



**Tauw**

## **Definitief grondwatermodel Engbertsdijksvenen**

**18 mei 2020**



## Verantwoording

<b>Titel</b>	Definitief grondwatermodel Engbertsdijkvenen
<b>Opdrachtgever</b>	LTO Noord
<b>Projectleider</b>	Cor Lont
<b>Auteur(s)</b>	Marc Steenvoorden, Ed Beije
<b>Tweede lezer</b>	Willem Capel
<b>Projectnummer</b>	1261531
<b>Aantal pagina's</b>	49
<b>Datum</b>	18 mei 2020
<b>Handtekening</b>	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

## Colofon

Tauw bv  
Handelskade 37  
Postbus 133  
7400 AC Deventer  
T +31 57 06 99 91 1  
E info.deventer@tauw.com



## Inhoud

1	Inleiding .....	5
1.1	Aanleiding .....	5
1.2	Doelstelling.....	5
1.3	Leeswijzer .....	6
2	Bevindingen uit de conceptuele fase.....	7
2.1	Bevindingen uit voorgaande studie.....	7
2.1.1	Conclusies: modelconcept .....	7
2.1.2	Conclusies: parameterwaarden .....	8
2.1.3	Conclusies: bruikbaarheid.....	8
2.2	Rekenmethodiek .....	9
3	Lokaal veenmodel .....	10
3.1	Doelstelling.....	10
3.2	Conceptueel lokaal veenmodel .....	10
3.3	Modelaanpassingen .....	10
3.3.1	Veenweerstand .....	10
3.3.2	Oppervlaktewatersysteem en compartimentering.....	14
3.4	Berekeningsresultaten .....	17
4	Regionaal grondwatermodel .....	20
4.1	Doelstelling.....	20
4.2	Invoer lokaal veenmodel .....	20
4.3	Modelaanpassingen .....	20
4.3.1	Maaiveldhoogte.....	21
4.3.2	Laagschematisatie .....	22
4.3.3	Grondwateraanvulling .....	28
4.3.4	Randstijghoogten .....	31
4.3.5	Drainage .....	32
4.3.6	Oppervlaktewatersysteem Nederland.....	33
4.3.7	Oppervlaktewatersysteem Duitsland .....	34
4.3.8	Overige modelaanpassingen .....	35
5	Verificatie en kalibratie regionaal model.....	37



5.1	Methodiek kalibratie .....	38
5.1.1	IJkset.....	38
5.1.2	Methodiek.....	38
5.2	Kalibratierun 1 .....	38
5.3	Kalibratierun 2 .....	42
5.4	Conclusies kalibratie .....	45
5.5	Berekeningsresultaten gekalibreerd model.....	46
5.6	Conclusies bruikbaarheid model .....	48
6	Referenties .....	49
Bijlage 1	Rapportage conceptueel model Engbertsdijksvenen	
Bijlage 2	Kalibratieset	
Bijlage 3	Tijdstijghoogtelijnen	





## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Natuurgebied de Engbertsdijksvenen is één van de weinige plekken in Nederland waar nog actief hoogveen aanwezig is. Voor behoud en herstel van dit hoogveengebied dienen vanuit het Programma Aanpak Stikstof (PAS) maatregelen te worden getroffen die de effecten van stikstofdepositie verminderen. Dit betreft voor een belangrijk deel hydrologische maatregelen. Voor de uitwerking van de gebiedsmaatregelen, zoals opgenomen in de gebiedsanalyse, is het van belang om inzicht te krijgen in het hydrologische effect van de voorgestelde maatregelen.

In het verleden is een grondwatermodel gebouwd voor de Engbertsdijksvenen, met als doel om de effectiviteit van hydrologische maatregelen te berekenen. Door de Commissie van Deskundigen van Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) zijn echter twijfels getrokken bij de adequaatheid en toepasbaarheid van dit grondwatermodel (Jansen et al., 2013). De kritiekpunten betreffen een gebrek aan goede meetgegevens en basisgegevens (zoals de schematisatie en parameterwaarden van REGIS II v2.1), de wijze waarop in het model met grondwateraanvulling, weerstanden en wegzijging is omgegaan en of hoogvenen met numerieke hydrologische modellen adequaat kunnen worden gesimuleerd.

Naar aanleiding van dit advies hebben twee overleggen plaatsgevonden, waar met (geo)hydrologen (expertgroep) is besproken of er voldoende detailinzicht is over het complexe hoogveensysteem om dit met een numeriek grondwatermodel te simuleren. Uit deze overleggen is onder andere naar voren gekomen om te onderzoeken of een grondwatermodel kan worden ontwikkeld dat de effecten van PAS-maatregelen adequaat berekend. Hiervoor is ten eerste door Tauw een conceptueel model ontwikkeld. Na ontwikkeling van het conceptuele model, is doorgegaan met de ontwikkeling van een definitief grondwatermodel. De methode en de resultaten van dit definitieve model zijn in dit rapport beschreven. Het definitieve grondwatermodel bestaat feitelijk uit twee verschillende grondwatermodellen: een lokaal model van het topsysteem van de Engbertsdijksvenen (hierna genoemd lokaal veenmodel), en een regionaal model dat is gebaseerd op MIPWA3.0 (hierna genoemd regionaal model).

### 1.2 Doelstelling

Doel van de ontwikkeling van een definitief grondwatermodel (dat in feite uit twee modellen bestaat), is het maken van een bruikbaar modelinstrumentarium, waarmee de effecten van een PAS-maatregelenpakket kan worden doorgerekend. Het definitieve grondwatermodel borduurt daarmee voort op de bevindingen, uitkomsten en aanbevelingen van de studie van het conceptuele model.



Het definitieve modelinstrumentarium dient in staat te zijn om het effect van interne en externe maatregelen op de stijghoogte in de zandondergrond en de freatisch grondwaterstanden in de omgeving plausibel te berekenen. Uit de vorige fase is gebleken dat het modelinstrumentarium niet geschikt is voor het in beeld brengen van de effecten van de interne en externe maatregelen op de freatische grondwaterstanden in het hoogveengebied zelf. De conceptuele studie heeft aangetoond dat het niet mogelijk is om van een dergelijk complex topsysteem het grondwater en oppervlaktewater met voldoende detailniveau te simuleren. Dit komt door de complexe hydrologische situatie in het veen zelf (weerstand van veen, aanwezigheid van storende lagen) en conceptuele problemen zoals de simulering van schijnspiegels, laterale afstroming van water in het veen en variatie in verdamping tussen verschillende vegetatietypen. Het modelinstrumentarium komt wel tegemoet aan één van de belangrijkste kritiekpunten van de Commissie van Deskundigen, namelijk een gedetailleerdere en beter onderbouwde grondwateraanvulling vanuit het veen naar de zandondergrond.

### 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de bevindingen besproken die tijdens het opzetten van het conceptuele model zijn opgedaan. Met behulp van deze bevindingen is het lokale veenmodel en het regionale model ontwikkeld en verbeterd. In hoofdstuk 3 zijn de methode en resultaten van het lokale model opgenomen. Hoofdstuk 4 omvat de methode van opzet van het regionale model. In hoofdstuk 5 zijn de validatie- en kalibratieresultaten opgenomen.

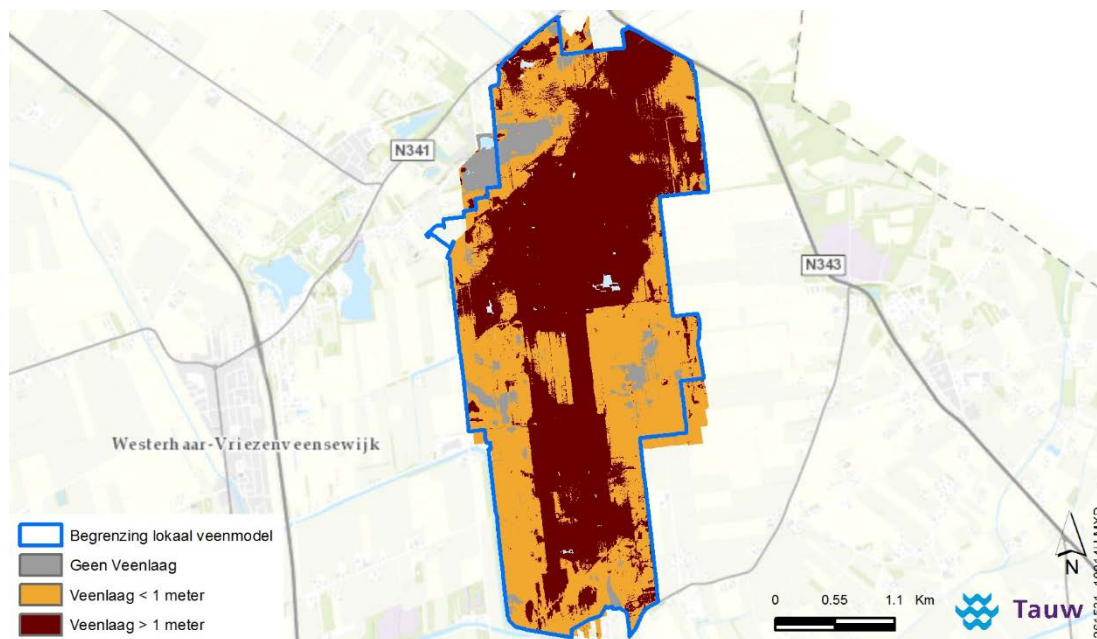
## 2 Bevindingen uit de conceptuele fase

### 2.1 Bevindingen uit voorgaande studie

Tijdens de conceptuele fase zijn twee modellen ontwikkeld: een lokaal veenmodel en een regionaal model. Het lokale model is bedoeld om een zo goed mogelijke simulatie te maken van het complexe topsysteem. De berekende wegzijgingsfluxen vanuit het topsysteem naar de zandondergrond worden door het lokale veenmodel berekend en vervolgens in het regionale model overgenomen. In deze paragraaf zijn voor beide conceptuele modellen de modeluitkomsten besproken, is opgenomen welke verbeterpunten er nog kunnen worden uitgevoerd. Capel et al. (2018) bevat een volledige beschrijving van de conceptuele fase. Dit rapport is opgenomen in bijlage 1.

#### 2.1.1 Conclusies: modelconcept

Uit de boringen die zijn uitgevoerd tijdens de ecohydrologische schouw blijkt dat daar waar in de Engbertsdijkvenen de veendikte minstens één meter is, de freatische grondwaterstand zich permanent tot in het veen bevindt. In gebieden met een dunnere veenlaag dan één meter zakt de freatische grondwaterstand in de zomer veelal tot onder het veen (in de zandondergrond) en valt de veenlaag een deel van het jaar droog. De koppeling van de berekende wegzijgingsflux met het lokale veenmodel naar het regionale model is alleen toepasbaar in gebieden met een veenlaag van minimaal één meter dikte, waar de veenlaag altijd verzadigd is met freatisch water. De veendikte en de begrenzing van het lokale veenmodel is weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1 – Zonering toepasbaarheid conceptuele model



Voor de bouw van het conceptuele regionale grondwatermodel is gebruik gemaakt van MIPWA 3.0. In de conceptuele fase is gebleken dat MIPWA 3.0 geschikt is om als basis te dienen voor het regionale grondwatermodel. Met MIPWA wordt namelijk de regionale grondwaterstroming in het eerste watervoerend pakket accuraat berekend. Bij de ontwikkeling van het definitieve regionale grondwatermodel dienen echter een aantal (gebruikelijke) verbeterlagen te worden uitgevoerd. Dit betreft onder andere het inbrengen van een veenlaag ter plaatse van het Veenschap (het gebied in Westerhaar-Vriezenveensewijk tussen het Hazenpad, Hoffmansweg, Paterswal en watergang Verbindingsleiding). Deze veenlaag is in MIPWA 3.0 niet aanwezig.

### 2.1.2 Conclusies: parameterwaarden

In de conceptuele fase is de invloed onderzocht van enkele parameters op de berekende freatische grondwaterstanden en wegzijgingsfluxen. De parameters betreffen de weerstand van het veen, de verdampingsfactoren en de bergingscoëfficiënt. Hieruit zijn de volgende conclusies naar voren gekomen:

- Alle genoemde parameters hebben invloed op de berekende freatische grondwaterstanden. Verschillende parametercombinaties kunnen daarbij tot hetzelfde resultaat leiden
- De weerstand van de veen- en gliedelagen heeft de grootste invloed op de berekende wegzijgingsfluxen. De andere genoemde parameters hebben een relatief klein effect op de wegzijgingsfluxen en vallen daardoor binnen de bandbreedte van de onzekerheid in veenweerstand

Daarnaast is in de conceptuele fase gekeken naar de invloed van extra zuigspanning op de wegzijgingsfluxen. Hieruit is gebleken dat de extra zuigspanning alleen invloed heeft op de wegzijgingsfluxen in het zuidelijk gedeelte van de Engbertsdijkvenen. Ondanks dat een deel van dit effect binnen de onzekerheid van de veenweerstand valt, kan het effect niet volledig genegeerd worden. Uit verschillende onderzoeken en recente inzichten blijkt dat er over het systeemgedrag van extra zuigspanning nog belangrijke onzekerheden bestaan. Het is daarom niet mogelijk om in het model op betrouwbare wijze een extra zuigspanning aan te brengen. Het effect van extra zuigspanning op de wegzijgingsfluxen kan hooguit globaal worden berekend door middel van een gevoeligheidsrun. De zuigspanning zal echter geen significant effect hebben op de stijghoogte in de zandondergrond. De weerstand van de veen- en gliedelagen is bepalend voor de wegzijgingsflux.

### 2.1.3 Conclusies: bruikbaarheid

Uit de conceptuele fase zijn de volgende conclusies getrokken:

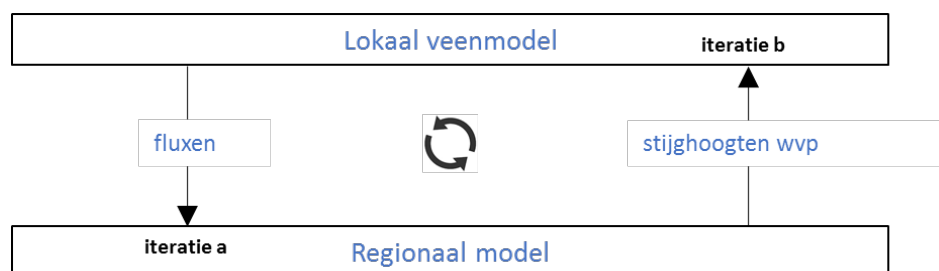
- Het is niet mogelijk om op standplaatsniveau in de Engbertsdijkvenen de freatische grondwaterstanden met voldoende nauwkeurigheid te berekenen. Er bestaat een grote mate van onzekerheden in parameterwaarden van het topsysteem, waarbij verschillende parametercombinaties tot hetzelfde resultaat kunnen leiden. Daarnaast ontbreekt betrouwbare meetinformatie (zoals GxG's in NAP +m en gemeten tijdstijghoogtelijnen van freatische grondwaterstanden). Naar mening van Tauw kunnen de berekeningsresultaten van externe maatregelen op de freatische grondwaterstanden als richtinggevend gebruikt worden (dus een beoordeling van relatieve verschillen)
- Ondanks de onzekerheid in veenweerstand is het mogelijk om met één set parameterwaarden een betrouwbaar beeld te geven van de effecten van de externe maatregelen op de stijghoogten in de zandondergrond. Hiervoor is geen bandbreedte in veenweerstand benodigd. Voor het berekenen van de effecten van interne maatregelen op de stijghoogte in de zandondergrond is wel een bandbreedte



in de veenweerstand benodigd. Nader onderzoek naar een parabolische weerstandswaarde kan de noodzaak van een bandbreedte model doen verkleinen of zelfs wegnemen. In paragraaf 3.3 van dit rapport is een nader onderzoek opgenomen naar de parabolische weerstandswaarde.

## 2.2 Rekenmethodiek

Het lokale veenmodel en het regionale model zijn als volgt met elkaar gekoppeld: het lokale model berekend de wegzijgingsfluxen over de gehele modelperiode (2005 t/m 2014). Deze wegzijgingsfluxen worden vervolgens in het watervoerend pakket van het regionale model, onder de Engbertsdijksvenen ingebracht. De vervolgens door het regionale model berekende stijghoogte onder de Engbertsdijksvenen wordt weer in het lokale veenmodel ingevoerd. Deze iteraties vinden plaats totdat de berekende stijghoogte in het watervoerend pakket constant blijft. De wegzijgingsflux is in het regionale model gebracht met behulp van wells in elke cel in het watervoerend pakket onder de Engbertsdijksvenen. Het voordeel van het gebruiken van twee modellen, is dat de wegzijging vanuit het veen naar de zandondergrond (en de hierbij behorende terugkoppelingsmechanismen) gedetailleerder kan worden gesimuleerd. In figuur 2.2 is het iteratief proces schematisch weergegeven.



Figuur 2.2 – Uitwisselingsschema iteratief proces lokaal veenmodel en regionaal model



## 3 Lokaal veenmodel

### 3.1 Doelstelling

De doelstelling van het lokale veenmodel is het zo goed mogelijk simuleren van het topsysteem van de Engbertsdijksvenen. Vastgesteld is dat het niet mogelijk is om dit complexe systeem tot in detail te simuleren. Het lokale veenmodel is niet in staat om in de Engbertsdijksvenen op standplaatsniveau de freatische grondwaterstand met voldoende nauwkeurigheid te berekenen. Wel is het mogelijk om met het lokale veenmodel de wegzijgingsfluxen (grondwateraanvulling) vanuit het veen naar de zandondergrond met een grote mate van betrouwbaarheid te simuleren. Hiermee wordt één van de belangrijkste kritiekpunten van de Commissie van Deskundigen ondervangen.

### 3.2 Conceptueel lokaal veenmodel

In Capel et al. (2018) is de schematisering en parameterisering van het lokale veenmodel beschreven. Hierin zijn de volgende aanbevelingen gedaan:

- Nader onderzoek uitvoeren naar de toepassing van een parabolische weerstandswaarde per meter veendikte. In de praktijk is bekend dat de weerstand per meter veendikte bij dunnere veenlagen minder is dan bij dikkere veenlagen. Een parabolische weerstandswaarde kan meer recht doen aan de werkelijkheid en daarmee de bandbreedte in toepassing van weerstandswaarden per meter verkleinen dan wel achterwege laten
- Nader onderzoek uitvoeren naar het effecten van detaillering van oppervlaktewaterstroming van het ene naar het andere compartiment, middels een serieel dagmodel (de werking van het serieel dagmodel wordt in paragraaf 3.3.2 van dit rapport nader besproken). In de conceptuele studie is hier alleen op hoofdlijnen naar gekeken. Door de compartimentering in meer detail conform de werkelijkheid te simuleren, ontstaat een lokaal veenmodel dat beter aansluit op de werkelijke fysieke situatie

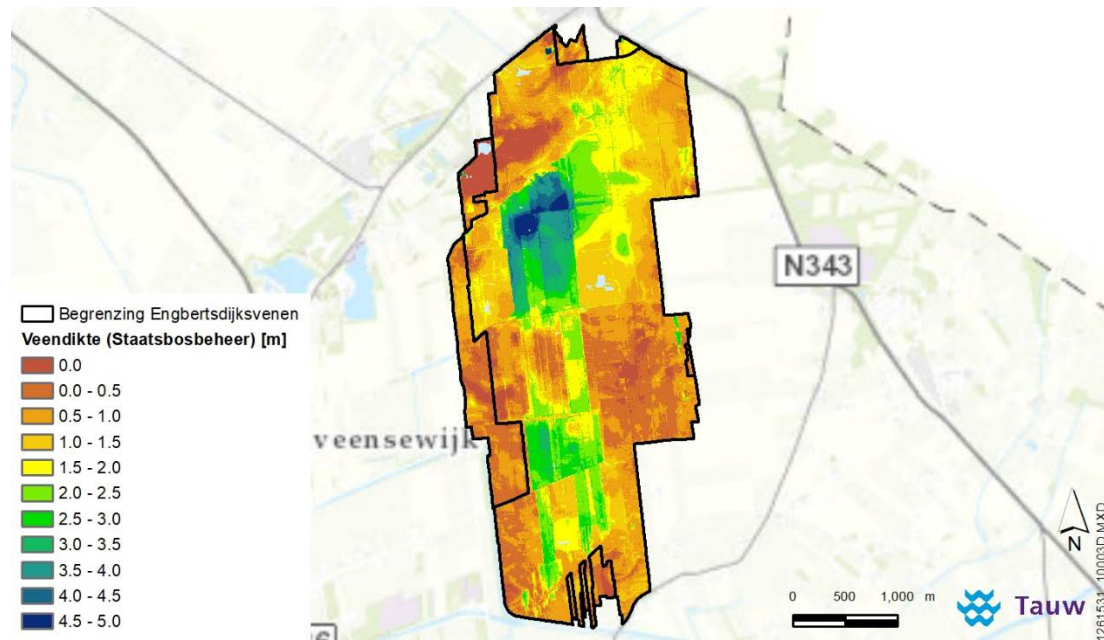
Op basis van de genoemde aanbevelingen zijn aanpassingen verricht aan het lokale veenmodel. De gebruikte informatie voor deze modelaanpassingen en de methode van de verrichte aanpassingen zijn in de volgende paragraaf beschreven. In paragraaf 3.4 zijn de resultaten van het lokale veenmodel opgenomen.

### 3.3 Modelaanpassingen

#### 3.3.1 Veenweerstand

##### Basisinformatie

Door Staatsbosbeheer is een kaart aangeleverd met de dikte van de veenlaag in de Engbertsdijksvenen. Deze kaart is enkele jaren geleden door Staatsbosbeheer gemaakt op basis van beschikbare gegevens. In figuur 3.1 is het kaartbeeld weergegeven.

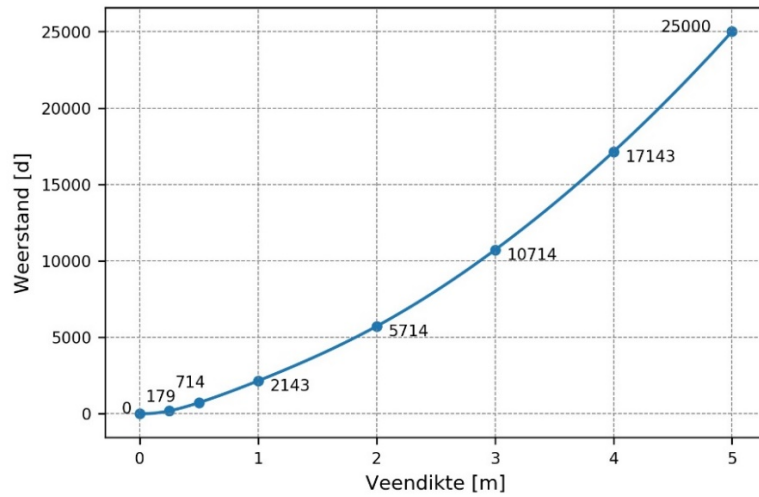


Figuur 3.1 – Dikte van het resterende veen in de Engbertsdijkswenens (aangeleverd door Staatsbosbeheer)

Met behulp van de veendiktekaart en een (constante) weerstandswaarde kan de veenweerstand van de Engbertsdijkswenens berekend worden. Naast constante weerstandswaarde is ook een variabele weerstandswaarde ontwikkeld. Dit is uitgevoerd op basis van literatuuronderzoek (zie Capel et al., 2018 (bijlage 1)), waaruit blijkt dat onderscheid gemaakt kan worden in de volgende weerstandswaarden voor veengronden:

- Veendikte < 0,5 m: 100 tot 500 dagen
- Veendikte 0,5 – 1,0 m: 500 tot 2000 dagen
- Veendikte > 1,0 m: 2000 tot 20.000 dagen

Uit deze weerstandswaarden blijkt dat de weerstand niet lineair, maar exponentieel toeneemt met toenemende veendikte. Op basis van deze bevindingen is een parabolische veenweerstand ontwikkeld. Deze parabolische weerstand is weergegeven in figuur 3.2.

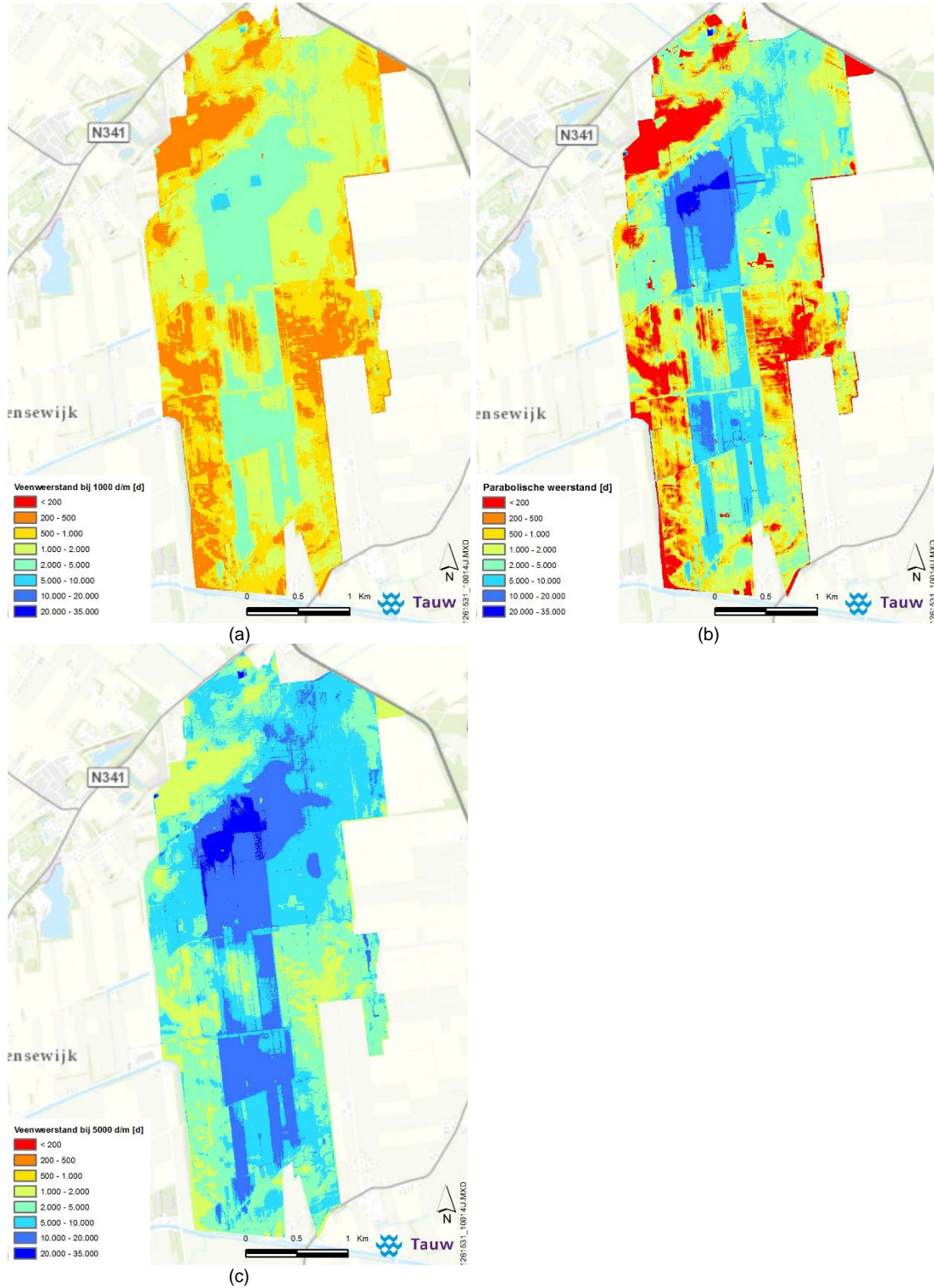


Figuur 3.2 – Gehanteerde parabolische weerstand zoals afgeleid uit literatuur

### Schematisatie in model

In figuur 3.3 is de veenweerstand van de Engbertsdijksvenen ruimtelijk weergegeven bij hantering van een weerstandswaarde van 1000 dagen per meter, een parabolische weerstandswaarde (conform figuur 3.1) en 5000 dagen per meter.





Figuur 3.3 – Veenweerstand Engbertsdijkerven bij weerstandswaarde van 1000 d/m (a), een parabolische weerstandswaarde (b) en 5000 d/m (c)

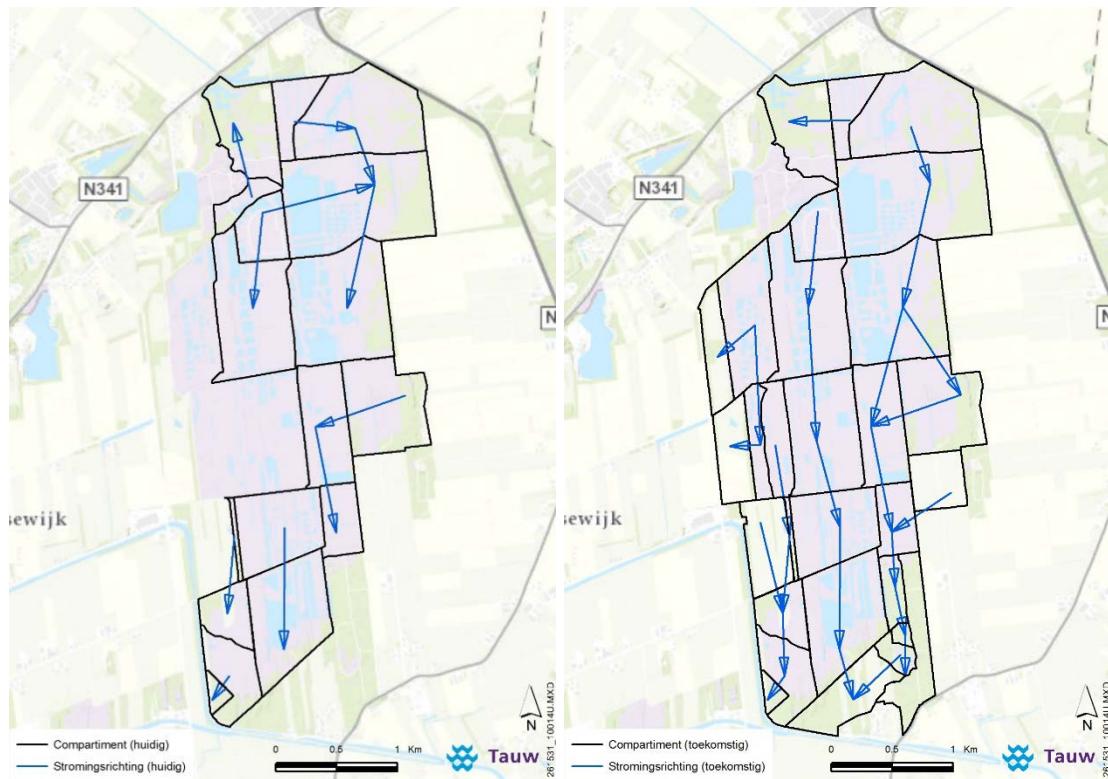


De weerstandswaarde van het veen in het centrum van de Engbertsdijksvenen bedraagt circa 4000 d/m (Amerongen et al., 1990). Daarnaast is bekend dat de dunne veenlagen vaak deels doorgraven zijn. Dit resulteert in een verlaging van de weerstandswaarde van deze dunne veenlagen (Wirdum, 2008). De parabolische veenweerstand doet recht aan dit fysisch verschijnsel en wordt daarom als meest plausibel beschouwd. Om deze reden is besloten uit te gaan van de parabolische veenweerstand en niet verder te rekenen met een bandbreedte in deze weerstand. Opgemerkt wordt dat lokale doorsnijdingen van de veenlaag (bijv. in verleden uitgevoerde boringen die niet goed afgewerkt zijn) kunnen resulteren in een significante afname van de veenweerstand. Met dergelijke lokale fenomenen kan in het model gezien de rekenresolutie geen rekening mee worden gehouden. Bij de uitwerking van de interne maatregelen zal hier door Staatsbosbeheer wel aandacht aan worden besteed, door deze doorsnijdingen op te sporen en te dichten met leem.

### 3.3.2 Oppervlaktewatersysteem en compartimentering

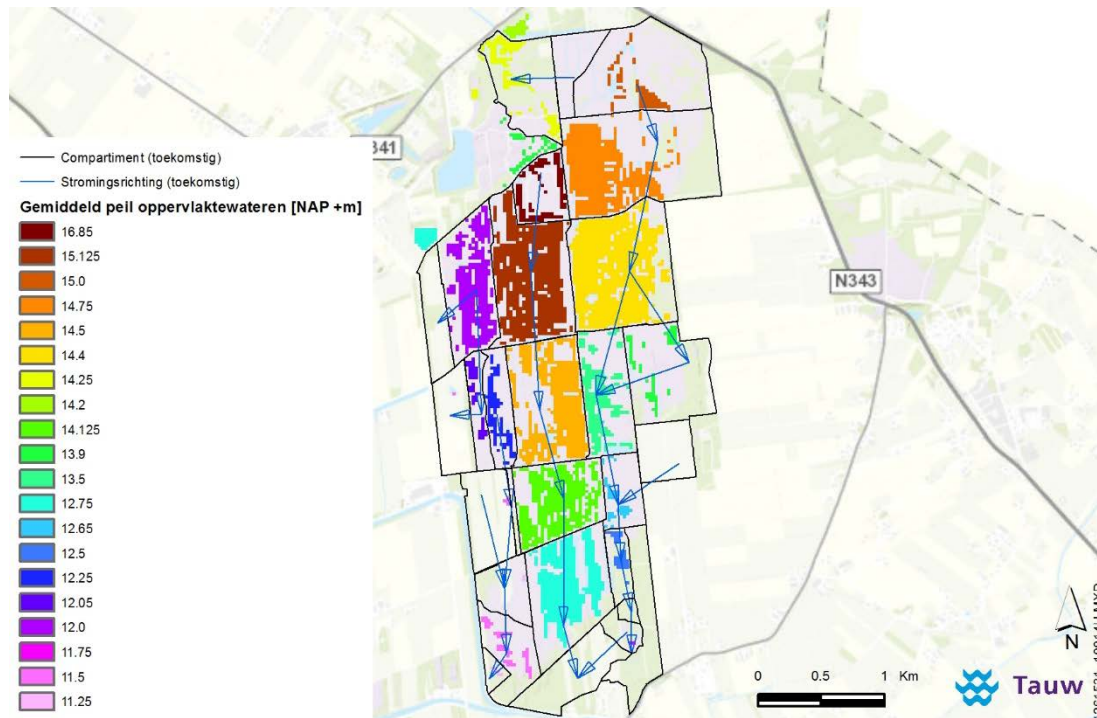
#### Basisinformatie

Door Staatsbosbeheer is de huidige en toekomstige compartimentering in de Engbertsdijksvenen aangeleverd, inclusief de afstromingsrichting voor een deel van de compartimenten. In figuur 3.4 is deze informatie weergegeven. De toekomstige compartimentering betreft de situatie uit het schetsontwerp. In verdere fases zijn mogelijk aanpassingen benodigd qua toekomstige compartimentering indien deze gewijzigd worden.



Figuur 3.4 – Compartimentering inclusief stromingsrichtingen voor huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts)

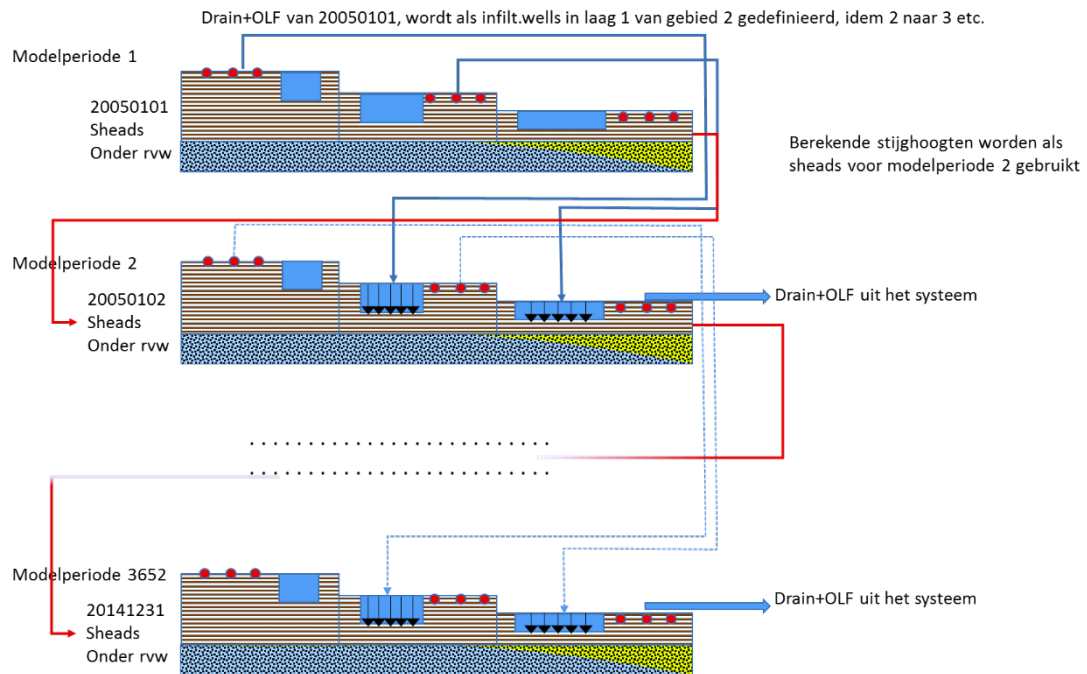
In het lokale veenmodel was in eerste instantie oppervlaktewater aangebracht op basis van de vegetatiekartering. Omdat echter vegetatie ook op oppervlaktewater groeit, was dit niet representatief voor de hoeveelheid aangebrachte oppervlaktewater. Door Staatsbosbeheer is daarom op basis van gebiedskennis een nieuwe oppervlaktewaterkaart aangeleverd, inclusief de toekomstige gemiddelde oppervlaktewaterpeilen. De toekomstige peilen betreft de situatie uit het schetsontwerp. In verdere fases zijn mogelijk aanpassingen benodigd qua toekomstige peilen indien deze gewijzigd worden. In figuur 3.5 zijn de huidige en toekomstige oppervlaktewaterpeilen weergegeven. In het centrum van de Engbertsdijksvenen komen deze toekomstige peilen overeen met de huidige oppervlaktewaterpeilen. Aan de randen echter niet.



Figuur 3.5 – Gemiddeld peil oppervlaktewateren, compartimenten en stromingsrichtingen van compartimenten

### Schematisatie in model

Het lokale veenmodel is zo aangepast dat op de grenzen van de compartimenten geen horizontale stroming in de ondergrond plaats kan vinden (met behulp van de horizontal flow barriere module van iMODFLOW). Het door Staatsbosbeheer aangeleverde oppervlaktewater is ingevoerd in modellaag 1, met een horizontale en verticale doorlatendheid van 500 m/d en een bergingscoëfficiënt van 1,0. Ter plaatse van het oppervlaktewater is drainage aangebracht, met een drainageniveau dat gelijk is aan het gemiddelde oppervlaktewaterpeil. Hierbij is een relatief hoge drainageconductance gehanteerd. Op plekken waar geen oppervlaktewater aanwezig is in het model, is gebruikt gemaakt van overland flow met een peil dat gelijk is aan maaiveld. Wanneer in een compartiment (dat afwatert op een ander compartiment) het water boven het oppervlaktewater (in geval van drainage) of maaiveld (in geval van overland flow) uit komt, dan wordt dit water afgevoerd en op de volgende dag in het daarop afwaterende compartiment ingebracht door middel van infiltratiebronnen. Wanneer een compartiment niet afwatert op een ander compartiment, dan wordt dit water niet meegenomen naar de volgende dag van het model. Op deze manier wordt de compartimentering gesimuleerd. Het model wordt het serieel dagmodel genoemd. De methode is in figuur 3.6 schematisch weergegeven.

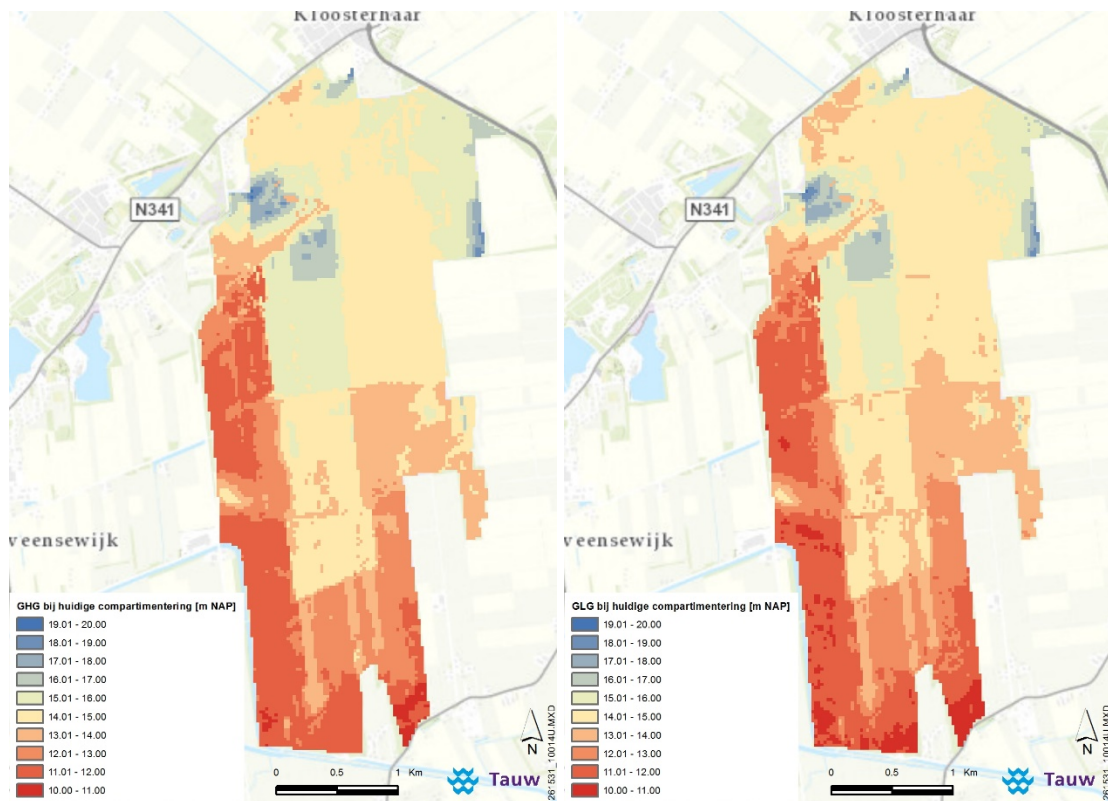


Figuur 3.6 – Processchema serieel dagmodel

### 3.4 Berekeningsresultaten

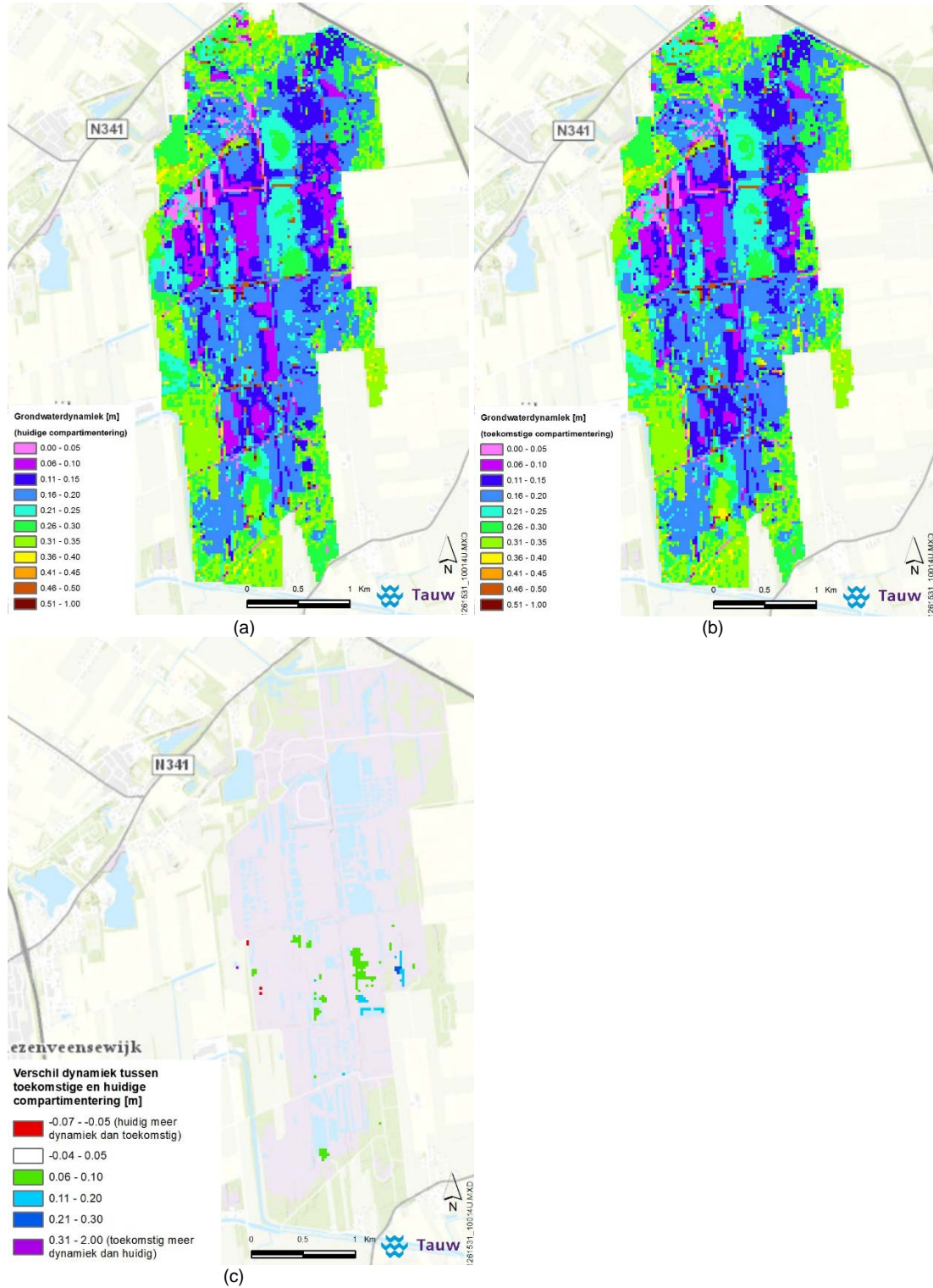
Het lokale veenmodel is doorgerekend met zowel de huidige als toekomstige afvoerrichting van de compartimentering. In figuur 3.7 is de berekende GHG en GLG in de huidige compartimentering weergegeven.





Figuur 3.7 – Berekende GHG en GLG voor de huidige compartimentering (uitgaande van gemiddelde oppervlaktewaterpeilen)

In figuur 3.8 is het verschil tussen de GHG en GLG weergegeven voor zowel de huidige als toekomstige compartimentering. Daarnaast is in figuur 3.8 het verschil in deze grondwaterdynamiek tussen de toekomstige en huidige compartimentering weergegeven. Uit het berekende verschil in grondwaterdynamiek (figuur 3.8c) blijkt dat het effect van de wijziging van compartimentering klein is. De verschillen bedragen veelal 1 cm of minder. In het centrum, het zuiden en op een kleine plek in het noorden loopt het verschil op meerdere plaatsen op tot 5 à 10 cm.



Figuur 3.8 – Berekend verschil tussen GHG en GLG voor huidige compartimentering (a), toekomstige compartimentering (b) en het verschil tussen deze berekeningen (c)



## 4 Regionaal grondwatermodel

### 4.1 Doelstelling

Het regionale grondwatermodel heeft als doel om de effecten van interne en externe maatregelen op het watersysteem van de omgeving en de stijghoogte van de zandondergrond van de Engbertsdijkvenen op een betrouwbare manier te berekenen. De door het regionale model berekende stijghoogteveranderingen onder de Engbertsdijkvenen kunnen als invoer dienen voor het lokale veenmodel.

### 4.2 Invoer lokaal veenmodel

De wegzijgingsflux uit de Engbertsdijkvenen naar het watervoerend pakket wordt door het lokale veenmodel berekend. Deze wegzijgingsflux wordt in het regionale grondwatermodel overgenomen, door middel van de plaatsing van infiltratiebronnen in de tweede modellaag. De infiltratiebronnen simuleren op deze manier de wegzijgingsflux. De in het lokale model berekende wegzijgingsflux wordt op deze manier 2 keer per maand in het regionale grondwatermodel ingeladen (op de 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> dag van elke maand). Deze frequentie is zo ingesteld om de berekeningstijd acceptabel te houden.

Zoals in hoofdstuk 3 is beschreven, is de parabolische weerstandswaarde als meest plausibele weerstandswaarde bevonden. Deze weerstandswaarde is verwerkt in het regionale grondwatermodel. De kalibratie is uitgevoerd op basis van de wegzijgingsflux zoals die is berekend met de parabolische weerstandswaarde.

### 4.3 Modelaanpassingen

Uit de conceptuele fase is gebleken dat MIPWA 3.0 geschikt is als basis voor het regionale model. Wel zijn een aantal (gebruikelijke) verbeterlagen benodigd:

- Uit boringen blijkt dat in het watervoerend pakket meer slecht doorlatende lagen aanwezig te zijn dan in MIPWA 3.0 is opgenomen, waardoor mogelijk hogere weerstanden gehanteerd dienen te worden. Nader onderzoek is benodigd naar de mate van aaneengeslotenheid van deze slecht doorlatende lagen. Daarnaast dient de gehanteerde weerstand van de scheidende lagen van MIPWA 3.0 beoordeeld te worden. In de omliggende landbouwgebieden kunnen ook ondiep lokaal weerstands biedende lagen voorkomen die van invloed zijn op de freatische grondwaterstanden. Deze ondiepe lokale weerstands biedende lagen dienen daarom in het regionale model ingebracht te worden
- Drainage en oppervlaktewateren dienen verbeterd te worden
- Aanpassingen zijn benodigd in het modelgebied dat in Duitsland is gelegen (o.a. doorlaatvermogen, initiële grondwaterstanden/stijghoogten, oppervlaktewatersysteem)
- Nadere bestudering naar de wijze van modelleren van veengebieden buiten de Engbertsdijkvenen (o.a. het Veenschap)

Op basis van deze aanbevelingen zijn ten opzichte van het conceptuele model modelaanpassingen verricht aan de laag schematisatie, maaiveldhoogte, grondwateraanvulling,



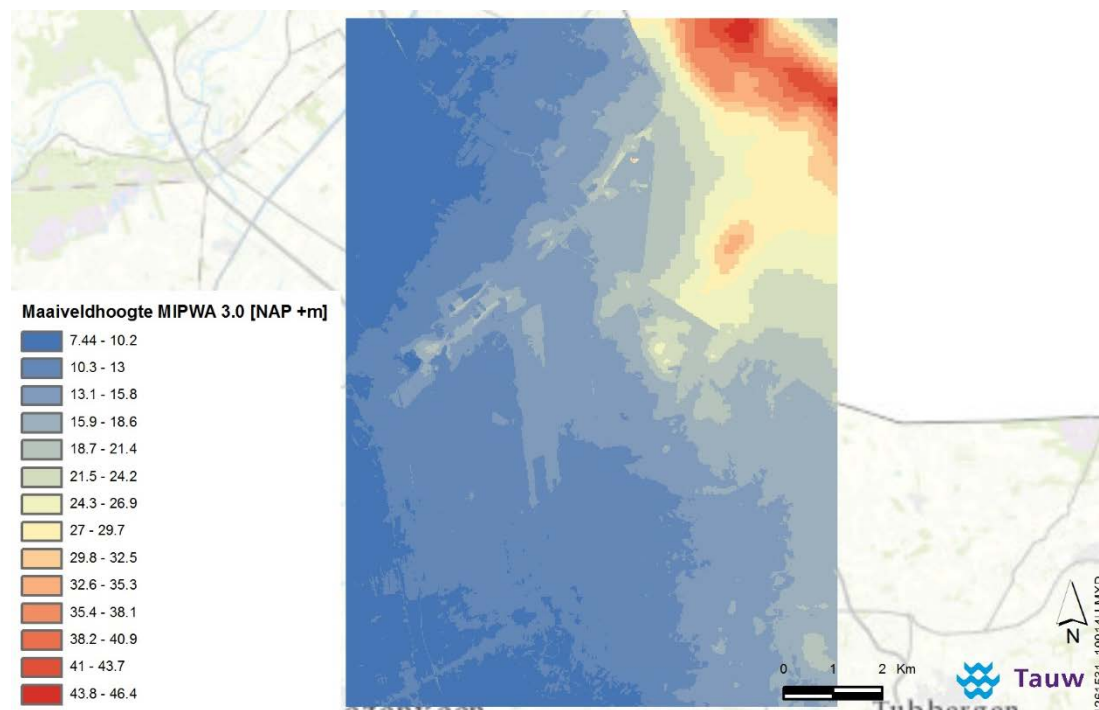


randstijghoogten, drainage en het oppervlaktewatersysteem. De modelaanpassingen zijn hieronder in detail besproken.

### 4.3.1 Maaiveldhoogte

#### Basisinformatie

MIPWA 3.0 beschikt over een maaiveldhoogtebestand met een resolutie van 25x25 m. Dit bestand beslaat het gehele gebied van het regionale model. Echter, in dit maaiveldhoogtebestand is op de grens tussen Nederland en Duitsland een opmerkelijke, niet realistische, overgang zichtbaar. Daarnaast zijn in het bestand in Duitsland absolute maaiveldhoogten zichtbaar, die niet overeen lijken te komen met de werkelijkheid. Dit komt doordat voor het gebied in Duitsland satellietdata is gebruikt met een resolutie van 90x90 m<sup>2</sup>. In figuur 4.1 is het maaiveldhoogtebestand van MIPWA 3.0 ruimtelijk weergegeven.



Figuur 4.1 – Maaiveldhoogte in MIPWA 3.0

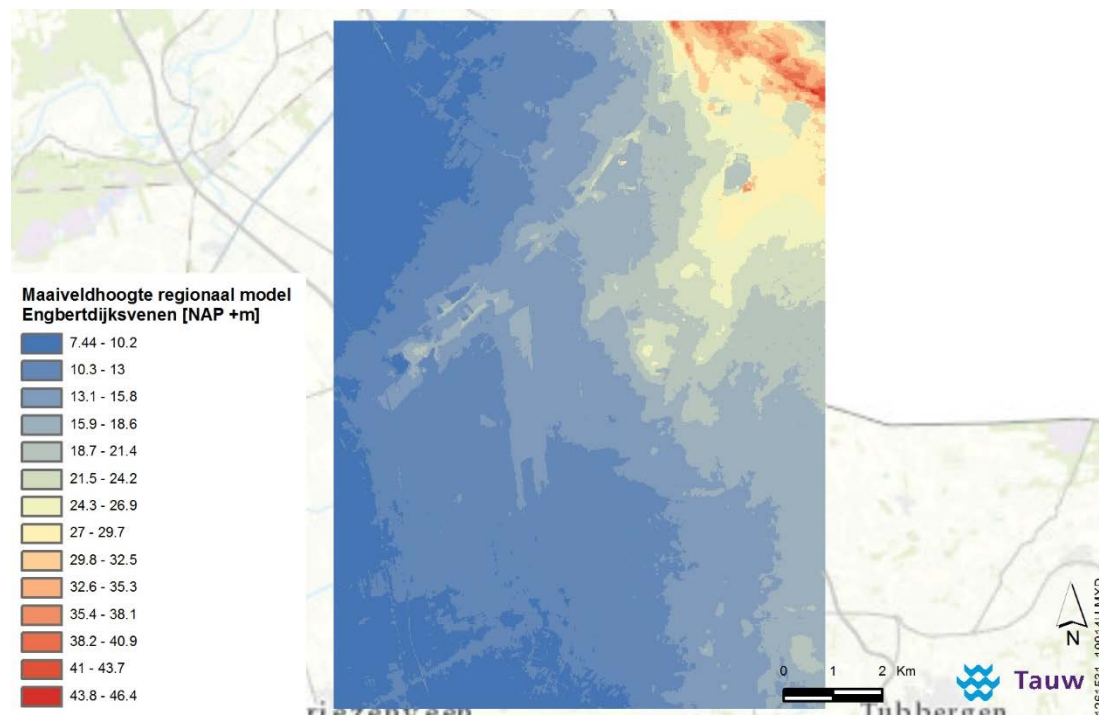
Voor het regionale model is de MIPWA 3.0 maaiveldhoogte in Duitsland vervangen door een maaiveldhoogtebestand met dezelfde resolutie als het gebied in Nederland, dat is aangeleverd door waterschap Vechtstromen. Ook de overland flow (OLF) is aangepast op basis van dit maaiveldhoogtebestand.

#### Schematisatie in model

In figuur 4.2 is het resultaat van de nieuwe maaiveldhoogte in het regionale model weergegeven. Figuur 4.2 laat zien dat de maaiveldhoogteovergang van Nederland naar Duitsland in het



regionale model natuurlijker verloopt dan in MIPWA 3.0 (figuur 4.1). Daarnaast is een duidelijk verschil te zien in absolute maaiveldhoogten in Duitsland tussen figuur 4.2 en figuur 4.1. Het maaiveldhoogtebestand in figuur 4.2 is gehanteerd als de bovenkant van modellaag 1.



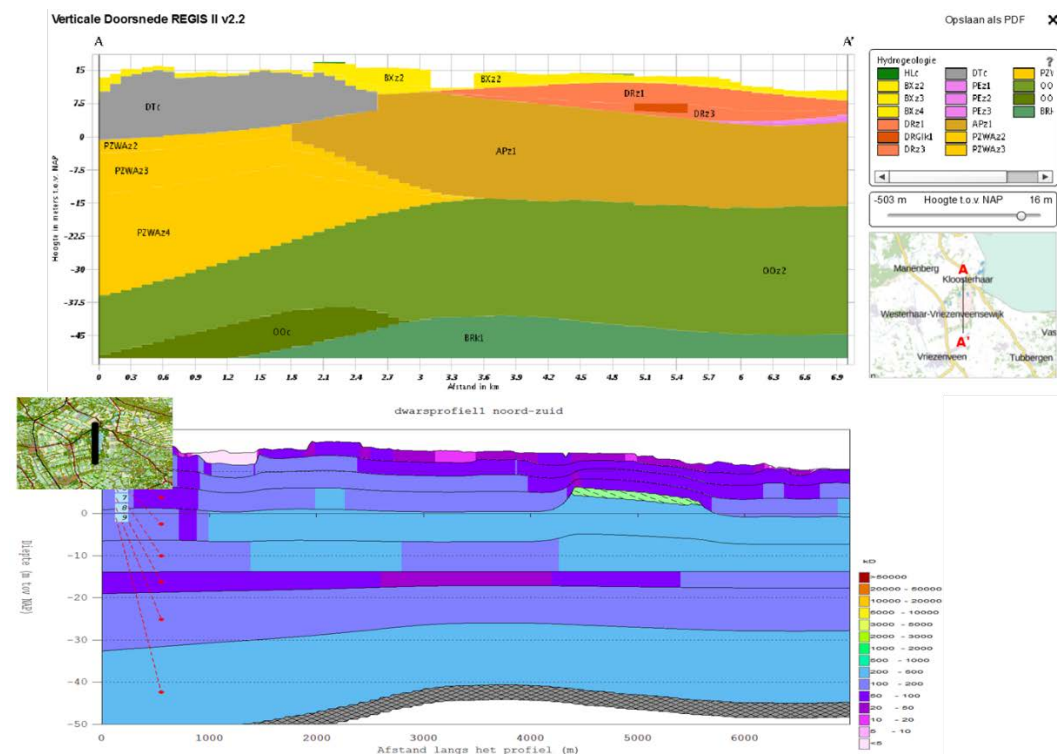
Figuur 4.2 – Maaiveldhoogte zoals gehanteerd in het regionale grondwatermodel

### 4.3.2 Laagschematisatie

#### Laagschematisatie MIPWA 3.0 en REGIS II v2.2

In figuur 4.3 zijn enkele dwarsdoorsneden opgenomen van de laagschematisatie van MIPWA 3.0 en REGIS II v2.2. Hieruit blijkt dat de laagschematisatie van MIPWA 3.0 grotendeels overeenkomt met die van REGIS II v2.2. In figuur 4.3 zijn echter twee scheidende lagen omcirkeld, waarvan de schematisatie verschilt tussen beide modellen. In het regionale model zijn deze scheidende lagen aangepast, op basis van de informatie uit REGIS II v2.2.





Figuur 4.3 – Enkele dwarsdoorsnedes van REGIS II v2.2 en MIPWA 3.0

## Basisinformatie

Uit het conceptuele model bleek dat er twijfels bestaan over de correctheid van de laagschematisatie in het modelgebied dat in Duitsland is gelegen. Met behulp van de online viewer van de Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN, online viewer), waarin geohydrologische informatie is opgenomen van Duitsland, is de laagschematisatie opnieuw bekeken in dit gebied. Op basis van deze info is de laagschematisatie aangepast. Daarnaast zijn de weerstandslagen in Nederland aangepast, met behulp van boringen uit het DINOloket, het landelijk geologisch model REGIS II v2.2 en de veendiktekaart van de Engbertsdijksvenen.

## Schematisatie in model

In de online viewer van de NLWKN zijn contouren weergegeven van de diepteligging van de geohydrologische basis. Deze contouren zijn overgenomen en vervolgens geïnterpoleerd naar een vlakdekkend grid binnen het Duitse modelgebied. Dit grid is gehanteerd als de geohydrologische basis van het regionale model. De online viewer van de NLWKN bevat daarnaast meerdere boringen, gelegen in het Duitse deel van het modelgebied. Uit deze boringen blijkt dat de eerste 15 à 25 m van de bodem bestaat uit matig fijn zand. Onder de zandlaag is een grof zand pakket aanwezig. Tussen het grove zandpakket en de geohydrologische basis is matig fijn zand gelegen, waarin soms slib voorkomt. Deze laagschematisatie is overgenomen in het regionale model. Voor de bovenste matig fijne zandlaag is een doorlatendheid van 15 m/d



toegepast. Voor het grof zandige pakket en de onderste matig fijne zandlaag is een doorlatendheid van respectievelijk 50 m/d en 10 m/d gehanteerd.

Uit de geraadpleegde boringen in de online viewer van de NLWKN blijkt dat in het Duitse modelgebied geen significante scheidende lagen aanwezig zijn. In MIPWA 3.0 is in het Duitse modelgebied (door extrapolatie) de weerstand echter onrealistisch hoog (maximaal circa 1.000.000 dagen). In het regionale model is daarom de weerstand van de scheidende lagen in Duitsland arbitrair gelimiteerd tot maximaal 100 dagen.

In het noordoostelijk deel van het modelgebied is in Duitsland een stuwwal gelegen. Gezien de ontstaansgeschiedenis van de gestuwde pakketten, is in de stuwwal anisotropie aangebracht in alle modellagen, met een voorkeursstroming in noordwestelijke/zuidoostelijke richting (anisotropiehoek). Een anisotropie-factor van 0,1 is hierbij gehanteerd.

Uit REGIS II v2.2 blijkt dat in het modelgebied twee scheidende lagen aanwezig zijn: Formatie van Drente, Laagpakket van Gieten, eerste kleiige eenheid en Formatie van Kreftenheye, Laagpakket van Zutphen, eerste kleiige eenheid. De verbreiding en weerstand van deze lagen zijn weergegeven in figuren 4.5 en 4.6. De verbreiding en weerstand van de genoemde lagen is verdeeld over de scheidende modellagen, afhankelijk van de diepteligging van de REGIS lagen.

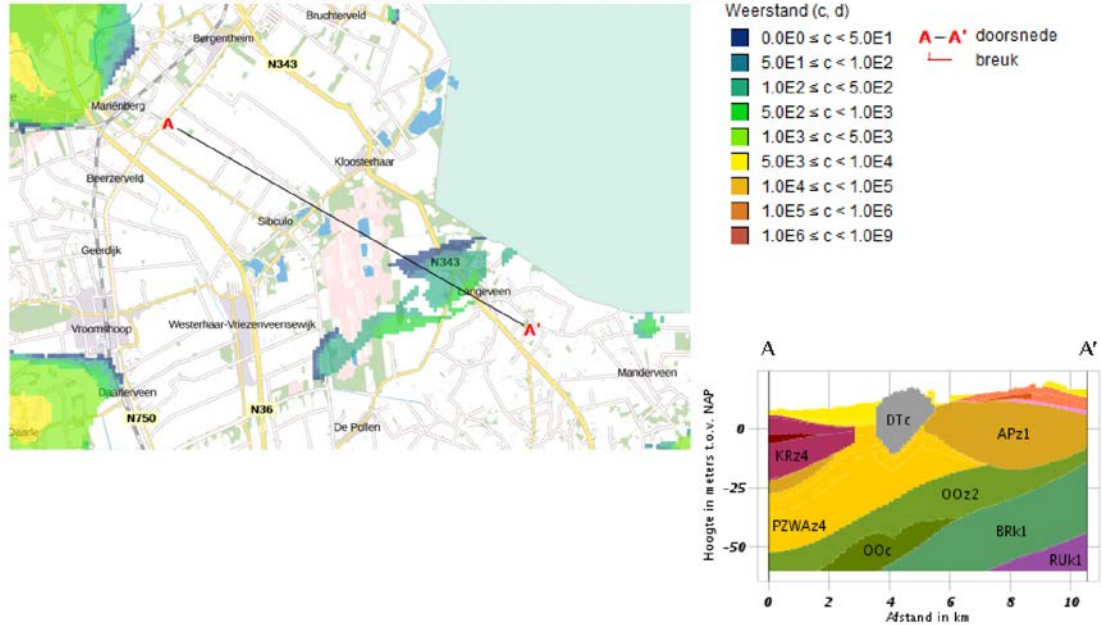
Naast REGIS zijn de weerstanden van de scheidende modellagen aangepast met behulp van boringen uit het DINOloket. Elke boring die binnen de modelgrenzen is gelegen, is geanalyseerd op de aanwezigheid van weerstandslagen en de diepteligging hiervan. Vervolgens is op basis van de lithologiesamenstelling en dikte van een laag de weerstand berekend. In tabel 4.1 zijn de gehanteerde weerstandswaarden per lithologiesamenstelling weergegeven. In verticale richting zijn in de tabel de hoofdklassen weergegeven (klei, veen en leem), met in horizontale richting de gehanteerde subklassen. Op basis van de diepteligging van de berekende weerstandslagen zijn deze toegekend aan de scheidende modellagen.

