

Evaluatie effecten vernatting omliggende veenweidegebieden op grondwatersituatie Middelburg- Tempelpolder



Evaluatie effecten vernatting omliggende veenweidegebieden op grondwatersituatie Middelburg-Tempelpolder

Auteur(s)

Joost Delsman

Teun van Woerkom

Guilherme Emidio Horta Nogueira

Evaluatie effecten vernatting omliggende veenweidegebieden op grondwatersituatie Middelburg-Tempelpolder

Klant	Provincie Zuid-Holland
Neem contact op met	Jan Strijker
Trefwoorden	Middelburg-Tempelpolder, vernatting, opbarsting, zoutbelasting, grondwatermodel

Documentcontrole

Versie	1.0
Datum	09-02-2026
Project nr.	11211304-002
Document ID	11211304-002-BGS-0002
Pagina's	42
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

	Teun van Woerkom Guilherme Emidio Horta Nogueira Joost Delsman	

Samenvatting

Dit rapport beschrijft een modelstudie naar de effecten van vernatting in omliggende veenweidepolders op de grondwatersituatie en opbarsting in de Middelburg-Tempelpolder (MT-polder). Vernatting is een maatregel om bodemdaling en CO₂-uitstoot door veenoxidatie te beperken. De Provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap van Rijnland hebben Deltares gevraagd deze effecten te analyseren.

Het onderzoek maakt gebruik van een bestaand zoet-zout grondwatermodel (COASTAR MT-polder model), dat is aangepast op basis van een uitgebreide analyse van de weerstand van de Holocene deklaag. Deze weerstand wordt in hoge mate bepaald door de aanwezigheid van slecht doorlatend basisveen. Uit een combinatie van analyse van boringen, laboratoriummetingen van de doorlatendheid van basisveen en model-gevoeligheidsanalyses blijkt dat basisveen overal aanwezig is en een lage doorlatendheid heeft. Dit is anders dan op basis van GeoTOP verwacht werd, de basisveenlaag is in GeoTOP niet overal aanwezig, en de toegepaste doorlatendheid is hoger dan blijkt uit een representatief monster uit de omgeving van de MT-polder. Aangenomen continue aanwezigheid van basisveen gecombineerd met een lagere doorlatendheid resulteert in een hoge deklaagweerstand van zo'n 150.000 dagen rondom de MT-polder. Beschikbare stijghoogtemetingen werden met deze weerstand het beste benaderd. Deze deklaagweerstand is duidelijk hoger dan eerdere inschattingen. Een extra analyse is daarom uitgevoerd met een eerder toegepaste weerstand van 10.000 dagen, het effect op het modelresultaat bleek daarbij minimaal.

Een modelscenario is doorgerekend waarbij een vorm van vernatting (Actief WaterInfiltratieSysteem, AWIS) is geïmplementeerd op graslandpercelen in het veenweidegebied rondom de MT-polder, met uitzondering van deelgebied Boskoop. Een AWIS infiltreert water in onderling verbonden drainagebuizen, waarbij het infiltratiepeil onafhankelijk van het slootpeil kan worden ingesteld. De gekozen implementatie verhoogt in de zomer de grondwaterstand op de betreffende veenweidepercelen tot circa 20 cm onder maaiveld. In de winter daalt de grondwaterstand op de betreffende percelen doordat de aangelegde AWIS infiltratiebuizen in de winter extra water afvoeren. De grote weerstand van de Holocene deklaag dempt de doorwerking van het effect van AWIS naar het diepe grondwater sterk; effecten op de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket zijn beperkt tot enkele centimeters. Effecten op de stijghoogte onder de MT-polder zijn verwaarloosbaar.

Met een verwaarloosbaar effect op de stijghoogte is er ook geen merkbaar effect van AWIS implementatie in de omliggende veenweidepercelen op het opbarstrisico, kwel, zoutvracht of bodemdaling in de MT-polder. Het risico op opbarsting in de MT-polder neemt door voortgaande bodemdaling in de MT-polder zelf in de toekomst wel toe, implementatie van AWIS in de omgeving heeft hier geen merkbaar effect op. Het opbarstrisico is in de winter hoger dan in de zomer; de hogere grondwaterdruk in de winter blijkt van groter belang dan het hogere gewicht (tegendruk) door de hogere grondwaterstand.

Aanbevolen wordt om bij eventuele aanleg van AWIS het effect op de stijghoogte en daarmee opbarstrisico te monitoren, gezien de onvermijdelijke onzekerheden in het gebruikte grondwatermodel en de daarbij aangenomen hoge weerstand van de Holocene deklaag in het omliggende veenweidegebied.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	4
	Inhoudsopgave	5
1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Belangrijkste doelstellingen	7
1.3	Aanpak en leeswijzer	7
2	Beschrijving geohydrologische modellering	9
2.1	Grondwatermodel COASTAR MT-polder	9
2.2	Berekening zoutvracht, opbarstrisico en bodemdaling	9
2.2.1	Zoutvracht MT-polder	9
2.2.2	Opbarstrisico	10
2.2.3	Bodemdaling	11
2.3	Geologische schematisatie	12
2.3.1	Basisveen in boringen	14
2.3.2	Gevoeligheidsanalyse en kalibratiescenario's	15
2.3.2.1	Statistische modevaluatie	16
2.3.3	Gevoeligheidsanalyse en kalibratieresultaten	17
2.4	Kwel en opbarsten in diepe polders	19
2.5	Modevaluatie	20
3	Vernatting via waterinfiltratiesystemen (WIS)	22
3.1	Theorie	22
3.2	Eerdere studies en voorbeelden	22
3.2.1	Passief waterinfiltratiesysteem (PWIS)	23
3.2.2	Actief waterinfiltratiesysteem (AWIS)	23
3.2.3	Aanbevelingen implementatie WIS	23
3.2.4	Inleidende modelstudie effectiviteit WIS rondom MT-polder	23
3.3	Voorgestelde implementatie van WIS in de MT-polder	25
3.3.1	Modelimplementatie	25
4	Resultaten modelverkenning implementatie AWIS	27
4.1	Grondwatersituatie	27
4.2	Aanvullende effecten vernatting rondom MT-polder	30
4.2.1	Bodemdaling	30
4.2.2	Opbarstrisico	31
4.2.3	Kwel, zoutlast MT-polder en verschuiving zoet-zout grensvlak	33
5	Conclusies en aanbevelingen	36
6	Referenties	38

A	Analyse deklaagweerstand 10.000 dagen	39
A.1	Inleiding	39
A.2	Resultaten	39
A.2.1	Grondwatersituatie	39
A.2.2	Opbarstrisico	40
A.3	Conclusie	41

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2023 is een toekomstperspectief voor de Middelburgse Polder en Tempelpolder (MT-polder) vastgesteld. Dit toekomstperspectief is een plan dat loopt tot 2030, met een doorkijk naar 2050. In dit plan zetten betrokken partijen en bedrijven gezamenlijk stappen om ervoor te zorgen dat zij toekomstbestendig kunnen blijven ondernemen, wonen en recreëren in de MT-polder en tegelijkertijd de uitdagingen van deze tijd het hoofd kunnen bieden.

Door de laaggelegen ligging is de MT-polder afhankelijk van wat er in de omgeving gebeurt op het gebied van peilbeheer (Erkens et al., 2019). Uit de verschillende onderzochte scenario's bleek dat de keuzes die gemaakt worden in het peilbeheer in de omgeving grote gevolgen kunnen hebben voor de MT-polder. Zo zijn de meeste maatregelen om broeikasgasemissie uit veengebieden te verminderen gericht op het voorkomen van diepe verlaging van het (zomerse) freatische grondwaterpeil (GW). Om de CO₂-emissie door veenoxidatie te verminderen en bodemdaling in het gebied te voorkomen, worden naar verwachting vernattingsmaatregelen genomen in de omliggende veenweidepolders in het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied en de Beleidsbrief Water en Bodem en het Programma Landelijk Gebied Zuid-Holland (ZH-PLG).

De Provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap van Rijnland hebben Deltares daarom gevraagd om de effecten van het vernatten van de omgeving op de MT-polder te onderzoeken met speciale aandacht voor brakke kwel en opbarstrisico.

1.2 Belangrijkste doelstellingen

Het doel van het onderzoek is het bepalen van de risico's voor de waterkwaliteit en -kwantiteit in de MT-polder in het geval van vernatting in de omliggende veenweidepolders.

Het onderzoek richt zich op de volgende onderzoeksvragen:

- Heeft de vernatting in de omliggende veenweidepolders invloed op de stijging van het grondwaterpeil in de MT-polder?
- Leidt het huidige peilbeheer in de MT-polder tot een toename van brakke kwel, het risico op opbarsten en/of voortgaande bodemdaling?
- Is het risico op opbarsten groter in de zomer (lagere grondwaterstanden) of in de winter (hogere stijghoogten)?
- Welke mitigerende maatregelen (in het watersysteem, op de percelen, in de omgeving) zijn nodig om een eventuele toename van dit risico tegen te gaan (technisch handelingsperspectief)?

1.3 Aanpak en leeswijzer

Voor het beantwoorden van bovenstaande onderzoeksvragen is gekozen voor het toepassen van een numeriek zoet-zout grondwatermodel. Met een dergelijk computermodel kan worden uitgerekend wat een verandering in de grondwatersituatie in de omgeving (vernatting van de omliggende veenweidepolders) voor effect zal hebben in de MT-polder.

Voor de MT-polder zijn al enkele grondwatermodellen beschikbaar. De twee meest geschikte modellen zijn het analytische elementen model ontwikkeld binnen de opbarstingsstudie (Erkens et al., 2019), en het zoet-zout grondwatermodel ontwikkeld voor verkenning van

mogelijke brakwaterwinning in de MT-polder, het COASTAR MT-polder model (Bootsma et al., 2020). Hierbij is de keuze gevallen op dit laatste model, omdat dit model 1) de mogelijkheid biedt om het effect van vernattingsmaatregelen direct te simuleren en 2) omdat dit model verschillen tussen de zomer- en wintersituatie inzichtelijk kan maken. Beide waren niet eenvoudig mogelijk met het model uit Erkens et al. (2019). Het toegepaste model wordt kort beschreven in paragraaf 2.1. Voor het effect van vernattingsmaatregelen op de MT-polder is niet alleen het directe effect op de grondwatersituatie in de MT-polder van belang, maar ook hoe het opbarstrisico in de MT-polder verandert, wat het effect is op de zoutlast van de polder via zoute kwel, en wat vernatting in de omgeving betekent voor de verdergaande bodemdaling in de MT-polder en de omliggende veenweidegebieden. De berekening van deze effecten wordt beschreven in paragraaf 2.2.

In Bootsma et al. (2020) wordt de weerstand van de veenlagen in het veenweidegebied tegen verticale stroming aangegeven als belangrijke parameter in het numerieke model. Deze verticale weerstand is ook in dit onderzoek een belangrijke parameter: deze bepaalt direct hoe vernatting van het veenweidegebied doorwerkt in het diepe grondwater en daarmee in de MT-polder. In dit onderzoek is deze parameter daarom met zorg bepaald, op basis van beschikbare meetgegevens en modelonderzoek. Deze bepaling wordt beschreven in paragraaf 2.3.

Wanneer er voldoende vertrouwen is in de modelresultaten, en daarmee dat het numerieke model de grondwaterstroming voldoende accuraat beschrijft, is een scenario met vernattingsmaatregelen geïmplementeerd. Dit scenario is opgesteld in samenspraak met de opdrachtgever. Hoofdstuk 3 beschrijft eerst de algemene werking van vernatting door middel van waterinfiltratiesystemen, het gekozen scenario, en hoe dit scenario technisch in de modellering is verwerkt.

In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van het onderzoek beschreven, hoofdstuk 5 geeft tenslotte conclusies en aanbevelingen.

2 Beschrijving geohydrologische modellering

2.1 Grondwatermodel COASTAR MT-polder

Het effect van vernatting op de stijghoogten in de MT-polder kan worden berekend met behulp van een grondwatermodel. In een eerdere fase (als onderdeel van het COASTAR onderzoeksprogramma) is een zoet-zout grondwatermodel ontwikkeld voor de regio rondom de MT-polder, in een analyse waarin ook de effecten op brakke kwel, opbarsting en bodemdaling zijn bepaald (Bootsma et al., 2020). Dit model vormt de basis van de modellering in dit project; de belangrijkste uitgangspunten en lokale aanpassingen worden in de volgende secties beschreven.

Voor het opstellen van het geohydrologische model zijn verschillende databronnen gebruikt, waaronder hoogtegegevens (AHN), lithologische informatie (GeoTOP), hydrologische gegevens (LHM) en GIS-bestanden van watergangen en peilinformatie (waterschappen). Deze gegevens vormen de basis voor het schematiseren van maaiveld, waterbodems, peilen en buis- en maaiveld drainage. Wellen zijn ingebracht in een randzone langs diepe polders (MT-polder, Noordplas), geschematiseerd als een DRN randvoorwaarde direct in het eerste watervoerende pakket.

De initiële condities voor chloride in het model zijn gebaseerd op interpolatie van beschikbare metingen van het zoutgehalte van het grondwater. Vervolgens is met behulp van een lange inspeelperiode (100 jaar) dit interpolatieresultaat in evenwicht gebracht met het grondwatermodel (Bootsma et al., 2020). Het landsdekkende bestand van zoutconcentraties in het grondwater (LHM-zoetzout) was ten tijde van de realisatie van dit model nog niet beschikbaar.

Met het model wordt een periode van 50 jaar doorgerekend (1985 – 2035), met tijdstappen van een kwartaal. Hiervan worden alleen de laatste tien jaar in de resultaten geanalyseerd. De grondwateraanvulling is verkregen uit een modelberekening van het LHM, versie 3.4, voor de periode 1980 tot 2018. De tijdreeks is verlengd tot 2035, door voor de niet-aanwezige periode de voorafgaande periode te kopiëren (Bootsma et al., 2020).

2.2 Berekening zoutvracht, opbarstrisico en bodemdaling

De oorspronkelijke modellering (Bootsma et al., 2020) omvat tevens een doorvertaling van de grondwatermodelresultaten naar zoutvracht van de MT-polder, opbarstrisico in de MT-polder en verwachte bodemdaling. Deze doorvertaling wordt in deze rapportage ook toegepast. De doorvertaling is beschreven in Bootsma et al. (2020) en wordt hier kort toegelicht.

2.2.1 Zoutvracht MT-polder

De zoutvracht van de MT-polder zijn is de optelling van de zoutvracht en kwel naar de verschillende waterlopen en greppels (zowel via het perceel als via wellen). De afvoer naar deze ontwateringsmiddelen wordt door het grondwatermodel apart berekend. De zoutvracht is vervolgens te berekenen door de afvoer naar een ontwateringsmiddel te vermenigvuldigen met de zoutconcentratie in de betreffende modelcel. Voor wellen geldt dat deze zijn gemodelleerd als een 'DRN' randvoorwaarde in het eerste watervoerende pakket. De zoutvracht van wellen volgt daarmee uit vermenigvuldiging van de wel-afvoer met de in het watervoerende pakket geldende concentratie.

2.2.2 Opbarstrisico

Opbarsting van de deklaag (de bovenste relatief slecht doorlatende laag van de ondergrond) treedt op wanneer de grond niet zwaar genoeg is om de opwaartse druk vanuit het grondwater te weerstaan. De kans daarop is groot als de deklaag dun is (en/of licht is) en/of als er een grote kweldruk (opwaartse druk) aanwezig is in het onderliggende watervoerende pakket. Diepe droogmakerijen zoals de Polder Middelburg en Tempelpolder zijn risicogebieden voor opbarsting. Tijdens het opbarsten van de bodem ontstaan er preferente stroombanen voor het diepere grondwater: wellen. Via deze wellen komt dieper en daardoor vaak zouter grondwater omhoog gestroomd (kwel), naar de sloot of het maaiveld (de Louw et al., 2013).

Het optreden van opbarsting kan autonoom gebeuren, of kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld bouwwerkzaamheden of verdieping van waterbodems. Belangrijke risico-verhogende factoren zijn een toenemende grondwaterdruk in het eerste watervoerende pakket, of een afname van de dikte en gewicht van de deklaag. De deklaagdikte en -massa kan bijvoorbeeld afnemen door veenoxidatie, omdat hierbij organische stof wordt omgezet in gassen en opgeloste stoffen. Het opbarstrisico in de MT-polder is eerder in kaart gebracht (Erkens et al., 2019). Vernatting in de omliggende veenweidegebieden zal een effect hebben op het grondwater in het eerste watervoerende pakket en daarmee wellicht op het opbarstrisico in de MT-polder. We volgen hier de methode voor het berekenen van het opbarstrisico uit Erkens et al. (2019), onderstaande beschrijving is gebaseerd op Erkens et al. (2019). Om verschillen tussen zomer- en wintersituatie inzichtelijk te maken wordt de berekening voor zowel de gemiddelde winter- als zomersituatie gemaakt.

