300 ha

Opdrachtgever Agentschap voor Natuur en Bos

Document Karakterisatie biotische en abiotische omgevingskenmerken

Status Definitief

Datum 19 april 2024

Referentie 125402_22_REP_vA

Projectcode 135558

Projectleider Tom Pinceel

Projectdirecteur Sofie Depauw

Auteur(s) Wouter Reyns

Gecontroleerd door Tom Pinceel

Goedgekeurd door Sofie Depauw

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Belgium N.V.
Maatschappelijke zetel: Posthoflei 5-1
2600 Antwerpen-Berchem
België
+32 (0)3 286 75 75
www.witteveenbos.be
RPR Antwerpen
Dienstverlener KMO-Portefeuille: Advies: DV.A102480
Opleiding: DV.O229170

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos Belgium N.V. is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos Belgium N.V.

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Belgium N.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos Belgium N.V. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos Belgium N.V. geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

LEESWIJZER:		1
1	INLEIDING	2
1.1	Achtergrond en probleemstelling	2
1.2	Doelstelling en aanpak	3
2	ABIOTIEK	4
2.1	Topografie	4
2.2	Veenvoorkomens	9
2.3	Grondwaterkwantiteit	10
2.4	Oppervlaktewaterkwantiteit	18
2.5	Oppervlaktewaterkwaliteit	23
2.6	Grondwaterkwaliteit	33
3	BIOTIEK	52
3.1	Voorkomende vegetaties	52
3.2	Standplaatsvereisten	56
4	ALGEMENE CONCLUSIE	61
5	REFERENTIES	62
	Laatste pagina	62
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Hydrologische doelen voor De Zegge, Mosselgoren en Olens Broek	8

LEESWIJZER:

Het Agentschap voor Natuur & Bos (ANB) gaf Witteveen+Bos België de opdracht om via een ecohydrologische studie 'Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek' maatregelen te identificeren om de waterproblematiek in de genoemde natuurgebieden aan te pakken. In eerste instantie moeten korte termijn oplossingen gezocht worden om behoud van de aanwezige natuurwaarden te garanderen. Daarnaast dienen de bestaande natuurgebieden verder uitgebouwd en aaneengesloten te worden, tot een robuuste natte natuurkern van >300 ha binnen deelgebied Zegge-Mosselgoren en van >150 ha binnen deelgebied Olens Broek, conform het S-IHD besluit. Tot slot dient er op langere termijn gewerkt te worden aan een meer duurzaam herstel van het vallei-ecosysteem van de Kleine Nete ter hoogte van de Zegge, waarbij er getracht wordt de natuurlijke dynamiek van het systeem terug te herstellen of toch zo goed mogelijk te benaderen.

Dit rapport bevat de abiotische en biotische karakterisatie van het studiegebied met bijzondere focus op de natuurgebieden van de Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek. Vanuit deze analyses worden inzichten met betrekking tot de systeemwerking opgedaan en knelpunten (onder andere op vlak van waterkwantiteit en kwaliteit) die de aanwezige en te ontwikkelen ecosystemen bedreigen geïdentificeerd. Een meer uitgebreide analyse en interpretatie van de grond- en oppervlaktewaterhuishouding is opgenomen in de rapportages van de grond- en oppervlaktewatermodellering:

- de opbouw, kalibratie en validatie van het grondwatermodel [1];
- de uitbreiding van het bestaande oppervlaktewatermodel; inclusief eerste scenariodoorrekeningen [2].

1

INLEIDING

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De natuurreservaten De Zegge, Mosselgoren en Olens Broek zijn gelegen in de vallei van de Kleine Nete tussen Geel en Kasterlee (stroomopwaarts in het oosten) en Herentals (stroomafwaarts in het westen). Ze behoren tot het Habitatrictlijngebied 'Valleigebied van de Kleine Nete met brongebieden, moerassen en heiden' (BE2100026) (Afbeelding 1.1). De Vlaamse regering heeft voor deze speciale beschermingszone een aantal instandhoudingsdoelstellingen en prioriteiten vastgelegd met als doel een natte natuurkern van meer dan 300 ha in De Zegge-Mosselgoren en meer dan 150 ha in Olens Broek te realiseren.

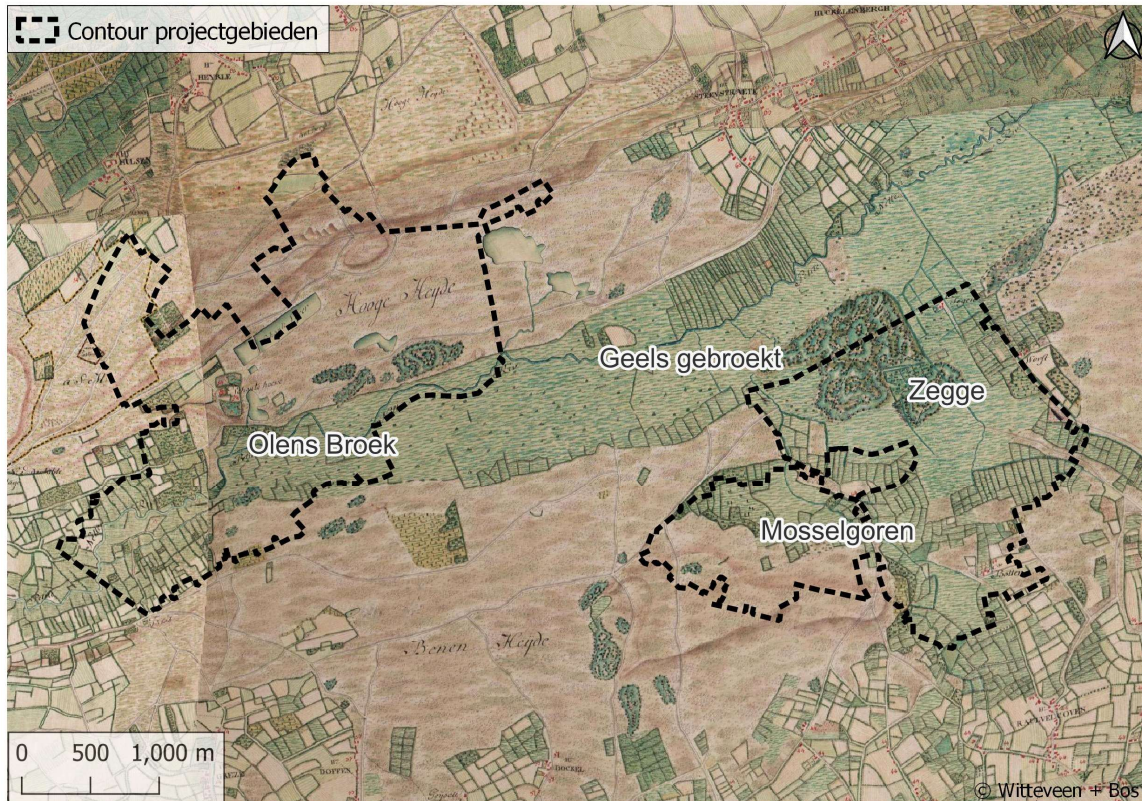
Afbeelding 1.1 Overzicht van het studiegebied met afbakening van de SBZ-H gebieden en situering van de drie natuurreservaten



De Zegge, Mosselgoren en Olens Broek maakten vroeger deel uit van één groot aaneengesloten laagveengebied (Geels Gebroekt; Afbeelding 1.2), waarin uitgestrekte veenafzettingen voorkwamen. De Zegge is rond 1950 hydrologisch geïsoleerd als gevolg van een grootschalig en ingrijpend landinrichtingsproject om de vallei geschikt te maken voor landbouw (Afbeelding 1.1). Om de natuurreservaten de Zegge en de Mosselgoren duurzaam in stand te houden en de instandhoudingsdoelstellingen te realiseren, is in de eerste plaats hydrologisch herstel op systeemniveau

noodzakelijk. Dit vereist inzicht in de eco- en geohydrologische systeemwerking om gericht herstel van oppervlakte- en grondwaterdynamiek én –chemie mogelijk te maken.

Afbeelding 1.2 Het Geels Gebroekt ten tijde van Ferraris (1771-1778), met de huidige ligging van de natuureservaten



1.2 Doelstelling en aanpak

De overkoepelende doelstelling van deze studie is het uitwerken en modelleren van hydrologische maatregelen richting systeemherstel, met oog op duurzame instandhouding van De Zegge, Mosselgoren en Olens Broek in functie van het behalen van de Europese natuurdoelen. De aanpak is als volgt:

- in eerste instantie is respectievelijk een abiotische (hoofdstuk 2) en biotische (hoofdstuk 3) karakterisatie van het systeem gebeurd;
- vervolgens is alle beschikbare informatie geïntegreerd waarbij de huidige werking van het ecohydrologische systeem en de knelpunten met betrekking tot de gestelde doelen zijn onderzocht door de opmaak van een grondwatermodellering van de actuele toestand;
- naar aanleiding van de overstroming in de zomer van 2021 werd beslist om naast de opmaak van een grondwatermodel ook het bestaande oppervlaktewatermodel van de Kleine Nete van VMM uit te bereiden:
 - zo kunnen hydrologische ingrepen in functie van systeemherstel in eerste instantie in het oppervlaktewatermodel worden doorgerekend, waarna de gesimuleerde oppervlaktewaterpeilen als input kunnen worden opgelegd aan het grondwatermodel. Daarnaast laat het uitgebreide oppervlaktewatermodel toe om maatregelen beter af te stemmen op heersende knelpunten, zoals het realiseren van grondwaterpeilverhoging maar tegelijk het beperken van het overstromingsrisico;
- zo werden vervolgens in fase 5 verschillende hydrologische herstelscenario's uitgewerkt die in het grondwatermodel en oppervlaktewatermodel zijn doorgerekend om de verschillende effecten ervan voor natuur, landbouw en bebouwing in beeld te brengen;
- tot slot werden verschillende toekomstscenario's bepaald en doorgerekend.

2

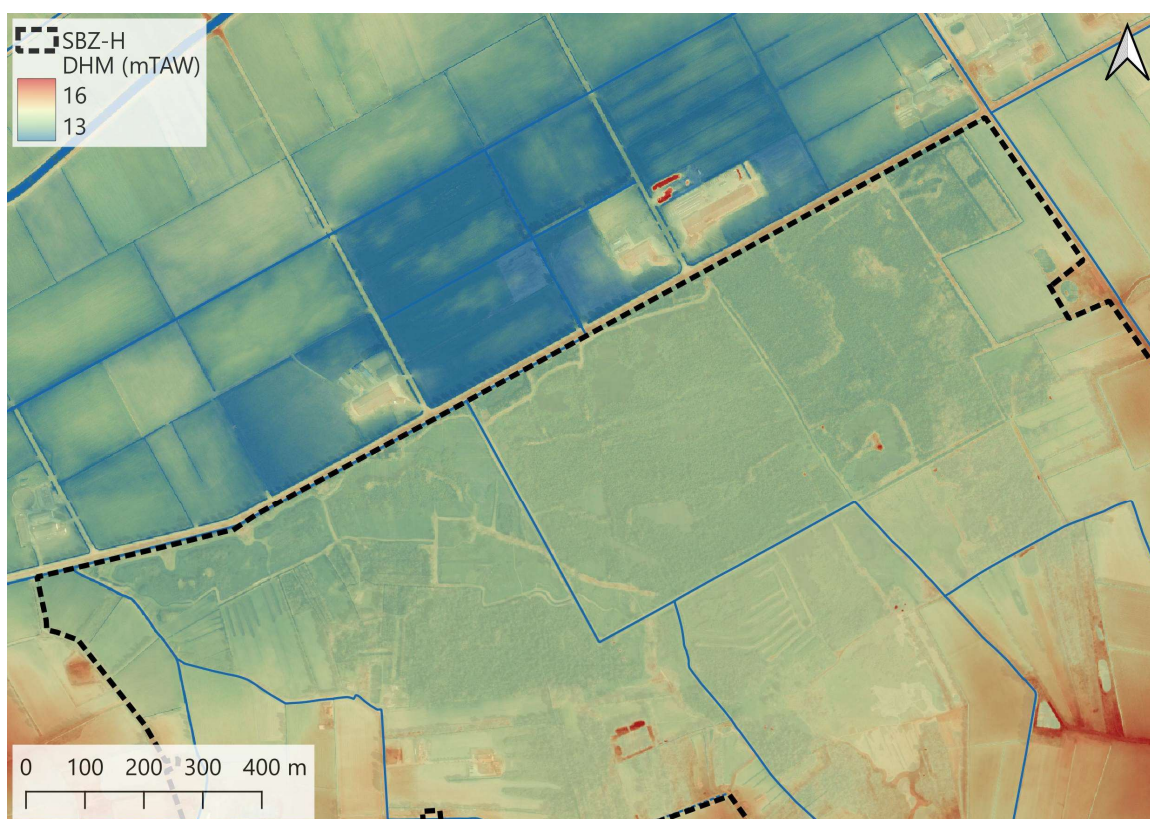
ABIOTIEK

2.1 Topografie

Huidige maaiveld

Afbeelding 2.1 toont de huidige maaiveldhoogte van De Zegge en de aanpalende landbouwpolder ten noorden van het natuurreservaat. Beide gebieden worden van elkaar gescheiden door de Roerdompstraat, een dijk gelegen op circa 15 mTAW (op basis van Digitaal Hoogte Model). Het natuurreservaat is over het grootste gedeelte gelegen op circa 14 mTAW, de aanpalende laagst gelegen percelen in de landbouwpolder liggen ruim een meter lager, op circa 13 mTAW.

Afbeelding 2.1 Huidige maaiveld van De Zegge en de landbouwpolder



Historische maaiveld

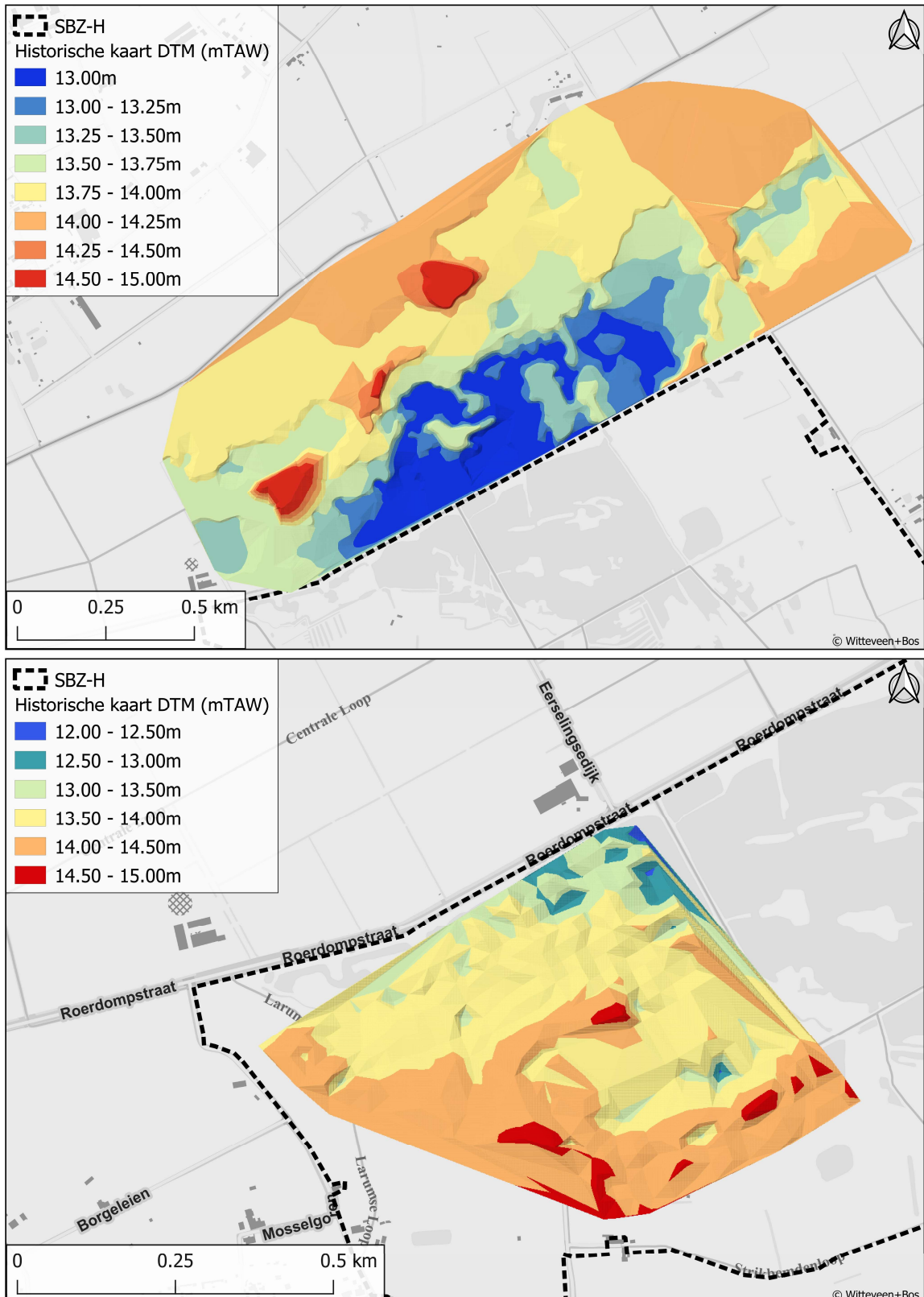
In het archief van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) werden historische hoogtekarten van het Geels Gebroekt teruggevonden ten tijde van de start van de ontginning, omstreeks 1959. Niet van het hele studiegebied, maar enkel ter hoogte van enerzijds de huidige landbouwpolder en anderzijds een beperkt deel (het noordwesten) van het huidige natuurreservaat De Zegge (Afbeelding 2.2). Digitalisering van deze

hoogtekaarten (Afbeelding 2.3) toont aan dat de hoogtecontouren van de verschillende historische kaarten van voor de ontginning zeer goed op elkaar aansluiten (Afbeelding 2.4). De overgangszone van het huidige natuurreservaat en de landbouwpolder was voor de ontginning, ter hoogte van de Eerselingsedijk, gelegen op circa 13 mTAW. Dit komt dus ongeveer overeen met de huidige maaiveldhoogte in die zone in de landbouwpolder.

Afbeelding 2.2 Overzicht beschikbare historische kaarten



Afbeelding 2.3 Historisch maaiveld van de landbouwpolder (bovenaan) en het natuurreserveaat (onderaan)



Afbeelding 2.4 Het historisch maaiveld van de landbouwpolder en het natuurreservaat sluit ter hoogte van de overgangszone (Roerdompdijk) goed op elkaar aan



Vergelijking tussen het huidige en het historische maaiveld

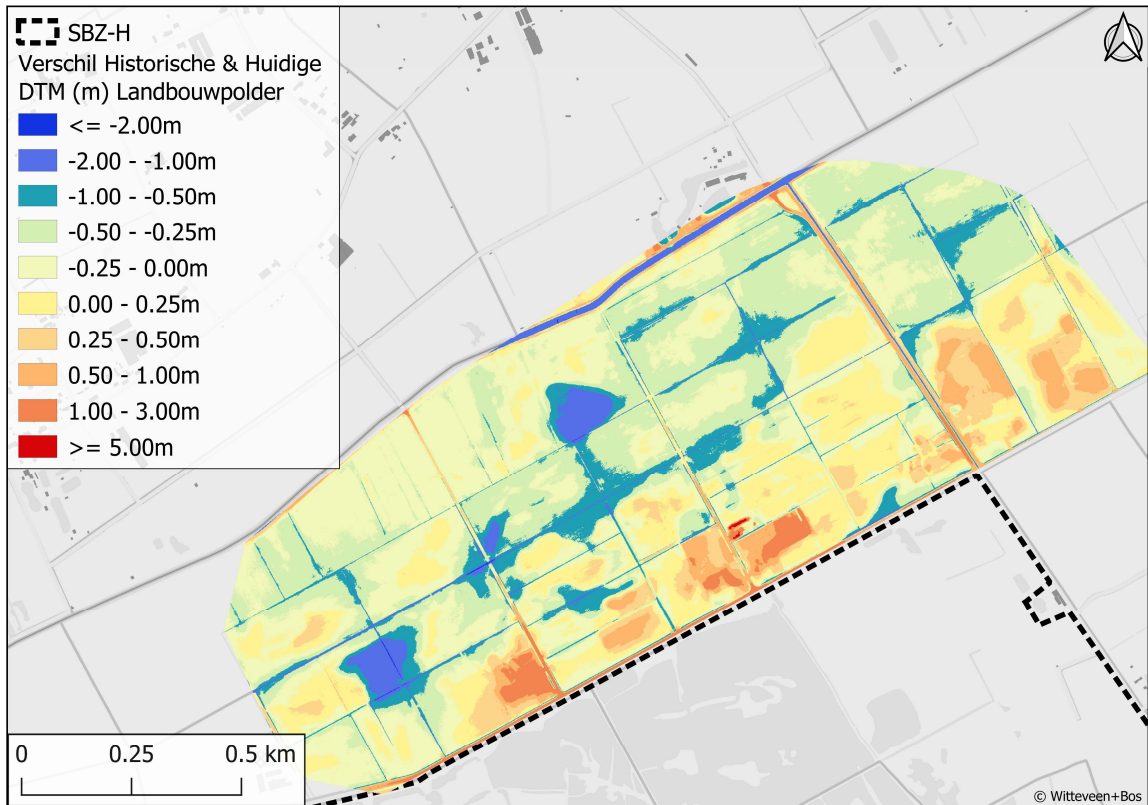
Afbeelding 2.5 en Afbeelding 2.6 tonen het hoogteverschil tussen het historische (1959) en huidige (2013; DHM versie 2) maaiveld van respectievelijk de landbouwpolder en het natuurgebied. Blauwe en groene kleuren indiceren verlagingen van het maaiveld; oranje en rode kleuren indiceren verhogingen van het maaiveld.

In de landbouwpolder zijn de aangelegde grachten en bolvormige akkers duidelijk zichtbaar. Ook zijn verschillende donken geëffend. Verhoogde zones zijn de bewoonde gebieden met de boerderijen, dijken en wegen. Over het algemeen is er relatief weinig maaiveldverschil, enkel rond de boerderijen in het zuiden van de polder zijn de akkers 25-50 cm (lokaal tot 1 m) opgehoogd.

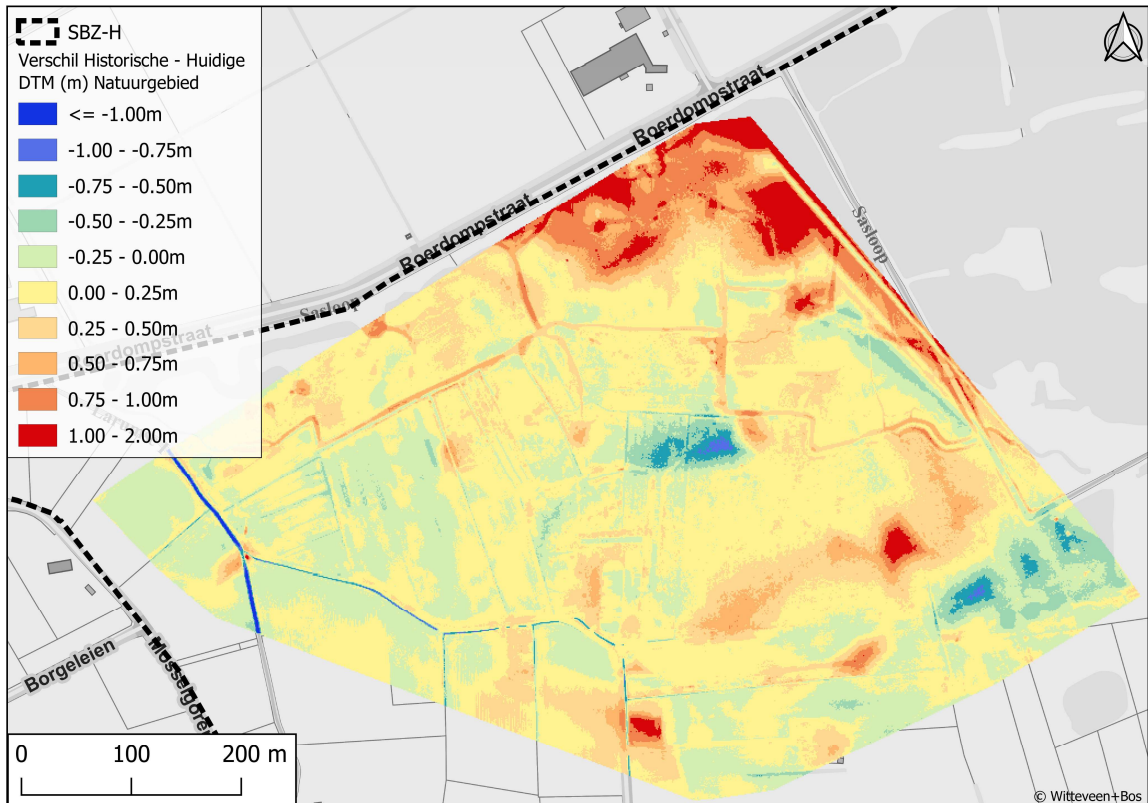
In het natuurgebied is er over het algemeen weinig verandering in maaiveldhoogte (licht groene en gele kleuren indiceren wijzigingen tot 25 cm). Ook hier vallen grachten en waterlopen op als verlaagde gebieden en dijken als verhoogde gebieden. Daarnaast is het noordoostelijke deel opvallend verhoogd (tot 2 m). Dit betreft echter de huidige 'Grote Kuil', een grote vijver, waarbij het DHM dus het waterniveau en niet de hoogte van de onderwaterbodem weerspiegelt. Bodempeilmetingen uitgevoerd door ANB tonen aan dat deze verhoging van 0,5 m tot 2 m ongeveer overeenkomt met de waterdiepte van de 'Grote Kuil', waarbij het huidige maaiveld/onderwaterbodem dus overeenkomt met het historische maaiveld op circa 12,5-13 mTAW.

We kunnen dus concluderen dat de actuele (2013) en historische (1959) maaiveldhoogte in de landbouwpolder alsook de historische (1959) maaiveldhoogte in het aanpalende deel van het natuurgebied overeenstemmen.

Afbeelding 2.5 Hoogteverschilkaart (historisch vs. huidige maaiveld) van de landbouwpolder



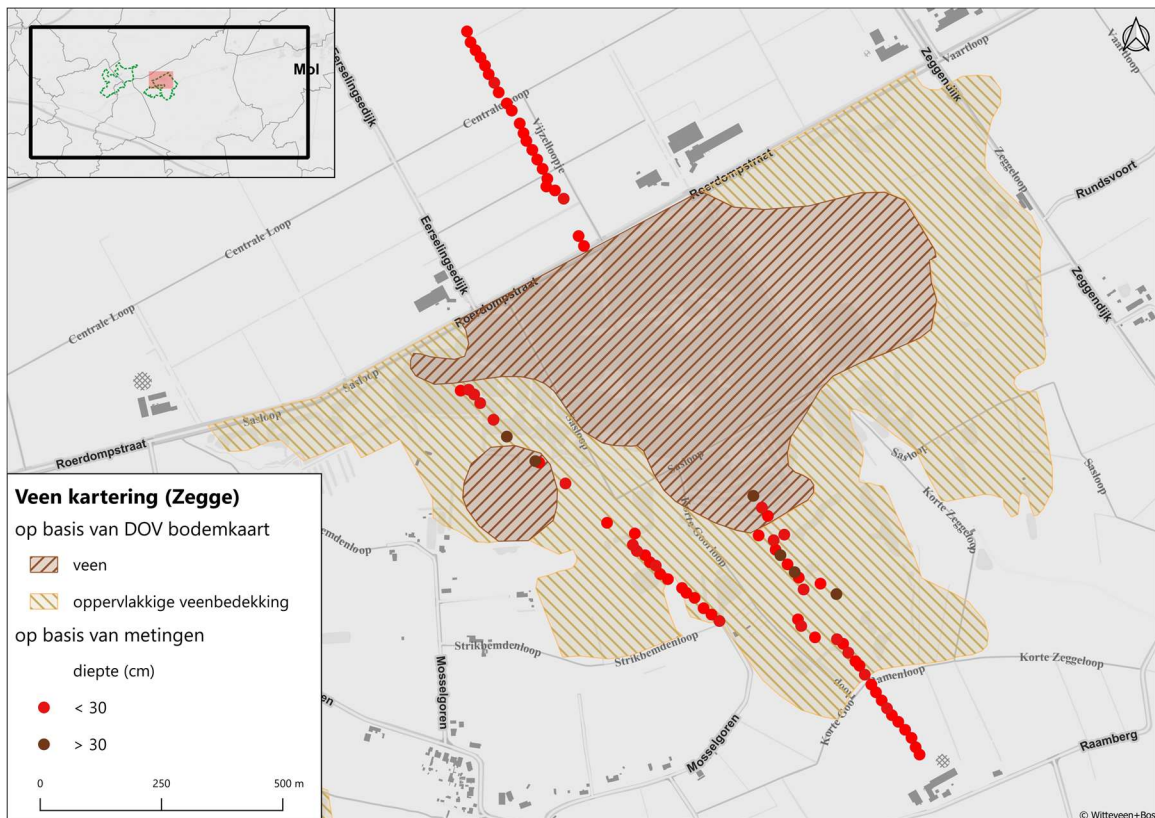
Afbeelding 2.6 Hoogteverschilkaart (historisch vs. huidige maaiveld) van het natuurgebied



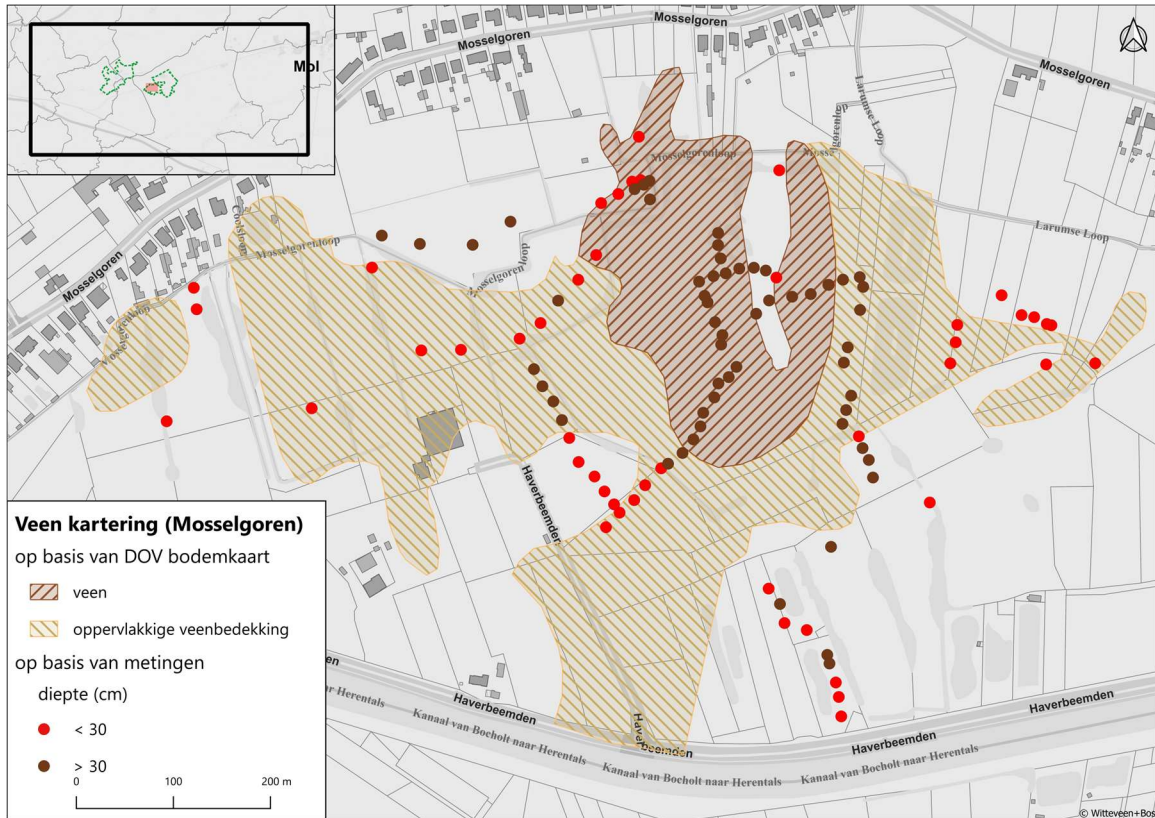
2.2 Veenvoorkomens

Het gebruik van het begrip 'veen' en de definities daarrond variëren sterk [3]. Algemeen wordt gesproken over veen bij een organisch koolstofgehalte vanaf 30% en diktes vanaf 30 cm. Er werd afgesproken met ANB om in deze studie over veen te spreken bij doorprikbare (organische) bodems met een dikte vanaf 30cm vanaf maaiveld (zonder beschouwing van het koolstofgehalte). Op drie plaatsen in het studiegebied werden veenboringen (tot 125 cm onder maaiveld) in raai vorm uitgevoerd. Afbeelding 2.7 en Afbeelding 2.8 tonen de resultaten van deze veenboringen in relatie tot de bestaande bodemkaart voor respectievelijk De Zegge en Mosselgoren (in Olens Broek werd geen bijkomende veenkartering uitgevoerd). In de landbouwpolder werd geen veen aangetroffen. In zowel De Zegge als Mosselgoren werd er lokaal veen aangetroffen. Er is een goede overeenkomst tussen de boringen en de bestaande bodemkaart.

Afbeelding 2.7 Overzicht van de veenboringen in en rond De Zegge



Afbeelding 2.8 Overzicht van de veenboringen in Mosselgoren

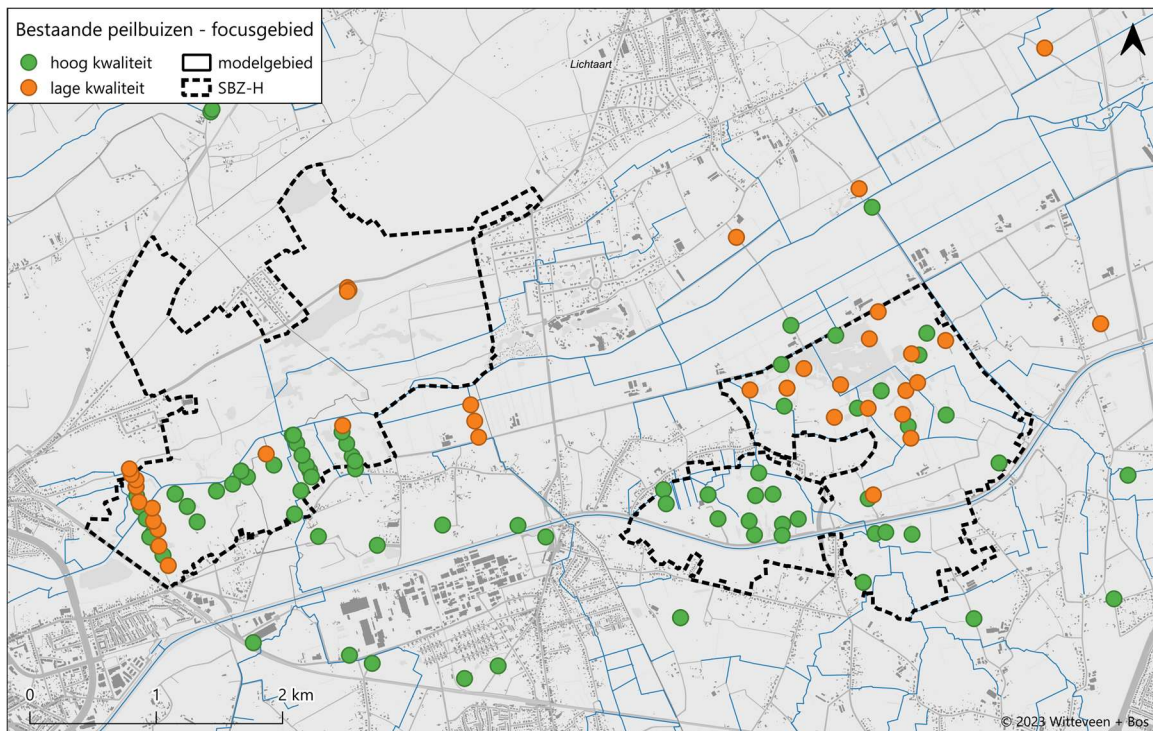
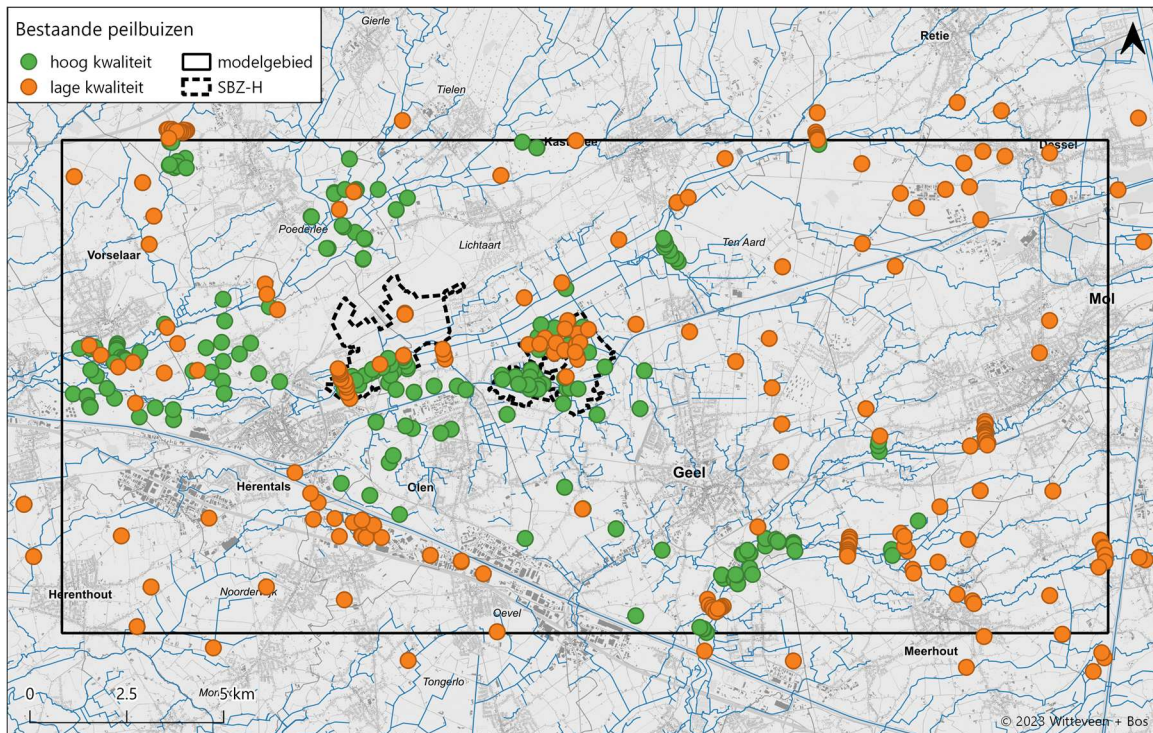


2.3 Grondwaterkwantiteit

Overzicht van de peilbuizen

Afbeelding 2.9 toont de aanwezige peilbuizen in en rond het grondwatermodelgebied. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen peilbuizen met hoge kwaliteit aan data (minstens 20 metingen per jaar) en peilbuizen met lage kwaliteit aan data (minder dan 20 metingen per jaar). De peilbuizen, zeker die van hoge kwaliteit, bevinden zich voornamelijk in de natuureservaten.

Afbeelding 2.9 Overzicht van de bestaande peilbuizen in en rond het modelgebied (bovenaan) en in en rond de natuureservaten (onderaan)

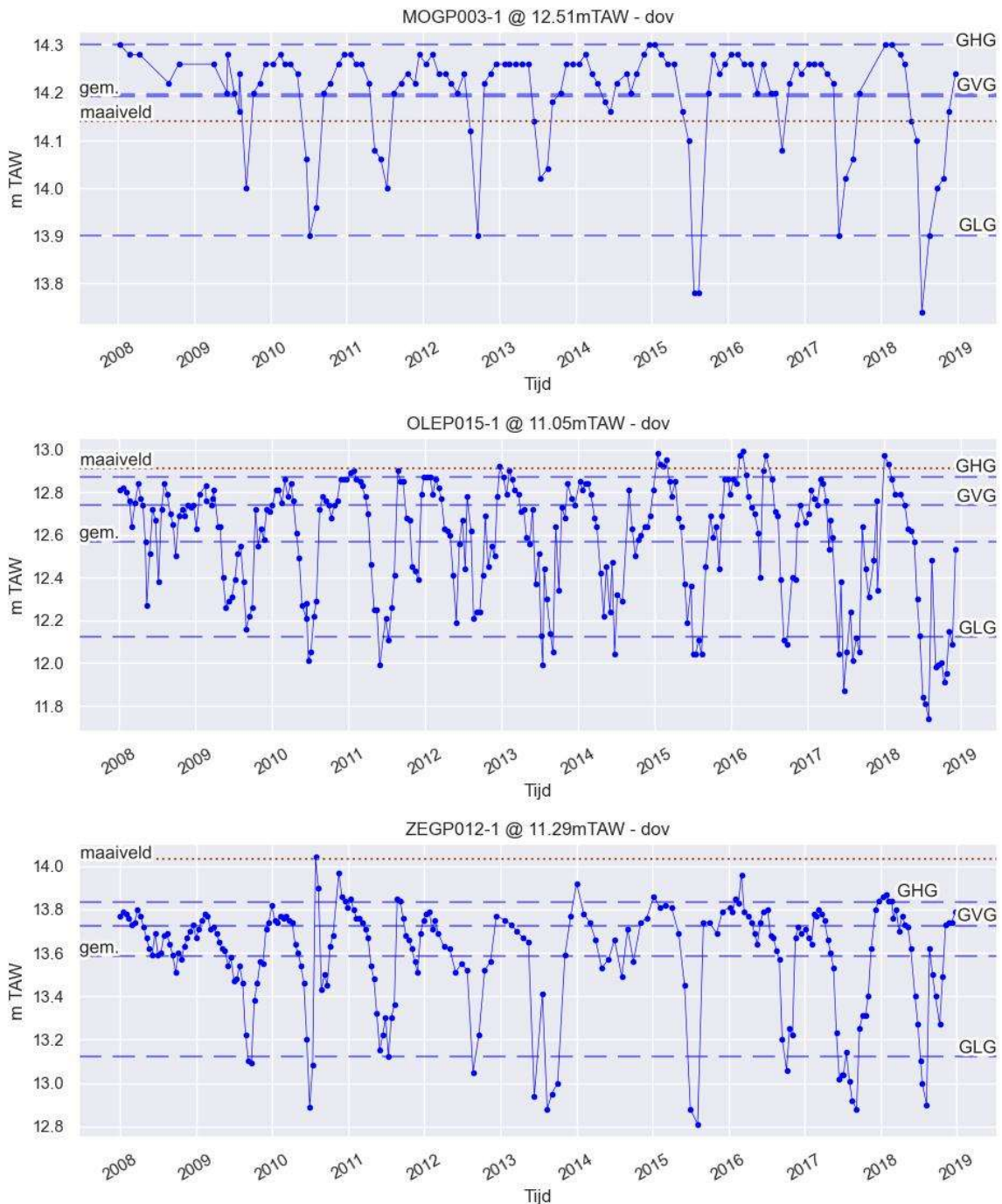


Tijdsreeksen

Afbeelding 2.10 toont de grondwaterstandsmetingen van 2008-2018 (kalibratieperiode van het grondwatermodel) van één peilbuis voor ieder natuureservaat (respectievelijk MOGP003, OLEP015 en ZEGP012 voor Mosselgoren, Olens Broek en De Zegge). De locaties van deze peilbuizen zijn weergegeven in Afbeelding 2.11. De gemiddelde laagste grondwaterstanden (GLG) zakken (op veel locaties) in De Zegge en Olens Broek tot circa een meter onder maaiveld. Dit manifesteert zich vooral in randgebieden (nabij gedraineerde landbouwzones; zie verder). In Mosselgoren is de situatie over het algemeen minder

problematisch. In peilbuis MOGP003 bijvoorbeeld zakt de GLG tot circa 25 cm onder maaiveld. Een meer uitgebreide analyse van de meetreeksen is uitgevoerd in de grondwatermodellering en opgenomen in de desbetreffende rapportage [1].

Afbeelding 2.10 Meetreeksen van grondwaterstanden op een representatieve locatie voor elk natuureservaat; voor respectievelijk Mosselgoren (bovenaan), Olens Broek (midden) en De Zegge (onderaan)

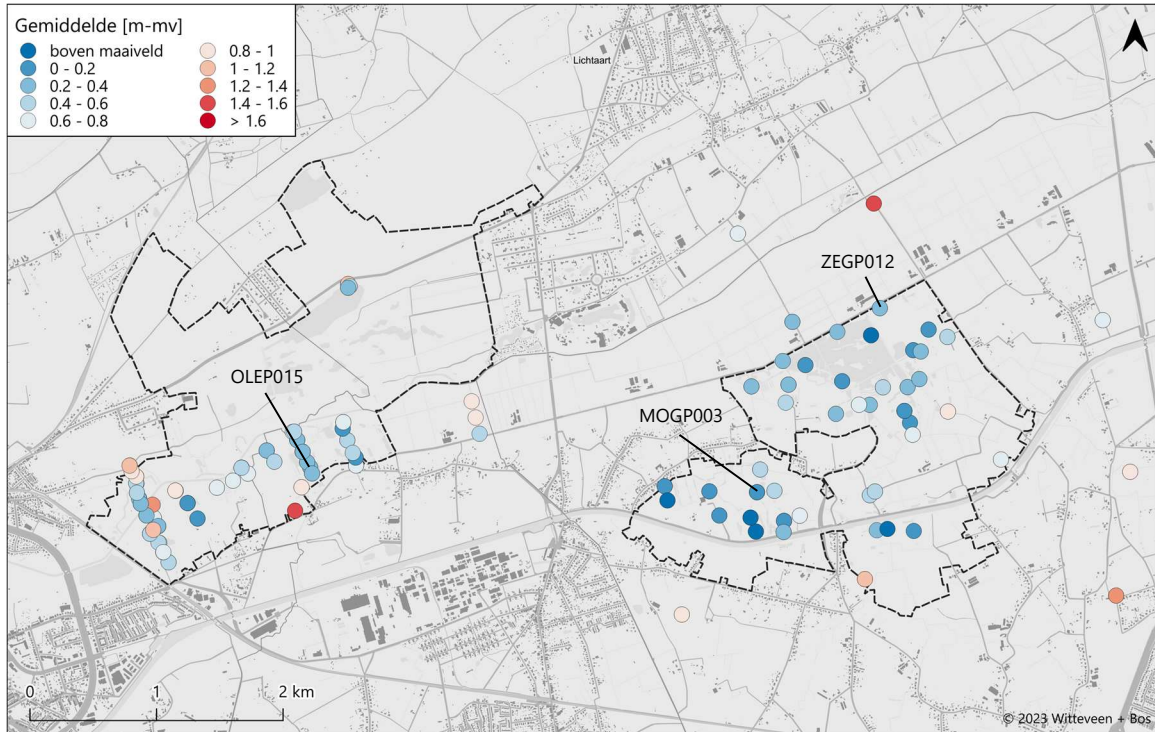


Statistische kengetallen grondwaterdynamiek

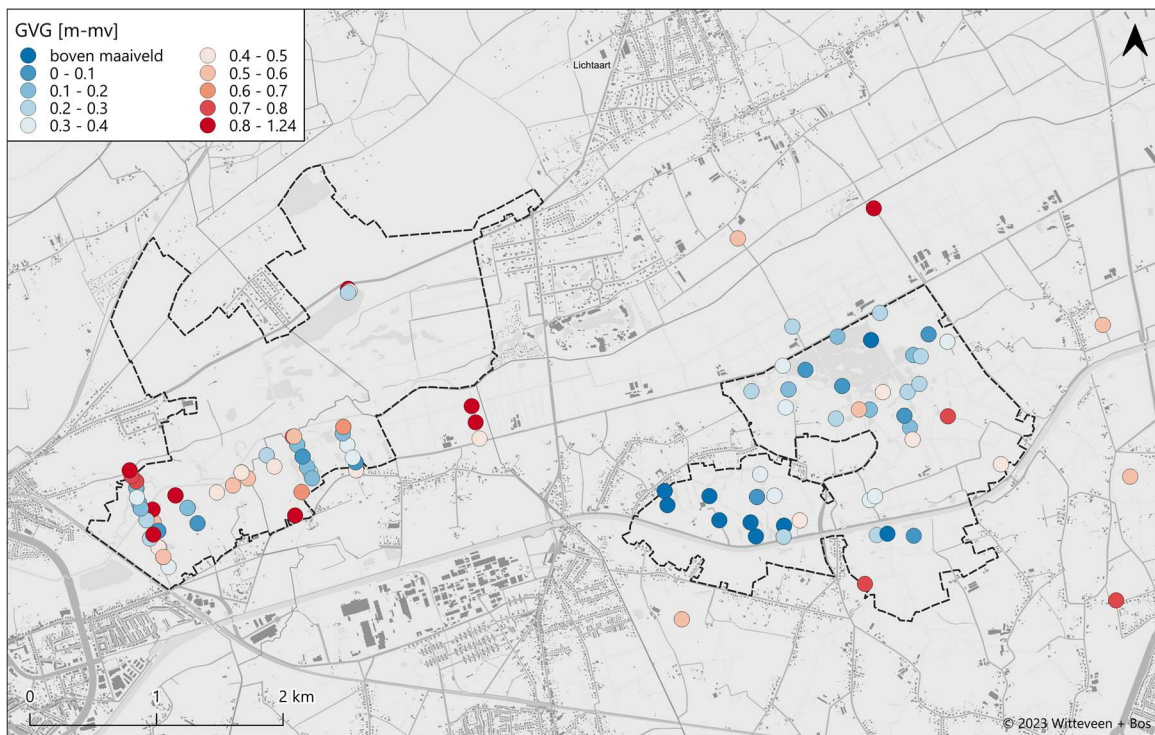
Afbeelding 2.11, Afbeelding 2.12, Afbeelding 2.13, Afbeelding 2.14 en Afbeelding 2.15 tonen respectievelijk het gemiddelde, de GVG, de GHG, de GLG en de amplitude van de geselecteerde grondwaterpeilbuizen in en rond de natuureservaten overheen de kalibratieperiode van het grondwatermodel (2008-2018). Dit toont de zeer lage grondwaterstanden in De Zegge en Olens Broek, met GLG's tot bijna een meter onder maaiveld,

met name in de randen van deze natuurreservaten. Een meer uitgebreide analyse hiervan is uitgevoerd in de grondwatermodellering en opgenomen in de desbetreffende rapportage [1].

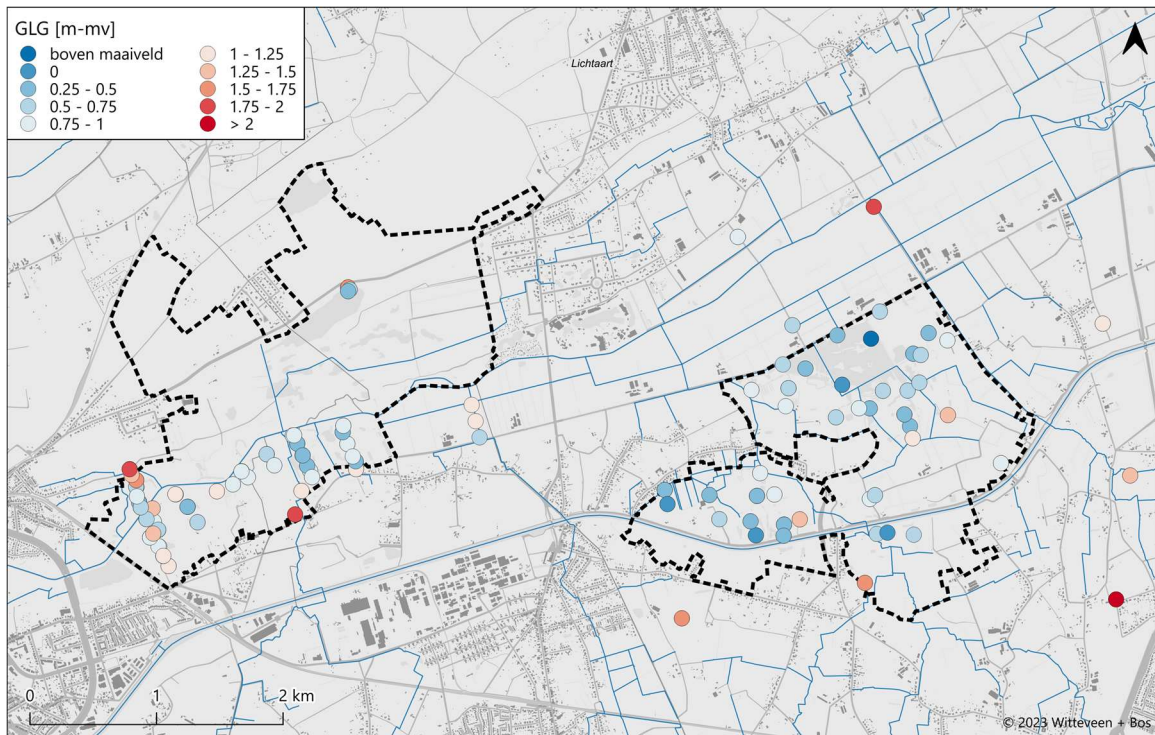
Afbeelding 2.11 Overzicht van de gemiddelde grondwaterstanden van de geselecteerde grondwaterpeilbuizen in en rond de natuurreservaten



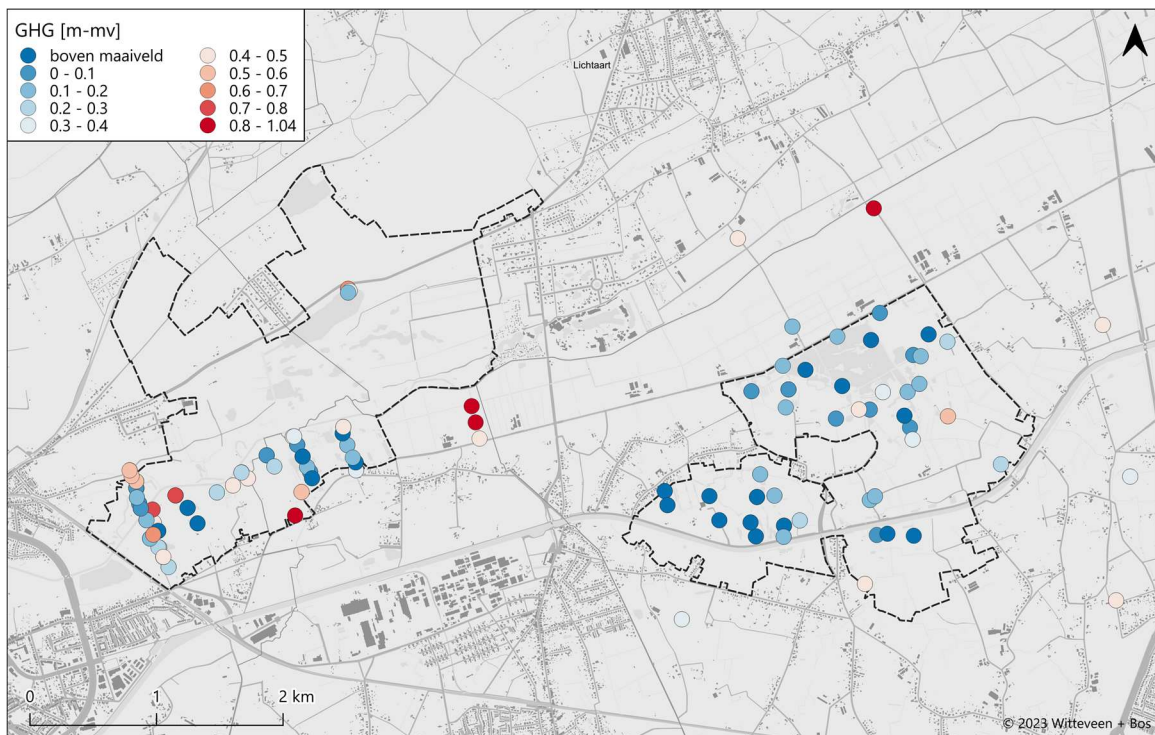
Afbeelding 2.12 Overzicht van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden (GVG) van de geselecteerde grondwaterpeilbuizen in en rond de natuurreservaten



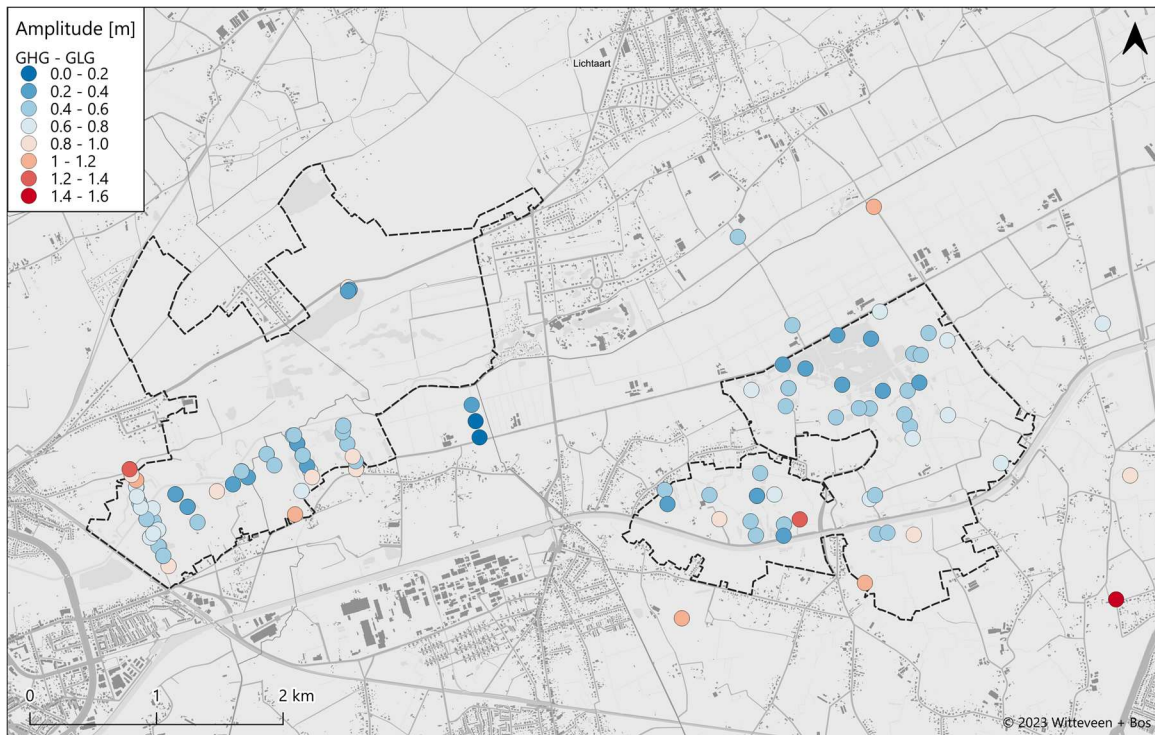
Afbeelding 2.13 Overzicht van de gemiddelde laagste grondwaterstanden (GLG) van de geselecteerde grondwaterpeilbuizen in en rond de natuurreservaten



Afbeelding 2.14 Overzicht van de gemiddelde hoogste grondwaterstanden (GHG) van de geselecteerde grondwaterpeilbuizen in en rond de natuurreservaten



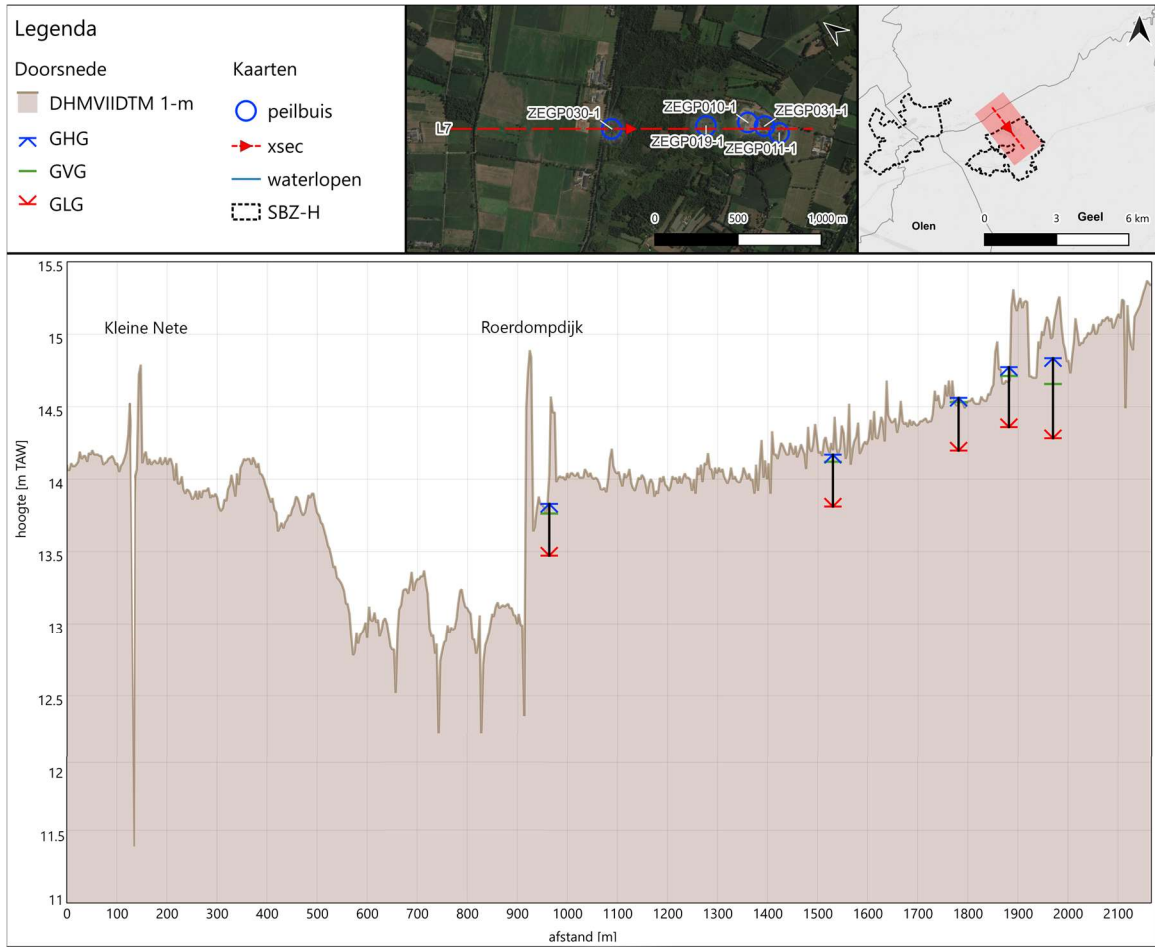
Afbeelding 2.15 Overzicht van de amplitude (GHG-GLG) van de geselecteerde grondwaterpeilbuizen in en rond de natuurreservaten



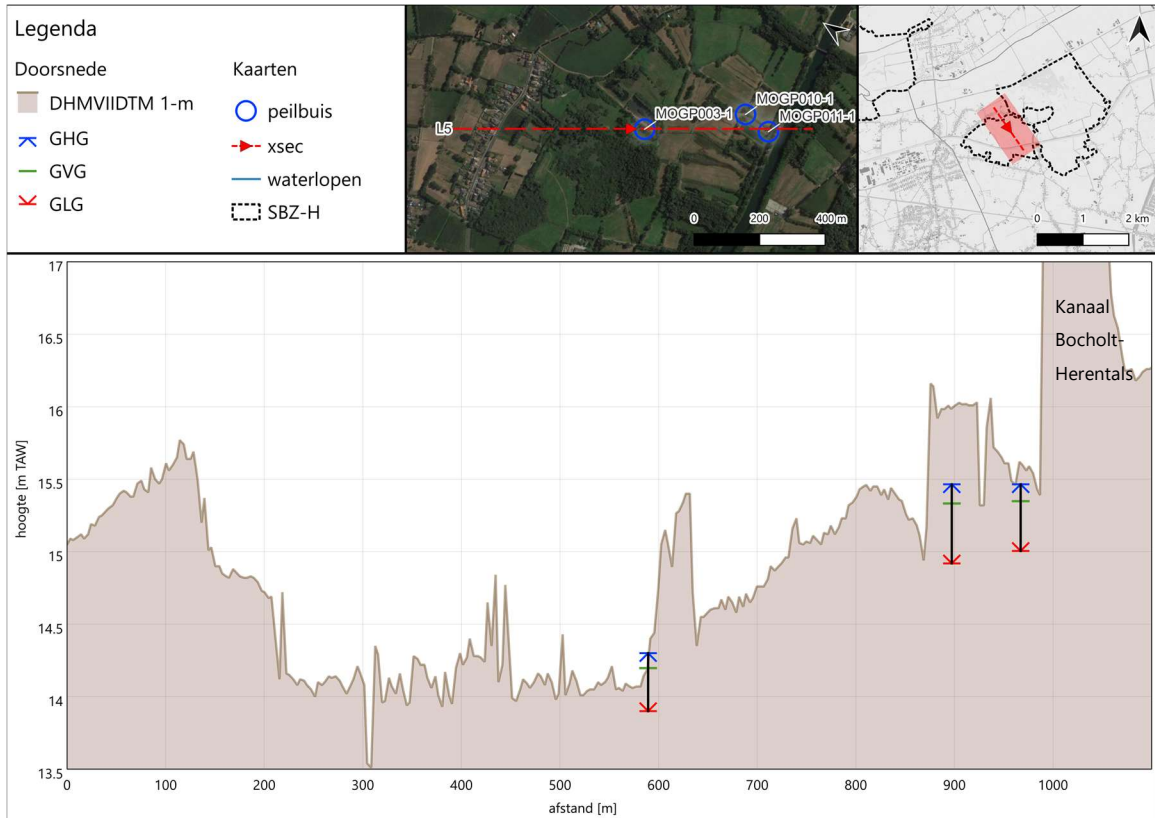
Dwarsprofielen

Afbeelding 2.16, Afbeelding 2.17 en Afbeelding 2.18 tonen voor respectievelijk De Zegge, Mosselgoren en Olens Broek een dwarsprofiel doorheen een raai van peilbuizen, met per peilbuis aanduiding van de GHG, GVG en GLG. Dit illustreert enerzijds het natuurlijke verhang van het grondwaterpeil overheen de vallei, met over het algemeen hogere peilen laag in de vallei en lagere peilen hoger in de vallei en anderzijds de impact van de verschillende antropogene drainerende structuren op de grondwaterpeilen, zoals de verdiepte Kleinte Nete in het Olens Broek.

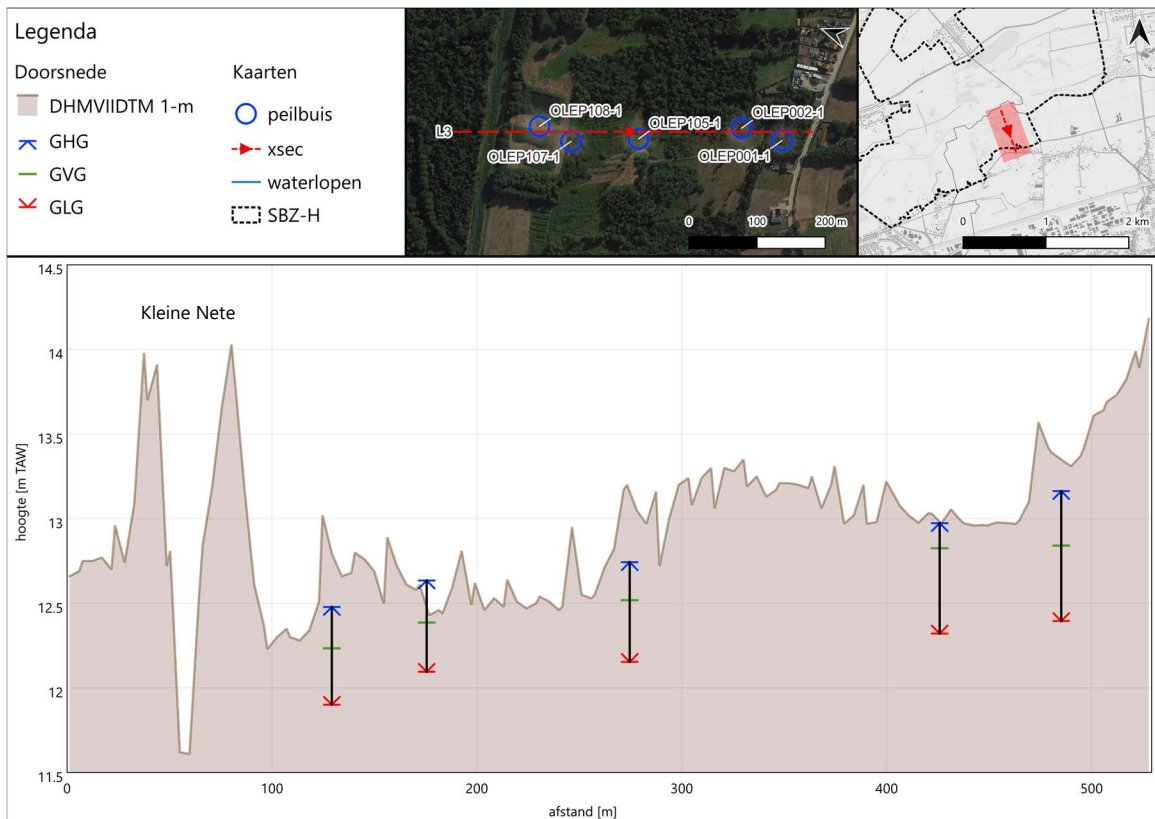
Afbeelding 2.16 Dwarsdoorsnede doorheen De Zegge met per peilbuis de GHG, GVG en GLG



Afbeelding 2.17 Dwarsdoorsnede doorheen Mosselgoren met per peilbuis de GHG, GVG en GLG



Afbeelding 2.18 Dwarsdoorsnede doorheen Olens Broek met per peilbuis de GHG, GVG en GLG

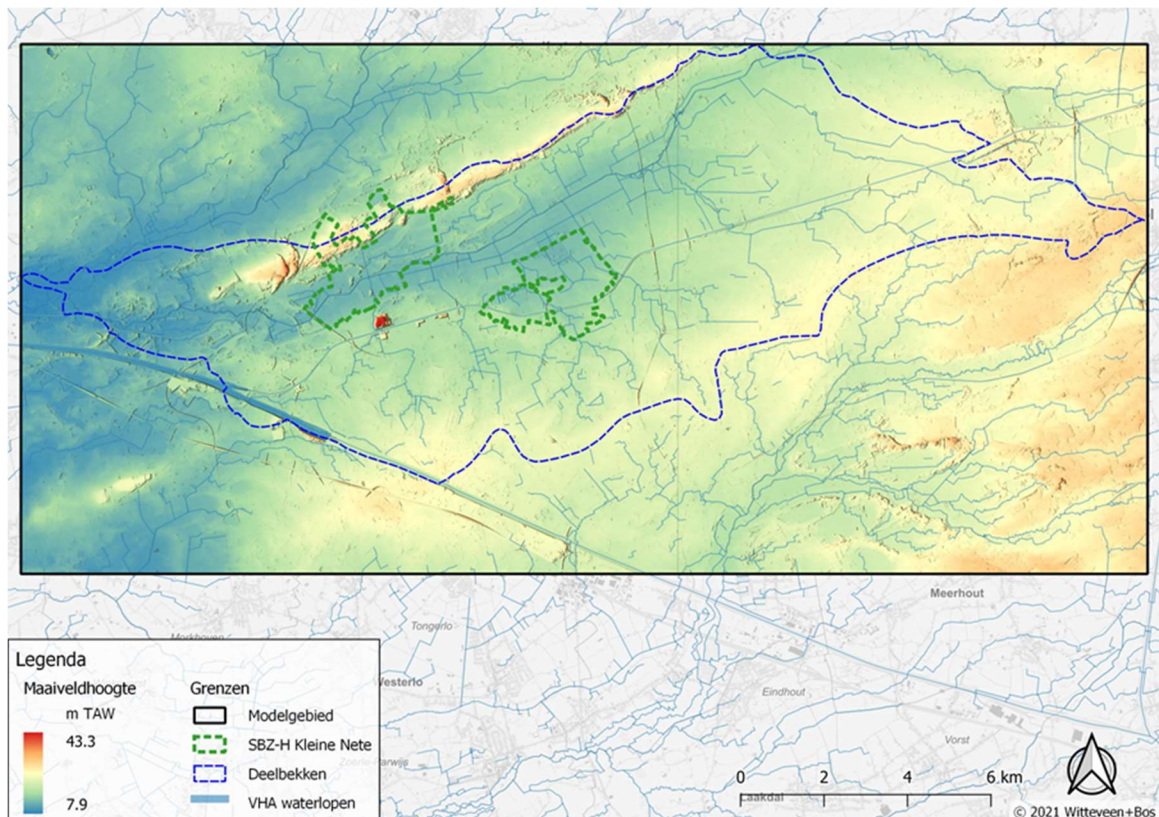


2.4 Oppervlaktewaterkwantiteit

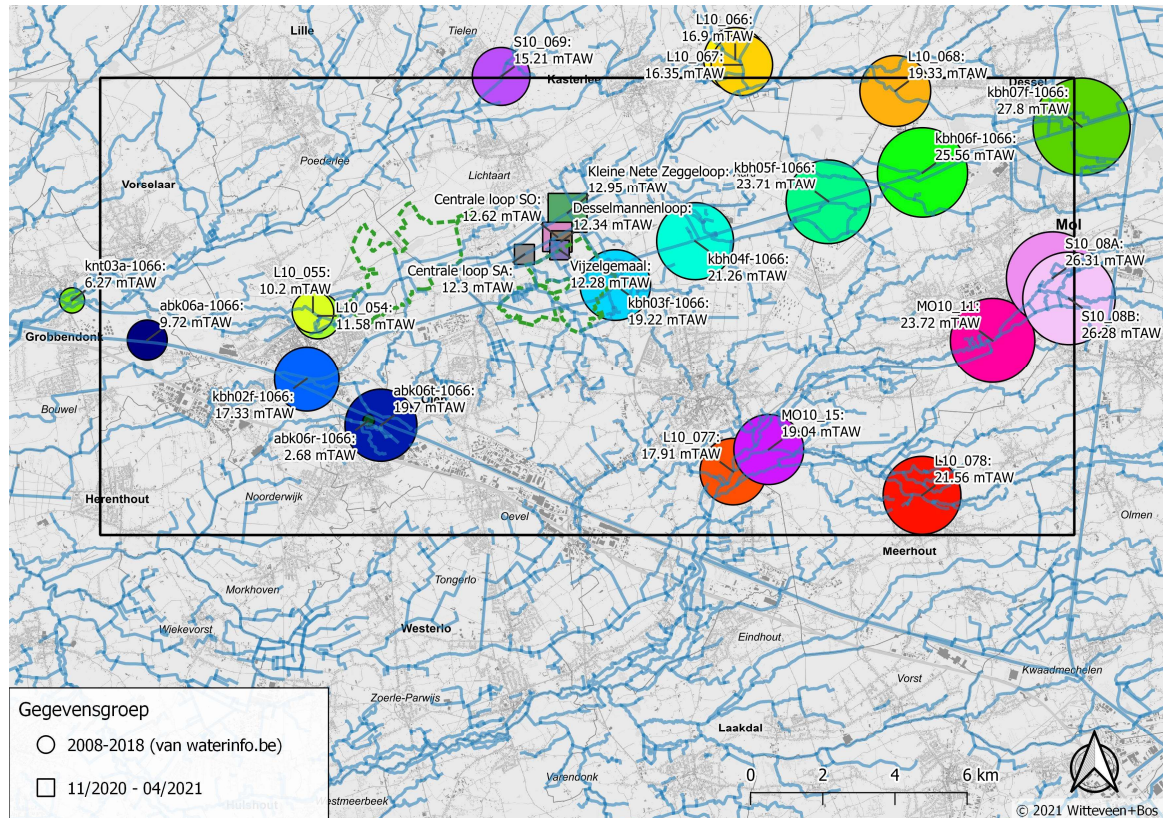
Regionaal niveau

Afbeelding 2.19 toont het maaiveld, de waterlopen (VHA), de afbakening van het deelbekken van de Kleine Nete en het SBZ-H in het grondwatermodelgebied. De vallei van de Kleine Nete wordt in het noordwesten begrensd door de Aa en in het zuidoosten door de Molse Nete. Ten zuiden van en min of meer parallel aan de Kleine Nete stroomt het Kanaal Bocholt-Herentals. De waterpeilen op deze regionale waterlopen worden door VMM gemonitord (waterinfo.be). Daarnaast worden er door de Provincie op vier grachten in de landbouwpolder peilen gemeten. Afbeelding 2.20 en Afbeelding 2.21 tonen de locaties, de gemiddelde waterstanden en de meetreeksen van deze meetstations gedurende de kalibratieperiode van het grondwatermodel. Een meer uitgebreide analyse van de regionale oppervlaktewaterstromingsdynamiek is uitgevoerd in de oppervlaktewatermodellering en opgenomen in de desbetreffende rapportage [2].

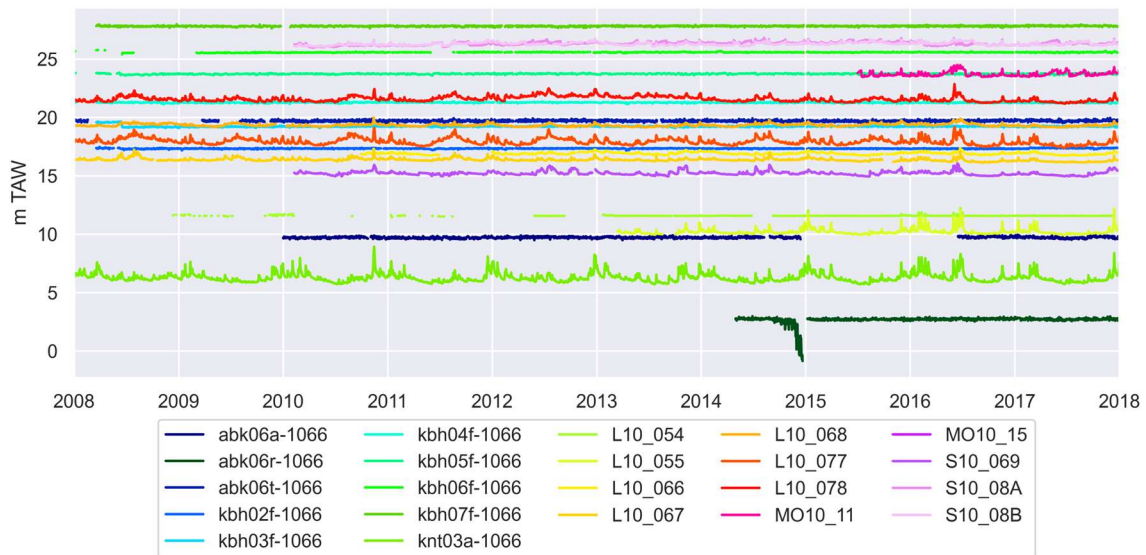
Afbeelding 2.19 Overzicht van de topografie en hydrografie in het studie- en modelgebied



Afbeelding 2.20 Gemiddelde waterpeilen van de regionale waterlopen in en rond het modelgebied



Afbeelding 2.21 Meetreeksen van de waterpeilen op de regionale waterlopen in het modelgebied.



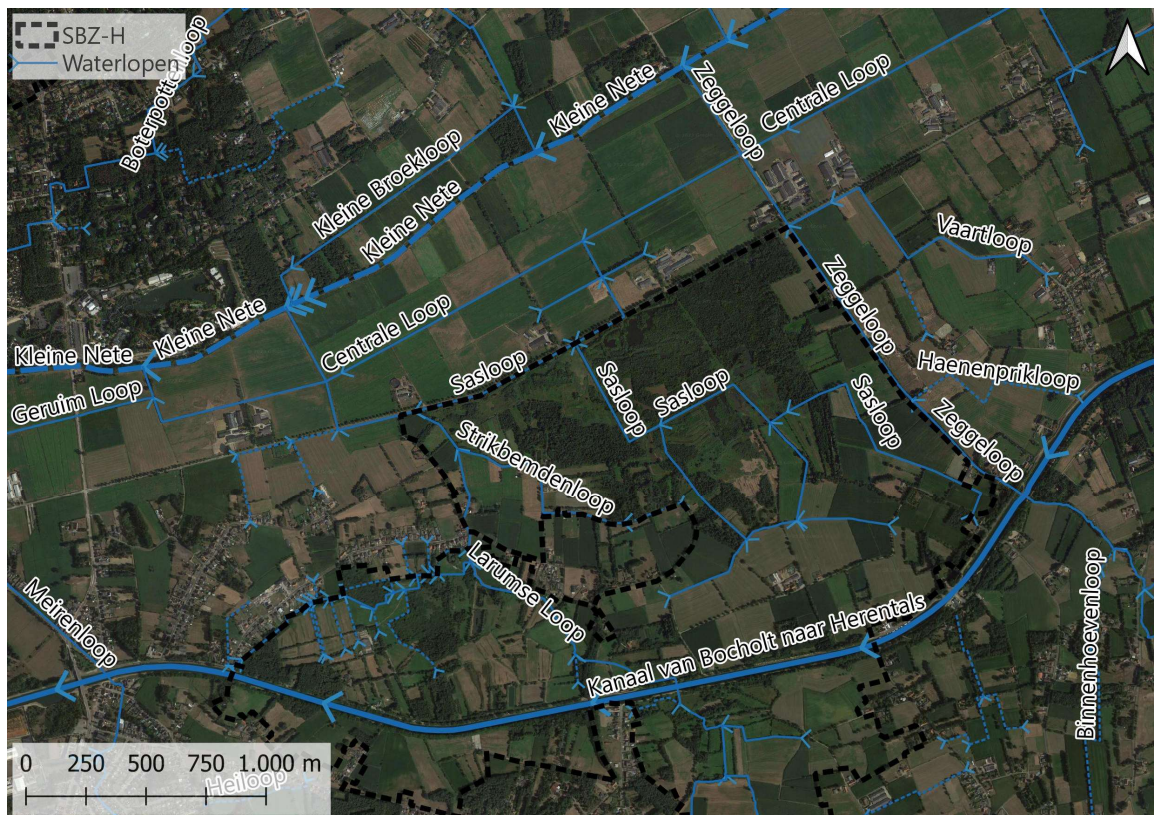
Lokaal niveau

Afbeelding 2.22 toont een overzicht van het netwerk van lokale waterlopen en hun onderlinge relaties in De Zegge en Mosselgoren. Ten oosten van het reservaat stroomt de Zeggeloop. Deze waterloop is circa 7km lang en ontspringt ter hoogte van het centrum van Geel en stroomt vervolgens doorheen landbouwgebied, sifoneert onder het kanaal Bocholt-Herentals, stroomt vervolgens langsheen de oostwand van het SBZ-H dwars door de landbouwpolder (overheen de centrale loop die de landbouwpolder draineert) om uiteindelijk uit te monden in de Kleine Nete ter hoogte van de Ark van Noë.

Centraal doorheen het natuurreservaat loopt de Sasloop. Deze waterloop is circa 3km lang en ontspringt in het uiterste zuidoosten van het SBZ-H nabij het kanaal Bocholt-Herentals. Verder stroomafwaarts monden respectievelijk de Korte Zeggeloop en de Korte Goorloop uit in de Sasloop. Beide waterlopen ontspringen in de landbouwzone net ten zuiden van het natuurreservaat. De Sasloop kent nu een artificiële ligging langs het centrale gedeelte van het natuurreservaat. De oude bedding richting de Kleine Nete in het verlengde van de Korte Zeggeloop is nog aanwezig in het landschap tot aan de Roerdompdijk. Verder afwaarts stroomt de Sasloop richting Roerdompdijk waar het Vijzelloopje in de Sasloop uitmondt. Het Vijzelloopje is gelegen tussen de roerdompdijk en het natuurreservaat. Deze waterloop ontvangt het door het vijzelmemaal opgepompte water uit de laagst gelegen zone van de landbouwvolder. De vijzelloop poogt de drainage van de hogere waterpeilen in het natuurreservaat naar de lagere waterpeilen in de landbouwvolder te vermijden en is in functie daarvan aangelegd (als een soort buffer). Na monding van de vijzelloop in de Sasloop stroomt de Sasloop verder parallel met de Roerdompdijk richting de Larumse loop.

De Larumse loop is circa 6 km lang en ontspringt in een zone met landbouwkundig gebruik ten westen van Geel. Net als de Zeggeloop omvat deze waterloop een grote afstroomoppervlakte waarbij er verschillende kleinere waterlopen in deze loop uitmonden. Ook de Larumse loop sifoneert onder het kanaal Bocholt-Herentals. Verder stroomafwaarts stroomt de Larumse loop ten oosten van Mosselgoren waarbij de Mosselgorenloop hierin uitmondt ter hoogte van de noordoostelijke uithoek van dit natuurreservaat. De Mosselgorenloop ontspringt in het uiterste westen van het natuurreservaat nabij het Kanaal Bocholt-Herentals en stroomt aan de noordrand van het natuurreservaat oostwaarts richting Larumse Loop. Verschillende grachten in het reservaat monden uit in de Mosselgorenloop. De Larumse Loop stroomt vervolgens verder richting de Kleine Nete, waarbij de Strikbemdenloop en de Sasloop er nog in uitmonden en de Larumse loop ook over de centrale loop heen stroomt in de landbouwvolder alvorens in de Kleine Nete uit te monden ter hoogte van Bobbejaanland.

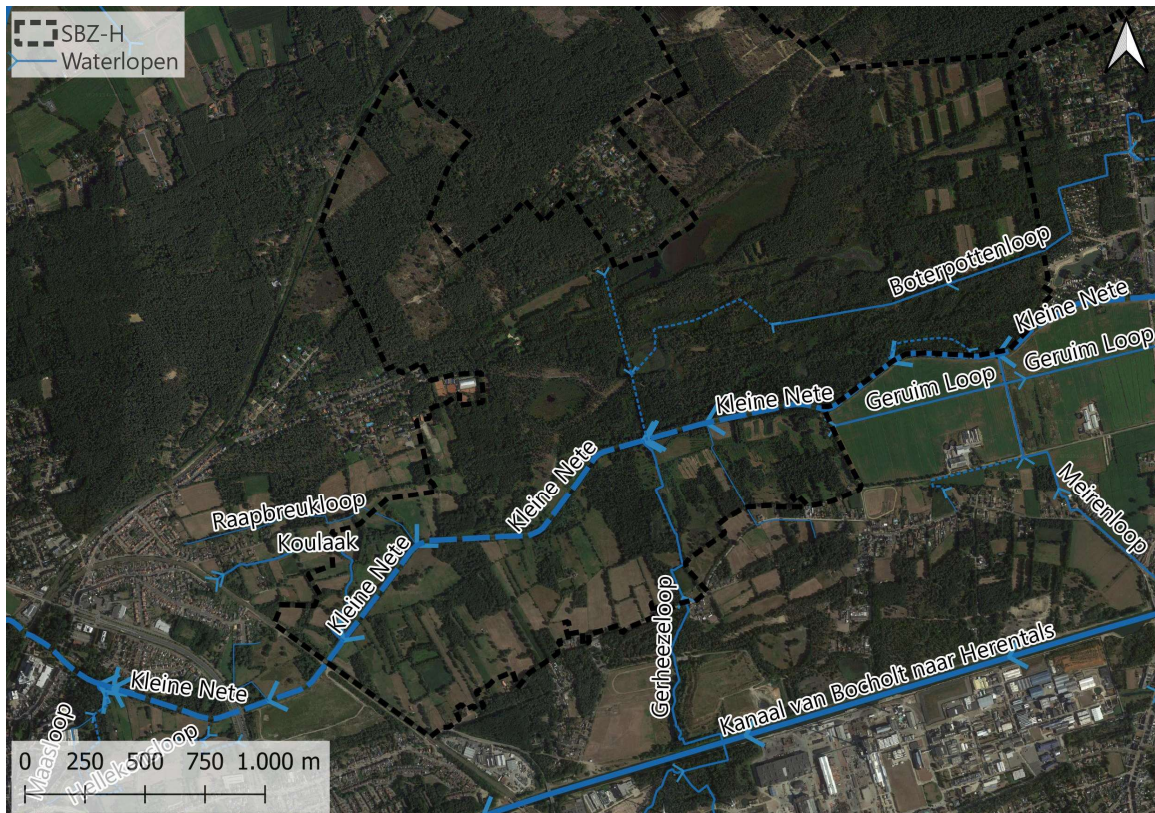
Afbeelding 2.22 Overzicht van het netwerk van lokale waterlopen en hun onderlinge relaties in De Zegge en Mosselgoren



Afbeelding 2.23 toont het overzicht van het netwerk van lokale waterlopen en hun onderlinge relaties in Olens Broek. De Kleine Nete stroomt dwars door het natuurreservaat Olens Broek en scheidt daarbij het lager gelegen echte 'broek' ten zuiden van de Kleine Nete met de hoger gelegen zone met vennen (waaronder Snekensvijver) ten noorden van de Kleine Nete. De focus van de studie ligt daarbij op de zone ten zuiden van de Kleine Nete, waar de Gerheezeloop of Kneutersloop dwars op de Kleine Nete door het reservaat heen stroomt. De Kneutersloop ontspringt ten zuiden van het kanaal Bocholt-Herentals en stroomt via de site van Umicore (vroegere Union Minière) richting Olens Broek.

Een meer uitgebreide analyse van de lokale oppervlaktewaterstromingsdynamiek is uitgevoerd in de oppervlaktewatermodellering en opgenomen in de desbetreffende rapportage [2].

Afbeelding 2.23 Overzicht van het netwerk van lokale waterlopen en hun onderlinge relaties in Olens Broek



Detailhydrografie

Afbeelding 2.24 toont de detailhydrografie (lokale waterlopen en sloten zoals opgenomen in het grondwatermodel) en waterbeheerconstructies (met stuwhoogtes) in De Zegge. Niet aangeduid op kaart (gezien het grote aantal) maar wel relevant zijn de talloze verbindingsbuizen tussen sloten en grachten in functie van efficiënt waterbeheer in het natuurreservaat. Het water in de Vijzelloop en in de Sasloop wordt lokaal opgestuwd om hun drainerende werking in droge periodes te verminderen. Daarnaast kan het water in de Sasloop gebruikt worden om bepaalde percelen (via 'watertappen') te bevoeien in droge periodes om de veenvormende vegetaties en bestaande veenbodems nat te houden. Dergelijke bevoeiing is ook mogelijk vanuit de Zeggeloop.

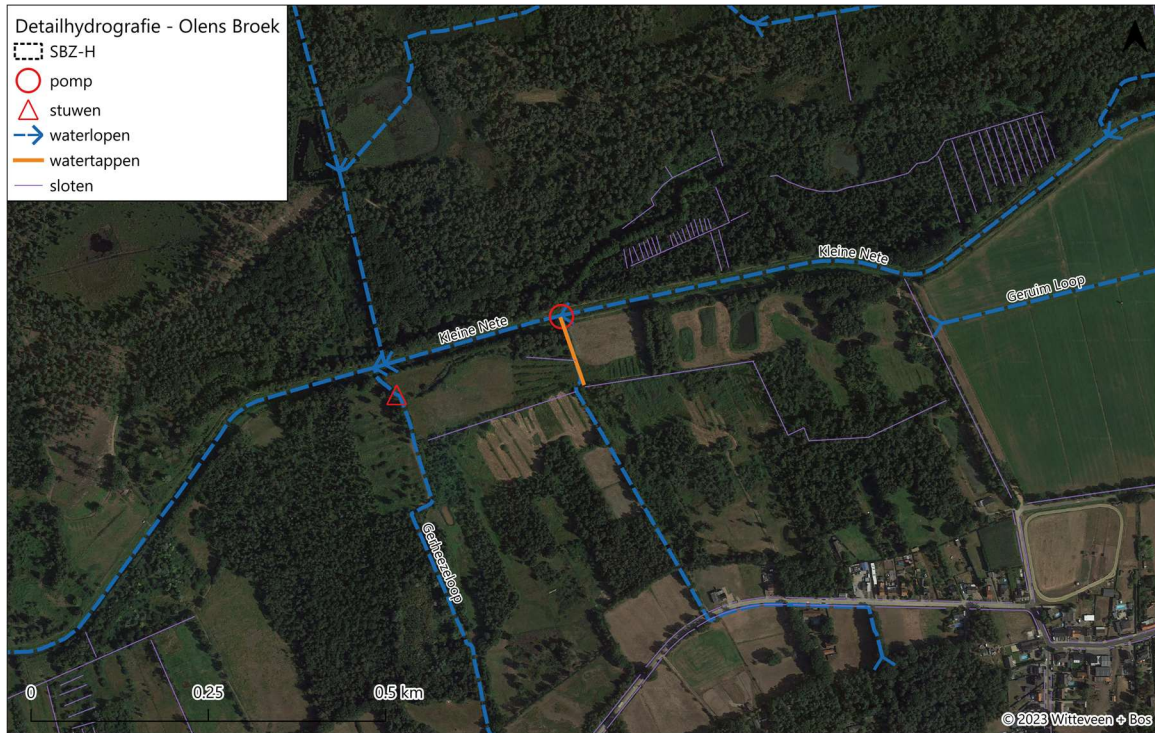
Afbeelding 2.24 Detailhydrografie met waterbeheerconstructies in De Zegge



Afbeelding 2.25 toont de detailhydrografie (lokale waterlopen en sloten zoals opgenomen in het grondwatermodel) en waterbeheerconstructies in het Olens Broek. Vanuit de Kleine Nete wordt er met behulp van een pomp water in het grachtenstelsel van het reservaat ingelaten. Daarnaast bevindt zich op de Gerheezeloop een constructie om het water in die loop en aanpalende grachten op te kunnen stuwen.

Een meer uitgebreide analyse van de detailhydrografie van de drie natuurreservaten is uitgevoerd in de modellering van grond- en oppervlaktewater en opgenomen in de desbetreffende rapportages [1; 2].

Afbeelding 2.25 Detailhydrografie met waterbeheerconstructies in Olens Broek



2.5 Oppervlaktewaterkwaliteit

Regionaal

Overzicht oppervlaktewaterkwaliteit en toetsing aan milieukwaliteitsnormen

Op regionaal niveau zijn er vanuit het meetnet van VMM, gegevens van de kwaliteit van het oppervlaktewater beschikbaar ter hoogte van het studiegebied op de Kleine Nete, het kanaal Bocholt-Herentals, de Larumse loop, de Zeggeloop en de Kneutersloop. De start van de metingen is afhankelijk van de locatie, maar is ten vroegste vanaf 1988 beschikbaar. Tabel 2.1 en Tabel 2.2 geven een overzicht van de oppervlaktewaterkwaliteit op regionale waterlopen in en rond het studiegebied; met toetsing aan de milieukwaliteitsnormen (MKN). De waarde is niet noodzakelijk telkens het gemiddelde overheen de meetperiode, maar wel de parameter specifieke toetswijze voor de MKN (bijvoorbeeld 90-percentiel voor NO_3). Afbeelding 2.26 toont de locaties en nummering van alle meetpunten. In nagenoeg alle meetpunten wordt de toegestane concentratie aan totaal P (0.14 mg/l) overschreden. Op de Gerheezeloop (ook bekend als Kneutersloop) in het Olens Broek worden de grenswaarden van nagenoeg alle parameters, vaak ruimschoots, overschreden. Daarbij is ook op de Kleine Nete, op de meetpunten stroomafwaarts de monding van de Gerheezeloop, de waterkwaliteit ontoereikend op vlak van onder meer de geleidbaarheid en het sulfaatgehalte. Over het algemeen zijn nutriëntenconcentraties zoals totaal N hoger stroomopwaarts (landbouwomgeving) en lager stroomafwaarts; op bijvoorbeeld de Zeggeloop en Larumse loop (Afbeelding 2.26). Het chemisch zuurstofverbruik (CZV), een maat voor de chemisch afbreekbare componenten die in water aanwezig zijn, wordt in alle meetpunten overschreden. Dit indiceert de algemene vervuiling van het regionale oppervlaktewater.

Tabel 2.1 Overzicht van de regionale oppervlaktewaterkwaliteit met toetsing aan de Vlaamse Milieukwaliteitsnormen (MKN) (Deel 1). De waardes geven telkens de toetswijze per parameter (maximum; 90-percentiel; gemiddelde; 10-percentiel; minimum of zomerhalfjaargemiddelde).

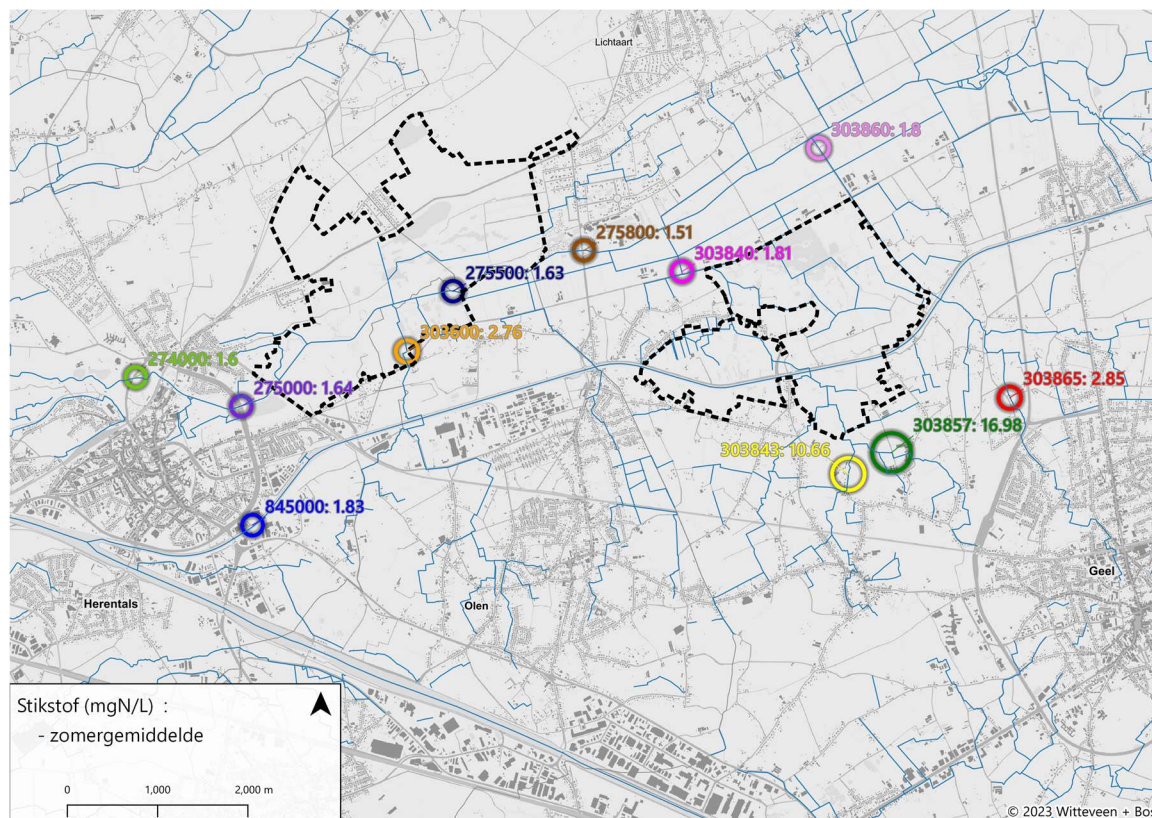
parameter	eenheid	Kleine Nete	Kleine Nete	Kleine Nete	Kleine Nete	Kneute rsloop	Larums e Loop	MKN	Toetswijze
		274000	275000	275500	275800	303600	303840		
Temp	°C	24,80	24,00	24,00	24,00	26,00	23,50	25	max
O2	mg O ₂ /l	7,20	6,29	6,47	6,48	3,34	4,51	6	10-p
O2	%	218,00	119,89	105,00	143,00	114,30	136,90	120	max
BZV	mg O ₂ /l	3,01	3,00	3,00	3,00	5,74	3,20	6	90-p
CZV	mg O ₂ /l	42,20	41,50	36,00	35,24	51,00	46,00	30	90-p
EC	µS/cm	816,20	805,20	839,90	392,00	4636,00	323,00	600	90-p
Cl	mg/l	120,00	118,00	123,51	44,00	828,20	35,00	120	90-p
SO ₄	mg/l	115,06	109,75	104,65	74,03	625,46	32,12	90	gem
pH	-	5,83	5,77	6,50	6,40	4,54	6,30	5,5	min
pH	-	7,97	8,01	8,20	8,40	9,00	7,70	8,5	max
NO ₃	mg N/l	2,32	2,21	2,20	2,27	3,10	1,80	10	90-p
N	mg N/l	1,60	1,64	1,63	1,51	2,76	1,81	4	zh-gem
P	mg P/l	0,25	0,24	0,25	0,25	0,37	0,44	0,14	zh-gem
PO ₄	mg P/l	0,04	0,04	0,05	0,04	0,11	0,20	0,07	gem

Tabel 2.2 Overzicht van de regionale oppervlaktewaterkwaliteit met toetsing aan de Vlaamse Milieukwaliteitsnormen (MKN) (Deel 2). De waardes geven telkens de toetswijze per parameter (maximum; 90-percentiel; gemiddelde; 10-percentiel; minimum of zomerhalfjaargemiddelde).

parameter	eenheid	Larumse loop	Larumse loop	Zeggelo op	Zeggelo op	Kanaal B-H	MKN	Toetswijze
		303843	303857	303860	303865	845000		
Temp	°C	19,60	19,90	27,30	18,50	27,00	25	max
O2	mg O ₂ /l	2,92	2,57	4,66	3,57	7,35	6	10-perc.
O2	%	92,81	104,90	154,00	79,10	136,30	120	max
BZV	mg O ₂ /l	16,60	-	4,96	2,15	3,00	6	90-perc.
CZV	mg O ₂ /l	83,97	101,20	36,00	34,80	35,00	30	90-perc.
EC	µS/cm	690,00	665,40	442,00	478,90	560,00	600	90-perc.
Cl	mg/l	63,36	64,20	49,72	63,90	67,00	120	90-perc.
SO ₄	mg/l	114,44	83,93	54,03	84,50	47,70	90	gem.
pH	-	5,80	6,47	6,30	6,16	6,14	5,5	min
pH	-	7,65	7,70	8,51	7,03	9,24	8,5	max
NO ₃	mg N/l	8,78	5,06	2,42	3,47	3,80	10	90-p

		Larumse loop	Larumse loop	Zeggelo op	Zeggelo op	Kanaal B-H	MKN	Toetswijze
parameter	eenheid	303843	303857	303860	303865	845000		
N	mg N/l	10,66	16,98	1,80	2,85	1,83	4	zh-gem
P	mg P/l	1,21	1,24	0,28	0,11	0,24	0,14	zh-gem
PO ₄	mg P/l	0,26	0,58	0,06	0,10	0,04	0,07	gem

Afbeelding 2.26 Overzicht van de zomerhalfjaargemiddeldes van het totale stikstofgehalte op de regionale waterlopen (meetpunten VMM)



Lokaal

Binnen deze studieopdracht werden overheen de drie natuurreservaten in juni 2021 12 locaties éénmalig bemonsterd: 8 in De Zegge en 3 in Mosselgoren (Afbeelding 2.27). Staal 12 werd genomen op de Boterpottenloop in het Olens Broek (zie Afbeelding 2.23). Overige beschikbare gegevens uit andere studies zijn meer dan 10 jaar oud en wordt daarom niet in beschouwing genomen.

Afbeelding 2.27 Overzicht van de meetlocaties in het lokale oppervlaktewatersysteem in De Zegge en Mosselgoren



Overzicht oppervlaktewaterkwaliteit en toetsing aan milieukwaliteitsnormen

Tabel 2.3 en Tabel 2.4 geven een overzicht van de resultaten van de éénmalige oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen; met toetsing aan de MKN. De parameters werden geanalyseerd conform bestek. Zo werden bijvoorbeeld totaal N en totaal P niet gemeten. Het betreft totale concentraties, niet enkel de opgeloste fractie. Het aantal relevante ecohydrologische parameters die werden bemeaten waar MKN voor beschikbaar is, is echter beperkt. Voor Cl, EC (geleidbaarheid), NO₃, pH en SO₄ zijn normen beschikbaar. Op alle 12 locaties voldoen de metingen aan de MKN.

Tabel 2.3 Overzicht van de resultaten van de éénmalige oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen; met toetsing aan de MKN (deel 1)

Parameter	Eenheid	1	2	3	4	5	6	Toetswijze	MKN
Ca	mg/l	24,2	42,0	51,0	47,0	35,7	37,1		
Cl	mg/l	12,5	40,0	47,0	38,0	35,0	41,0	90-perc.	120
EC	µS/cm	161	305	489	345	296	316	90-perc.	600
Fe	mg/l	6,0	20,0	3,8	30,0	11,0	7,3		
HCO ₃	mg/l	65,3	107,0	124,0	134,0	86,0	81,0		
K	mg/l	3,3	5,6	11,4	12,3	5,4	6,4		
Mg	mg/l	3,6	4,7	8,8	6,0	6,1	6,2		
Na	mg/l	4,7	16,5	25,9	13,6	13,4	14,7		
NH ₄	mg N/l	0,34	0,19	3,72	0,08	0,64	0,59		
NO ₃	mg N/l	0,10	0,10	0,23	0,10	0,10	0,16	90-perc.	10
pH		6,21	6,60	7,15	6,60	6,72	6,85	min-max	5,5-8,5
PO ₄	mg P/l	0,24	0,98	0,10	0,09	0,24	0,10		

Parameter	Eenheid	1	2	3	4	5	6	Toetswijze	MKN
SO ₄	mg/l	5,0	8,8	65,0	6,1	17,8	24,0	gemiddelde	90

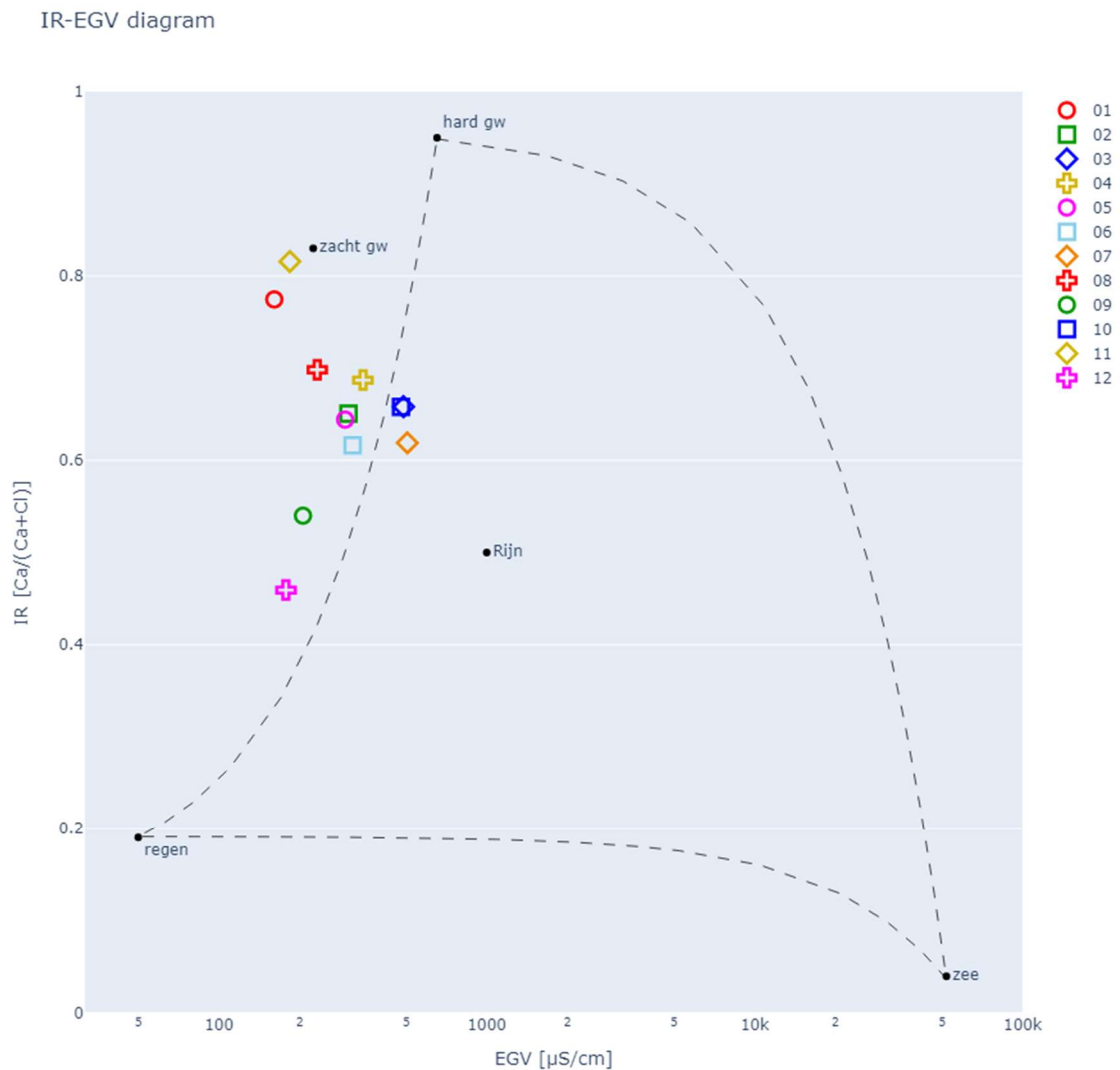
Tabel 2.4 Overzicht van de resultaten van de éénmalige oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen; met toetsing aan de MKN (deel 2)

Parameter	Eenheid	7	8	9	10	11	12	Toetswijze	MKN
Ca	mg/l	54,0	24,9	20,5	52,0	22,7	13,4		
Cl	mg/l	59,0	19,1	31,0	48,0	9,1	28,0	90-perc.	120
EC	µS/cm	505	233	206	478	184	178	90-perc.	600
Fe	mg/l	5,7	20,0	22,0	2,4	12,0	11,3		
HCO ₃	mg/l	138,0	95,0	68,3	178,0	54,9	37,2		
K	mg/l	7,6	3,9	4,7	10,9	1,5	10,0		
Mg	mg/l	7,1	4,4	3,7	6,9	3,8	3,5		
Na	mg/l	35,0	16,1	14,5	30,0	6,5	13,3		
NH ₄	mg N/l	1,40	0,46	0,82	1,05	0,19	0,40		
NO ₃	mg N/l	0,65	0,10	0,10	1,31	0,10	0,10	90-perc.	10
pH		7,03	6,58	6,13	7,21	6,47	6,45	min-max	5,5-8,5
PO ₄	mg P/l	0,03	0,30	0,85	0,04	0,19	0,03		
SO ₄	mg/l	41,0	7,7	3,3	49,0	21,0	13,2	gemiddelde	90

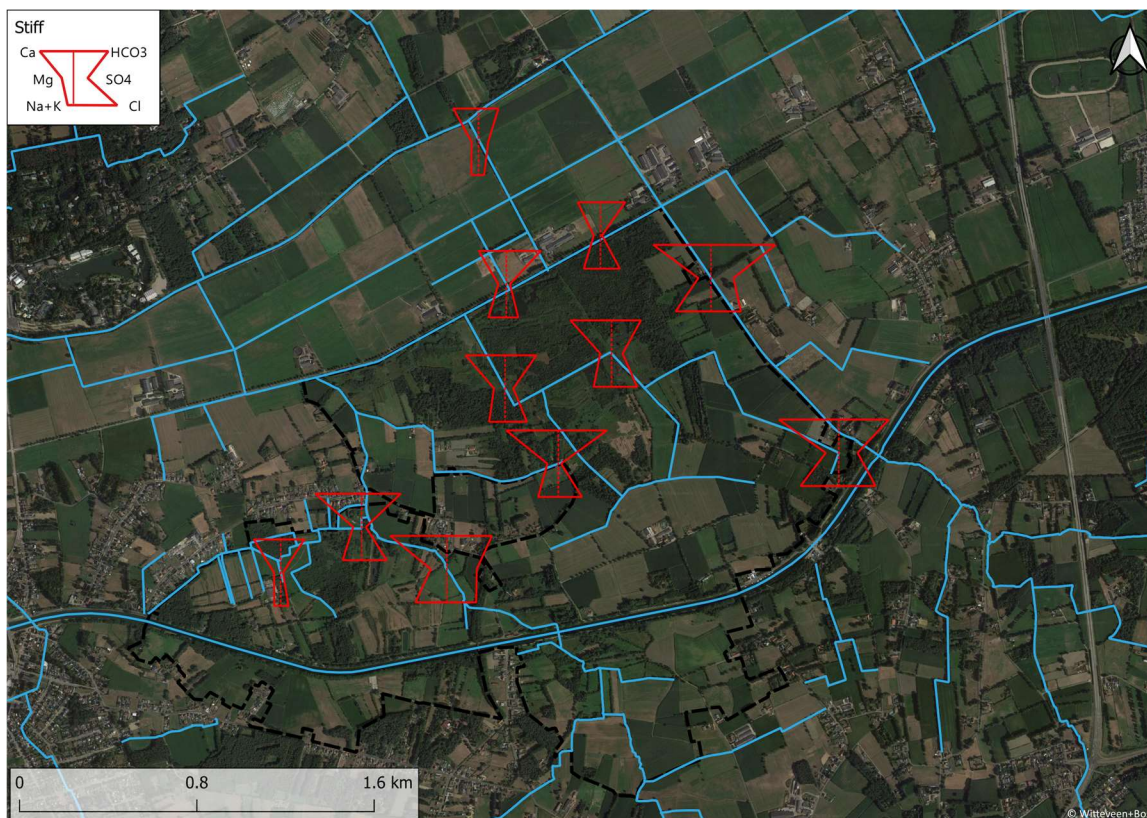
Op vlak van zuurtegraad (pH) en mineralenrijkdom (aangeduid door elektrische conductiviteit (EC)) variëren de waterlopen in het studiegebied tussen respectievelijk circa 6,2 en 7,2 enerzijds en circa 160 µS/cm tot 500 µS/cm anderzijds (Afbeelding 2.28). De pH en EC zijn telkens het hoogst op de Larumse loop (locatie 3), de Zeggeloop (locatie 10) en het stroomopwaarts gedeelte van de Sasloop (locatie 7). De concentraties aan nutriënten (NH₄, NO₃ en PO₄) zijn over het algemeen laag, met lokaal sterke afwijkingen tot respectievelijk 3,73 mg N/l, 1,31 mg N/l en 0,98 mg P/l (Afbeelding 2.29).