Tabel 4.1 – Gehanteerde weerstandswaarden per lithologiesamenstelling [d/m]

[d/m]	Geen	Kleiig	Siltig	Zandhoudend	Grindhoudend
Klei	400	400	300	150	100
Veen	150	300	200	100	50
Leem	300	350	250	125	70

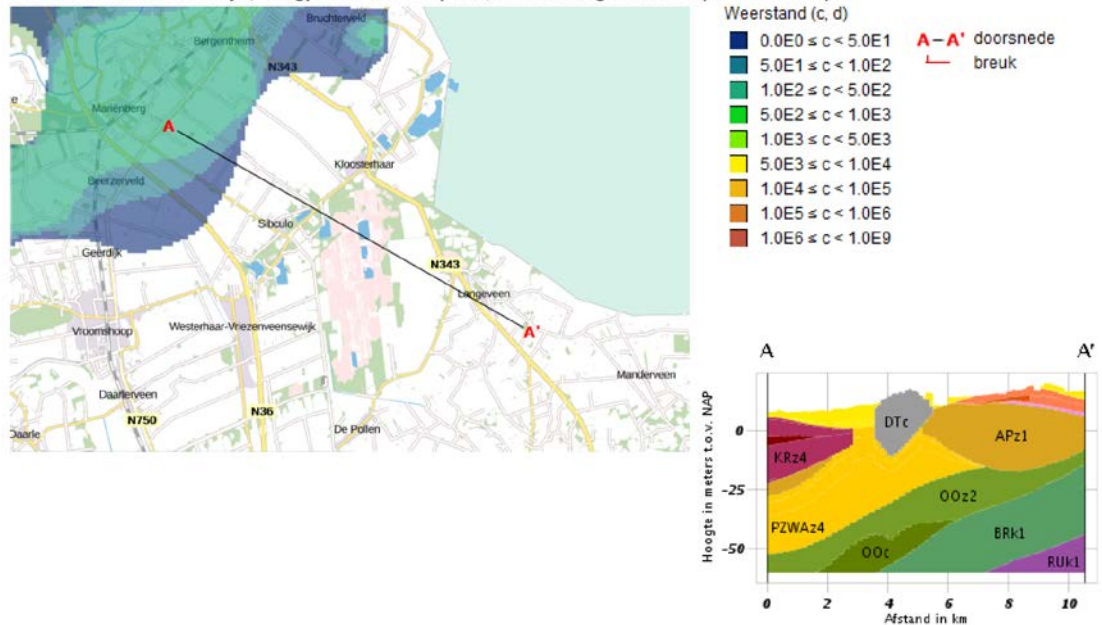


**Formatie van Drente, Laagpakket van Gieten, eerste kleiige eenheid (REGIS II v2.2)**



Figuur 4.4 – Verbreiding en weerstand van Formatie van Drente, Laagpakket van Gieten, eerste kleiige eenheid

**Formatie van Kreftenheye, Laagpakket van Zutphen, eerste kleiige eenheid (REGIS II v2.2)**



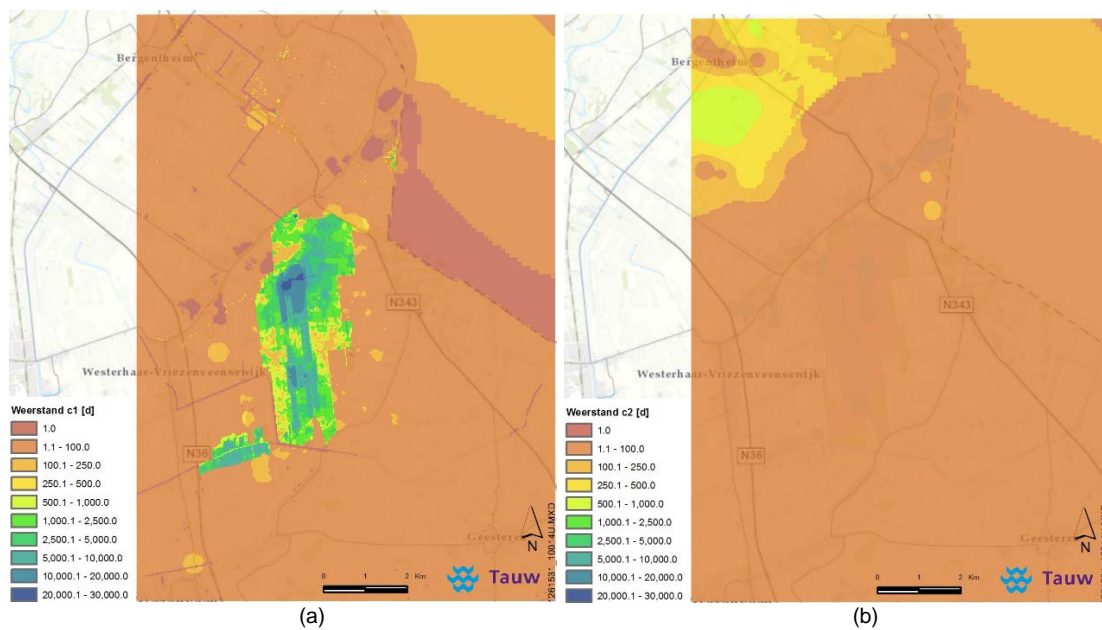
Figuur 4.5 – Verbreiding en weerstand van Formatie van Kreftenheye, Laagpakket van Zutphen, eerste kleiige eenheid

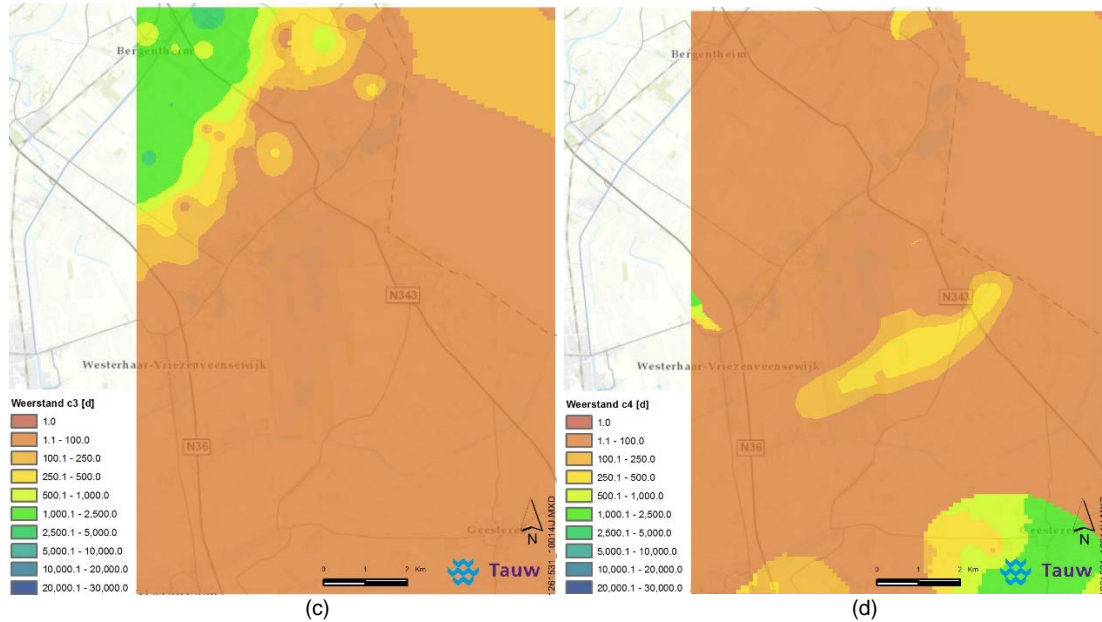
Zoals in paragraaf 2.1 is besproken, is in MIPWA 3.0 geen veenweerstand aanwezig ter plaatse van het Veenschap. Uit boringen van het DINOlaket blijkt dat in het Veenschap veen aanwezig is tot een diepte van circa NAP +10,8 m. Het maaiveld varieert hier tussen circa NAP +10,4 m en NAP +13,0 m. Op basis van het maaiveldhoogtebestand van MIPWA 3.0 is de dikte van deze

veenlaag berekend en ingebracht in de eerste scheidende laag van het model. Hiervoor is een veenweerstand van 4000 dagen per meter gehanteerd, met een minimale weerstand van 1000 dagen.

Tussen het deel van de Engbertsdijksvenen met een veendikte van 1,0 m of meer en de omgeving van de Engbertsdijksvenen, is een zogenaamde randzone gelegen. Dit betreft het deel van het veengebied met een veendikte van minder dan 1,0 m. Deze randzone is zowel in het lokale veenmodel als het regionale model opgenomen (buiten de gekoppelde zone). In MIPWA 3.0 is geen veenweerstand in de randzone aanwezig. Op basis van de in paragraaf 3.3 besproken parabolische weerstand, is in modellaag 1 van het regionale model veenweerstand aangebracht in de randzone.

In figuur 4.6 zijn de resulterende weerstandswaarden van scheidende lagen 1 t/m 4 weergegeven.





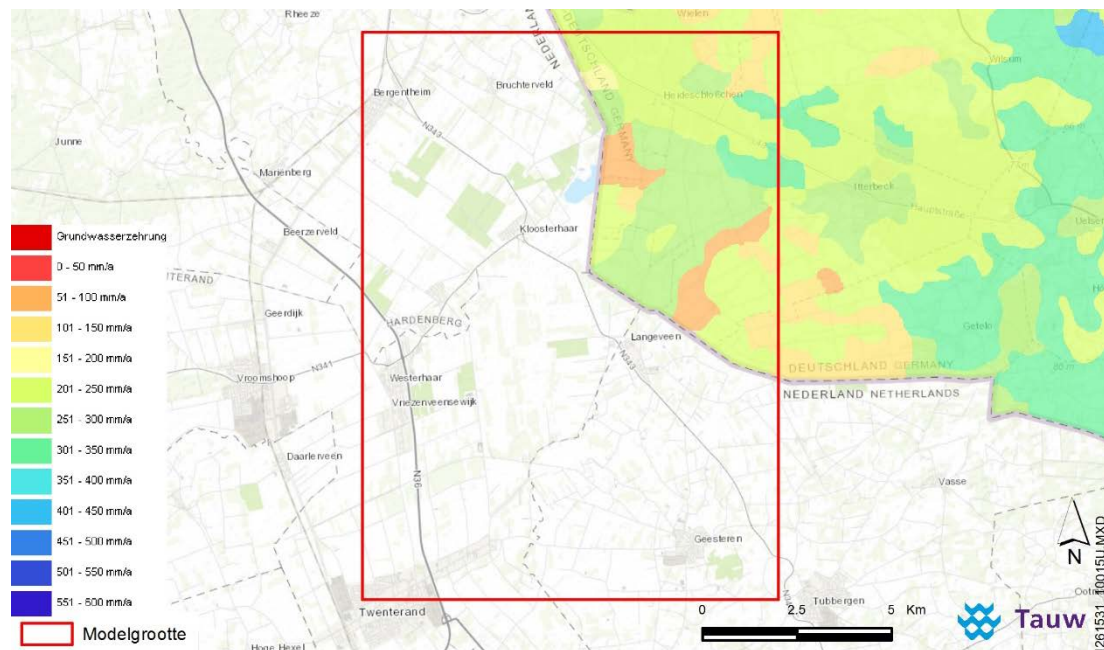
Figuur 4.6 – Weerstanden van scheidende lagen 1 t/m 4 na modelaanpassingen van het regionale model

### 4.3.3 Grondwateraanvulling

#### Basisinformatie

Het regionale model berekent de grondwateraanvulling binnen Nederland met behulp van MetaSWAP. MetaSWAP vereist gegevens van verschillende bodem- en landgebruikparameters. Deze gegevens zijn voor het Duitse deel van het modelgebied niet bekend. Het is daarom niet mogelijk om de grondwateraanvulling in dit deel betrouwbaar te berekenen met behulp van MetaSWAP. In plaats daarvan is een grondwateraanvulling in Duitsland opgelegd met behulp van de grondwateraanvulling-module (RCH) van iMODFLOW. Voor de bepaling van de ruimtelijke grondwateraanvulling in Duitsland is gebruik gemaakt van de online viewer van NLWKN. Deze online viewer bevat een vlakdekkende kaart van de grondwateraanvulling in Duitsland. In figuur 4.7 is de grondwateraanvulling in Duitsland weergegeven in millimeter per jaar, inclusief de grens van het regionale model.

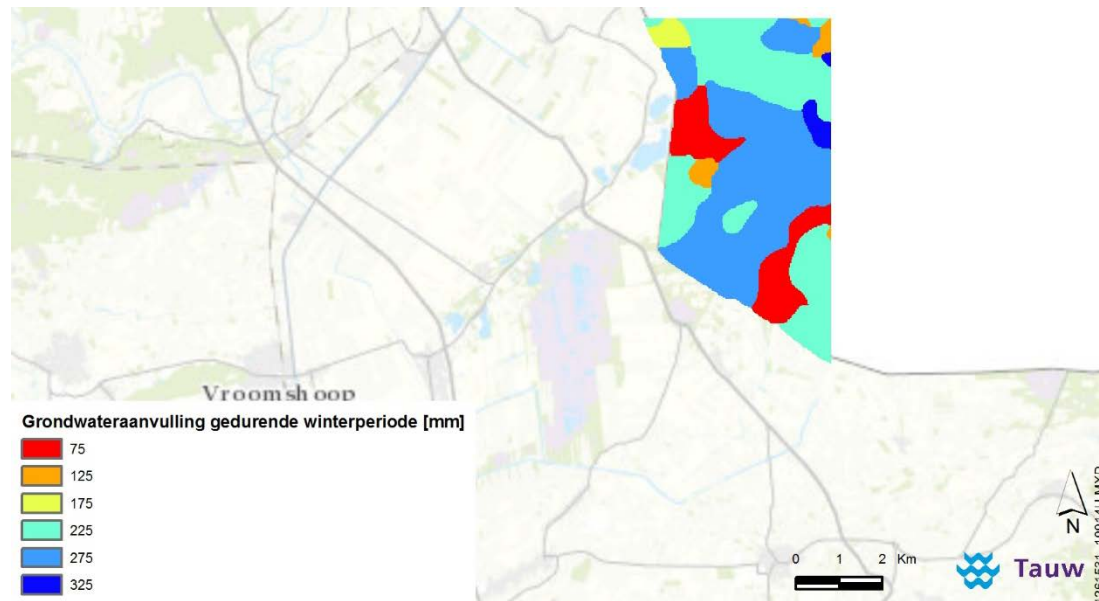




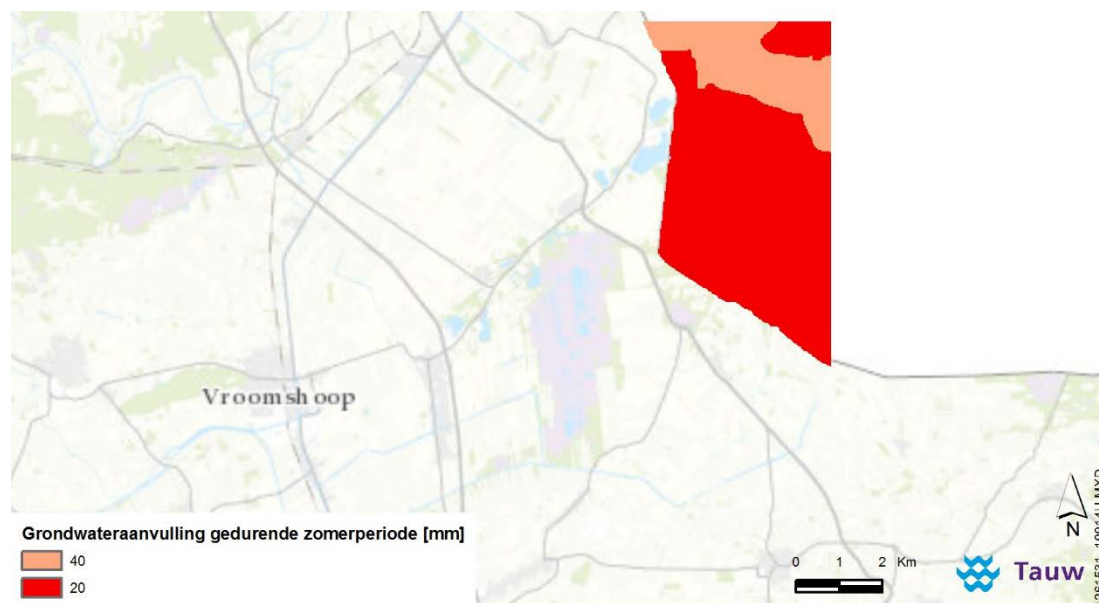
Figuur 4.7 – Grondwateraanvulling in Duitsland volgens NIBIS Kartenserver

### Schematisatie in model

Voor het gepresenteerde kaartbeeld in figuur 4.7 is er van uitgegaan dat deze grondwateraanvulling geheel in de winter plaatsvindt. Dit is in overeenstemming met het neerslagoverschot in Nederland, dat (vrijwel) geheel in de winter plaatsvindt. Het kaartbeeld van figuur 4.7 is overgenomen uit de online viewer van de NLWKN, per klasse is de gemiddelde hoeveelheid aangehouden en vervolgens is dit 'vergrid'. Het resulterende grid is omgerekend naar eenheden in millimeter per dag. Voor de zomersituatie is daarnaast nog in het regionale grondwatermodel een relatieve kleine grondwateraanvulling in Duitsland opgenomen van 0,22 mm/d (= 40 mm per zomer) op de stuwwal en 0,11 mm/d (= 20 mm per zomer, bron: online viewer NLWKN) in de rest van Duitsland. Op de stuwwal is de grondwateraanvulling iets groter gekozen vanwege de diepe grondwaterstand en daardoor gereduceerde verdamping. In figuren 4.8 en 4.9 zijn de hieruit resulterende grids weergegeven.



Figuur 4.8 – Grondwateraanvulling in Duitsland gedurende een winterperiode zoals gehanteerd in het regionale grondwatermodel

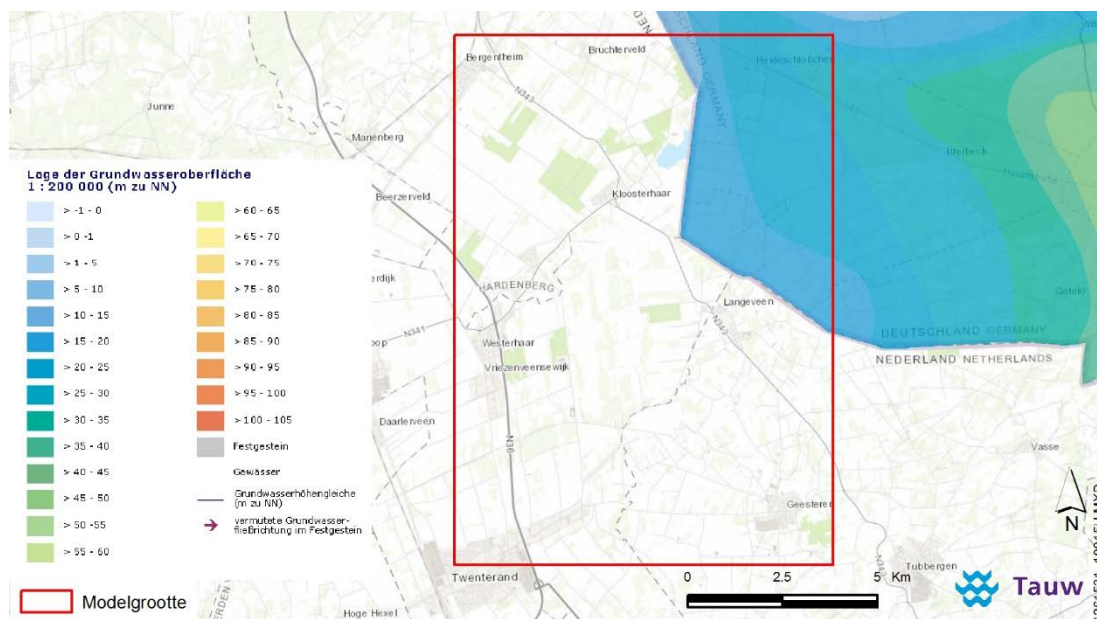


Figuur 4.9 – Grondwateraanvulling in Duitsland gedurende een zomerperiode zoals gehanteerd in het regionale grondwatermodel

### 4.3.4 Randstijghoogten

#### Basisinformatie

In het model zijn de randstijghoogten in Duitsland aangepast, op basis van informatie uit de online viewer van de NLKWN. Deze viewer bevat contouren van de grondwaterstand in Duitsland. In figuur 4.10 zijn deze contouren weergegeven.



Figuur 4.10 – Grondwaterstand

#### Schematisatie in model

De in figuur 4.10 weergegeven contouren zijn alleen op de modelrand in Duitsland overgenomen en toegevoegd aan het randstijghoogten grid van het regionale model. In het regionale model wordt het nieuwe randstijghoogten grid iedere twee weken simulatietijd ingelezen. Met deze methode zijn de randstijghoogten in het Duitse modelgebied constant over de simulatietijd. Dit in tegenstelling tot de randstijghoogten in het Nederlandse modelgebied, die variëren over de simulatietijd. Doordat de randstijghoogten in Duitsland (rode lijn in Duitsland in figuur 4.10) op relatief grote afstand van de Engbertsdijkvenen zijn gelegen, heeft dit geen significante invloed op de modelresultaten.

In laag 1 zijn alle cellen (zowel iMODFLOW als MetaSWAP) die binnen de Engbertsdijkvenen met een veendikte van 1 m of meer zijn gelegen (het gekoppelde gebied) op non-actief gezet. Dit is gedaan omdat het watersysteem in dit gebied is berekend met behulp van het lokale model. Voor MetaSWAP is dit ook zo gedaan. Zoals in paragraaf 4.3.3 is besproken, zijn voor MetaSWAP alle cellen in Duitsland op non-actief ingesteld.

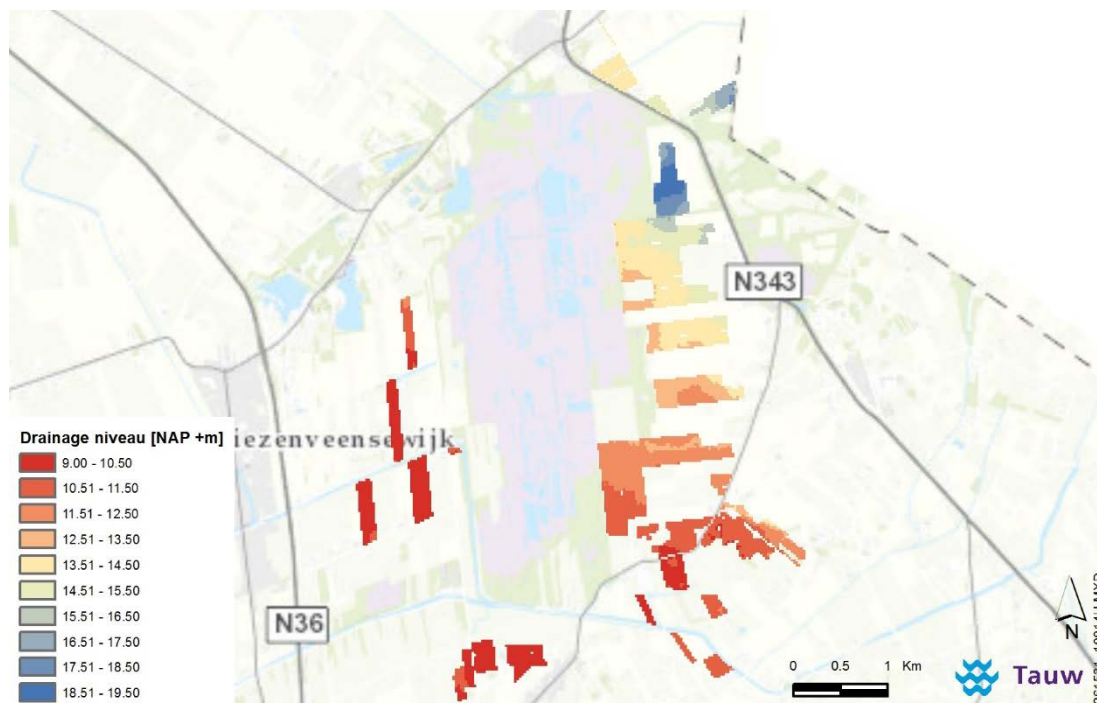
## 4.3.5 Drainage

### Basisinformatie

Om de Engbertsdijksvenen heen is in een gedeelte van de landbouwpercelen drainage aanwezig. Door LTO is een bestand aangeleverd met daarin de ligging van de drainagegebieden om de Engbertsdijksvenen heen. Deze is gebaseerd op een veldinventarisatie met de grondeigenaren. Per drainagegebied is door LTO aangegeven wat de diepteligging van de drainage is (in m –mv), wat de afstand tussen de afzonderlijke drainagebuizen is en hoe is het gesteld met de werking van de drainagebuizen.

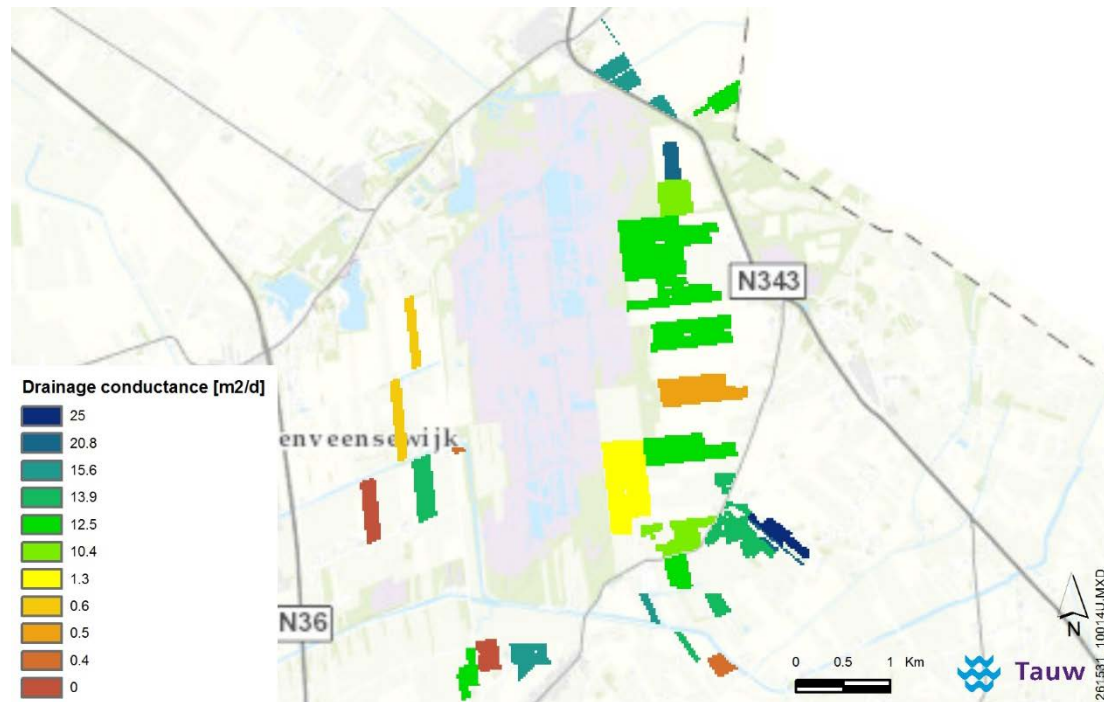
### Schematisatie in model

De diepteligging van de drainage zoals aangeleverd door LTO is ‘vergrid’ en omgerekend van waarden in m –mv naar waarden in NAP +m. In figuur 4.11 is de resulterende diepteligging van de drainagegebieden in NAP +m weergegeven. Op basis van de aangeleverde afstand tussen de afzonderlijke drainagebuizen en de werking van de drainage, is per drainagegebied een conductance bepaald. De conductance is een maat voor de doorlatendheid van de drainagebuizen. Hoe hoger deze waarde, hoe beter en meer water kan worden afgevoerd. In figuur 4.12 is de drainage conductance zoals dat is toegepast in het model weergegeven. De drainage van MIPWA 3.0 is vervangen door deze drainage.



Figuur 4.11 – Drainage niveau van omliggende percelen





Figuur 4.12 – Drainage conductance van omliggende percelen

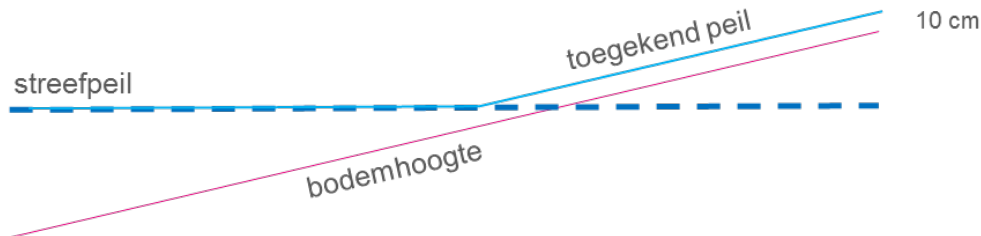
### 4.3.6 Oppervlaktewatersysteem Nederland

#### Basisinformatie

Voor de peilen van het legger oppervlaktewatersysteem in het Nederlandse deel van het modelgebied is gebruikt gemaakt van de legger van waterschap Vechtstromen en de Top10 leggerwatergangen. In de legger van het Waterschap is ook de ligging van peilgebieden opgenomen. Voor een deel van de peilgebieden zijn de gehanteerde streefpeilen bekend. Daar waar dat niet het geval is, is het streefpeil bepaald met behulp van peilen van stroomafwaarts gelegen stuwen. Niet elke watergang is gelegen in een peilgebied. Dit betreffen vrij afwaterende watergangen. Hiervoor is een andere aanpak gehanteerd dan bij de peilgestuurde watergangen.

#### Schematisatie in model

Voor legger watergangen gelegen in peilgebieden is hetzelfde waterpeil toegepast als het streefpeil van het betreffende peilgebied. Van Top10 watergangen is het peil slechts in enkele zones aangepast na vergelijking met het streefpeil. Voor vrij afwaterende watergangen is een andere methodiek gehanteerd. Deze methodiek is schematisch weergegeven in figuur 4.13.



Figuur 4.13 – Principe toekenning waterpeil in vrij afwaterend gebied

Wanneer de bodemhoogte van een watergang lager is dan het streefpeil, is aan de watergang een peil toegekend dat gelijk is aan het bekende streefpeil. Indien de bodemhoogte hoger is dan het streefpeil, is een peil toegekend dat 10 cm hoger is dan de bodemhoogte.

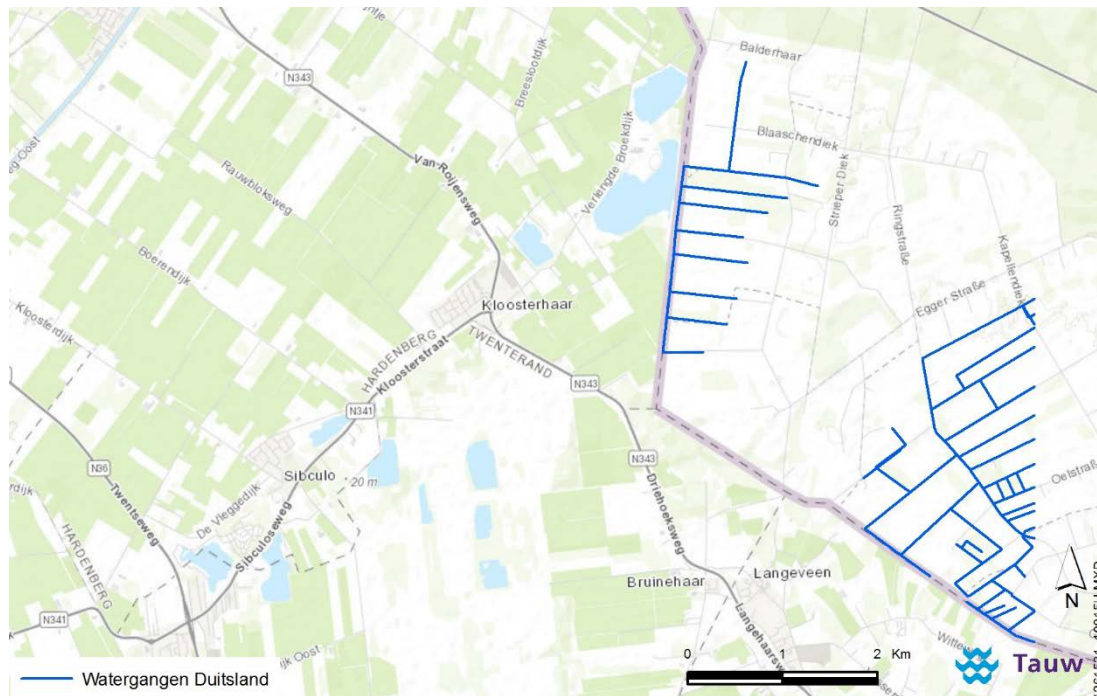
#### 4.3.7 Oppervlaktewatersysteem Duitsland

##### Basisinformatie

De beschikbare informatie over het oppervlaktewatersysteem in Duitsland is zeer beperkt. De door Tauw enige gevonden informatie betreft de ligging van enkele grote watergangen in de online viewer van de Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Hierin is geen informatie opgenomen over de breedte, diepte en/of peil van de watergangen. Uit de topografische kaart van Google Maps bleek dat in Duitsland binnen de modelgrens meer watergangen aanwezig zijn, dan in de online viewer van NLWKN zijn weergegeven. Door Tauw is daarom in Duitsland veldwerk uitgevoerd (d.d. 7-5-2018), waarbij de breedte, diepte en peil van alle in het model gelegen watergangen ten opzichte van het omliggende maaiveld zijn opgemeten. In figuur 4.14 zijn de watergangen in Duitsland binnen de modelbegrenzing weergegeven.

##### Schematisatie in model

De verkregen data uit het veldwerk is gedigitaliseerd. Vervolgens zijn de dieptes en peilen omgezet van waarden in m –mv naar waarden in NAP +m en 'vergrid'. Voor alle Duitse watergangen is een weerstandswaarde van 2 dagen gehanteerd. De conductance van de watergangen is berekend met behulp van deze weerstandswaarde en de opgemeten breedte van de watergangen. Voor watergangen waar tijdens het veldwerk geen water in stond of vol stonden met plantsoen, is een infiltratiefactor van 0,0 gehanteerd (geen infiltratie mogelijk). Voor de overige watergangen is een infiltratiefactor van 0,33 gehanteerd. Alle watergangen in Duitsland zijn vervolgens in de eerste modellaag ingebracht.



Figuur 4.14 – Watergangen Duitsland

### 4.3.8 Overige modelaanpassingen

#### Zandwinplassen

Binnen het modelgebied bevinden zich meerdere zandwinplassen. Indien peilbeheer plaatsvindt in deze plassen, dient het model hier op aangepast te worden. Door waterschap Vechtstromen is informatie aangeleverd over de zandwinplassen. Op basis van de aangeleverde gegevens kan geconcludeerd worden dat in geen van de zandwinplassen sprake is van peilbeheer. Uit de documenten blijkt wel dat het peil in de plassen onderling behoorlijk van elkaar verschillen. Het plaspeil is afhankelijk van de bodemweerstand en de stijghoogte in het watervoerend pakket. Het is onduidelijk in welke mate deze aspecten van invloed zijn op het peil in de afzonderlijke plassen. Voor de zandwinplassen zijn geen modelaanpassingen uitgevoerd.

#### Oppervlaktewaterpeilen Engbertsdijksvenen

De randzone van de Engbertsdijksvenen waar de veendikte minder dan 1,0 m is, is opgenomen in het regionale model. In deze randzone zijn de oppervlaktewaterpeilen gewijzigd op basis van de door Staatsbosbeheer aangeleverde gegevens.



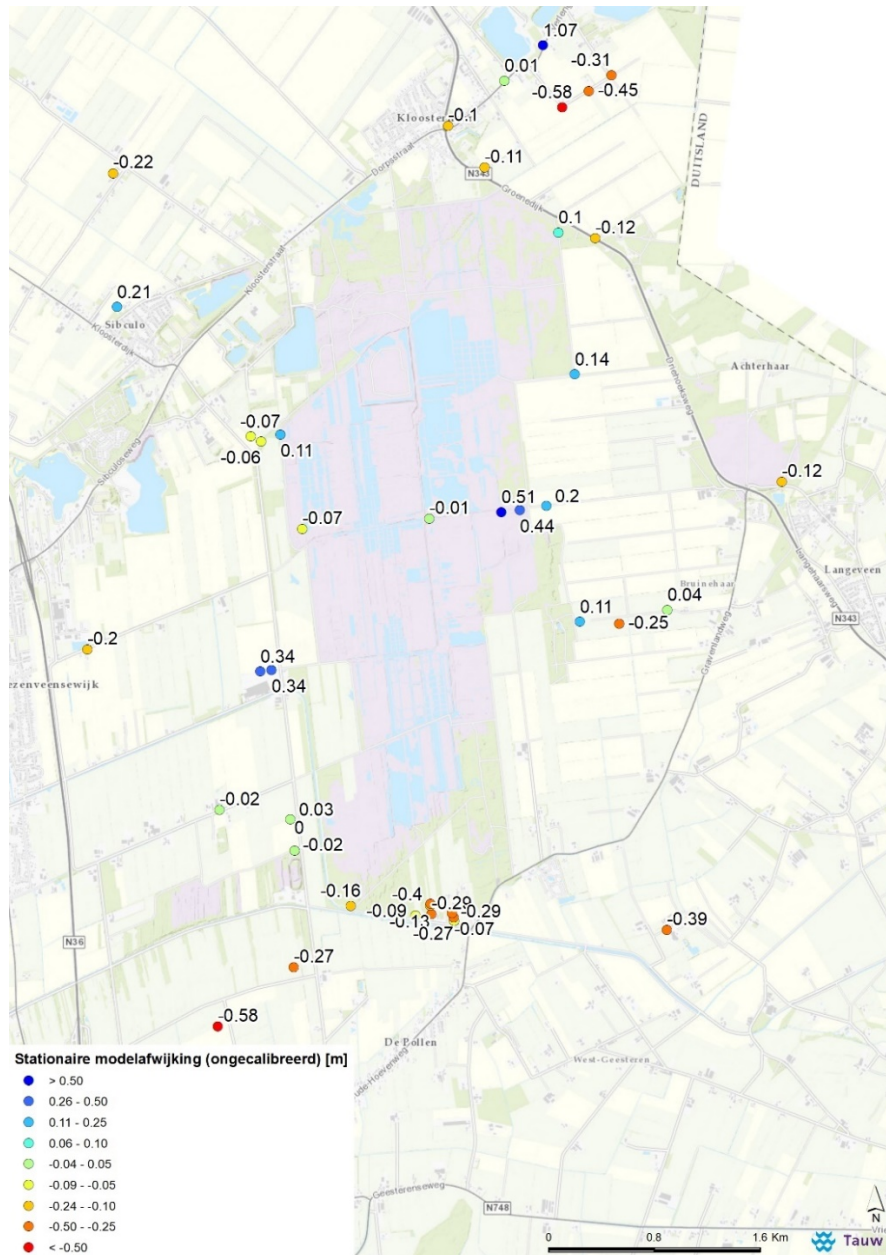
## **Weerstand Geesters Stroomkanaal**

De weerstand van het Geesters Stroomkanaal is mogelijk te hoog, gezien het feit dat het regionale grondwatermodel langs het kanaal ten zuiden van de Engbertsdijkvenen een te lage stijghoogte in de zandondergrond berekend. Het kanaal heeft langs dit traject een infiltrerende werking. De infiltrerende werking zorgt voor aanvulling van het grondwater in de zandondergrond. Bij afname van de bodemweerstand neemt deze aanvulling toe. De weerstand van dit kanaal is daarom verlaagd van circa 7 dagen naar 3 dagen. Bij hantering van deze weerstand is de conductance van het Geesters Stroomkanaal gelijk aan de conductance van de naastgelegen Verbindingsleiding. De weerstand van het Geesters Stroomkanaal is verder geoptimaliseerd tijdens de kalibratie.



## 5 Verificatie en kalibratie regionaal model

Het grondwatermodel met alle beschreven aanpassingen in hoofdstuk 4 heeft het startpunt gevormd voor de modelkalibratie. De modelafwijkingen van het ongekalibreerde stationaire model zijn weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1 – Modelafwijking in zandondergrond van het ongekalibreerde, stationaire regionale grondwatermodel [m]



## 5.1 Methodiek kalibratie

### 5.1.1 IJkset

Het grondwatermodel is gekalibreerd op basis van gemeten grondwaterstanden, zoals deze door de opdrachtgever zijn aangeleverd. De meetreeksen van de beschikbare peilbuizen zijn beoordeeld op:

- *Overlap met modelperiode 2007-2014*: reeksen met minder dan 4 jaar overlap zijn niet meegenomen
- *Volledigheid van de reeks*: indien perioden met ontbrekende metingen leiden tot een onrealistisch langjarig gemiddelde, dan is de reeks niet meegenomen
- *Onrealistische stijghoogtesprongen*: indien dit het geval is dan is de reeks niet meegenomen
- Filterstelling ten opzichte van de modellagen

De ijkset bestaat uit 42 peilbuizen. De situering en de kenmerken van deze peilbuizen zijn opgenomen in bijlage 2.

### 5.1.2 Methodiek

De kalibratie is stationair uitgevoerd, zodat tegemoet kon worden gekomen aan het krappe tijdsplan. De volgende modelparameters zijn gekalibreerd met een vermenigvuldigingsfactor:

- *Doorlaatvermogen watervoerende lagen*: hierbij wordt de vermenigvuldigingsfactor voor de totale doorlatendheid van modellagen 1 t/m 9 geoptimaliseerd. Er is op dit punt geen zonering toegepast
- *Conductance van de ontwateringsmiddelen*: hierbij onderscheid is gemaakt tussen de conductance van de legger watergangen, Top10 watergangen en de drainage. Er is op dit punt zonering toegepast, met uitzondering van het Geesters Stroomkanaal
- *Wegzijing vanuit Engbertsdijkvenen*: hiermee kan de gevoeligheid van het regionale model voor de wegzijing uit het veengebied worden beoordeeld

In totaal zijn twee kalibratieruns uitgevoerd. De eerste kalibratierun is bedoeld om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de modelparameters op de modelresultaten. Op basis van deze resultaten is een tweede kalibratierun uitgevoerd.

## 5.2 Kalibratierun 1

In de eerste kalibratierun zijn alle bovengenoemde modelparameters 'vrij' gelaten. De modelparameters zijn aangepast met behulp van een vermenigvuldigingsfactor, die van toepassing is op het volledige, ruimtelijk parameterveld. Het toegestane bereik van de vermenigvuldigingsfactor bedraagt 0,2 tot 5,0. In tabel 5.1 zijn per modelparameter de vermenigvuldigingsfactoren na uitkomst van de eerste kalibratierun weergegeven, inclusief het 95 % betrouwbaarheidsinterval.



Tabel 5.1 – Variabelen in kalibratierun 1

Modelparameter	Initiële vermenigvuldigingsfactor [-]	Vermenigvuldigingsfactor na kalibratie [-]	95% betrouwbaarheidsinterval
Doorlaatvermogen (KDO)	1,0	0,99	+0,49 tot +1,48
Conductance legger watergangen (LEG)	1,0	0,20	-0,31 tot +0,71
Conductance Top10 watergangen (T10)	1,0	0,69	-1,00 tot +2,37
Conductance drainage (DRN)	1,0	5,00	-34,16 tot +44,16
Wegzijing uit EDV (WGZ)	1,0	0,60	-6,63 tot +7,83

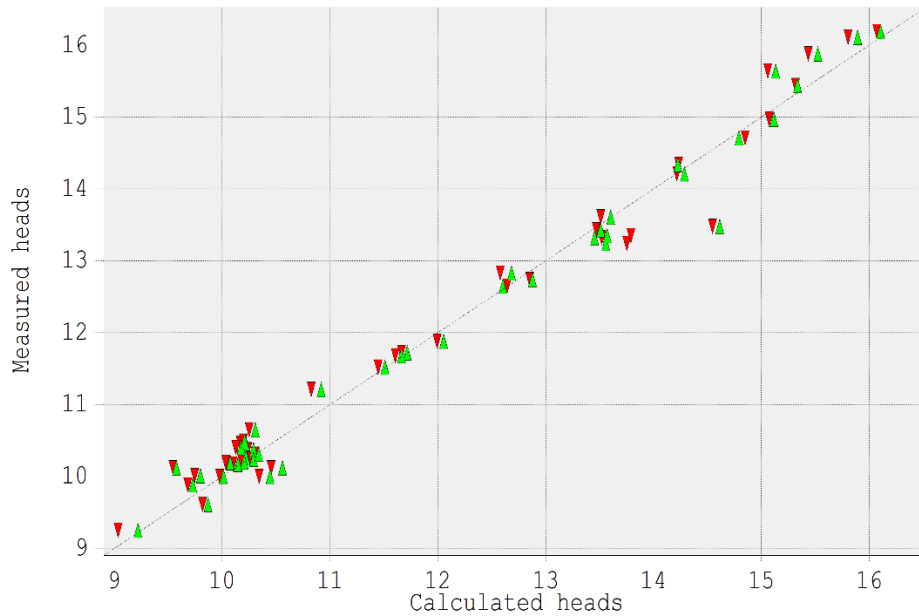
Hieruit blijkt dat vooral de conductance van de legger watergangen en drainage sterk zijn aangepast, tot de maximale waarde van de opgegeven bandbreedte. In tabel 5.2 is de correlatie tussen de verschillende modelparameters weergegeven.

Tabel 5.2 – Correlatie tussen modelparameters

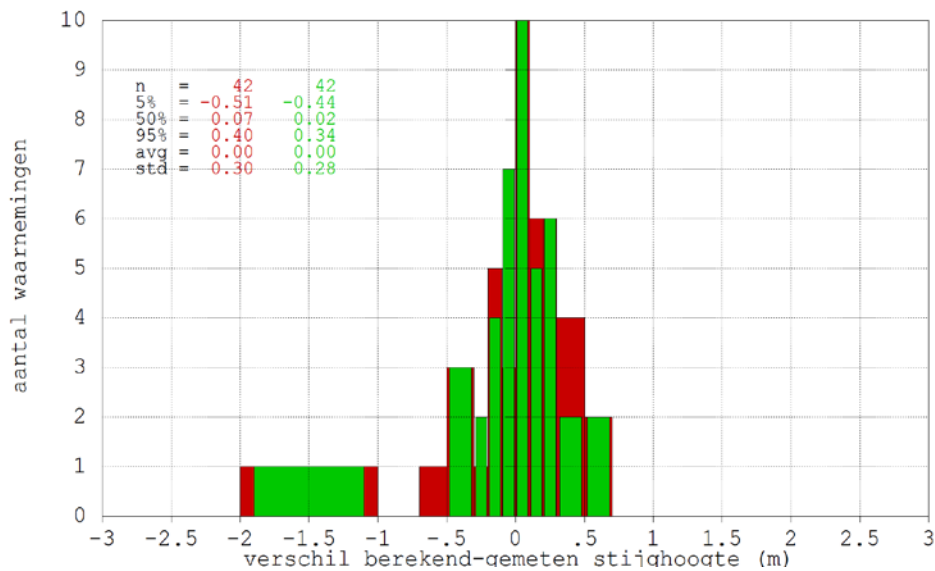
Correlatie [%]	WGZ	LEG	T10	DRN	KDO
WGZ	-	1	23	50	51
LEG	1	-	-56	19	-25
T10	23	-56	-	-34	4
DRN	50	19	-34	-	7
KDO	51	-25	4	7	-

De wegzijging uit de Engbertsdijksvenen is relatief sterk gecorreleerd met het doorlaatvermogen. Dit geeft aan dat een verhoogde wegzijging in combinatie met een verhoogd doorlaatvermogen, leidt tot een vergelijkbare grondwaterstand in de beschouwde peilbuizen. De relatief sterke negatieve correlatie tussen conductance van legger watergangen en conductance van Top10 watergangen geeft aan dat aanpassingen van deze conductances in zekere mate uitwisselbaar zijn. Behoudens deze parametercombinaties zijn de parameters beperkt gecorreleerd.

In figuur 5.2 is de fit tussen berekende en gemeten stijghoogten weergegeven. De rode punten betreffen de situatie voor aanvang van de kalibratie, de groene punten betreffen de situatie met de geoptimaliseerde modelparameters. Bij een fit van 100 %, liggen alle punten op de diagonaal (berekend is gelijk aan gemeten). In figuur 5.3 is de verdeling van de modelafwijkingen in een aantal klassen opgenomen. Ook hier betreft rood de situatie voor aanvang van de kalibratie en groen de situatie na de eerste kalibratierun.

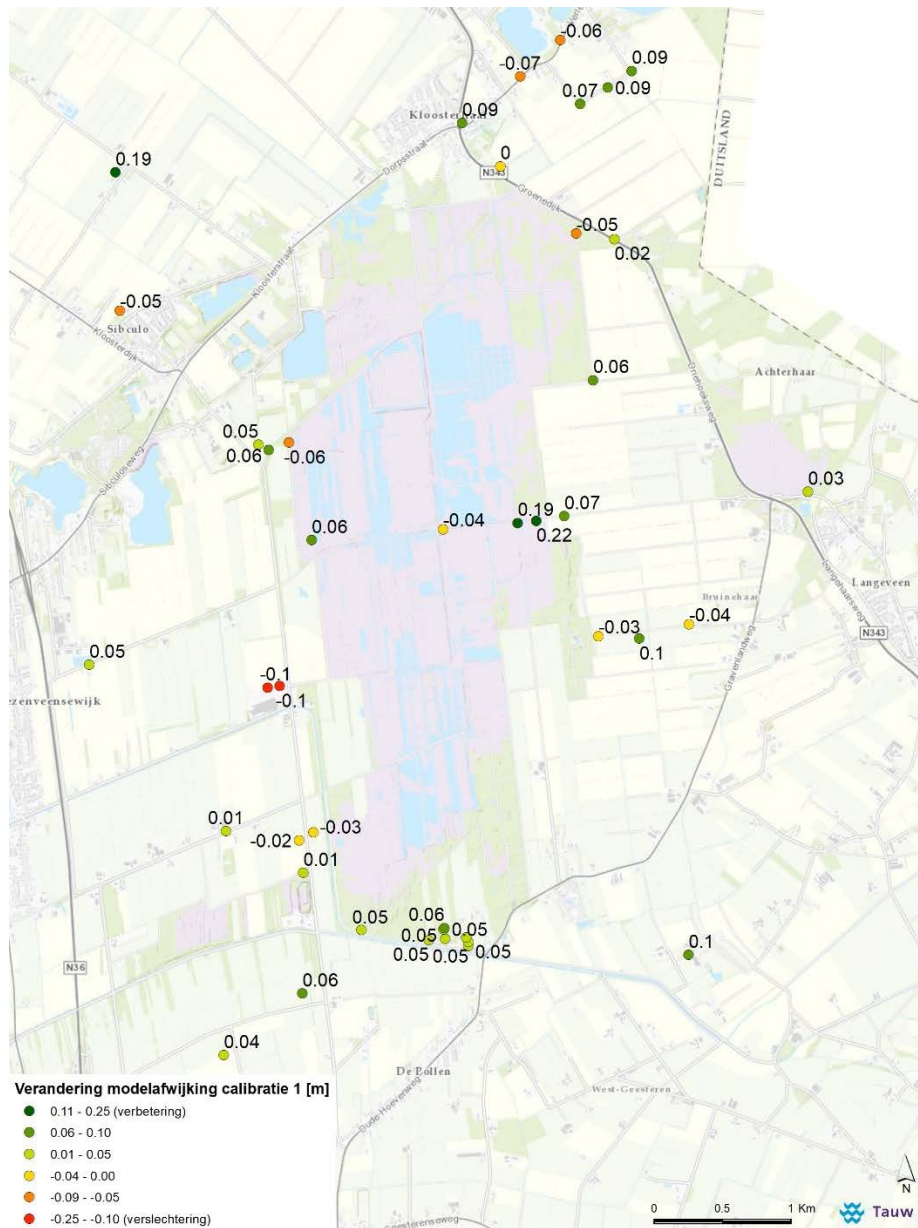


Figuur 5.2 – Fit tussen gemeten en berekende stijghoogten (rood = niet-gekalibreerd, groen = gekalibreerd)



Figuur 5.3 – Histogram modelafwijkingen, voor en na kalibratierun 1 (rood = niet-gekalibreerd, groen = gekalibreerd)

Gesteld kan worden dat de eerste kalibratierun tot een beperkte verbetering van de modelafwijkingen leidt. Dit blijkt ook uit de afname van de kwadratensom, die circa 15 % bedraagt. Een ruimtelijke beeld van de verandering in modelafwijkingen is opgenomen in figuur 5.4.



Figuur 5.4 – Veranderingen van modelafwijkingen na kalibratie 1

Ondanks de forse aanpassing van de conductance van de drainage (factor 5) en de legger watergangen (factor 0,2), leidt dit dus niet tot een substantiële verbetering van het modelresultaat. Dit geeft aan dat het model relatief ongevoelig is voor deze parameters. Dit blijkt ook uit het grote 95 % betrouwbaarheidsinterval in tabel 5.1. Aangezien ook negatieve waarden binnen het 95 % betrouwbaarheidsinterval vallen, is het kalibratieresultaat voor de conductances van de verschillende ontwateringsmiddelen (watergangen en drainage) en wegzijging niet plausibel te noemen. Dit zou namelijk leiden tot negatieve conductance waarden, wat technisch gezien niet mogelijk is. Er is daarom geen grond voor wijziging van deze modelparameters. Het kalibratieresultaat voor het doorlaatvermogen van de watervoerende lagen is wel significant, maar



de gekalibreerde waarde is vrijwel hetzelfde als de initiële waarde (0,99 vs. 1,00) (zie hiervoor ook tabel 5.1). Het doorlaatvermogen van de watervoerende lagen is daarom niet aangepast.

### 5.3 Kalibratierun 2

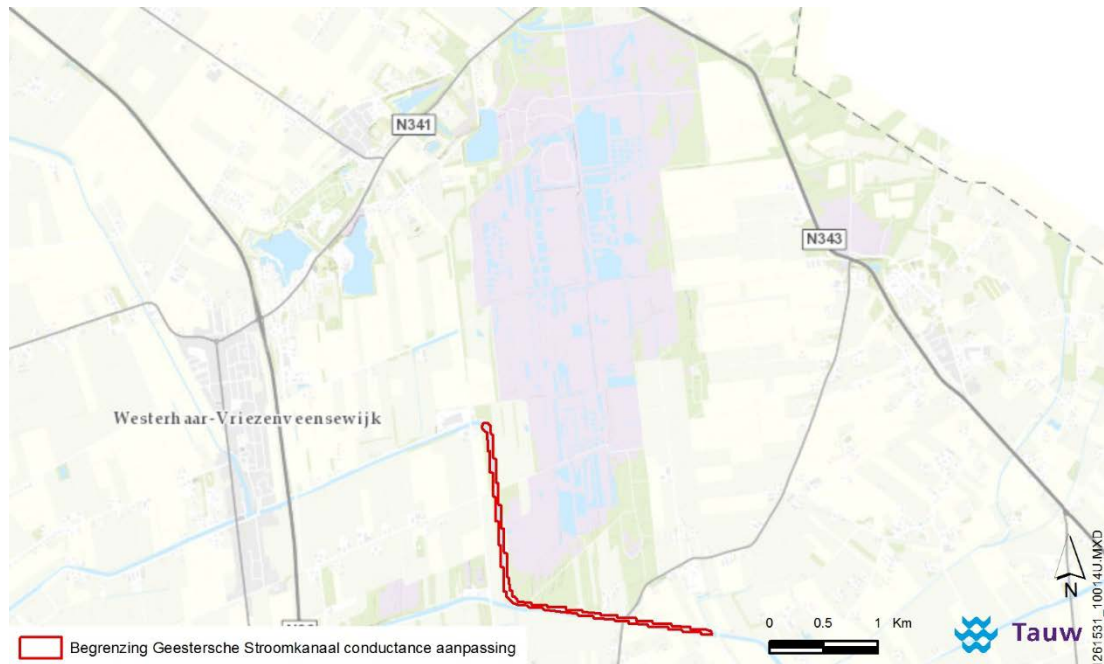
In de tweede stationaire kalibratierun is gekeken naar de bodemweerstand van het Geesters Stroomkanaal. Dit kanaal regelt de interactie tussen het oppervlaktewater (peil) en de grondwaterstand. Dit kanaal is daardoor tevens bepalend voor de uitstraling van effecten als gevolg van wijziging van het oppervlaktewaterpeil. De conductances van de verschillende ontwateringsmiddelen (watergangen en drainage) en de wegzijging uit het veengebied zijn vastgezet op de initiële waarde. Het doorlaatvermogen is vastgezet op 99% van de initiële waarde (het resultaat van kalibratierun 1). Deze parameters worden dus niet opnieuw geoptimaliseerd in kalibratierun 2.

De conductance van het Geesters Stroomkanaal is in de tweede kalibratierun uitsluitend gevarieerd in de begrenzing zoals weergegeven in figuur 5.5. Deze begrenzing komt overeen met de begrenzing waarvoor in de gebiedsanalyse maatregelen zijn gedefinieerd (peilverhoging en wateraanvoer). De aanpassing van de conductance vindt wederom plaats met een vermenigvuldigingsfactor. Het toegestane bereik van de vermenigvuldigingsfactor bedraagt 0,2 tot 5,0. In tabel 5.3 is het resultaat van de vermenigvuldigingsfactor na de kalibratierun weergegeven, inclusief het 95 % betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 5.3 - Variabelen in kalibratierun 2

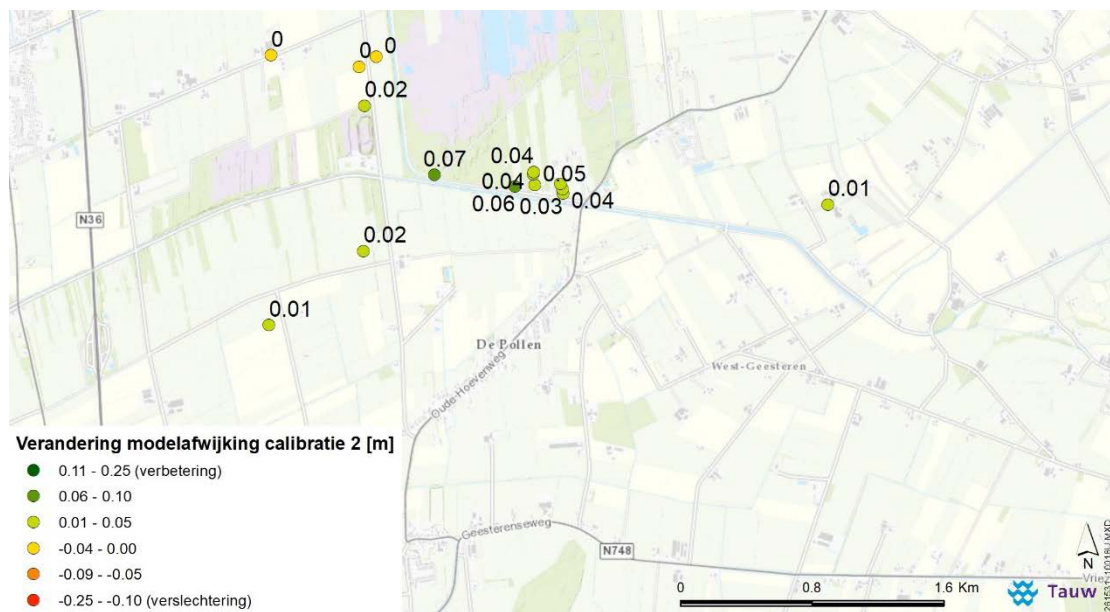
Parameter	Initiele vermenigvuldigingsfactor [-]	Vermenigvuldigingsfactor na kalibratie [-]	95 % betrouwbaarheidsinterval
Conductance Geesters Stroomkanaal (KAN)	1,0	5,00	-4,19 tot +14,19



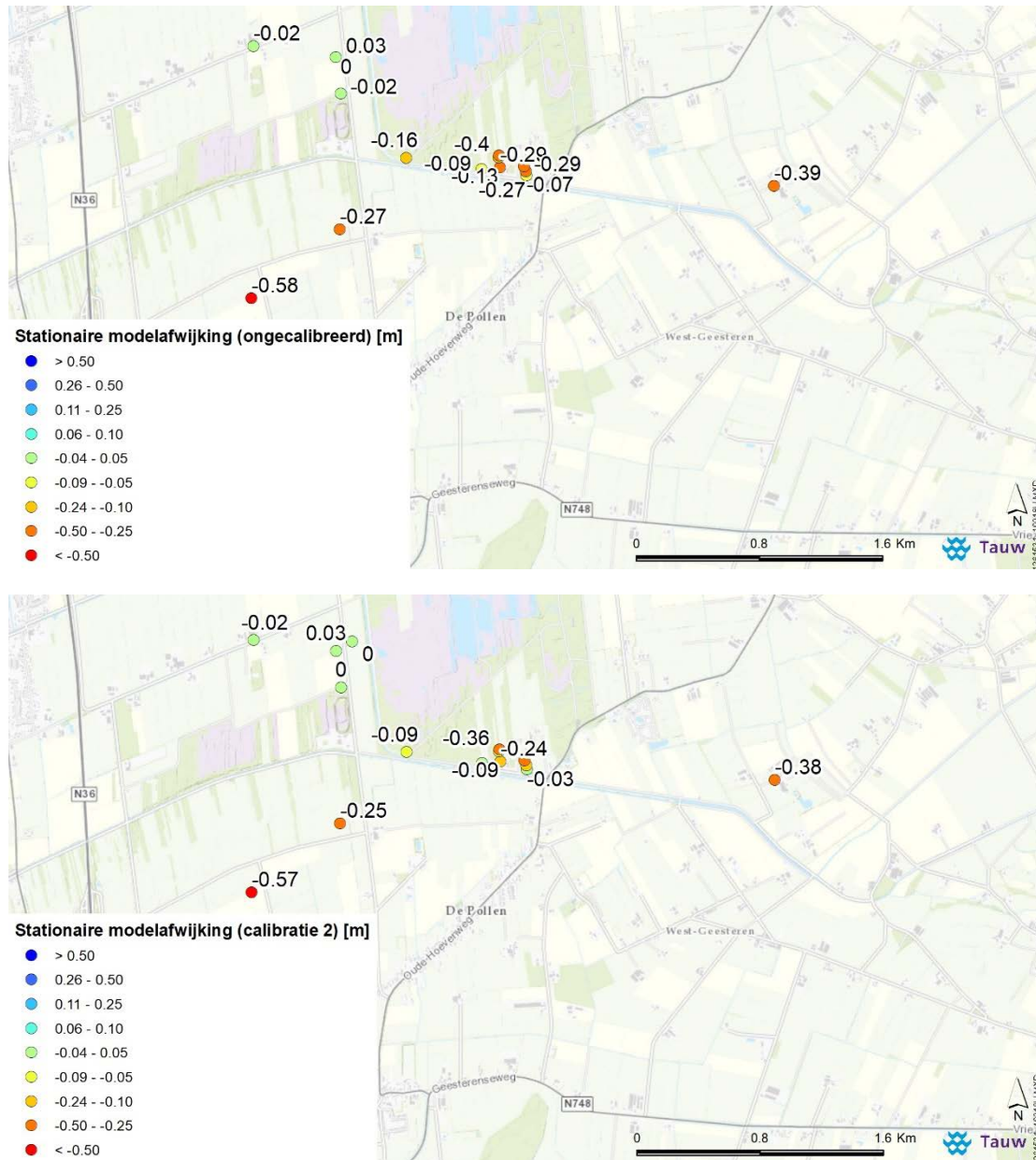


Figuur 5.5 – Begrenzing Geesters Stroomkanaal voor conductance aanpassing

Het kalibratieresultaat is niet significant. Het betrouwbaarheidsinterval omvat ook negatieve waarden. Desondanks is er wel sprake van een duidelijke verbetering van fit tussen gemeten en berekende grondwaterstanden. Het ruimtelijke beeld van de verbetering is weergegeven in figuur 5.6. De modelafwijkingen voor en na de tweede kalibratierun zijn weergegeven in figuur 5.7.



Figuur 5.6 – Veranderingen van modelafwijkingen na kalibratierun 2



Figuur 5.7 – Modelafwijkingen, voor en na kalibratierun 2 [m]

Ten slotte is een kalibratierun verricht naar de weerstand van het Geesters Stroomkanaal (binnen dezelfde begrenzing als in figuur 5.5), waarbij alleen peilbuis B28E0221-01 is meegenomen voor de ijkset. De filterstelling van deze peilbuis is gelegen van 2,6 tot 3,1 m –mv en de peilbuis staat relatief geïsoleerd van andere invloeden anders dan het Geesters Stroomkanaal. Het boorprofiel van de peilbuis laat zien dat in de eerste halve meter plaatselijk veen wordt aangetroffen. De weerstand van dit veen bedraagt in het regionale model circa 1.000 dagen. Voor zover bekend bevinden zich onder het filter geen slecht doorlatende lagen.