De opbarstindex wordt berekend aan de top van het eerste watervoerende pakket. Op deze overgangszone van goed doorlatend watervoerend pakket naar slecht doorlatende deklaag vindt doorgaans de opbarsting plaats. Bovendien, als daar een scheur ontstaat, kan het water vanuit het eerste watervoerende pakket in kwelsituaties ongehinderd omhoog stromen en ontstaat een wel. Deze diepte wordt hier het aangrijppunt genoemd. Op de plek van het aangrijppunt moet vervolgens het grondgewicht (totale gewicht van de deklaag boven het aangrijppunt) en de grondwaterdruk (drukhoogte op het aangrijppunt) bepaald worden. De stijghoogte wordt bepaald uit het grondwatermodel. Het gewicht van de deklaag wordt bepaald door uit te gaan van de lithologische opbouw volgens GeoTOP, met toegekende volumiek gewicht volgens Tabel 2.1. Het gewicht van de deklaag wordt vervolgens bepaald door uit het MT-polder model de freatische grondwaterstand te bepalen. Vervolgens wordt voor de voxels onder de freatische grondwaterstand (en boven het aangrijppunt) het verzadigde gewicht gesommeerd, en boven de freatische grondwaterstand het onverzadigde gewicht. De opbarstindex wordt tenslotte bepaald volgens de volgende formule:

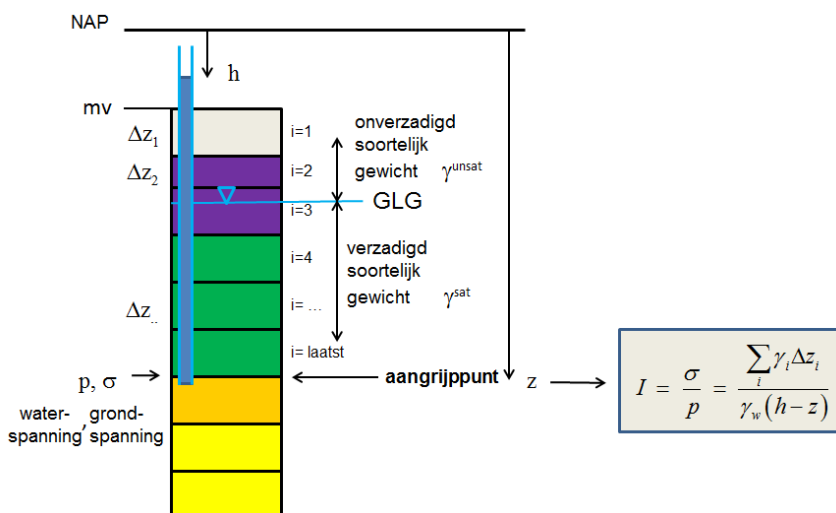
$$I = \frac{\sigma}{p} = \frac{\sum_i y_i \Delta z_i}{y_w (h-z)}$$

met σ en p respectievelijk de gronddruk en de grondwaterdruk bij het aangrijppunt, y_i het volumiek gewicht van de voxel i (verzadigd, hetzij onverzadigd), Δz_i de dikte van de voxel i , y_w het volumiek gewicht van water, h de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket en z de plaatshoogte bij het aangrijppunt. Figuur 2-1 geeft een illustratie van de berekening.

Tabel 2.1 Aan GeoTOP lithologie toegekende verzadigde en onverzadigde dichtheid voor opbarstriscoberekeningen.

Lithologie (GeoTOP)	Verzadigd volumiek gewicht (kg/m ³)	Onverzadigd volumiek gewicht (kg/m ³)
Opgebracht zand	2100	1850
Veen	1100	900
Klei	1400	1350
Kleiig zand, zandige klei	1800	1700
Fijn zand	2100	1850
Matig grof zand	2100	1850
Grof zand	2100	1850

De opbarstindex wordt berekend voor het maaiveld, waarbij het gehele gewicht van de deklaag meedoet. Ter hoogte van watergangen en sloten wordt het grondgewicht vervangen door de aanwezige waterdiepte (gewicht van het water), aan de hand van de in het MT-polder model opgenomen waterpeilen en een vast aangenomen waterdiepte van 0.5 m. De opbarstingsindex wordt berekend voor het eerste en laatste jaar (T=50 jaar) van de rekenperiode. Voor de T=50 berekening wordt gecorrigeerd voor de berekende opgetreden bodemdaling. Hierbij wordt het gewicht van de opgetreden bodemdaling (uitgaande van onverzadigd veen) afgetrokken van het grondgewicht in de uitgangssituatie.



Figuur 2-1 Illustratie van de berekening van de maaiveldopbarstindex. In het geval van een sloot wordt het deklaaggewicht verlaagd conform de slootdiepte, waarbij de waterdiepte wel weer wordt meegenomen. Uit (Erkens et al., 2019).

2.2.3 Bodemdaling

De bodemdalingsberekeningen zijn – zoals ook in Bootsma et al. (2020) – uitgevoerd met Atlantis Subsidence (Bootsma et al., 2020), waarmee zowel oxidatie als consolidatie is berekend. Dit model is een doorontwikkeling van de bodemdalingsberekeningen zoals deze eerder zijn uitgevoerd voor de MT-polder (Erkens et al., 2019). Meer recent is een op de programmeertaal Julia gebaseerde implementatie van ditzelfde model gereed gekomen, waarin enkele verbeteringen zijn doorgevoerd (<https://github.com/Deltares-research/Atlans.jl>). Dit project maakt om praktische redenen evenwel gebruik van de reeds in de bestaande workflow opgenomen versie van Atlantis. Betrokken experts verwachten geen significante

verschillen tussen de gebruikte en nieuw beschikbare versie van Atlantis. De bodemdalingsberekeningen zijn gemaakt voor een periode van 50 jaar. De opzet van deze bodemdalingsberekeningen is grotendeels gebaseerd op de bodemdalingsstudie voor Zuid-Holland (Kooi, 2020). Voor een gedetailleerde beschrijving van de invoer en de methode wordt verwezen naar Kooi (2020). Voor de MT-polder zijn een aantal aanvullende bewerkingen uitgevoerd:

- Het gedetailleerde ondergrondmodel van de MT-polder zoals ontwikkeld binnen het opbarstingsonderzoek (Erkens et al., 2019) is gecombineerd met het provinciale ondergrondmodel (Kooi, 2020) voor het omliggende gebied. Dit betekent dat het ondergrondmodel in de MT-polder een resolutie van 25x25x0,25 meter heeft en daarbuiten een resolutie van 100x100x0,5 meter. Merk op dat voor de bodemdalingsberekeningen daarmee een ander ondergrondmodel wordt toegepast dan voor de grondwatermodellering.
- De resultaten van de grondwatermodellering zijn gebruikt om de freatische grondwaterstand en stijghoogte in het eerste watervoerende pakket te verkrijgen. Omdat het ondergrondmodel in de MT-polder een fijnere resolutie heeft dan het grondwatermodel, zijn beide verdelingen bilineair geïnterpoleerd tot een 25x25 meter grid.

2.3 Geologische schematisatie

De opbouw van de ondergrondschematisatie van het model wordt beschreven in Bootsma et al. (2020). De ondergrond in het model is opgebouwd door gegevens uit GeoTOP, MT-geologie en REGIS te combineren (Stafleu et al., 2023; TNO-GDN, 2025). Voor elke geologische eenheid zijn doorlatendheden afgeleid uit metingen en toegewezen aan lithologische klassen (Buma et al., 2021). Daarbij is rekening gehouden met anisotropie. Daarnaast zijn enkele aanpassingen gedaan aan de doorlatendheid van waterbodems, die is verlaagd door de continue wegzijging en het afdichten van de bodem met fijn sediment.

Voor de deklaag is de verticale weerstand berekend op basis van de dikte en doorlatendheid van de lagen. Deze weerstand is per voxel bepaald en vervolgens boven het Holoceen-basisvlak gesommeerd. Om extreme waarden te voorkomen, is de resulterende weerstand gladgestreken met een mediaanfilter (straal 250 m).

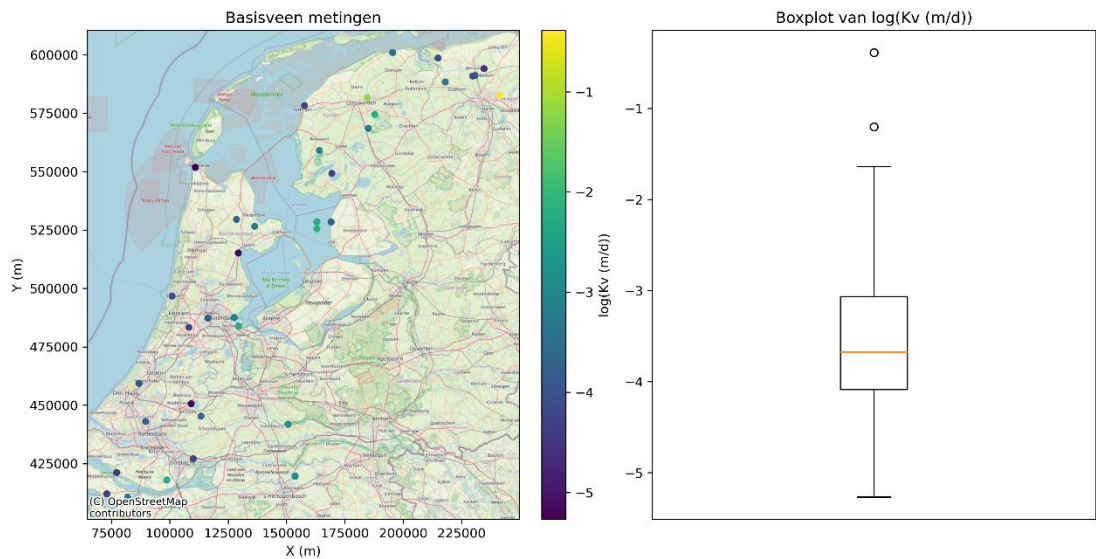
Bootsma et al. (2020) hebben vervolgens een kalibratie van het model uitgevoerd met behulp van de beschikbare piëzometers in het gebied. Tijdens de kalibratie bleek dat de weerstand van de deklaag een groot effect had op het verloop van de stijghoogte rondom en in de MT-polder. Een beduidend hogere weerstand dan eerder op basis van GeoTOP was ingeschat bleek nodig om het berekende stijghoogteverloop in lijn te brengen met de metingen. Dit resulteerde in de implementatie van een vaste weerstand van de deklaag tussen het watervoerend pakket en het oppervlak van 10.000 dagen in de hoger gelegen veenweidegebieden. Deze hoge weerstand werd niet geïmplementeerd in de diepe polders.

In dit onderzoek hebben we ervoor gekozen om de weerstand van de deklaag opnieuw te analyseren met behulp van GeoTOP en beschikbare boringen en geologische beschrijvingen. Hierbij is specifiek aandacht besteed aan de ligging van het basisveen. Deze veenlaag is afgezet aan het begin van het Holoceen, toen grondwaterstanden stegen als gevolg van de stijgende zeespiegel. Vervolgens werd deze veenlaag bedolven onder latere afzettingen en sterk gecompacteerd, met een zeer hoge verticale weerstand tot gevolg. Ondanks haar over het algemeen geringe dikte (~30 cm) domineert deze laag – waar deze aanwezig is - de totale weerstand van de Holocene deklaag.

De meest complete en uniforme dataset van doorlatendheid van basisveen is het TopIntegraal boor- en meetprogramma (Buma et al., 2024), met als doel om met behulp van

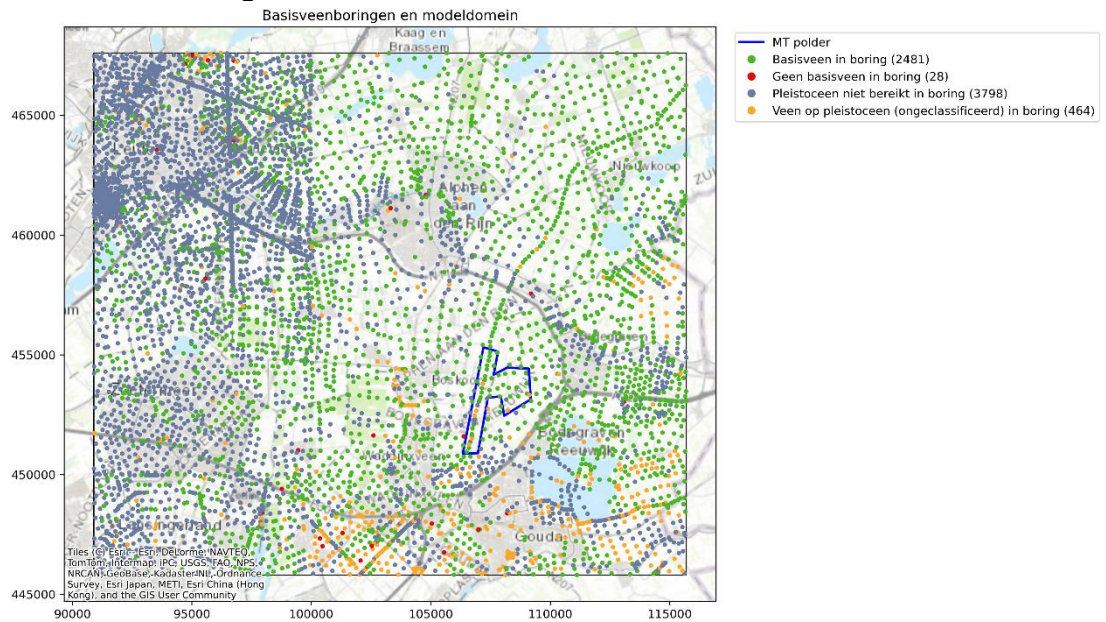
uitgebreide boor- en meetcampagnes in heel Nederland een gedetailleerd en betrouwbaar beeld te schetsen van de verzadigde hydraulische doorlatendheid van de ondiepe ondergrond. Deze dataset bevat 49 metingen van de doorlatendheid van basisveen (Figuur 2-2), met een mediane doorlatendheid van $2,1 \cdot 10^{-4}$ m/dag, een minimale waarde van $5,0 \cdot 10^{-6}$ m/dag en een maximale waarde van 0,41 m/dag. Een van de boringen ligt binnen het onderzoeksgebied (Reeuwijk), en het basisveen in deze boring heeft een relatief lage doorlatendheid van $7 \cdot 10^{-6}$ m/dag.

Binnen GeoTop wordt voor het basisveen gerekend met een doorlatendheid van $4 \cdot 10^{-4}$ m/dag. Deze waarde ligt rond de mediaan van de landelijke dataset. De waarde is evenwel twee ordes hoger dan de doorlatendheid van het basisveen gemeten in het studiegebied. Aangezien in Bootsma et al. (2020) een sterke verhoging van de weerstand van de deklaag nodig bleek om plausibele modelresultaten te verkrijgen lijkt deze doorlatendheid aan de hoge kant voor het studiegebied.



Figuur 2-2; Overzicht monsterlocaties TopIntegraal boor- en meetprogramma waar basisveen is bemonsterd (links) en een boxplot van de gemeten doorlatendheden in die monsters (rechts).

2.3.1 Basisveen in boringen

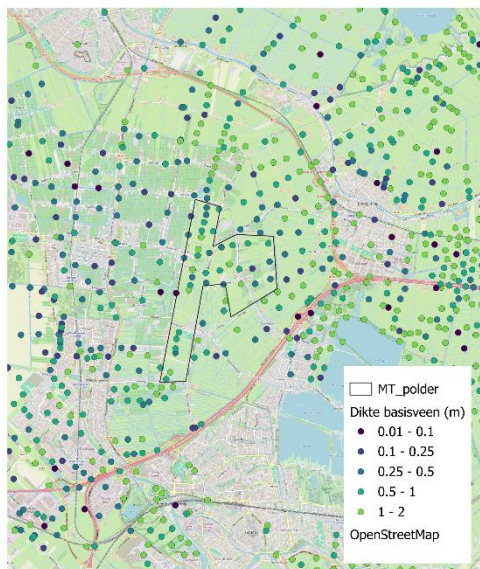


Figuur 2-3; Boringen in het modelgebied, geïnclassificeerd op het voorkomen van basisveen in die boring. De legenda benoemt eveneens het aantal boringen met die classificatie.

Als eerste stap hebben we gekeken naar de aanwezigheid van basisveen in de kernen binnen het studiegebied. In het studiegebied zijn in totaal 6771 kernen aanwezig (Figuur 2-3). Deze kernen zijn ingedeeld in 4 klassen:

1. Er zit veen in de kern direct bovenop het pleistocene zand en het is geologisch geïnclassificeerd als basisveen.
2. Er is geen veen in de kern direct bovenop het pleistocene zand.
3. Het pleistocene zand wordt niet bereikt in de kern (en als zodanig kunnen we niet concluderen of er veen bovenop ligt).
4. Er zit veen in de kern direct bovenop het pleistocene zand, maar het is geologisch niet geïnclassificeerd als basisveen. Omdat de classificatie van basisveen in de database onnauwkeurig lijkt te zijn, nemen we aan dat (een deel van) deze veenlaag uit basisveen bestaat.

Uit deze kernen kan worden geconcludeerd dat er zeer weinig punten in het studiegebied zijn (28 van de 6771) waarvan we zeker weten dat er geen basisveen in de ondergrond aanwezig is. Daarom achten we het een waarschijnlijke hypothese is dat er een continue laag basisveen aanwezig is. Deze hypothese is getest door het basisveen op verschillende manier te schematiseren in het geohydrologische basismodel (Bootsma et al., 2020).