Een ionenratio-elektrische geleidbaarheidsdiagram (IR-EGV) toont de variatie in mineraalrijkdom van het oppervlaktewater op de x-as en de ionenratio (verhouding tussen de Ca- en Cl-ionen) op de y-as. Dit geeft een indicatie van de samenstelling en herkomst van het water: lithoclien (hard grondwater), atmoclien (regenwater) of zeewater. Het IR-EGV diagram illustreert de relatief gelijkaardige samenstelling van de waterlopen in het studiegebied (Afbeelding 2.30). Het oppervlaktewater bestaat uit een mix van grond- en regenwater. Locatie 1 (gracht in Mosselgoren) en 11 (gracht in landbouwpolder) zijn het meeste grondwatergevoed. De Stiff diagrammen (Afbeelding 2.31) tonen eveneens een relatief uniform beeld in lijn met het IR-EGV diagram. Alle locaties zijn relatief mineraalrijk en gebufferd (de diagrammen hebben een vorm als een 'press-papier'). Lokaal is er een verhoogde concentratie van sulfaat waar te nemen (met name de Zeggeloop en Larumse loop). Dit is allicht een direct gevolg van de uitspoeling van meststoffen vanuit landbouwgronden. Tabel 2.4

Afbeelding 2.30 IR-EGV diagram van het oppervlaktewater



Afbeelding 2.31 Stiff diagrammen van het oppervlaktewater



Toetsing aan ecologische normen

Indien de kwaliteit van een waterloop voldoet aan de MKN wil niet zeggen dat het daarom ook van voldoende kwaliteit is voor de natuurdoelen. Te nutriëntenrijk oppervlaktewater hypothekeert namelijk de duurzame instandhouding en ontwikkeling van de Europees beschermde natuur [4; 5]. Daarom wordt er tevens getoetst aan (strengere) ecologische normen. In hoofdstuk 3.2 wordt een overzicht gegeven van alle beschikbare standplaatsvereisten van de relevante Europese habitattypes voor het studiegebied. Tabel 2.5 geeft een selectie daarvan, namelijk de abiotische standplaatsvereisten voor de kwaliteit van het oppervlaktewater voor (stilstaande) aquatische habitats. Deze worden verder onderverdeeld volgens de Vlaamse watertypes. Relevant voor het studiegebied zijn enerzijds 3130_aom subtype czb (mesotrofe circumneutrale zwak gebufferde stilstaande wateren) en 3150 (ondiepe, alkalische, ionenrijke en (matig) eutrofe wateren). Dit betreft dus streefwaardes voor stilstaand water, terwijl de stalen zijn genomen op stromende waterlopen. Maar gezien de eerder genoemde frequente inlaat van oppervlaktewater in de vijvers in droge periodes (bevloeiing) enerzijds en de ongewenste overstromingen van de vijversystemen vanuit de waterlopen in natte periodes anderzijds zijn deze streefwaardes desalniettemin erg relevant.

Tabel 2.5 Overzicht van de beschikbare abiotische standplaatsvereisten (optimumrange) voor de kwaliteit van het oppervlaktewater van de aquatische natuurdoelen 3130 (type czb) en 3150 (type ami)

Parameter	Eenheid	Toetswijze	3130 (czb)	3150 (ami)
pH (H ₂ O)		min - max	5,5-7,5	6,5-8,5
EC	(µS/cm)	90-perc.	< 250	< 750
Totaal P	(mg P/l)	zomershelfjaargem.	< 0,03	< 0,07
Totaal N	(mg N/l)	zomershelfjaargem.	< 1	< 1,3
Sulfaat	mg/l	gemiddelde	<15(40)	<15(80)

Tabel 2.6 tot en met Tabel 2.9 toetsen deze ecologische normen van beide aquatische habitattypes af ten opzichte van de gemeten data. De geleidbaarheid is in de meeste waterlopen van het reservaat bijna nergens lager dan 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en dus te mineraalrijk voor de ontwikkeling van mesotrofe natuurdoelen (3130). Voor de ontwikkeling van 3150 is de EC wel overal geschikt. De gemiddelde concentratie totaal P op de Kleine Nete ter hoogte van het studiegebied bedraagt ongeveer 0,25 mg/l (zie Tabel 2.1 en Tabel 2.2). Op de lokale waterlopen die doorheen De Zegge stromen, zoals de Sasloop, varieert de concentratie tussen 0,10 en 0,24 mg/l. Op de Mosselgorenloop loopt dit zelfs op tot bijna 1 mg/l. De randvoorwaarde voor totaal P voor habitatype 3130 bedraagt 0,03 mg/l. De gemiddelde concentraties totaal P op de waterlopen in het studiegebied zijn dus 3 tot 8 keer; lokaal zelfs 30 keer te hoog voor duurzame instandhouding of ontwikkeling van mesotrofe habitats (dat terwijl er zelfs enkel PO_4 gemeten werd). De waterlopen in het reservaat zijn dus veel te P rijk voor het gebruik als waterbron voor duurzame instandhouding of ontwikkeling van heldere mesotrofe vijvers, én zelfs voor eutrofe (3150) vijvers. Ook voor minstens locaties 3, 7 en 10 is het gehalte aan totaal N ontoereikend op basis van de NH_4 en NO_3 concentraties. De sulfaatconcentraties zijn over de verschillende meetpunten, afhankelijk van de bron (15 of 40 mg/l als norm), al dan niet gunstig voor mesotrofe natuurdoelen.

We kunnen concluderen dat het oppervlaktewater in het studiegebied dus niet geschikt is, met name te nutriëntenrijk, om droogvallende vijvers en percelen mee te bevoeien. Ook de ongewenste inlaat van dit water bij overstromingen is nefast voor de realisatie van de natuurdoelen.

Tabel 2.6 Overzicht van de resultaten van de éénmalige oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen; met toetsing aan 3130 (czb) (deel 1)

Parameter	Eenheid	1	2	3	4	5	6	Toetswijze	Norm
Ca	mg/l	24,2	42,0	51,0	47,0	35,7	37,1		
Cl	mg/l	12,5	40,0	47,0	38,0	35,0	41,0		
EC	$\mu\text{S}/\text{cm}$	161	305	489	345	296	316	90-perc.	<250
Fe	mg/l	6,0	20,0	3,8	30,0	11,0	7,3		
HCO_3	mg/l	65,3	107,0	124,0	134,0	86,0	81,0		
K	mg/l	3,3	5,6	11,4	12,3	5,4	6,4		
Mg	mg/l	3,6	4,7	8,8	6,0	6,1	6,2		
Na	mg/l	4,7	16,5	25,9	13,6	13,4	14,7		
NH_4	mg N/l	0,34	0,19	3,72	0,08	0,64	0,59		
NO_3	mg N/l	0,10	0,10	0,23	0,10	0,10	0,16		
pH		6,21	6,60	7,15	6,60	6,72	6,85	min-max	5,5-7,5
PO_4	mg P/l	0,24	0,98	0,10	0,09	0,24	0,10	(totaal P)	<<0,03
SO_4	mg/l	5,0	8,8	65,0	6,1	17,8	24,0	gemiddelde	<15(40)

Tabel 2.7 Overzicht van de resultaten van de éénmalige oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen; met toetsing aan 3130 (czb) (deel 2)

Parameter	Eenheid	7	8	9	10	11	12	Toetswijze	Norm
Ca	mg/l	54,0	24,9	20,5	52,0	22,7	13,4		
Cl	mg/l	59,0	19,1	31,0	48,0	9,1	28,0		
EC	$\mu\text{S}/\text{cm}$	505	233	206	478	184	178	90-perc.	<250
Fe	mg/l	5,7	20,0	22,0	2,4	12,0	11,3		
HCO_3	mg/l	138,0	95,0	68,3	178,0	54,9	37,2		
K	mg/l	7,6	3,9	4,7	10,9	1,5	10,0		
Mg	mg/l	7,1	4,4	3,7	6,9	3,8	3,5		

Parameter	Eenheid	7	8	9	10	11	12	Toetswijze	Norm
Na	mg/l	35,0	16,1	14,5	30,0	6,5	13,3		
NH ₄	mg N/l	1,40	0,46	0,82	1,05	0,19	0,40		
NO ₃	mg N/l	0,65	0,10	0,10	1,31	0,10	0,10		
pH		7,03	6,58	6,13	7,21	6,47	6,45	min-max	5,5-7,5
PO ₄	mg P/l	0,03	0,30	0,85	0,04	0,19	0,03	(totaal P)	<<0,03
SO ₄	mg/l	41,0	7,7	3,3	49,0	21,0	13,2	gemiddelde	<15(40)

Tabel 2.8 Overzicht van de resultaten van de éénmalige oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen; met toetsing aan 3150 (ami) (deel 1)

Parameter	Eenheid	1	2	3	4	5	6	Toetswijze	Norm
Ca	mg/l	24,2	42,0	51,0	47,0	35,7	37,1		
Cl	mg/l	12,5	40,0	47,0	38,0	35,0	41,0		
EC	µS/cm	161	305	489	345	296	316	90-perc.	<750
Fe	mg/l	6,0	20,0	3,8	30,0	11,0	7,3		
HCO ₃	mg/l	65,3	107,0	124,0	134,0	86,0	81,0		
K	mg/l	3,3	5,6	11,4	12,3	5,4	6,4		
Mg	mg/l	3,6	4,7	8,8	6,0	6,1	6,2		
Na	mg/l	4,7	16,5	25,9	13,6	13,4	14,7		
NH ₄	mg N/l	0,34	0,19	3,72	0,08	0,64	0,59		
NO ₃	mg N/l	0,10	0,10	0,23	0,10	0,10	0,16		
pH		6,21	6,60	7,15	6,60	6,72	6,85	min-max	6,5-8,5
PO ₄	mg P/l	0,24	0,98	0,10	0,09	0,24	0,10	(totaal P)	<<0,07
SO ₄	mg/l	5,0	8,8	65,0	6,1	17,8	24,0	gemiddelde	<15(80)

Tabel 2.9 Overzicht van de resultaten van de éénmalige oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen; met toetsing aan 3150 (ami) (deel 2)

Parameter	Eenheid	7	8	9	10	11	12	Toetswijze	Norm
Ca	mg/l	54,0	24,9	20,5	52,0	22,7	13,4		
Cl	mg/l	59,0	19,1	31,0	48,0	9,1	28,0		
EC	µS/cm	505	233	206	478	184	178	90-perc,	<750
Fe	mg/l	5,7	20,0	22,0	2,4	12,0	11,3		
HCO ₃	mg/l	138,0	95,0	68,3	178,0	54,9	37,2		
K	mg/l	7,6	3,9	4,7	10,9	1,5	10,0		
Mg	mg/l	7,1	4,4	3,7	6,9	3,8	3,5		
Na	mg/l	35,0	16,1	14,5	30,0	6,5	13,3		
NH ₄	mg N/l	1,40	0,46	0,82	1,05	0,19	0,40		
NO ₃	mg N/l	0,65	0,10	0,10	1,31	0,10	0,10		
pH		7,03	6,58	6,13	7,21	6,47	6,45	min-max	6,5-8,5
PO ₄	mg P/l	0,03	0,30	0,85	0,04	0,19	0,03	(totaal P)	<<0,07
SO ₄	mg/l	41,0	7,7	3,3	49,0	21,0	13,2	gemiddelde	<15(80)

2.6 Grondwaterkwaliteit

In de WATINA databank is er voor het studiegebied data van de kwaliteit van het grondwater beschikbaar. We beschouwen de beschikbare data van de laatste 10 jaar. Het overzicht van de data is als volgt:

- De Zegge: één enkele meting op 24 locaties (peilbuizen) in april 2014 (bron: WATINA);
- Mosselgoren: één enkele meting op 5 locaties (peilbuizen) in december 2019 (bron: WATINA);
- Olens Broek: één enkele meting op 21 locaties (peilbuizen) in april 2022 (bron: WATINA).

Afbeelding 2.32 en Afbeelding 2.33 tonen de locaties van de bemonsterde grondwaterpeilbuizen voor respectievelijk De Zegge-Mosselgoren en Olens Broek.

Alle piëzometers in WATINA hebben een relatief ondiepe filter (circa 1-5m-mv) en bemeten dus het ondiepe/freatische grondwater. In DOV zijn er echter ook data beschikbaar van een peilbuis gelegen in de landbouwpolder met een diep filter op -37.66m TAW (DOV_1-0414; filter 2). Die filter is gelegen in het grondwatervoerende Diestiaan zand (zie rapportage grondwatermodellering voor meer context [1]). Waar relevant wordt de kwaliteit van het diepe grondwater mee besproken.

Afbeelding 2.32 Overzicht van de bemonsterde piëzometers in De Zegge en Mosselgoren

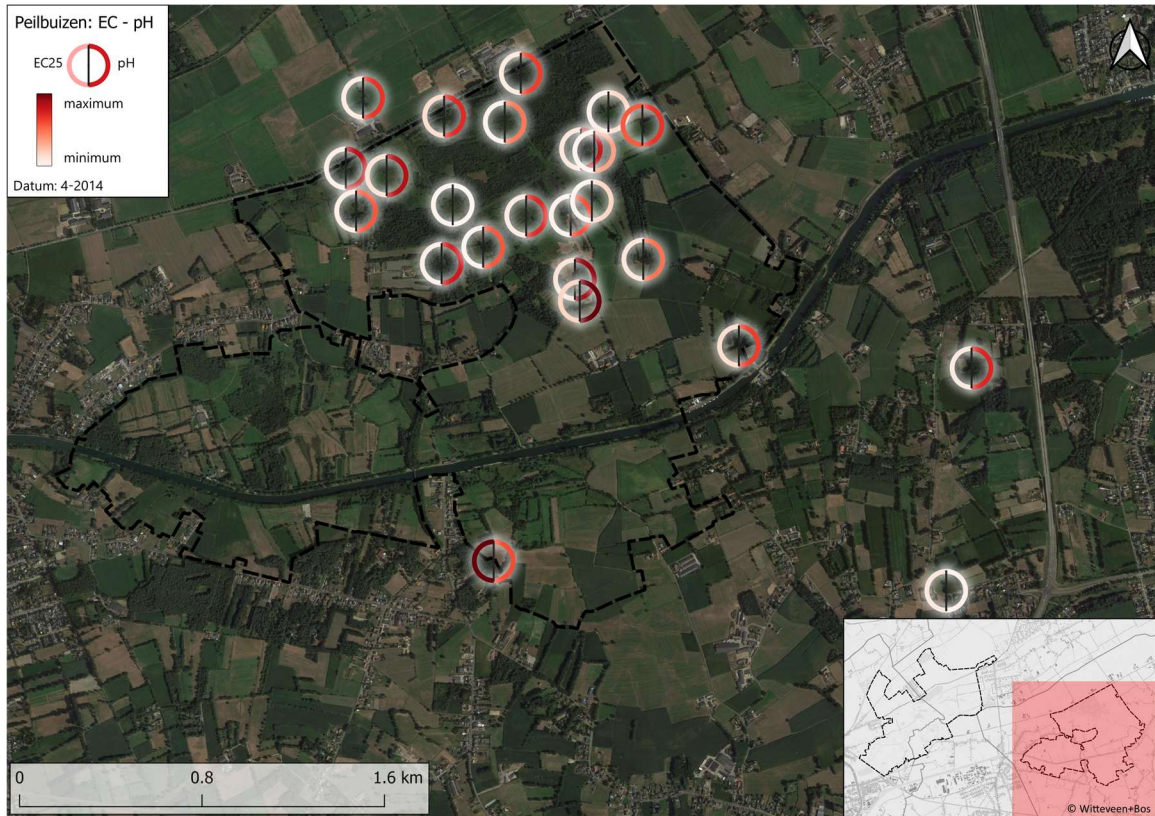


De gemiddelde concentratie aan totaal ijzer (Fe-tot) bedraagt circa 30 mg/l, ruim boven de MKN norm. Dit loopt lokaal zelfs op tot 170 mg/l. Mogelijk staan een aantal van deze filters in contact met veen waarin ijzer accumuleert onder invloed van de constante aanvoer van ijzerhoudend grondwater. In ijzerrijke veensystemen als deze ligt de afbraaksnelheid algemeen hoger, Fe kan namelijk alternerend oxideren en reduceren, waarbij er ook anaerobe afbraak van het veen optreedt [6].

Tabel 2.10 Overzicht van de grondwaterkwaliteit van De Zegge (april 2014; n=24) met gemiddelde (mean), standaardafwijking (SD), minimum-maximum en 90- en 10de percentielen voor alle metingen. Toetsing aan milieukwaliteitsnorm (MKN): waarden die voldoen aan de norm zijn aangeduid in het groen, waarden in het rood voldoen niet aan de norm.

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	SD	MKN
Ca	mg/l	5,53	7,61	35,95	74,12	178,55	39,56	270
Cl	mg/l	4,06	6,56	74,04	84,28	794,77	171,12	250
EC	µS/cm	70,70	94,39	454,23	563,25	3292,70	703,07	1600
Fe-tot	mg/l	0,13	0,81	28,03	64,91	147,18	35,69	20
HCO ₃	mg/l	2,30	12,38	79,55	167,08	306,81	79,58	-
K	mg/l	0,05	0,15	14,54	11,87	256,35	51,66	12
Mg	mg/l	0,37	0,87	5,60	10,91	35,62	7,49	50
Na	mg/l	0,90	2,88	26,27	29,23	287,49	60,77	150
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	1,90	2,66	31,40	6,77	0,6
NO ₃	mg N/l	0,01	0,01	0,33	0,29	5,05	1,02	222
pH	-	5,01	5,32	6,13	6,64	6,93	0,52	5-8,5
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	0,15	0,48	1,36	0,31	4,11
SO ₄	mg/l	0,05	0,13	39,29	63,49	338,43	79,05	250

Afbeelding 2.34 Overzicht van de variatie in elektrische geleidbaarheid (EC) en pH van het grondwater in De Zegge

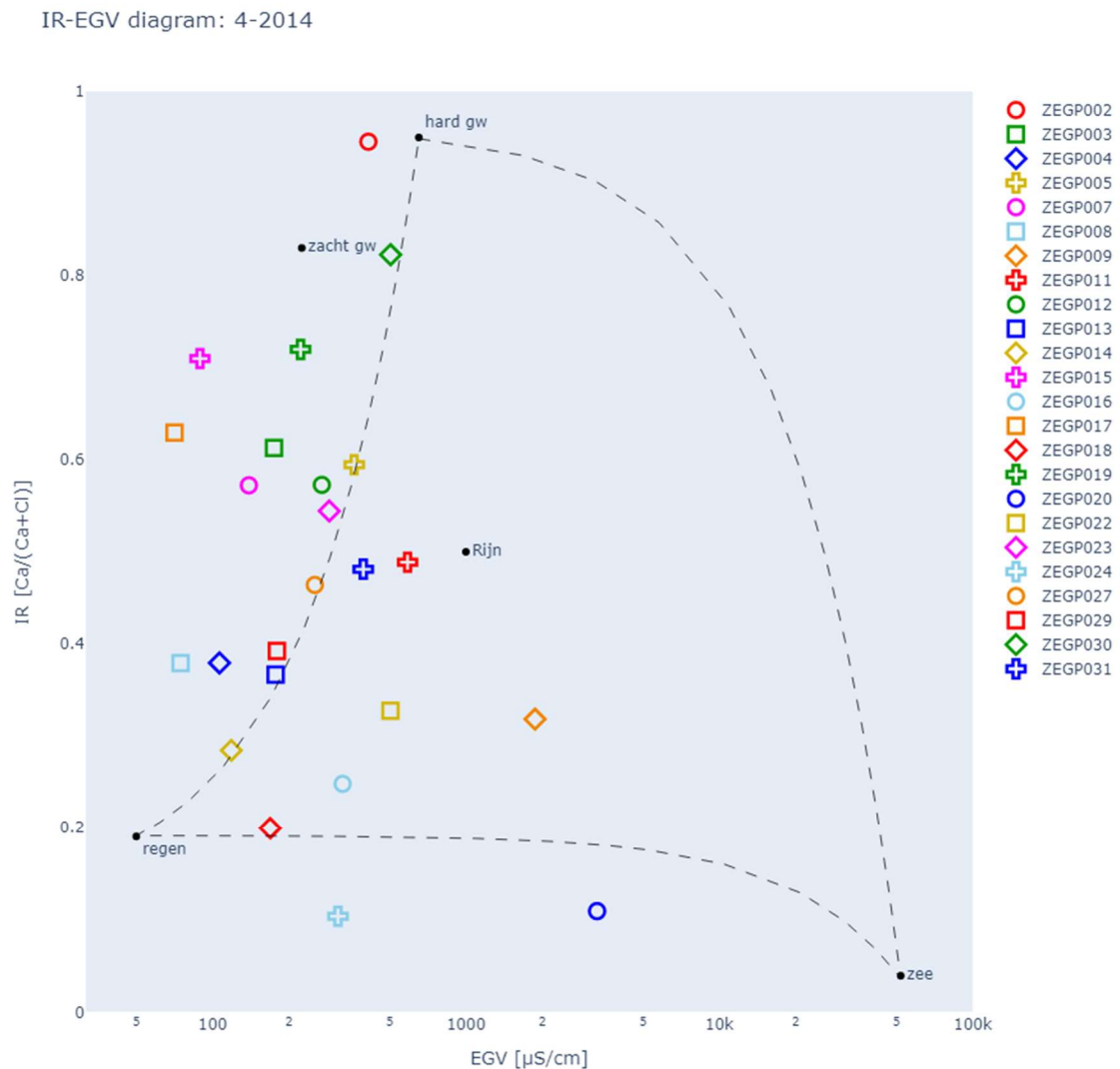


Afbeelding 2.35 Overzicht van de variatie in nutriënten in het grondwater in De Zegge. Bij peilbuizen met beduidend hogere concentraties dan andere peilbuizen voor één van de nutriënten zijn de waardes gevisualiseerd.



Het ionenratio-elektrische geleidbaarheidsdiagram (IR-EGV) toont de eerder besproken variatie in mineraalrijkdom van het grondwater op de x-as (Afbeelding 2.36) en de ionenratio (verhouding tussen de Ca- en Cl-ionen) op de y-as. Dit geeft per peilbuis een indicatie van de samenstelling en herkomst van het freatisch grondwater: lithoclien (hard grondwater), atmoclien (regenwater) of zeewater. Op uitzondering van enkele metingen zitten alle waarden tussen atmoclien (regenwater gevoed) en lithoclien (grondwater gevoed), met een relatief grote spreiding. In het reservaat is er dus veel variatie in de samenstelling (en herkomst) van het freatisch grondwater. Enkel peilbuis ZEGP020 leunt opvallend sterk richting zeewater met de zeer hoge conductiviteit door vervuiling aan allerlei ionen en nutriënten. De meest regenwater gevoede peilbuis is ZEGP018 in het noordoosten van het natuurreservaat (Afbeelding 2.32). Sterk grondwater gevoede peilbuizen zijn ZEGP002 en ZEGP030 in respectievelijk het noordwesten en uiterste noorden van het natuurreservaat (Afbeelding 2.32).

Afbeelding 2.36 IR-EGV diagram van het grondwater in De Zegge

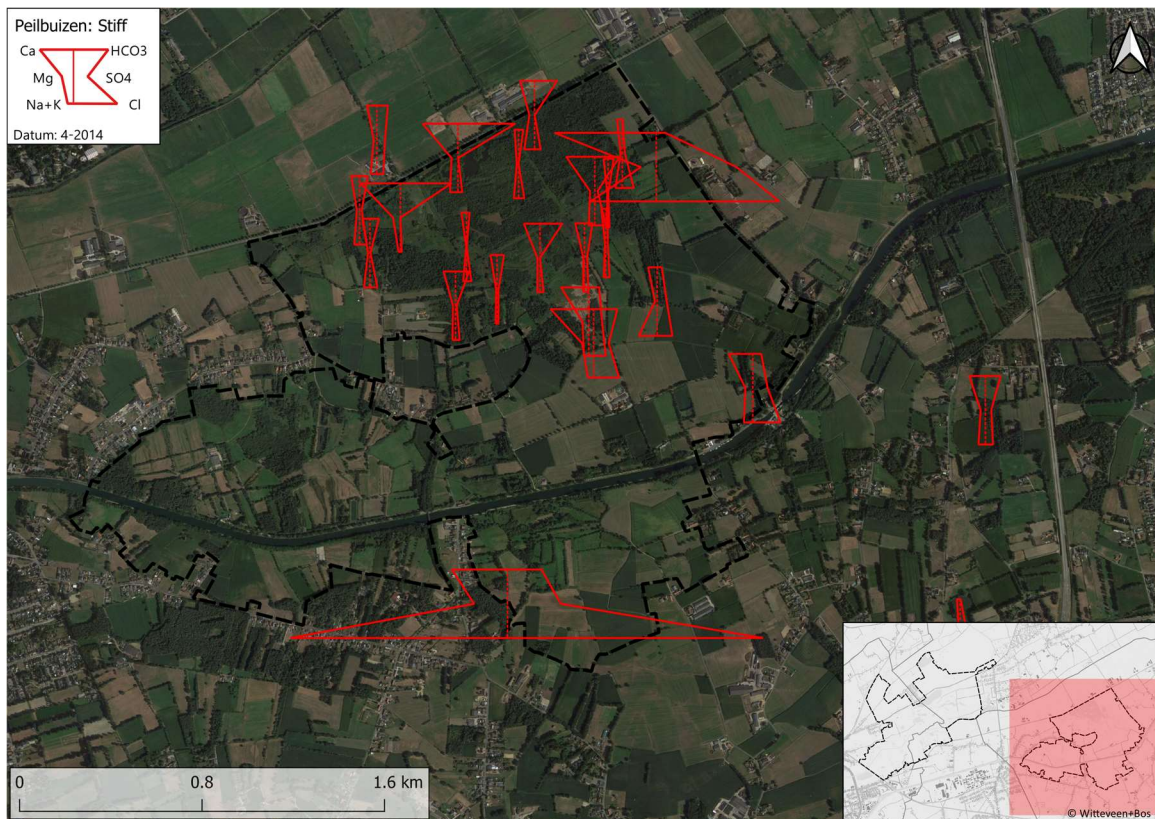


De Stiff diagrammen (Afbeelding 2.37) bevestigen het algemeen beeld van het mineraalarme freatisch grondwater in De Zegge (de diagrammen hebben een vorm van dunne balkjes), met name in het centrale gedeelte van het natuurreservaat. Daarnaast tonen de Stiff diagrammen een gelijkaardig beeld als het IR-EGV diagram wat betreft lithotroof kalkrijk en gebufferd water in voornamelijk ZEGP002 en ZEGP030 in het noorden van het reservaat. De diagrammen hebben daar namelijk een vorm van een paddenstoel, met

verhoogde Ca en HCO₃ gehalten. De Ca gehalten in het freatische grondwater variëren over het algemeen tussen 10 en 70 mg/l. In ZEGP002 en ZEGP030 loopt dit op tot 180 mg/l. In het diepe grondwater ligt de gemiddelde calciumconcentratie rond 15 mg/l. De HCO₃ gehalten in het freatische grondwater variëren over het algemeen sterk: tussen 10 en 100 mg/l. In ZEGP002 en ZEGP030 loopt dit op tot 300 mg/l. In het diepe grondwater ligt de gemiddelde bicarbonaatconcentratie rond 50 mg/l. Net als voor de hoge Ca concentraties kan dit verklaard worden door invloed van kanaalwater (mogelijks via overstromingen vanuit de landbouwpolder). De verhoogde HCO₃ concentraties (ten opzichte van de andere peilbuizen; inclusief de diepe) kan echter ook een gevolg zijn van anaerobe veenafbraak [7].

In ZEGP009 en ZEGP020 in respectievelijk het uiterste oosten en zuiden van het reservaat is de extreem hoge mineraalrijkdom duidelijk zichtbaar in de Stiff diagrammen. In het Cruysenbroek is tevens SO₄ vervuiling waar te nemen ('dikke buik' vorm). De SO₄ concentraties in het diepe grondwater liggen rond 20 mg/l. In het freatische grondwater worden concentraties van gemiddeld circa 40 mg/l aangetroffen. In het Cruysenbroek lopen deze op tot 65 mg/l. Mogelijk komen deze hogere SO₄ concentraties in het ondiepe grondwater in het Cruysenbroek terecht via korte en ondiepe kwelstromen vanuit de bemeste landbouwpercelen tussen het kanaal en het reservaat, waarbij SO₄ geproduceerd wordt door nitraatreductie met pyrietoxidatie in de ondergrond [8].

Afbeelding 2.37 Stiff diagrammen van het grondwater per peilbuislocatie in De Zegge



Toetsing aan ecologische normen

Indien het grondwater voldoet aan de MKN betekent dit niet dat het ook van voldoende kwaliteit is voor duurzame instandhouding en ontwikkeling van Europese Natura-2000 habitats. Daarom wordt er tevens getoetst aan beschikbare strengere ecologische normen. In hoofdstuk 3.2 wordt een overzicht gegeven van de beschikbare standplaatsvereisten van de relevante habitats voor het studiegebied. Betreffende de kwaliteit van het (ondiep) grondwater van de relevante grondwaterafhankelijke vegetatietypes zijn Vlaamse habitat-specifieke streef-/grenswaardes echter beperkt. Concreet zijn voor de relevante habitats volgende parameters streefwaardes voorhanden:

- 4010: EC, pH en een aantal ionen en nutriënten;

- 7140_meso: pH;
- 7140_oli: EC, pH en een aantal ionen en nutriënten;
- 91E0_vm: EC en pH.

Het eerste habitatype (4010) is echter minder relevant aangezien het gros van de peilbuizen in het natste gedeelte van het reservaat voorkomt, waar 7140_meso of 91E0_vm aanwezig is en/of beoogd wordt, niet in de van nature iets hoger gelegen natte heiden (zie hoofdstuk 3.1).

Tabel 2.11 tot en met Tabel 2.14 toetsen de heersende grondwaterkwaliteit af aan de gunstige bereiken voor respectievelijk 4010, 7140_meso, 7140_oli en 91E0_vm. De grondwaterkwaliteit is over het algemeen onvoldoende voor de gunstige instandhouding van deze grondwaterafhankelijke vegetaties, aangezien voor alle habitats de gemiddelde waardes van de meeste parameters ontoereikend zijn (veel meer dan voor de minder strenge MKN).

Voor zowel 4010 als 7140_oli, de habitatypes waar de meeste streefwaardes voor beschikbaar zijn, is het grondwater over het algemeen/in de meeste peilbuizen te mineraalrijk (te hoge EC en K), te veel gebufferd (te hoge Ca en HCO₃), te nutriëntenrijk (te hoge NH₄, NH₃, PO₄) en bevat het te veel SO₄. De meer abundant voorkomende 7140_meso en 91E0_vm kennen voor te weinig parameters concrete referentiewaarden voor een goede aftoetsing. Maar deze habitats zijn per definitie mineraalrijker en licht voedselrijker dan 4010 en 7140_oli. Allicht is de heersende mineraalrijkdom beter geschikt voor 7140_meso en 91E0_vm. Maar de gehalten aan nutriënten en SO₄ in het grondwater zijn zeer waarschijnlijk ook voor deze habitatypes te hoog. Op vlak van nutriëntensamenstelling van het grondwater wordt voor Vlaamse grondwaterafhankelijke natuur (niet habitat specifiek) namelijk onderstaande grenswaardes aangenomen (communicatie INBO; gebaseerd op internationaal literatuuronderzoek en standplaatsonderzoek in Vlaanderen [9; 10; 11]). Deze worden overschreden in volgende peilbuizen:

- NH₄: 0,5 mg N/l: ZEGP009, ZEGP020, ZEGP027 en ZEGP030;
- NO₃: 0,3 mg N/l: ZEGP014, ZEGP020;
- PO₄: 0,015 mg P/l: ZEGP004, ZEGP008, ZEGP012, ZEGP014, ZEGP017, ZEGP020, ZEGP029 en ZEGP033.

Deze streefwaardes worden dus op veel plaatsen in het freatisch grondwater in De Zegge overschreden, met name voor PO₄. Ook het diepe grondwatervoerende pakket is erg P rijk, met concentraties van 0,8 tot 1,1 mg P/l, dus ruim boven deze norm. Indien de concentratie van één van deze nutriënten in het grondwater hoger is dan deze grenswaarde, is er een actieve vervuilingbron in de buurt aanwezig (bemesting, huishoudelijk afvalwater, etc.). Deze vervuiling kan ook via overstromingen en/of bevoeiingen via het oppervlaktewater in het freatische grondwater terecht komen. Indien één van beide nutriënten limiterend is hoeft de hoge concentratie van het andere nutriënt niet meteen een probleem te vormen, maar indien zowel N als P voorkomen is er een sterke toename in productiviteit. Ongeacht de bron van de aanrijking van deze nutriënten zorgt dergelijke situatie voor een te nutriëntenrijk systeem voor realisatie en instandhouding van de beoogde oligotrofe en mesotrofe habitats. Dat is onder meer het geval ter hoogte van peilbuis ZEGP014 in het centrale gedeelte van het reservaat.

Net als 7140_oli vereist ook 7140_meso sulfaatarm grondwater [12]. Voor de parameter SO₄ wordt in grondwater van grondwaterafhankelijke habitats in Vlaanderen algemeen aangenomen dat concentraties hoger dan 80 mg/l problematisch zijn (communicatie INBO). Mogelijk ligt de drempelwaarde lager, zoals het geval is voor bepaalde habitat specifieke referentiegegevens, zoals opgenomen in Tabel 2.11 en Tabel 2.12. Net als Fe kan ook SO₄ fungeren als alternatieve oxidator bij anaerobe veenafbraak, waarbij sulfiden gevormd worden [7]. Bij degelijk hogere concentraties kan er sprake kan zijn van problemen met interne P-mobilisatie en/of sulfidotoxiciteit [13; 14]. Door de hoge concentraties aan Fe en SO₄ kan het veen dus zeer snel mineraliseren, waarbij sterke verzuring kan optreden. Dit speelt allicht in het Cruysenbroek, waar de hoogste SO₄ concentraties (tot 65 mg/l; dus op de rand en mogelijk over het gunstige bereik) en de laagste pH waardes (5.5) werden gemeten. Tijdens de zomer is de verzuring vermoedelijk nog veel sterker. Dit proces uitte zich in 2018 allicht door het plots optreden van 'zinkgaten' waar men door het gemineraliseerde veen wegzakte tot op de zandbodem (afbeelding 2.38).

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.5 is de kwaliteit van het oppervlaktewater ontoereikend voor de natuurdoelen. We kunnen concluderen dat dit ook geldt voor de kwaliteit van het grondwater in de Zegge en het Olens Broek. In Mosselgoren is er geen aanrijking van nutriënten in het grondwater waar te nemen.

Tabel 2.11 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in De Zegge (april 2014; n=24) aan de normen voor habitatype 4010

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	4010
Ca	mg/l	5,53	7,61	35,95	74,12	178,55	0,7-16
EC	µS/cm	70,70	94,39	454,23	563,25	3292,70	44-280
HCO ₃	mg/l	2,30	12,38	79,55	167,08	306,81	0,3-28
K	mg/l	0,05	0,15	14,54	11,87	256,35	0,5-6,6
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	1,90	2,66	33,10	<0,31
NO ₃	mg N/l	0,01	0,01	0,33	0,29	5,05	<1,05
pH	-	5,01	5,32	6,13	6,64	6,93	4,2-5,8
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	0,15	0,48	1,36	<0,04
SO ₄	mg/l	0,05	0,13	39,29	63,49	338,43	<43

Tabel 2.12 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in De Zegge (april 2014; n=24) aan normen voor habitatype 7140_meso

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	7140_meso
pH	-	5,01	5,32	6,13	6,64	6,93	4,5-7

Tabel 2.13 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in De Zegge (april 2014; n=24) aan de normen voor habitatype 7140_oli

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	7140_oli
Ca	mg/l	5,53	7,61	35,95	74,12	178,55	4,1-18
EC	µS/cm	70,70	94,39	454,23	563,25	3292,70	66-290
HCO ₃	mg/l	2,30	12,38	79,55	167,08	306,81	3,2-40
K	mg/l	0,05	0,15	14,54	11,87	256,35	1,7-6,6
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	1,90	2,66	33,10	<0,32
NO ₃	mg N/l	0,01	0,01	0,33	0,29	5,05	<0,57
pH	-	5,01	5,32	6,13	6,64	6,93	5-6
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	0,15	0,48	1,36	<0,02
SO ₄	mg/l	0,05	0,13	39,29	63,49	338,43	<62

Tabel 2.14 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in De Zegge (april 2014; n=24) aan de normen voor habitatype 91E0_vm

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	91E0_vm
EC	µS/cm	70,70	94,39	454,23	563,25	3292,70	510-740
pH	-	5,01	5,32	6,13	6,64	6,93	6,4-7,1

Afbeelding 2.38 Locatie in het Cruysenbroek waar in 2018 plotse 'zinkgaten' ontstonden door mineralisatie van het veen. Zeer waarschijnlijk speelt anaerobe afbraak via Fe en SO₄ daarbij een belangrijke rol.



Mosselgoren

Overzicht grondwaterkwaliteit en toetsing aan milieukwaliteitsnormen

Tabel 2.15 geeft een samenvattend overzicht van de kwaliteit van het freatische grondwater in Mosselgoren; met toetsing aan de milieukwaliteitsnorm (MKN). Wat meteen opvalt is dat alle data voldoen aan de MKN. Ten opzichte van De Zegge is het grondwater over het algemeen beduidend beter gebufferd (hoger Ca en HCO₃ concentraties) en nutriëntenarmer (lager NH₄, NO₃, PO₄). Op vlak van zuurtegraad (pH) en mineralenrijkdom (elektrische conductiviteit; EC) varieert de het grondwater in Mosselgoren tussen respectievelijk circa 6 tot 6,6 en 220 tot 470 µS/cm. Er is dus ook minder variatie dan in De Zegge (Afbeelding 2.39). Het freatische grondwater is in Mosselgoren over het algemeen iets mineraalrijker, we kunnen over het algemeen spreken over intermediair grondwater (250-600 µS/cm). Wat nutriënten betreft wordt in het freatische grondwater in Mosselgoren slechts op twee plekken noemenswaardige concentraties aangetroffen (Afbeelding 2.40). In peilbuis MOGP002 bedraagt het NH₄ gehalte 0,13 mg N/l en in MOGP003 bedraagt het NO₃ gehalte 0,26 mg N/l.

Tabel 2.15 Overzicht van de grondwaterkwaliteit in Mosselgoren (december 2019; n=5) met gemiddelde (mean), standaardafwijking (SD), minimum-maximum en 90- en 10de percentielen voor alle metingen. Toetsing aan milieukwaliteitsnorm (MKN): waarden die voldoen aan de norm zijn aangeduid in het groen, waarden in het rood voldoen niet aan de norm.

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	SD	MKN
Ca	mg/l	31,55	32,80	44,62	64,25	80,29	20,18	270
Cl	mg/l	18,95	24,50	40,74	55,80	58,44	15,61	250
EC	µS/cm	222,10	242,94	310,70	401,84	471,20	94,36	1600
Fe-tot	mg/l	0,23	0,24	5,80	13,74	17,26	7,23	20
HCO ₃	mg/l	24,62	31,29	82,68	172,89	257,40	98,04	-

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	SD	MKN
K	mg/l	0,85	0,87	1,32	1,90	1,97	0,53	12
Mg	mg/l	1,88	2,42	4,02	6,18	7,78	2,22	50
Na	mg/l	5,21	5,50	8,30	12,80	16,34	4,57	150
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	0,04	0,09	0,14	0,05	0,6
NO ₃	mg N/l	0,01	0,01	0,07	0,18	0,26	0,11	222
pH	-	6,08	6,20	6,41	6,59	6,65	0,21	5-8,5
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	4,11
SO ₄	mg/l	6,85	9,05	24,05	41,01	43,48	15,81	250

Afbeelding 2.39 Overzicht van de variatie in elektrische geleidbaarheid (EC) en pH van het grondwater in Mosselgoren



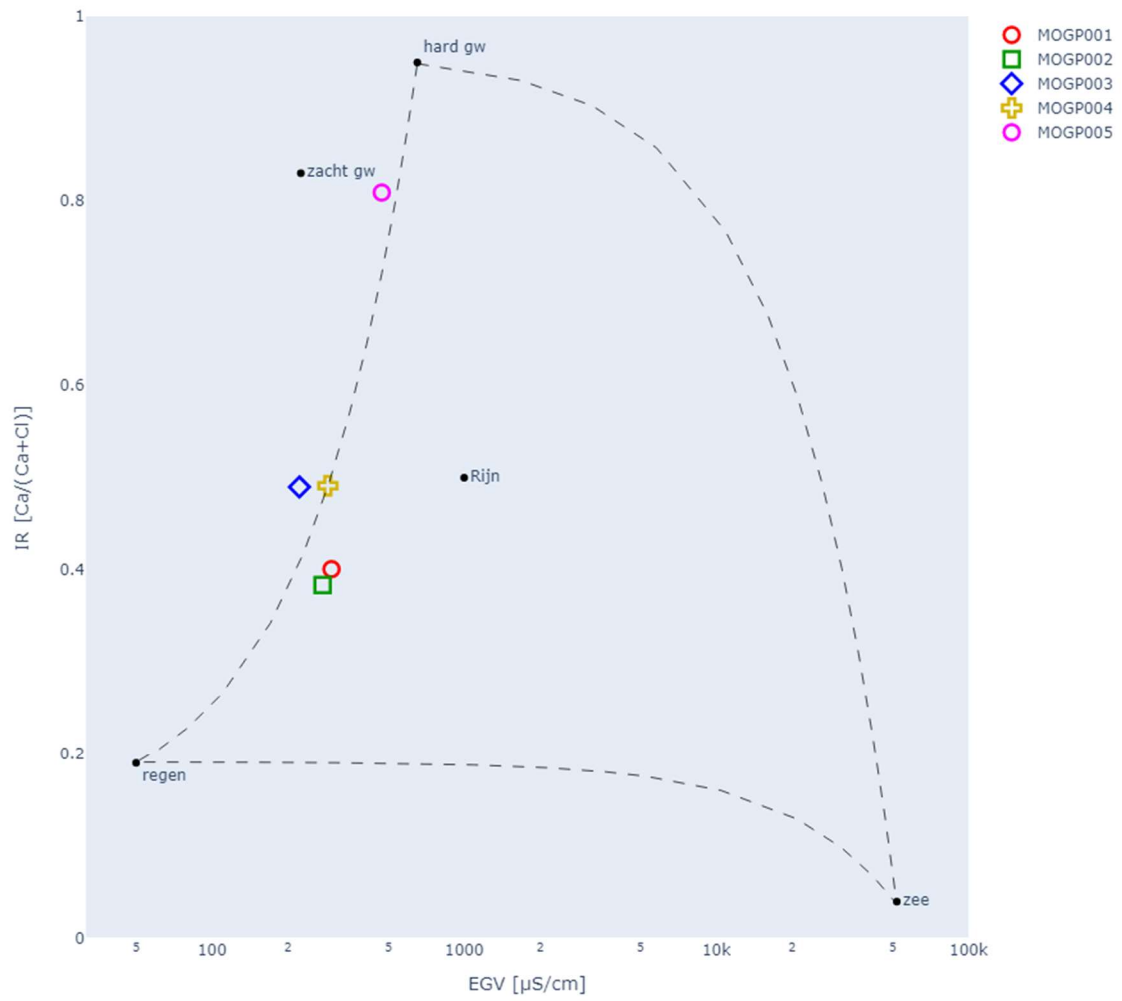
Afbeelding 2.40 Overzicht variatie in nutriënten in het grondwater in Mosselgoren



Het IR-EGV diagram (Afbeelding 2.41) toont dat MOGP005 sterk aanleunt bij hard grondwater qua samenstelling. De overige vier locaties tonen intermediair water (tussen lithoclien en atmoclien), maar de resultaten neigen nogal sterk naar regenwater. Ook de Stiff diagrammen (Afbeelding 2.42) illustreren het meer kalkrijk en gebufferd water (paddenstoel vorm; verhoogde Ca en HCO₃) in MOGP005 in het oosten van het reservaat. Dit is allicht te wijten aan lokale toestroom van kanaalwater. Het water in de overige vier peilbuizen is relatief mineraalarm, maar iets rijker dan in De Zegge (de diagrammen zijn qua vorm iets dikkere balkjes). Er is geen noemenswaardige sulfaatanrijking vastgesteld.

Afbeelding 2.41 IR-EGV diagram van het grondwater in Mosselgoren

IR-EGV diagram: 12-2019



Afbeelding 2.42 Stiff diagrammen per peilbuislocatie in Mosselgoren



Toetsing aan ecologische normstelling

Tabel 2.16 tot en met Tabel 2.19 toetsen de heersende grondwaterkwaliteit af aan de gunstige bereiken voor respectievelijk 4010, 7140_meso, 7140_oli en 91E0_vm. De kwaliteit van het freatische grondwater in Mosselgoren voldoet beter aan de ecologische normen dan in De Zegge. Het grondwater is echter wel te sterk gebufferd (te hoge HCO₃ en Ca concentraties) en te basisch (te hoge pH) voor 4010 en 7140_oli. Qua zuurgraad (pH) is het wel geschikt voor 7140_meso en 91E0_vm, maar voor het laatste habitat is het niet mineraalrijk genoeg. Op vlak van nutriënten worden de eerder genoemde (niet habitat specifieke) grenswaardes nergens overschreden. Het freatische grondwater lijkt in Mosselgoren qua trofiegraad, in tegenstelling tot op vele plaatsen in De Zegge, dus wel geschikt voor habitatwaardige natuur. Om wille van de enerzijds relatief mineraalarme condities en anderzijds de lagere nutriëntenconcentraties, lijkt op basis van deze (beperkte data), het freatische grondwater beter geschikt voor 91E0_vo dan voor 91E0_vm.

Tabel 2.16 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Mosselgoren (december 2019; n=5) aan de normen voor habitattypen 4010

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	4010
Ca	mg/l	31,55	32,80	44,62	64,25	80,29	0,7-16
EC	µS/cm	222,10	242,94	310,70	401,84	471,20	44-280
HCO ₃	mg/l	24,62	31,29	82,68	172,89	257,40	0,3-28
K	mg/l	0,85	0,87	1,32	1,90	1,97	0,5-6,6
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	0,04	0,09	0,14	<0,31
NO ₃	mg N/l	0,01	0,01	0,07	0,18	0,26	<1,05
pH	-	6,08	6,20	6,41	6,59	6,65	4,2-5,8
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,04

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	4010
SO ₄	mg/l	6,85	9,05	24,05	41,01	43,48	<43

Tabel 2.17 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Mosselgoren (december 2019; n=5) aan de normen voor habitatype 7140_meso

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	7140_meso
pH	-	6,08	6,20	6,41	6,59	6,65	4,5-7

Tabel 2.18 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Mosselgoren (december 2019; n=5) aan de normen voor habitatype 7140_oli

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	7140_oli
Ca	mg/l	31,55	32,80	44,62	64,25	80,29	4,1-18
EC	µS/cm	222,10	242,94	310,70	401,84	471,20	66-290
HCO ₃	mg/l	24,62	31,29	82,68	172,89	257,40	3,2-40
K	mg/l	0,85	0,87	1,32	1,90	1,97	1,7-6,6
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	0,04	0,09	0,14	<0,32
NO ₃	mg N/l	0,01	0,01	0,07	0,18	0,26	<0,57
pH	-	6,08	6,20	6,41	6,59	6,65	5-6
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,02
SO ₄	mg/l	6,85	9,05	24,05	41,01	43,48	<62

Tabel 2.19 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Mosselgoren (december 2019; n=5) aan de normen voor habitatype 91E0_vm

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	91E0_vm
EC	µS/cm	222,10	242,94	310,70	401,84	471,20	510-740
pH	-	6,08	6,20	6,41	6,59	6,65	6,4-7,1

Olens Broek

Overzicht grondwaterkwaliteit en toetsing aan milieukwaliteitsnormen

Tabel 2.20 geeft een samenvattend overzicht van de kwaliteit van het freatische grondwater in Olens Broek; met toetsing aan de milieukwaliteitsnorm (MKN). De gemiddelde NH₄ en Fe gehalten, alsook het 10 percentiel van de pH en de maximale PO₄ en SO₄ concentraties voldoen niet aan de MKN. Op vlak van zuurtegraad (pH) en mineralenrijkdom (EC) varieert het grondwater in Olens Broek zeer sterk: tussen respectievelijk circa 3,1 tot 7,1 en 50 tot 1250 µS/cm, met de laagste pH waarden en hoogste conductiviteit in OLEP031 (Afbeelding 2.32).

Er worden op verschillende locaties verhoogde nutriëntenconcentraties aangetroffen in het ondiepe grondwater in het Olens Broek (Afbeelding 2.44). Vooral de PO₄ gehalten van circa 10 en 13 mg P/l nabij de Kleine Nete in respectievelijk OLEP009 en OLEP049 zijn extreem hoog, en overschrijden zelfs de MKN. De gemiddelde concentratie aan totaal ijzer (Fe-tot) bedraagt circa 47,5 mg/l, ruim boven de MKN norm. Deze lopen lokaal zelfs op tot 175 mg/l.

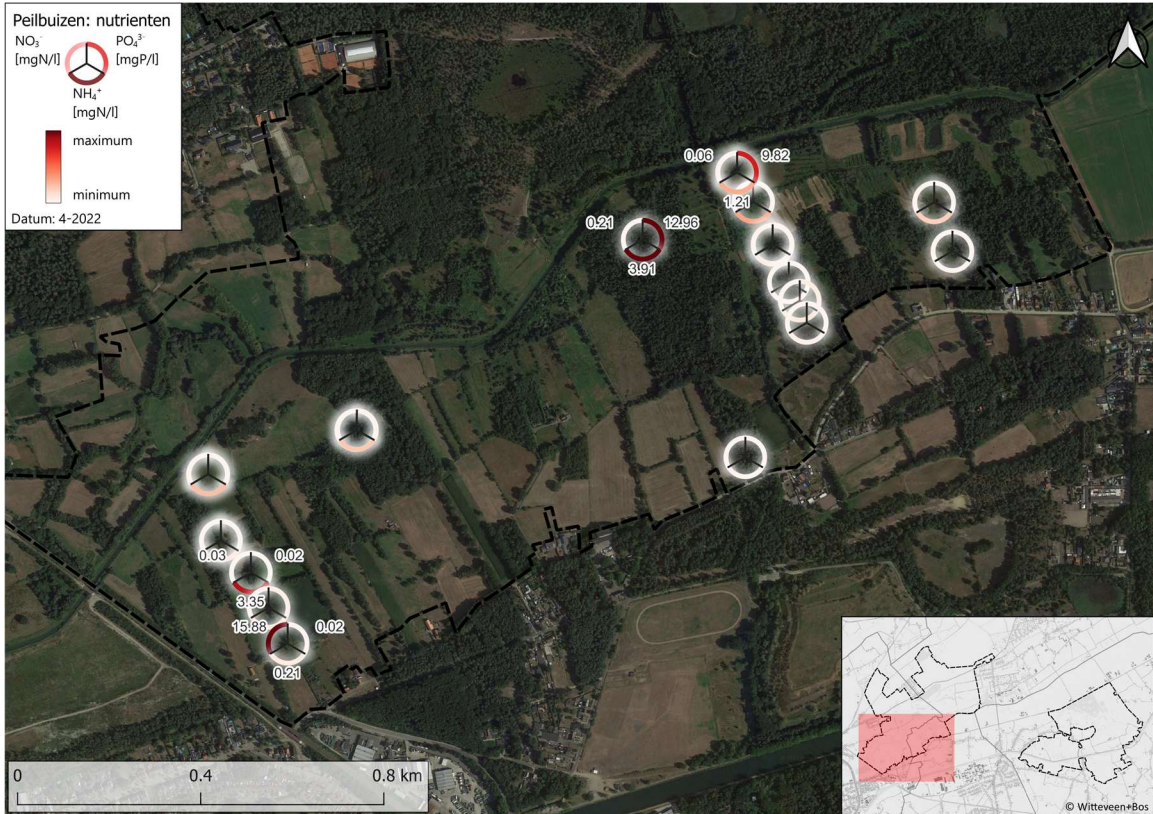
Tabel 2.20 Overzicht van de grondwaterkwaliteit in het Olens Broek (april 2022; n=21) met gemiddelde (mean), standaardafwijking (SD), minimum-maximum en 90- en 10de percentielen voor alle metingen. Toetsing aan milieukwaliteitsnorm (MKN): waardes die voldoen aan de norm zijn aangeduid in het groen, waardes in het rood voldoen niet aan de norm.

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	SD	MKN
Ca	mg/l	2,56	8,39	26,69	54,17	65,27	19,11	270
Cl	mg/l	1,74	5,82	31,03	74,14	99,60	26,86	250
EC	µS/cm	49,60	128,40	366,49	633,30	1248,40	282,96	1600
Fe-tot	mg/l	0,05	1,67	47,48	85,30	175,71	48,51	20
HCO ₃	mg/l	0,61	0,61	48,84	104,27	158,60	47,01	-
K	mg/l	0,58	0,99	2,91	5,18	10,70	2,38	12
Mg	mg/l	0,45	1,10	3,27	5,26	8,98	2,17	50
Na	mg/l	4,19	4,35	24,80	73,83	109,58	28,55	150
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	0,85	2,03	4,12	1,12	0,6
NO ₃	mg N/l	0,01	0,03	1,02	0,21	15,88	3,54	222
pH	-	3,12	3,56	5,46	6,54	7,11	1,18	5-8,5
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	1,21	1,06	12,96	3,43	4,11
SO ₄	mg/l	0,12	0,66	64,39	135,75	426,53	99,42	250

Afbeelding 2.43 Overzicht variatie in elektrische geleidbaarheid (EC) en pH van het grondwater in Olens Broek



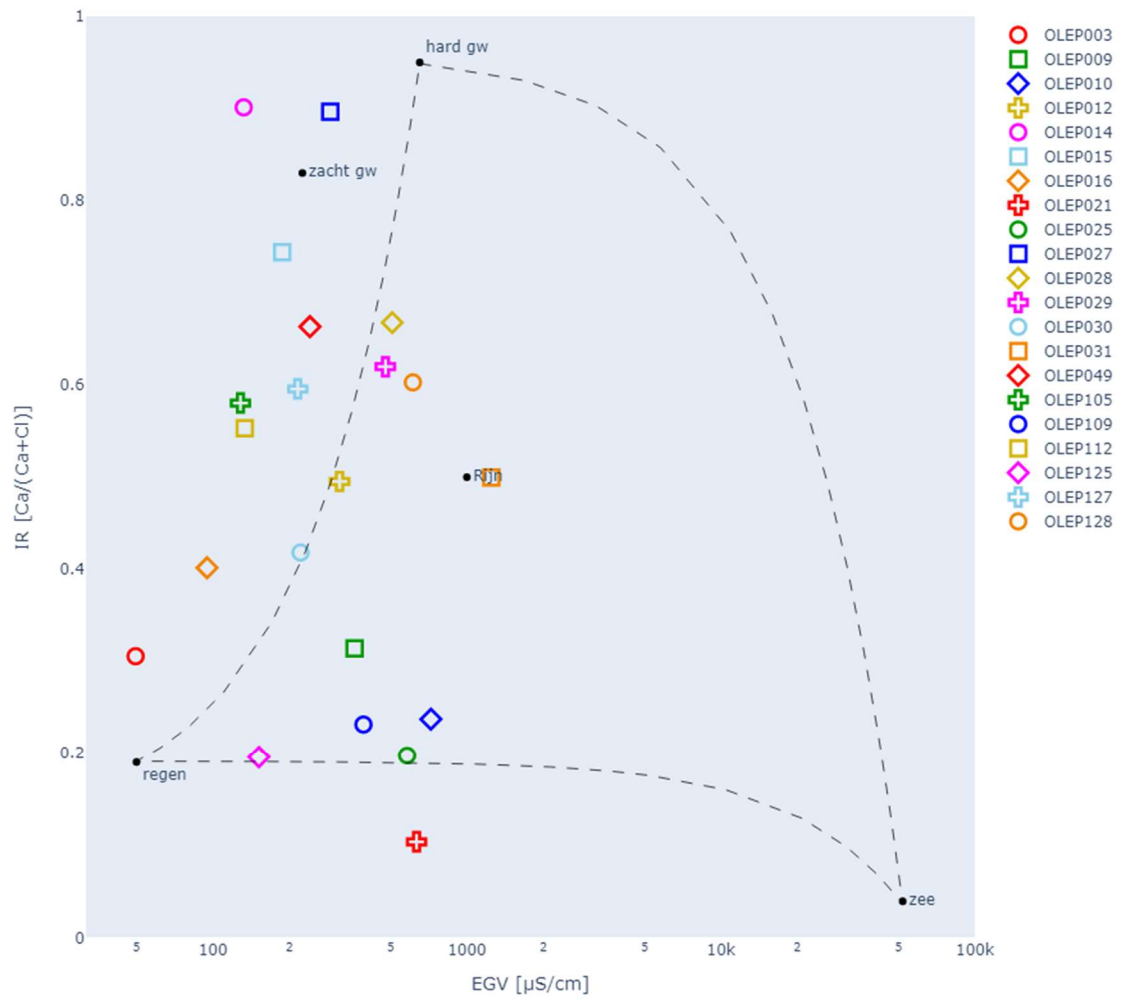
Afbeelding 2.44 Overzicht variatie in nutriënten in het grondwater in Olens Broek. Hoge concentraties zijn weergegeven.



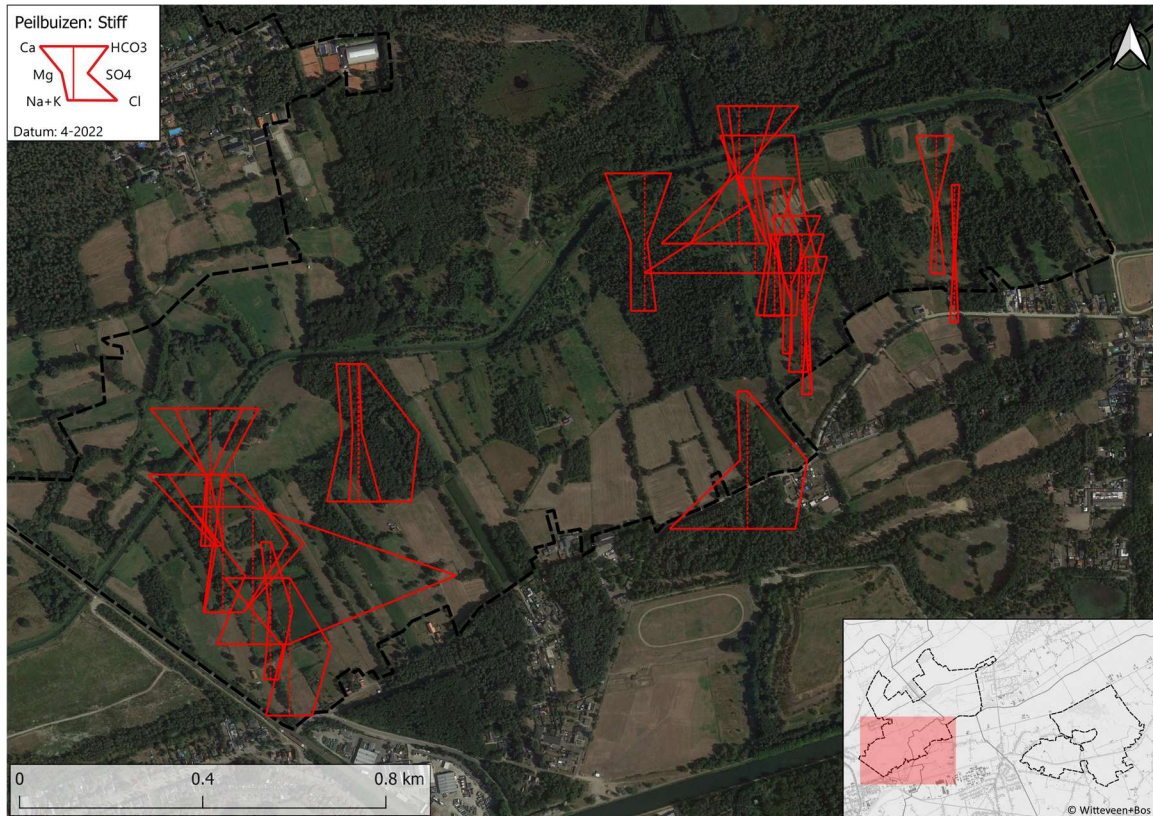
Het IR-EGV diagram (Afbeelding 2.45) toont een grote spreiding aan samenstelling van het grondwater, van sterk lithoclien (bijvoorbeeld OLEP027 in het noordwesten van het reservaat) tot sterk atmoclien (bijvoorbeeld OLEP125 iets ten oosten daarvan). Dit is tevens duidelijk zichtbaar in de Stiff diagrammen (Afbeelding 2.46): meer kalkrijk en gebufferd water (paddenstoel vorm, verhoogde Ca en HCO_3) in OLEP027 in het noordwesten van het reservaat. Op vele plaatsen verspreid over het reservaat is er duidelijk sulfaatanrijking vastgesteld (lokaal tot meer dan 400 mg/l). Dit zijn dezelfde locaties die zeer lage pH waarden kennen (een pH van 3-3.5; onder andere OLEP021 en OLEP031).

Afbeelding 2.45 IR-EGV diagram van het grondwater in het Olens Broek

IR-EGV diagram: 4-2022



Afbeelding 2.46 Stiff diagrammen per peilbuislocatie in het Olens Broek



Toetsing aan ecologische normen

Tabel 2.21 tot en met Tabel 2.24 toetsen de heersende grondwaterkwaliteit in het Olens Broek af aan de gunstige bereiken voor respectievelijk 4010, 7140_meso, 7140_oli en 91E0_vm. De kwaliteit van het freatische grondwater in Olens Broek voldoet niet aan de ecologische normen. Het grondwater is te sterk gebufferd, te mineraalrijk en bevat vooral te veel nutriënten en SO_4 in relatie tot de normen voor 4010 en 7140_oli. Voor 7140_meso en 91E0_vm is het freatische grondwater over het algemeen ook niet geschikt qua zuurtegraad. Op vlak van nutriënten worden de habitatspecifieke en de eerder genoemde algemene ecologische grenswaarden op vele plaatsen in het Olens Broek ruim overschreden, met name voor PO_4 en SO_4 .

Zoals eerder aangehaald bij de grondwaterkwaliteitsanalyse voor De Zegge zijn dergelijk hoge concentraties aan SO_4 zeer nefast. Net als Fe kan ook SO_4 fungeren als alternatieve oxidator bij anaerobe veenafbraak, waarbij sulfiden gevormd worden en die pH op diezelfde locaties sterk daalt. Dit is zichtbaar op verschillende plaatsen overheen het Olens Broek (met name OLEP021 en OLEP031). Nog veel meer dan voor het Cruysenbroek in De Zegge zorgen in Olens Broek de hoge concentraties aan ijzer en sulfaat in een nutriëntenrijk en (relatief) slecht gebufferd systeem allicht voor sterke anaerobe afbraak van het veen.

De kwaliteit van het ondiepe grondwater in het Olens Broek is dus op verschillende plaatsen zéér ongunstig voor realisatie en instandhouding van de beoogde oligotrofe en mesotrofe habitats.

Tabel 2.21 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Olens Broek (april 2022; n=21) aan de normen voor habitattype 4010

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	4010
Ca	mg/l	2,56	8,39	26,69	54,17	65,27	0,7-16
EC	$\mu S/cm$	49,60	128,40	366,49	633,30	1248,40	44-280
HCO_3	mg/l	0,61	0,61	48,84	104,27	158,60	0,3-28

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	4010
K	mg/l	0,58	0,99	2,91	5,18	10,70	0,5-6,6
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	0,85	2,03	4,12	<0,31
NO ₃	mg N/l	0,01	0,03	1,02	0,21	15,88	<1,05
pH	-	3,12	3,56	5,46	6,54	7,11	4,2-5,8
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	1,21	1,06	12,96	<0,04
SO ₄	mg/l	0,12	0,66	64,39	135,75	426,53	<43

Tabel 2.22 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Olens Broek (april 2022; n=21) aan de normen voor habitatype 7140_meso

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	7140_meso
pH	-	3,12	3,56	5,46	6,54	7,11	4,5-7

Tabel 2.23 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Olens Broek (april 2022; n=21) aan de normen voor habitatype 7140_oli

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	7140_oli
Ca	mg/l	2,56	8,39	26,69	54,17	65,27	4,1-18
EC	µS/cm	49,60	128,40	366,49	633,30	1248,40	66-290
HCO ₃	mg/l	0,61	0,61	48,84	104,27	158,60	3,2-40
K	mg/l	0,58	0,99	2,91	5,18	10,70	1,7-6,6
NH ₄	mg N/l	0,02	0,02	0,85	2,03	4,12	<0,32
NO ₃	mg N/l	0,01	0,03	1,02	0,21	15,88	<0,57
pH	-	3,12	3,56	5,46	6,54	7,11	5-6
PO ₄	mg P/l	0,02	0,02	1,21	1,06	12,96	<0,02
SO ₄	mg/l	0,12	0,66	64,39	135,75	426,53	<62

Tabel 2.24 Toetsing van de grondwaterkwaliteit in Olens Broek (april 2022; n=21) aan de normen voor habitatype 91E0_vm

Parameter	Eenheid	min	10%	mean	90%	max	91E0_vm
EC	µS/cm	49,60	128,40	366,49	633,30	1248,40	510-740
pH	-	3,12	3,56	5,46	6,54	7,11	6,4-7,1

3

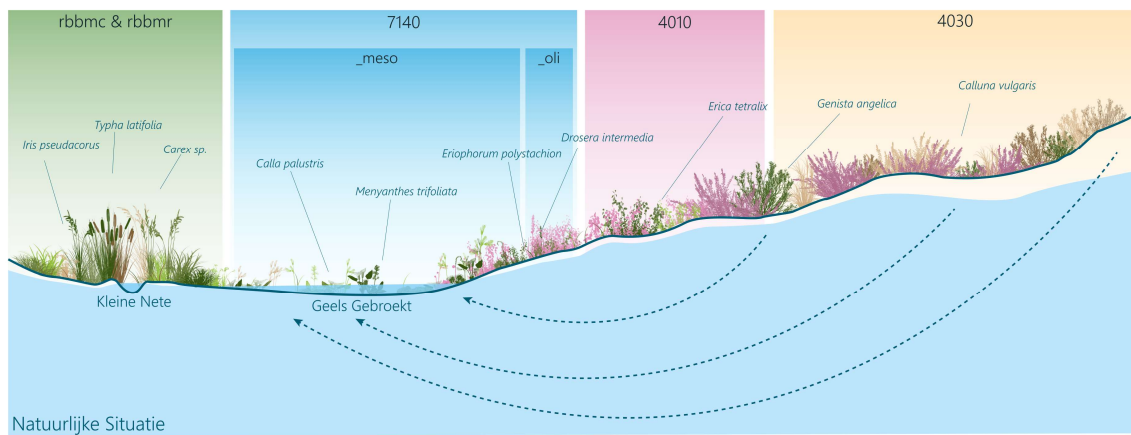
BIOTIEK

3.1 Voorkomende vegetaties

De Zegge

De Zegge is een restant van een uitgestrekt mesotroof laagveensysteem (Geels Gebroekt) dat hier tot halverwege vorige eeuw aanwezig was. Het systeem was als dat van een typisch Kempens beekdal (Afbeelding 3.1) [15] met, in de open sfeer, droge heide (4030) hoog in de vallei dat overgaat in natte heide (4010) en mineraalarm oligotroof overgangsvveen (7140_oli) lager in het dal. Het uitgestrekte Geels gebroekt bestond typisch grotendeels uit mineraalarm tot licht mineraalrijk mesotroof overgangsvveen (7140_meso) en mogelijk grote zeggevegetaties (rbbmc) en rietvegetaties (rbbmr) rond de Kleine Nete als gevolg van voedselrijkere overstromingen. In de bossfeer bestaat deze vegetatiezonering respectievelijk uit 9190/9120, 91E0_vo, 91E0_vm en 91E0_vn, met eenzelfde verloop in vochtgradiënt, mineraalrijkdom en trofiegraad. Dit is uiteraard een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid.

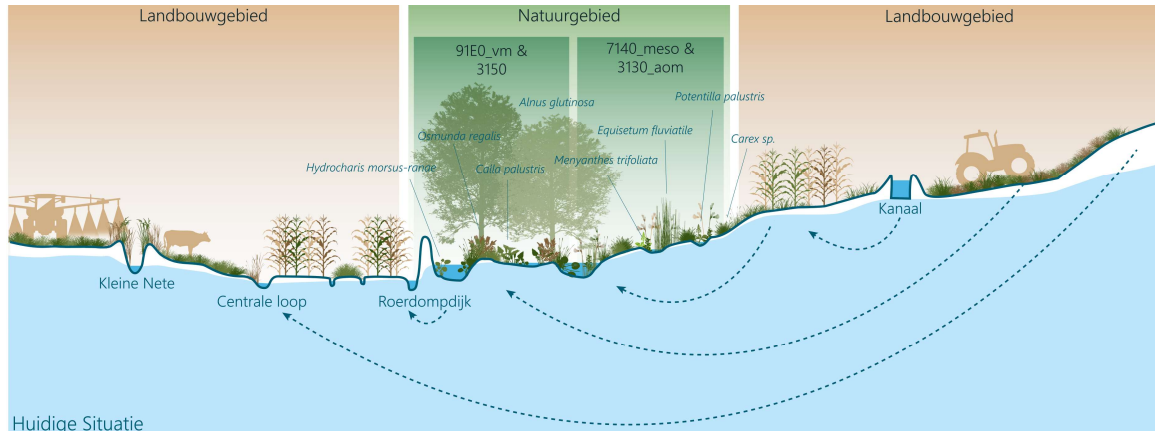
Afbeelding 3.1 Natuurlijke vegetatiezonering (open sfeer) in en rond het Geels Gebroekt



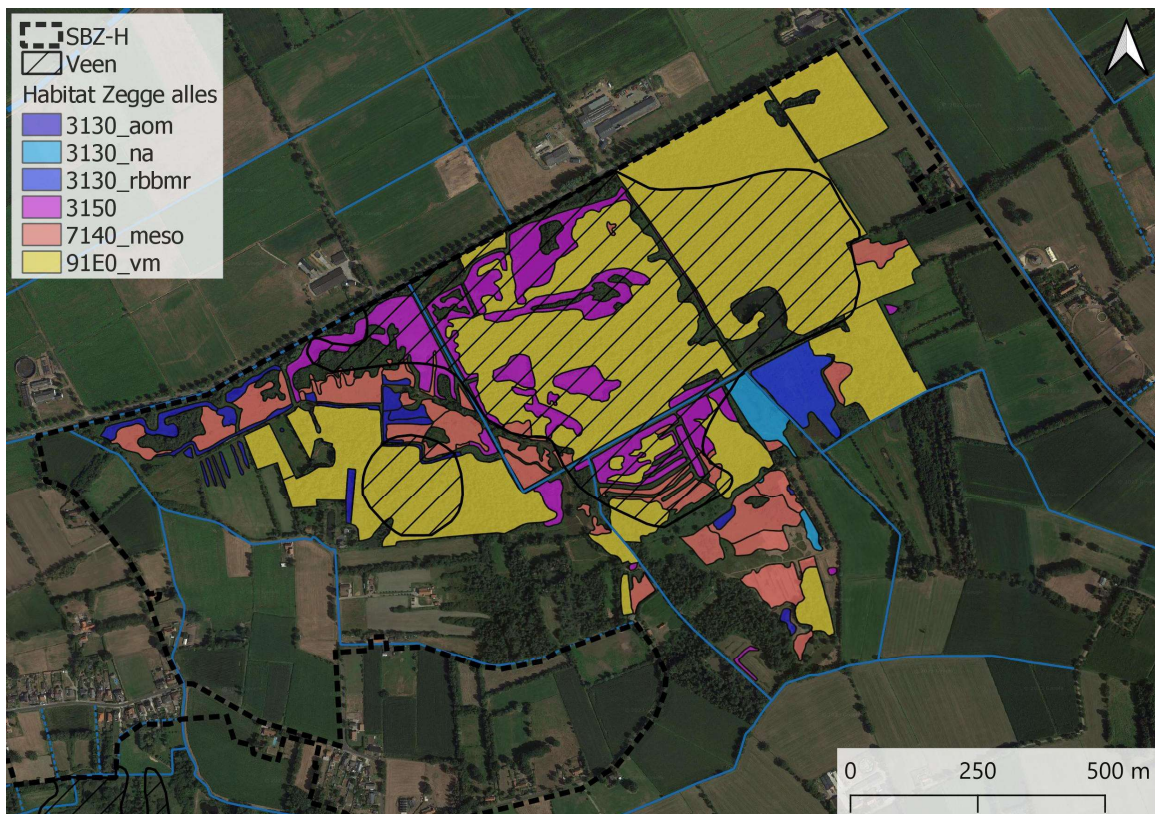
Ten gevolge van de verder toenemende antropogene drukken (verdroging, eutrofiëring, ruimtelijke beperking, ...) is het huidige 'De Zegge' dus een beperkt restant van het oorspronkelijke Geels Gebroekt (Afbeelding 3.2). In 2020 werd voor het natuurreservaat De Zegge een natuurbeheerplan opgesteld [16]. In functie daarvan werd een update gemaakt van de BWK-Habitat kartering. Het centrale gedeelte van De Zegge, waar de veenkern is gelegen, bestaat voornamelijk uit mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm) en eutrofe open wateren (3150) (Afbeelding 3.2; Afbeelding 3.3). Hoger in de vallei zijn voornamelijk mesotrofe open wateren (3130_aom) en mesotrofe overgangsvvenen (7140_meso) aanwezig. Door de overstromingen van en bevoeiing met aangereikt oppervlaktewater enerzijds en de toestroom van met fosfaten en sulfaten aangereikt grondwater anderzijds, ontwikkelen de waterpartijen zich dus grotendeels tot eutrofe (3150) in plaats van de verwachten mesotrofe (3130) systemen. Ook voor de huidig voorkomende vegetatie is dit een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid. In realiteit is de vegetatiezonering uitgebreider en veel complexer door lokale heterogeniteit in het landschap.

Hoewel er dus nog heel wat grondwaterafhankelijke habitattypes voorkomen bevinden de meeste zich in een ongunstige/gedegradeerde staat van instandhouding (Afbeelding 3.4). De habitatpercelen met een gunstige/goede toestand of die net de streefwaarde behalen zijn erg beperkt. Een gunstige lokale toestand wordt gedefinieerd als die toestand waarvan kan verwacht worden dat het habitat langdurig kan blijven bestaan zonder of met regulier (dus niet remediërend) beheer. De grens tussen een ongunstige en gunstige LSVI wordt de grenswaarde/streefwaarde genoemd (Afbeelding 3.5) [1717].

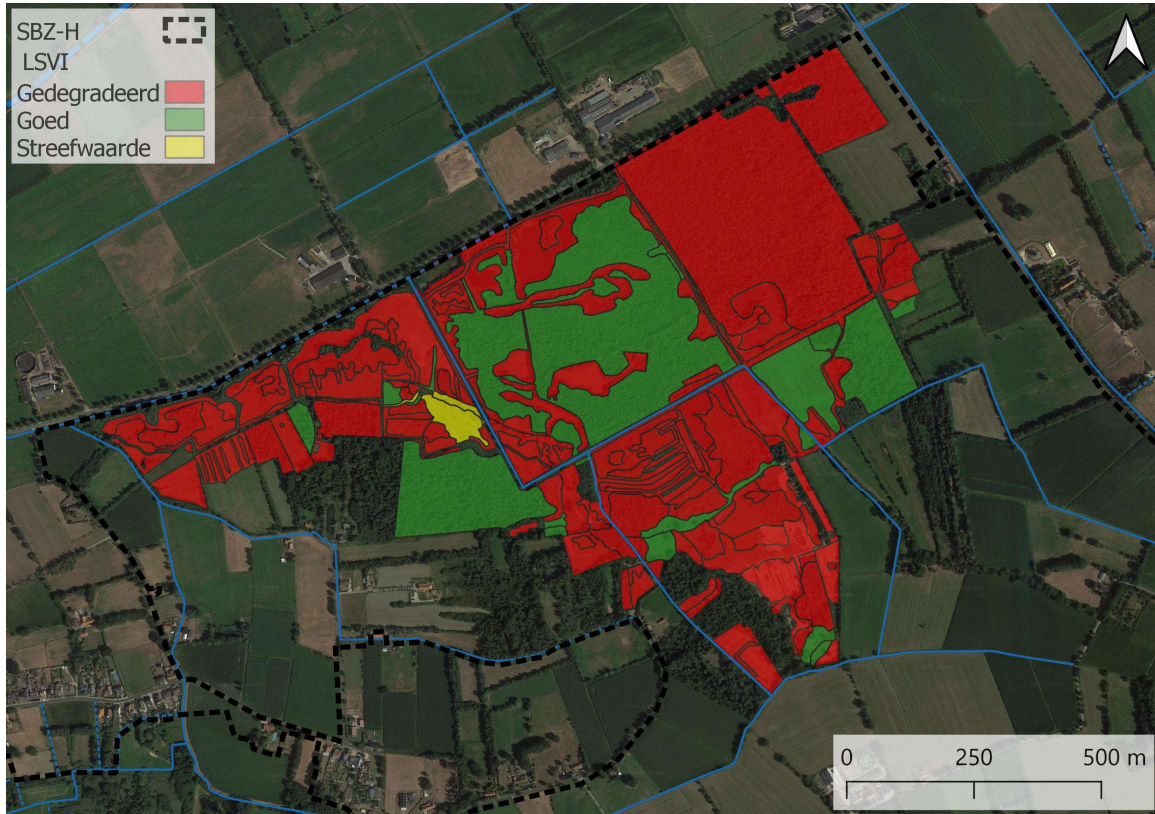
Afbeelding 3.2 Huidige vegetatiezoningering in en rond De Zegge



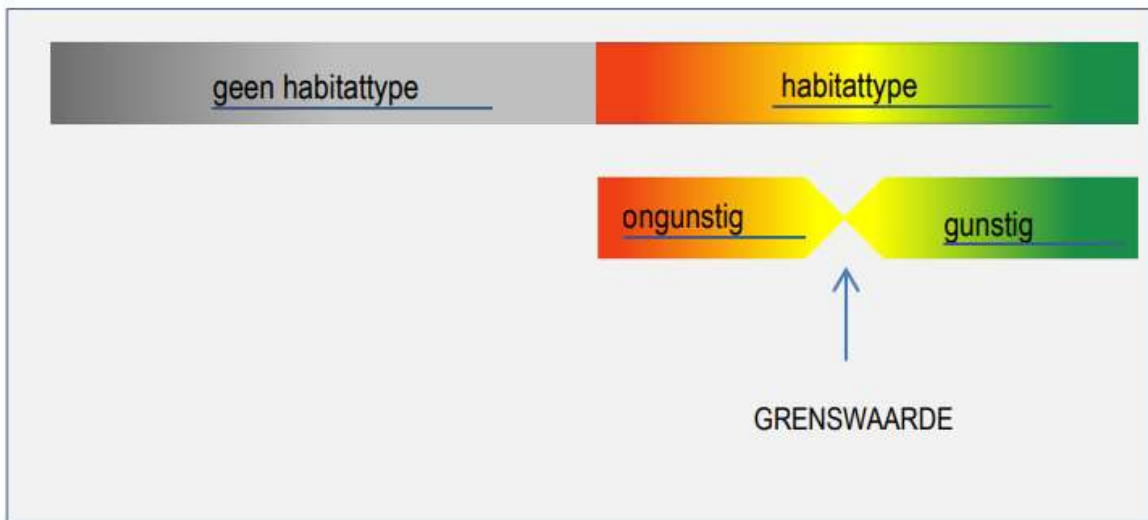
Afbeelding 3.3 Overzicht van de dominante en meest relevante habitats in De Zegge volgens de kartering in 2020.



Afbeelding 3.4 Lokale staat van instandhouding van de aanwezige habitats



Afbeelding 3.5 Voorstelling van de grenswaarde/streefwaarde en van de gunstige toestand op een denkbeeldige as van een kwaliteitscriterium van een habitatype; uit Oosterlynck et al. 2020 [17].



Mosselgoren

Het dominante habitat in Mosselgoren is mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm), onder meer ter hoogte van het (oppervlakkig) aanwezige veen (Afbeelding 3.6). De aanwezige habitatwaardige graslanden, vaak gedomineerd door veldrus, zijn gekarteerd als dotterbloemgraslanden (rbbhc). Dotterbloemgraslanden zijn in Afbeelding 3.1 niet opgenomen in de voorstelling van de klassieke vegetatiezonering van een Kempisch beekdal. Er zijn ook een aantal kleine en verspreide zones met mineraalarm overgangs- en trilveen

(7140_meso) en zuur laagveen (rbbms), een slecht ontwikkelde vorm van 7140_meso. Mesotrofe open wateren (3130_aom) en eutrofe open wateren (3150) komen amper voor in Mosselgoren.

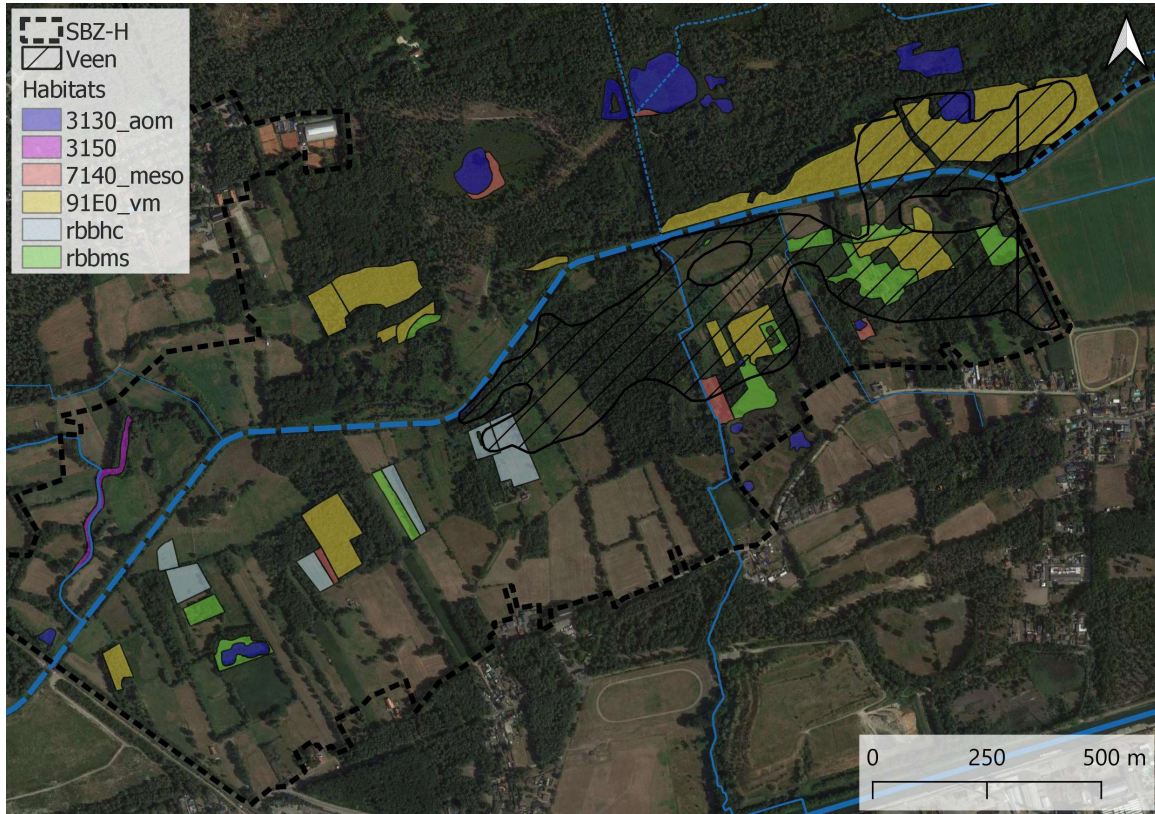
Afbeelding 3.6 Overzicht van de dominante en meest relevante habitats in Mosselgoren



Olens Broek

In het Olens Broek is het voorkomen van habitatwaardige natuur in het laaggelegen gedeelte ten zuiden van de Kleine Nete zeer beperkt (Afbeelding 3.7). Net als in Mosselgoren komt gefragmenteerd hoofdzakelijk mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm) en zuur laagveen (rbbms) voor.

Abbeelding 3.7 Overzicht van de dominante en meest relevante habitats in Olens Boek (zuidelijk gedeelte)



3.2 Standplaatsvereisten

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de standplaatsvereisten van de meest relevante grondwaterafhankelijke habitats voor De Zegge, Mosselgoren en Olens Broek (zie paragraaf 3.1). We geven daarbij geen uitgebreid beschrijvend overzicht, maar focussen, in de mate van het mogelijke, op specifieke streef-/grenswaardes van bodem, grond- en oppervlaktewaterkwaliteit en -kwantiteit in tabelvorm. Zo kunnen de verzamelde data expliciet aan deze streef-/grenswaardes afgetoetst worden, zoals in het vorige hoofdstuk voor waterkwaliteit gedaan is. Dit is gebaseerd op het rapport van Van Calster et al. 2019 [9], waarin gunstige bereiken zijn gedefinieerd voor Europese Natura-2000 habitats op basis van standplaatsonderzoek in Vlaanderen door het INBO, de 'FlaVen' databank [10] en andere literatuur. We beschouwen volgende grondwaterafhankelijke habitats (zie paragraaf 3.1):

- aquatisch: 3130 en 3150;
- terrestrisch: 7140; 4010, rbbhc en 91E0.

Wat betreft de grondwaterstanden werd met ANB afgesproken om niet te werken op habitatniveau maar om verschillende habitats met gelijkaardige hydrologische vereisten te clusteren in vier verschillende categorieën van hydrologische doelen op basis van de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG): 30cm; 50cm; 70cm of 90cm onder maaiveld (in bijlage I) [18]. Een uitgebreide onderbouwing en redenering daarvan is dus in de desbetreffende nota in bijlage terug te vinden.

3130 en 3150

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de abiotische standplaatsvereisten voor de kwaliteit van het (stilstaand) oppervlaktewater. Relevant voor het studiegebied zijn enerzijds 3130_aom subtype czb (mesotrofe circumneutrale zwak gebufferde stilstaande wateren) en 3150 (ondiepe, alkalische, ionenrijke en (matig) eutrofe wateren).

Tabel 3.1 Overzicht van de standplaatsvereisten voor de aquatische habitattypes 3130 (subtype aom) en 3150 (uit Van Calster et al. 2019 [9])

Parameter	Eenheid	Toetswijze	3130_aom (czb)	3150 (ami)	Milieu-compartment
alkaliniteit	meq/l	individueel	0,1-1		oppervlaktewater
NH ₃	mg/l	jaargemiddelde	<0,03	<0,03	oppervlaktewater
NH ₃	mg/l	maximum	<0,01	<0,01	oppervlaktewater
anorganische N	mg N/l	/	<0,14		oppervlaktewater
O ₂	mg/l	10-perc.	>6	>6	oppervlaktewater
biologisch zuurstofverbruik	mg/l	90-perc.	<6	<6	oppervlaktewater
chemisch zuurstofverbruik	mg/l	90-perc.	<30	<30	oppervlaktewater
totaal P	mg P/l	zomergem.	<0,03	<0,07	oppervlaktewater
totaal N	mg N/l	zomergem.	<1	<1,3	oppervlaktewater
zwevende stof	mg/l	zomergem.	<4	<4	oppervlaktewater
EC	µS/cm	90-perc.	<250	<750	oppervlaktewater
pH (H ₂ O)		min - max	5.5-7.5	6.5-8.5	oppervlaktewater
NO ₂	mg N/l	max	<0.6	<0.6	oppervlaktewater
NO ₂	mg N/l	jaargem.	<0.2	<0.2	oppervlaktewater
SO ₄	mg/l	gemiddelde	<15(40)	<15(80)	oppervlaktewater
Cl	mg/l	id. zomer	<40	<140	oppervlaktewater
laagste waterstand	m	/		>0.2	oppervlaktewater

7140

Dit habitatype omvat actieve verlandingsvegetaties van oligo- en mesotrofe 'overgangsmilieus'. Op basis van de zuurtegraad, mineralenrijkdom en voedselrijkdom worden vier subtypes onderscheiden [19], waarvan er twee relevant zijn voor het studiegebied:

- oligotroof en zuur overgangsveen (7140_oli);
- mineraalarm, circum-neutraal overgangsveen (7140_meso).

Een absolute vereiste is dat zich het jaar rond grondwater in de buurt van het maaiveld bevindt. Om veenafbraak te vermijden, mag de grondwaterstand in een vaste veenbodem dalen tot maximaal 20 tot 35cm onder maaiveld [10]. Dit habitatype is laag productief en is daardoor gevoelig aan een verhoogde beschikbaarheid of extra aanvoer van stikstof via de lucht of water [12]. Deze overgangsvennen vereisen ook sulfaatarm grondwater [12].

Daar waar de abiotische omstandigheden suboptimaal zijn kan zich zuur laagveen (rbbms) ontwikkelen, een onvolkomen ontwikkelde vorm van 7140_meso.

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de standplaatsvereisten voor 7140_meso en 7140_oli betreffende grondwaterstanden en de kwaliteit van het oppervlakte- en ondiep grondwater.

Tabel 3.2 Overzicht van de standplaatsvereisten voor de habitattypes 7140_meso en 7140_oli (uit Van Calster et al. 2019 [9])

Parameter	Eenheid	Toetswijze	7140 (meso)	7140 (oli)	Milieucompartment
EC	(μ S/cm)	OG-BG		66-290	ondiep grondwater
pH		OG-BG	4,5-7	5,0-6,0	ondiep grondwater
HCO ₃	mg/l	OG-BG		3,2-40	ondiep grondwater
PO ₄	mg P/l	max		<0,02	ondiep grondwater
NO ₃	mg N/l	max		<0,57	ondiep grondwater
NH ₄	mg N/l	max		<0,32	ondiep grondwater
SO ₄	mg/l	max		<62	ondiep grondwater
Na	mg/l	OG-BG			ondiep grondwater
K	mg/l	OG-BG		1,7-6,6	ondiep grondwater
Ca	mg/l	OG-BG		4,1-18	ondiep grondwater
pH		OG-BG	4,5-7,0		oppervlaktewater
Na	mg/l	OG-BG			oppervlaktewater
K	mg/l	OG-BG			oppervlaktewater
Ca	mg/l	OG-BG			oppervlaktewater
GG	m - mv	OG-BG	-0,12-0,28	0,01-0,08	grondwater
GHG	m - mv	max	>-0,2	0-0,02	grondwater
GLG	m - mv	min	<0,3	0,04-0,21	grondwater
GVG	m - mv	max	<0,1	0-0,05	grondwater

4010

Vochtige heide (4010) is grondwaterafhankelijk en komt voor op natte, voedselarme zure (leem- of veenhoudende) zandgrond. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de standplaatsvereisten voor de kwaliteit van de bodem en het grondwater van vochtige heide.

Tabel 3.3 Overzicht van de standplaatsvereisten voor het habitatype 4010 (uit Van Calster et al. 2019 [9])

Parameter	Eenheid	Toetswijze	4010	Milieu-compartment
P Olsen	mg P/kg	<	5,75	bodem
pH	-	OG-BG	3,2-4,3	bodem
Al/Ca ratio	-	OG-BG	1-15	bodem
NH ₄ /NO ₃ ratio	kg/kg	OB-BG	1,5-14	bodem
Basenverzadiging	%	OG-BG	4-83	bodem
F/P-ratio	kg/kg	OB-BG	4-33	bodem

Parameter	Eenheid	Toetswijze	4010	Milieu-compartment
C/N ratio	kg/kg	OG-BG	13,0-30,1	bodem
Som uitwisselbare kationen	cmol+/kg	OB-BG	0,4-7,5	bodem
N/P ratio	kg/kg	OG-BG	12-37	bodem
Uitwisselbaar Ca	cmol+/kg	OB-BG	0,1-5,7	bodem
GG	m - mv	OG-BG	0-0,54	grondwater
GHG	m - mv	OG-BG	0-0,22	grondwater
GLG	m - mv	OG-BG	0,02-1,05	grondwater
GVG	m - mv	OG-BG	0-0,34	grondwater
EC	(μ S/cm)	OG-BG	44-280	ondiep grondwater
pH	-	OG-BG	4,2-5,8	ondiep grondwater
HCO ₃	mg/l	OG-BG	0,3-28	ondiep grondwater
PO ₄	mg P/l	maximum	<0,04	ondiep grondwater
NO ₃	mg N/l	maximum	<1,05	ondiep grondwater
NH ₄	mg N/l	maximum	<0,31	ondiep grondwater
SO ₄	mg/l	maximum	<43	ondiep grondwater
K	mg/l	OG-BG	0,5-6,6	ondiep grondwater
Ca	mg/l	OG-BG	0,7-16	ondiep grondwater

Rbbhc

Dotterbloemgraslanden zijn grondwaterafhankelijke natte graslandvegetaties op matig voedselrijke bodems. Ze worden gekenmerkt door gemiddeld hoogste grondwaterstanden (GHG) nabij maaiveld. De gemiddeld laagste grondwaterstanden (GLG) zakken weg tot circa 60 cm onder maaiveld. Als regionaal belangrijk biotoop zijn dotterbloemgraslanden niet opgenomen in Van Calster et al. 2019 [9].

91E0

Er worden vier subtypes onderscheiden, waarvan er twee relevant zijn voor het studiegebied:

- mesotroof broekbos (91E0_vm);
- oligotroof broekbos (91E0_vo).

Beide varianten vereisen een zeer hoge grondwatertafel met beperkte schommelingen. Maar wat de grondwaterkwaliteit zijn beide types sterk verschillend. Het grondwater van mesotroof broekbos is voedselrijker en veel mineraalrijker dan de oligotrofe variant. In 91E0_vo ligt de maximale P Olsen concentratie in de bodem bijvoorbeeld circa vier keer lager (Tabel 3.4).

Tabel 3.4 Overzicht van de standplaatsvereisten voor de habitattypes 91E0_vm en 91E0_vo (uit Van Calster et al. 2019 [9])

Parameter	Eenheid	Toetswijze	91E0_vm	91E0_vo	Milieu-compartiment
P Olsen	mg P/kg	Max.	<27	<7,2	bodem
TKN	%	OG-BG	0,36-1,02	0,13-0,28	bodem
Strooisel	cm	Max.	<5	<10	bodem
pH.pot	-	OG-BG	>3,0	3,1-4,3	bodem
EC	µS/cm	OG-BG	510-740		ondiep grondwater
pH	-	OG-BG	6,4-7,1		ondiep grondwater

4

ALGEMENE CONCLUSIE

Het natuurlijke Kempisch beekdalsysteem, waar de gebieden van de Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek deel van uitmaken, is door menselijke ingrepen ernstig verstoord. Door het gewijzigd landgebruik zijn de heersende abiotische condities in het projectgebied op vlak van bodem, grondwater en oppervlaktewater, zowel op vlak van kwantiteit als kwaliteit, verstoord. Zo wordt het grond- en oppervlaktewater bijvoorbeeld gedraineerd met verdroging tot gevolg. Verder is het oppervlakkige water in het gebied erg nutriëntenrijk. Dit heeft zijn weerslag op de wettelijk te beschermen vegetaties in het gebied. Door de ongunstige abiotische condities bevinden vele van de aanwezige Natura2000 habitats zich in een gedegradeerde staat van instandhouding.

Voor een meer uitgebreide en integrale conclusie verwijzen we naar het document '**Integrale toekomstvisie wetlandherstel Witteveen+Bos 2024**'

5

REFERENTIES

- 1 Witteveen+Bos (2022). Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren. Achtergrondrapportage geohydrologische modellering.
- 2 Witteveen+Bos (2024). Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren. Analyse oppervlaktewatersysteem en overstromingsproblematiek.
- 3 Lourenco et al. (2023). Peat definitions: A critical review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*.
- 4 Emsens et al. (2016). Eutrophication triggers contrasting multilevel feedback on litter accumulation and decomposition in fens. *Ecology*.
- 5 Herr et al. (2012). Analyse van de actuele milieudruk op de aanwezige habitattypen in de Vlaamse Habitatrichtlijngebieden: Grond- en oppervlaktewaterkwaliteit, atmosferische stikstofdepositie en grondwaterstanden. INBO.
- 6 Emsens et al. (2016). Soil iron content as a predictor of carbon and nutrient mobilization in rewetted fens. *PLOS ONE*.
- 7 Smolders et al. (2006). Internal eutrophication: how it works and what to do about it - a review. *Chemistry & Ecology*.
- 8 Eppinger & Walravens (2002). Spatial distribution of nitrate in Cenozoic sedimentary aquifers controlled by a variable reactivity system. In: *Nitrates in groundwater, selected papers from the European meeting of the International Association of Hydrogeologists*. Wisla.
- 9 Van Calster et al. (2019). Gunstige abiotische bereiken voor vegetatietypes in Vlaanderen. INBO.
- 10 FlaVen (2020). Flanders vegetation and environmental data. Databank van het INBO met standplaatsgegevens: meetgegevens voor vegetatie en milieukeurmerken.
- 11 Aggenbach et al. (2020). Invloed van met nutriënten verrijkt grondwater op kwelafhankelijke ecosystemen. *OBN Natuurkennis*.
- 12 Van Dijk et al. (2019). Effects of groundwater nitrate and sulphate enrichment on groundwater-fed mires: a case study. *Water, Air and Soil Pollution*.
- 13 Geurts et al. (2010). The interaction between decomposition, net N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. *Water Research*.
- 14 Lamers et al. (2010). Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Ministerie van LNV, Ede.
- 15 De Becker (2020). Ecologisch onderbouwde scenario's voor moerasontwikkeling en hydrologisch herstel in De Zegge en Mosselgoren. INBO.
- 16 Mico-effect (2020). Geïntegreerd beheerplan De Zegge – Geel.
- 17 Oosterlynck et al. (2020). Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura2000 habitattypen in Vlaanderen. INBO.
- 18 ANB (2023). Hydrologische doelen voor De Zegge, Mosselgoren en Olens Broek.
- 19 Paelinckx et al. 2009 Gewestelijke doelstellingen voor de habitats en soorten van de Europese Habitat- en Vogelrichtlijn voor Vlaanderen. INBO.

Bijlage(n)

BIJLAGE: HYDROLOGISCHE DOELEN VOOR DE ZEGGE, MOSSELGOREN EN OLENS BROEK.

Actuele grondwaterstanden

Actuele gebieds GLG voor alle peilbuizen 2012-2022

- Zegge: -0,32 mv;
- Olensbroek: -0,91 mv;
- Mosselgoren: -0,83 mv.

Gegevens per peilbuis te verkrijgen uit WATINA+.

IHD: Natte natuurkern doelen

Olens broek: 150 ha

Een natte natuurkern (> 150 ha) in het Olens Broek met aanwezigheid van een mozaïek aan biotopen zoals elzenbroekbossen (> 66 %), traag stromende en stilstaande wateren, natte schraalgraslanden, ruigtes, rietmoerassen, ... als leefgebied voor Rosse vleermuis, Blauwborst, IJsvogel, Gevlekte witsnuitlibel, Porseleinhoen, etc.

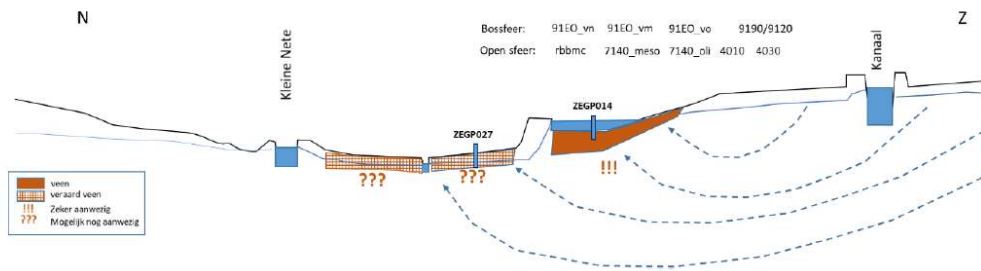
Mosselgoren/Zegge: minstens 300 ha

(Laagveen)moeras in de Zegge en de Mosselgoren (> 300 ha) met aanwezigheid van een mozaïek aan biotopen zoals laagveen (> 30 ha), elzenbroekbossen (ca. 50 %), rietmoeras, kleine zeggevegetaties, schraalgraslanden, open water, ruigtes, etc. als leefgebied voor Roerdomp, Bruine kiekendief, Porseleinhoen, Blauwborst, Drijvende waterweegbree en Ringslang.

Ecosysteembeschrijving

Overgenomen van : P. De Becker, 2019, Ecologisch onderbouwde scenario's voor moerasontwikkeling en hydrologisch herstel in De Zegge en Mosselgoren, INBO.A.3863, INBO.

Van nature is hier dezelfde vegetatiezonering aanwezig als wat in nagenoeg elk Kempisch beekdal te herkennen is. Voor niet bosvegetaties betekent dat, vertrekkend vanop het plateau (op voldoende afstand van de eigenlijke vallei van de Kleine Nete), een vegetatie van droge heide (4030). Iets verder in de richting van de vallei, waar het freatische grondwater binnen het bereik van de vegetatie komt, vochtige heide (4010). Nog iets verder in de richting van de vallei begint de eigenlijke kwelzone waar het grondwater begint uit te treden onder de vorm van kwel, die hier dan nog erg mineraalarm is (korte stroombanen, in Nederland dikwijls lokale kwel genoemd). Daar ontwikkelt zich venige heide (7140_oli).



Figuur 1: Schema van de vegetatiezonering voor het SBZ-H deelgebied van De Zegge/Mosselgoren en de Kleine Netevallei, op basis van Natura2000-habitattypes en regionaal belangrijke biotopen.

Nog wat verder richting vallei komt er volop kwel aan de oppervlakte. Hier gaat het over grondwater dat 10 jaar tot soms honderden jaren onderweg was, zogenaamd lithotroof water. Dat zijn de locaties waar kleine zeggevegetaties voorkomen, ook wel basenarm tot matig basenrijk laagveen genoemd (7140_meso). Het is dit vegetatietype dat destijds nagenoeg de volledige vallei van de Kleine Nete moet hebben ingenomen. Enkel waar er regelmatig overstromingen voorkwamen, waarbij de standplaats gevoelig voedselrijker werd en er grotere grondwatertafelschommelingen optraden, ontstonden er rietvegetaties (rbbmr) met aan de rand grote zeggevegetaties (rbbmc). Dat is in de Zegge aan te treffen in de natste zone tegen de Roerdompstraat. Daar is er sprake van aanrijking met nutriënten door het ingelaten, aangerijkte oppervlaktewater en ook als secundaire, interne eutrofiëring als gevolg van het met sulfaten aangerijkte kwel-/grondwater. Meer dan waarschijnlijk is de invloed van het kanaalwater onvoldoende om te verantwoorden dat hier kalkmoeras of echt basenrijk trilveen duurzaam kan ontwikkelen. De aanvoer van voldoende autochtone mineralen vanuit de watervoerende laag met zanden van Kasterlee en Diest om dergelijke vegetaties duurzaam te laten ontwikkelen, lijkt erg onwaarschijnlijk.

Door de regelmatige inlaat van aangerijkt oppervlaktewater, maar ook omwille van de toestroom van met sulfaten aangerijkt grondwater en de interne eutrofiëring als gevolg daarvan, ontwikkelt de vegetatie in de waterpartijen zich in het beste geval als deze van eutrofe plassen en meren (3150) in plaats van de hier te verwachten oeverkruidgemeenschappen van mesotrofe plassen (3130).

In de bossteer is mesotroof elzenbroek (91EO_vm) de vervanggemeenschap voor de kleine zeggevegetaties van het type 7140_meso, maar ook voor de grote zeggevegetaties en de rietmoerassen. De venige heide en de natste delen van de vochtige heide ontwikkelen zich tot oligotroof elzenberkenbroek (91EO_vo). Op de drogere terreinen aan de rand van de vallei en op drogere donken ontwikkelt eikenberkenbos (9190) als secundaire bosvegetatie en indien de ontwikkeling lang genoeg ongemoeid gelaten wordt (het gaat dan snel om meer dan een eeuw tot zelfs een paar eeuwen) ontstaat er zuurminnend eiken-beukenbos (9120). Die eenvoudige vegetatiezonering is in realiteit een pak complexer door de aanwezigheid van drogere donken en terreindepressies, die hier veelvuldig voorkomen (onder andere te zien in Figuur 2). Ook de ontginningsgeschiedenis speelt een zeer belangrijke rol. Geploegde en bemeste terreinen zijn uiterst moeizaam tot helemaal niet meer te herstellen als heide en ontwikkelen in het beste geval tot een soortenrijk grasland van het type kamgrasland (rbbkam) of struisgrasland (6230_ha), eventueel met wat elementen van vochtig heischrale vegetaties/veldrusgrasland (6230_hmo/6230_ve). Deze laatste graslanden zijn vandaag nog te vinden in de zuidrand van de natuurreservaten de Zegge en Mosselgoren, op de overgang van heide naar kleine zeggevegetaties."

Doelen met betrekking tot veenvorming

Voor veenvormende vegetaties (IHD doelen) wordt gebruikt gemaakt van de meest recente gegevens van de abiotische bereiken/ standplaatskarakteristieken van verschillende vegetatietypen die momenteel voorkomen in Vlaanderen op veen. Deze data zijn opgenomen in NICHE Vlaanderen en/of rapport Van Calster (zie ook verder). Hiervoor hebben we een GLG geselecteerd van -0.30 mv als maat voor vegetaties die op veen voorkomen.

Echter zeggen deze data niets over de processen in het veen van veenopbouw of veenafbraak (koolstofafbraak). In de literatuur vinden we terug dat bij een grondwaterpeil lager dan 0.3 m onder maaiveld er veenafbraak is. Hoe meer een veen watervoerend is, hoe beter het herstel verloopt (minder oxidatie, zeker als er zoals in de kempische beekdalen het grondwater sterk ijzerhoudend is). Dit is zeker het geval voor de Zegge.

Uit literatuur vinden we voor laagveenmoerassen (M. Jalink, 1996, Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in laagveenmoerassen, Staatsbosbeheer Driebergen) voor een aantal indicatorsoorten van voedselarme moerassen (wateraardbei, snavelzegge, waterdrieblad, draadzegge, holpijp, gewoon veenmos) volgende indicatoren van waterregimes terug:

- 1B: zeer nat: grondwater aan en soms boven maaiveld;
- 2A: zeer nat/nat: grondwater maximaal 10 cm onder maaiveld.

In A. Janssen, A. Grootjans (Red), 2019, Hoogvenen, landschapsecologie, behoud, beheer, herstel, uitgeverij Noordboek vinden we terug dat grondwaterstanden in een goed ontwikkeld Nederlands voorbeeld, de grondwaterstanden 80% van de tijd hoger zijn dan 10 cm onder maaiveld.

Gezien de aanwezigheid van actueel ontwaterd veen in de verschillende natuurgebieden, gaan we bijkomend na of er doelen te realiseren zijn voor actieve veenvorming bij hydrologisch herstel. Hierbij wordt in deze oefening enkel gekeken naar noodzakelijke hydrologische kwantiteit (noodzakelijke grondwaterstanden), ongeacht het vegetatietype en andere factoren voor veengroei (temperatuur, nutriënten, bodemleven, etc.).

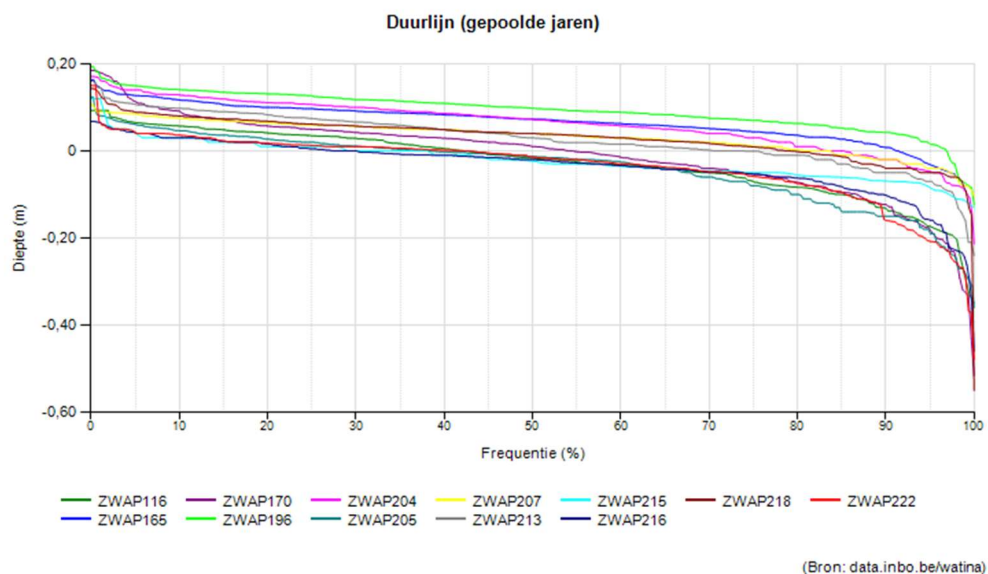
Wat de hydrologische standplaatskarakterieken zijn, is dus verder onderzocht in literatuur (onder meer onderzoek KULeuven Ward Swinnen), historische data (Karen Van Campenhout), bevraging experts en uit een analyse van de grondwaterdata van de Zwarte beekvallei.

Voor de data van de Zwarte beek, zijn er peilbuizen geselecteerd in het stroomopwaartse deel van de Zwarte beek, op de dikste en topografisch laagst gelegen delen van het veenpakket op voldoende afstand van de Zwarte beek

Analyse van de peilbuizen leveren volgende data op van karakteristieke waterstanden over een periode van 22 jaar (2022-2010):

Meetpunt	GHG (m)	GLG (m)	GVG (m)	GG Gewogen	GG Rekenkundig	Min	Max	Amplitude
ZWAP116	0,06	-0,17	-0,01	-0,02	-0,02	-0,54	0,13	0,13
ZWAP165	0,14	0,02	0,07	0,07	0,07	-0,08	0,37	0,45
ZWAP170	0,1	-0,2	0,03	0	0	-0,53	0,24	0,77
ZWAP196	0,15	0,02	0,11	0,09	0,09	-0,16	0,23	0,39
ZWAP204	0,13	-0,03	0,07	0,06	0,06	-0,24	0,19	0,43
ZWAP205	0,06	-0,18	-0,02	-0,04	-0,03	-0,41	0,14	0,55
ZWAP213	0,11	-0,08	0,04	0,03	0,03	-0,34	0,33	0,67
ZWAP215	0,02	-0,08	-0,01	-0,02	-0,02	-0,18	0,12	0,3
ZWAP216	0,03	-0,17	0	-0,03	-0,03	-0,49	0,11	0,6
ZWAP218	0,09	-0,05	0,04	0,03	0,03	-0,55	0,17	0,72
ZWAP222	0,05	-0,19	0	-0,04	-0,03	-0,48	0,15	0,63
GEMIDDELE	0,09	-0,10	0,03	0,01	0,01	-0,36	0,20	0,51

De gemiddelde laagste grondwaterstand is -0,10 mv.
De duurlijnen geven voor dezelfde periode volgend beeld weer:



Hieruit leiden we af, dat gedurende 70 % van de tijd de grondwaterpeilen boven maaiveld zijn en ongeveer maar 10 % van de tijd wegzakken onder de 10 cm onder maaiveld. De hypothese is dat bij een dergelijke hydrologisch regime veenaangroei mogelijk zou moeten zijn en dat als representatief kan genomen worden voor de venen aan de Kleine Nete.

Dit onderscheid is verder opgenomen bij de veenvormende vegetaties.

Selectie hydrologische doelen

Samengevat kunnen we voor de Zegge/Mosselgoren en Olensbroek 4 vegetatietypen onderscheiden op basis van de natuurlijke sequentie die te verwachten is in een Kempisch beekdal:

Standplaats	Open sfeer	Bossfeer	Voedselrijker en/of overstroming	Type
veen natste delen kwel	7140_meso: kleine zeggen vegetatie	91EO_vm: mesotroof elzenbroek bos	Rbbmc : grote zeggenvegetatie Rbbmr: rietvegetaties	1
veen overgang veen/zand kwel	7140_oli: venige heide	91EO_vo: oligotroof elzenbroekbos	Rbbhc: dottergraslanden	2
overgang veen/zand zeer nat zand kwel	7140_oli: venige heide overgang naar 6410_ve: veldrusgraslanden	91EO_vo: oligotroof elzenbroekbos	veldrusgraslanden verdragen slechts beperkt overstromingen	3
nat zand of zandleem	4010: vochtige heide	91EO_vo: oligotroof elzenbroekbos 9190: eiken/berkenbos	6230_hmo: heischrale graslanden	4
droge delen/donken	4030: droge heide	9190: eiken/berkenbos	Rbbkam: kamgrasland 6230_ha: struisgrasland	5

Voor het bepalen van de hydrologische doelen voor de natte natuurkern wordt er een onderscheid gemaakt tussen vier typen:

- type 1: veenvormende vegetaties (7140_meso/91EO_vm);
- type 1a: actieve veenvorming;
- type 2: overgangsvegetaties (7140_oli/rbbhc);
- type 3: veldrus (6410_ve);
- type 4: schrale graslanden (6230_hmo).