In deze laatste kalibratierun is een vermenigvuldigingsfactor gehanteerd met een bereik van 0,1 tot 20,0. Het beschouwde traject van het kanaal (zie figuur 5.5) heeft overwegend een licht infiltrerende werking. De gemiddelde stijghoogte in peilbuis B28E0221-01 wordt iets te laag berekend. Daardoor wordt door PEST (Parameter ESTimation, de module waarmee de kalibratie wordt uitgevoerd) de conductance verhoogd naar de maximale vermenigvuldigingsfactor van 20,0. Het kalibratieresultaat laat echter zien dat ten opzichte van de eerdere kalibratierun (waarbij de bodemweerstand van het beschouwde traject van het kanaal met een factor 5,0 is verhoogd) de afname in modelafwijking slechts 1,0 cm bedraagt. De laatste kalibratierun heeft daarmee geen nieuwe inzichten opgeleverd wat betreft de bodemweerstand van het Geesters Stroomkanaal. Mogelijk worden de iets te laag berekende stijghoogten ter plaatse van peilbuis B28E0221 veroorzaakt door een te sterke ontwatering (drainage) ten zuidwesten van het kanaal. De grondwaterstandsmetingen bevestigen dit beeld, doordat de grondwaterstand gedurende de zomer tot onder het waterpeil van het Geesters Stroomkanaal uitzakt.

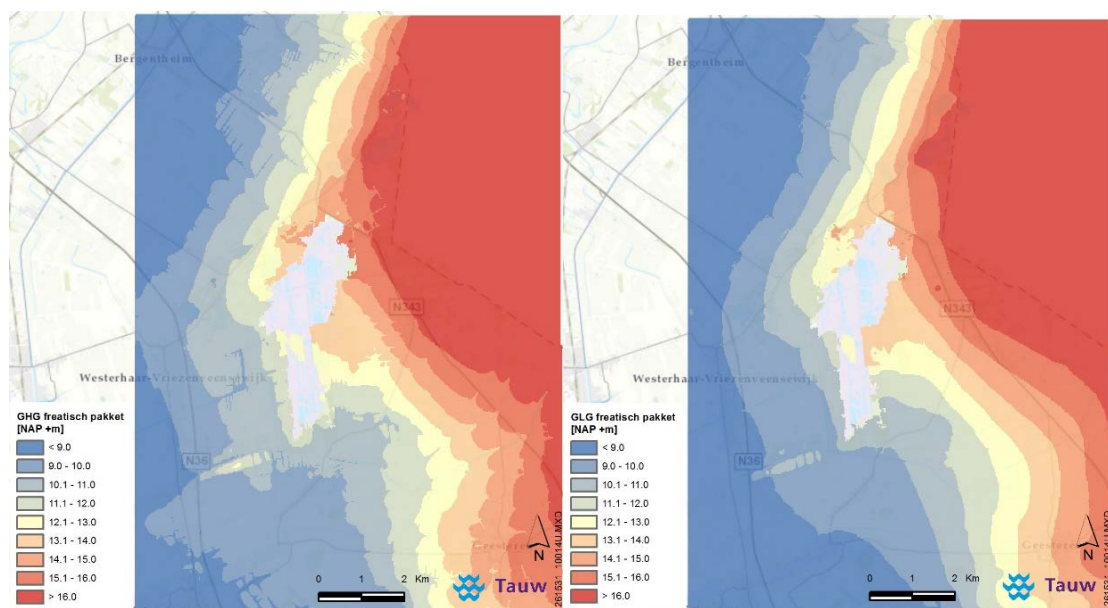
## 5.4 Conclusies kalibratie

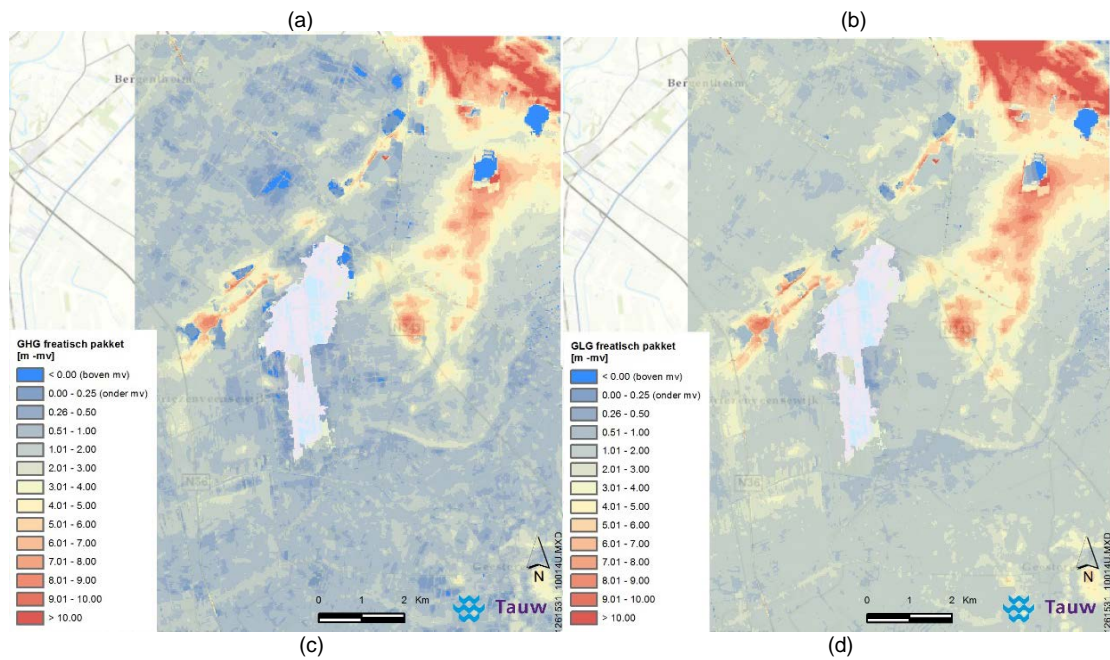
De resultaten van kalibratieruns 1 en 2 geven geen aanleiding tot het wijzigen van de conductance van drainage, Top10 watergangen en legger watergangen en wegzijging vanuit de Engbertsdijksvenen. Op basis van de kalibratieresultaten is het doorlaatvermogen van de watervoerende lagen minimaal aangepast (factor 0,99). Ondanks het feit dat ook de bodemweerstand van het Geesters Stroomkanaal niet met zekerheid is vast te stellen, doet het resultaat van de tweede kalibratierun vermoeden dat de bodemweerstand lager is dan de initiële waarde van 3 dagen. Een weerstand van 1 dag wordt aannemelijk geacht.

In het definitieve regionale grondwatermodel is op basis van de uitgevoerde kalibratie, het doorlaatvermogen van de watervoerende lagen vermenigvuldigd met een factor 0,99. De bodemweerstand van het Geesters Stroomkanaal is binnen de weergegeven begrenzing in figuur 5.5 verlaagd van 3 dagen naar 1 dag.

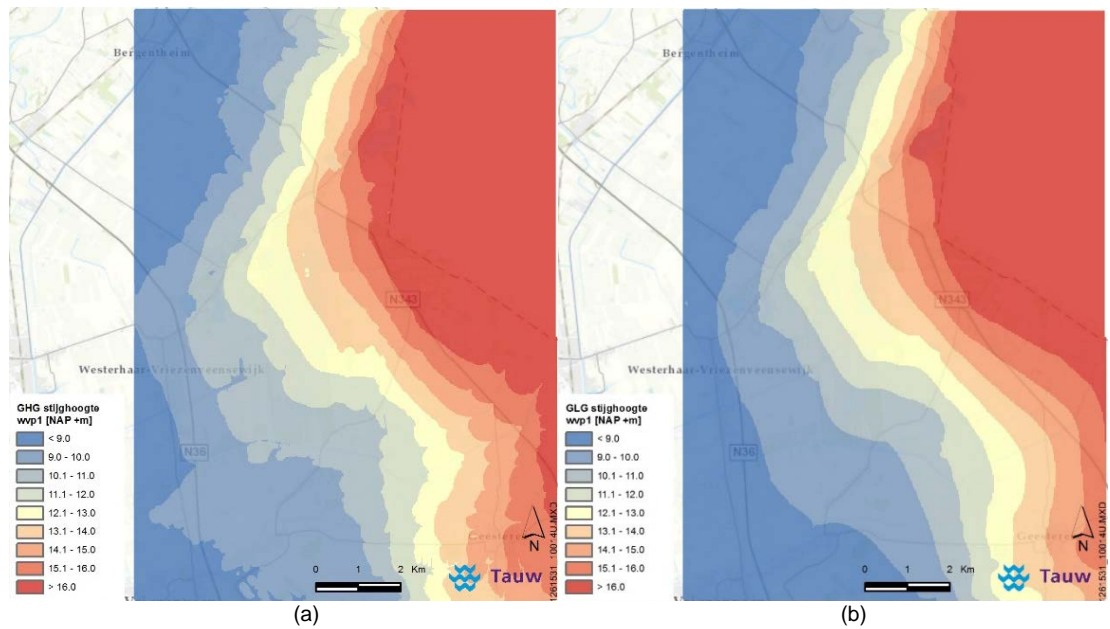
## 5.5 Berekeningsresultaten gekalibreerd model

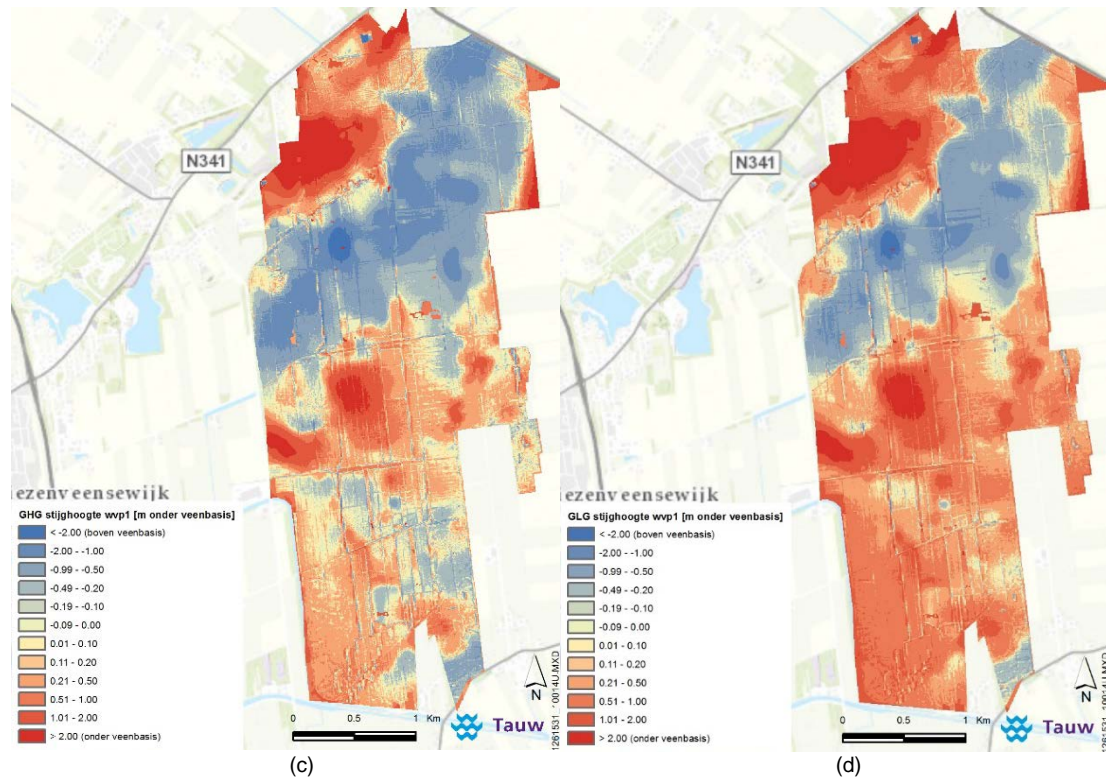
In figuur 5.8 zijn de berekende GHG en GLG in het freatisch pakket weergegeven, zowel in NAP +m als m –mv. In figuur 5.9 zijn de berekende GHG en GLG van het eerste watervoerend pakket weergegeven, zowel in NAP +m als meter onder de veenbasis. Bijlage 3 bevat de berekende en gemeten tijdstijghoogtelijnen. Uit bijlage 3 blijkt dat het grondwatermodel de dynamiek accuraat berekend binnen het effectgebied waar maatregelen gepland zijn. Het model is niet in staat om de dynamiek op plekken waar lokale variaties (zoals storende lagen) voorkomen accuraat te berekenen.





Figuur 5.8 – Berekende GHG en GLG in freatisch pakket in NAP +m (respectievelijk figuur (a) en (b)) en in m -mv (respectievelijk figuur (c) en (d))





Figuur 5.9 – Berekende GHG en GLG in eerste watervoerend pakket in NAP +m (respectievelijk figuur (a) en (b)) en in meter onder veenbasis (respectievelijk figuur (c) en (d))

## 5.6 Conclusies bruikbaarheid model

De in deze rapportage opgenomen uitkomsten zijn met de expertgroep besproken. Door de expertgroep wordt het definitieve grondwatermodel voor de Engbertsdijksvenen als geschikt geacht om de effecten van interne en externe maatregelen op de stijghoogte in de zandondergrond, de freatische grondwaterstanden in de omgeving en de kwel en wegzijging plausibel te berekenen.



## 6 Referenties

Amerongen, F. van, Dijkma, R. & Schouwenaars, J.M. (1990). *Hydrologisch onderzoek in het hoogveengebied de Engbertsdijksvennen; Verslag van de belangrijkste resultaten en verzamelde gegevens in de periode 1987-1989*. Rapport 10. LU Wageningen, vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica, Wageningen.

Capel, W., Steenvoorden, M., Blonk, A. & Beije, E. (2020). *Conceptueel model Engbertsdijksvennen*. Kenmerk: R001-1261531HWC-V02-nda-NL. Tauw bv, Deventer.

Jansen, A.J.M., Asmuth, J.R. von, Bakel, P.J.T. van, Brouwer, E., Ketelaar, R.J. & Terhürne, R.L. (2013). *De Engbertsdijksvennen: advies van de Commissie van Deskundigen*. Projectnummer: 13.51.1067.02. Opdrachtgevers: Provincie Overijssel & Ministerie van Economische Zaken. Kennisnetwerk OBN (Driebergen).

NLWKN, online viewer: <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/#>.

Wirdum, G. van (2008). *Eco-hydrologische evaluatie van maatregelen ten behoeve van het herstel van actief hoogveen op de onvergraven kern van de Engbertsdijksvennen*. Deltares-rapport 2008-U-R0673/A. Deltares, Bodem en Grondwatersystemen, Utrecht.



## Bijlage 1

## Rapportage conceptueel model Engbertdijksvenen



# Tauw

## Conceptueel model Engbertsdijksvenen

18 mei 2020





## Verantwoording

<b>Titel</b>	Conceptueel model Engbertsdijksvenen
<b>Opdrachtgever</b>	LTO-Noord
<b>Projectleider</b>	Cor Lont
<b>Auteur(s)</b>	Willem Capel, Marc Steenvoorden, André Blonk, Ed Beije
<b>Projectnummer</b>	1261531
<b>Aantal pagina's</b>	81
<b>Datum</b>	18 mei 2020
<b>Handtekening</b>	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

## Colofon

Tauw bv  
Handelskade 37  
Postbus 133  
7400 AC Deventer  
T +31 57 06 99 91 1  
E info.deventer@tauw.com

## Inhoud

1	Samenvatting en leeswijzer.....	6
1.1	Samenvatting en inleiding.....	6
1.1.1	Aanleiding en doel.....	6
1.1.2	Systeembeschrijving.....	7
1.1.3	Conceptueel lokaal model van het veensysteem.....	7
1.1.4	Conceptueel regionaal model.....	8
1.1.5	Berekening van enkele maatregelenpakketten.....	9
1.1.6	Conclusies bruikbaarheid ontwikkeld modelinstrumentarium.....	9
1.2	Leeswijzer.....	10
2	Systeembeschrijving en analyse (meet)gegevens.....	11
2.1	Ontstaansgeschiedenis.....	11
2.2	Systeemschematisatie.....	11
2.3	Regionale ondergrond.....	12
2.4	Veen-, gliede- en gyttjalagen.....	14
2.5	Grondwatersituatie.....	16
2.6	Oppervlaktewaterstelsel.....	22
2.7	Abiotische vereisten hoogveen.....	23
2.8	Beschikbare kalibratie- en validatie informatie.....	24
3	Conceptueel lokaal model.....	26
3.1	Modelschematisatie.....	26
3.2	Resultaten conceptueel model.....	29
3.2.1	Grondwaterstand.....	29
3.2.2	Tijdstijghoogtelijnen.....	30
3.2.3	Wegzijgingsfluxen.....	31
3.2.4	Waterbalans.....	32
3.3	Gevoeligheidsanalyses.....	34
3.3.1	Bandbreedte parameterwaarden.....	34
3.3.2	Weerstand veen.....	34
3.3.3	Verdampingsfactor.....	35
3.3.4	Bergingscoëfficiënt.....	35



3.3.5	Zuigspanning .....	36
3.4	Samenvatting bevindingen .....	36
4	Conceptueel regionaal model.....	38
4.1	Modelbeoordeling MIPWA 3.0.....	38
4.1.1	Lagenmodel .....	38
4.1.2	Watergangen en drainage .....	41
4.1.3	Startstijghoogten .....	43
4.2	Samenvatting bevindingen .....	43
5	Gekoppeld model .....	45
5.1	Methodiek koppeling .....	45
5.2	Verificatie.....	46
5.2.1	Freatische grondwaterstand .....	46
5.2.2	Stijghoogte eerste watervoerend pakket.....	47
5.2.3	Tijdstijghoogtelijnen .....	49
5.2.4	Oppervlaktewaterflux .....	51
5.3	Gevoeligheidsanalyse .....	51
5.4	Samenvatting bevindingen .....	53
6	Maatregelenpakket .....	54
6.1	Maatregel 1: verhoging Geesters Stroomkanaal.....	54
6.1.1	Beschrijving maatregel.....	54
6.1.2	Grondwaterstandsveranderingen.....	55
6.1.3	Maaiveldinundatie .....	57
6.2	Maatregel 2: verwijdering ontwateringsmiddelen en aanleg bufferzone .....	57
6.2.1	Beschrijving maatregel.....	57
6.2.2	Grondwaterstandsveranderingen.....	59
6.2.3	Maaiveldinundatie .....	60
7	Overige conceptuele bevindingen .....	62
7.1	PWT module.....	62
7.2	Simulatie compartimentering.....	63
7.2.1	LAK en SFR module .....	63
7.2.2	Serieel dagmodel .....	64
8	Conclusies en aanbevelingen .....	66



8.1	Conclusies.....	66
8.2	Samenvatting aanbevelingen.....	69
9	Referenties.....	70



## 1 Samenvatting en leeswijzer

### 1.1 Samenvatting en inleiding

In deze samenvatting wordt de essentie van het onderzoek weergegeven en de conclusies voor het vervolg. In deze samenvatting is ook de aanleiding en doel van het onderzoek beschreven en vormt daarmee tevens de inleiding van het onderzoek.

#### 1.1.1 Aanleiding en doel

Natura2000-gebied de Engbertsdijksvennen is één van de weinige plekken in Nederland waar nog actief hoogveen aanwezig is. Voor het behoud en herstel van dit hoogveengebied dienen vanuit het Programma Aanpak Stikstof (PAS) maatregelen te worden getroffen die de Engbertsdijksvennen vernatten (verbeteren van de hydrologische omstandigheden).

In een eerdere studie (Arcadis, 2012) is voor de Engbertsdijksvennen een grondwatermodel ontwikkeld om de effectiviteit van hydrologische gebiedsmaatregelen te berekenen. De Commissie van Deskundigen heeft echter geconstateerd dat dit model beperkingen bevat (Jansen et al, 2013), waardoor er twijfels zijn over de bruikbaarheid van het model. De opmerkingen van de Commissie van Deskundigen zijn opgenomen in bijlage 9.

Naar aanleiding van het advies van de Commissie van Deskundigen hebben een tweetal expertsessies plaatsgevonden, waarbij de voornaamste (geo)hydrologen van Nederland aanwezig waren. Hierbij is discussie gevoerd over de vraag of voldoende bekend is over complexe hoogveensystemen, zodat een dergelijk systeem betrouwbaar gesimuleerd kan worden met een numeriek grondwatermodel. De tweetal expertsessies hebben geleid tot de volgende twee onderzoeksopgaven:

- Uitvoeren van een ecohydrologische schouw (in augustus/oktober 2017). Doel hiervan was het verkrijgen van recente en aanvullende veldgegevens over de toestand van het veengebied. Dit betreft gegevens over de aanwezige kades en dammen, bodem, hydrologie en ecologie. Met deze gegevens kan bekeken worden of de bestaande informatie nog actueel is voor de huidige toestand van het veengebied. De resultaten van de ecohydrologische schouw zijn opgenomen in eindrapport MC/LA/170028/18.1029
- Onderzoeken of het mogelijk is een grondwatermodel te ontwikkelen dat de effecten van maatregelen accuraat en betrouwbaar in beeld kan brengen. Kernvraag hierbij is onderzoeken of het conceptueel mogelijk is om een grondwatermodel te ontwikkelen, waarmee de effecten op de gestelde habitatdoelen en de omgevingseffecten met voldoende betrouwbaarheid kunnen worden voorspeld

Door Tauw is in opdracht van LTO-Noord de tweede onderzoeksopgave uitgewerkt. Onderhavig rapport bevat de bevindingen van deze onderzoeksopgave.



## 1.1.2 Systeembeschrijving

Het onderzoek is begonnen met het uitvoeren van een hydrologische systeemanalyse. Deze systeemanalyse heeft zich gericht op de volgende aspecten: ontstaansgeschiedenis, hydrologisch functioneren van het systeem, samenstelling van de ondergrond en specifiek het voorkomen van veen-, gliede- en gyttjalagen, freatische grondwaterstanden en stijghoogten van grondwater in het watervoerend pakket, werking oppervlaktewaterstelsel en kwel- en wegzijging. De resultaten van de systeembeschrijving zijn opgenomen in hoofdstuk 2.

Bij deze systeemanalyse is gebruik gemaakt van op dat moment aanwezige informatie en bestaande meetgegevens. Het uitgebreid toetsen van de betrouwbaarheid van de gebruikte meetgegevens viel buiten de scope van dit onderzoek. Daar waar twijfels bestaan over de betrouwbaarheid en die wel essentieel zijn voor het vervolg, zijn aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek. Daarnaast is uiteraard wel kritisch gekeken naar het toepassen en gebruik van de gegevens in deze “conceptuele” fase, zodat er geen onjuiste conclusies worden getrokken.

## 1.1.3 Conceptueel lokaal model van het veensysteem

Na de systeemanalyse is een grondwatermodel gebouwd van het topsysteem van het hoogveengebied Engbertsdijksvennen. Dit top laagmodel bestaat uit het hydrologisch systeem tot aan de zandondergrond, waarbij de druk van het grondwater in de zandondergrond als onderrandvoorwaarde is opgelegd. Deze manier van schematisatie maakt dat dit conceptuele lokale veenmodel alleen bruikbaar is in de gebieden waarbij de freatische grondwaterstand permanent boven de veenbasis ligt en daarmee (semi)gescheiden is van het regionale grondwatersysteem. Het exacte gebied waar dit optreedt is niet bekend, maar op basis van de inzichten uit de systeemanalyse (vergelijking tussen ingeschatte GxG's uit boorgatmetingen en stijghoogten zandondergrond) komt dit neer op de gebieden waar de veendikte meer dan 1 m dik is.

Met dit zogenaamde “conceptuele” veenmodel zijn diverse gevoeligheidsanalyses, waarbij gevarieerd is met aantal parameterwaarden van de hydrologische cruciale factoren van het topsysteem, te weten:

- Weerstand van het veen, het gaat hierbij om de gezamenlijke weerstand van zowel het veen, gliede- en gyttkja lagen en kazige B-horizonten
- Gewasfactor verdamping
- Freatische bergingscoëfficiënt
- Extra zuigspanning vanuit de zandondergrond

Hierbij is telkens gekeken wat voor effect een variatie van de parameterwaarden heeft op de freatische grondwaterstand op een aantal specifieke punten in het gebied, de wegzijgingsfluxen en de waterbalans.

Uit de gevoeligheidsanalyses is gebleken dat alle parameters binnen een reëel ingeschatte bandbreedte effect hebben op de freatische grondwaterstand en dat er meerdere parametersets mogelijk zijn die tot hetzelfde resultaat leiden. Om deze reden is geconcludeerd dat het voorspellen van de freatische grondwaterstanden in het veen een utopie lijkt.





Voor de berekening van de wegzijgingsflux geldt dit niet. Geconstateerd is dat de weerstand (totale weerstand van het topsysteem) de belangrijkste en overheersende factor is voor de mate van wegzijging. De gewasfactor van verdamping en freatische bergingscoëfficiënt hebben slechts beperkte invloed. Geconcludeerd is daarom dat dit lokale veenmodel, bij een goede inschatting van de weerstand (of met een bandbreedte) bruikbaar is voor het bepalen van de wegzijgingsfluxen naar de zandondergrond. Extra zuigspanning heeft mogelijk een effect op de wegzijgingsflux in gebieden met dunnere veenlagen. Het is op grond van de beschikbare gegevens niet te zeggen hoe groot dit effect in de praktijk is. In overleg met de werkgroep is besloten vanwege deze onbekendheid geen rekening te houden met extra zuigspanning in het ontwikkelde modelconcept.

Alhoewel afwijking in de freatische grondwaterspiegel tussen berekening en werkelijkheid niet gelijk zorgt voor een groot verschil in de wegzijgingsflux (want de weerstand van het veen en anders storende lagen in het topsysteem is veel bepalender), is in de werkgroep wel met elkaar afgesproken om het oppervlaktewaterpeil in dit lokale veenmodel zo goed mogelijk in het lokale veenmodel te verwerken. In werkelijkheid is binnen het Engbertsdijksvenen sprake van compartimentering waarbij overtollig oppervlaktewater van het ene naar het andere compartiment kan worden afgevoerd. Om dit goed te simuleren is als test een zogenaamd "serieel" dagmodel bedacht. Het serieel dagmodel is een opeenvolging van modellen waarbij ieder model een periode simuleert van 1 dag. De compartimentering is met behulp van drainage en wells geschematiseerd. De berekeningsuitkomsten van de vorige dag dienen als invoer voor de dag daarop. De berekende afvoer (met drains) en oppervlakkige afstroming van het ene compartiment wordt de volgende dag weer toegevoegd in het andere compartiment middels wells. In paragraaf 7.2.2 is dit nader toegelicht. In de testfase is nog niet de volledige compartimentering doorgevoerd. De resultaten geven wel aan dat dit concept goed werkt en van meerwaarde is voor het vervolg, mits de compartimentering en afvoer van het ene naar het andere compartiment overeenkomt met de werkelijke situatie.

#### 1.1.4 Conceptueel regionaal model

Voor het conceptuele regionale model is als basis MIPWA 3.0 (versie januari 2018) gebruikt. Dit MIPWA model is in de omgeving van Engbertsdijksvenen geanalyseerd en beoordeeld op bruikbaarheid. Hierbij is gekeken naar de volgende belangrijkste aspecten, lagenmodel met bijbehorende parameterwaarden (kD en C), watergangen en drainage en startstijghoogten. Geconcludeerd is dat MIPWA 3.0 conceptueel gezien geschikt is voor het berekenen van de regionale stroming in het eerste watervoerend pakket. Voor een adequate simulatie zijn een aantal verbeteringen benodigd, waarvan de belangrijkste zijn:

- Inbrengen van extra weerstand in het eerste watervoerend pakket, indien uit nader onderzoek (analyse van boringen) blijkt dat deze extra weerstand aanwezig is
- Opnieuw inbrengen van drainage en oppervlaktewatersysteem op basis van praktijkgegevens en gegevens van waterschap Vechtstromen
- Nader onderzoek uitvoeren naar watersysteem van Duitsland. Dit betreft controleren van de grondwateraanvulling, randstijghoogten, kD-waarden van de watervoerende lagen en de anisotropie op de in Duitsland gelegen stuwwal



Het MIPWA 3.0 model is conceptueel gezien niet geschikt voor het berekenen van de freatische grondwaterstanden in veengebieden en de wegzijgingsfluxen vanuit deze veengebieden (waaronder Engbertsdijksvenen). Zowel veenweerstand (en weerstanden van gliede- en gyttjalagen en kazige B-horizonten) als het voorkomen van zogenaamde schijngrondwaterspiegels is niet goed in het MIPWA-model geschematiseerd. Om toch te zorgen voor een goede bovenrandvoorwaarde (lees flux vanuit het veengebied naar de zandondergrond) voor het regionale MIPWA 3.0 model is getest of er een koppeling te maken is tussen het lokale veenmodel en het regionale MIPWA 3.0 model. In paragraaf 5.1 is dit "concept" uitgewerkt en beschreven. Deze koppeling is gemaakt voor de gebieden waar de veendikte meer is dan 1 m. De berekende wegzijgingsflux uit het lokale veenmodel wordt opgelegd als bovenrandvoorwaarde van het watervoerend zandpakket in het regionale model, dat vervolgens de berekende stijghoogte van dit watervoerend pakket weer teruglevert aan het lokale model als onderrandvoorwaarde. Deze iteratie wordt net zo lang herhaald totdat de berekende waarden in evenwicht zijn. In de praktijk bleken deze na twee iteraties in evenwicht te zijn. Daarmee levert deze koppeling een goede methodiek voor het opleggen van de wegzijgingsflux uit het veengebied naar de zandondergrond.

#### 1.1.5 Berekening van enkele maatregelenpakketten

Met behulp van het gekoppelde model (lokaal veenmodel met regionaal MIPWA-model) zijn een tweetal externe maatregelenpakket doorgerekend. Dit is gebeurd tijdens het onderzoek, in de fase dat het serieel dagmodel nog niet in werking was. Daarnaast zijn deze maatregelen doorgerekend met een bandbreedte voor de weerstand van het topsysteem (veen en andere weerstandsbiedende lagen) van 1000 d/m en 5000 d/m.

Doel van deze berekening was om het conceptuele gekoppelde model te testen, een eerste indruk te krijgen van de effecten van enkele bouwstenen, maar vooral om gevoel te krijgen bij het effect van het verschil tussen een aanname voor kleine weerstand van het topsysteem en een grote weerstand van het topsysteem. Uit deze berekeningen is naar voren gekomen dat de variatie in weerstand van het topsysteem niet of nauwelijks effect heeft op de berekende veranderingen in de stijghoogte in de zandondergrond en de freatische grondwaterstanden in de omgeving. Echter deze variatie in weerstand van het topsysteem heeft wel een groot effect op het verschil in wegzijgingsfluxen uit het veensysteem in de Engbertsdijksvenen en op de absolute stijghoogten van het grondwaterpakket in de zandondergrond

#### 1.1.6 Conclusies bruikbaarheid ontwikkeld modelinstrumentarium

De kernvraag van dit onderzoek is of het conceptueel mogelijk is om een grondwatermodel te ontwikkelen, waarmee de effecten op de gestelde habitatdoelen en de omgevingseffecten met voldoende betrouwbaarheid kunnen worden voorspeld, rekening houden met de kanttekeningen en twijfels die door de Commissie van Deskundigen zijn geplaatst bij de bruikbaarheid van het grondwatermodel uit 2012.



Geconcludeerd kan worden dat het met het ontwikkelde conceptuele model niet mogelijk is om de freatische grondwaterstanden in het veengebied goed te berekenen (en daarmee ook niet de effecten van interne en externe maatregelen op de freatische grondwaterstanden in het veengebied). Hierover kunnen dus geen uitspraken worden gedaan met het grondwatermodel. Er zijn zoals de commissie ook al heeft geconcludeerd te veel parameterwaarden die in detail niet bekend zijn, waardoor met verschillende parametersets hetzelfde resultaat op kunnen leveren met als gevolg een verkeerde schematisatie ten opzichte van de werkelijkheid.

Wel is aangetoond dat de weerstand van het topsysteem (veen en andere weerstands biedende lagen) de bepalende factor is voor de mate van wegzijging naar de zandondergrond en dat andere factoren als variatie in oppervlaktewaterpeil, bergingscoëfficiënt en verdamping van ondergeschikt belang zijn. Uiteraard moet het (oppervlakte)waterpeil in het veensysteem wel op het goede niveau zitten. Middels toepassing van het ontwikkelde "serieel" dagmodel is de compartimentering en de aan- en afvoer van de ene naar het andere compartiment goed te simuleren. Daarmee is het wel mogelijk om het effect van externe maatregelen op de stijghoogten in de zandondergrond en de verandering van de wegzijgingsfluxen uit het veengebied in beeld te brengen. Daarbij geldt wel een belangrijke kanttekening dat de weerstand van het topsysteem (veen en andere weerstands biedende laagjes) bekend moet zijn. Aanbevolen wordt om in het vervolg nog goed te kijken of deze weerstand beter kan worden bepaald, eventueel in combinatie met verificatie/kalibratie op de stijghoogten in de zandondergrond onder het veen. Indien dit niet lukt, kan de onbekendheid van deze parameterwaarde worden ondervangen door toepassing van bandbreedte sommen, waarbij gevarieerd wordt met de weerstand.

## 1.2 Leeswijzer

Het onderzoek is begonnen met het uitvoeren van een hydrologische systeemanalyse. Hierin zijn de ontstaansgeschiedenis, hydrologische omstandigheden en bestaande meetgegevens ten behoeve van kalibratie en validatie, en abiotische vereisten voor een gezond hoogveen opgenomen. De resultaten hiervan zijn opgenomen in hoofdstuk 2. Vervolgens is een conceptueel model ontwikkeld, dat bestaat uit een lokaal veenmodel en een regionaal grondwatermodel. De bevindingen hiervan zijn opgenomen in hoofdstukken 3 en 4. Met behulp van het conceptuele model zijn twee hydrologische maatregelen doorgerekend, welke zijn beschreven in hoofdstuk 5. Op basis van de bevindingen zijn nadien nog enkele conceptuele zaken nader onderzocht, waarvan de resultaten in hoofdstuk 6 zijn. Hoofdstuk 7 bevat ten slotte de conclusies en de aanbevelingen.



## 2 Systeembeschrijving en analyse (meet)gegevens

Dit hoofdstuk bevat een overzicht van de ontstaansgeschiedenis en beschikbare (meet)gegevens die op het moment van schrijven (eerste kwartaal van 2018) voorradig waren.

### 2.1 Ontstaansgeschiedenis

De Engbertsdijksvennen is een restant van een groter hoogveencomplex. Dit hoogveencomplex bevond zich vroeger tussen het Overijssels kanaal en het stuwwalcomplex langs de Duitse grens. Het hoogveen is ontstaan op lagere plekken in het landschap. In deze lagere plekken stagneerde regenwater en trad tegelijkertijd grondwater uit. Bij lagere plekken van voldoende grootte ontstonden vennen of meren. Decompositie van in de vennen en meren aanwezige flora en fauna zorgden voor de vorming van respectievelijk slecht doorlatende gliede- en gyttja-lagen op de bodem van deze oppervlaktewateren. Door de ontwikkeling van slecht doorlatende lagen neemt de wegzijging richting de ondergrond af. Dit resulteerde in de vorming van laagveen (o.a. rietveen en zeggeveen). Deze opeenstapeling van slecht doorlatende lagen zorgde voor verdergaande isolatie van het veenlichaam met de ondergrond. Samen met de aanwezigheid van veenmossen, die water relatief goed vasthouden (bij droge omstandigheden staan ze nauwelijks water aan de omgeving, terwijl ze bij natte omstandigheden relatief snel overtollig water afvoeren) bevorderde dit de verdere vorming van hoogveen. Hoogveen ligt hoger dan de rest van de omgeving en de regionale grondwaterstand en is voornamelijk afhankelijk van regenwater.

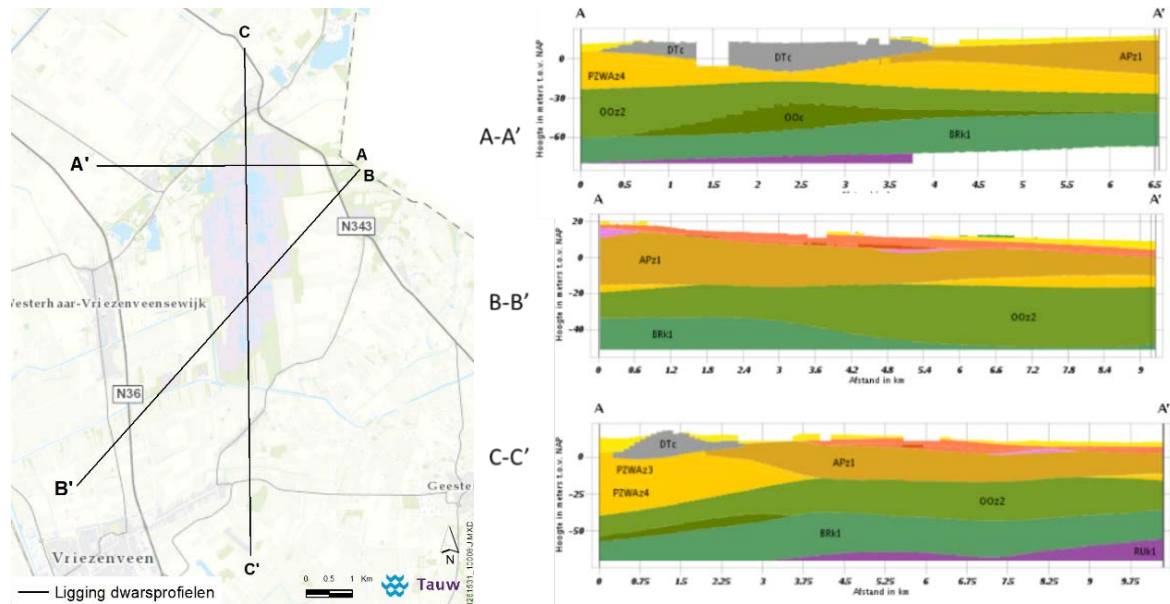
Het veen van de Engbertsdijksvennen is grotendeels vergraven. De meest grootschalige turfwinning heeft plaatsgevonden tussen 1850 en 1950. Doordat de randen van het veengebied zijn afgegraven, steekt het gebied relatief ver boven het omliggende landschap uit. Een kern van beperkte grootte (circa 15 ha) is niet vergraven en heeft in zijn huidige toestand een veendikte van circa 4 tot 6 meter. Over een oppervlakte van circa 480 ha is alleen het witveen (weinig vergaand veenmosveen) afgegraven. Het zwartveen (sterk vergaand veenmosveen) is hierbij als restant achtergebleven. De overige oppervlakte is afgegraven tot net boven de minerale ondergrond, waarbij een resterende veenlaag is overgebleven met een dikte van 0,0 tot 0,5 m. Deze veenlaag bestaat soms uit teruggestorte bonkaarde. De onderkant van het veen bestaat lokaal uit een gyttja (meerbodem) en/of dunne laag rietveen en zeggeveen (Oling & Neefjes, 2017). Op de overgang van de veenlaag naar het onderliggende zandpakket is lokaal een gliedelaag aanwezig. In paragraaf 2.4 zijn deze lagen uitgebreider besproken.

Vanaf de jaren '50 zijn diverse maatregelen uitgevoerd om verdroging van de veenkern tegen te gaan en vernatting in de randzones te bevorderen. Met behulp van dammen is het gebied in compartimenten verdeeld, om zo oppervlaktewater beter vast te kunnen houden.

### 2.2 Systeemschematisatie

In figuur 2.1 is een schematiseerde weergave opgenomen van de werking van het hydrologische systeem. In het gebied valt neerslag dat (gedeeltelijk) verdampt, afhankelijk van vegetatietype. Overtollige neerslag wordt deels via het oppervlaktewaterstelsel afgevoerd naar de omgeving, door middel van de zogenaamde compartimenten.

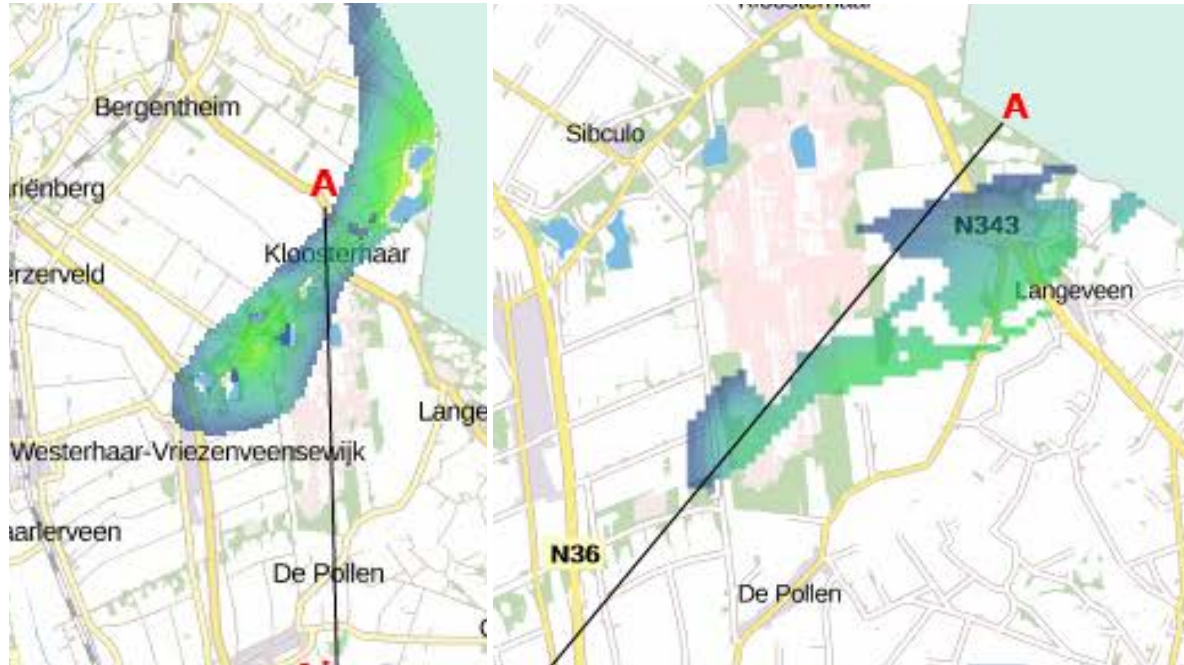




Figuur 2.2 – Dwarsdoorsneden REGIS 2.2 (rechts) inclusief ligging van de dwarsdoorsneden (links)

Aan de noordzijde van de Engbertsdijksvenen bevat het watervoerend pakket een gestuwd complex (zie dwarsdoorsnede A-A' in figuur 2.2). Dit complex loopt door tot in de Engbertsdijksvenen. Zie hiervoor figuur 2.3. In boringen is in het watervoerend pakket is keileem aangetroffen. De verbreiding van deze keileem is relatief lokaal van aard. In figuur 2.3 is tevens de verbreiding van deze keileem weergegeven op basis van REGIS II v2.2. De boringen van de ecohydrologische schouw bevestigen dit beeld. Op basis van de beschikbare boringen uit het DINOloket is aangenomen dat de keileem binnen de Engbertsdijksvenen geen duidelijk aaneengesloten scheidende laag vormt, en daarmee naar verwachting alleen lokaal invloed heeft op de grondwaterstroming en grondwaterstanden.



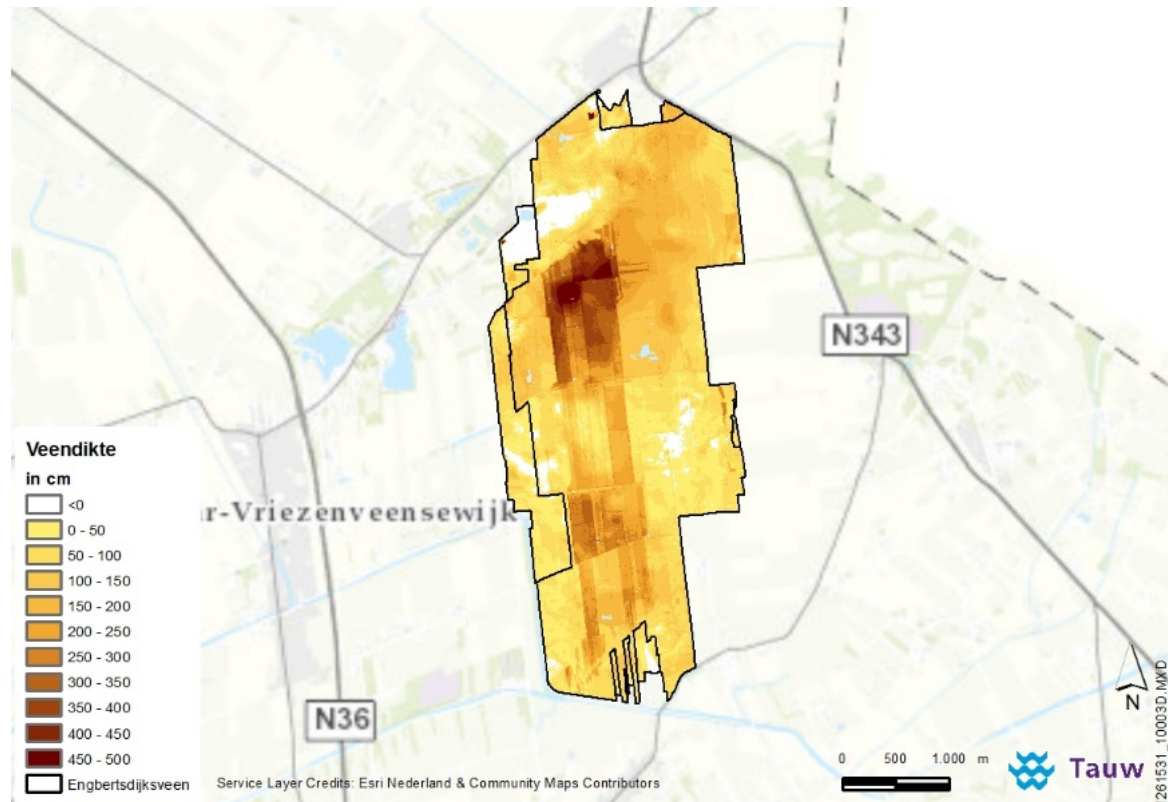


Figuur 2.3 – Verbreiding gestuwd complex (links) en keileem in watervoerend pakket (rechts)

## 2.4 Veen-, gliede- en gyttjalagen

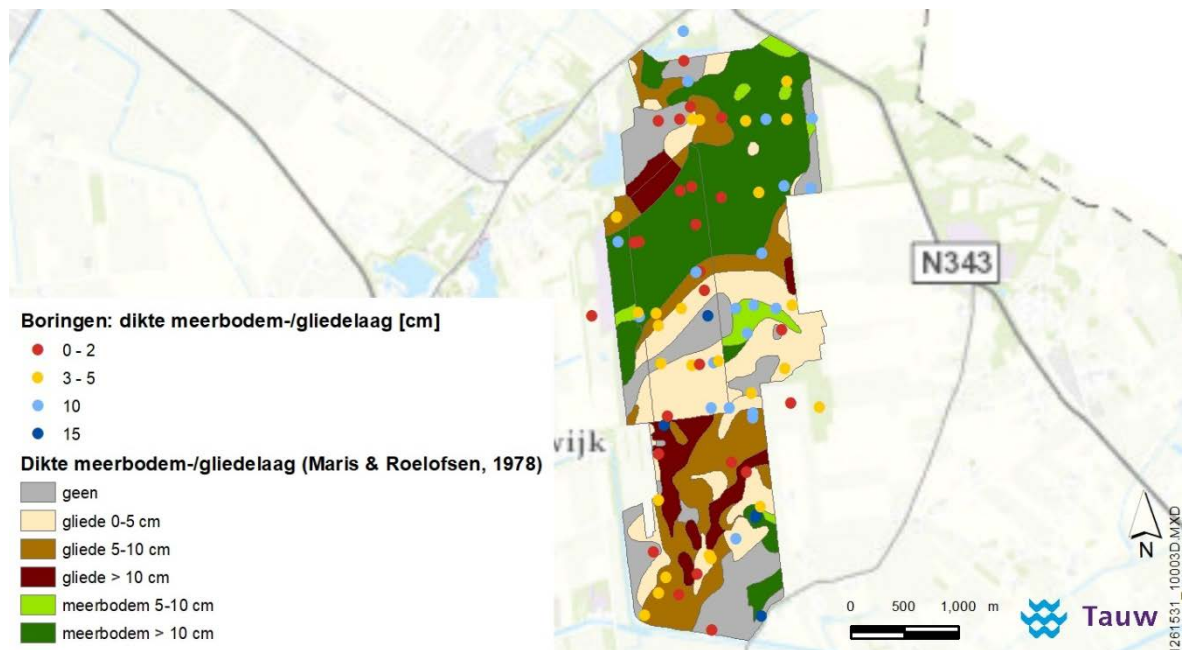
In de Engbertsdijkvenen zijn meerdere slecht doorlatende lagen aanwezig. Deze lagen hebben een significante invloed op de verticale wegzijging vanuit het hoogveen richting de zandondergrond. De aanwezige slecht doorlatende lagen betreffen veenlagen, gyttjalagen en gliedelagen. De veenlaag betreffen stukken hoogveen die in het verleden niet zijn afgegraven. Gliede betreft een inspoelingslaag van gehumificeerde organische stof dat zich aan de onderkant van het veenpakket verzameld heeft. Gyttja betreft organisch sediment dat is afgezet op de bodem van een meer. Een dergelijke gyttjalaag kan overdekt worden door veen. Voor gyttja wordt ook veelal de term meerbodem toegepast.

Door Staatsbosbeheer is een kaart aangeleverd met de dikte van de resterende veenlaag. Deze kaart is enkele jaren geleden door Staatsbosbeheer gemaakt op basis van beschikbare gegevens. In figuur 2.4 is het kaartbeeld weergegeven. Uit figuur 2.4 blijkt dat de dikte van de veenlaag varieert tussen de 0,0 en 5,0 m. Tijdens de uitgevoerde ecohydrologische schouw heeft een verificatie van de veendiktekaart plaatsgevonden en deze is plausibel gebleken.



Figuur 2.4 – Dikte van het resterende veen in de Engbertsdijksvenen (aangeleverd door Staatsbosbeheer)

In het bodemkundig onderzoek van Maris en Roelofsen (1978) is een bodemkaart gemaakt van de aanwezige meerbodem- en gliedelaag. Deze kaart is in figuur 2.5 weergegeven. Tijdens de uitgevoerde ecohydrologische schouw zijn ter verificatie boringen uitgevoerd naar de aanwezigheid van meerbodem- en gliedelagen. De dikte van de in deze boringen aangetroffen meerbodem- en gliedelagen zijn tevens weergegeven in figuur 2.5. Dit betreft informatie die is aangeleverd aan Tauw op 24-10-2017. Uit figuur 2.5 blijkt dat de kaart van Maris en Roelofsen (1978) en de uitgevoerde boringen niet met elkaar overeenkomen. Om deze reden zijn in 2018 extra boringen geplaatst om een beter beeld te krijgen van de het werkelijke voorkomen van deze weerstandsbiëdende lagen. Ten tijde van dit onderzoek voor het conceptuele model, waren de resultaten hiervan nog niet beschikbaar en zijn daarom in deze studie niet nader beschouwd.

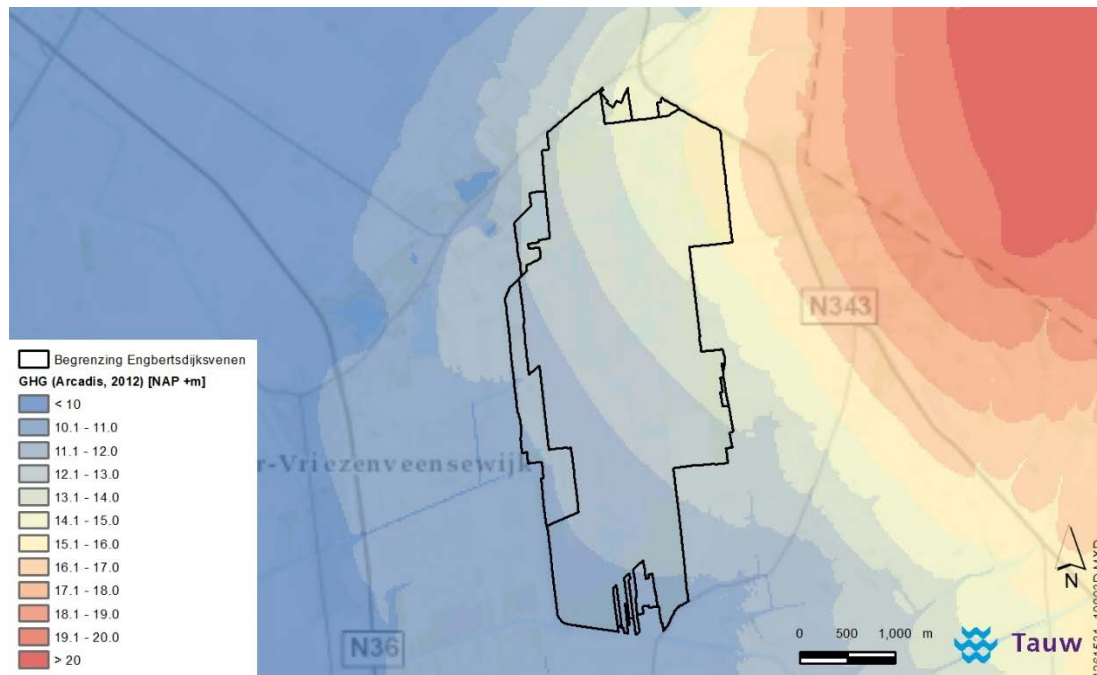


Figuur 2.5 – Aanwezigheid meerbodem-/gliedelaag volgens Maris & Roelofsen (1978) en vastgestelde dikte meerbodem-/gliedelaag tijdens ecohydrologische schouw in boorpunten (ontvangen op 24-10-2017)

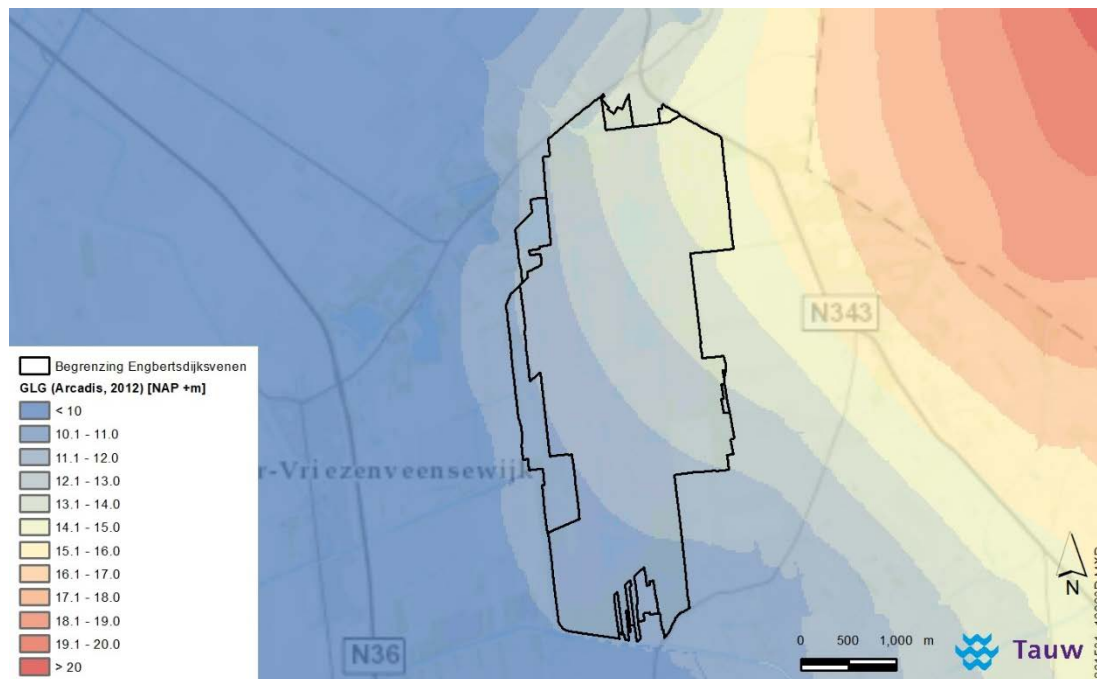
## 2.5 Grondwatersituatie

### Stijghoogte zandondergrond

Het grondwater in de zandondergrond stroomt in zuidwestelijke richting. Dit ontstaat doordat neerslag op het hoger gelegen stuwwalcomplex langs de Duitse grens infiltreert, en vervolgens richting het lager gelegen zuidwesten stroomt. In figuur 2.6 en 2.7 is de GHG en GLG van de zandondergrond ruimtelijk weergegeven, zoals dat in 2012 is berekend met het grondwatermodel van Arcadis. De figuren dienen slechts ter illustratie van het stijghoogteverloop in de zandondergrond. Zoals in de inleiding al besproken is, heeft de Commissie van Deskundigen kanttekeningen en twijfels geplaatst bij de bruikbaarheid van het in het verleden ontwikkelde grondwatermodel. Het model berekende overwegend een te lage stijghoogte. Desalniettemin geven figuur 2.6 en 2.7 een verhelderend beeld van het regionale stromingspatroon. Daarom zijn deze figuren aan de systeembeschrijving toegevoegd. In hoofdstuk 4 zijn de stijghoogten in de zandondergrond weergegeven die met het door Tauw ontwikkelde conceptuele grondwatermodel zijn berekend.



Figuur 2.6 – Berekende GHG in zandondergrond (Arcadis, 2012)



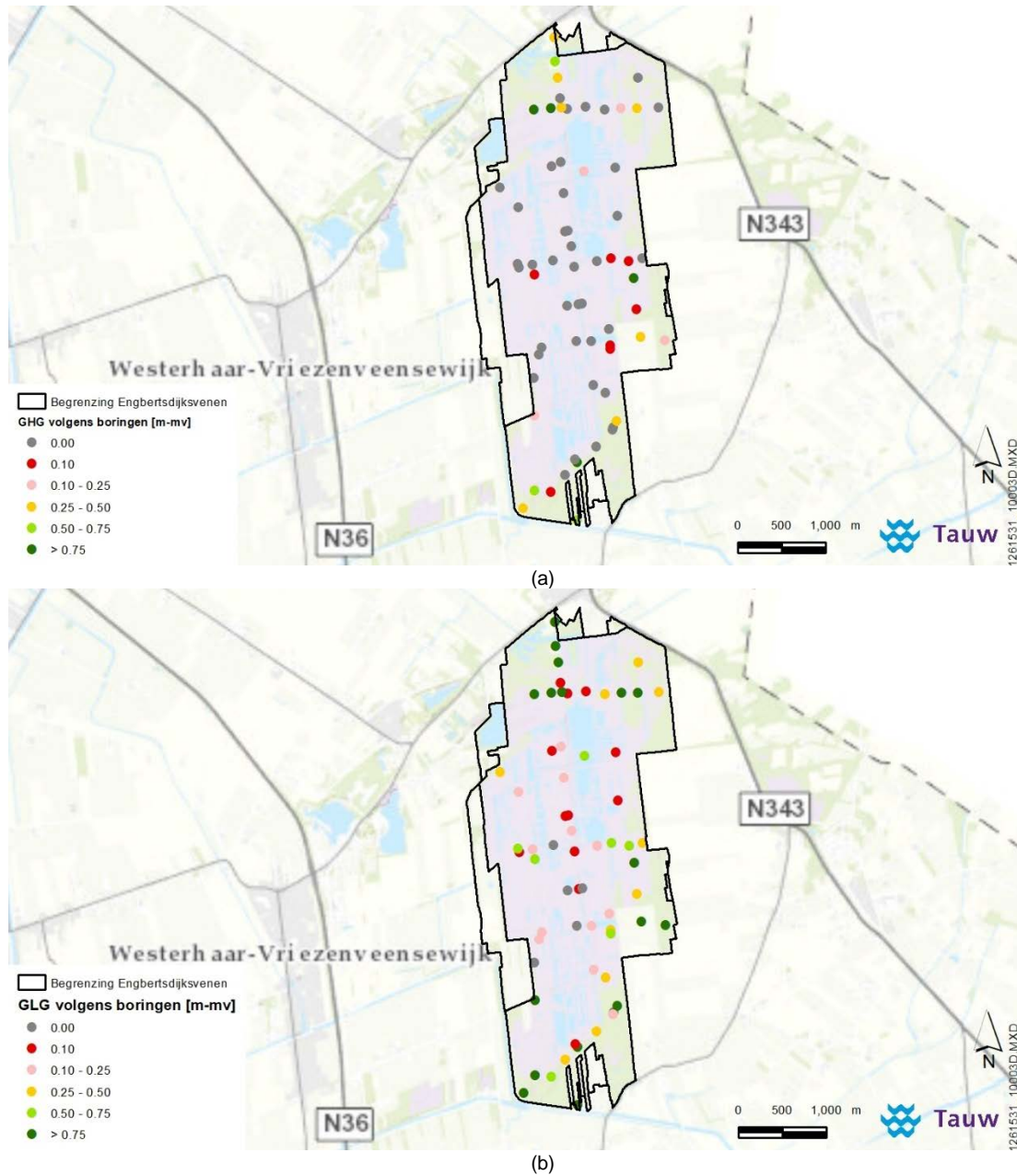
Figuur 2.7 – Berekende GLG in zandondergrond (Arcadis, 2012)

### Freatische grondwaterstanden

Tijdens de ecohydrologische schouw zijn op basis van bodemkenmerken en boorgatmetingen freatische grondwaterkarakteristieken afgeleid. Het maaiveldniveau is hierbij met behulp van het AHN afgeleid. Doordat het AHN onnauwkeurig is in dergelijke gebieden (met onder andere begroeiing van



pijpestootje), dienen deze freatische grondwaterkarakteristieken slechts als indicatief te worden beschouwd. In figuur 2.8 is hiervan het resultaat weergegeven. Uit figuur 2.8 blijkt dat de freatische GHG in een significant deel van het gebied tot aan maaiveld reikt. De GLG situatie kent een relatief grote mate van ruimtelijke variabiliteit. Figuur 2.8 laat echter wel een algemeen beeld zien dat de grondwaterkarakteristieken in de veenkern hoger zijn dan die aan de randen van het veengebied.