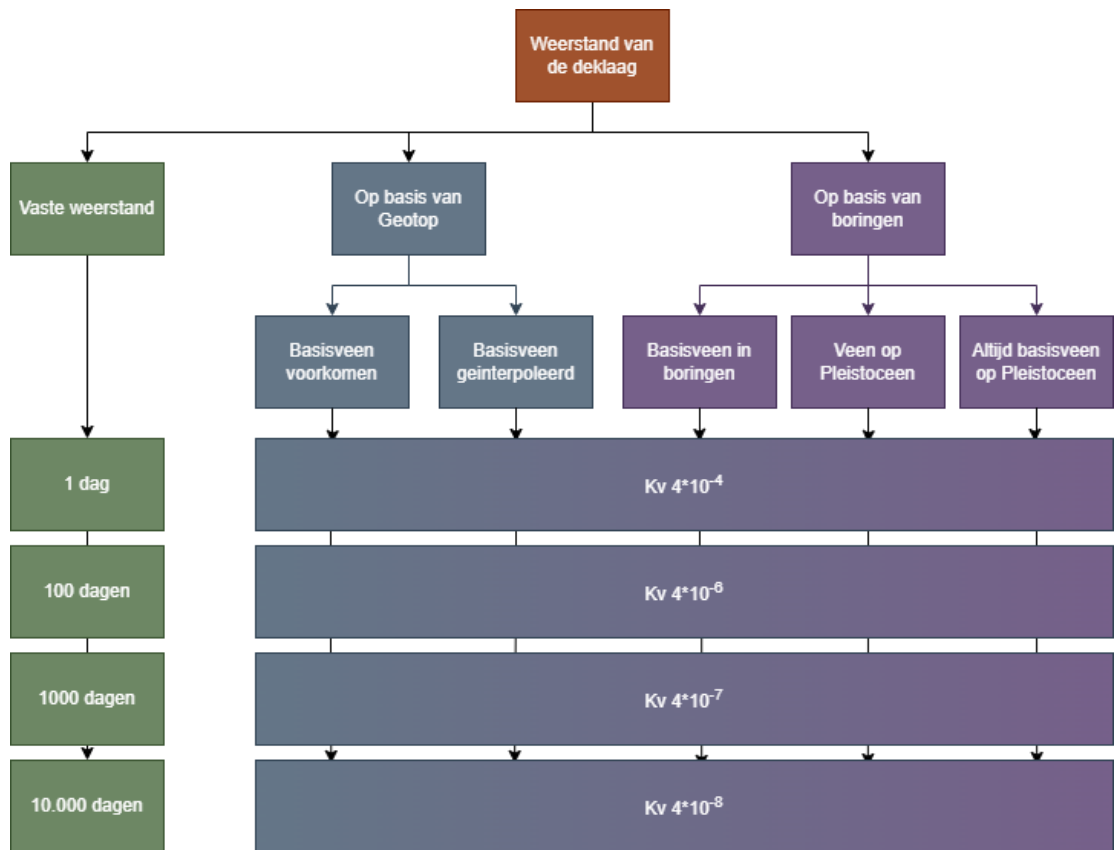


Figuur 2-4 Dikte geïnterpoleerd basisveen in boringen.

2.3.2 Gevoeligheidsanalyse en kalibratiescenario's

Er is een uitgebreide analyse uitgevoerd om de invloed van de continuïteit van de basisveenlaag en de invloed van de weerstand van het basisveen op de grondwaterstanden rondom de MT-polder te controleren. Om de ruimtelijk variërende aanwezigheid van de basisveenlaag te testen, hebben we verschillende opties getest met een vaste weerstand voor de deklaag, met het voorkomen van basisveen binnen GeoTOP, of met het voorkomen van (basis) veen in geologische boringen in het gebied. Hierbij is GeoTOP, danwel in de bestaande vorm gebruikt, of is basisveen toegevoegd op locaties waar dat niet in de oorspronkelijke database zat. Op basis van de boringen is het voorkomen van basisveen op 3 manieren in de modelschematisatie gebracht: de boringen zijn geïnterpoleerd en toegevoegd aan GeoTOP volgens optie 1, 3 of 4 (zie sectie 2.3.1 en Figuur 2-3).

Om ook de invloed van de weerstand van deze deklaag te testen, bevatte elk van de ruimtelijke scenario's bovendien vier scenario's met verschillende weerstanden (Figuur 2-5). Dit kwam in de praktijk neer op een doorlatendheid van het basisveen van $4 \cdot 10^{-4}$, $4 \cdot 10^{-6}$, $4 \cdot 10^{-7}$, $4 \cdot 10^{-8}$ (of, met een dikte van zo'n 60 cm (Figuur 2-4), respectievelijk 1500 dagen, 150.000 dagen, 1.500.000 dagen, 15.000.000 dagen). In totaal werden 24 scenario's gemaakt, die voor de periode tussen 1985 en 2000 zijn doorgerekend.



Figuur 2-5; Overzicht van de scenario's die gebruikt zijn voor het onderzoek naar het effect van het voorkomen en de weerstand van basisveen in de modellering.

2.3.2.1 Statistische modevaluatie

De berekende stijghoogtes zijn vergeleken met gemeten stijghoogtes in de MT-polder in een zone van 5 km om de polder. Om de verschillen tussen berekende en gemeten stijghoogtes te evalueren, gebruikten we drie statistische indicatoren: Kling-Gupta Efficiëntie (KGE), Nash-Sutcliffe Efficiëntie (NSE) en de determinatiecoëfficiënt (R^2). Samen bieden deze statistische indicatoren een duidelijke beoordeling van de modelprestaties in termen van nauwkeurigheid, bias en variabiliteit (Tabel 2.2).

De KGE-metriek combineert correlatie, vertekening en variabiliteit in één score, berekend als:

$$KGE = 1 - \sqrt{((r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2)}$$

waarbij r de Pearson correlatiecoëfficiënt is, β de verhouding tussen gesimuleerde en waargenomen gemiddelden en γ de verhouding tussen de standaarddeviaties. Een KGE-waarde van 1 duidt op perfecte overeenstemming. Ten tweede wordt de NSE gedefinieerd als:

$$NSE = 1 - [\Sigma(O_i - S_i)^2 / \Sigma(O_i - \bar{Y})^2]$$

Het meet hoe goed het model voorspelt in vergelijking met het gemiddelde van de geobserveerde gegevens. Een NSE van 1 wijst op een perfecte voorspelling, terwijl waarden onder 0 wijzen op slechte prestaties. Ten derde wordt de determinatiecoëfficiënt (R^2) als volgt berekend:

$$R^2 = [\Sigma(O_i - \bar{Y})(S_i - \hat{S}) / \sqrt{(\Sigma(O_i - \bar{Y})^2 \Sigma(S_i - \hat{S})^2)}]^2$$

Het kwantificeert het aandeel van de variantie in de waargenomen gegevens dat door het model wordt verklaard.

Tabel 2.2 Overzicht prestatie-indicatoren grondwatermodellering.

	KGE (Kling-Gupta Efficiency)	NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)	R ² (Determinatie coëfficiënt)
Wat meet het?	Vorm, gemiddelde en spreiding van de metingen	Variatie in de metingen	Verklaarde variatie
Interpretatie	Hoe goed het model aansluit op de data in meerdere opzichten	Hoe goed het model de schommelingen volgt	Hoeveel van de spreiding in de data door het model wordt verklaard
Optimale waarde	1 (hoger is beter)	1 (hoger is beter)	1 (hoger is beter)

2.3.3 Gevoeligheidsanalyse en kalibratieresultaten

Naast deze 3 indicatoren, gebruiken we het gemiddelde van deze 3 om de modelruns met elkaar te vergelijken (Figuur 2-6). Hieruit concluderen we dat:

- Continu voorkomen basisveen is van belang, dat kan met een interpolatie op basis van GeoTOP of boringen.
- Alleen boringen meenemen waarin basisveen is geclassificeerd of zoals aanwezig in GeoTOP geeft een minder goede match.
- De in GeoTOP toegepaste doorlatendheidswaarde van basisveen gebruiken zonder correctiefactor (dus een Kv van $4 \cdot 10^{-4}$) geeft een minder goede match, ook als we een continu basisveen voorkomen aannemen.
- Een aantal simulaties hebben een NSE < 0, wat betekent dat deze berekeningen niet nuttig zijn; een NSE < 0 geeft aan dat het gebruiken van de gemiddelde geobserveerde waarde op meetlocaties een betere inschatting geeft dan het gebruik van de modelresultaten.

Als we naar de modelsimulaties kijken die de beste overeenkomst vertonen met de gemeten grondwaterstanden, is dus vooral een continu voorkomen van basisveen van belang. Deze simulaties leveren daarbij een betere overeenkomst op dan het grondwatermodel uit de vorige projectfase (Bootsma et al., 2020) met een vaste deklaagweerstand van 10.000 dagen. Hierbij valt het op dat of de interpolatie op basis van GeoTOP of op basis van boringen gebeurt weinig invloed heeft.

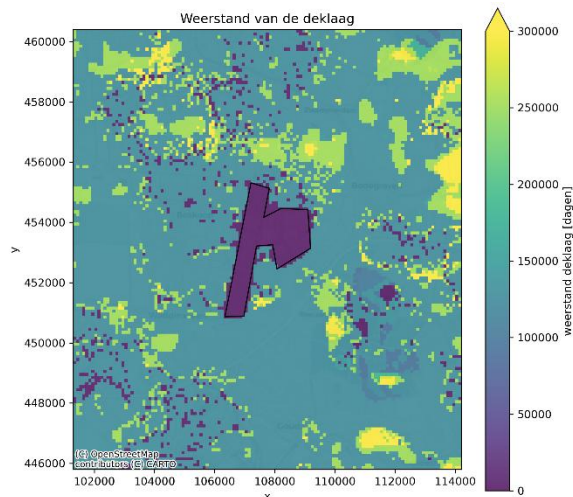
Ondanks dat een verlaging van de doorlatendheid van basisveen volgens GeoTOP met een factor 1000 (Kv van $4 \cdot 10^{-7}$ m/dag) of 10.000 (Kv van $4 \cdot 10^{-8}$ m/dag) de beste overeenkomst geeft tussen het grondwatermodel en de metingen, zijn deze waarden vergeleken met de gemeten doorlatendheid van het basisveen in Reeuwijk (Figuur 2-2, $7 \cdot 10^{-6}$ m/dag) waarschijnlijk onrealistisch laag. Daarom selecteren we de GeoTOP basisveen interpolatie in combinatie met een verlaging van de GeoTOP doorlatendheid met een factor 100 (resulterende in een doorlatendheid van $4 \cdot 10^{-6}$ m/dag) als meest plausibele modelschematisatie, en zal deze modelschematisatie gebruikt worden voor het vervolg van het project. De totale weerstand van de holocene deklaag komt hiermee buiten de polders op

ongeveer 150.000 dagen (Figuur 2-7). Omdat deze weerstand beduidend hoger ligt dan die toegepast door Bootsma et al. (2020) en op basis van expertkennis werd verwacht, is een extra analyse uitgevoerd naar de effecten van AWIS waarbij een weerstand van 10.000 dagen is toegepast (Bijlage A).

De weerstand van de holocene deklaag in de MT-polder zelf wordt niet aangepast conform de hier beschreven procedure, al bevindt zich ook in de ondergrond van de MT-polder basisveen. In Bootsma et al., (2020) had de MT-polder reeds een uniforme weerstand van 450 dagen toegewezen gekregen, waarin onder meer de invloed van wellen op de doorlatendheid impliciet is meegenomen.



Figuur 2-6; Overzicht van de prestatie-indicatoren (overeenkomst gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden) van de verschillende basisveen-schematisaties. 'Vaste weerstand: factor 10000' (blauw) is de schematisatie van het uitgangsmodel, met een vaste weerstand van 10.000 dagen, 'GeoTOP basisveen interpolatie; factor 100' (groen) is de geselecteerde nieuwe schematisatie, met een variërende weerstand, op basis van GeoTOP interpolatie en een Kv van $4 \cdot 10^{-6}$ m/dag.



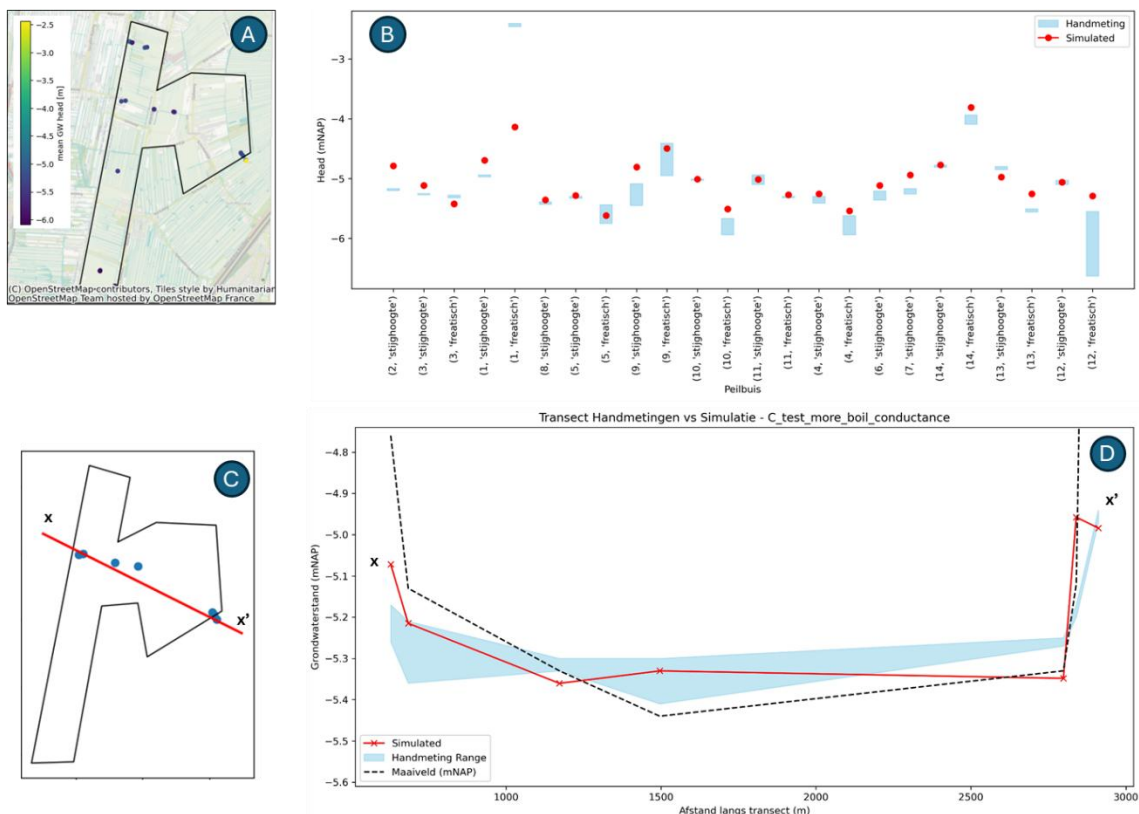
Figuur 2-7; Kaart van de weerstand van de deklaag (van het oppervlak tot de Holocene basis), na de aanpassingen aan de geologische schematisatie.

2.4 Kwel en opbarsten in diepe polders

Naast aanpassingen aan het geologische model en de geohydrologische schematisatie zijn er ook wijzigingen doorgevoerd in het geohydrologische model met betrekking tot het opbarsten van de randen van diepe polders. In deze polders, waar de waterstanden in de omgeving veel hoger zijn dan in de polder zelf, treedt in een smalle zone langs de rand van de polder veel kwel op. Dit gaat vaak samen met het opbarsten van de Holocene deklaag en de vorming van wellen.

In het model rondom de Middelburg-Tempelpolder is een verkennende studie uitgevoerd naar de breedte van deze zone en de hoeveelheid kwel die daar optreedt. Hiervoor is in de modellering de weerstand van de wellen aanvullend verlaagd in zones van 100 of 300 meter breed. In het oorspronkelijke model was deze weerstand al verlaagd naar 180 dagen; in deze analyse is ook een waarde van 90 dagen getest.

De modelresultaten voor de stijghoogte in de polder zijn vergeleken met metingen uit peilbuizen in de Middelburg-Tempelpolder. Hieruit bleek dat de oorspronkelijke schematisatie van de kwelzone onvoldoende kwel afvangt om de lage stijghoogtes in de polder te reproduceren. De aanvullende analyse laat zien dat het model de stijghoogtes het best kan nabootsen door een kwelzone van 100 meter breed aan te houden, gecombineerd met een extra verlaagde weerstand van 90 dagen (Figuur 2-8).