Type 5 wordt dus verder niet in beschouwing genomen.

Alternatief voor de indeling van de hydrologische doelen

Er wordt in dit voorstel gewerkt met 4 typen:

- type 1 Veenvormende vegetaties: GLG -0.30 mv min;
 - actieve veenvorming GLG -0.10 mv min;
- type 2 Overgangsvegetaties: GLG -0.50 mv min;
- type 3 Veldrusgraslanden: GLG -0.70 mv min;
- type 4 Schrale graslanden: GLG -0.90 mv min.

Afbakening

De hydrologische doelen zijn afgebakend binnen de grenzen van de SBZ.

Met uitzondering van:

- enkele percelen in eigendom/beheer als natuur buiten SBZ, maar grenzend aan SBZ;
- verbinding tussen Mosselgoren en Zegge ter hoogte van Larumse loop, waar SBZ afbakening elkaar terug raakt;
- binnen SBZ: enkel ten noorden van Olensbroek aan de rechteroever van de kleine Nete binnen de valleiafbakening.

Type 1 Veenvormende vegetaties

Voor de veenvormende vegetaties worden de standplaatsvereisten voor grondwater van kleine zeggenvoetplanten genomen. Voor **kleine zeggenvoetplanten** is na overleg met INBO beslist om de waarden van mesotroof elzenbroekbos aan te houden op veen in plaats van het verbond van zwarte zegge, zoals in NICHE staat. Deze grondwaterkarakteristieken komen beter overeen met de situatie op terrein. Deze waarden sluiten ook aan bij de abiotische bereiken opgenomen in Van Calster.

Hiervoor worden dus de NICHE referentiewaarden gebruikt van 91EO_meso (vm) op veen.

Habitattype	Bodem	GHG_MIN	GHG_MAX	GLG_MIN	GLG_MAX
91EO_meso (vm)	veen	-0,18	0,24	-0,32	0,15

Van Calster¹:

Habitatype	Bodem	GHG_MIN	GHG_MAX	GLG_MIN	GLG_MAX
7140_meso	gemiddelde grondwaterstand	GG	m - mv	OG - BG	-0,12 - 0,28
7140_meso	gemiddelde hoogste grondwaterstand	GHG	m - mv	>	-0,20
7140_meso	gemiddelde hoogste grondwaterstand	GHG	m - mv	>	-0,20
7140_meso	gemiddelde laagste grondwaterstand	GLG	m - mv	<	0,30
7140_meso	gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand	GVG	m - mv	<	0,1

Volgende criteria gelden voor de afbakening op kaart:

- doelen en actueel voorkomen van 91EO_meso, 3150, 3130, rbbmr, rbbms, rbbsf, rbbvf, rbbmc, 7140_meso, rbbhc;
- op actueel gekarteerde veenbodems;
- bijkomend op bodemserie (v): oppervlakkige veenbedekking: Sgp(v), Sfp(v), S-Pfp(v), v-Sfp(v);
- actuele grondwaterstanden GLG tussen -0,00 en -0,60.

De afbakening van type 1 veenvormende vegetaties komt in aanmerking voor doelstellingen van natte natuurkern.

Binnen de afbakening van de veenvormende vegetaties (contour van GLG -0,30 mv) wordt nagegaan of actieve veenvorming (aangroei) mogelijk is. Dit wordt niet afzonderlijk aangeduid op kaart, maar modelmatig wordt nagegaan in welke mate het abiotisch bereik binnen de veenvormende vegetaties kan gehaald worden.

Volgende kenmerken worden hiervoor aangenomen:

Type 1a	GHG (m)	GLG (m)	GVG (m)
actieve veenvorming	0,09	-0,10	0,03

Type 2: Overgangsvegetaties veen en veen/zand: dottergrasland

Dottergraslanden komen eerder voor op de overgangen zand/veencomplexen en zijn afhankelijk van wat mineraalrijker grondwater. Deze vegetaties kunnen tegen winterse overstromingen. In de regel komen dottergraslanden niet voor in de bovenlopen van Kempische beekdalen (te voedselarm); indien we ze toch

¹ Van Calster H., Cools N., De Keersmaecker L., Denys L., Herr C., Leyssen A., Provoost S., Vanderhaeghe F., Vandevoorde B., Wouters J. en M. Raman (2019). Gunstige abiotische bereiken voor vegetatietypes in Vlaanderen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (44). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.19362510

voorkomen is dit omwille van verdroging van het veenpakket en dus te lage grondwaterstanden. In mineraalarmere omstandigheden zou hier venige heide voorkomen.

Op deze standplaats (middenloop) in de Kleine Nete is de hypothese dat dit vegetatietype wel tot ontwikkeling kan komen. Bij vernatting ontstaan rietvegetaties of kleine zeggenvegetaties.

Hiervoor kunnen dus de NICHE referentiewaarden gebruikt worden van dottergraslanden op venige zandgronden.

Habitattype	Bodem	GHG_MIN	GHG_MAX	GLG_MIN	GLG_MAX
Rbbhc (Calthion)	venige zandgronden; moerige zandgronden; zandige veengronden	-0,07	0,09	-0,46	-0,23

Volgende criteria gelden voor de afbakening op kaart:

- doelen en actueel voorkomen van 91EO_meso, rbbmr, rbbms, rbsf, rbsf, rbbmc, 7140_meso, rbbhc, 6410;
- bodemserie (v): oppervlakkige veenbedekking: Sgp(v), Sfp(v), S-Pfp(v), v-Sfp(v), Zfp, Zep, Sep, Sfp, Zeg;
- actuele grondwaterstanden GLG tussen -0,30 en -0,70.

De afbakening van type 2 overgangsvegetaties komt in aanmerking voor doelstellingen van natte natuurkern.

Type 3: overgangsvegetaties veen/zand en zand: veldrus

Veldrusgraslanden komen in beekdalen op iets hogere standplaatsen in aansluiting bij kleine zeggenvegetaties, waarbij het grondwater niveau in de zomer iets dieper kan wegzakken. Veldrusgraslanden zijn overstromingsgevoelig; het grondwater is in de regel mineraalarm.

Als referentie worden de standplaatsvereisten genomen van veldrusgraslanden conform NICHE tabel op venige zandgronden.

Habitattype	Bodem	GHG_MIN	GHG_MAX	GLG_MIN	GLG_MAX
6140_ve (Junco – Molinion)	venige zandgronden	-0,17	0,01	-0,72	-0,07

Criteria voor de afbakening zijn:

- GLG waarden actueel tussen -0,50 en -0,90 mv;
- doelen en actueel voorkomen van, 6410, 6510, rbbhc, 91EO, 6410 (ruigten), 7140_oli;
- bodemkaart: Zfp, Zep, Sep, Sfp, Zeg.

De afbakening van type 3 veldrus komt in aanmerking voor doelstellingen van natte natuurkern.

Type 4: Grondwaterafhankelijke vegetaties op natte standplaatsen op (lemig) zand: schrle graslanden

Op de standplaatsen waar het grondwater dieper wegzakt in de zomer komen heideachtige vegetaties voor in voedselarme omstandigheden. In de regel zijn dit de vochtige heiden of bij maai- en begrazingsbeheer en iets mineraalrijkere bodem heischrale graslanden.

Als referentie kiezen we voor de standplaatskarakteristieken van heischrale graslanden.

Voor vochtige heischrale graslanden zijn er echter geen referentiewaarden. Er wordt daarom gebruik gemaakt van de referentiewaarden voor vochtige heide 4010 (voor 6230_hmo). Dit is conform de conclusie

in het rapport: Milbau A., Herr C., De Becker P. (2016). Standplaatsvereisten en potenties voor habitatherstel van heischrale graslanden in het SBZ-gebied 'Vallei- en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide en vengebieden' (BE2200029). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2016 (INBO.R.2016.11609788). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Voor vochtige heide/heischrale graslanden pleiten we dus voor het gebruik van dezelfde beslissing, zoals toegepast in de ecohydrologische studie van het Schietveld van Houthalen Helchteren. (Batelaan, O., El-Rawy M., Schneidewind U., De Becker P., Herr C., 2012 Doorrekenen van maatregelen voor herstel van vochtige heide vegetaties op het Schietveld van Houthalen-Helchteren via grondwatermodellering, opdracht uitgevoerd door VUB, vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde en INBO voor ANB (Bestek nr LNE/ANB/LIM-2010/10)

Deze zijn strenger dan de NICHE waarden voor vochtige heide. Conform de studie van het schietveld van Houthalen-Helchteren gebruiken we de 90% - 10% percentielen uit de aangepaste dataset (goed ontwikkelde vegetaties). Deze waarden komen overeen met de van Calster waarden (Van Calster H., Cools N., De Keersmaecker L., Denys L., Herr C., Leyssen A., Provoost S., Vanderhaeghe F., Vandevoorde B., Wouters J. en M. Raman(2019). Gunstige abiotische bereiken voor vegetatietypes in Vlaanderen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (44). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.19362510

Tabel 1 Grondwater-dynamische karakteristieken voor de Europese habitats 4010 (Atlantische vochtige heide) en 7140_oli (zuur overgangsveen)

	4010 Atlantische vochtige heide				7140_oli zuur overgangsveen			
	GHG	GLG	GVG	GG	GHG	GLG	GVG	GG
max	0,15	-0,08	0,12	0,04	0,17	0,11	0,12	0,12
90 %	0,07	-0,19	0,01	-0,05	0,13	0,04	0,10	0,08
75 %	0,02	-0,27	-0,03	-0,11	0,09	-0,01	0,06	0,05
mediaan	-0,11	-0,48	-0,16	-0,21	0,03	-0,06	0,02	-0,01
mean	-0,07	-0,53	-0,11	-0,21	0,04	-0,06	0,02	0,00
25 %	-0,16	-0,75	-0,19	-0,30	-0,01	-0,10	-0,03	-0,04
10 %	-0,18	-0,98	-0,26	-0,38	-0,02	-0,17	-0,05	-0,05
min	-0,31	-1,21	-0,30	-0,43	-0,11	-0,39	-0,10	-0,14

De referentiewaarde voor vochtige heischrale graslanden die we gebruiken zijn als volgt¹:

Habitattype	Bodem	GHG_MIN	GHG_MAX	GLG_MIN	GLG_MAX
6230_hmo	zandgronden	-0,18	0,07	-0,89	-0,18

Criteria voor de afbakening zijn:

- doelen en actueel voorkomen van 6410, 6510, rbbhc4010, 91EO, 9190;
- bodemkaart: Zep, Sep, Zeg, Zdg;
- actuele grondwaterstanden GLG lager dan -0,70.

De afbakening van type 4 schrale graslanden komt in aanmerking voor doelstellingen van natte natuurkern.

¹ Indien met de NICHE tabellen wordt gewerkt, moet er een gelijkwaardig vegetatietype gebruikt worden. De beste benadering is dan mesotroof elzenbroekbos op graslanden (uitgezonderd voor de GHG min, die bij mesotrofe elzenbroekbossen -0.46 is)

Conclusie hydrologische natuurdoelen

De afbakening levert volgende indicatieve oppervlakten op in de totale SBZ:

Vegetatie	Type	GLG waarde	Som van opp
veenvormende vegetatie	1+1a	-0,30/-0,10	280
overgangsvegetatie	2	-0,50	148
veldrus	3	-0,70	58
schrале graslanden	4	-0,90	112
		Eindtotaal	598

Voor Zegge en Mosselgoren levert dit volgende oppervlakten op:

Vegetatie	Type	GLG waarde	Som van opp
veenvormende vegetatie	1+1a	-0,30/-0,10	155
overgangsvegetatie	2	-0,50	144
veldrus	3	-0,70	24
schrале graslanden	4	-0,90	41
		Eindtotaal	364

Voor Olensbroek levert dit volgende oppervlakten op:

Vegetatie	Type	GLG waarde	Som van opp
veenvormende vegetatie	1+1a	-0,30/-0,10	131
overgangsvegetatie	2	-0,50	4
veldrus	3	-0,70	32
schrале graslanden	4	-0,90	23
		Eindtotaal	190

Verdere stappen in de modellering

Stap 1:

Voor zowel de actuele toestand als voor het 'maximaal scenario' op basis van de grondwatermodellering op basis van de GLG berekening min 5 klassenindelingen maken:

- 0-10;
- 10-30;
- 30-50;
- 50-70;
- 70-90.

Hiervan kunnen dan kaarten gemaakt worden met deze klassenindelingen. We kunnen dan nagaan waar de 'doelen' voorspeld worden en over welke oppervlakten.

Stap 2:

Stap 2 omvat het maken van doelafstandskarten. Per klassenindeling wordt nagegaan wat de doelafstand is.

Voorbeeld:

- + 10 doelafstand te nat;
- 0 doel bereikt;
- -5: doelafstand 5 cm te droog;
- -10: doelafstand 10 cm te droog;
- -15: doelafstand 15 cm te droog.

Stap 3:

We confronteren de voorspelde doelen en doelafstandskarten met de opgemaakte doelenkaart. Hieruit kunnen we dan afleiden of de gemaakte indeling op kaart steek houdt. Indien niet dan werken we wel verder met de 5 natuurtypen, maar niet met de opgemaakte hydrologische natuurdoelenkaart

Stap 4:

Toepassen van de NICHE modellering voor GLG, GHG, totaal voor de 4 geselecteerde vegetatietypes.+ alternatief voor type 1a (vb. overlay bij type 1).



Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren

Achtergrondrapportage geohydrologische modellering

Agentschap voor Natuur en Bos

20 december 2022

Project Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren
Opdrachtgever Agentschap voor Natuur en Bos

Document Achtergrondrapportage geohydrologische modellering
Status Definitief
Datum 20 december 2022
Referentie 125402_012_REP_vA

Projectcode 125402
Projectleider S.G. Depauw MSc
Projectdirecteur drs. L.G. Turlings

Auteur(s) J.D.R. Smidt MSc, E.C.D. Wesselink MSc, ir. O. Coomans
Gecontroleerd door drs. A. Biesheuvel
Goedgekeurd door S.G. Depauw MSc

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Belgium N.V.
Maatschappelijke zetel: Posthoflei 5-1
2600 Antwerpen-Berchem
België
+32 (0)3 286 75 75
www.witteveenbos.be
RPR Antwerpen

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos Belgium N.V. is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos Belgium N.V.

Niets uit dit document mag worden vervaarldigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Belgium N.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaarldigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos Belgium N.V. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos Belgium N.V. geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	2
1.3	Processtappen grondwatermodellering	2
1.4	Leeswijzer	2
2	HYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE	3
3	OPBOUW MODEL	6
3.1	Modelgebied en grid	6
3.2	Modellagen	7
3.3	Stijghoogte aan de randen	13
3.4	Waterlichamen	15
3.5	Bronnen en pompen	18
3.6	Grondwateraanvulling	20
3.7	Veenkartering	21
3.8	Onderbemalingen	23
4	KALIBRATIE EN VALIDATIE	25
4.1	Inleiding	25
4.2	IJkset en beoordeling	26
4.3	Gevoeligheidsanalyse	28
4.4	Stationaire optimalisatie	29
4.5	Instationaire optimalisatie	33
	4.5.1 Focus op diepe systeem	34
	4.5.2 Focus op topsysteem	38
	4.5.3 Conclusie instationaire kalibratie	45
4.6	Instationaire validatie	45
5	REFERENTIES	50

Bijlage(n)**Aantal pagina's**

I	Doorsnede systeemanalyse	3
II	Resultaten gevoeligheidsanalyse	3
III	Bollenkaarten stationaire analyse	2
IV	Instationaire kalibratie topsysteem: Stationaire verbetering	6
V	Instationaire kalibratie topsysteem: Bollenkaarten	3
VI	Instationaire kalibratie topsysteem: Tijdstijghoogtelijnen	5
VII	Instationaire validatie: Bollenkaarten	1
VIII	Instationaire validatie: Tijdstijghoogtelijnen	1

1

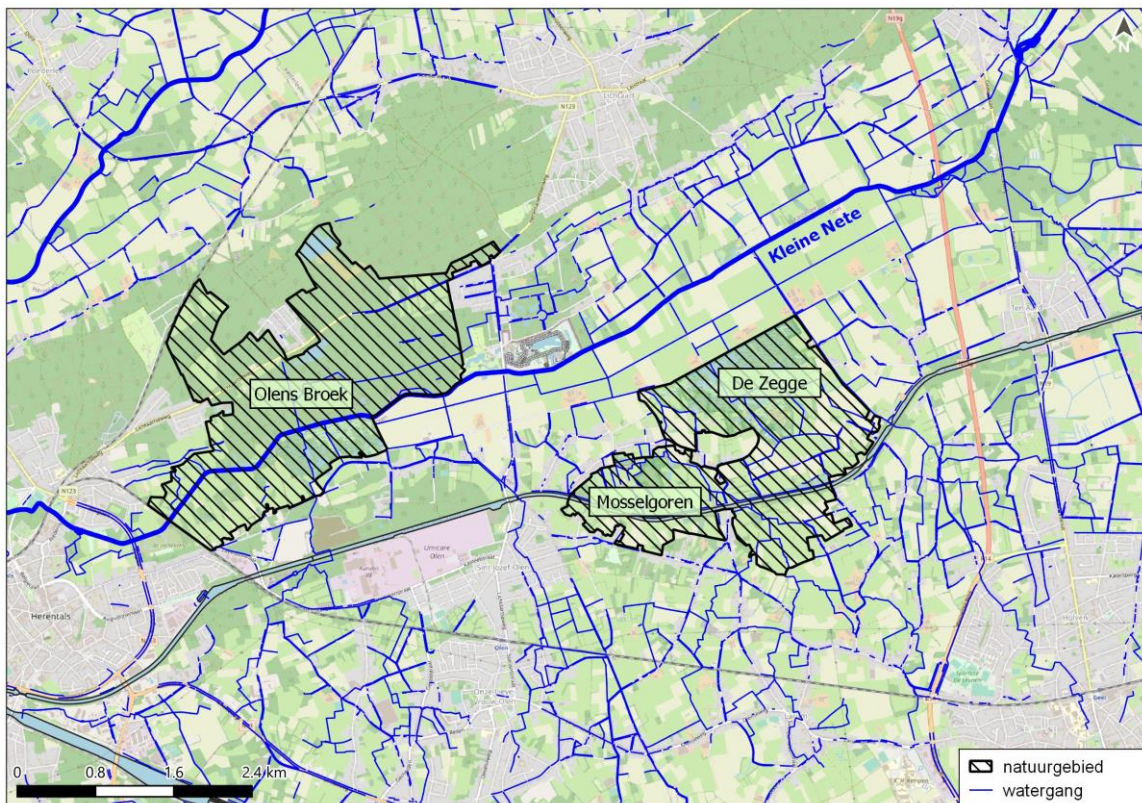
INLEIDING

1.1 Aanleiding

Voor het herstel van de natuureservaten Zegge Mosselgoren en Olens Broek is Witteveen+Bos gevraagd een ecohydrologische studie uit te voeren voor het Agentschap voor Natuur en Bos. De doelstelling van de opdracht is het uitwerken van hydrologische maatregelen en deze modelmatig te onderzoeken om De Zegge Mosselgoren en Olens Broek op een duurzame manier in stand te houden en de vooropgestelde Europese natuurdoelen te realiseren. Door middel van een grondwatermodel dienen verschillende hydrologische herstelsenario's doorgerekend te worden en de verschillende effecten (positief of negatief) van de hydrologische herstelsenario's voor natuur, landbouw en bebouwing in beeld gebracht te worden.

Onderdeel van de studie is het opzetten van een grondwatermodel voor het gebied om de hydrologische maatregelen en scenario's door te rekenen. In dit rapport is beschreven hoe het geohydrologisch model is opgezet waarbij is aangegeven welke gegevens zijn gebruikt. Daarnaast wordt ingegaan op de kalibratie en validatie van het grondwatermodel. Vervolgens is een aantal scenario's doorgerekend (nog uit te voeren).

Afbeelding 1.1 Overzicht natuureservaten Olens Broek, De Zegge en Mosselgoren nabij de Kleine Nete



1.2 Doel

Doel van dit rapport is inzicht geven in de opbouw van het grondwatermodel:

- welke gegevens zijn gebruikt voor het opzetten van het model;
- welke gegevens worden gebruikt voor de kalibratie van het model;
- welke modelparameters zijn gekozen;
- kalibratie- en validatieresultaten;
- scenario's en de resultaten.

1.3 Processtappen grondwatermodellering

Voor het opstellen van het grondwatermodel is een aantal processtappen doorlopen:

- opstellen conceptueel model;
- conceptueel model voorleggen en bespreken met opdrachtgever;
- opmerkingen aanpassingen van opdrachtgever doorvoeren;
- grondwatermodel voor kalibratie voorleggen ter goedkeuring;
- stationaire kalibratie uitvoeren en resultaten voorleggen aan opdrachtgever;
- instationaire kalibratie uitvoeren en resultaten voorleggen aan opdrachtgever;
- validatie uitvoeren en resultaten voorleggen aan opdrachtgever;

Bovenstaande stappen zijn uitgevoerd en geaccordeerd door de opdrachtgever (d.d. 16-11-2022).

De volgende stappen dienen nog te worden uitgevoerd (d.d. 16-11-2022):

- scenario's opstellen in samenwerking met opdrachtgever en stuurgroep;
- scenario's doorrekenen en resultaten presenteren.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten voor de geohydrologische modellering beschreven. In dit hoofdstuk is opgenomen welke data gebruikt zijn voor het opzetten van het grondwatermodel. Daarnaast zijn de initiële modelparameters beschreven die zijn gebruikt als start van de kalibratie. In hoofdstuk 3 is de kalibratie en validatie van het model beschreven en gepresenteerd. In hoofdstuk 4 zijn de scenario beschrijvingen en uitwerkingen beschreven (nog uit te voeren). Tevens zijn de resultaten in dit hoofdstuk gepresenteerd en geanalyseerd.

2

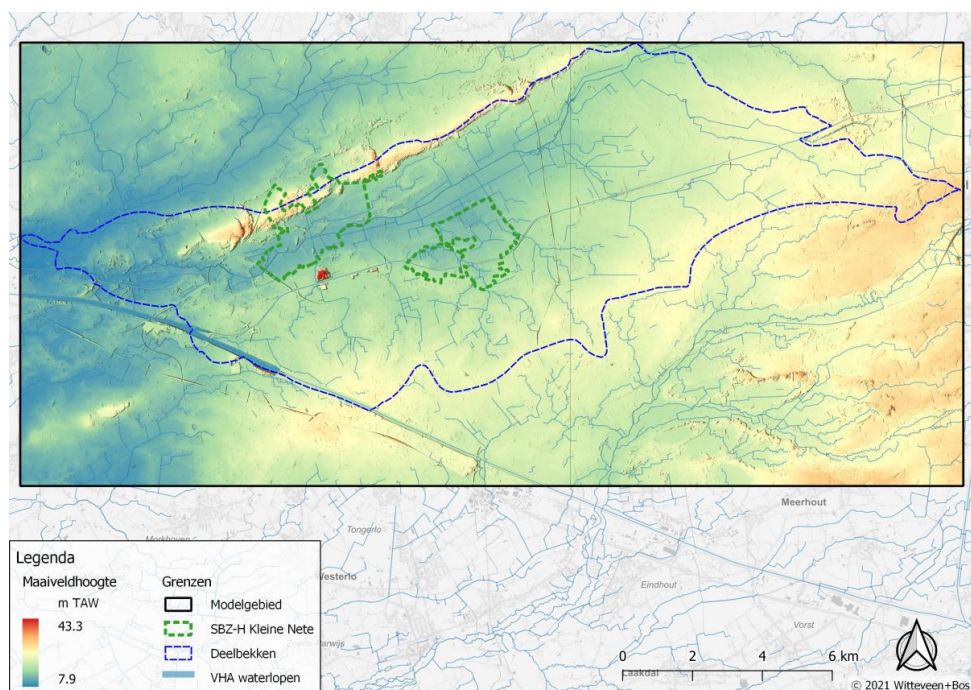
HYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE

Voorafgaand aan de modellering is een indicatieve hydrologische systeemanalyse¹ uitgevoerd, om inzicht te krijgen in bodemopbouw en grondwaterstroming. Na de bouw, kalibratie en validatie van het grondwatermodel (hoofdstuk 3) wordt de systeemanalyse verder toegelicht en kwantitatief onderbouwd, waarbij inzicht wordt gegeven in stroombanen, grondwaterstanden en de waterbalans van het gebied (afvoer, kwel).

De systeemanalyse is uitgevoerd voor een het gehele modelgebied, wat wordt beschouwd als het gebied waar aan de randen geen effecten zullen optreden van mogelijke ingrepen in het hydrologisch systeem rondom de te beschouwen natuur- en landbouwgebieden. In hoofdstuk 3 wordt de begrenzing van het modelgebied verder onderbouwd.

Afbeelding 2.1 toont een overzichtkaart van het modelgebied met daarin geprojecteerd het maaiveld, deelbekken, oppervlaktewateren en natuurgebieden Zegge-Mosselgoren en Olens Broek. De natuurgebieden liggen in het beekdal waarin naar verwachting kwel vanuit de hoger gelegen gebieden optreedt. Op het laagste punt in het beekdal, rond de Kleine Nete bevinden zich landbouwgronden. Door middel van drainage worden de freatische grondwaterstanden in dit landbouwgebied op het gewenste niveau gehouden.

Afbeelding 2.1 Maaiveldhoogte en overzicht studiegebied



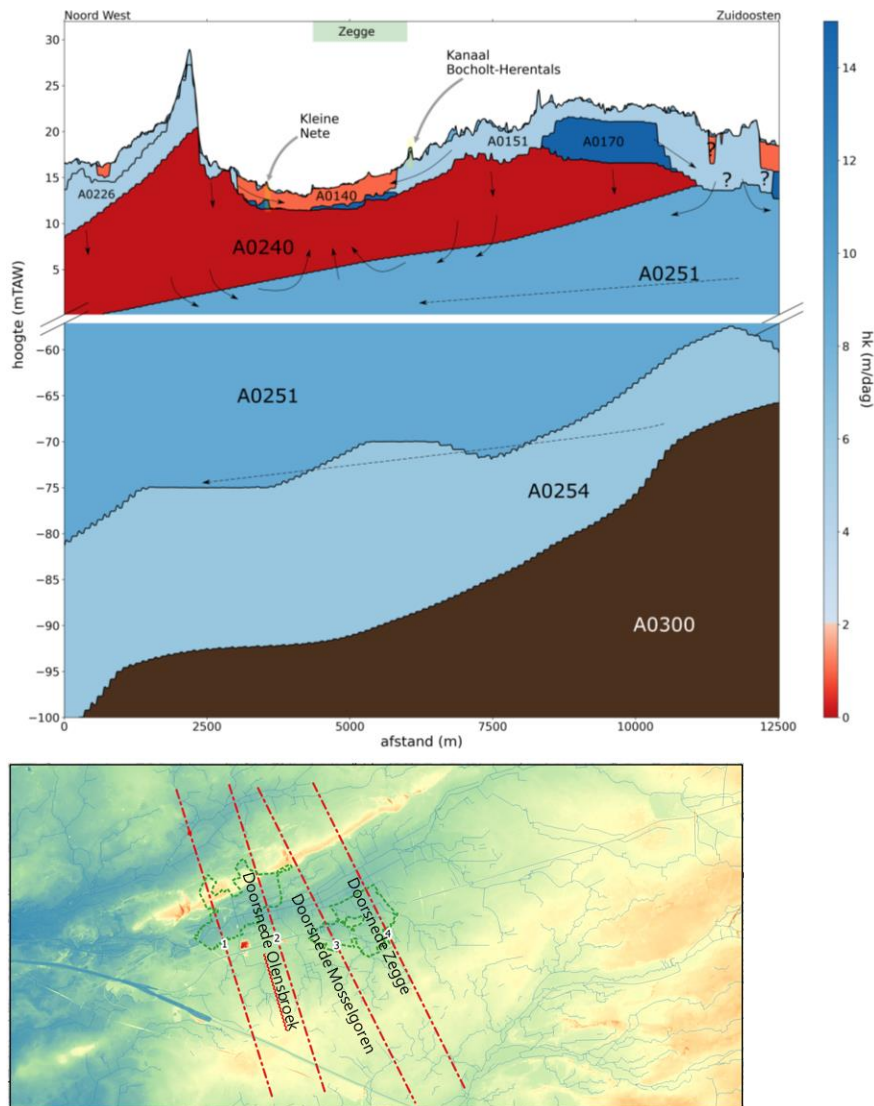
¹ De uitgebreide ecohydrologische systeemanalyse, waarvoor de output van het grondwatermodel ook wordt gebruikt, wordt opgenomen in het hoofdrapport

De bodemopbouw ter plaatse van het studiegebied bestaat uit een opeenvolging van alluviale en eolische deklagen gevolgd door pleistocene en pliocene zand- en grindafzettingen. Op circa 2 tot 15 meter diepte bevindt zich de Formatie van Kattendijk en Kasterlee (HCOV-laag A0240), deze bestaat uit een afwisseling van zand en klei en is zeer heterogeen. Omdat de kleiige zone van Kasterlee in deze laag de enige potentieel scheidende laag is boven de diepere Miocene en Oligocene zanden (die op de dikke Boom-klei liggen), is de heterogeniteit van deze A0240-laag een belangrijk onderdeel van de studie.

Afbeelding 2.2 toont de verwachte systeemwerking door middel van een doorsnede (zie bijlage I voor 4 doorsnede-figuren). Hierop is duidelijk het belang van de A0240-laag zichtbaar. In de hogere delen van het gebied infiltreert regenwater dat naar de diepere zandpakketten stroomt, en vervolgens in de lagere delen van het gebied (beekdalen, gedraineerde percelen) weer opkwelt of naar winningen stroomt. De mate van deze wegzijging en kwel is uiteraard zeer afhankelijk van de doorlatendheid van de A0240-laag, die weer volledig samenhangt met de kleisamenstelling van het pakket.

Naast de interactie met het diepere pakket middels kwel en infiltratie wordt het laaggelegen gebied ook gevoed door ondiepe, lokale grondwaterstroming en vindt er interactie plaats met de vele oppervlaktewatervgangen middels zowel infiltratie als drainage. De regionale diepe grondwaterstroming is van zuidoost naar noordwest.

Afbeelding 2.2 Samenvattende doorsnede systeembeschrijving Zegge (profiel 4), zie bijlage I voor alle doorsnedeplots



Tijdens de opbouw van het conceptuele model zijn de verschillende onderdelen van de systeembeschrijving in meer detail uitgewerkt. Na bouw en kalibratie van het model wordt de ecohydrologische systeemanalyse verder beschreven in het hoofdrapport, met behulp van de modeluitkomsten.

3

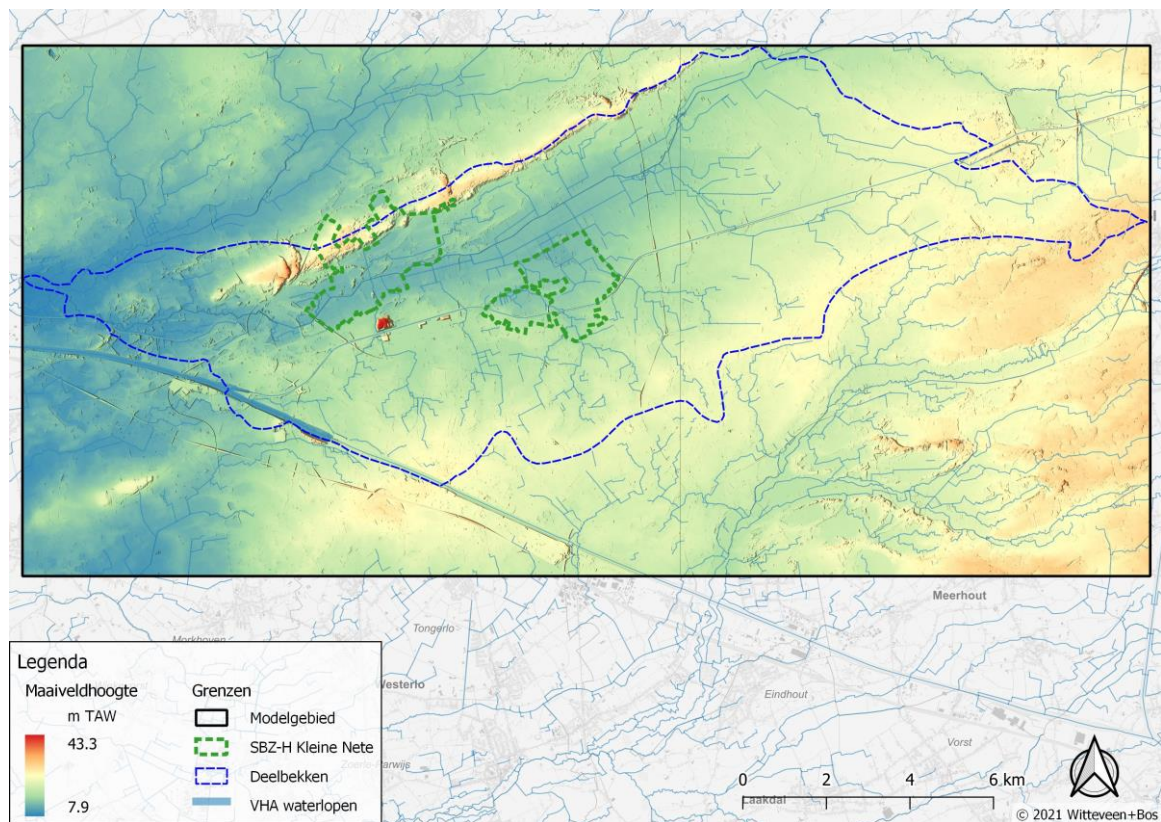
OPBOUW MODEL

In dit hoofdstuk is de opbouw van het model beschreven met de initiële parameters voor kalibratie.

3.1 Modelgebied en grid

In Afbeelding 3.1 is het modelgebied en de hoogtekartaat weergegeven [ref. 1]. Het modelgebied heeft een afmeting van 27,04 km (oost-west) bij 12,80 km (noord-zuid).

Afbeelding 3.1 Modelgebied en het deelbekken van de Kleine Nete



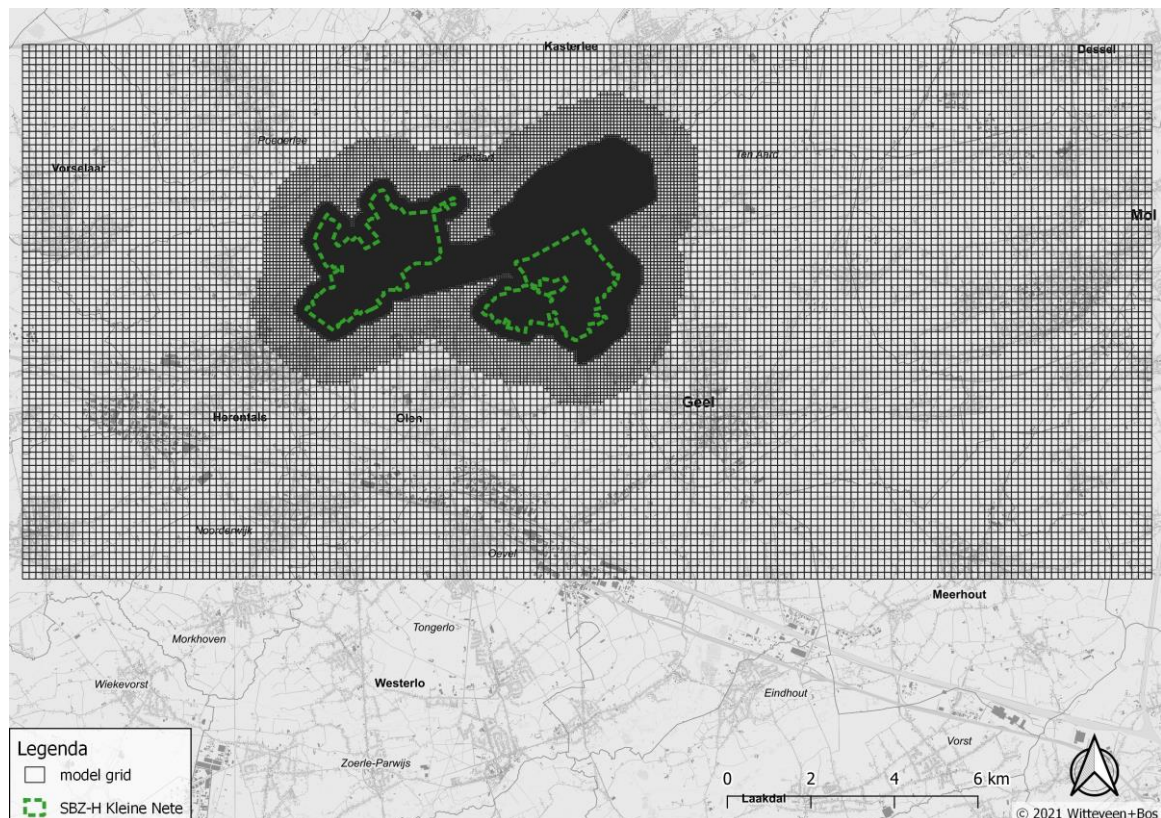
Het modelgebied is dusdanig groot gekozen dat het de te beschouwen natuur- en landbouwgebieden en het gehele deelbekken van de Kleine Nete omvat. Aan de zuidzijde is het model dusdanig uitgebreid dat het 2^e WVP dagzoomt binnen het modelgebied, zodat (een deel) van het intrekgebied van de diepere aquifer wordt meegenomen en er voldoende gemeten grondwaterstanden bekend zijn aan de zuidrand van het model om de grondwaterstanden aan de modelrand vast te kunnen stellen.

In Afbeelding 3.2 zijn het modelgebied en de modelcellen weergegeven. Het model is opgebouwd uit vier celgroottes:

- 10 x 10 m: op locatie van de natuurgebieden;
- 20 x 20 m: op locatie van de landbouwgebieden (ten noorden van de Zegge);
- 80 x 80 m: buffer rond de natuur- en landbouwgebieden;
- 160 x 160 m: overig modelgebied.

De verfijning van natuur- en landbouwgebieden is zichtbaar in het zwarte vlak, de natuurgebieden zijn aangegeven met een groene arcering. Deze verfijning in het model ligt a-centrisch ten opzichte van het gehele modelgebied, aangezien een groter intrekgebied aan de zuidkant en het Netedal aan de oostkant werden opgenomen.

Afbeelding 3.2 Celgrootte in het modelgebied



3.2 Modellen

Voor het maaiveld in het projectgebied is gebruik gemaakt van het digitale hoogtemodel (DHM, ref 1). Het maaiveld heeft een hoogte van 7,9 m TAW tot 43,3 m TAW. De modellen zijn geschematiseerd aan de hand van de HCOV-kartering versie 2 [ref.5], zie Tabel 3.1. De doorlatendheden zijn initieel ingevoerd en worden vervolgens exacter bepaald tijdens de kalibratie.

Tabel 3.1 Bodemopbouw zoals opgenomen in het model

Model-laag	Subeenheid (baseisiteit)	Omschrijving van laag	Samenstelling	Gem. dikte (m)	kh (m/dag)	kv (m/dag)
-	A0110	ophogingen	-	3,76		
-	A0120	duinen	zand (leem, veen, klei, schelpen)	1,43		
1 en 2	A0140	alluviale deklagen	zand (klei, leem, grind, veen)	2,21	1	0,1
3 en 4	A0150 (A0151)	eolische deklagen buiten de Roerdalslenk (zandige deklagen)	zand (leem, veen en klei)	2,71	5	0,5
5	A0170	pleistocene afzettingen	zand-grind (veen, klei, schelpen)	1,51	15	1,5
6	A0220 (A0226)	pleistoceen en plioceen aquifersysteem - west (ongedifferentieerde zanden van Lillo en Poederlee)	zand (klei, grind, zandsteen, glauconiet en schelpen)	6,26	5	0,5
7	A0230 (A0231)	pleistoceen- en plioceenaafzettingen – oost	zand (klei, veen, glimmers en glauconiet)	14,76	14	1,4
8	A0240	kleilig zand van Kattendijk en Kasterlee	zand (klei, glimmers, grind, glauconiet en schelpen)	8,06	0,002 (klei) - 2 (zand) ¹	0,0002 (klei) - 0,004 (zand) ¹
9	A0250 (A0251)	mioceen en boven-oligoceen aquifersysteem (zand van Diest buiten de Roerdalslenk)	zand (klei, zandsteen, grind, glauconiet en schelpen)	78,52	9	0,9
10	A0250 (A0254)	mioceen en boven-oligoceen aquifersysteem (zanden van Berchem en Voort buiten de Roerdalslenk)	zand (klei, grind, glauconiet en schelpen)	19,06	6	0,6
basis	A0300	boom Aquitard	klei en silt (zand, glauconiet, septaria, silt, organisch materiaal en basisgrind)	100,11	0	0

In de tabel valt op dat:

- geologische lagen A0140 en A0150 zijn opgesplitst om extra modellagen in de ondiepe bovengrond te creëren;
- laag A0240 vormt de enige (deels) minder goed doorlatende laag tussen het bovenste en onderste watervoerende pakket. De dikte en aanwezigheid van de laag varieert ruimtelijk en betreft een grote onzekerheid. De laag is bepalend voor de interactie tussen het diepe en ondiepe grondwater. Later in deze paragraaf wordt deze laag verder beschreven;
- de boom aquitard vormt de geohydrologische basis van het model.

In de laatste kolom van de Tabel 3.1 is de verwachte horizontale doorlatendheid (kh) in meters per dag gegeven. De initiële modelwaarden zijn bepaald aan de hand van:

- ECA grondwatermodel [ref. 3];
- Graafweide-Schupleer grondwatermodel [ref. 4].

¹ Op basis van initiële waarden AGT [ref. 13].

In het model is voor kalibratie een anisotropie van 10 aangehouden, wat inhoudt dat de horizontale doorlatendheid 10 maal zo groot is als de verticale doorlatendheid. Ook dit wordt tijdens de kalibratie getoetst en mogelijk geoptimaliseerd.

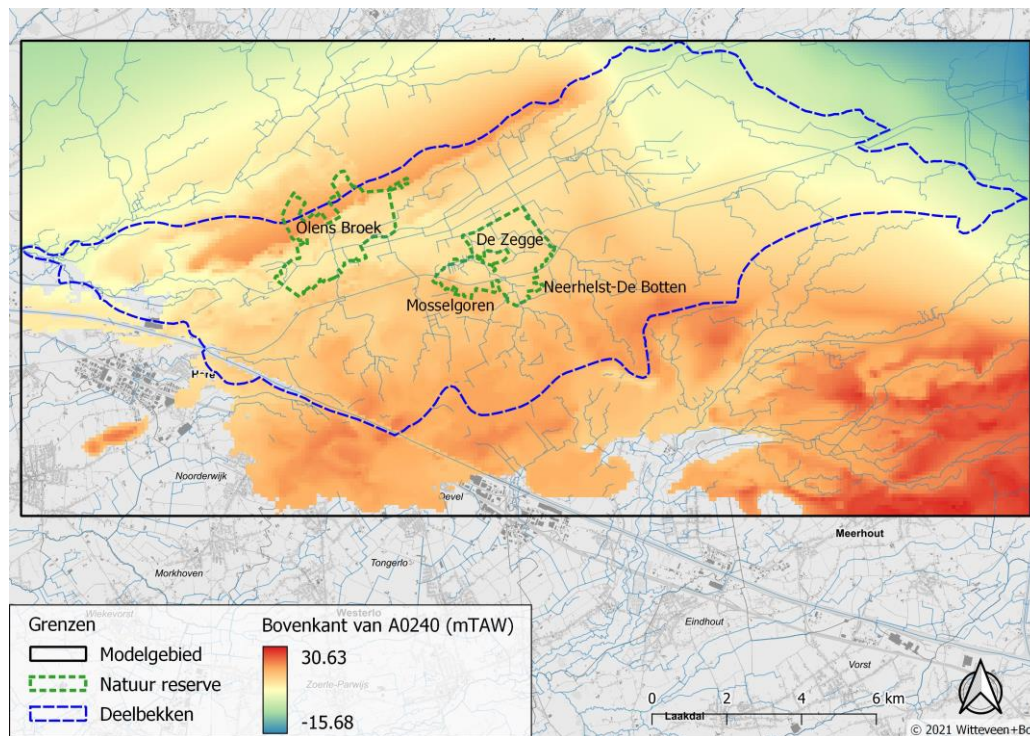
A0240-laag

De bodemopbouw van het gebied bestaat voornamelijk uit zandige goed doorlatende lagen. Omdat er geen sprake is van scheidende (klei)lagen is de laag die de meeste weerstand biedt in de ondergrond de A0240-laag. De code A0240 staat voor de subeenheid 'Kleiige zanden van Kattendijk en Kasterlee' van de hoofdeenheid 'Kempens Aquifersysteem' (A0200) in HCOV-v2 classificatie. Deze subeenheid bestaat uit fijne zanden met daarin kleiige zones. De ligging en dikte van enerzijds de A0240-laag zelf en anderzijds van de kleiige zones binnen de laag zijn nader onderzocht.

Ligging A0240

In Afbeelding 3.3 is de bovenkant van de A0240-laag weergegeven. De laag ligt gekanteld richting het noorden waardoor de afzetting dagzoomt in het zuiden. In het zuidelijk gedeelte van het model is de laag dan ook niet aanwezig. Bij het opstellen van de HCOV-v2 classificatie is de disclaimer opgenomen dat de data niet absoluut correct is. Door de complexiteit van het onderscheiden van de verschillende pakketten zitten er ook verschillen in de aanwezigheid van de A0240-laag met de eerdere 0240 laag van de HCOV-v1. Door de onzekerheid en de grote invloed op het grondwatermodel is de A0240-laag zeer grondig beschouwd.

Afbeelding 3.3 Bovenkant A0240-laag volgens HCOV-v2 classificatie (m+TAW)



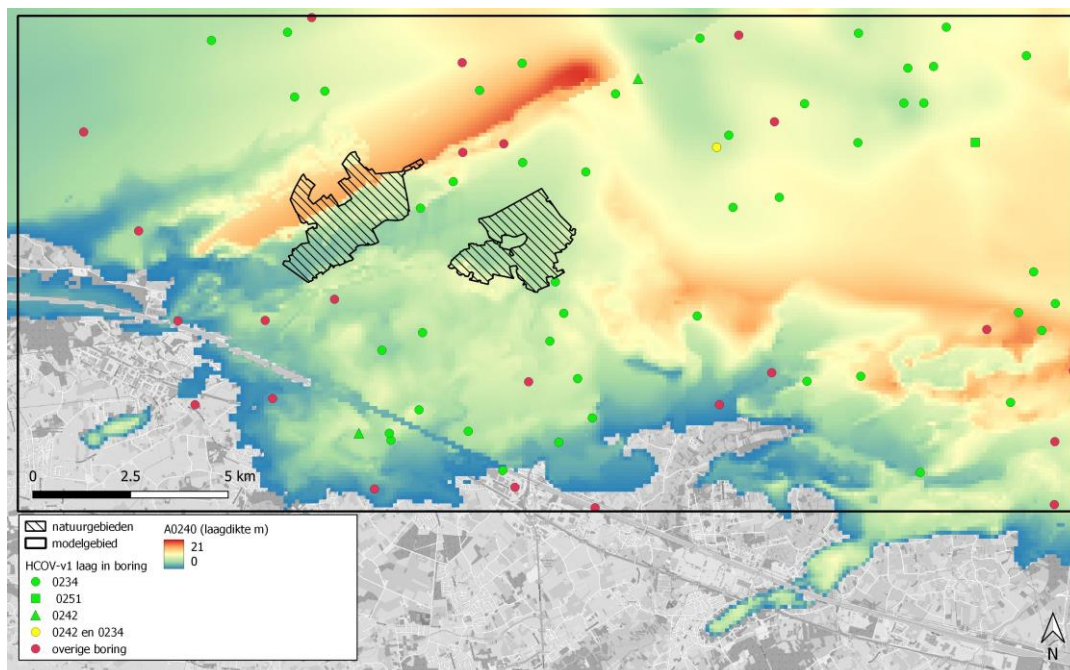
Om de aanwezigheid van de A0240-laag te controleren is er naar boringen binnen het modelgebied gekeken met een minimale diepte van 80 m-mv in de database van DOV Vlaanderen. De boringen zijn geclassificeerd volgens de HCOV-v1, hierdoor is er rekening gehouden met de verschillen tussen de classificaties. De eerdere 0240 en drie andere zandige en kleiige eenheden zijn vervangen door de A0240-laag [ref. 5]. Dit betreft HCOV-v1 laag 0234 (Zand van Poederlee en/of zandige top van Kasterlee), 0241 (Kleiige deel van Lillo en/of van de overgang Lillo/Kattendijk) en 0251 (Zand van Kattendijk en/of onderste zandlaag van Lillo) [ref. 5]. In Afbeelding 3.4 zijn de beschouwde boringen (HCOV-v1 classificatie) en de ligging en dekking van de A0240-laag (HCOV-v2 classificatie) weergegeven. Voor elke boring is bekeken

welke lagen er opgenomen zijn in de hydrogeologische stratigrafie van de boring. De HCOV-v1 lagen 0234, 0242 en 0251 laag zijn hierbij bestempeld als A0240-laag [ref. 5].

Uit de boringen blijkt een behoorlijk goede dekking van het voorkomen van de A0240-laag. De boringen die buiten het dekkingsgebied van de A0240-laag liggen laten ook geen voorkomen van de laag zien. De meeste boringen in het dekkingsgebied geven de aanwezigheid van de A0240-laag weer. Opvallend is een aantal boringen op locaties waar de A0240-laag aanzienlijk dik wordt verondersteld maar hier niet aanwezig is volgens de hydrogeologische stratigrafie. Dit is te zien ten noorden van natuurgebied De Zegge en in de zuidoosthoek van het model.

Op basis van het dekkingsgebied van de A0240-laag en de boringen is het exact vaststellen van de ligging van de laag onzeker. In de natuurgebieden zijn geen diepe boringen aanwezig met hydrogeologische stratigrafie. De boringen rondom de natuurgebieden tonen aanwezigheid van de A0240-laag aan. Er is daarom uitgegaan van de ligging van de laag zoals vastgesteld in de HCOV-v2 aangezien deze (deels) op dezelfde boringen is vastgesteld als beschouwd in Afbeelding 3.4.

Afbeelding 3.4 Boringen in het modelgebied van minstens 80 m-mv en overeenkomende HCOV-v1 lagen met A0240-laag



Afbakening kleiige zones binnen A0240

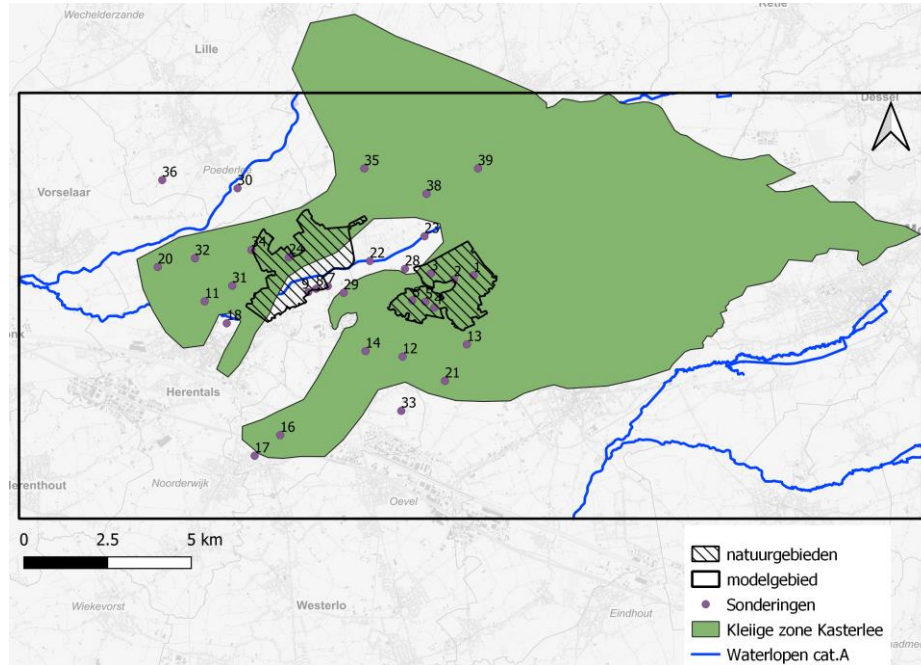
Zoals eerder genoemd komen binnen de fijne zanden van de A0240-laag kleiige zones voor. Het voorkomen van deze kleiige zones is zeer heterogeen en dus een nog grotere onzekerheid dan de dikte en ligging van de A0240-laag zelf. Deze aanwezigheid en dikte van de weerstandbiedende zones zijn zeer sturend voor de interactie tussen diep en ondiep grondwater omdat het de enige weerstandbiedende laag in de ondergrond is.

Parallel aan de huidige studie werkt AGT aan een grondwaterstudie voor Umicore met een vergelijkbaar projectgebied, als onderdeel van deze studie zijn circa 40 sonderingen binnen het gebied van de Zegge geplaatst met als doel om de kleiige zone binnen de A0240-laag te karteren. Gezien de relevantie voor de huidige studie is besloten de resultaten van AGT te gebruiken voor de afbakening van de kleiige zone¹. Zo zijn de meest actuele inzichten in de ondergrond meegenomen en wordt voorkomen dat 2 modellen van

¹ Hiervoor heeft de modellering tijdelijk stilgelegen.

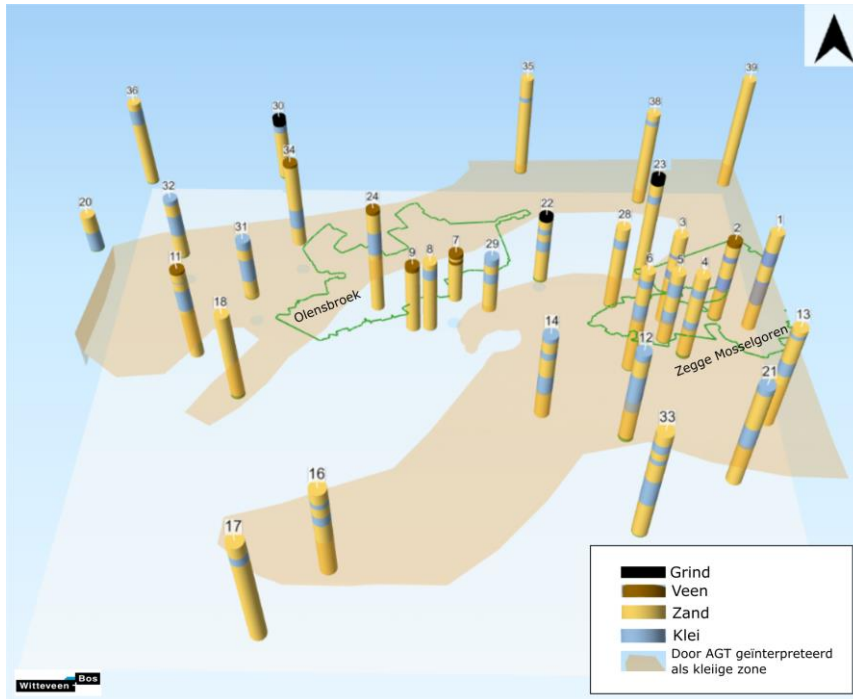
eenzelfde gebied sterk verschillen in opbouw en systeemwerking. De afbakening, zoals ontvangen van AGT, met daarbinnen de locaties van de sonderingen is weergegeven in Afbeelding 3.5.

Afbeelding 3.5 Afbakening Kleiige zone Kasterlee binnen A0240-laag op basis van recente sonderingen en reeds bestaande boringen, sonderingen en systeemkennis van de geologie (bron: AGT)



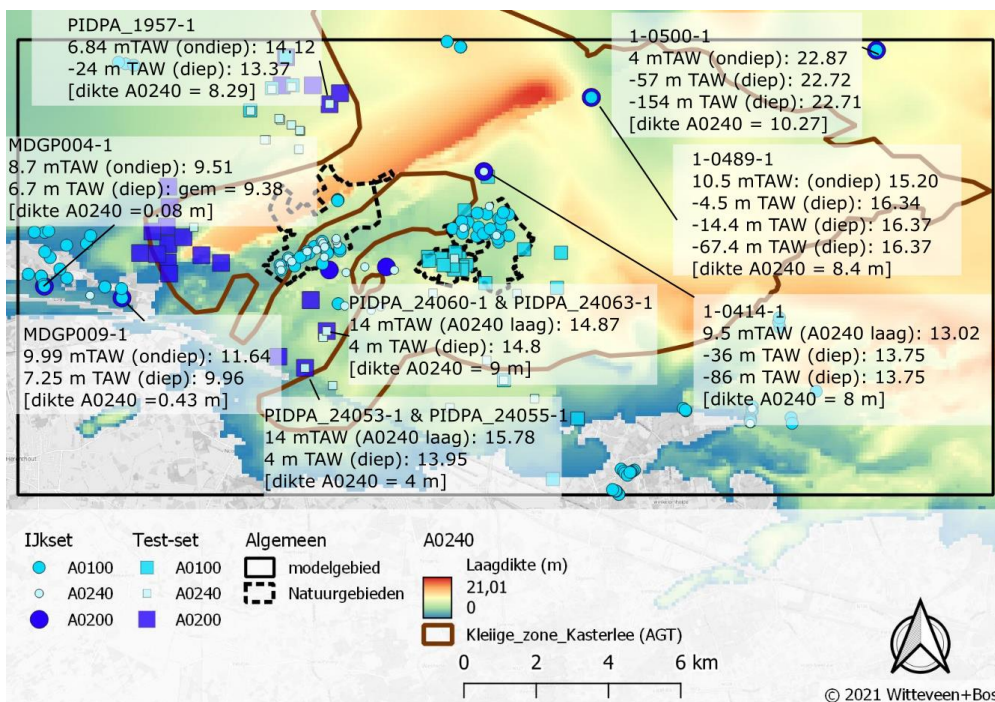
Om de afbakening enigszins te controleren zijn de sonderingen met de door AGT geïnterpreteerde afbakening in een 3D-weergave geplot (zie Afbeelding 3.6). Hierop is de grote onzekerheid van het voorkomen van de kleiige zones goed zichtbaar. In de eerste plaats liggen ook buiten de afbakening nog sonderingen waarin kleilenzen gevonden zijn (sondering 33 en 36), dit is het resultaat van de kwalitatieve methode waarop de afbakening door AGT is opgesteld. Naast de kwantitatieve kleiuiding in de sonderingen is namelijk ook gekeken naar de context binnen het systeem (aanwezige boringen, sonderingen en algemene systeemkennis van de geologie) waardoor soms een sondering met klei buiten de afbakening kan vallen. Ten tweede verschilt de dikte van de gevonden klei sterk binnen de gevonden afbakening (zie bijvoorbeeld sondering 12 ten opzichte van sondering 3).

Afbeelding 3.6 Resultaten sonderingen om Kleiige zone van Kasterlee in kaart te brengen



Naast de sonderingen zijn ook alle peilbuizen met zowel diepe als ondiepe filters geanalyseerd (zie Afbeelding 3.7). Hierin duidt een groot verschil tussen diepe en ondiepe filters op een hoge weerstand van de A0240-laag, andersom duidt een klein verschil juist op een lage weerstand en ontbreken van een kleiige zone. Aangezien de meeste peilbuizen buiten of op de rand van de afbakening liggen is de correctheid moeilijk te controleren.

Afbeelding 3.7 Analyse peilbuisdata boven en onder A0240: ondiep betekent boven de A0240-laag en diep eronder. Het eerste getal per rij betreft de diepte van het filter en het tweede getal de gemiddeld gemeten grondwaterstand/stijghoogte



Ondanks de nog steeds geldende onzekerheid is voor het initiële model, zoals eerder aangegeven, de aangeleverde afbakening gebruikt voor de kleiige zone binnen de A0240-laag. In het model is dus de dikte en omvang van de A0240-laag aangehouden, maar is binnen de afbakening van de kleiige zone de horizontale en verticale doorlatendheid verlaagd naar representatieve waarden voor klei (in eerste instantie gelijk aan de initiële waarden gebruikt door AGT [ref. 13]: een kh en kv van respectievelijk 0,002 en 0,0002 m/dag). Voor het zandige deel is een kh van 2 en kv van 0,004 m/dag gebruikt.

Gezien de grote onzekerheid binnen deze laag worden tijdens de kalibratie de parameterwaarden verder geoptimaliseerd.

3.3 Stijghoogte aan de randen

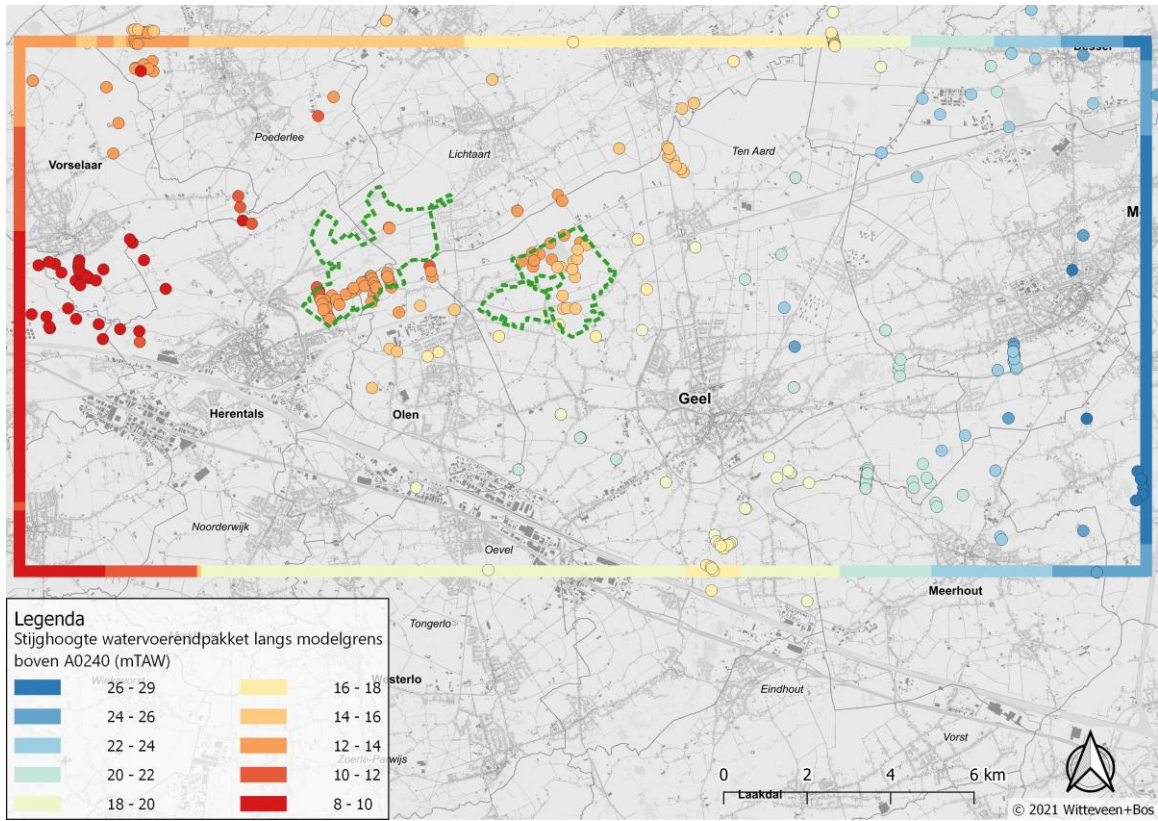
Voor de modellering is gekozen om de stijghoogte aan de randen vast te zetten om de grondwaterstroming over de modelrand te simuleren. De stijghoogte is daarom langs alle modelgrenzen in het watervoerende pakket vastgezet. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen de watervoerende lagen boven de HCOV A0240-laag en de watervoerende lagen hieronder.

De volgende stappen zijn genomen voor het bepalen van de stijghoogte langs de randen:

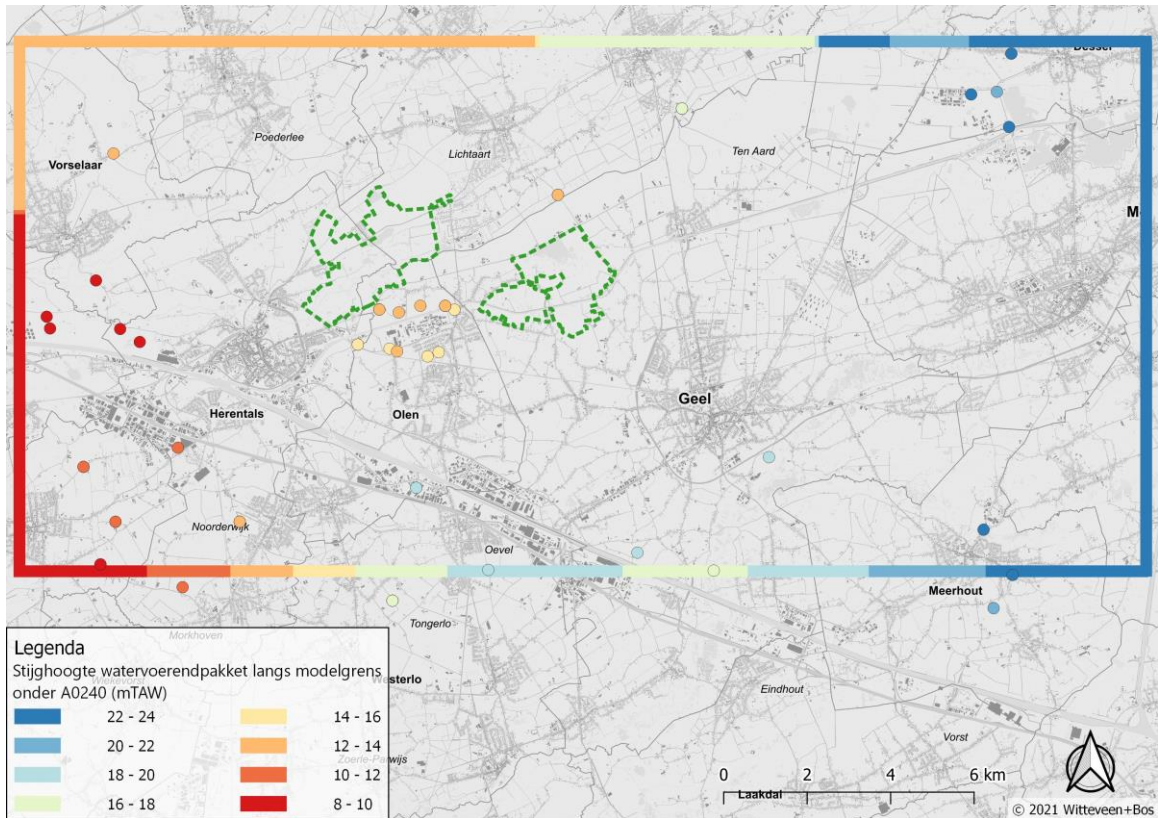
- peilbuisdata verzameld langs de randen;
- aan de hand van filterdieptepositie ten opzichte HCOV240 laag zijn de peilbuizen gesplitst in twee groepen: met ligging boven of onder A0240-laag;
- de gemiddelde stijghoogte van de tijdreeksen genomen;
- rand vastgezet in de laag horend bij de peilbuisgroep (boven of onder HCOV240);
- peilbuisdata aan een punt toegewezen op de rand;
- tussen de punten lineaire interpolatie toegepast om over de hele modelrand een stijghoogte vast te zetten;
- in de bovenste lagen de stijghoogte vastgezet als de bodemhoogte lager ligt dan de gemeten stijghoogte.

In Afbeelding 3.8 en Afbeelding 3.9 is de stijghoogte langs de modelrand weergegeven in de watervoerende lagen boven en onder de A0240-laag. In beide pakketten is de hoogste stijghoogte gemeten aan de oostkant van het model met een gemiddelde stijghoogte van TAW +22 tot +27 m. Richting het zuidwesten daalt de stijghoogte tot de laagste waarde van TAW +8 tot +10 m. De peilbuizen geven een beeld van de globale grondwaterstroming in het gebied dat een dominante stroming van oost naar west heeft. Lokaal wordt de freatische grondwaterstroming bepaald door reliëf, ontwatering en onttrekkingen.

Afbeelding 3.8 Stijghoogte langs modelrand op basis van gemiddelde peilbuismetingen over het jaar 2008-2018 boven A0240-laag



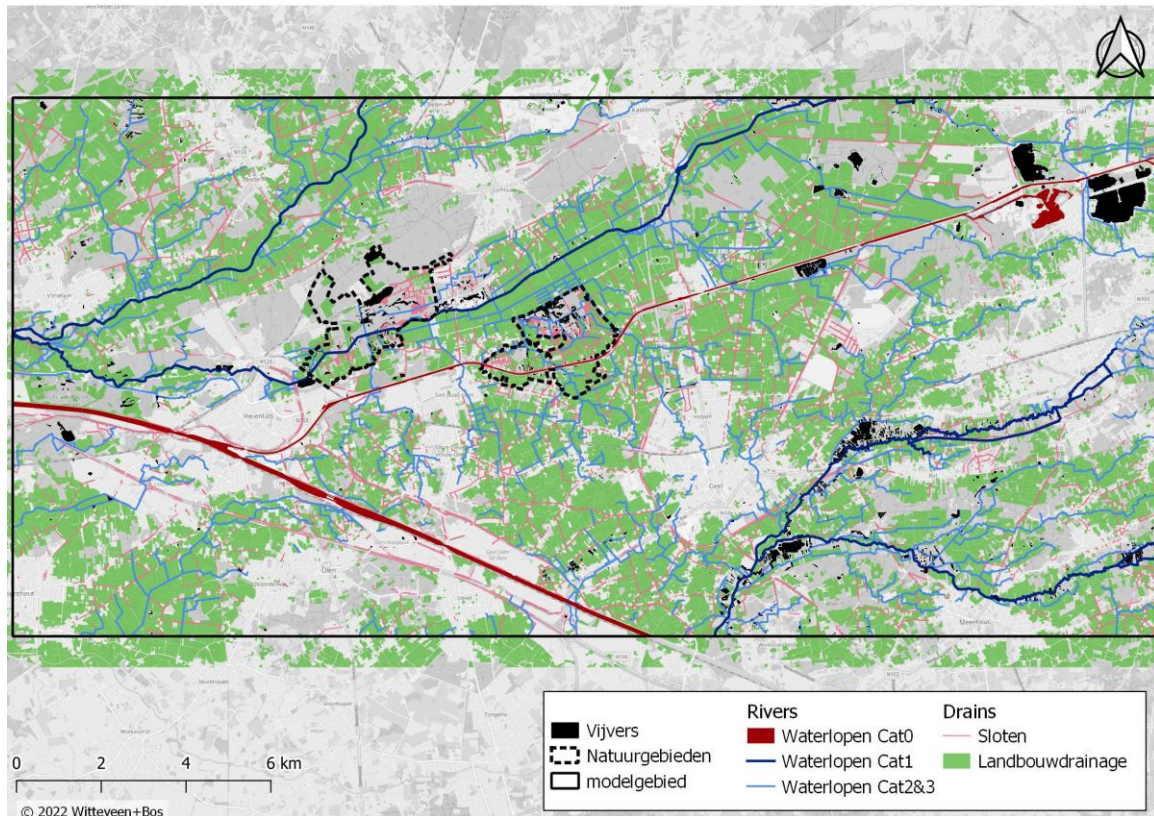
Afbeelding 3.9 Stijghoogte langs modelrand op basis van gemiddelde peilbuismetingen over het jaar 2008-2018 onder A0240-laag



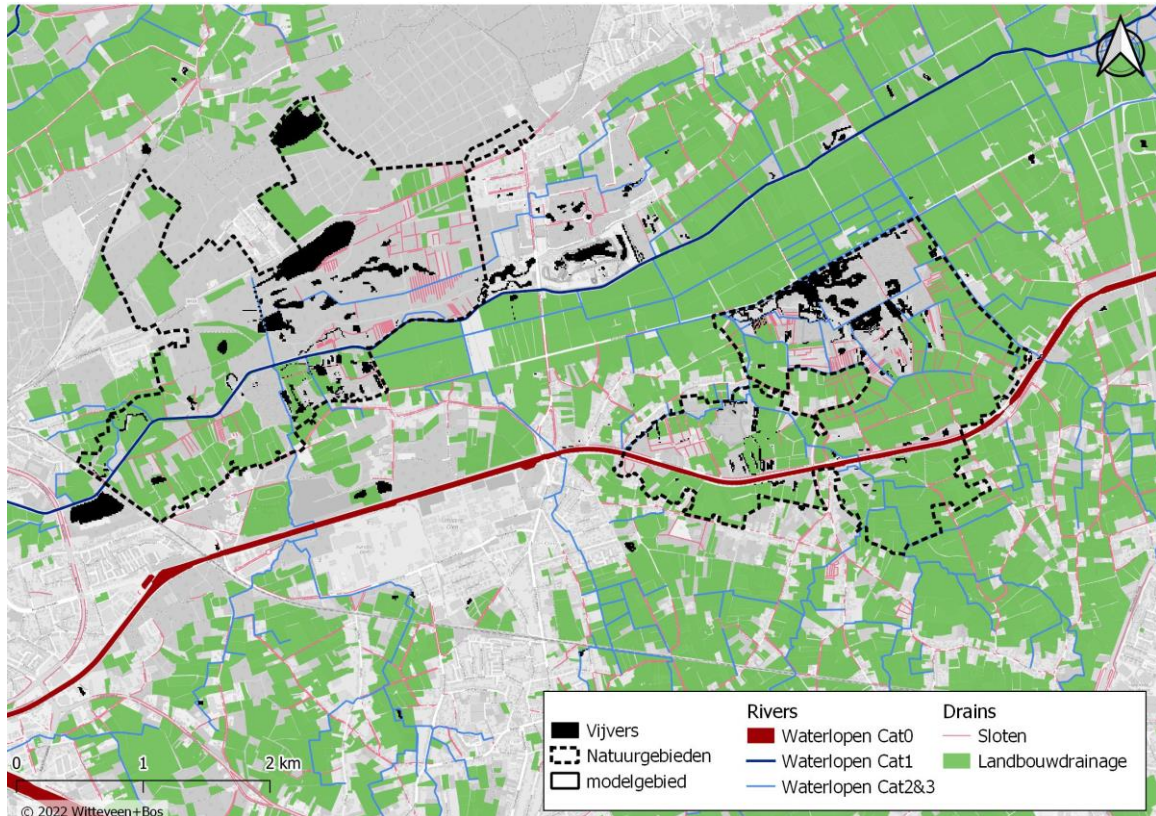
3.4 Waterlichamen

Het modelgebied bevat verschillende waterlichamen zoals kanalen, beken, grachten/sloten en plassen. Waterlichamen kunnen in het gebied een wisselende functie hebben door het draineren en/of voeden van aanliggende percelen. In Afbeelding 3.10 en Afbeelding 3.11 zijn de waterlichamen en locaties met landbouwdrainage weergegeven.

Afbeelding 3.10 Waterlichamen en locaties met landbouwdrainage



Afbeelding 3.11 Waterlichamen en locaties met landbouwdrainage (detail)



Voor het verkrijgen van de ligging en waterhoogte van de waterlichamen in het gebied zijn verschillende bronnen gebruikt. In Tabel 3.2 is een overzicht gegeven van de waterlichamen in het modelgebied. In de eerste kolom is de bron van herkomst van het waterlichaam opgenomen. In de tweede kolom zijn de belangrijkste waterlopen of het type waterlichaam beschreven. In de derde kolom is de manier waarop het waterlichaam is opgenomen in het model beschreven en in de vierde kolom geeft weer welke informatie is gebruikt voor het bepalen van de waterhoogte.

Tabel 3.2 Overzicht waterlichamen in grondwatermodel

Herkomst	Waterlichaam	Op welke manier in model	Informatie waterstand
Vlaams hydrologische Atlas (VHA) categorie 0 watergang [ref. 8]	kanalen (Albertkanaal, Kanaal Bocholt-Herentals)	modflow river (drainerend en voedend)	waterinfo [ref. 6]
VHA categorie 1 watergang [ref. 8]	grote watergangen (De Aa, Kleine Nete, Molsse Nete, Grote Nete)	modflow river (drainerend en voedend)	Integrated Catchment Modelling (ICM) [ref. 7]
VHA categorie 2 en 3 watergang [ref. 8]	kleine watergangen (Sasloop, Zegge loop, Centrale Loop etc.)	modflow river (drainerend en voedend)	DTM (-0,5 m*), bijkomende metingen van Dienst Integraal Waterbeleid (DIW) [ref. 1]
grootschalig Referentie Bestand (GRB) - (waterloop, beek of sloot) [ref. 9]	sloten	modflow drain (drainerend)	DTM (-0,5 m*) [ref. 1]
landgebruik raster Geopunt.be	landbouw percelen	modflow drain over gehele perceel (drainerend)	DTM (-0,8 m**) [ref. 1]
VHA (vijvers en plassen ontsloten uit meerdere lagen) [ref. 8]	vijvers	vrij fluctuerend in modellaag met hoge doorlatendheid en 100 % opslag***	vrij fluctuerend, geen vast peil

*Correctie op overschatting van de waterhoogte door begroeiing en beperkte breedte van sloten.

**Gangbare aanlegdiepte voor perceeldrainage.

***Gangbare wijze van modelleren van plassen die niet peil gestuurd worden.

De waterstanden voor het model zijn op vier manieren verkregen:

- 1 **waterinfo**: voor de kanalen zijn tijdreeksen beschikbaar. Voor het afleiden van de gemiddelde oppervlaktewaterpeilen is de mediaan (d50) op de meetlocaties berekend. Voor het instationaire model zijn een zomer- en winterstand berekend. Tussen de meetpunten is lineaire interpolatie toegepast voor het bepalen van de waterstand. Een aantal meetpunten heeft geen metingen voor 2010, deze zijn voor die jaren overgeslagen in de interpolatie;
- 2 **Integrated Catchment Modelling (ICM)**: de waterhoogte komt uit het oppervlaktewatermodel. Het betreft een hydrodynamisch 1D-model waaruit afvoer-waterhoogte relaties kunnen worden afgeleid. De input van het model werd gegenereerd door de VMM op basis van statistische analyse op reeksen afkomstig van de limnigrafen uit de buurt. Uit het model is de mediaan genomen van de Q50 afvoer;
- 3 **Dienst Integraal Waterbeleid (DIW)**: van het DIW van de Provincie Antwerpen zijn oppervlaktewatermetingen ontvangen van vier locaties in het natuurgebied De Zegge. Van deze tijdreeksen is de mediaan gebruikt. Tussen de meetpunten is lineaire interpolatie toegepast;
- 4 **Digitale Hoogtemodel (DHM)**: van het digitale hoogtemodel is het digitale terrein model (DTM) gebruikt voor het bepalen van de overige waterstanden. Van het DTM is veelal gebruik gemaakt voor smalle watergangen. Het DTM berekent de maaiveldhoogte op basis van vlakdekkende metingen. Echter op locaties die dicht begroeid zijn en een smalle verlagings hebben (een sloot) wordt vaak de hoogte niet goed ingeschat. Daarom is er op locaties waar gebruik is gemaakt van het DTM een extra verlagings van 0,5 m toegepast.

Naast de waterhoogte zijn er voor de waterlichamen ook een bodemhoogte, breedte en weerstand opgegeven afhankelijk hoe het waterlichaam is opgenomen in het model. Deze waarden zijn bepaald op basis van beschikbare data, referentiestudies en ervaring. Een overzicht van de initiële parameters voor kalibratie is opgenomen in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Initiële parameters waterlichamen grondwatermodel voor waterlichamen waar geen aanvullende informatie voor beschikbaar is

Waterlichaam	Opgenomen als	Bodemhoogte	Breedte	Weerstand
kanalen	river	3,3 m onder waterstand	op basis van bathymetrie	100 dagen
grote watergangen	river	1,5 m onder waterstand	5 m	5 dagen
kleine watergangen	river	1,0 m onder waterstand	2 m	5 dagen
sloten	drain	n.v.t.	1 m	5 dagen
landbouw percelen	drain	n.v.t.	gehele oppervlak	100 dagen
vijvers	-	1,5 m onder waterstand	gehele oppervlak	n.v.t.

Beschikbaarheid gegevens

Voor het grondwatermodel zijn aanvullende gegevens gebruikt voor de oppervlaktewaterlichamen:

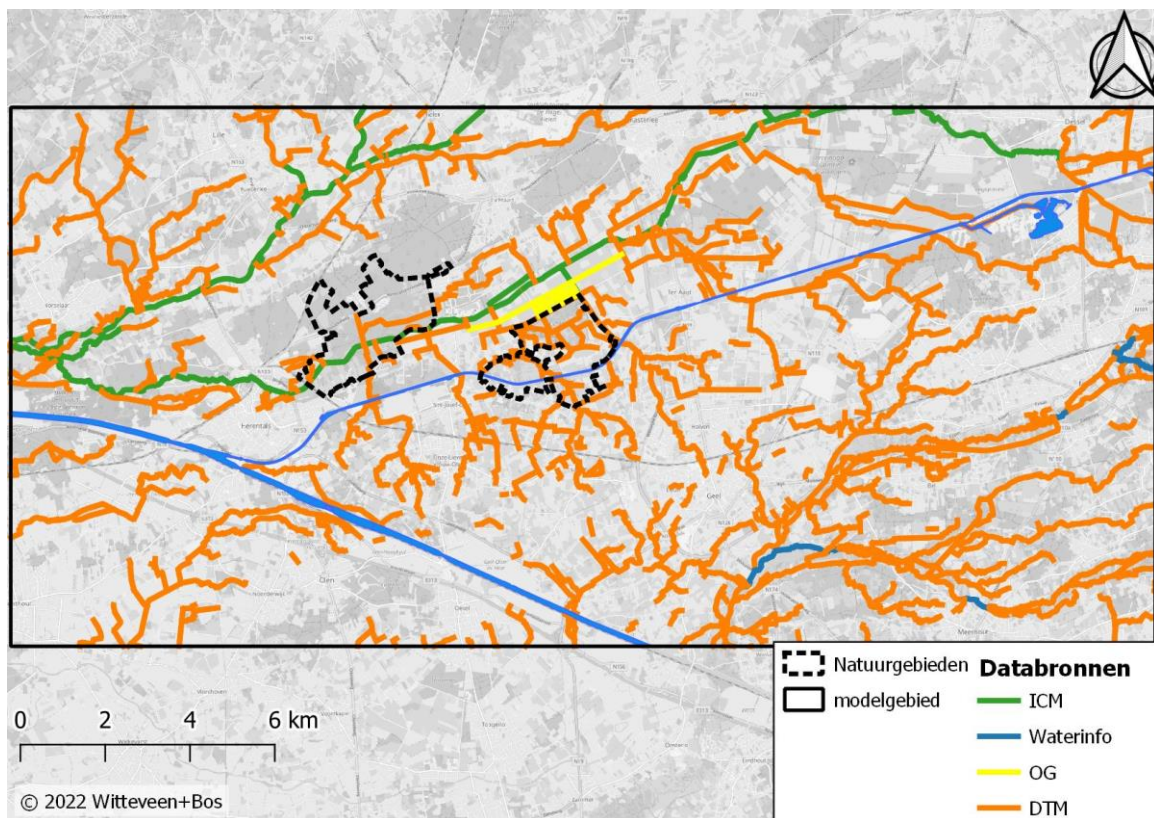
- bodempeil voor het kanaal Bocholt-Herentals zijn deels beschikbaar;
- gegevens uit het oppervlaktewatermodel wat betreft de breedte en diepte van de Kleine Nete;
- bodemprofielen voor tracés van de Centrale Loop;
- voor het natuurgebied de Zegge is van een aantal vijvers de bodemhoogte opgemeten in m TAW. Van deze metingen is per vijver een gemiddelde genomen en gebruikt als bodemhoogte;

- de locaties van alle sloten en watergangen in de natuurgebieden zijn geverifieerd door ANB, waar nodig zijn watergangen weggehaald of aangevuld in het model.

Landbouw drainage

Voor informatie over sloten in het landbouwgebied is beperkt informatie beschikbaar. De sloten die beschikbaar zijn in de watergrachtenlaag (WGR) uit het Groot Referentie Bestand (GRB) zijn opgenomen in het model. Deze informatie is echter gefragmenteerd en onvolledig. Sloten fungeren doorgaans als een drainerend waterlichaam om de waterhoogte onder aanliggende percelen te verlagen. Door het onvolledig invoeren van de sloten ontstaat er een overschatting van de waterstand onder de percelen. De percelen worden dan immers te weinig gedraineerd. Om tot de juiste berekende grondwaterstanden te komen, is er onder de landbouwpercelen drainage toegepast. Hierbij is het drainageniveau op 0,8 m onder maaiveld gelegd wat een gangbare inbeddingsdiepte voor landbouwdrainage betreft [ref. 2 en 12]. Landbouwdrainage bestaat doorgaans uit parallelle drainagebuizen onder een perceel met een onderlinge afstand van 10-12 m. In het model wordt onder een volledig perceel drainage toegepast. Om niet tot een overschatting van de drainage te komen wordt dit gecorrigeerd met een weerstand van 100 dagen [ref. 12]. Dit is een grove inschatting die verder is geoptimaliseerd tijdens de instationaire kalibratie.

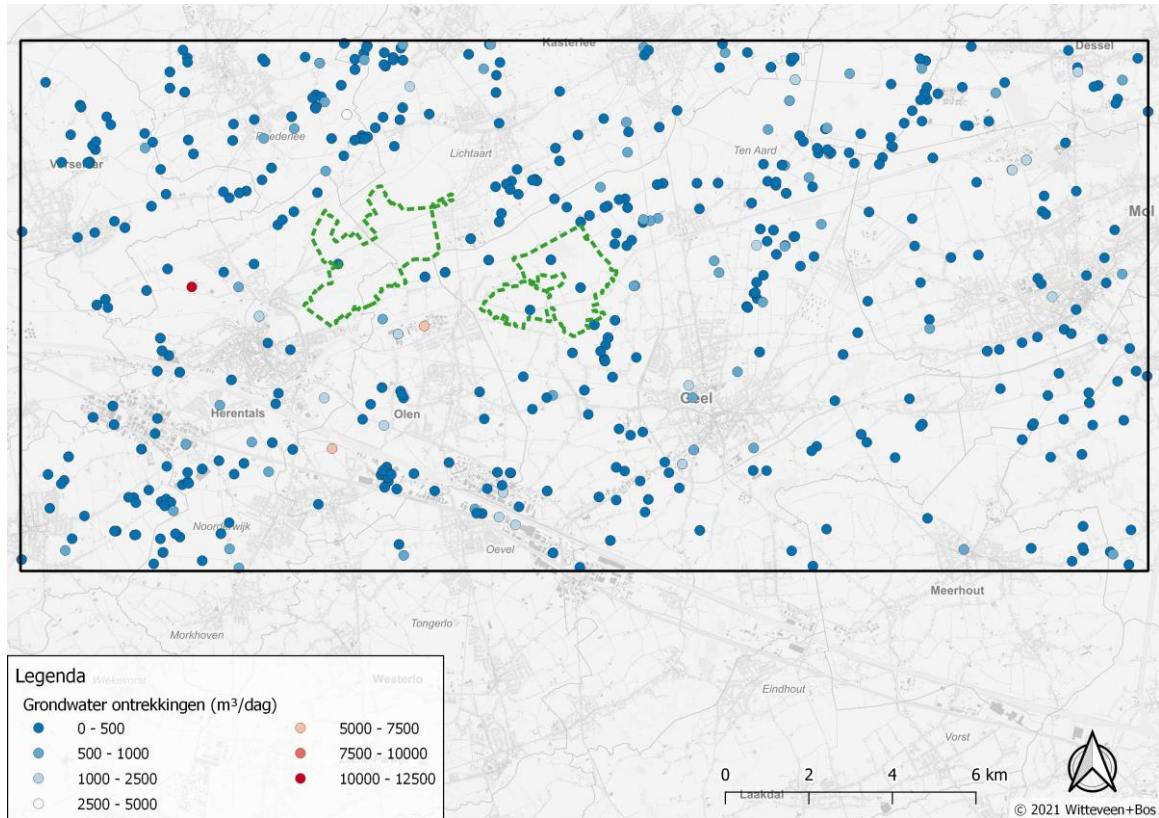
Afbeelding 3.12 Overzicht watergangen en gebruikte databron voor de waterhoogte



3.5 Bronnen en pompen

Binnen het modelgebied bevinden zich grondwateronttrekkingen. De onttrekkingen bestaan uit onttrekkingen voor landbouw, industrie en drinkwater. De onttrekkingen zijn in het model opgenomen als variabele of constante onttrekkingen op basis van de omvang van de onttrekking. De variabele onttrekkingen zijn grote onttrekkingen met een debiet groter dan 1 miljoen m³ per jaar. Voor de constante onttrekkingen is in het model uitgegaan van 80 procent van het vergund debiet. In Afbeelding 3.13 zijn alle grondwateronttrekkingen in het gebied opgenomen.

Afbeelding 3.13 Grondwateronttrekkingen binnen het model gebied

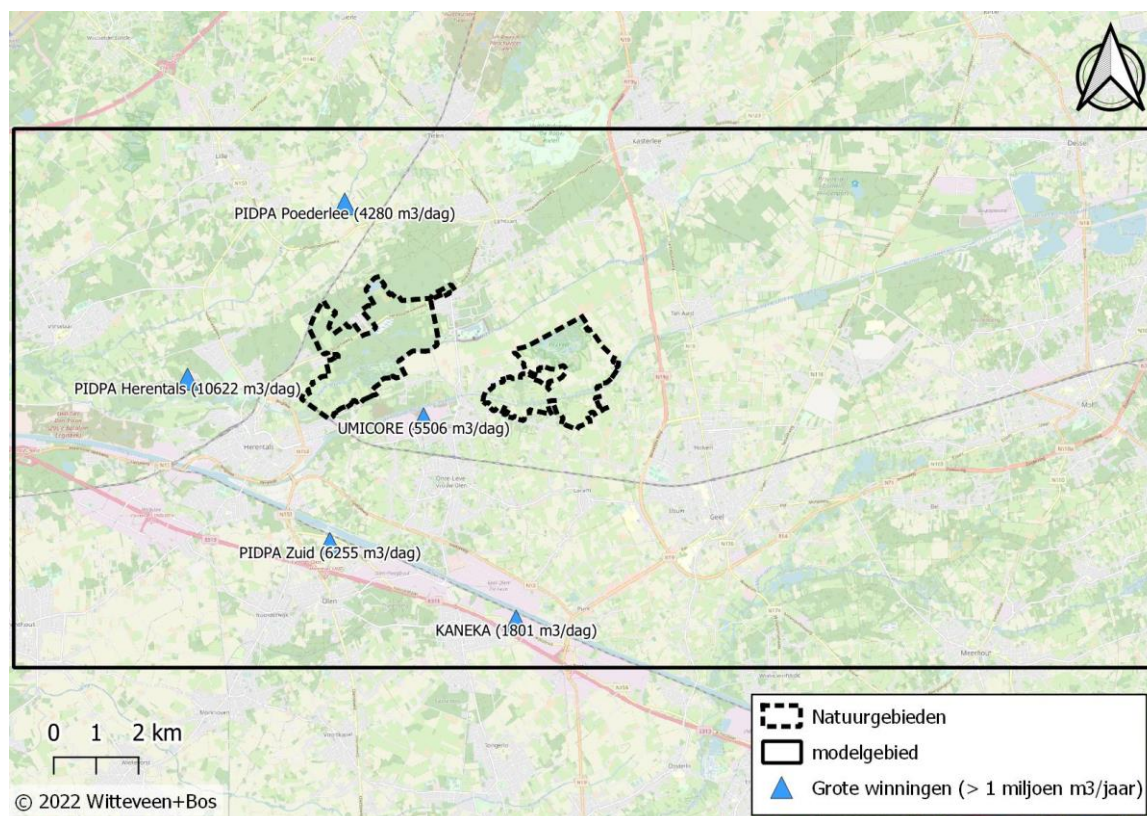


Grote onttrekkingen (> 1 miljoen m³/per jaar)

Vijf onttrekkingen hebben een debiet groter dan 1 miljoen m³ per jaar en zijn opgenomen in Tabel 3.4 en Afbeelding 3.14. Dit zijn met name de grondwaterwinningen van de Pidpa (drinkwaterwinning) en het grondwaterbeheersysteem van Umicore.

Voor deze onttrekkingen zijn tijdreeksen beschikbaar voor de periode 2008 tot en met 2018. De Pidpa-tijdreeksen bevatten dagelijkse waarden, de Umicore-tijdreeksen maandelijkse waarden en Kaneka heeft een wisselende dataresolutie variërend van dagelijks tot jaarlijks. Voor de kalibratie van het stationaire model zijn de gegevens omgezet naar een dagelijks gemiddelde over de periode 2008 tot en met 2018 (zie gemiddeld actueel debiet). Voor de modelberekeningen met het instationaire model worden de gegevens omgezet naar een gemiddelde voor de 14^{de} en 28^{ste} van de maand (tweemaal per maand).

Afbeelding 3.14 Grote grondwateronttrekkingen binnen het modelgebied (> 1 miljoen m³ per jaar)



Tabel 3.4 Onttrekkingen groter dan 1 miljoen m³/per jaar die in het model zijn opgenomen als variabele onttrekkingen en het gemiddelde (jaren 2008–2018) debiet gebruikt voor kalibratie

Eigenaar	Locatie	Jaarlijks vergund m ³ /per jaar	Dagelijks vergund m ³ /per dag	Gemiddeld actueel debiet m ³ /per dag
Pidpa	Herentals	5.475.000	17.000	10.622
Pidpa	Zuid (Olen)	3.500.000	10.000	6.255
Pidpa	Poederlee	2.200.000	10.000	4.280
Umicore	Olen	3.000.000	13.500	6.485
Kaneka	Oevel	1.168.000	3.200	1.801

Kleine onttrekkingen (< 1 miljoen m³/per jaar)

De kleinere onttrekkingen liggen verspreid over het gehele modelgebied. Voor deze onttrekkingen is 80 procent van het vergunde debiet gebruikt voor zowel het stationaire als het instationaire model. Bij de instationaire modellering zijn deze onttrekkingen enkel actief tijdens de vergunningsperiode.

3.6 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling (recharge) is de hoeveelheid neerslag die uiteindelijk doorsijpelt naar het grondwater. Voor het bepalen van de grondwateraanvulling zijn neerslaggegevens en verdamping van belang. Met behulp van landgebruikgegevens en gewasfactoren is de grondwateraanvulling per cel berekend aan de hand van de volgende formule:

$$Rech = P \times (1 - \alpha) - f \times PET$$

Met:	P	de hoeveelheid neerslag (mm);
	α	de afstromingscoëfficiënt (-);
	f	verdampingsfactor (gewasfactor); bepaalt wat de uiteindelijke verdamping is, afhankelijk van het landgebruik;
	PET	potentiële evapotranspiratie (mm).

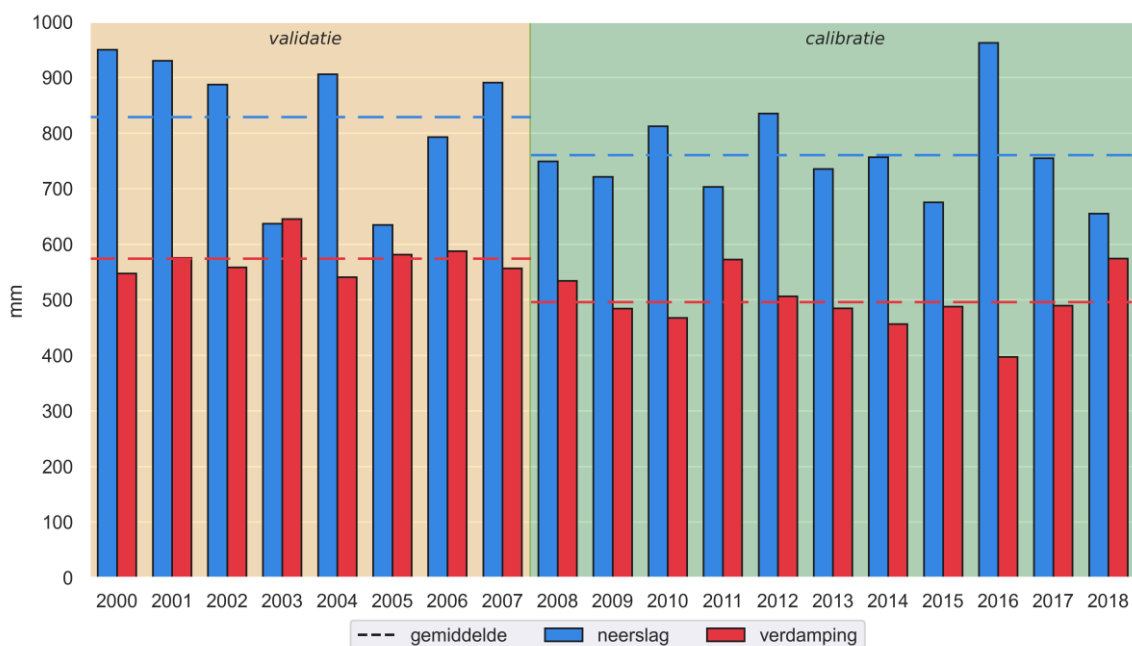
De afstromingscoëfficiënt is per cel afgelezen uit de afstromingscoëfficiëntenkaart van de pluviale overstromingskaartenset van Vlaanderen [ref. 11]. De verdampingsfactor is voor elke klasse van het landgebruik- en landbouwgebruikspcelenbestand van Vlaanderen, afgeleid uit het Grondwaterzakboekje [ref. 2].

Voor neerslag en verdamping zijn meetreeksen van de dichtstbijzijnde meetstations genomen. Ontbrekende waarden zijn aangevuld met gegevens uit andere meetstations in de buurt om zo de volledige gemodelleerde periode (validatie: 2000 tot en met 2007, kalibratie: 2008 tot en met 2018, zie ook hoofdstuk 4) te overspannen. Dit is voor:

- neerslag (P): meetstation Herentals (P10_011, ref. 6) aangevuld met Vosselaar (P10_042, ref. 6) en Gilze-Rijen (843, ref. 10);
- verdamping (PET meetstation Herentals (ME10_011, ref. 6) aangevuld met Overpelt (ME11_002, waterinfo.be) en Gilze-Rijen (350, ref. 10).

De resulterende tijdreeksen zijn weergegeven in Afbeelding 3.15.

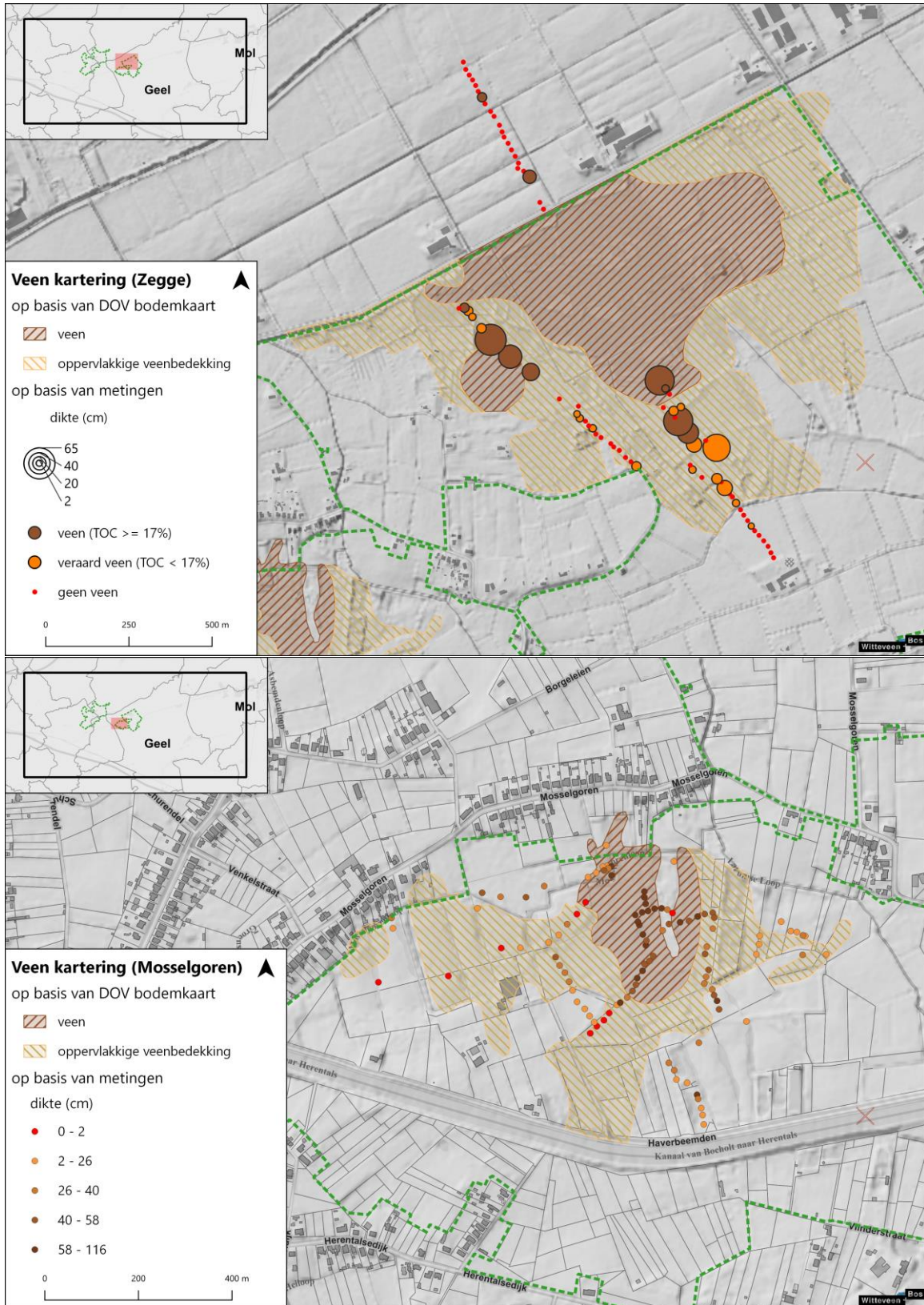
Afbeelding 3.15 Jaarlijkse gemiddelde neerslag en verdampingsreeksen gebruikt in het model (gevulde tijdreeksen van meetstation Herentals)



3.7 Veenkartering

Volgens de bodemkaart komt er veen voor in de Zegge en de Mosselgoren. Om het voorkomen beter vast te stellen is er in het project een veenkartering uitgevoerd in en nabij natuurgebied de Zegge en Mosselgoren, zie Afbeelding 3.16. Voor de veenkartering is per gebied een verschillende methode gehanteerd.

Afbeelding 3.16 Project specifieke veenkartering uitgevoerd tussen maart en juni 2021



De Zegge

In de Zegge en de landbouwpolder (ten noorden van de Zegge) heeft de Bodemkundige Dienst België (BDB) op twee momenten drie raaien bemeten. De eerste keer zijn de twee raaien in het natuurreservaat bemeten.

De tweede keer is de raai in de landbouwpolder bemeten en zijn er bijkomende metingen gedaan in de raai in het reservaat. Met een prikstok en een gutsboor is het vermoeden van veen bekeken, waarna indien positief ook een profielbeschrijving met een edelmanboor werd uitgevoerd en de zone met vermoedelijk veen werd geanalyseerd op TOC (total organic carbon) gehalte om definitief uitsluitel te geven. Er wordt gesproken van veen vanaf een organisch stofgehalte van 30 %, dit komt overeen met een TOC van circa 17 %.

In het landbouwgebied is tweemaal veen aangetroffen zonder veenvondsten tussen beide punten. In de meest zuidelijke raai in De Zegge is lokaal veen aangetroffen in het noorden van de raai wat goed overeenkomt met de zuidgrens van het veengebied. Voor de meest westelijke raai in De Zegge is ook alleen in het noorden van de raai locaties veen aangetroffen, ook hier overeenstemmend met de DOV bodemkaart. Op basis van de metingen is er dus geen aanleiding om het veengebied uitgebreider te veronderstellen dan de bodemkaart aangeeft in De Zegge. Er bestaat echter onzekerheid over de oostgrens van het veengebied waarvoor bij gebrek aan metingen gebruik is gemaakt van de bodemkaart.

Mosselgoren

In de Mosselgoren heeft de opdrachtgever tweemaal metingen gedaan. Hier is er met een PVC-buis geprikt tot er weerstand kwam, wat dan als overgang van veen naar zand is beschouwd. Aangezien de metingen over het algemeen overeenkomen met de bodemkaart is er ook hier geen aanleiding om het veengebied uitgebreider te veronderstellen dan de bodemkaart aangeeft.

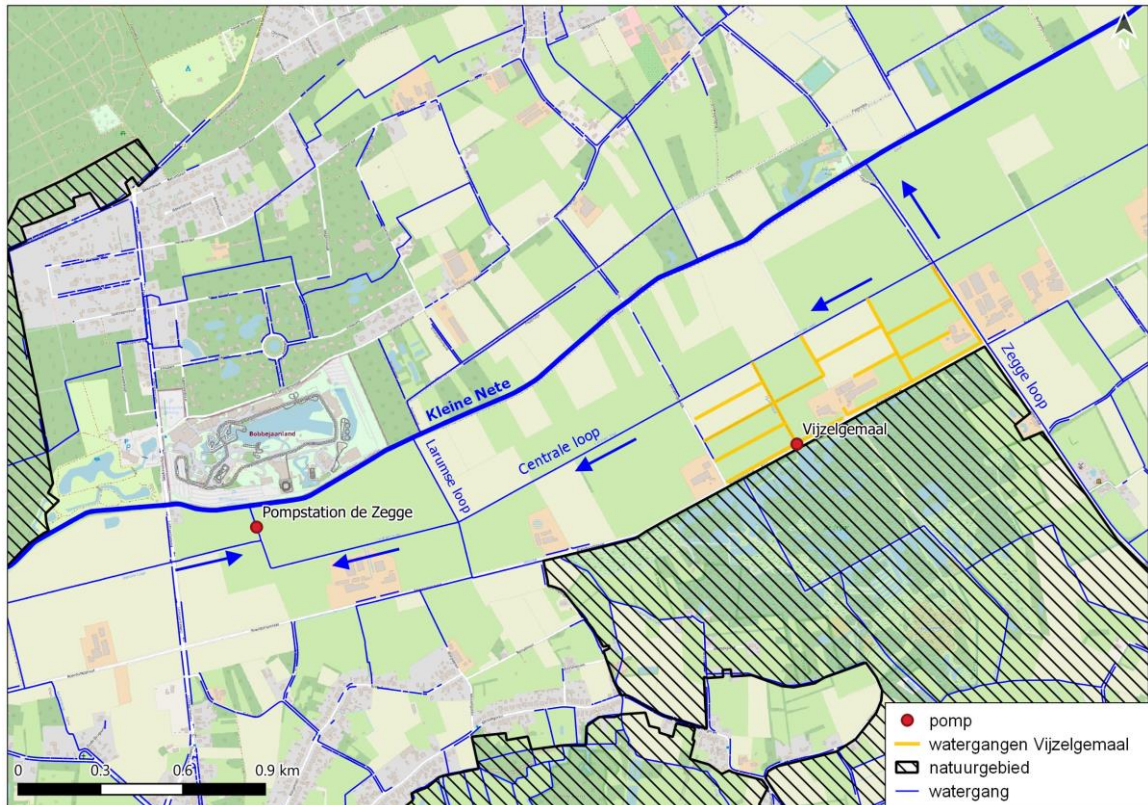
Verwerking in het model

Voor het model zijn de veenvoorkomens van de bodemkaart overgenomen door plaatselijk de verticale doorlatendheid van de eerste modellaag te verlagen. Gedurende de kalibratie is deze verticale doorlatendheid van het veen geoptimaliseerd.

3.8 Onderbemalingen

Tussen de natuurgebieden Olens Broek en De Zegge-Mosselgoren zijn twee onderbemalingen aanwezig, zie Afbeelding 3.17. Het Vijzel Gemaal zit aan de noordkant van de Zegge en pompt water uit de percelen ten zuiden van het gemaal. Het pomp-gemaal bestaat uit een enkele pomp met een aanslagpeil op circa TAW +12,25 m en een afslagpeil op circa TAW +12,05 m. Het water wordt richting het westen afgevoerd op de Sasloop dat via de Larumse loop afvoert op de Kleine Nete. Het tweede gemaal is pompstation De Zegge gesitueerd aan de zuidkant van de Kleine Nete ter hoogte van Bobbejaanland. Het pompstation voert het water van de Centrale Loop en aanliggende watergangen af op de Kleine Nete. Het pompstation heeft drie pompen met een aanslagpeil van respectievelijk TAW +11,8 m, TAW +11,9 m en TAW +12,0 m. De pompen hebben allen een afslagpeil van TAW +11,7 m.

Afbeelding 3.17 Onderbemalingen Vijzelgemaal en pompstation De Zegge



Voor het grondwatermodel zijn de onderbemalingen van belang voor het doorrekenen van verschillende scenario's. Voor de kalibratie is er uitgegaan van een gemiddeld waterniveau dat is opgemaakt uit metingen, zie ook paragraaf 3.4.

4

KALIBRATIE EN VALIDATIE

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de kalibratie en validatie van het grondwatermodel beschreven. Het grondwatermodel is ontwikkeld op basis van het geaccordeerde conceptmodel, waarbij onder meer het modelgebied en de modelperiode is vastgesteld. Het kalibratieproces focust in de eerste plaats op overeenkomsten en verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterpeilen. Hieronder zijn eerst alle stappen van het kalibratie- en validatieproces kort beschreven alvorens deze in de navolgende paragrafen in meer detail worden uitgelicht.

Stap 0: Opstellen ijkset en beoordelingsmethode

Voor de start van de gevoeligheidsanalyse en kalibratie is een ijkset en beoordelingsmethode opgesteld en afgestemd met de opdrachtgevers. De ijkset bestaat uit zowel diepe als ondiepe peilbuisfilters, met voldoende beschikbare data tijdens de modelperiode. Binnen het modelgebied zijn voornamelijk geschikte ondiepe peilbuizen beschikbaar, deze zijn ook grotendeels gecentreerd binnen de natuurgebieden. Om toch een inschatting te maken van de gebieden met een lagere peilbuis-dichtheid zijn ook peilbuizen met minder volledige meetreeksen gebruikt als extra ijkset. De beoordelingsmethodiek bestaat uit enerzijds een statistische en ruimtelijke analyse van gemiddelde en absolute afwijkingen en anderzijds een analyse van de systeemwerking door middel van doorsnedes (stationair) en tijd-stijghoogte grafieken (instationair).

Stap 1: Gevoeligheidsanalyse

Na het opstellen van de ijkset en beoordelingsmethodiek is eerst een stationaire gevoeligheidsanalyse uitgevoerd ten aanzien van parameters die belangrijk geacht worden voor de modelwerking. De gevoeligheidsanalyse bestaat uit het aanpassen van de uitgangsparameters met een bepaalde factor binnen de fysisch verklaarbare grenzen. Hierbij is het effect van deze aanpassingen op de berekende grondwaterstanden en stijghoogten inzichtelijk gemaakt. Op basis van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse is een selectie gemaakt van de te optimaliseren modelparameters.

Stap 2: Stationaire optimalisatie

De bij de gevoeligheidsanalyse geselecteerde parameters zijn in deze stap geoptimaliseerd met het stationaire grondwatermodel. Dit is in drie manuele verbeterlagen gedaan, waarbij handmatig de gevoelige parameters zijn aangepast om de modelfout (RMS-fout) te verkleinen en de systeemwerking zo goed mogelijk te modelleren.

Stap 3: Transiënt optimalisatie

Vervolgens is het model omgezet naar een transiënt model, waarbij aanvullend een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd met een focus op de parameters van het topsysteem. Veelal blijken de bergingscoëfficiënten en drainageweerstand bij waterlopen gevoelig voor berekende grondwaterstanden en afvoer.

De instationaire optimalisatie is zowel statistisch (op basis van veranderingen in de gemiddelde- en RMS-fouten in de GxG-waardes van de peilbuisdata) als visueel (op basis van de variatie in de grafieken waarin de modelresultaten tegenover de meetreeksen zijn geplot) uitgevoerd. Hierbij zijn de absolute hoogtes van de berekende grondwaterstanden vergeleken met de meetreeksen, maar is daarnaast aandacht voor de dynamiek van de grondwaterstanden om de systeemwerking goed te modelleren. Hier zijn wederom drie

manuele verbeterlagen voorzien. De GxG-waardes zijn per cel berekend voor de laatste 8 jaar van de modelperiode.

Stap 4: Transiënt validatie

De laatste stap bestaat uit een validatie van het instationaire model. Dit is uitgevoerd door het model door te rekenen voor een andere periode dan de kalibratieperiode. De validatie is geen onderdeel van de kalibratie, maar een aanvulling, waarbij de betrouwbaarheid van de modellering voor een andere periode inzichtelijk is gemaakt.