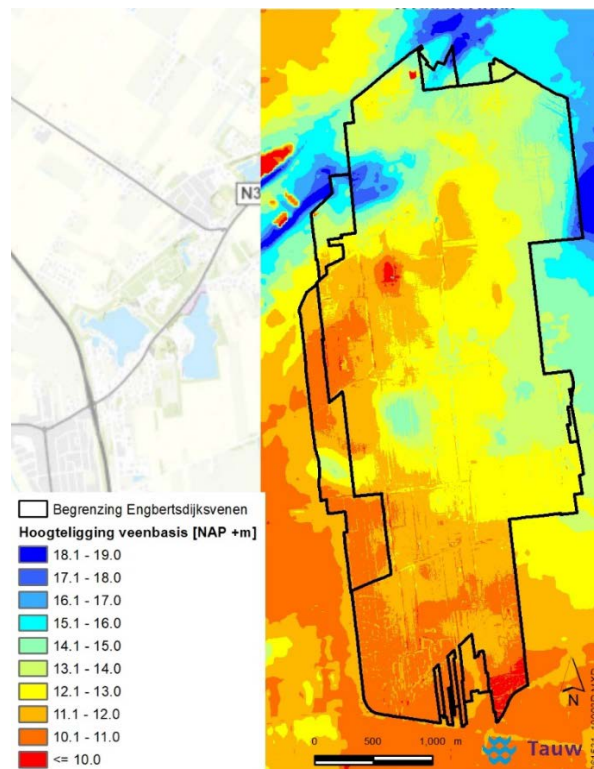


Figuur 2.8 – Uit boorprofielen afgeleide GHG (a) en GLG (b) in m –mv



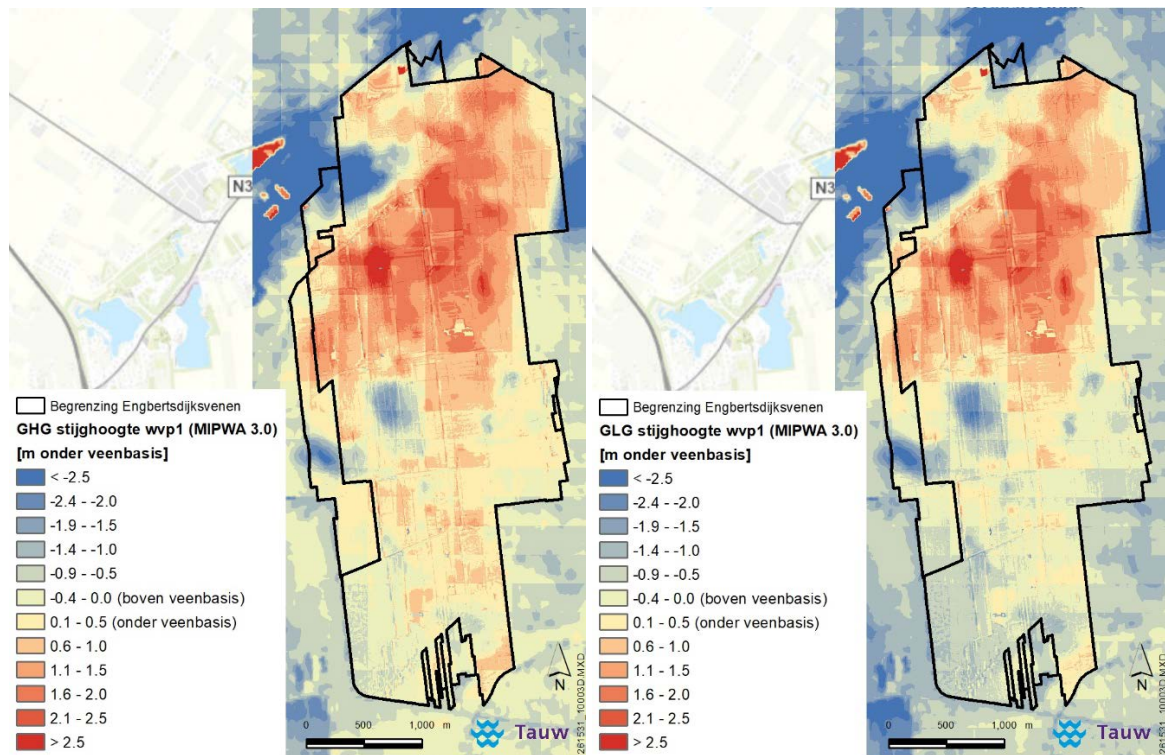
## Kwel en wegzijging

De verticale flux tussen de veenlaag en zandondergrond is onder andere afhankelijk van het potentiaalverschil tussen de freatische grondwaterstand in het veen en de stijghoogte in de zandondergrond. Wanneer de stijghoogte in de zandondergrond daalt, neemt de wegzijgingsflux toe. Op een gegeven moment bevindt de stijghoogte zich ter hoogte van de veenbasis. Bij een verdere daling raakt het bovenste deel van de zandondergrond onverzadigd. De wegzijgingsflux neemt bij een dergelijke situatie nog steeds toe, door capillaire werking. Aan deze capillaire werking zit echter wel een maximum. Wanneer de stijghoogte tot een bepaald niveau onder de veenbasis is gedaald, is de wegzijgingsflux maximaal. Bij een verdere daling van de stijghoogte zal de wegzijgingsflux dan niet verder toenemen. In dat geval wordt de wegzijging bepaald door het verschil tussen freatische grondwaterstand en hoogteligging van de veenbasis. In figuur 2.9 is de hoogteligging van de veenbasis weergegeven. Deze is door Tauw berekend op basis van de maaiveldhoogte en de van Staatsbosbeheer afkomstige veendiktekaart uit figuur 2.4. Met het standaard MIPWA 3.0 grondwatermodel is door Tauw de GHG en GLG van de stijghoogte in de zandondergrond berekend. De uitkomsten hiervan in relatie tot de hoogteligging van de veenbasis zijn weergegeven in figuur 2.10. Uit figuur 2.10 blijkt dat er gebieden aanwezig zijn waar de stijghoogte zich gedurende het gehele jaar op of boven de veenbasis bevindt. Daarnaast zijn er gebieden aanwezig waar de stijghoogte alleen gedurende de winterperiode op of boven de veenbasis is gelegen en gebieden waar gedurende het gehele jaar de stijghoogte zich onder de veenbasis bevindt.



Figuur 2.9 – Berekende hoogteligging veebasis



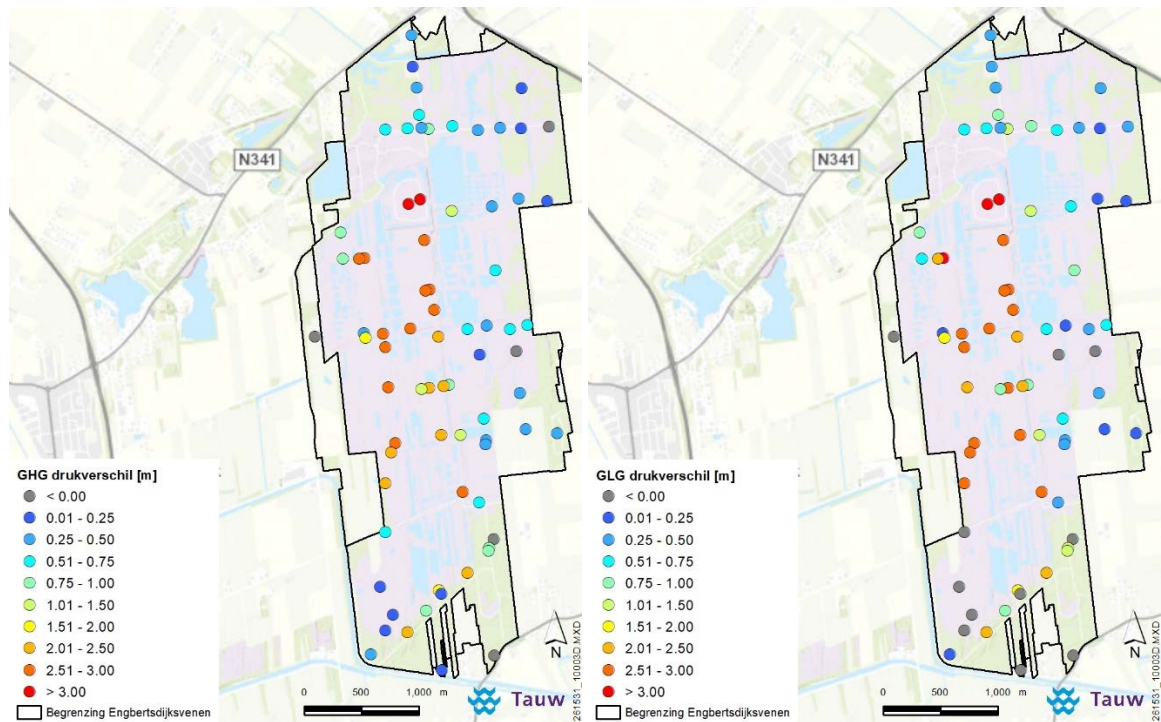


Figuur 2.10 –Verskil GHG (links) en GLG (rechts) stijghoogte vwp1 met hoogteligging veenbasis (berekend met MIPWA 3.0)

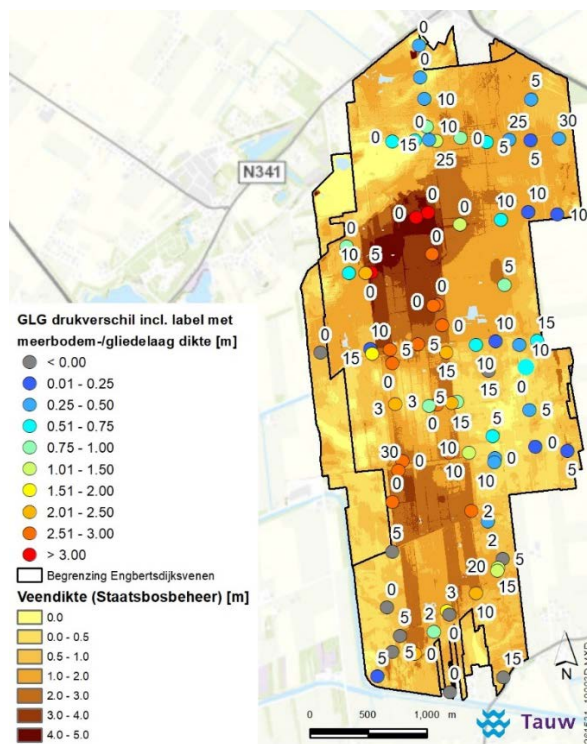
### Drukverschil freatische grondwaterstand met ondergrond

In figuur 2.11 is het GHG en GLG drukverschil weergegeven. Het drukverschil is van invloed op de hoeveelheid wegzijging die plaatsvindt vanuit het freatische grondwater naar de zandondergrond. Op locaties waar de stijghoogte van de zandondergrond op of boven de veenbasis is gelegen, betreft dit het verschil tussen de freatische grondwaterstand (vastgesteld uit de boorgaten) en stijghoogte in de zandondergrond (berekend met het standaard MIPWA 3.0 model). Op locaties waar de stijghoogte onder de veenbasis is gelegen, betreft dit het verschil tussen de freatische grondwaterstand en de hoogteligging van de veenbasis. Uit figuur 2.11 blijkt dat in het midden van de Engbertsdijkswenen het drukverschil het grootst is. Aan de randen van het veengebied is het drukverschil veelal lager.

In figuur 2.12 is het GLG drukverschil weergegeven in combinatie met de veendikte en de dikte van de meerbodem-/gledelaag. Uit de figuur lijkt een mogelijke relatie aanwezig te zijn tussen de hoeveelheid drukverschil en de dikte en daarmee weerstand van de veen-/meerbodem-/gledelaag.



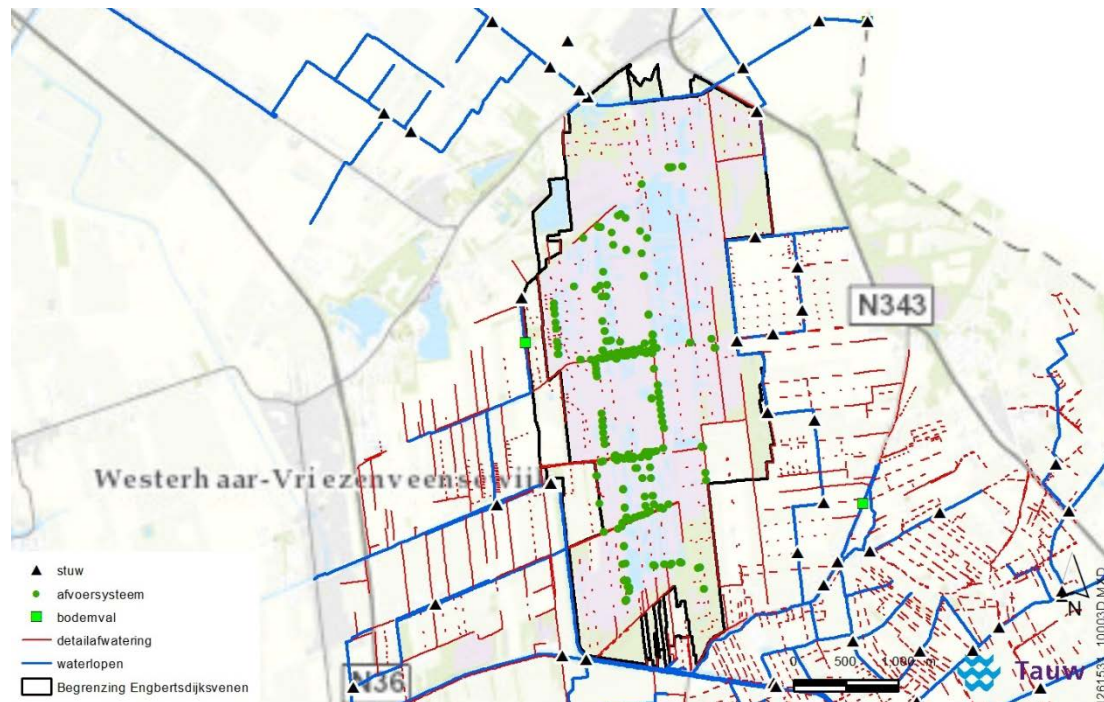
Figuur 2.11 – GHG (links) en GLG (rechts) drukverschil in de Engbertsdijkvenen



Figuur 2.12 – Veendikte volgens Staatsbosbeheer incl. drukverschil tussen freatische grondwaterstand en stijghoogte in zandondergrond

## 2.6 Oppervlaktewaterstelsel

In figuur 2.13 is het oppervlaktewaterstelsel weergegeven. Uit figuur 2.13 blijkt dat rondom de Engbertsdijksvenen, vooral aan de west-, zuid- en oostzijde, een intensief afwateringstelsel aanwezig is. Het afwateringsstelsel bestaat uit diverse legger-watergangen en detailontwatering. Binnen de Engbertsdijksvenen zelf is een complex systeem van compartimenten aanwezig die via duikers met elkaar in verbinding staan. Via de duikers stroomt er oppervlaktewater vanuit het ene compartiment naar een ander compartiment. Van het merendeel van deze duikers is in 2017 de hoogteligging door Staatsbosbeheer opgemeten. In figuur 2.14 zijn de compartimenten, de stromingsrichting tussen de compartimenten en de opgemeten hoogteliggingen van de duikers weergegeven. Het grootste deel van de afvoer vindt plaats in het noordelijk deel van het veengebied, richting de westelijke omgeving. Aan de westkant en zuidkant van de Engbertsdijksvenen wordt water naar de omgeving toe afgevoerd (gelijk aan de regionale stromingsrichting).



Figuur 2.13 – Overzicht oppervlaktewaterstelsel rondom de Engbertsdijksvenen





Figuur 2.14 – Gemeten hoogteligging van duikers (2017) en compartimenten incl. stromingsrichting

## 2.7 Abiotische vereisten hoogveen

Voor hoogveengebieden geldt de essentiële voorwaarde dat er slechts een geringe fluctuatie (maximaal circa 25 cm) van oppervlaktewaterpeil en grondwaterstand in het veentopsysteem mag plaatsvinden. Het creëren van stabiele, relatief hoge waterstanden zijn noodzakelijk voor het behoud en de ontwikkeling van veenmossen en veenvorming. Een beperkte wegzijging (maximaal circa 40 mm/j) is tevens een belangrijke abiotische vereiste voor hoogveen. Daarnaast dient de GLG stijghoogte in de zandondergrond tot minimaal aan de onderkant van de veenbasis te zijn gelegen. De Commissie van Deskundigen (Jansen et al., 2013) stelt dat het noodzakelijk is om grondwater in de veenbasis te krijgen in vrijwel het gehele gebied als overal kwaliteitsverbetering dient op te treden. In kader 1 is in een citaat van de landelijke herstelstrategie voor herstellende hoogvenen (Jansen et al., 2014) beschreven welke kwantitatieve en kwalitatieve eisen er aan het grondwater gesteld worden voor het herstel van hoogvenen.

Uit kader 1 blijkt dat hoogvenen complexe systemen zijn, met een relatief grote variatie in bodemopbouw en stromingsrichtingen van oppervlaktewater en grondwater. Deze complexiteit bemoeilijkt de ontwikkeling van een adequaat grondwatermodel.



Kader 1 - Ecologische randvoorwaarden herstellende hoogvenen (Jansen et al., 2014)

*“Voor het op gang komen van hoogveenvorming in herstellende hoogvenen is het uiteraard essentieel dat veenmossen kunnen groeien. Daarvoor zijn gedurende het hele jaar natte omstandigheden nodig. De waterstand moet zich in of dicht onder het veenmosdek bevinden en zeer stabiel zijn, omdat de mossen 's zomers niet (te diep) uitdrogen. Aan de voorwaarden wordt voldaan indien (1) het veenpakket waarop de mossen groeien, kan krimpen en zwellen met fluctuatie van de waterstand, of (2) de grondwaterstand zich jaarrond nabij het maaiveld bevindt (plas-dras) indien de mossen groeien op een vaste bodem.*

*Het water moet ook een hoge kooldioxideconcentratie hebben. Enkel diffusie van CO<sub>2</sub> vanuit de atmosfeer naar het water levert onvoldoende koolstof voor veenmosgroei. Het is daarom noodzakelijk dat CO<sub>2</sub>-rijk water toestroomt vanuit de omgeving of dat koolstofdioxide vanuit het onderliggende restveen de levende veenmossen bereikt. Het aanwezige restveen is echter door verdroging in het verleden vaak sterk verzuurd, waardoor er nog maar weinig CO<sub>2</sub> in het veen wordt gevormd. De productie van CO<sub>2</sub> in het onderliggende zure restveen wordt gestimuleerd wanneer gebufferd grondwater tot in de veenbasis reikt. Naast CO<sub>2</sub> kan ook methaan (CH<sub>4</sub>) door veenmossen als additionele koolstofbron worden gebruikt. Methaan wordt samen met CO<sub>2</sub> geproduceerd bij de afbraak van veen onder anaerobe omstandigheden.”*

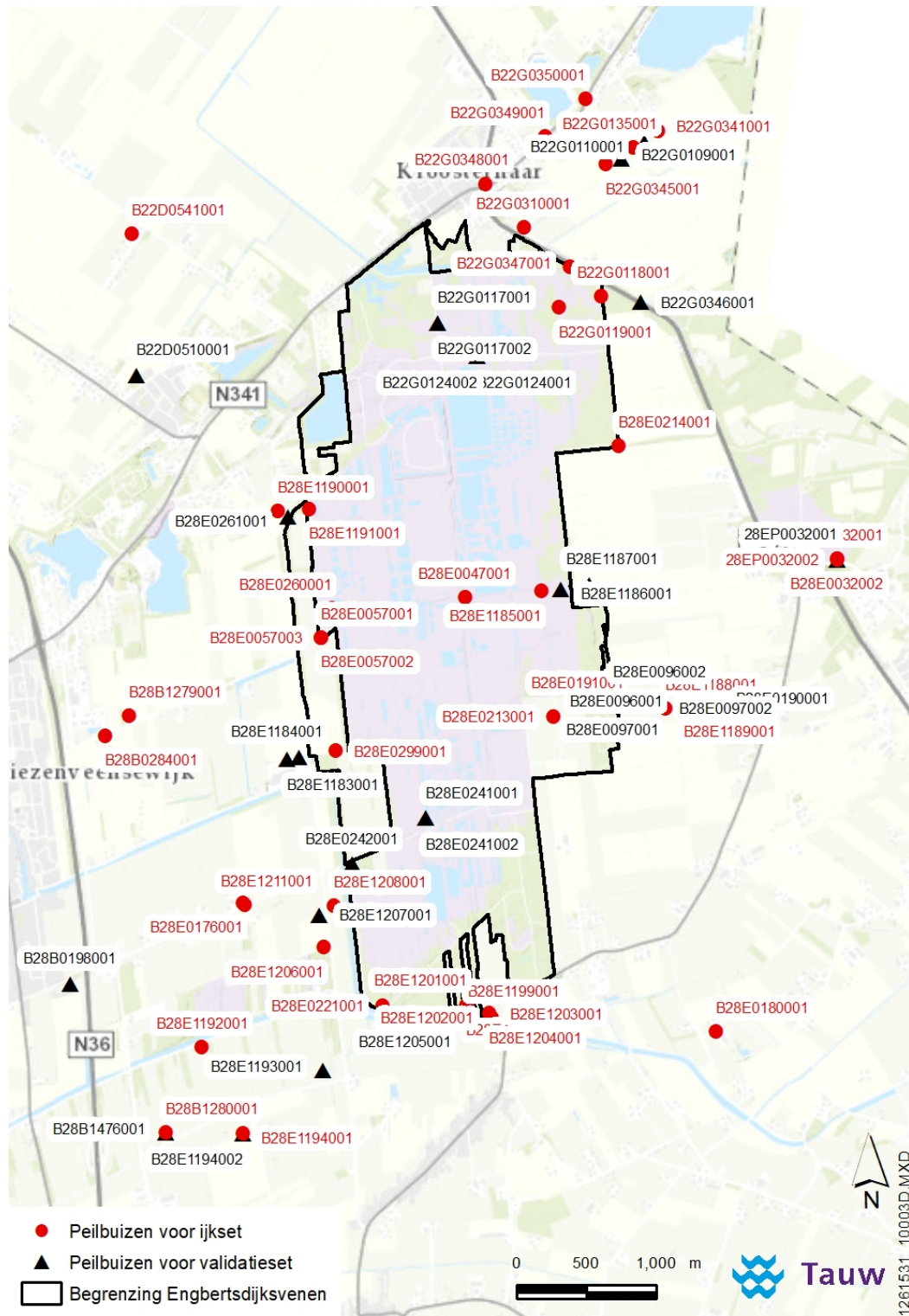
## 2.8 Beschikbare kalibratie- en validatie informatie

Voor het opstellen van een geschikt grondwatermodel zijn grondwaterstands- en stijghoogtemetingen benodigd.. Voor de validatie van de freatische grondwaterstanden is noodgedwongen gebruik gemaakt van de freatische grondwaterstanden bepaald tijdens de ecohydrologische schouw Daarnaast is door Tauw in de landbouwgebieden gegevens van Aequator omtrent de GxG's afgeleid uit de boorprofielen. Informatie uit de peilbuizen is slechts beperkt beschikbaar voor het freatische grondwater. Het overgrote deel van de peilbuizen staat met het filter in de zandlaag (stijghoogte watervoerend pakket). De peilbuislocaties zijn weergegeven in figuur 2.15. Hierbij is onderscheid gemaakt in gegevens als ijkset en validatieset. De gegevens en indeling van deze peilbuisinformatie is aangeleverd door de opdrachtgever, waarbij er een selectie voor de ijkset is gemaakt op de volgende criteria:

- Verklaarbaar met Menyanthes
- Op een afstand van meer dan 10 m van sloten en greppels gelegen
- Een bekende en plausibele filterstelling hebben

Filters die hier niet volledig aan voldoen zijn ter validatie gebruikt. Wat betreft de wegzijging vanuit het veengebied naar de zandondergrond, is hierover in de studie van Amerongen (1990) indicatieve informatie beschikbaar. Dit is gebruikt ter validatie van het model.

Er zijn ook nog peilschaalmetingen beschikbaar in het DINOloket. Deze geven een beeld van de oppervlaktewaterpeilen, maar geven geen beeld van de freatische grondwaterstanden.



Figuur 2.15 – Peilbuislocaties ijkset en validatieset

## 3 Conceptueel lokaal model

Allereerst is een conceptueel toplaagmodel gebouwd van het hoogveengebied Engbertsdijksvenen. Met het conceptuele veenmodel zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op een aantal parameterwaarden van de hydrologisch cruciale factoren die benoemd zijn in het vorige hoofdstuk. In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten van zowel het conceptueel lokaal model beschreven als de uitgangspunten van de gevoeligheidsanalyses.

Het doel van het conceptuele lokale model is om de gevoeligheid te onderzoeken van parameters op de berekende freatische grondwaterstanden en de kwel en wegzijgingsfluxen, waarvan de exacte parameterwaarden onbekend zijn.

### 3.1 Modelschematisatie

Engbertsdijksvenen is in het veenmodel geschematiseerd met 6 modellen. In tabel 3.1 is de opbouw van deze lagen opgenomen. Een periode van 8 jaar is gesimuleerd (2007 t/m 2014), met een tijdstap van 1 dag. Een zogenaamde 'inspeelperiode' is toegepast, waarmee de fluxen bij aanvang van modelsimulatie betrouwbaarder kunnen worden berekend. De simulatieperiode van deze inspeelperiode bedraagt 2 jaar (2005 t/m 2006). Een celgrootte van 10x10 m is gehanteerd.

Tabel 3.1 – Lagenopbouw conceptueel lokaal model

Laag	Geohydrologische eenheid	Laagdikte
1	Topsysteem	Ter plaatse van opp. water 0,5 m (veronderstelde waterdiepte) Overige locaties 0,1 m
2	Veenlaag	Variërend o.b.v. veendiktekaart Staatsbosbeheer (gedeeld door 3)
	Veenlaag	Variërend o.b.v. veendiktekaart Staatsbosbeheer (gedeeld door 3)
4	Veenlaag	Variërend o.b.v. veendiktekaart Staatsbosbeheer (gedeeld door 3)
5	Gliede-lytja-laag	0,1 m
4	Watervoerend pakket (zandondergrond)	n.v.t. (fixed head)

Voor de veendikte in het model is de in paragraaf 2.4 gepresenteerde gebiedsdekkende veendiktekaart van Staatsbosbeheer gehanteerd. De veenlaag is verdeeld over 3 modellen, waarbij de feitelijk dikte is verdeeld over de drie lagen. De keuze om de veenlaag te verdelen over meerdere modellen is gelegen in het feit dat het veenpakket veelal is opgebouwd uit verschillende type veen met elk haar karakteristieke parameters. Tauw heeft de mogelijkheid open willen houden om deze differentiatie in te bouwen in het model. In het conceptuele veenmodel zijn de drie lagen gelijk geschematiseerd. In de toekomstige bouw van het model is het echter mogelijk om de lagen variabel te schematiseren.

Van de gliede- en gytjalaag is geen betrouwbare informatie voor handen. In het conceptuele model is een gliedelaag ingevoerd met een uniforme dikte van 10 centimeter.





## Parameters

De horizontale en verticale doorlatendheid van veen is afhankelijk van het type veen. De doorlatendheid van de veenlaag in het model is gebaseerd op literatuurwaarden (zie hiervoor bijlage 3). In het model zijn de volgende horizontale en verticale doorlatendheden gehanteerd:

- Veen :  $kh = 0,1$ ;  $kv = 0,001$
- Gliede :  $kh = 0,1$ ;  $kv = 0,001$
- Water :  $kh = 1.000$   $kv = 1.000$ ;  $\mu = 1$

De freatische bergingscoëfficiënt is initieel op 0.5 gesteld (met uitzondering van open water), wetende dat de bergingscoëfficiënt afhankelijk van het veensoort in het gebied zal variëren.

## Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling is in het model per dag berekend met behulp van de neerslag- en verdampingspakketten van iMODFLOW. Voor de neerslag zijn de standaard rasters gebruikt van MIPWA 3.0. Wat betreft de verdamping is onderscheid gemaakt in 14 verschillende vegetatietypen. In figuur 3.1 is de ruimtelijke verdeling van de gehanteerde vegetatietypen in het veengebied weergegeven. De gehanteerde parameters die de berekende verdamping per vegetatietype bepalen, zijn opgenomen in bijlage 1. Deze waarden zijn gebaseerd op literatuurwaarden uit het Cultuurtechnisch Vademecum (1988), MetaSWAP informatie en schattingen.

## Evapotranspiratie

Bij de evapotranspiratie wordt rekening gehouden met 14 verschillende vegetatietypen. In bijlage 1 zijn de per vegetatietype gehanteerde parameterwaarden opgenomen. Deze waarden zijn gebaseerd op literatuurwaarden uit het Cultuurtechnisch Vademecum (1988), MetaSWAP informatie en schattingen. In figuur 3.1 zijn de vegetatietypen in de Engbertsdijksvennen weergegeven. Grids van gewasfactoren zijn ingevoerd als EVT-rate, waarbij de vermenigvuldigingsfactor de waarde van de referentieverdamping krijgt (in m/d). Het product van beide geeft de potentiële evapotranspiratie per rekencel. Actuele verdamping wordt per rekencel bepaald op basis van dikte wortelzone, diepte ET-surface (100 % verdamping) onder wortelzone en extinctiediepte onder ET-surface.



Figuur 3.1 – Ruimtelijke variatie vegetatie in de Engbertsdijkswijk

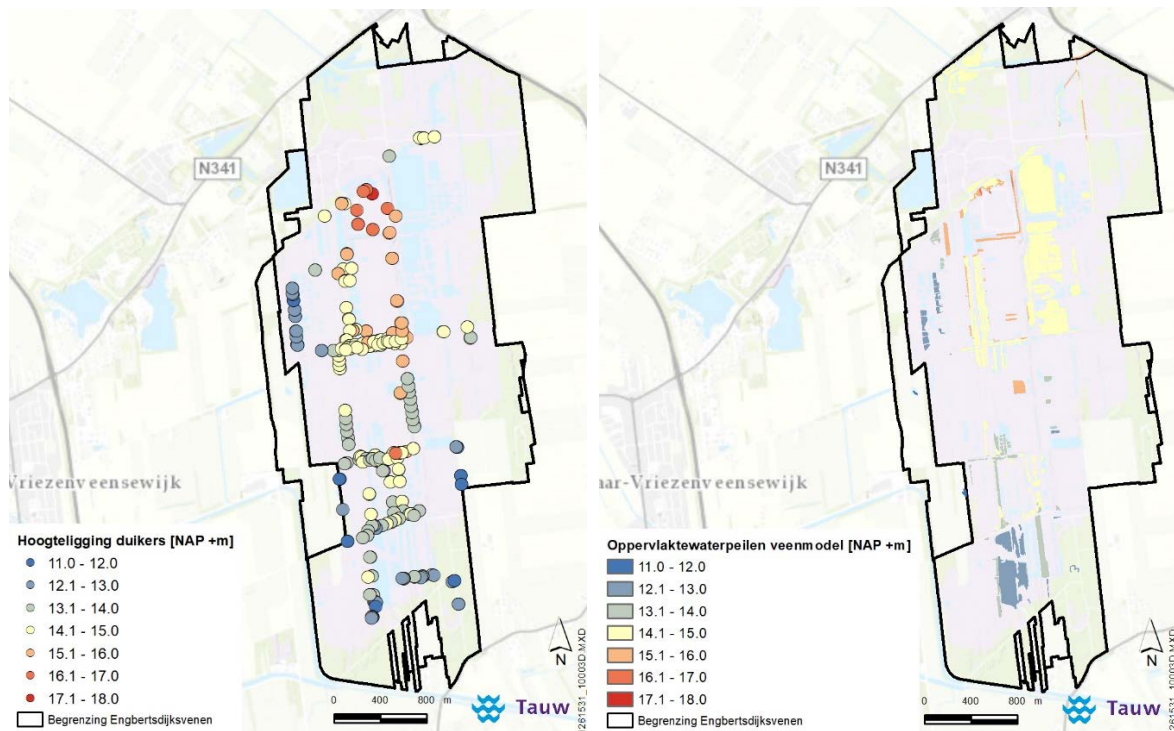
### Stijghoogten zandondergrond

Voor de onderrand was in eerste instantie het beeld om gebruik te maken van de berekende GxG's uit het grondwatermodel van Arcadis. Bekend is echter dat deze een wat te droge situatie simuleert. Om in deze fase reeds zo veel mogelijk aansluiting te maken met het regionale model is na beoordeling (zie paragraaf 4.1) als onderrand de dynamische berekende stijghoogte uit MIPWA 3.0 gebruikt. Daar waar de stijghoogte niet tot in de veenbasis reikt wordt de onderrandvoorwaarde tot aan de onderkant van de veenbasis gelegd.

### Oppervlaktewater

De gebieden waar oppervlaktewater aanwezig is, zijn als goed doorlatende bodemlagen in het model ingebracht. Hierbij is een laagdikte van 0,5 m gehanteerd met een horizontale en verticale doorlatendheid van 1000 m/d. Ter plaatse van het oppervlaktewater is een bergingscoëfficiënt van 1,0 toegepast. In figuur 3.2 is de hoogteligging van de duikers en de in het conceptuele lokale model gehanteerde oppervlaktewateren weergegeven. Voor de schematisatie van de compartimentering, waarbij oppervlaktewater wordt verplaatst van het ene compartiment naar het andere, is gebruik gemaakt van vlakdekkende drainage bovenop het oppervlaktewater. Het drainagepeil is ingesteld op 0,1 m onder de maaiveldhoogte, op basis van het maaiveldhoogte-bestand uit het grondwatermodel van Arcadis (resolutie van 25x25 m). Hierbij is een dermate hoge conductance gehanteerd zodat 'overtollig' water volledig door de drainage kan worden afgevangen.

In deze eerste verkennende fase van het conceptuele model is geen rekening gehouden met de afvoer van overtollig oppervlaktewater van het ene naar het andere component. In een latere fase is hier nader naar gekeken (zie hoofdstuk 7).



Figuur 3.2 – Hoogteligging duikers (links) en oppervlaktewaterpeilen in lokaal veenmodel (rechts)

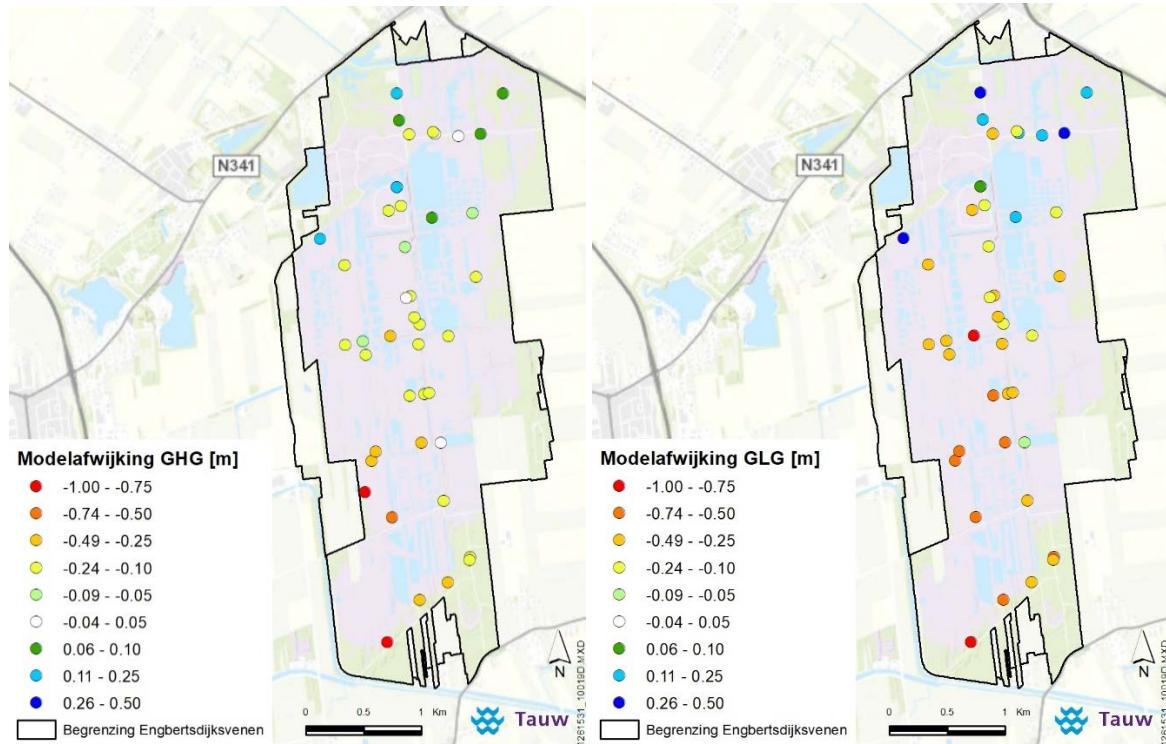
## 3.2 Resultaten conceptueel model

In deze paragraaf worden de resultaten van het conceptuele model beschreven aan de hand van de berekende freatische grondwaterstanden, tijdstijghoogtelijnen, wegzijgingsfluxen en waterbalansen. Het lokale model is vergeleken op de afgeleide GxG uit de boorprofielen.

### 3.2.1 Grondwaterstand

Voor de vergelijking van de freatische grondwaterstanden is noodgedwongen gebruik gemaakt van de freatische grondwaterstanden bepaald tijdens de ecohydrologische schouw. Dit betreffen veldschattingen van de GHG en GLG op basis van bodemkenmerken, oftewel afgeleide GxG's uit boorpunten. Dit is noodgedwongen omdat er relatief weinig freatische peilbuizen in het gebied aanwezig zijn, waardoor er een onvoldoende gebiedsdekkende validatie van het conceptuele lokale model kan plaatsvinden. De afgeleide GxG uit bodemkenmerken heeft als nadeel dat de maaiveldhoogte ter plaatse van de boringen is afgeleid uit het AHN (in plaats van ingeten in het veld). Daarnaast geeft de boorbeschrijving slechts indicatieve waarden voor de GxG's. Hierdoor kunnen er in werkelijkheid verschillen zitten in de afgeleide GxG waarden uit de bodemkenmerken en de werkelijke GxG.

In figuur 3.3 is het verschil weergegeven tussen berekende en gemeten freatische grondwaterstanden (afgeleid uit bodemkenmerken). Uit de kaartbeelden blijkt in het noordelijk deel van Engbertsdijkswenen de GxG circa 0 tot 25 cm af te wijken (zowel te nat als te droge). Naar het zuiden toe neemt de afwijking toe, met een te droge simulatie van de freatische grondwaterstanden, oplopend tot een afwijking van 1 meter. Waarschijnlijk speelt het effect van het niet meenemen van de afvoer van overtollig oppervlaktewater van het ene naar het ander compartiment hierin een rol.



Figuur 3.3 –Verschil tussen berekende en gemeten freatische GHG (links) en GLG (rechts). Indicatief beeld vanwege noodgedwongen gebruik van zachte informatie omtrent de GxG uit boorprofielen

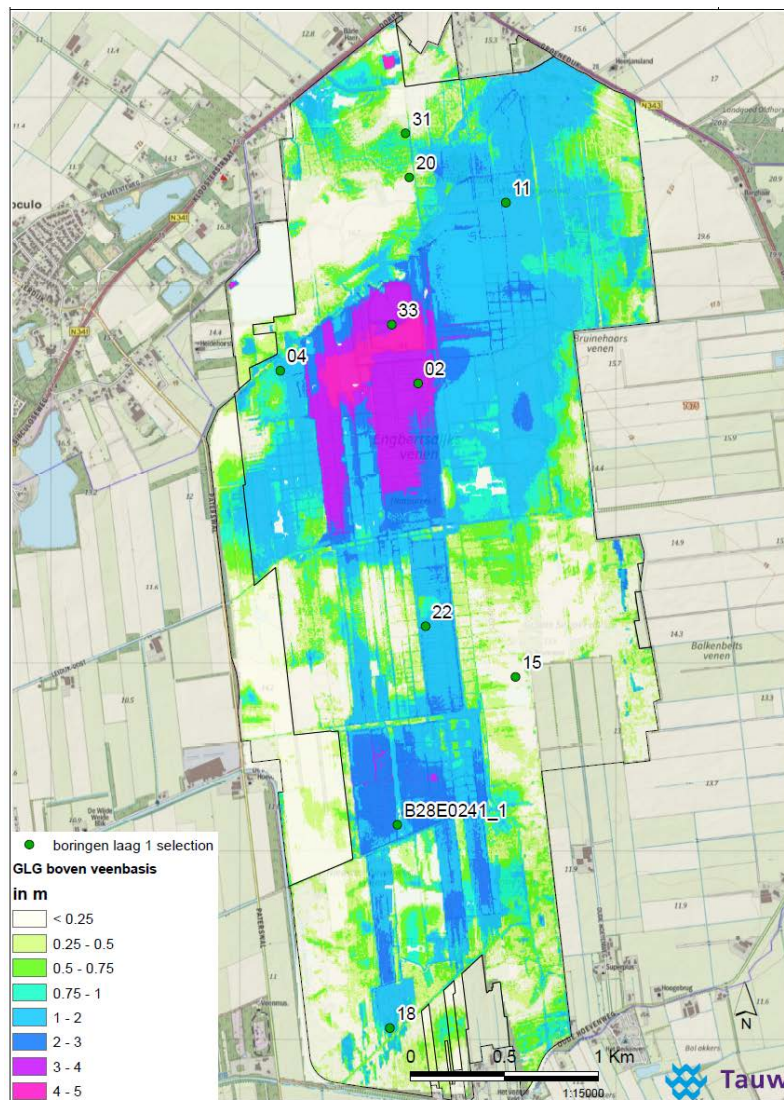
In een aantal gebieden ligt de werkelijke freatische grondwaterstand gedurende (een gedeelte van) het jaar onder de veenbasis. Voor deze gebieden is het veenmodel niet toepasbaar.

### 3.2.2 Tijdstijghoogtelijnen

In bijlage 4 zijn van enkele karakteristieke meetpunten het berekende tijdstijghoogteverloop van de freatische grondwaterstand (modellaag 1) en het verloop van de onderrandvoorwaarde (modellaag 6) weergegeven. Doel van deze tijdstijghoogtelijnen is een beeld te geven van de berekende dynamiek met het lokale model. Het gaat om de punten die in figuur 3.4 zijn weergegeven.

- Hoogveenkern met dikke veenlaag van 4 – 6 meter : boorpunt 2, 33
- Buiten hoogveenkern, maar wel veenlaag aanwezig : boorpunt 4, 11, 18, 22, B28E0241\_1
- Geen veenlaag : boorpunt 15, 20, 31

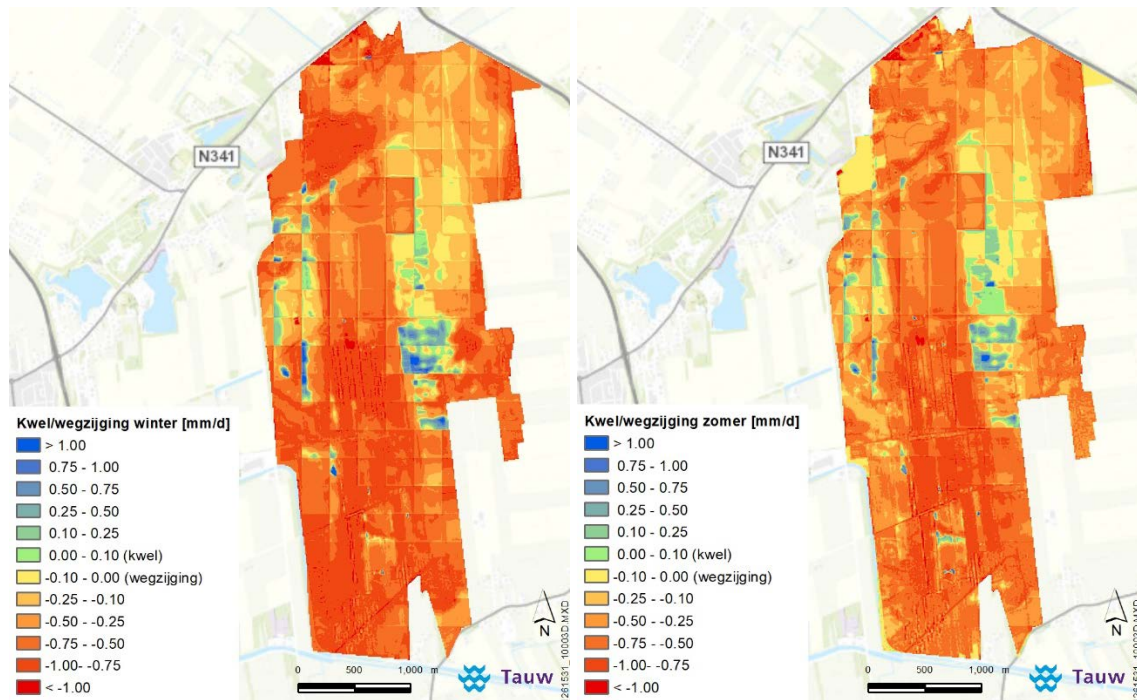




Figuur 3.4 – Karakteristieke punten met daarin een weergave van de gebieden waar de GLG ten opzichte van de veenbasis ligt. In de witte gebieden ligt de GLG nog net in de veenbasis of er onder.

### 3.2.3 Wegzijgingsfluxen

In figuur 3.5 zijn de berekende gemiddelde wegzijgingsfluxen vanuit het veen naar de ondergrond ruimtelijk weergegeven voor zowel de zomerperiode (april t/m september) als de winterperiode (oktober t/m maart). In bijlage 5 zijn voor enkele zones de berekende dynamiek in wegzijgingsfluxen weergegeven. De zones zijn gebaseerd op basis van de veendikte.



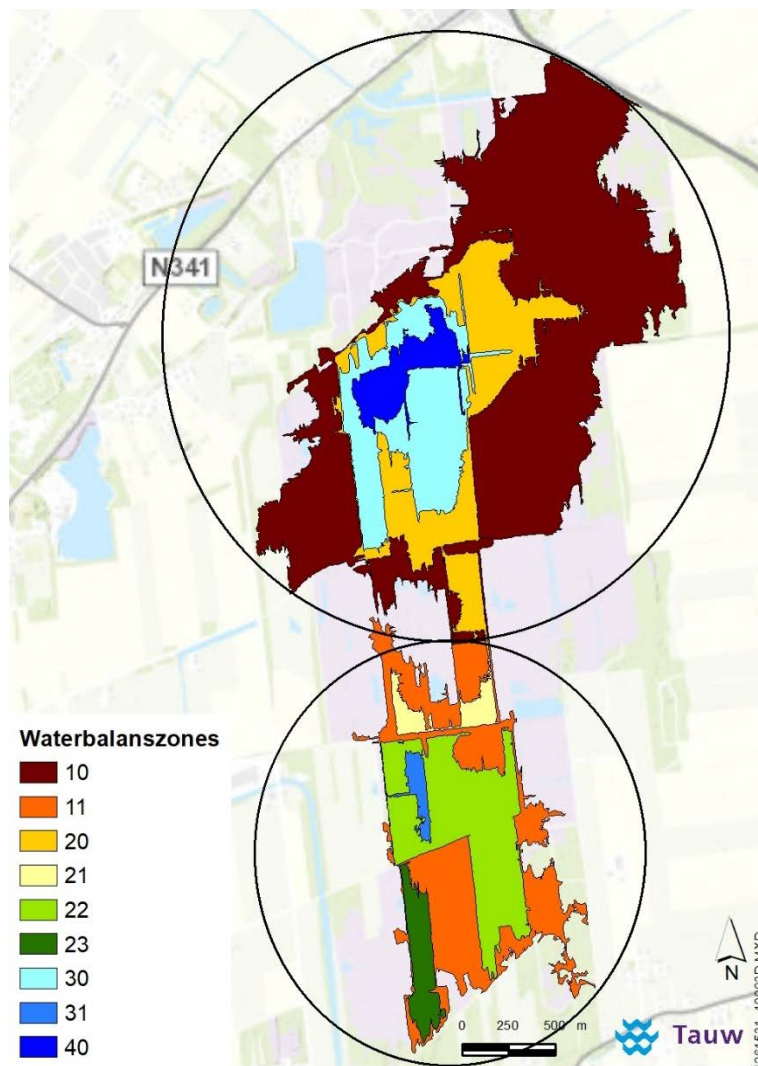
Figuur 3.5 – Kwel/wegzijing in wintersituatie (links) en zomersituatie (rechts)

### 3.2.4 Waterbalans

Voor het maken van de waterbalans is het gebied gezoneerd op basis van de veendikte. In figuur 3.6 is deze zonering weergegeven. Gebied 40 heeft een veenlaagdikte van meer dan 4 meter bedraagt. Gebied met nummer 30 en 31 heeft een veendikte tussen de 3 en 4 meter. De gebieden 20 t/m 23 hebben een veendikte tussen de 2 en 3 meter en de gebied 10 en 11 een veendikte tussen de 1 en 2 meter. Hierbij is bewust afgeweken van de compartimentering:

- a. Omdat deze op moment van opstellen van het concept veenmodel nog niet exact bekend en besproken was met de gebiedspartijen
- b. Omdat hiermee inzichtelijk wordt wat de relatie is tussen de uitkomst van de waterbalanstermen en de veendikte





Figuur 3.6 – Zonering waterbalans

De waterbalans is gemaakt als gemiddelde (stationair) over de modeloutputperiode van 2007 t/m 2014. In bijlage 5 zijn de verschillende waterbalansen van de diverse deelgebieden weergegeven. Uit de waterbalansgegevens komt grofweg naar voren dat in het noordelijke helft (zones 10, 20, 30 en 40) de gemiddelde afvoer uit het gebied en de wegzijging ongeveer even groot zijn. De totale afvoer van de omcirkelde zones bedraagt 1.400 m<sup>3</sup>/dag en de wegzijging 1200 m<sup>3</sup>/dag. In de zuidelijk helft (zone 11, 21, 22 23 en 31) ligt de verhouding duidelijk anders. Gesommeerd bedraagt de gemiddelde afvoer 35 m<sup>3</sup>/dag en de wegzijging 1.000 m<sup>3</sup>/dag.

In bijlage 5 zijn grafieken opgenomen van de instationaire waterbalans. Daarin is duidelijk de dynamiek zichtbaar met perioden van (verminderde) afvoer. Gebieden in het noordelijk deel hebben daarbij een hogere afvoerpiek en afvoerduur dan gebieden meer richting het zuidelijk deel.



## 3.3 Gevoeligheidsanalyses

### 3.3.1 Bandbreedte parameterwaarden

Voor de gevoeligheidsanalyse is de weerstand van het veen, mate van verdamping, berging en de stijghoogte onderrand gevarieerd. De mate van variatie is hieronder weergegeven. De bandbreedte van de parameterwaarden is deels gebaseerd op kennis uit literatuur, maar is ook arbitrair. Het is voor de gevoeligheidsanalyse vooral bedoeld om het effect in beeld te krijgen van variatie in parameterwaarden op de freatische grondwaterstanden en wegzijgingsfluxen.

- Weerstand veen met een factor 0,7, factor 2 en factor 5. Uit de studie van Amerongen (1990) is naar voren gekomen dat in de Engbertsdijksvenen de weerstand van de veenlaag circa 3500 d/m bedraagt. Dit is een hoeveelheid die 3,5 keer zo hoog is als het basismodel. In literatuur (zie bijlage 3) komen zowel hogere als lagere (met name bij relatief dunne veenlagen) weerstandswaarden voor. Een en ander is sterk afhankelijk van de soort veen, niveau van afgraving etc.
- Gewasfactor verdamping: 0,7 – 1,5
- Freatische bergingscoëfficiënt: 0,3 – 0,8. In de studie van Amerongen (1990) zijn door middel van lysimeterproeven de bergingscoëfficiënten van verschillende veentypen bepaald. Voor weinig tot sterk gehumificeerd veen zijn waarden afgeleid van 0,1 tot 0,33. Voor jong levend veen 0,23 – 0,34. Dit is echter samengedrukt veen. Het topsysteem heeft echter een veel hogere bergingscoëfficiënt. Gekozen is, weliswaar arbitrair, om een relatief grote bandbreedte aan te houden
- Zuigspanning zandondergrond: In deze studie is ervoor gekozen om eerst de gevoeligheid te onderzoeken op basis van een arbitrair gekozen waarden van een extra zuigspanning van 50 cm onder de veenbasis

In bijlage 6 is de gevoeligheid van de verschillende parameters op de wegzijgingsfluxen en grondwaterstanden van een aantal representatieve boorpunten (zoals weergegeven in figuur 3.4) weergegeven, inclusief de conclusie per punt.

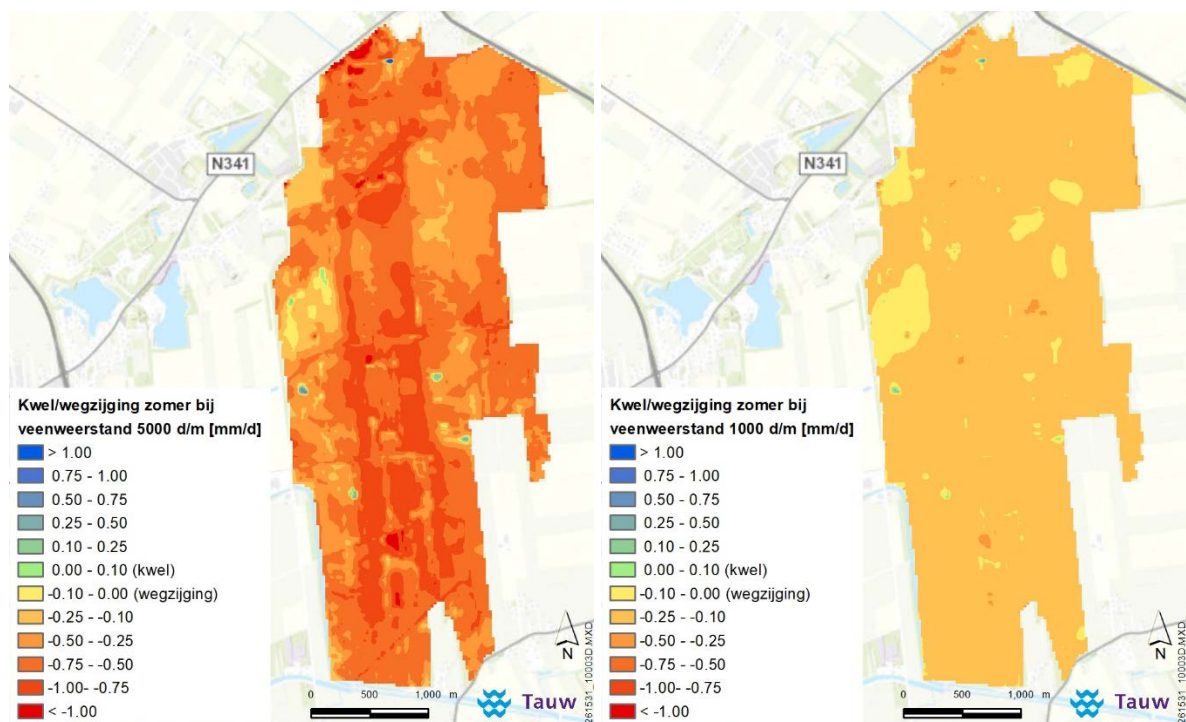
### 3.3.2 Weerstand veen

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de wegzijgingsflux zeer gevoelig is voor de gehanteerde weerstanden. In figuur 3.7 zijn de berekende gemiddelde wegzijgingsfluxen in de zomer (periode april t/m september) met een weerstand van 1000 dagen per m en met een weerstand van 5000 dagen per m weergegeven. Uit de studie van Amerongen (1990) blijkt dat de fluxen in het centrumgebied klein zijn (circa 0,10 tot 0,25 mm/dag), maar naar het zuiden toenemen tot 1,2 mm/dag).

In het noordelijk deel van Engbertsdijksvenen zou de veenweerstand in het model moeten worden verhoogd om het gemeten verschil tussen GHG en GLG in de boorgaten met het model beter te benaderen. Hierdoor neemt ook de wegzijgingsflux af en worden de waarden uit de studie van Van Amerongen (1990) beter benaderd. In het zuidelijk deel van Engbertsdijksvenen benadert het basismodel de fluxen vanuit het model van Van Amerongen vrij goed. Hier lijkt een veenweerstand van 1.000 dagen per meter of lager plausibel. De wegzijgingsfluxen zijn in het zuidelijk deel veel groter dan in het noorden.

Uit de analyse van Geert van Wirdum over de weerstandwaarden blijkt dat bij toenemende veendikten de weerstandswaarden per m toeneemt (zogenaamde parabolische weerstandswaarde). Een dergelijk patroon kan mogelijk een betere fit geven op het wegzijgingsfluxen. Dit is in deze studie vooralsnog niet nader beschouwd.

Het zuidelijk deel lijkt om hogere weerstanden om de freatische grondwaterstanden hoog te houden (vergelijkbaar met de metingen in de boorgaten). Deze constatering is gebaseerd op dit conceptuele lokale veenmodel waar de afvoer van overtollig oppervlaktewater van het ene naar het andere compartiment niet is meegenomen. Het is belangrijk om deze in een vervolgstudie daarom eerst goed in het lokale model te simuleren alvorens harde conclusie kunnen worden getrokken.



Figuur 3.7 – Kwel/wegzijingsfluxen in zomer bij veenweerstand van 1000 d/m (links) en 5000 d/m (rechts)

### 3.3.3 Verdampingsfactor

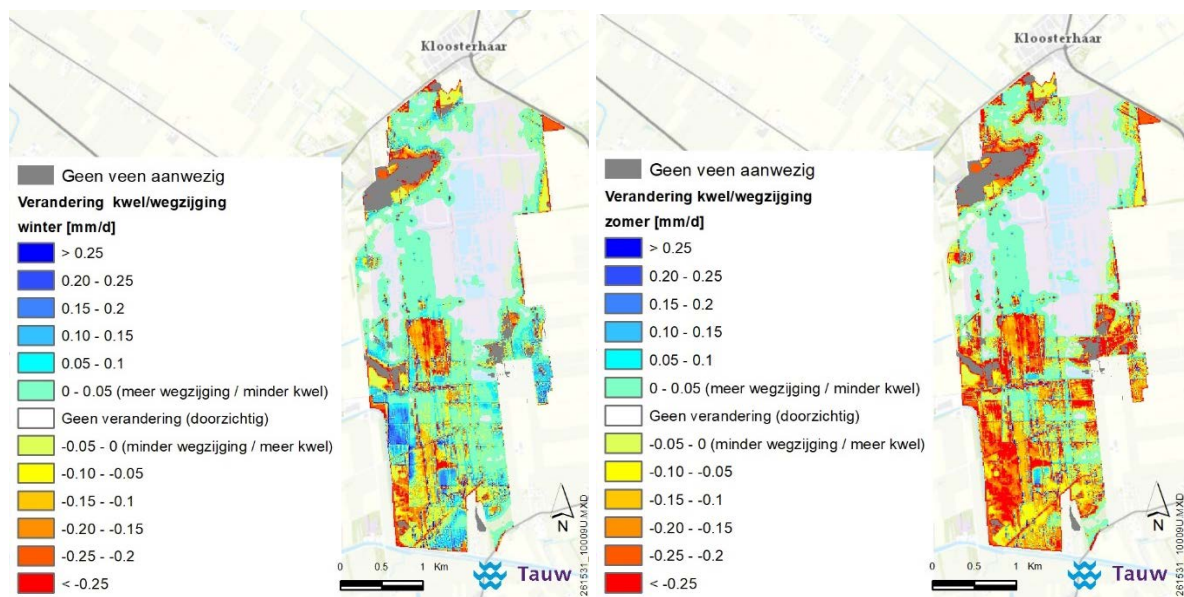
In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de wegzijgingsflux weinig gevoelig is de verandering in de verdampingsfactoren. De freatische grondwaterstandsfluctuaties zijn hier wel gevoelig voor.

### 3.3.4 Bergingscoëfficiënt

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de wegzijgingsflux weinig gevoelig is de verandering in de bergingscoëfficiënt. De freatische grondwaterstandsfluctuaties zijn hier wel gevoelig voor.

### 3.3.5 Zuigspanning

Ten aanzien van de zuigspanning kan gesteld worden dat de wegzijgingsflux in de kerngebieden in het centrum van de Engbertsdijksvenen niet gevoelig is voor een extra zuigspanning. In het zuidelijk gedeelte (en ook in de overgangsgebieden) heeft het wel effect, daar waar de veenlaag dunner is. De wegzijgingsflux neemt in een aantal gebied toe met 0,2 mm/dag (zie figuur 3.8). De extra zuigspanning is bij de berekeningen eenvoudig simuleerd middels een extra lagere druk in de zandondergrond van 50 cm. Er is echter in de literatuur nog relatief weinig bekend over het werkelijk effect van extra zuigspanning. Ook is op grond van de beschikbare gegevens niet te zeggen hoe groot dit effect in de praktijk is.



Figuur 3.8 – Verandering berekende kwel/wegzijgingsfluxen

### 3.4 Samenvatting bevindingen

Het conceptueel lokaal veenmodel omvat het hydrologisch systeem tot aan de zandondergrond, waarbij de druk van het grondwater in de zandondergrond als onderrandvoorwaarde is opgelegd. Deze manier van schematisatie maakt dat dit conceptuele lokale veenmodel alleen bruikbaar is in de gebieden waarbij de freatische grondwaterstand permanent boven de veenbasis ligt en daarmee (semi)gescheiden is van het regionale grondwatersysteem. Het exacte gebied waar dit optreedt is niet bekend, maar op basis van de inzichten uit de systeemanalyse (vergelijking tussen ingeschatte GxG's uit boorgatmetingen en stijghoogten zandondergrond) komt dit neer op de gebieden waar de veendikte meer dan 1 m dik is.

Met dit zogenaamde "conceptuele" veenmodel zijn diverse gevoeligheidsanalyses, waarbij gevarieerd is met aantal parameterwaarden van de hydrologische cruciale factoren van het topsysteem, te weten:

- Weerstand van het veen, het gaat hierbij om de gezamenlijke weerstand van zowel het veen, gliede- en gyttkja lagen en kazige B-horizonten
- Gewasfactor verdamping



- Freatische bergingscoëfficiënt
- Extra zuigspanning vanuit de zandondergrond

Hierbij is telkens gekeken wat voor effect een variatie van de parameterwaarden heeft op de freatische grondwaterstand op een aantal specifieke punten in het gebied, de wegzijgingsfluxen en de waterbalans.

Uit de gevoeligheidsanalyses is gebleken dat alle parameters binnen een reëel ingeschatte bandbreedte effect hebben op de freatische grondwaterstand en dat er meerdere parametersets mogelijk zijn die tot hetzelfde resultaat leiden. Om deze reden is geconcludeerd dat het voorspellen van de freatische grondwaterstanden in het veen een utopie lijkt. Voor de berekening van de wegzijgingsflux geldt dit niet. Geconstateerd is dat de weerstand (totale weerstand van het topsysteem) de belangrijkste en overheersende factor is voor de mate van wegzijging. De gewasfactor van verdamping en freatische bergingscoëfficiënt hebben slechts beperkte invloed. Geconcludeerd is daarom dat dit lokale veenmodel, bij een goede inschatting van de weerstand (of met een bandbreedte) bruikbaar is voor het bepalen van de wegzijgingsfluxen naar de zandondergrond. Extra zuigspanning heeft daarnaast ook effect op de wegzijgingsflux in gebieden met dunnere veenlagen. Het is op grond van de beschikbare gegevens niet te zeggen hoe groot dit effect in de praktijk is. In overleg met de werkgroep is besloten vanwege deze onbekendheid geen rekening te houden met extra zuigspanning.

In de werkgroep is vastgesteld dat het fysische verschijnsel van de oppervlaktewaterstroming van het ene naar het andere compartiment een significante factor is voor het wel of niet uitzakken van het freatische (grond)waterpeil. De wijze waarop dit conceptueel in het lokale model kan worden gesimuleerd is in een latere fase van het onderzoek onderzocht (zie paragraaf 7.2).

De gebieden die zich niet lineair gedragen (dat wil zeggen een freatische grondwaterstand die zich deels in het veen bevindt, maar ook uitzakt tot in de zandondergrond) zijn eventueel te modelleren met een PWT module. De mogelijkheid hiervoor is eveneens in een latere fase van de studie onderzocht (zie paragraaf 7.1).



## 4 Conceptueel regionaal model

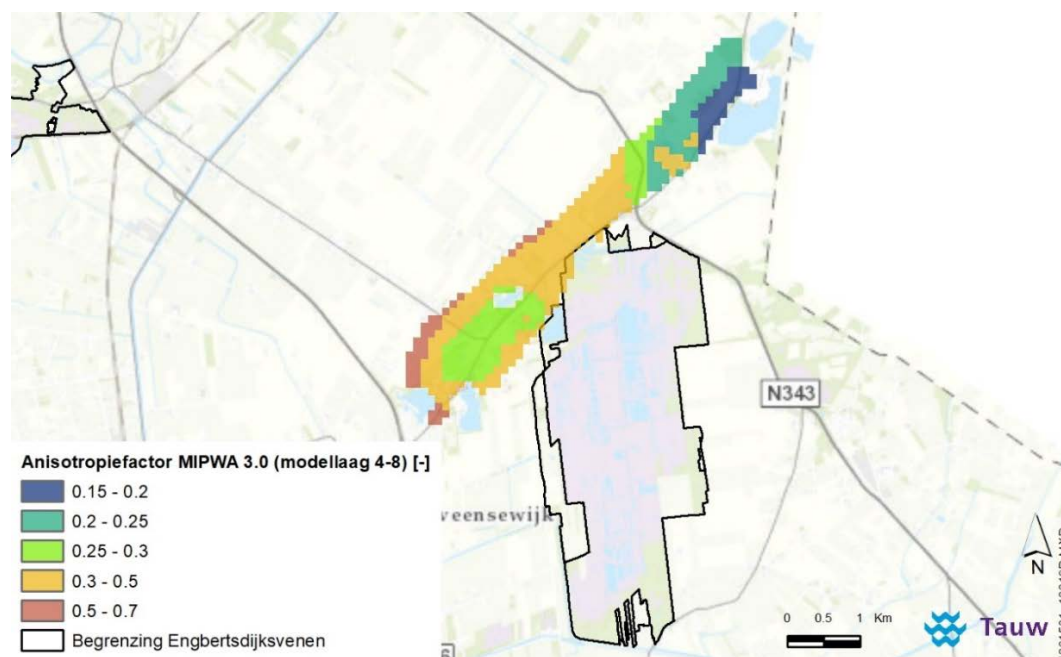
Het conceptuele regionaal model bestaat in de basis uit het MIPWA 3.0 model (versie januari 2018). In paragraaf 4.1 is het MIPWA model in de omgeving van Engbertsdijksvenen geanalyseerd en beoordeeld op enkele modelparameters die een significante invloed kunnen hebben op de berekende grondwaterstanden en stijghoogten.

### 4.1 Modelbeoordeling MIPWA 3.0

#### 4.1.1 Lagenmodel

MIPWA 3.0 is qua ondergrondschematisatie gebaseerd op REGIS II v2.1. Inmiddels is een nieuwe versie van REGIS beschikbaar (versie 2.2). Daarom is voor de modelbeoordeling van MIPWA 3.0 dit model vergeleken met de laagschematisatie van REGIS II v2.2. In bijlage 7 zijn enkele dwarsprofielen opgenomen van MIPWA 3.0 en REGIS II v2.2. Uit vergelijking van de dwarsprofielen blijkt dat de laagschematisatie van MIPWA grotendeels overeenkomt met de nieuwste versie van REGIS.