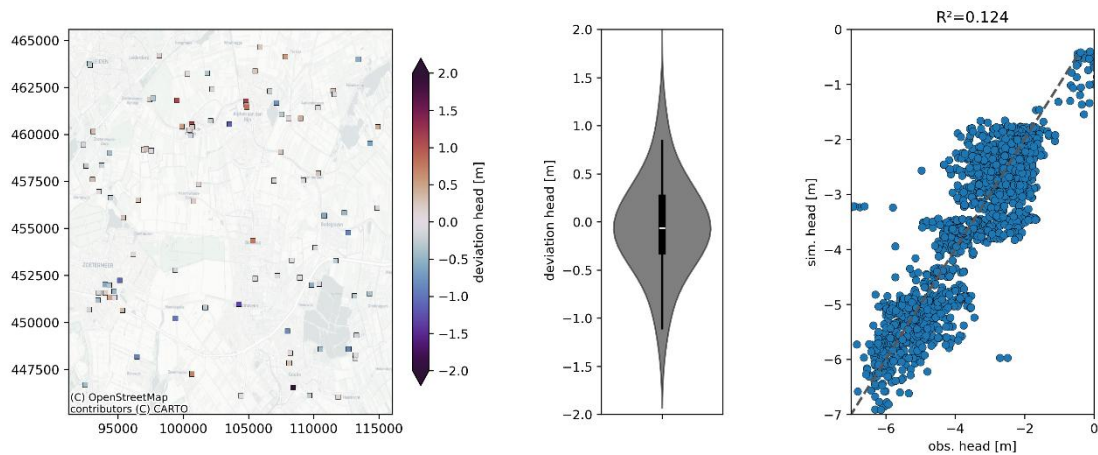
Figuur 2-8 a) locatie van recente grondwatermetingen; b) vergelijking tussen waargenomen en gesimuleerde waterstanden met aanvullend verlaagde kwelweerstand; c) locatie van het transect; d) vergelijking tussen waargenomen en gesimuleerde waterstanden langs het transect met aanvullend verlaagde kwelweerstand.

2.5 Modevaluatie

Na verwerking van de eerder besproken aanpassingen in het grondwatermodel (aanpassingen hydraulische weerstand deklaag, hydraulische weerstand welzone) zijn de door het model berekende stijghoogten vergeleken met beschikbare metingen.

Figuur 2-9 gaf reeds een goede match tussen de rekenresultaten en de metingen die zijn gedaan in het kader van het opbarstsonderzoek in de MT-polder (Erkens et al., 2019). Figuur 2-10 geeft een vergelijking met beschikbare grondwatermetingen uit DINOloket in de omgeving van de MT-polder. Uit Figuur 2-10 blijken in de directe omgeving van de MT-polder slechts beperkte verschillen in de gemiddelde stijghoogte tussen meting en model (Figuur 2-10 links, midden). Grotere afwijkingen komen voor de stedelijke omgeving van Waddinxveen, Alphen aan den Rijn en Gouda. Omdat deze afwijkingen zich verder van de MT-polder bevinden, en stedelijk gebied door het model niet specifiek wordt beschouwd, zijn deze afwijkingen niet verder onderzocht. Wanneer meting en modelresultaat op specifieke momenten in de tijd worden vergeleken, zijn afwijkingen groter (Figuur 2-10 rechts); met tijdstappen van een kwartaal kan de snelle dynamiek niet altijd worden gevangen.

Gegeven de goede prestaties van het model in de directe omgeving van de MT-polder is in samenspraak met de begeleidingscommissie het model voldoende betrouwbaar bevonden om de effecten van vernatting van omliggende veenweidepercelen te berekenen.



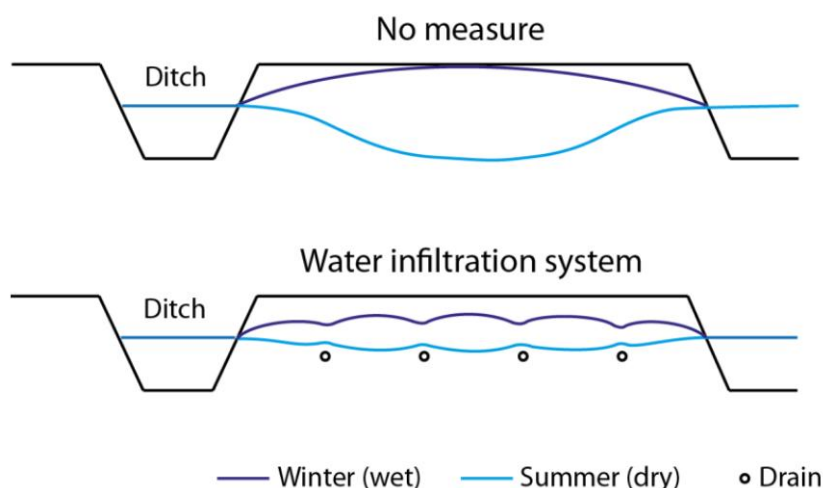
Figuur 2-10 Vergelijking tussen gesimuleerde en waargenomen grondwaterstanden voor de periode 1985-2020. links) kaart met de gemiddelde afwijkingen (in meters) tussen waargenomen en gesimuleerde waarden; midden) vioolplot met de verdeling van de gemiddelde afwijkingen; rechts) spreidingsplot van waargenomen en gesimuleerde waarden.

3 Vernatting via waterinfiltratiesystemen (WIS)

3.1 Theorie

De meeste maatregelen om broeikasgasemissie uit veengebieden te verminderen zijn gericht op het voorkomen van de diepe uitzakking van de (zomerse) freatische grondwaterstand. Dit kan worden gedaan door slootwaterpeilen te verhogen of door ondergrondse waterinfiltratiesystemen (WIS; bijv. Van den Akker et al., 2010; Querner et al., 2012; Hoekstra et al., 2020; Kalinsky et al., 2021) aan te leggen. Een WIS bestaat uit onder water staande horizontale drainagebuizen die in de veenbodem zijn geplaatst, ten minste 15-20 cm onder het slootwaterpeil (Figuur 3-1). In droge zomerperioden infiltreert het slootwater door de drains de bodem in om de verdamping te compenseren en zo een te grote uitzakking van de grondwaterstand te voorkomen.

De drains kunnen direct verbonden zijn met de sloot (passieve WIS, PWIS genoemd), of indirect via een klein reservoir (actieve WIS, AWIS). Het waterniveau in het reservoir wordt actief beheerd door een pomp om de infiltratie van water tijdens droge omstandigheden of de afvoer van water tijdens natte omstandigheden te verbeteren. Hiermee kan de waterdruk in de drainagebuizen actief gestuurd worden, onafhankelijk van het geldende slootpeil.



Figuur 3-1; Conceptuele figuur die de werking van een waterinfiltratiesysteem illustreert (van Asselen et. al, 2022).

3.2 Eerdere studies en voorbeelden

Uitgebreid onderzoek naar de effectiviteit van WIS op freatische grondwaterstanden in veenweidegebieden is uitgevoerd door Van Asselen et. al (2022). De resultaten tonen aan dat op drie van de vijf onderzochte locaties in Nederland het gemiddelde freatische zomer-GW-niveau aanzienlijk minder diep was in de WIS-percelen in vergelijking met het respectieve referentieperceel, met verschillen tot 27 cm. Hieronder volgt een korte samenvatting van de WIS-typen en voorbeelden van hun effectiviteit op basis van Van Asselen et al. (2022).

3.2.1 Passief waterinfiltratiesysteem (PWIS)

- **Ontwerp:** Horizontale afvoeren onder water, rechtstreeks aangesloten op greppels.
- **Functie:** Vertrouwt op natuurlijke hydraulische gradiënten; geen actieve controle.
- **Geteste voorbeeldlocaties:** Aldeboarn, Rouveen, Vlist.
- **Drainafstand, diepte:** Aldeboarn: 6 m, 70 cm -mv, Rouveen: 8 m, 70 cm -mv, Vlist: 6 m, 70 cm -mv.
- **Prestaties:** Effectief in Aldeboarn en Vlist tijdens droge zomers. Ineffectief of contraproductief in Rouveen, mogelijk door sterke lokale GW opwaartse kwel, wat leidde tot onbedoelde drainage.

3.2.2 Actief waterinfiltratiesysteem (AWIS)

- **Ontwerp:** Drains aangesloten op een reservoir met een pomp.
- **Functie:** Beheert actief het waterniveau om infiltratie tijdens droge perioden (en drainage tijdens natte perioden) te bevorderen.
- **Geteste voorbeeldlocaties:** Assendelft, Zegveld.
- **Drainafstand, diepte:** Assendelft: 4 m, 50 cm -mv, Zegveld: 6 m, 70 cm -mv
- **Prestaties:** AWIS was effectief in Assendelft en Zegveld, vooral tijdens droge zomers. Deze methode vereist wel nauwkeurig beheer van het waterniveau en regelmatig onderhoud (bijv. verstopte afvoeren verwijderen, tijdig opzetten).

3.2.3 Aanbevelingen implementatie WIS

Van Asselen et al. (2022) concludeerden dat AWIS effectiever is in het verhogen van de zomerse grondwaterstand dan PWIS. Effectiviteit van deze systemen hangt samen met aanleg en onderhoud. Een drainafstand van 4 m wordt aangeraden. Modder en gevangen lucht in de drains kan de doorstroming significant hinderen. Om de doorstroming in de drains optimaal te houden moeten ze daarom regelmatig schoongespoeld worden. Om verlies aan water naar de sloten te voorkomen is het verder aan te raden de slootpeilen zo mogelijk op te zetten.

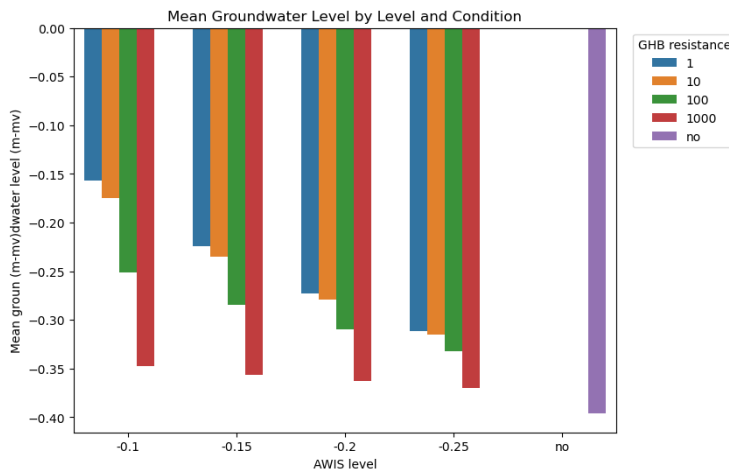
3.2.4 Inleidende modelstudie effectiviteit WIS rondom MT-polder

Om bodemdaling en CO₂ uitstoot in de omgeving van de MT-polder tegen te gaan, is het nodig om de grondwaterstanden niet verder uit te laten zakken dan 20 cm onder maaiveld. Met deze doelstelling in het achterhoofd, zijn verschillende modelschematisaties van WIS getest en hun effectiviteit bepaald. In deze testberekeningen is WIS toegepast in alle veenweide percelen binnen het modeldomein volgens het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide (NOBV), met uitzondering van de MT-polder.

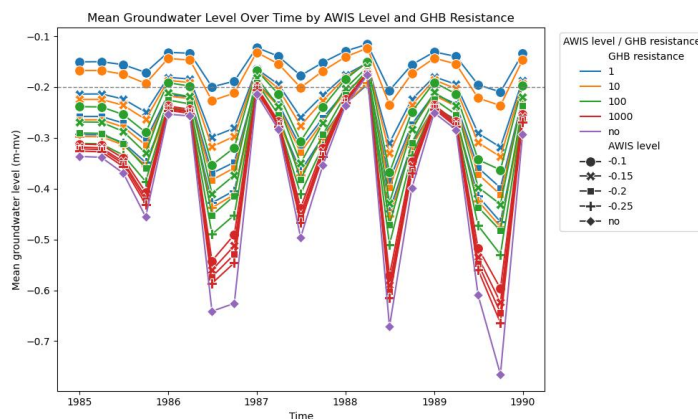
In het grondwatermodel is met behulp van een zogeheten GHB randvoorwaarde een AWIS variant toegevoegd, met drains op dieptes van 10, 15, 20 en 25 cm onder maaiveld. De effectiviteit van de drains wordt nagebootst door een aanvullende infiltratieweerstand toe te passen van 1, 10, 100 of 1000 dagen. Voor alle combinaties van draindiepte en drainweerstand is vervolgens gekeken of de maximale uitzakking van de grondwaterstand boven (of rond) het doel van 20 cm onder maaiveld blijft in de percelen waar WIS is toegepast.

Figuur 3-2 toont de gemiddelde grondwaterstanden voor verschillende GHB-weerstanden (tussen 1-1000 dagen) en het referentiemodel (zonder AWIS) voor gebieden rond de MT-polder. Figuur 3-3 toont de variatie van de gemiddelde grondwaterstanden in de tijd voor dezelfde reeks scenario's. In het referentiescenario (Figuur 3-2, paars) staat de grondwaterstand in de NOBV-percelen gemiddeld 40 cm onder maaiveld. Met de implementatie van AWIS wordt de gemiddelde grondwaterstand in alle scenario's verhoogd, maar alleen als het AWIS niveau op 10 of 15 cm onder maaiveld wordt gehouden, komt de

gemiddelde grondwaterstand in de buurt van de streefwaarde van 20 cm onder maaiveld. Bovendien laat de variatie door de tijd (Figuur 3-3) zien dat met een peil van 15 cm -mv deze streefwaarde alleen in de wintermaanden wordt gehaald. Daarnaast zien we dat hoe kleiner de weerstand is die wordt verondersteld voor de GHB die het AWIS vertegenwoordigt, hoe groter het verschil is tussen de nieuwe grondwaterstanden en de referentiewaarden (respectievelijk de paarse balk en de paarse lijn in Figuur 3-2 en Figuur 3-3).



Figuur 3-2; Gemiddelde grondwaterstanden met en zonder AWIS in de omliggende gebieden waar AWIS is geïmplementeerd in het numerieke model (MT-polder uitgesloten) voor verschillende weerstandswaarden en AWIS-niveaus (horizontale as). De paarse balk geeft het scenario zonder AWIS weer.



Figuur 3-3; Gemiddeld grondwaterpeil in de tijd met en zonder AWIS in de omliggende gebieden waar AWIS is geïmplementeerd in het numerieke model (MT-polder uitgesloten) voor verschillende AWIS-niveaus en weerstandswaarden. De paarse lijn geeft het scenario zonder AWIS weer.

De resultaten laten daarmee zien dat om ook in de zomermaanden de streefgrondwaterstand van 20 cm onder maaiveld te halen, de waterdruk in het AWIS systeem op 10 cm onder maaiveld moet worden ingesteld. Daarnaast moeten de buizen een lage weerstand hebben van 1 of 10 dagen, wat in de praktijk betekent dat ze met een korte tussenafstand aangelegd moeten worden en frequent moeten worden doorgespoeld. Dit is in lijn met de aanbevelingen van Van Asselen et al. (2022).

3.3 Voorgestelde implementatie van WIS in de MT-polder

In het Zuid-Hollands provinciaal programma landelijk gebied zal er mogelijk sprake zijn van vernatting van de veenweide gebieden. Door vernatting wordt verdere oxidatie van veen, en de daarmee gepaard gaande bodemdaling en CO₂-uitstoot verminderd. Conform de kamerbrief 'Water en bodem sturend' wordt bij vernatting gestreefd naar een grondwaterstand tussen de 40 en 20 centimeter onder maaiveld. De Middelburg-Tempelpolder omgeven door hoger gelegen veenweidegebied. Vernatting van het gebied rondom Boskoop is daarbij in het provinciaal programma landelijk gebied niet aan de orde. Geschikte locaties worden eerder gevonden ten oosten en ten zuiden van de MT-polder. Verder lijken actieve waterinfiltratiesystemen (AWIS), waarbij slootpeilen niet stijgen, maar water actief middels een pomp in infiltratiebuizen en daarmee het perceel in wordt gebracht, meer voor de hand te liggen dan passieve waterinfiltratiesystemen (PWIS). Bij passieve waterinfiltratie liggen infiltratiebuizen onder het slootpeil, en is verhoging van het slootpeil de drijvende kracht om water het perceel in te brengen. AWIS is alleen actief gedurende het groeiseizoen, in de winter wordt het perceel middels de drainagebuizen juist extra gedraineerd.

Op basis hiervan is in samenspraak met de begeleidingscommissie een scenario vastgesteld waarbij:

- Vernatting plaatsvindt in graslandpercelen in het veenweidegebied rondom de MT-polder, met uitzondering van ZHPLG gebied Boskoop.
- Vernatting wordt gerealiseerd middels AWIS, waarbij:
 - Alleen in het groeiseizoen (april tot en met september) het peil wordt opgezet.
 - Een peilvariatie wordt nagestreefd van 40 cm onder maaiveld in de winter tot 20 cm onder maaiveld in de zomer.
 - Sloten het huidige peil behouden.