4.2 Ijkset en beoordeling

Voorafgaand aan de kalibratie zijn twee ijksets samengesteld: een voor de kalibratie en een voor de validatie. Deze ijksets bestaan uit gemeten grondwaterstanden in het ondiepe pakket (boven de A0240-laag) en stijghoogten in het diepe pakket (onder de A0240-laag). De ijksets zijn vastgesteld aan de hand van de kwaliteit van de meetreeksen in de peilbuizen die beschikbaar zijn voor het modelgebied. Een datareeks is van goede kwaliteit indien:

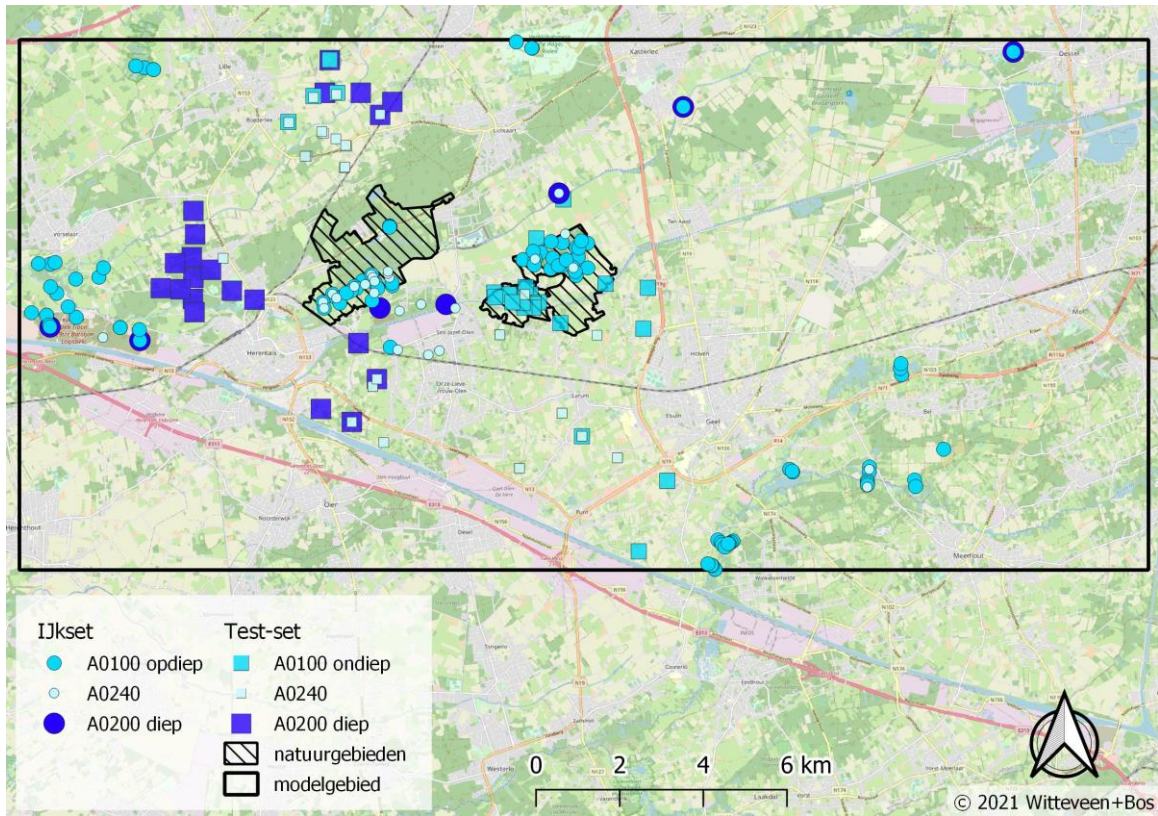
- er gedurende de gehele modelperiode (2008-2018 voor kalibratie en 2000-2008 voor validatie) minstens 20 metingen per jaar zijn uitgevoerd en deze metingen over het jaar zijn verdeeld;
- de filterdiepte van de peilbuis bekend is;

Voor de kalibratieperiode zijn er 144 meetreeksen aanwezig die voldoen aan het gestelde kwaliteitscriterium. Voor de validatieperiode zijn dit er 165. Helaas is de spreiding over het modelgebied gering en bevinden de meeste meetreeksen zich in het ondiepe pakket binnen de natuurgebieden Olens Broek en Zegge.

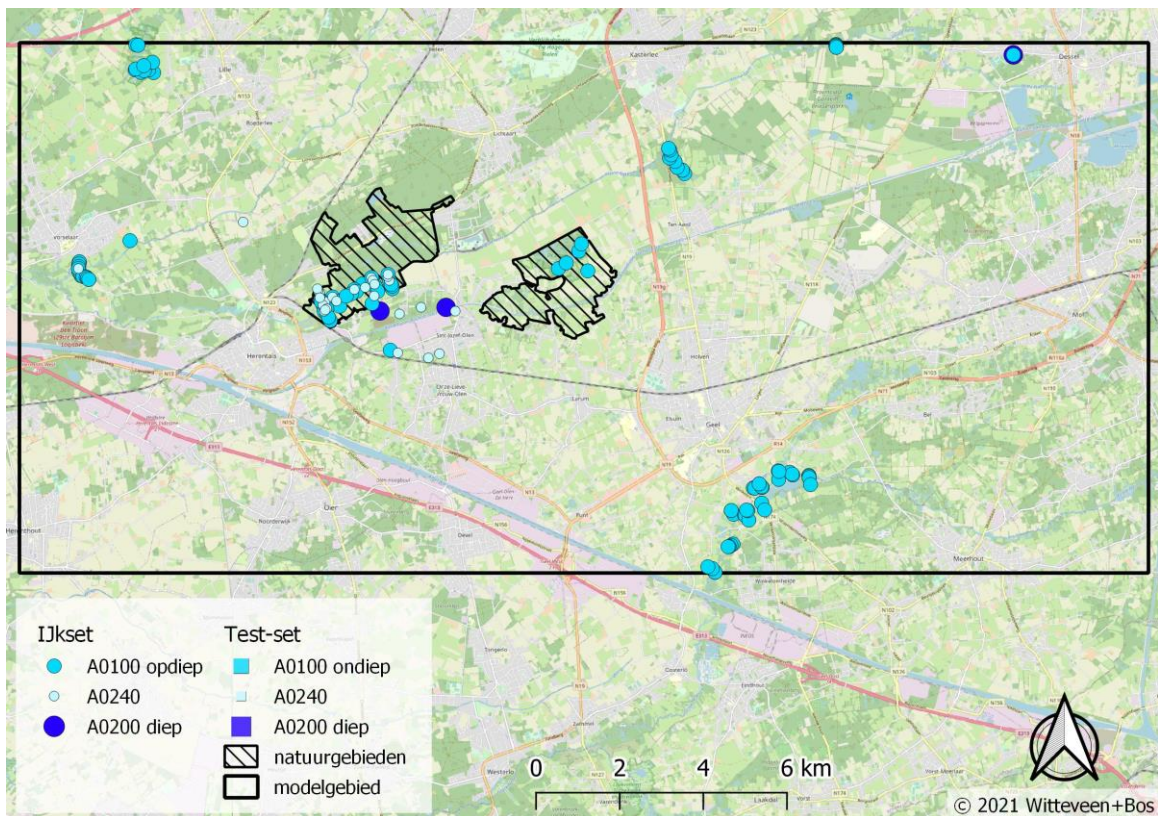
Om het model ook te kunnen controleren in belangrijke gebieden met minder of zelfs zonder geschikte meetreeksen, is een set meetreeksen van mindere kwaliteit geselecteerd, de test-set. Deze test-set bestaat uit meetreeksen in het natuurgebied Mosselgoren en de landelijke gebieden ten noorden en zuiden van de natuurgebieden Olens Broek, Zegge en Mosselgoren. Deze locaties in het landelijk gebied zijn gekozen om meer inzicht te verkrijgen in het verhang van de regionale grondwaterstroming vanuit het zuidoosten naar noordwesten ter plaatse van de natuurgebieden. De reeksen in de test-set voldoen niet aan de eerder beschreven vaste criteria maar zijn op het oog beoordeeld. Aangezien de kwaliteit eigenlijk niet voldoende is voor kalibratie/validatie zijn ze beschouwd als 'extra informatie' en wegen ze minder sterk mee dan meetreeksen die onderdeel zijn van de ijkset. De test-set voor kalibratie bestaat uit 82 meetreeksen en die voor validatie uit 43 (vrijwel geen peilbuizen ten noordwesten van de natuurgebieden met data voor 2008).

Overzichten van de peilbuizen staan weergegeven in Afbeelding 4.1 en Afbeelding 4.2.

Afbeelding 4.1 Peilbuizen voor de kalibratie



Afbeelding 4.2 Peilbuizen voor de validatie



Tijdens de kalibratie is het functioneren van het model op basis van de peilbuisdata beoordeeld aan de hand van de gemiddelde fout en de RMS-fout tussen de modelresultaten en de metingen. Hierbij zijn verschillende deelgebieden onderscheiden. Zo is een nauwkeurige kalibratie in het interessegebied (natuur- en landbouwgebied) belangrijker dan in de omliggende gebieden.

Naast de algemene statistische analyse van de modelprestatie zijn ruimtelijke verschillen in kaart gebracht met behulp van een bollenkaart. Hierop is duidelijk zichtbaar in welke gebieden het model goed of minder goed presteert.

Ten derde is het model ook op systeemniveau beoordeeld. Hiervoor zijn bij de stationaire kalibratie doorsnedes in de natuurgebieden gebruikt. Tijdens de instationaire kalibratie zijn tijd-stijghoogte grafieken geraadpleegd om de fluctuaties van het model te toetsen aan die van de metingen.

Opgemerkt moet worden dat een grondwatermodellering een schematisering is van de werkelijkheid. Het is onmogelijk om op alle locaties en op alle tijdstippen een volledige overeenstemming tussen gemeten en berekende grondwaterstanden te bereiken. Ook kan op voorhand niet worden gegarandeerd dat aan de gestelde kalibratiecriteria (gemiddelde afwijking van 5 cm) kan worden voldaan op alle tijdstippen en locaties. Wij streven er uiteraard naar om, met name binnen de natuur- en landbouwgebieden, de verschillen tussen berekende en gemeten grondwaterstanden te minimaliseren, omdat een hoge nauwkeurigheid van voorspelde grondwaterstanden en kwelfluxen belangrijke parameters zijn wat betreft de relatie tussen grondwater en vegetatie.

Zoals vaak bij grootschalige grondwatermodelleringen is de meetdata niet optimaal voor een zo accuraat mogelijke model-kalibratie. Enkele tekortkomingen aan de beschikbare data zijn:

- slechte spreiding van de kalibratie- en validatiepeilbuizen over het modelgebied;
- weinig peilbuizen onder de A0240-laag;
- nauwelijks peilbuislocaties met filters over diepte om kwel of inzigging te valideren.

Ondanks deze uitdagingen resulteert de modellering in een realistische presentatie van de werkelijkheid en wordt het model geschikt geacht voor het doorrekenen van verschillende maatregel-scenario's. De resultaten van de kalibratie en uiteindelijke modelprestatie worden in de hierop volgende paragrafen verder toegelicht.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

De eerste stap in het uitvoeren van het kalibratieproces is het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse. Voor het opzetten van het model zijn modelparameters ingevoerd die zijn afgeleid uit literatuur, eerdere studies en vuistregels. Omdat deze waarden kunnen afwijken van de daadwerkelijke parameters worden ze tijdens het kalibratieproces verder verfijnd. Met het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse is voor een aantal parameters getoetst in welke mate verandering van de parameter zorgt voor een afwijking in de modeluitkomst. Met deze inzichten worden de parameters en diens bandbreedte voor de kalibratie bepaald.

In de gevoeligheidsanalyse zijn de volgende parameters getoetst:

- horizontale doorlatendheid ondiepe lagen (modellaag 1 t/m 7);
- horizontale doorlatendheid A0240-laag (modellaag 8);
- horizontale doorlatendheid diepe lagen (modellaag 9 t/m 10);
- anisotropie (alle modellen);
- weerstand kanalen (waterloop categorie 0);
- weerstand watergangen (waterloop categorie 1);
- weerstand sloten (waterloop categorie 2 en 3);
- weerstand landbouw drainage;
- weerstand deklaag (modellaag 1 t/m 4);
- weerstand veen (modellaag 1);
- diepte landbouw drainage (modellaag 1).

Voor elke parameter is de waarde zowel verhoogd als verlaagd (met uitzondering van anisotropie) ten opzichte van de initiële parameters zoals beschreven in hoofdstuk 3. De parameterwaardes zijn opgenomen in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Modelparameter aanpassingen ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse

Parameter	Verlaging parameter	Verhoging parameter	Basis invoer
kh WVP1	kh * 0,50	kh * 1,50	zie Tabel 3.1
kh WVP2	kh * 0,50	kh * 1,50	zie Tabel 3.1
kh A0240	kh * 0,50	kh * 5	zie Tabel 3.1
kh deklaag	kh * 0,50	kh * 1,50	zie Tabel 3.1
anisotropie	anisotropie = 1	anisotropie = 5	anisotropie = 10
weerstand kanalen	50 dagen	200 dagen	100 dagen
weerstand watergangen	1 dag	10 dagen	5 dagen
weerstand sloten	1 dag	10 dagen	5 dagen
weerstand landbouw drainage	50 dagen	150 dagen	100 dagen
diepte landbouw drainage	0,6	1,0	0,80 m

Voor beoordeling van de gevoeligheidsanalyse is per interessegebied (Zegge-Mosselgoren, Olens Broek en Centraal Landbouwgebied) de gemiddelde verandering van grondwaterstanden en stijghoogten beschouwd.

In bijlage II zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse per interessegebied weergegeven. Om gevoelige parameters te bepalen is vooral gekeken naar de effecten in ondiepe lagen binnen de interessegebieden.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de volgende modelparameters het meest van belang zijn voor de modelprestatie:

- Kh kleipakket A0240-laag;
- Kh ondiepe lagen;
- weerstand sloten, watergangen en landbouwdrainage;
- deklaagweerstand.

De focus bij de optimalisatie van het model ligt dan ook op deze parameters.

4.4 Stationaire optimalisatie

Na de gevoeligheidsanalyse zijn de geselecteerde gevoelige parameters gebruikt om het stationaire model te optimaliseren. Dit is in drie manuele verbeterlagen gedaan, waarbij handmatig de gevoelige parameters zijn aangepast om de modelfout (RMS-fout) te verkleinen. De focus bij deze stationaire kalibratie ligt met name op een juiste systeemwerking van het model en algemeen representatieve inschatting van de grondwaterstanden.

Na analyse van meerdere mogelijke verbetering-combinaties, is gebleken dat de volgende drie verbeterlagen voor het beste resultaat zorgen:

- 1 verhogen van de doorlatendheid van de ondiepe lagen met een factor 1,50¹;
- 2 verhogen van de doorlatendheid van de kleiige formatie van Kasterlee met een factor 20 (kh van 0,002 m/d naar 0,04 m/d en kv van 0,0002 m/d naar 0,004 m/d);

¹ Dit resulteert in de volgende doorlatendheden voor het de zeven lagen boven de A0240 laag 1,5; 1,5; 7,5; 7,5; 22,5; 7,5; 21. De anisotropie blijft 10.

3 verhogen van de weerstand van de watergangen van 5 naar 20 dagen.

Hieronder worden de modelresultaten voor de drie verbeterslagen besproken. Hiervoor worden achtereenvolgens de statische verbetering, verbetering in de bollenkaarten en de verbetering in de doorsnedes gepresenteerd.

Overzicht modelverbetering met behulp van statistiek

Bij de beoordeling van de verbetering is als eerste gekeken naar de statistische verbetering van het modelresultaat. Hiervoor is zowel de gemiddelde¹ (Afbeelding 4.3) als de absolute RMS²-afwijking van de peilbuizen beschouwd. Ook is afzonderlijk, naast het totale modelgebied (opgesplitst in ondiep en diep pakket), gekeken naar de natuurgebieden Zegge Mosselgore en Olens Broek. In het tweede watervoerend pakket ter hoogte van Zegge Mosselgore en Olens Broek zijn geen stijghoogtemetingen beschikbaar, wat in onderstaande afbeeldingen is aangegeven met tweede rode kruisen.

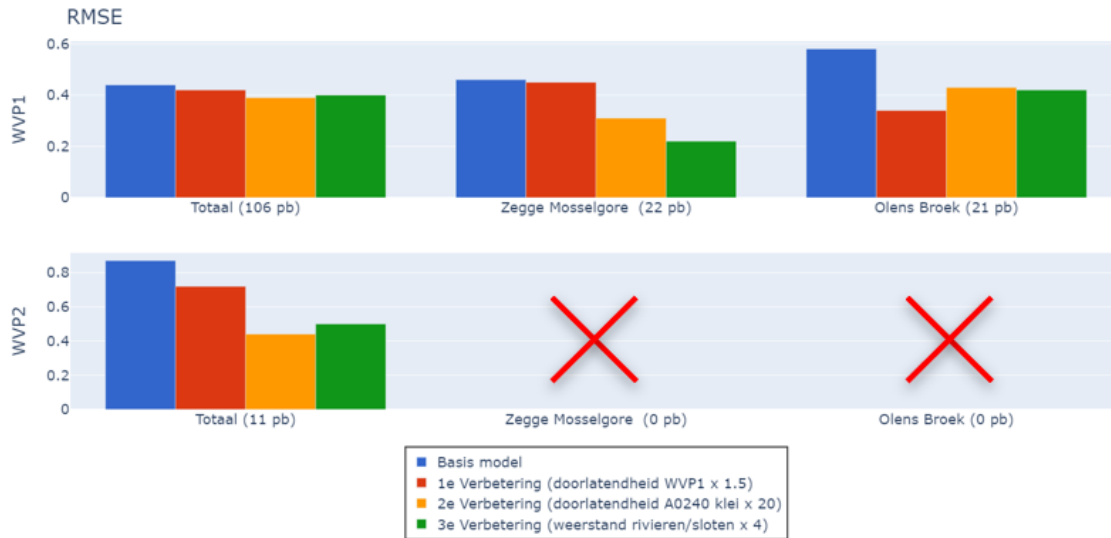
Afbeelding 4.3 Verbetering van de gemiddelde afwijking in het model



¹ Gemiddelde van alle afwijkingen, positieve en negatieve afwijkingen kunnen elkaar dus uitmiddelen.

² Op basis van de Root-Mean-Square error: voor elke peilbuis wordt het kwadraat van de afwijking genomen, hiervan wordt het gemiddelde bepaald en van dit gemiddelde de wortel. Zo kunnen positieve en negatieve afwijkingen elkaar niet uitmiddelen, wat een betrouwbaarder beoordeling mogelijk maakt.

Afbeelding 4.4 Verbetering van de absolute RMS-afwijking in het model



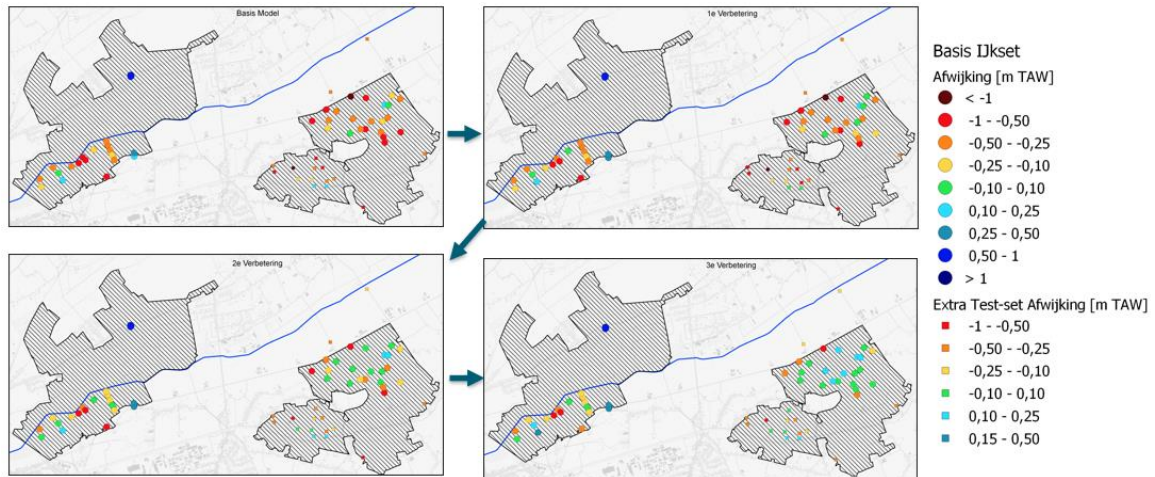
De figuren laten zien dat zowel de gemiddelde als de absolute afwijking aanzienlijk afnemen als gevolg van de doorgevoerde verbeteringen. In het ondiepe pakket is de resulterende gemiddelde afwijking binnen het hele model niet meer dan 2 cm, dit laat zien dat er geen algemene over- of onderschatting meer plaatsvindt. Ook voor het diepe pakket is de algemene overschatting afgenomen van 44 naar 30 cm. De afname in de absolute fout is vooral binnen de natuurgebieden duidelijk zichtbaar. Voor de ondiepe peilbuizen neemt deze voor Zegge Mosselgoren af van 45 naar 21 cm en voor Olens Broek van 58 naar 41 cm. Ook voor de diepe metingen neemt de absolute fout af, van 84 naar 47 cm.

Voornamelijk de 2^e en 3^e verbeterslag zijn zeer effectief. De verbetering als gevolg van het vergroten van de doorlatendheid van de kleiige zone is fysisch te verklaren door het feit dat de kwel vanuit het diepe pakket ter plaatse van de natuurgebieden toeneemt en hierdoor de gemiddeld berekende grondwaterstanden hoger (en dus correcter) uitvallen. Het verhogen van de rivier- en slootweerstand zorgt voor een vermindering van de oppervlakkige drainage naar waterlichamen waardoor ook de grondwaterstanden toenemen en beter overeenkomen met de werkelijkheid.

Overzicht modelverbetering met behulp van bollenkaarten

Ten tweede zijn de afwijkingen en mogelijke verbeteringen ruimtelijk onderzocht door middel van bollenkaarten waarop de absolute gemiddelde afwijking van het model per peilbuis zichtbaar is. Afbeelding 4.5 toont de veranderingen in de bollenkaarten voor de 3 stationaire verbeterslagen in de ondiepe metingen binnen natuurgebieden. De effecten voor het hele modelgebied en voor de diepere lagen staan in bijlage III. Op de afbeeldingen is duidelijk zichtbaar dat in eerste instantie het model in beide natuurgebieden de ondiepe grondwaterstanden te laag berekende ten opzichte van de metingen. Vooral binnen de Zegge-Mosselgoren is de modelprestatie nu goed. Binnen Olens Broek zijn er nog steeds enkele peilbuizen met te laag berekende grondwaterstanden, dit wordt tijdens de instationaire kalibratie verder onderzocht. De peilbuis in het noordoosten van Olens Broek ligt in een grote vijver en is daarom erg lastig correct te modelleren. Helaas zijn er in de tussenliggende landbouwgebieden weinig meetpunten, de 2 peilbuizen ten noorden van natuurgebied de Zegge (onderdeel van de extra Test-set) laten echter wel een kleine verbetering zien.

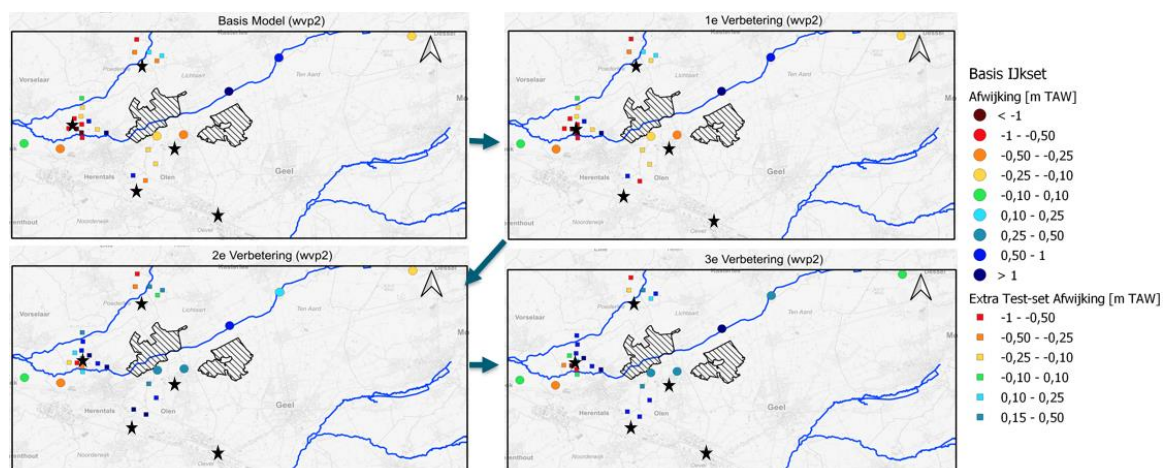
Afbeelding 4.5 Bollenkaarten voor de ondiepe berekende en gemeten grondwaterstanden binnen en rond de natuurgebieden



Afbeelding 4.6 toont de bollenkaarten voor de diepere lagen. Hierop is te zien dat het model de diepe stijghoogtes na de 3 verbeteringen over het algemeen overschat als gevolg van de afgenomen weerstand van de kleiige zone in de A0240-laag. De twee peilbuizen tussen Mosselgoren en Olens Broek (ON100 en ON102) begonnen met een afwijking van respectievelijk -18 en -42 cm, na kalibratie is dit omgeslagen naar +42 en +45 cm. Dit zijn voor het diepe pakket geen onoverkomelijke afwijkingen maar het laat wel de gevoeligheid en complexiteit van deze onzekere laag zien.

Zonder de weerstandsafname van de A0240-laag was het niet mogelijk de ondiepe grondwaterstanden (die te laag berekend werden) te corrigeren. Aangezien de focus van dit project op het topsysteem ligt, en er maar weinig diepe metingen binnen het interessegebied zijn, is er voor gekozen deze overschatting van het diepe pakket mee te nemen naar de instationaire kalibratie om in deze volgende stap wederom te proberen de prestatie te verbeteren.

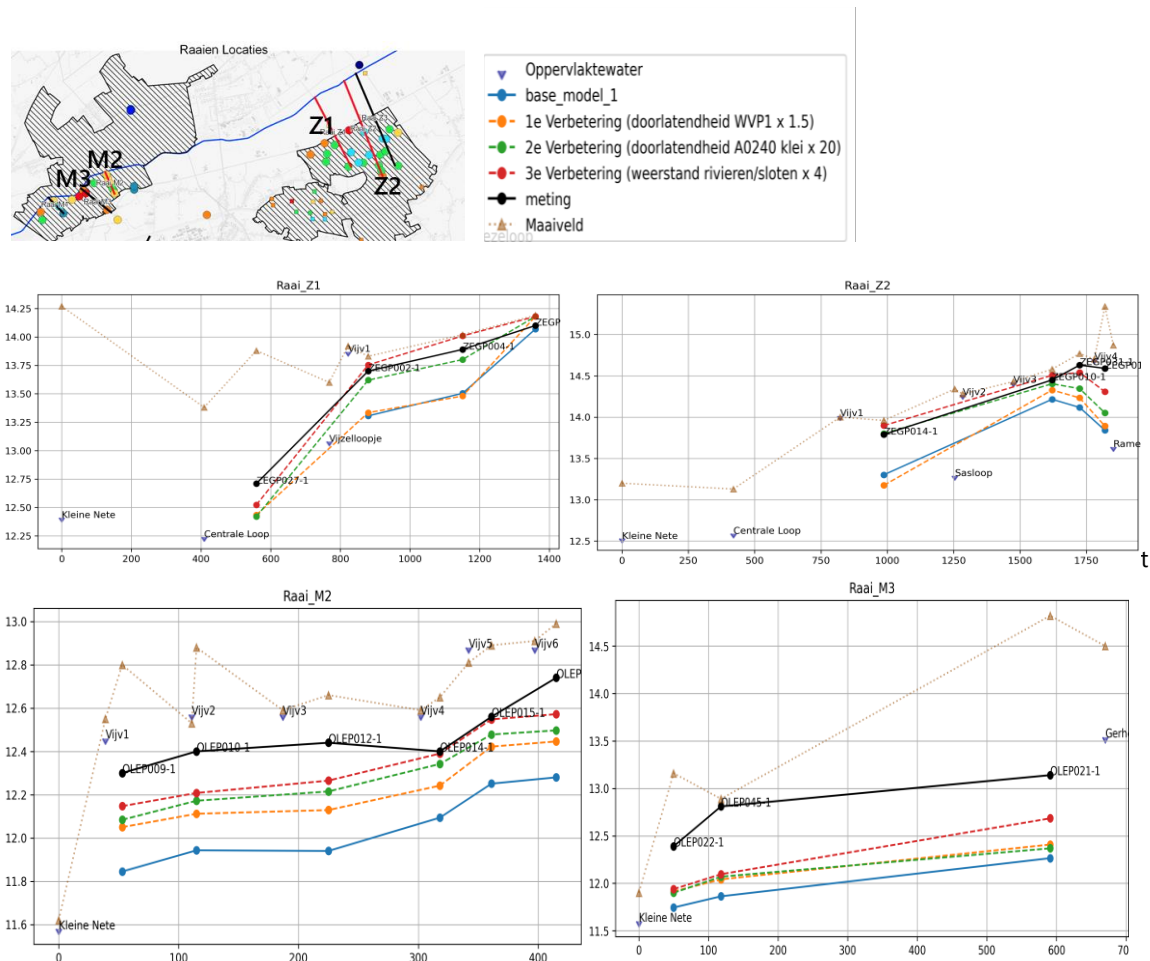
Afbeelding 4.6 Bollenkaarten voor de diepe berekende en gemeten grondwaterstanden binnen het hele modelgebied



Systeemanalyse middels doorsnedes

Om de systeemwerking, en specifiek de interactie tussen grond- en oppervlaktewater te onderzoeken maken we gebruik van enkele dwarsdoorsnedes, deze zijn weergegeven op Afbeelding 4.7. De doorsnedes laten zien dat over het algemeen de systeemwerking in het Zegge-gebied nu goed gemodelleerd wordt. In Olens Broek is ook hier een lichte onderschatting van de grondwaterstanden zichtbaar. Tijdens de instationaire kalibratie wordt dit verder verbeterd.

Abbeelding 4.7 Doorsnedes stationaire kalibratie



Conclusie stationaire optimalisatie

Over het algemeen is de modelprestatie voornamelijk in het ondiepe deel van het stationaire model goed na de verbetering van het model door parameteroptimalisatie. In dit deel zijn geen structurele afwijkingen meer aanwezig. De stijghoogtes in het diepe systeem worden over het algemeen overschat door het stationaire model. Om dit verder te verbeteren zal de instationaire kalibratie starten met een verdere optimalisatie ten behoeve van de prestatie in de diepe lagen.

4.5 Instationaire optimalisatie

Na akkoord op de stationaire kalibratie is het model instationair gemaakt. Hiervoor zijn de volgende aanpassingen gedaan:

- per tijdstap van 14 dagen is de gemiddelde grondwateraanvulling berekend op basis van de dagelijkse metingen en in paragraaf 3.6 uitgelegde methode;
- voor de grote grondwateronttrekkingen (debiet >01 miljoen m³ per jaar) zijn per tijdstap van 14 dagen de gemiddelde debieten in het model ingevoerd, hiervoor zijn de dagelijks beschikbare debieten gebruikt;
- waar bekend zijn de zomer- en winterpeilen toegekend aan het oppervlaktewater-systeem. Hierin is voor de zomer de periode van 01 april tot 01 oktober aangehouden.

Bij de start van de instationaire kalibratie bleek de eerste stationaire verbetering van het model (kh van ondiepe systeem met factor 1,5 verhogen) een negatief effect te hebben op het instationaire model. Deze verbetering is aan de start van de instationaire optimalisatie dan ook weer teruggedraaid.

4.5.1 Focus op diepe systeem

Omdat de semi-scheidende en zeer heterogene A0240-laag nog altijd een aanzienlijke onzekerheid met zich meebrengt, is de stationaire kalibratie gestart met het ijken van het diepe grondwatersysteem door optimalisatie van de weerstand van de kleiige formatie van deze A0240-laag. Hieruit is gebleken dat een verlaging van Kv in de kleiige formatie van Kasterlee tot een aanzienlijke modelverbetering in het diepe pakket leidt. **De optimaal bevonden waarden voor de horizontale en verticale doorlatendheid van het kleiige gedeelte van de A0240-laag bedragen respectievelijk 0,01 en 0,001 m/dag.** De doorlatendheden van het zandige gedeelte van deze laag blijven ongewijzigd met een Kh van 2 m/dag en een Kv van 0,004 m/dag. Deze waarden zijn overeenkomstig met de input in het AGT-model voor Umicore [ref. 13]. Gemiddeld is de A0240-laag ter plekke van de kleiige zone circa 6 meter dik. Dit betekent dat de laag bij een Kv van 0,001 m/dag een weerstand van 6000 dagen heeft. In het zandige deel van de A0240-laag is deze weerstand 1500 dagen. Dit betekent dat in ons model de A0240 de verticale stroming sterk remt maar dat nog steeds wel interactie bestaat tussen het diepe en ondiepe pakket.

In onderstaande alinea's zijn de verbeterde modelresultaten in het diepe pakket besproken. Hiervoor zijn achtereenvolgens de statistische verbetering, verbetering door middel van bollenkaarten voor gemiddelde en voor GxG-situaties en de verbetering in enkele tijdstijghoogtelijnen getoond.

Overzicht modelverbetering met behulp van statistiek

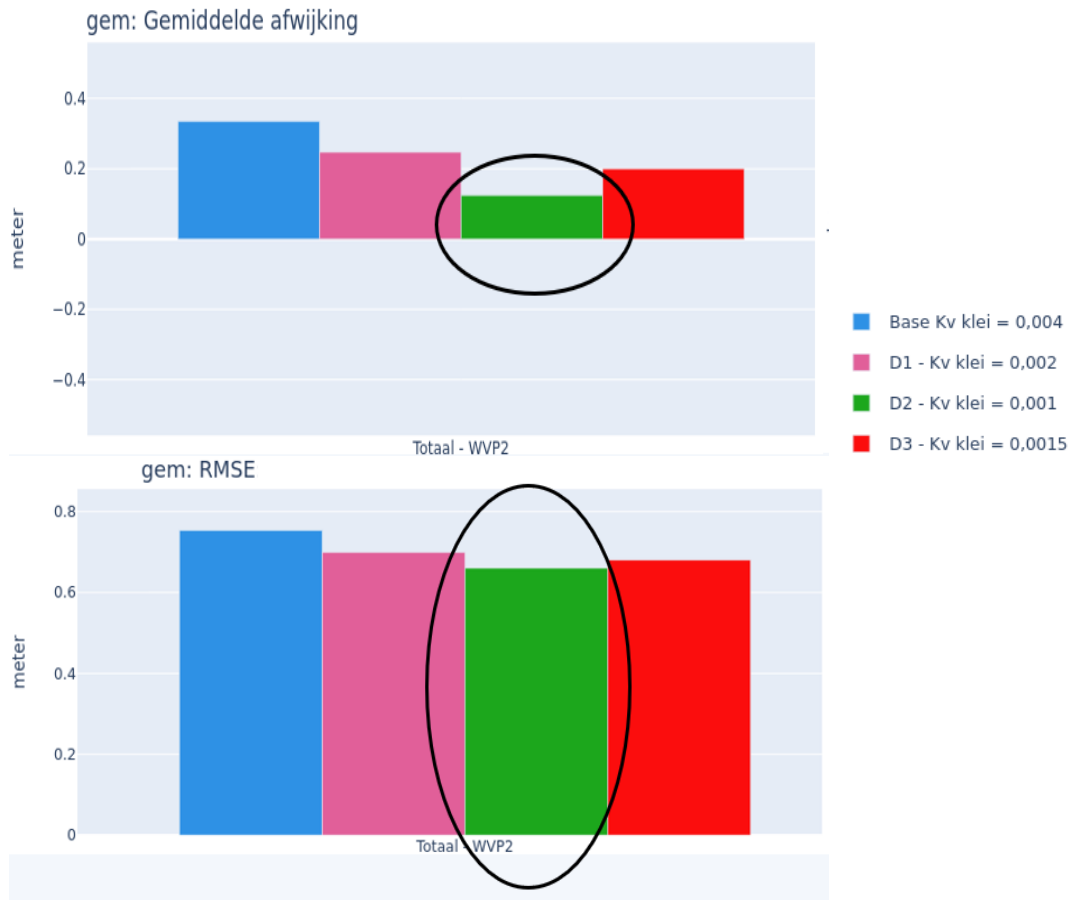
Als eerste is gekeken naar de statische verbetering van het modelresultaat bij aanpassing van het model. Hiervoor is de afwijking van de gemiddeld berekende en gemeten grondwaterstand vergeleken.

Onderstaande Afbeelding 4.8 toont zowel de gemiddelde¹ als de absolute RMS² -afwijking van alle diepe peilbuizen.

¹ Gemiddelde van alle afwijkingen, positieve en negatieve afwijkingen kunnen elkaar dus uitmiddelen.

² Op basis van de Root-Mean-Square error: voor elke peilbuis wordt het kwadraat van de afwijking genomen, hiervan wordt het gemiddelde bepaald en van dit gemiddelde de wortel. Zo kunnen positieve en negatieve afwijkingen elkaar niet uitmiddelen.

Afbeelding 4.8 Statistische afwijking in de modelprestatie voor het hele modelgebied. Boven: de gemiddelde afwijking. Onder: de absolute afwijking. De uiteindelijk gekozen verbetering is zwart omcirkeld

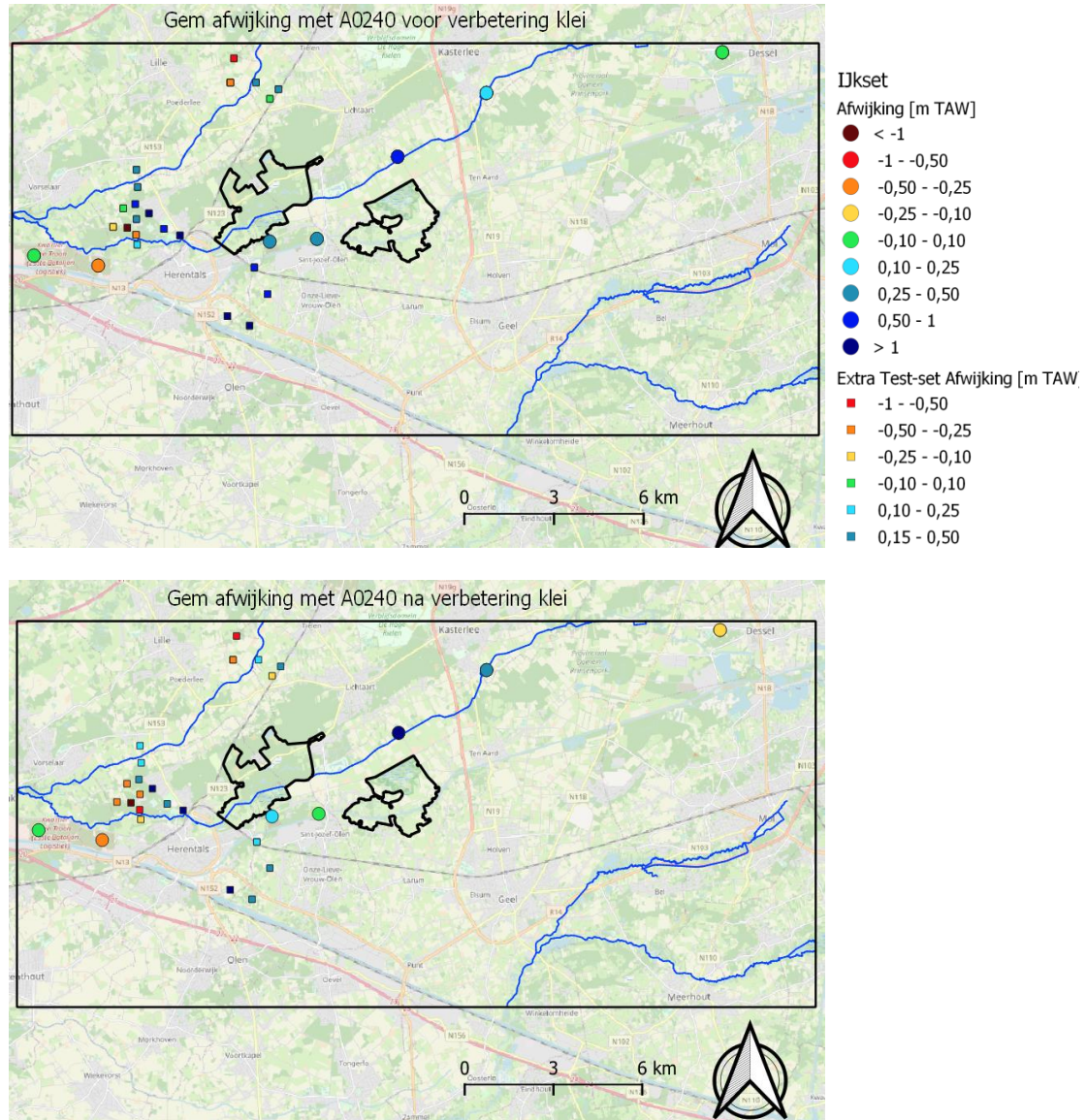


Voor het verbeterde model is de absolute afwijking in de gemiddeld berekende grondwaterstanden 66 cm. De gemiddelde afwijking tussen het stationaire modelresultaat en de gemiddeld gemeten stijghoogtes in het diepe pakket is +12 cm. De stijghoogte in dit diepe pakket wordt dus nog steeds enigszins overschat. Deze waarden zijn echter ruim binnen de aanvaardbare marges voor modellering van het diepe pakket.

Overzicht modelverbetering met behulp van bollenkaarten

Ten tweede zijn de afwijkingen en verbeteringen in het diepe pakket ruimtelijk onderzocht door middel van bollenkaarten waarop de absolute gemiddelde afwijking van het model per peilbuis zichtbaar is (Afbeelding 4.9). Hierop is ook duidelijk te zien dat de overschatting van de diepe stijghoogtes door de verbetering is afgenomen. Met name tussen Olens Broek en Mosselgoren is dit goed zichtbaar. De peilbuis ten noorden van de Zegge (1-0414-3) laat nog steeds een overschatting van circa een meter zien, deze neemt zelfs toe als gevolg van de doorgevoerde verbetering. Deze peilbuis ligt dicht bij de rand van de kleiige formatie en draagt dus een aanzienlijke onzekerheid met zich mee. De afwijking is naar verwachting een gevolg van de onzekerheid in de afbakening van de kleiige formatie door bijvoorbeeld lokale heterogeniteit in de laag. Over het algemeen zijn de afwijkingen, ondanks de lichte overschatting van de stijghoogte, ruim binnen de aanvaardbare grenzen voor het diepe pakket.

Afbeelding 4.9 Bollenkaarten van de modelverbetering in diepe pakket door aanpassing kleiige zone in A0240-laag



Tijdstijghoogtelijnen

De vergelijking tussen gemeten en berekende tijdstijghoogtelijnen in het diepe pakket is weergegeven in Afbeelding 4.10 en Afbeelding 4.11. Hierop is duidelijk zichtbaar dat in alle diepe peilbuizen tussen de natuurgebieden in (zowel binnen als buiten de afbakening) de verhoging van de weerstand tot een beter gemiddeld resultaat van de berekende stijghoogte leidt. Alleen in peilbuizen 1-0414-3 is de stijghoogte aanzienlijk overschat. Vermoedelijk is hier lokaal de scheidende laag niet of minder aanwezig en wordt de stijghoogte sterk verlaagd door drainage vanuit de Kleine Nete. Dit kan een lokale afwijking in het regionale patroon zijn (een gat in de kleilaag), of het kan duiden op een iets andere afbakening van de kleiige zone. In beide gevallen is besloten om geen aanpassingen te doen aan de afbakening van de kleiige zone omdat de focus op het regionale systeem ligt deze lokale aanpassingen niet met genoeg zekerheid te verantwoorden zijn. Ook is op voorhand besloten de afbakening conform de resultaten van het onderzoek van AGT te gebruiken.

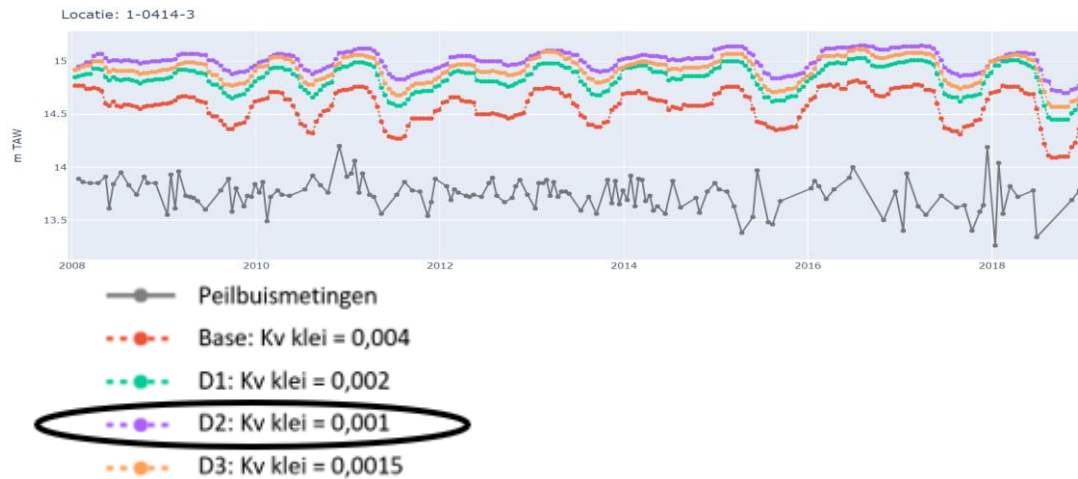
Ook bij de tijdstijghoogtelijnen is te zien dat het model over het algemeen goed presteert in de diepere ondergrond wanneer de Kv van de kleiige zone van Kasterlee verlaagd is naar 0,001 m/dag. Hiermee is het model dus verder voor het topsysteem geoptimaliseerd (zie hiervoor volgende paragrafen).

Afbeelding 4.10 Locaties tijdstijghoogtelijnen (groene vlak is de afbakening van de kleiige zone van Kasterlee)



Afbeelding 4.11 Tijdstijghoogtelijnen diepe peilbuizen en model





4.5.2 Focus op topsysteem

Na optimalisatie van de A0240-laag is de modelprestatie in het topsysteem verbeterd. Hiervoor is het resultaat van de diepe optimalisatie als basis genomen en is enkel gekeken naar de prestatie van de ondiepe peilbuizen. Na doorrekeningen van een groot aantal potentiële verbeteringen (hier niet gerapporteerd) is de combinatie van de volgende verbeteringslagen het meest optimaal gebleken:

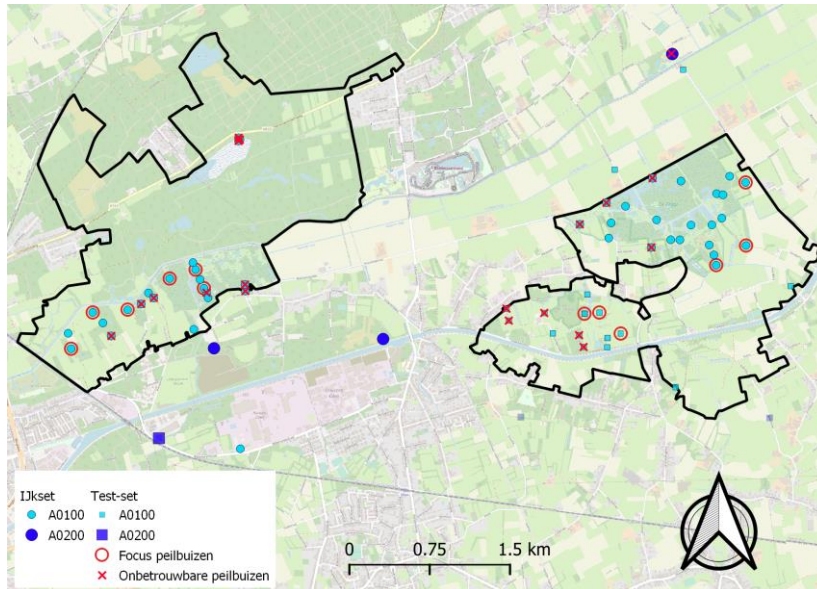
- 1 weerstand landbouwdrainage van 100 naar 300 dagen;
- 2 rivierweerstand Cat1 watergangen van 20 naar 5 dagen;
- 3 bergingscoëfficiënten verhoogd van 0,15 naar 0,30;
- 4 grondwateraanvulling verhoogd met 40 %:
 - was gemiddeld 0,50 mm/dag;
 - WETSPASS gemiddeld 0,70 mm/dag.

In onderstaande alinea's worden de verbeterde modelresultaten in het topsysteem besproken. Hiervoor is in de eerste plaats goed gekeken naar de betrouwbaarheid van de beschikbare peilbuizen. Met een set aan betrouwbare en focuspeilbuizen is de modelprestatie geanalyseerd op basis van de statische verbetering, verbetering in de bollenkaarten en de verbetering in tijdstijghoogtelijnen.

Focus en minder betrouwbare peilbuizen

Voor het analyseren van de prestatie van het instationaire model zijn enkele peilbuizen uit de ijkset (in overleg met de werkgroep) aangemerkt als focuspeilbuizen of minder betrouwbare peilbuizen (Afbeelding 4.12). Deze focuspeilbuizen zijn peilbuizen die zo naar verwachting weinig beïnvloed worden door een eventueel gestuurd regime en dus in principe correct gemodelleerd moeten kunnen worden. De minder betrouwbare peilbuizen zijn peilbuizen die vanwege lokale effecten niet of zeer moeilijk correct gemodelleerd kunnen worden. Het gaat hier bijvoorbeeld om peilbuizen op een afstand van maar 30 meter van een watergang die een grote afwijking ten opzichte van die watergang laten zien. Dit kan enkel lokaal verklaard worden door fouten in de metingen, het oppervlaktewaterpeil of de lokale weerstand. Omdat het model erop gericht is het systeem correct (op regionale schaal) te modelleren worden deze peilbuizen niet meegenomen. Er zijn dus 2 sets aan metingen gebruikt: metingen in de focuspeilbuizen en metingen in alle betrouwbare peilbuizen (alles met uitzondering van de onbetrouwbare peilbuizen).

Afbeelding 4.12 Overzicht focuspeilbuizen en onbetrouwbare peilbuizen



Overzicht modelverbetering met behulp van statistiek

Ook voor het topsysteem is weer eerst gekeken naar de statistische verbetering van het modelresultaat. Hiervoor is de afwijking in GLG, GHG, GVG en de gemiddelde grondwaterstand tussen de metingen en het model vergeleken. Onderstaande figuren tonen zowel de gemiddelde¹ (Afbeelding 4.13) als de absolute RMS²-afwijking (Afbeelding 4.14) van alle ondiepe focuspeilbuizen voor de gemiddelde en GLG-grondwaterstanden. Figuren met alle statistische afwijkingen (GHG, GVG, GLG en gemiddeld voor zowel gemiddelde als absolute afwijkingen voor zowel de focus peilbuizen als alle peilbuizen) zijn te vinden in bijlage IV.

Ten eerste tonen de figuren dat in eerste instantie de ondiepe gemiddelde en GLG-grondwaterstanden met circa 40 cm onderschat werden door het model. Door de eerder genoemde aanpassingen is de onderschatting van de gemiddelde grondwaterstand in Zegge Mosselgore nog maar enkele centimeters en is in Olens Broek momenteel een lichte overschatting van de gemiddelde grondwaterstanden. De GLG-grondwaterstanden worden in beide natuurgebieden gemiddeld nu enigszins overschat (19 cm in Olens Broek en 6 cm in Zegge Mosselgoren). Deze overschatting van de GLG-grondwaterstanden is gebruikelijk aangezien watergangen in de werkelijke situatie niet allemaal op peil gehouden kunnen worden gedurende droge periodes terwijl dat in het model wel verondersteld wordt.

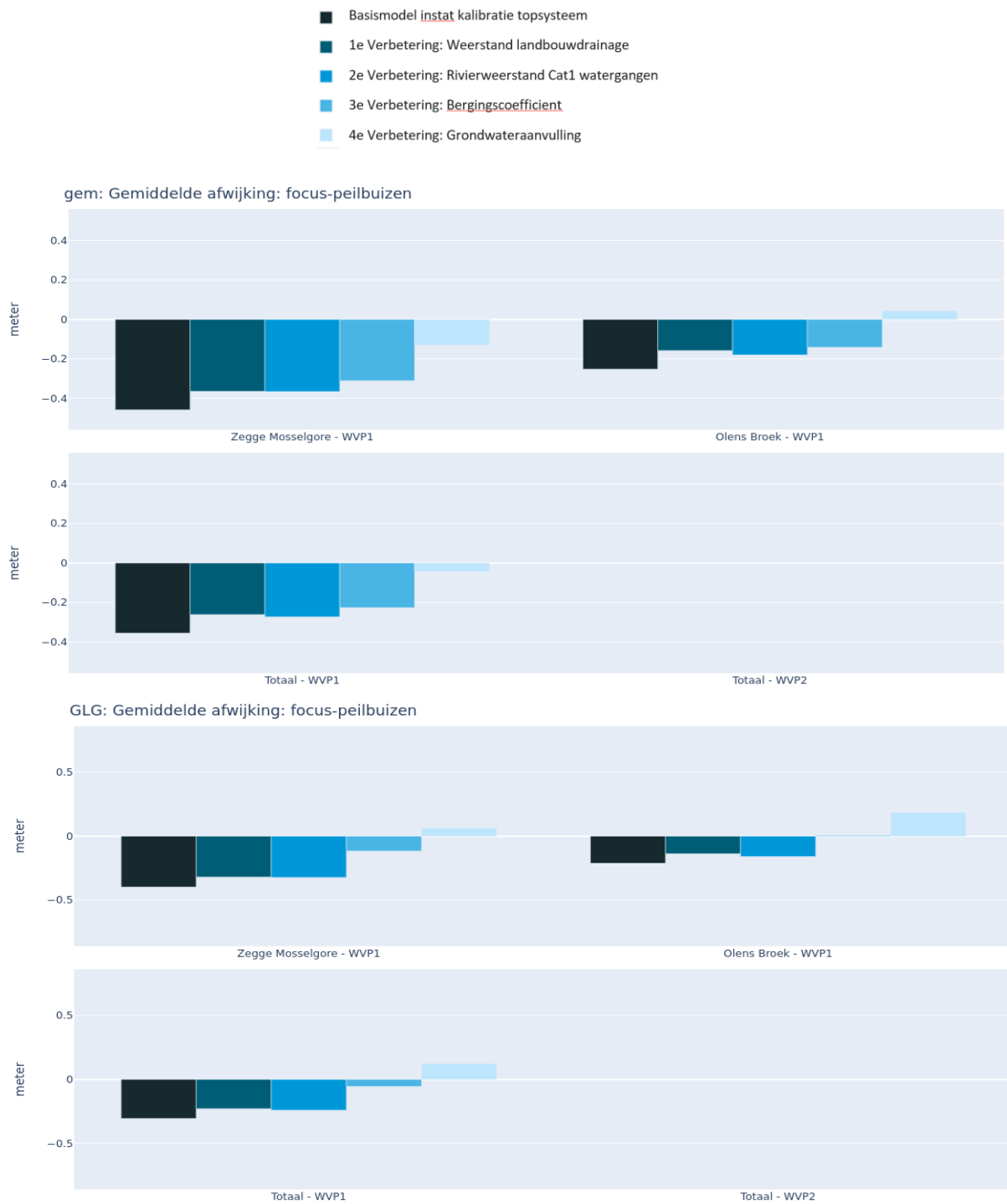
Ook de absolute afwijking neemt aanzienlijk af als gevolg van de modelverbeteringen. Voor de verbeterslagen was de absolute afwijking van de GLG en gemiddelde grondwaterstand in de focuspeilbuizen in Zegge Mosselgoren respectievelijk 46 en 48 cm. Dit is verlaagd naar 22 en 20 cm door het toepassen van de verbeteringen. Voor Olens Broek zijn deze afwijkingen verlaagd van 29 en 27 cm naar 25 en 11 cm.

De statistische verbeteringen van de GVG en GHG en van de volledige peilbuiset tonen een vergelijkbaar patroon (zie bijlage IV) en bevestigen dus de over het algemeen goede modelprestatie als gevolg van de verbeterslagen. De volgende paragrafen tonen de ruimtelijke en temporele prestatie en verbetering van het model aan de hand van bollenkaarten en tijdstijhoogtelijnen.

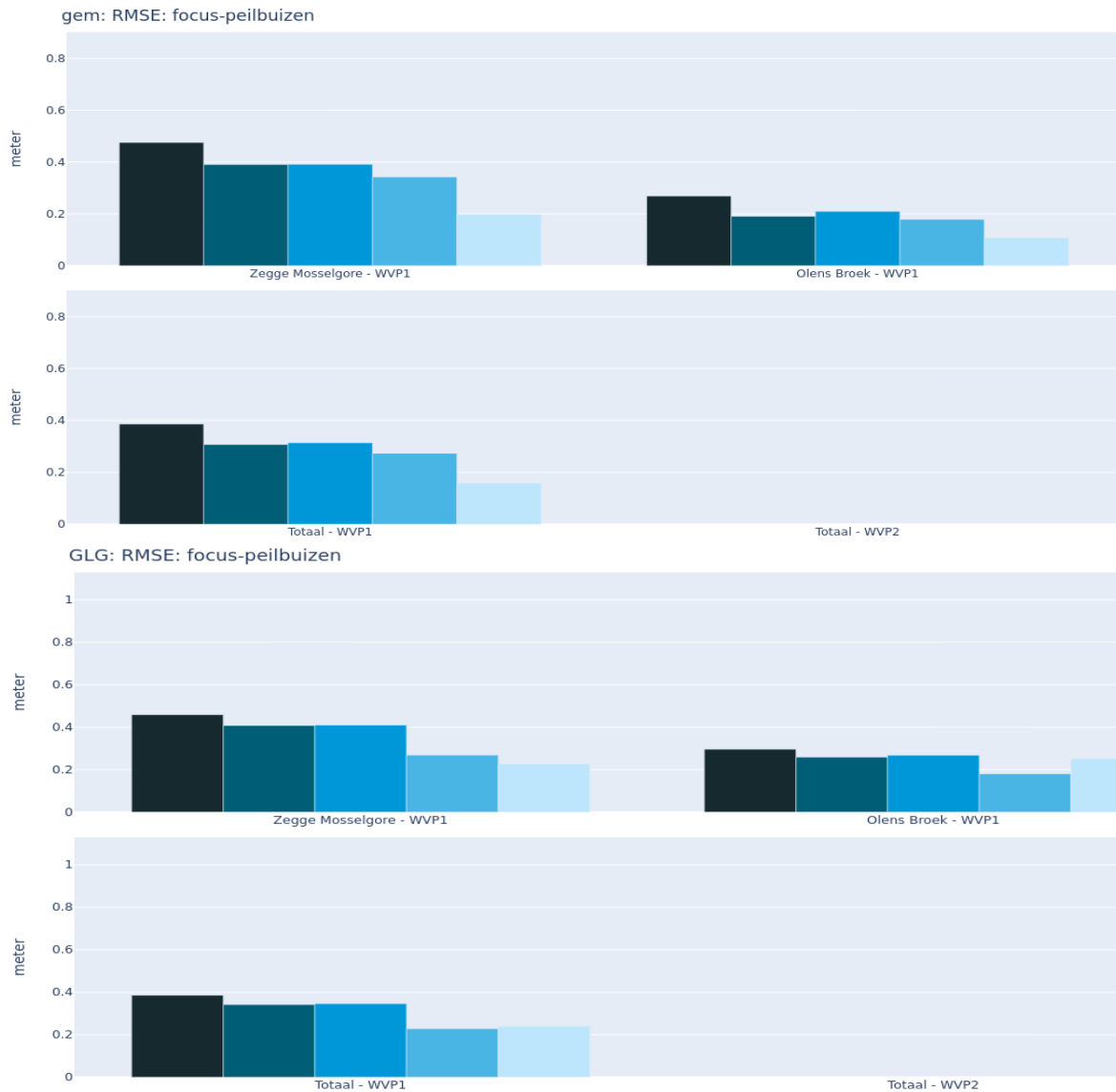
¹ Gemiddelde van alle afwijkingen, positieve en negatieve afwijkingen kunnen elkaar dus uitmiddelen.

² Op basis van de Root-Mean-Square error: voor elke peilbuis wordt het kwadraat van de afwijking genomen, hiervan wordt het gemiddelde bepaald en van dit gemiddelde de wortel. Zo kunnen positieve en negatieve afwijkingen elkaar niet uitmiddelen.

Afbeelding 4.13 Gemiddelde afwijking in de ondiepe focuspeilbuizen voor gemiddelde en GLG-grondwaterstanden. Linksboven alleen voor Zegge Mosselgore, rechtsboven voor Olens Broek en linksonder voor het hele modelgebied.



Afbeelding 4.14 Absolute RMS-afwijking in de ondiepe focuspeilbuizen voor gemiddelde en GLG-grondwaterstanden. Linksboven alleen voor Zegge Mosselgore, rechtsboven voor Olens Broek en linksonder voor het hele modelgebied.

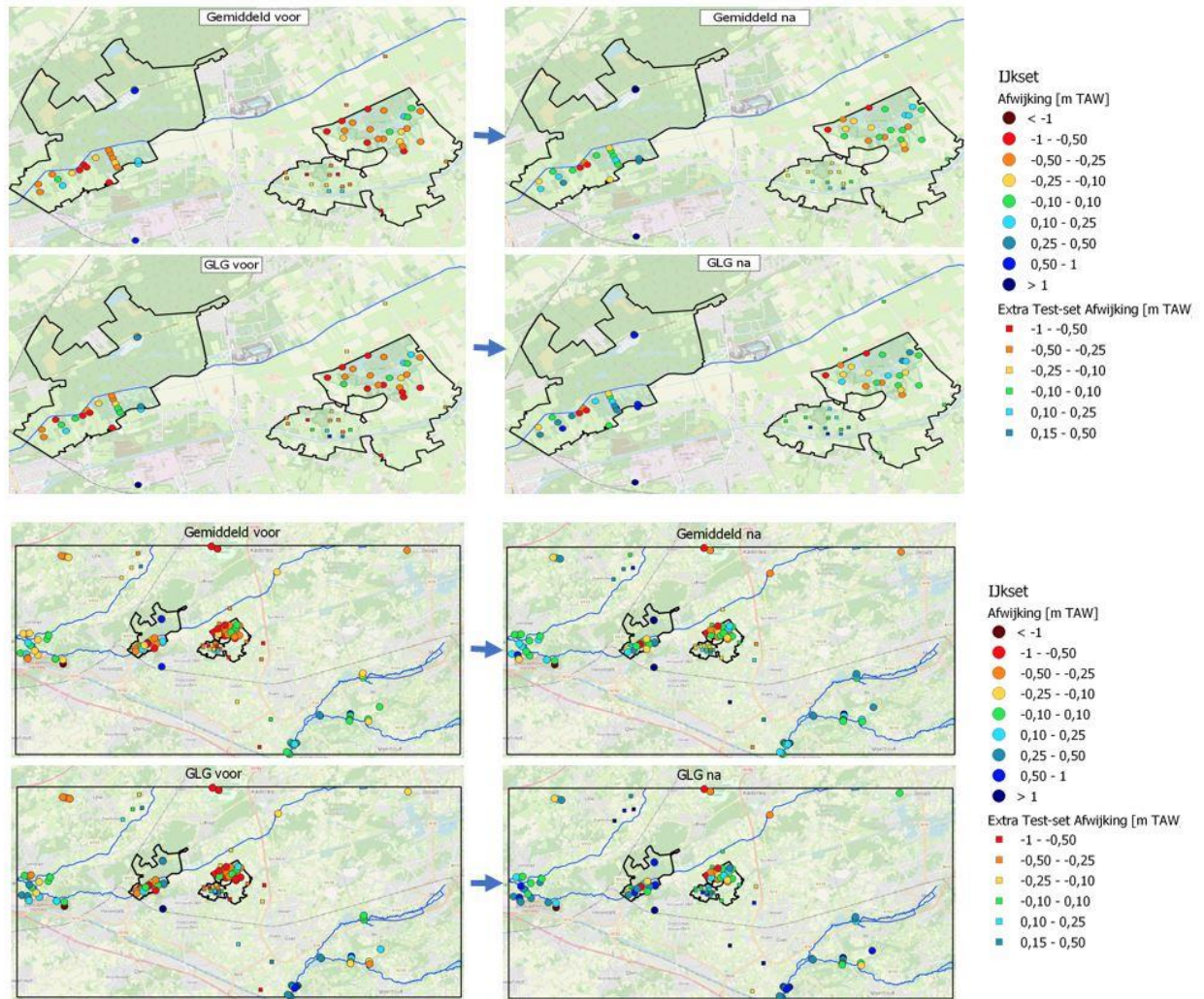


Overzicht modelverbetering met behulp van bollenkaarten

De modelverbeteringen en modelprestatie zijn ook ruimtelijk onderzocht door middel van bollenkaarten (Afbeelding 4.15 en bijlage V). Hierop is duidelijk zichtbaar de onderschatting van de grondwaterstanden sterk is afgenomen en in sommige gevallen zelfs omslaat naar een lichte overschatting. Ook is duidelijk te zien dat binnen de natuurgebieden zowel over- als onderschatting plaatsvindt en er geen structurele afwijking van de berekende grondwaterstanden meer is. Enkel in Olens Broek wordt de GLG enigszins overschat, zoals eerder beschreven is dit vermoedelijk te verklaren door lokale watersystemen die in het model niet uitzakken wat in de praktijk wel kan gebeuren.

Concluderend laten ook deze figuren weer de goede prestatie van het model zien. Lokale afwijkingen zijn uiteraard onvermijdelijk maar het algemene systeem wordt correct gemodelleerd. Bij de latere interpretatie van de effectkaarten van de maatregelen wordt met de modelafwijkingen rekening gehouden.

Afbeelding 4.15 Bollenkaarten van de modelprestatie voor GLG en gemiddelde grondwaterstanden



Tijdstijghoogtelijnen

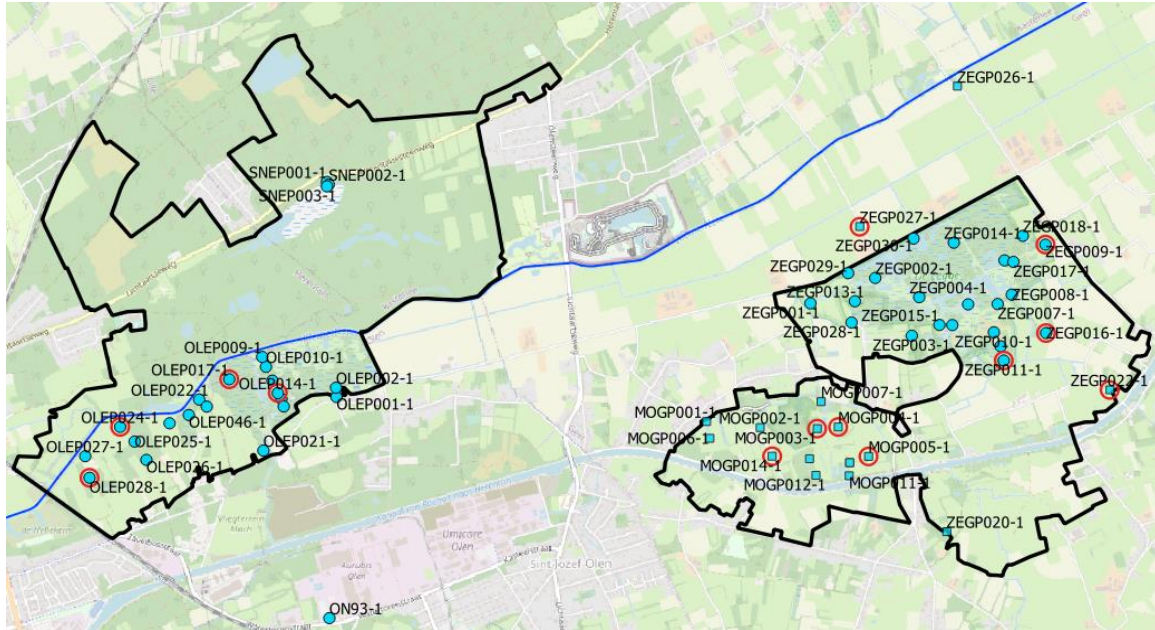
Als laatste is de temporele modelprestatie gecontroleerd aan de hand van tijdstijghoogtelijnen van zowel de metingen als de modellering (Afbeelding 4.16, Afbeelding 4.17 en Bijlage VI). Hieronder zijn voor elk focusgebied (Zegge, Mosselgoren en Olens Broek) ten minste 2 peilbuizen getoond.

Ten eerste valt op dat in de Zegge de modelverbeteringen leiden tot een aanzienlijke verbetering van de modelprestatie. In eerste instantie was de uitzakking tijdens droge periodes te groot wat leidde tot te droog berekende grondwaterstanden. Met name door het verhogen van de bergingscoëfficiënt en het verhogen van de grondwateraanvulling komt het patroon nu aanzienlijk beter overeen met de metingen. Ook in het landbouwgebied (ZEGP027-1) presteert het model goed. Enkel de zeer hoge grondwaterstanden worden niet meegenomen in de berekeningen, deze zijn vermoedelijk het gevolg van lokale overstromingen die niet gemodelleerd worden.

Voor Mosselgoren zijn de resultaten enigszins minder goed dan in de Zegge maar nog steeds is de modelprestatie aanzienlijk verbeterd. Vooral de droge periodes zitten beter in het model. Voor enkele peilbuizen is echter het modelleren van de hoge grondwaterstanden tijdens natte periodes een uitdaging. Dit kan komen omdat lokaal de weertand van drainerende watergangen nog lager is dan nu gemodelleerd. Aangezien het hierbij niet om regionale afwijkingen gaat is het niet mogelijk dit verder te optimaliseren zonder de prestatie in andere peilbuizen te verminderen. Bij de analyse van de effecten van de maatregelen wordt met de afwijkingen rekening gehouden. Over het algemeen is echter ook in Mosselgoren de modelprestatie ruim voldoende.

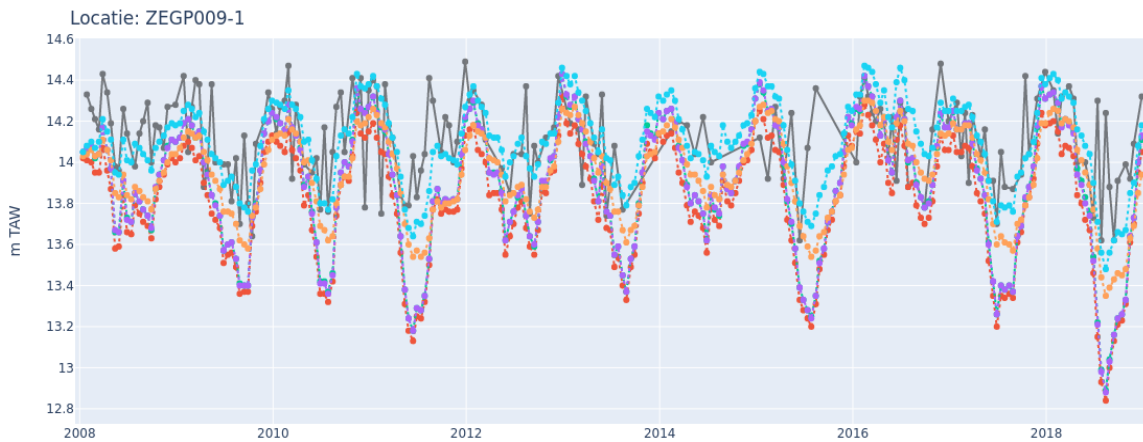
Ook in Olens Broek worden de grondwaterstand na de modelverbeteringen temporeel goed berekend. In sommige droge periodes zijn de berekende grondwaterstanden ofwel te laag (OLEP24-1) ofwel te hoog (OLEP14-1) als gevolg van lokale invloeden die niet gemodelleerd kunnen worden, maar over het algemeen zit de dynamiek van de grondwaterstanden ook hier weer goed in het model.

Afbeelding 4.16 Overzicht peilbuizen

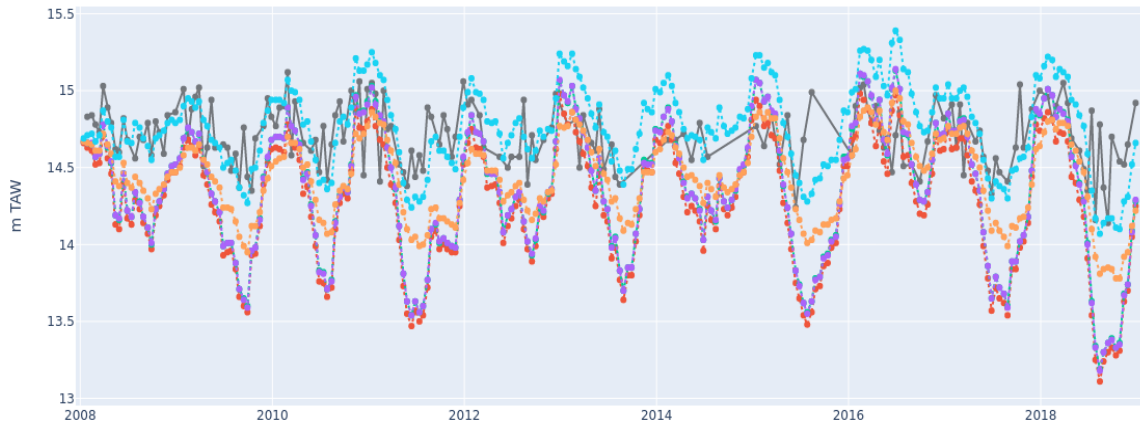


Afbeelding 4.17 Tijdstijghoogtelijnen ter controle temporele modelprestatie

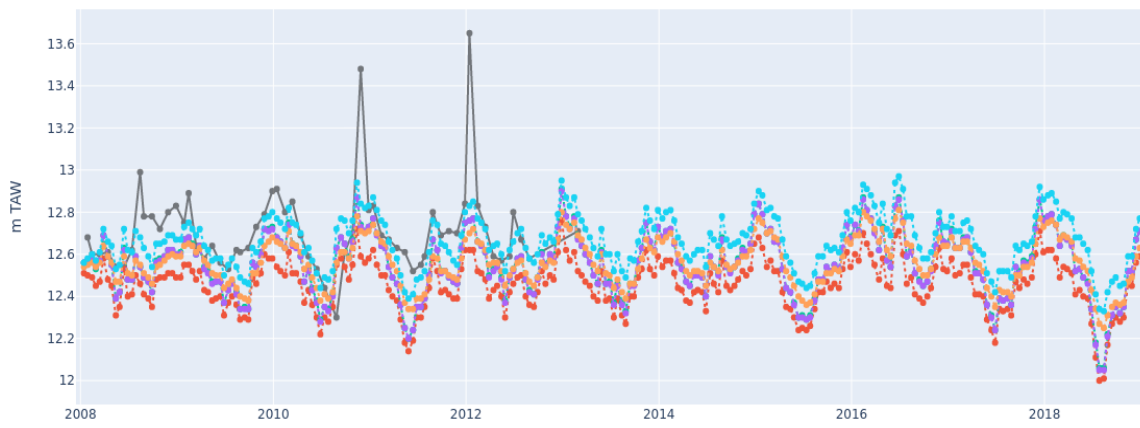
- peilbuismetingen
- Basismodel instat kalibratie topsysteem
- 1e Verbetering - Weerstand landbouwdrainage
- 2e Verbetering - Rivierweerstand Cat1 watergangen
- 3e Verbetering - Bergingscoefficient
- 4e Verbetering - Grondwateraanvulling



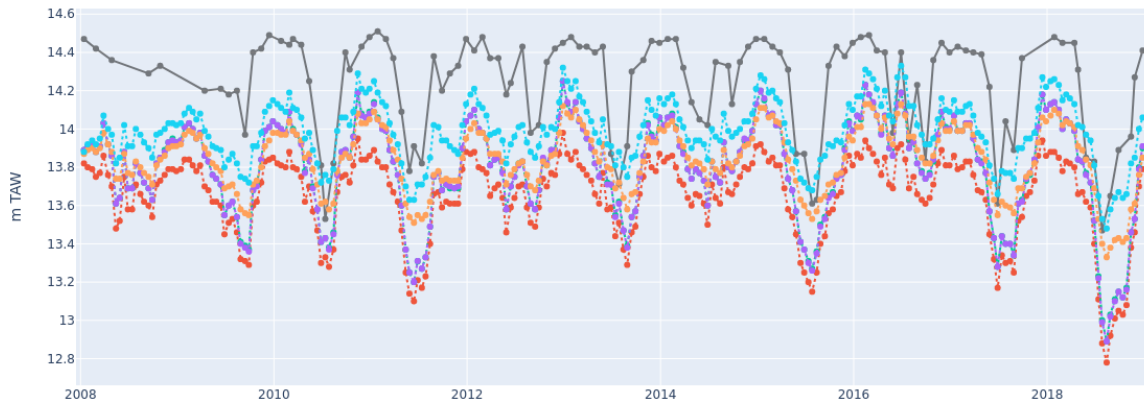
Locatie: ZEGP016-1



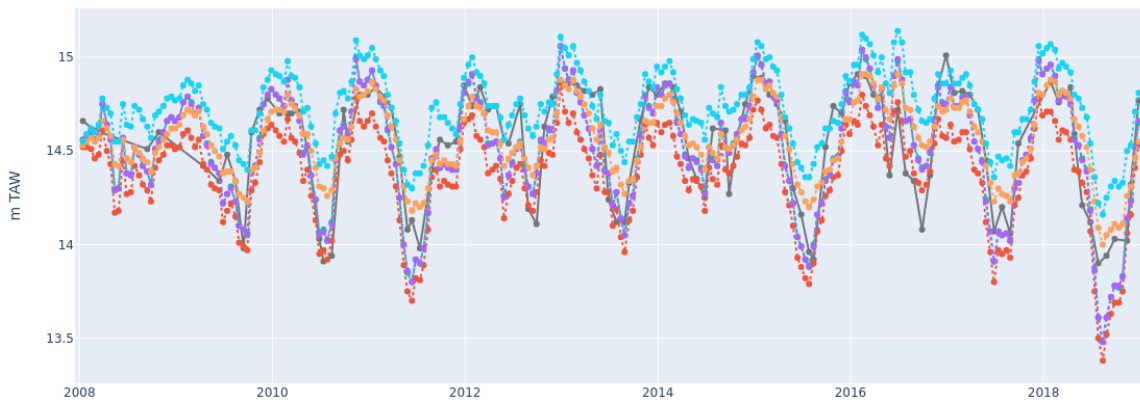
Locatie: ZEGP027-1

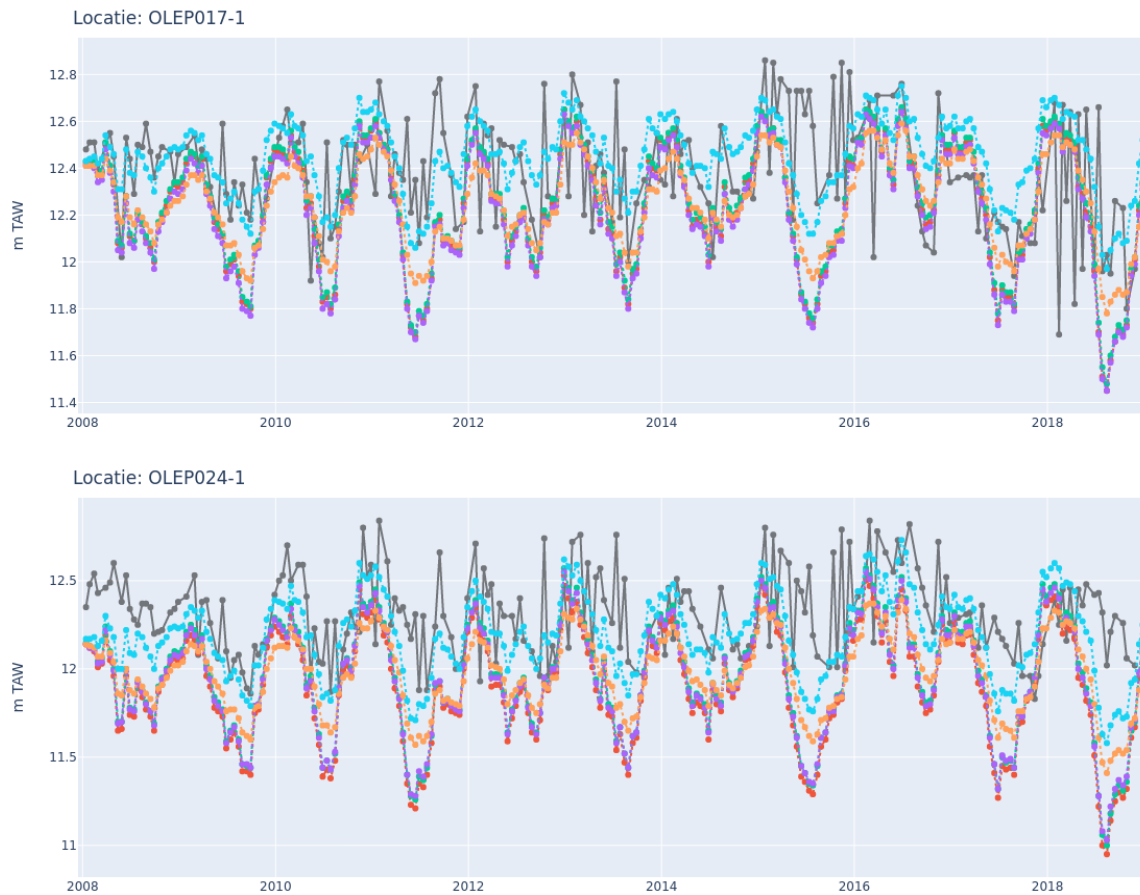


Locatie: MOGP004-1



Locatie: MOGP014-1





4.5.3 Conclusie instationaire kalibratie

Op basis van zowel de statistiek als de bollenkaarten en tijdstijghoogtelijnen blijkt dat het model na optimalisatie goed presteert. Afgezien van een lichte algemene overschatting van de GLG in Olens Broek zijn er geen algemene over- of onderschattingen en zit het regionale grondwatersysteem goed in het model. Ook de dynamiek laat zien dat de interactie tussen de grondwaterstanden en de aanvulling/infiltratie/drainage over het algemeen correct en met de juiste timing gemodelleerd wordt.

Lokale afwijkingen tussen model en meting zijn uiteraard onvermijdelijk. Deze zijn ook in het huidige model zichtbaar. Het is daarom bij de interpretatie van de effecten van verschillende maatregelen belangrijk om niet naar de absoluut berekende grondwaterstanden te kijken, maar juist te focussen op de verschillen die optreden als gevolg van doorgevoerde maatregelen. Ook is het belangrijk dit niet op lokaal niveau te analyseren maar naar de regionale systeemwerking te kijken. Voor lokale analyse is er teveel onzekerheid, bijvoorbeeld in weerstanden en peilen van het oppervlaktewatersysteem, grondwateraanvulling en heterogeniteit in de bodemopbouw.

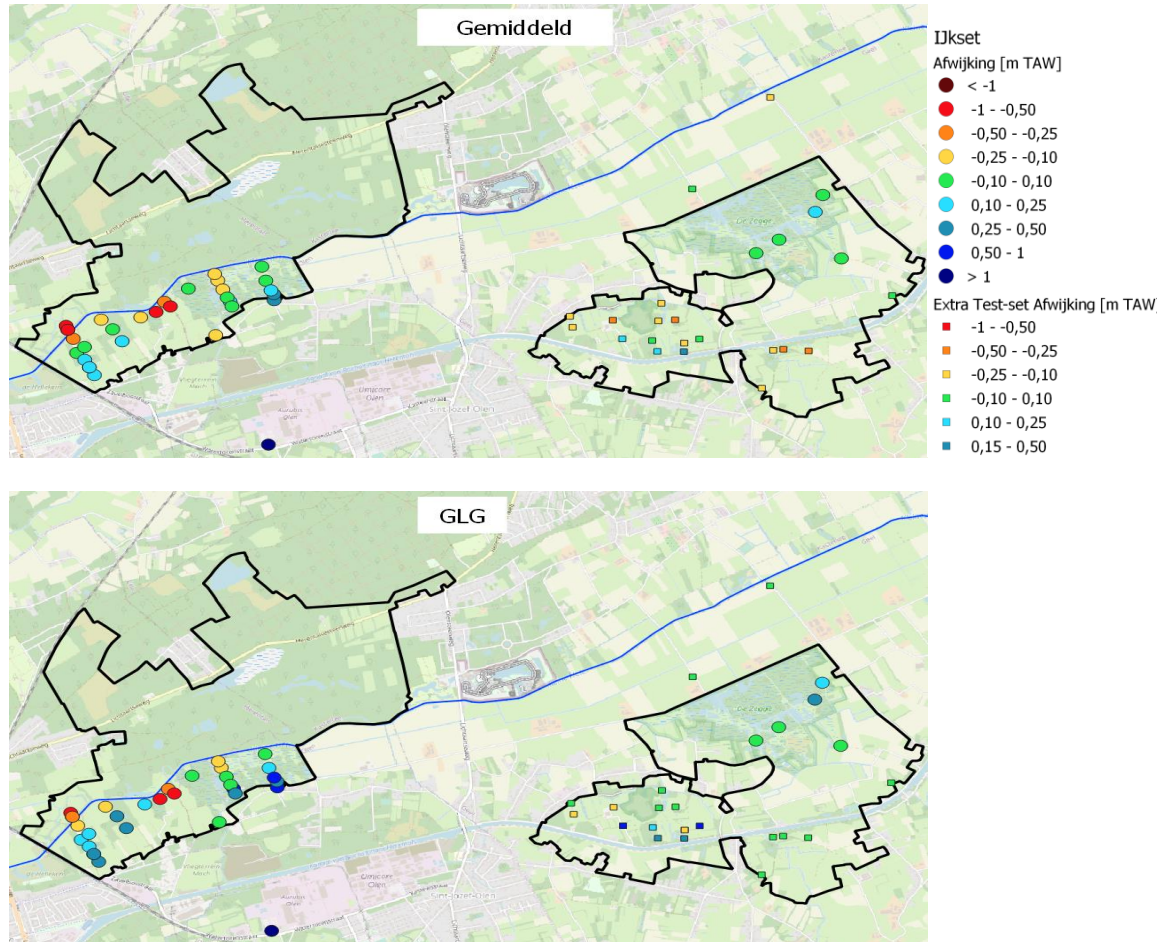
4.6 Instationaire validatie

Een validatie van het instationaire model is uitgevoerd door het model door te rekenen voor een andere periode dan de kalibratieperiode. De validatie is geen onderdeel van de kalibratie, maar een aanvulling, waarbij de betrouwbaarheid van de modellering voor een andere periode inzichtelijk is gemaakt. Voor de validatie is op verzoek van de werkgroep de periode van 2000 tot 2008 gebruikt.

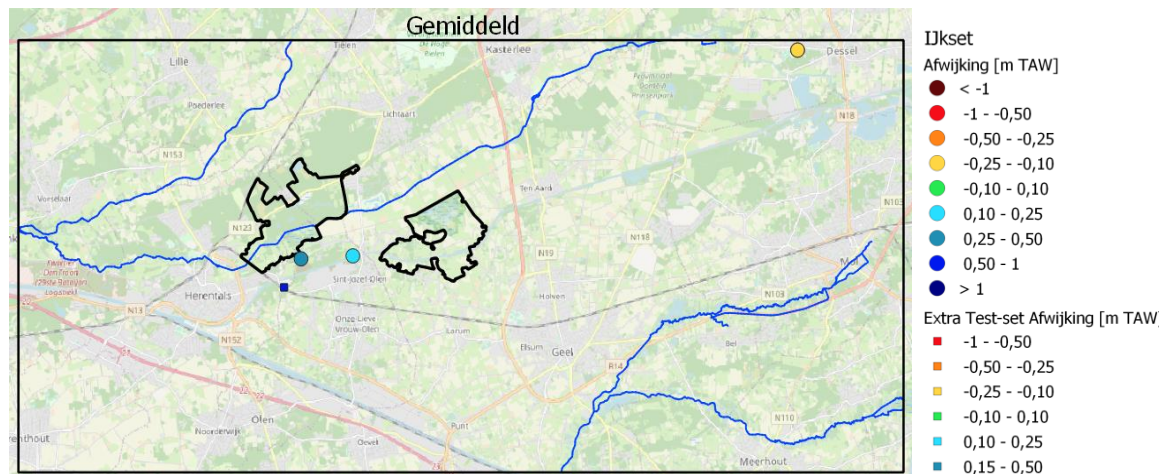
De bollenkaarten voor de validatieperiode zijn voor het ondiepe en diepe pakket weergegeven in Afbeelding 4.18, Afbeelding 4.19 en Bijlage VII. Hierop is te zien dat het model tijdens de validatieperiode zeer goed presteert. Met name de ondiepe peilbuizen in de Zegge hebben over het algemeen afwijkingen van

minder dan 10 cm. Ook in Olens Broek en Mosselgoren is de prestatie ruim voldoende. In Olens Broek wordt de GLG veelal enigszins overschat zoals ook tijdens de kalibratie gebeurde. Er zijn echter in zowel Olens Broek als Mosselgoren zowel peilbuizen met over- als onderschatting. In het diepe pakket vindt (net als tijdens kalibratie) overschatting van stijghoogtes plaats.

Afbeelding 4.18 Afwijking ondiepe peilbuizen gemiddelde grondwaterstand en GLG

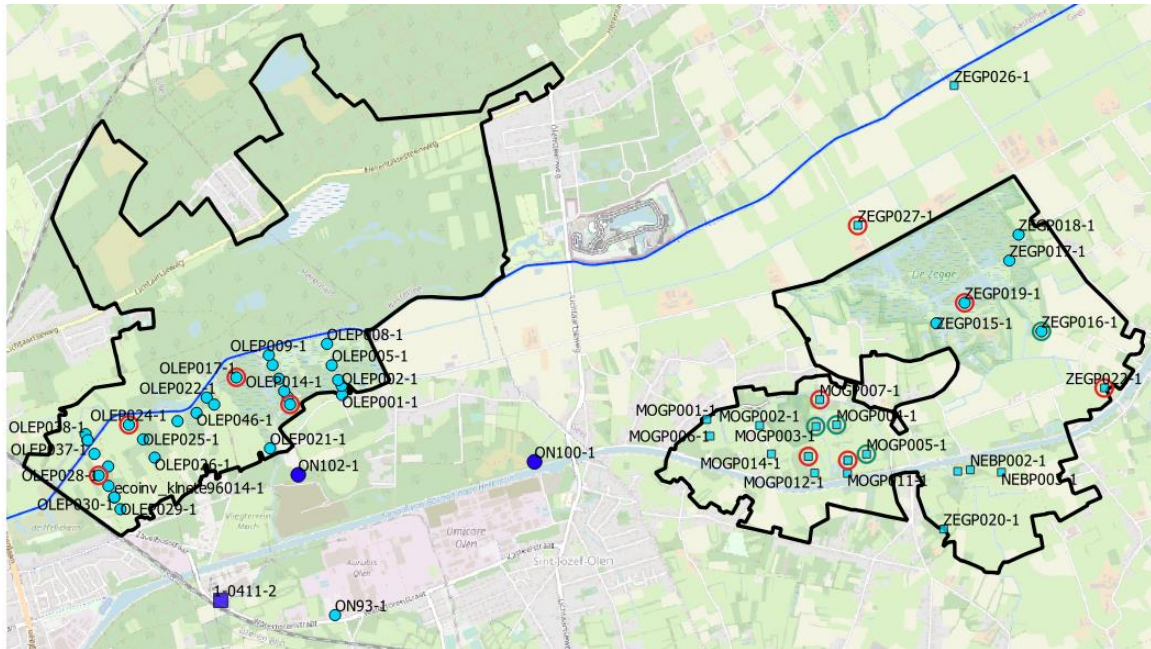


Afbeelding 4.19 Afwijking diepe peilbuizen gemiddelde stijghoogte

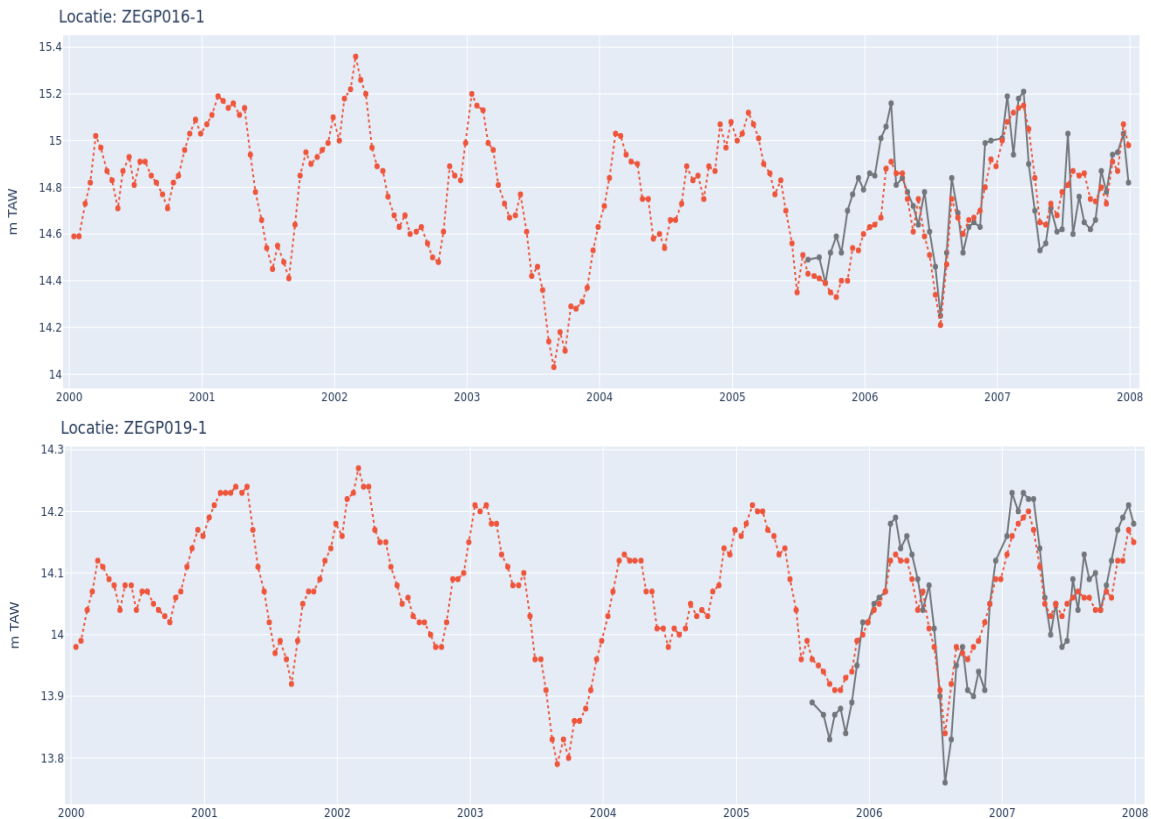


De tijdstijghoogtelijnen van de berekende en gemeten grondwaterstanden zijn weergegeven in Afbeelding 4.20, Afbeelding 4.21 en Bijlage VIII. Hierop is duidelijk zichtbaar dat de modelprestatie ook op basis van deze tijdstijghoogtelijnen als zeer goed beschouwd kan worden. Dit is voornamelijk het geval in de Zegge en de peilbuis ten noorden van de Zegge. Maar ook in Olens Broek en Mosselgoren is de modelprestatie erg goed met een juiste dynamiek en kleine absolute afwijkingen.

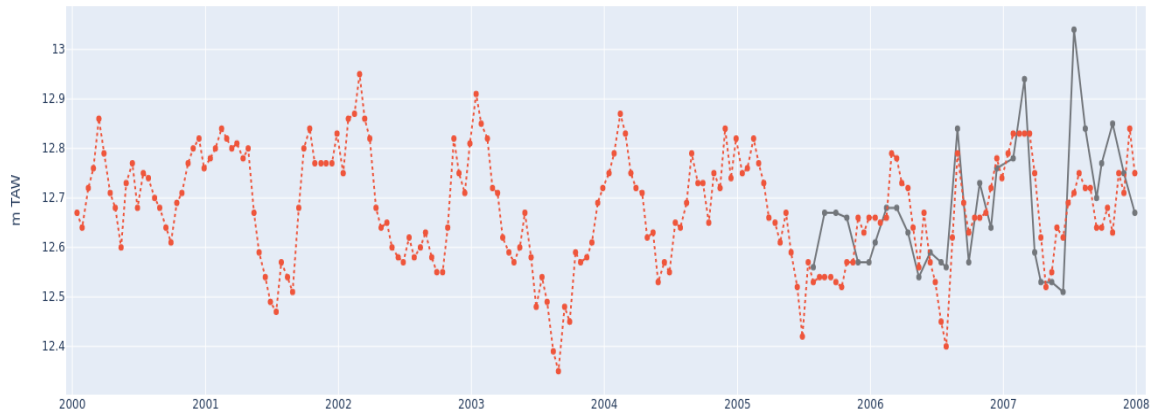
Afbeelding 4.20 Overzicht peilbuizen validatie



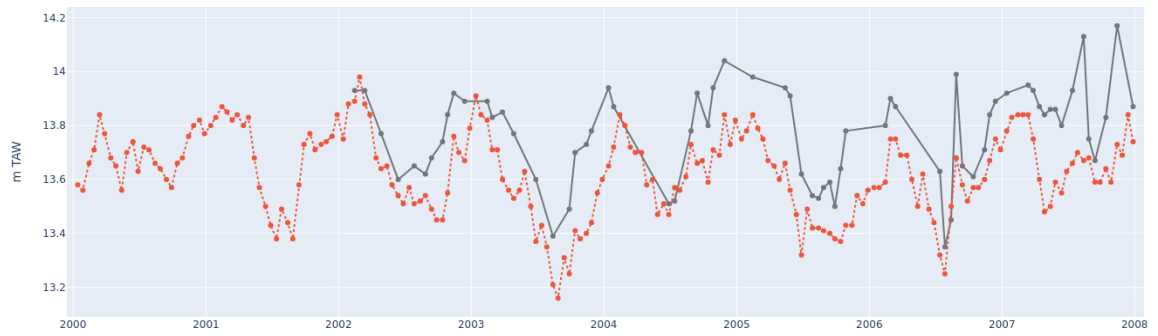
Afbeelding 4.21 Tijdstijghoogtelijnen ter controle temporele modelprestatie validatieperiode



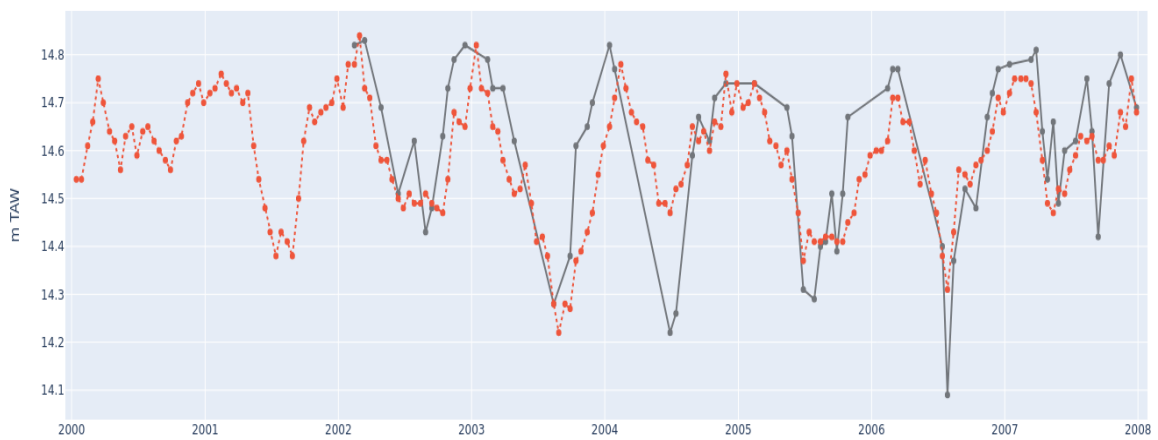
Locatie: ZEGP027-1

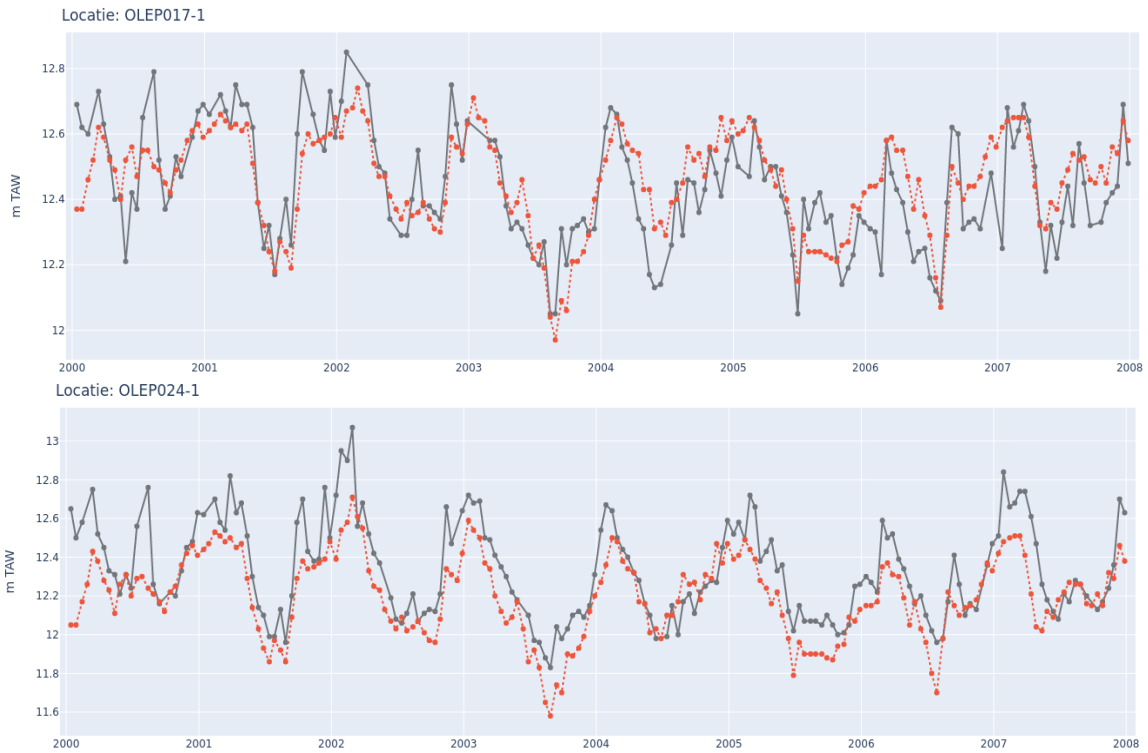


Locatie: MOGP007-1



Locatie: MOGP013-1





Ook op basis van deze instationaire validatie blijkt de modelprestatie goed. Het model kan dus met goed vertrouwen gebruikt worden voor het doorrekenen van scenario's. Uiteraard geldt zoals bij ieder model dat er een zekere mate van onzekerheid in het model zit, wat ook blijkt uit de lokaal geldende afwijkingen tussen model en meting. Om deze reden is het dus belangrijk om bij de analyse van de scenariodoorrekeningen niet op de absoluut berekende grondwaterstanden en stijghoogtes te focussen maar voornamelijk te kijken naar de verschillen ten opzichte van de momenteel geldende situatie.

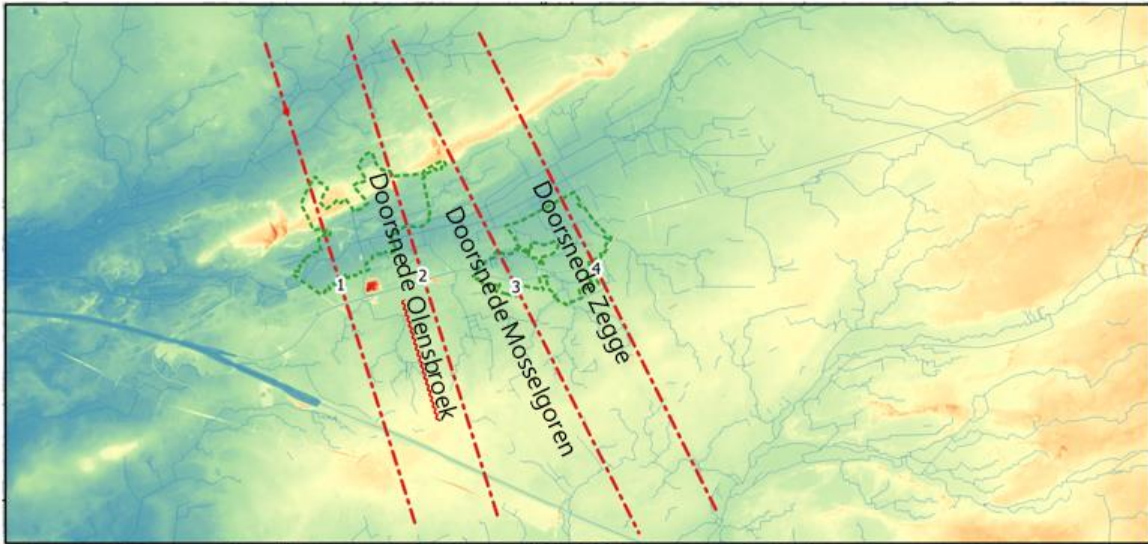
5

REFERENTIES

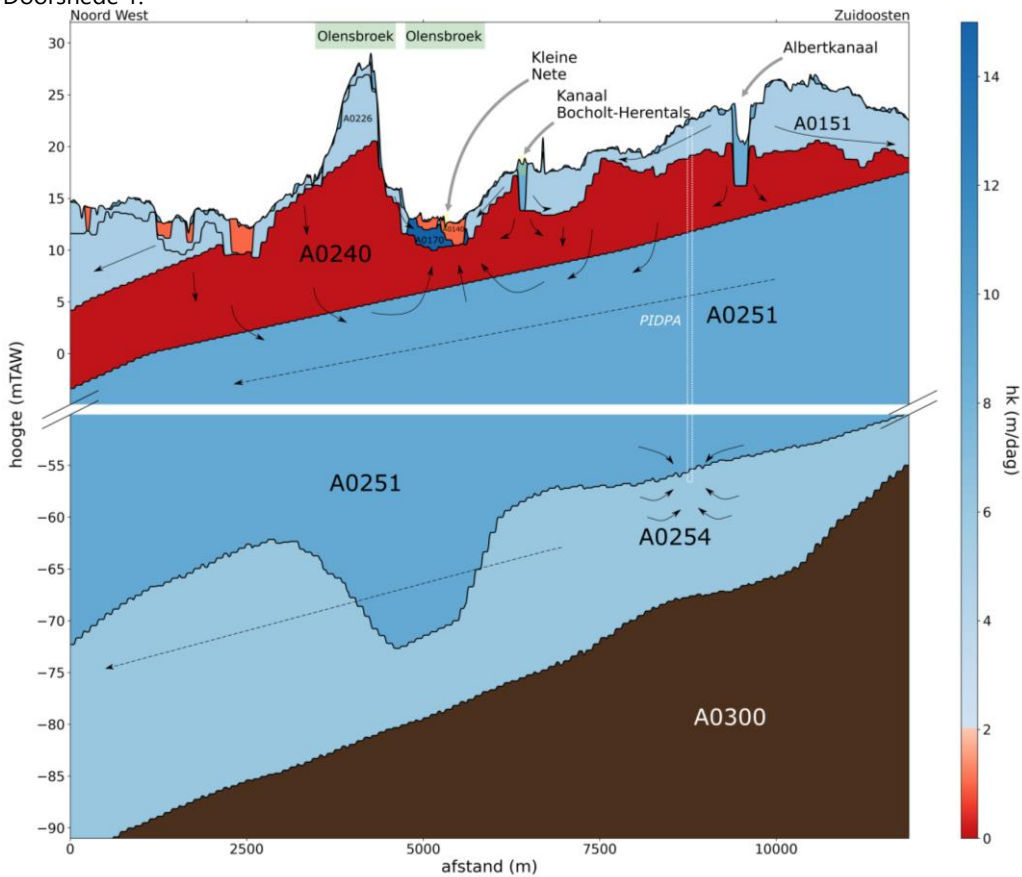
- 1 Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen, 2014. Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II, DTM 1-m raster. Versie: 2014.01. Gepubliceerd op 13 november 2014.
- 2 Grondwaterzakboekje, B. Bot (2016).
- 3 SHIP, 2020. Extra Container Capaciteit Antwerpse haven – Grondwatermodellering voor M.E.R. CCL Rapport ECA, Opzet en kalibratie van het regionaal grondwatermodel. Versie 1.0-Y, d.d. 21 juni 2021.
- 4 Van Ballaert, S., De Becker, P, Herr C., Vandamme, L. , Verbaarschot, E., Weijters, M., Bobbink, R., Verbeiren, B., Huysmans, M. (2017). Ecohydrologische studie met bodemanalysen voor Graafweide-Schupleer . Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2017 (16). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.12862856.
- 5 Deckers J., De Koninck R., Rombaut B., 2019. Update Hydrogeologische Codering van Vlaanderen: HCOV-versie 2. Studie uitgevoerd in opdracht van: Vlaamse Milieumaatschappij 2019/RMA/R/1899, 21p. + bijlagen.
- 6 Vlaanderen, Waterinfo, geraadpleegd in augustus 2021 via <https://www.waterinfo.be/>.
- 7 Vlaamse Milieumaatschappij, 2021. Oppervlaktemodel (ICM) Kleine Nete.
- 8 Vlaamse Milieumaatschappij, Vlaamse Hydrografische Atlas, geraadpleegd in augustus 2021 via <https://www.vmm.be/data/vlaamse-hydrografische-atlas>.
- 9 Agentschap Informatie Vlaanderen, 2021. Grootchalig Referentiebestand (GRB). Gepubliceerd in juni 2021.
- 10 KNMI, 2021. Daggegevens van het weer in Nederland, geraadpleegd in augustus 2021, via <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>.
- 11 Vlaamse Milieumaatschappij. Info-sessie Vlaamse Afstromingsgevoelige Gebieden. Geraadpleegd via https://www.vmm.be/evenementen/presentaties/infosessies-overstromingskaarten-door-intense-neerslag/2_vlagg_externereview_voorstelling_tw.pdf
- 12 Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, Modelrapportage. Versie NHI\FASE_1+\2008\DR8\v1 d.d. december 2008.
- 13 Intercollegiaal overleg AGT en Witteveen+Bos tbv afstemming modelparameters Zegge, 19 april 2022 & 28 oktober 2022.
- 14 Van Diggelen, R., & Grootjans, A. (2019). Bedreigingen en herstel mogelijkheden van het KMDA reservaa "De Zegge". (ECOBÉ 019-R233 redactie) (ECOBÉ 019-R233; Nr. 019-R233). Ecosystem Management Research Group.