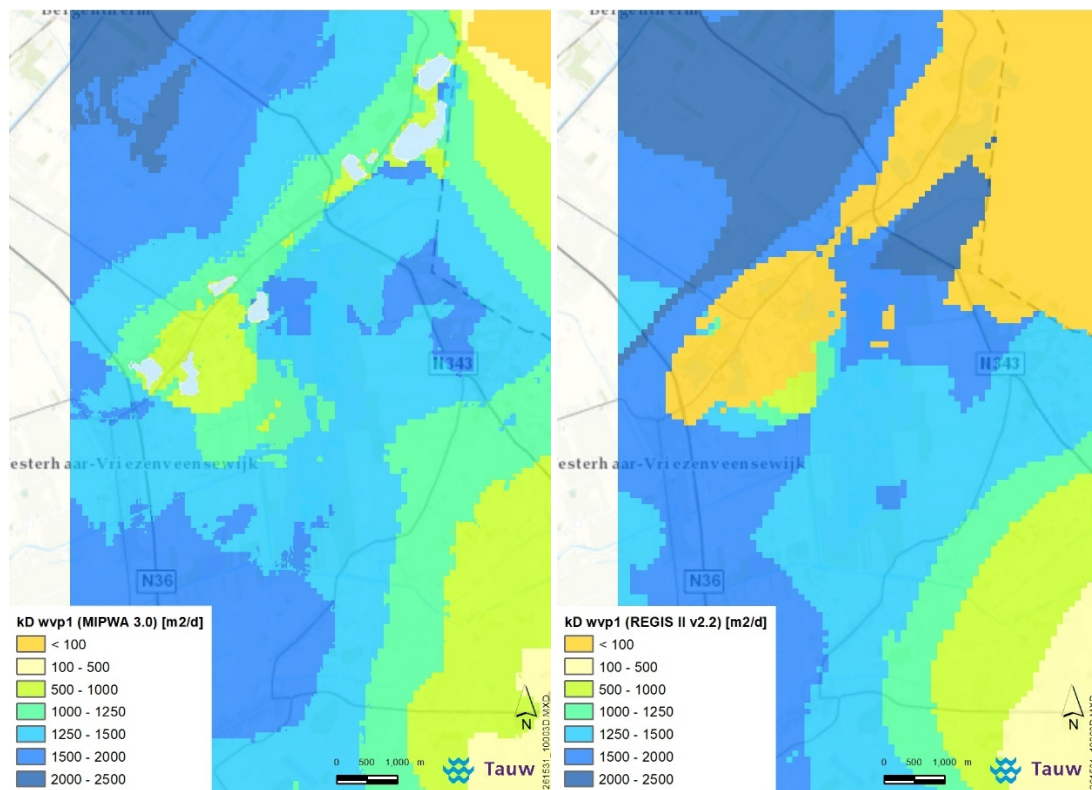
Ten noorden van de Engbertsdijksvenen is een gestuwd complex aanwezig. In MIPWA 3.0 is dit complex ingebracht als watervoerende laag met anisotropie. Zie figuur 4.1 voor de ligging van deze laag en de sterkte van anisotropie (anisotropiefactor). Uit figuur 4.1 blijkt dat de anisotropie relatief zwak is (een hoge anisotropiefactor). In MIPWA 3.0 is het complex in modellagen 4 t/m 8 ingebracht. Dit komt qua diepteligging echter niet overeen met REGIS II v2.2. Op basis van de laagschematisatie van REGIS verdient het de voorkeur om de anisotropie in modellagen 1 t/m 5 in te brengen.



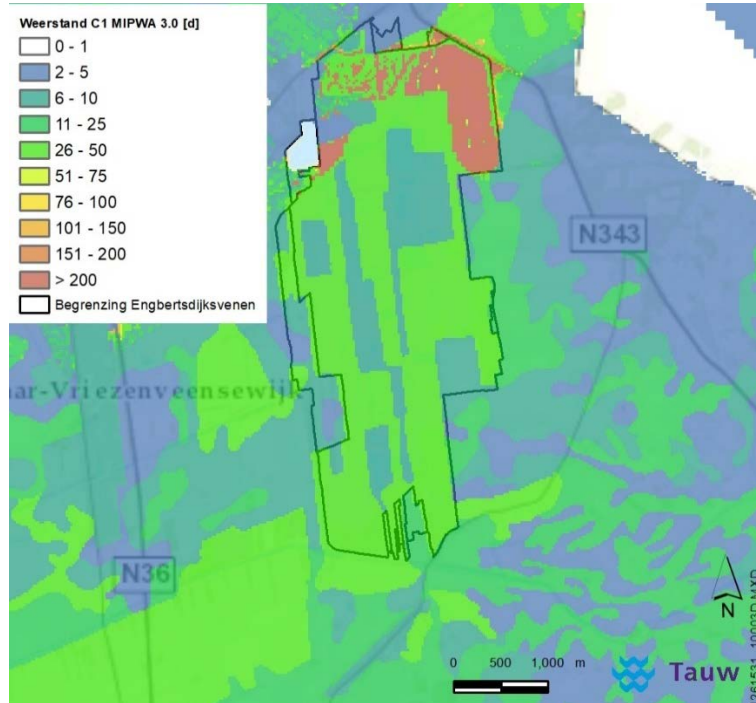
Figuur 4.1 – Ligging gestuwd complex in MIPWA 3.0 inclusief anisotropiefactor



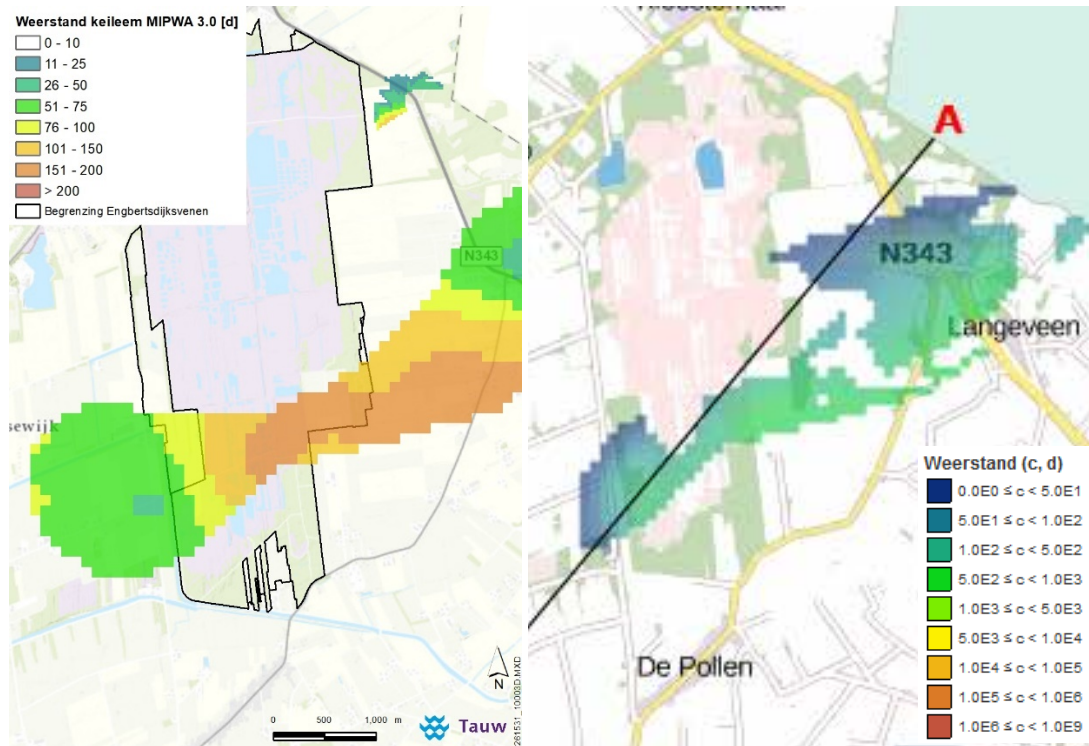
In figuur 4.2 is de (totale) doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket van MIPWA 3.0 en REGIS II v2.2 weergegeven. De doorlatendheid onder de Engbertsdijksvenen bedraagt circa 1000 tot 1500 m<sup>2</sup>/d. Op basis van een dikte van het eerste watervoerend pakket van circa 50 m, komt dit neer op een doorlaatafactor (k-waarde) van 20 à 30 m/d. Dit lijkt een plausibele waarde te zijn. Opvallend is dat in MIPWA 3.0 relatief weinig verticale weerstand aanwezig is. In figuur 4.3 is de weerstand van de eerste scheidende laag van MIPWA weergegeven. Het veengebied van de Engbertsdijksvenen heeft in het model een verticale weerstand die lager is dan 50 dagen. Uit bestudering van literatuur (opgenomen in bijlage 3) en de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse van het veenmodel (zie hoofdstuk 3), lijkt de weerstand van het veen circa 1000 dagen à 3500 d/m te bedragen. Ook het Veenschap ten zuidwesten van de Engbertsdijksvenen heeft in het model een weerstand van minder dan 50 dagen. De weerstanden van veenlagen zijn in MIPWA 3.0 dus lager dan uit onderzoek blijkt. In een relatief kleine zone komt in MIPWA op een diepte van enkele meters keileem voor in de ondergrond. In figuur 4.4 is de ligging van de keileem weergegeven, in zowel MIPWA 3.0 als REGIS II v2.2. In figuur 4.5 is de aanwezigheid van keileem in enkele boringen uit het DINOloket opgenomen. De weerstand van de keileem bedraagt in MIPWA minder dan 200 dagen. Op basis van de beschikbare boringen en REGIS II v2.2 lijkt dit aan de lage kant te zijn. Daarnaast blijkt uit enkele diepere boringen in het gebied dat meer weerstandbiedende lagen aanwezig zijn dan in MIPWA 3.0 zijn opgenomen. De ruimtelijke verbreiding van scheidende lagen dient daarom nader te worden beoordeeld op basis van beschikbare boringen.



Figuur 4.2 – Doorlatendheid (kD) eerste watervoerend pakket MIPWA 3.0 (links) en REGIS II v2.2 (rechts)

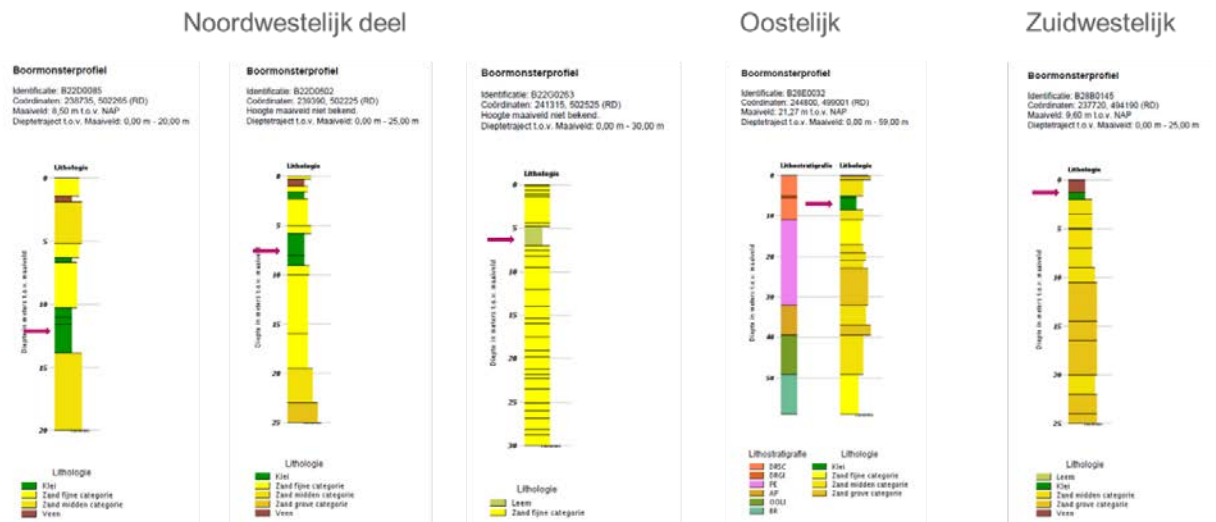


Figuur 4.3 – Weerstand van C1 in MIPWA 3.0



Figuur 4.4 – Aanwezigheid keileem in MIPWA 3.0 (links) en REGIS II v2.2 (rechts)

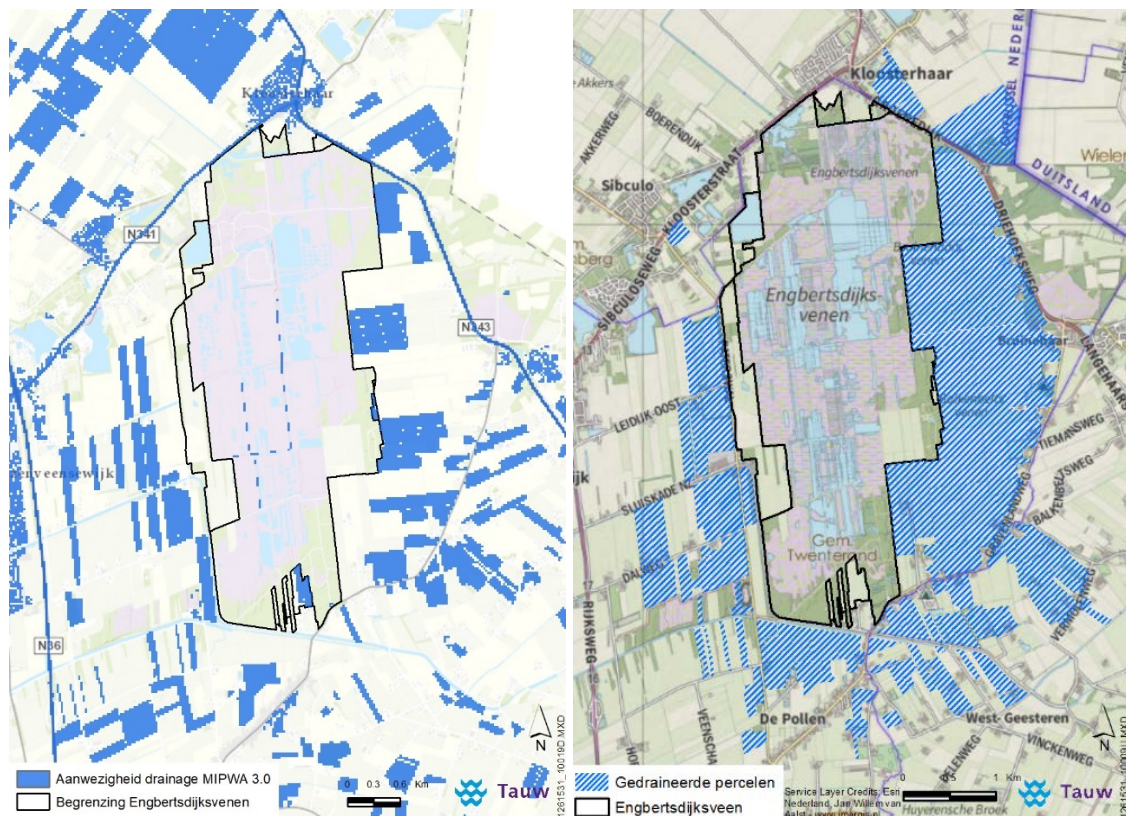




Figuur 4.5 – Enkele boorprofielen uit het DINOloket met daarin de aanwezigheid van keileem

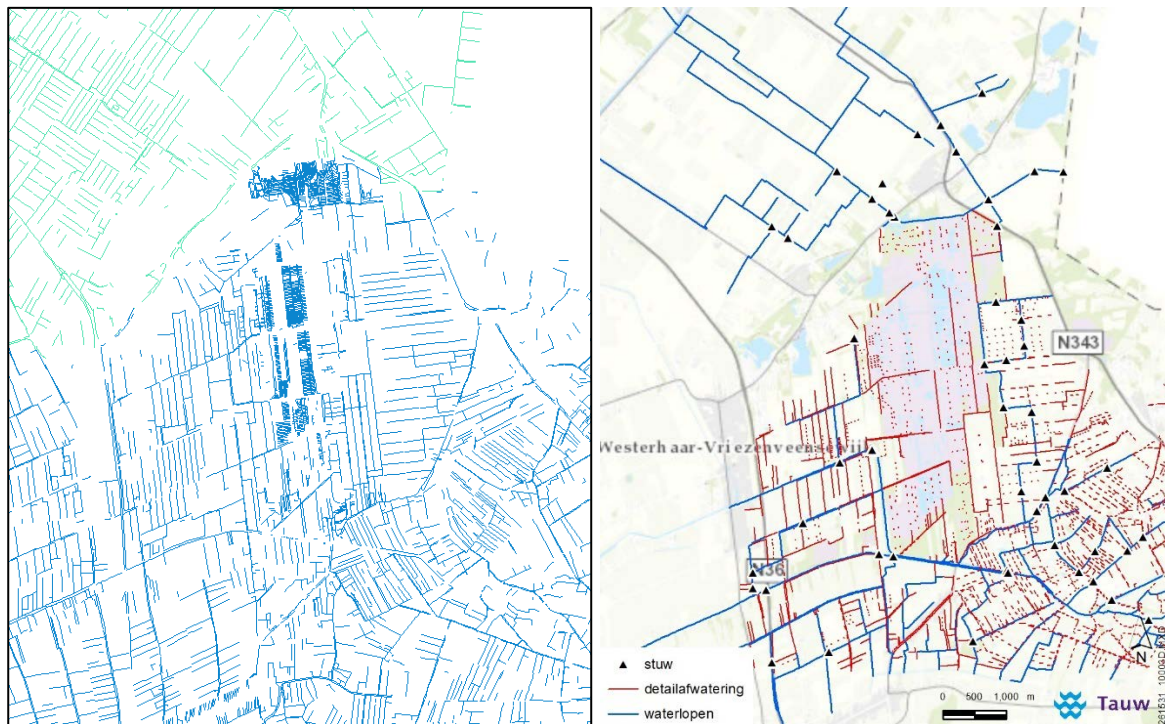
### 4.1.2 Watergangen en drainage

In figuur 4.6 is de aanwezigheid van drainage in MIPWA 3.0 en in de praktijk weergegeven. Uit vergelijking met de werkelijke drainage blijkt dat in MIPWA 3.0 te weinig drainage aanwezig is.



Figuur 4.6 – Drainage MIPWA 3.0 versie 2017 (links) en in de praktijk op basis van gegevens opdrachtgever (rechts)

Het oppervlaktewaterstelsel is in MIPWA 3.0 verdeeld in RIV-bestanden (TOP10 vlakken, zandwinplassen, kanalen en rivieren) en ISG-bestanden (legger en TOP10 lijnbestanden). De ISG-bestanden zijn in figuur 4.7 weergegeven. De modellagen waarin de ISG watergangen zijn gesitueerd wordt op basis van bodemhoogte door iMODFLOW berekend. Uit analyse blijkt dat de ISG watergangen terecht komen in modellagen 1 t/m 5. De verwachting was dat dit alleen modellagen 1 en 2 zou betreffen. Wat betreft de ligging van de watergangen blijkt uit analyse dat MIPWA 3.0 niet overeenkomt met de werkelijkheid. Aanbevolen wordt om in het vervolgtraject de legger-watergangen opnieuw in het regionale grondwatermodel te brengen, op basis van gegevens van waterschap Vechtstromen. In figuur 4.7 zijn deze legger-watergangen weergegeven. Voor de TOP10-watergangen kan de laatst beschikbare informatie gebruikt worden, nadat deze gecontroleerd is door personen met gebiedskennis.

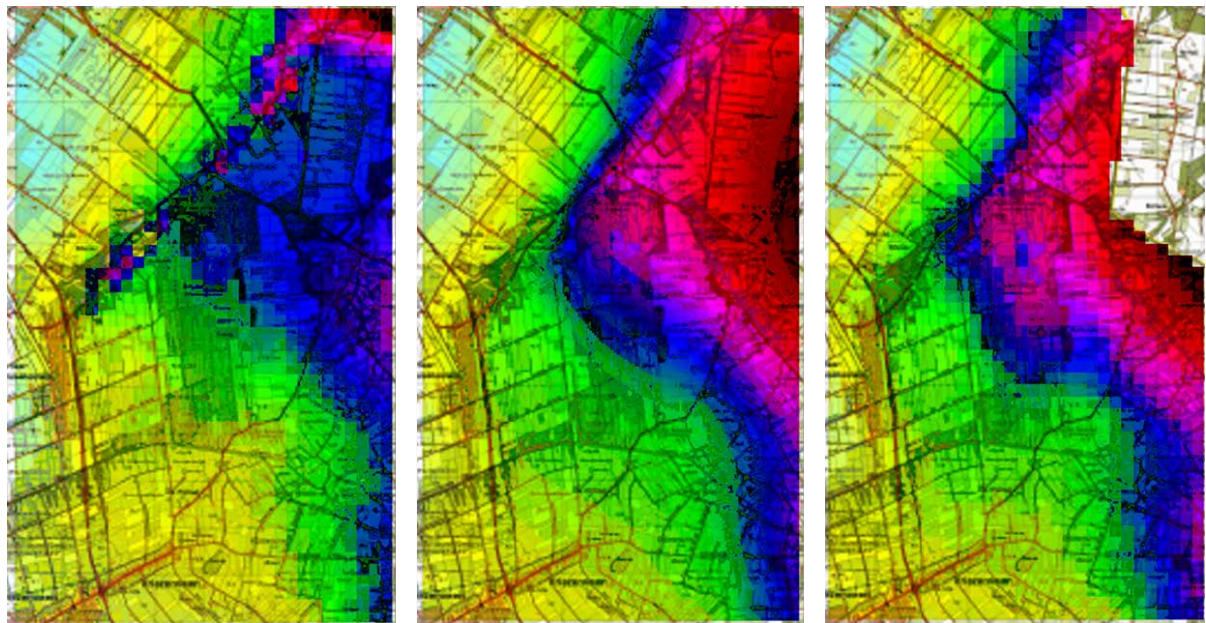


Figuur 4.7 – Ligging ISG-watergangen MIPWA 3.0 (links) en ligging legger-watergangen waterschap Vechtstromen (rechts)



### 4.1.3 Startstijghoogten

In figuur 4.8 zijn de startstijghoogte van MIPWA 2018 en 2017 weergegeven. Tussen de twee bestaan duidelijk verschillen, met name in Duitsland. Ook de constante stijghoogten in MIPWA 2018 welke aan de randen zijn opgelegd is duidelijk anders dan de startstijghoogten in MIPWA 2018. Dit is MIPWA 2018 aan de randen opgelegd. In de geteste versie is gebruik gemaakt van de startstijghoogten van MIPWA 2017, welke aan de randen van het modelgebied als constante stijghoogten zijn opgelegd.



SHD 2018

SHD 2017

CHD 2018

*Figuur 4.8 – Initiële stijghoogten 2018 (links), initiële stijghoogten 2017 (midden) en constante stijghoogten 2018 (rechts)*

## 4.2 Samenvatting bevindingen

Voor het conceptuele regionale model is als basis MIPWA 3.0 (versie januari 2018) gebruikt. Dit MIPWA model is in de omgeving van Engbertsdijksvennen geanalyseerd en beoordeeld op bruikbaarheid. Hierbij is gekeken naar de volgende belangrijkste aspecten, lagenmodel met bijbehorende parameterwaarden (kD en C), watergangen en drainage en startstijghoogten. Geconcludeerd is dat MIPWA 3.0 conceptueel gezien geschikt is voor het berekenen van de regionale stroming in het eerste watervoerend pakket. Voor een adequate simulatie zijn een aantal verbeteringen cq checks nodig:

- Nader onderzoek uitvoeren naar verticale weerstanden van klei-/veen-/leemlagen in het eerste watervoerend pakket
- Oppervlaktewaterstelsel en drainage opnieuw in het regionale model inbrengen op basis van recente inzichten van waterschap Vechtstromen en LTO
- Nader onderzoek uitvoeren Duitsland, controle van de randstijghoogten



Het MIPWA 3.0 model is conceptueel gezien niet geschikt voor het berekenen van de freatische grondwaterstanden in veengebieden en de wegzijgingsfluxen vanuit deze veengebieden (waaronder Engbertsdijksvenen). Zowel veenweerstand (en weerstanden van gliede- en gyttjalagen en kazige B-horizonten) als het voorkomen van zogenaamde schijngrondwaterspiegels is niet goed in het MIPWA-model geschematiseerd. Om toch te zorgen voor een goede bovenrandvoorwaarde (de wegzijgingsflux vanuit het veengebied naar de zandondergrond) voor het regionale MIPWA 3.0 model, is getest of er een koppeling te maken is tussen het lokale veenmodel en het regionale MIPWA 3.0 model. Dit is besproken in hoofdstuk 5.



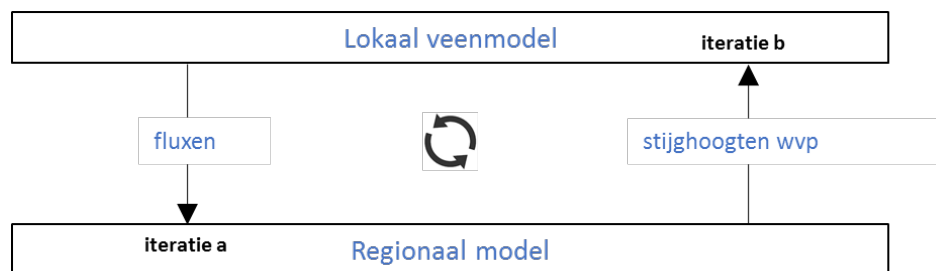
## 5 Gekoppeld model

De afzonderlijke modellen (lokaal veenmodel en conceptueel regionaal model) resulteren nog niet in de gewenste hydrologische simulering. Daarom is een gekoppeld model getest, dat bestaat uit beide modellen en waarbij de wegzijgingsflux vanuit het veengebied naar de zandondergrond wordt uitgewisseld. Deze koppeling is besproken in paragraaf 5.1. Paragraaf 5.2 beschrijft de modeluitkomsten en verificatie van het gekoppeld model. In paragraaf 5.3 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met het gekoppeld model, waarin het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket is gevarieerd. In paragraaf 5.4 zijn ten slotte de conclusies en bevindingen van het gekoppelde model opgenomen.

### 5.1 Methodiek koppeling

Omdat het veengebied niet in voldoende detail in het regionale grondwatermodel MIPWA 3.0 is ingevoerd, is onderzocht of er een koppeling mogelijk is tussen het lokale veenmodel en het regionale grondwatermodel MIPWA 3.0

Het lokale veenmodel en het regionale model zijn als volgt met elkaar gekoppeld: het lokale model berekend de wegzijgingsfluxen over de gehele modelperiode (2005 t/m 2014). Deze wegzijgingsfluxen worden vervolgens in het watervoerend pakket van het regionale model, onder de Engbertsdijksvenen, ingebracht. De vervolgens door het regionale model berekende stijghoogte onder de Engbertsdijksvenen wordt weer in het lokale veenmodel ingevoerd. Deze iteraties vinden plaats totdat de berekende stijghoogte in het watervoerend pakket constant blijft. In figuur 5.1 is het iteratief proces schematisch weergegeven.



Figuur 5.1 – Schematische weergave iteratieve koppeling lokaal veenmodel en regionaal grondwatermodel

De wegzijgingsflux van het lokale model is in het regionale model ingebracht met behulp van wells. Deze wells zijn gelegen in elke rekencel van het eerste watervoerend pakket dat gelegen is onder de Engbertsdijksvenen. De eerste modellaag van het regionale model staat ter plaatse van Engbertsdijksvenen op inactief. Het voordeel van de toepassing van twee modellen, is dat het topsysteem van de Engbertsdijksvenen gedetailleerder kan worden gesimuleerd.



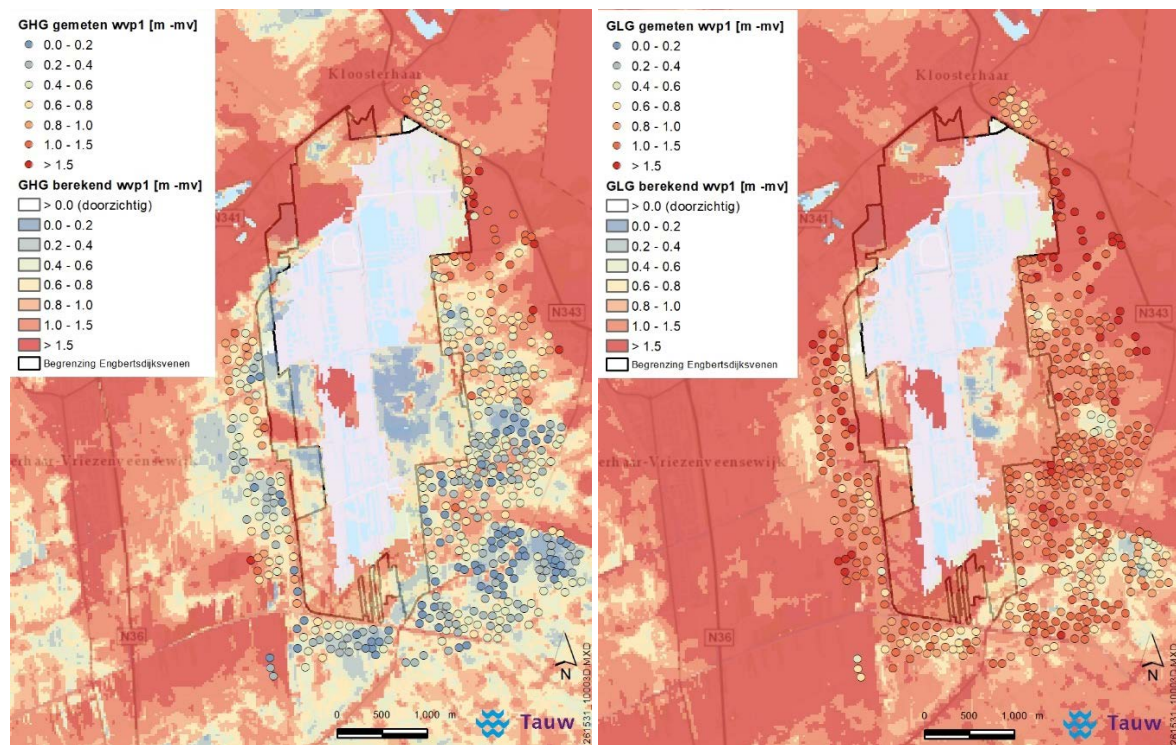
De koppeling van de wegzijgingsflux met behulp van wells is uitgevoerd omdat het in iMODFLOW (de onderliggende rekenkern van MIPWA 3.0) niet mogelijk is om de wegzijging uit het lokale veenmodel via de grondwateraanvulling module (RCH) in modellaag 2 van MIPWA te brengen en tegelijkertijd modellaag 1 op inactief in te stellen. iMODFLOW kent in dat geval de grondwateraanvulling alsnog toe aan modellaag 1. Dit heeft als gevolg dat de grondwateraanvulling niet aan modellaag 2 wordt doorgegeven.

De uitwisseling van de wegzijging tussen het lokale veenmodel en regionale grondwatermodel vindt alleen plaats gebieden waar de freatische grondwaterstand permanent boven de veenbasis is gelegen (bij een veendikte van  $> 1$  m).

## 5.2 Verificatie

### 5.2.1 Freatische grondwaterstand

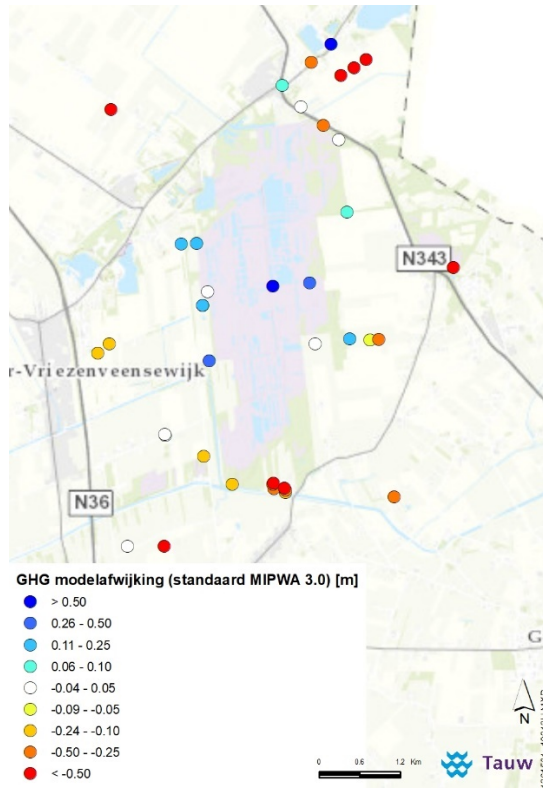
In figuur 5.2 zijn de berekende en gemeten GHG en GLG (in m –mv) weergegeven. De gemeten GHG en GLG zijn door Aequator bepaald op basis van boringen. Het algemene beeld van de berekende grondwaterstanden komt overeen met de gemeten waarden. Wel treden er de nodige lokale afwijkingen op. Deze modelafwijkingen zijn mogelijk het gevolg van in de praktijk lokaal aanwezige oppervlaktewaterstelsels en drainage. Ook kent de GxG-bepaling op basis van boringen enkele onzekerheden die de betrouwbaarheid van de analyse beïnvloeden. In het Veenschap ten zuidwesten van de Engbertsdijksvenen worden door het model te lage grondwaterstanden berekend. Dit komt doordat op deze locatie in de bovengrond veen aanwezig is dat niet in het grondwatermodel is opgenomen. De berekende GxG's betreffen daardoor min of meer de stijghoogte in de zandondergrond (dus niet de (schijn)grondwaterspiegel in het veenpakket).



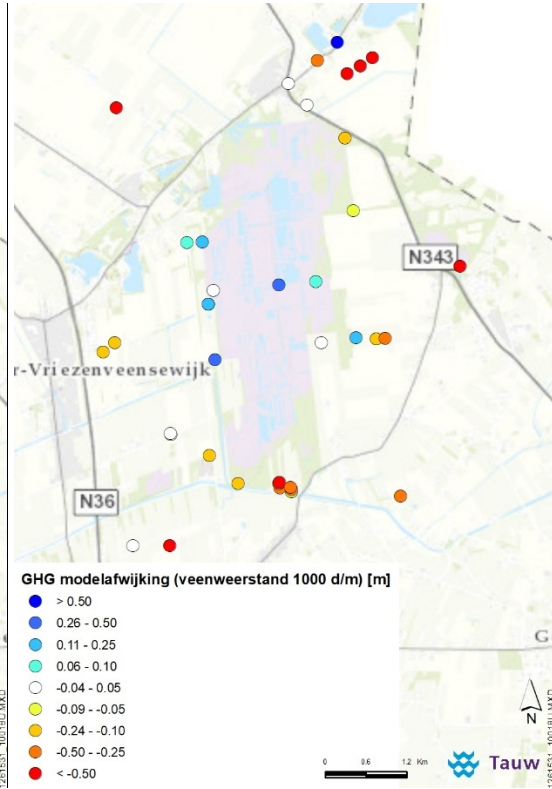
Figuur 5.2 – Berekende en gemeten GHG (links) en GLG (rechts) van fretatische grondwaterstand

### 5.2.2 Stijghoogte eerste watervoerend pakket

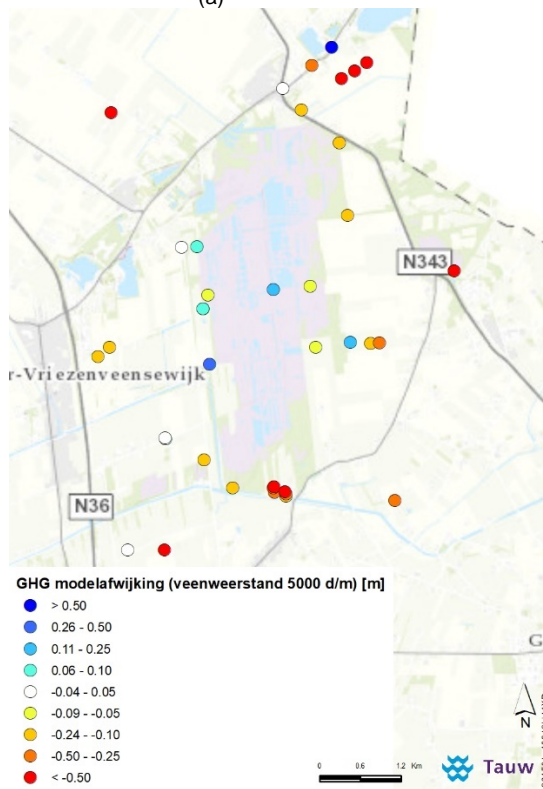
In figuur 5.3 zijn de GHG en GLG modelafwijkingen weergegeven (t.o.v. gemeten waarden uit het DINOloket), van zowel het standaard MIPWA 3.0 model als het conceptuele regionale model. Het conceptuele regionale model is doorgerekend met een veenweerstand van 1.000 d/m en 5.000 d/m. Uit figuur 5.3 blijkt dat de grootste modelafwijkingen zich richting Duitsland voordoen. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door een te hoge doorlatendheid van het watervoerend pakket of het gestuwde complex. Ook bij het Veenschap zijn de modelafwijkingen significant. Zoals in paragraaf 4.1.1 is besproken, is de weerstand van deze veenlaag in het regionale grondwatermodel te laag. De in het gebied aanwezige peilbuizen meten de grondwaterstand in het veen, terwijl het model hier de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket berekend. Uit figuur 5.3 blijkt daarnaast dat de modelafwijking van het conceptuele regionale model (inclusief koppeling van de wegzijgingsflux uit het lokale veenmodel) kleiner is dan de modelafwijking van MIPWA 3.0. De modelkoppeling leidt dus tot een verbetering van de berekende stijghoogten in de zandondergrond.



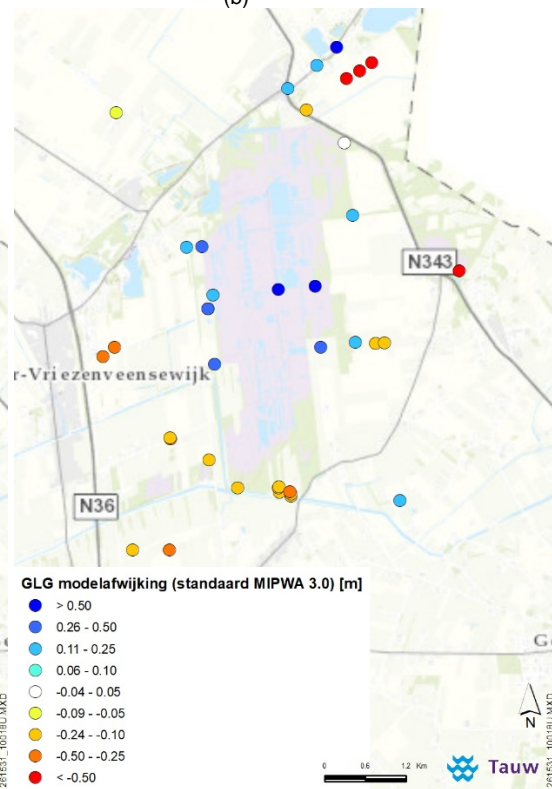
(a)



(b)

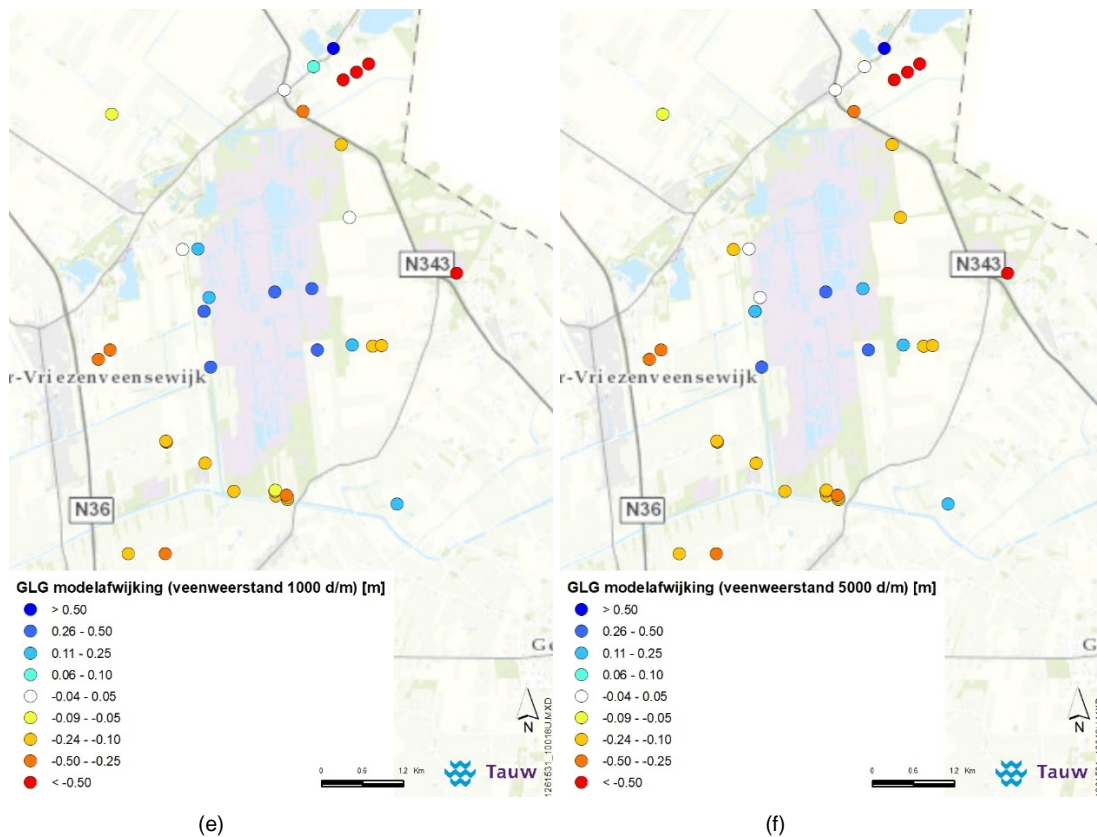


(c)



(d)

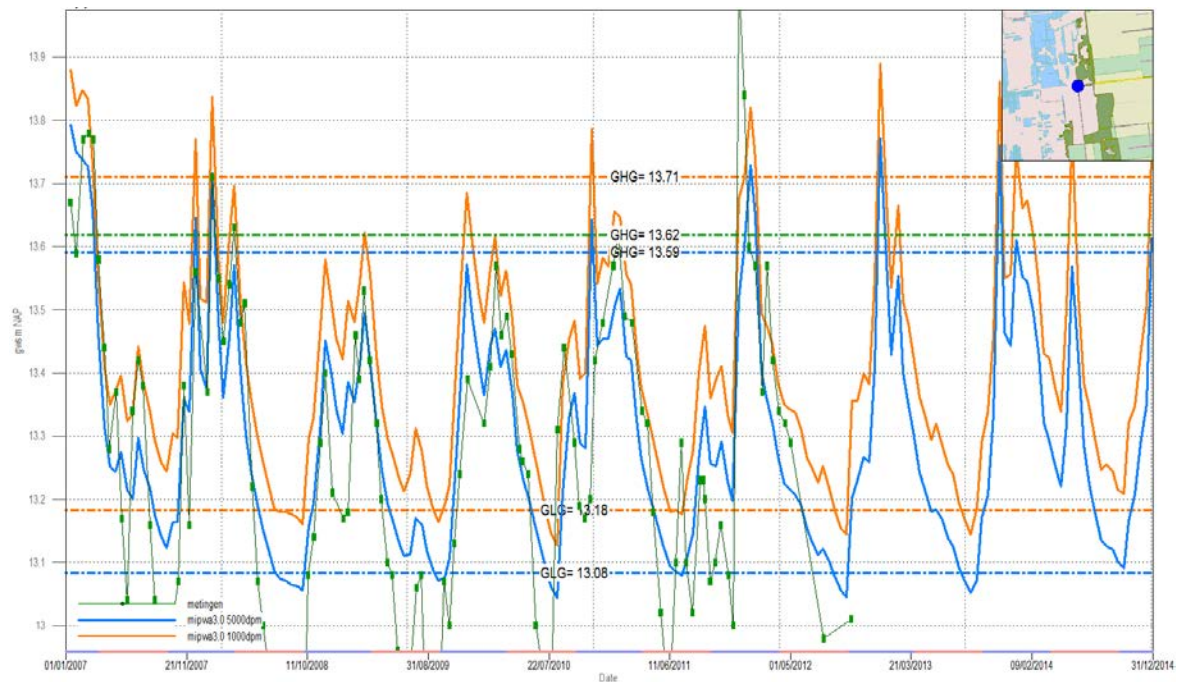




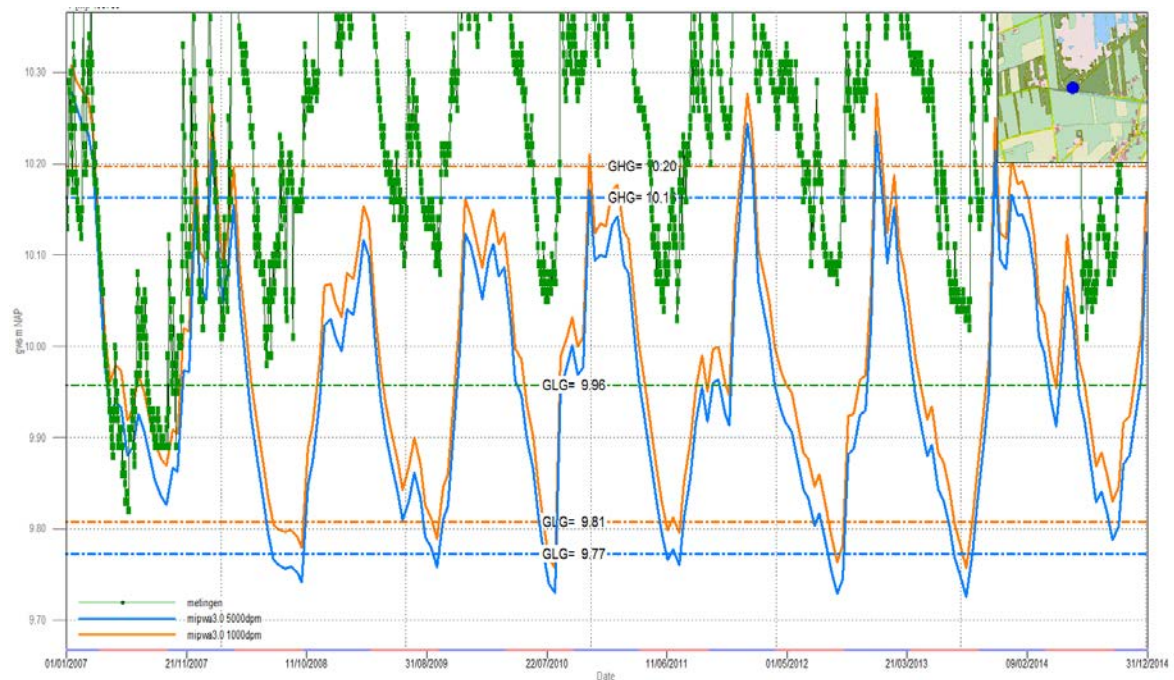
Figuur 5.3 – GHG modelafwijking bij standaard MIPWA 3.0 model (a), conceptueel regionaal model met veenweerstand 1000 d/m (b) en conceptueel regionaal model met veenweerstand 5000 d/m (c) en GLG modelafwijking bij standaard MIPWA 3.0 model (d), conceptueel regionaal model met veenweerstand 1000 d/m (e) en conceptueel regionaal model met veenweerstand 5.000 d/m (f)

### 5.2.3 Tijdstijghoogtelijnen

In figuur 5.4 is de tijdstijghoogtelijn weergegeven van een peilbuis die in de Engbertsdijkvenen is gelegen, bij een veenweerstand van 1000 d/m en 5000 d/m. Uit figuur 5.4 blijkt dat de berekende dynamiek merendeels overeenkomt met de werkelijkheid. Dit geldt ook voor andere peilbuizen die in de Engbertsdijkvenen zijn gelegen. In figuur 5.5 zijn de tijdstijghoogtelijnen weergegeven van een peilbuis die nabij het Geesters Stroomkanaal is gelegen. Uit de figuur blijkt dat de in 2007–2008 uitgevoerde peilverhoging niet in het grondwatermodel is opgenomen. Het verschil tussen model en metingen in de periode na 2008 komt door de uitgevoerde peilverhoging in 2007-2008, deze is niet in het grondwatermodel opgenomen. Dit is voor meerdere peilbuizen nabij het Geesters Stroomkanaal het geval. In bijlage 8 zijn de gemeten en berekende tijdstijghoogtelijnen opgenomen van alle in het gebied gelegen peilbuizen.



Figuur 5.4 – Berekende en gemeten grondwaterstanden in de Engbertsdijkerven

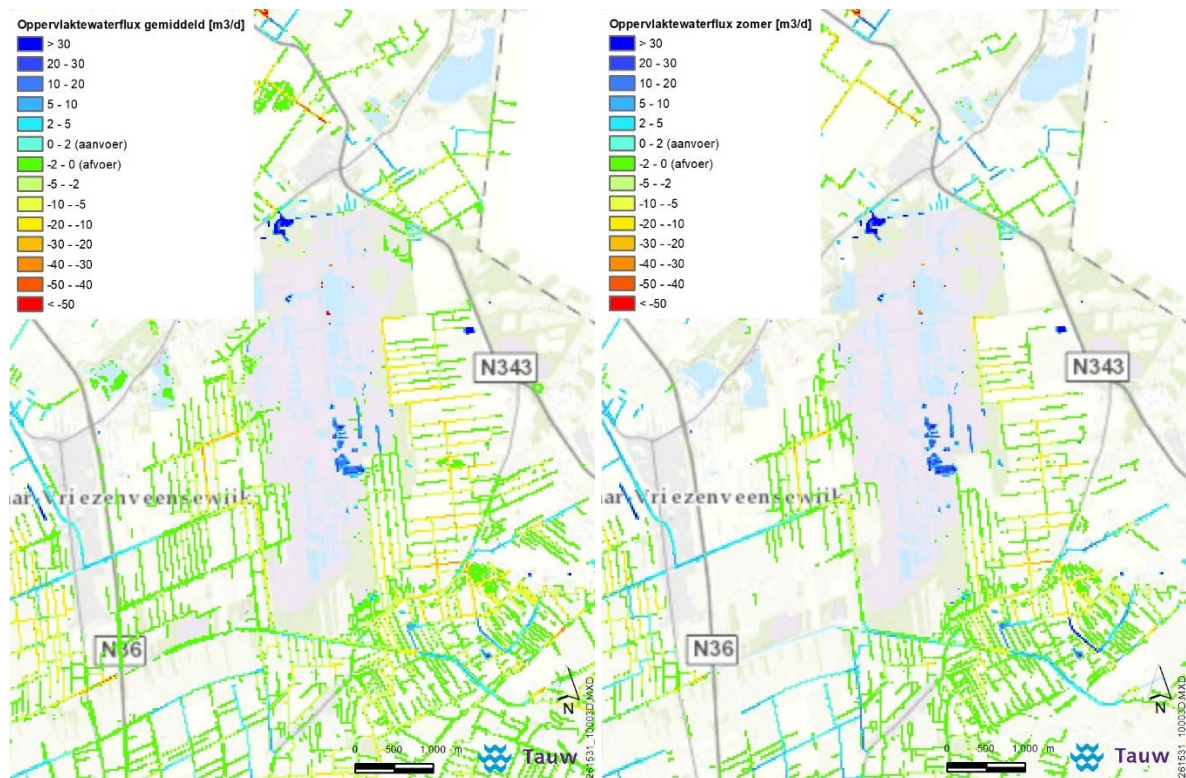


Figuur 5.5 – Berekende en gemeten grondwaterstanden nabij Geesters Stroomkanaal



### 5.2.4 Oppervlaktewaterflux

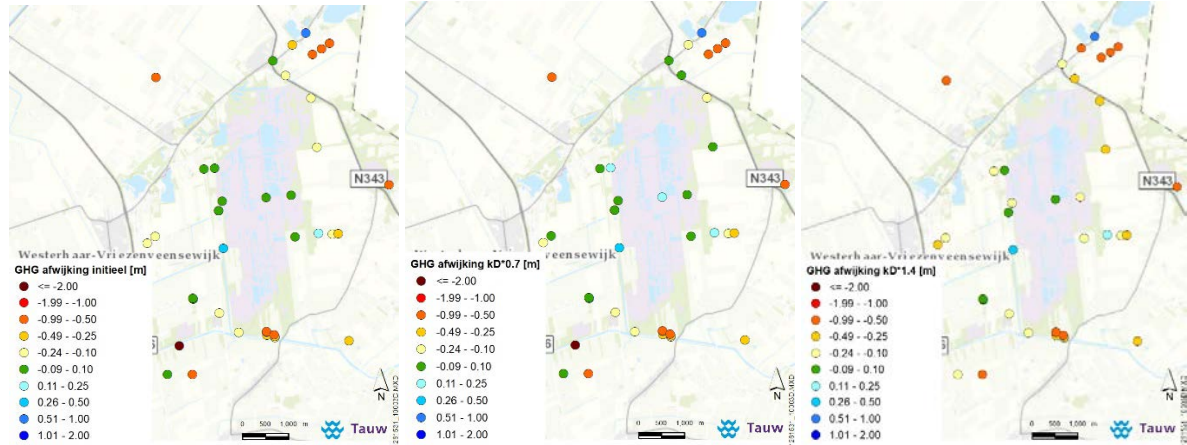
In figuur 5.6 zijn de berekende fluxen van ontwateringsmiddelen weergegeven, voor een gemiddelde situatie en zomersituatie (april t/m september). Uit figuur 5.6 blijkt dat ter plaatse van het Veenschap de afvoer gering is (vooral in de zomer) en dat ten noordoosten van de Engbertsdijkvenen enkele watergangen droog staan (jaarrond geen afvoer of aanvoer van water).



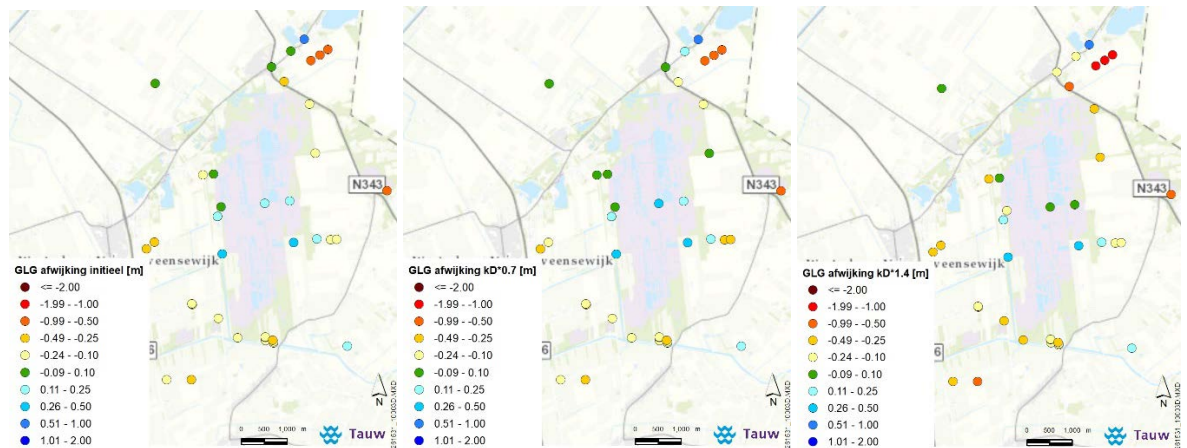
Figuur 5.6 – Fluxen van ontwateringsmiddelen voor een gemiddelde situatie (links) en een zomersituatie (rechts).

### 5.3 Gevoeligheidsanalyse

Het conceptuele gekoppelde model is getoetst op gevoeligheid voor de doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket. Hiervoor is de  $kD$ -waarde van dit pakket vermenigvuldigd met een factor van 0,7 (-30%) en 1,4 (+40%). In figuur 5.7 en 5.8 zijn de modelafwijkingen bij de verschillende doorlatendheden voor respectievelijk de GHG en GLG situatie weergegeven. Uit de figuren blijkt dat een verandering in doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket slechts een beperkte invloed heeft op de modelafwijking. De reden hiervoor lijkt te zijn dat het topsysteem (de veenlaag) in combinatie met de wegzijgingsflux een overheersende rol speelt in de berekening van absolute grondwaterstanden. Uitzondering betreft het gebied ten noordoosten van de Engbertsdijkvenen (richting Duitsland). In deze omgeving neemt bij een lagere doorlatendheid de modelafwijking af.



Figuur 5.7 – GHG modelafwijking bij initiële situatie (links), kD watervoerend pakket vermenigvuldigd met 0,7 (midden) en kD watervoerend pakket vermenigvuldigd met 1,4 (rechts)



Figuur 5.8 – GLG modelafwijking bij initiële situatie (links), kD watervoerend pakket vermenigvuldigd met 0,7 (midden) en kD watervoerend pakket vermenigvuldigd met 1,4 (rechts)



## 5.4 Samenvatting bevindingen

Om te zorgen voor een goede bovenrandvoorwaarde (wegzijgingsflux vanuit het veengebied naar de zandondergrond) voor het regionale MIPWA 3.0 model, is getest of er een koppeling te maken is tussen het lokale veenmodel en het regionale MIPWA 3.0 model. Deze koppeling is een goede methodiek voor het opleggen van de wegzijgingsflux uit het veengebied naar de zandondergrond.

Uit de verificatie van het gekoppelde model is naar voren gekomen dat richting Duitsland de grootste afwijkingen voorkomen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden en stijghoogten van grondwater in de zandondergrond. Daarom wordt aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren naar de geohydrologische situatie en het watersysteem van Duitsland. Dit betreft het controleren van de grondwateraanvulling, randstijghoogten, kD-waarden van de watervoerende lagen en de anisotropie op de in Duitsland gelegen stuwwal.

Daarnaast klopt het modelconcept van het Veenschap niet in MIPWA 3.0. Dit kan opgelost worden door:

- Veen in het topsysteem van MIPWA 3.0 in te brengen en PWT module (zie paragraaf 7.1) toepassen
- Van dit gebied een geïntegreerd lokaal model maken, conform Engbertsdijksvenen
- Vermelden dat ter plaatse van het Veenschap de stijghoogte in de zandondergrond wordt berekend en niet de freatische grondwaterstand in het veen. Peilbuismetingen kunnen in dat geval niet gebruikt worden bij de ijking

Het conceptuele gekoppelde model voldoet niet in delen van de Engbertsdijksvenen waar de grondwaterstand een deel van het jaar boven de veenbasis is gelegen en een deel van het jaar daaronder is gelegen. In paragraaf 7.1 is een mogelijke oplossing hiervoor opgenomen.



## 6 Maatregelenpakket

Met behulp van het gekoppelde model (lokaal en regionaal) zijn ter verkenning de effecten van twee hydrologische maatregelen berekend. Deze maatregelen dienen ter verbetering van de hydrologische omstandigheden in de Engbertsdijksvenen. Doel van deze berekeningen was voornamelijk om gevoel te krijgen bij het verschil in hydrologisch effect van de maatregelen tussen een laag en hoog gehanteerde weerstand van het topsysteem. Daarnaast boodt het de kans om het conceptuele gekoppelde model te testen en een eerste indruk te krijgen van de effecten van enkele bouwstenen.

De twee doorgerekende maatregelen zijn de verhoging van het waterpeil van het Geesters Stroomkanaal en de aanleg van zogenaamde bufferzones. In deze bufferzones vindt geen afvoer van water plaats en kan overtollig water infiltreren in de zandondergrond. Deze maatregelen betreffen externe maatregelen (gelegen buiten de Engbertsdijksvenen). Interne maatregelen zijn in deze studie niet opgenomen.

Om de effecten van de maatregelen te bepalen, is eerst met het gekoppelde model de referentiesituatie berekend. De wijze van koppeling van het lokale veenmodel en regionale grondwatermodel is besproken in paragraaf 5.2. Zowel de referentiesituatie als de twee hydrologische maatregelen zijn met het gekoppelde model doorgerekend met een veenweerstand van 1000 d/m en 5000 d/m. Uit de berekeningen bleek dat na twee iteraties (twee keer een uitwisseling van de wegzijgingsfluxen van het lokale veenmodel en stijghoogte in de zandondergrond van het regionale grondwatermodel) de stijghoogteverandering in de zandondergrond nog 2 cm bedroeg. Dit is als verwaarloosbaar beschouwd. Daarom is de koppeling en daarmee de modelberekeningen na twee iteraties stopgezet.

### 6.1 Maatregel 1: verhoging Geesters Stroomkanaal

#### 6.1.1 Beschrijving maatregel

De peilverhoging van het Geesters Stroomkanaal is een van de in de gebiedsanalyse genoemde maatregelen. De hier uitgevoerde berekeningen en eventuele vervolgfases dienen vorm te geven aan de exacte uitvoering van de peilverhoging (traject waarover maatregel plaatsvindt en hoeveelheid peilverhoging). Voor nu is uitgegaan van een verhoging van NAP 9,85 m naar NAP 11,20 m. In figuur 6.1 is het traject weergegeven waarover deze peilverhoging plaatsvindt. In de periode 2007 – 2008 heeft in de praktijk reeds een peilverhoging van het Geesters Stroomkanaal plaatsgevonden. Deze peilverhoging is niet in het model opgenomen. Daarnaast bestaat er onzekerheid over de bodemweerstand van het kanaal. In een vervolgfase zal deze weerstand verder worden onderzocht. In de praktijk zal bovendien bovenstrooms van de in figuur 6.1 weergegeven zone ook een peilverhoging optreden, tot aan de stroomopwaarts gelegen stuw. Bij een exacte uitvoering van deze maatregel zal een gemaal benodigd zijn om bovenstrooms geen peilstijging te veroorzaken. Het berekende hydrologische effect van de peilverhoging is door deze onzekerheden slechts indicatief.

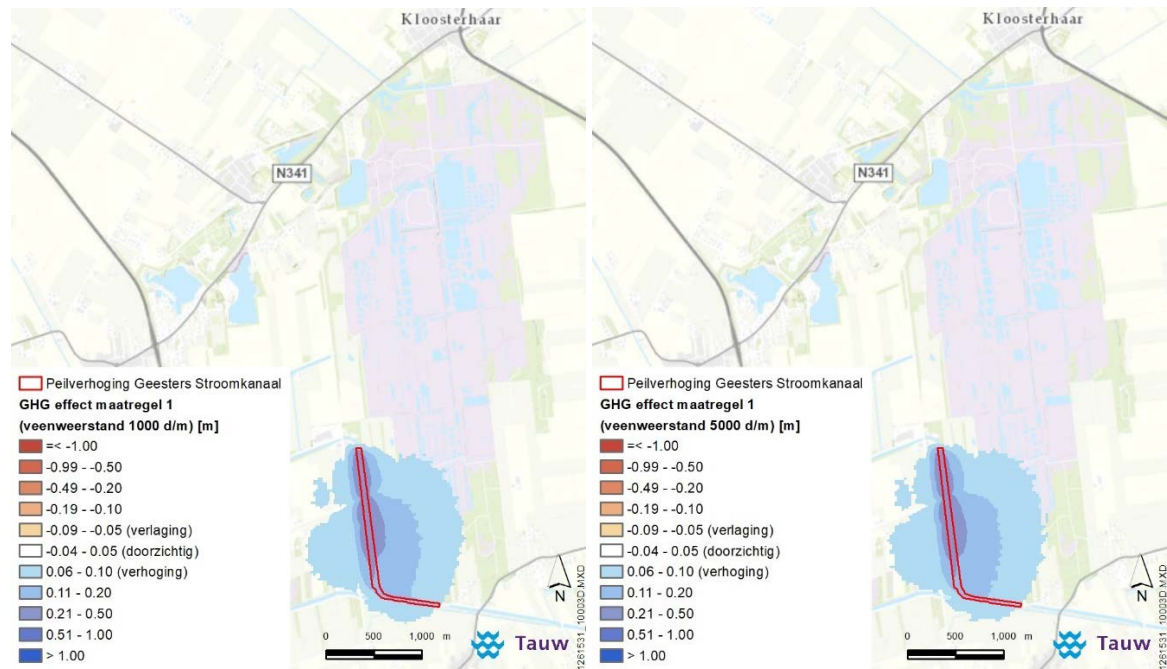


Figuur 6.1 – Traject peilverhoging Geesters Stroomkanaal (peilverhoging van 1,35 m)

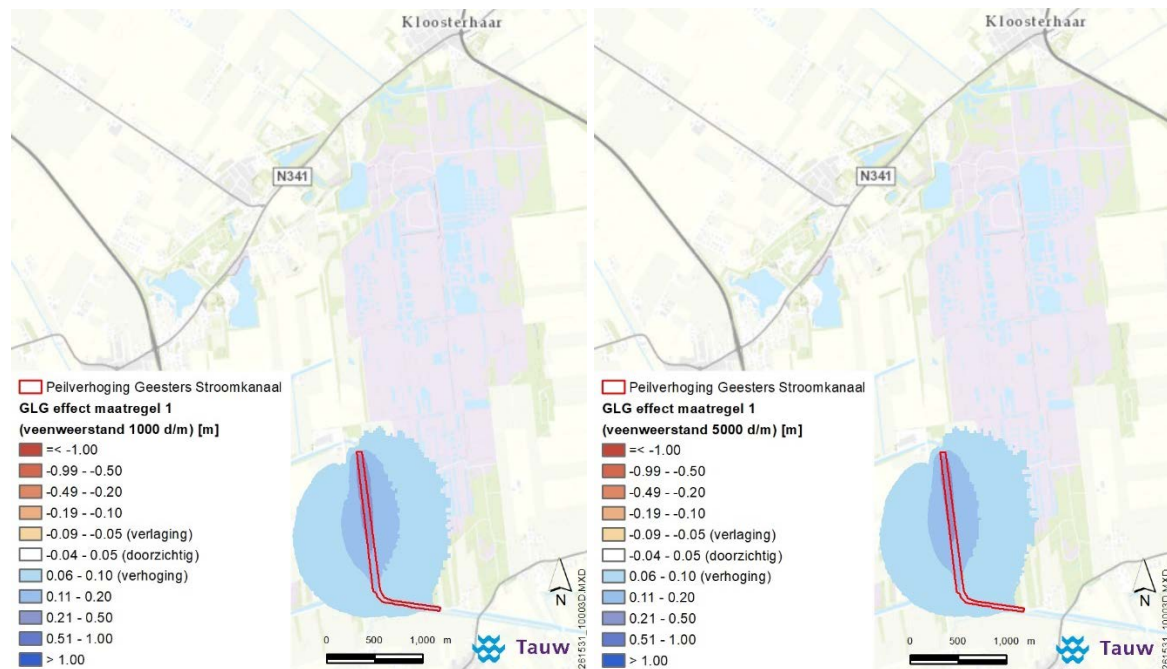
### 6.1.2 Grondwaterstandsveranderingen

Het berekende effect van de maatregel voor respectievelijke de GHG-situatie als de GLG-situatie is weergegeven in figuur 6.2 en 6.3. Een variatie in veenweerstand heeft geen significant effect (minder dan 5 cm) op de freatische grondwaterstand buiten de Engbertsdijksvenen. Ter plaatse van de nabij gelegen woningen treedt geen vernatting op als gevolg van de peilverhoging. Onder de Engbertsdijksvenen zelf ontstaat bij beide toegepaste veenweerstand een relatief kleine verhoging van de stijghoogte in de zandondergrond.