3.3.1 Modelimplementatie

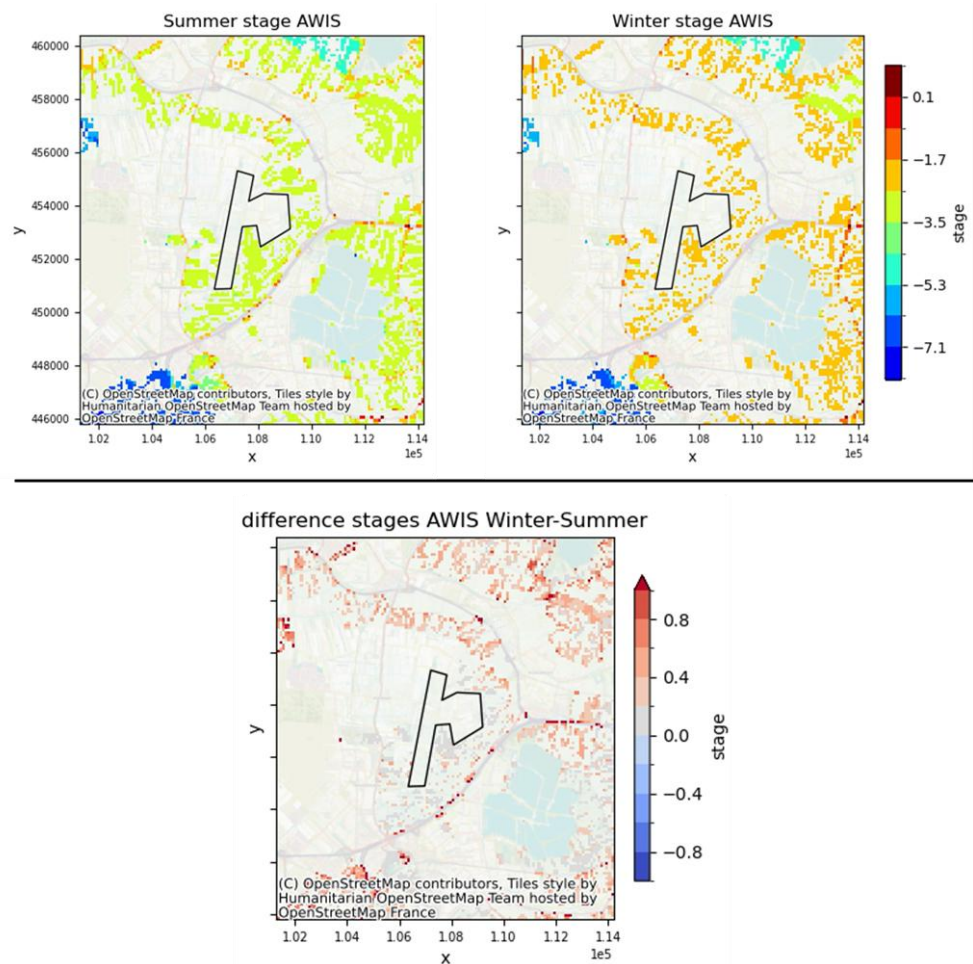
De ligging van de AWIS percelen is gebaseerd op een combinatie van GIS kaarten:

- Veenweidepercelen geselecteerd op basis kaart NOBV Somers basiskaart percelen
- Graslandpercelen geselecteerd op basis van de Basisregistratie Percelen 2024
- Shapefile ZHPLG-gebieden: deelgebied Boskoop niet meegenomen

Deze procedure geeft de gekleurde percelen in Figuur 3-4 als geselecteerde AWIS-percelen. Het betreft daarmee maar een beperkt deel van de omgeving van de MT-polder, ongeveer de helft van de percelen aan de zuid- en oostzijde van de MT-polder.

Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse (paragraaf 3.2.4) is 10 dagen gekozen als weerstand van de geïmplementeerde AWIS in het model. Verder wordt een niveau van 10 cm onder maaiveld aangehouden wanneer de AWIS actief is. Uit de gevoeligheidsanalyse bleek dat bij deze combinatie van parameters de nagestreefde grondwaterstand van 20 cm onder maaiveld kon worden gerealiseerd.

Het AWIS-systeem is zo ingesteld dat het alleen in de zomer, wanneer het grondwaterpeil het laagst is, operationeel is. In de periode april tot en met september wordt dan ook een niveau van 10 cm onder maaiveld gehanteerd. In de winter wordt het waterniveau in de AWIS niet actief ingesteld, de drainbuizen behouden evenwel hun drainerende werking. In de winter is het drainageniveau van de drainbuizen daarom ingesteld op het geldende winterpeil in het omringende oppervlaktewater. Figuur 3-4 geeft de ingestelde niveau van de AWIS in zomer en winter, en het verschil tussen de twee. De ingestelde weerstand van 10 dagen is gelijk over de gehele modelperiode.



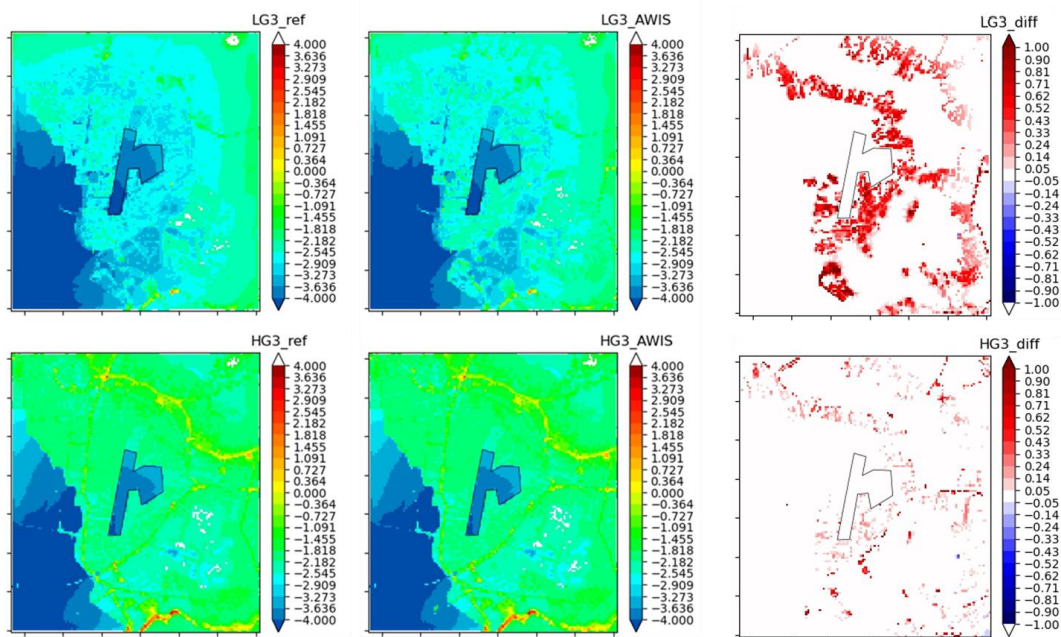
Figuur 3-4 boven: Locatie van geïmplementeerde AWIS (op graslandpercelen) rond de MT-polder met hun respectievelijke waterniveaus (in m NAP) in de periode april – september (peil actief verhoogd ten opzichte van het slootpeil, links) en in de periode oktober – maart (peil gelijk aan het slootpeil, rechts). Witte gebieden op de kaart geven geen AWIS-systemen weer. Onder: Het verschil tussen de zomer- en winterstand in de AWIS-systemen (in m). Deze bedraagt gemiddeld 0.36 m (hoger in de winter).

4 Resultaten modelverkenning implementatie AWIS

4.1 Grondwatersituatie

De implementatie van AWIS leidt tot een algehele stijging van de grondwaterstanden op de percelen waar het systeem is geïmplementeerd. Figuur 4-1 laat het berekende effect van implementatie van AWIS op respectievelijk de laagst gemiddelde grondwaterstand (LG3 in Figuur 4-1) en de hoogst gemiddelde grondwaterstand (HG3 in Figuur 4-1) over de modelperiode zien. Specifiek is hier het gemiddelde berekend van de 3 laagste, respectievelijk hoogste, per kwartaal berekende grondwaterstanden over de modelperiode. Gemiddeld bedroeg het berekende verschil 0,33 m voor de laagste en 0,07 m voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand voor de betreffende AWIS-percelen.

De berekende stijging van de gemiddeld hoogste grondwaterstand is op het eerste gezicht onverwacht, omdat er door AWIS in de betreffende percelen 's winters extra wordt ontwaterd ten opzichte van de uitgangssituatie. Het drainagepeil wordt 's winters immers niet actief verhoogd voor infiltratie, maar de buizen liggen wel in het perceel en hebben dan een ontwaterende functie. Reden voor dit effect is dat de gemiddeld hoogste grondwaterstanden na implementatie van AWIS niet langer in de winterperiode optreden, maar juist in de zomerperiode, wanneer de AWIS actief is. Wanneer specifiek naar winter-grondwaterstanden wordt gekeken, nemen inderdaad af, zoals zichtbaar in Figuur 4-2.

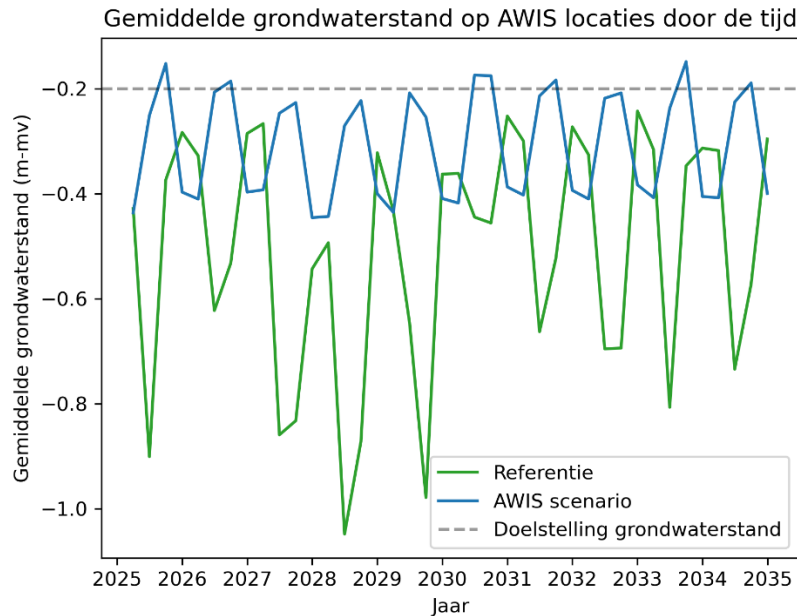


Figuur 4-1 Gemiddeld laagste (LG3, boven) en gemiddeld hoogste (HG3, onder) resultaten voor het referentiemodel (_ref, links) en het model met geïmplementeerde AWIS (AWIS, midden) en hun verschillen (rechts). Op de kaart met verschillen geven rode kleuren hogere gemiddelde grondwaterstanden in het AWIS-scenario aan.

Wanneer AWIS wordt toegepast varieert de grondwaterstand gemiddeld tussen de 20 (zomer) en 40 cm (winter) onder maaiveld (Figuur 4-2). De diep wegzakkende grondwaterstanden in de zomer worden vermeden door infiltratie in de zomer, terwijl de

wintergrondwaterstand juist wat lager is dan in de referentiesituatie, door de ontwaterende werking van de drains in de winter. De AWIS heeft hiermee het beoogde effect op de grondwaterstand in de betreffende percelen. De grondwaterstand volgt daarmee een omgekeerd patroon; hoge grondwaterstanden in de zomer, lage in winter.

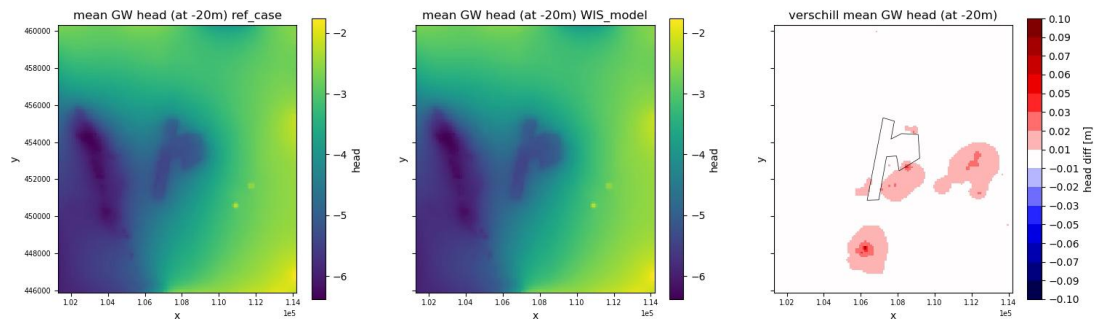
Voor de percelen in de MT-polder, waar geen AWIS is geïmplementeerd, is geen effect zichtbaar van de aanleg van AWIS in de omliggende veenweidepercelen op de optredende hoogste en laagste grondwaterstanden.



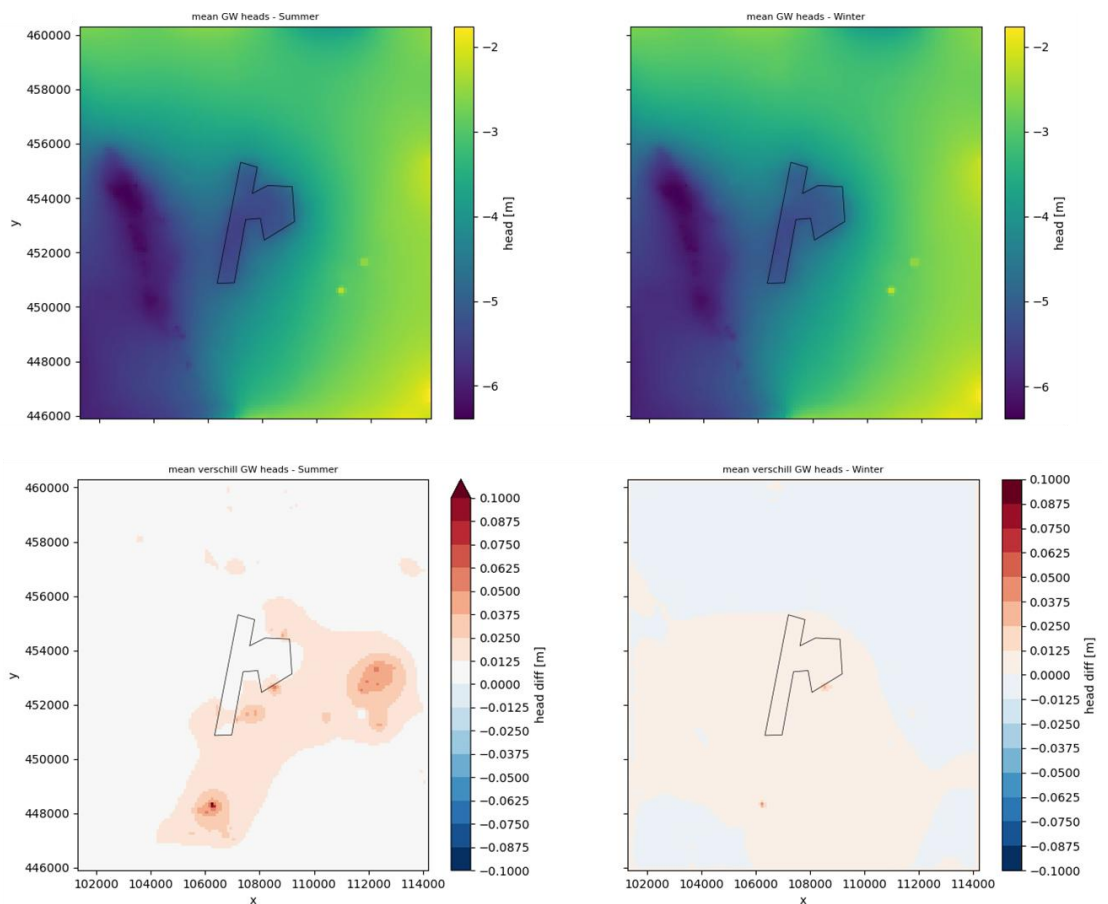
Figuur 4-2 Variatie van grondwaterstanden in de tijd voor de percelen met AWIS in vergelijking met de referentie.

De verandering in grondwaterstand wordt gedempt 'doorgegeven' aan het grondwater in de daaronder liggende zandlaag: het eerste watervoerende pakket, waardoor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket verandert. Figuur 4-3 geeft de verandering in de gemiddelde stijghoogte, Figuur 4-4 geeft de verandering in stijghoogte uitgesplitst naar de zomer- en wintersituatie. De stijghoogte neemt toe onder de percelen waar AWIS wordt toegepast. Deze toename is sterker aan de zuid- en oostkant van de MT-polder. De stijghoogte neemt hier maximaal met enkele centimeters toe. De AWIS aan de noordkant van de MT-polder heeft geen merkbaar effect (< 1 cm) op de gemiddelde stijghoogte, in de zomer wordt een stijging van minder dan 2 cm berekend. Het effect in de winter is minimaal (< 1 cm). De veranderingen in de stijghoogte spreiden zich ruimtelijk uit, ook op enige afstand van de betreffende percelen wordt de stijghoogte beïnvloed. Het effect op de stijghoogte komt daarmee ook op enkele locaties tot onder de MT-polder, met name in de zuidhoek van de Tempelpolder.

In de zuidoosthoek van de Tempelpolder is een enkele locatie zichtbaar met een sterker effect op de stijghoogte. Het betreft hier een modelcel waar abusievelijk een combinatie aanwezig is van zowel de zone met verlaagde weerstand door wellen (de binnenrand van de MT-polder), als van een perceel waarop AWIS is geïmplementeerd (buiten de MT-polder). Door de lage weerstand (wellen), werkt het effect van AWIS sterk door in het eerste watervoerende pakket. Deze combinatie kan in werkelijkheid niet plaatsvinden, effect op en rond deze locatie zijn een overschatting van het verwacht optredende effect.