Bijlage(n)

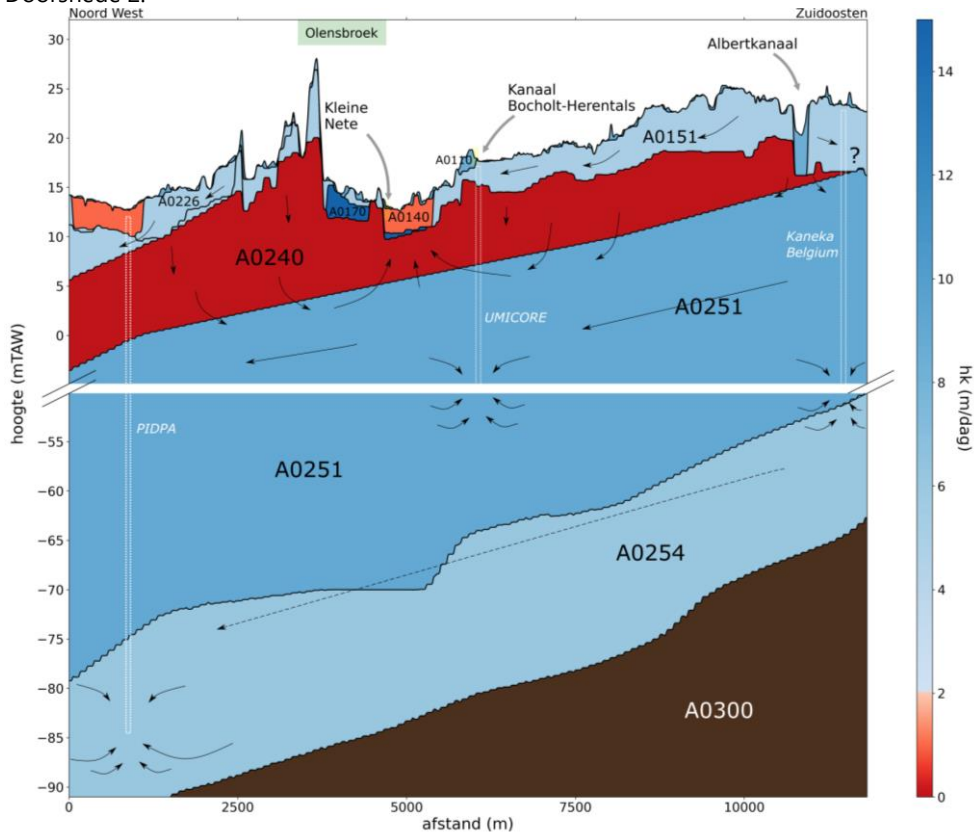
BIJLAGE: DOORSNEDES SYSTEEMANALYSE



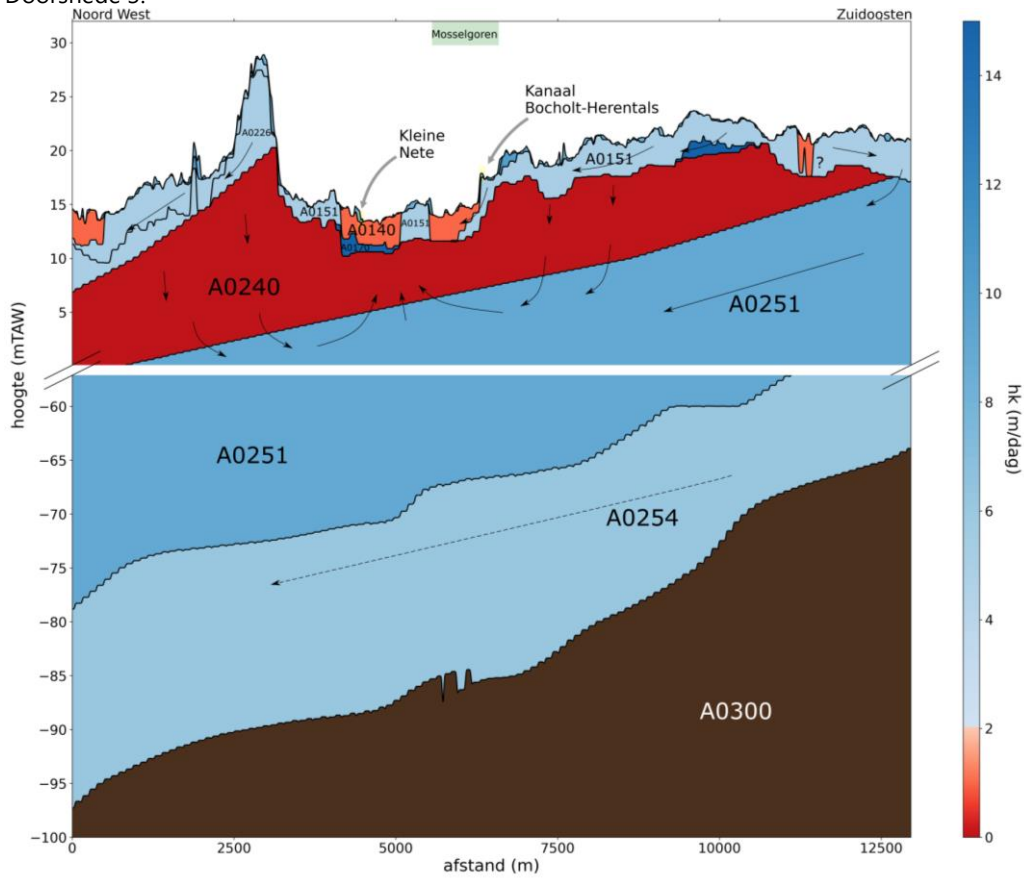
Doorsnede 1:



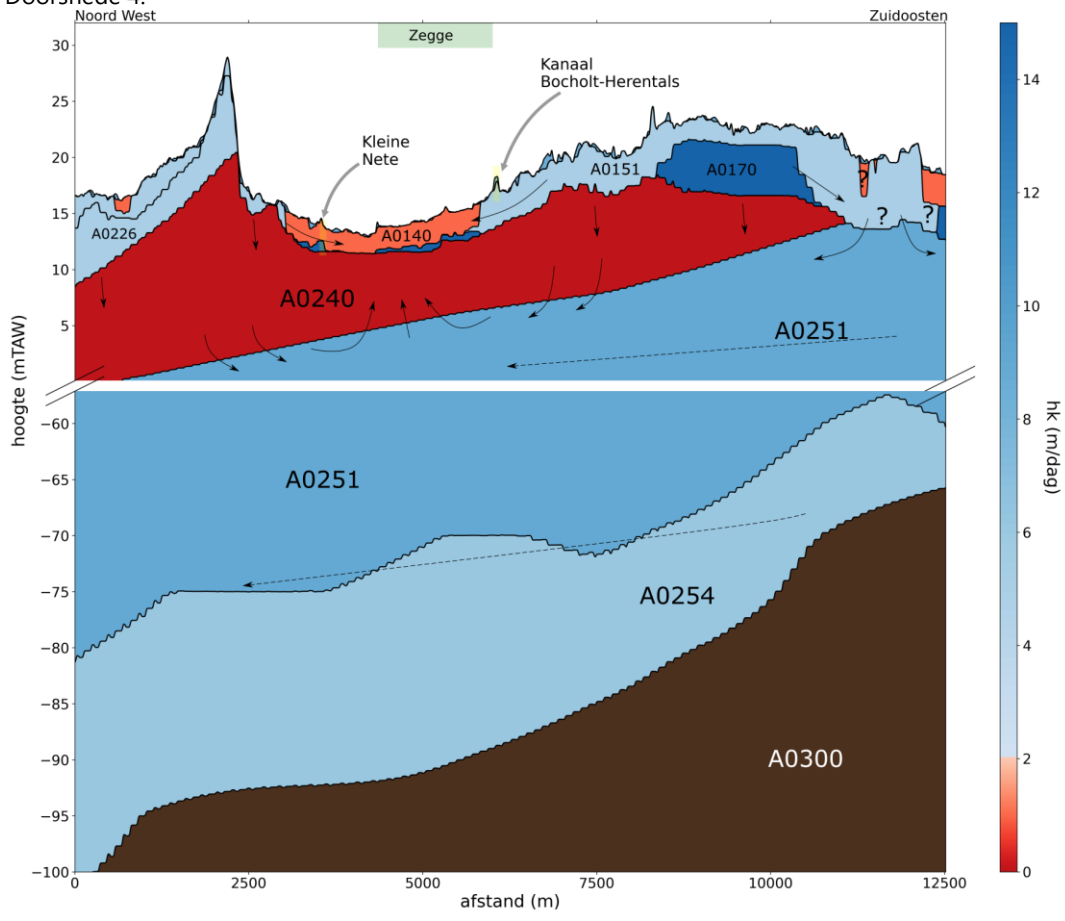
Doorsnede 2:



Doorsnede 3:

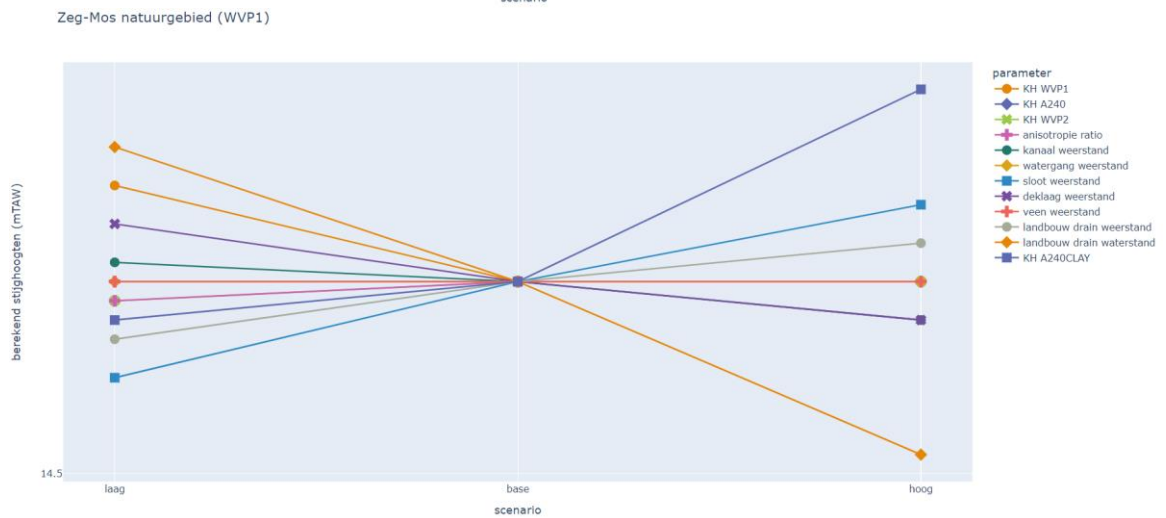
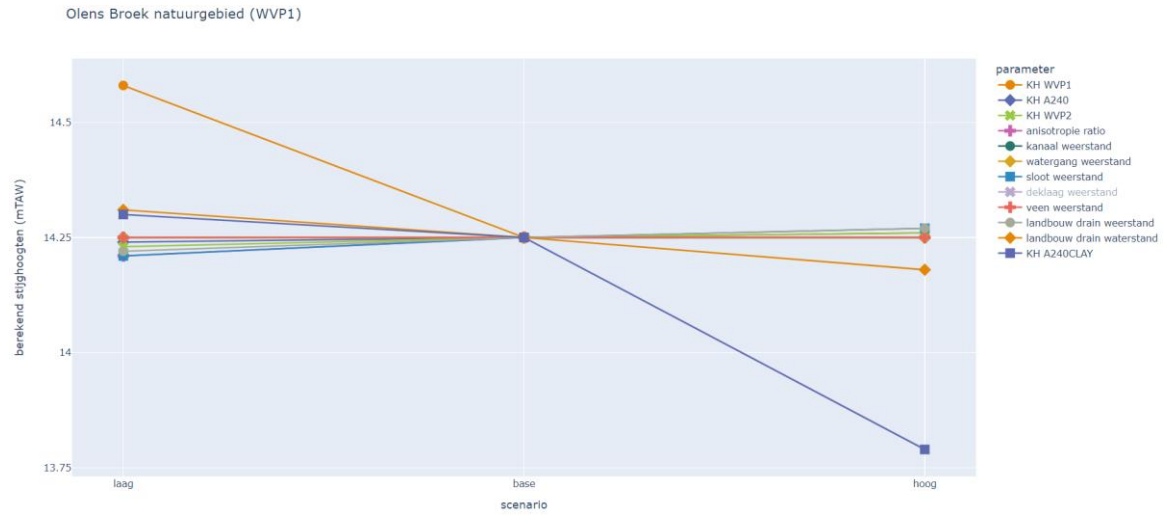


Doorsnede 4:

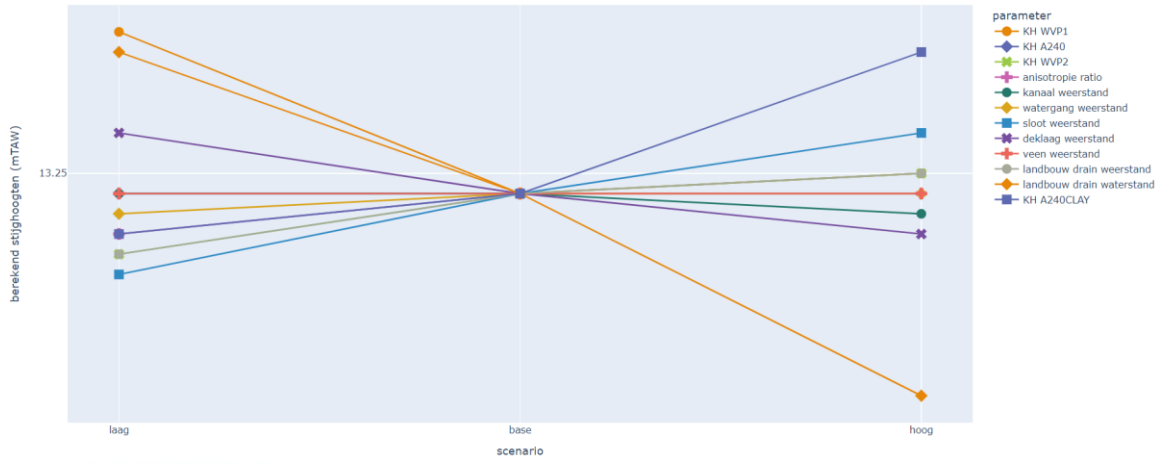




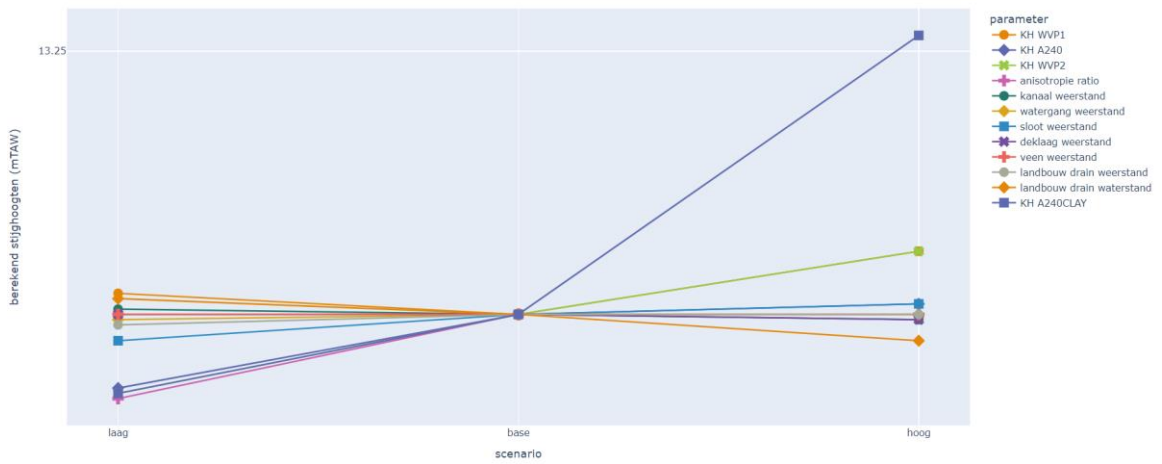
BIJLAGE: RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE



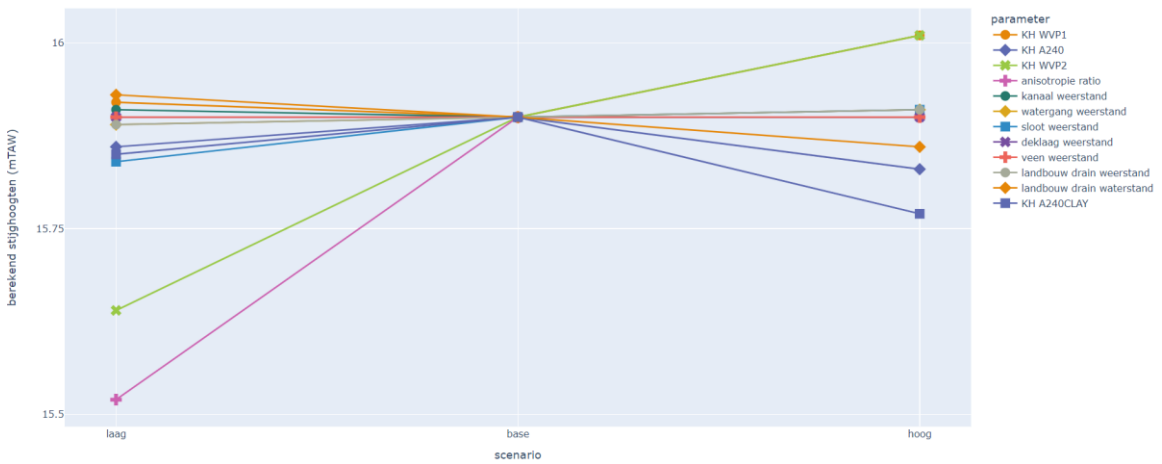
Centraal landbouwgebied (WVP1)



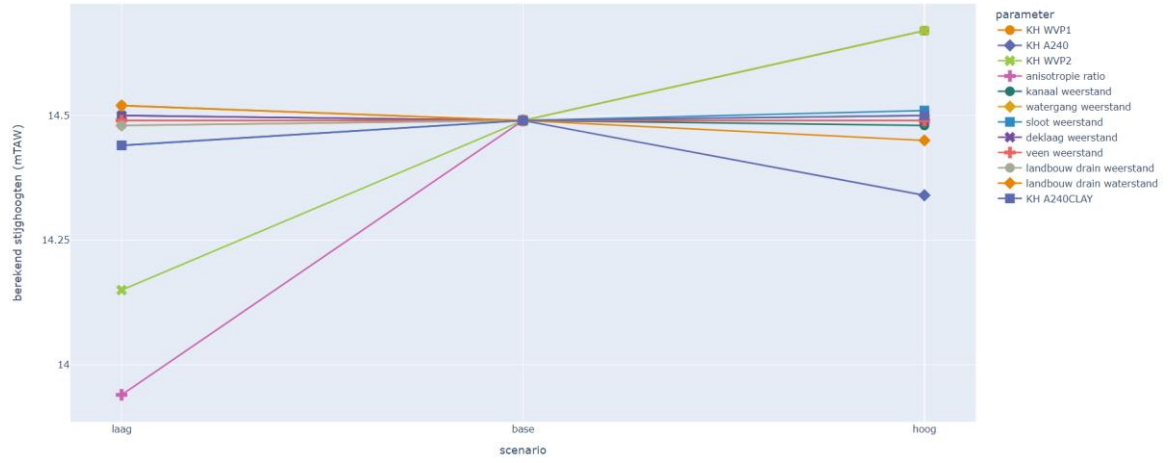
Olens Broek natuurgebied (WVP2)



Zeg-Mos natuurgebied (WVP2)



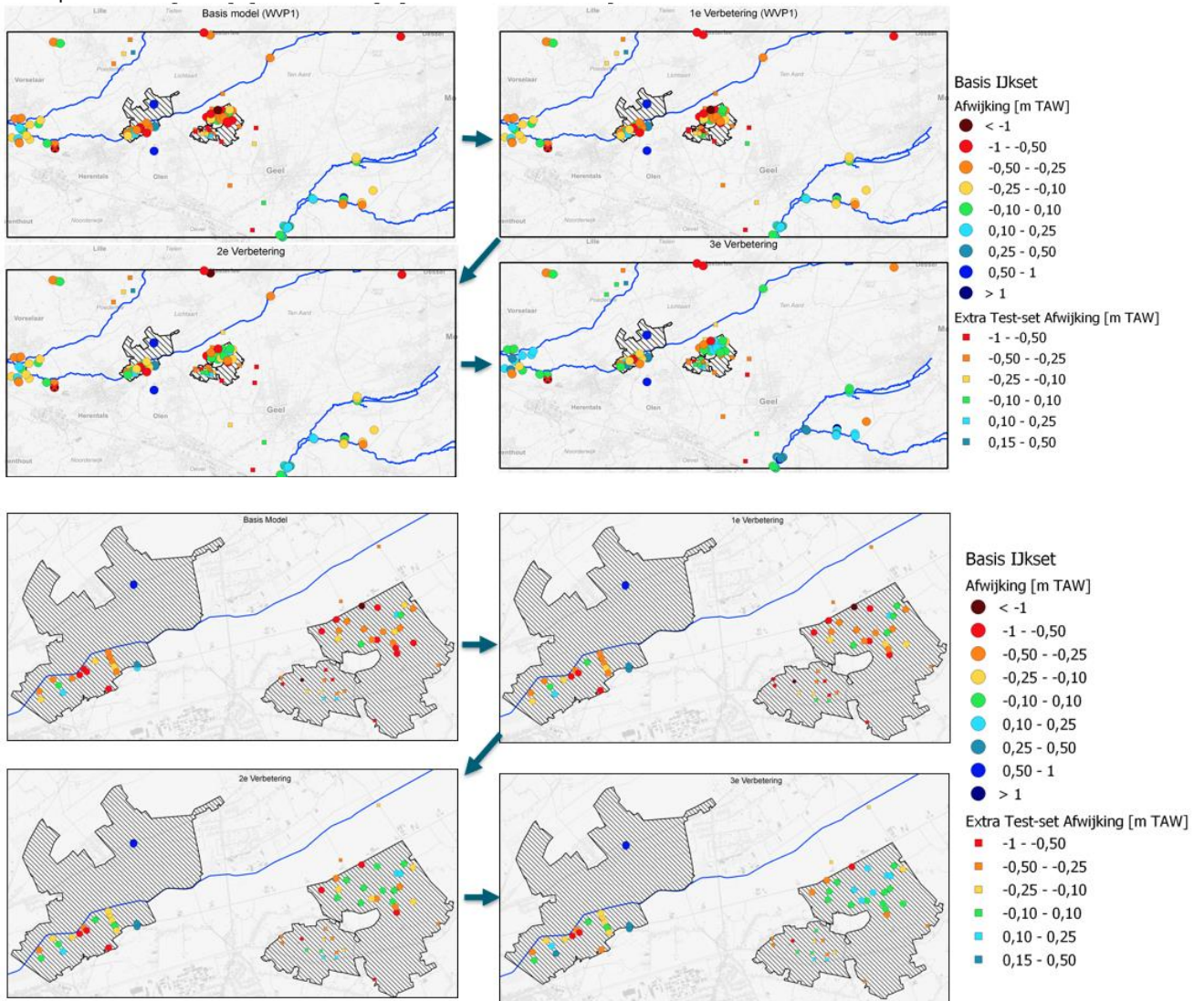
Centraal landbouwgebied (WVP2)



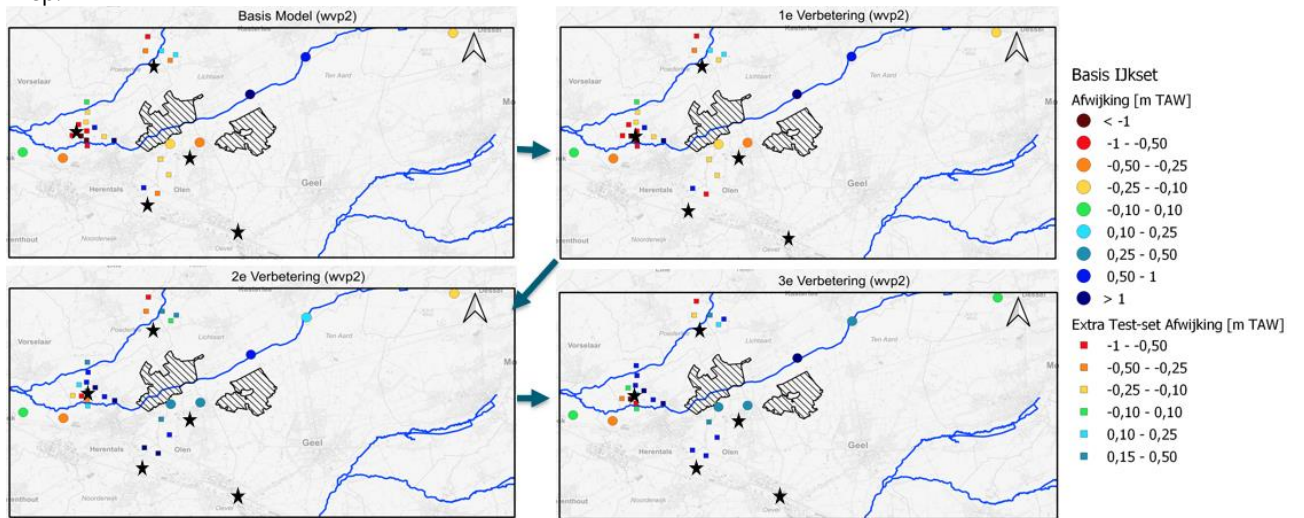


BIJLAGE: BOLLENKAARTEN STATIONAIRE KALIBRATIE

Ondiep:

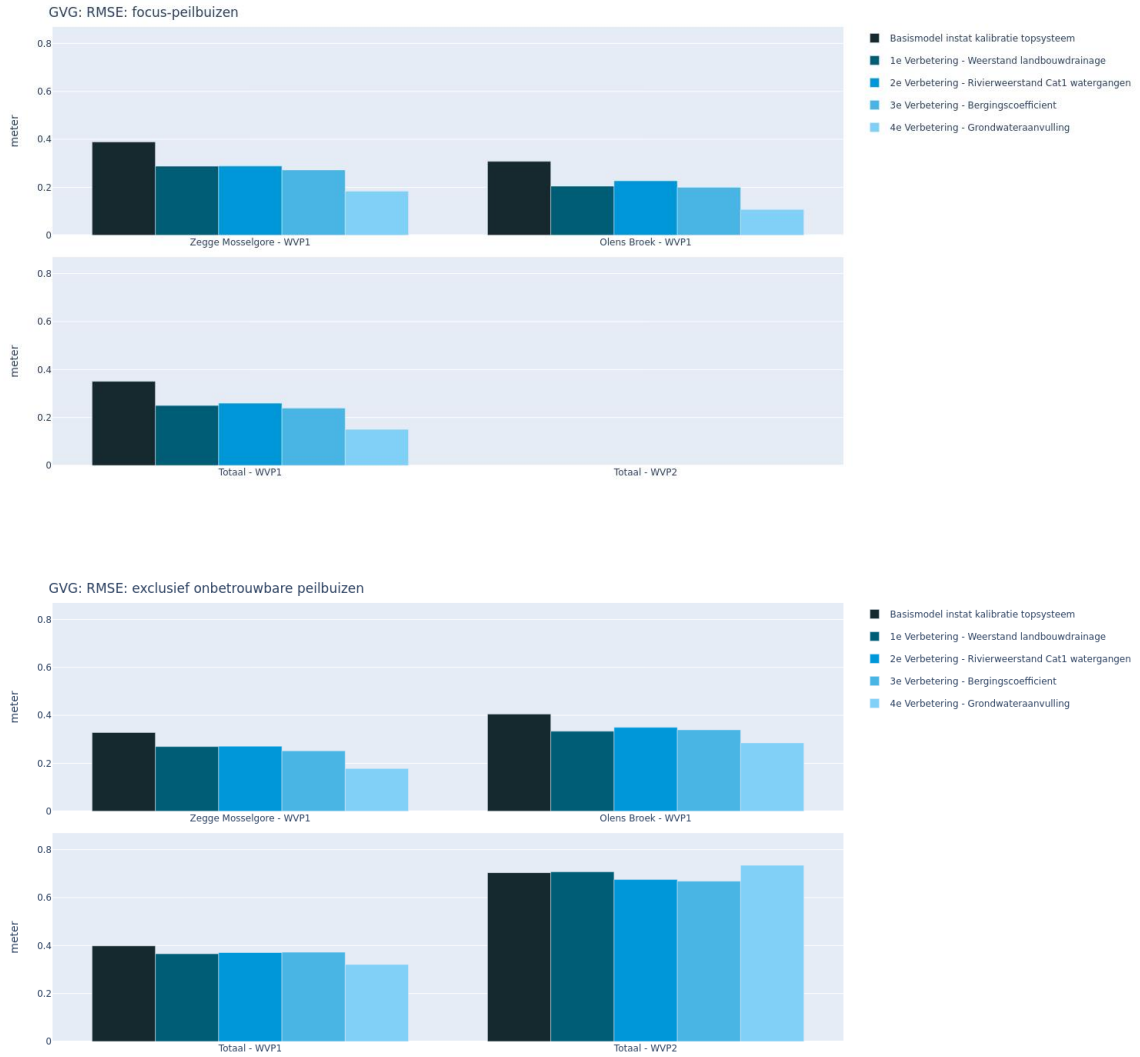


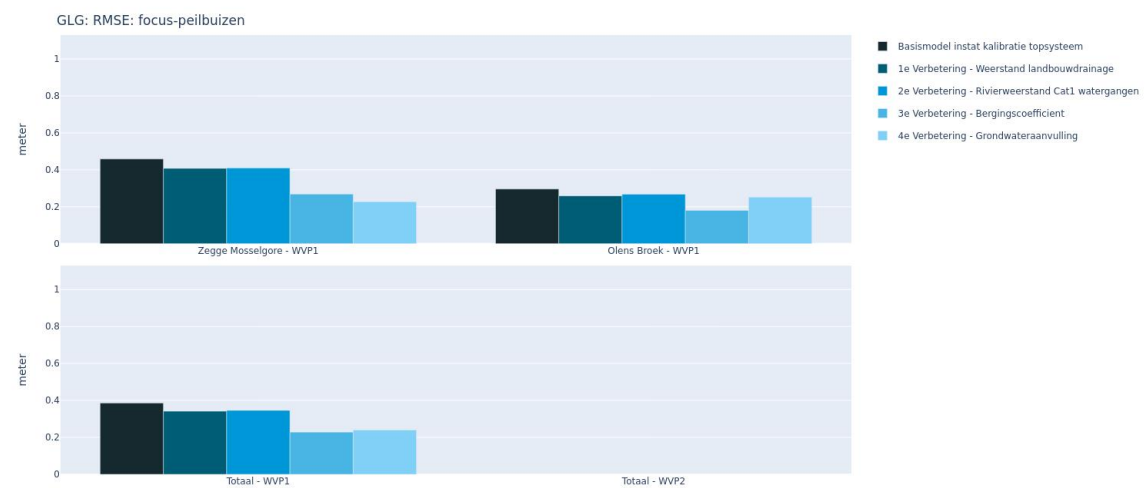
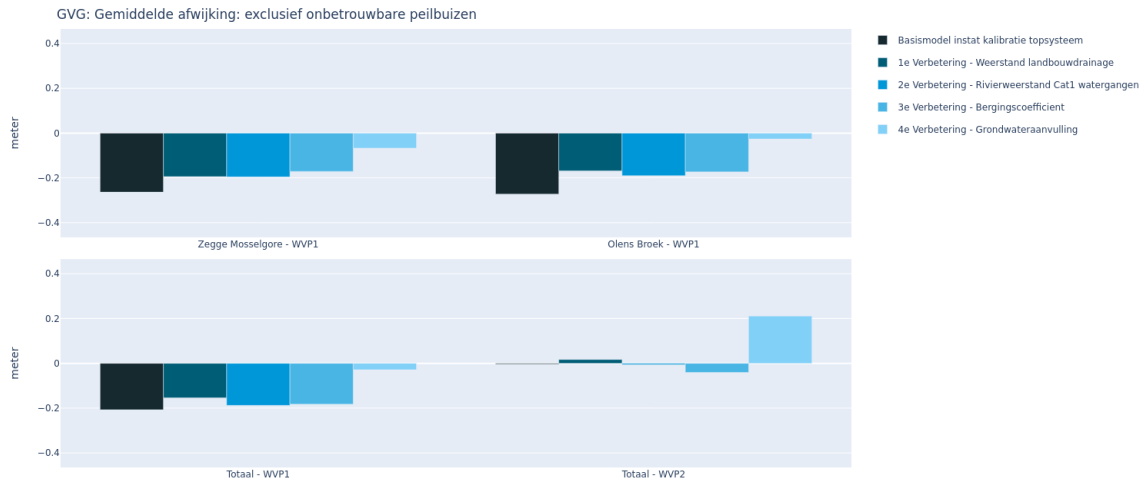
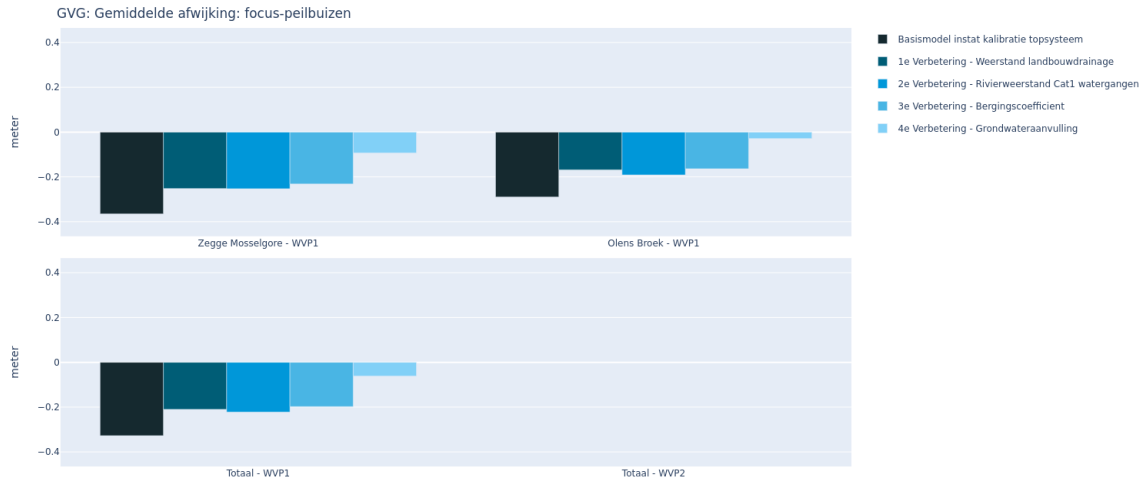
Diep:

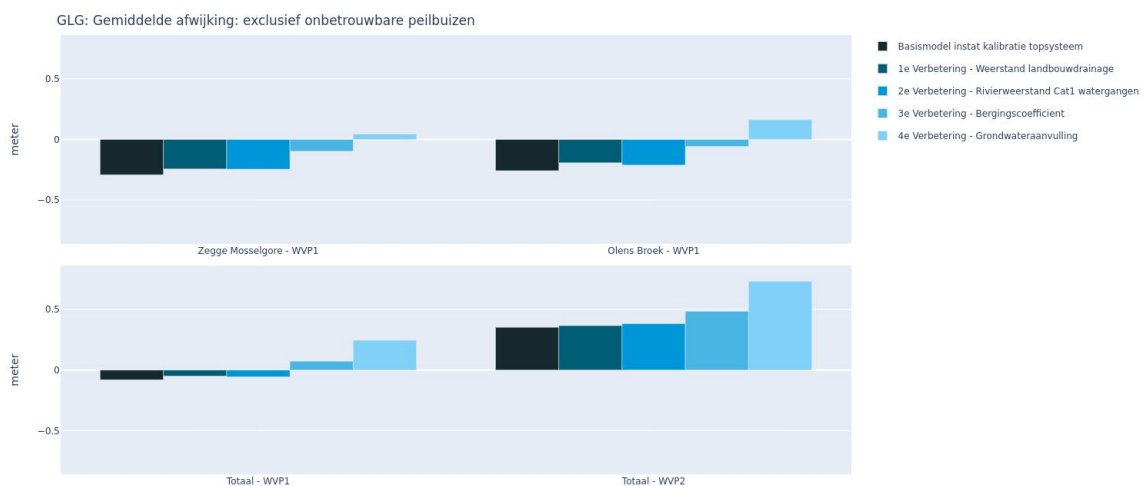
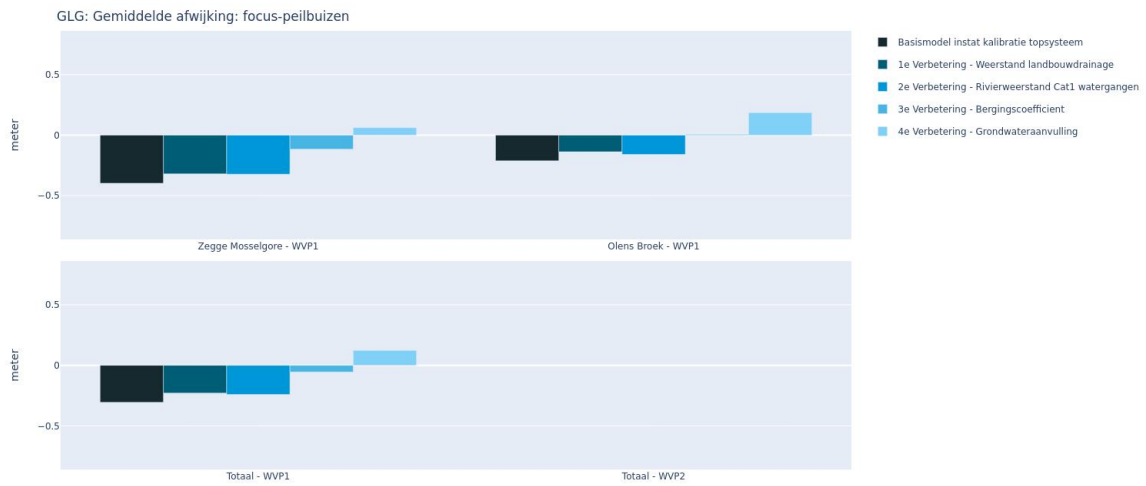
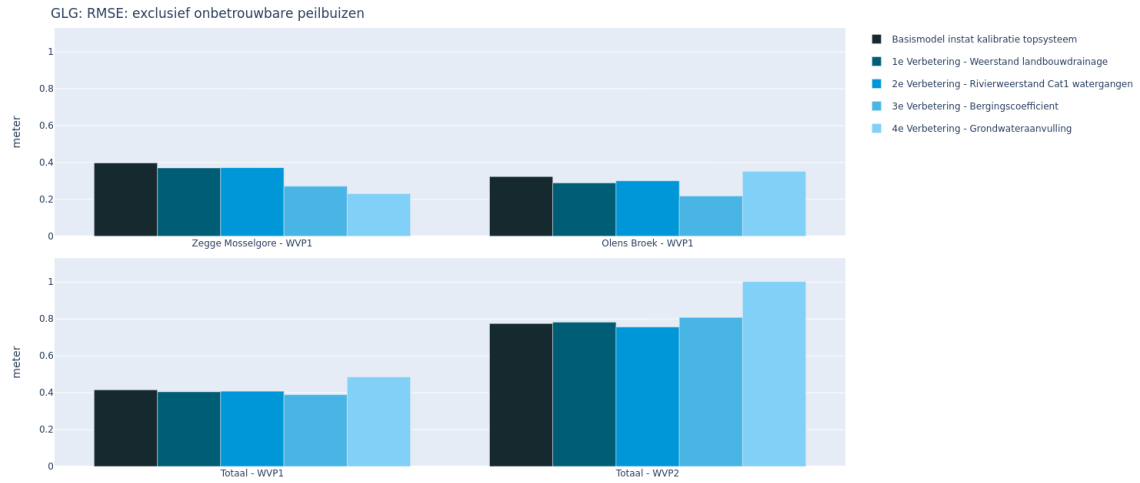


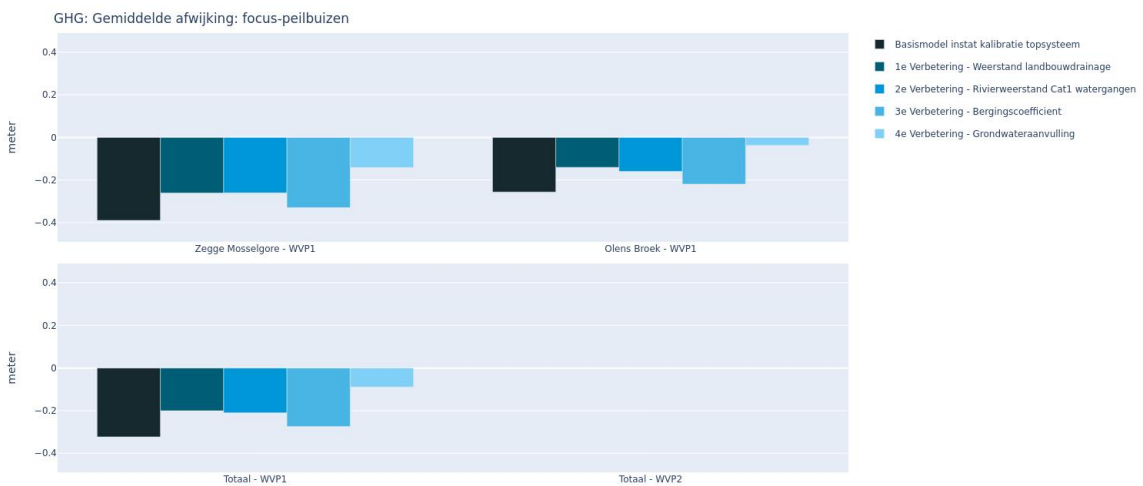
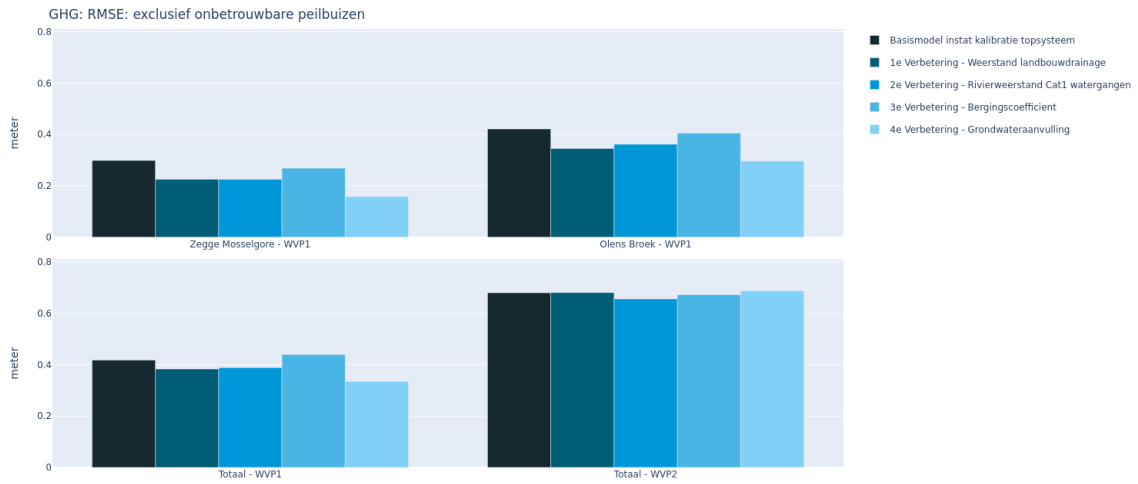
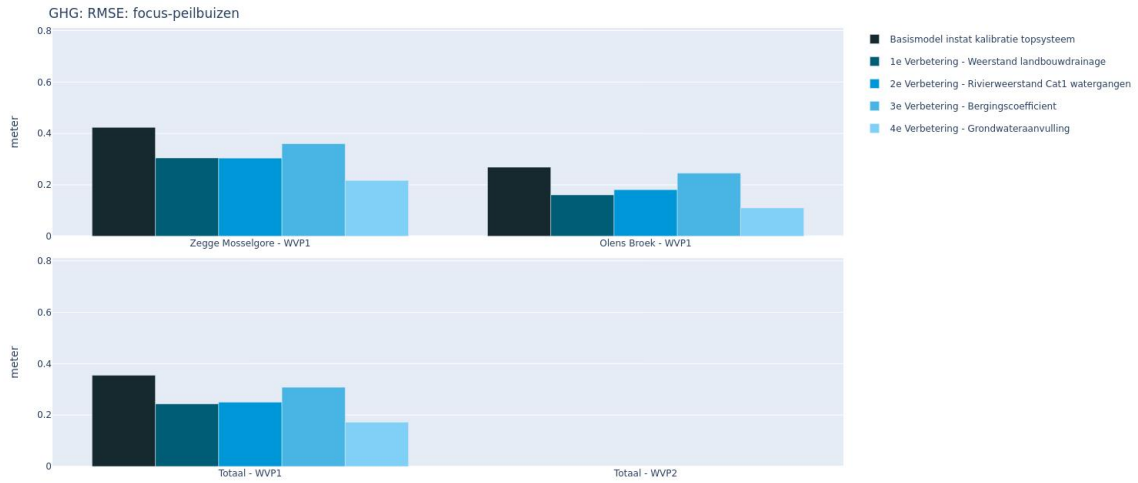
IV

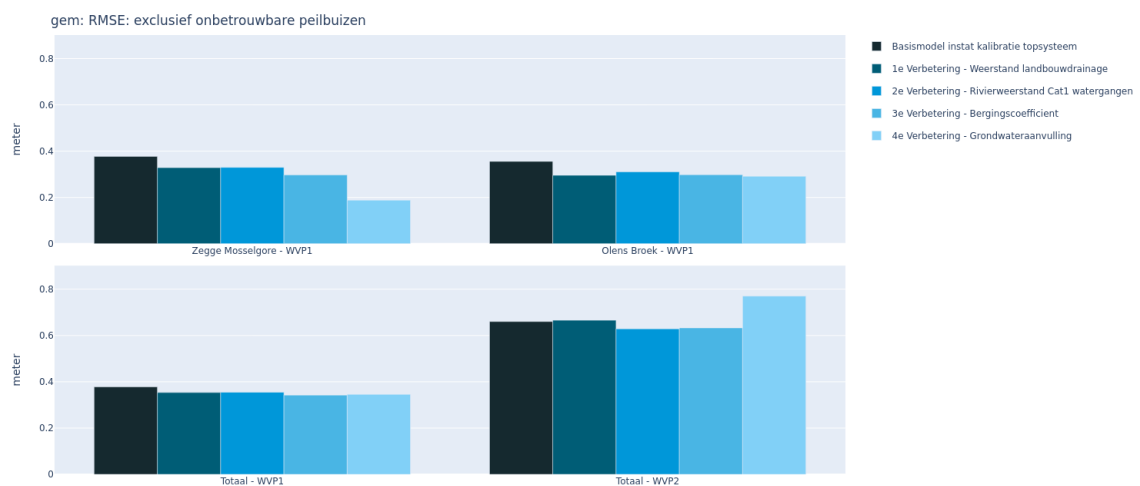
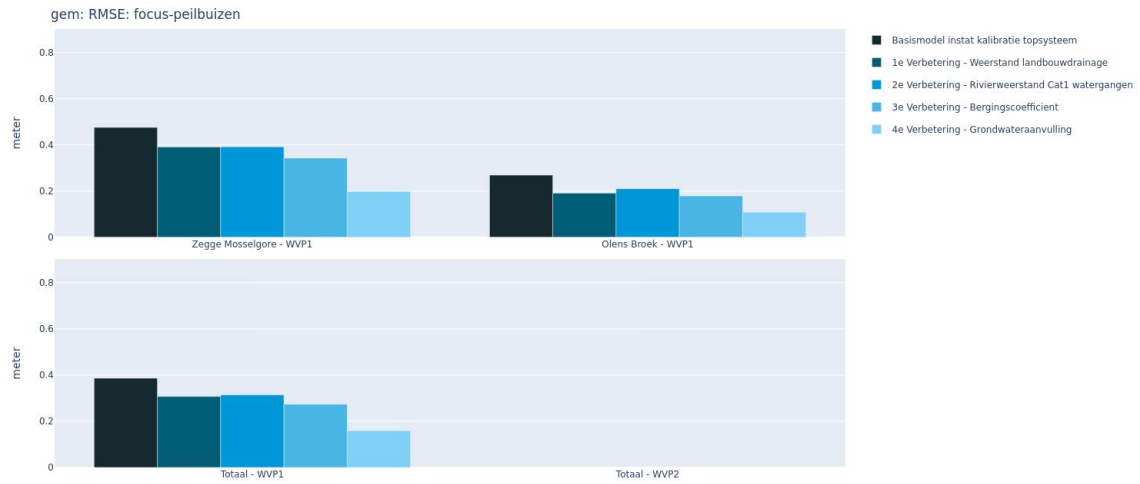
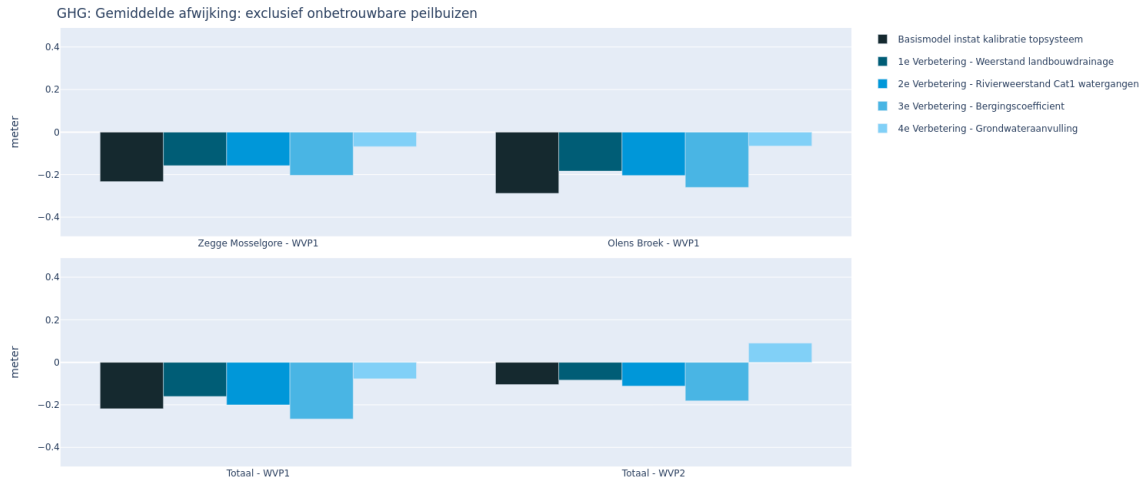
BIJLAGE: INSTATIONAIRE KALIBRATIE TOPSYSTEEM: STATISTISCHE VERBETERING

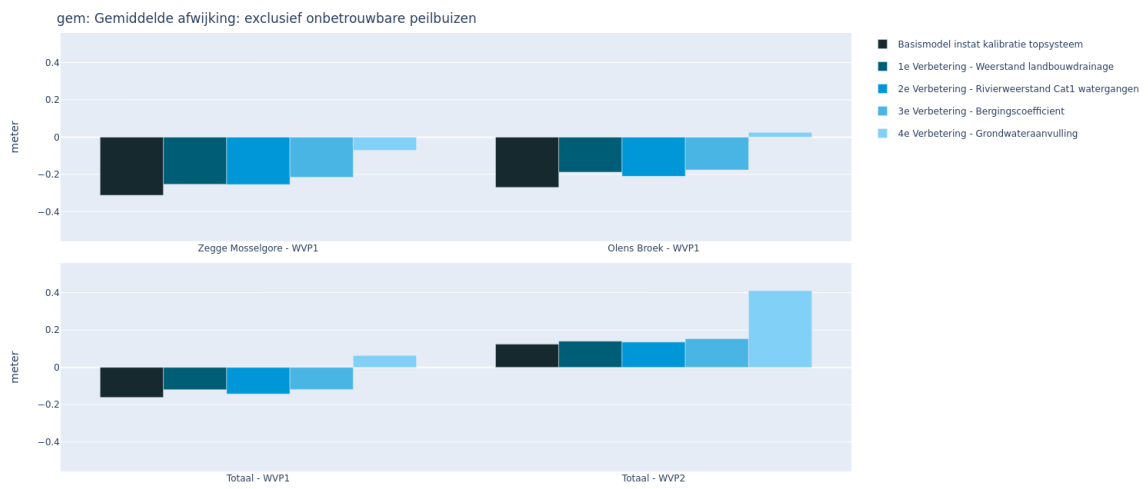
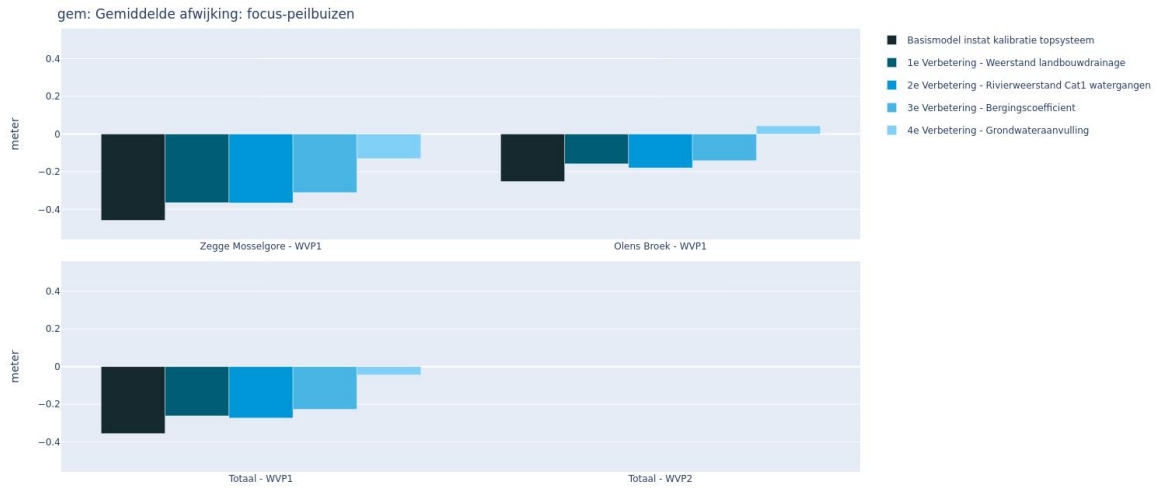






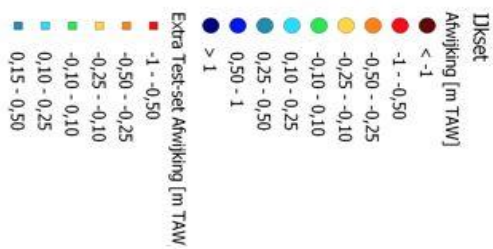
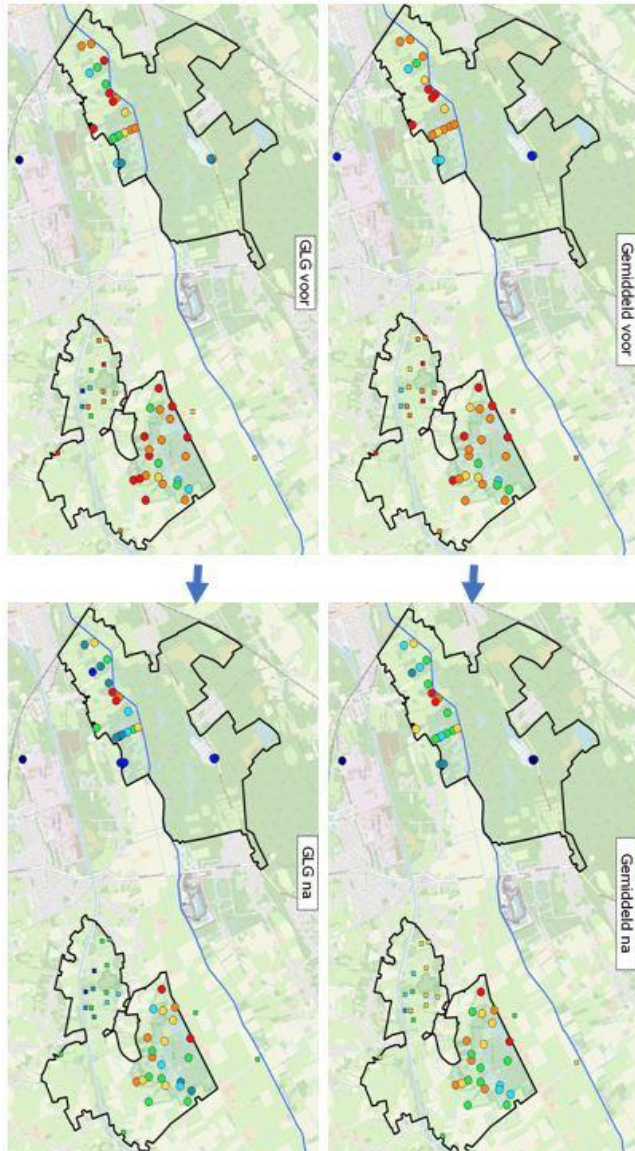


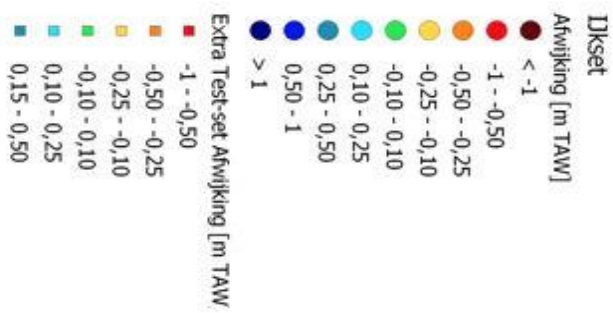
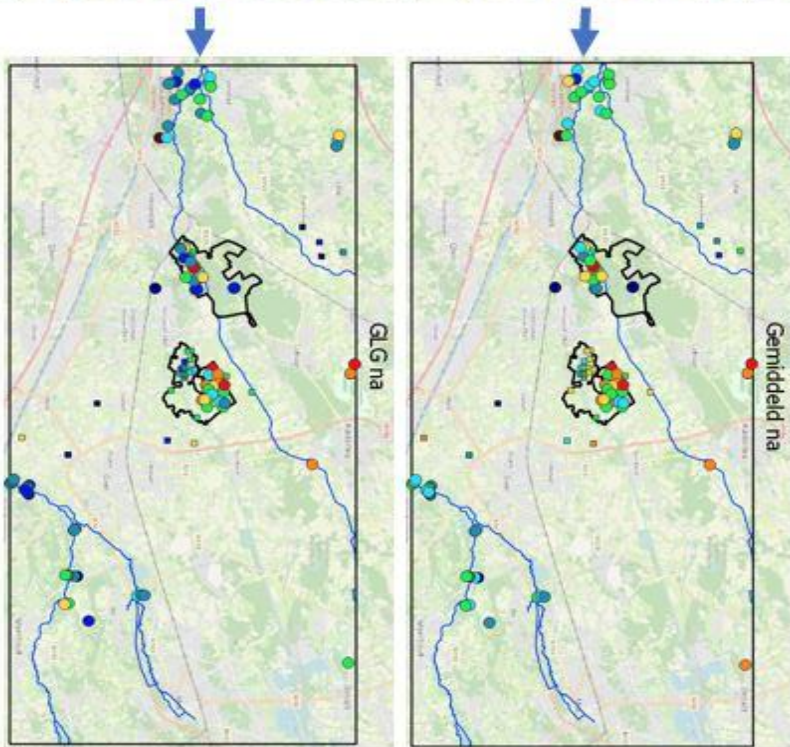
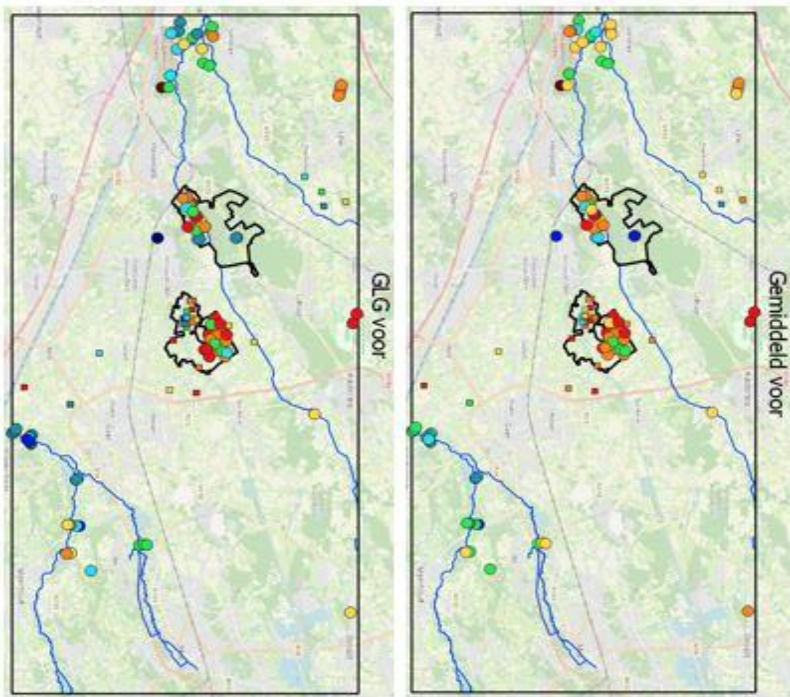


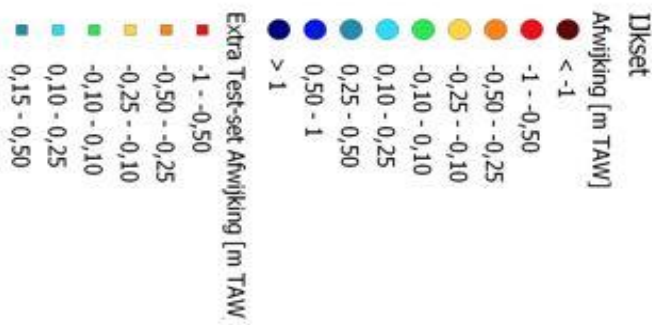
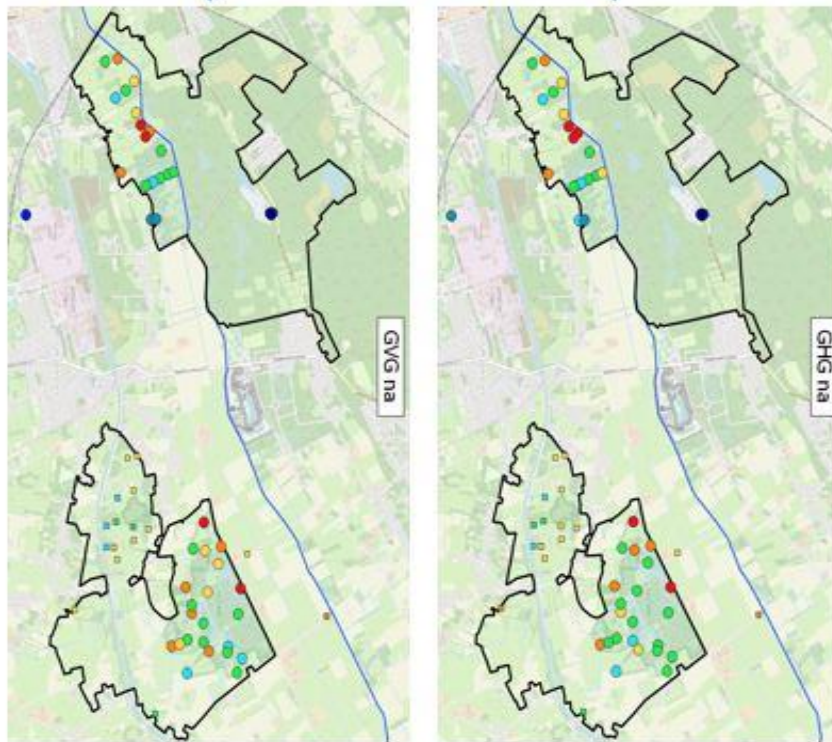
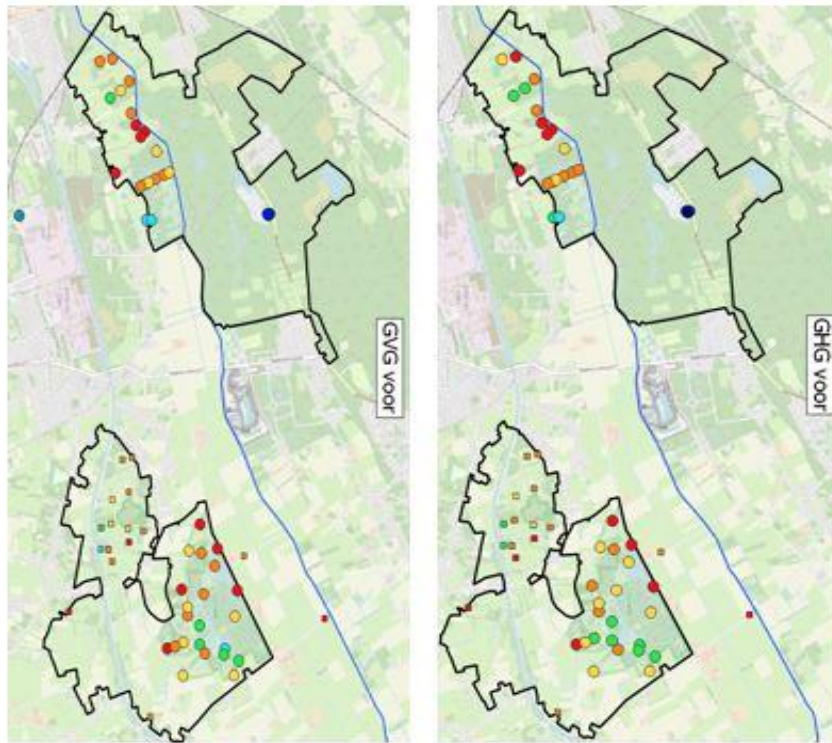


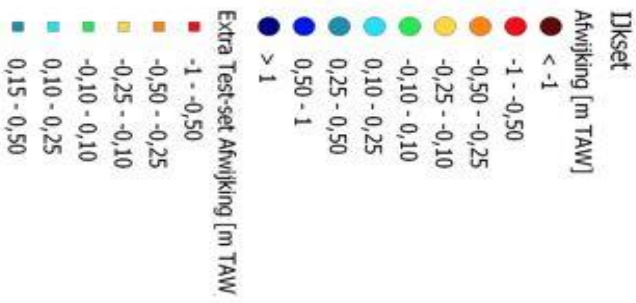
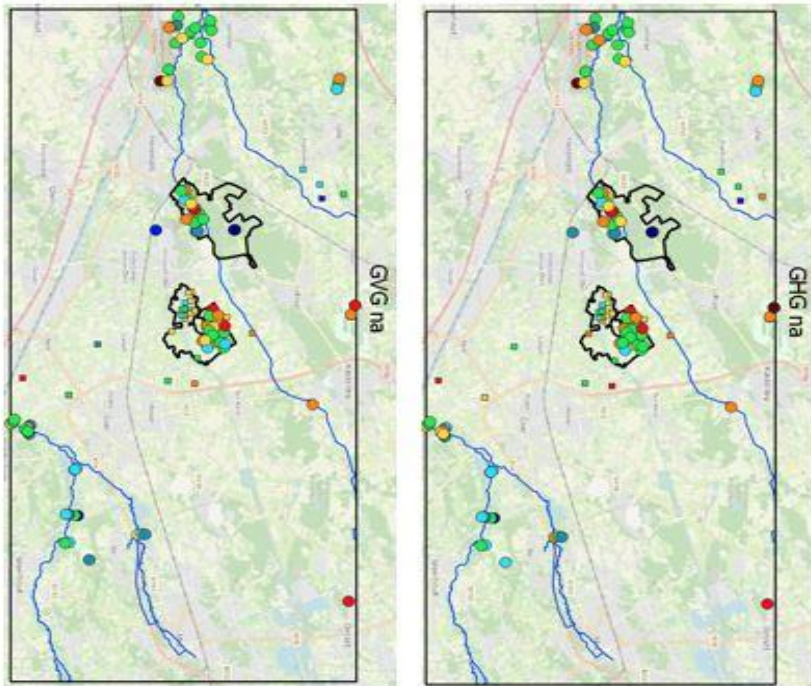
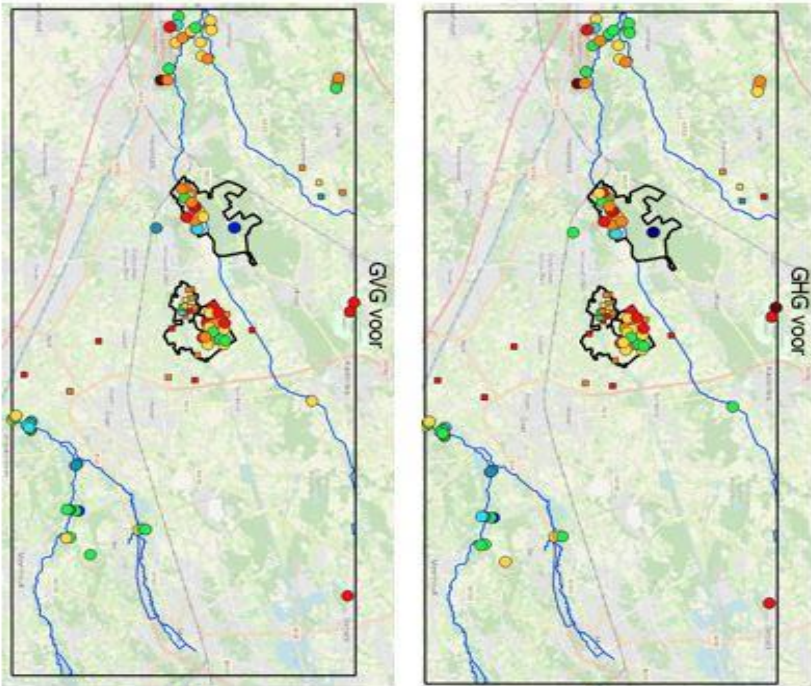
V

BIJLAGE: INSTATIONAIRE KALIBRATIE TOPSYSTEEM: BOLLENKAARTEN

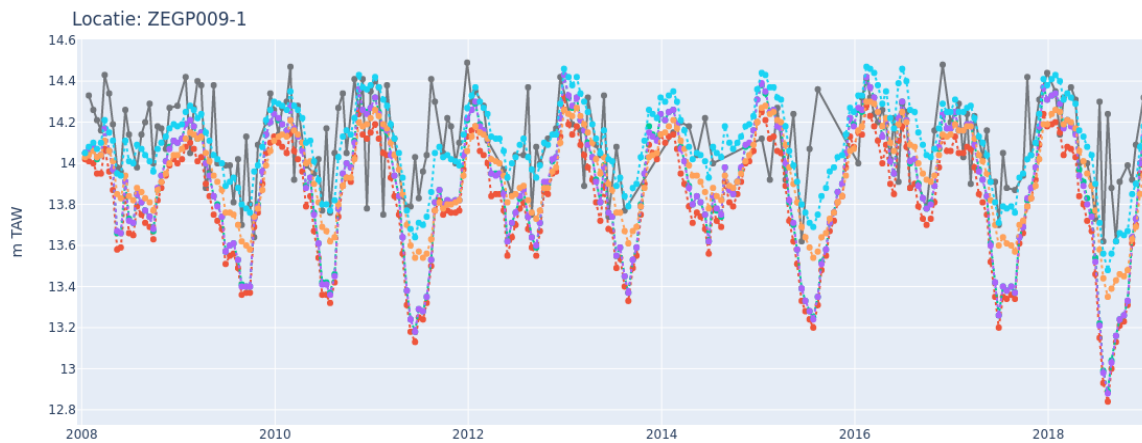
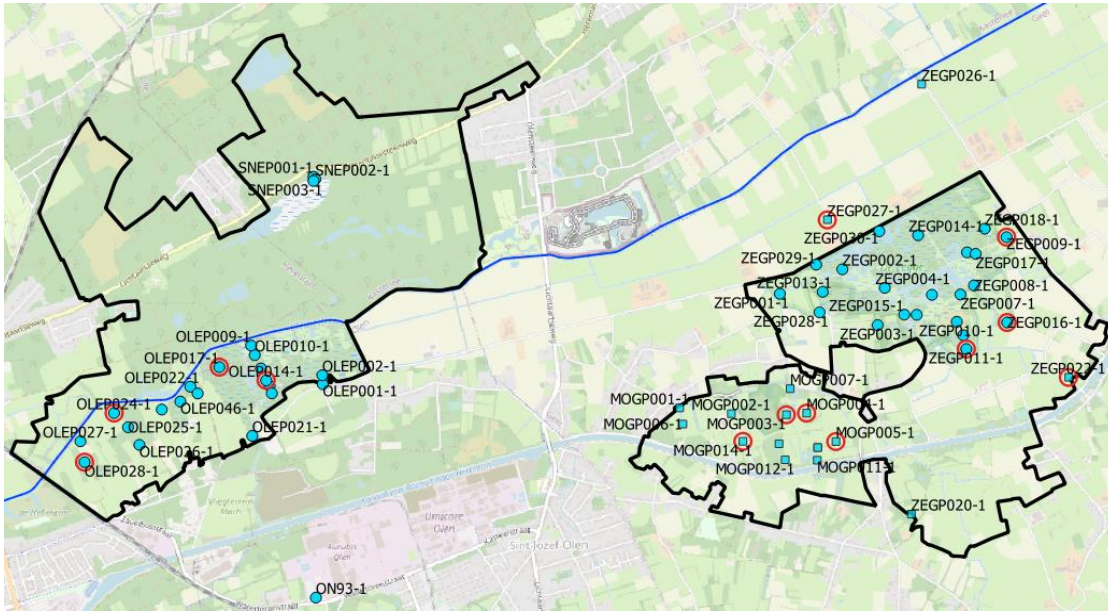


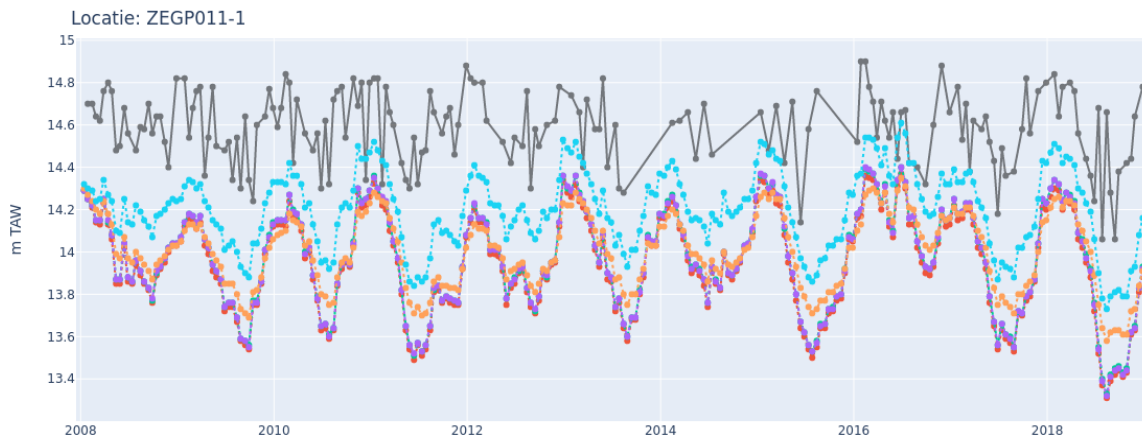
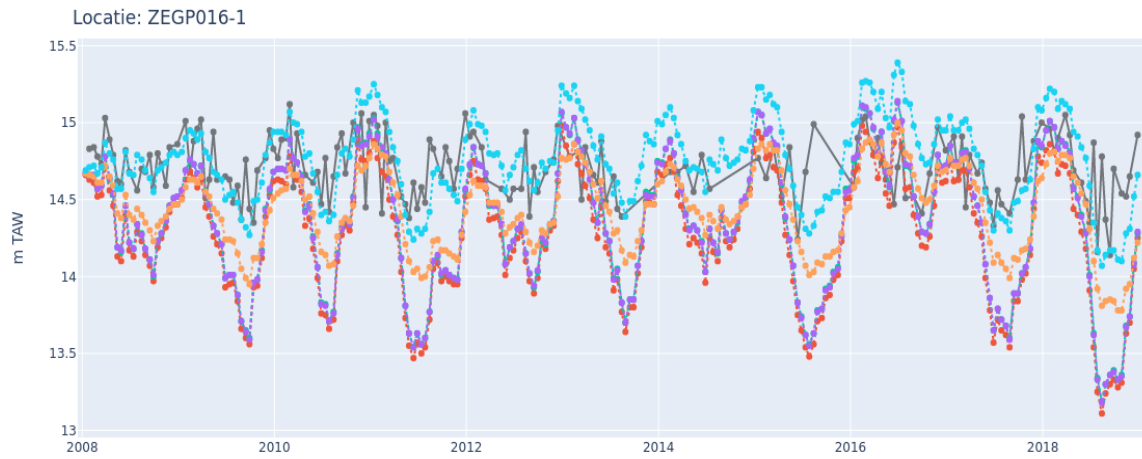




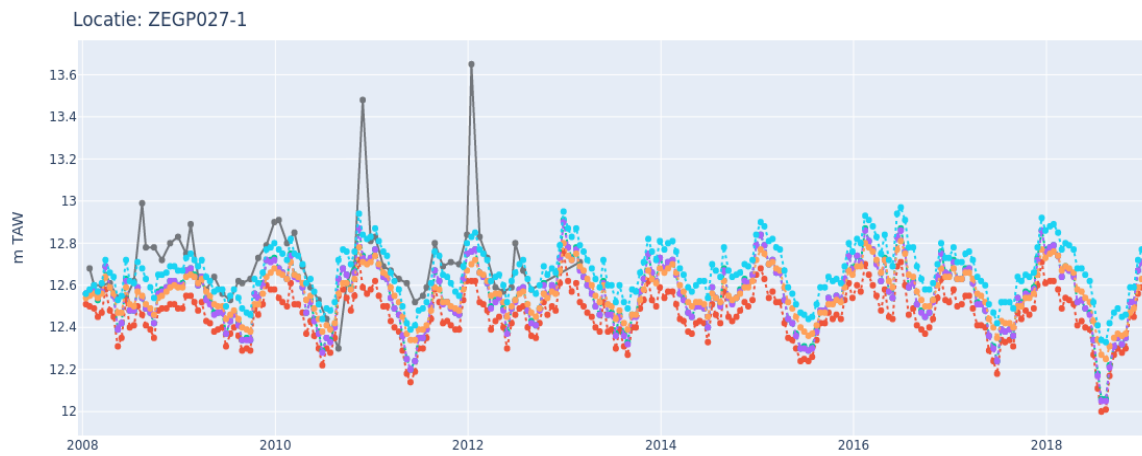


BIJLAGE: INSTATIONAIRE KALIBRATIE TOPSYSTEEM: TIJDSTIJGHOOGTELIJNEN

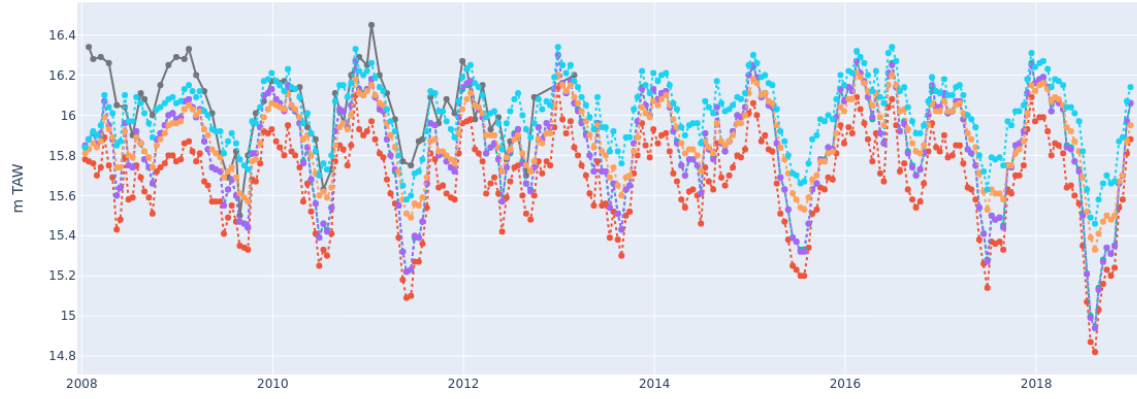




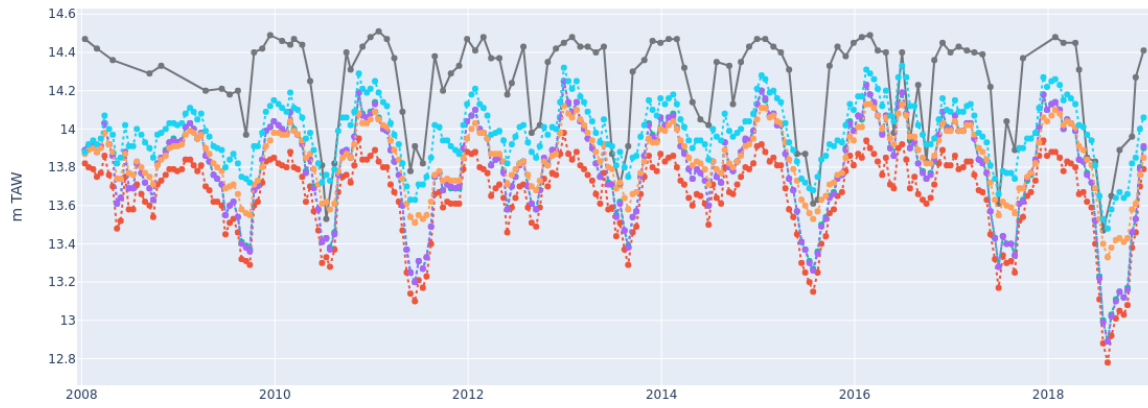
ZEGP011-1 ligt op 29 meter van een watergang met een vast peil van 13,5 m TAW. Niet realistisch dat binnen 29 meter een opbolling van 1 meter plaatsvindt, vermoedelijk gevolg van lokaal incorrect peil.



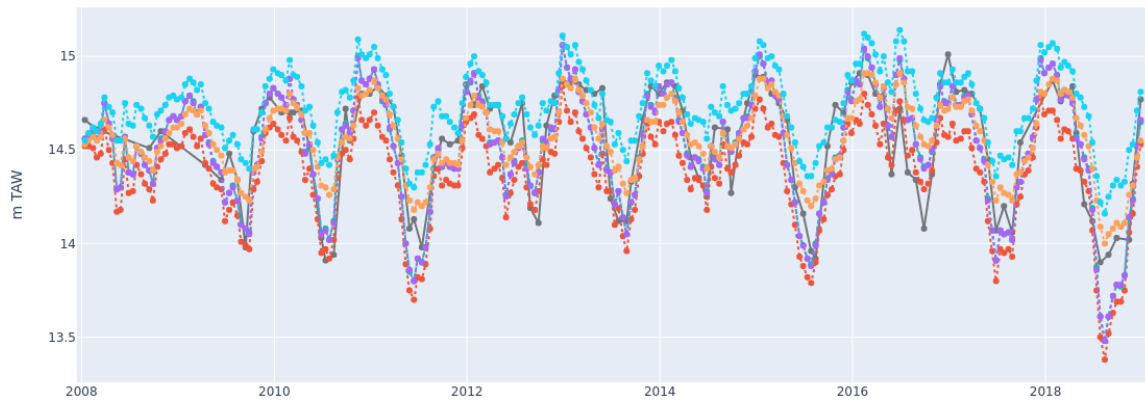
Locatie: ZEGP022-1



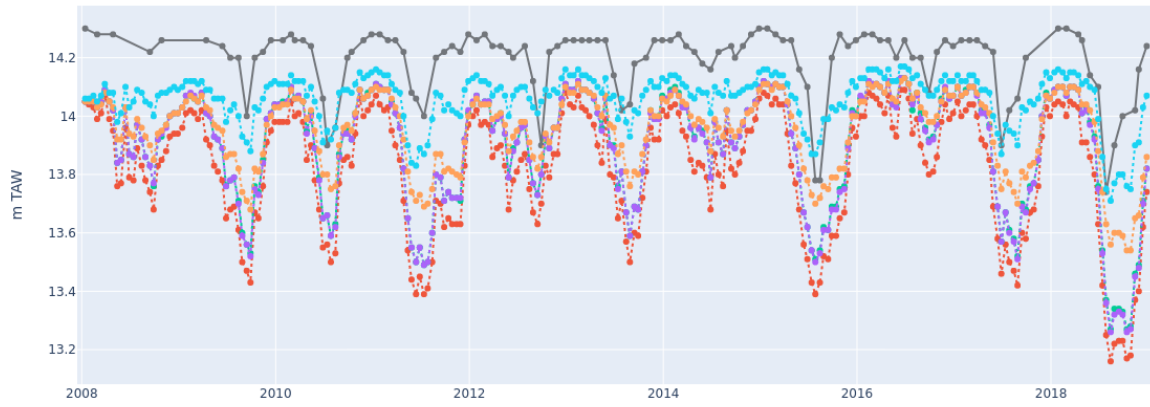
Locatie: MOGP004-1



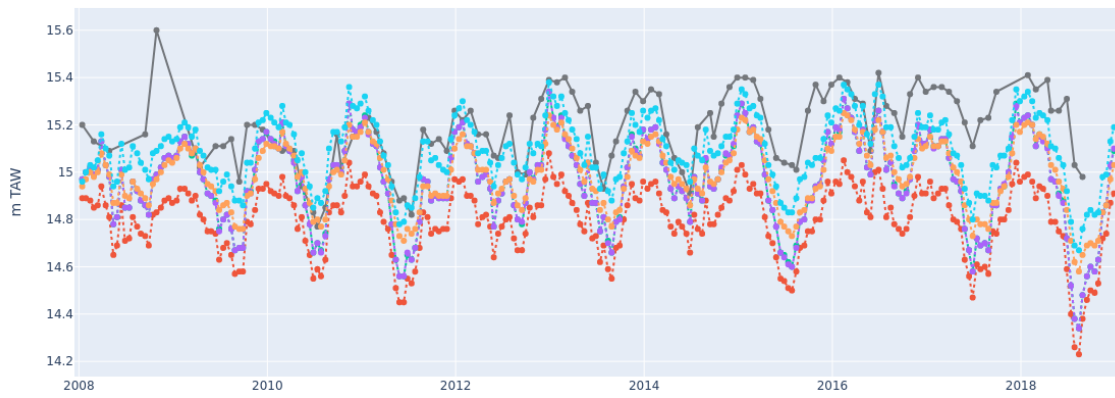
Locatie: MOGP014-1



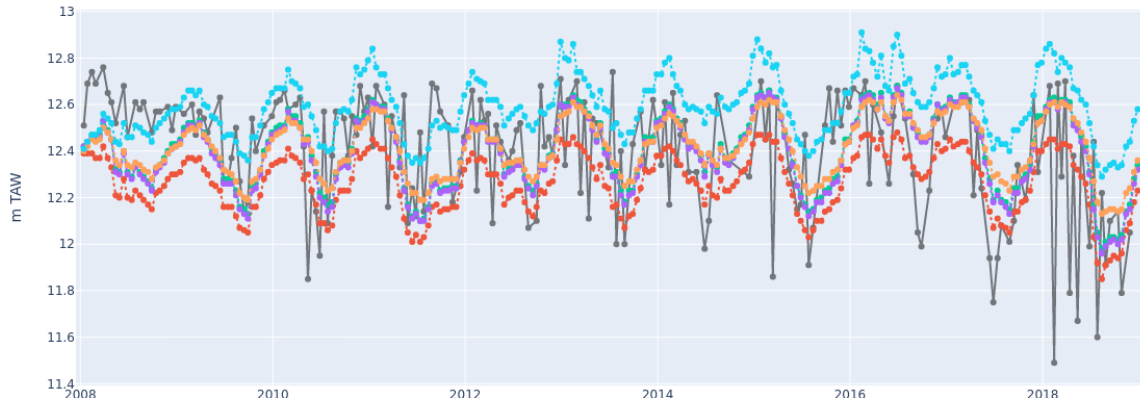
Locatie: MOGP003-1



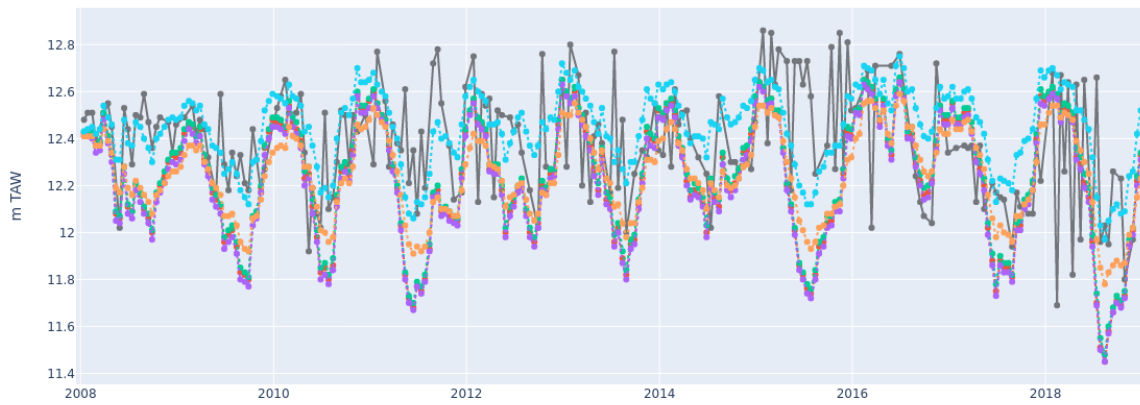
Locatie: MOGP009-1



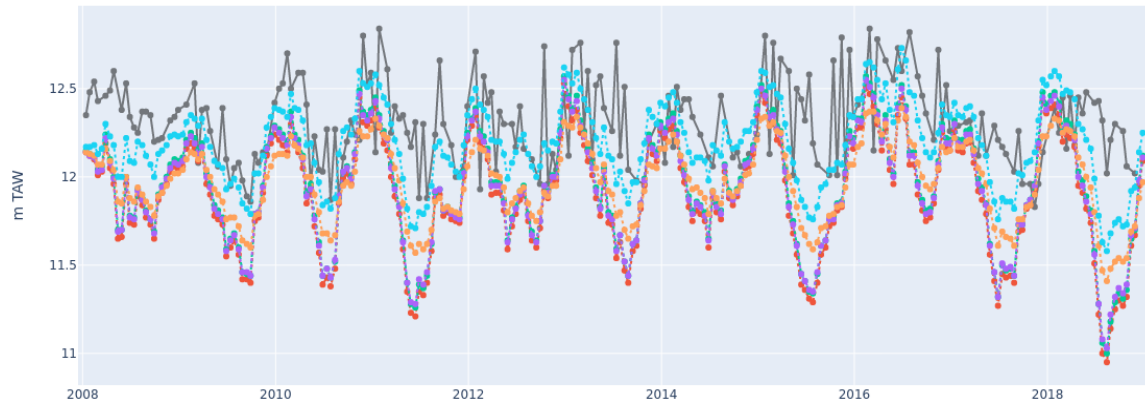
Locatie: OLEP014-1



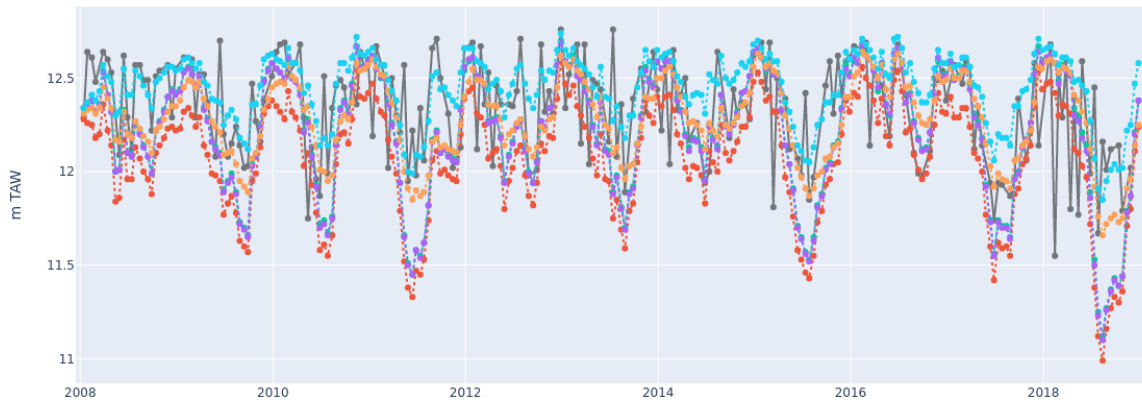
Locatie: OLEP017-1



Locatie: OLEP024-1

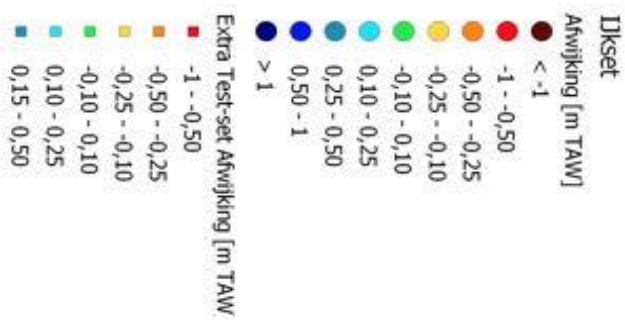
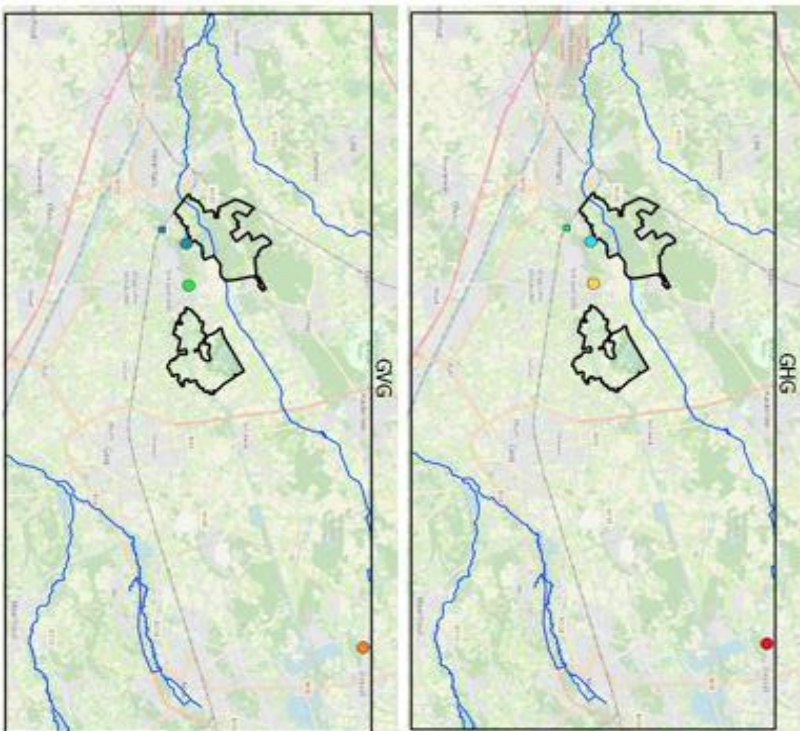
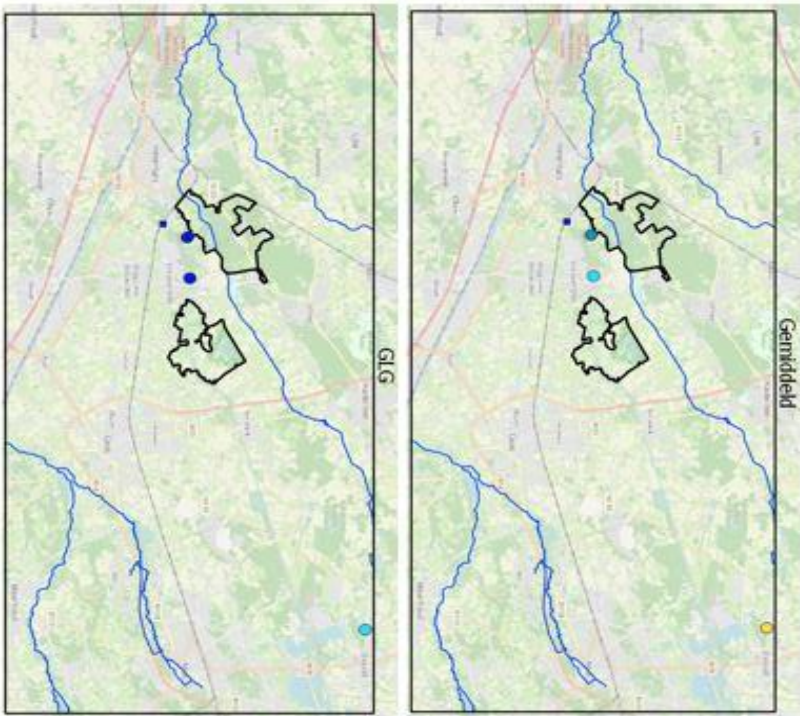


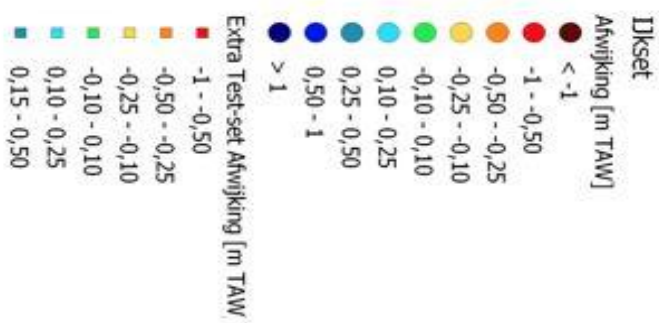
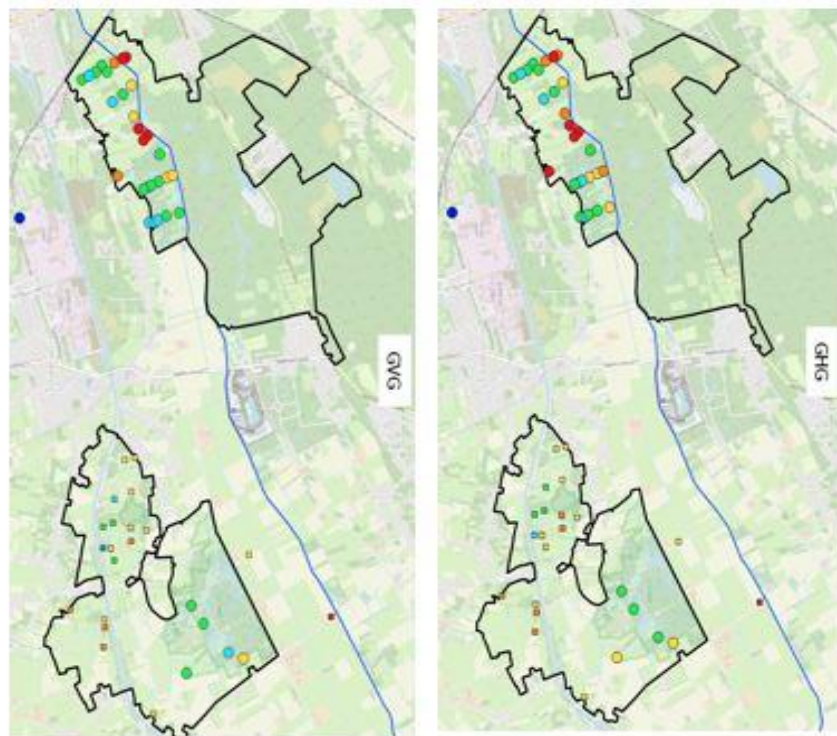
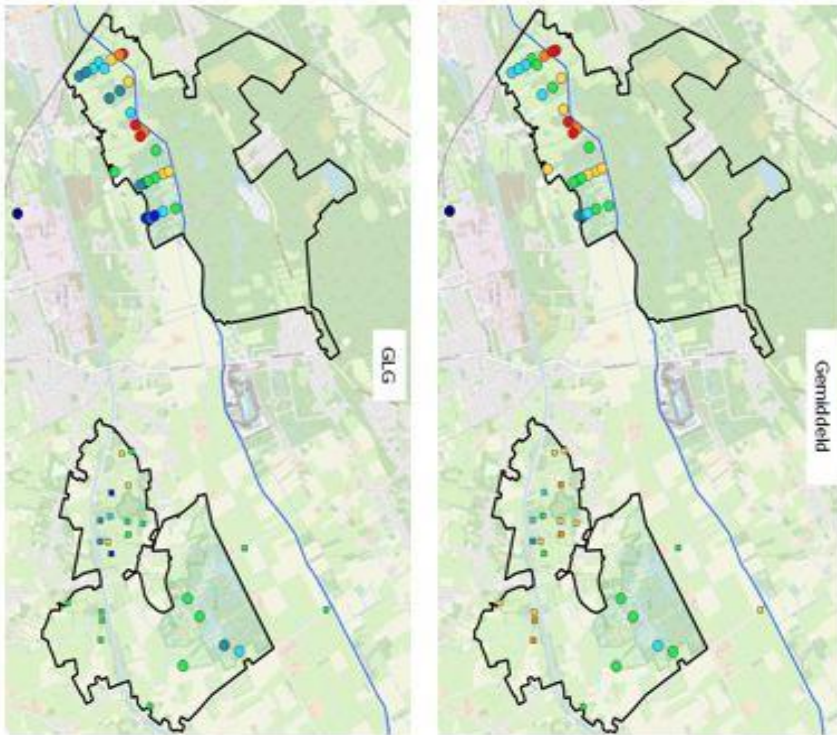
Locatie: OLEP028-1



VII

BIJLAGE: INSTATIONAIRE VALIDATIE: BOLLENKAARTEN

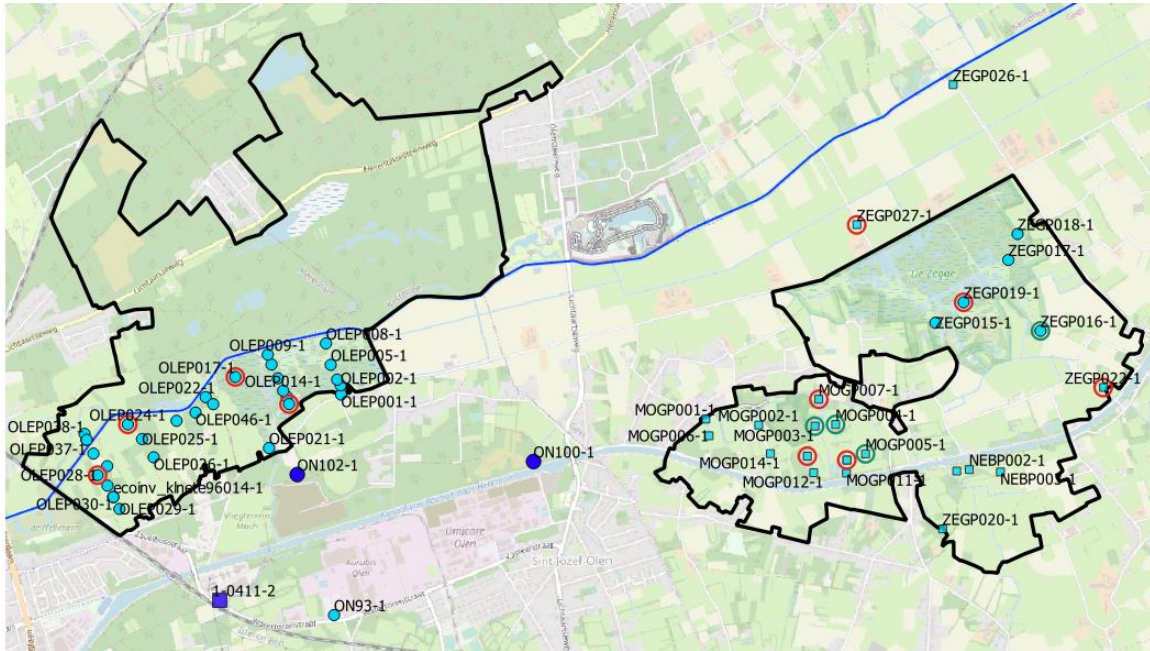


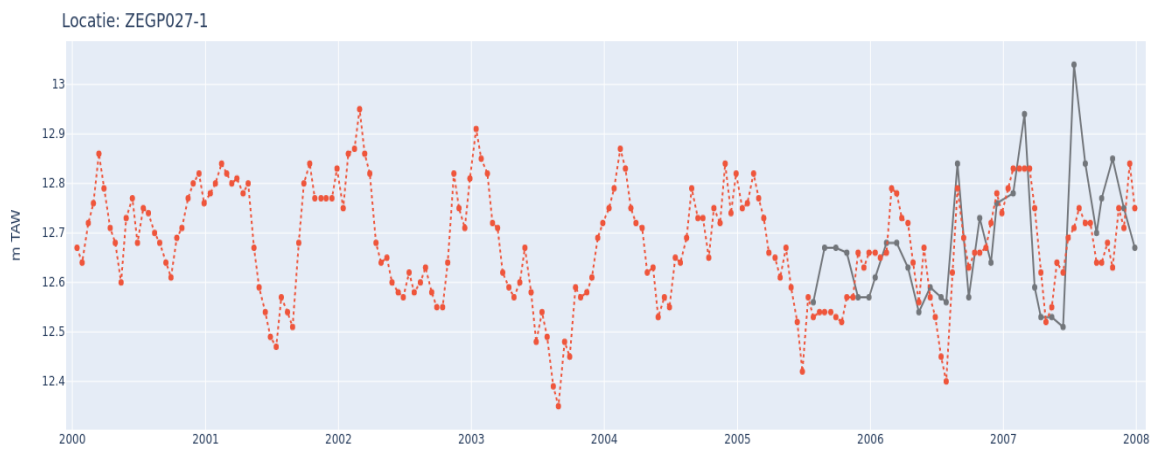
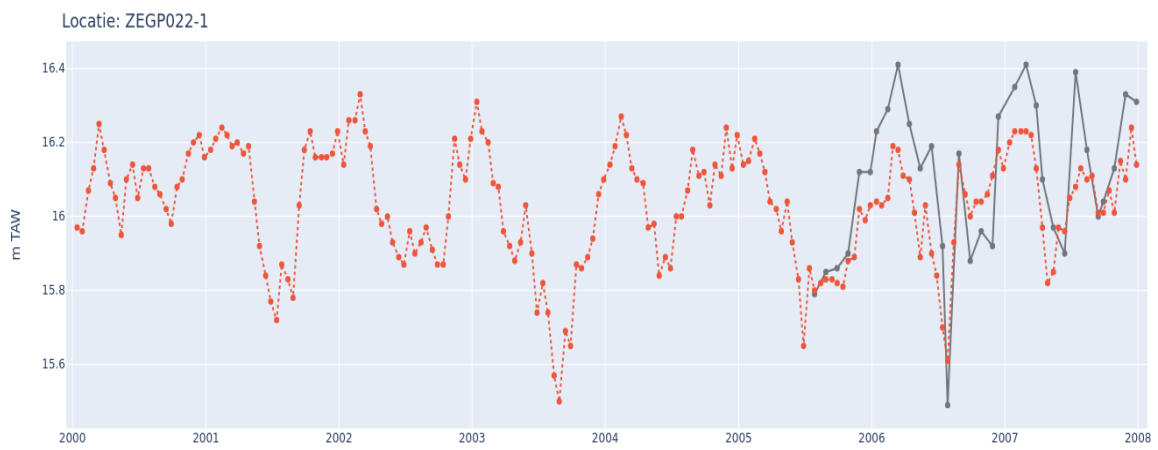
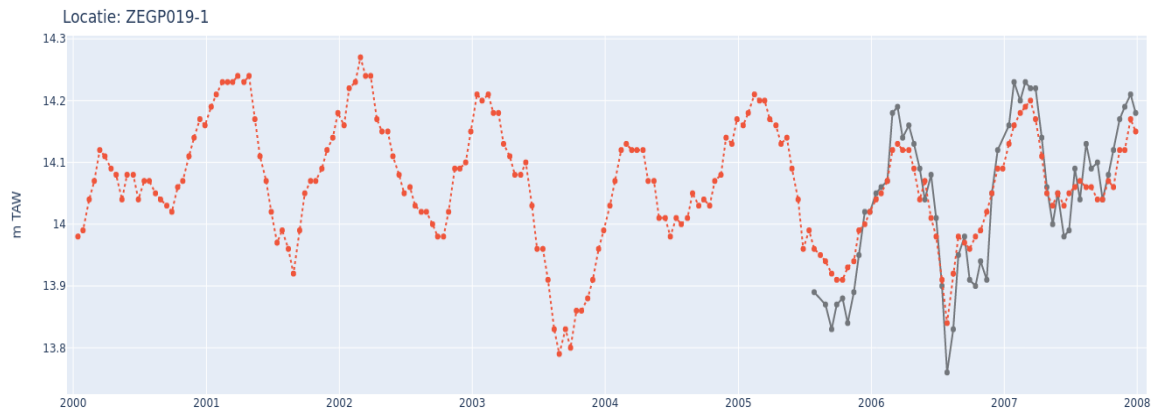
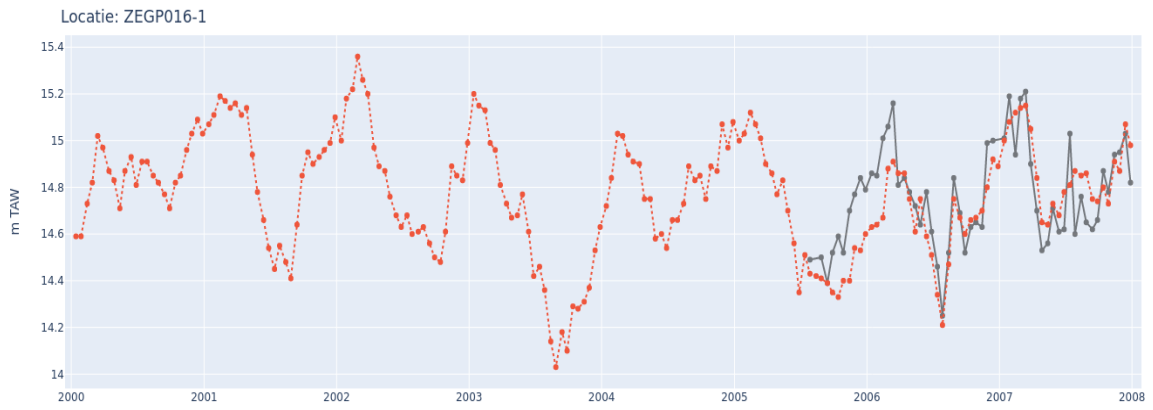


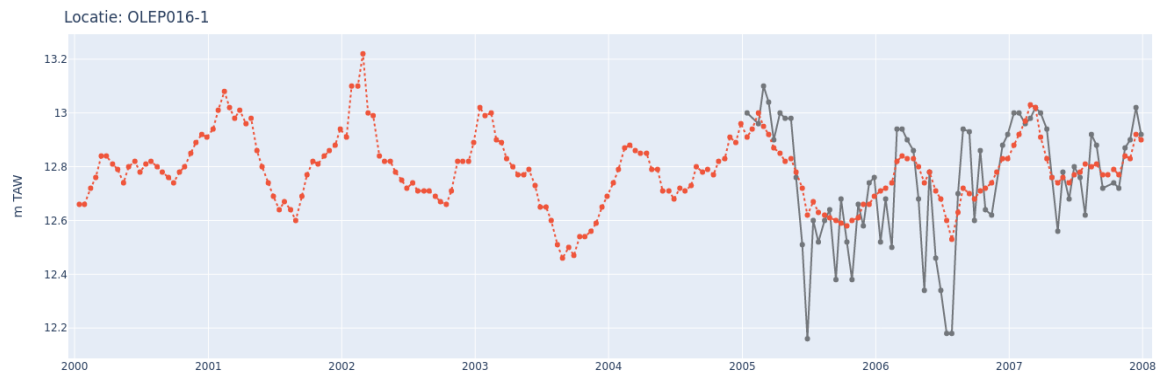
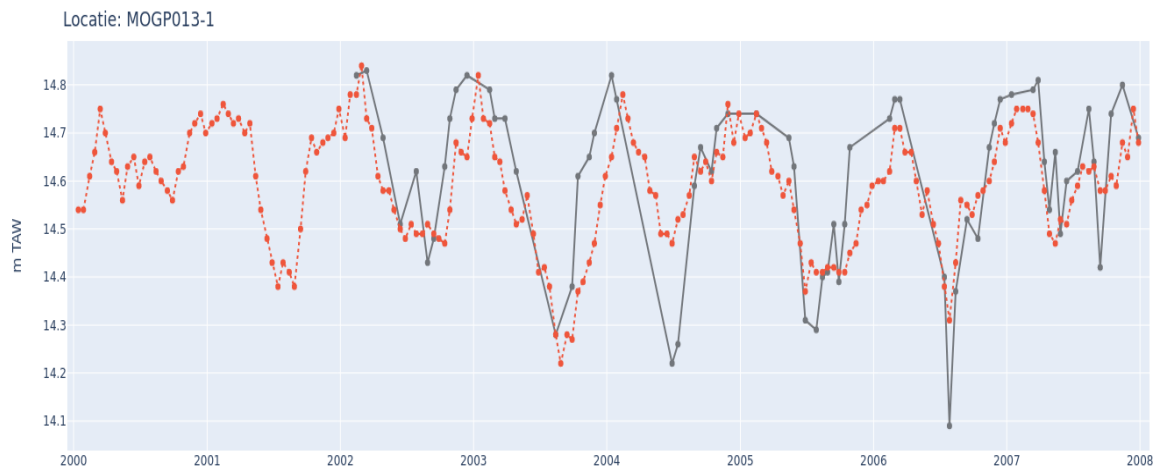
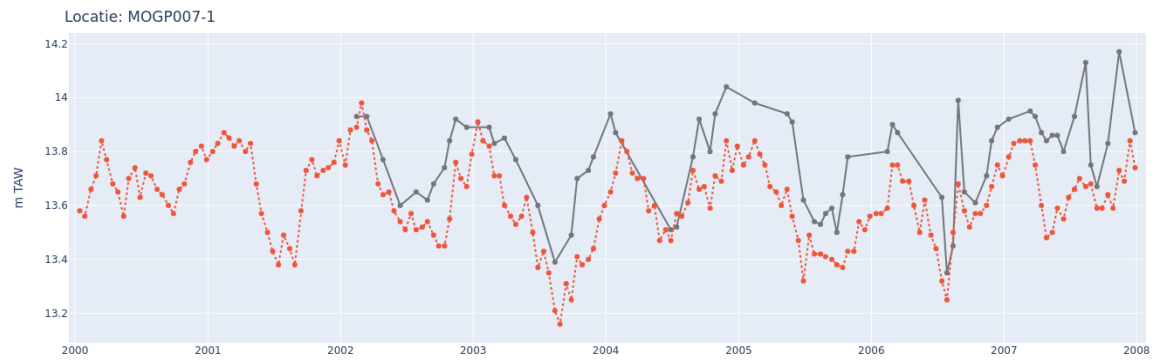
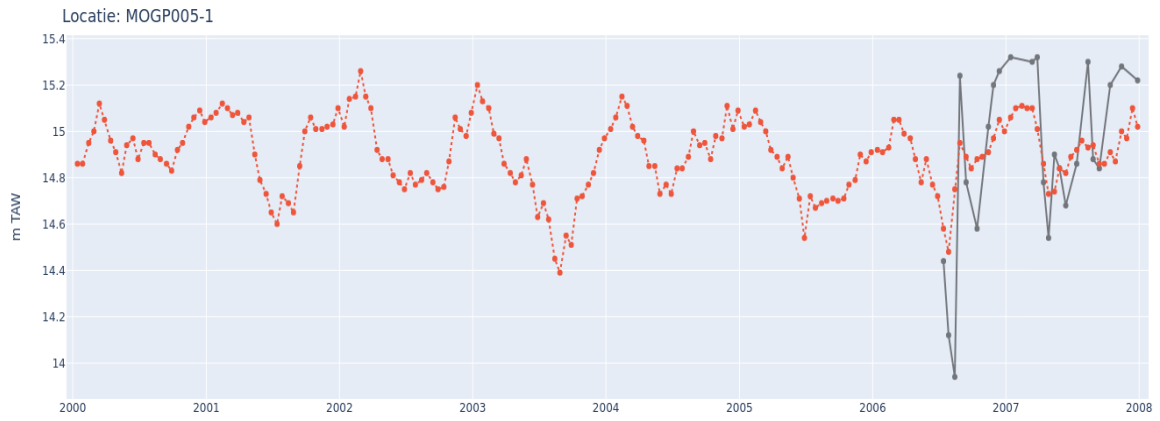
VIII

BIJLAGE: INSTATIONAIRE VALIDATIE: TIJDSTIJGHOOGTELIJNEN

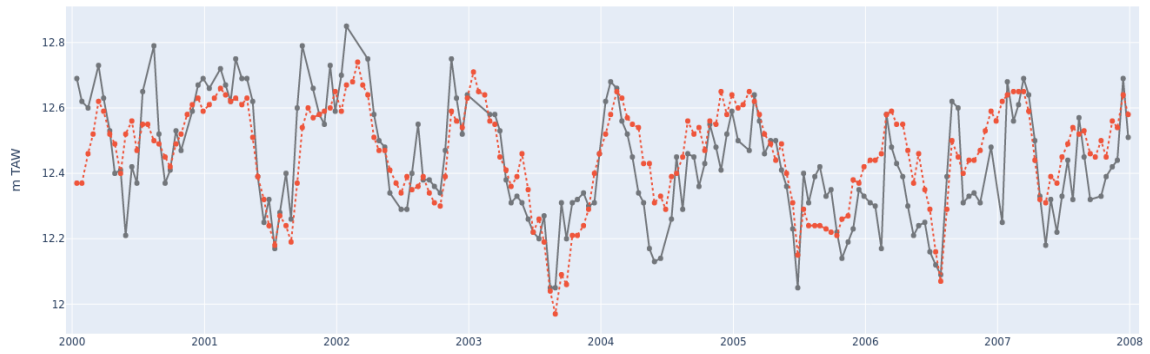
Afbeelding 5.1 Overzicht peilbuizen validatie



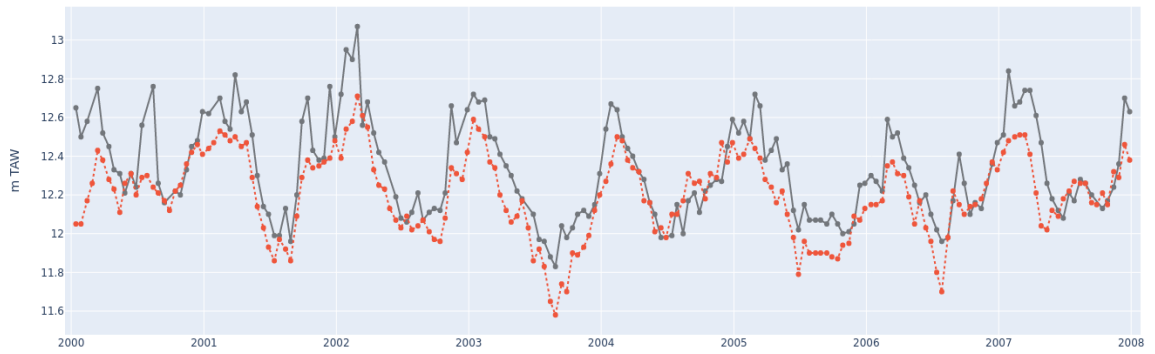




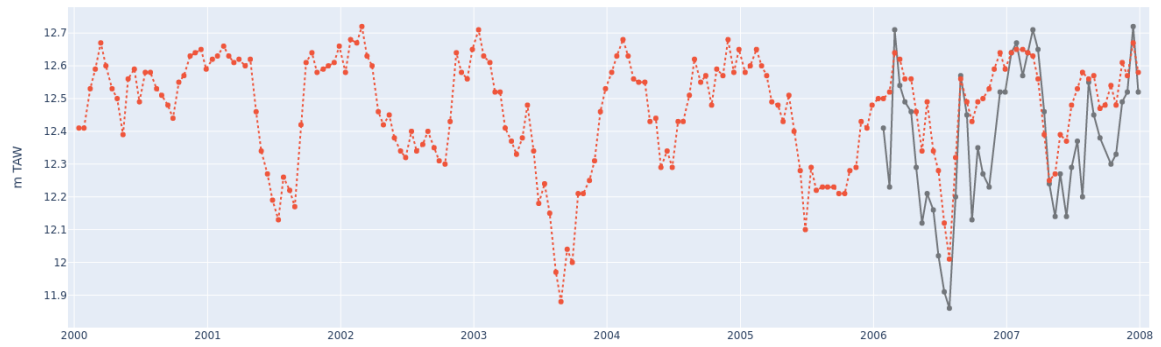
Locatie: OLEP017-1



Locatie: OLEP024-1



Locatie: OLEP028-1





Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek: uitvoeringsgericht ecohydrologisch onderzoek in het kader van duurzaam herstel van de hydrologie en de realisatie van een natte natuurkern > 300 ha

Addendum bij 'Achtergrondrapportage geohydrologische modellering; Witteveen+Bos 2022': **Grondwatermodel scenariodoorrekeningen**

Agentschap voor Natuur en Bos

19 april 2024

Project Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek
Opdrachtgever Agentschap voor Natuur en Bos

Document Addendum Grondwatermodel scenariodoorrekeningen
Status Definitief
Datum 19 april 2024
Referentie 125402_023_REP_vA

Projectcode 135558
Projectleider Tom Pinceel
Projectdirecteur Sofie Depauw

Auteur(s) Tom Pinceel
Gecontroleerd door Sofie Depauw, Wouter Reyns
Goedgekeurd door Sofie Depauw

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Belgium N.V.
Maatschappelijke zetel: Posthoflei 5-1
2600 Antwerpen-Berchem
België
+32 (0)3 286 75 75
www.witteveenbos.be
RPR Antwerpen
Dienstverlener KMO-Portefeuille: Advies: DV.A102480
Opleiding: DV.O229170

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos Belgium N.V. is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos Belgium N.V.