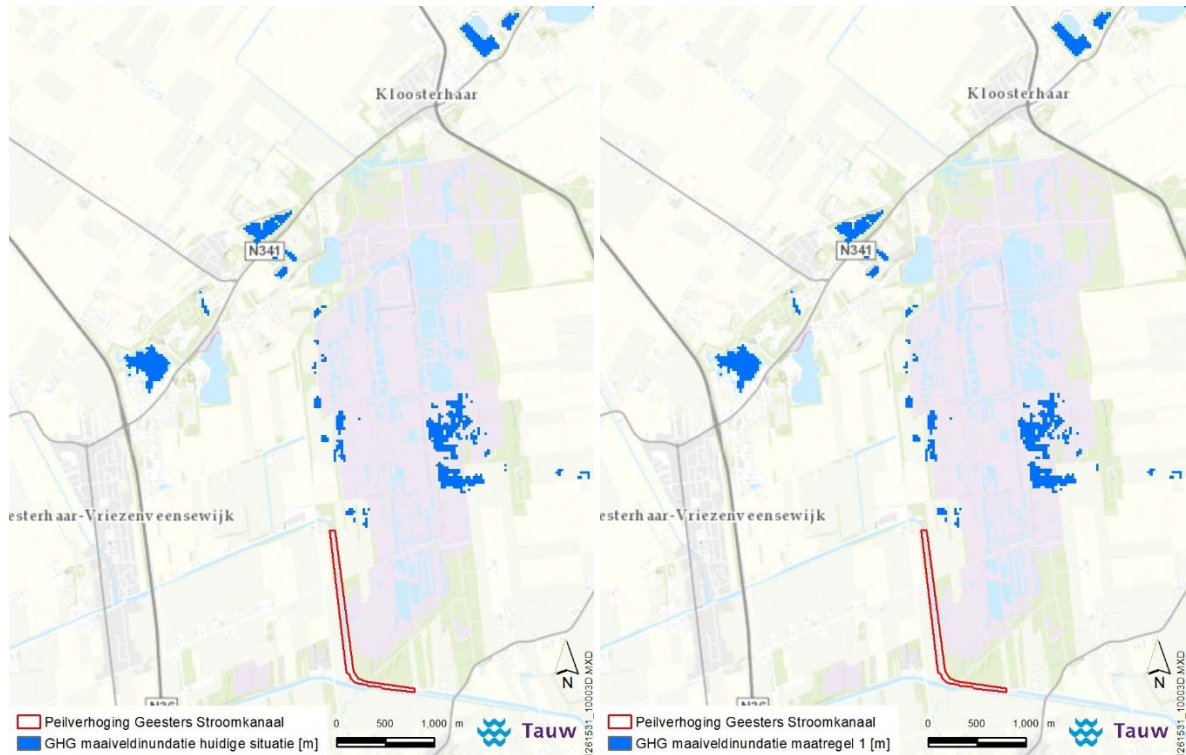
Figuur 6.2 – GHG effect stijghoogte zandondergrond als gevolg van peilverhoging Geesters Stroomkanaal bij veenweerstand van 1000 d/m (links) en 5000 d/m (rechts)



Figuur 6.3 – GLG effect stijghoogte zandondergrond als gevolg van peilverhoging Geesters Stroomkanaal bij veenweerstand van 1000 d/m (links) en 5000 d/m (rechts)

### 6.1.3 Maaiveldinundatie

In figuur 6.4 is de berekende huidige en toekomstige maaiveldinundatie tijdens een GHG situatie weergegeven, bij een veenweerstand van 1000 d/m. De peilverhoging leidt op grond van figuur 6.4 niet tot significant extra inundatie.

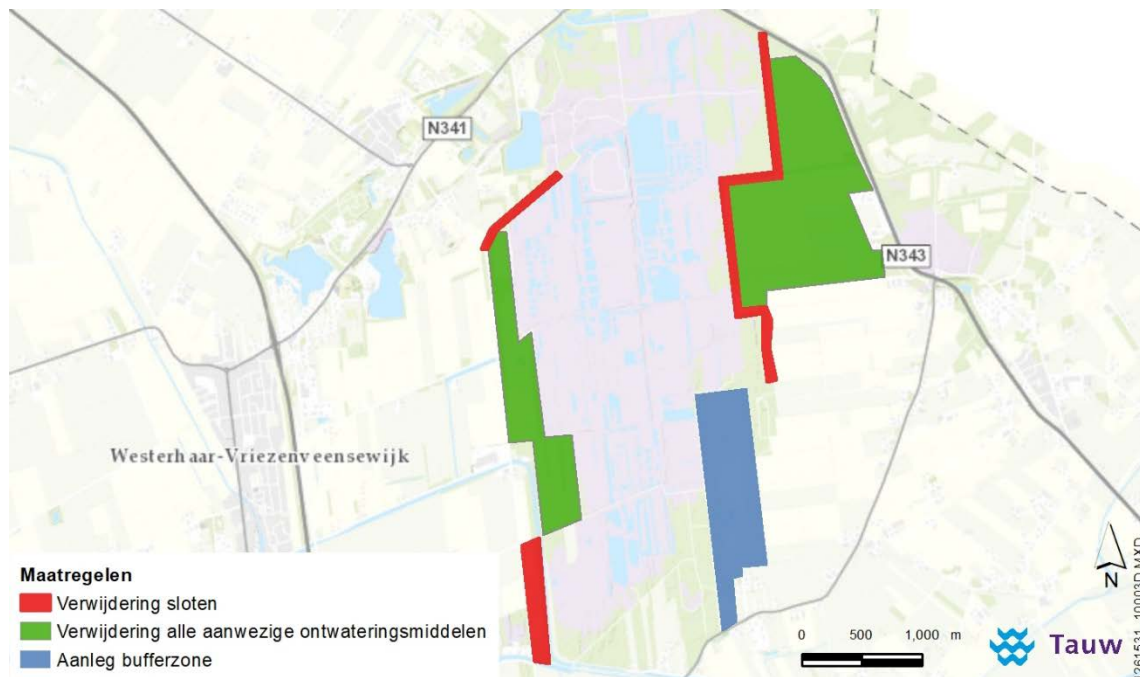


Figuur 6.4 – Berekende GHG maaiveldinundatie bij huidige situatie (links) en bij peilverhoging van Geesters Stroomkanaal met een veenweerstand van 1000 d/m (rechts)

## 6.2 Maatregel 2: verwijdering ontwateringsmiddelen en aanleg bufferzone

### 6.2.1 Beschrijving maatregel

Bij deze maatregel worden in de omgeving van de Engbertsdijksvenen sloten, greppels en drainage verwijderd en een zogenaamde bufferzone aangelegd. In figuur 6.5 is de ligging van deze maatregelen weergegeven.



Figuur 6.5 – Maatregel 2: ligging verwijdering van sloten, greppels en drainage en aanleg bufferzone

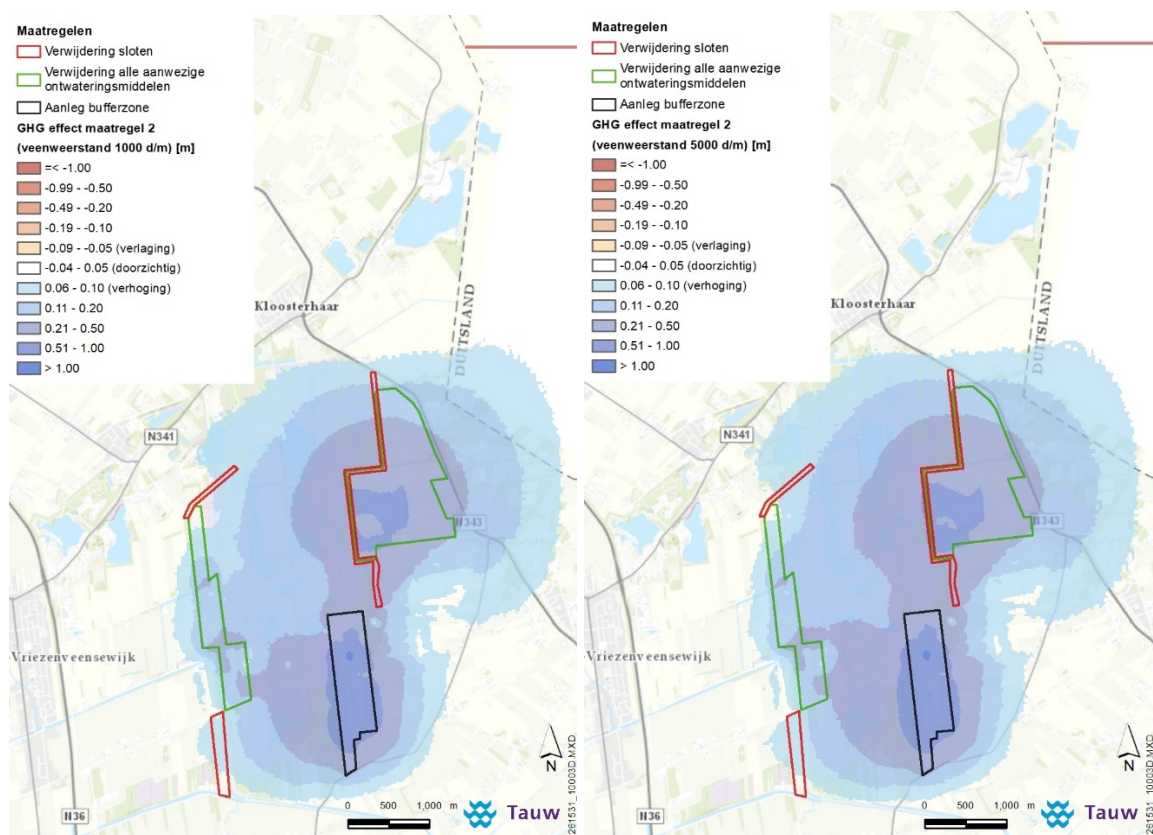
In de gebieden waar alle bestaande ontwateringsmiddelen worden verwijderd, wordt aangenomen dat voeding alleen plaatsvindt door neerslag en kwel. Maaiveldinundatie is in deze gebieden mogelijk. In het grondwatermodel is de mogelijkheid van maaiveldinundatie toegepast met behulp van een zogenaamde ponding. Hierbij kan de waterstand in een rekencel stijgen tot een opgegeven hoogte. Het wordt dus niet afgevoerd zoals dat gebeurt bij toepassing van de OLF module. Wanneer water zich bij ponding boven maaiveld bevindt, bevat dit water een bergingscoëfficiënt van 1,0. Theoretisch gezien is het mogelijk om in het model laterale stroming boven maaiveld te laten plaatsvinden. In de praktijk leidt dit echter tot numerieke instabiliteit. In deze conceptuele fase is er daarom voor gekozen om deze laterale stroming niet te laten plaatsvinden. De berekende maaiveldinundatie wordt hierbij door afwezigheid van laterale afstroming overschat.

In de bufferzone wordt aangenomen dat jaarrond, gebiedsdekkend een vast peil kan worden gehanteerd van 0,5 m boven maaiveld. Indien nodig wordt hiervoor water aangevoerd. Het waterpeil in de bufferzone is berekend door 0,5 m op te tellen bij de maaiveldhoogte van het AHN. Dit is zo uitgevoerd omdat er binnen het gebied een aanzienlijk maaiveldverloop aanwezig is. Een maaiveldweerstand van 10 dagen is gehanteerd (ingeschat op basis van expert-judgement). Dit is een relatief lage maaiveldweerstand. Hierdoor zal het berekende effect van de zuidoostelijke bufferzone relatief groot zijn. In de verdere uitwerking van de maatregelen kan gekeken worden naar de effecten van variatie in maaiveldweerstand op de berekende infiltratiehoeveelheden en grondwaterstanden.

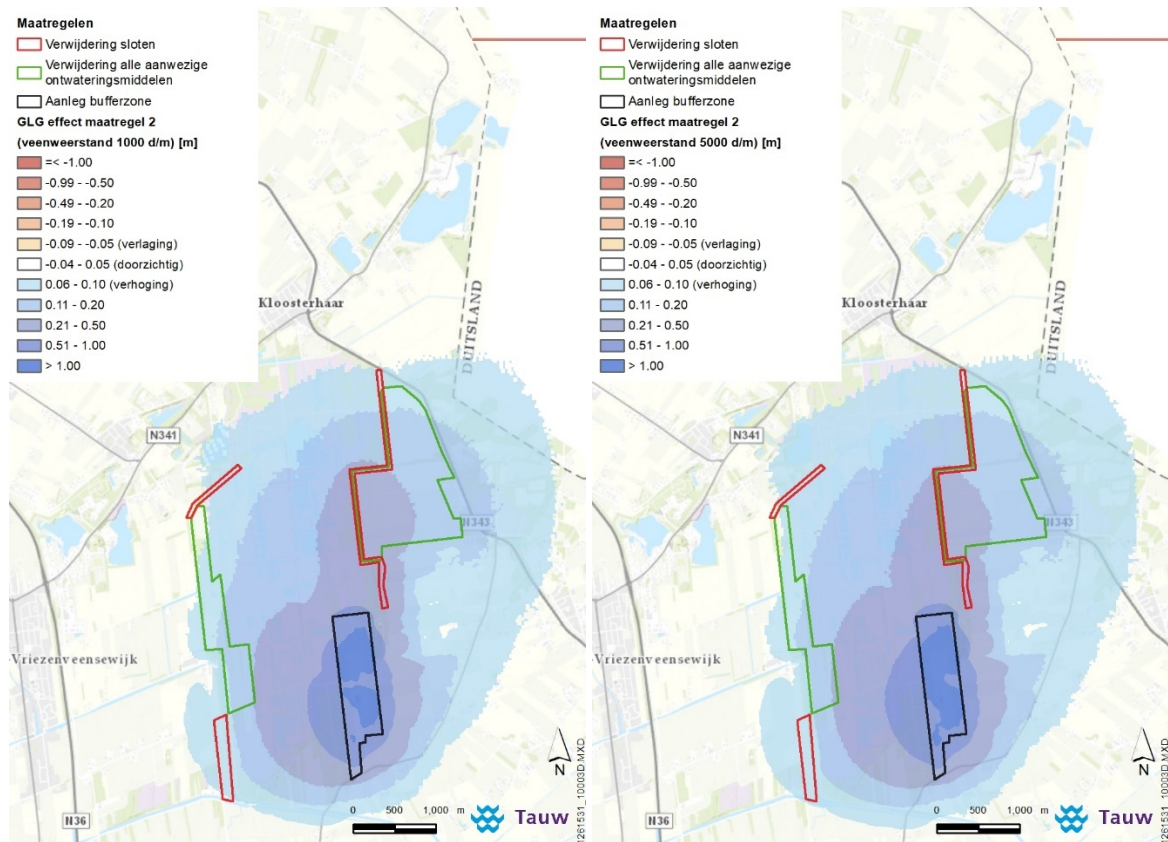


## 6.2.2 Grondwaterstandsveranderingen

Het berekende effect op de stijghoogte in de zandondergrond van de maatregel voor respectievelijk de GHG-situatie als de GLG-situatie is weergegeven in figuur 6.6 en 6.7. Uit de figuren blijkt dat variatie in de veenweerstand een grondwaterstandseffect heeft van maximaal circa 10 cm in en om het noordelijk deel van de bufferzone. Uit figuur 6.6 en 6.7 blijkt dat de effecten van de maatregelen relatief ver in oostelijke richting (richting Duitsland) uitstralen. Dit heeft te maken met het feit dat er nauwelijks ontwateringsmiddelen in Duitsland in het model aanwezig zijn. In werkelijkheid is dit wel het geval, waardoor de effecten in deze richting met het huidige gekoppelde model worden overschat.



Figuur 6.6 – GHG-verandering in zandlaag als gevolg van bufferzone, bij veenweerstand van 1000 d/m (links) en 5000 d/m (rechts)

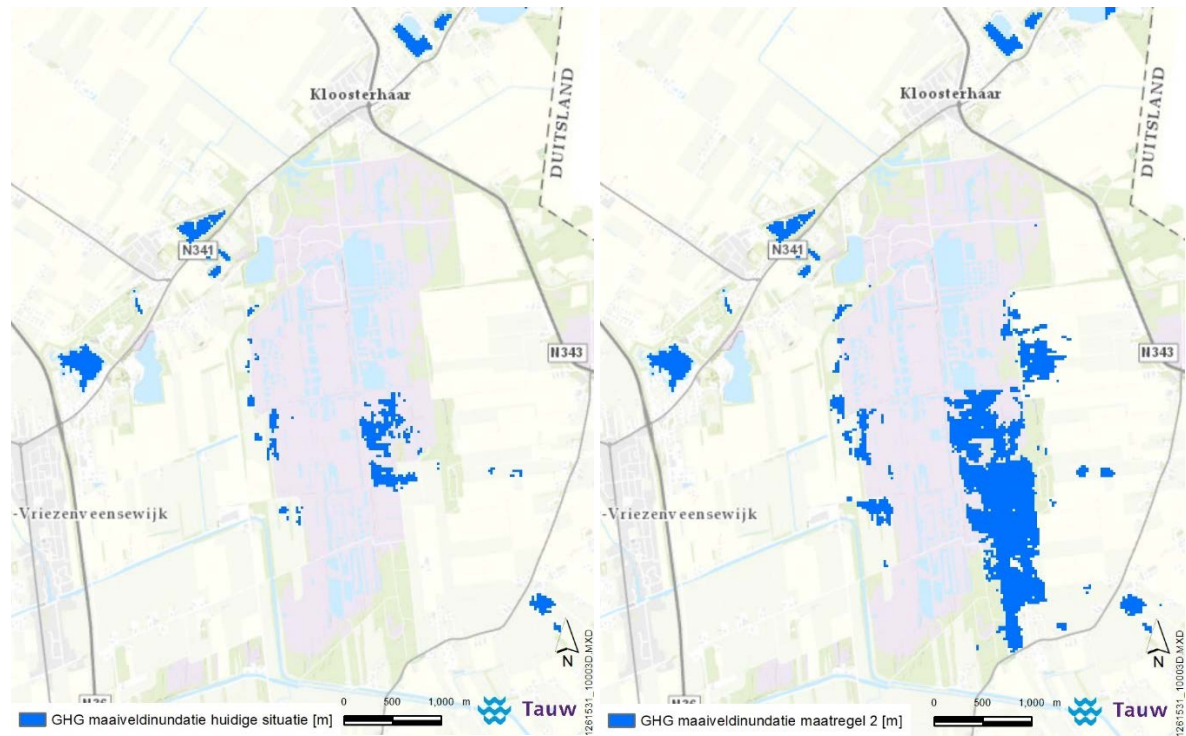


Figuur 6.7 – GLG-verandering in zandlaag als gevolg van bufferzone, bij veenweerstand van 1000 d/m (links) en 5000 d/m (rechts)

### 6.2.3 Maaiveldinundatie

In figuur 6.8 is de berekende maaiveldinundatie weergegeven, voor zowel de huidige situatie als de situatie met de benoemde maatregelen. De maatregelen leiden aan de westzijde tot een aanzienlijke hoeveelheid extra inundatie op maaiveld. Dit treedt op tot buiten de bufferzone. Zoals echter in paragraaf 6.2.1 is besproken, wordt de maaiveldinundatie overschat door de toegepaste ponding-methodiek in het model.





Figuur 6.8 – Berekende freatische GHG voor huidige situatie (links) en situatie met bufferzone (rechts)



## 7 Overige conceptuele bevindingen

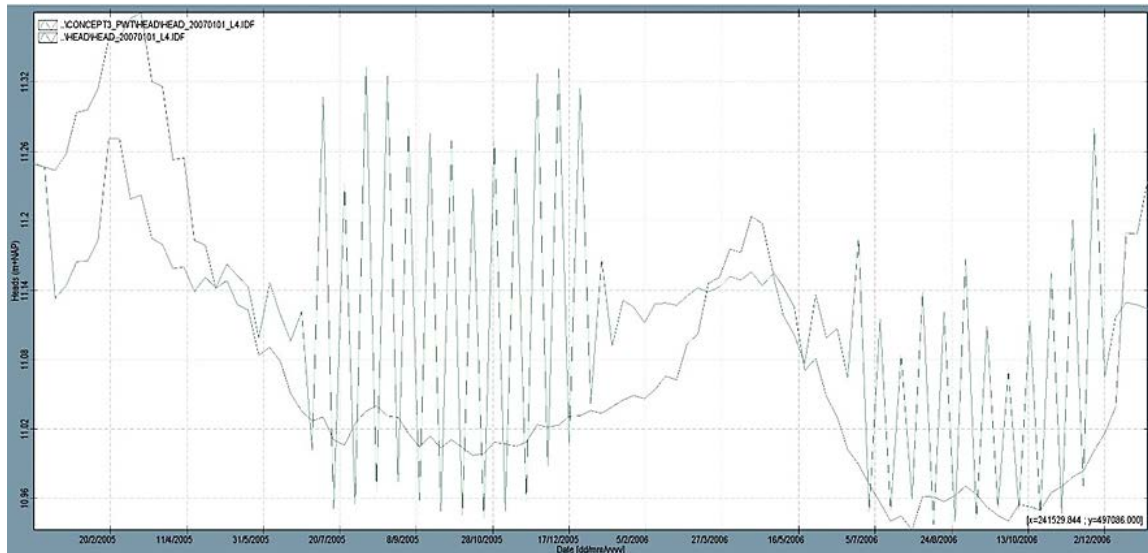
Schijngrondwaterspiegels en de interne compartimentering in de Engbertsdijksvenen zijn in het lokale veenmodel nog niet adequaat gesimuleerd. Daarom zijn enkele testen uitgevoerd waarmee mogelijk deze hydrologische concepten wel adequaat kunnen worden gesimuleerd. De bevindingen hiervan zijn in onderstaande paragrafen beschreven.

### 7.1 PWT module

Wanneer de stijghoogte in de zandondergrond daalt, neemt de wegzijgingsflux vanuit het veen toe. Bij een verdere daling raakt het bovenste deel van de zandondergrond onverzadigd. De wegzijgingsflux neemt bij een dergelijke situatie nog steeds toe, door capillaire werking. Aan deze capillaire werking zit echter wel een maximum. Wanneer de stijghoogte tot een bepaald niveau onder de veenbasis is gedaald, is de wegzijgingsflux maximaal. Bij een verdere daling van de stijghoogte zal de wegzijgingsflux dan niet verder toenemen. In dat geval wordt de wegzijging bepaald door het verschil tussen freatische grondwaterstand en hoogteligging van de veenbasis.

Met de PWT module (Perched Water Table) van iMOD kan een dergelijke schijngrondwaterspiegel gesimuleerd worden. De PWT module houdt er rekening mee dat er een maximum zit aan de wegzijgingsflux. Het drukverschil tussen freatische grondwaterstand en stijghoogte kan hierbij niet groter worden dan tot de opgegeven onderkant van de veenbasis. De PWT module houdt echter geen rekening met een eventuele extra zuigspanning zoals hierboven beschreven, wanneer de stijghoogte tot onder de veenbasis daalt. Dit kan gesimuleerd worden door de veenbasis te verlagen.

Met het conceptuele lokale veenmodel zijn enkele proefberekeningen uitgevoerd. Daaruit bleek dat de PWT module naar behoren functioneert indien de onderkant van de veenbasis (maximaal drukverschil) in modellaag 1 is gelegen. Invoering van de PWT module in meerdere modellagen resulteert echter in instabiele berekeningsresultaten (zie figuur 7.1). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de PWT module wel éénlaags toepasbaar is, maar niet meerlaags.



Figuur 7.1 – Berekende freatische grondwaterstand bij toepassing PWT module, éénlaags en in 4 modellen

## 7.2 Simulatie compartimentering

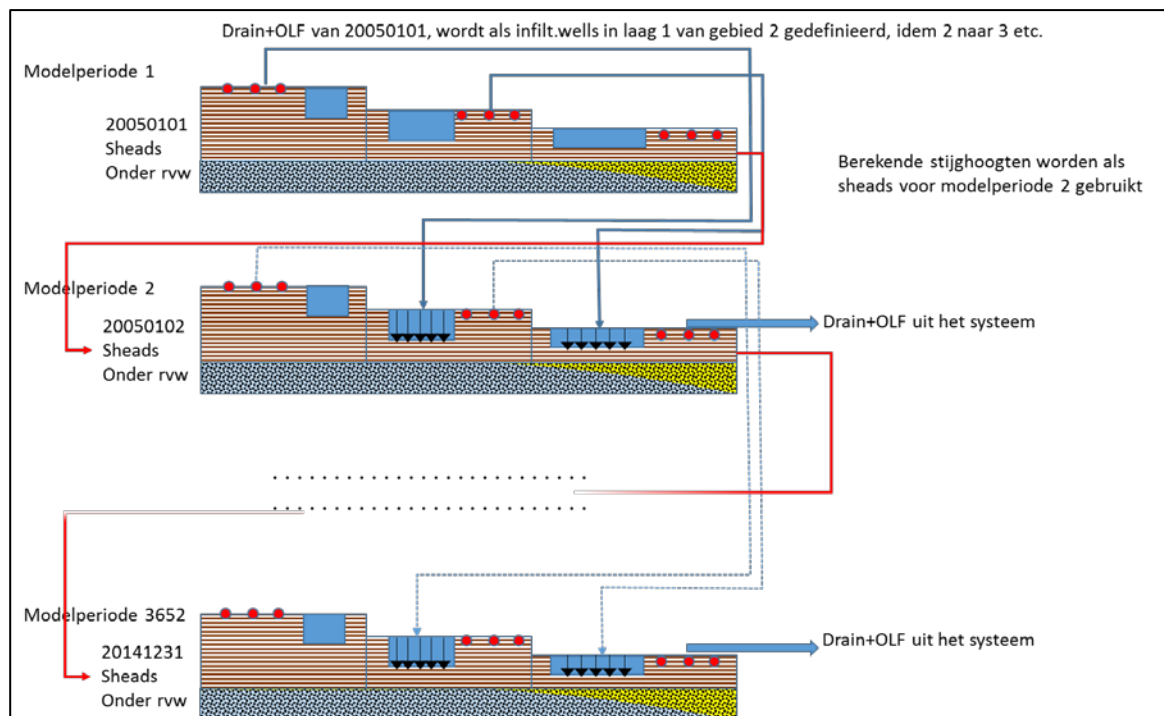
Binnen de Engbertsdijkvenen is sprake van zogenaamde compartimentering, waarbij overtollig oppervlaktewater van het ene naar het andere compartiment kan worden afgevoerd. Om dit te simuleren zijn twee rekenmethoden getest, te weten een combinatie van de LAK en SFR module van iMOD en een eigen ontwikkelt "serieel" dagmodel. In deze testfase is gebruik gemaakt van een versimpelde fictieve compartimentering die niet overeenkomt met de werkelijke, complexere compartimentering in de Engbertsdijkvenen.

### 7.2.1 LAK en SFR module

Met behulp van de LAK (Lake) en SFR (Surface water Flow Routing) modules van iMOD kan het transport van oppervlaktewater van het ene naar het andere compartiment gesimuleerd worden. De LAKmodule berekend het peil van een oppervlaktewaterlichaam in relatie tot een grondwaterstand (op basis van een waterbalans). De SFR module simuleert het transport van water tussen de met de LAK module berekende oppervlaktewaterlichamen. Toepassing van deze modules voor simulatie van de compartimentering is door Tauw getest. Getracht is dit toe te passen in MIPWA 3.0. Het is echter niet gelukt om dit draaiend te krijgen. Vervolgens is een versimpeld, kleiner testmodel opgesteld met daarin de LAK en SFR module. Dit testmodel is draaiend gekregen. De plassen (oppervlaktewaterlichamen) lijken echter in modellaag 2 terecht te komen, terwijl ze in werkelijkheid in modellaag 1 gelegen zijn. Vervolgens is het conceptuele veenmodel aangepast, waarbij de LAK en SFR module in dit model zijn opgenomen. Hiervoor dient het zogenaamde .run bestand door iMOD omgezet te worden naar een .prj bestand. Bij deze conversie worden echter niet alle bestanden meegenomen (o.a. de drainage en grondwateraanvulling bestanden). De simulatie stopt bovendien al na 1 stressperiode en er worden geen uitvoerbestanden aangemaakt. Het is daardoor niet gelukt om met de LAK en SFR modules betrouwbare simulaties uit te voeren van de compartimentering.

## 7.2.2 Serieel dagmodel

Om toch de in Engbertsdijksvenen aanwezige compartimentering in de simulatie te integreren, is het zogenaamde 'serieel' dagmodel bedacht. Het serieel dagmodel is een opeenvolging van modellen, waarbij ieder model een periode simuleert van 1 dag. De compartimentering is met behulp van drainage en wells geschematiseerd. De berekeningsuitkomsten van de vorige dag dienen als invoer voor de dag daarop. De berekeningsuitkomsten betreffen de grondwaterstanden en drainagefluxen. De berekende grondwaterstanden van dag 1 betreffen de initiële grondwaterstanden van dag 2. De drainageflux en oppervlakkige afstroming (OLF) van compartiment 1 wordt op dag 2 ingevoerd in compartiment 2 door middel van wells. Dit simuleert de oppervlaktewaterstromingen tussen de compartimenten. In figuur 7.2 is de werking van het seriële dagmodel schematisch weergegeven.

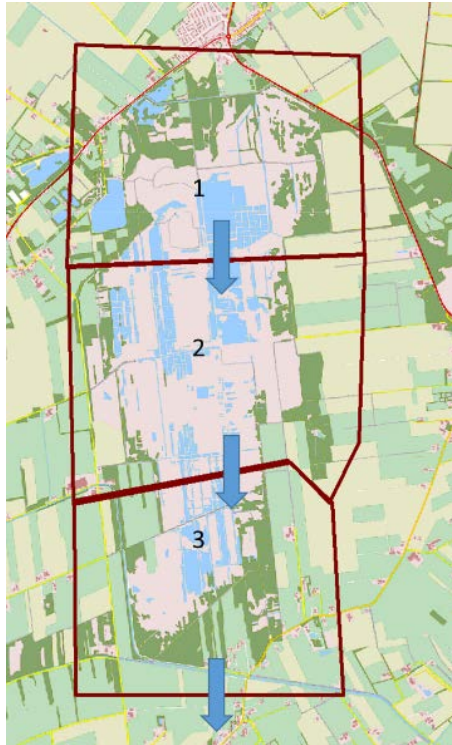


Figuur 7.2 – Schematische weergave werking serieel dagmodel

Het serieel dagmodel is toegepast in het conceptuele veenmodel. Hierbij is de Engbertsdijksvenen als test verdeeld in 3 fictieve deelgebieden, zoals weergegeven in figuur 7.3. In werkelijkheid zijn er veel meer compartimenten aanwezig, maar om de test beheersbaar te houden getest met een beperkt aantal compartimenten. Alle drainage en oppervlakkige afstroming uit gebied 1 wordt de volgende tijdstap geïnfiltreerd in de actieve rekencellen van gebied 2 en alle drainage en oppervlakkige afstroming uit gebied 2 wordt de volgende tijdstap geïnfiltreerd in de actieve rekencellen van gebied 3. De in gebied 3 aanwezige drainage en oppervlakkige afstroming verdwijnt uit het systeem.

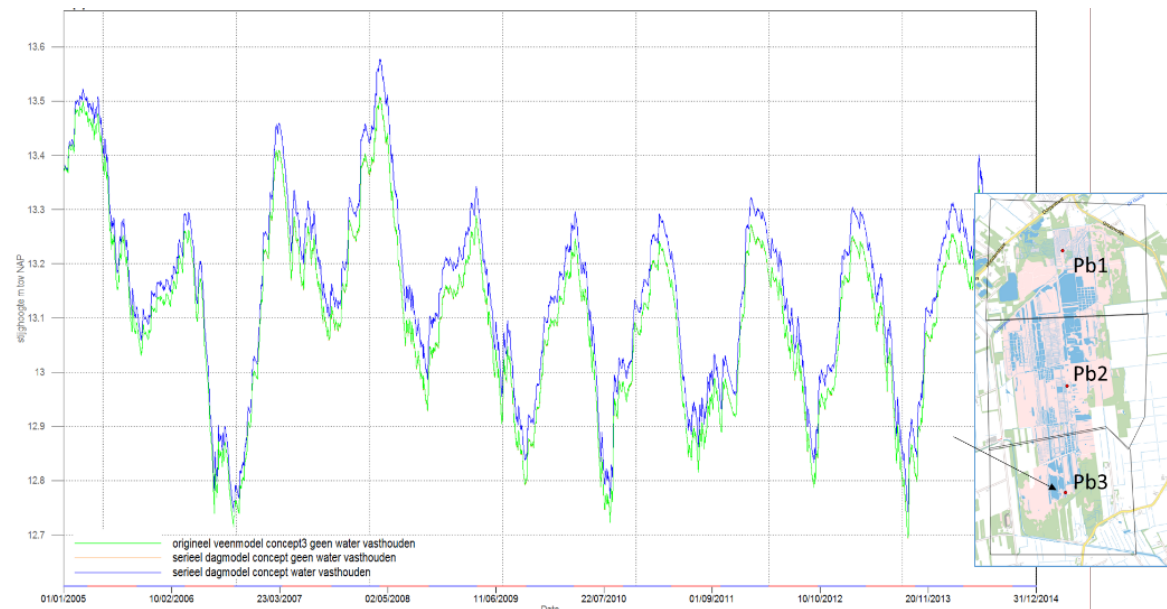


De uit het serieel dagmodel resulterende waterbalans geeft een plausibel beeld. Daarnaast is in het midden van elk deelgebied de freatische grondwaterstand over de tijd berekend. In figuur 7.4 is de berekende grondwaterstand in gebied 3 van beide modellen weergegeven. De berekende waarden geven een plausibel beeld. Daarmee is het serieel dagmodel een bruikbaar instrument om de doorvoer van afstromend oppervlaktewater van het ene naar het andere compartiment te simuleren.



*Figuur 7.3 – Verdeling fictieve afvoergebieden in serieel dagmodel*





Figuur 7.4 – Berekende freatische grondwaterstand ter plaatse van peilbuis 3 met conceptueel veenmodel en serieel dagmodel

## 8 Conclusies en aanbevelingen

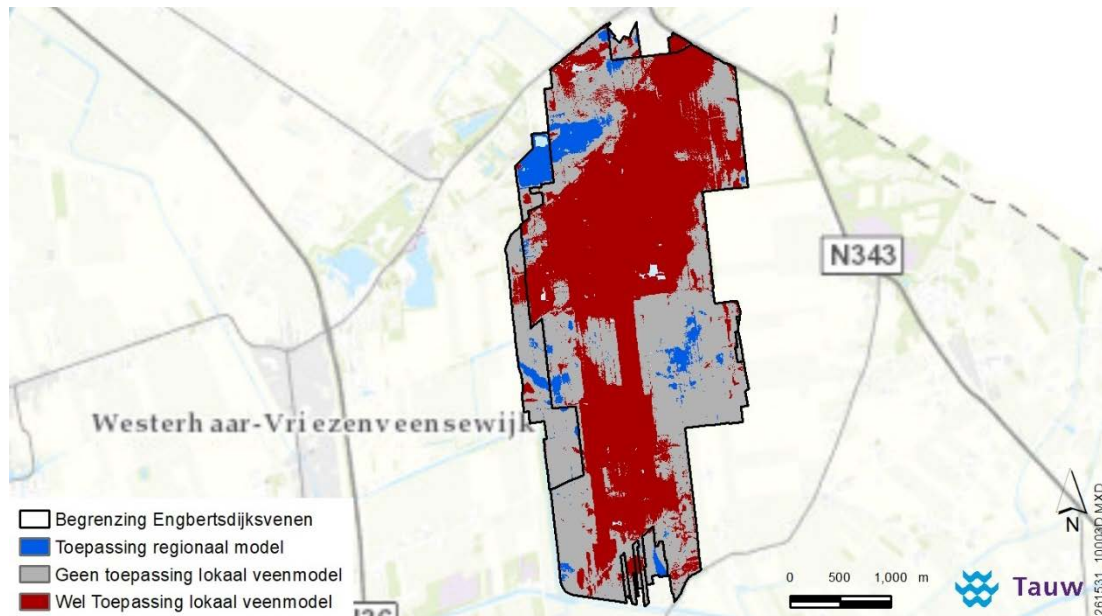
### 8.1 Conclusies

In deze studie zijn de conceptuele mogelijkheden verkend voor de bouw van een model dat het grondwatersysteem in en rondom de Engbertsdijksvenen simuleert. Daarbij is gewerkt met een lokaal veenmodel en een regionaal grondwatermodel, die uiteindelijk aan elkaar zijn gekoppeld. Het lokaal veenmodel simuleert hierbij het topsysteem van de Engbertsdijksvenen. Het regionaal grondwatermodel simuleert de zandondergrond en de omgeving van het veengebied. Het regionaal grondwatermodel is gebaseerd op MIPWA 3.0. In onderstaande paragrafen zijn de conclusies beschreven wat betreft het modelconcept, de parameterwaarden en de bruikbaarheid van het gekoppelde model.

#### Modelconcept

Het conceptuele veenmodel is toepasbaar in gebieden waar de freatische grondwaterstand permanent boven de veenbasis is gelegen. Dit komt overeen met gebieden waar een veendikte van minstens één meter aanwezig is. Het conceptuele veenmodel is niet toepasbaar in gebieden waar de freatische grondwaterstand in de zomer veelal tot in de zandondergrond uitzakt. Dit komt overeen met gebieden met een veendikte van minder dan één meter. Daarnaast zijn er in de Engbertsdijksvenen gebieden waarin de freatische grondwaterstand zich (nagenoeg permanent) in de zandondergrond bevindt. Dit zijn de gebieden waar geen veenlaag aanwezig is.

Hier volstaat het regionale grondwatermodel en is geen conceptueel veenmodel benodigd. De globale zonering met toepassing van de modellen is weergegeven in figuur 8.1.



Figuur 8.1 – Zonering toepasbaarheid conceptuele modellen

In deze fase is naar een oplossing gezocht voor simulering van het gebied waar het conceptuele veenmodel niet toepasbaar is. Een mogelijkheid betreft de toepassing van de PWT module in dit gebied. Deze module simuleert de niet-lineairiteit van de wegzijgingsflux in het veengebied bij een zakkende stijghoogte in de zandondergrond. Toepassing van de PWT module resulteert bij een veenmodel met één modellaag in plausibele uitkomsten. Toepassing van de PWT module met een meerlaags veenmodel resulteert echter in instabiele uitkomsten die niet betrouwbaar worden geacht.

De Engbertsdijkswijk is opgedeeld in zogenaamde compartimenten. Hierbij stroomt oppervlaktewater van het ene compartiment naar het andere compartiment. Deze compartimentering inclusief oppervlaktewaterstroming is getracht te simuleren met behulp van de LAK en SFR modules van iMOD. Dit blijkt niet mogelijk te zijn. Als alternatief is een serieel dagmodel ontwikkeld. Dit levert plausibele resultaten.

Het regionale model MIPWA 3.0 is in de basis toepasbaar voor een adequate simulering van de stijghoogte in de zandondergrond en de freatische grondwaterstand in de omgeving van de Engbertsdijkswijk. De volgende verbeteringen zijn echter wel benodigd:

- Nader onderzoek verrichten naar de aanwezigheid van weerstandsbiedende lagen. Uit boringen blijkt dat in het watervoerend pakket meer van deze lagen aanwezig te zijn dan nu in het grondwatermodel is opgenomen
- Opnieuw inbrengen van drainage en oppervlaktewater op basis van praktijkgegevens en gegevens van waterschap Vechtstromen



- Nader onderzoek verrichten naar het watersysteem in Duitsland. Dit deel van het modelgebied lijkt nu niet adequaat in het model te zijn opgenomen
- Een oplossing bedenken voor een juiste simulatie van het Veenschap. Dit veengebied is op dit moment niet juist geschematiseerd in MIPWA 3.0

### **Parameterwaarden conceptueel veenmodel**

In deze studie is de gevoeligheid van enkele belangrijke parameterwaarden in het conceptuele veenmodel op de berekende freatische grondwaterstanden en wegzijgingsfluxen onderzocht, te weten weerstand topsysteem (gezamenlijke weerstand van veen, gliede- en gyttjalagen en kazige B-horizonten, hierna veenweerstand genoemd), verdampingsfactoren en bergingscoëfficiënten. Hieruit bleek dat de veenweerstand, verdampingsfactoren en bergingscoëfficiënten een significante invloed hebben op de berekende freatische grondwaterstanden. Verschillende parametercombinaties van deze factoren kunnen hierbij tot dezelfde berekeningsuitkomsten leiden.

De veenweerstand heeft de grootste invloed op de berekende wegzijgingsfluxen. De verdampingsfactoren en bergingscoëfficiënten hebben een verwaarloosbaar effect op de berekende wegzijgingsfluxen.

Daarnaast is de invloed van extra zuigspanning op de wegzijgingsfluxen onderzocht. Hieruit bleek dat dit in het zuidelijk gedeelte van de Engbertsdijkvenen effect heeft. Uit verschillende studies en recente inzichten blijkt dat omtrent het systeemgedrag van extra zuigspanning significante onzekerheden bestaan. Het werkelijk effect van extra zuigspanning op de wegzijging is daardoor nog onbekend.

### **Bruikbaarheid model**

De kernvraag van dit onderzoek is of het conceptueel mogelijk is om een grondwatermodel te ontwikkelen, waarmee de effecten op de gestelde habitatdoelen en de omgevingseffecten met voldoende betrouwbaarheid kunnen worden voorspeld, rekening houdend met de kanttekeningen en twijfels die door de Commissie van Deskundigen zijn geplaatst bij de bruikbaarheid van het grondwatermodel uit 2012.

Geconcludeerd kan worden dat het met het ontwikkelde conceptuele model niet mogelijk is om de freatische grondwaterstanden in het veengebied goed te berekenen (en daarmee ook niet de effecten van interne en externe maatregelen op de freatische grondwaterstanden in het veengebied). Hierover kunnen dus geen uitspraken worden gedaan met het grondwatermodel. Er zijn zoals de commissie ook al heeft geconcludeerd te veel parameterwaarden die in detail niet bekend zijn, waardoor met verschillende parametersets hetzelfde resultaat op kunnen leveren met als gevolg een verkeerde schematisatie ten opzichte van de werkelijkheid.

Wel is aangetoond dat de weerstand van het topsysteem (veen en andere weerstandsbiedende lagen) de bepalende factor is voor de mate van wegzijging naar de zandondergrond en dat andere factoren als variatie in oppervlaktewaterpeil, bergingscoëfficiënt en verdamping van ondergeschikt belang zijn. Uiteraard moet het (oppervlakte)waterpeil in het veensysteem wel op het goede niveau zitten.



Middels toepassing van het ontwikkelde “serieel” dagmodel is de compartimentering en de aan- en afvoer van de ene naar het andere compartiment goed te simuleren. Daarmee is het wel mogelijk om het effect van externe maatregelen op de stijghoogten in de zandondergrond en de verandering van de wegzijgingsfluxen uit het veengebied in beeld te brengen. Daarbij geldt wel een belangrijke kanttekening dat de weerstand van het topsysteem (veen en andere weerstandsbiedende laagjes) bekend moet zijn. Aanbevolen wordt om in het vervolg nog goed te kijken of deze weerstand beter kan worden bepaald, eventueel in combinatie met verificatie/kalibratie op de stijghoogten in de zandondergrond onder het veen. Indien dit niet lukt, kan de onbekendheid van deze parameterwaarde worden ondervangen door toepassing van bandbreedte sommen, waarbij gevarieerd wordt met de weerstand.

## 8.2 Samenvatting aanbevelingen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek en de conclusies die daaruit getrokken zijn, worden enkele aanbevelingen gedaan op het gebied van modelverbeteringen en nadere onderzoeksvragen.

### Modelverbeteringen

De in paragraaf 8.1 genoemde modelverbeteringen van MIPWA 3.0 uitvoeren. Door middel van deze verbeterlagen is het mogelijk om de huidige grondwaterstanden in de omgeving van de Engbertsdijkvenen plausibel te berekenen. Tevens kunnen hierna de effecten van externe maatregelen adequaat berekend worden.

Tevens wordt aanbevolen om kritisch te kijken naar de weerstandswaarden van het topsysteem. In de werkgroep is afgesproken om de een parabolisch weerstandswaarde per meter veendikte nader te onderzoeken. Uit praktijkervaring en literatuurgegevens blijkt dat de weerstand per meter veendikte lager is bij dunnere veenlagen. Een parabolische weerstandswaarde kan hiermee meer recht doen aan de werkelijkheid en daarmee de bandbreedte in weerstandswaarden mogelijk verkleinen.

Nader onderzoek is benodigd naar de simulering van de compartimentering middels een serieel dagmodel. In deze conceptuele studie is alleen de werking getest. Een gedetailleerdere opname in het model van de compartimentering sluit beter aan op de werkelijkheid en verbetert daardoor de modelresultaten.

### Nadere onderzoeksvragen

Nader onderzoek naar toepassing van de PWT module kan simulatie van de zone waar de freatische grondwaterstand in de zomer veelal tot in de zandondergrond uitzakt verbeteren.



## 9 Referenties

Akker, J. van den, R. Hendriks & B. van Delft (2017). *De organische veenbasis; Afbraakprocessen in relatie tot hydrologie*. Rapportnummer: 2017/OBN218-NZ. Kennisnetwerk OBN. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen.

Amerongen, F. van, R. Dijkma & J.M. Schouwenaars (1990). *Hydrologisch onderzoek in het hoogveengebied De Engbertsdijksvennen: verslag van de belangrijkste resultaten en verzamelde gegevens in de periode 1987 – 1989*. Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica, Wageningen

Cultuurtechnische Vereniging (1988). *Cultuurtechnisch Vademecum*. ISBN: 90-9002366-6. Cultuurtechnische Vereniging, Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, Utrecht

Dorland, E., G. Cirkel & J.P. Witte (2015). *Verband tussen stijghoogte en grondwaterstand in schijnspiegelsystemen*. Opdrachtnummer: 400359. Opdrachtgever: BTO-Speerpuntonderzoek. KWR, Nieuwegein

*Ecohydrologische schouw Engbertsdijksvennen; Toelichting bij kaartmateriaal en basisbestanden* (2018). Eindrapport MC/LA/170028/18.1029. Online: [https://www.knnv.nl/sites/www.knnv.nl/files/Ecohydrologische\\_schouw\\_Engbertsdijksvennen.pdf](https://www.knnv.nl/sites/www.knnv.nl/files/Ecohydrologische_schouw_Engbertsdijksvennen.pdf)

Jansen, A.J.M., J.R. von Asmuth, P.J.T. van Bakel, E. Brouwer, R.J. Ketelaar & R.L. Terhürne (2013). *De Engbertsdijksvennen: advies van de Commissie van Deskundigen*. Projectnummer: 13.51.1067.02. Opdrachtgevers: Provincie Overijssel & Ministerie van Economische Zaken. Kennisnetwerk OBN (Driebergen).

Jansen, A.J.M., G.A. van Duinen, H.B.M. Tomassen & N.A.C. Smits (2014). *Herstelstrategie H7120: Herstellende hoogvenen*. In: A.S. Adams, C. Aggenbach, G.H.P. Arts, A. Aptroot, A.M. Arens, D. Bal, A. Barendregt, H.M. Beije, B. Beltman, R. Bobbink, J. Bouwman, E. Brouwer, A. Corporaal, H. de Mars, J. den Ouden, H.H. de Vries, R.W. de Waal, D. Groenendijk, A.P. Grootjans, R. Haveman, P.W.F.M. Hommel, M.A.P. Horsthuis, H.P.J. Huiskes, A.J.M. Jansen, A.M. Kooijman, G. Kooijman, L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, D. Melman, M. Nijssen, W.A. Ozinga, M.J.P.M. Riksen, H.N. Siebel, N. Schotsman, P.A. Slim, Q.L. Slings, H. Sluiter, J. Smits, N.A.C. Smits, L.B. Sparrius, K.V. Sýkora, H.B.M. Tomassen, H.F. van Dobben, K. van Dort, G.A. van Duinen, A.M.M. van Haperen, W. van Steenis, R. van 't Veer, L. van Tweel-Groot, G. van Wirdum & M.F. Wallis de Vries. *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats; Ecologische onderbouwing van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS; Deel II)*. Alterra Wageningen UR & Programmadirectie Natura 2000 van het Ministerie van Economische Zaken.





Maris, A. & T. Roelofsen (1978). *Een bodemkundig onderzoek in het natuureservaat Engbertsdijkerven*. Studentenrapport Regionale Bodemkunde, Landbouwhogeschool Wageningen.

Oling, A.J. & R.N.J. Neefjes (2017). *Gebiedsanalyse Engbertsdijkerven, Programmatische Aanpak Stikstof*. Staatsbosbeheer en Dienst Landelijk Gebied. Projectleiding: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Toorn, van der L., M. Rakhorst & N. de Hulster (2012). *Natura2000 Engbertsdijkerven Effectrapportage Eindrapport*. Kenmerk: 076326923:E.3. Opdrachtgever: Dienst Landelijk Gebied. Arcadis Nederlands BV, Apeldoorn



## Bijlage 1

## Verdampingsparameters vegetatietypen



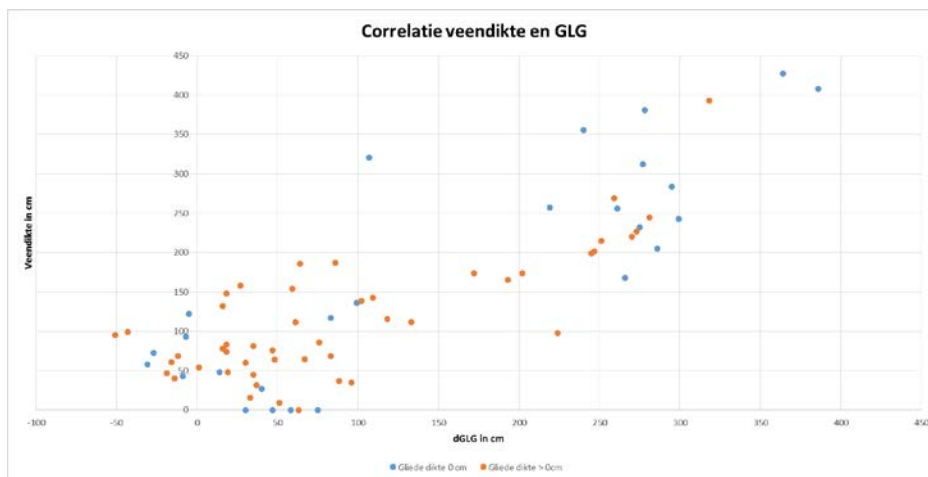


## Bijlage 2

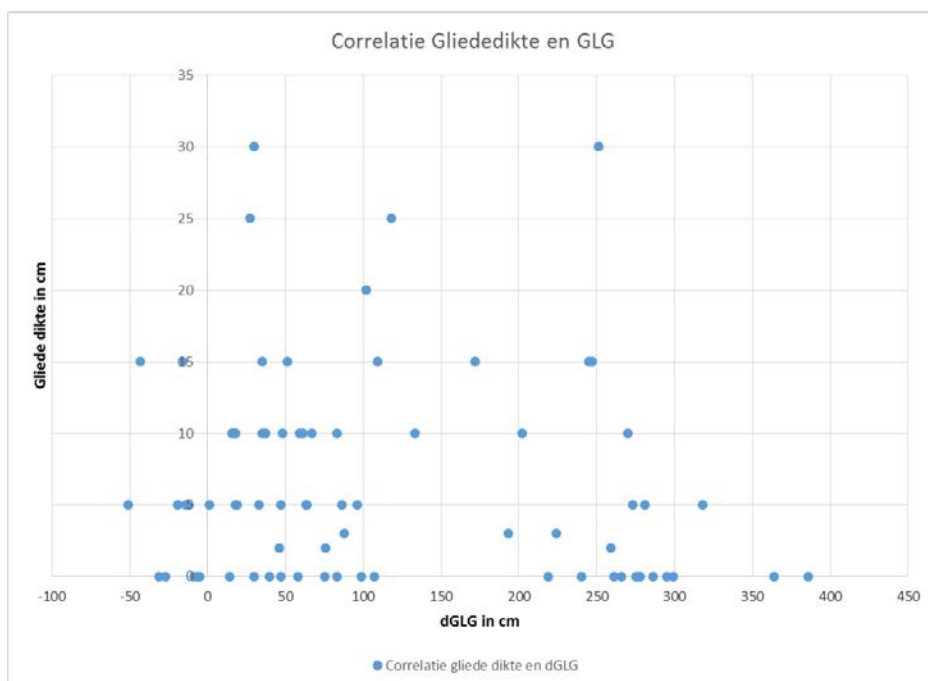
## Correlatie tussen weerstandslagen en drukverschil freatische grondwaterstand vs. stijghoogte

Op basis van de nieuw verzamelde informatie omtrent de veendikte en freatische grondwaterstanden tijdens de ecohydrologische schouw is een kort onderzoek verricht naar de correlatie tussen de dikte van de weerstandsbiedende lagen en het drukverschil tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het zandpakket.

In figuur B2.1 is de correlatie weergegeven van respectievelijk de veendikte met het drukverschil tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte van de zandondergrond. In de figuur zijn met blauw de punten aangegeven waar geen gliedelaag voorkomt en waar wel. Uit de figuur blijkt duidelijk dat er sprake is van een correlatie tussen veendikte en drukverschil. Het voorkomen van de gliede- en gytjalaag lijkt een minder grote rol te vervullen, zoals ook in figuur B2.2 is te zien.



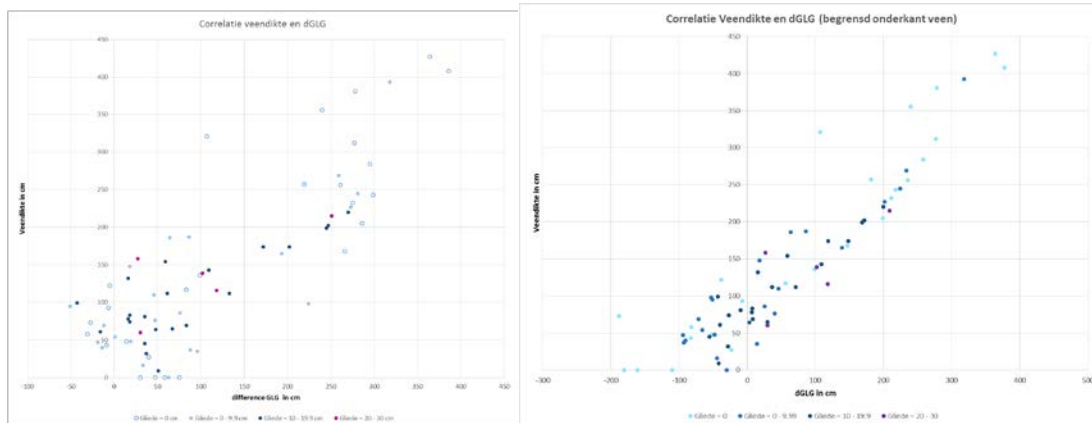
Figuur B2.1 – Correlatie tussen veendikte (y-as) en drukverschil freatische grondwaterstand en stijghoogte zandondergrond (x-as)



Figuur B2.2 – Correlatie tussen dikte gliede-/gytjalaag (y-as) en drukverschil freatische grondwaterstand en stijghoogte zandondergrond (x-as)



In figuur B2.3 is de correlatie weergegeven tussen de dikte van de gliede- en gytjalaag en het drukverschil. Hieruit blijkt geen correlatie aanwezig.



Figuur B2.3 – Gecombineerde correlatie tussen veendikte (y-as), drukverschil freatische grondwaterstanden en stijghoogte zandondergrond (x-as), met daarin kleurgradatie met de dikte van de gliede. Links het feitelijke drukverschil, Rechts met begrensd drukverschil tot onderkant veenbasis.

In figuur 2.1 is dit nog eens nader verfijnd weergegeven. We zien relatief dikke gliede/en gytjalagen voorkomen met weinig veen, waar relatief weinig drukverschil optreedt tussen het freatisch grondwater en de stijghoogte van de zandondergrond. Hieruit kan worden afgeleid dat in dit gebied de veenlaagdikte bepalender is voor weerstand dan de aanwezige gliede- en gytjalaag.

Daarnaast zien we dat bij een begrenzing van het drukverschil tot onderkant van de veenbasis de correlatie duidelijk beter wordt.



## Bijlage 3

## Verdamping veenmosvegetaties en hydraulische veeneigenschappen

## Verdamping van veenmosvegetaties en hydraulische eigenschappen veen

Geert van Wirdum, 1 december 2017

### Verdamping veenmosvegetaties

Ten behoeve van hydrologische modellering van de Engbertsdijkvenen (Tauw) is gevraagd wat de verdamping van veenmos is en hoe die met de grondwaterstand varieert. Ik heb in dat kader toegezegd de resultaten door te geven van een door mij in 1975-'76 uitgevoerd lysimeterexperiment (G. van Wirdum, 1991. Vegetation and hydrology of floating rich-fens, p.285-290; als pdf vrij op internet te vinden, eventueel ook door mij toe te sturen). Indertijd werkten we met gewasfactoren, die gedefinieerd waren t.o.v. de open-watervedamping, zoals berekend door het KNMI met de (gemodificeerde) Penmanformule. In mijn lysimeterexperiment had ik steeds de potentiële verdamping (onbeperkte wateraanvulling). Over de perioden 20 mei tot 31 oktober 1975 en 20 maart tot 15 september 1976 vond ik zo in de veenmoslysimeter (ik had ook nog enkele andere lysimeters) gewasfactoren van 0,59 respectievelijk 0,73; over beide perioden samen 0,67 en een significante correlatie met  $E_0$  (Penman).

“Vertaald” naar de nu meer gangbare gewasfactoren ten opzichte van de potentiële Makkink-verdamping van een referentiegrasvegetatie zijn dat gewasfactoren van ca. 1,25 maal zo groot, dus respectievelijk 0,74, 0,81 en 0,84. Het veenmos in de lysimeter was *Sphagnum flexuosum*, een van de soorten in de sectie *Cuspidata* maar, anders dan *Sphagnum cuspidatum*, meestal (en ook in mijn lysimeter) met de top een paar cm boven water.

In de literatuur worden impliciet of expliciet ook andere definities van gewasfactoren gebruikt. Verder kunnen bij toepassing van meetgegevens gemakkelijk schaalfouten optreden als de gehanteerde referentieverdamping en de meetopstelling niet representatief zijn voor de toepassing. In relatief veel gevallen, waarin naar kleine verdampende oppervlakken, zoals lysimeters, gekeken wordt, heersen direct boven het verdampend oppervlak andere atmosferische condities dan die in de berekening van de referentieverdamping zijn gebruikt. Dat vertroebelt natuurlijk de betekenis van de gewasfactor. Eigenlijk zouden de “verklarende” meteorologische factoren hiertoe niet alleen lokaal, maar ook vrij dicht boven de moslaag gemeten moeten worden.

Wanneer het niet gaat om de reactie van een lokale veenmosvegetatie op de hydrologie (zoals in veel recente studies naar de C-balans), maar om de invloed van veenmosvegetaties op de waterbalans van een groter gebied, lijkt het mij goed om nog in gedachten te houden dat

(1) veenmossen slechts een component van het vegetatiedek zijn. Al naar gelang de aard en de structuur van de vegetatie als geheel kan het zijn dat de veenmossen maar weinig of juist heel veel aan de verdamping van de vegetatie als geheel bijdragen en dat kan in de loop van het jaar ook variëren. Het lijkt mij voorlopig nog de vraag of het wel zo verstandig is in hydrologische studies voor halfnatuurlijke vegetatie in ons land veel verschillende gewasfactoren te gebruiken;

(2) veenmossen, anders dan hogere planten, geen wortels en geen huidmondjes hebben en van soort tot soort een andere “ruwheid” en macroporositeit hebben. Bovendien vertonen zij geen grote seizoensvariatie in activiteit en kleur, maar gedragen ze zich van soort tot soort wel nogal verschillend als verdampend oppervlak. Het concept van een gewasfactor, bedacht voor gewassen met wortels en huidmondjes, in vergelijking tot een referentiegrasveld is daarom niet vanzelfsprekend toepasbaar. Er lijkt mij in elk geval niet één algemeen geschikte gewasfactor voor veenmossen te geven en ze reageren ook verschillend op grondwaterstand en atmosferische condities. De verdamping vindt plaats vanaf de waterfilm rond en tussen de stengels, takken en blaadjes, niet door huidmondjes die open of dicht gaan;

(3) reductie van de verdamping van veenmossen bij grondwaterstandsval in het algemeen geen eenduidige oorzaak heeft. Er kan sprake zijn van uitdroging van een vrij dunne toplaag van het levende veenmos, waarbij temperatuur en luchtvochtigheid, die weer mede van de grondwaterstand afhangen, een belangrijke rol spelen. Ook kan het zijn dat de capillaire opstijging niet toereikend is. Verschillende onderzoekers hebben over de grootte daarvan zeer verschillende opvattingen en onderzoeksresultaten, wat zou kunnen samenhangen met grote verschillen in de poriestructuur van het veen en in de continuïteit van het veenmosdek met onderliggend veen. Bij een dun veenmosdek op zwartveen zou bijvoorbeeld eerder een probleem kunnen ontstaan, dan bij een deken van 1-3 dm op, en mogelijk zelfs continu met, witveen. Zodra de toplaag uitdroogt en bleekgeel wordt, stopt de

verdamping vrijwel. Dit kan al optreden bij een grondwaterstand van 10 cm, maar ook pas bij 40-50 cm onder de top van het mosdek. Onder de toplaag blijft het veenmos nog geruime tijd vochtig.

Dan nog enkele opmerkingen m.b.t. de toepassing in de Engbertsdijksvenen. Het lijkt me van belang dat in de Engbertsdijksvenen twee à drie "typen" veenmosdek dominant zijn. Eén type is dat van de kussens of dekens van de sectie *Palustria* (ook wel *Cymbifolia* of ondergeslacht *Sphagnum* genoemd, onder andere *Sphagnum papillosum*, *S. magellanicum* en *S. palustre*). Dat vormt in de EDV maar op weinig plaatsen en kleine oppervlakte een echt aaneengesloten dek, het mooist nog op de kern, en is daarmee misschien maar van ondergeschikt belang in de waterbalans. Een tweede, misschien het meest belangrijke, type is dat van de natste leden van de sectie *Cuspidata*, in het bijzonder *Sphagnum cuspidatum*, die op grote schaal ondiepe (tot circa 40 cm) plassen in de Engbertsdijksvenen opvullen. Een groot deel van het jaar zijn er maar beperkte stukken, waar het mos dan echt boven het water uitsteekt, maar zeker in de zomer kan dit wel over een grote oppervlakte het geval zijn. In die periode is de verdamping misschien groter dan die van het open water, maar dat lijkt me op het totaal niet erg belangrijk. Een derde, misschien ook nog belangrijk type is een iets drogere variant van het tweede, waarin de bovenste enkele centimeters van het mos het grootste deel van het jaar boven water uitsteekt en de verdamping daardoor nog groter zou kunnen zijn. Dat alles neemt niet weg dat ik door de algehele vegetatiestructuur en de verschillende, deels fors begroeide, dammen en kades, een behoorlijke verdampingsreductie vermoed, wellicht overigens ook voor open water en boomrijke vegetatie.

Er is inmiddels vrij wat onderzoek gedaan naar de verdamping van door veenmos begroeide venen. Een beperkt deel hiervan heeft betrekking op mosdekken van de sectie *Palustria*, terwijl veel andere studies gaan over mosdekken van de secties *Acutifolia* en *Cuspidata*, maar dan niet die van het kletsnatte of iets drogere type met *Sphagnum cuspidatum*, zoals dat in de Engbertsdijksvenen voorkomt. Een vrij recente, beknopte review van relevante bevindingen in het licht van de waterbalans is te vinden in Håkan Rydin & John K. Jeglum (Oxford University Press, 2006), *The biology of peatlands*, p.146-152. Zoals daar geconcludeerd lopen de opvattingen en meetresultaten sterk uiteen, zowel in vergelijking met de potentiële verdamping van een standaard grasvegetatie, als in vergelijking met de verdamping van open water.