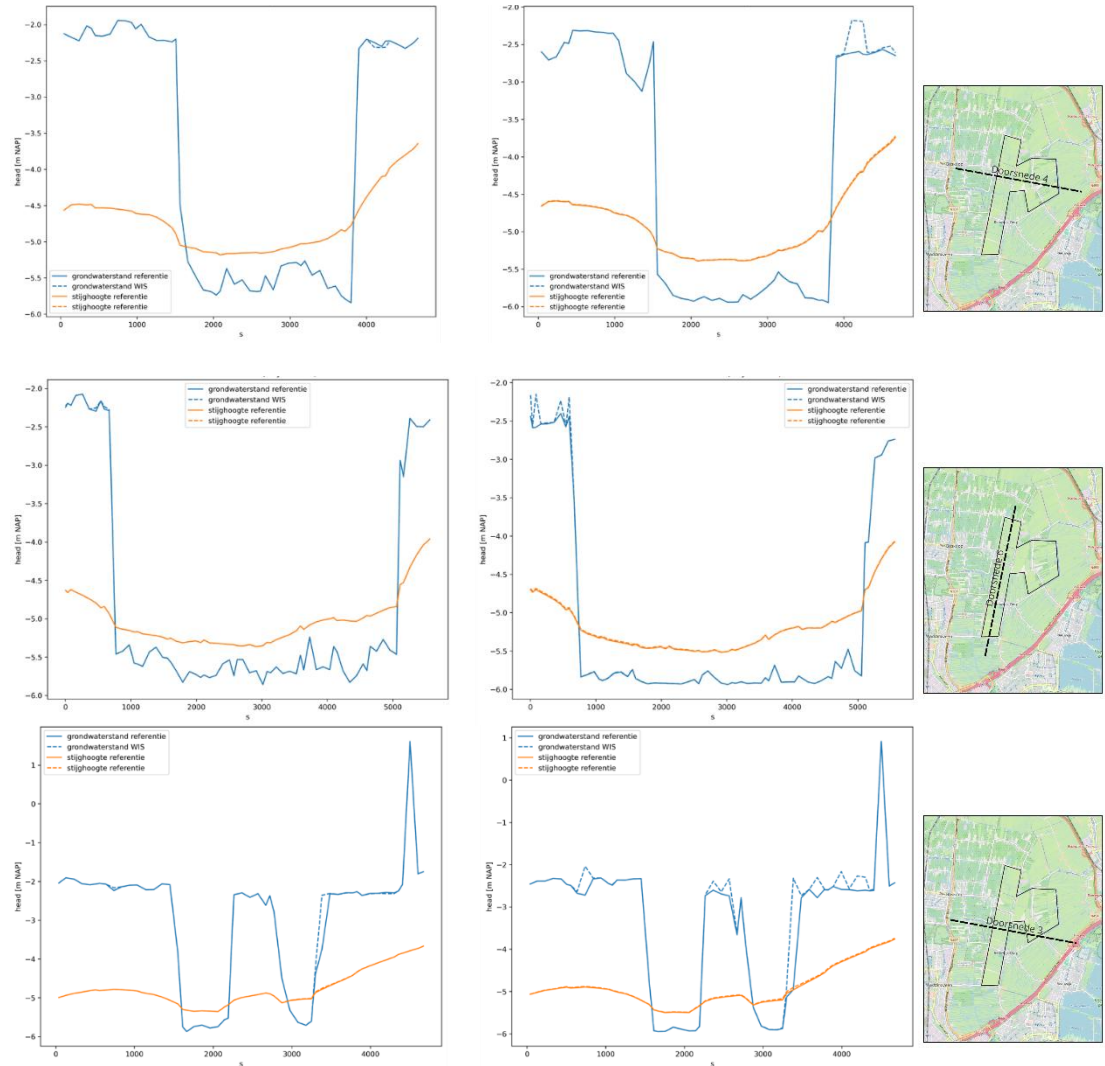
Figuur 4-3 Gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket voor de referentie (links), de situatie met AWIS (midden) en het verschil (rechts). Op de kaart met verschillen geven rode kleuren hogere gemiddelde grondwaterstanden in het AWIS-scenario aan.



Figuur 4-4 Stijghoogte in het eerste watervoerende pakket na implementatie van AWIS (boven) en verschil met de referentie (onder) voor de zomer- (links) en wintersituatie (rechts). Op de kaart met verschillen geven rode kleuren hogere gemiddelde grondwaterstanden in het AWIS-scenario aan.

Figuur 4-5 geeft het verloop van zowel de grondwaterstand als de stijghoogte in het watervoerende pakket voor verschillende doorsneden door de MT-polder, voor verschillende momenten in de tijd. De invloed van de AWIS op de grondwaterstand buiten de MT-polder is duidelijk zichtbaar in de zomerperiode, het verschil in de winterperiode is moeilijker zichtbaar. De optredende stijging in het watervoerende pakket is beperkt; beide lijnen liggen op deze schaal nagenoeg op elkaar. In doorsnede 3 (Figuur 4-5, onderste rij, x ~3400 m) is het eerder besproken modelartefact zichtbaar, waar AWIS implementatie en lage wel-weerstand

abusievelijk in dezelfde cel zijn gecombineerd. Hier is een grote toename in de berekende grondwaterstand door AWIS implementatie zichtbaar.

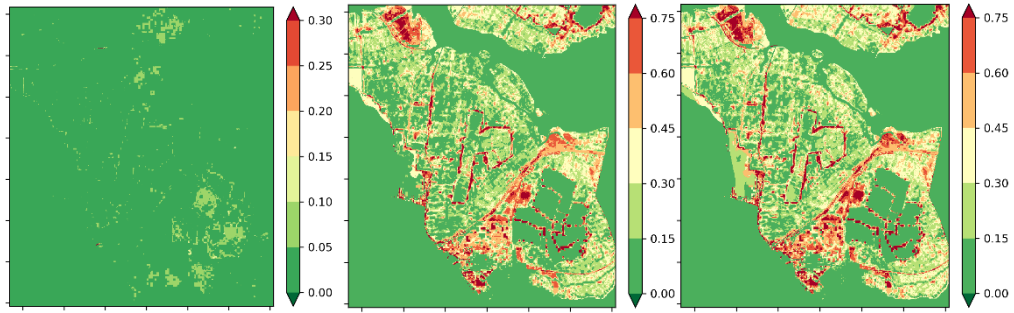


Figuur 4-5 Verloop grondwaterstand (blauw) en stijghoogte (oranje) voor de referentie (doorgetrokken lijn) en na implementatie van AWIS (gestippelde lijn), in de winter (links) en in de zomer (rechts), voor verschillende doorsneden door de MT-polder.

4.2 Aanvullende effecten vernatting rondom MT-polder

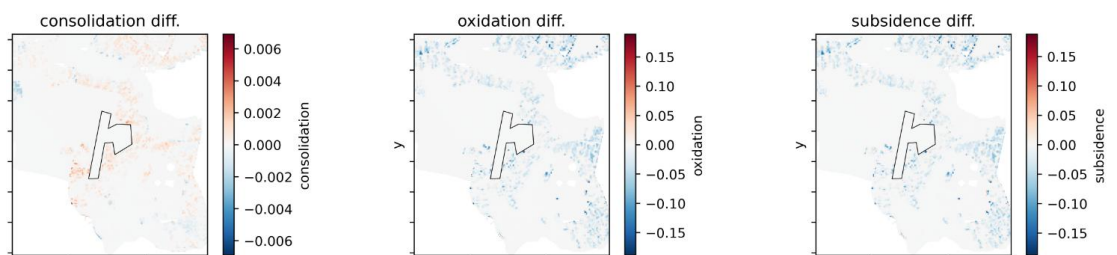
4.2.1 Bodemdaling

Met behulp van het Atlantis bodemdalingsmodel is de verwachte bodemdaling in het gebied berekend (Figuur 4-6). De berekende bodemdaling bestaat uit de componenten compactie (inklinking van grond na verlaging waterdruk of verhoging belasting) en oxidatie (veenafbraak wanneer veen in contact komt met zuurstof). Oxidatie is hierbij de grootste component>



Figuur 4-6 Berekende consolidatie (links), oxidatie (midden) en totale bodemdaling (rechts) over 50 jaar voor de referentiesituatie.

Figuur 4-7 toont het verschil in verwachte bodemdaling na implementatie van AWIS ten opzichte van de referentie. Over het algemeen is er sprake van een patroon van hogere consolidatie, terwijl oxidatie en de totale bodemdaling afnemen onder het AWIS-scenario. Binnen de MT-polder zijn er vrijwel geen veranderingen.

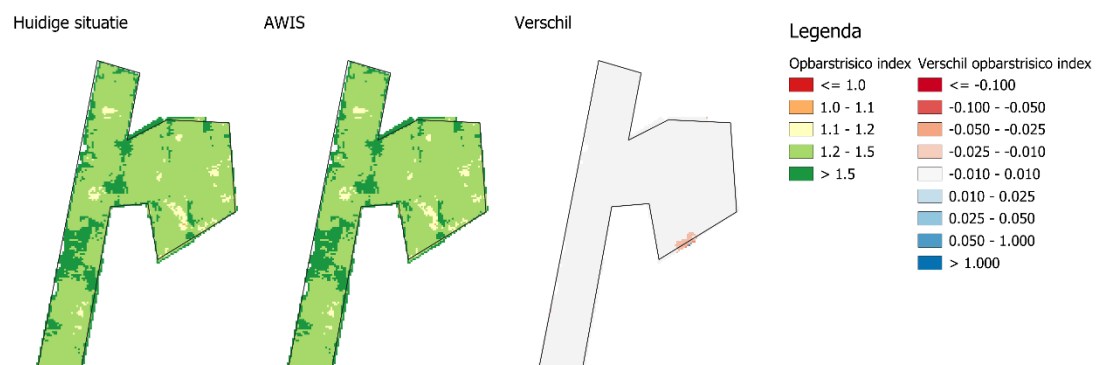


Figuur 4-7 Gemiddeld verschil in consolidatie (links), oxidatie (midden) en totale bodemdaling (rechts) na implementatie van AWIS ten opzichte van de referentie.

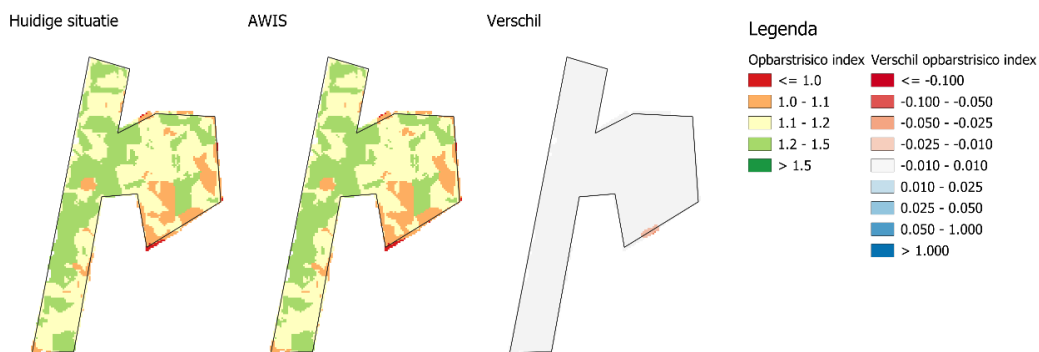
4.2.2 Opbarstrisico

Figuur 4-8 geeft de verandering van het berekende opbarstrisico na implementatie van AWIS in omliggende veenweidepercelen. Het opbarstrisico wordt daarbij nauwelijks beïnvloed door implementatie van AWIS, met uitzondering van een klein zichtbaar effect in de zuidhoek van de Tempelpolder. De locatie hiervan komt overeen met de eerder geconstateerde overlappende AWIS implementatie en de wellenstrook en betreft dus waarschijnlijk een modelartefact.

Opbarstrisico index maaiveld - gemiddeld



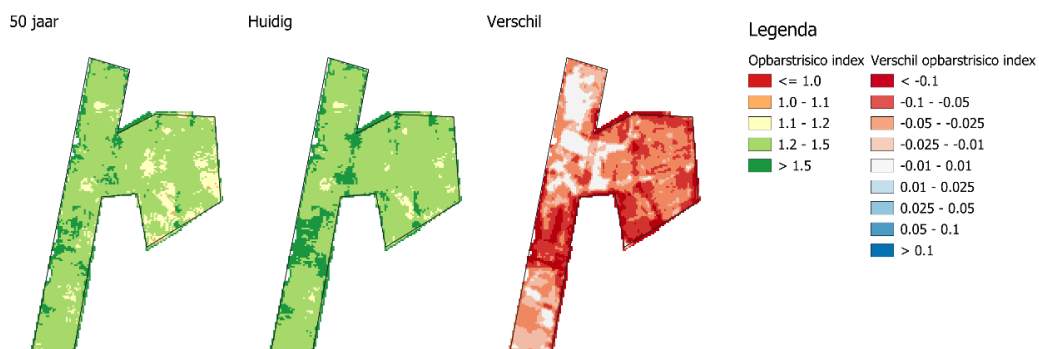
Opbarstrisico index sloten - gemiddeld



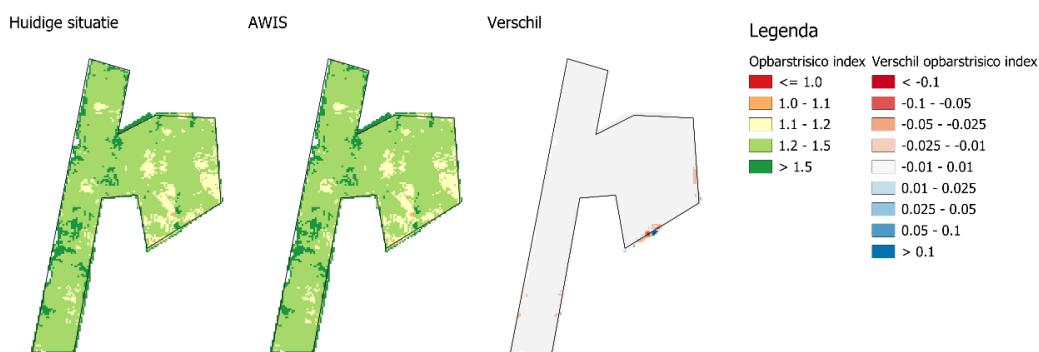
Figuur 4-8 Jaargemiddelde opbarstrisico index voor de referentie (links), AWIS (midden) en het verschil (rechts), voor de situatie aan maaiveld (boven) en in de sloten (onder). Een opbarstrisico index < 1.0 betekent een zeer hoog opbarstrisico, tussen 1.0 en 1.1 een hoog opbarstrisico, tussen 1.1 en 1.2 een beperkt opbarstrisico, tussen 1.2 en 1.5 een laag opbarstrisico en groter dan 1.5 een zeer laag opbarstrisico.

Door voortgaande bodemdaling en het daarmee gepaard gaande verlies aan volumiek gewicht (tegendruk) neemt het opbarstrisico in de MT-polder in de toekomst duidelijk toe (Figuur 4-10, boven). Deze toename geldt onafhankelijk van de implementatie van AWIS in de omliggende veenweidepercelen. De verschillen tussen de referentie en de situatie met AWIS zijn ook na 50 jaar klein (Figuur 4-10, onder).