Niets uit dit document mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Belgium N.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos Belgium N.V. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos Belgium N.V. geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

LEESWIJZER	1
1 REFERENTIETOESTAND (ACTUELE SITUATIE EIND 2023)	2
1.1 GxG kaarten	2
1.2 GLG doelafstandskaarten	5
2 VERKENNEND SCENARIO	6
2.1 GxG kaarten	7
2.2 GLG doelafstandskaarten	10
3 TECHNISCH SCENARIO	11
3.2 GxG kaarten	14
3.3 GLG doelafstandskaarten	17
4 NATUURLIJK SCENARIO	18
4.1 GxG kaarten	19
4.2 GLG doelafstandskaarten	22
5 KLIMAATSCENARIO'S	23
5.1 Actuele toestand (december 2023) → projectie 2050	23
5.1.1 GxG kaarten	25
5.1.2 GLG doelafstandskaarten	28
5.2 Technisch scenario → projectie 2050	29
5.2.1 GxG kaarten	29
5.2.2 GLG doelafstandskaarten	32
5.3 Natuurlijk scenario → projectie 2050	32
5.3.1 GxG kaarten	32
5.3.2 GLG doelafstandskaarten	35
6 ALGEMENE CONCLUSIE	36

7	REFERENTIES	38
	Laatste pagina	38
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
	-	

Het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB) gaf Witteveen+Bos België de opdracht om via een ecohydrologische studie 'Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek' maatregelen te identificeren om de waterproblematiek in de genoemde natuurgebieden aan te pakken. In eerste instantie moeten kortetermijnoplossingen gezocht worden om behoud van de aanwezige natuurwaarden te garanderen. Daarnaast dienen de bestaande natuurgebieden verder uitgebouwd en aaneengesloten te worden, tot een robuuste natte natuurkern van >300 ha binnen deelgebied Zegge-Mosselgoren en van >150 ha binnen deelgebied Olens Broek, conform het S-IHD-besluit. Tot slot dient er op langere termijn gewerkt te worden aan een meer duurzaam herstel van het vallei-ecosysteem van de Kleine Nete ter hoogte van de Zegge, waarbij getracht wordt de natuurlijke dynamiek van het systeem terug te herstellen of toch zo goed mogelijk te benaderen.

Dit document wordt samengesteld als bijlage voor de eerder opgeleverde 'Achtergrondrapportage geohydrologische modellering' (Witteveen+Bos 2022). Het is een aanvulling op de technische rapportage van het opgebouwde gebiedspecifieke grondwatermodel dat in het kader van deze studie ontwikkeld werd (Witteveen+Bos 2022). Het kan niet als losstaand document gelezen worden maar wel ter ondersteuning van de 'Integrale toekomstvisie wetlandherstel' (Witteveen+Bos 2024a). Voor interpretatie en integratie van de resultaten verwijzen we naar die Integrale toekomstvisie (Witteveen+Bos 2024a).

In het kader van deze ecohydrologische studie werd een gebiedspecifiek grondwatermodel ontwikkeld. Doel van dit model was om eerst en vooral inzicht te verschaffen in de voornaamste oorzaken voor verdroging. Vanuit die inzichten werden vervolgens stuurknoppen voor het aanpakken van verdroging geïdentificeerd. Die werden vertaald in maatregelscenario's en doorgerekend richting hydrologische grondwaterdoelen, zie Integrale toekomstvisie wetlandherstel; Witteveen+Bos 2024a voor meer duiding. Om ook de overstromingsproblematiek aan te pakken werd een bijkomende serie maatregelen opgesteld. Zo werd uiteindelijk een technisch scenario samengesteld dat zowel de verdrogings- als overstromingsproblematiek in de natuurgebieden kan verhelpen. Specifiek omvat het voorliggend document de resultaten voor zowel de voorspellingen van de actuele situatie als voor alle doorlopen scenariodoorrekeningen, op basis van het ontwikkelde grondwatermodel. Hierbij worden telkens de gesimuleerde grondwaterpeilen op basis van GLG-, GHG- en GVG-kaarten getoond.

Op langere termijn wordt meer duurzaam natuurlijk systeemherstel nagestreefd. Om het potentieel hiervoor inzichtelijk te maken wordt een scenario besproken waarin de Kleine Nete in het studiegebied als sterk meanderende rivier hersteld wordt en het natuurlijk overstromingsgebied maximaal wordt ingezet. Het technisch scenario is noodzakelijk als een 'no regret stap' omdat natuurlijk systeemherstel slechts op langere termijn mogelijk is.

Tenslotte worden ook projecties van de impact van klimaatverandering gesimuleerd en wordt getoond hoe de grondwaterstanden zullen evolueren volgens recente voorspellingen. Zowel voor de huidige situatie (i.e. zonder ingrepen in het systeem) als voor het ontwikkelde technisch scenario wordt het effect van een hoog-impact klimaatscenario richting 2050 getoond.

1

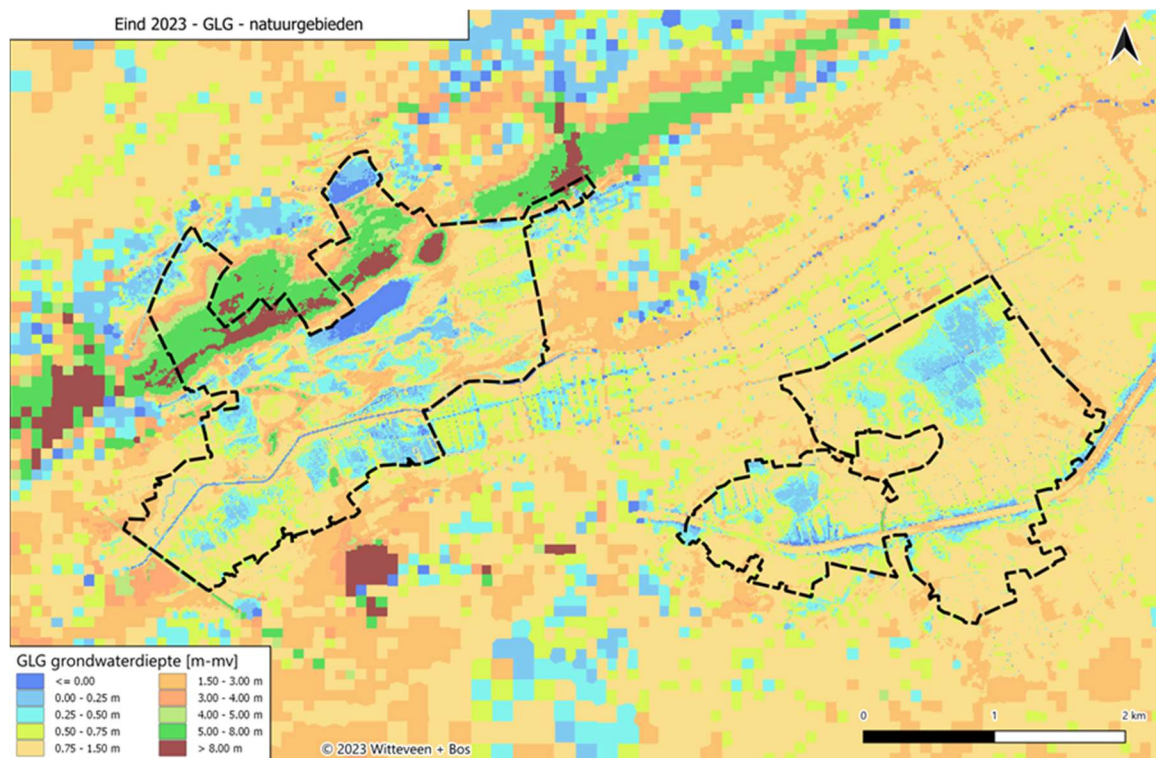
REFERENTIE TOESTAND (ACTUELE SITUATIE EIND 2023)

1.1 GxG kaarten

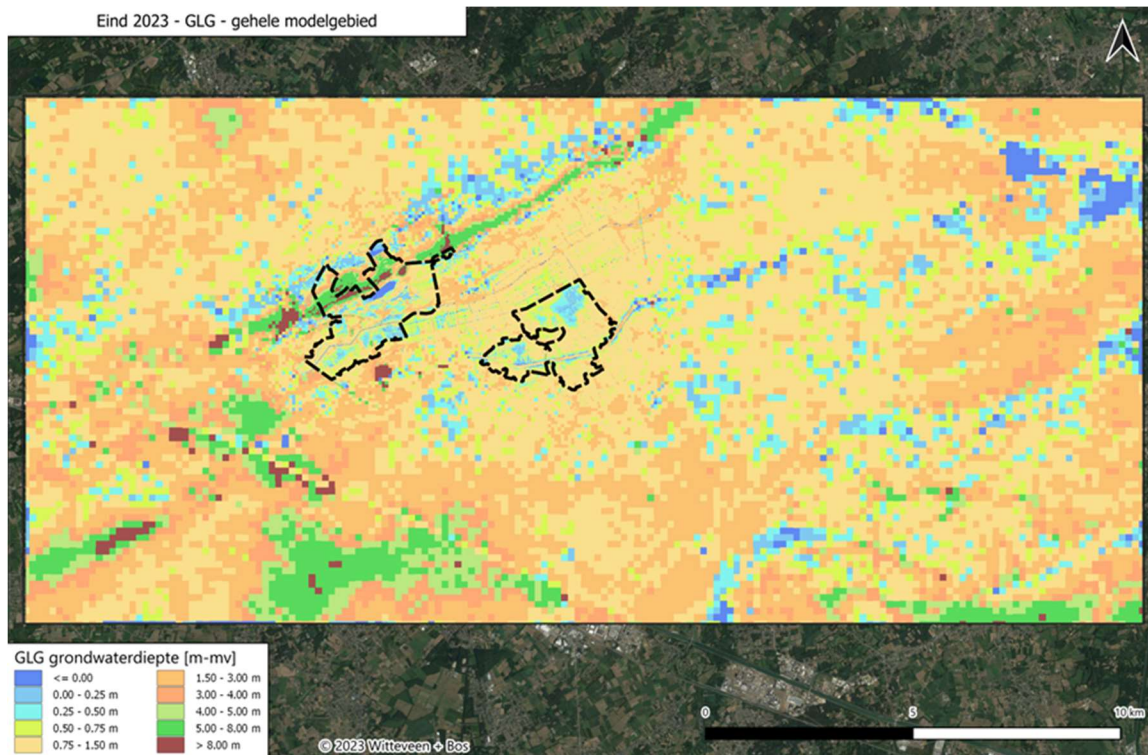
Grondwaterpeilen kunnen aan de hand van het voor deze studie ontwikkelde gebiedspecifieke grondwatermodel met een relatief hoge precisie gesimuleerd worden (zie Witteveen+Bos, 2022). Op basis van de modellering kunnen kaarten opgemaakt worden die overheen het studiegebied een overzicht geven van locatie-specifieke grondwaterpeilen.

In dit document geven we voor de actuele toestand en ieder van de doorgerekende scenario's telkens grondwaterstanden via 3 variabelen weer: de GLG (Gemiddelde Laagste Grondwaterstand), de GHG (Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand) en de GVG (de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand). Voor ieder van deze variabelen tonen we telkens de resultaten op 2 schalen: de natuurgebieden en onmiddellijk aanpalende zones enerzijds en het gehele modelgebied anderzijds.

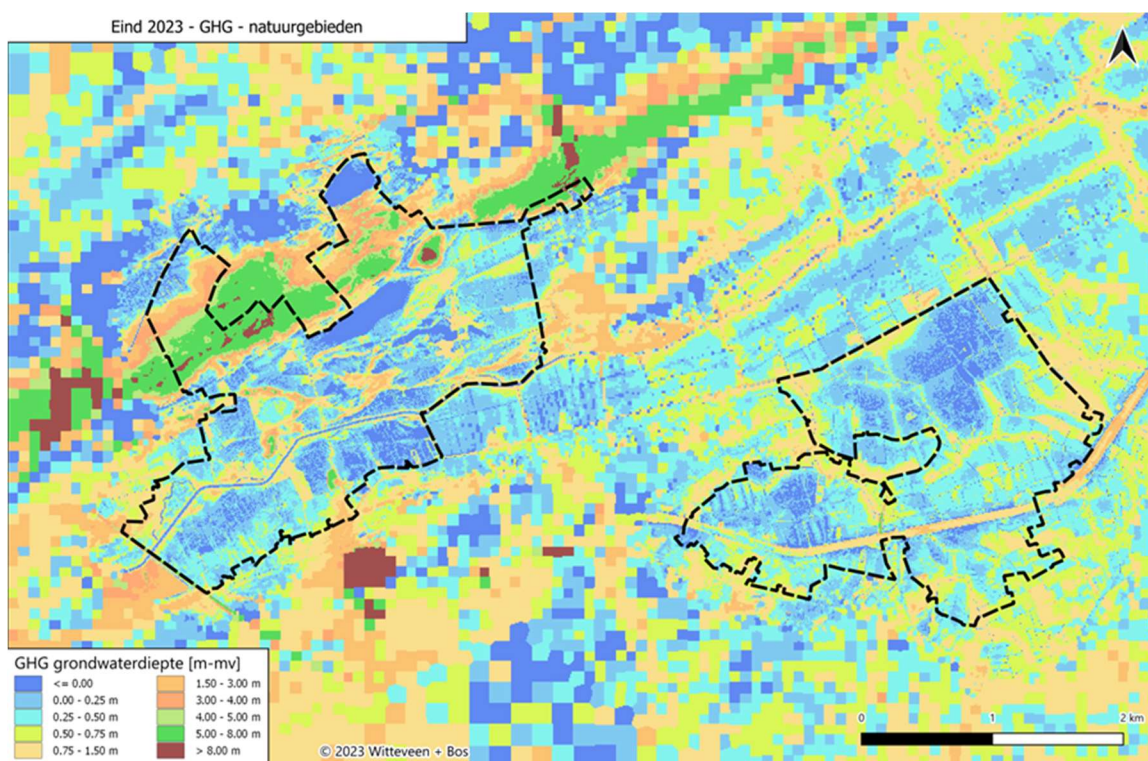
Afbeelding 1.1 GLG-¹simulaties onder de actuele toestand voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



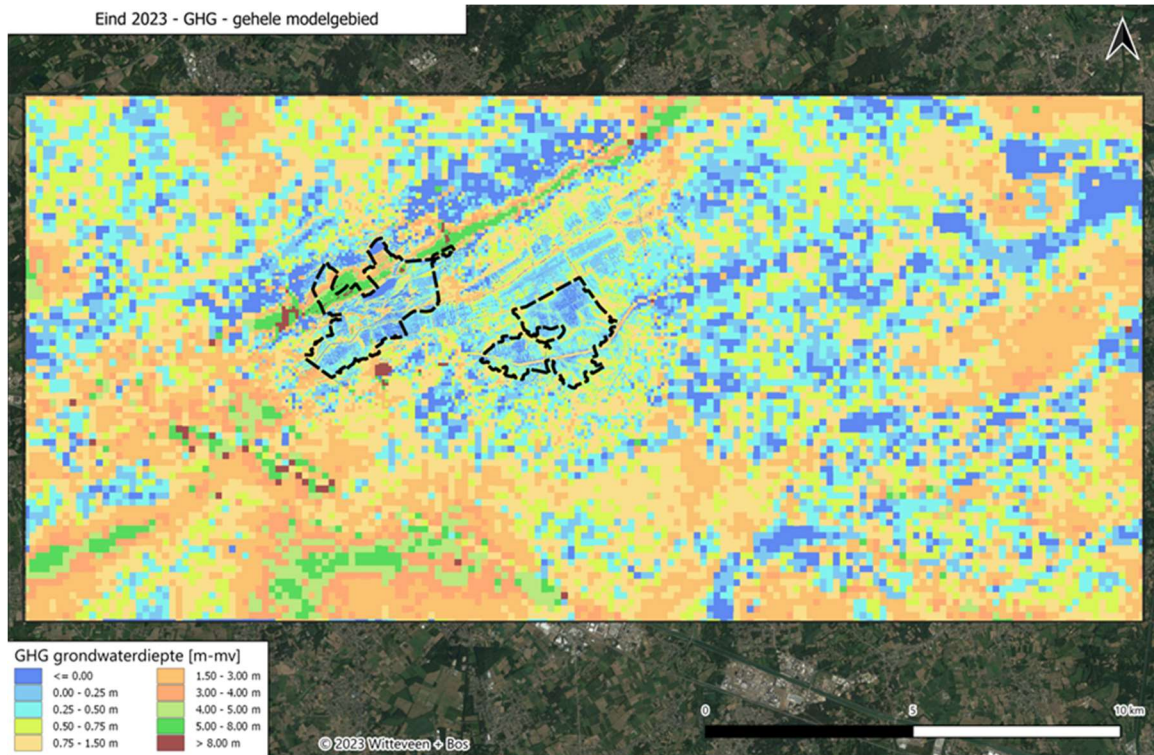
¹ Het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden in de zomerperiode (1 april tot 1 oktober) over tenminste 5 jaar. Het is een maat voor de laagste grondwaterstand in een gemiddelde zomer.



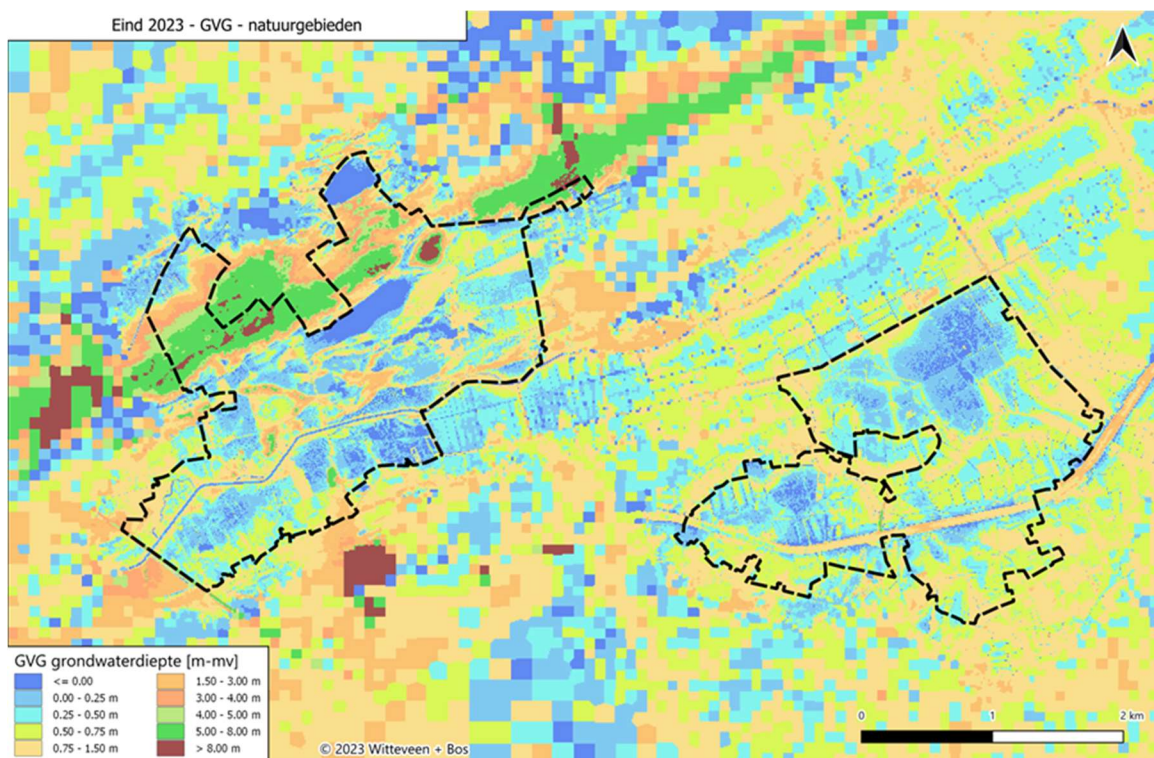
Afbeelding 1.2 GHG⁻¹simulaties onder de actuele toestand voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



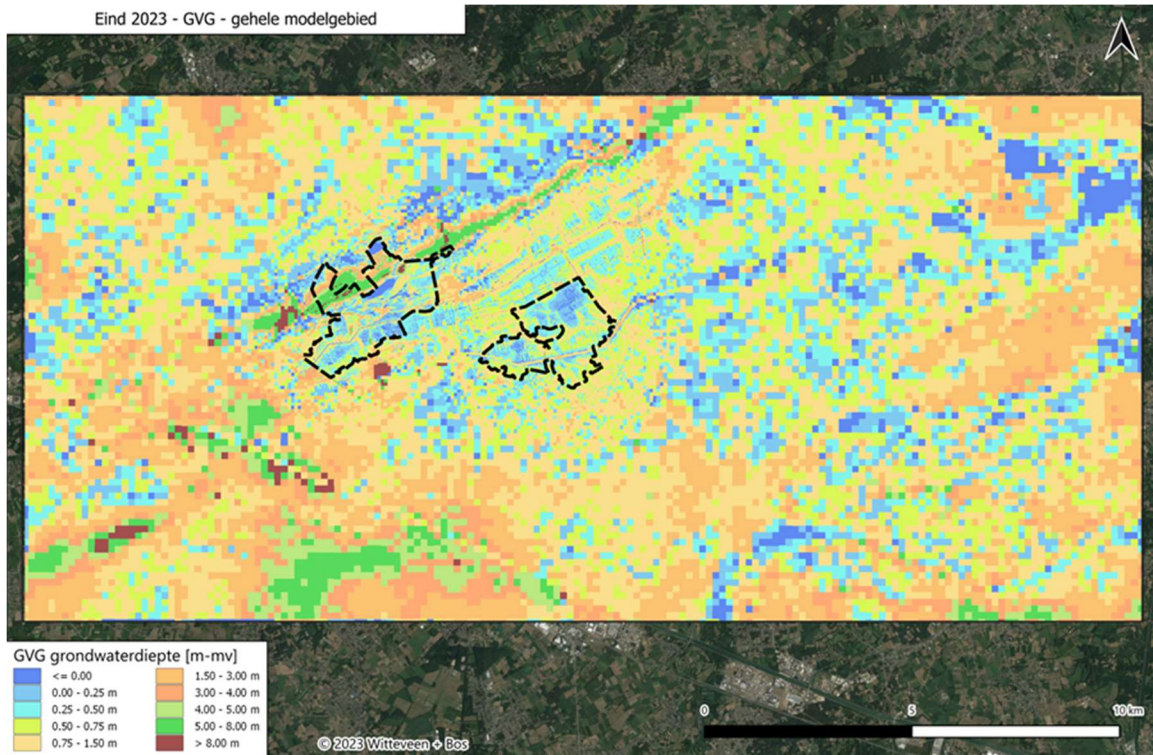
¹ Het gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden in de winterperiode (1 oktober tot 1 april) over tenminste 5 jaar. Het is een maat voor het hoogste grondwater niveau in een gemiddelde winter.



Afbeelding 1.3 GVG⁻¹simulaties onder de actuele toestand voor de natuurgebieden, het bredere focusgebied en het gehele modelgebied



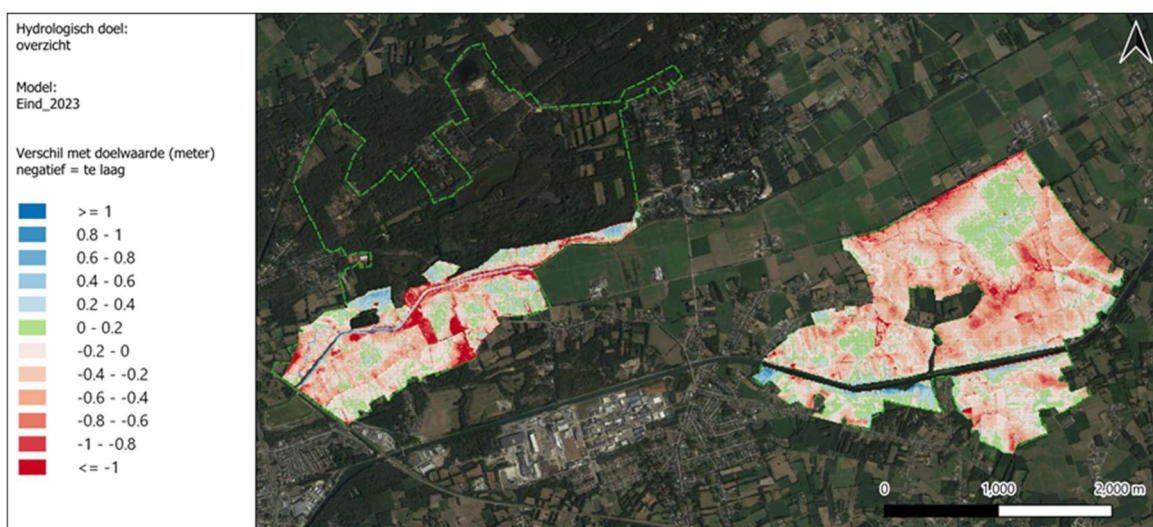
¹ Voor de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand worden jaarlijks de grondwaterstanden van 14 maart, 28 maart en 14 april gemiddeld. Het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van 8 jaar.



1.2 GLG doelafstandskarten

Projectie van de natuurdoelen - en geassocieerde hydrologische randvoorwaarden - op de natuurgebieden Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek geeft inzicht in waar hoge grondwaterstanden het meest aan de orde zijn. Om de vernatting die nodig is om de vooropgestelde natuurdoelen te halen beter inzichtelijk te maken kunnen GLG-doelafstanden op kaart gegenereerd worden (voor meer duiding zie de Integrale toekomstvisie; Witteveen+Bos 2024a).

Afbeelding 1.4 De GLG doelafstandskarten geven aan dat onder de actuele toestand de grondwaterpeilen tijdens droge periodes in de natuurkernen tot meer dan 1 m te ver wegzakken onder maaiveld om de beoogde natuurdoelen te realiseren



2

VERKENNEND SCENARIO

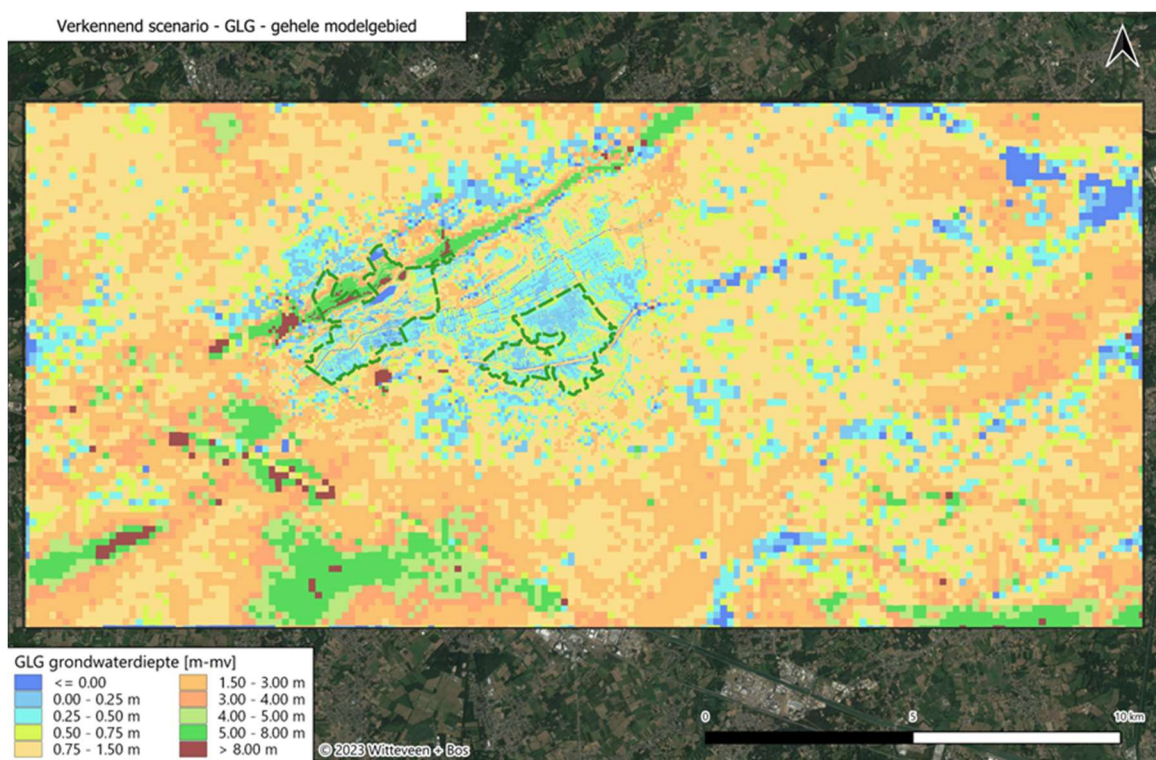
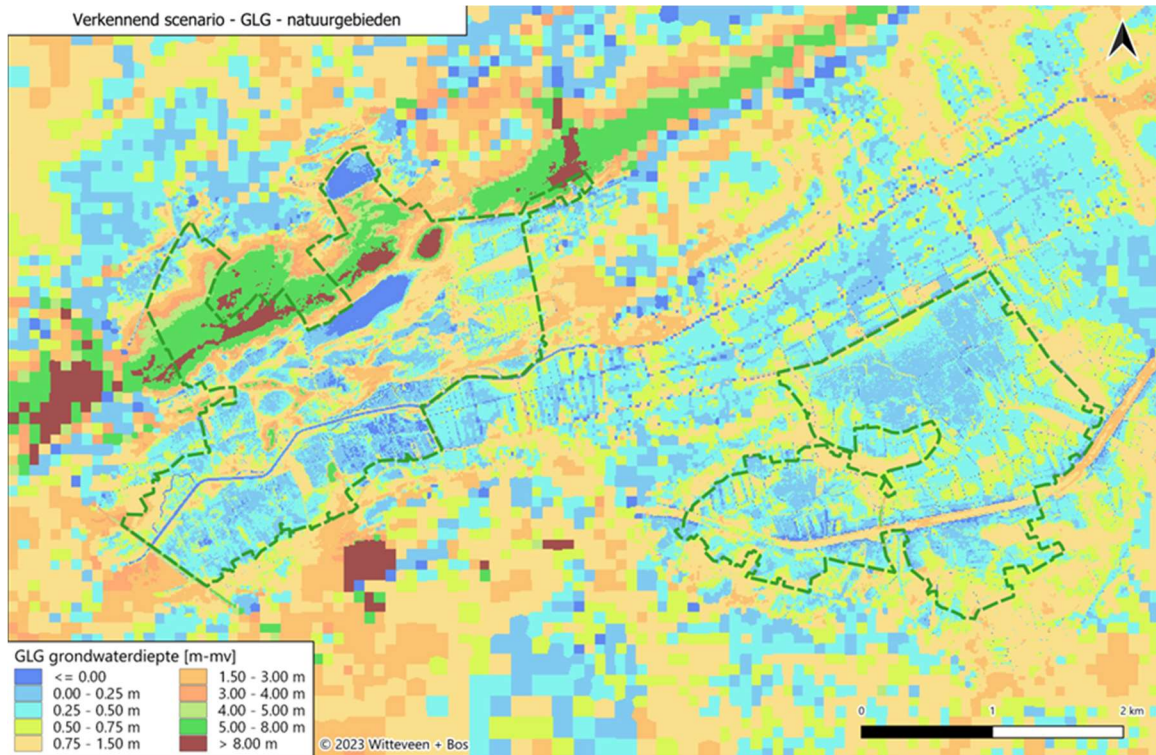
Op basis van de geïdentificeerde oorzaken voor verdroging werd een verkennend scenario samengesteld, waarbij maximaal richting het verhogen van de GLG gewerkt werd. De voornaamste maatregelen zijn samengevat in Tabel 6.1 (aan het einde van het document) en gevisualiseerd in (Afbeelding 2.1).

Afbeelding 2.1 Via een verkennend scenario onderzochten we de impact van verschillende ingrepen aan drainerende structuren om maximaal de grondwaterpeilen te verhogen

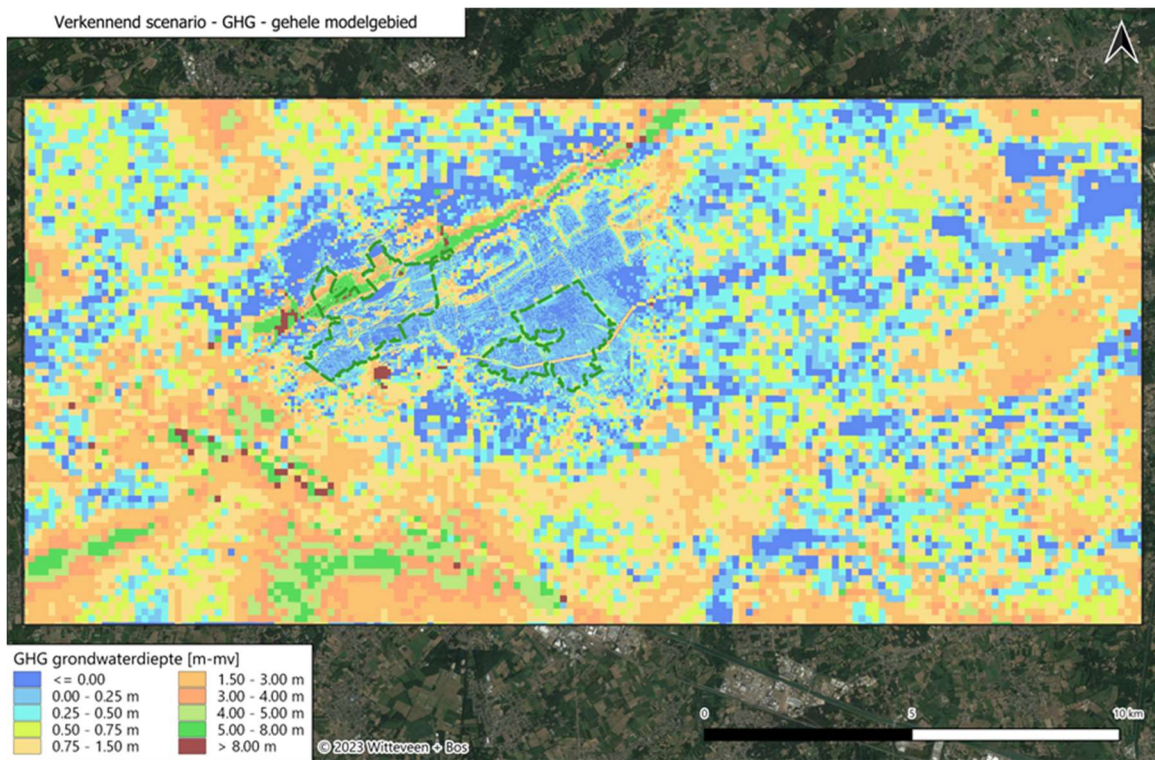
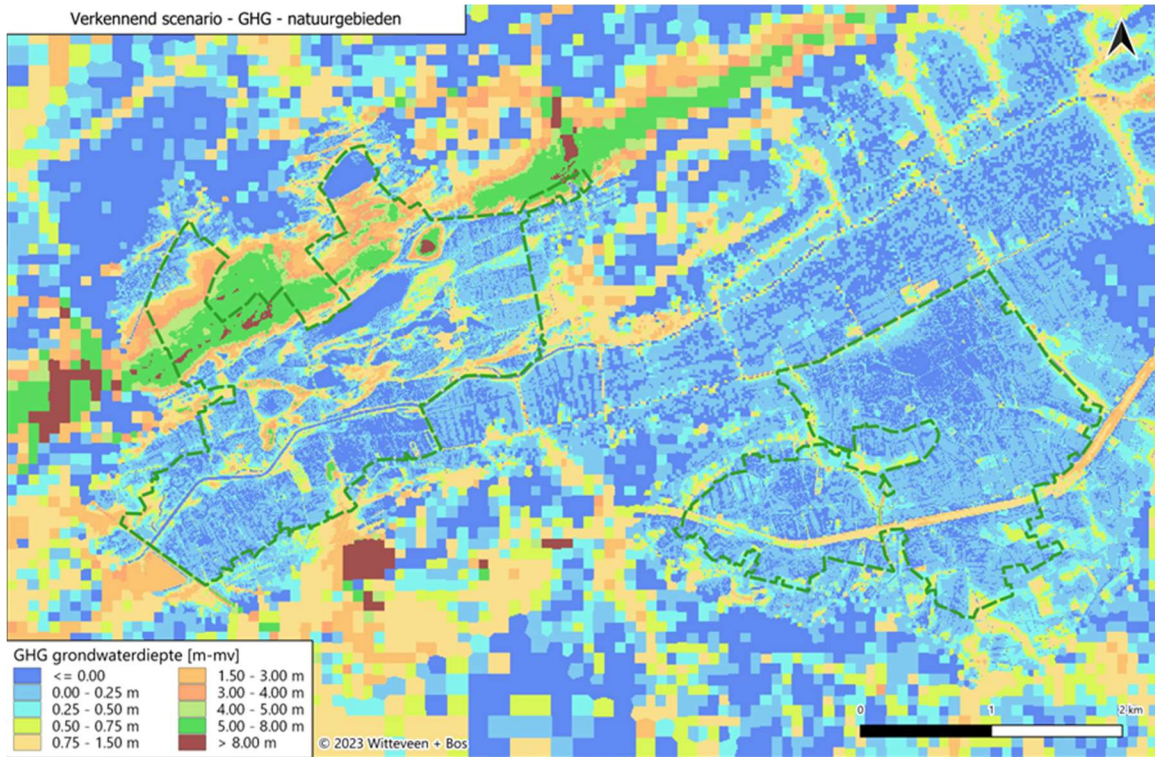


2.1 GxG kaarten

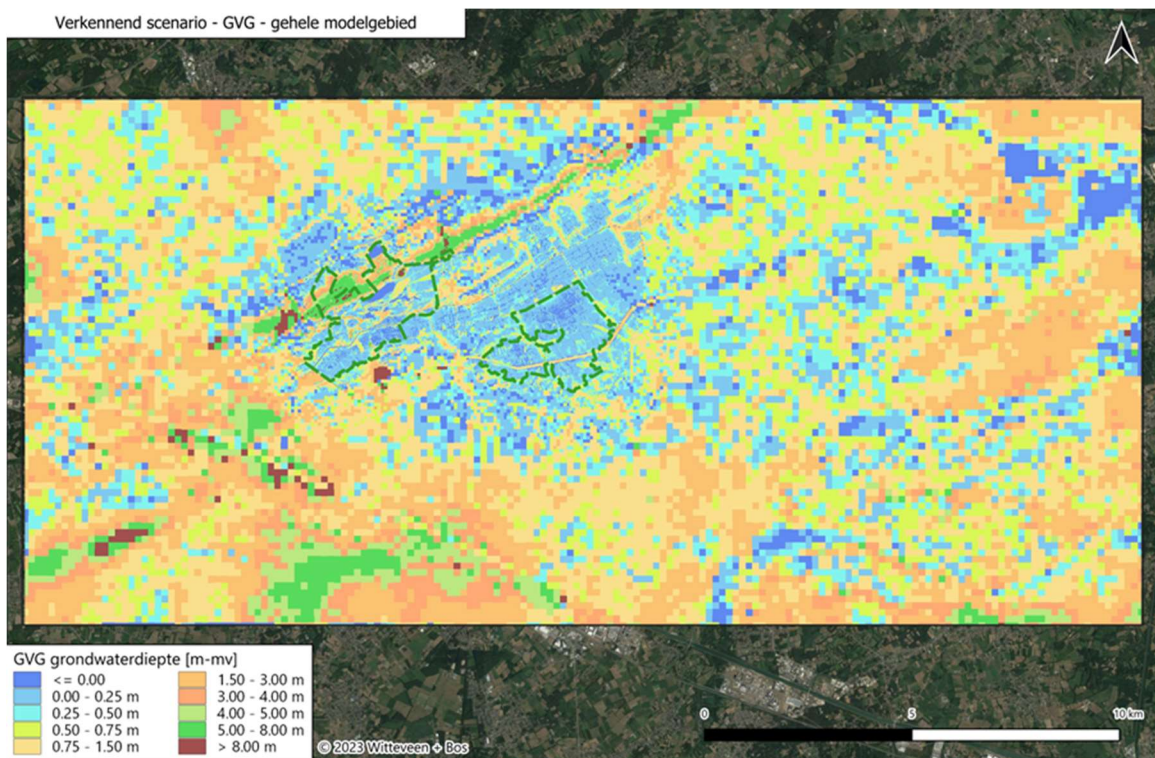
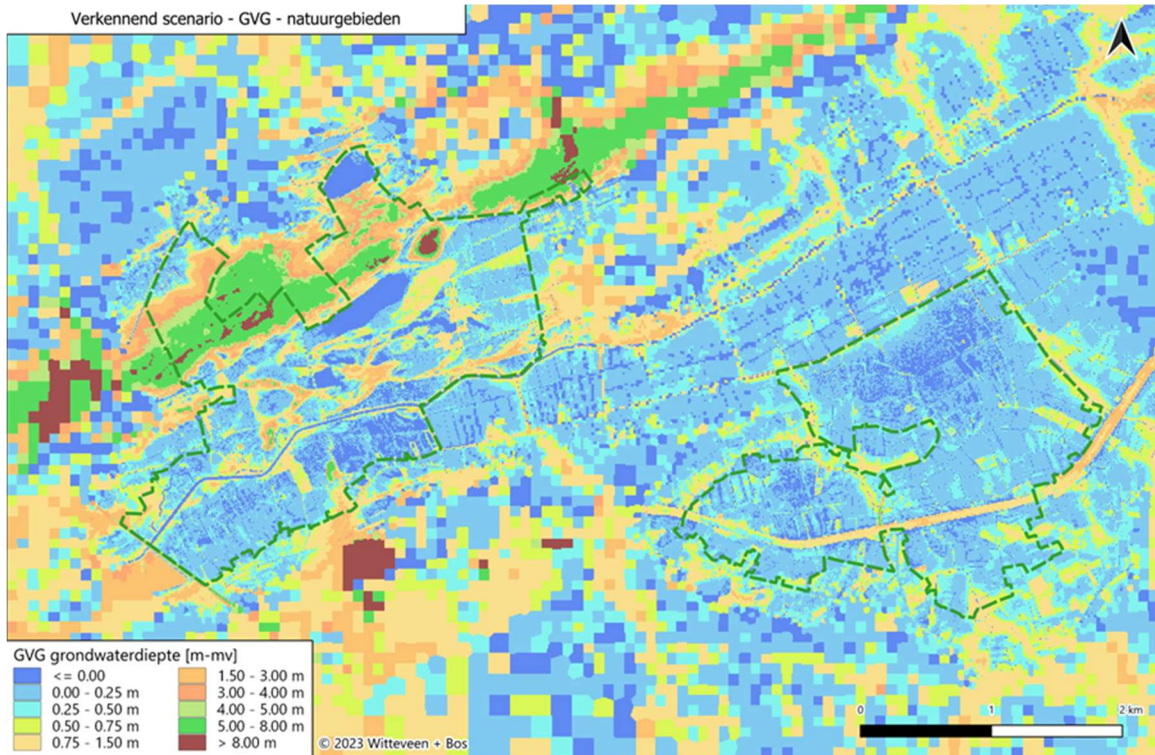
Afbeelding 2.2 GLG-simulaties onder het verkennend scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



Afbeelding 2.3 GHG-simulaties onder het verkennend scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



Afbeelding 2.4 GVG-simulaties onder het verkennend scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied

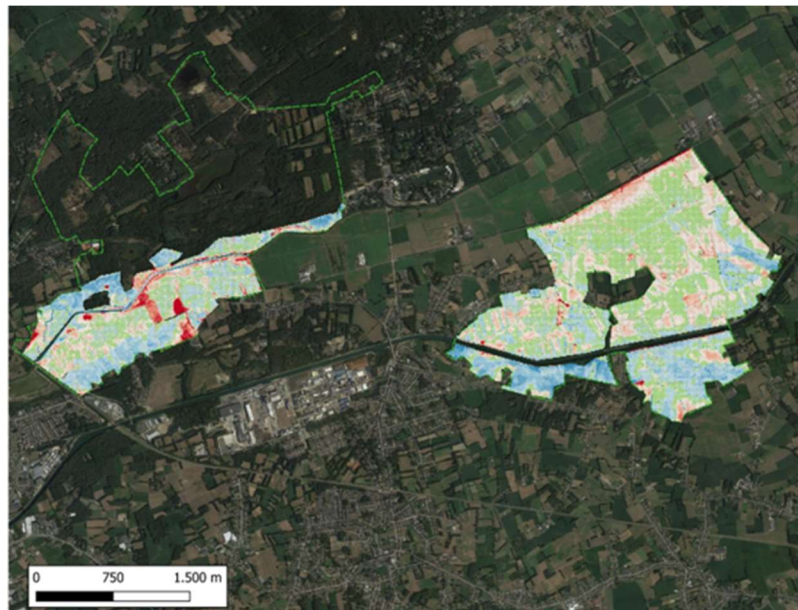
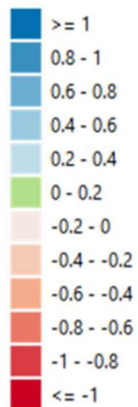


2.2 GLG doelafstandskarten

Met het verkennend scenario werken we richting verhogen van de grondwaterstanden tijdens droge periodes om verdroging van de natuurgebieden tegen te gaan. Zo kunnen de GLG-randvoorwaarden voor de wettelijk te beschermen grondwaterafhankelijke vegetaties in de natuurgebieden nagenoeg gerealiseerd worden.

Afbeelding 2.5 Onder een verkennend scenario suggereren de GLG doelafstandskarten dat op de meeste locaties in de natuurgebieden de grondwaterdoelen gehaald worden om de beoogde natuurdoelen te realiseren

GLG (m t.o.v. doelen)



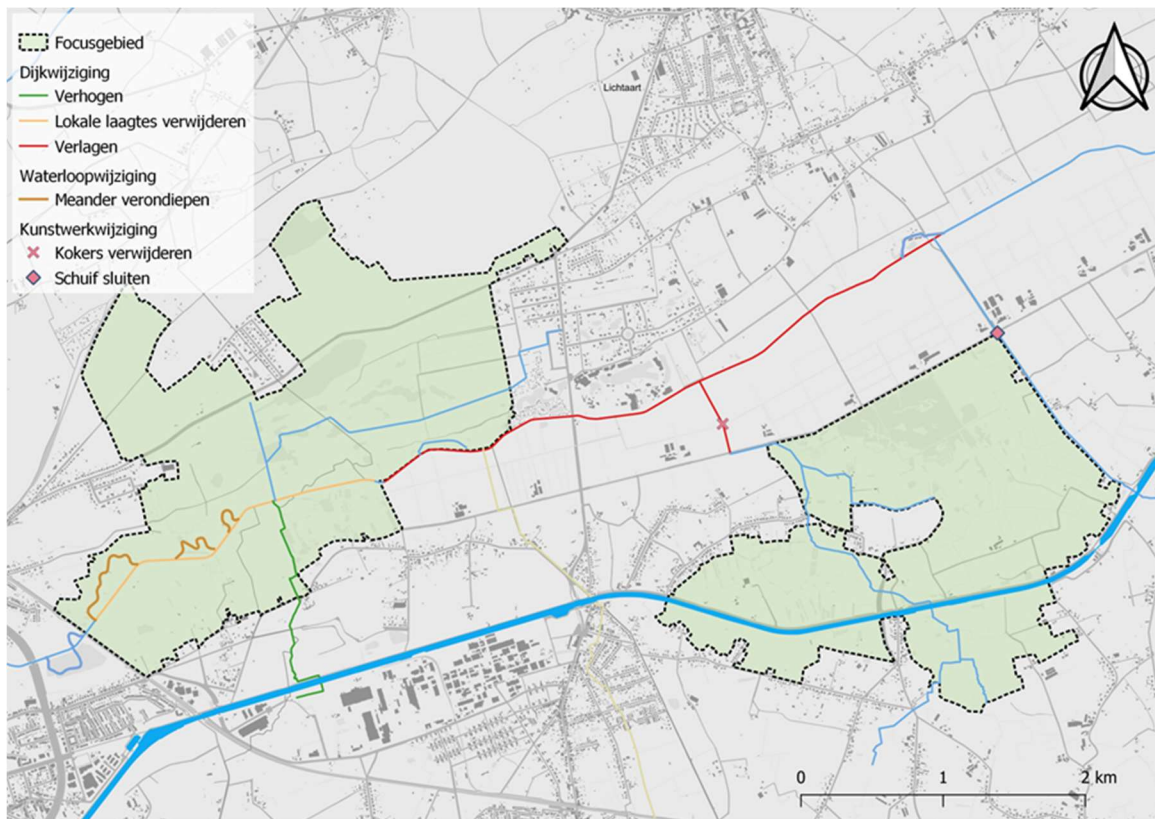
3

TECHNISCH SCENARIO

Omdat in het verkennend scenario een reeks verondiepingen en stuwende ingrepen aan de Kleine Nete en zijwaterlopen gebeurde werd de actuele overstromingsproblematiek nog vergroot (zie ook de rapportage rond de oppervlaktewatermodellering Witteveen+Bos 2024b).

Vanuit de inzichten van de oppervlaktewatermodellering werd een aantal maatregelen uitgewerkt in een technisch scenario die de overstromingsproblematiek in de natuurgebieden milderer zonder in te boeten aan het halen van de grondwaterdoelen. De ingrepen zijn samengevat in Tabel 6.1 (aan het einde van het document) en weergegeven in Afbeelding 3.1.

Afbeelding 3.1 Om zowel de verdrogings- als de overstromingsproblematiek op korte termijn aan te pakken zijn ook een reeks ingrepen aan de waterlopen en dijken nodig



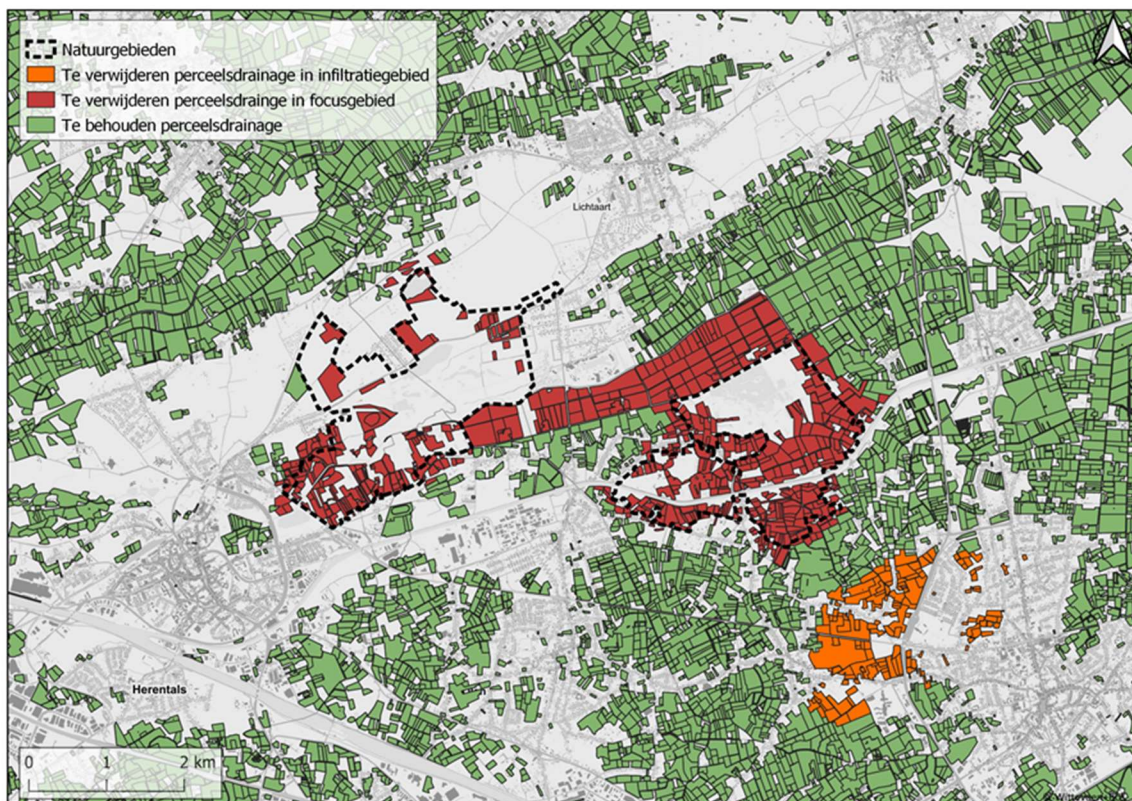
3.1 Milderen van de effecten richting bewoning en landbouw

De maatregelen in het technisch scenario hebben substantiële impact op de grondwaterstanden en overstromingscontouren in bewoond gebied en landbouwgebied. Via het strategisch verfijnen van het technisch scenario kunnen echter bepaalde negatieve effecten richting bewoning en landbouw vermeden worden, zonder de natuurdoelen te compromitteren.

Perceelsdrainage is een belangrijke stuurknop om vernatting van percelen lokaal tegen te gaan. In bepaalde zones in het modelgebied zal het echter geen negatieve impact hebben op de grondwaterpeilen in de natuurgebieden. Via scenariovergelijkingen werden de percelen geïdentificeerd waar landbouwdrainage geen impact heeft op het halen van de GLG-doelen (i.e. zodat de doelafstanden ongewijzigd blijven). Hierdoor kwamen we tot een strategische selectie van de zones waar perceelsdrainage een grote negatieve impact op de waterbalans heeft (Afbeelding 3.2).

Belangrijk is dat niet alleen rekening gehouden wordt met het stoppen van drainage op percelen die rechtstreeks impact hebben op de grondwaterstand in de natuurgebieden. Het is nodig om ook in te zetten op het verminderen van drainage en verbeteren van infiltratie in het voedingsgebied voor de kwelbanen die in de natuurkernen uittreden. Hoewel de modelsimulaties suggereren dat doorreistijden van water vele decennia kunnen zijn (Witteveen+Bos, 2022) moet met dit gegeven voor duurzaam systeemherstel rekening gehouden worden in toekomstige gebiedsprogramma's.

Afbeelding 3.2 In het technisch scenario kan perceelsdrainage in een groot deel van het studiegebied behouden blijven zonder de natuurdoelen te compromitteren



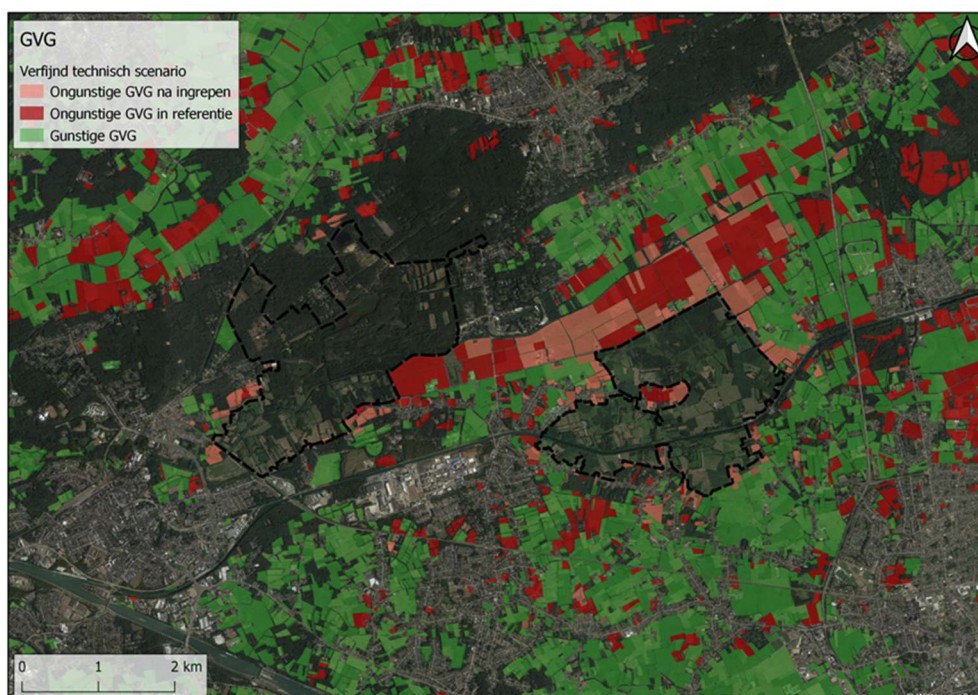
Om de potenties voor conventionele landbouw in te schatten kan gebruik gemaakt worden van een pragmatische aanpak, via een drempelwaarde voor de Gemiddelde-Voorjaar-Grondwaterstand (GVG). Wanneer de GVG van een perceel ≤ 50 cm is (i.e. het water in het voorjaar gemiddeld minder dan 50 cm onder maaiveld staat), dan wordt doorgaans aangenomen dat een perceel te nat is om het te bewerken met

zware landbouwmachines. Is de GVG > 50 cm (i.e. het water in het voorjaar gemiddeld dieper dan 50 cm onder maaiveld staat) dan wordt aangenomen dat een perceel droog genoeg is om het via conventionele technieken te bewerken (Afbeelding 3.3, Afbeelding 3.4, Afbeelding 3.5). Bijkomend werd er via het oppervlaktewatermodel nagegaan of overstromingen bij piekregenval (T2 bui) conventionele landbouw hypothekeerders.

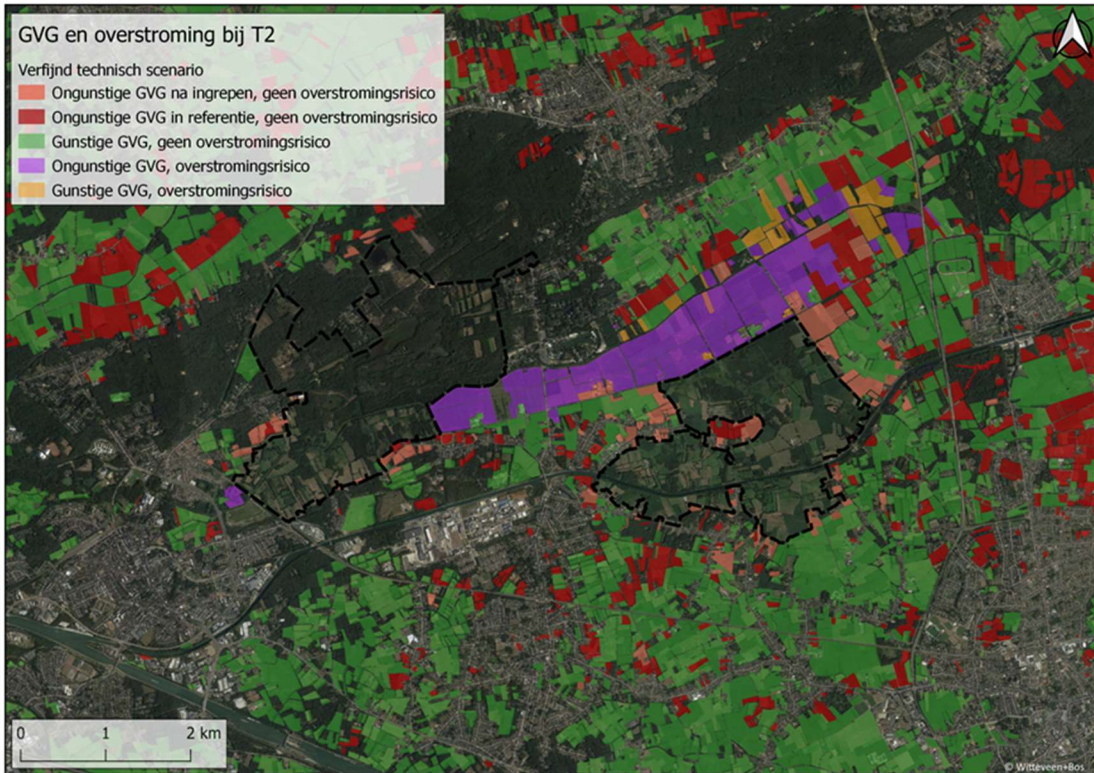
Afbeelding 3.3 Ook onder de actuele toestand is volgens de gesimuleerde GVG-drempelwaarde een substantieel deel van het landbouwareaal in het studiegebied tijdens het voorjaar te nat om te berijden met zware landbouwmachines



Afbeelding 3.4 Via milderende maatregelen kan onder een technisch scenario een groot deel van het landbouwareaal voor de gevolgen van vernatting beschermd worden

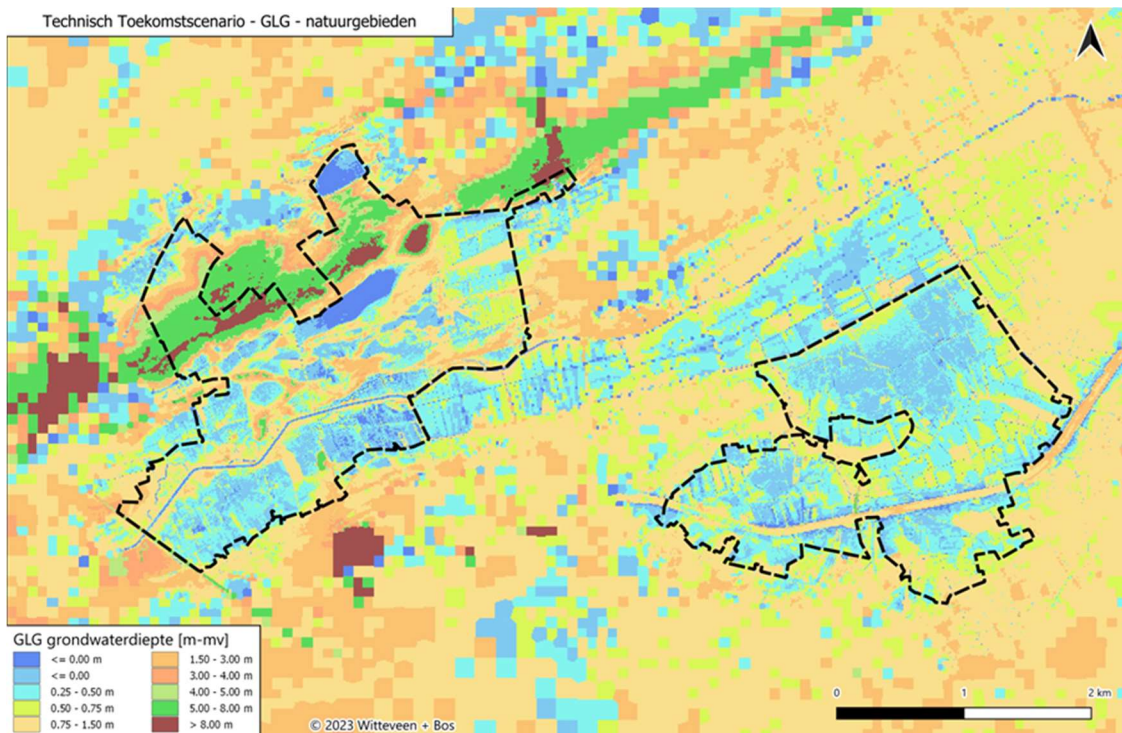


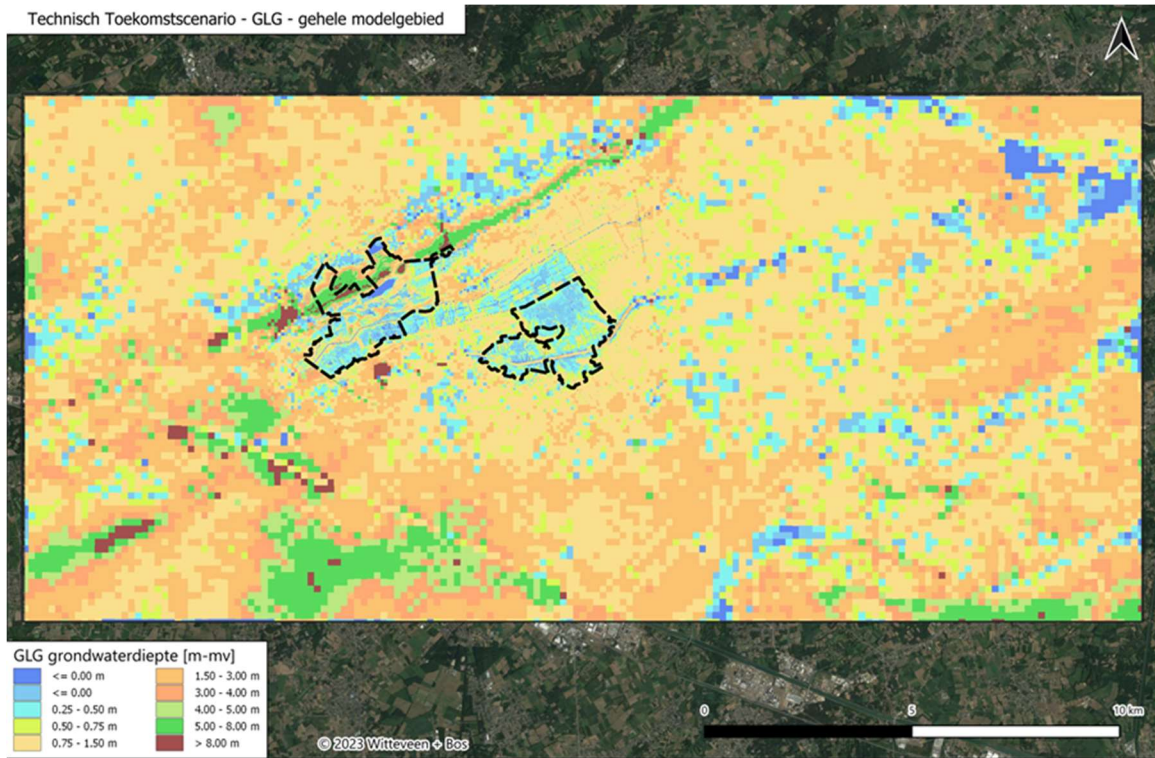
Afbeelding 3.5 Gecombineerde simulaties van grondwaterstanden (GVG) en overstromingscontouren bij piekregenvval (T2 bui) onder het verfijnd technisch scenario geven aan dat randvoorwaarden voor conventionele landbouw voornamelijk in de polder, tussen de Zegge en de Kleine Nete, in het gedrang komen



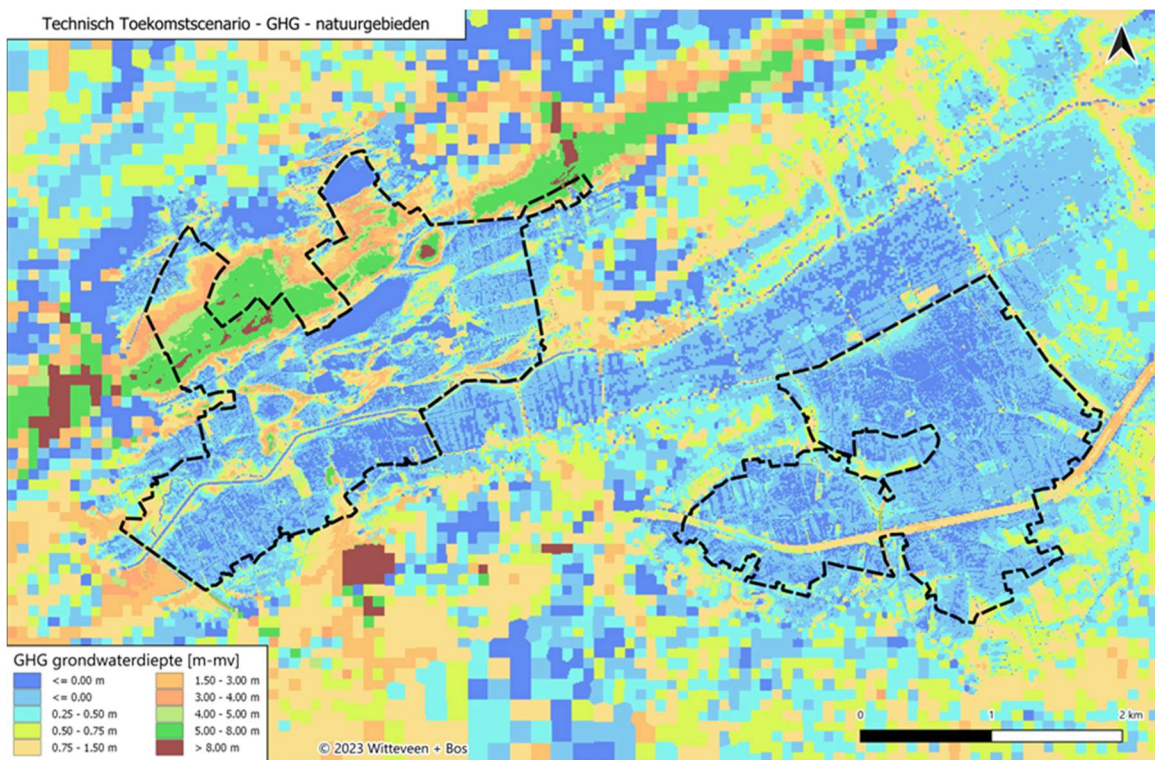
3.2 GxG kaarten

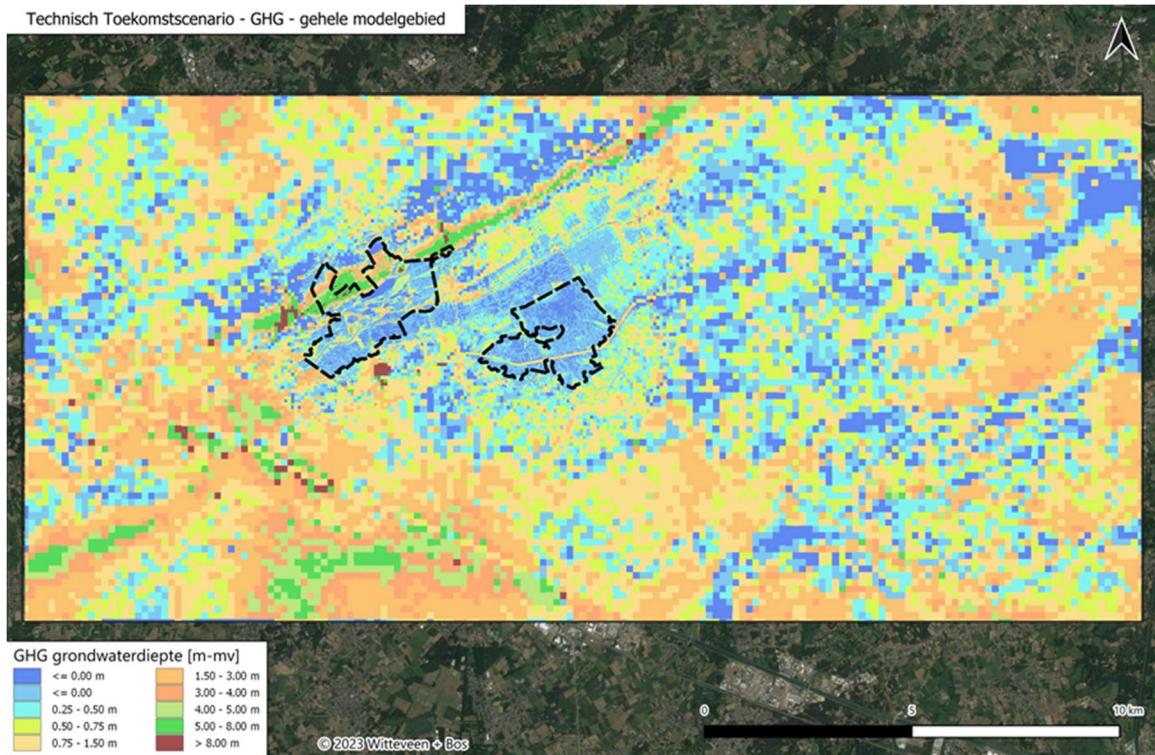
Afbeelding 3.6 GLG-simulaties onder het technisch scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



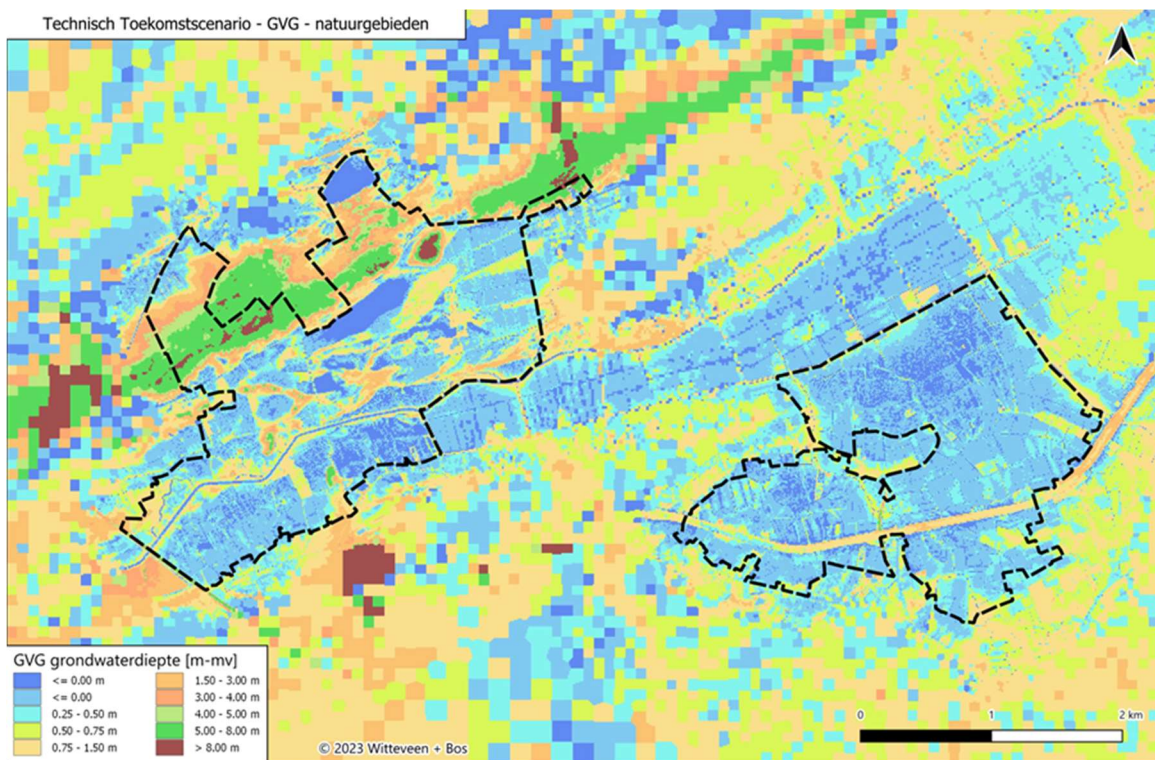


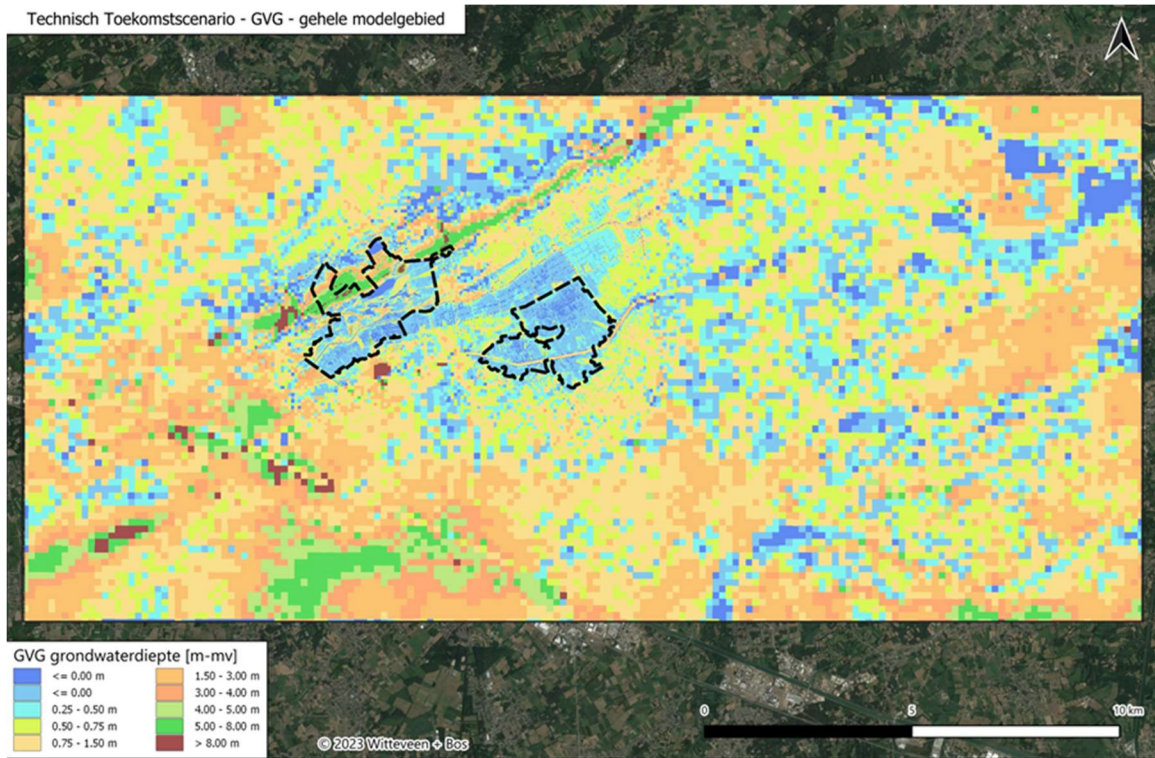
Afbeelding 3.7 GHG-simulaties onder het technisch scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied





Afbeelding 3.8 GVG-simulaties onder het technisch scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied





3.3 GLG doelafstandskarten

Afbeelding 3.9 Ook onder een technisch scenario suggereren de GLG doelafstandskarten dat op de meeste locaties in de natuurgebieden de grondwaterdoelen gehaald worden om de beoogde natuurdoelen te realiseren



4

NATUURLIJK SCENARIO

Het technisch scenario is echter geen goede strategie voor duurzaam herstel van het natuurlijk Kempisch beekdalsysteem. Het moet veeleer gezien worden als een set van no regret ingrepen, die de voornaamste problemen (i.e. verdroging en overstroming) in de natuurgebieden kunnen milderen. Op langere termijn is systeemherstel in die context een meer duurzame oplossing; met in het focusgebied volledige hermeandering en verwijderen van dijken langsheen de Kleine Nete. Zo kan de natuurlijke overstromingsvlakte ingezet worden, kan er doorheen de Kleine Nete een groter debiet geborgen worden (i.e. door toename ruwheid en lengte) en kan water tijdens overstromingen doorheen de vallei stromen en na overstromingen gravitair terugvloeien. Bovendien kan zo het natuurlijk Kempisch Beekdalecosysteem met geassocieerde habitats en soorten hersteld worden.

Binnen deze studie werden de opgebouwde systeemkennis en de ontwikkelde oppervlakte- en grondwatermodellen ook ingezet om alvast grip te krijgen op de mogelijke impact van een volledige herprofilering en hermeandering van de Kleine Nete binnen het studiegebied. Het doel is hierbij om de Kleine Nete en de omliggende vallei in een meer natuurlijke toestand te herstellen. Daarom spreken we over een 'natuurlijk scenario'.

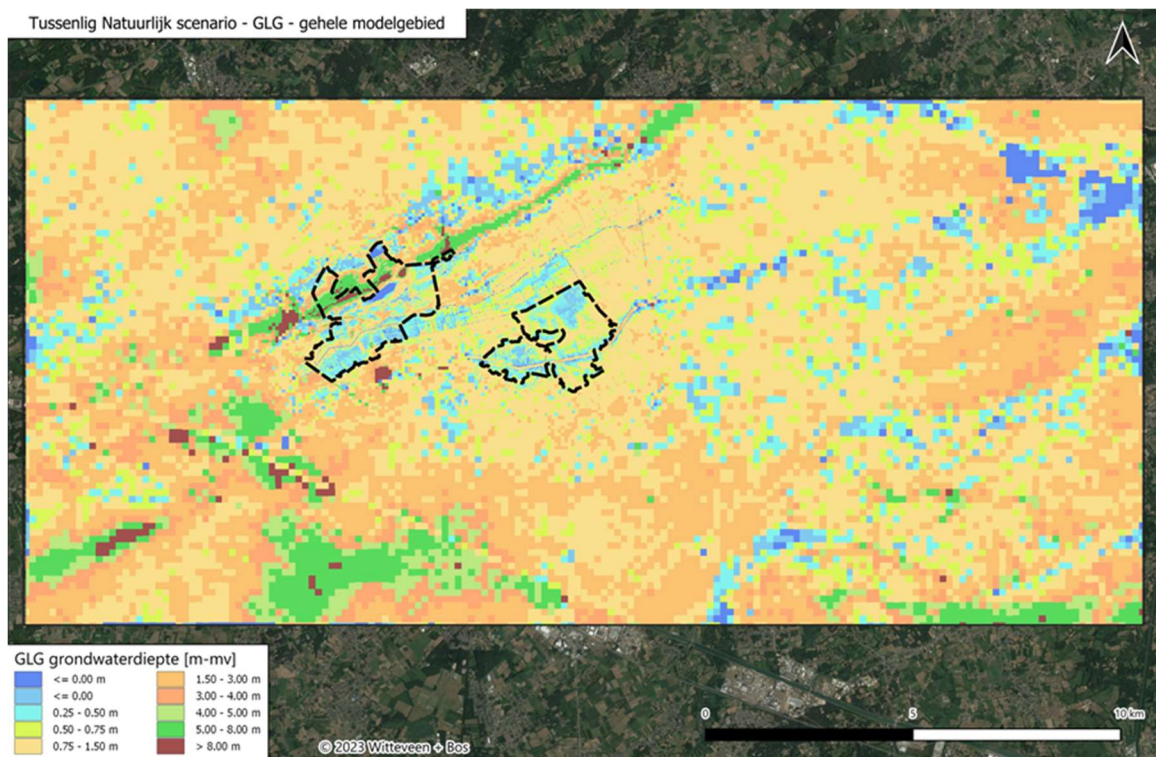
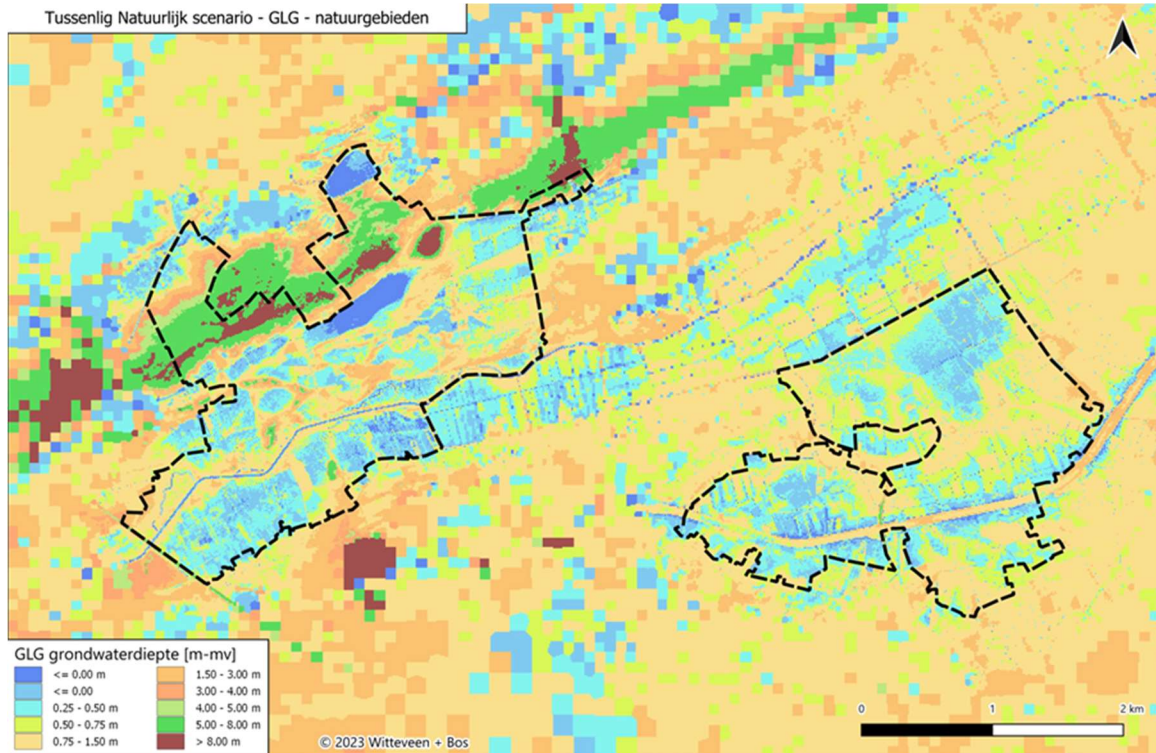
Volledig systeemherstel zal een hele reeks ingrepen overheen de vallei inhouden. Er is geopteerd om in eerste instantie enkel de Kleine Nete aan te passen. Zo krijgen we grip op het relatieve belang van ingrepen aan de Kleine Nete voor systeemherstel. Vanuit extrapolatie van inzichten uit onder andere het doorgerekende technisch scenario kan alvast een inschatting van het belang van andere ingrepen gemaakt worden.

Logischerwijs zullen onder het natuurlijk scenario, zoals hier doorgerekend, de GLG-doelen dus niet volledig gerealiseerd worden in de natuurgebieden. Hiervoor zijn ook andere ingrepen, zoals het dempen van grachten en sloten in de natuurgebieden en het verondiepen van zijwaterlopen nodig (zie ook technisch scenario).

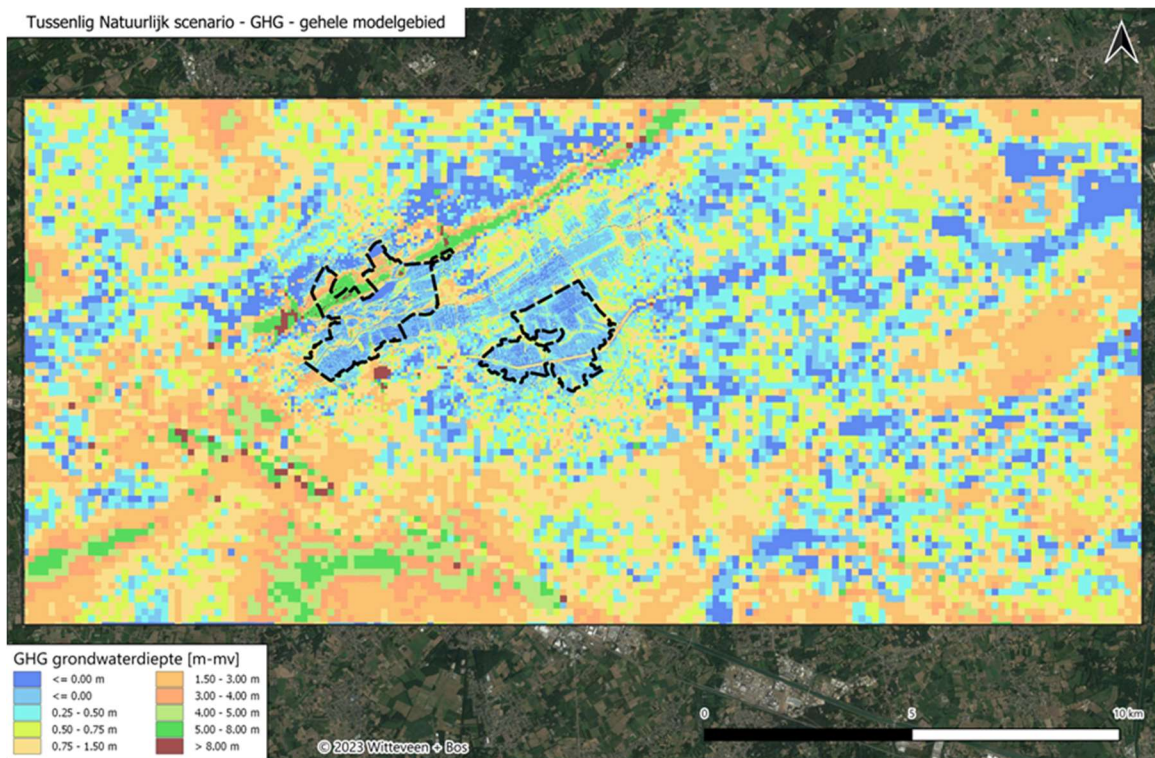
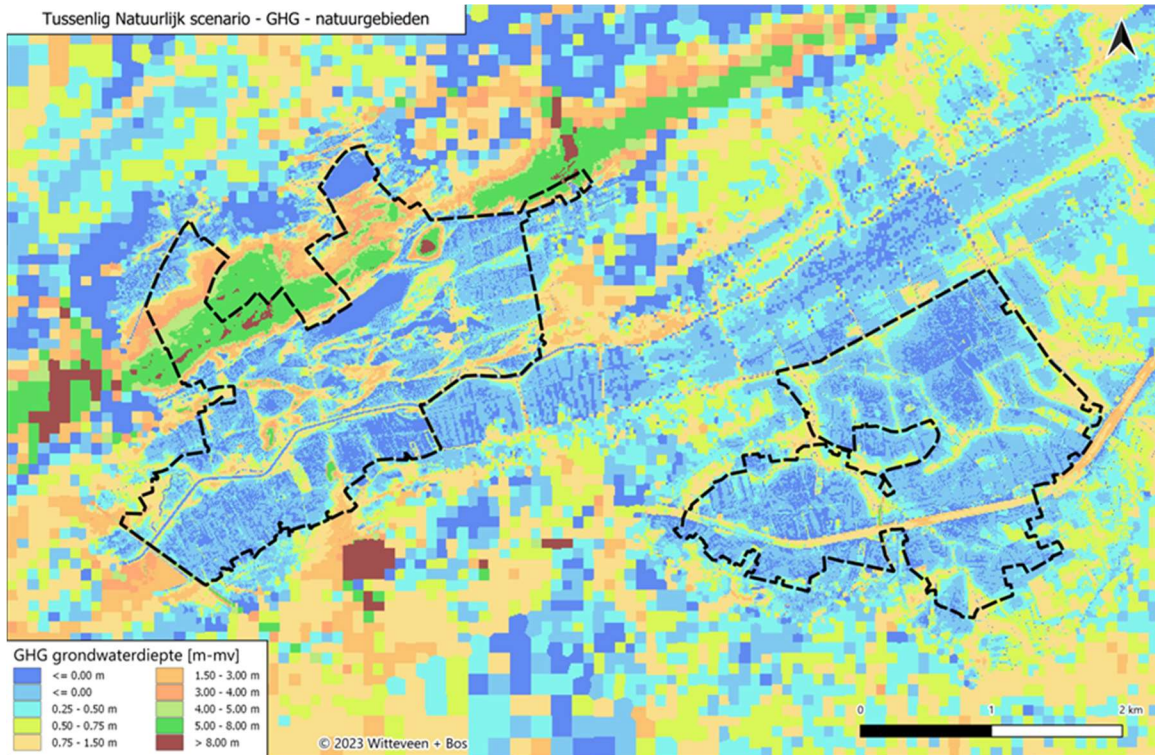
Voor een meer volledige bespreking van het ontwikkelde natuurlijk scenario verwijzen we naar Witteveen+Bos 2024 a-b.

4.1 GxG kaarten

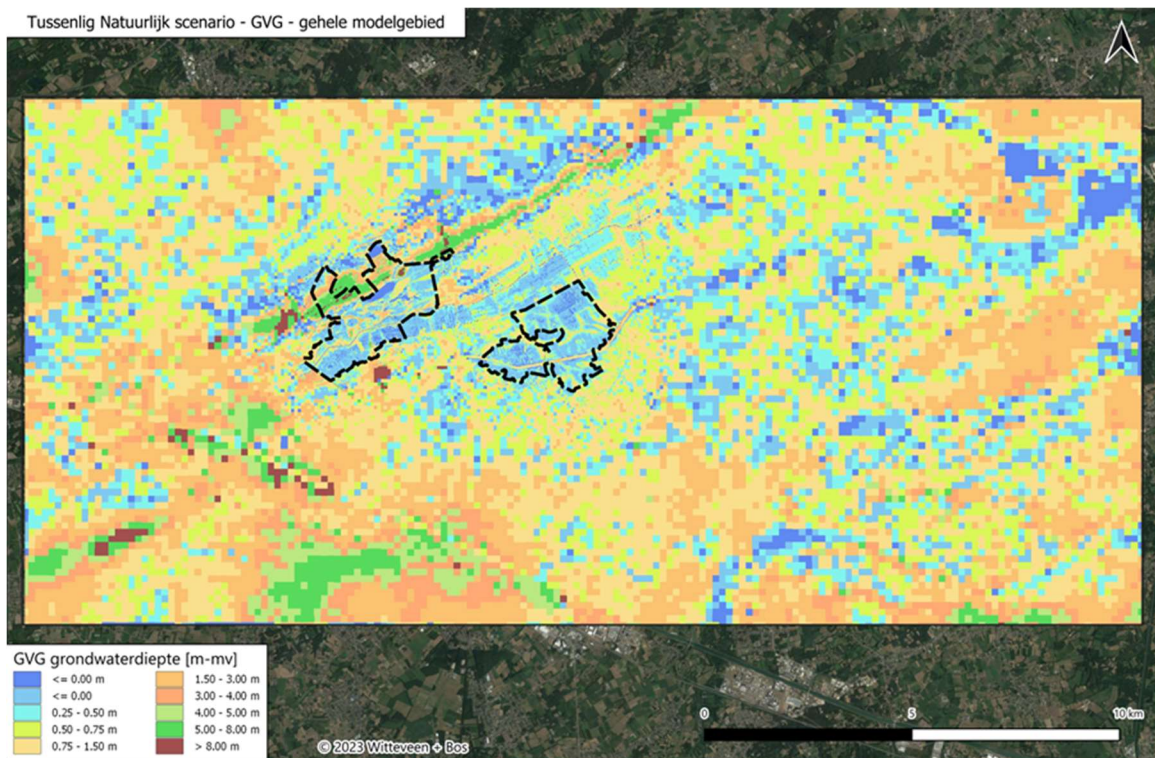
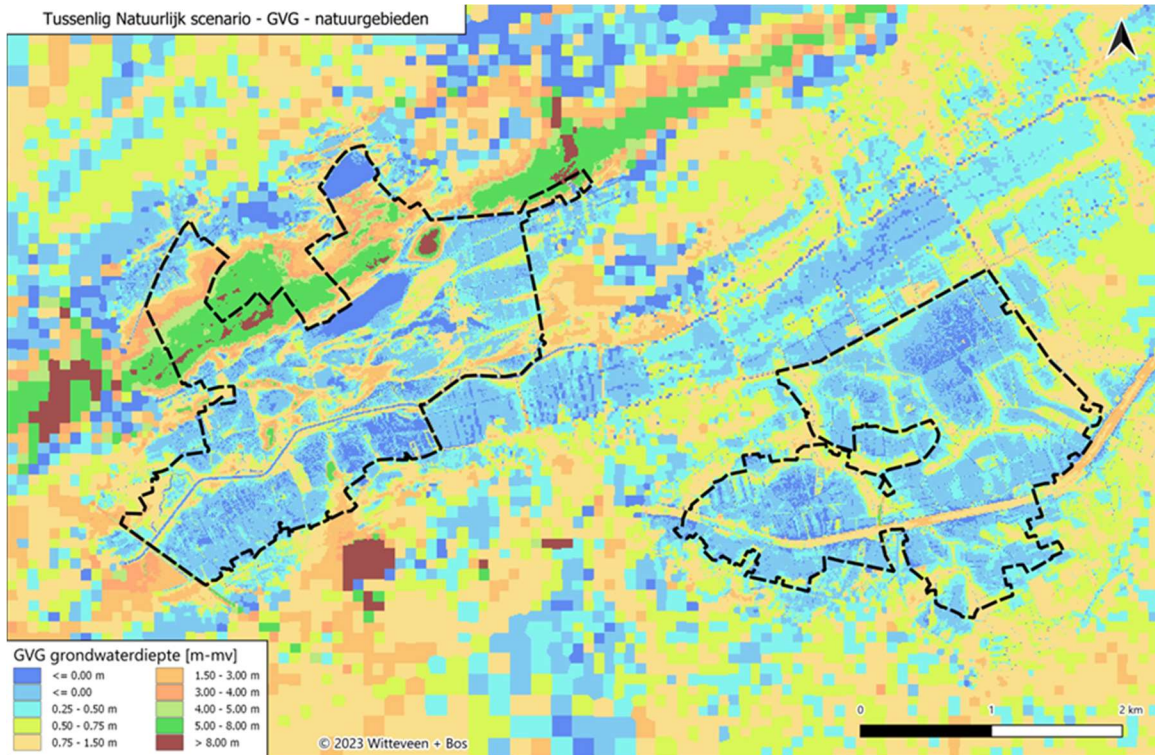
Afbeelding 4.1 GLG-simulaties onder het natuurlijk scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



Afbeelding 4.2 GHG-simulaties onder het natuurlijk scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



Afbeelding 4.3 GVG-simulaties onder het natuurlijk scenario voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied



4.2 GLG doelafstandskarten

Logischerwijs zullen onder het natuurlijk scenario, zoals hier doorgerekend, de GLG-doelen dus niet volledig gerealiseerd worden in de natuurgebieden (Afbeelding 4.4) De bedoeling was om grip te krijgen op de winst die reeds geboekt kan worden door alleen de Kleine Nete te herprofilen en te hermeanderen. Voor volledig systeemherstel zijn echter ook andere ingrepen, zoals het dempen van grachten en sloten in de natuurgebieden en het verondiepen/uitdijken van zijwaterlopen nodig (zie ook technisch scenario). Daarom kan ook het technisch scenario als een no regret stap richting systeemherstel en het natuurlijk scenario gezien worden.

Afbeelding 4.4 Hoewel onder het natuurlijk scenario op meer locaties in de natuurgebieden de GLG-doelen gehaald worden dan onder de actuele toestand is dit geen volledige oplossing voor de verdrogingsproblematiek. Dit omdat enkel de hermeandering van de Kleine Nete hierin werd opgenomen en andere ingrepen aan de zijwaterlopen en drainerende structuren niet doorgevoerd werden



Toch blijkt uit de GLG doelafstandskarten dat er al een belangrijke winst richting het tegengaan van verdroging zit in het herprofilen en hermeanderen van de Kleine Nete voor de beoogde natuurdoelen. De winst richting het vermijden van overstromingen in de natuurgebieden is nog veel groter (zie ook rapport oppervlaktewatermodellering Witteveen+Bos 2024b).

5

KLIMAATSCENARIO'S

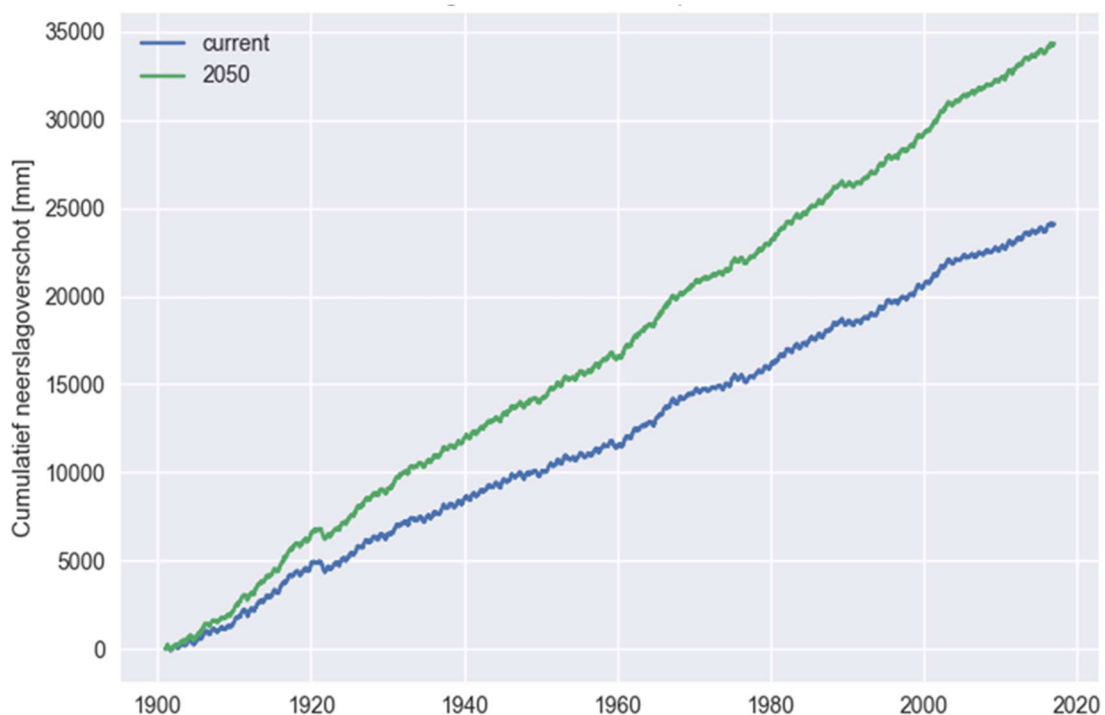
5.1 Actuele toestand (december 2023) → projectie 2050

Klimaatverandering zorgt voor aanzienlijke veranderingen in neerslag en temperatuur in onze streken. Zowel in kwantiteit als in spreiding overheen de tijd. Verwacht wordt dat deze veranderingen naar de toekomst nog groter worden (Brouwers et al., 2015). Daarom werd op de stuurgroep van maart 2023 afgesproken om in het kader van deze studie de effecten van klimaatverandering richting overstromingsrisico's (oppervlaktewater) en verdroging (grondwater) te berekenen.

In de studie wordt gekeken naar het jaartal 2050 en de bijhorende klimaatverandering. De impact van het klimaat wordt in het grondwatermodel geïmplementeerd door middel van aangepaste neerslag en verdampingsreeksen. In opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) werden reeds dergelijke klimaatreeksen opgesteld voor de beschikbare metingen te Ukkel (zie ook <https://klimaat.vmm.be/open-data/tijdreeksen-voor-neerslag-en-verdamping>).

De impact van klimaatverandering kan inzichtelijk gemaakt worden door het neerslagoverschot te vergelijken tussen de klimaatreeks en de referentiereeks (Afbeelding 5.1).

Afbeelding 5.1 Cumulatief neerslagoverschot in de periode 1901 tot 2016 (i.e. de modelperiode) te Ukkel, met en zonder de impact van klimaatverandering



Het gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot is ± 200 mm/jaar in het huidige ('current') klimaat, in 2050 wordt dit ± 299 mm/jaar, of circa de helft groter. Dit zorgt ervoor dat de situatie over het algemeen zal vernatten. De variatie in neerslaghoeveelheid zal echter ook toenemen. Deze effecten zijn te wijten aan een hogere frequentie van extreme neerslagevents. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze neerslagreeksen in een grondwatermodel tot een overschatting kunnen leiden. Op sommige momenten zal de neerslagintensiteit immers groter zijn dan de infiltratiecapaciteit van de bodem en de neerslag zal dus oppervlakkig afstromen en deels verloren gaan uit het gebied, een proces dat niet wordt gesimuleerd in een grondwatermodel.

Omzetten van de klimaatreeks voor Ukkel naar een gebiedspecifieke reeks voor het studiegebied

Deze klimaatreeksen zijn niet rechtstreeks te implementeren in het voor het in deze ecohydrologische studie ontwikkelde grondwatermodel aangezien het model gekalibreerd werd aan de hand van een gebiedspecifieke neerslag- en verdampingsreeks. Om de klimaatimpact specifiek ter hoogte van het modelgebied te kunnen onderzoeken, werd een aangepaste klimaatreeks gegenereerd.

Concreet werd eenzelfde transformatie uitgevoerd op de reeksen voor het studiegebied als die op de reeksen te Ukkel werd uitgevoerd. Gezien de grote hoeveelheid aan data (115 jaar data) in huidig klimaat en in 2050 voor Ukkel, werd ervoor gekozen om een neurale netwerk te gebruiken. Dit neurale netwerk tracht op basis van de gegevens in het huidige klimaat, de gegevens in 2050 (voor Ukkel) te voorspellen. Het neurale netwerk (of model) wordt getraind op de eerste 92 jaar (80 % van de dataset), en gevalideerd op de laatste 23 jaar (20 % van de dataset). Dit neurale netwerk kan vervolgens gebruikt worden om dezelfde aanpassing aan de neerslag- en verdampingsgegevens te doen voor de gegevens van het grondwatermodel van de Zegge, Mosselgoren en Olens Broek.

Er werd een neurale netwerk opgesteld voor het genereren van de verdampingsgegevens en een neurale netwerk voor de neerslag. Voor de verdamping werd enkel de verdamping in het huidige klimaat in het model gebruikt om de verdamping in 2050 te voorspellen. Hiermee werden bevredigende resultaten bekomen. Wat betreft het neurale netwerk voor de neerslagreeksen werden meerdere parameters gevoed aan het model:

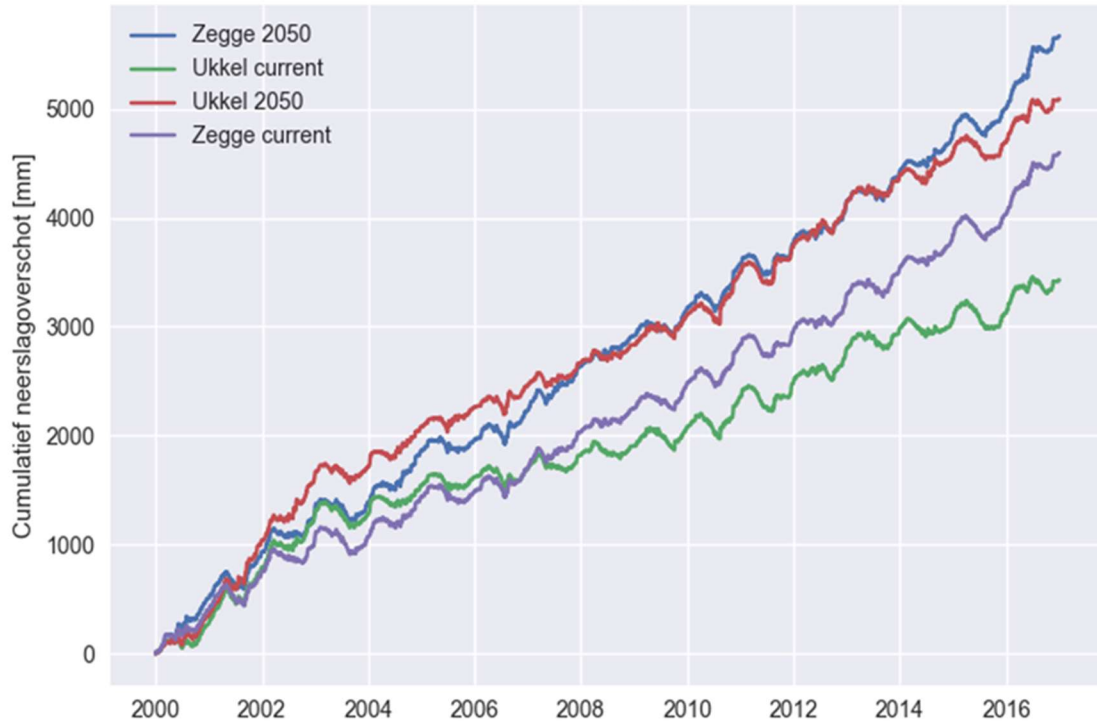
- de neerslagintensiteit van die bepaalde dag in het huidige klimaat;
- de totale neerslag in die maand;
- de verdamping die dag.

De totale neerslag in één maand werd toegevoegd om de totale neerslag voorspeld in 2050 beter te benaderen. De dagelijkse verdampingswaarde werd aan het model gevoed om de variabiliteit doorheen het jaar te simuleren. Er bestaat namelijk een verband tussen het seizoen waarin de neerslag voorkomt en de voorspelling te Ukkel in 2050. Er wordt aangenomen dat de verdamping die dag een voldoende voorspellende factor is voor in welke periode van het jaar het event plaatsvindt. Finaal werd nog een normalisatie toegevoegd aan het model, waarbij de som van de gesimuleerde neerslag van de validatiegegevens en de som van de neerslag te Ukkel in 2050 werden vergeleken. De modelresultaten werden zo aangepast dat deze neerslaghoeveelheden overeenkomen.

Na het opstellen van de twee voorspellingsmodellen, werden de neerslag- en verdampingsgegevens gevoed aan deze neurale netwerken, om tot een reeks voor het grondwatermodel met klimaatverandering te komen. Het proces werd meerdere malen herhaald om zicht te krijgen op de variabiliteit in resultaten. De maximale variatie op de totale neerslag en verdamping zijn kleiner dan 5 %.

Om de resulterende klimaatreeks te evalueren kunnen de neerslagoverschotten, voor zowel huidig klimaat als de projecties richting 2050, vergeleken worden voor het weerstation te Ukkel (oorspronkelijke data) en het studiegebied van deze ecohydrologische studie (i.e. rond de Zegge-Mosselgoren en Olens Broek), zie Afbeelding 5.2. Gezien de neerslag- en verdampingsreeksen voor het grondwatermodel slechts van 2000 tot 2016 werden opgesteld, is de vergelijkingsperiode daartoe beperkt.