Door Joris Schaap is al gewezen op het onderzoek van Jos Schouwenaars, in het kader waarvan de studenten Eggink en Vink maandelijkse gewasfactoren hebben vastgesteld voor verschillende plaatselijk dominante planten, waaronder veenmos (in dit geval *Sphagnum papillosum*). De desbetreffende studentrapporten zijn voor de huidige onderzoeken gescand digitaal beschikbaar gemaakt (vraag eventueel Marcel). Voor veenmos geven zij jaarrond een gewasfactor 1,1. Jos en zijn studenten bepaalden een gewasfactor ten opzichte van referentieverdamping op basis van gegevens gemeten met een lokaal geplaatste meetmast. Jos heeft later ergens anders een andere gewasfactor, ik meen ca.0,9, voor dezelfde experimenten opgegeven, mogelijk een kwestie van een verschillende definitie van de referentieverdamping, maar dat weet ik zomaar niet meer. Jos geeft daarin ook aan dat al bij een grondwaterstand van 10 cm onder de top van het mosdek het veenmos aan de top verdroogt en dat dan de verdamping sterk terugloopt, maar ik ben er nog niet toe gekomen om na te kijken of vragen (Jos is nog wel bereikbaar) wat zij precies gedaan en gevonden hebben. Er zijn overigens ook andere recente studies waar nog wel hogere factoren gevonden worden.

### **Hydraulische eigenschappen veen**

Ik heb ook toegezegd na te kijken wat mijn bevindingen waren uit redelijk uitgebreid literatuuronderzoek (waar Janneke Klein van Deltares veel aan heeft bijgedragen) en uit laboratoriumbepalingen van TNO en het voormalige GeoDelft (oedometer tests, falling-head, verticaal met bovenbelasting) van de hydraulische kenmerken, in het bijzonder de doorlatendheid, van veen. Dit betrof een interne advisering in 2012 t.b.v. een studie in de Peel. De bedoeling was de hydraulische eigenschappen te koppelen aan grondsoorten volgens de standaardboorbeschrijvingsmethode van TNO, die ook in de data in DINO en REGIS terugkomt. Het is niettemin een ernstige beperking dat in de praktijk het onderscheid in verschillende veensoorten maar in een beperkt deel van de gegevens in DINO wordt gemaakt, hoewel soms iets af te leiden valt uit de toekenning aan een formatie, laagpakket of laag en lithofacies. De lab-bepalingen waren door TNO al gescreend op betrouwbaarheid en alleen de 149 betrouwbaar geachte bepalingen werden meegenomen, waarbij natuurlijk blijft staan dat dit lab-bepalingen

zijn aan relatief kleine monsters. Datzelfde geldt voor veel literatuuropgaven. Echt betrouwbare gegevens uit veldstudies op gebiedsschaal zijn er weinig, doordat vrij veel is afgeleid uit balansstudies of modelberekeningen met nogal wat onzekerheden en mogelijke foutenbronnen. Joris heeft al samenvattende gegevens verstrekt uit het onderzoek van Jos Schouwenaars en studenten in enkele deelgebieden in de Engbertsdijksvenen. Hun schattingen zijn (deels) ook in het overzicht van 2012 betrokken. De rapportages van (studenten van) Schouwenaars zijn gescand beschikbaar gemaakt (vraag Marcel, als jullie hier nog geen toegang toe hebben). Ik volsta hieronder met een samenvatting van mijn bevindingen in 2012 (verticale en horizontale doorlatendheid k in md<sup>-1</sup>), gerubriceerd naar de meest voorkomende lagen in veenprofielen. N.B.: Dit is knip- en plakwerk uit een concepttekst van 2012, waar ik nu geen uitgebreide controle op heb gedaan. De opmerkingen over het voorkomen slaan in beginsel op de Peelvenen. De literatuurlijst is niet compleet.

#### *Veraarde bovenlaag*

In ontwaterde venen komt een veraarde bovenlaag voor, waar ook zand in doorgewerkt kan zijn. De hydraulische eigenschappen kunnen daardoor zeer uiteenlopen. Deze laag is een belangrijk deel van het jaar niet met water verzadigd. Wanneer dikte en andere eigenschappen niet bekend zijn, lijkt het niet zinvol deze apart te parametriseren.

#### *Akrotelmveen (levend veenmosdek)*

$$1 < {}^{10}\log(k_h) < 4; 1 < {}^{10}\log(k_h/k_v) < 2$$

Akrotelmveen heeft een zeer grote doorlatendheid, in het bijzonder horizontaal (evenwijdig aan het veenoppervlak). De dikte is in levende hoogvenen vaak circa 30 cm, maar het is niet altijd mogelijk het akrotelmveen goed van het onderliggende witveen te onderscheiden (opm. 2017: Op de onvergraven kern van Engbertsdijksvenen sluit de akrotelm aan op een witveenlaag die hiervan moeilijk te onderscheiden is). In de Peel komt typisch akrotelmveen naar alle waarschijnlijk niet over grote aaneengesloten oppervlakten voor, is de dikte kleiner dan 30 cm en ontbreekt de voor onaangetaste hoogvenen kenmerkende, flauwe helling van het veenoppervlak. Een doorlatendheidsschatting is daarom alleen van belang op lokale schaal, beneden de schaal van de nu beoogde modellering. Het gaat dan om regeneratiecompartimenten waarin de waterstanden beheerst worden door veendammen en stuwen. Ook verticaal is de doorlatendheid nog zo groot, dat die in combinatie met de kleine dikte niet noemenswaardig aan de weerstand van de deklaag bijdraagt; de verticale waterstroming wordt op deze modelschaal bepaald door de onderliggende laag. Parametrisatie van het akrotelmveen lijkt daarom niet zinvol.

#### *Witveen (Formatie van Nieuwkoop, laagpakket van Griendtsveen)*

$$-1 > {}^{10}\log(k_h) > -3; 0 < {}^{10}\log(k_h/k_v) < 1$$

Weinig verweerd en weinig samengedrukt veenmosveen, bij grotere dikte vaak vooral gevormd door breedbladige veenmossen (sectie *Cymbifolia*), die lang een open structuur kunnen behouden. Lokaal nog aanwezig, vooral in de Deurnse Peel; geschatte dikte: 0,2-1 m, maximaal 2 m. Soms afgedekt door akrotelmveen. In het witveen neemt met de diepte de doorlatendheid geleidelijk af. De doorlatendheid is het grootst in nauwelijks verweerd en nauwelijks samengedrukt *Cymbifoliaveen*. Mijn voorlopige indruk is dat dit in het onderzoeksgebied zelden in grote dikte meer voorkomt (Opm. 2017: dat lijkt me ook voor de Engbertsdijksvenen zo, m.u.v. de onvergraven kern).

#### *Zwartveen (Formatie van Nieuwkoop, laagpakket van Griendtsveen, plaatselijk ook Formatie van Boxtel, laagpakket van Singraven)*

$$-3 > {}^{10}\log(k_h) > -4; k_h \text{ ongeveer gelijk aan } k_v, \text{ soms beduidend groter (zie tekst)}$$

Matig tot sterk verweerd, samengedrukt veenmosveen, vooral gevormd door smalbladige veenmossen (sectie *Acutifolia*). Nog betrekkelijk veel aanwezig, ook in (voormalig) landbouwgebied. Daar echter door oxidatie afnemend in dikte. Geschatte dikte gemiddeld 0,5 m. Het zwartveen kan een duidelijk gelaagde opbouw hebben, waarbij het voorkomen van dunne, soms platerige laagjes veenmosveen (diverse secties) kan leiden tot de vorming van preferente, laterale stroombanen. Ook het voorkomen van grof hout kan tot onverwacht grotere doorlatendheid van het pakket leiden. Bij massabewegingen of uitdroging kunnen verticaal scheuren ontstaan. De schatting heeft betrekking op de verzadigde doorlatendheid van veen dat niet aan de lucht is blootgesteld



geweest. Als dat wel het geval is geweest, kan de doorlatendheid gemakkelijk een factor 10 groter zijn, doordat de colloïdale eigenschappen van het anaeroob verweerde veen dan verloren gegaan kunnen zijn.

*Gyttja, gliede en riet-, zeggeveen (lithostratigrafie als zwartveen)*

$-3 > {}^{10}\log(k_h) > -6$ ;  $k_h$  ongeveer gelijk aan  $k_v$

Hoewel deze lagen van origine en in uiterlijk en overige kenmerken heel verschillend zijn, worden ze hier samengenomen, omdat de verspreiding van de afzonderlijke typen vermoedelijk slecht bekend is en omdat ze voornamelijk voorkomen als een minder doorlatend deel van het pakket op de overgang van de minerale ondergrond naar het bovenliggende veen en ingeschakeld in zwartveenpakketten. Bij ondiep voorkomen (minder dan ca. 3 dm beneden maaiveld, en in het bijzonder wanneer de laag aan tijdelijke uitdroging blootstaat, is er nauwelijks sprake van afsluiting.

*Afgedekte veenlagen (Formatie van Boxtel, o.a. laagpakket van Singraven)*

$-3 > {}^{10}\log(k) > -4$ ;  $k_h$  ongeveer gelijk aan  $k_v$

De afgedekte veenlagen kunnen zeer verschillend van karakter zijn, zowel door verschil in het veen, als in minerale bijmenging. Ook hier ontbreken daarover waarschijnlijk verspreidingsgegevens. De hydraulische kenmerken stemmen naar alle waarschijnlijkheid overeen met die van zwartveen, hoewel zowel meer doorlatende, als juist sterk samengedrukte, amorfe en weinig doorlatende lagen kunnen voorkomen. In de afgedekte veenlagen lijkt het optreden van scheuren minder aannemelijk.

### **Verdere schematisatie**

Gezien de vele onbekenden lijkt het vooralsnog het handigst om voor het veen als deklaag onderscheid te maken tussen dunne, matig dunne en dikke veenpakketten. Zeer dikke veenpakketten (> 3 m) komen in het studiegebied van de Peel nauwelijks of niet voor. In matig dunne en dikke pakketten kan in aanmerking genomen worden dat er vaak permanent nat zwartveen en een overgangslaag voorkomen. Ook dunne pakketten kunnen uit zwartveen bestaan, maar in dit geval verliest het zijn afsluitende eigenschappen als gevolg van tenminste incidentele uitdroging, veraarding en andere oorzaken. We krijgen dan:

#### ***Dunne (<0,5 m) veendekken***

$0 > {}^{10}\log(k_h) > -2$  (m/d);  ${}^{10}\log(k_h/k_v) = \text{ca. } 1$ ;  $100 < c < 500$  (d).

Het is de vraag of de grotere horizontale doorlatendheid op de modelschaal van belang is, omdat dunne veendekken hier bijna steeds voorkomen in door kades, stuwen en dammen beheerste compartimenten en niet in een natuurlijke terreinhelling. Dit betekent evengoed wel dat flinke laterale verliezen mogelijk zijn als daar lekken in zitten.

#### ***Matig dunne (0,5-1,0 m) veendekken***

$-2 > {}^{10}\log(k_h) > -3$  (m/d);  ${}^{10}\log(k_h/k_v) = \text{ca. } 0,5$ ;  $500 < c < 2000$  (d).

#### ***Dikke veendekken (>1 m) en afgedekte veenlagen***

$-3 > {}^{10}\log(k) > -4$  (m/d);  $k_h$  ongeveer gelijk aan  $k_v$ , in deklaag soms beduidend groter;  $2000 < c < 20000$  (d).

### **Vereenvoudiging tot één formule (niet aanbevolen voor algemeen gebruik)**

Schouwenaars (1990) gebruikte een formule om de c-waarde van de deklaag in dagen te schatten:

$$c = a \cdot D^b,$$

met

c weerstand (d)

a "basiswaarde" voor de weerstand per meter ( $d \cdot m^{-1}$ )

D laagdikte in m

b parameter

In de Engbertsdijksvenen vond hij in een veldstudie in deelgebieden met veendikten van 0,25 tot 3 m dikte goede resultaten met  $3500 < a < 4000$  ( $d \cdot m^{-1}$ ) en  $b = 1,0$ . Het lijkt echter zeer de vraag of een dergelijke benadering zonder

zorgvuldige nadere studie ook voor andere gebieden (Opm.2017: en voor andere perioden; in de Engbertsdijksvenen zijn mogelijk dunne, destijds met water verzadigde zwartveenresten, waarvan de onderkant uit een overgangslaag bestaat, deels verdroogd of anderszins aangetast) te verkiezen is. De formule houdt bij gebruik van de parameterwaarde  $b=1,0$  geen rekening met de afname van de doorlatendheid met de diepte en ook niet met de versterking daarvan bij de overgang van wit- naar zwartveen. Voor dikke, nauwelijks of niet gedraineerde veenpakketten is dit minder een probleem omdat met toenemende dikte de kleine doorlatendheid van het onderste deel van het pakket gaat overheersen.

#### **Geraadpleegde bronnen** (diverse rapporten nog in te voegen; liggen op plank rechts naast mijn bureau)

Baird, A.J. & S.W. Gaffney, 1995. A partial explanation of the dependency of hydraulic conductivity on positive pore water pressure in peat soils. *Earth Surface and Landforms* 20: 561-566.

Baird, J.A., 1997. Field estimation of macropore functioning and surface hydraulic conductivity in a fen peat. *Hydrol. Process.* 11: 287-295.

Beckwith, C.W., A.J. Baird & A.L. Heathwaite, 2003. Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: laboratory measurements. *Hydrol. Processes* 17: 89-101.

Boelter, D.H., 1968. Important physical properties of peat materials. *Third International Peat Congress, Quebec*, p. 150-154.

#### **Bosch**

Erkens, G., M. van den Berg & J. Griffioen, 2011. Veen en geo-informatievoorziening door TNO. *TNO-rapport TNO-060-UT-2011-01127A, Utrecht, 54 pp.*

Gafni, A. & K.N. Brooks, 1990. Hydraulic characteristics of four peatlands in Minnesota. *Can. J. Soil Sci.* 70: 239-253.

#### **Gore**

Heathwaite, A.L. & K. Göttlich, 1993. *Mires; process, exploitation and conservation*. Wiley, Chichester, 506 pp.

#### **Hirst**

Hoag, R.S. & J.S. Price, 1995. A field-scale, natural gradient solute transport experiment in peat at a Newfoundland blanket bog. *J. of Hydrol.* 172: 171-184.

Hoag, R.S. & J.S. Price, 1997. The effects of matrix diffusion on solute transport and retardation in undisturbed peat in laboratory columns. *J. of Contaminant Hydrol.* 28: 193-205.

Holden, J. & T.P. Burt, 2003. Hydraulic conductivity in upland blanket peat: measurement and variability. *Hydrol. Process.* 17: 1227-1237.

Kennedy, G.W. & J.S. Price, 2005. A conceptual model of volume-change controls on the hydrology of cutover peats. *J. of Hydrol.* 302: 13-27.

Letts, M.G., N.T. Roulet, N.T. Comer, M.R. Skarupa & D.L. Versegny, 2000. Parametrization of Peatland Hydraulic Properties for the Canadian Land Surface Scheme. *Atmosphere-ocean* 38 (1): 141-160.

Lewis, C., J. Albertson, X. Xu & G. Kiely, 2011. Spatial variability of hydraulic conductivity and bulk density along a blanket peatland hillslope. *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.8252. *Hydrol. Process.*, DOI: 10.1002/hyp.8252.

#### **Lomen**

Millette, J.A. & R.S. Broughton, 1986. Monolith columns for studying organic soil profiles. *Can. J. Soil Sci.* 66: 737-742.

Price, J.S. & P.N. Whittington, 2010. Water flow in *Sphagnum* hummocks: mesocosm measurements and modelling. *J. of Hydrol.* 381: 333-340.

Price, J.S., 1992. Blanket bog in Newfoundland. Part 2. Hydrological processes. *J. of Hydrol.* 135: 103-119.

Quinton, W.L., M. Hayashi & S.K. Carey, 2008. Peat hydraulic conductivity in cold regions and its relation to pore size and geometry. *Hydrol. Process.* 22: 2829-2837.

Rizzuti, A.M., A.D. Cohen & E.M. Stack, 2004. Using hydraulic conductivity and micropetrography to assess water flow through peat-containing wetlands. *Int. J. of Coal Geol.* 60: 1-16.

Schwärzel, K. & H.P. Bohl, 2003. An easily installable groundwater lysimeter to determine water balance components and hydraulic properties of peat soils. *Hydrology and Earth System Sciences* 7(1): 23-32.

Schwärzel, K., J. Šimůnek, H. Stoffregen, G. Wessolek & M.Th. van Genuchten, 2006. Estimation of the unsaturated hydraulic conductivity of peat soils: laboratory versus field data. *Vadose Zone Journal* 5: 628-640.

Schwärzel, K., M. Renger, R. Sauerbrey & G. Wessolek, 2002. Soil physical characteristics of peat soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165: 479-486.

Surridge, B.W.J., A.J. Baird & A.L. Heathwaite, 2005. Evaluating the quality of hydraulic conductivity estimates from piezometer slug tests in peat. *Hydrol. Process.* 19: 1227-1244.

#### Tomassen

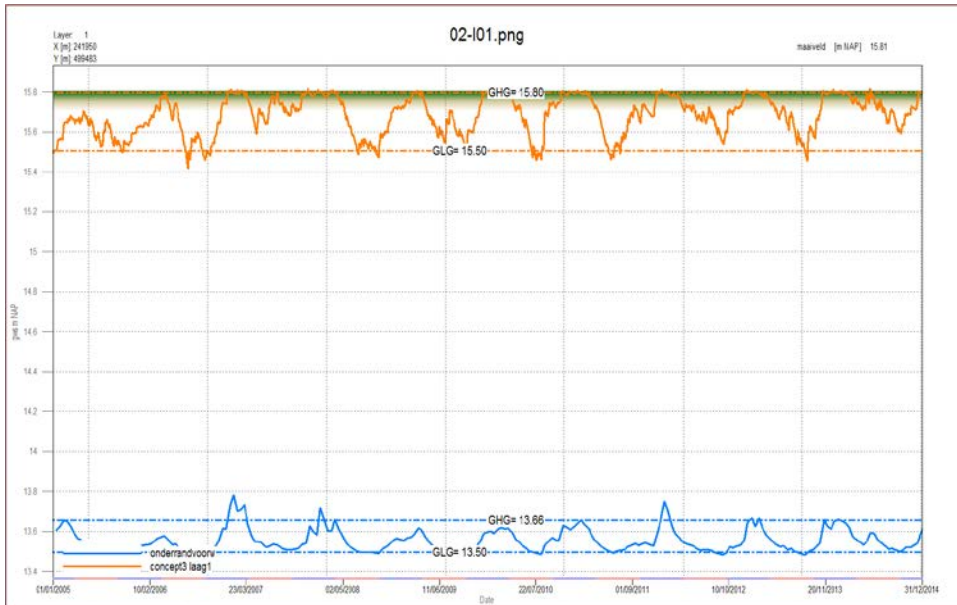
Van der Schaaf, S., 2004. A single well pumping and recovery test to measure *in situ* acrotelm transmissivity in raised bogs. *J. of Hydrol.* 290: 152-160.

Wong, L.S., R. Hashim & F.H. Ali, 2009. A review on hydraulic conductivity and compressibility of peat. *J. of Applied Sciences* 9(18): 3207-3218.



## Bijlage 4

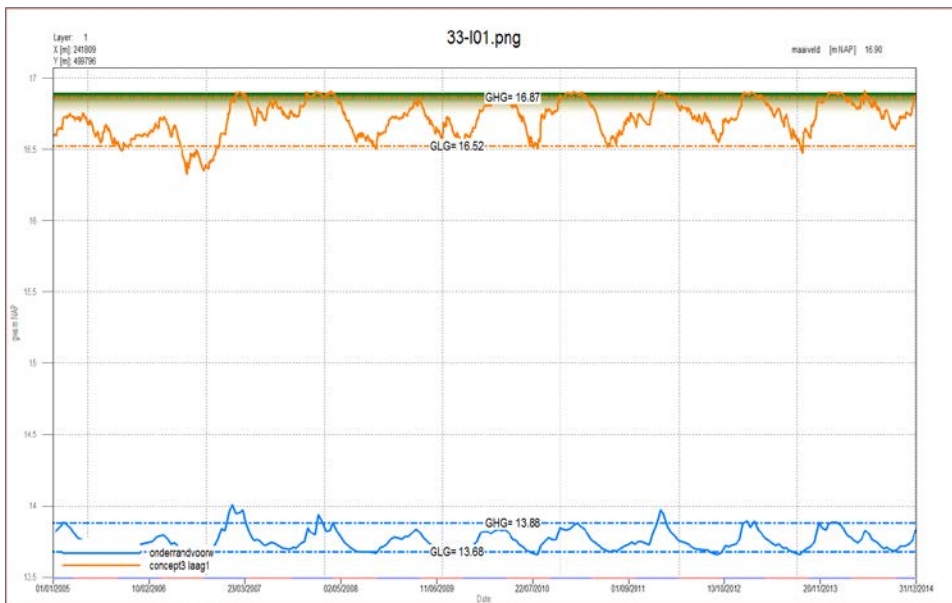
## Tijdstijghoogtelijnen conceptueel veenmodel



Figuur b3.1 Boorlocatie 2 centrumgebied Engbertsdijkerven met dikke veenlaag

Berekende peilfluctuatie: 0,30 m

Gemeten: maaiveld 15,89m GHG 0 m –mv, 15,89 mNAP, GLG 0,15 m –mv 15,89 mNAP, dif 0,15m

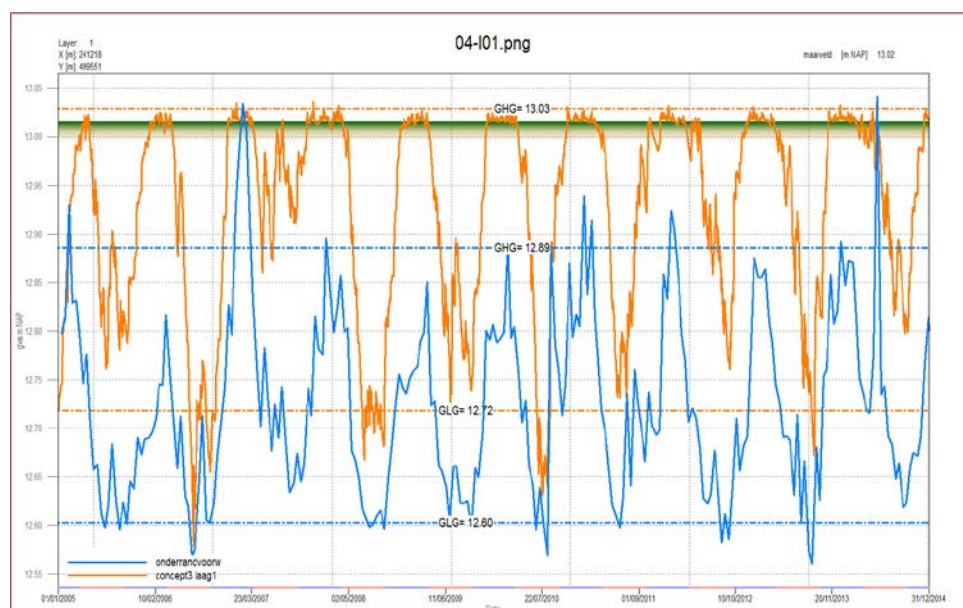




Figuur b3.2 Boorlocatie 33 centrumgebied Engbertsdijksvenen met dikke veenlaag

Berekende peilfluctuatie: 35 cm

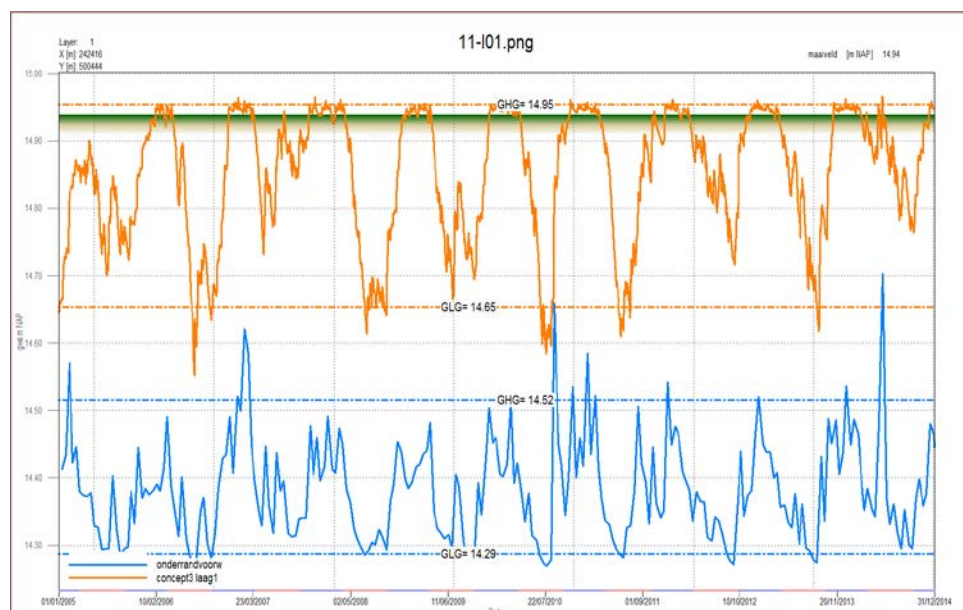
Gemeten: maaiveld 17,0m GHG 0 m –mv, 17,0 mNAP, GLG 0,10 m –mv 16,9 mNAP, dif 0,10m



Figuur b3.3 Boorlocatie 4: Overgangszone ten westen van centrumgebied

Berekende peilfluctuatie: 31 cm

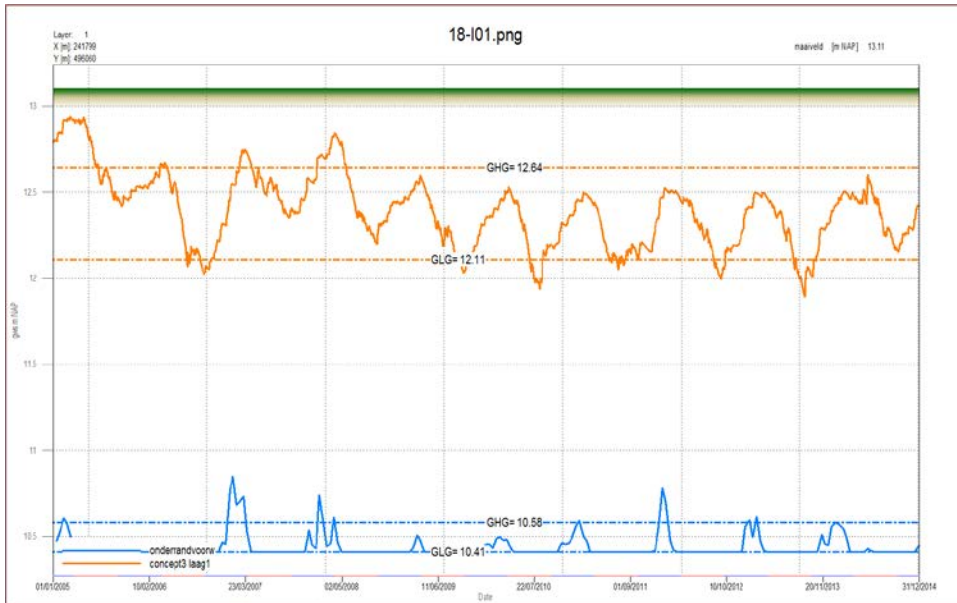
Gemeten: maaiveld 12,83 m GHG 0 m –mv, 12,83 mNAP, GLG 0,5 m –mv 12,33 mNAP, dif 0,5 m



Figuur b3.4 Boorlocatie 11: Noordwestzijde centrumgebied met duidelijk veenlaag.

Berekende peilfluctuatie: 30 cm

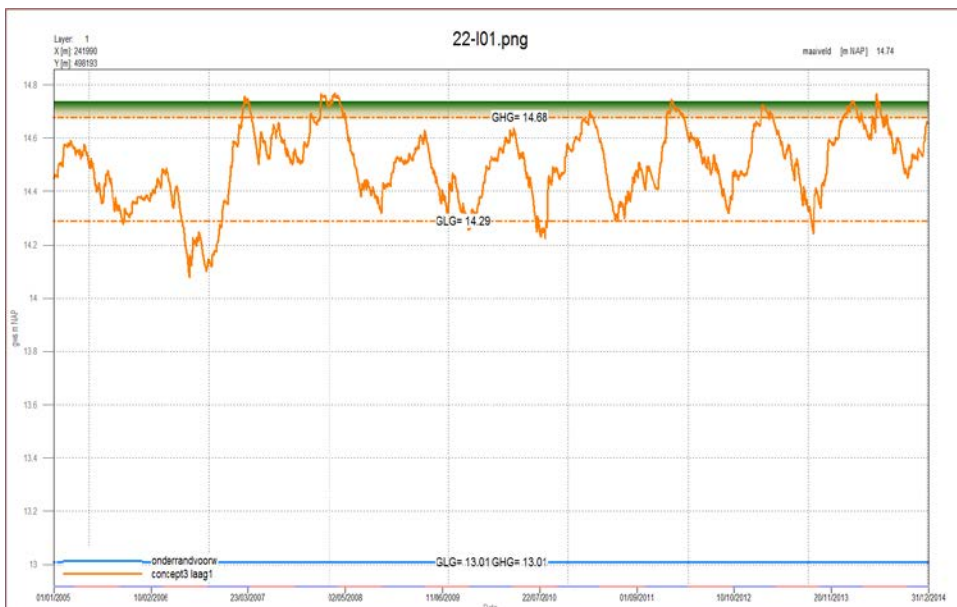
Gemeten: maaiveld 14,94 m GHG 0 m –mv, 14,94 mNAP, GLG 0,35 m –mv 14,59 mNAP, dif 0,35m



Figuur b3.5: Boorlocatie 18: zuidelijke puntje veengebied in overgangszone, wel veen aanwezig

Berekende peilfluctuatie: 53 cm

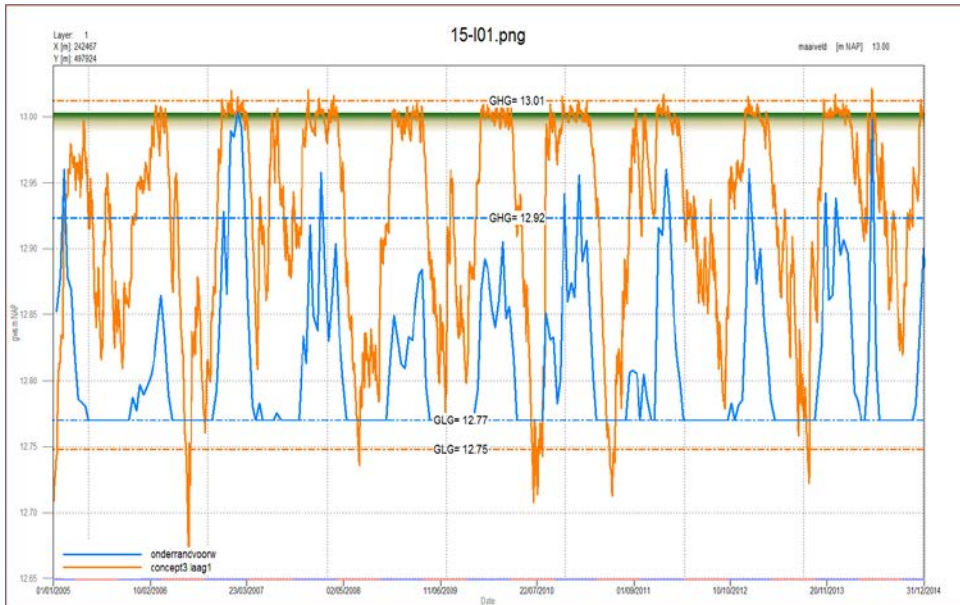
Gemeten: maaiveld 13,66 m GHG 0,1 m –mv, 13,56 mNAP, GLG 0,6 m –mv 13,06 mNAP, dif 0,5m



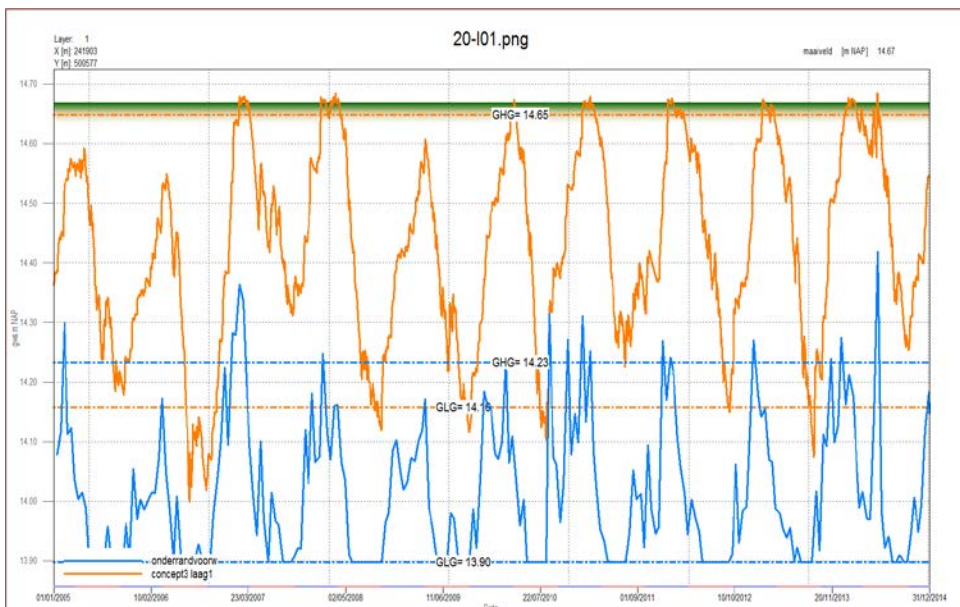
Figuur b3.6 Boorlocatie 22: Overgangszone in het midden van de Engbertsdijksvenen

Berekende peilfluctuatie: 39 cm

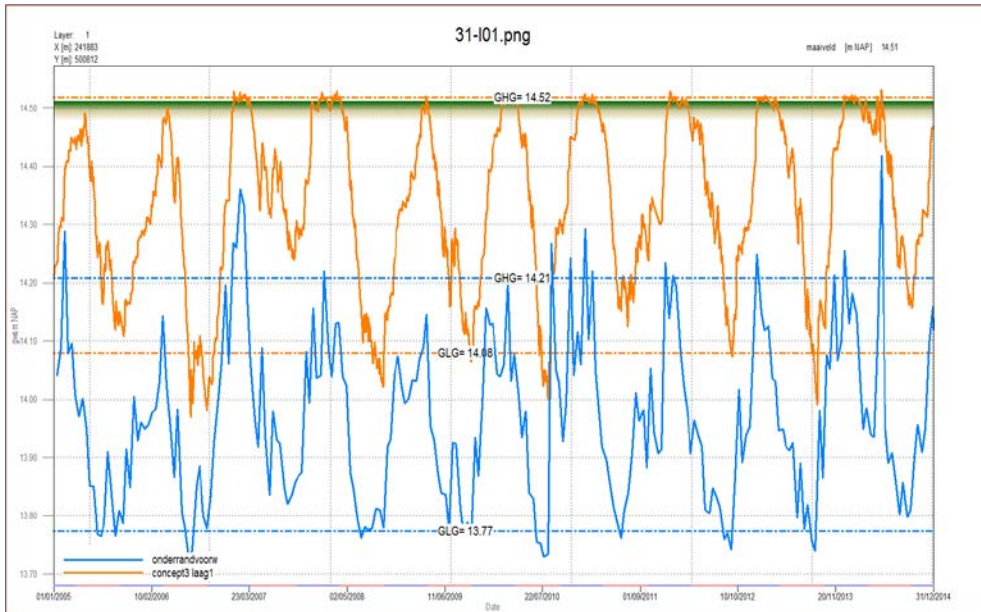
Gemeten: maaiveld 14,92 m GHG 0,0 m –mv, 14,92 mNAP, GLG 0,0 m –mv 14,92 mNAP, dif 0,0m



Figuur b3.7 Boorlocatie 15 oostzijde Engbertsdijksvenen weinig tot geen veen aanwezig.



Figuur b3.8 Boorlocatie 20, noordzijde Engbertsdijksvenen, weinig veen aanwezig



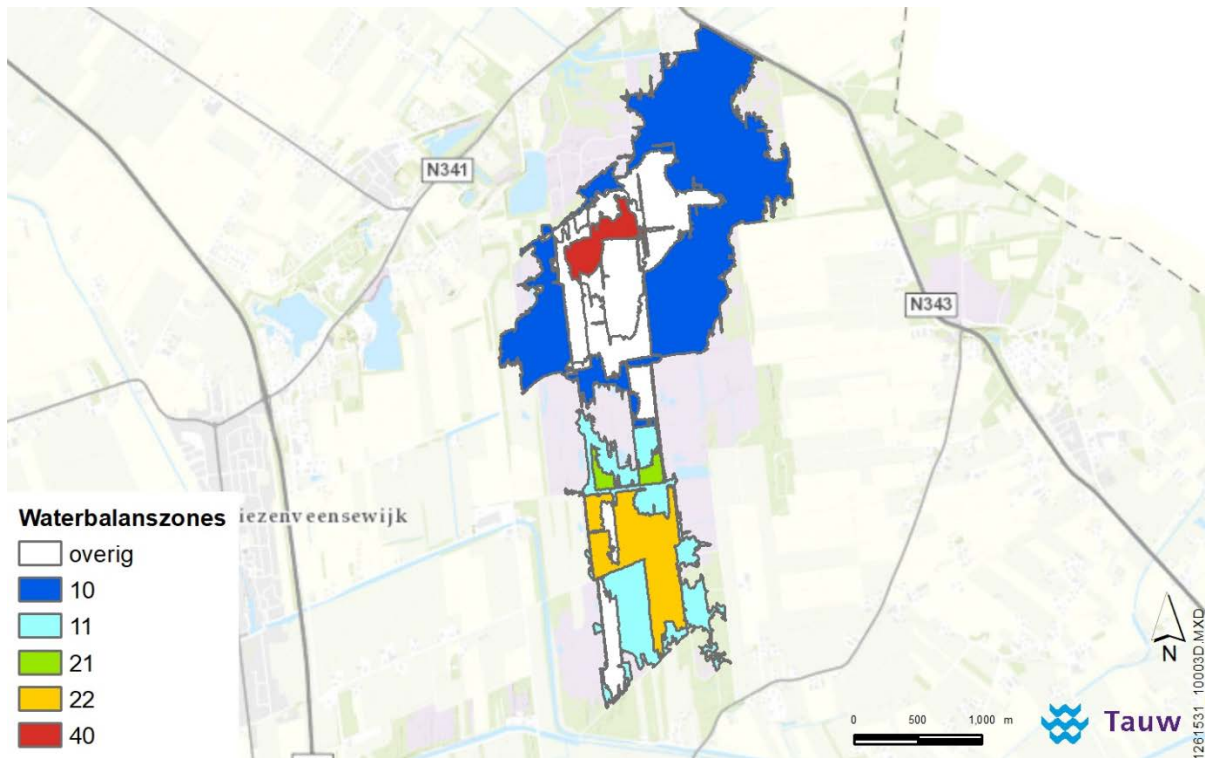
Figuur b3.9 Boorlocatie 31 noordzijde Engbertsdijkvenen: weinig veen aanwezig



## Bijlage 5

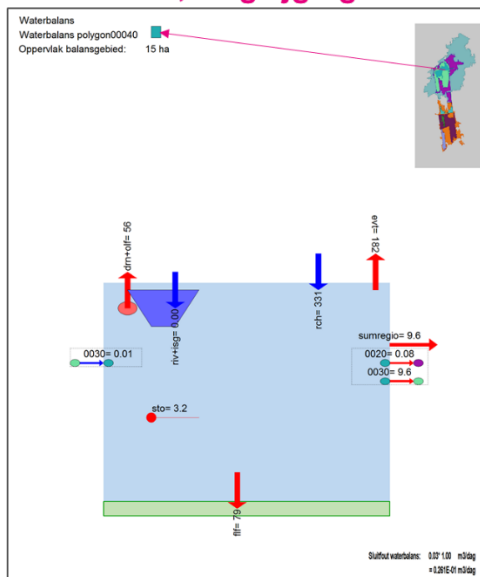
## Waterbalansen conceptueel veenmodel



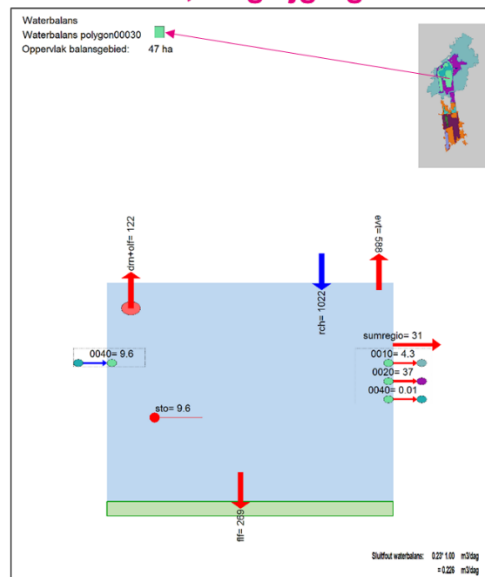


Figuur B5.1 – Ligging waterbalanszones

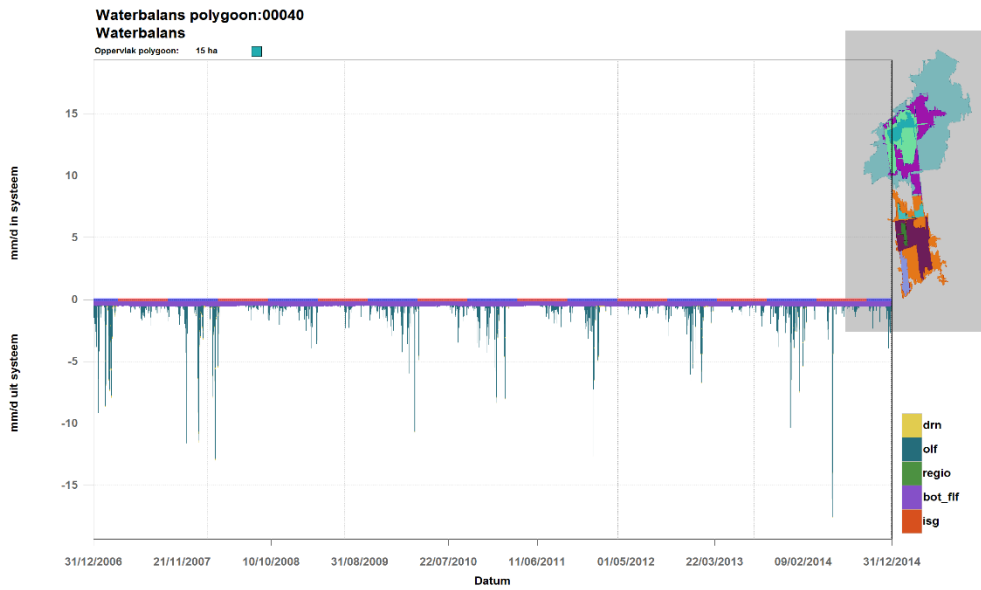
**Afvoer 40%, wegzijging 55%**



**Afvoer 30%, wegzijging 65%**

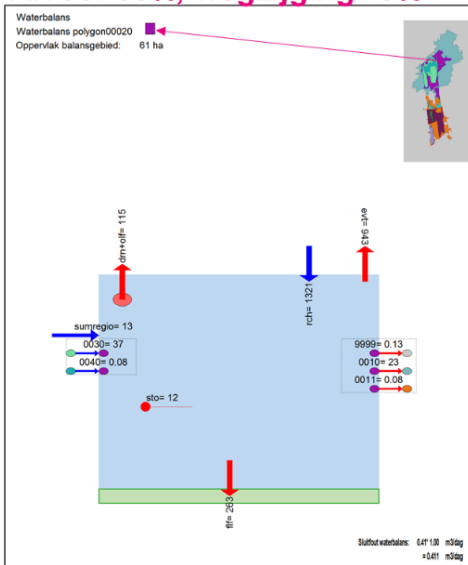


Figuur B5.2 – Waterbalans zones noordzijde Engbertsdijksvenen: zones met dikke veenlaag: Links zone 40 (4 m dikke veenlaag), Rechts zone 30 (3 m dikke veenlaag)

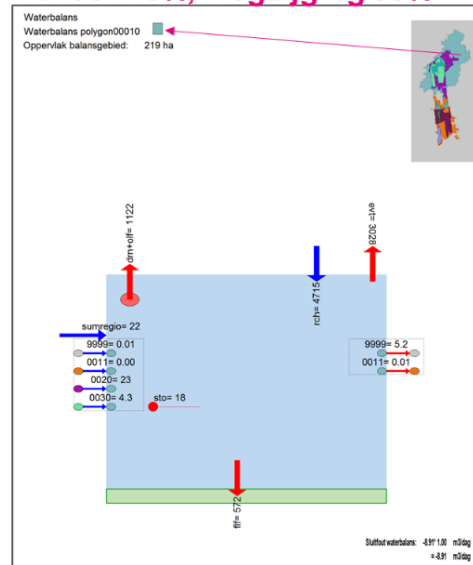


Figuur B5.3 – Instationaire afvoer (drn en oif) en wegzijgingsfluxen (bot\_fff) in mm/dag zone 40

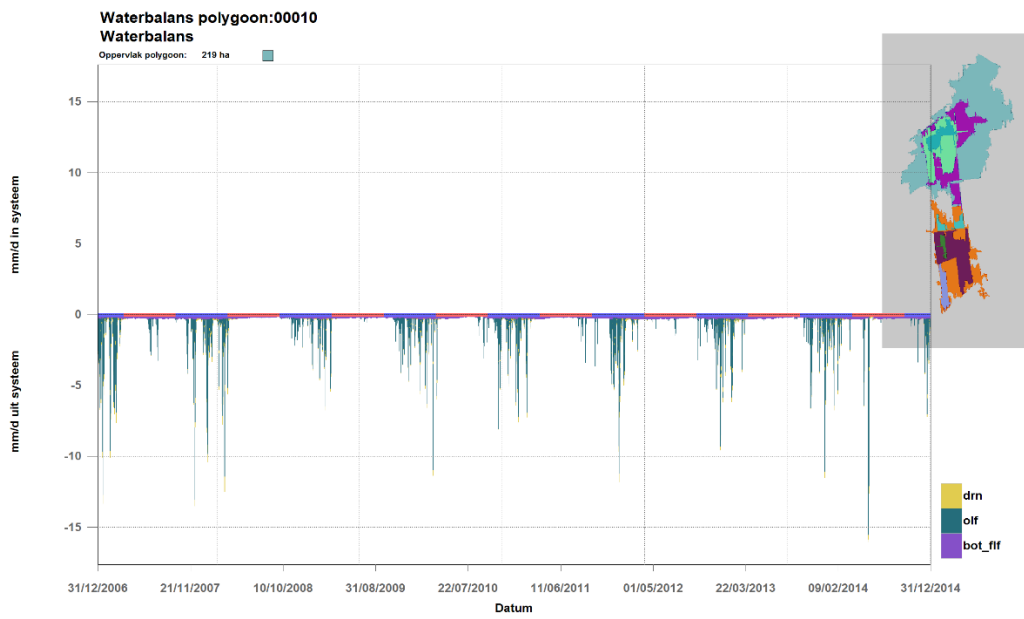
### Afvoer 30%, wegzijging 70%



### Afvoer 70%, wegzijging 30%

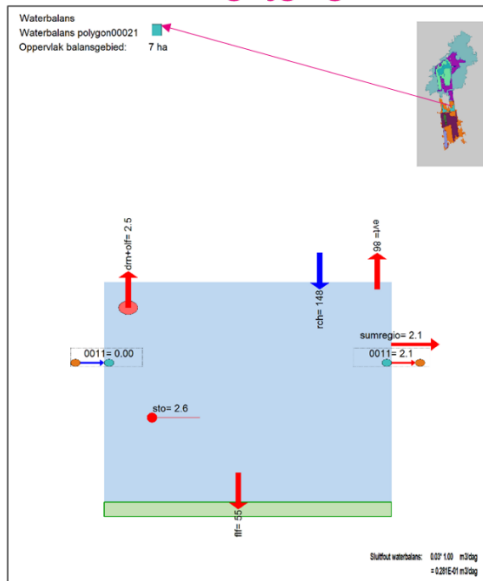


Figuur B5.4 – Waterbalans noordzijde Engbertsdijkerven; zones met dunner veenlaag: Links zone 20 (2 m dikke veenlaag), Rechts zones 10 (1 m dikke veenlaag)

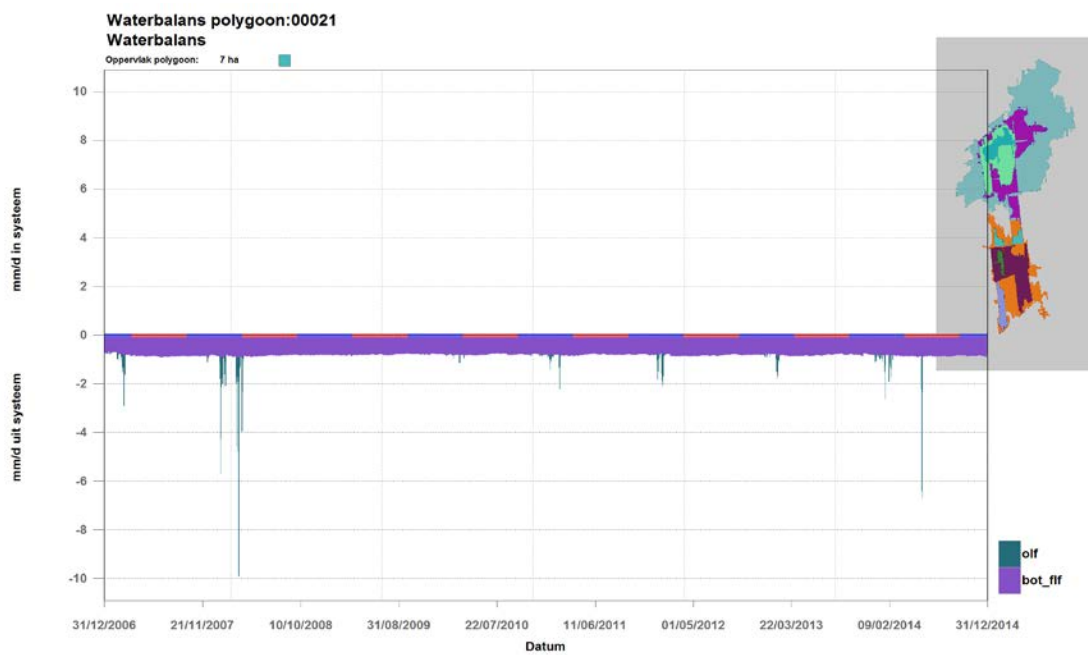


Figuur B5.5 – Instationaire afvoer (drn en of) en wezigingsfluxen (bot\_ff) in mm/dag zone 10

## Afvoer 5%, wegzijging 90%

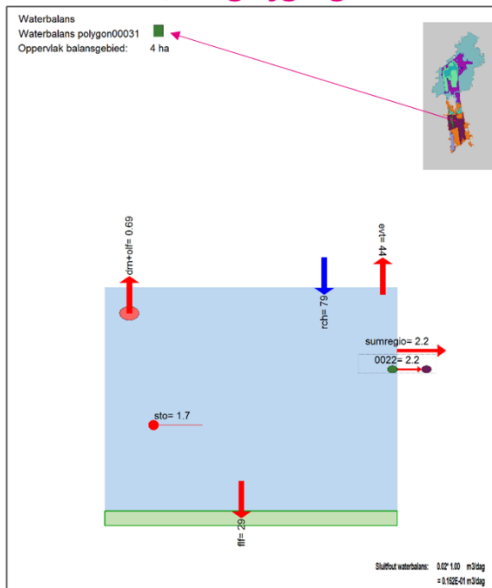


Figuur B5.6 – Waterbalans midden Engbertsdijksvenen, zone 21 met dunnere veenlaag (2 – 3 m)

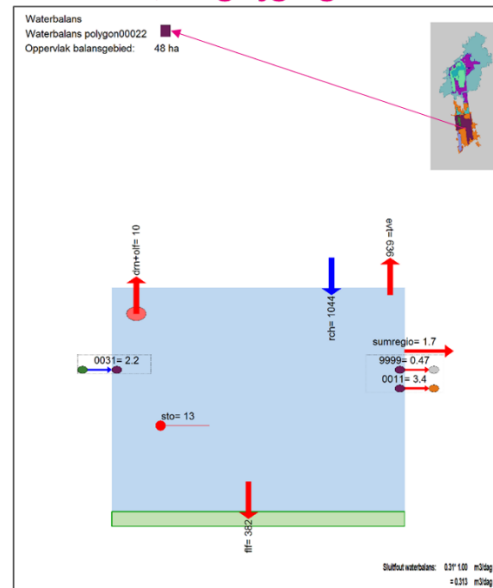


Figuur B5.7 – Instationaire afvoer (dm en olff) en wegzijgingsfluxen (bot\_ff) in mm/dag zone 21

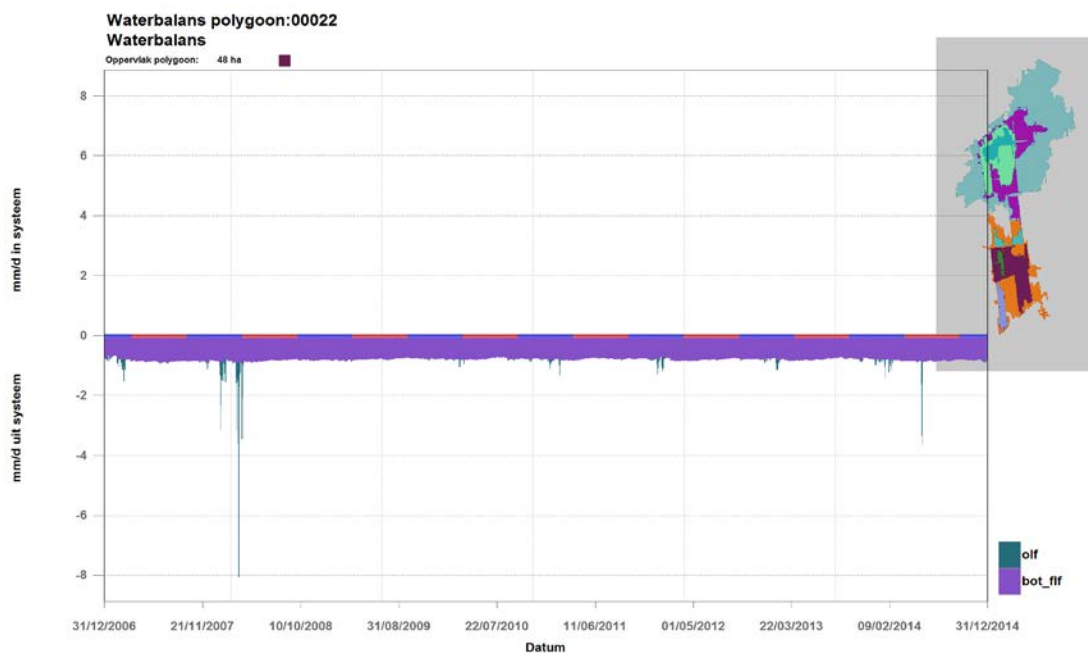
### Afvoer 5%, wegzijging 85%



### Afvoer 5%, wegzijging 95%



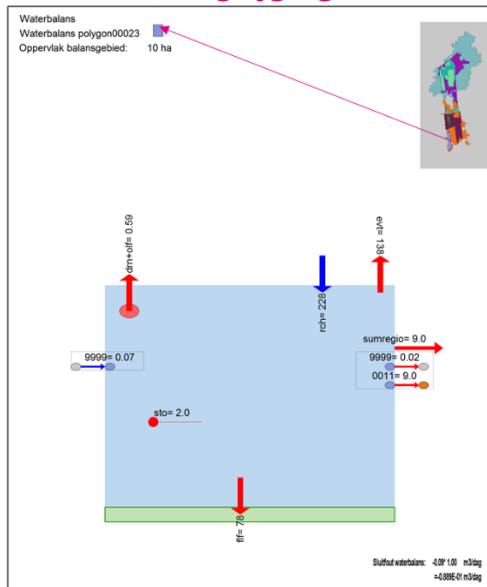
Figuur B5.8 – Waterbalans zuidelijke zones Engbertsdijkvenen, Links zone 31 met dikker veenlaag (3 – 4 m) en rechts zone 22 met dunnere veenlaag (2 – 3 m)



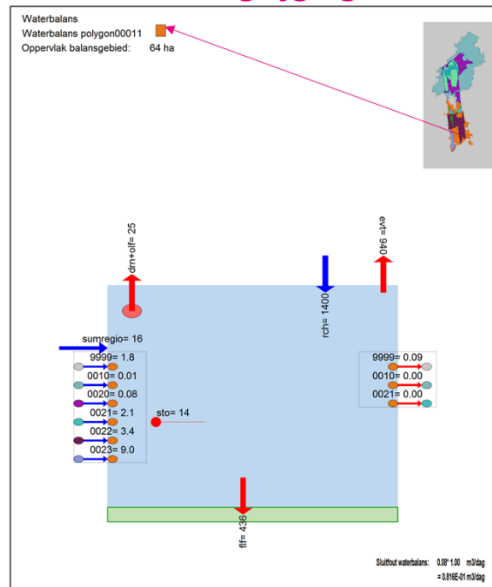
Figuur B5.9 – Instationaire afvoer (dm en olf) en wegzijgingsfluxen (bot\_ffl) in mm/dag zone 22



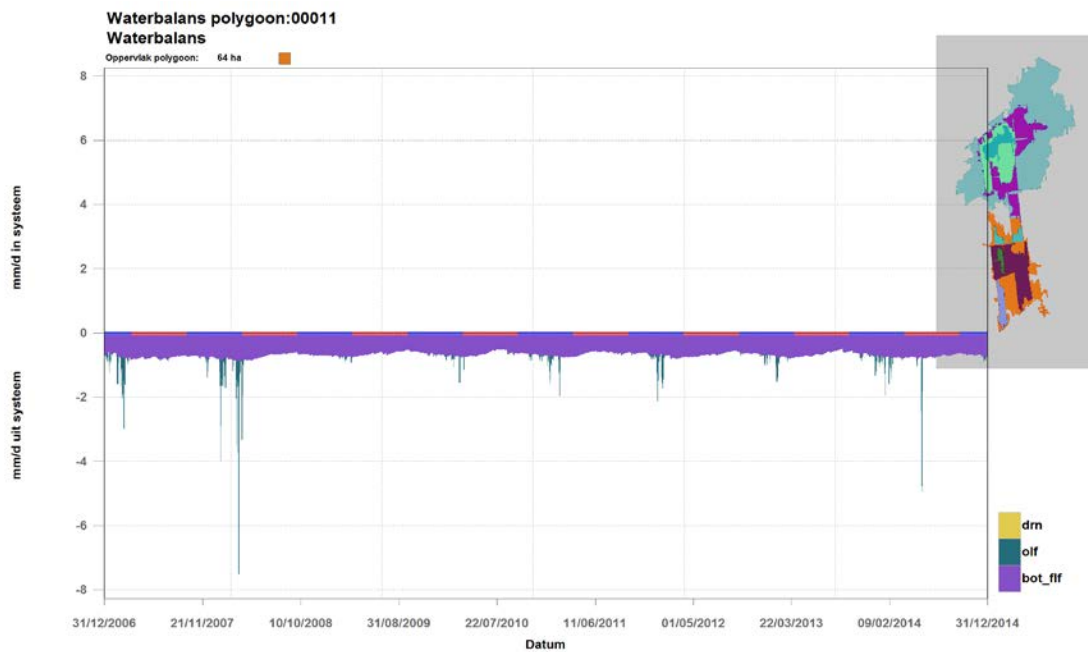
### Afvoer 1%, wegzijging 90%



### Afvoer 5%, wegzijging 95%



Figuur B5.10 – Waterbalans meest zuidelijk zones Engbertsdijkvenen: Links zone 23 met dunne veenlaag (2 – 3 m) en rechts zone 11 met zeer dunne veenlaag (1 – 2 m)

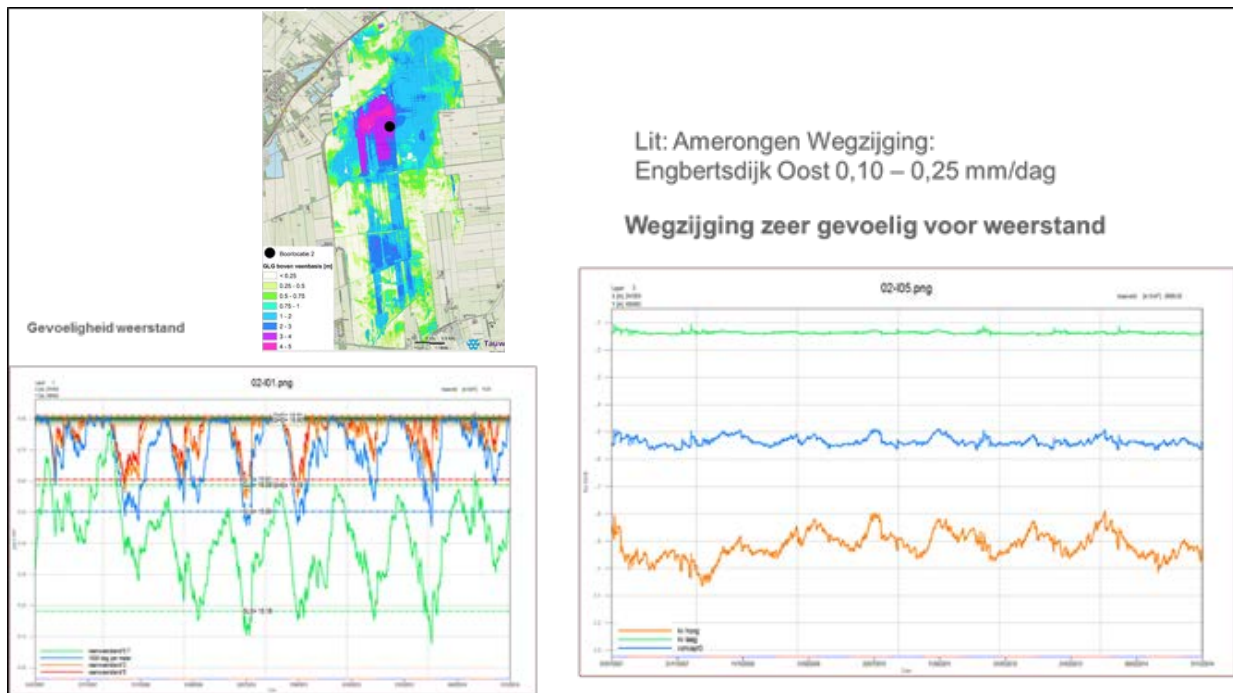


Figuur B5.11 – Instationaire afvoer (dm en olf) en wegzijgingsfluxen (bot\_ffl) in mm/dag zone 11

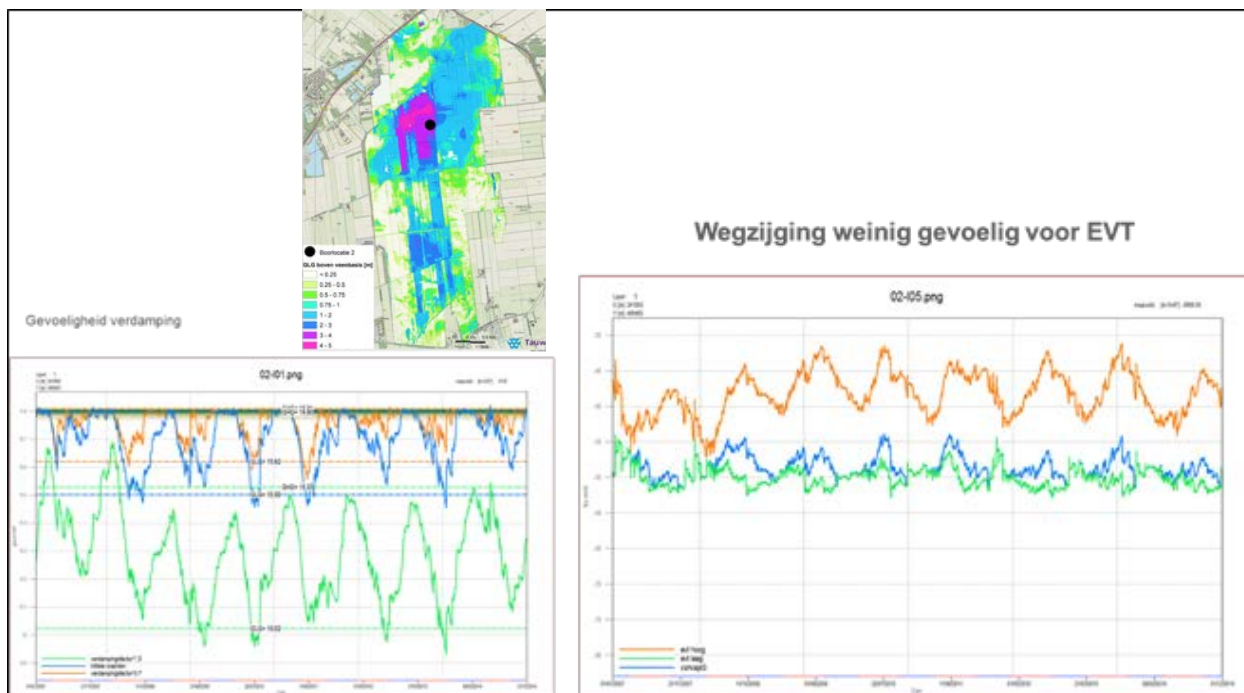


## Bijlage 6

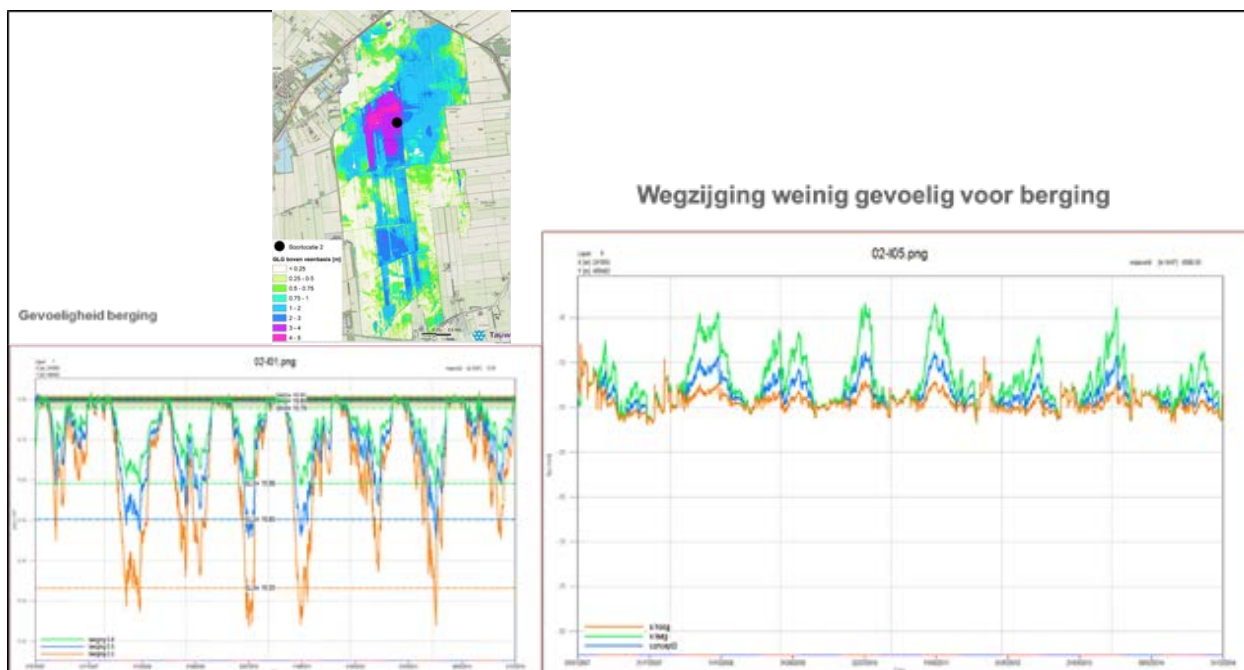
## Gevoeligheidsanalyse conceptueel veenmodel



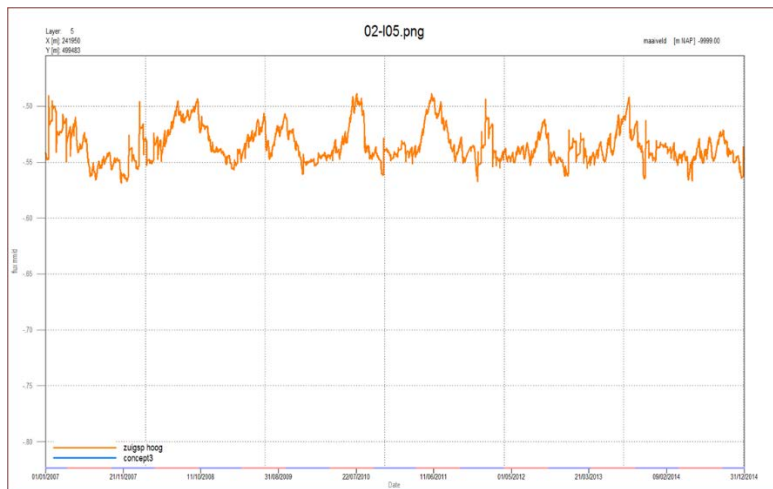
Figuur B6.1 Gevoeligheid weerstand in centrumgebied Engbertsdijkerven, boorlocatie 2. Links effect op de freatische grondwaterstand. Conclusie is dat bij toename van de weerstand het effect op de fluctuaties in de freatische grondwaterstand steeds minder wordt. Het verschil tussen factor 2 en 5 is nagenoeg gelijk. In het boorgat is een verschil tussen GHG en GLG vastgesteld van 0,15 m. Rechts: Effect op de wegzijing. Conclusie is dat de wegzijing zeer gevoelig is voor de weerstand. Vergelijking met de wegzijingsfluxen vastgesteld door Amerongen, lijkt een weerstand van circa 3.500 tot 5.000 dagen/m aannemelijk.