Opbarstrisico index maaiveld huidig - 50 jaar



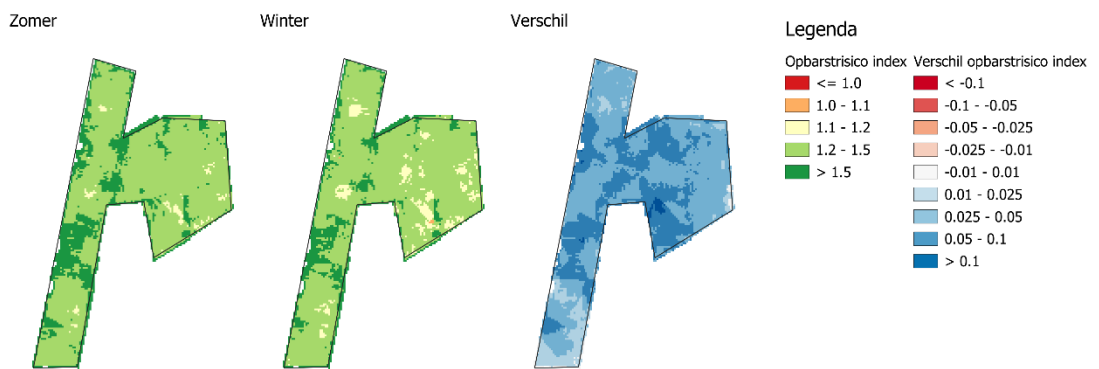
Opbarstrisico index maaiveld - 50 jaar



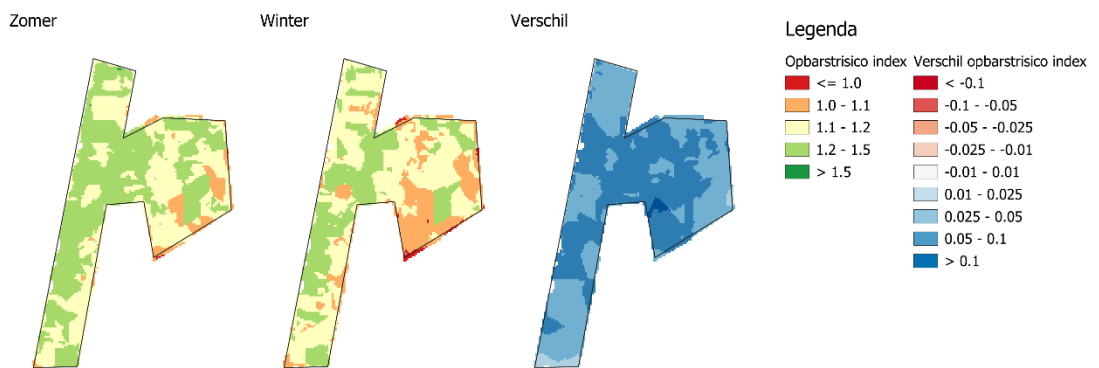
Figuur 4-9 Boven: jaargemiddelde maaiveld opbarstrisico index voor de referentiesituatie voor de situatie over 50 jaar (links), de huidige situatie (midden) en het verschil (rechts). Onder: jaargemiddelde maaiveld opbarstrisico index over 50 jaar in de referentie (links), situatie met AWIS (midden) en het verschil (rechts). Een opbarstrisico index < 1.0 betekent een zeer hoog opbarstrisico, tussen 1.0 en 1.1 een hoog opbarstrisico, tussen 1.1 en 1.2 een beperkt opbarstrisico, tussen 1.2 en 1.5 een laag opbarstrisico en groter dan 1.5 een zeer laag opbarstrisico.

Het risico op opbarsten is vergeleken tussen de zomer- en wintersituatie. In de zomer zijn grondwaterstanden laag en is er daarom in de percelen minder tegendruk tegen de diepe grondwaterdruk. De stijghoogte in het watervoerende pakket is evenwel ook lager. Voor de sloten geldt juist dat in de zomer een iets (2 cm) hoger peil wordt gehanteerd. In de winter is de situatie omgekeerd: de grondwaterstand, maar ook de stijghoogte is hoger, slootpeilen juist iets lager. Figuur 4-10 geeft het berekende opbarstrisico in de zomer- en wintersituatie. Het opbarstrisico is in de winter voor zowel op de percelen als in de sloten hoger. Voor de sloten is dit naar verwachting; immers de druk vanuit het grondwater is hoger (hogere stijghoogte), terwijl de tegendruk (slootpeil) wat lager is. Maar ook in de percelen blijkt het opbarstrisico in de winter hoger. Dit komt doordat de grondwaterstand slechts deels de tegendruk bepaald: een hogere grondwaterstand zorgt alleen voor extra gewicht in de poriënruimte. Het verschil tussen de verzadigde dichtheid en de onverzadigde dichtheid verschilt per grondsoort, maar ligt zo rond de 10% (Tabel 2.1). De hogere stijghoogte in de winter blijkt daarmee van groter belang voor het opbarstrisico dan de hogere grondwaterstand.

Opbarstrisico index maaiveld huidig - zomer - winter



Opbarstrisico index sloten huidig - zomer - winter



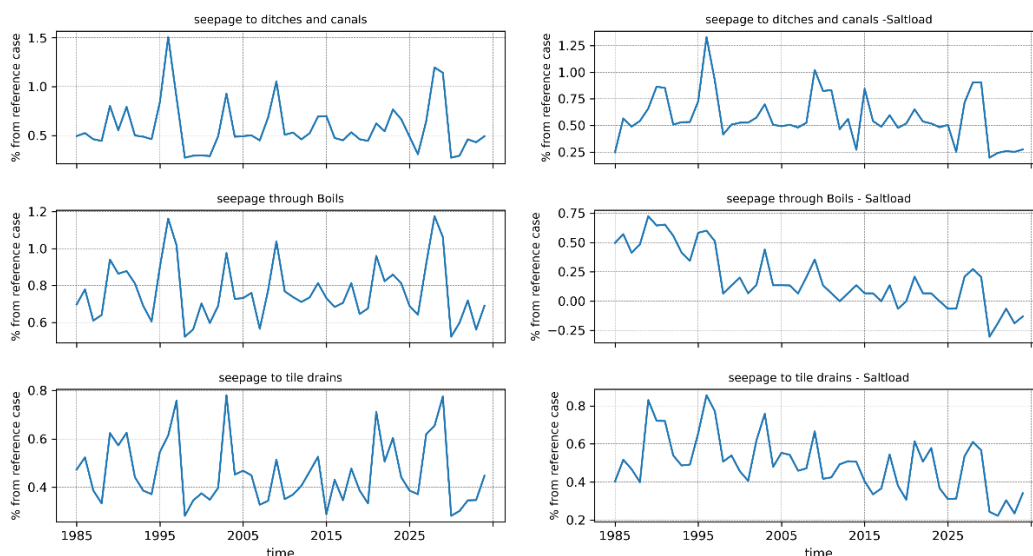
Figuur 4-10 Verschil (rechts) tussen opbarstrisico index voor zomer (links) versus de wintersituatie (midden) voor de huidige situatie, voor de situatie aan maaiveld (boven) en in de sloten (onder). Een opbarstrisicoindex < 1.0 betekent een zeer hoog opbarstrisico, tussen 1.0 en 1.1 een hoog opbarstrisico, tussen 1.1 en 1.2 een beperkt opbarstrisico, tussen 1.2 en 1.5 een laag opbarstrisico en groter dan 1.5 een zeer laag opbarstrisico.

4.2.3

Kwel, zoutlast MT-polder en verschuiving zoet-zout grensvlak

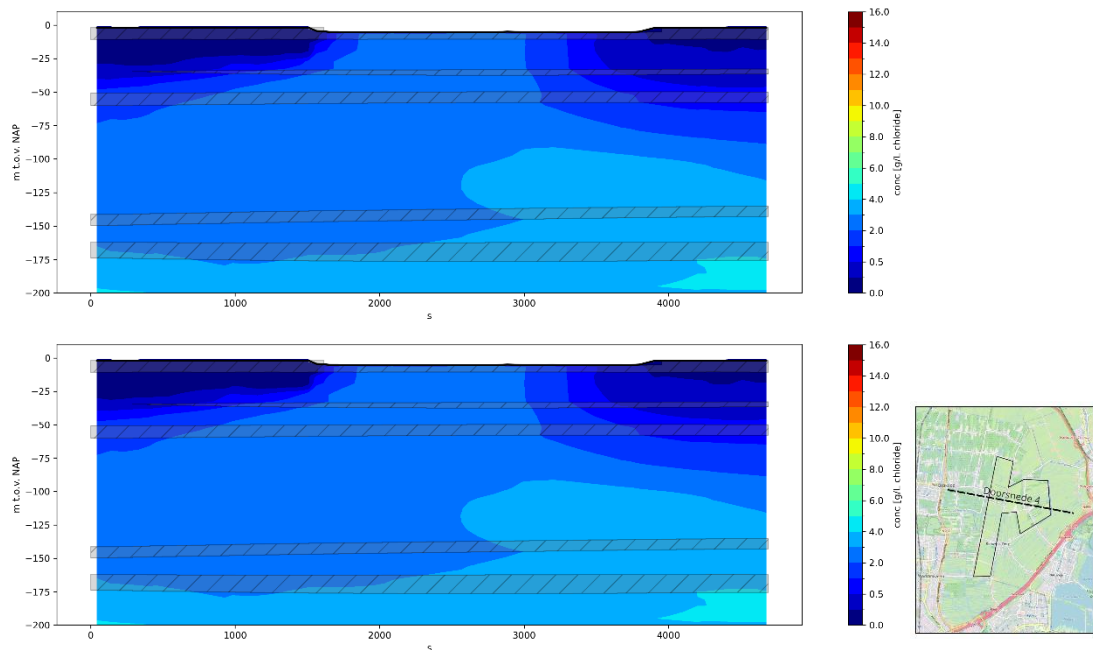
De gewijzigde grondwatersituatie heeft invloed op de stroming van water en zout naar de MT-polder. Met een nauwelijks wijzigende stijghoogteverdeling is ook de daaruit voortvloeiende invloed van AWIS op kwel en zoutlast beperkt. De totale jaargemiddelde polderafvoer van de MT-polder neemt verwaarloosbaar toe van 5,42 naar 5,45 miljoen m³ per

jaar. De zoutvracht naar de MT-polder neemt ook verwaarloosbaar toe, van 3,05 naar 3,06 kton Cl⁻ per jaar. In deze veranderingen over de modelperiode, uitgesplitst naar oppervlaktewater, wellen en drainage (Figuur 4-11), is voor de zoutvracht naar wellen een trend in de tijd te zien, door langzame toestroming van zoeter water vanuit het omliggende veenweidegebied aan de binnenrand van de MT-polder neemt de zoutvracht van de wellen over 50 jaar af. De zoutvracht neemt daarbij eerst licht toe, door de toegenomen stijghoogte in het grondwater. Dit drukeffect is zo goed als instantaan. De concentratieverandering speelt over langere tijd, en geeft de neerwaartse trend in de zoutvracht. Merk wel op dat deze trend in absolute grootte wederom verwaarloosbaar is (van +0,5 % verschil naar -0,25 % verschil met de referentie).



Figuur 4-11 Verandering van waterfluxen (links) en zoutvracht (rechts) naar oppervlaktewater (boven), wellen (midden) en drainage (onder) in de MT-polder gedurende de modelperiode na implementatie van AWIS in omliggende veenweidepercelen. Veranderingen in procenten ten opzichte van de referentie.

Figuur 4-12 geeft de zoet-zoutverdeling in het grondwater voor een W-O doorsnede over de MT-polder aan het einde van de modelperiode. Verschillen tussen de referentie en de situatie met AWIS zijn niet te zien, de invloed van implementatie van AWIS op de verandering van zoet en zout grondwater is verwaarloosbaar. Hetzelfde beeld is zichtbaar op andere doorsneden (niet getoond).



Figuur 4-12 Zoet-zoutverdeling aan einde modelperiode over een W-O doorsnede over de MT-polder (locatie rechts), boven situatie na implementatie AWIS, onder de referentie.

De Provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap van Rijnland hebben Deltares daarom gevraagd om de effecten van het vernatten van de omgeving op de MT-polder te onderzoeken. De resultaten zijn gecommuniceerd met belanghebbenden in een regionale bijeenkomst.

5 Conclusies en aanbevelingen

In het kader van het Nationaal Programma Landelijk Gebied en de Beleidsbrief Water en Bodem en het Programma Landelijk Gebied Zuid-Holland (ZH-PLG) worden naar verwachting vernattingsmaatregelen genomen in de veenweidepolders rondom de Middelburg-Tempelpolder, om bodemdaling in het gebied te voorkomen en broeikasgasemissies door veenoxidatie te verminderen. Voorliggende rapportage beschrijft een modelonderzoek om de effecten van vernattingsmaatregelen in de omliggende veenweidegebieden op de grondwatersituatie in de MT-polder in kaart te brengen. Hierbij is een bestaand tijdsafhankelijk zoet-zout grondwatermodel, ontwikkeld in het kader van het kennisprogramma COASTAR, als uitgangspunt genomen.

De deklaagweerstand in de omliggende veenweidegebieden bepaalt voor een belangrijk deel het effect van een vernattingsmaatregel op de regionale grondwaterstroming en daarmee op effecten binnen de MT-polder. Deze deklaagweerstand is onderzocht door nadere analyse van beschikbare boringen en laboratoriumanalyses van de doorlatendheid van basisveen, gecombineerd met een gevoeligheidsanalyse met het grondwatermodel. Uit deze analyses bleek een continue aanwezigheid van basisveen, gecombineerd met een lage doorlatendheid van dit basisveen. Deze combinatie resulteert in een erg hoge weerstand (gemiddeld 150.000 dagen) van de deklaag rondom de MT-polder. Deze weerstand gaf de beste overeenkomst tussen model en metingen, maar is beduidend hoger dan eerder gedacht (zo'n 15x hoger dan eerdere modelberekeningen). Omdat dit een bepalende parameter betreft voor de resultaten van de studie is in Bijlage A onderzocht hoe de eerder toegepaste deklaagweerstand van 10.000 dagen zou uitwerken op de resultaten. In deze analyse is geconcludeerd dat een deklaagweerstand van 10.000 dagen een gelijk effect van implementatie van AWIS berekend als de nu toegepaste weerstand. Door het optreden van wellen is de weerstand van de deklaag in de MT-polder juist laag. De deklaagweerstand aan de binnenrand van de MT-polder is verder verlaagd ten opzichte van het beschikbare model. Stijghoogtemetingen in en rond de MT-polder konden na verwerking van deze aanpassingen aan de deklaagweerstand in het model goed gerepresenteerd worden.

Actieve waterinfiltratiesystemen (AWIS) kenmerken zich door de aanleg van infiltratie (/drainage) buizen in het perceel, waarbij het waterpeil in de infiltratiebuizen middels een verzamelput en pomp actief gestuurd kan worden. Slootpeilen hoeven hierbij niet aangepast te worden. Met een AWIS systeem kan 's zomers gestuurd worden op een ondiepe grondwaterstand. 's Winters hebben de infiltratiebuizen juist een drainerende functie, waardoor al te hoge grondwaterstanden worden voorkomen. Voor het onderzoeken van het effect van vernatting in de omliggende veenweidepolders is een scenario doorgerekend waarbij AWIS systemen in het model zijn ingebracht op graslandpercelen in de omliggende veenpolders, met uitzondering van deelgebied Boskoop. Met de AWIS systemen is daarbij gestuurd op een grondwaterstand van gemiddeld – 20 cm onder maaiveld in de zomer, en – 40 cm in de winter.

Implementatie van AWIS op graslandpercelen rondom de MT-polder leidt op de betreffende percelen tot een gewenst grondwaterstandsverloop tussen – 20 cm ('s zomer) en – 40 cm (winter). Dit betekent een zomerse grondwaterstandsstijging van tientallen centimeters. Door de hoge weerstand van de deklaag wordt het effect hiervan op het diepere grondwater echter sterk gedempt. Stijghoogteveranderingen onder de betreffende percelen zijn beperkt tot maximaal enkele centimeters. Onder de MT-polder is de toename van de stijghoogte verwaarloosbaar, maximaal 1 cm. Door het verwaarloosbare effect van AWIS op de stijghoogte onder de MT-polder is ook het effect van AWIS in de omliggende veenpolders op

opbarsting in de MT-polder verwaarloosbaar, zowel in de huidige situatie, als na 50 jaar voortgaande bodemdaling. In de winterperiode is het risico op opbarsten groter dan in de zomerperiode, omdat de hogere grondwaterdruk in de winter van groter belang blijkt dan het hogere gewicht (tegendruk) door de hogere grondwaterstand.

Volgens de modelresultaten is het effect van AWIS in omliggende veenpolders op het kwelbezwaar en de zoutlast naar de MT-polder verwaarloosbaar. Tenslotte wordt bodemdaling in de MT-polder ook niet beïnvloed door aanleg van AWIS in de omliggende veenpolders, terwijl AWIS wel de bodemdaling op de betreffende percelen zelf vermindert.

Gezien de verwaarloosbare effecten van aanleg van AWIS in omliggende veenweidepercelen op de MT-polder zijn mogelijke mitigerende maatregelen niet onderzocht.

Merk op dat de hier gepresenteerde conclusies zijn gebaseerd op rekenresultaten met een numeriek grondwatermodel. Dit model bevat de laatste kennis over grondwaterstroming en de werking van het grondwatersysteem rond de MT-polder, is aangepast op basis van onderzoek naar de weerstand van de deklaag en is zorgvuldig getoetst aan beschikbare stijghoogtemetingen. De uitgevoerde analyse laat zien dat de beschikbare stijghoogtemetingen met een zeer hoge en continue deklaagweerstand in het model het beste worden benaderd. Omdat de toegepaste weerstand van de deklaag in deze studie flink hoger wordt aangenomen dan in eerdere studies, is met een extra analyse het effect van een deklaagweerstand van 10.000 dagen (de waarde toegepast in Bootsma et al., 2020) op de resultaten onderzocht (Bijlage A). Uit deze analyse bleek dat het effect op opbarsting in deze analyse gelijk was aan het in dit rapport gepresenteerde effect.

Dit model (zoals elk model) blijft een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, waarbij niet alle detailkennis aanwezig is of in het model kan worden opgenomen. Zo was het bijvoorbeeld ondoenlijk om de precieze ligging van afzonderlijke wellen in het model op te nemen, en is in plaats daarvan een rand met verlaagde weerstand in het model ingebracht. Ook zijn wellicht plaatselijk gaten in de bepalende basisveen-laag aanwezig, die lokaal voor een groter effect van AWIS kunnen zorgen dan hier gerapporteerd. Aanbevolen wordt dan ook bij eventuele aanleg van AWIS systemen het effect hiervan op de stijghoogte en uiteindelijk de MT-polder goed te monitoren.