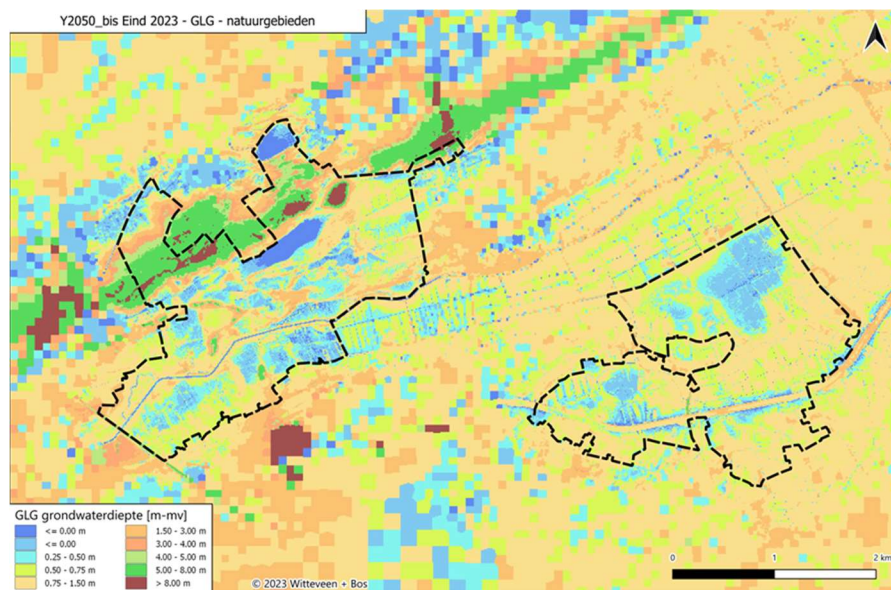
Afbeelding 5.2 Cumulatief neerslagoverschot in de periode 2000 tot 2016 te Ukkel en de Zegge, met en zonder klimaatimpact

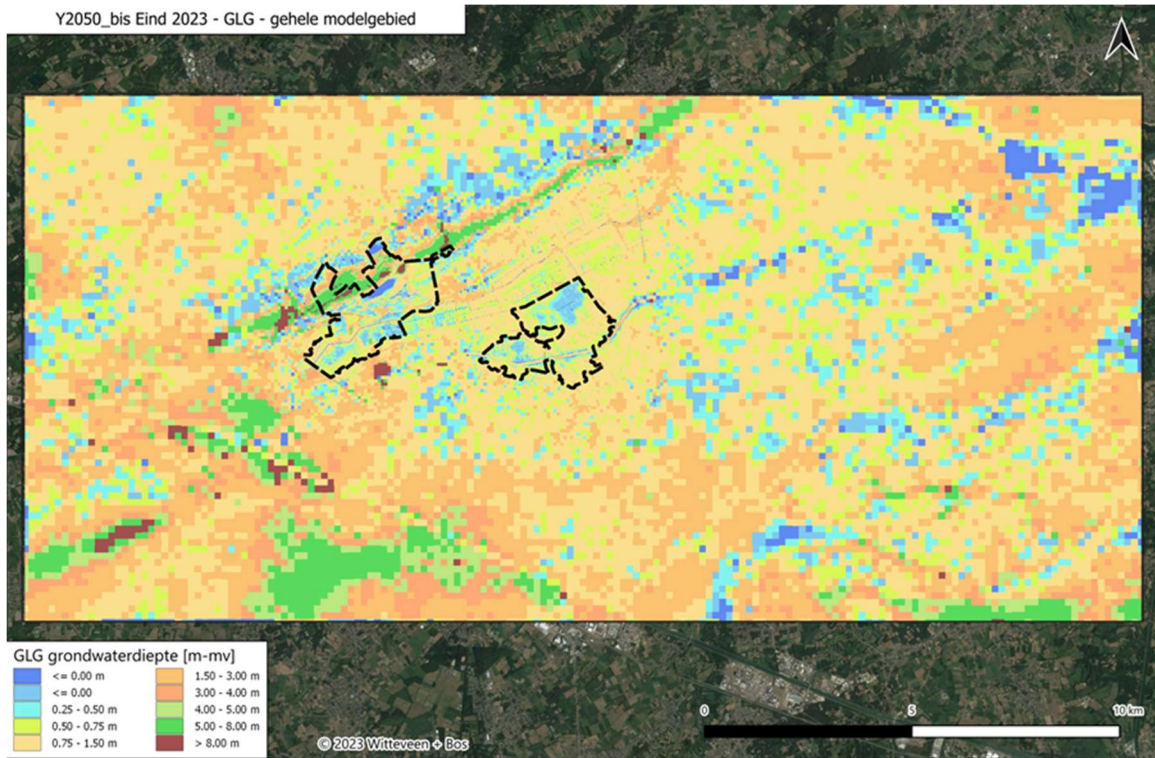


Het huidige gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot ter plaatse van de Zegge is ± 270 mm/jaar. Onder het hoog-impact klimaatscenario wordt dit tegen 2050 ± 333 mm/jaar. Op basis van de voorspellingen neemt het jaarlijks neerslagoverschot in Ukkel toe met ± 100 mm/jaar (i.e. met $\pm 50\%$), terwijl dit ter hoogte van de Zegge slechts ± 70 mm/jaar is (of $\pm 25\%$). De jaarlijkse verdamping in Ukkel (± 621 mm) is ook aanzienlijk hoger dan in het modelgebied (± 557 mm), wat mee dit verschil verklaart.

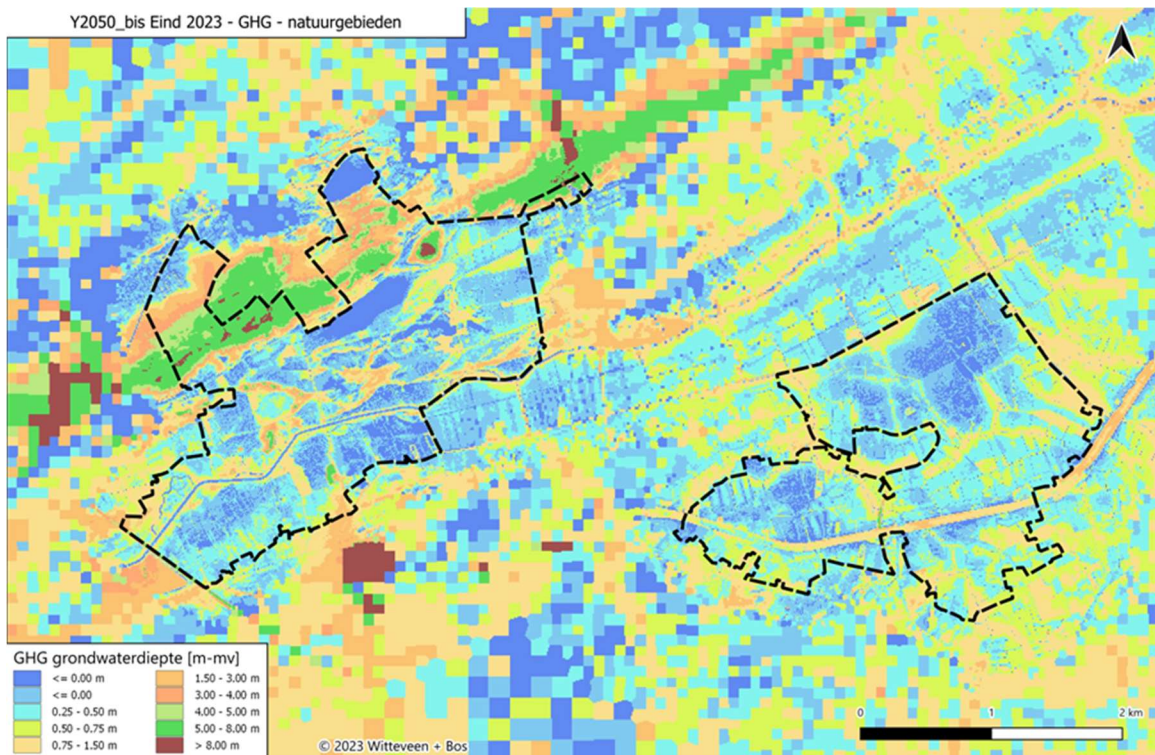
5.1.1 GxG kaarten

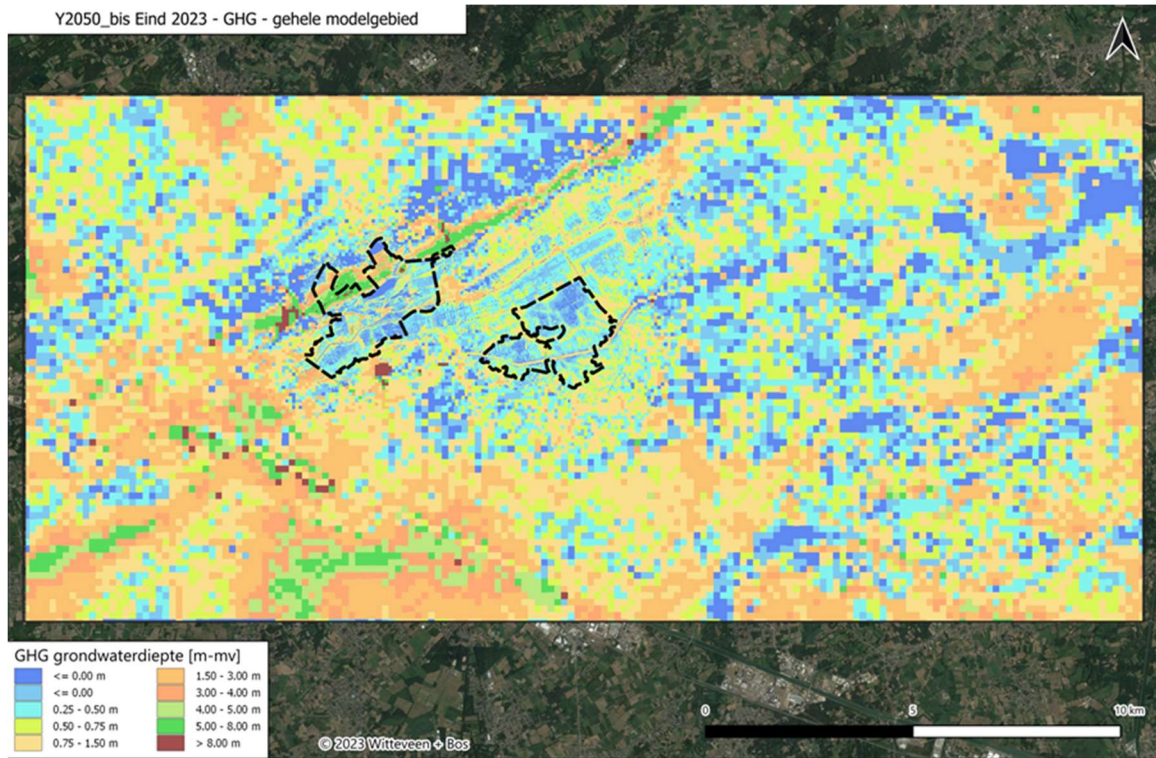
Afbeelding 5.3 GLG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als er geen ingrepen gedaan worden



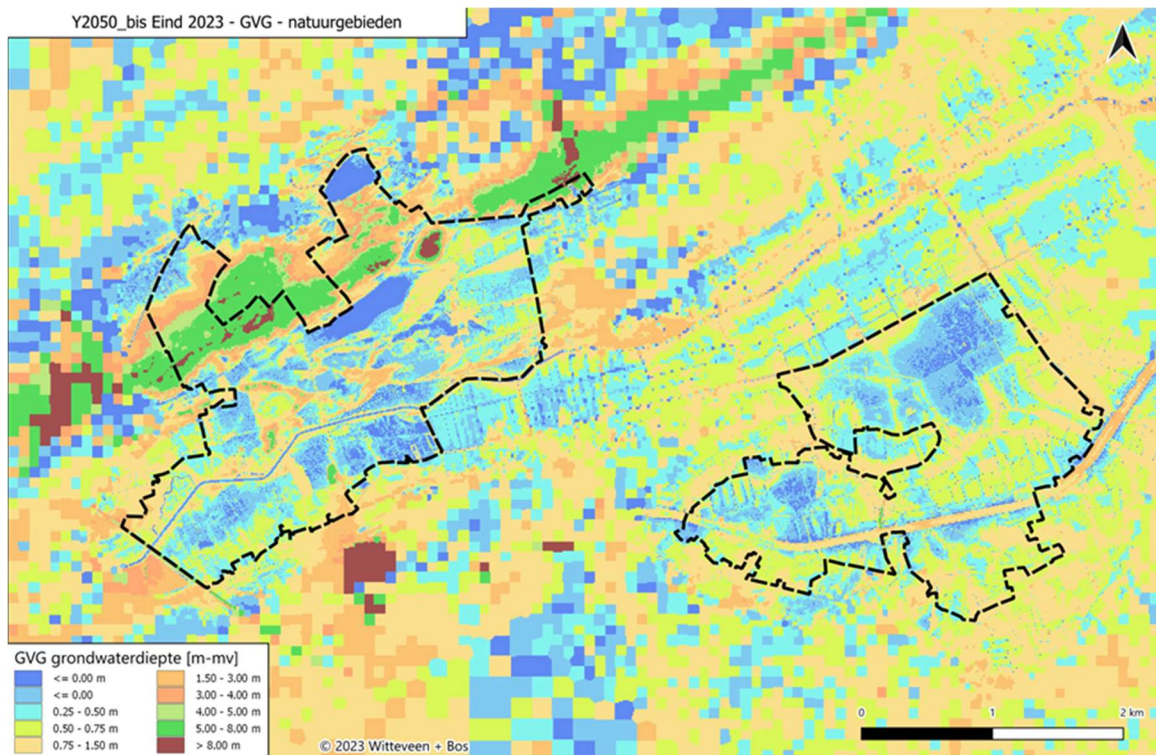


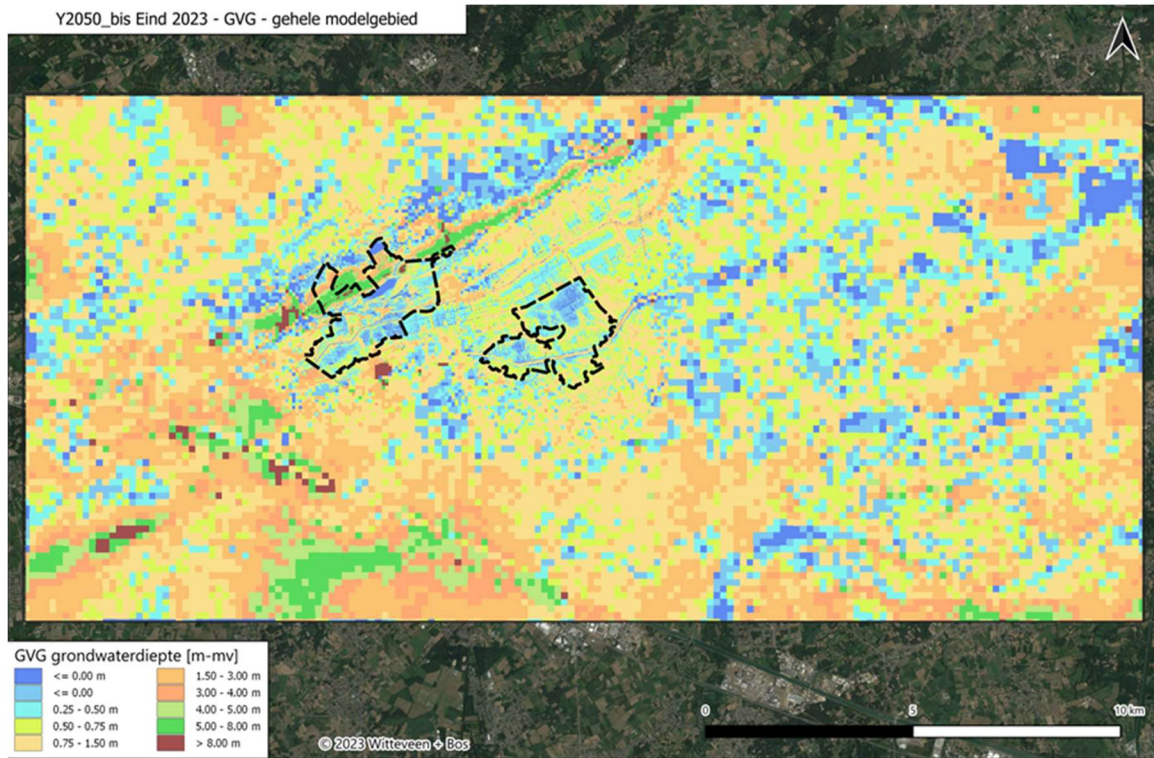
Afbeelding 5.4 GHG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als er geen ingrepen gedaan worden





Afbeelding 5.5 GVG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als er geen ingrepen gedaan worden





5.1.2 GLG doelafstandskarten

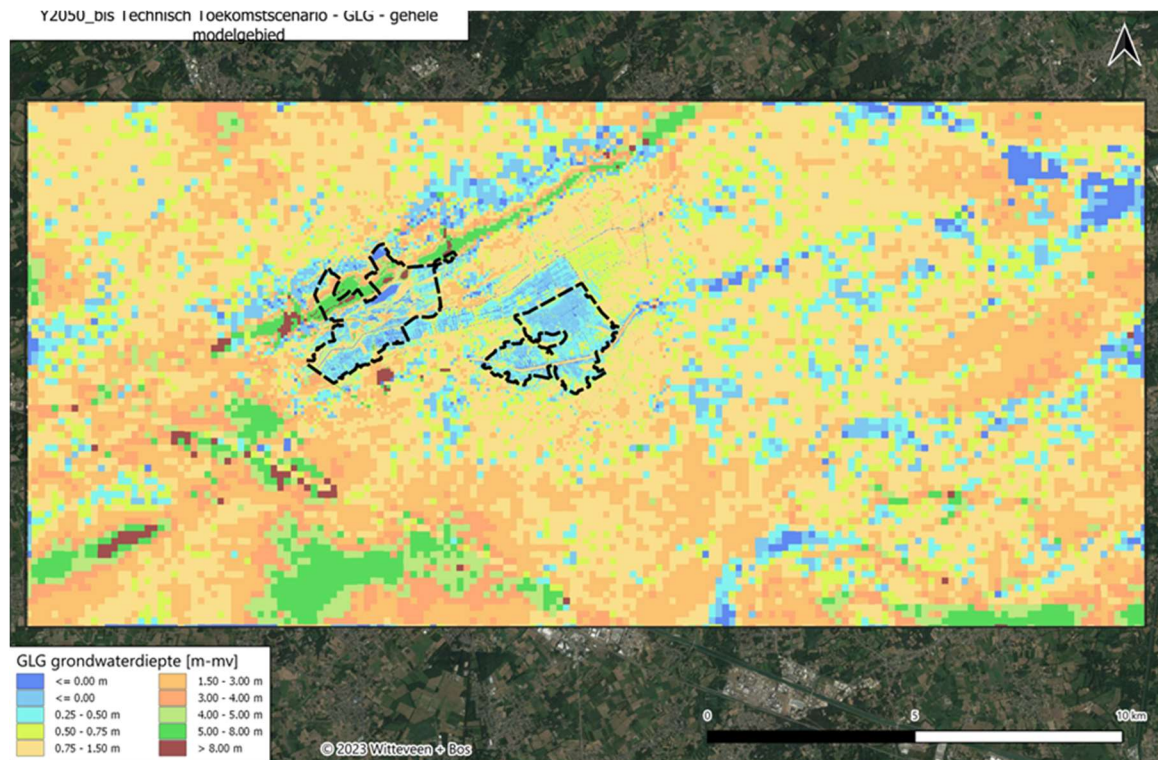
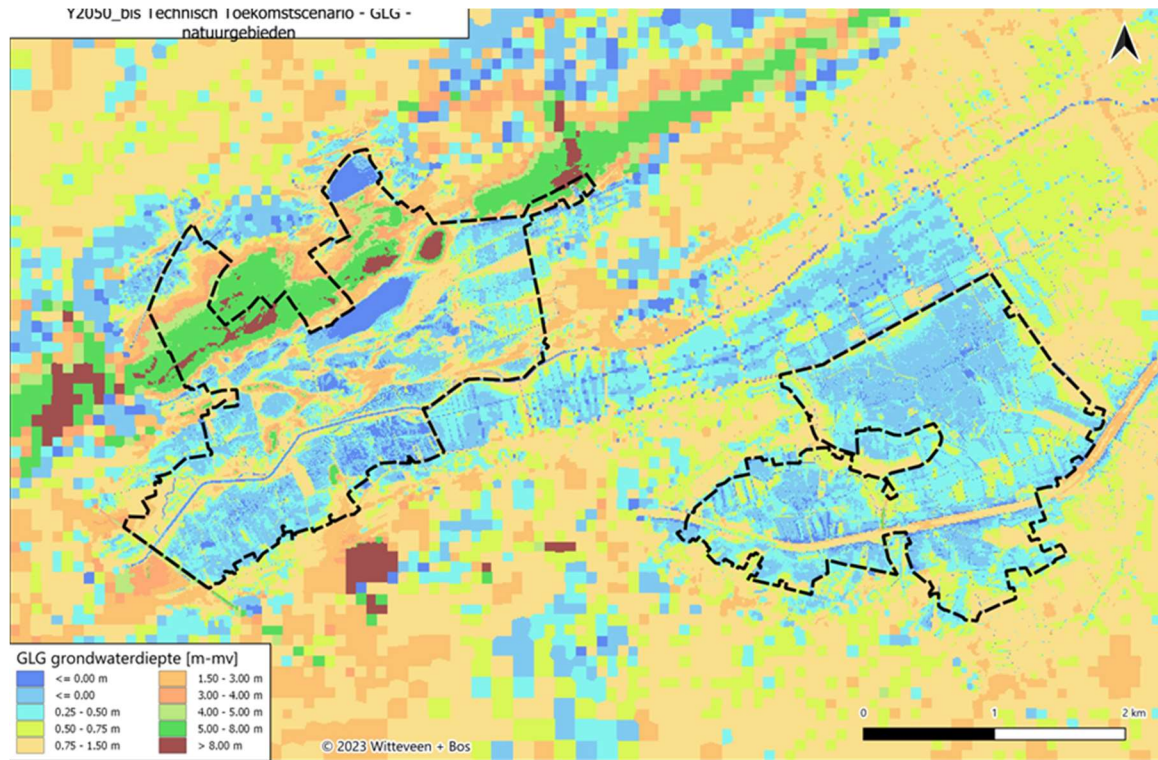
Afbeelding 5.6 Ook onder klimaatprojecties richting 2050 blijft verdroging een groot probleem voor de grondwaterafhankelijke vegetaties overheen de natuurgebieden



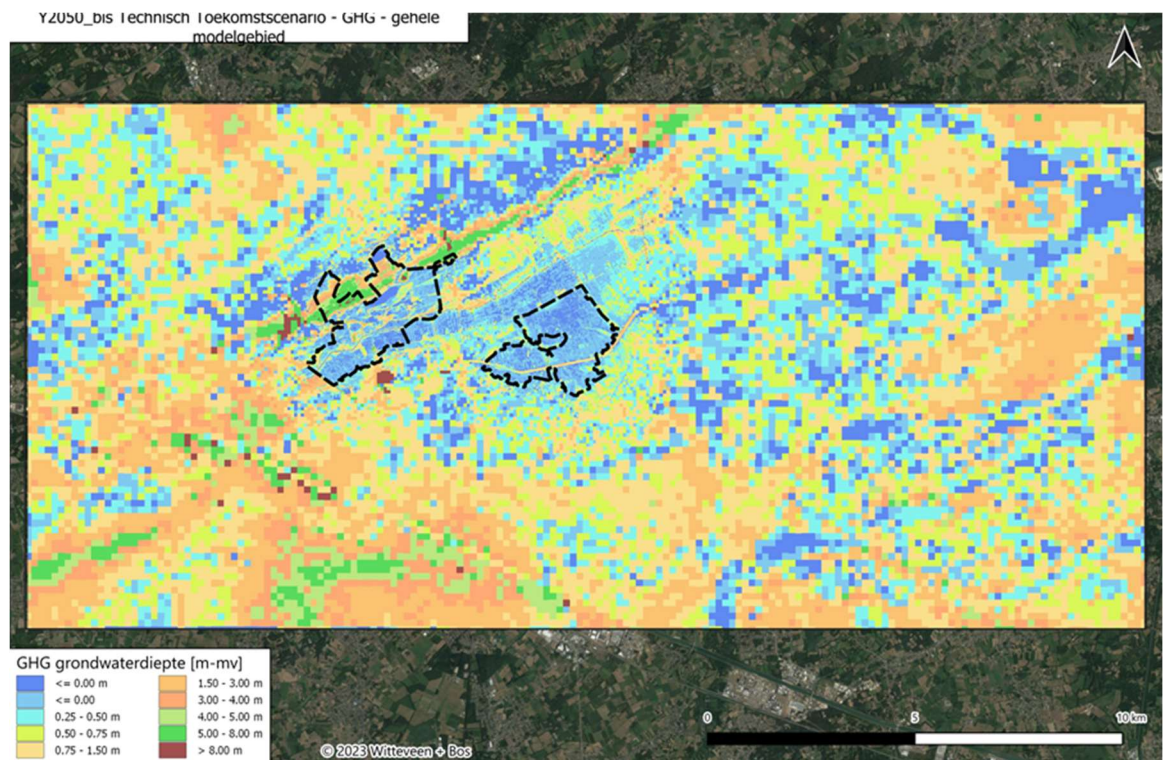
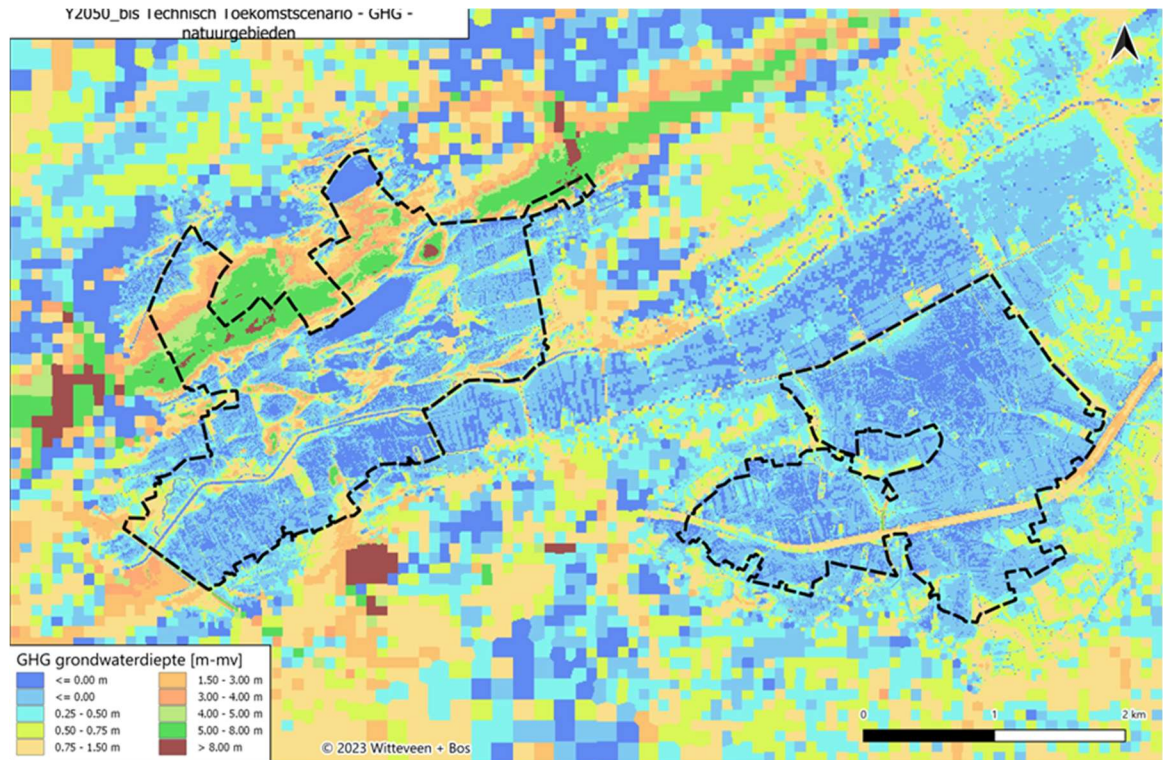
5.2 Technisch scenario → projectie 2050

5.2.1 GxG kaarten

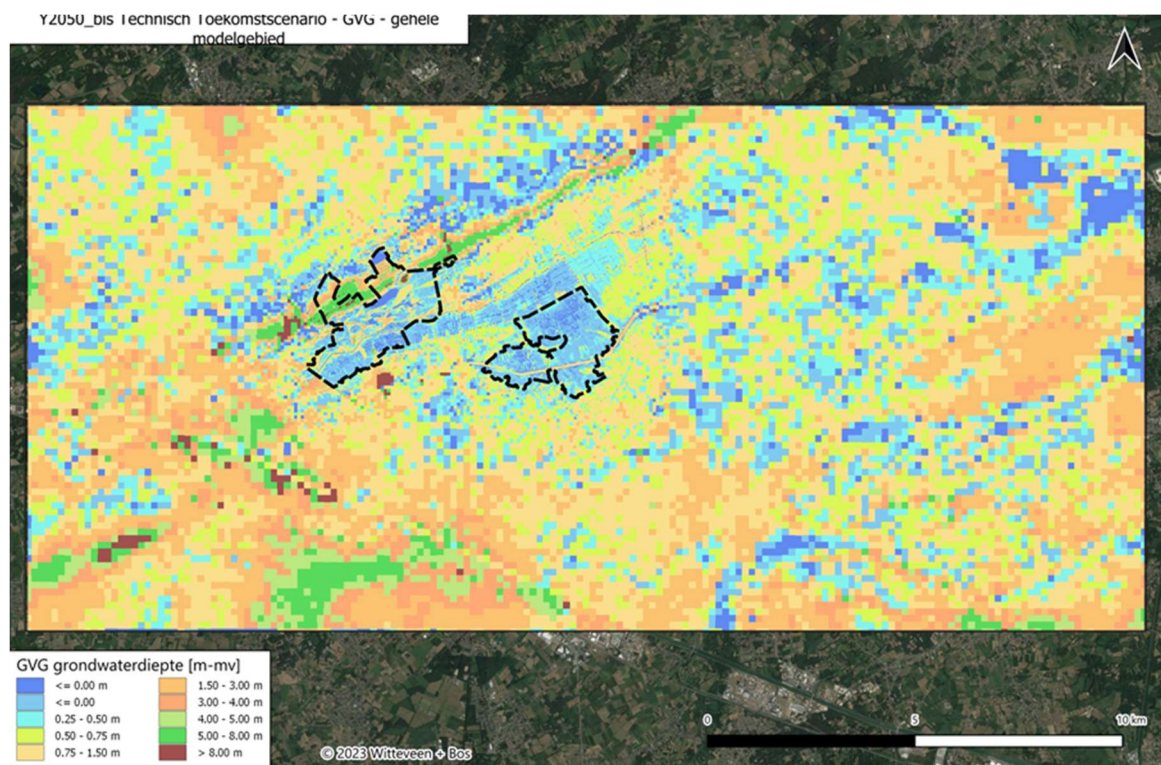
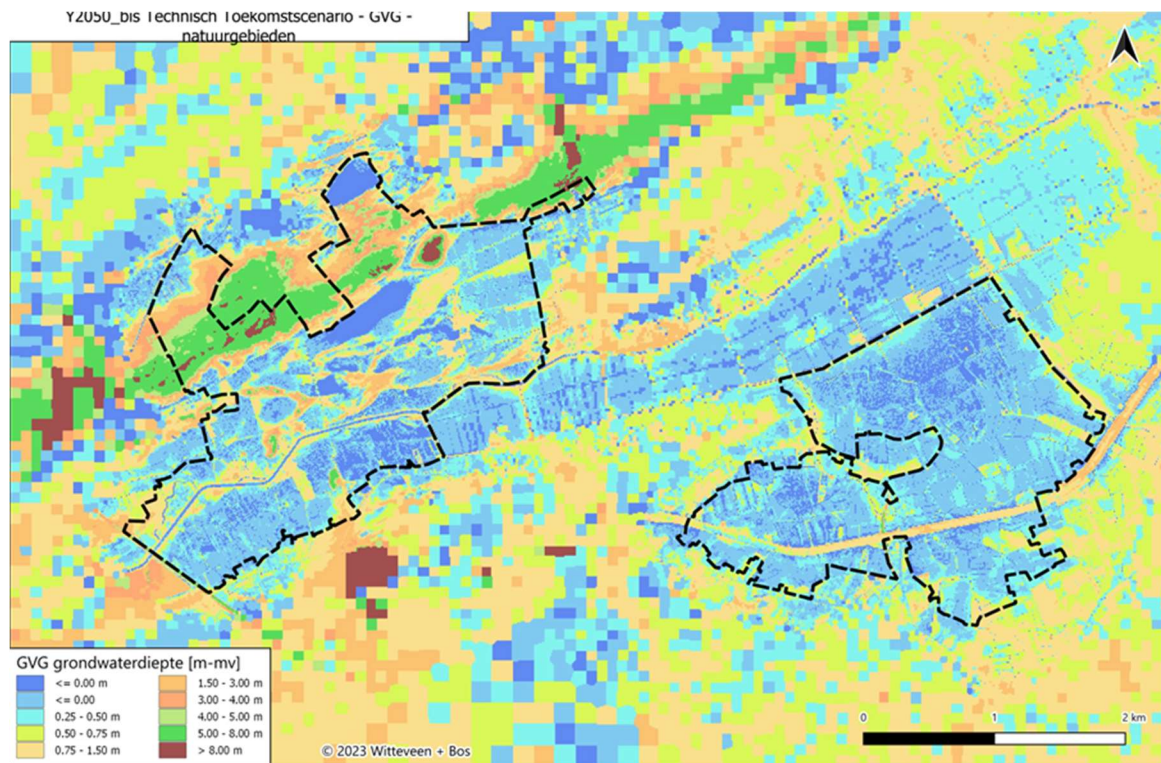
Afbeelding 5.7 GLG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als het technisch scenario wordt toegepast



Afbeelding 5.8 GHG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als het technisch scenario wordt toegepast



Afbeelding 5.9 GVG-simulaties onder het hoog-impact klimaatsscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als het technisch scenario wordt toegepast



5.2.2 GLG doelafstandskarten

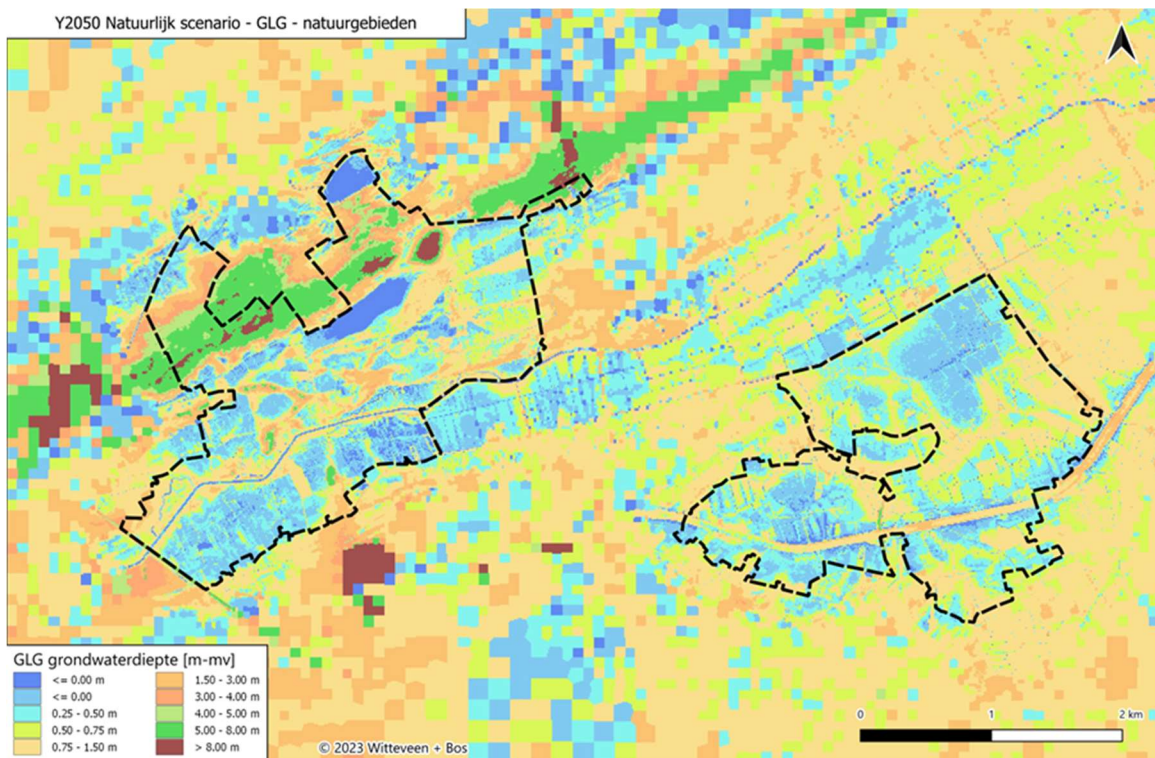
Afbeelding 5.10 Zelfs onder klimaatverandering blijft het technisch scenario een robuuste oplossing om de verdrogingsproblematiek in de natuurgebieden op te lossen

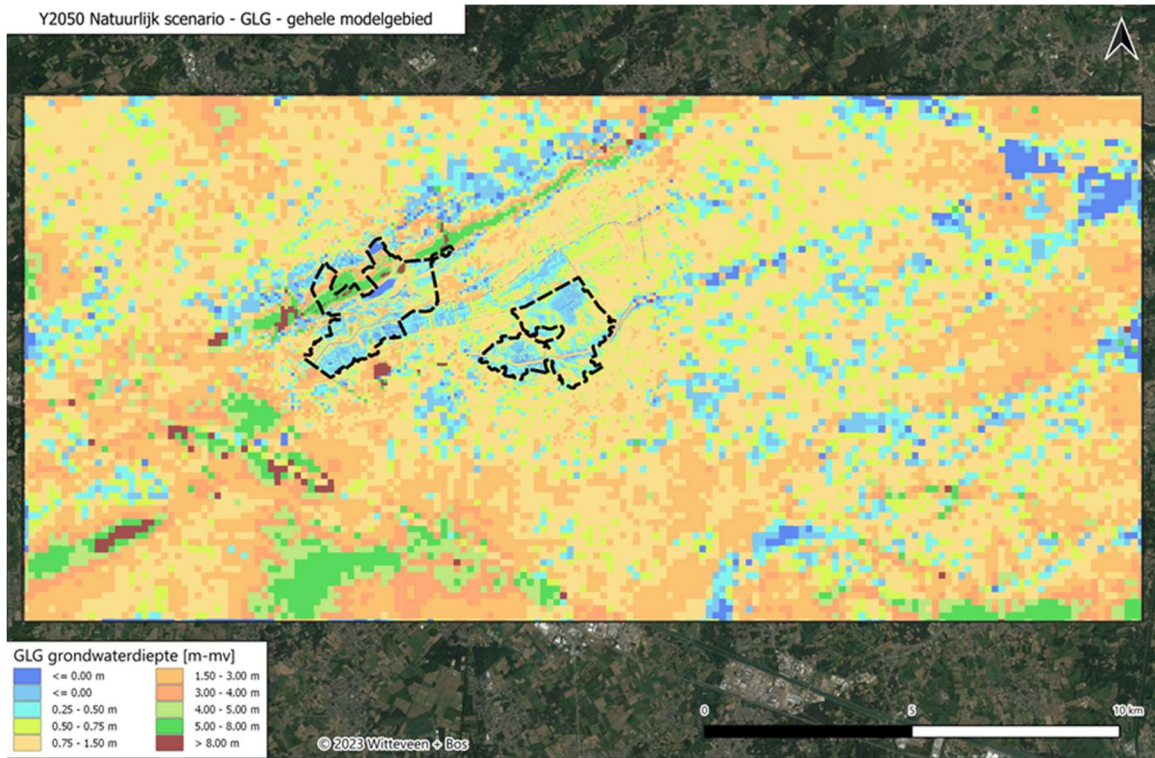


5.3 Natuurlijk scenario → projectie 2050

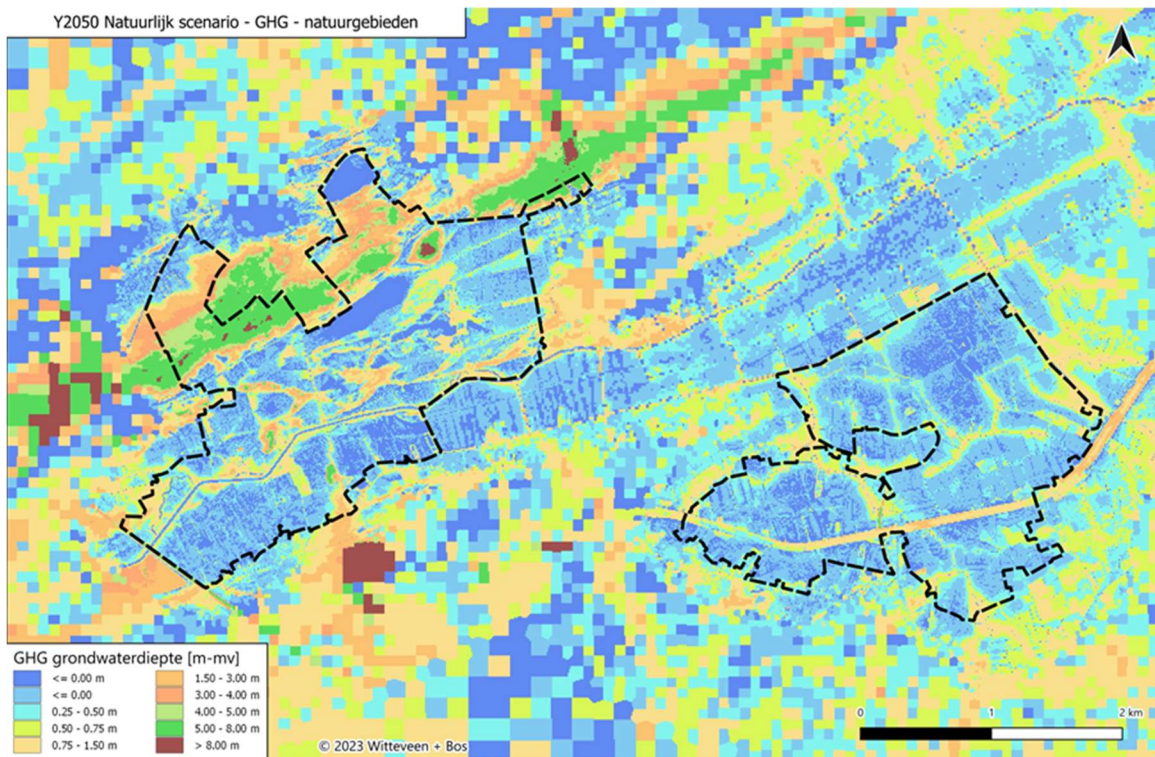
5.3.1 GxG kaarten

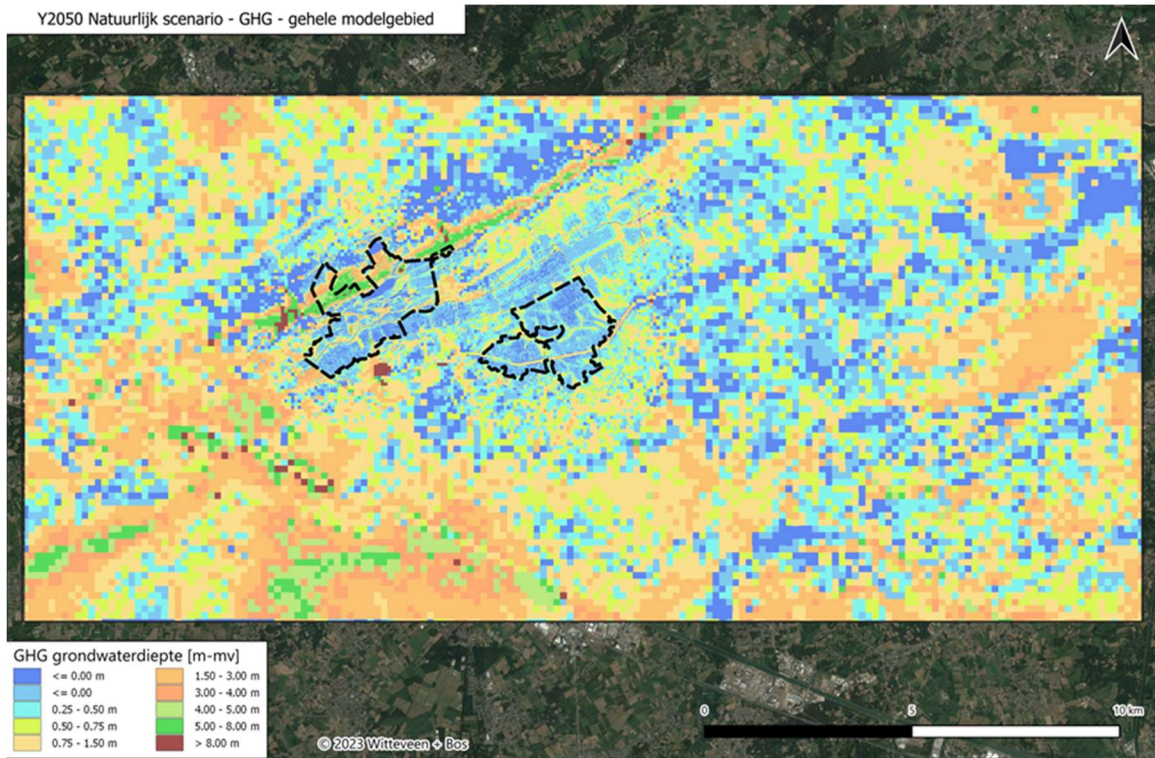
Afbeelding 5.11 GLG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als het natuurlijk scenario wordt toegepast



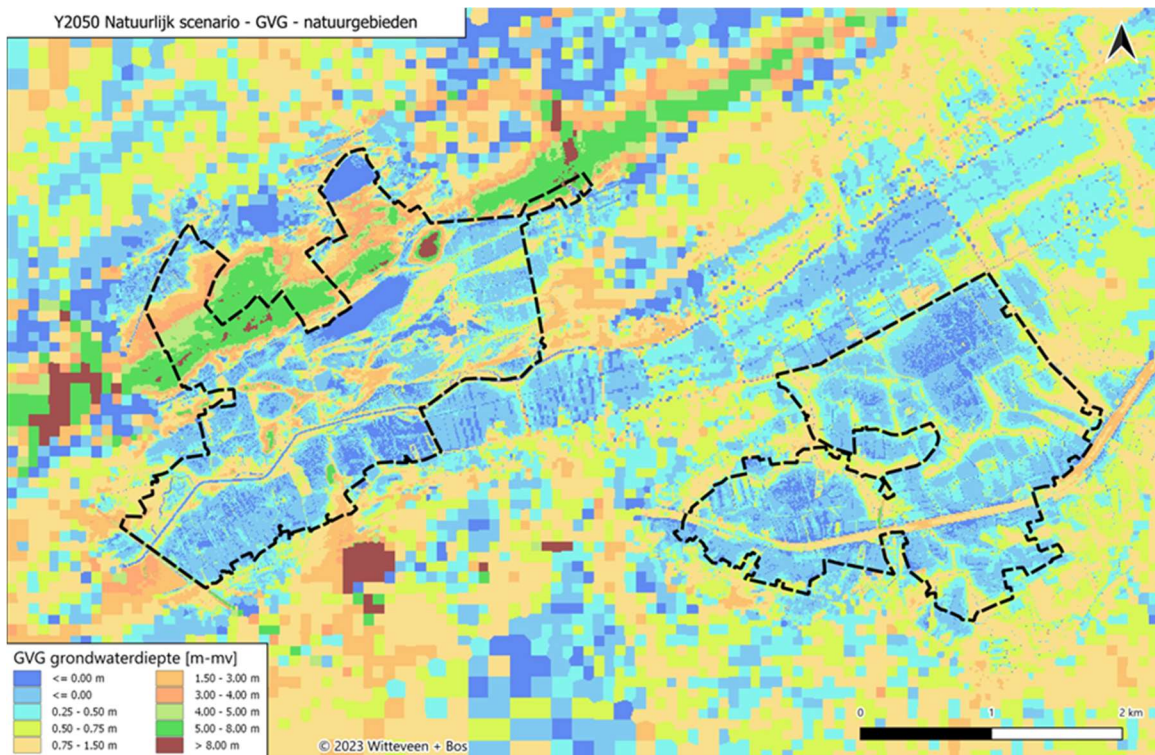


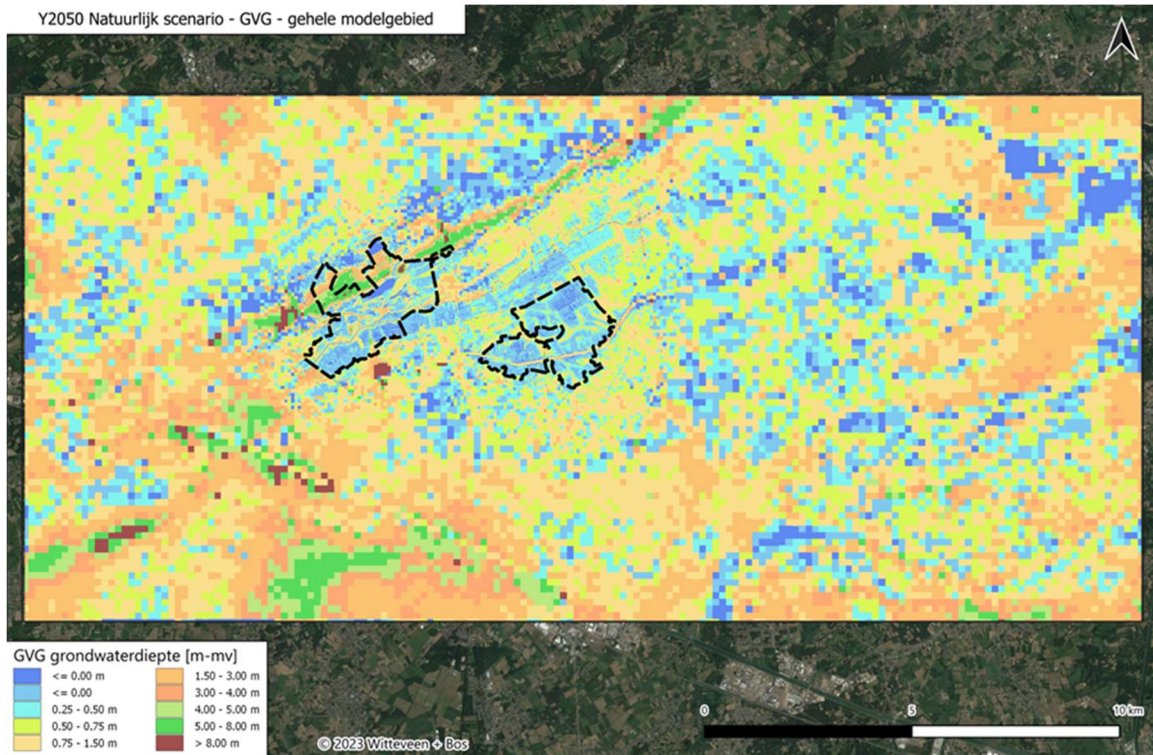
Afbeelding 5.12 GHG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als het technisch scenario wordt toegepast





Afbeelding 5.13 GVG-simulaties onder het hoog-impact klimaatscenario 2050 voor de natuurgebieden en het gehele modelgebied als het technisch scenario wordt toegepast





5.3.2 GLG doelafstandskarten

Afbeelding 5.14 Het hier doorgerekende natuurlijk scenario omvat enkel de volledige herprofilering en hermeandering van de Kleine Nete. Hoewel dit ook onder klimaatverandering belangrijke winsten richting de verdrogingsproblematiek meebrengt zijn ook andere ingrepen zoals lokaal verondiepen en dempen van drainerende waterlopen en grachten in en rond de natuurgebieden aan de orde voor het realiseren van een volledig natuurlijk scenario



6

ALGEMENE CONCLUSIE

De natuurgebieden Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek omvatten de laatste restanten van een ooit uitgestrekt laagveenvormend systeem tussen Geel en Herentals. Om laagveenvorming mogelijk te maken zijn jaarrond hoge grondwaterstanden nodig, ook tijdens droge zomermaanden. Momenteel zakken de waterstanden tijdens droge periodes (i.e. de GLG's) in de natuurgebieden ver weg. Hoewel klimaatprojecties aangeven dat het tegen 2050 natter wordt in de studieregio (i.e. groter neerslagoverschot) blijft het probleem van verdroging om de beoogde natuurdoelen te realiseren op vlak van de grondwaterstanden (GLG's) groot. Op basis van de modeldoorrekeningen en de waterbalansreconstructies blijkt dat een groot deel van de verdroging te wijten is aan de drainerende werking van de Kleine Nete en de zijwaterlopen tijdens perioden van droogte en lage debieten maar dat ook perceelsdrainage verdroging van de natuurgebieden in de hand werkt.

Op basis van inzichten uit een systeem-/knelpuntanalyse en scenariodoorrekeningen werd een maatregelenpakket ontwikkeld onder de vorm van een technisch scenario om de verdroging aan te pakken. Resultaten van de modellen tonen dat via een reeks technische ingrepen aan de Kleine Nete en zijwaterlopen en het verwijderen van andere drainerende structuren de GLG-doelen in de natuurgebieden - en de geassocieerde habitatdoelen - gehaald kunnen worden. Ook onder klimaatverandering toont het model dat de GLG-doelen bij uitrol van een technisch scenario gerealiseerd worden.

Hoewel het technisch scenario een kortetermijnoplossing kan zijn om de grondwaterafhankelijke natuurdoelen te realiseren is het geen duurzame oplossing en geen natuurlijk systeemherstel. Het is wel een no regret stap in die richting. Daarom werd ook een natuurlijk scenario (i.e. een Kempisch beekdalsysteem) met een meanderende en ondiep ingesneden Kleine Nete, gesimuleerd. Ook onder dat natuurlijk scenario worden de GLG-doelen nagenoeg overal gehaald. Het natuurlijk scenario is een veel robuustere oplossing dan het technisch scenario en kan gefaseerd op langere termijn uitgevoerd worden.

Voor een volledige integratieve conclusie verwijzen we naar het document '**Integrale toekomstvisie wetlandherstel Witteveen+Bos 2024**'.

Tabel 6.1 Overzicht samenstelling doorgerekende maatregelscenario's

	Referentie eind 2023	Verkennd scenario	Technisch scenario	Natuurlijk scenario	Klimaatscenario referentie eind 2023	Klimaatscenario verijnd technisch
Kleine Nete	toestand na ingrepen voorzien door VMM, volgens oppervlaktewatermodel	bodem van de Kleine Nete 120 cm verhoogd in de directe omgeving van projectgebied	specifieke technische ingrepen op de Kleine Nete zoals verhogen meanderinlaten en verlagen dijken (zie oppervlaktewaterrapport Witteveen+Bos 2024b)	natuurlijke loop met meandering, berekend in oppervlaktewatermodel	toestand na ingrepen voorzien door VMM	specifieke technische ingrepen op de Kleine Nete zoals verhogen meanderinlaten en verlagen dijken (zie oppervlaktewaterrapport Witteveen+Bos 2024b)
zijwaterlopen*	volgens hoogtemodel of volgens oppervlaktewatermodel na ingrepen voorzien door VMM	opgestuwd met 50 cm of volgens oppervlaktewatermodel na verhoging bodem Kleine Nete	opgestuwd met 50 cm of volgens oppervlaktewatermodel na technische ingrepen Kleine Nete	volgens hoogtemodel of volgens oppervlaktewatermodel indien beschikbaar	opgestuwd met 50 cm of volgens oppervlaktewatermodel na ingrepen voorzien door VMM	opgestuwd met 50 cm of volgens oppervlaktewatermodel na technische ingrepen Kleine Nete
perceelsdrainage	op elk landbouwperceel	verwijderd in de bredere omgeving van het focusgebied	enkel in het focusgebied directe omgeving en landbouwpolder verwijderd	enkel in het focusgebied directe omgeving en landbouwpolder verwijderd	op elk landbouwperceel	enkel in het focusgebied directe omgeving en landbouwpolder verwijderd
grachten	volgens bestaande toestand	demping van specifieke grachten	demping van specifieke grachten	demping van specifieke grachten	volgens bestaande toestand	demping van specifieke grachten
winningen	80 % van vergund debiet	kleine winningen uitgeschakeld	kleine winningen uitgeschakeld	kleine winningen uitgeschakeld	kleine winningen uitgeschakeld	kleine winningen uitgeschakeld
neerslag en verdamping	huidige neerslag- en verdampingsreeks	huidige neerslag- en verdampingsreeks	huidige neerslag- en verdampingsreeks	huidige neerslag- en verdampingsreeks	opgestelde neerslag- en verdampingsreeks voor 2050 high impact summer	opgestelde neerslag- en verdampingsreeks voor 2050 high impact summer

7

REFERENTIES

- 1 Brouwers J., et al. (2015). MIRA Klimaatrapport 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI. Aalst, Belgium, 147 p.
- 2 Witteveen+Bos (2022). Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek. Achtergrondrapportage geohydrologische modellering.
- 3 Witteveen+Bos (2024a). Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek. Integrale Toekomstvisie wetlandherstel.
- 4 Witteveen+Bos (2024b). Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek. Uitbreiding ICM-model Kleine Nete; oppervlaktewatermodellering + scenariodoorrekeningen.



Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek: uitvoeringsgericht ecohydrologisch onderzoek in het kader van duurzaam herstel van de hydrologie en de realisatie van een natte natuurkern van > 300 ha

Analyse oppervlaktewatersysteem en overstromingsproblematiek

Agentschap voor Natuur & Bos

19 april 2024

Project Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek: uitvoeringsgericht ecohydrologisch onderzoek in het kader van duurzaam herstel van de hydrologie en de realisatie van een natte natuurkern van > 300 ha

Opdrachtgever Agentschap voor Natuur & Bos

Document Analyse oppervlaktewatersysteem en overstromingsproblematiek

Status Definitief

Datum 15 april 2024

Referentie 125402_024_REP_vA

Projectcode 135558

Projectleider Tom Pinceel

Projectdirecteur Sofie Depauw

Auteur(s) Kobe Hostyn, Sophie Balemans

Gecontroleerd door Tom Pinceel

Goedgekeurd door Sofie Depauw

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Belgium N.V.
Maatschappelijke zetel: Posthoflei 5-1
2600 Antwerpen-Berchem
België
+32 (0)3 286 75 75
www.witteveenbos.be
RPR Antwerpen
Dienstverlener KMO-Portefeuille: Advies: DV.A102480
Opleiding: DV.O229170

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos Belgium N.V. is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos Belgium N.V.

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Belgium N.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos Belgium N.V. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos Belgium N.V. geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Introductie	1
1.2	Doel	2
2	BESCHRIJVING HUIDIGE TOESTAND EN GEPLANDE WERKEN	3
2.1	Topografie	3
2.2	Herinrichtingswerken	3
3	VERNATTINGSMAATREGELEN VIA INGREPEN IN HET OPPERVLAKTEWATERSYSTEEM	6
3.1	Verkennd scenario	6
3.2	Tussenliggend scenario	7
3.3	Technisch scenario	7
3.4	Natuurlijk scenario	8
4	UITBREIDING ICM-MODEL KLEINE NETE EN AA	14
4.1	Huidig model van de Kleine Nete en Aa	14
4.2	Beschikbare data	15
4.3	Uitbreiding basismodel	16
4.3.1	Implementatie zijlopen en kunstwerken	16
4.3.2	Implementatie verbreding Kleine Nete	17
4.3.3	Implementatie hermeandering Olens Broek	18
4.3.4	Verondieping Kleine Nete en zijlopen (verkennd scenario)	18
4.3.5	Wijzigingen aan dijken	19
4.3.6	Wijzigingen aan kunstwerken	19
4.3.7	Implementatie Natuurlijk scenario	19
4.4	Overzicht modelscenario's	20
5	RESULTATEN	22
5.1	Randvoorwaarden	22
5.2	Referentiescenario's	22

5.2.1	Oud referentiescenario - situatie pré 2021	22
5.2.2	Referentiescenario eind 2023	25
5.3	Modelscenario's vernattingsmaatregelen	32
5.3.1	Verkennd scenario	32
5.3.2	Tussenliggend scenario	36
5.3.3	Technisch scenario	39
5.3.4	Natuurlijk scenario	42
5.3.5	Overzicht modelscenario's	45
6	ALGEMENE CONCLUSIE	47
7	REFERENTIES	48
	Laatste pagina	48
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Gegevens bemalingspompen - Provincie Antwerpen	1
II	Afkortingenlijst	1

1

INLEIDING

1.1 Introductie

Witteveen+Bos werkt aan een uitvoeringsgerichte set van hydrologische herstelmaatregelen voor >300ha natte Natuurkern in de gebieden van de Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek in de vallei van de Kleine Nete. Om het hydrologische en - deels grondwaterafhankelijke - ecologische systeem in de regio te herstellen is het belangrijk om grip te krijgen op de werking van het oppervlaktewatersysteem van de Kleine Nete en zijlopen. De oppervlaktewaterpeilen kunnen namelijk sturend zijn voor de grondwaterpeilen door het drainerende effect bij lage- en aanvullende effect bij hoge peilen. Het is dan ook belangrijk om een accurate inschatting van de peilen van de voornaamste waterlopen in het studiegebied op te nemen in de grondwatermodelleringen (Witteveen+Bos, 2022). Daarnaast kan oppervlaktewater ook rechtstreeks een impact hebben op de natuurpotenties in de regio. Niet alleen kunnen frequente overstromingen erosie en mechanische verstoring meebrengen, het water in de Kleine Nete en zijlopen is, zeker tijdens bepaalde periodes, bovendien vervuild en te rijk aan nutriënten voor de veelal aan ologitrofe condities gebonden natuurdoelen in het focusgebied. Om duurzaam natuurherstel mogelijk te maken is het dus essentieel om het risico op toevoer van vervuild water naar de natuurkerenen in te perken.

Tijdens de overstromingen van 2021 (en opnieuw in 2023) vloeide oppervlaktewater, sterk beladen met organisch materiaal en nutriënten (i.e. nitraat en fosfaatverbindingen), uit het landbouwgebied naar het natuurgebied van de Zegge (Deswert & Emsens, 2023). Tijdens de overstroming werden bijvoorbeeld ook vijvers aan de Roerdompstraat bevoeid, wat leidde tot algenbloei en vissterfte. Gelijkaardige overstromingen zijn in recente jaren toegenomen in frequentie. In het natte jaar 2023 overstromden grote delen van het natuurgebied de Zegge meerdere keren (cf. persoonlijke observaties).

Om meer inzicht te krijgen in de oorzaak van overstromingsrisico's onder verschillende rivierdebieten - en maatregelen te kunnen uitwerken om ze in de toekomst te vermijden - is een update van het oppervlaktewatermodel van de Kleine Nete en Aa essentieel. Daarnaast gebruiken we de gesimuleerde peilen uit het oppervlaktewatermodel om door te rekenen in grondwatermodellering.

Het bestaande ICM-model van de Kleine Nete en Aa werd in 2020 gekalibreerd en kan de waterpeilen op de Kleine Nete (situatie voor 2020) accuraat simuleren bij hoogwatercondities (Witteveen+Bos, 2020). Echter, om de dynamiek tussen de Kleine Nete en zijn zijlopen in het kader van de overstromingen naar het nabijgelegen natuurgebied beter te kunnen begrijpen, moeten ook de belangrijkste zijlopen ter hoogte van de Zegge (nl. de Larumse Loop, de Vijzelloop Zuid en de Zeggeloop) meer gedetailleerd in het bestaande model opgenomen worden. Bovendien werden sinds 2020 een aantal structurele werken, zoals een verbreding van de Kleine Nete tussen de N19g en het Olens Broek, een hermeandering in het Olens Broek en het plaatsen van drempels ter hoogte van meanders uitgevoerd. Om ook inzicht te krijgen in het effect van deze ingrepen op de waterpeilen van de Kleine Nete en de relevante zijlopen nemen we ze ook op in het ICM model.

1.2 Doel

De voornaamste doelstellingen van dit onderdeel van de studie zijn (1) het verbeteren van ons inzicht in de werking van het oppervlaktewatersysteem van de Kleine Nete en zijlopen ter hoogte van de Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek onder verschillende debieten om de overstromingsproblematiek in de natuurkernen te kunnen aanpakken, (2) de impact van potentieel interessante vernattingmaatregelen richting herstel van grondwaterafhankelijke vegetatietypes te testen en 3) aanvaardbare overstromingsfrequenties voor de natuurgebieden te onderzoeken.

De maatregelenscenario's werden steeds in overleg met een werkgroep ontworpen en besproken. De werkgroep bestaat uit het Agentschap voor Natuur en Bos, Departement Omgeving, Koninklijke Maatschappij voor Dierkunde Antwerpen, KU Leuven, Provincie Antwerpen, Universiteit Antwerpen, Vlaamse Landmaatschappij en Vlaamse Milieumaatschappij.

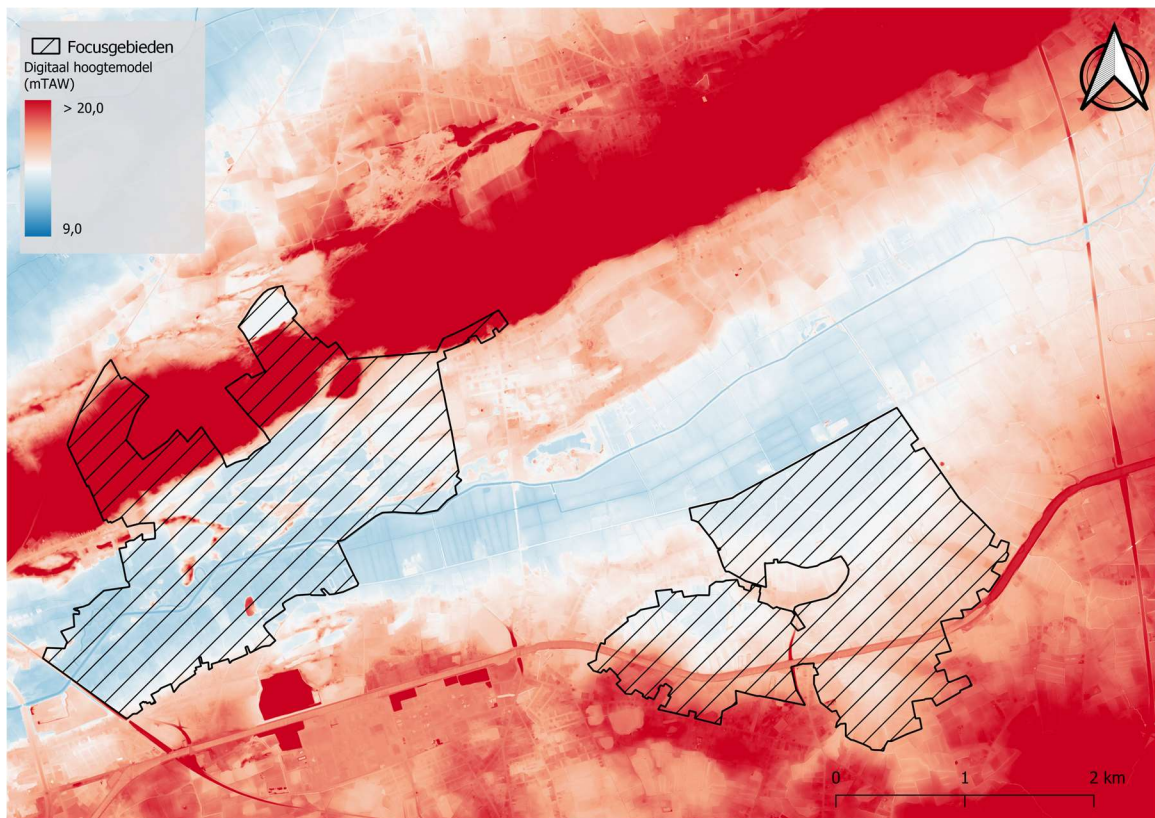
2

BESCHRIJVING HUIDIGE TOESTAND EN GEPLANDE WERKEN

2.1 Topografie

Afbeelding 2.1 toont het digitaal hoogtemodel in en rond de focusgebieden. De Kleine Nete doorsnijdt het landschap met een noordoost-zuidwest-oriëntatie. Ten noorden van de Kleine Nete verhoogt het landschap vrij snel, met uitzondering van het lager gelegen Olens Broek. Ten zuiden van de waterloop, tot de Zegge, is het poldersysteem duidelijk te zien als een depressie. Het natuurgebied de Zegge ligt, relatief gezien, een stuk hoger dan de polder. Het digitaal hoogtemodel geeft een eerste indruk van het natuurlijk overstromingsgebied van de Kleine Nete.

Afbeelding 2.1 Digitaal hoogtemodel van focusgebieden en omgeving. De hoogteligging wordt weergegeven in mTAW. (Kaart: W+B 2023) Bron: Geopunt

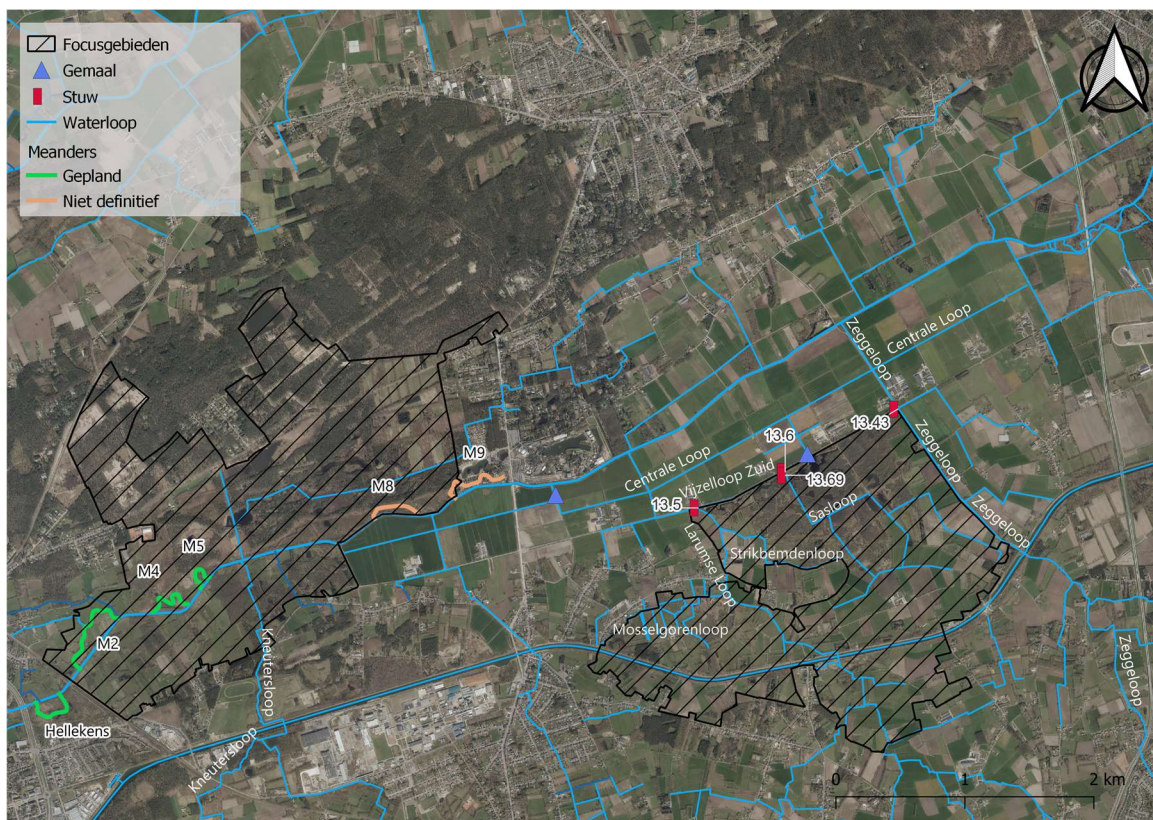


2.2 Herinrichtingswerken

In kader van het project 'Rivierherstel van de Kleine Nete tussen Herentals en Kasterlee' werden structurele herinrichtingswerken voorgesteld (VMM, 2008). Er werd getracht het natuurreservaat 'Langendonk - Olens Broek' te vernatten door hogere oppervlaktewaterpeilen in de Kleine Nete te waarborgen. Tegelijkertijd

mocht de stroomopwaartse landbouwpolder geen vernatting kennen om de akkerbouw niet te verstoren. Er werd voorgesteld het opgehoogde domein 'de Hellekens', stroomafwaarts van Olens Broek, af te graven en er een actief overstromingsgebied te creëren. In het natuurreservaat Olens Broek werd een verhoging van de ruwheid, door het aansluiten van historische meanders via afgraven van de bedding, gesuggereerd. Deze hermeandering is intussen uitgevoerd en gaat gepaard met het plaatsen van drempels in de hoofdloop om het water te sturen zodat het via deze bypass stroomt bij laagwater. De mogelijk heraan te sluiten meanders worden weergegeven in Afbeelding 2.2. Tot slot werd voorgesteld de dijken op de oevers van de Kleine Nete ter hoogte van het landbouwgebied tussen de N19 en het Olens Broek 15 meter landinwaarts te verplaatsen. De extra zone kon op die manier gebruikt worden voor een herprofilering van de waterloop, waardoor meer ruimte voor waterberging ontstaat en de opstuwung afvlakt. Bovenstaande plannen werden zo'n vijftien jaar geleden opgesteld en intussen wijzigden de plannen licht door hernieuwde inzichten en modellen.

Afbeelding 2.2 Overzicht van de stuwen in de Zegge, de twee pompgebieden, de meanders en de meest relevante waterlopen. De hoogteligging van de stuwen wordt weergegeven in mTAW. (Kaart: W+B 2023) Bronnen: Geopunt, Daems (2021).



Anno 2021 waren de meander ter hoogte van Hellekens en zijn stuwende drempel reeds aanwezig. De herinrichtingswerken hieraan werden immers afgerond in maart 2021. Deze meander en drempel veroorzaken een stijging van het Kleine Netepijl in het Olens Broek van ± 20 à 25 cm. In 2023 werden ook meander M2, M4 en M5 opnieuw aangesloten. De werken gingen gepaard met een verbreding van de Kleine Nete en aanleg van een winterbedding ter hoogte van de landbouwpolder. In 2022 werden de werken aan de linkeroever voltooid. In 2023 werden eveneens de verbredingswerken aan de rechteroever afgerond. De meanders M8 en M9 worden eventueel later toegevoegd, hiervan zijn de plannen nog niet definitief. De huidige situatie d.d. december 2023 wordt dus gekenmerkt door de verbreding van de waterloop en de meanders Hellekens, M2, M4 en M5. De combinatie van deze maatregelen leidt tot een maximale opstuwung van de Kleine Nete in het Olens Broek van zo een 60 cm (bron VMM).

Omdat bovenstaande inrichtingswerken recent afgerond werden en het originele model gekalibreerd werd op de toestand voor 2021, wordt in wat volgt steeds het onderscheid gemaakt tussen twee referentiescenario's voor de Kleine Nete:

- 1 het oude en gekalibreerde referentiescenario dat de situatie vóór 2021 beschrijft zonder aansluiting van meanders, drempels en verbreding;
- 2 het nieuwe referentiescenario eind 2023 dat de situatie beschrijft na de inrichtingswerken aan beide oevers.

3

VERNATTINGSMAATREGELEN VIA INGREPEN IN HET OPPERVLAKTEWATERSYSTEEM

Om de grondwaterafhankelijke laagveensystemen de Zegge en het Olens Broek in stand te houden en te ontwikkelen, moet het voorkomen van lage grondwaterpeilen (i.e. verdroging tijdens lange periode van droogte) gereduceerd worden. Een belangrijke maatregel hiervoor is het verminderen van de drainerende werking van het oppervlaktewatersysteem van de Kleine Nete en zijlopen (Witteveen+Bos, 2022). Hiervoor willen we de oppervlaktewaterpeilen, voornamelijk bij laagwater, verhogen en sturen. De impact van peilverhogende maatregelen onderzoeken we aan de hand van simulaties van het oppervlaktewatermodel. Onderstaande scenario's worden doorlopen om voeling te krijgen met de stuurknoppen richting vernatting en hun effecten op de overstromingsfrequentie. Aan de hand van deze stuurknoppen selecteren we uiteindelijk een technisch scenario voor hydrologisch herstel op korte termijn en een natuurlijk scenario dat op langere termijn naar een natuurlijk systeemherstel streeft.

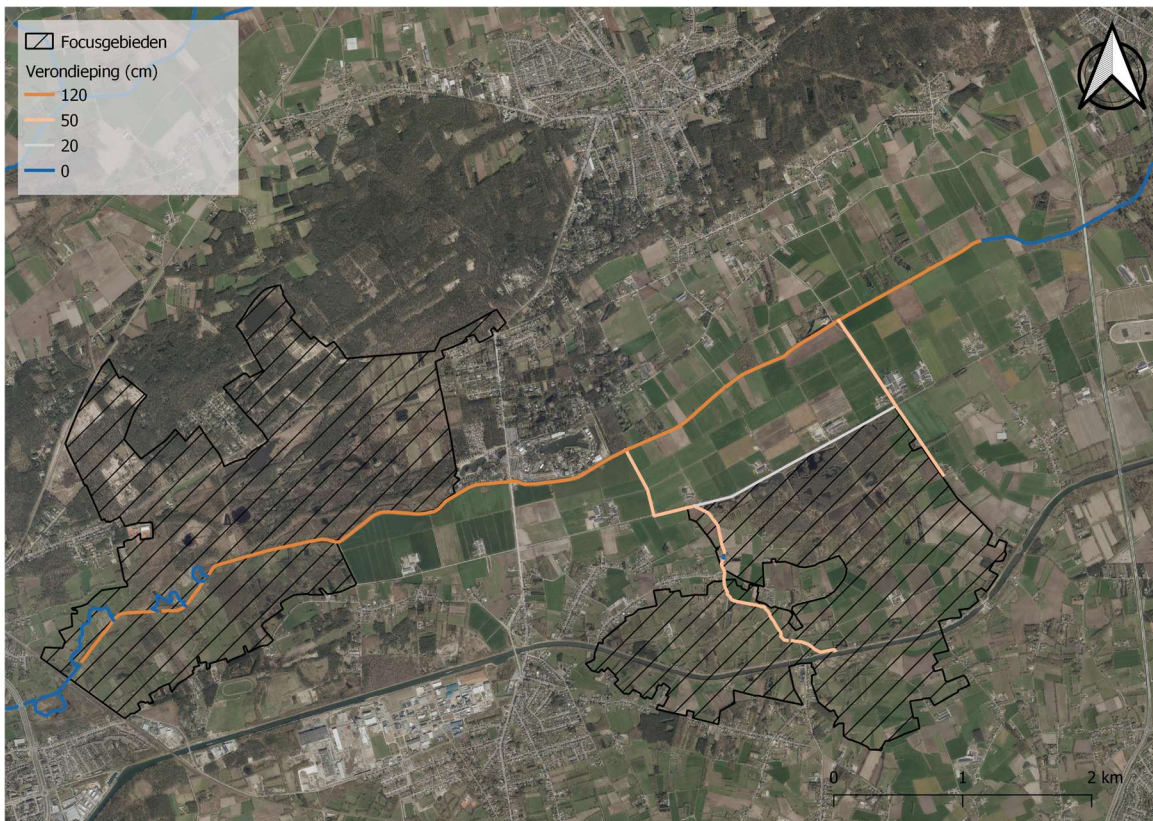
3.1 Verkennend scenario

In dit theoretische vernattingsscenario verondiepen we de Kleine Nete met als doel de drainerende werking van de waterloop te reduceren. In deze maximale vernattingssituatie streven we naar het herstel van het historisch bodempeil van de Kleine Nete.

In een verkennend scenario voeren we, zoals afgesproken met de werkgroep, volgende modelaanpassingen door:

- het bodempeil van de Kleine Nete wordt verondiept met 120 cm over het aangeduide traject op Afbeelding 3.1;
- de Larumse Loop en de Zeggeloop worden met 50 cm verondiept;
- de Vijzelloop Zuid wordt wegens limitaties van het model met slechts 20 cm verondiept.

Afbeelding 3.1 Overzicht van de verondiepte waterlopen in het verkennend scenario. De verondiepingen worden weergegeven in cm ten opzichte van de huidige rivierbedding. (Kaart: W+B 2023) Bron: Geopunt



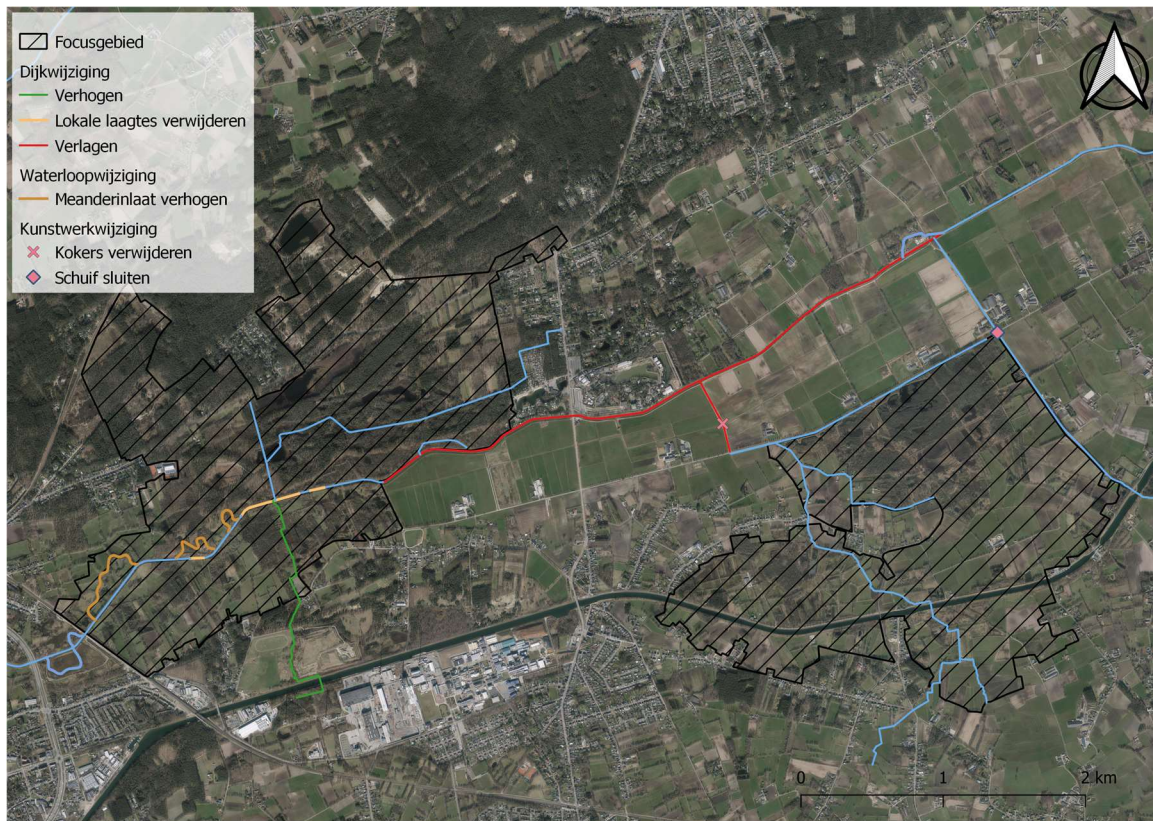
3.2 Tussenliggend scenario

Dit scenario bouwt verder op het verkennend scenario. Het speelt echter extra in op de opstuwung van het Kleine Nete-peil ter hoogte van het Olens Broek. Dit door de meanderinlaten te verhogen met 100-120 cm. Tegelijkertijd sturen we op reductie van overstromingsrisico's in de natuurreservaten bij hoge debieten, door een deel van de linkerdijk van de Kleine Nete ter hoogte van de polder tussen de Zeggeloop en de Larumse Loop te verlagen zodat deze overstroombaar wordt bij peilen groter dan het Q10-peil. Het water wordt zo over een grotere oppervlakte in de vallei gelaten. Daarenboven verhogen we de oevers rond de Kneutersloop met 50 cm om lokale overtopping in te perken om extra overstromingen in het natuurgebied van het Olens Broek te beperken.

3.3 Technisch scenario

Het technisch scenario vertrekt vanuit het tussenliggend scenario. In dit scenario sturen we op een verdere reductie van de overstromingsrisico's in de natuurkernen Zegge, Mosselgoren en Olens Broek. Hiervoor verlagen we de linkerdijk verder over de volledige polder stroomopwaarts van het Olens Broek en stroomafwaarts van de Zeggeloop (Afbeelding 3.2). Op die manier trachten we water over een grotere oppervlakte van het natuurlijke overstromingsgebied van de Kleine Nete te spreiden gedurende hoge waterpeilen. Daarnaast worden enkele lokale laagtes in de dijk rond de Kleine Nete ter hoogte van het Olens Broek opgehoogd. Tot slot sluiten we de schuif die de Zeggeloop met de Vijzelloop Zuid verbindt, verwijderen we de kokers in de Larumse Loop en verlagen we eveneens de linkeroever van de Larumse Loop tot een overstroombare dijk. Met dit pakket aan maatregelen reduceren we ook de overstromingsfrequentie in het natuurgebied de Zegge.

Afbeelding 3.2 Overzicht van de wijzigingen in het technisch scenario ten opzichte van het verkennend scenario.
(Kaart: W+B 2023) Bron: Geopunt.



3.4 Natuurlijk scenario

Om minstens dezelfde doelen als in het Technisch scenario te behalen en gelijktijdig het natuurlijk beekdal te herstellen ontwerpen we eveneens een Natuurlijk scenario. Dit scenario vertrekt vanuit het Referentiescenario eind 2023. We baseren het scenario op de oude, meanderende loop, zoals geprojecteerd op de topografische kaart Vandermaelen (1846-1854) rekening houdend met onderstaande uitgangspunten en randvoorwaarden.

Uitgangspunten:

- spreiding van overstromingen over de volledige benutte vallei;
- reductie van het drainerend effect van de Kleine Nete;
- verbetering van de waterkwaliteit van het Kleine Netewater.

Randvoorwaarden:

- behoud van historische meandergordel als maximaal in te perken ruimte;
- meanders zoveel mogelijk lokaliseren waar ze zich op de Vandermaelenkaart situeerden;
- geen meanders langs Bobbejaanland of waar woningen gevestigd zijn;
- meanderdimensies die realistisch zijn voor huidige debieten;
- enkel behoud van essentiële dijken, zoals bij Bobbejaanland en voor de bescherming van woningen;
- als dwarsdijken stuwend werken, moeten ze modelmatig verwijderd worden;
- zijwaterlopen behouden zoals geïmplementeerd in het Referentiescenario eind 2023.

Sinuositeit

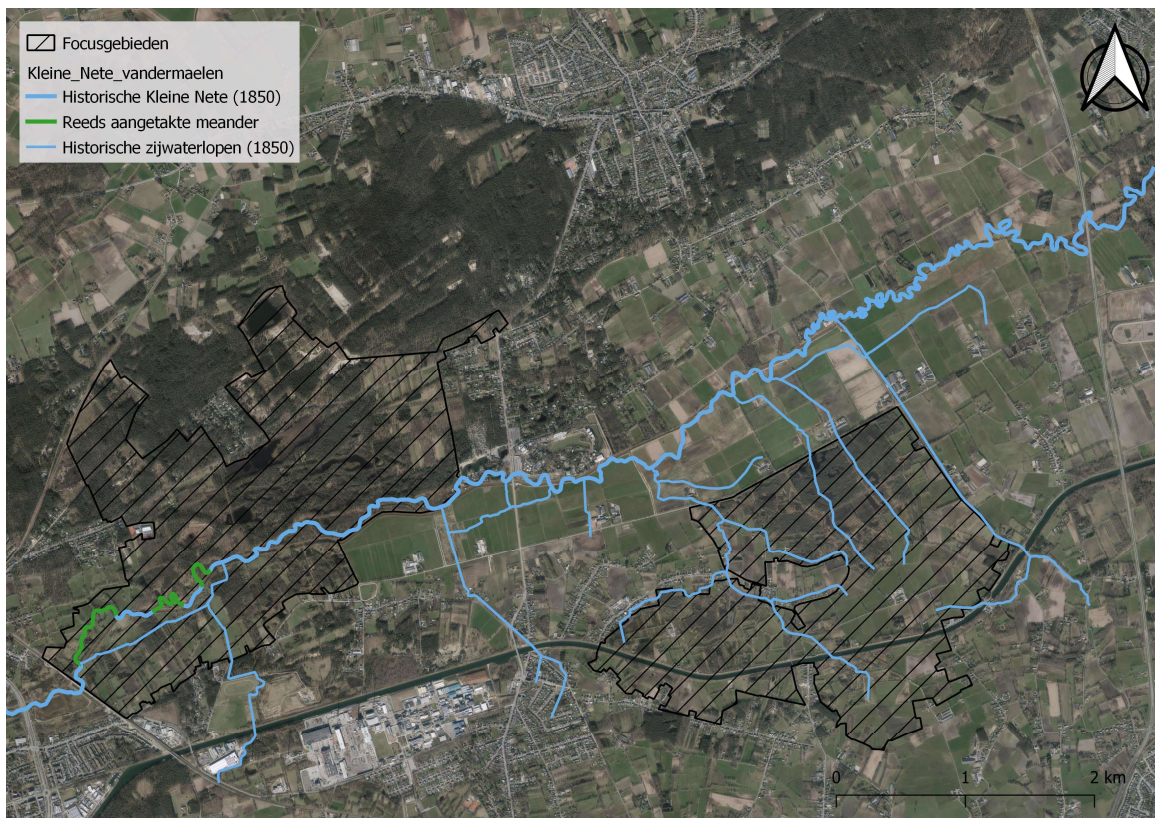
We splitsen de Kleine Nete, op basis van de Vandermaelenkaart, op in drie delen (Afbeelding 3.3):

- 1 afwaarts van de N19 en opwaarts van de Ark van Noë;
- 2 afwaarts van de Ark van Noë en opwaarts van het Olens Broek;

3 het Olens Broek tot opwaarts van Hellekens.

Deze onderverdeling maken we op basis van visuele verschillen in de meanders op de topografische kaart Vandermaelen. In deel 1 zien we kleine, scherpe meanders met een hoge sinuositeit. In Deel 2 zien we brede, langgerekte meanders en in deel 3 nemen we iets tussenin waar. De bodemkaart leert ons dat we in deel 1 vooral met een licht zandlemige bodem te maken hebben, terwijl deel 2 voornamelijk uit lemig zand bestaat. Deel 3 omvat beide bodemtypes, evenals veenbodems in het Olens Broek. Deel 1 heeft dus een iets kleinere mediane korreldiameter, waardoor kleinere meanders licht stabiel zijn. Daarnaast zien we op de topografische kaart Vandermaelen vanaf deel 2 toevoer van heel wat zijwaterlopen (Afbeelding 3.3). De relatieve invloed van deze zijwaterlopen op het totale debiet van de Kleine Nete is vandaag de dag vrij beperkt. Niettemin kende de Kleine Nete anno 1850 hoogstwaarschijnlijk lagere debieten door een minder snelle en sterke afstroming bovenstrooms, waardoor de relatieve invloed van de zijwaterlopen belangrijker was. Deze extra toevoer zorgde wellicht voor een bredere Kleine Nete afwaarts van deel 1. Die bredere loop met hogere debieten verklaart de lagere sinuositeit en meer uitgestrekte meanders in deel 2 en 3 dan opwaarts in deel 1.

Afbeelding 3.3 Meanderende Kleine Nete en zijn lokale zijwaterlopen zoals geprojecteerd op de topografische kaart Vandermaelen (1846-1854). (Kaart: W+B 2023) Bron: Geopunt



De lengte en de sinuositeit anno 1850 en van de huidige Kleine Nete voor de verschillende delen zijn weergegeven in Tabel 3.1. De sinuositeit berekenen we door de lengte van de loop te delen door de afstand in vogelvlucht tussen begin- (opwaarts) en eindpunt (afwaarts).

Tabel 3.1 Overzicht van de lengte en de sinuositeit van de verschillende delen anno 1850 en 2024.

	Deel 1	Deel 2	Deel 3
lengte anno 1850 (m)	5190	4380	4800

	Deel 1	Deel 2	Deel 3
lengte anno 2024 (m)	2700	3100	4280
sinuositeit anno 1850 (m/m)	2,28	1,47	1,46
sinuositeit anno 2024 (m/m)	1,19	1,04	1,30

Natuurlijke profilering en dimensionering

De dimensies van de dwarsdoorsnedes van geulen in een evenwichtssituatie kunnen we empirisch benaderen aan de hand van het debiet via exponentiële functies (Candel & Berg, 2020). Hiervoor gebruiken we het geulvormende debiet. Het geulvormende debiet is de afvoer die bepalend is voor de natuurlijke dimensies van een waterloop in een evenwichtssituatie.

Dit debiet kan hydrologisch benaderd worden op drie manieren:

- 1 gemiddelde jaarlijkse afvoer;
- 2 afvoer met een terugkeerperiode van 1,58 jaar;
- 3 gemiddelde jaarlijkse piekafvoer.

Op basis van de beschikbare data kunnen we deze debieten benaderen met een (1) Q50-debiet, (2) T2-debiet, (3) Q10-debiet. Belangrijk om te weten is dat de gemiddelde jaarlijkse afvoer een onderschatting zal geven van de dimensies, terwijl de T2-afvoer een overschatting zal geven. In Tabel 3.2, Tabel 3.3 Tabel 3.4 geven we bijgevolg een range aan dimensies mee. We stellen voor de Q10-waarden als het meest realistisch te bestempelen. Een Q10-debiet komt immers vaak genoeg voor om geulvormend te zijn en is groot genoeg om voldoende energie te hebben om de dimensies vorm te geven.

Ook de amplitude van de meander in evenwichtssituatie wordt bepaald op basis van het geulvormend debiet. De golflengte in evenwicht daarentegen bepalen we op basis van het jaargemiddeld debiet (Q50).

Op basis van Candel & Berg (2020) gebruiken we onderstaande formules om de natuurlijke waterloop te dimensioneren:

$$\begin{aligned}
 W &= a Q^b \\
 D &= c Q^f \\
 Am &= 17.6 W \\
 Lm &= 166.6 Q_{50}^{0.46}
 \end{aligned}$$

Met:

- W** de geulbreedte;
- D** de geuldiepte;
- Am** de amplitude van een meander in evenwichtstoestand;
- Lm** de golflengte van een meander in evenwichtstoestand;
- Q₅₀** de gemiddelde jaarlijkse afvoer;
- Q** de geulvormende afvoer;
- a** en **c** te bepalen coëfficiënten, waarbij we uitgaan van a = 4.7 (gemiddelde waarde voor zandige bodems) en c = 0.56 (gemiddelde waarde tussen zandige en cohesieve oevers);
- b** en **f** te bepalen exponenten, waarbij we uitgaan van b = 0.5 en f = 0.4 (Candel & Berg, 2020).

Tabel 3.2, Tabel 3.3 Tabel 3.4 geven een overzicht van de empirisch benaderde profielafmetingen en de amplitude en golflengte van een stabiele meander voor respectievelijk Deel 1, Deel 2 en Deel 3.

Tabel 3.2 Overzicht van de empirisch benaderde profielafmetingen en amplitude en golflengte van een stabiele meander onder een Q50-, Q10- en T2-debiet in deel 1.

Deel 1	Q50	Q10	T2
breedte (m)	7,5	11,2	23,3
diepte (m)	0,8	1,1	2,0
amplitude (m)	132	197	410
golflengte (m)	255	255	255

Tabel 3.3 Overzicht van de empirisch benaderde profielafmetingen en amplitude en golflengte van een stabiele meander onder een Q50-, Q10- en T2-debiet in deel 2.

Deel 2	Q50	Q10	T2
breedte (m)	7,8	12,0	23,6
diepte (m)	0,8	1,2	2,0
amplitude (m)	138	212	415
golflengte (m)	267	267	267

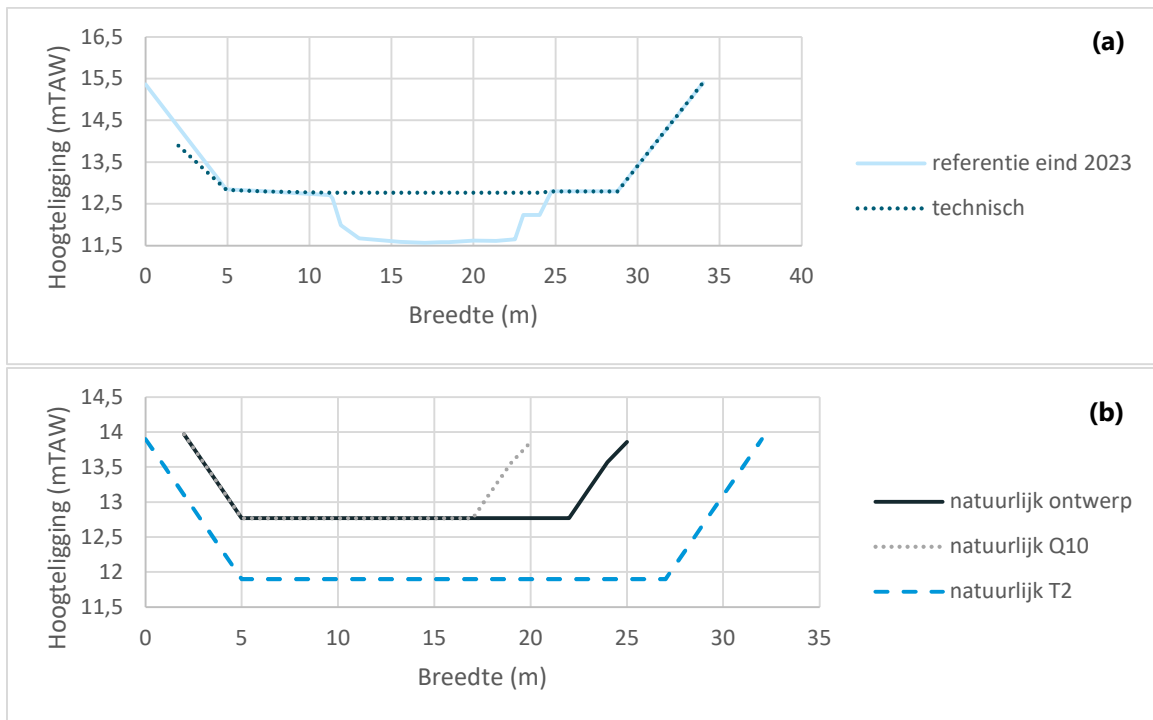
Tabel 3.4 Overzicht van de empirisch benaderde profielafmetingen en amplitude en golflengte van een stabiele meander onder een Q50-, Q10- en T2-debiet in deel 3.

Deel 3	Q50	Q10	T2
breedte (m)	8,2	12,6	20,5
diepte (m)	0,9	1,2	1,8
amplitude (m)	145	222	361
golflengte (m)	279	279	279

Bankfull berekeningen

Om een beeld te schetsen van de dimensionering van de profielen tonen we een uitwerking van de evenwichtsprofielen onder een Q10- en T2-debiet voor deel 2. Ook tonen we het profiel voor het technisch scenario dat overtopt bij peilen hoger dan 13,9 mTAW door het overstroombaar maken van de linkerdiijk, evenals het referentiescenario eind 2023 (Afbeelding 3.4). Een natuurlijke waterloop is vrij ondiep en overstroomt vaak in zijn natuurlijk beekdal. Om die reden is de loop onder het Q10-debiet een stuk kleiner dan in het technisch scenario. Dit profiel zal dan ook vaker overstroomen dan het technisch scenario en zal wellicht al bij debieten kleiner dan een Q10 overtoppen. Dit wordt deels gecompenseerd door het verlengen van de waterloop na meandering. Wanneer we het T2-debiet gebruiken als geulvormend krijgen we een profiel dat qua breedte lijkt op het huidige profiel, echter vormt dit een overdimensionering van de natuurlijke profilering wat niet gewenst is in het Natuurlijk scenario. Tabel 3.5 geeft een overzicht van de bankfull oppervlaktes van de dwarsdoorsnedes van het technisch scenario en van de ontworpen profielen. Ook toont het de benodigde lengte van de Kleine Nete in Deel 2 om te compenseren voor de invloed van de verandering van de dimensies op het totaal te bergen volume.

Afbeelding 3.4 Overzicht van de dwarsprofielen van (a) het referentie eind 2023 en technisch scenario en (b) de berekende dimensies volgens het Q10- en T2-debiet in deel 2 van de Kleine Nete.



Tabel 3.5 De bankfull oppervlaktes van de dwarsdoorsnedes in het technisch scenario en zoals gedimensioneerd volgens het Q10- en T2-debiet voor deel 2. De benodigde lengte toont de lengte die nodig is om het totale volume water te compenseren voor deze kleinere dwarsdoorsnede.

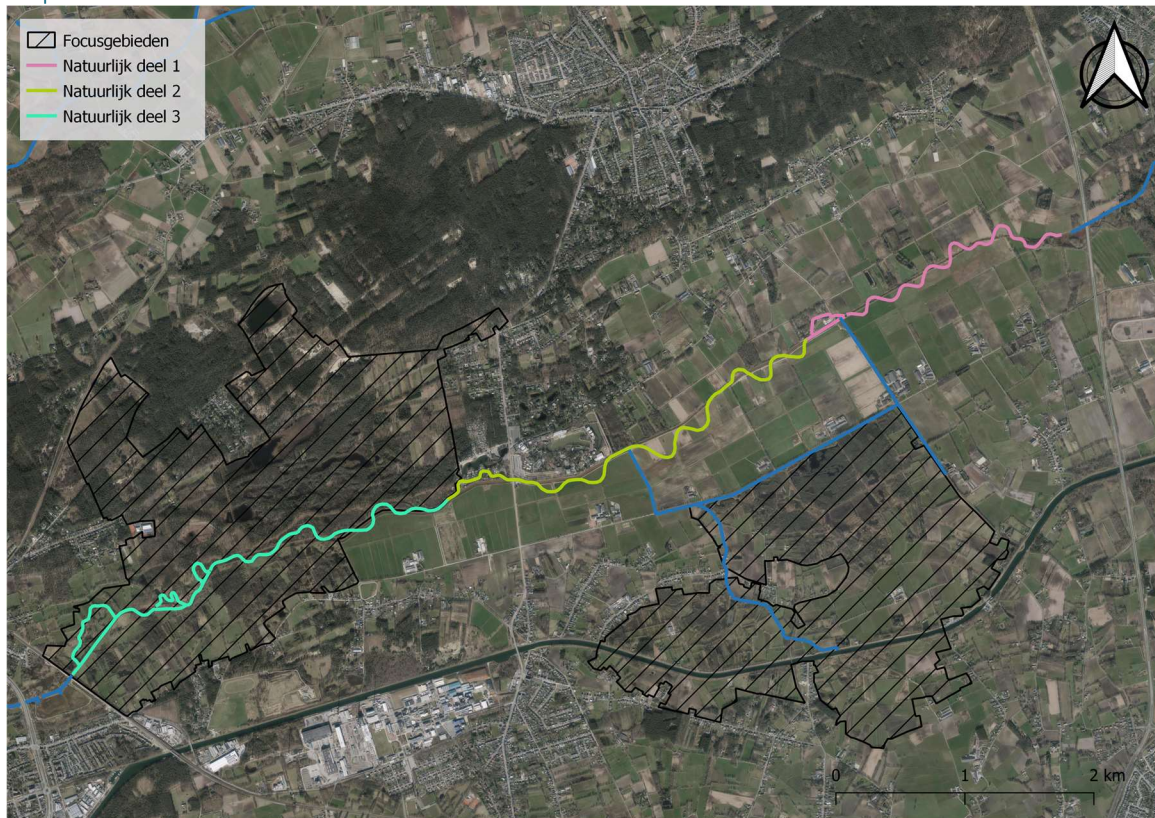
Deel 2	Technisch	Natuurlijk Q10	Natuurlijk T2
bankfull dwarsdoorsnede (m ²)	29.3	17.1	56.3
benodigde lengte (m)	3098	5310	1611

Als tussenoplossing berekenen we de benodigde dwarsdoorsnede na bepaling van de lengte van de meanderende Kleine Nete. Hierbij streven we naar hetzelfde bankfull volume in het ontwerp als in het technisch scenario. Vervolgens wijzigen we de breedte van het natuurlijk profiel bepaald bij Q10 tot de beoogde dwarsoppervlakte bereikt wordt. Afbeelding 3.4 toont de uitwerking hiervan voor een profiel in deel 2. Tabel 3.6 toont de lengtes van de, zoals in Afbeelding 3.5 ontworpen, meanderende Kleine Nete en de benodigde oppervlakte van de dwarsdoorsnede. Tot slot toont het ook de nieuwe breedte van het ontworpen profiel. Deze berekeningsmethode is een benadering waarbij het volume water wordt bepaald als zijnde stilstaand. De werkelijke volumes en waterpeilen bij deze debieten moeten numeriek worden benaderd en zullen pas duidelijk worden na de uitvoering van modelsimulaties.

Tabel 3.6 Lengtes van de nieuwe, meanderende loop voor deel 1, 2 en 3 en de berekende dwarsoppervlaktes en nieuwe breedtes van het ontworpen profiel.

	Deel 1	Deel 2	Deel 3
lengte nieuwe loop (m)	3180	3933	5110
berekende dwarsoppervlakte (m ²)	20,8	23	23,2
berekende nieuwe breedte (m)	17,5	17,0	17,6

Afbeelding 3.5 Natuurlijke Kleine Nete op basis van bovenstaande randvoorwaarden en berekeningen. (Kaart: W+B 2023) Bron: Geopunt



4

UITBREIDING ICM-MODEL KLEINE NETE EN AA

4.1 Huidig model van de Kleine Nete en Aa

Het oorspronkelijke RS-model van de Kleine Nete en Aa werd in 2019/2020 omgezet naar het softwarepakket InfoWorks-Integrated Catchment Modelling (IW-ICM [10.0.6]) (Witteveen+Bos, 2020). Dit model werd gekalibreerd voor hoogwatercondities gezien geen adequate kalibratie voor hoog- en laagwater tegelijk mogelijk was. Aangezien we in deze studie echter ook geïnteresseerd zijn in laagwatercondities, moeten deze resultaten met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Het model omvatte de situatie vóór de structurele aanpassingswerken: hierboven beschreven als het 'oude referentiescenario pre 2021'. De meander aan Hellekens werd later door de VMM aan dit model toegevoegd als extra scenario (Afbeelding 4.1) (VMM, persoonlijke communicatie, 16 december 2022).

De VMM beschikt eveneens over een gedateerd RS-model van de Kleine Nete en Aa, waarin een scenario werd opgenomen voor de toekomstige situatie (VMM, 2020). Dit omvat de meander aan Hellekens en de meanders M2, M4 en M5 zoals opgesteld in de ontwerpplannen. Daarnaast bevat het model een vereenvoudiging van de verbreding van de Kleine Nete. Deze modellering gebeurde echter via een vereenvoudigde en pragmatische aanpak en het model is niet up-to-date.

Afbeelding 4.1 Screenshot van het focusgebied in het ICM-basismodel met de meander aan Hellekens zoals aangeleverd door de VMM. (Kaart: W+B 2023)



4.2 Beschikbare data

In deze paragraaf worden de beschikbare data die gebruikt werden voor de uitbreiding van het ICM model beknopt beschreven.

Topografische opmetingen waterlopen en kunstwerken

Zoals gevisualiseerd in Afbeelding 4.2, zijn er van een aantal zijlopen in het focusgebied topografische opmetingen van de waterloop (dwarsprofielen) en kunstwerken beschikbaar. De opgemeten dwarsprofielen dateren van 2011 en werden uitgevoerd door GlobeZenit nv. De opmetingen van Witteveen+Bos zijn uitgevoerd in 2022 met een Altus NR2 (Septentrio) dat een horizontale nauwkeurigheid van 0,6 cm + 0,5 ppm en een verticale nauwkeurigheid van 1 cm + 1 ppm kent (Septentrio, 2016). Data over de bemalingstations werd tot slot aangeleverd door de provincie Antwerpen. Dit betreft een excel-bestand met pompdebieten, afslag- en aanslagepeil en draaiuren van de pompen (Bijlage 1).

Afbeelding 4.2 Overzicht van de beschikbare opmetingen voor uitbreiding van het oppervlaktewatermodel. (Kaart: W+B 2023)

Bronnen: Geopunt, VMM, Provincie Antwerpen, GlobeZenit nv.



Meanders en verbreding Kleine Nete

Voor de reeds voor 2023 uitgevoerde structurele werken op de Kleine Nete zijn er as-built bestanden beschikbaar (Tabel 4.1). De locatie van de verbreding van de Kleine Nete en meanders, waarvan bestanden beschikbaar zijn, is aangeduid op Afbeelding 4.1. De as-built-bestanden van de verbreding zijn beperkt tot de linkeroever, aangezien de werken aan de rechteroever pas in najaar 2023 voltooid werden.

Tabel 4.1 Overzicht van de door VMM aangeleverde bestanden met betrekking tot de meanders en verbreding van de Kleine Nete.

Meander/verbreding	Aangeleverde data	Naam bestand	Jaar
meander Olens broek	csv-export van het RS-model	N_KLN_S19-09_T10_v6_4_2_5.csv	2023
verbreding	dwg-plannen	20220404_0211502_AOG De Zegge_deel_A_NT_Acad.dwg	2022
	dwg-plannen	20220420_0211502_AOG De Zegge_deel_B_NT_Acad.dwg	2022
	dwg-plannen	20220406_0211502_AOG De Zegge_deel_D_NT_Acad.dwg	2022
	dwg-plannen	20221004_0211503_Nieuwe toestand_AOG De Zegge_deel F_ACAD.dwg	2022

4.3 Uitbreiding basismodel

Het aangeleverde, gekalibreerde model van de VMM (VMM, persoonlijke communicatie, 16 december 2022) omvat de situatie van het afstroomgebied pré 2021, evenals een scenario waarin de meander aan Hellekens geïmplementeerd werd. In de volgende paragrafen worden de uitbreidingen van het ICM-model uitgevoerd in kader van deze studie beschreven.

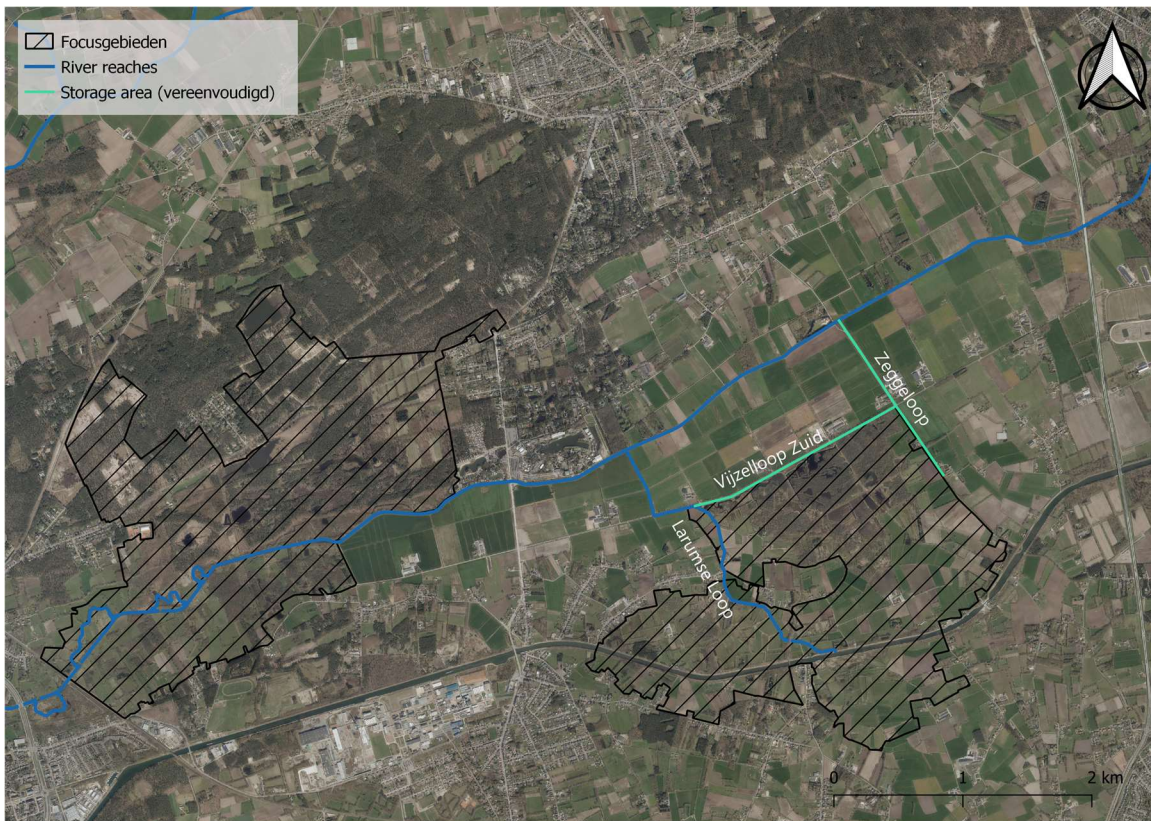
Een kalibratie en validatie van het model met de maatregelen die zomer-najaar 2023 uitgevoerd werden is echter nog niet mogelijk gezien er nog onvoldoende peil- of debietmetingen zijn na de aanpassingen. Het oude referentiescenario kan geherkalibreerd worden, maar de assumptie is dat de peilen en debieten in de Kleine Nete vrij gelijkaardig blijven ten opzichte van het aangeleverde model. In dit gekalibreerde model werden immers, zij het via vereenvoudiging, al zijlopen verwerkt.

4.3.1 Implementatie zijlopen en kunstwerken

De implementatie heeft als primaire doel ons begrip van de hydrologische situatie rond het natuurgebied de Zegge te verbeteren. Er wordt gekozen om de Larumse Loop, waarvoor gedetailleerde opmetingen onder de vorm als dwarsdoorsnedes beschikbaar zijn, te implementeren als *river reaches*. De Zeggeloop en de Vijzelloop Zuid stellen we voor als *storage areas*, omdat hiervan minder nauwkeurige topografische opmetingen voorhanden zijn (Innovyze, 2023). Daarenboven is de Larumse Loop in belangrijke mate sturend voor eventuele overstromingen in de Zegge door de aansluiting met de Vijzelloop Zuid/Sasloop en de Strikbendenloop die het natuurgebied doorkruist. Afbeelding 4.3 toont een overzicht van de waterlopen die we als *river reaches* toevoegen, evenals de vereenvoudigde *storage areas*.

We implementeren de Larumse Loop op basis van 75 dwarsdoorsnedes en 11 opgemeten kunstwerken. De Manningcoëfficiënten stellen we conform de Kleine Nete in op 0.12 voor de oevers en 0.045 voor de rivierbedding in de wintersituatie. Voor de zomersituatie worden de Manningcoëfficiënten van de rivierbedding, eveneens conform de Kleine Nete, verhoogd tot 0.075 door de aanwezigheid van waterplanten (VMM, persoonlijke communicatie, 25 januari 2023). De kleinere loopjes die afstromen naar de Larumse Loop (Strikbendenloop en Mosselgorenloop) worden voorgesteld door een *link* met een inlaatsniveau van respectievelijk 12.87 mTAW en 13.11 mTAW.

Afbeelding 4.3 Overzicht van de waterlopen die als *river reaches* of vereenvoudigd als *storage areas* worden geïmplementeerd. (Kaart: W+B 2023)



Ten zuiden van de verhoogde Roerdompstraat, die de landbouwpolder en het natuurgebied scheidt, loopt de Vijzelloop Zuid. Hierin wordt door middel van het Vijzelgemaal het gedraineerd water uit de landbouwpolder gepompt. De pomp implementeren we als een pomp die aanslaat op een peil van 12,25 mTAW en uitslaat op 12,05 mTAW. De pomp krijgt een debiet van 0,075 m³/s (Bijlage 1).

De Vijzelloop Zuid zelf stellen we vereenvoudigd voor door twee *storage areas* en *nodes*, met name VijzelZuid_SA1 en VijzelZuid_SA2. De Vijzelloop Zuid is geconnecteerd met de Larumse Loop door een *sluice* met een inlaatiniveau van 13,5 mTAW en een (modelmatige) breedte van 3 m. Tevens is de waterloop verbonden met de naburige Zeggeloop, eveneens door een *sluice*, met een inlaatiniveau van 13,43 mTAW en een breedte van 0,80 m (Daems, 2021).

Tot slot implementeren we de Zeggeloop als de *storage area* KLN365_SAL geconnecteerd aan een *storage node* en een *manhole*. De storage node loopt over in de *manhole* via een *sluice* met inlaatiniveau 13,58 mTAW en een breedte van 3,92 m. De *manhole* is verbonden met de Kleine Nete via een *sluice* met inlaatiniveau 12,31 mTAW en een breedte van 1,37 m.

4.3.2 Implementatie verbreding Kleine Nete

Door VMM (2008) werd voorgesteld om drempels en meanders in het Olens Broek in de Kleine Nete aan te leggen. Dit met doel om de waterpeilen in het Olens Broek op te stuwen zonder een grote opstuwing in het landbouwgebied te veroorzaken. Ook werd in de Kleine Nete een verbreding ter hoogte van de landbouwpolder onder de vorm van een winterbed aangelegd. Deze verbreding zal een invloed hebben op de toekomstige waterpeilen in de Kleine Nete en wordt om die reden in ICM geïmplementeerd. Anno januari 2023 waren slechts as-buitplannen van de linkeroever voorhanden, met uitzondering van de sectie stroomopwaarts van de Larumse Loop (Afbeelding 4.2). De crosssecties waarvoor as-buitplannen

beschikbaar waren, werden afgeknipt ter hoogte van de aanpassingen en vervangen door gemeten punten uit de as-builtplannen. Voor de sectie stroomopwaarts van de Larumse Loop maakten we gebruik van een vereenvoudigde voorstelling door het toevoegen van een winterbed op 12,4 mTAW en met een breedte van ongeveer 5 meter. De rechteroever waar de verbreding minder uitgebreid is en waarvoor nog geen plannen voorhanden waren, werd via eenzelfde methodiek als voor de linkeroever geïmplementeerd, echter op basis van de ontwerpplannen. Het is aldus belangrijk op te merken dat de daadwerkelijke situatie hiervan lichtelijk kan afwijken.

4.3.3 Implementatie hermeandering Olens Broek

De werken aan meander M2, M4 en M5 gingen in maart 2023 van start. Deze hermeandering ging gepaard met het plaatsen van drempels. Er wordt een verhoging van het peil in Olens Broek verwacht. Gezien er nog geen as-builtplannen beschikbaar waren bij opmaak van het model, werd gebruik gemaakt van informatie uit het oude RS-model. De crosssecties werden overgenomen uit dit model en we bouwden nieuwe *river reaches* op. Tabel 4.2 Drempelhoogte en in- en uitlaatniveau van de drie toegevoegde meander; M2, M4 en M5. Tabel 4.2 toont het inlaat- en uitlaatniveau van iedere meander, evenals de hoogte van de nieuwe drempel.

Tabel 4.2 Drempelhoogte en in- en uitlaatniveau van de drie toegevoegde meander; M2, M4 en M5.

Meander	Inlaatniveau (mTAW)	Uitlaatniveau (mTAW)	Drempelhoogte (mTAW)
M2	10,90	10,32	12,20
M4	10,17	10,13	12,25
M5	10,09	10,34	12,25

Afbeelding 4.4 Screenshot van het focusgebied in het ICM-model na toevoeging van zijlopen, verbreding en meanders. De modelaanpassingen zijn weergegeven in het rood. (Kaart: W+B 2023)



4.3.4 Verondieping Kleine Nete en zijlopen (verkennend scenario)

De verondiepingen voor de Kleine Nete en de Larumse Loop, zoals beschreven in Sectie 3.1, implementeerden we modelmatig steeds door in elke dwarsdoorsnede het laagste punt in het bodempeil te

zoeken en het nieuwe bodempeil vervolgens gelijk te stellen aan de hoogteligging van dat laatste punt vermeerderd met respectievelijk 120 en 50 cm. De Zeggeloop en Vijzelloop Zuid, die vereenvoudigd door een *storage area* geïmplementeerd zijn, werden verondiept door het aanpassen van de *storage array* in de *storage nodes* KLN365_SAL, VijzelZuid_SA1 en VijzelZuid_SA2. In de eerstgenoemde verhoogden we de *storage array* met 50 cm. In de twee anderen trokken we het laagste niveau 20 cm op.

4.3.5 Wijzigingen aan dijken

Zoals beschreven in Sectie 3.2 en 3.3, voerden we wijzigingen uit aan de dijken om te sturen op minimale overstromingen in de natuurkernen doorheen de verschillende scenario's. Hiervoor pasten we de *banklines* en de *river reaches* aan. De *banklines* van de *river reaches* tussen de Zeggeloop en de Larumse Loop verlaagden we naar 13,9 mTAW. Op die manier overstroomt de dijk nog niet bij Q10-waterpeilen. In periodes van extremer hoogwater overtopt de dijk wel en wordt de polder ingezet als overstromingsbuffer. Door het hydrologisch verhang dienden we de dijken afwaarts van de Larumse Loop naar een lagere hoogte te brengen om overstroombaar te maken. De hoogtes werden aflopend gereduceerd van 13,7 mTAW net afwaarts van de Larumse Loop tot 13,3 mTAW net opwaarts van het Olens Broek.

In het Olens Broek verhoogden we de *banklines* van de *river reaches* naar 13,4 mTAW in het opwaartse deel en 13,3 mTAW iets verder stroomafwaarts. Dit vergde een beperkte ophoging van de lokale laagtes in het huidige dijkstelsel.

Tot slot verhoogden we de *banklines* van *storage area* KLN254_SAL die de Kneutersloop voorstelt met 0,5 meter. In praktijk zal dit echter niet steeds exact 0,5 meter zijn aangezien de *banklines* vanuit het digitale hoogtemodel bepaald werden.

4.3.6 Wijzigingen aan kunstwerken

In het verkennend scenario en het technisch scenario voerden we wijzigingen uit aan de bestaande kunstwerken. Onderstaande kunstwerken werden daarbij aangepast of verwijderd.

Verkennend scenario:

- pomp KLN342_SAL.5 verwijderen (Vijzelgemaal);
- pomp KLN302_SAL.2 vervangen door sluice (pomp Centrale Loop).

Technisch scenario:

- *sluice* KLN365_SAL.7 verwijderen (schuif Zeggeloop/Vijzelloop Zuid);
- *conduits* LL009_BN.1 verwijderen en de *river reaches* opnieuw opbouwen en connecteren.

4.3.7 Implementatie Natuurlijk scenario

In het natuurlijk scenario laten we de Kleine Nete opnieuw meanderen (Afbeelding 4.5). Hiervoor verwijderen we alle *river reaches* tussen *cross sections* KLN217 en KLN403. Nieuwe *cross sections* stellen we vervolgens op basis van een txt-bestand zoals geëxporteerd uit AutoCad. Deze vormen de basis voor nieuwe *river reaches* en *banklines*. Na het opmaken van deze structuren geven we ook de *storage areas* opnieuw vorm, zodat deze naadloos aansluiten op de *banklines* van de nieuwe waterloop. Daarnaast verwijderen we de pompen die de gemalen Centrale Loop en het Vijzelgemaal voorstellen. Tot slot is het belangrijk op te merken dat ook de inputbestanden aangepast moeten worden. Zo wordt de inputwaarde van node KLN219_BN nu meegegeven aan node NAT004_BN en de waarde van KLN254_BN aan NAT095_BN.

Afbeelding 4.5 Screenshot van het focusgebied in het ICM-model na implementatie van het natuurlijk scenario. De model-aanpassingen zijn weergegeven in het rood. (Kaart: W+B 2023)



4.4 Overzicht modelscenario's

Tabel 4.3 geeft een overzicht van de opgestelde modelscenario's en de wijze van implementatie van hoofdloop, zijlopen, meanders en kunstwerken.

Tabel 4.3 Overzicht van de modelscenario's en hun respectievelijke eigenschappen in ICM InfoWorks.

Scenario	Kleine Nete	Larumse Loop	Zeggeloop	Vijzelloop Zuid	Kneutersloop	Meanders	Kunstwerken
oorspronkelijk model	situatie pré 2021	vereenvoudigd als storage area	vereenvoudigd als storage area	niet in model	vereenvoudigd als storage area	niet in model	gemaal Centrale Loop
oud referentiescenario	situatie pré 2021	als river reach	vereenvoudigd als storage area	vereenvoudigd als storage area	vereenvoudigd als storage area	niet in model	gemaal Centrale Loop Vijzelgemaal stuw Larumse Loop schuif Zeggeloop kokers Larumse Loop
referentiescenario eind 2023	verbreding linker- en rechteroever t.h.v. landbouwpolder verhoging dijken	als river reach	vereenvoudigd als storage area	vereenvoudigd als storage area	vereenvoudigd als storage area	Hellekens M2 M4 M5 Ark van Noé	gemaal Centrale Loop Vijzelgemaal stuw Larumse Loop schuif Zeggeloop kokers Larumse Loop
verkennend scenario	verbreding linkeroever t.h.v. landbouwpolder verhoging dijken verondieping van 120 cm	als river reach verondieping van 50 cm	vereenvoudigd als storage area verondieping van 50 cm	vereenvoudigd als storage area verondieping van 20 cm	vereenvoudigd als storage area	Hellekens M2 M4 M5	stuw Larumse Loop schuif Zeggeloop kokers Larumse Loop
tussenliggend scenario	verbreding linkeroever t.h.v. landbouwpolder verlaging linkerdijk tussen Zeggeloop en Larumse Loop verondieping van 120 cm	als river reach verondieping van 50 cm	vereenvoudigd als storage area verondieping van 50 cm	vereenvoudigd als storage area verondieping van 20 cm	vereenvoudigd als storage area verhoging dijken van 20 cm	Hellekens M2: inlaat verhoogd M4: inlaat verhoogd M5: inlaat verhoogd	stuw Larumse Loop schuif Zeggeloop kokers Larumse Loop
technisch scenario	verbreding linker- en rechteroever t.h.v. landbouwpolder verlaging linkerdijk tussen Zeggeloop en Olens Broek verondieping van 120 cm	als river reach verondieping van 50 cm	vereenvoudigd als storage area verondieping van 50 cm	vereenvoudigd als storage area verondieping van 20 cm	vereenvoudigd als storage area verhoging dijken van 20 cm	Hellekens M2: inlaat verhoogd M4: inlaat verhoogd M5: inlaat verhoogd	stuw Larumse Loop
natuurlijk scenario	nieuw natuurlijk dwarsprofiel (verondiepen en versmallen) nieuw lengteprofiel door maximale meandering	als river reach	vereenvoudigd als storage area	vereenvoudigd als storage area	vereenvoudigd als storage area	Hellekens volledige meandering over tracé tussen N19 en Hellekens	stuw Larumse Loop schuif Zeggeloop

5

RESULTATEN

5.1 Randvoorwaarden

De opwaartse randvoorwaarden voor het ICM model van de Kleine Nete en Aa, gegeneerd met behulp van hydrologische PDM-modellen, werden beschikbaar gesteld door de VMM. De inputgegevens (inflow data) voor een T10-, T50- en T100-bui, evenals Q10-, Q50- en Q90-debieten werden aangeleverd.

In het oorspronkelijke ICM model werd een opwaartse randvoorwaarde gedefinieerd in de storage area KLN323_SAL (t.h.v. het subcatchement van de Larumse loop). Deze storage area is echter gewijzigd na detaillering van de zijlopen in het ICM model. De afwaartse randvoorwaarde werd daarom verplaatst naar de meest stroomopwaartse node van de Larumse Loop, die als river reach werd opgenomen in het ICM model (node LL075_BN).

5.2 Referentiescenario's

De modeloutput van het oude referentiescenario schetst een beeld van het oppervlaktewatersysteem voor 2021. De output van het referentiescenario eind 2023 geeft een simulatie van de situatie na invoer van alle structurele ingrepen tot december 2023 weer, zij het deels vereenvoudigd op basis van de ontwerpplannen aangezien nog niet voor alle ingrepen as-builtplannen beschikbaar waren. We zoomden steeds in op de gemiddelde waterpeilen, i.e. de modeloutput van een Q50, om de algemene situatie te schetsen. Vervolgens onderzochten we de drainerende werking in de respectievelijke scenario's aan de hand van modelsimulaties met lage Q90-debieten. Tot slot maakten we schattingen van overstromingsrisico's in aan de hand van waterdebieten bij een T2-bui en voor de relevante scenario's onder extremere condities tot een T100 situatie.

De impact van Q90-debieten simuleerden we steeds in de situatie van winterruwheid, de T2-bui in de situatie van een hogere zomerruwheid. Dit om de meest extreme gevallen te evalueren. Q90-debieten zullen in werkelijkheid echter voornamelijk in zomersituaties voorkomen, waarbij plantengroei de ruwheid van de rivierbedding vergroot en de stuwende werking toeneemt. Werkelijke peilen onder Q90 debieten zullen bijgevolg vaak hoger zijn dan voorgesteld in onderstaande figuren. T2-buien zijn minder voorspelbaar en kunnen zowel in de winter- als zomermaanden voorkomen.

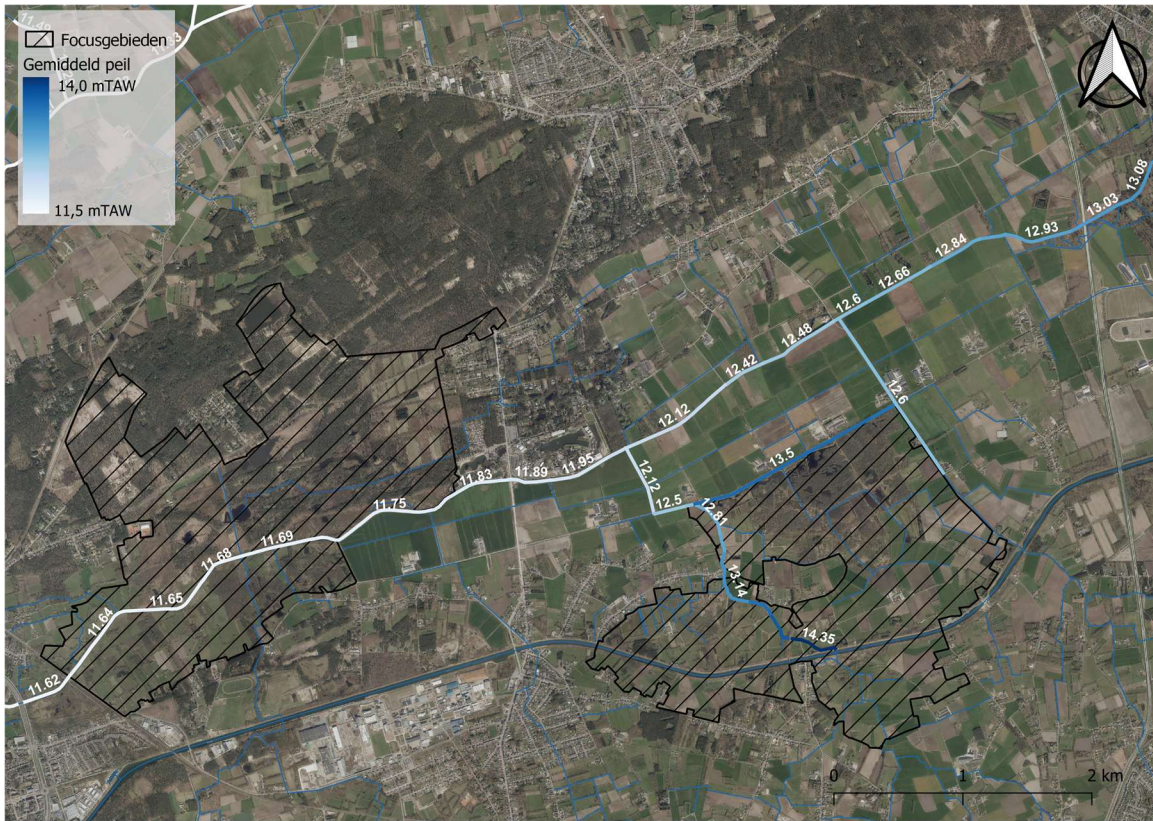
Tot slot is enige voorzichtigheid bij de interpretatie van de Q90-peilen geboden. Het oorspronkelijke oppervlaktewatermodel werd immers, zoals beschreven in Sectie 4.1, gekalibreerd op hoogwatercondities, waardoor de simulaties gedurende laagwaterperiodes afwijkingen van de realiteit kunnen vertonen.

5.2.1 Oud referentiescenario - situatie pré 2021

Gemiddelde waterpeilen

Afbeelding 5.1 toont de gemiddelde waterpeilen in de situatie vóór 2021. Dit betreft de situatie voor (her)meandering.

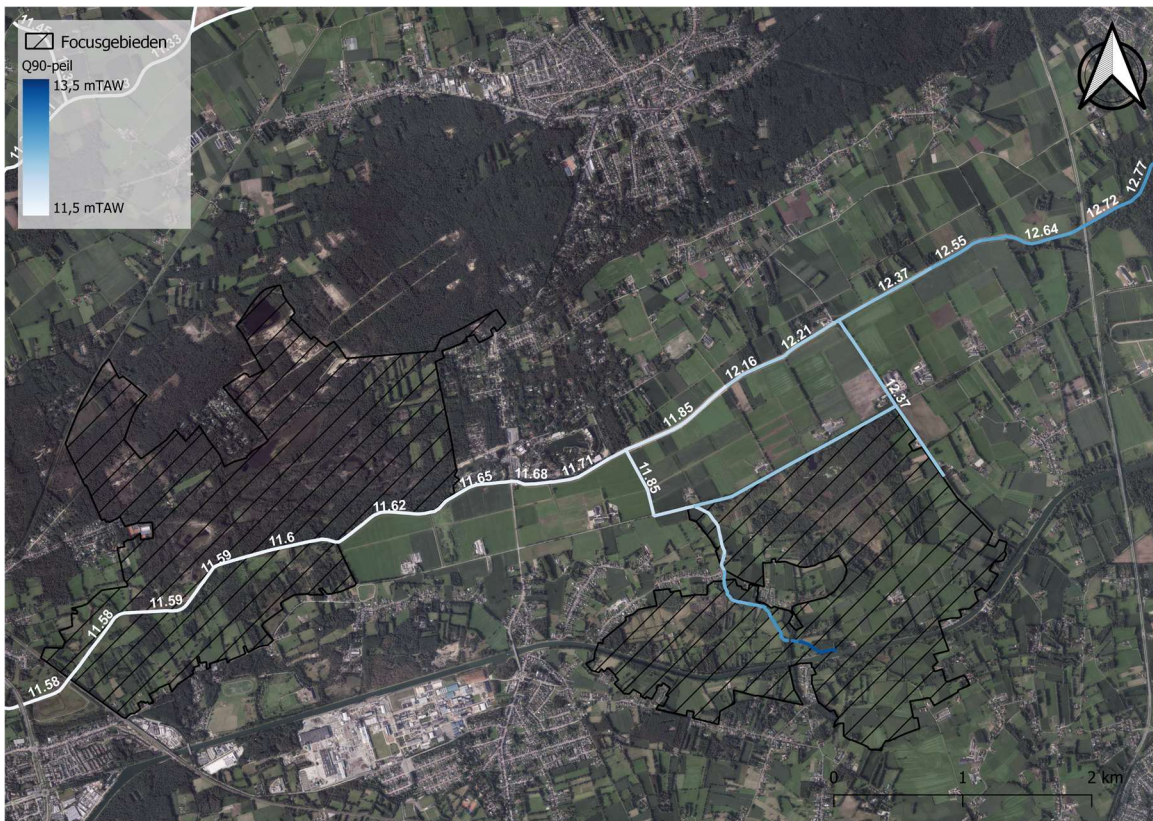
Afbeelding 5.1 Gesimuleerde gemiddelde waterpeilen (Q50) voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid in het oud referentiescenario pre 2021 en onder winteruurheid. De peilen worden weergegeven in mTAW. (Kaart: W+B 2023)



Drainerende werking

Het model simuleert voor het oud referentiescenario Q90-peilen in het Olens Broek van ongeveer 11,7 mTAW (Afbeelding 5.2). Dit is ruim een meter onder het gemiddelde maaiveld van het natuurgebied. De Kleine Nete zal bijgevolg een sterk drainerende werking hebben richting grondwater zoals ook uit de grondwatermodellen en waterbalansen blijkt (zie rapport grondwatermodellering maart 2023). Om de vooropgestelde natuurdoelen in het gebied te halen is een hoger gemiddeld waterpeil aangewezen.

Afbeelding 5.2 Gesimuleerde Q90-waterpeilen voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid in het oud referentiescenario pre 2021 en onder winterruwheid. De peilen worden weergegeven in mTAW. (Kaart: W+B 2023)



Overstromingsrisico

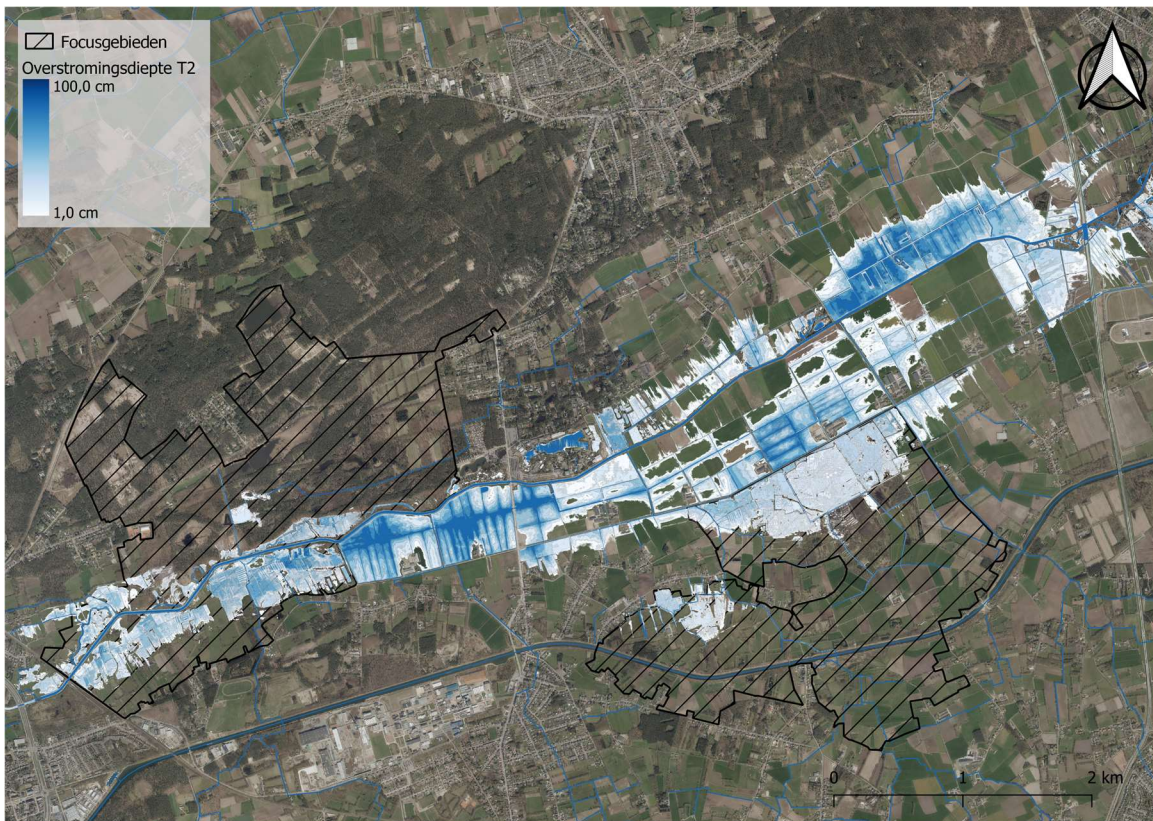
Ondanks de lage peilen bij een Q90-debiet, toont Afbeelding 5.3 een niet verwaarloosbaar overstromingsrisico bij een T2-bui. Ook in de natuurgebieden Olens Broek en Zegge zijn overstromingen bij debieten van die grootte.

In het Olens Broek heeft deze overstroming volgens onze modelresultaten twee oorzaken: (1) door de hoge waterpeilen in de Kleine Nete overstroomt de oever op enkele plaatsen en (2) de Kneutersloop kent vrij grote debieten gedurende extreme neerslag (cfr. T2-bui). Door de hoge waterpeilen in de hoofdloop van de Kleine Nete kan het water uit de Kneutersloop echter niet tijdig wegstromen. De vrij ondiepe Kneutersloop loopt snel vol en zet het omliggende gebied onder water.

Het natuurgebied van de Zegge wordt hydrologisch beïnvloed door de Larumse Loop in het westen, de Zeggeloop in het noordoosten en de Vijzelloop in het noorden. Ook het vijzelgemaal, dat water uit de polder richting de Zegge verpompt heeft een invloed op het systeem en er is overstromingsrisico bij een T2-bui volgens onze modelresultaten (Afbeelding 5.3). Deze overstromingen blijken uit het ICM model deels vanuit de Zeggeloop te ontstaan. Ter hoogte van de Roerdompstraat stroomt het water het gebied in. De Sasloop watert daarentegen nog steeds af naar de Vijzelloop Zuid die het water richting Larumse Loop voert. Deze afwatering gebeurt echter minder vlot door de hoge waterpeilen in de Larumse Loop. Hierbij maken we de belangrijke kanttekening dat de Zeggeloop vereenvoudigd in het model geïmplementeerd zit. Hoewel dit toelaat om de relatieve impact van ingrepen op het oppervlaktewatersysteem in te schatten, is hierdoor is voorzichtigheid geboden om de resultaten als absolute waardes te interpreteren.

De overstromingen in de polder tussen de Kleine Nete en de Roerdompstraat worden tot slot veroorzaakt door het overstroom van de linkeroever van de Kleine Nete en de linkeroever van de Larumse Loop. Daarnaast kent de Centrale Loop een grote input die niet volledig verpompt kan worden door de bemalingspomp.

Afbeelding 5.3 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui in het oud referentiescenario pre 2021 en onder zomerruwheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm ten opzichte van het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



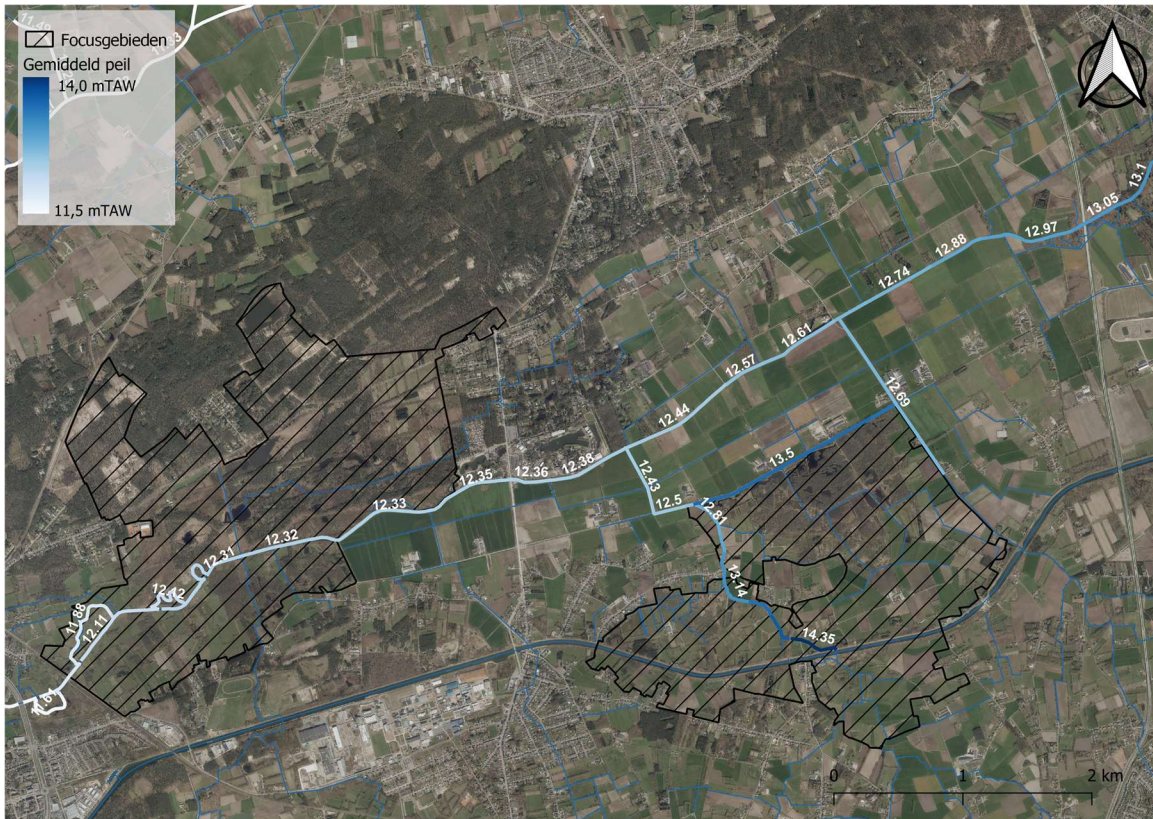
5.2.2 Referentiescenario eind 2023

Gezien de ingrijpende recent uitgevoerde structurele werken aan de Kleine Nete binnen het focusgebied van deze studie kiezen we ervoor het scenario met implementatie van de verbredingen van de Nete en meander M2, M4 en M5 als referentiescenario eind 2023 en dus de huidige toestand.

Gemiddelde waterpeilen

Op Afbeelding 5.4 zien we de gemiddelde waterpeilen na implementatie van de uitgevoerde en geplande ingrepen anno 2023. We zien, zoals verwacht, een stuwende werking in het Olens Broek van maximaal 60 cm ten opzichte van het oude referentiescenario (i.e. toestand pre 2021). Ter hoogte van de landbouwpolder is de opstuwing beperkter door het verbreden van de waterloop en de uitwerking van het stuwende effect van de meanders. Deze maatregelen dragen dus hoofdzakelijk bij tot de vernatting van het Olens Broek. Niettemin is er ter hoogte van de landbouwpolder wel een peilverhoging vast te stellen.

Afbeelding 5.4 Gesimuleerde gemiddelde waterpeilen (Q50) voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid in het referentiescenario eind 2023. en onder winterrutheid. De peilen worden weergegeven in mTAW. (Kaart: W+B 2023)



Drainerende werking

Ook bij lagere Q90-debieten constateren we een peilverhoging in het Olens Broek voor de simulatie van het referentiescenario eind 2023 (zie Afbeelding 5.5). De peilstijging beperkt zich echter tot 20 cm. De Kleine Nete blijft bijgevolg gedurende periodes van laagwater nog steeds een drainerende factor. Omdat we in deze studie richting het inperken van de drainerende werking van de Kleine Nete bij lage debieten willen sturen ligt de oplossing dus niet uitsluitend bij de heraansluiting van meanders M2, M4 en M5.

Afbeelding 5.5 Gesimuleerde Q90-waterpeilen voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid in het referentiescenario eind 2023 en onder winterruwheid. De peilen worden weergegeven in mTAW. (Kaart: W+B 2023)

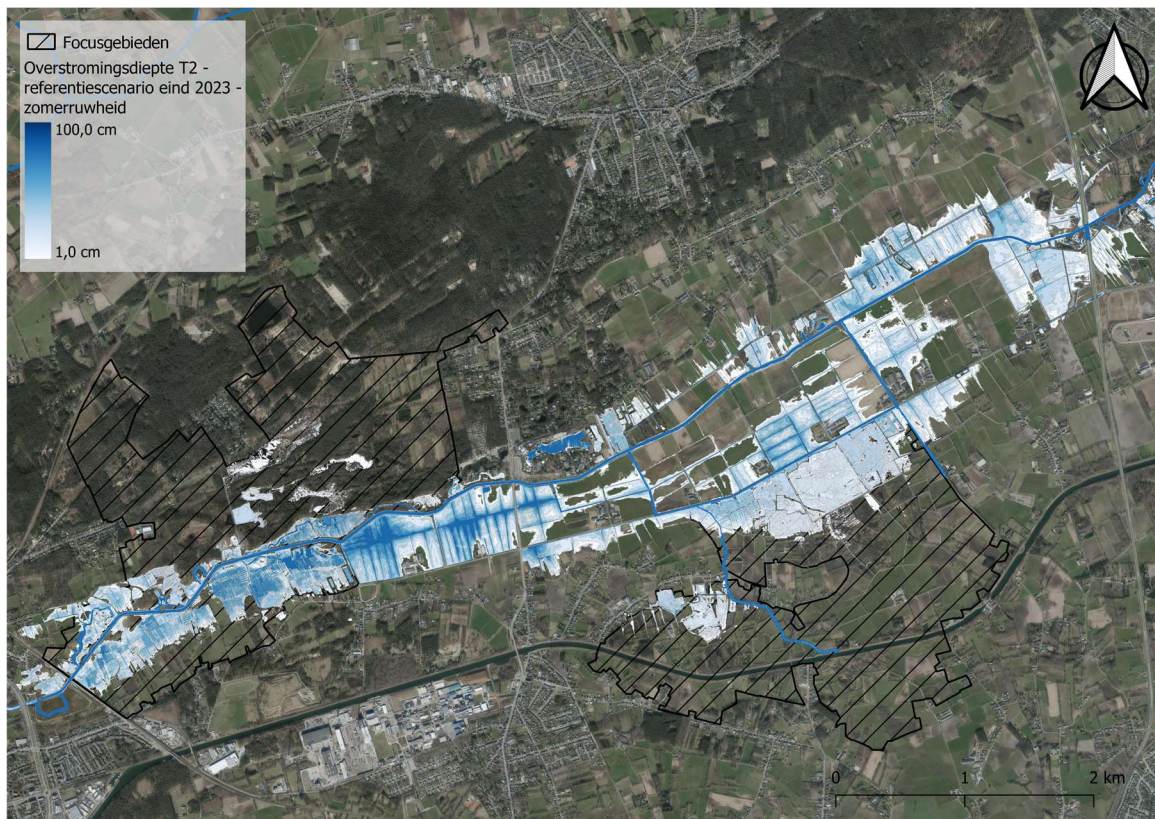


Afbeelding 5.7 toont het verschil in overstromingsdiepte in vergelijking met het oud referentiescenario (i.e. toestand pre 2021). We merken stroomopwaarts van het Olens Broek over het algemeen lagere

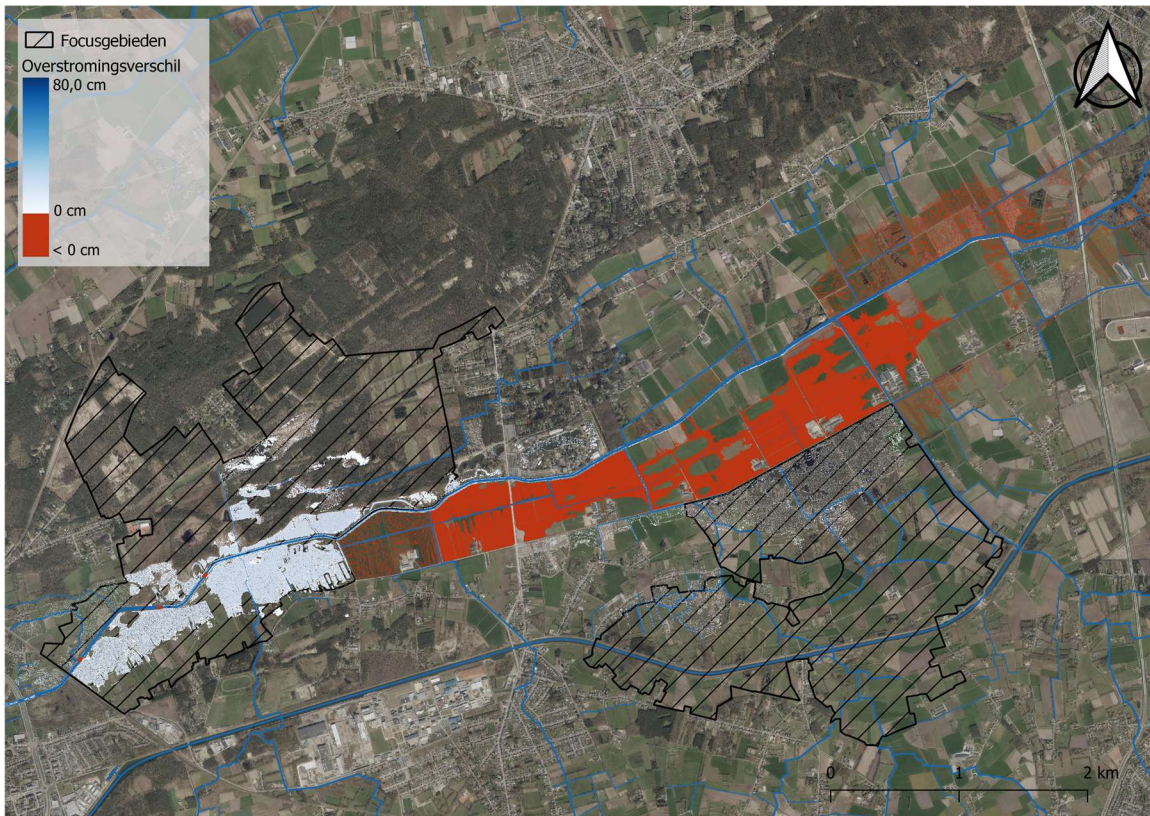
overstromingsdieptes op. De uitgevoerde verbredingswerken gingen immers gepaard met een verhoging van de dijken naast de polder, waardoor de oever hier minder overstroomt. Niettemin stijgt het overstromingsrisico in het Olens Broek volgens de modelresultaten. De meanders veroorzaken door hun stuwende werking meer overstroming over de oevers. Daarnaast is het debietverlies in de polder lager, waardoor de debieten - en bijgevolg peilen - in het natuurgebied vergroten.

In het bijzonder extreme geval van een T100-bui zien we een uitgebreide overstromingscontour (Afbeelding 5.9). Het Olens Broek ontvangt door zijn lage ligging en dijken grote volumes water van de Kleine Nete. Ook delen van de Zegge overstroomt, voornamelijk door de drukkende werking van de Larumse Loop en Zeggeloop. Door de extreme debieten duwt de Kleine Nete het water richting deze zijlopen, van waaruit het de Zegge binnenstroomt.

Afbeelding 5.6 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui in het referentiescenario eind 2023 en onder zomerruwheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm t.o.v. het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



Afbeelding 5.7 Verschil in gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui van het referentiescenario eind 2023 en het oud referentiescenario pre 2021, beiden onder zomerruwheid. Het verschil in overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)

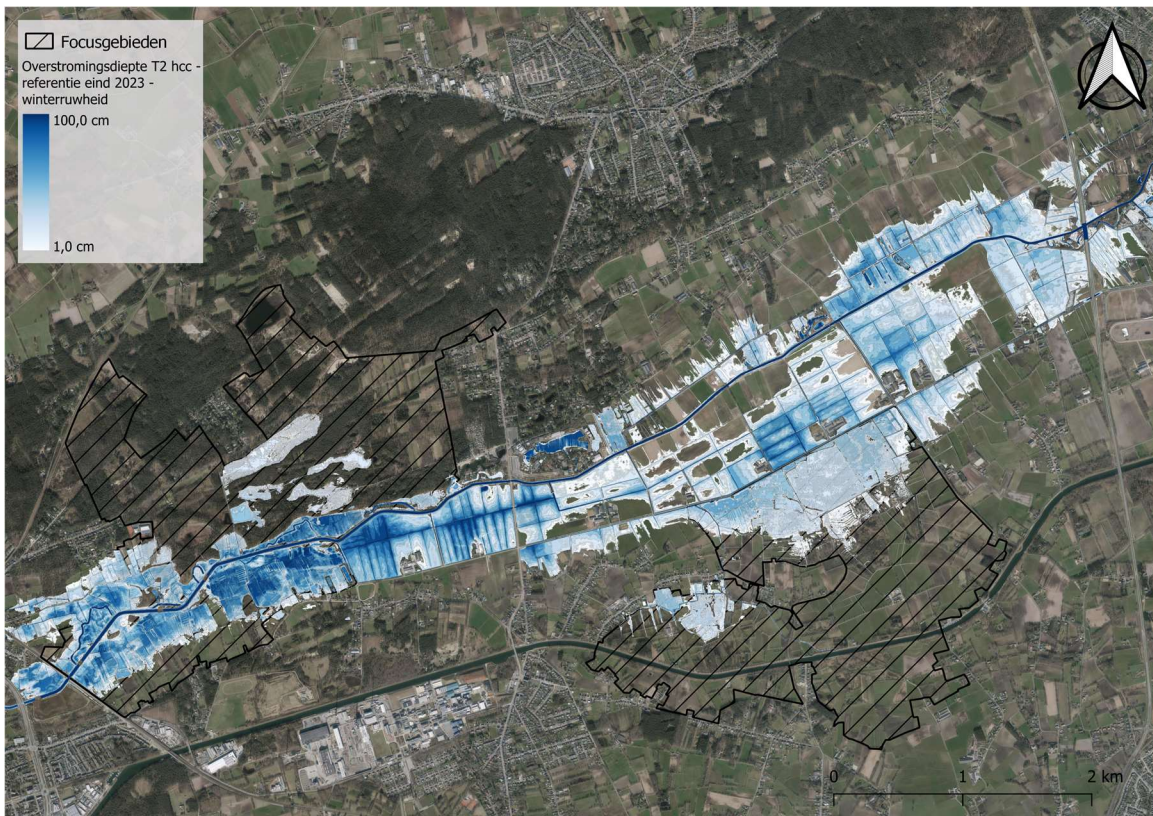


zoals intense regenval, zullen toenemen. Een bui met een terugkeerperiode van twee jaar zal bijgevolg in de toekomst niet dezelfde zijn als de huidige T2-bui.

Voor deze doorrekening gebruiken we de aangepaste debieten zoals aangeleverd door de VMM. Hiervoor wordt de neerslagreeks geperturbeerd aan de hand van de opgestelde perturbatiefactoren in het MIRA-rapport (van Lipzig & Willems, 2015).

Afbeelding 5.10 toont de invloed van klimaatverandering op de referentietoestand eind 2023 bij een neerslagevent dat elke twee jaar voorkomt. Overstromingsdiepte en -vlakte neemt over de hele lijn toe ten opzichte van de huidige T2-simulatie.

Afbeelding 5.10 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui met invloed van klimaatverandering (hcc) in het referentiescenario eind 2023 en onder winterruwheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm ten opzichte van het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



5.3 Modelscenario's vernattingsmaatregelen

Opnieuw bestudeerden we, zoals beschreven in Sectie 5.2, simulaties bij Q50- en Q90-debieten, evenals onder een T2-bui. In onderstaande modelscenario's bestudeerden we echter effecten van mogelijke vernattingsmaatregelen om in afwachting van een meer duurzame oplossing tot een technische oplossing (i.e. het Technisch Scenario) te komen dat op korte termijn kan uitgevoerd worden om de natuurwaarden in de Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek te beschermen. Daarnaast onderzochten we een lange termijn systeemherstel in het Natuurlijk Scenario.

5.3.1 Verkennend scenario

In het verkennend scenario verondiepten we de Kleine Nete en zijn belangrijke zijlopen rond het focusgebied de Zegge zoals beschreven in Hoofdstuk2. Er werd gestreefd naar een herstel van het historisch

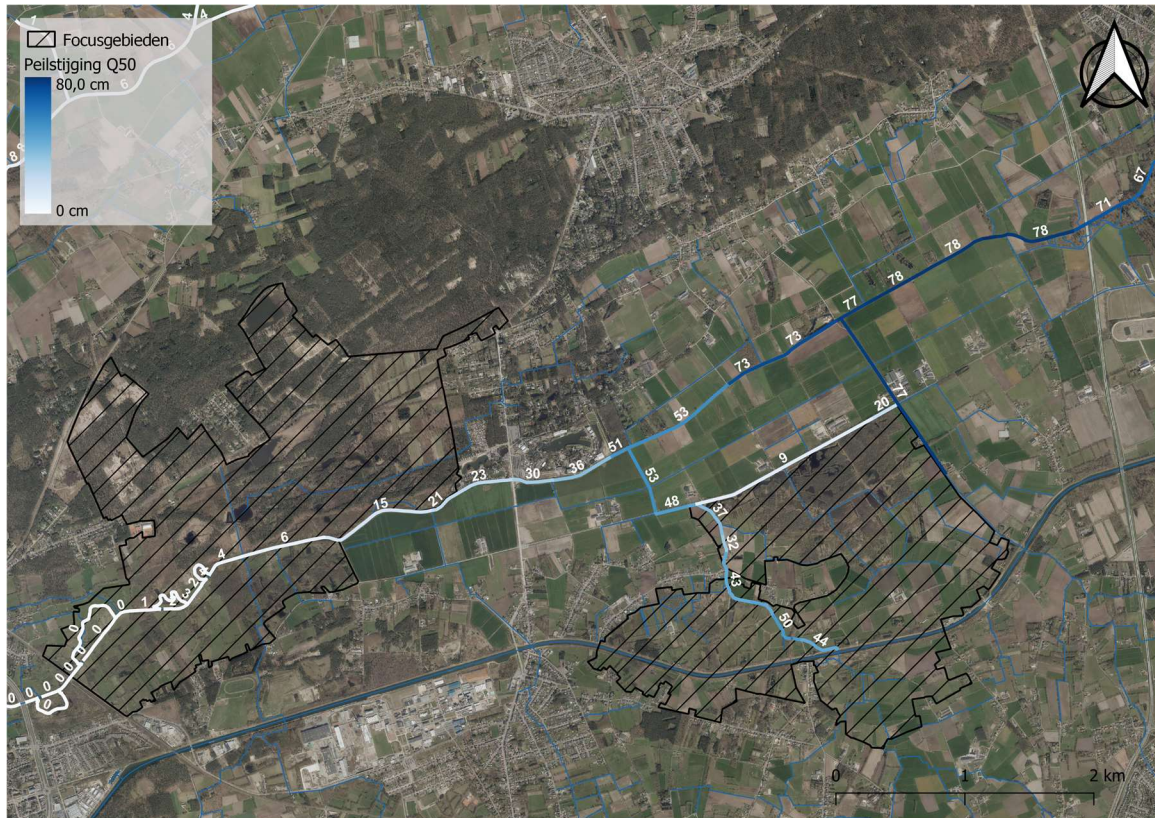
bodempeil van de Kleine Nete, dat ongeveer 120 cm hoger lag dan de peilen in het oud referentiescenario (VMM, 2008) (Afbeelding 3.1).

Gemiddelde waterpeilen

Het ophogen van het bodempeil garandeert echter geen even sterke opstuwung van het gemiddelde waterpeil over de gehele lengte van de ophoging. Afbeelding 5.11 toont aan dat de gevolgen van deze ingreep in het Olens Broek zich beperken tot een maximale opstuwung van 15 cm ten opzichte van het referentiescenario eind 2023. Meer stroomopwaarts merken we een sterkere opstuwung, tot ± 80 cm stroomopwaarts van de Zeggeloop.

De effecten van verondiepingen van waterlopen zijn voornamelijk stroomopwaarts waarneembaar. Daar wordt het water immers afgeremd en ontstaat een stuwende werking. Stroomafwaarts van de verondieping blijven de waterpeilen typisch nagenoeg gelijk. Het natuurlijk verhang van de waterloop leidt tot een afname van het stuwend effect van stroomop- naar stroomafwaarts.

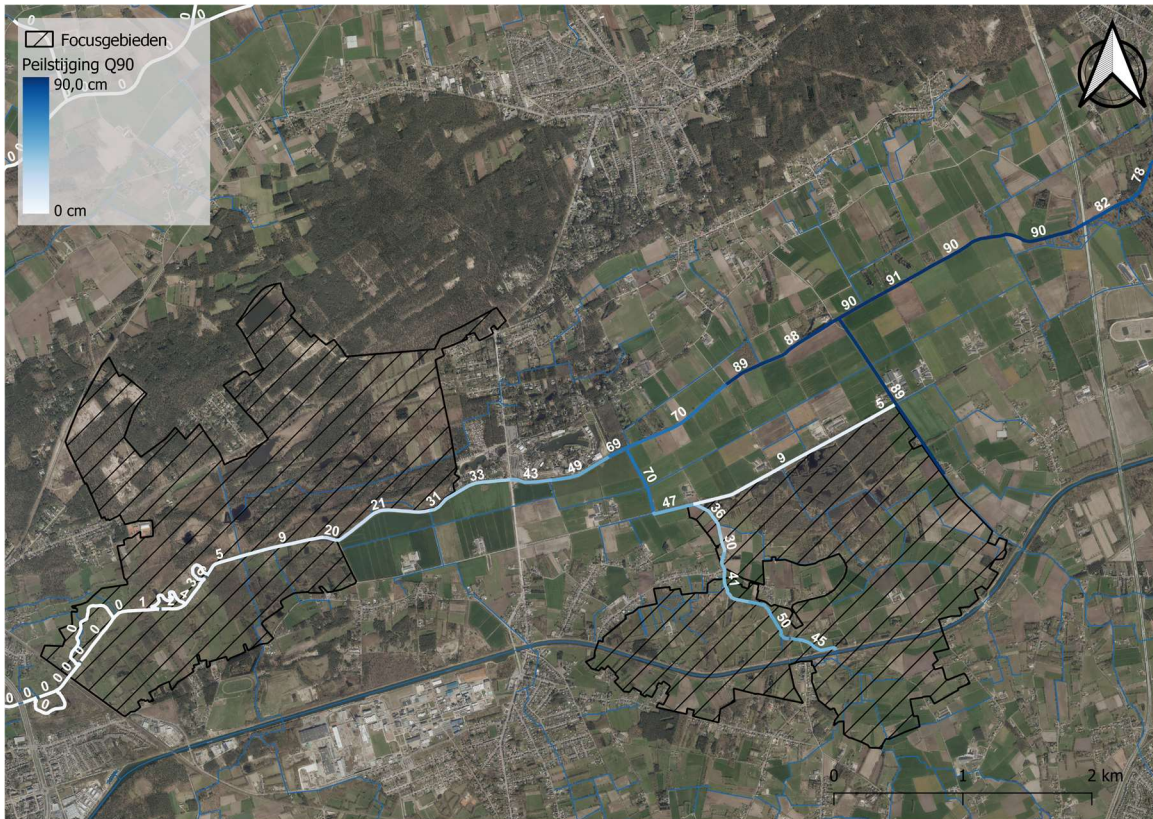
Afbeelding 5.11 Peilverschil tussen gemiddelde waterpeilen (Q50) voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid van het verkennend scenario en het referentiescenario eind 2023, beiden onder winterruwhoed. Het peilverschil wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)



Drainerende werking

Dezelfde trend als bij de Q50-peilen is op te merken bij lagere Q90-debietten (Afbeelding 5.12), maar de relatieve peilstijging tussen het referentiescenario eind 2023 en het verkennend scenario is over het algemeen groter bij Q90-debietten. Daarnaast heeft de Kleine Nete over heel wat secties een bedding die onderaan smaller is dan bovenaan waardoor de peilstijging ten opzichte van lage peilen groter is. In dit scenario blijft de Kleine Nete een drainerende factor voor het Olens Broek.

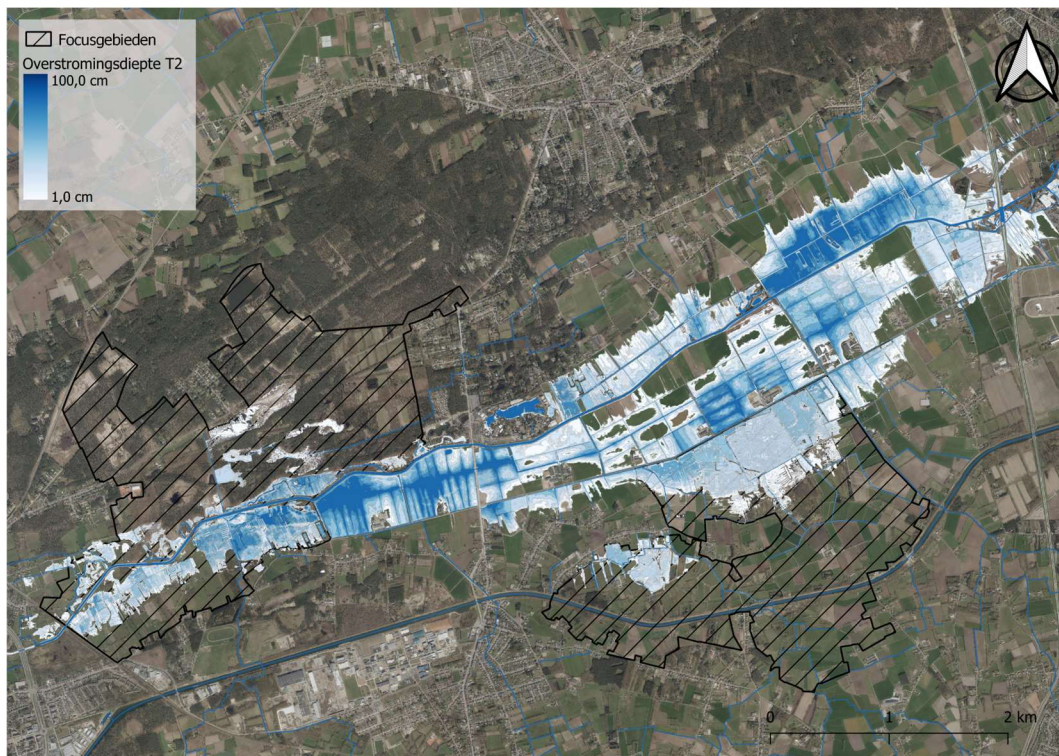
Afbeelding 5.12 Peilverschil tussen Q90-waterpeilen voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid van het verkennend scenario en het referentiescenario eind 2023. Het peilverschil wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)



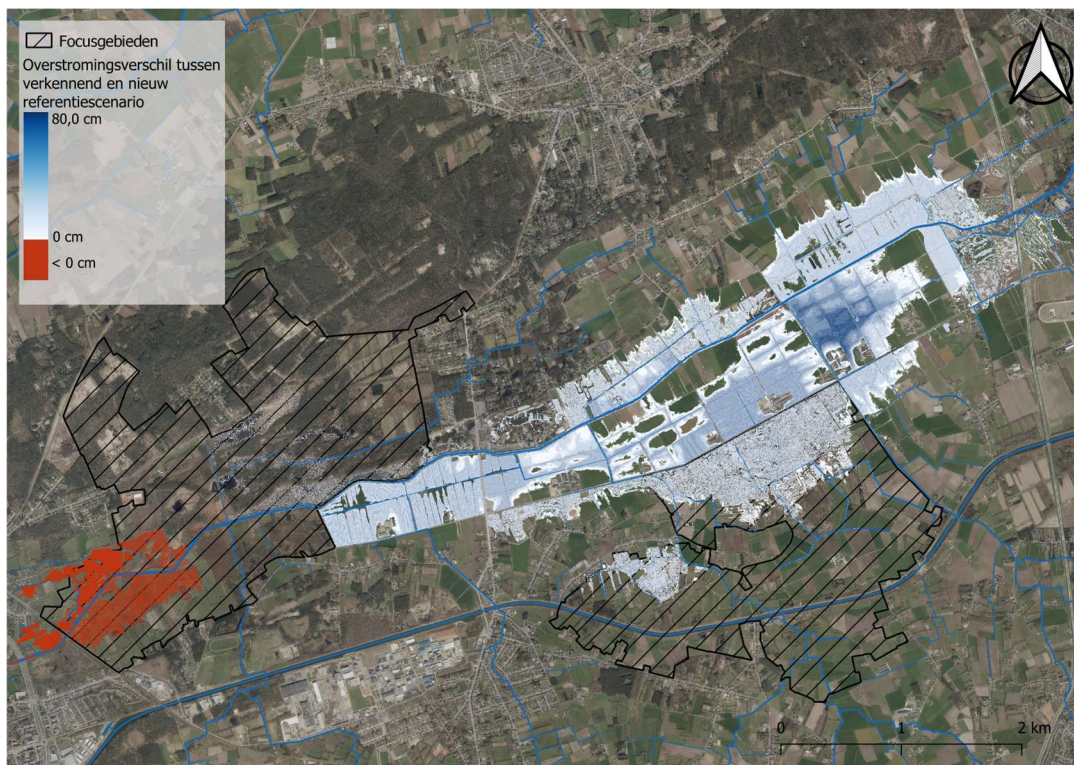
Overstromingsrisico

Opnieuw bekijken we het overstromingsrisico door de overstromingsdiepte bij een T2-bui te visualiseren (Afbeelding 5.13). Het verschil in overstromingsdiepte tonen we ditmaal tussen het verkennend en het referentiescenario eind 2023 in de zomersituatie (zie Afbeelding 5.14). Het gebied stroomopwaarts van het Olens Broek toont hier grotere overstromingsdieptes dan in het referentiescenario. Het stuwend effect van de verondieping heeft immers hoofdzakelijk hier een grote invloed. De oevers overstromen sneller en meer dan in het referentiescenario. Tegelijkertijd daalt de overstromingsdiepte in het Olens Broek door het groter volume dat stroomopwaarts geborgen wordt in het overstroomde land. Afbeelding 5.15 toont tot slot de overstromingsdiepte in de wintersituatie. De overstromingscontouren hebben hier een beperktere omvang door het verschil in ruwheid van de rivierbedding.

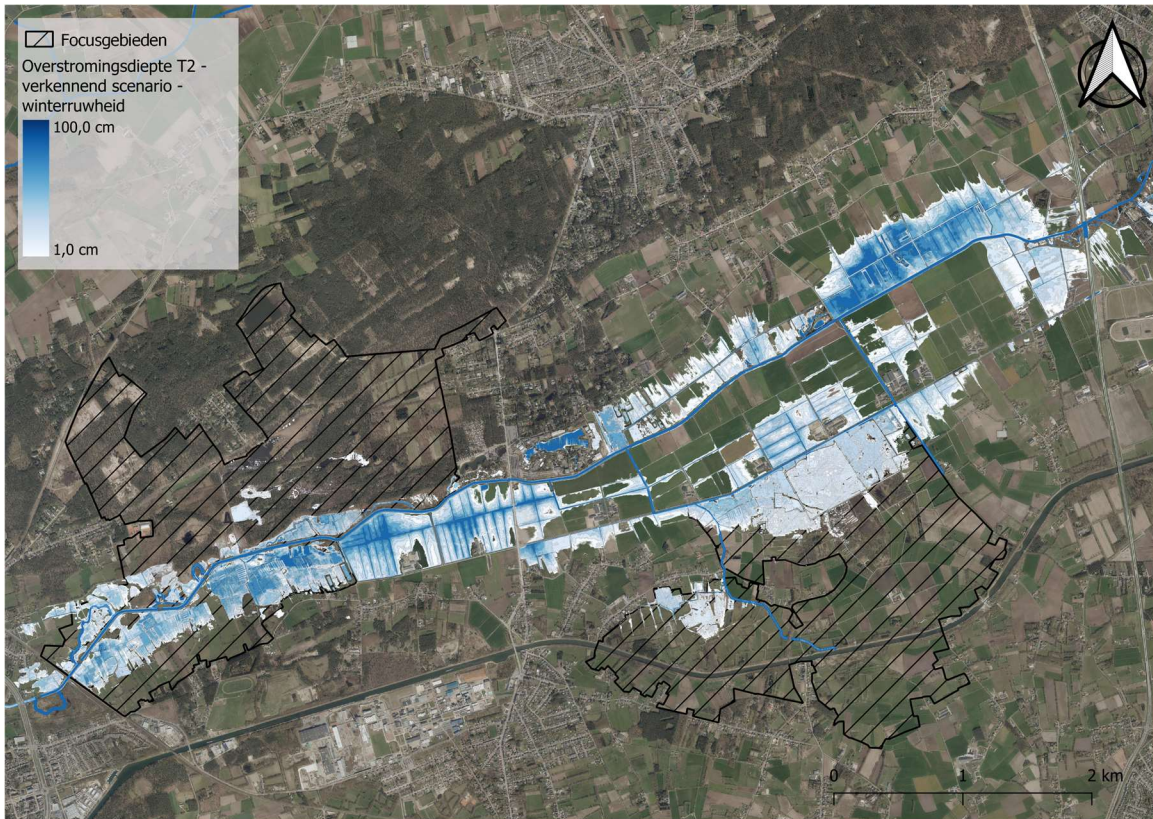
Afbeelding 5.13 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui in het verkennend scenario en onder zomerrutheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm ten opzichte van het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



Afbeelding 5.14 Verschil in gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui van het verkennend scenario en het referentiescenario eind 2023, beiden onder zomerrutheid. Het verschil in overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)



Afbeelding 5.15 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui in het verkennend scenario en onder winterrutheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm t.o.v. het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



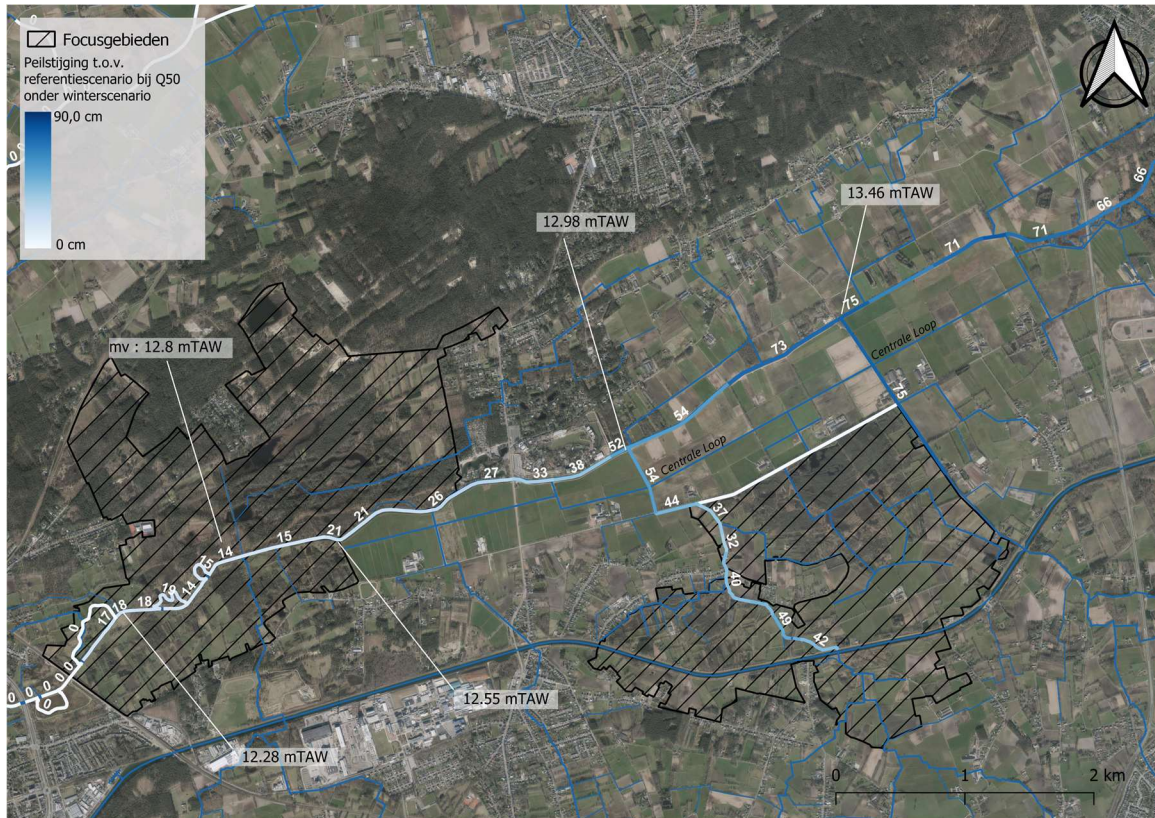
5.3.2 Tussenliggend scenario

Zoals beschreven in Sectie 3.2 vertrekt dit scenario vanuit het verkennend scenario. Het tracht echter verder in te zetten op een opstuwung van laagwaterpeilen om de drainerende werking van de waterloop tijdens droge periodes te beperken en tegelijkertijd het overstromingsrisico in de natuurkernen te verminderen.

Gemiddelde waterpeilen

Gezien we met de maatregelen in dit scenario voornamelijk sturen op de extreme debieten verwachtten we geen grote veranderingen in de gemiddelde waterpeilen. Afbeelding 5.16 bevestigt deze verwachting. De waterpeilen blijven nagenoeg gelijk in vergelijking met het verkennend scenario. Uitzondering hierop zijn de peilen afwaarts in het Olens Broek, waar het stuwend effect van de inlaatverhoging van de meanders een beperkte verhoging veroorzaakt.

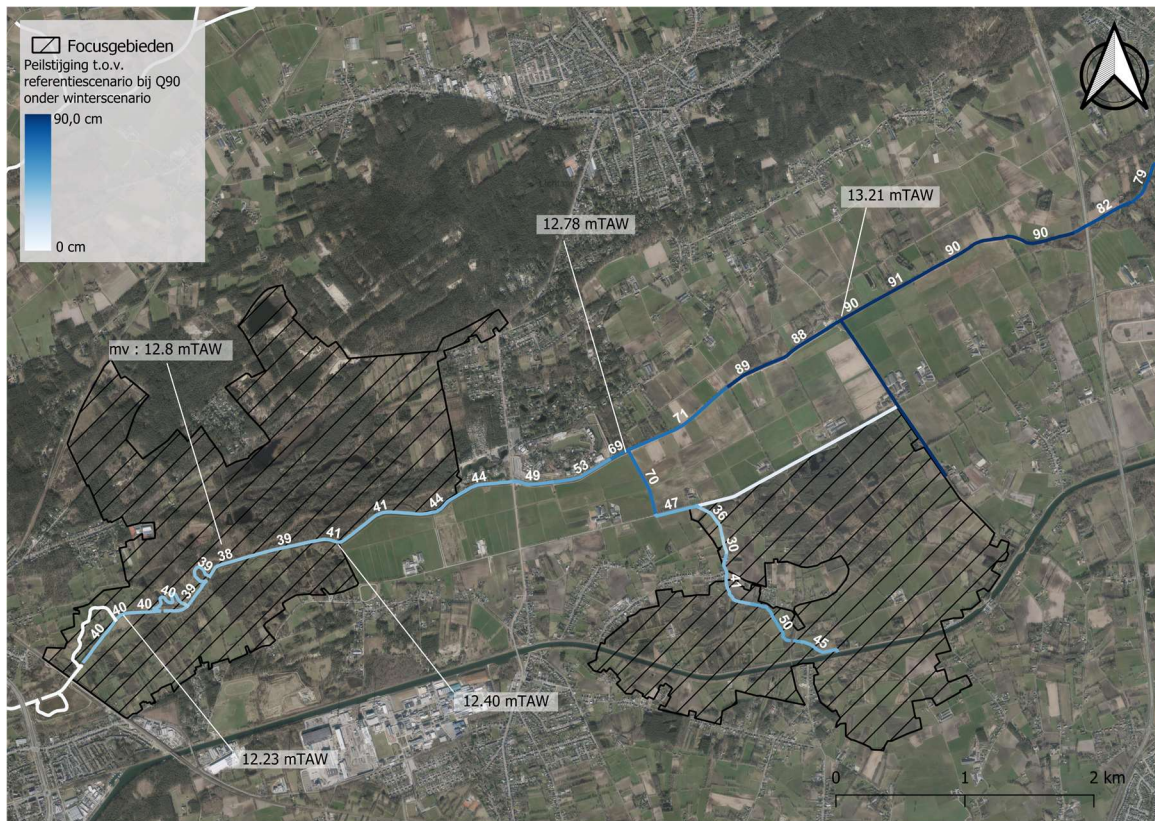
Afbeelding 5.16 Peilverschil tussen gemiddelde waterpeilen (Q50) voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid van het tussenliggend scenario en het referentiescenario eind 2023, beiden onder winterruwheid. Het peilverschil wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)



Drainerende werking

Afbeelding 5.17 toont een grotere opstuwung in het Olens Broek dan te zien was in het verkennend scenario (Afbeelding 5.12). Door het verhogen van de inlaat van meander M2, M4 en M5 verkrijgen we een lokale opstuwung van ± 40 centimeter bij Q10-waterpeilen. Deze ingrepen maken het bijgevolg mogelijk het gebied gedurende periodes van laagwater natter te houden en de drainerende werking van de Kleine Nete richting grondwaterstanden te reduceren.

Afbeelding 5.17 Peilverschil tussen Q90-waterpeilen voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid van het tussenliggend scenario en het referentiescenario eind 2023. Het peilverschil wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)

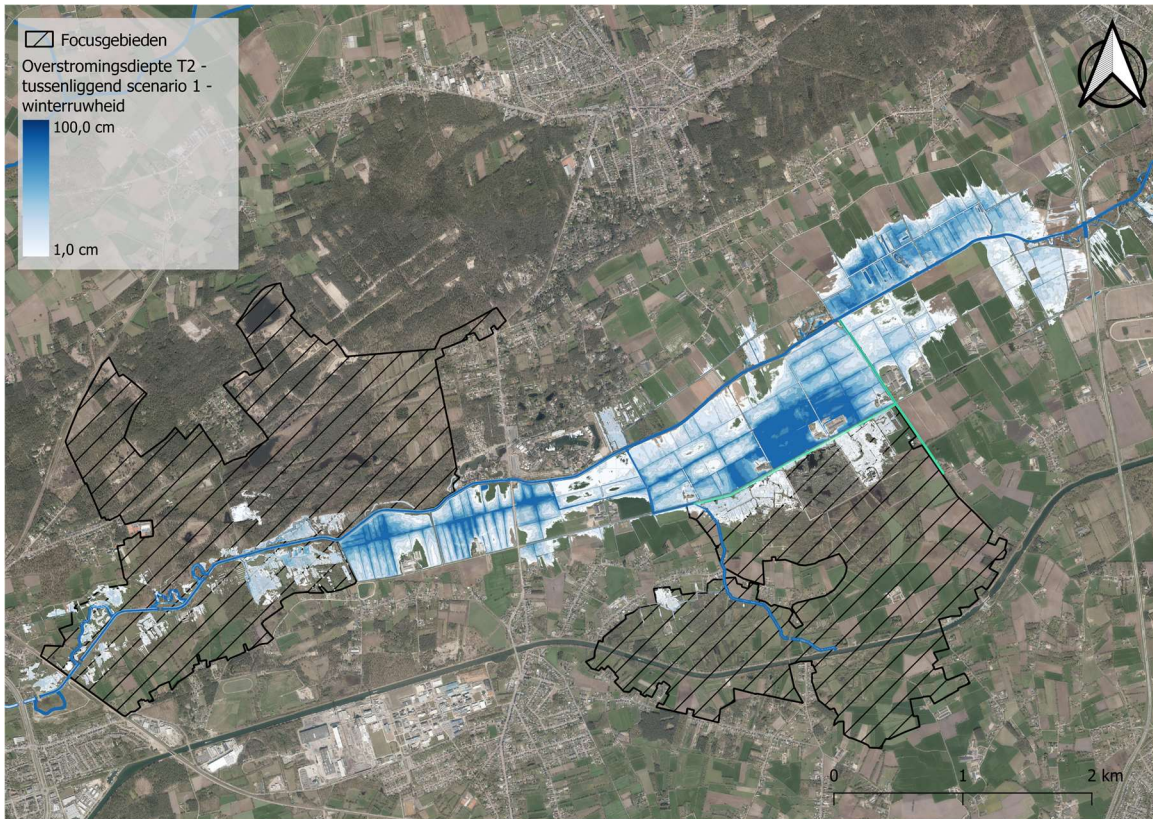


Overstromingsrisico

Hierboven bespreken we steeds het overstromingsrisico in de zomersituatie. In wat volgt wordt het overstromingsrisico onder de winterruwhoed besproken.

Wanneer we het overstromingsrisico in Afbeelding 5.18 vergelijken met het overstromingsrisico in het verkennend scenario (Afbeelding 5.15), valt in eerste instantie de vergrote overstromingsvlakte in de polder op. De grootste toename is te zien tussen de Zeggeloop en de Larumse Loop. Hierop stuurden we door de verlaging van de linkerdijk overheen deze sectie. We zien daarnaast dat het lokaal bergen van het overstromingsvolume de overstromingsproblematiek afwaarts ter hoogte van het Olens Broek reduceert. Ook in het natuurgebied de Zegge wordt de problematiek veel kleiner. Dit komt door de algemeen lagere waterpeilen in de Kleine Nete, waardoor de Larumse Loop beter kan afwateren.

Afbeelding 5.18 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui in het tussenliggend scenario en onder winterrutheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm t.o.v. het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



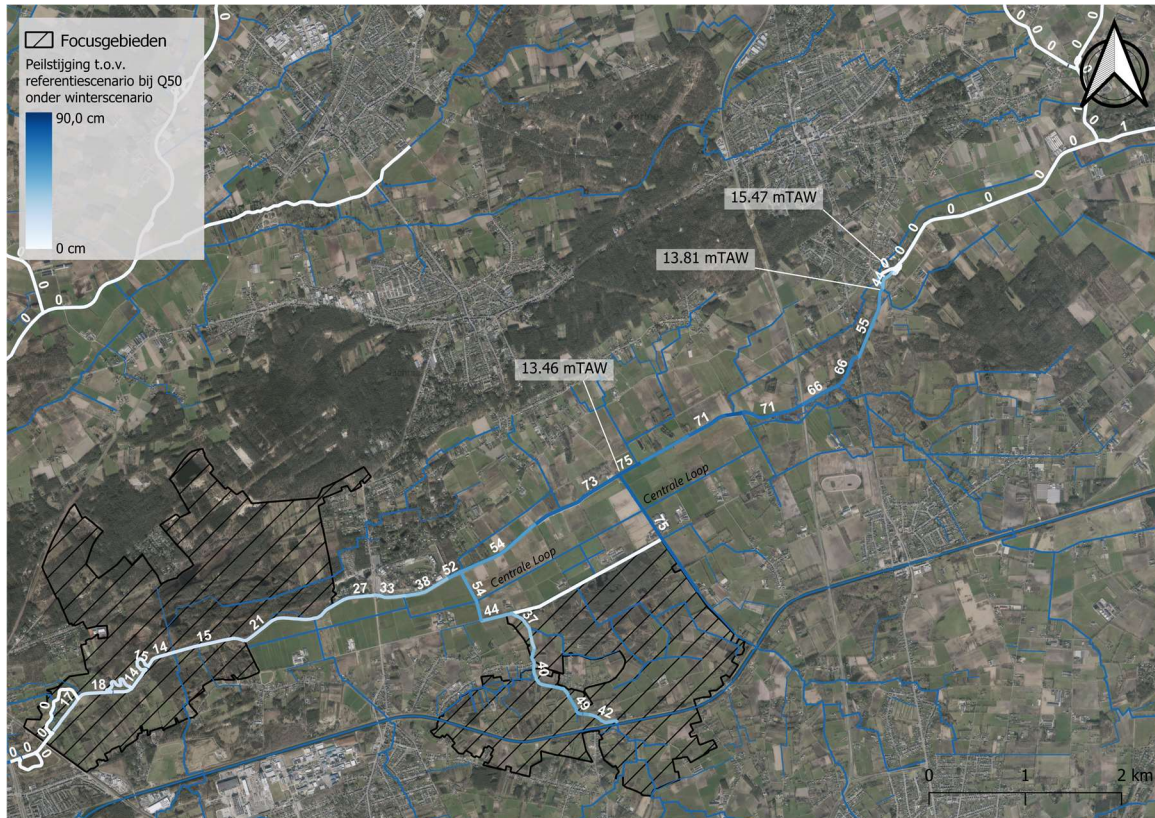
5.3.3 Technisch scenario

Het technisch scenario bouwt verder op het tussenliggend scenario (zie Sectie 3.3). We nemen geen bijkomende maatregelen om te sturen op laagwaterpeilen, maar zetten met dit scenario voornamelijk verder in op de reductie van het overstromen van de natuurkernen door middel van dijkwijzigingen en het verwijderen van enkele kunstwerken.

Gemiddelde waterpeilen

Zoals verwacht toont Afbeelding 5.19 gelijkaardige Q50-waterpeilen als in het tussenliggend scenario. Deze afbeelding toont eveneens de gevolgen van de stuwende werking op de opwaartse peilen van de verondieping. De effecten trekken zich door tot de stuw van Kasterlee bereikt wordt. Daar controleert deze stuw de opwaartse peilen en is het effect van de afwaartse verondieping dus beperkt of onbestaande.

Afbeelding 5.19 Peilverschil tussen gemiddelde waterpeilen (Q50) voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid van het technisch scenario en het referentiescenario eind 2023, beiden onder winterrutheid. Het peilverschil wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)



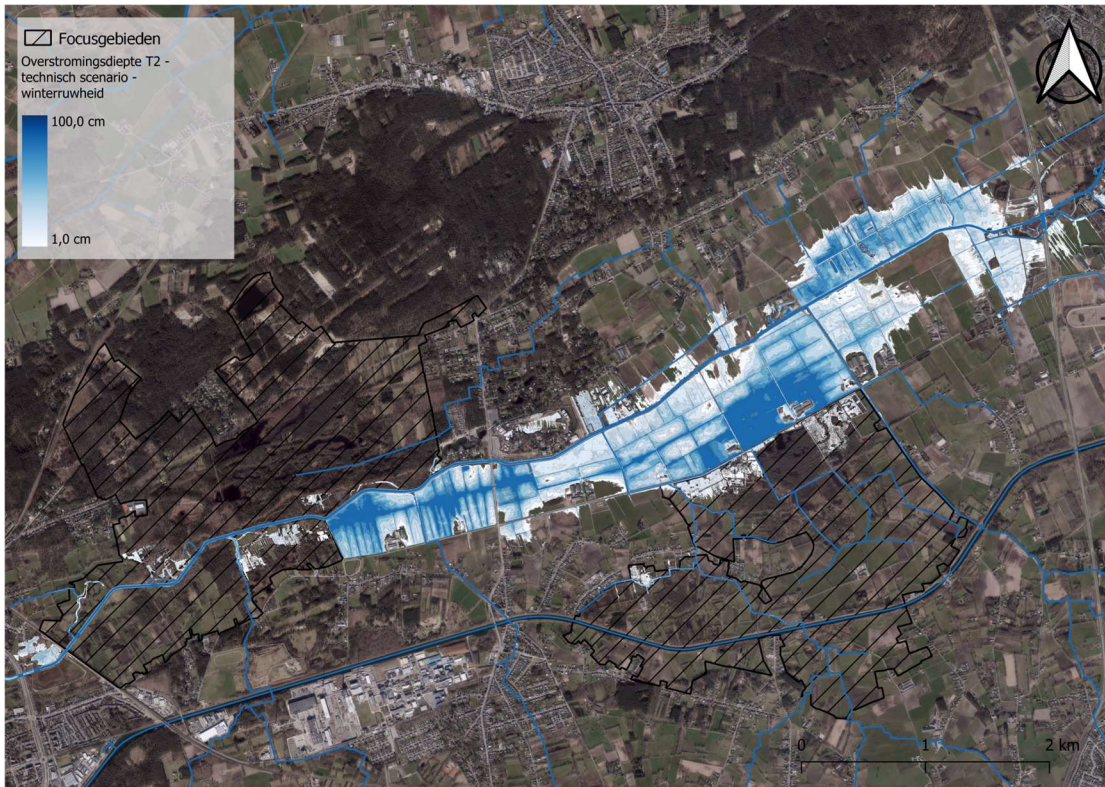
Drainerende werking

De Q90-waterpeilen wijken niet af van het tussenliggend scenario en worden bijgevolg niet weergegeven op een figuur.

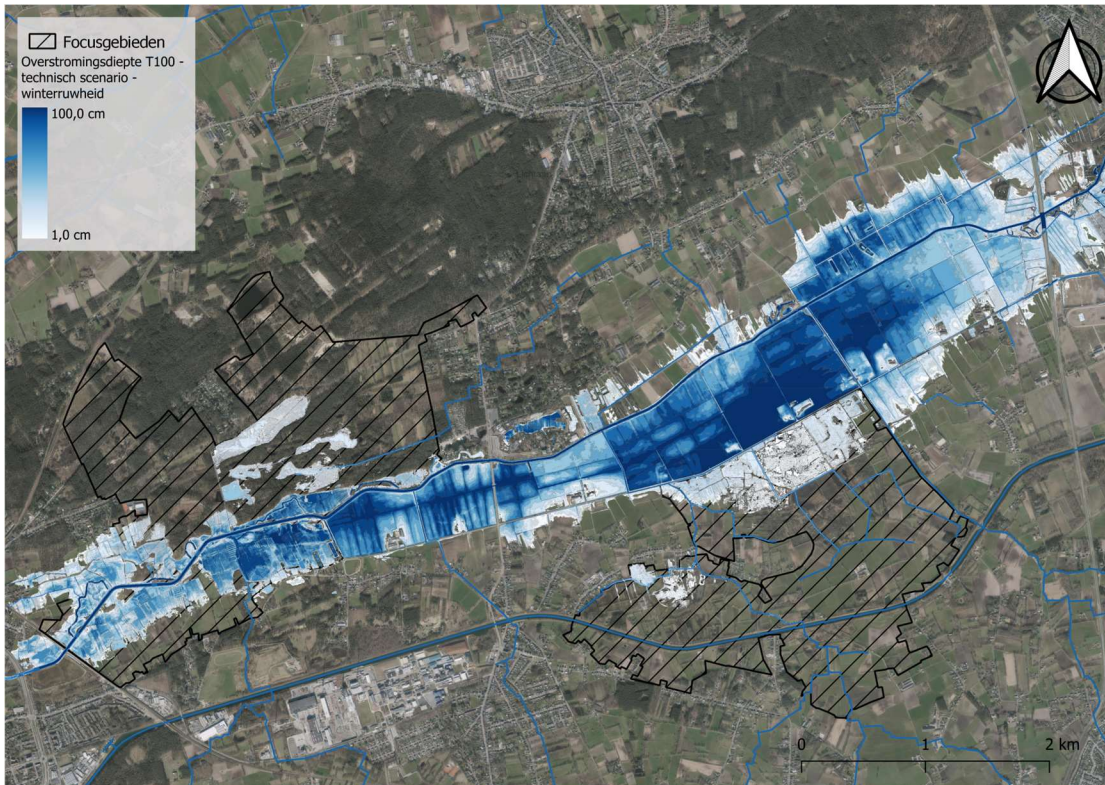
Overstromingsrisico

Door het verlengen van de overstroombare linkerdiijk maken we het mogelijk nog grotere volumes te bergen in de polder dan in het tussenliggend scenario. Tegelijkertijd zorgt ook het verwijderen van de lokale laagtes in de dijk ter hoogte van het Olensbroek voor een robuustere overstromingsbeheersing. Hierdoor wordt de overstromingsproblematiek in het Olens Broek kleiner. Ook in de Zegge is een lager overstromingsvolume het resultaat. De reden hiervoor is meerledig. Eerst en vooral zorgt het overstroombaar maken van de dijk voor lagere peilen in de Kleine Nete en bijgevolg eveneens in de Larumse Loop en de Zeggeloop. Hierdoor 'drukken' de zijlopen minder op het natuurgebied van de Zegge en is een betere afwatering van het gebied mogelijk. Bijkomend zorgt het sluiten van de schuif aan de kruising van de Zeggeloop en Vijzelloop Zuid en het verwijderen van de kokers in de Larumse Loop voor een reductie van de overstromingen vanuit het oosten en het westen. Door het sluiten van de schuif wordt de connectie met de Zeggeloop doorbroken. Door het verwijderen van de kokers wordt een, onder hoogwater, stuwend kunstwerk weggehaald, waardoor de Vijzelloop Zuid en bijgevolg ook de Sasloop beter kan afwateren.

Afbeelding 5.20 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui in het technisch scenario en onder winterruwheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm t.o.v. het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



Afbeelding 5.21 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T100-bui in het technisch scenario en onder winterruwheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm t.o.v. het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)

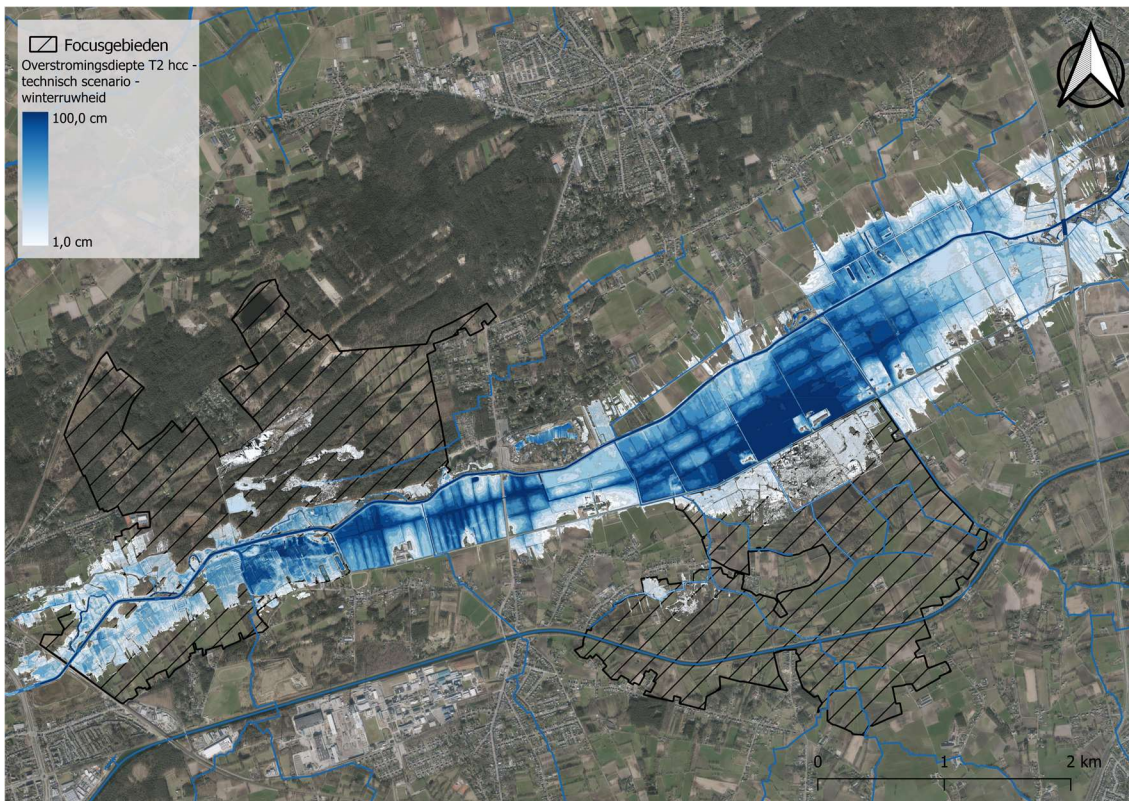


Invloed klimaatverandering

We beschouwen eveneens een simulatie van een T2-bui onder klimaatverandering. Dit geeft ons zowel inzicht in de toekomstige overstromingsfrequenties als in de robuustheid van het aangepaste systeem. Simulaties van het technisch scenario gedurende een T2-bui onder hoge impact klimaatverandering tonen vanzelfsprekend extremere overstromingen dan zonder klimaatverandering. In het Olens Broek nemen de overstromingen opnieuw toe, gezien de dijken opnieuw overschreden worden. Niettemin is de overstroming van het natuurareaal beperkter dan in het referentiescenario eind 2023 (Afbeelding 5.10).

De overstromingsdiepte en -vlakte in het natuurgebied van de Zegge neemt drastisch af. Ook in het Olens Broek is de overstroming beperkter, al is het verschil daar een stuk kleiner. Dit is echter deels te verklaren door het verwijderen van de zijloopjes, waardoor het binnenkomend water modelmatig trager uitstroomt.

Afbeelding 5.22 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui met invloed van klimaatverandering (hcc) in het technisch scenario en onder winterruwheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm t.o.v. het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



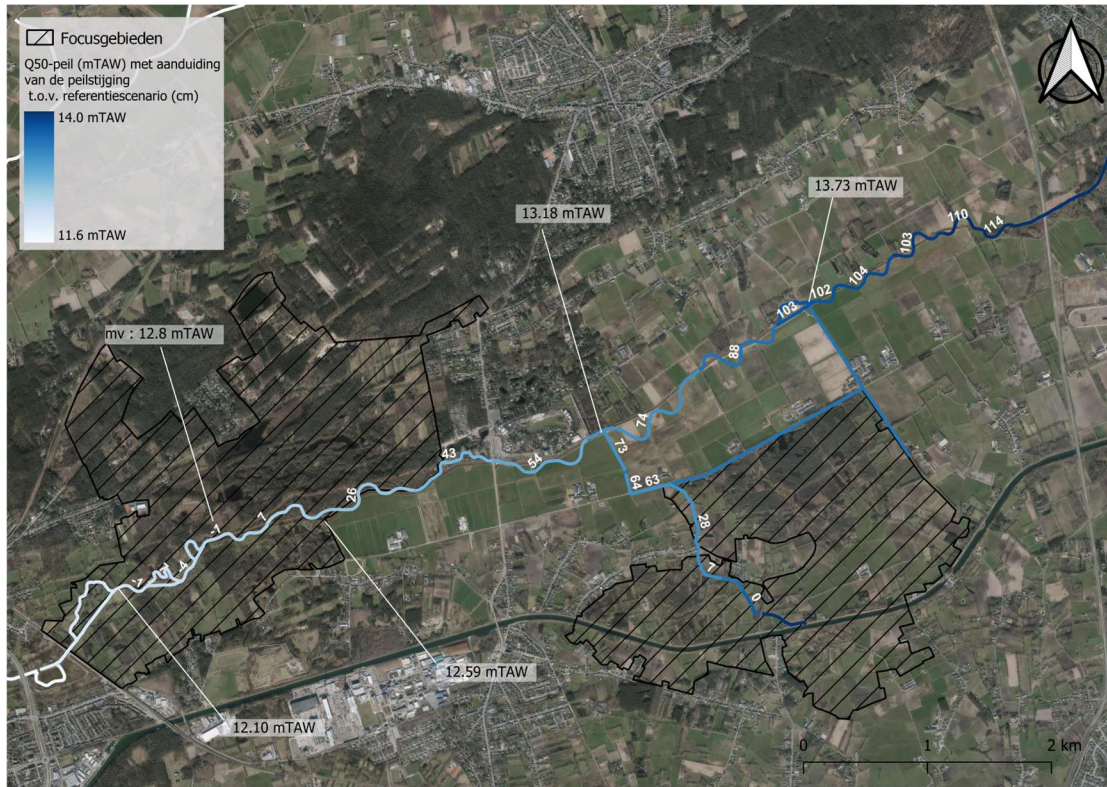
5.3.4 Natuurlijk scenario

In het natuurlijk scenario passen we de waterloop en zijn oevers zo aan dat de loop opnieuw natuurlijk uit zijn oevers treedt en het volledige beekdal benut om overstromingen te spreiden. Tevens verondiepen en verlengen we de Kleine Nete door herprofilering en meandering, waarbij eveneens extra vertraging optreedt.

Gemiddelde waterpeilen

Het natuurlijk scenario heeft een gelijkaardig effect op de gemiddelde waterpeilen als het verkennend en technisch scenario (Afbeelding 5.23). Waterpeilen nemen vooral toe verder stroomopwaarts. Dit is zo om dezelfde reden als hierboven beschreven. De peilen nemen echter sneller en meer toe ten opzichte van de vorige scenario's. Naast een verondieping omvat dit scenario immers ook een herprofilering waardoor de loop smaller wordt en de meandering die een vertraging van het water in de hand werkt. Deze effecten trekken zich opnieuw opwaarts door tot de stuw van Kasterlee bereikt wordt.

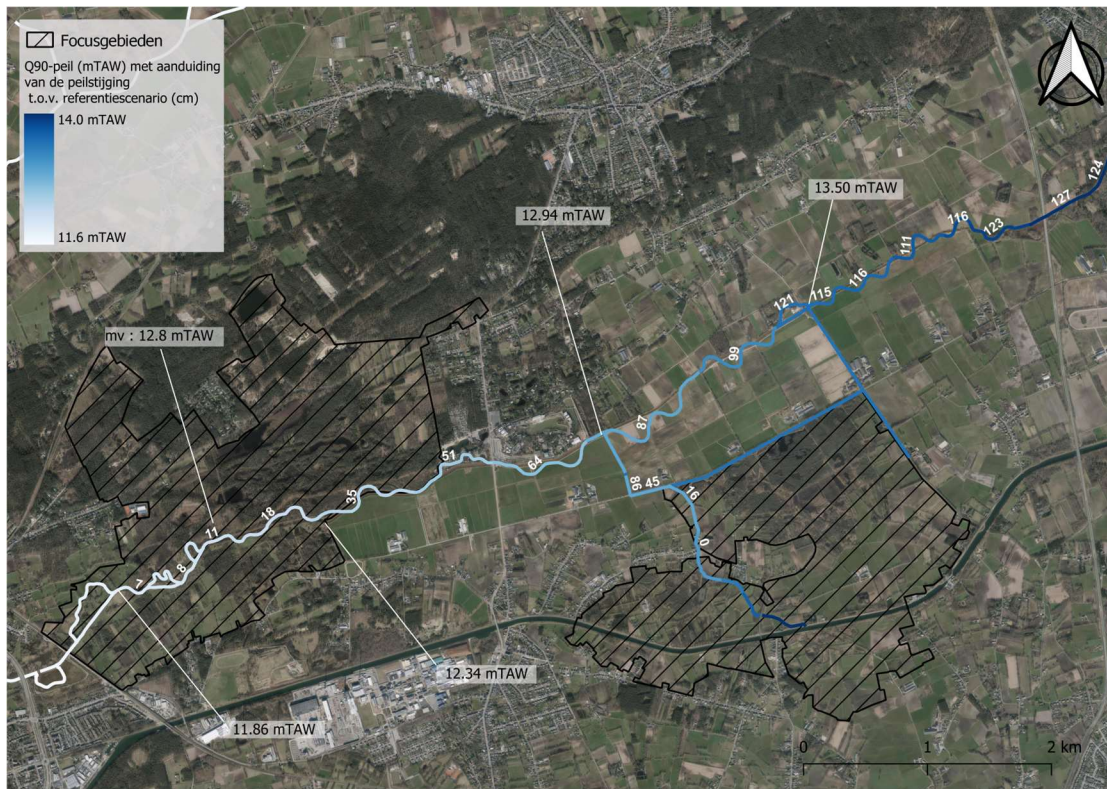
Afbeelding 5.23 Peilverschil tussen gemiddelde waterpeilen (Q50) voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid van het natuurlijk scenario en het referentiescenario eind 2023, beiden onder winterrutheid. Het peilverschil wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)



Drainerende werking

De opstuwing in het afwaartse gedeelte van het Olens Broek bij Q90-waterpeilen is kleiner dan in het technisch scenario (Afbeelding 5.24). In het technisch scenario stuwen we immers aanzienlijk op door het verhogen van de meanderinlaten. In een meer natuurlijk scenario verwijderen we mogelijk stuwende constructies. Door de aansluiting van de waterpeilen op de peilen stroomafwaarts zakken deze peilen terug naar hun oorspronkelijk niveau. Niettemin veroorzaakt de herprofilering en meandering een sterkere opstuwing stroomopwaarts. Zo krijgen we stroomopwaarts in het Olens Broek een even sterke opstuwing als in het technisch scenario. Nog verder opwaarts richting de Zeggeloop neemt de stuwende werking verder toe tot een maximale opstuwing van 114 cm ten opzichte van 91 cm in het technisch scenario. Ook deze ingrepen maken het bijgevolg mogelijk het gebied gedurende periodes van laagwater natter te houden en de drainerende werking van de Kleine Nete richting grondwaterstanden te reduceren.

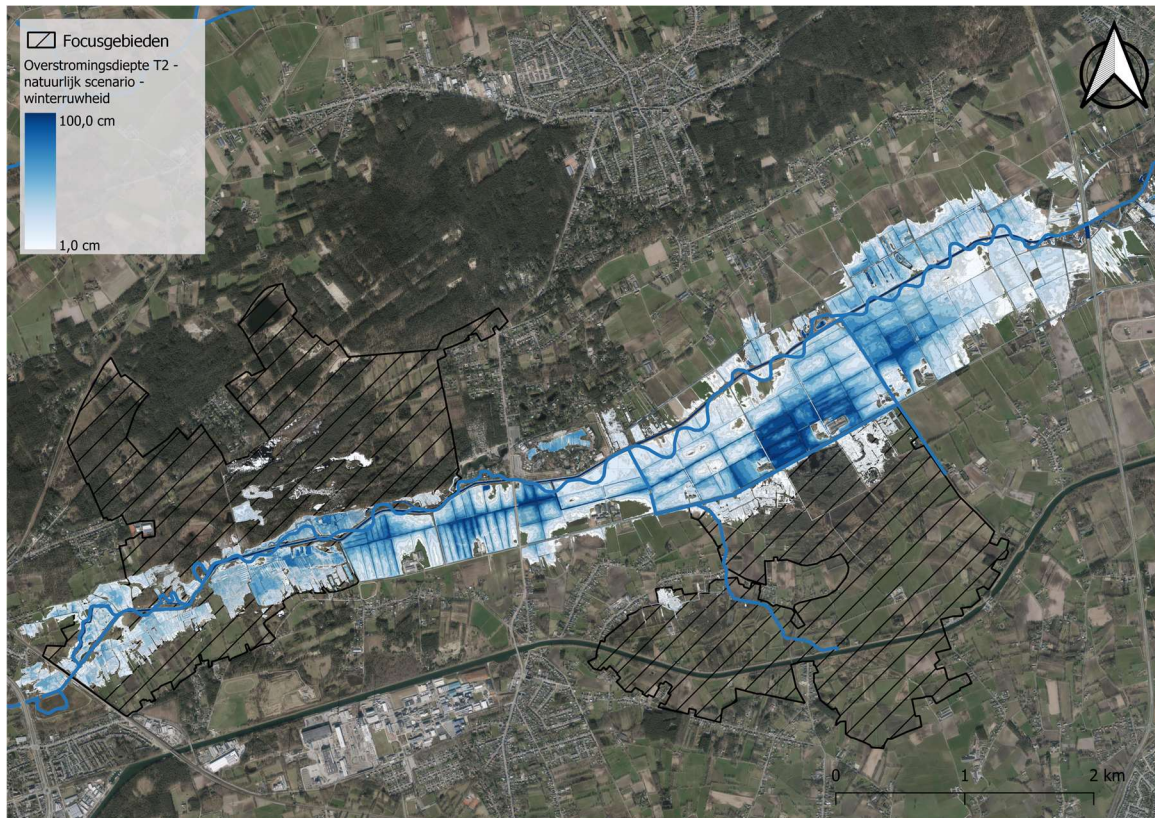
Afbeelding 5.24 Peilverschil tussen Q90-waterpeilen voor de Kleine Nete, Larumse Loop, Zeggeloop en Vijzelloop Zuid van het natuurlijk scenario en het referentiescenario eind 2023. Het peilverschil wordt weergegeven in cm. (Kaart: W+B 2023)



Overstromingsrisico

Afbeelding 5.25 toont de overstromingscontour bij een T2 in het natuurlijk scenario. Hierbij is de overstroming meer gespreid over de volledige vallei, waardoor het natuurlijk overstromingsgebied opnieuw sterker wordt ingezet. Daarnaast kennen de Zegge en het Mosselgoren een sterke afname van de overstromingen ten opzichte van het referentiescenario (Afbeelding 5.8). Deze gebieden worden immers ontlast door het inzetten van een grote overstromingsvlakte, waardoor de peilen in de Kleine Nete minder hard stijgen dan bij een indijking en het 'drukkend' effect op de Larumse Loop en de Zeggeloop kleiner wordt. Ook het Olens Broek toont een reductie van de overstromingen, voornamelijk in overstromingsdiepte. De reden voor de aanwezigheid van de weergegeven overstromingscontouren is een combinatie van het inrichten van natuurlijke oevers, die lager liggen dan de huidige, en de lokale depressie die het gebied van nature vormt. Belangrijk op te merken blijft dus dat dit scenario gepaard moet gaan met een verbetering van de waterkwaliteit.

Afbeelding 5.25 Gesimuleerde overstromingsdiepte bij een T2-bui in het natuurlijk scenario en onder winterruwheid. De overstromingsdiepte wordt weergegeven in cm t.o.v. het maaiveld. (Kaart: W+B 2023)



5.3.5 Overzicht modelscenario's

Tabel 5.1 en 5.2 geven finaal een overzicht van de gemodelleerde waterpeilen op vijf punten van het tracé van de Kleine Nete voor de verschillende scenario's. Ze tonen de waterpeilen bij respectievelijk een Q50- en Q90-debiet. Afbeelding 5.26 geeft visueel weer waar de gemodelleerde peilen gesampeld werden.

Tabel 5.1 Overzicht van gemodelleerde peilen (mTAW) voor de verschillende scenario's bij een Q50-debiet.

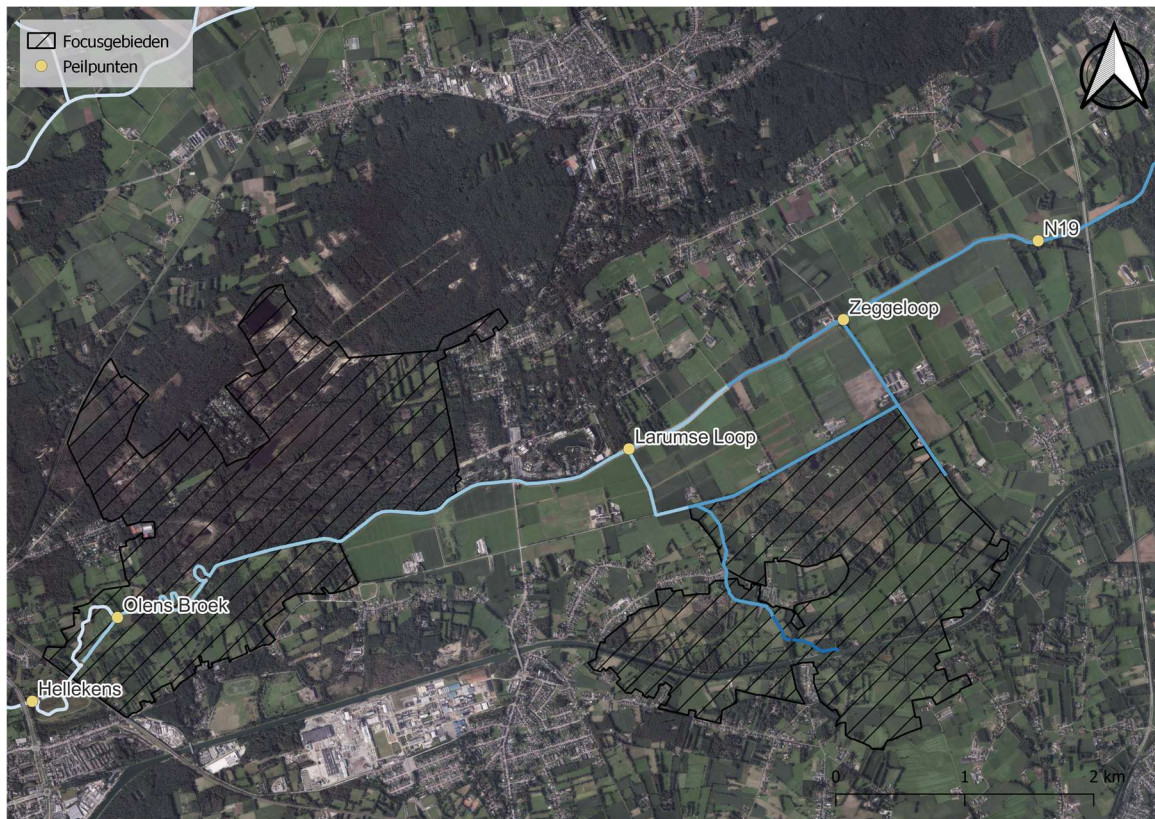
Q50	N19	Zeggeloop	Larumse Loop	Olens Broek	Hellekens
oud referentiescenario	12,93	12,60	12,12	11,65	11,62
referentiescenario eind 2023	12,97	12,69	12,43	12,11	11,62
verkennend scenario	13,75	13,46	12,96	12,11	11,62
tussenliggend scenario	13,75	13,46	12,98	12,28	11,62
technisch scenario	13,75	13,46	12,98	12,28	11,62
natuurlijk scenario	14,10	13,73	13,18	12,05	11,62

Tabel 5.2 Overzicht van gemodelleerde peilen (mTAW) voor de verschillende scenario's bij een Q90-debiet.

Q90	N19	Zeggeloop	Larumse Loop	Olens Broek	Hellekens
oud referentiescenario	12,62	12,31	11,85	11,59	11,57
referentiescenario eind 2023	12,64	12,39	12,07	11,83	11,57

Q90	N19	Zeggeloop	Larumse Loop	Olens Broek	Hellekens
verkennend scenario	13,54	13,25	12,77	11,83	11,57
tussenliggend scenario	13,54	13,21	12,78	12,23	11,57
technisch scenario	13,54	13,21	12,78	12,23	11,57
natuurlijk scenario	13,87	13,50	12,94	11,86	11,57

Afbeelding 5.26 Overzichtskaart van de locaties waar het gemodelleerde waterpeil gesampeld werd. (Kaart : W+B, 2024)



6

ALGEMENE CONCLUSIE

De Natuurgebieden van de Zegge-Mosselgoren en het Olens Broek hebben naast verdroging (op vlak van grondwaterstanden) vandaag te kampen met frequente overstromingen vanuit de Kleine Nete en zijwaterlopen. Veldobservaties en modeldoorrekeningen tonen hoe tijdens perioden van hevige regenval grote volumes vervuild oppervlaktewater in de gebieden terecht komen. Dit vormt een bedreiging voor de wettelijk te beschermen natuurdoelen en vegetatietypes. Bovendien verschilt het van de natuurlijke situatie, waarin het gebied van de Zegge-Mosselgoren helemaal niet overstroomde. Een deel van het Olens Broek overstroomde naar alle waarschijnlijkheid sporadisch maar met kleinere volumes water van betere kwaliteit. Projecties richting 2050 tonen dat de overstromingsproblematiek onder klimaatverandering zal vergroten.

Op basis van inzichten uit de systeem-/knelpuntanalyse en modeldoorrekeningen werd een technisch scenario uitgewerkt. Dit maatregelenpakket, met voornamelijk ingrepen aan waterlopen en dijken, kan de overstromingsproblematiek milderden bij hoge debieten en tevens de drainerende werking van de lopen beperken tijdens drogere periodes. Het is echter geen duurzaam herstel van het natuurlijke systeem. Wel een no regret stap richting systeemherstel. In het natuurlijke systeem was de Kleine Nete een sterk meanderende, ondiep ingesneden rivier (vs. vandaag een uitgediepte gekanaliseerde loop).

Aan de hand van een technische rekenoefening werd een scenario voor herstel van een natuurlijk Kleine Nete uitgewerkt. Doorrekeningen tonen dat via een volledige herprofilering en hermeandering belangrijke winsten richting het milderden van de overstromingsproblematiek in de natuurgebieden kunnen geboekt worden. Bovendien wordt ook de drainerende werking van de waterloop zo tijdens periodes van droogte beperkt.

Voor een volledige integratieve conclusie verwijzen we naar het document '**Integrale toekomstvisie wetlandherstel Witteveen+Bos 2024**'

7

REFERENTIES

Candel, J. H. J., & Berg, M. (2020). Een herstelde beek is geen slingerend kanaal: Herziene uitgave Handboek Geomorfologisch Beekherstel. *STOWA Ter info*, 12-14.

Daems E. (2021). Opmetingsplan. WATER- DREMPEL- EN MAAIVELDPEILEN

Deswert en Emsens (2023). Nota overstromingsproblematiek natuureservaat De Zegge.

Innovyze (2023). InfoWorks ICM 2023 Help Documentation.

Septentrio (2016). Altus NR2. Compact GNSS rover for GIS and surveying.

Van Calster H., Cools N., De Keersmaeker L., Denys L., Herr C., Leyssen A., Provoost S., Vanderhaeghe F., Vandevorode B., Wouters J. en M. Raman(2019). Gunstige abiotische bereiken voor vegetatietypes in Vlaanderen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (44). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

van Lipzig, N., Willems, P., Beullens, J., Broucke, S. V., Tabari, H., Taye, M. T., ... & Termonia, P. (2015). Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen-Hoofdrapport.

VMM (2008). Rivierherstel van de Kleine Nete tussen Herentals en Kasterlee. Eco-hydrologische studie. VMM – afdeling Operationeel Waterbeheer, Brussel.

VMM (2020). Scenarioanalyse Kleine Nete: Optimalisatie aanpassingen Zegge en Olens Broek.

Witteveen+Bos (2020). Ontwerp van een veerkrachtige herinrichting van de Kleine Nete vallei in het signaalgebied Olympiadelaan in Herentals.

Witteveen+Bos (2022). Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek. Achtergrondrapportage geohydrologische modellering.

Witteveen+Bos (2024). Wetland- en moerasherstel Zegge-Mosselgoren en Olens Broek. Integrale toekomstvisie wetlandherstel.

Bijlage(n)



BIJLAGE: GEGEVENS BEMALINGSPOMPEN - PROVINCIE ANTWERPEN

Afbeelding I.1 Export van het door de provincie Antwerpen aangeleverde overzicht van de bemalingspompen in de Centrale Loop en Vijzelloop

			Vermogen (kW)			Debiet (m ³ /uur)		
			pomp 1	pomp 2	pomp 3	pomp 1	pomp 2	pomp 3
Pompgemaal Vijzelloopje	Roerdompstraat 17	2440 Geel	5.5	-	-	270	-	-
Pompgemaal Centrale Loop	Lichtaartseweg 55	2440 Geel	maximaal vermogen motor: 19.5 kW typisch vermogen motor: 16.8 kW vermogen pomp: 9.2 kW			1008	1008	1008

		Registratie draaiuren		
		pomp 1	pomp 2	pomp 3
Pompgemaal Centrale Loop	27/07/2017	9957	9959	9667
	2/5/2021	12691	12698	12697
	Verschil (u)	2734	2739	3030
gemiddelde draaiuren per jaar	u/jaar	774	776	858
	Volume (m³)	2,755,872	2,760,912	3,054,240
	Volume (m³)/jaar	780,367	781,794	864,855
	TOTAAL m³/jaar	2,427,016		

tussen 27/07/2017 en 05/02/2021

afslagpeil alle pompen m TAW	aanslagpeil 1 pomp m TAW	aanslagpeil 2 pompen m TAW	aanslagpeil 3 pompen m TAW
+11.70	+11.80	+11.90	+12.00

Pompgemaal Vijzelloopje	1/5/2018	34385
	12/8/2020	47659
	Verschil (u)	13274
gemiddelde draaiuren per jaar	u/jaar	4537
	Volume (m³)	3,583,980
	Volume (m³)/jaar	1,224,862

tussen 05/01/2018 en 08/12/2020

afslagpeil vijzel	aanslagpeil vijzel	lokale waarden m TAW
+0.40	+0.60	
ca. 12.05	ca. 12.25	



BIJLAGE: AFKORTINGENLIJST

Afkorting	Verklaring
RS	InfoWorks River Simulation
ICM	InfoWorks Integrated Catchment Modelling
PDM	Probability Distributed Model
Q10	10 % van het jaar is het debiet groter
Q50	50 % van het jaar is het debiet groter
Q90	90 % van het jaar is het debiet groter
T2	intense bui die gemiddeld gezien om de twee jaar voorkomt
T100	intense bui die gemiddeld gezien om de honderd jaar voorkomt