6 Referenties

Bootsma, H., Delsman, J. R., Kelder, T. op den, Mulder, N., Griff, B. van der, & Ruepert, N. (2020). Brakwaterwinning Polder Middelburg en Tempelpolder - Technisch achtergrondrapport geohydrologische modellering, hydrochemie en schetsontwerp. *Deltares rapport 11204485-001-BGS-0006*.

Buma, J.T., de Heer, E., Bus, S.A.R., Harting, R., & Bootink, W. (2024). *TopIntegraal, het boor- en meetprogramma van de ondiepe ondergrond van Nederland. Deelrapport 1. Meetgegevens en kentallen verzadigde doorlatendheid, versie 1.0* (TNO-rapport TNO 2023 R10561). TNO. Geraadpleegd van https://www.grondwatertools.nl/sites/default/files/2024-05/TNO-GDN2024_TopIntegraal-boorEnMeetprogrammaOndiepeOndergrondNL-1verzadigdeDoorlatendheid_TNO2023-R10561.pdf

Buma, J. T., Bus, S. A. R., Harting, R., & Zaadnoordijk, W. J. (2021). *Karakterisering van de doorlatendheid van de ondiepe ondergrond van Noord-Nederland* (TNO-rapport TNO 2021 R10310). TNO Geologische Dienst Nederland. Beschikbaar via https://www.geologischedienst.nl/app/uploads/2021/11/TNO-GDN2021_KarakteriseringDoorlatendheidOndiepeOndergrondNoord-Nederland_TNO-R10310.pdf.

de Louw, P. G. B., Vandenbohede, A., Werner, A. D., & Oude Essink, G. H. P. (2013). Natural saltwater upconing by preferential groundwater discharge through boils. *Journal of Hydrology*, 490, 74–87. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.025>

Erkens, G., de Louw, P. G. B., Bootsma, H., & Kooi, H. (2019). Huidig en toekomstig opbarstrisico in de polder Middelburg en Tempelpolder. *Deltares rapport 11200839*.

Gedeputeerde Staten Provincie Zuid-Holland. (2024). *Vervolg Zuid-Hollands Programma Landelijk Gebied (ZH-PLG)*. <https://www.zuid-holland.nl/onderwerpen/natuur-landschap/zuid-hollands-programma-landelijk-gebied/>

Stafleu, J., Reindersma, R., Bruijn, R., de Kars, R.H., Schokker, J., Menkovic, A., van de Ven, T.J.M., Heerema, C., & Koster, K. (2023). *Totstandkomingsrapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.6*. TNO Geological Survey of the Netherlands. Beschikbaar via <https://repository.tno.nl/SingleDoc?docId=563336>.

TNO – GDN (2025) BRO REGIS II v2.2.3. TNO - Geological Survey of the Netherlands, <https://www.dinoloket.nl/en/subsurface-models/map>; visited 14-06-2025.

Van Asselen, S., G. Erkens, S. Jansen, R. Aben, R. Hessel, J.J.H. van den Akker, H.T.L. Massop, P. Gerritsen. Effects of subsurface water infiltration systems on phreatic groundwater levels in peat meadows. Chapter 1, NOBV year report 2022. www.nobveenweiden.nl

A Analyse deklaagweerstand 10.000 dagen

A.1 Inleiding

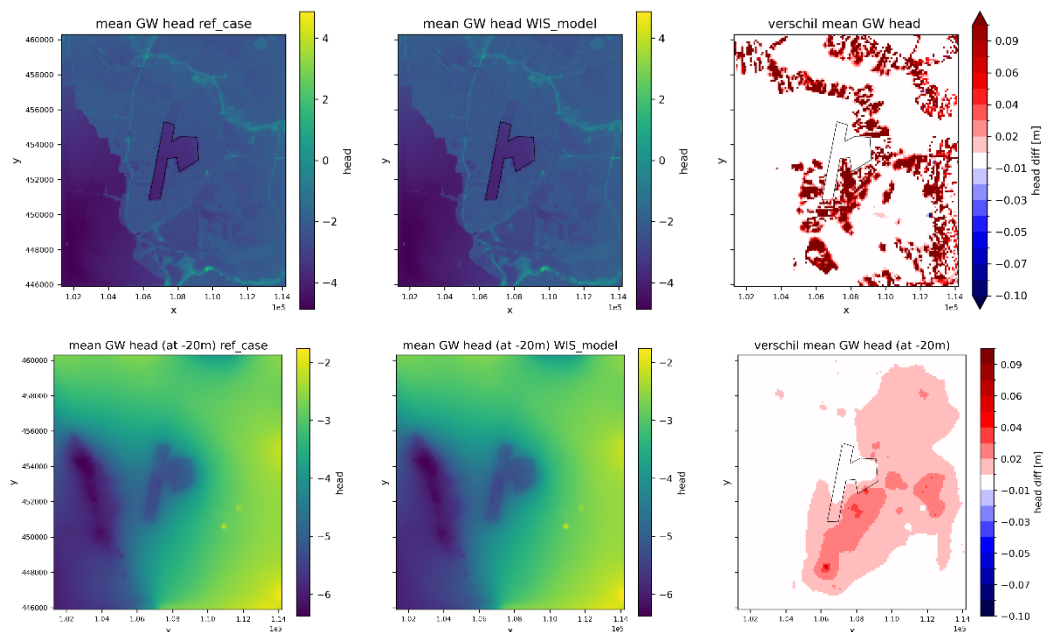
In deze studie is op basis van literatuuronderzoek en een uitgebreide gevoeligheidsanalyse een weerstand van deklaag in de omliggende veenweidegebieden afgeleid. Deze weerstand (zo'n 150.000 dagen rondom de MT-polder) ligt een orde hoger dan in eerdere studies is toegepast. Om te duiden wat een weerstand van 10.000 dagen (zoals toegepast in Bootsma et al., 2020) zou betekenen voor de implementatie van AWIS is hier een korte analyse naar gedaan.

In deze analyse is de referentiesituatie en de situatie met AWIS geïmplementeerd berekend met het grondwatermodel, maar dan met een maximale weerstand van 10.000 dagen als deklaagweerstand in het omliggende veenweidegebied.

A.2 Resultaten

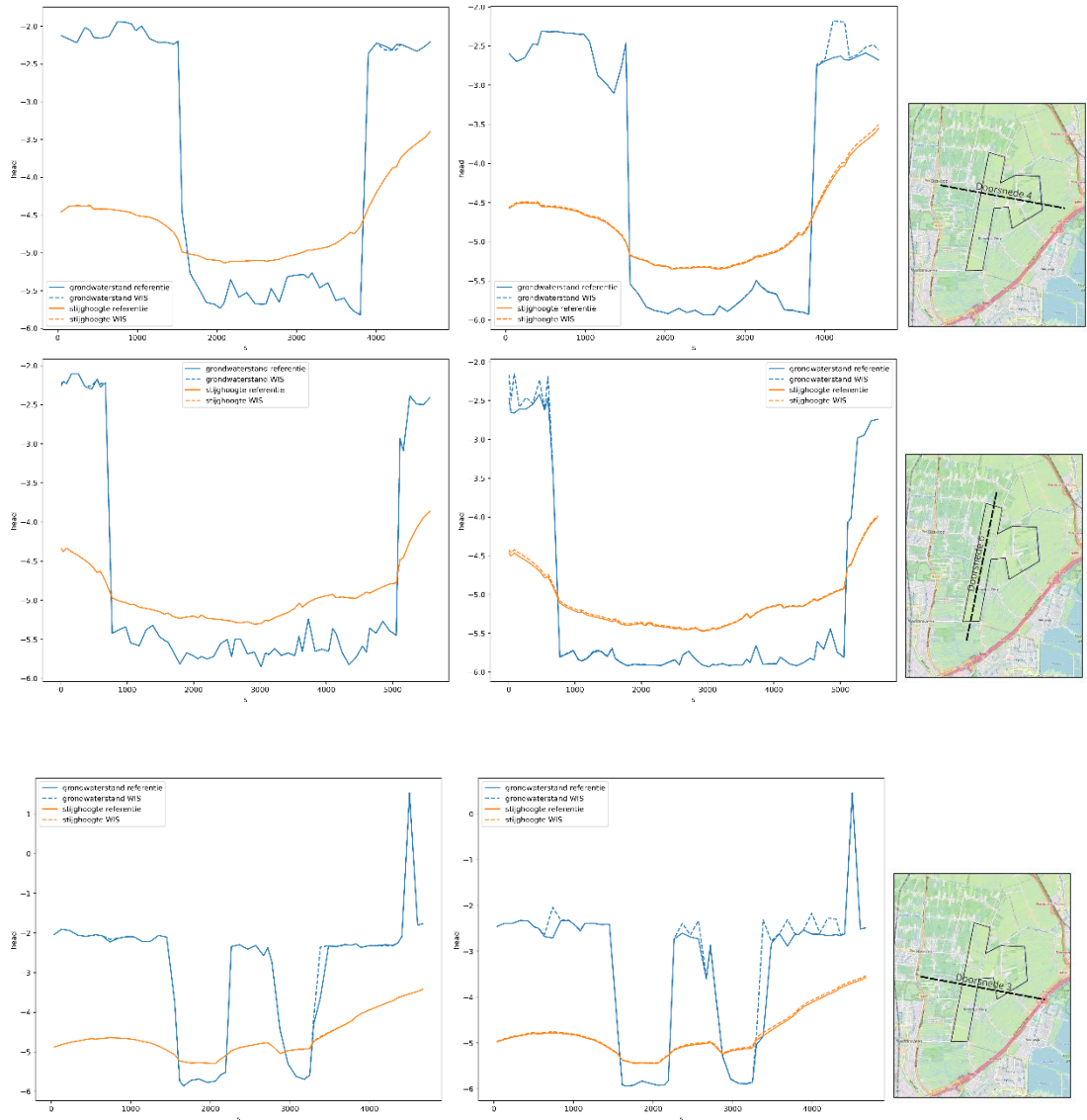
A.2.1 Grondwatersituatie

Figuur 6-1 geeft de grondwaterstands- en stijghoogteverandering bij implementatie van AWIS, wanneer wordt uitgegaan van een deklaagweerstand van maximaal 10.000 dagen. Deze figuur is te vergelijken met Figuur 4-3. Door de lagere deklaagweerstand is het effect van AWIS op de stijghoogte duidelijk groter dan in de uitgangsberekening, maar de toename van de stijghoogte is nog altijd beperkt tot maximaal enkele centimeters. In de MT-polder is het effect niet groter dan 1 cm stijging. Effect op de grondwaterstand in de MT-polder is er niet.



Figuur 6-1 Gemiddelde grondwaterstand (boven) en stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (onder) voor de referentie (links), de situatie met AWIS (midden) en het verschil (rechts), voor de situatie met deklaagweerstand 10.000 dagen. Op de kaart met verschillen geven rode kleuren hogere gemiddelde grondwaterstanden in het AWIS-scenario aan.

Figuur 6-2 geeft het verloop van grondwaterstand en stijghoogte langs enkele transecten door de MT-polder, voor de winter- en zomersituatie. 's Winters is daarbij geen merkbaar effect te zien op de stijghoogte, al neemt de grondwaterstand in de omliggende veenweidegebieden op enkele locaties af door de toegenomen ontwatering. In de zomer is een effect te zien op de stijghoogte, waarbij de toename van de grondwaterstand door AWIS in de veenweidegebieden beperkt doorwerkt in de stijghoogte onder de veenweidegebieden, en vervolgens een toename van de stijghoogte in de MT-polder tot gevolg heeft. Bij vergelijking van Figuur 6-2 met dezelfde figuur voor de uitgangsberekening (Figuur 4-5) wordt een iets hogere verhoging van de stijghoogte berekend bij een deklaagweerstand van 10.000 dagen. De berekende verhoging is evenwel nog altijd zeer beperkt (zo'n 2 cm).



Figuur 6-2 Verloop grondwaterstand (blauw) en stijghoogte (oranje) voor de referentie (doorgetrokken lijn) en na implementatie van AWIS (gestippelde lijn), in de winter (links) en in de zomer (rechts), voor verschillende doorsneden door de MT-polder, voor de situatie met deklaagweerstand 10.000 dagen.

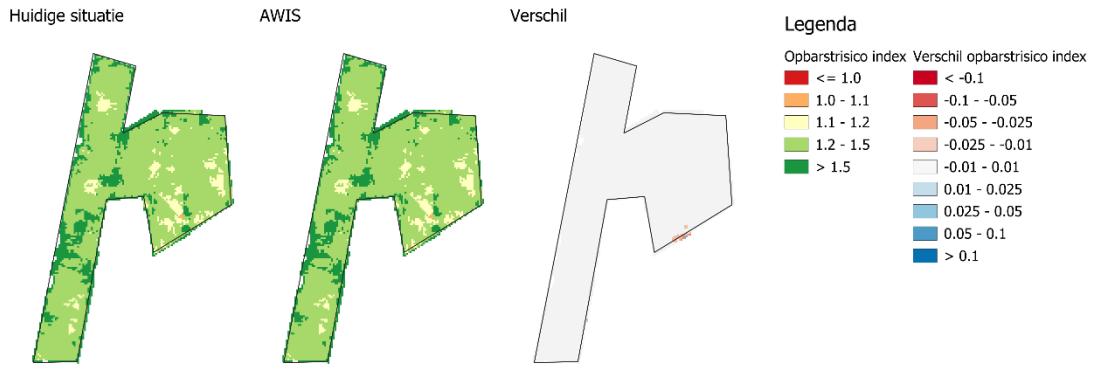
A.2.2

Opbarstrisico

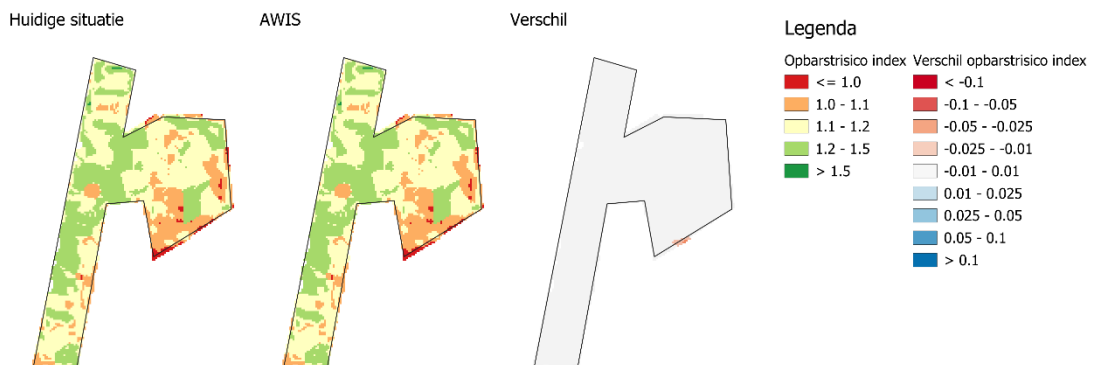
Bij een deklaagweerstand van 10.000 dagen wordt voor zowel de referentiesituatie als de situatie met AWIS een wat hoger opbarstrisico berekend dan bij de in het onderzoek toegepaste weerstand (vergelijk Figuur 6-3 met Figuur 4-8), met name voor het opbarstrisico in de sloten. Het berekende effect van AWIS op het opbarstrisico is evenwel gelijk: er is geen

significante toename van het opbarstrisico, met uitzondering van de zuidoosthoek van de Tempelpolder (zie paragraaf 4.1 voor een verklaring van deze locatie, het betreft waarschijnlijk een modelartefact).

Opbarstrisico index maaiveld - weerstand 10.000 d



Opbarstrisico index sloten - weerstand 10.000 d



Figuur 6-3 Jaargemiddelde opbarstrisico index voor de referentie (links), AWIS (midden) en het verschil (rechts), voor de situatie aan maaiveld (boven) en in de sloten (onder), voor de situatie met deklaagweerstand 10.000 dagen. Een opbarstrisico index < 1.0 betekent een zeer hoog opbarstrisico, tussen 1.0 en 1.1 een hoog opbarstrisico, tussen 1.1 en 1.2 een beperkt opbarstrisico, tussen 1.2 en 1.5 een laag opbarstrisico en groter dan 1.5 een zeer laag opbarstrisico.

A.3 Conclusie

Deze analyse is uitgevoerd om de gevoeligheid van de conclusies van het onderzoek voor de toegepaste deklaagweerstand te onderzoeken. Hierbij is in plaats van de in het onderzoek toegepaste deklaagweerstand van gemiddeld 150.000 dagen de deklaagweerstand afgekapt op maximaal 10.000 dagen, overeenkomend met de weerstand toegepast in Bootsma et al. (2020). Hoewel de lagere deklaagweerstand leidt tot een groter effect van de implementatie van AWIS op de berekende stijghoogte, blijft dit effect beperkt. Er wordt geen grotere toename van het opbarstrisico berekend. De conclusies blijven daarmee onveranderd: implementatie van AWIS op graslandpercelen leidt niet tot een significante toename van het opbarstrisico in de MT-polder.

Deltares is an independent institute for applied research in the field of water and subsurface. Throughout the world, we work on smart solutions for people, environment and society.

Deltares

www.deltares.nl