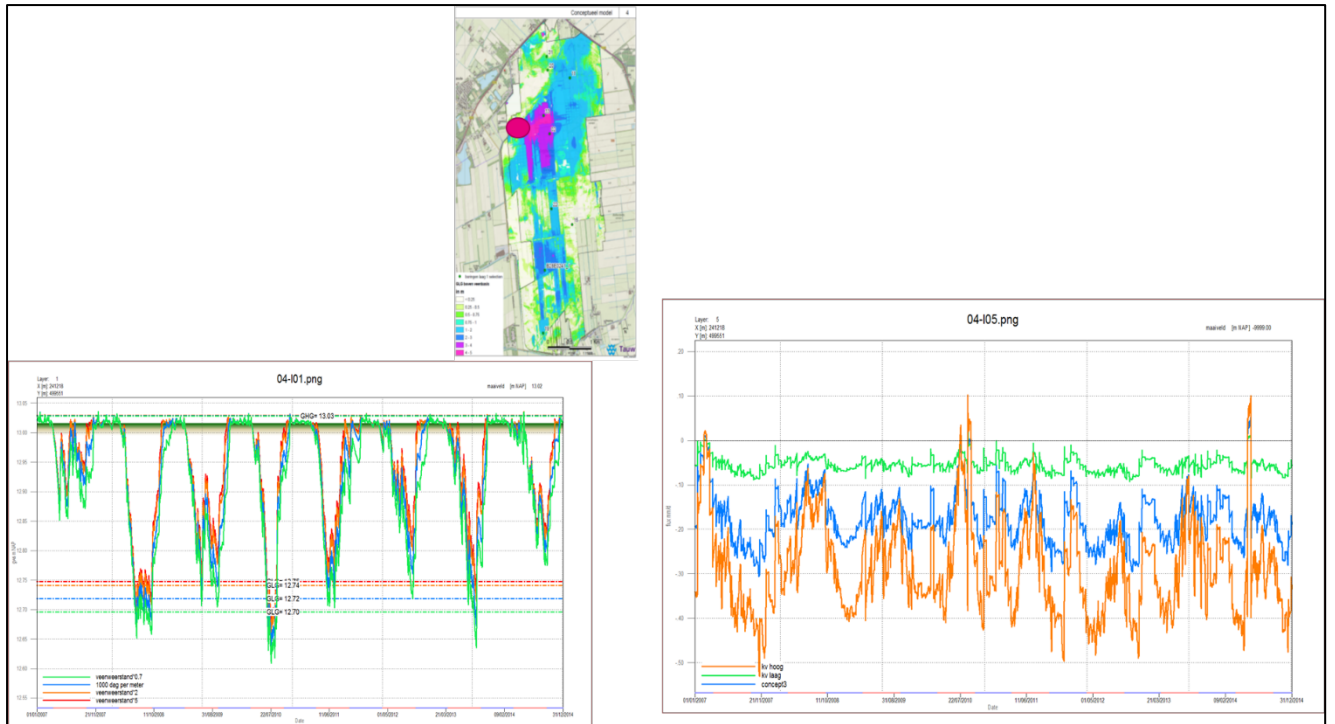
Figuur B6.2 Gevoeligheid voor verdamping in centrumgebied Engbertsdijkswenens, boorlocatie 2. Links effect op de freatische grondwaterstand, Rechts effect op de wegzijgingsfluxen Conclusie is dat bij toename van de verdamping de dynamiek en peilen aanzienlijk uitzakken. Dit is niet in overeenstemming met de bevindingen in de boorgat, waarin een verschil in GHG en GLG is waargenomen van 0,15 m. Een kleinere verdamping fit beter op de metingen. De wegzijgingsfluxen zijn relatief weinig gevoelig voor de verdampingsfactor, zeker bij verlagng van de verdampingsfactor



Figuur B6.3 Gevoeligheid voor bergingscoëfficient in centrumgebied Engbertsdijkswenens, boorlocatie 2. Links effect op de freatische grondwaterstand, Rechts effect op de wegzijgingsfluxen Conclusie is dat een hogere bergingscoëfficient het beste fit bij het vastgestelde verschil in GHG en GLG in het boorgat van 0,15 m. Een hogere bergingsfactor heeft beperkt effect op de verdampingsfactor.

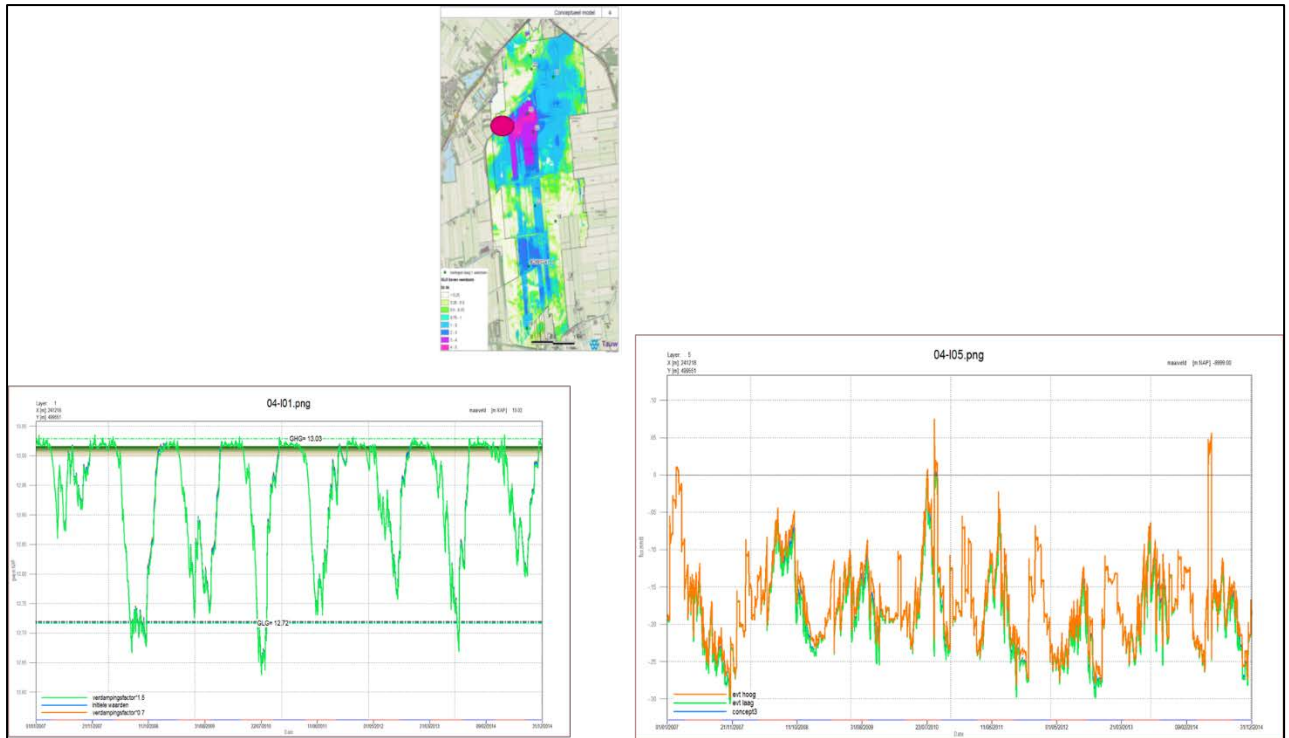


*Figuur B6.4 Gevoeligheid voor extra zuigspanning in centrumgebied Engbertsdijkerven, boorlocatie 2. Conclusie is dat het centrumgebied met dikke veenlaag ongevoelig is voor extra zuigspanning. Het zuigspanningniveau ligt in deze zone boven de veenbasis*

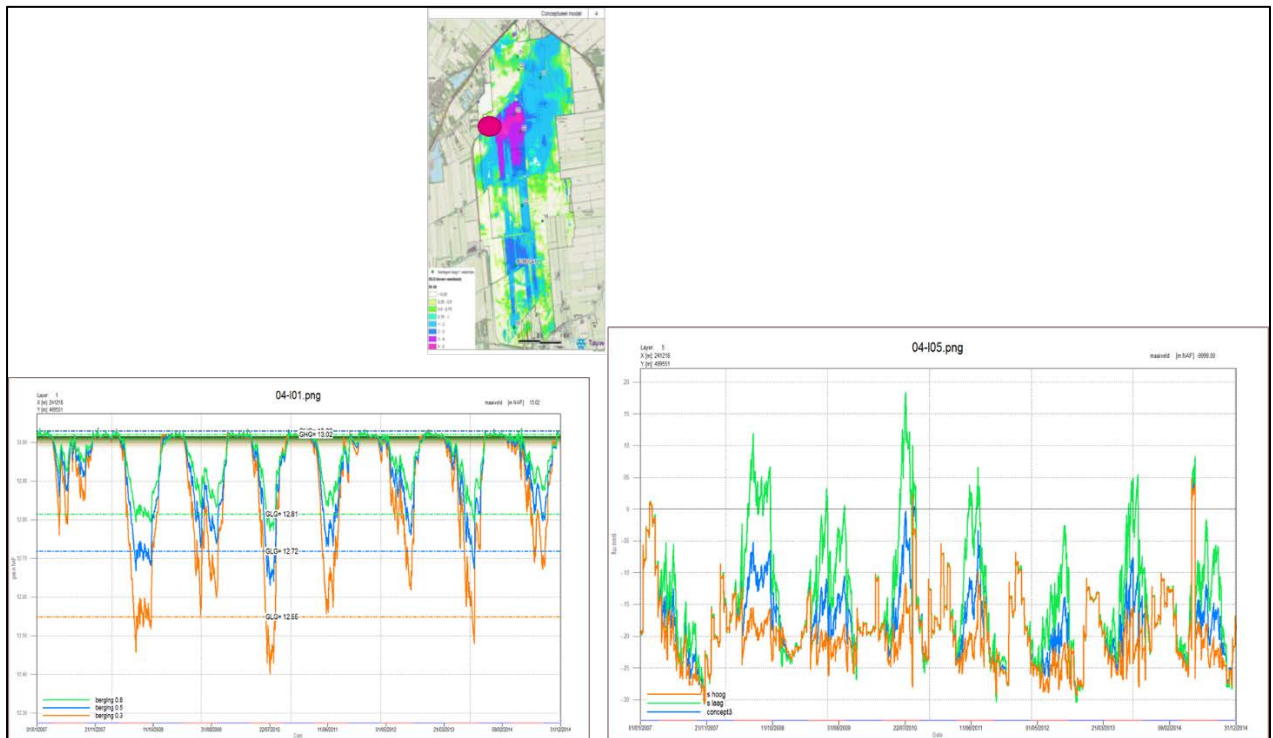


Figuur B6.5 Gevoeligheid weerstand in overgangszone naast centrumgebied Engbertsdijkerven, boorlocatie 4 Links effect op de freatische grondwaterstand. Rechts effect op de wegzijgingsfluxen. Conclusie is dat variatie in weerstand op deze locatie weinig effect heeft op de grondwaterstanden (het gemeten verschil tussen GHG en GLG in het boorgat bedraagt 50 cm, berekend is ongeveer 30 cm. De weerstand is wel gevoelig voor de wegzijgingsfluxen.

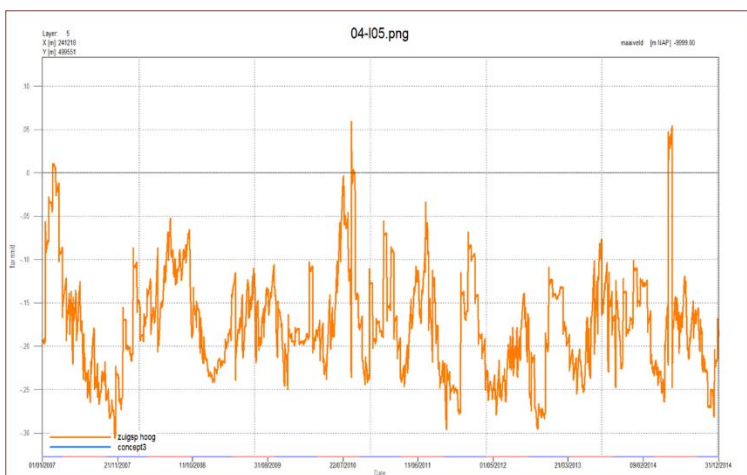




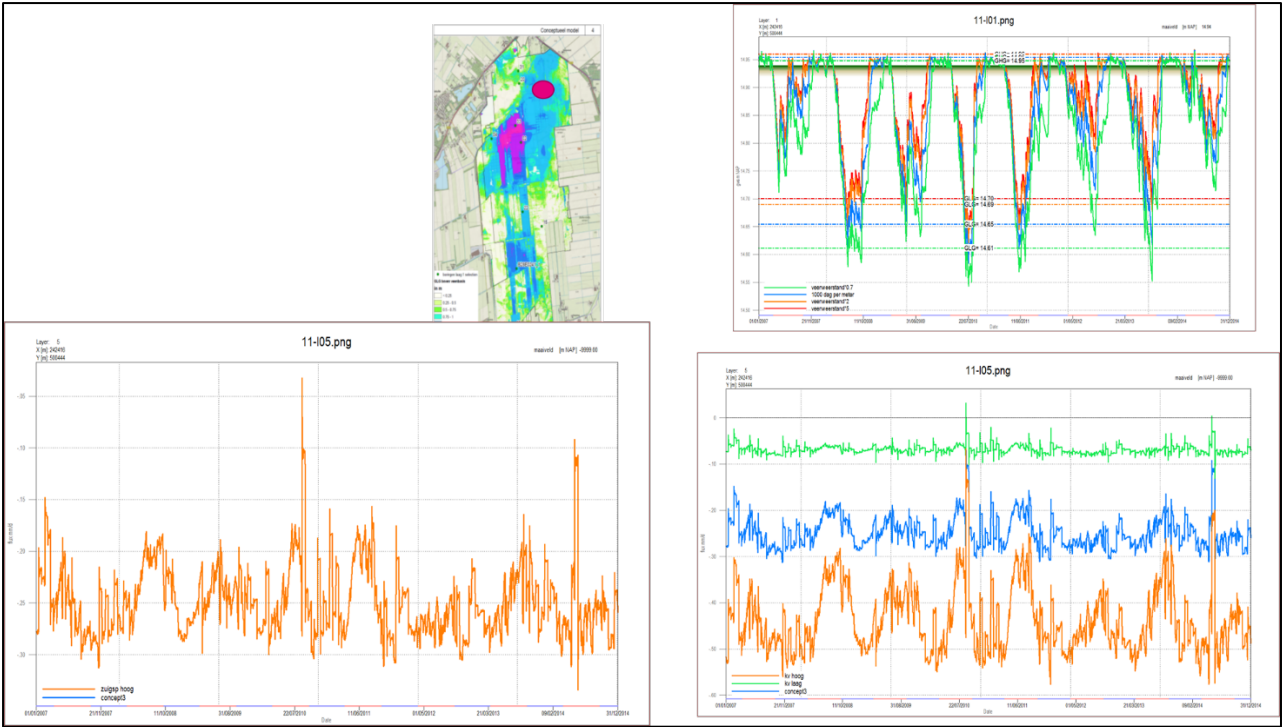
Figuur B6.6 Gevoeligheid voor verdamping overgangszone naast centrumgebied Engbertsdijkvenen, boorlocatie 4. Links effect op de freatische grondwaterstand, Rechts effect op de wezigingsfluxen Conclusie is dat op deze locatie geen gevoeligheid optreedt op de verdampingsfactoren.



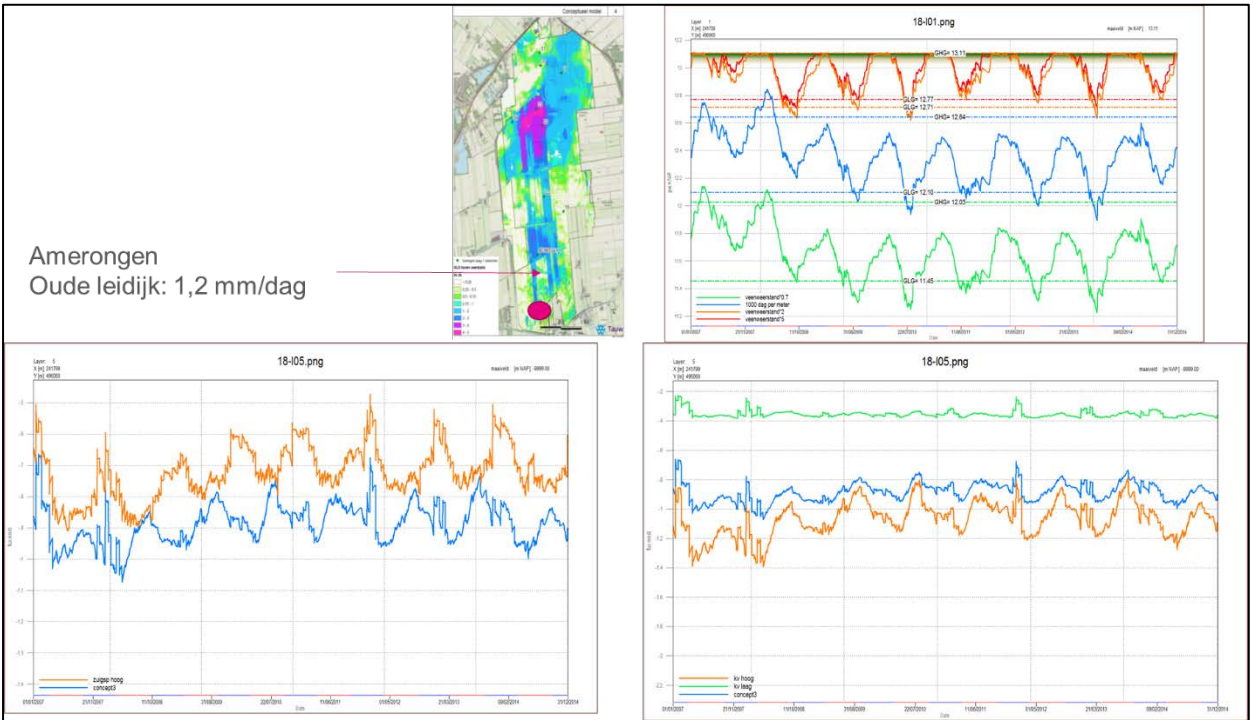
Figuur B6.7 Gevoeligheid voor bergingscoëfficiënt overgangzone naast centrumgebied Engbertsdijkerven, boorlocatie 4. Links het effect op de freatische grondwaterstanden, Rechts op de wegzijgingsflux. Boorpunt is gevoelig voor de effecten op de grondwaterstanden. Het gemeten verschil in het boorgat tussen GHG en GLG van 50 cm fit het beste op een lagere bergingscoëfficiënt. De wegzijgingsfluxen zijn weinig gevoelig voor verandering van berging.



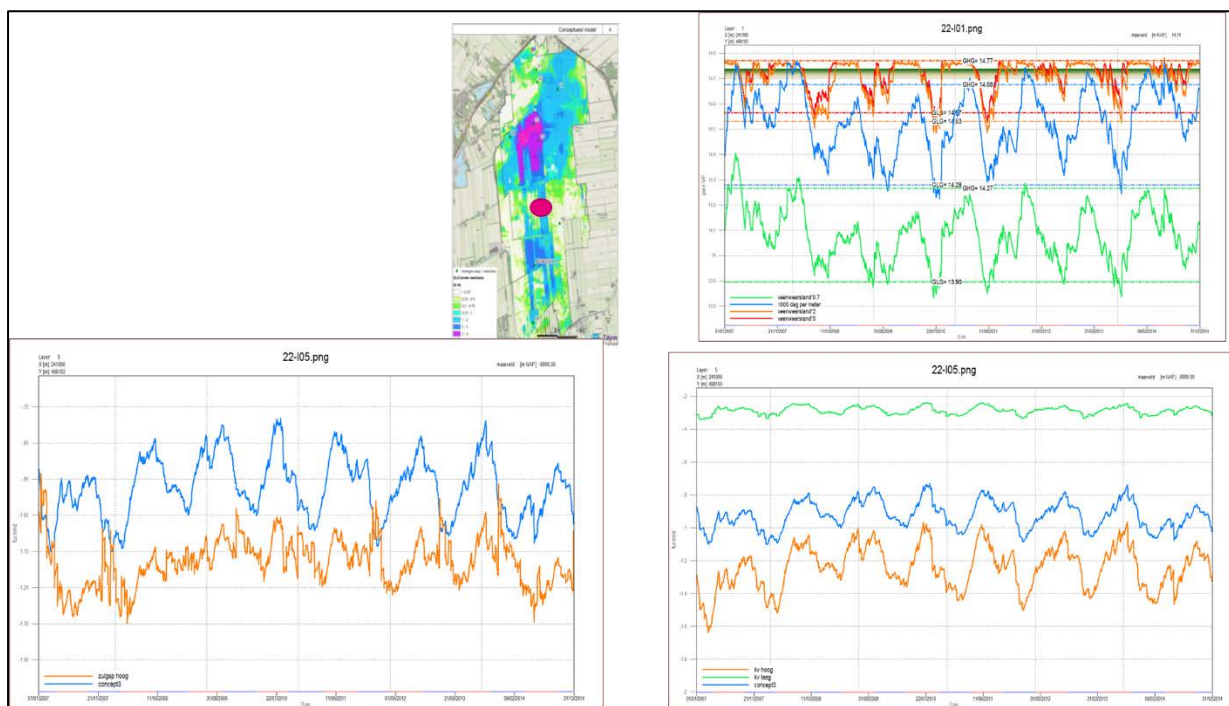
Figuur B6.8 Gevoeligheid voor extra zuigspanning overgangzone naast centrumgebied Engbertsdijkerven, boorlocatie 4. Conclusie is dat op deze locatie het systeem ongevoelig is voor extra zuigspanning. Het zuigspanningniveau ligt in deze zone boven de veenbasis



Figuur B6.9 Gevoeligheid zuigspanning en weerstand op boorlocatie 11 in de noordwesthoek van de Engbertsdijkvenen. Linksonder: Gevoeligheid op wegzijgingsflux op extra zuigspanning. Rechtsboven: Gevoeligheid op grondwaterstand bij variatie weerstand, rechtsonder: Gevoeligheid op wegzijgingsflux bij variatie weerstand. Conclusie: Deze locatie is niet gevoelig voor extra zuigspanning, wel voor de weerstand (met name wegzijgingsfluxen)



Figuur B6.10 Gevoeligheid zuigspanning en weerstand op boorlocatie 18 in het zuidpunt van het veengebied (overgangszone, wel veen aanwezige noordwesthoek. Linksonder: Gevoeligheid op wegzijgingsflux op extra zuigspanning. Rechtsboven: Gevoeligheid op grondwaterstand bij variatie weerstand, rechtsonder: Gevoeligheid op wegzijgingsflux bij variatie weerstand. Conclusie: Deze locatie is gevoelig voor extra zuigspanning en ook voor de weerstand (zowel op de grondwaterstanden als op de wegzijgingsfluxen). Door Amerongen is in dit zuidelijk deel van het veengebied een wegzijgingsflux vastgesteld van circa 1,2 mm/dag. Als we dit vergelijken met de berekende wegzijgingsfluxen dan past de variant met 1000 dagen per m en 700 dagen per m het beste bij de waarneming.



Figuur B6.11 Gevoeligheid zuigspanning en weerstand op boorlocatie 22 in het midden van het veengebied (overgangszone, wel veen aanwezig. Linksonder: Gevoeligheid op wegzijgingsflux op extra zuigspanning. Rechtsboven: Gevoeligheid op grondwaterstand bij variatie weerstand, rechtsonder: Gevoeligheid op wegzijgingsflux bij variatie weerstand. Conclusie: Deze locatie is gevoelig voor extra zuigspanning en ook voor de weerstand (zowel op de grondwaterstanden als op de wegzijgingsfluxen). Op deze boorlocatie is een verschil tussen de GHG en GLG gemeten van 0 cm. Vermoedelijk is dit het gevolg van afvoer van ene compartiment naar andere compartimenten. Omdat het niet gezakt is het wel de verwachting dat de weerstand hoog is

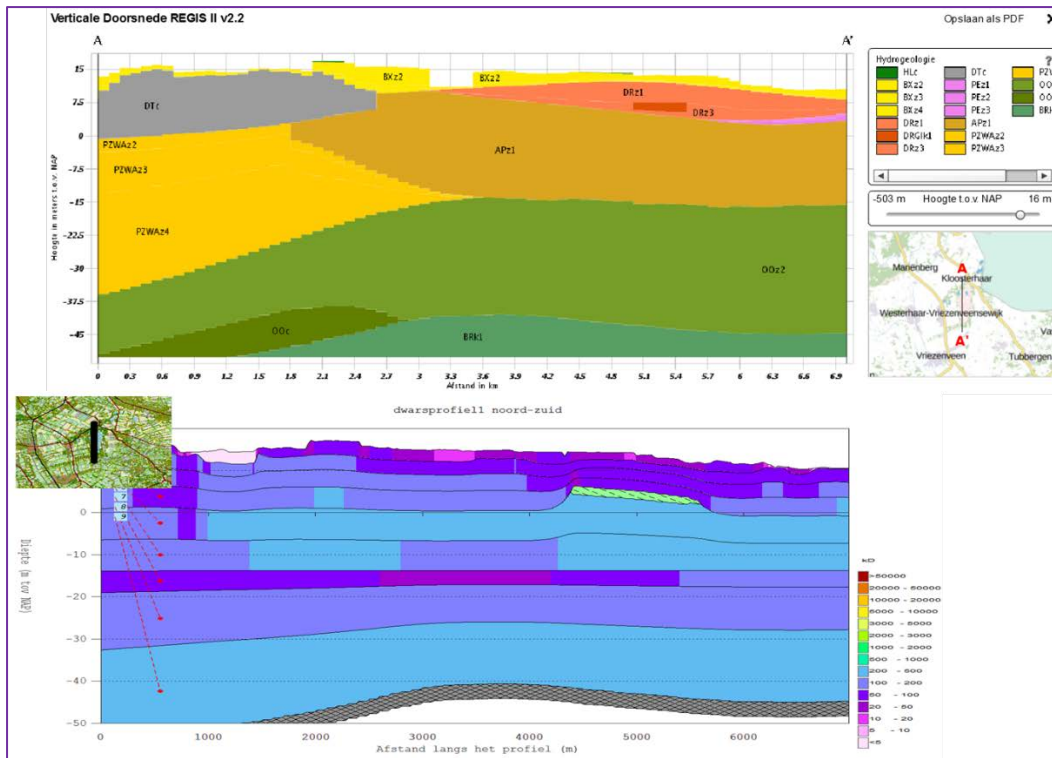




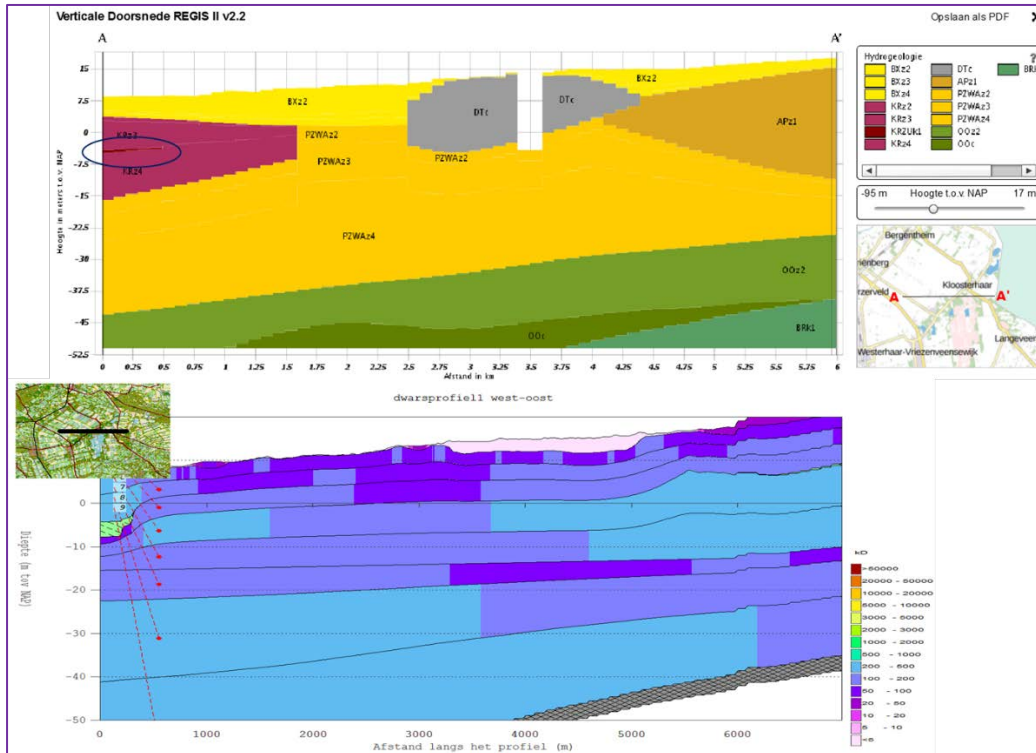
## Bijlage 7

## Dwarsprofielen MIPWA 3.0 en REGIS II v2.2

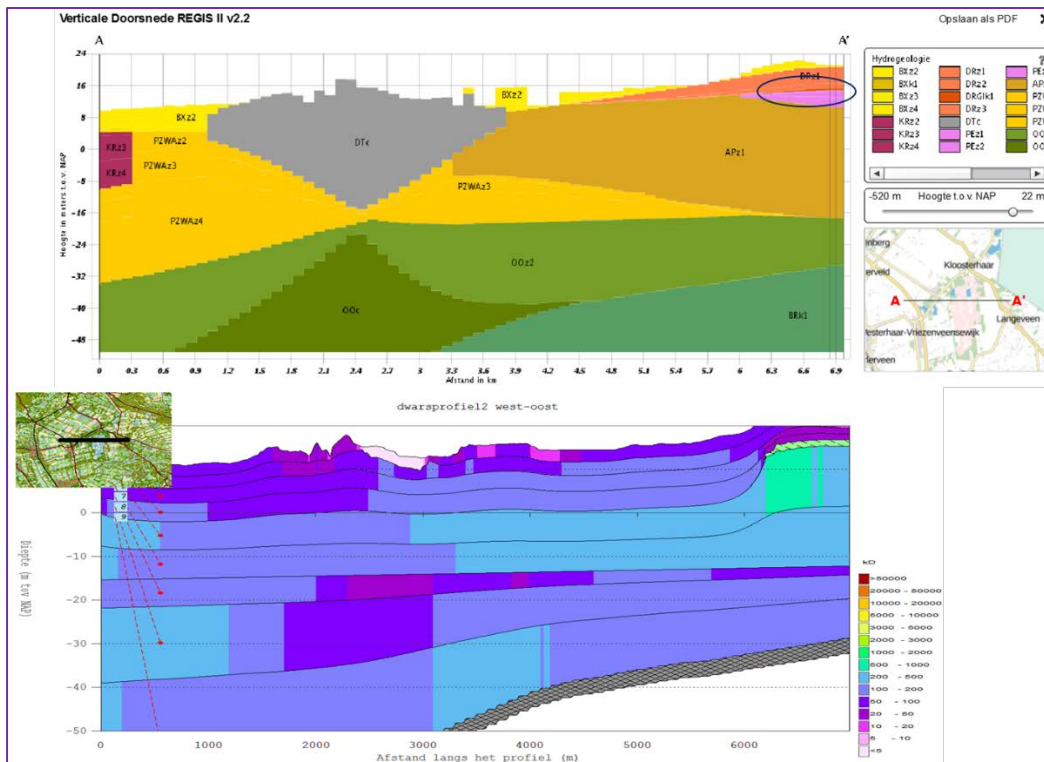




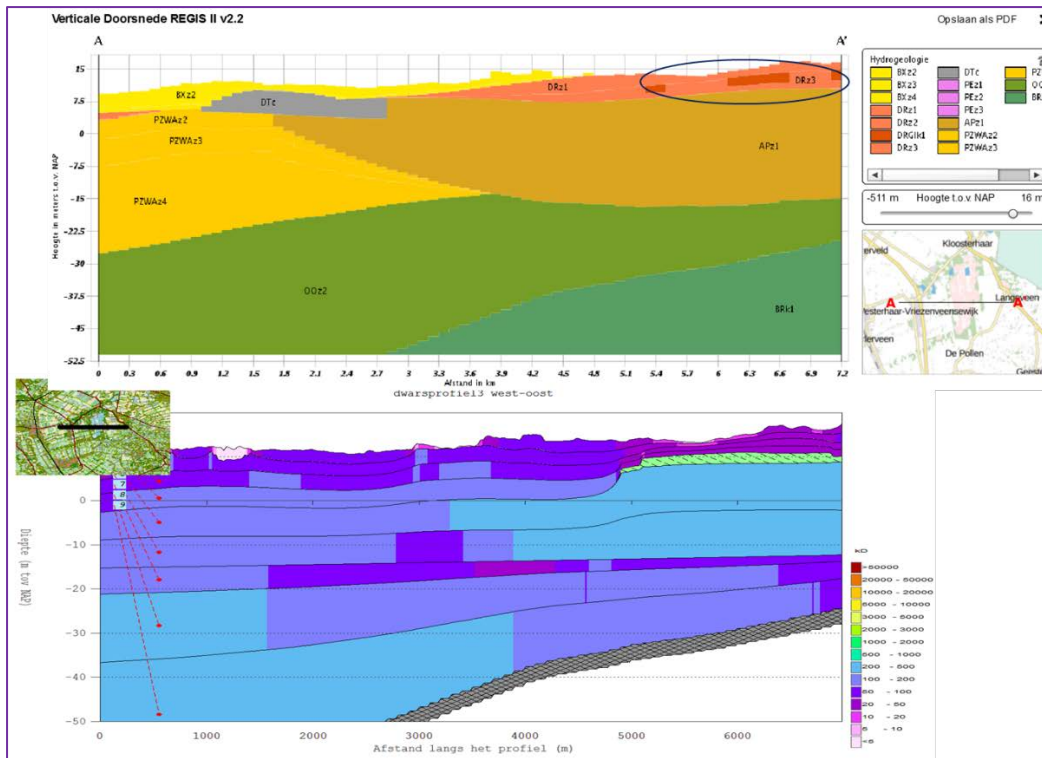
Figuur B7.1 - Dwarsprofielen noord-zuid REGIS II v2.2 (boven) en MIPWA 3.0 (onder)



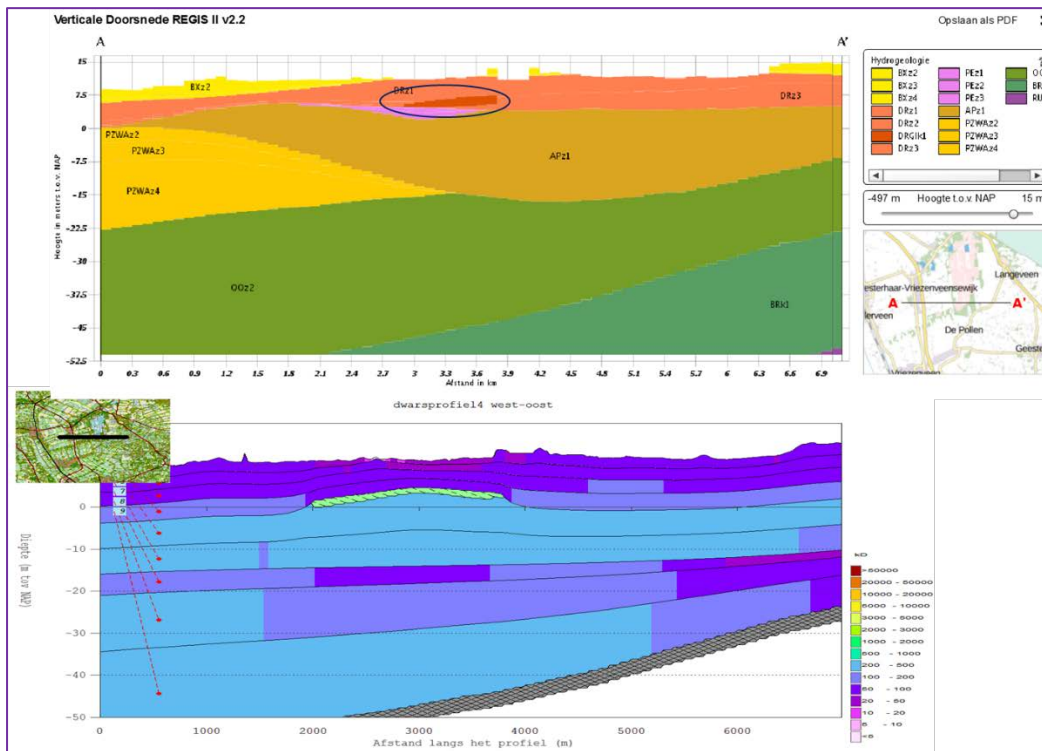
Figuur B7.2 – Dwarsprofielen west-oost 1 REGIS II v2.2 (boven) en MIPWA 3.0 (onder)



Figuur B7.3 – Dwarsprofielen west-oost 2 REGIS II v2.2 (boven) en MIPWA 3.0 (onder)



Figuur B7.4 – Dwarsprofielen west-oost 3 REGIS II v2.2 (boven) en MIPWA 3.0 (onder)

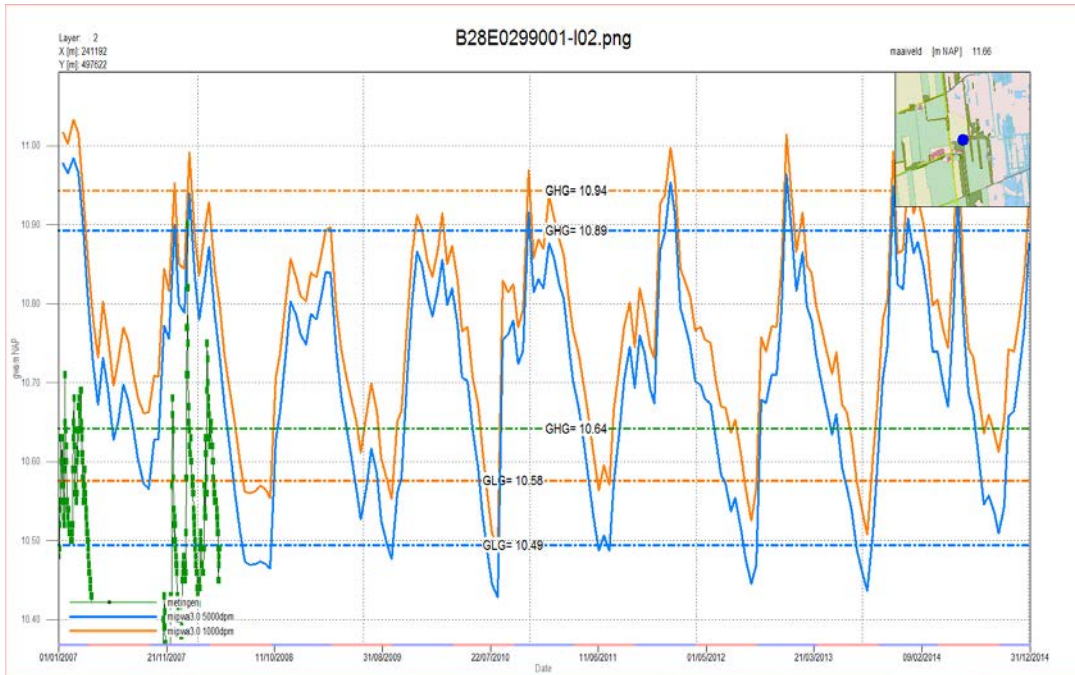


Figuur B7.5 – Dwarsprofielen west-oost 4 REGIS II v2.2 (boven) en MIPWA 3.0 (onder)

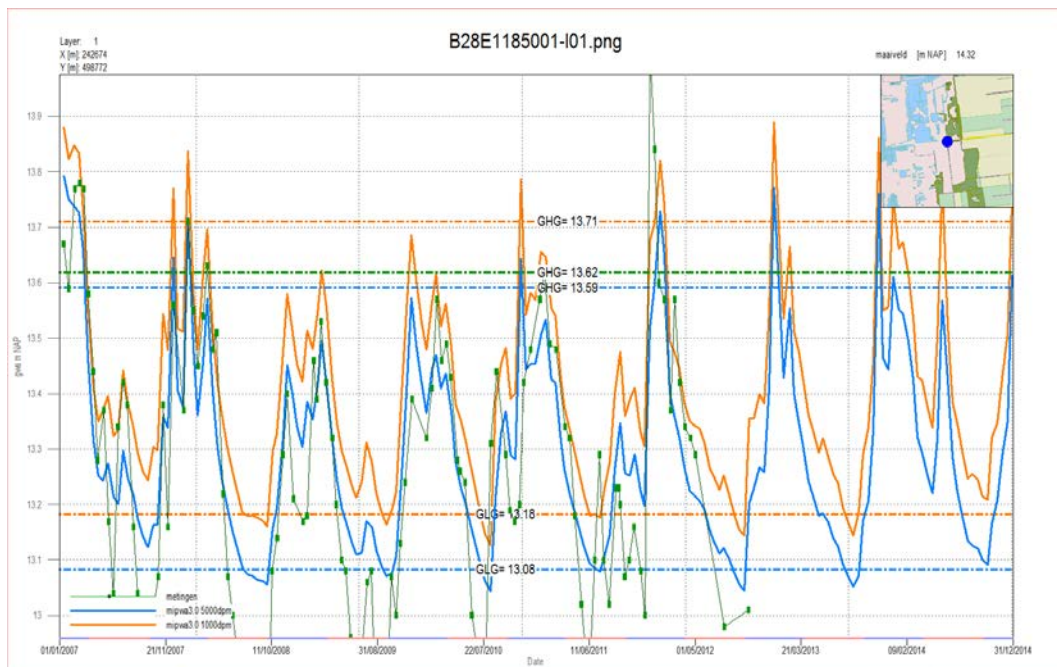


## **Bijlage 8**

## **Tijdstijghoogtelijnen gekoppeld model bij veenweerstand 1000 d/m en 5000 d/m**

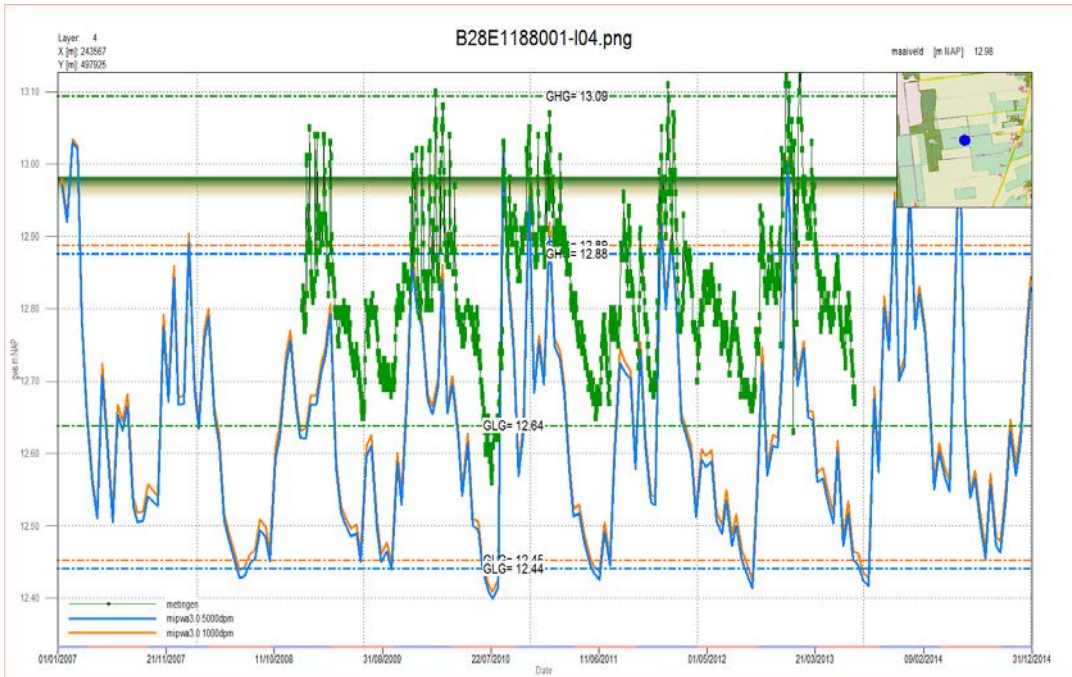


Figuur b8.1 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

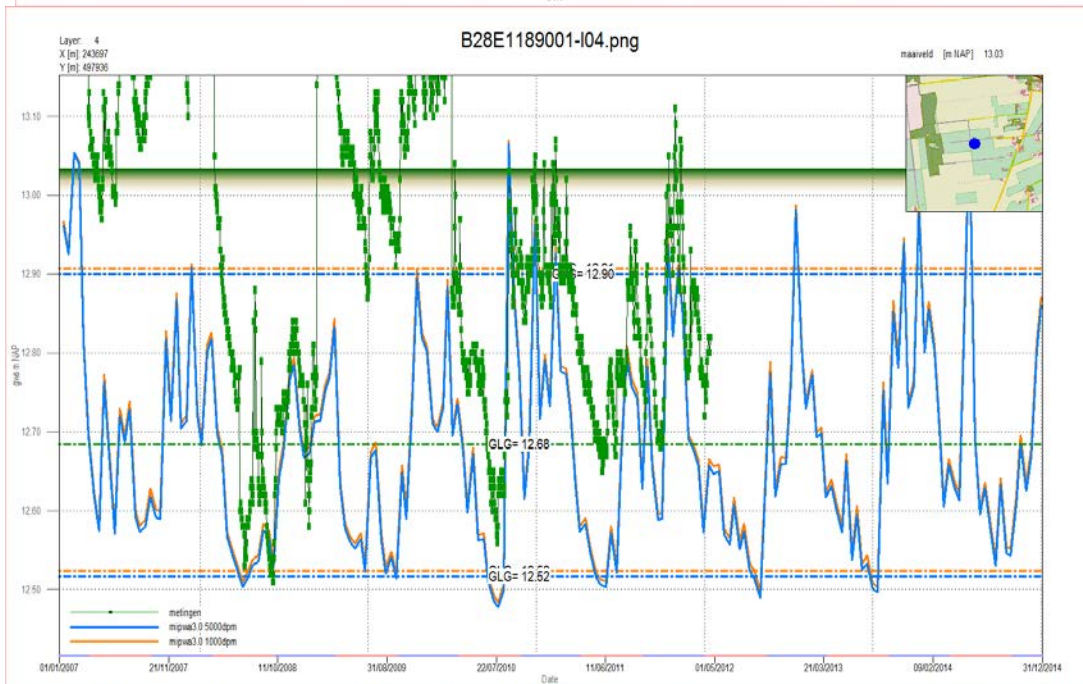


Figuur b8.2 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



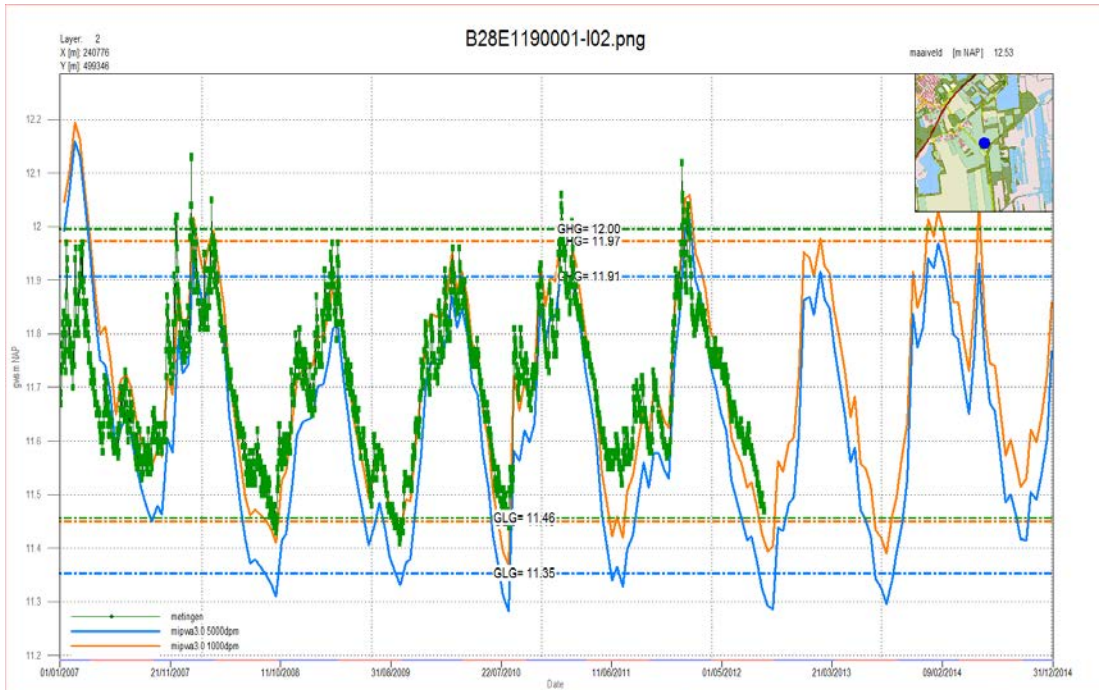


Figuur b8.3  
Regionaal  
model,  
weerstand veen  
1000 dagen per  
meter (blauw) en  
weerstand veen  
5000 dagen per  
meter (oranje)

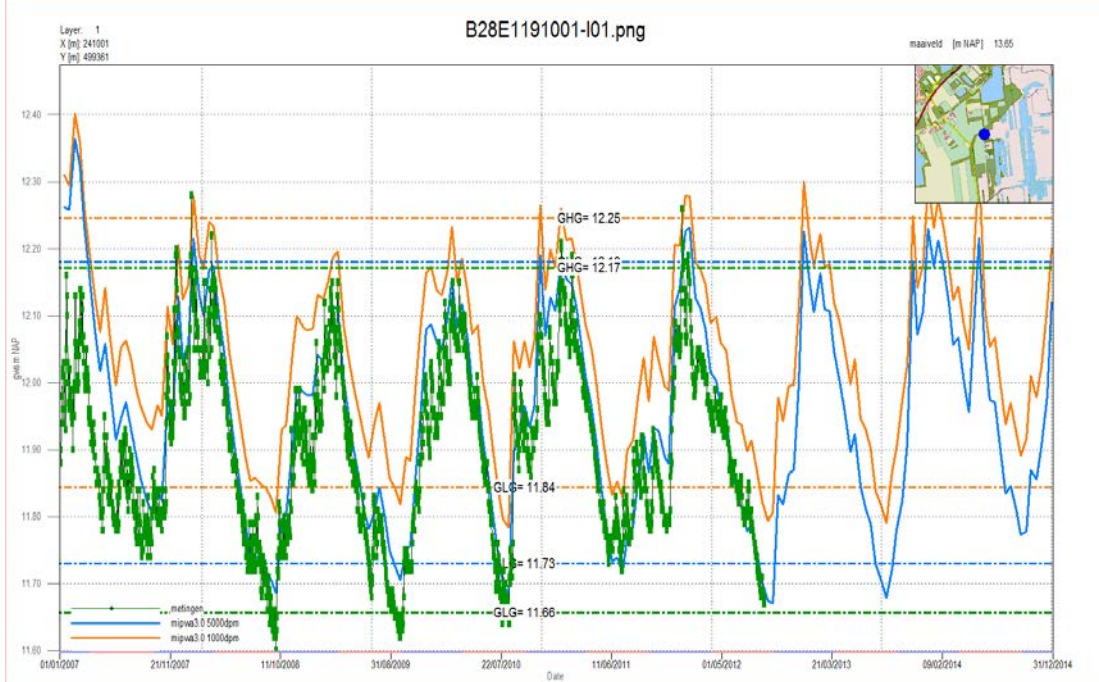


Figuur b8.4 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

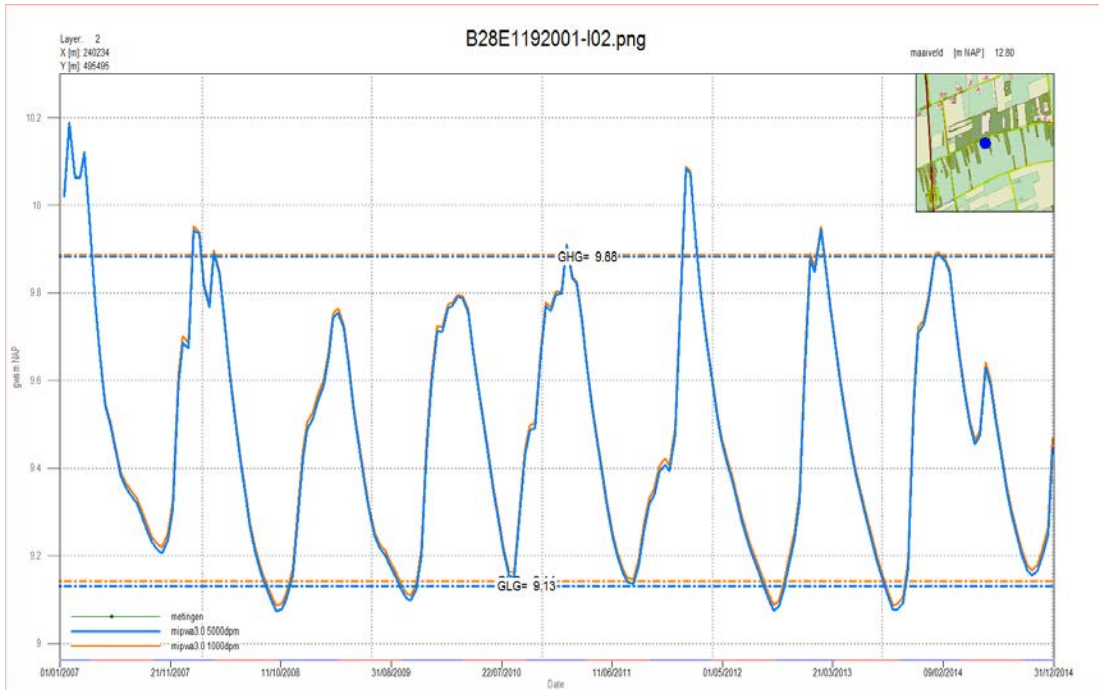




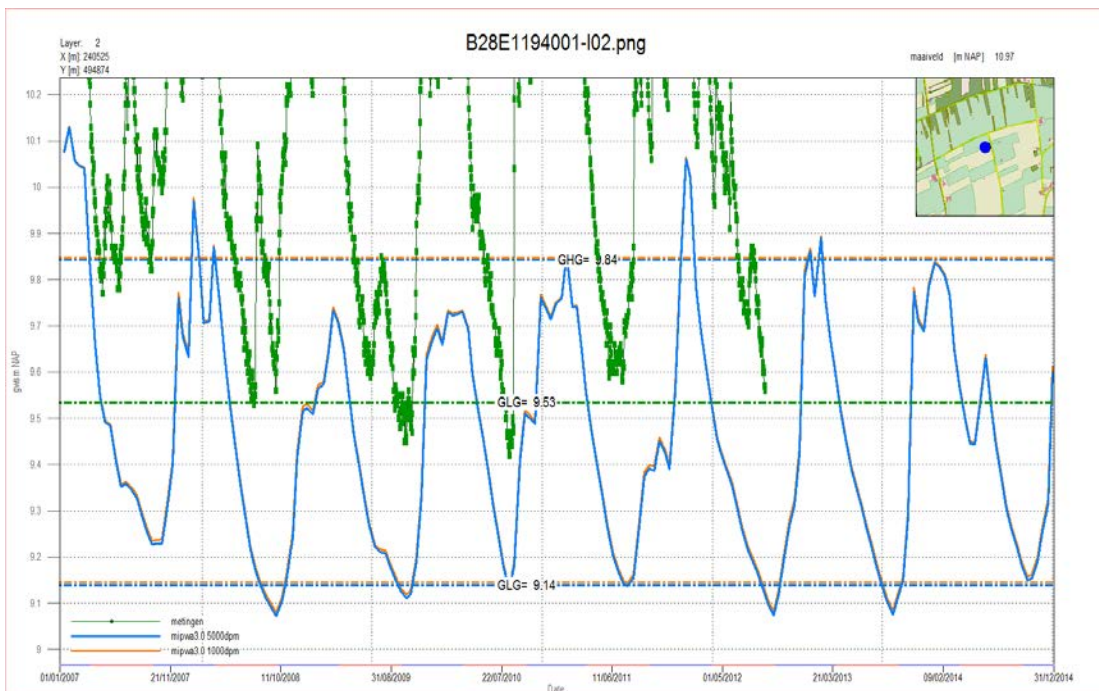
Figuur 8.5 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.6 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

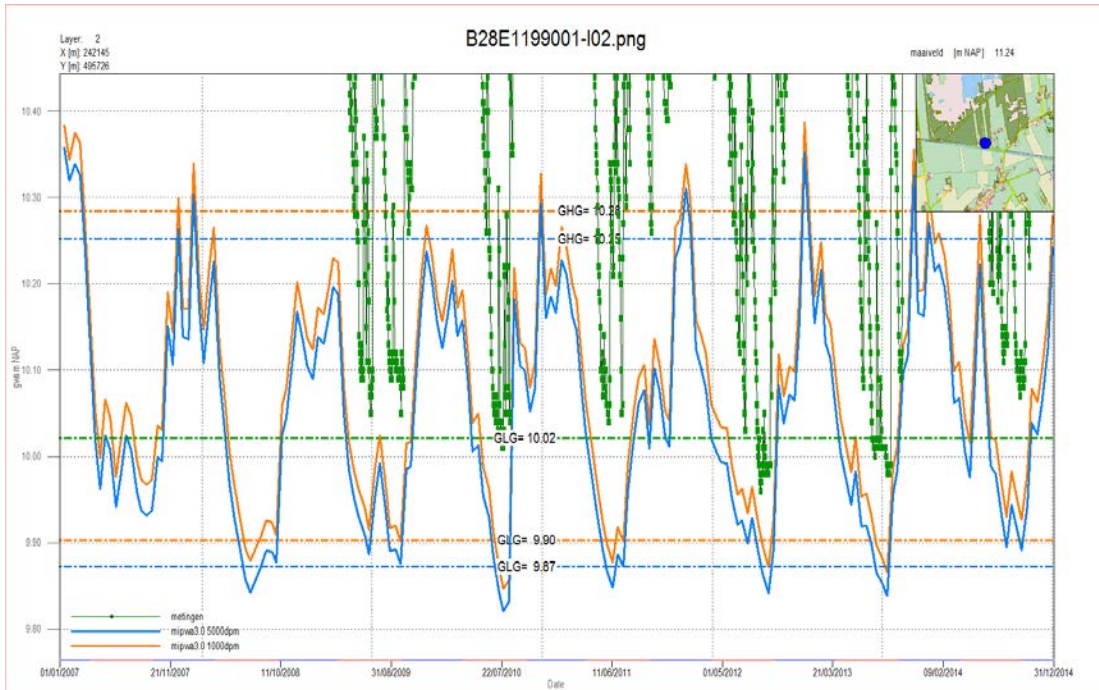


Figuur b8.7 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

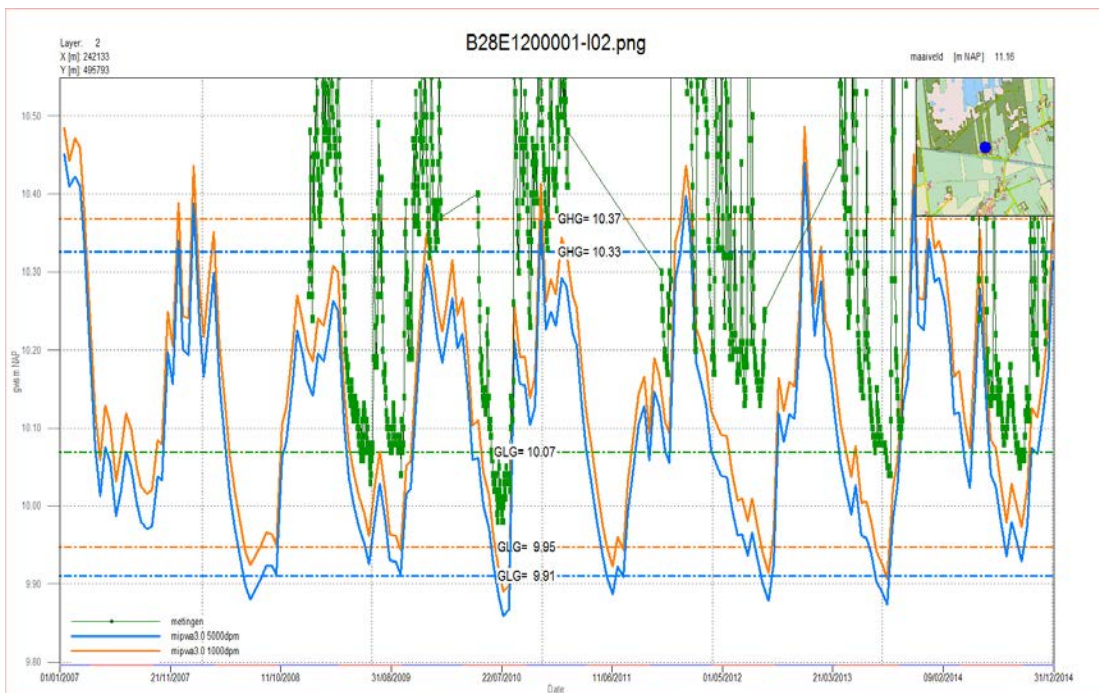


Figuur b8.8 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

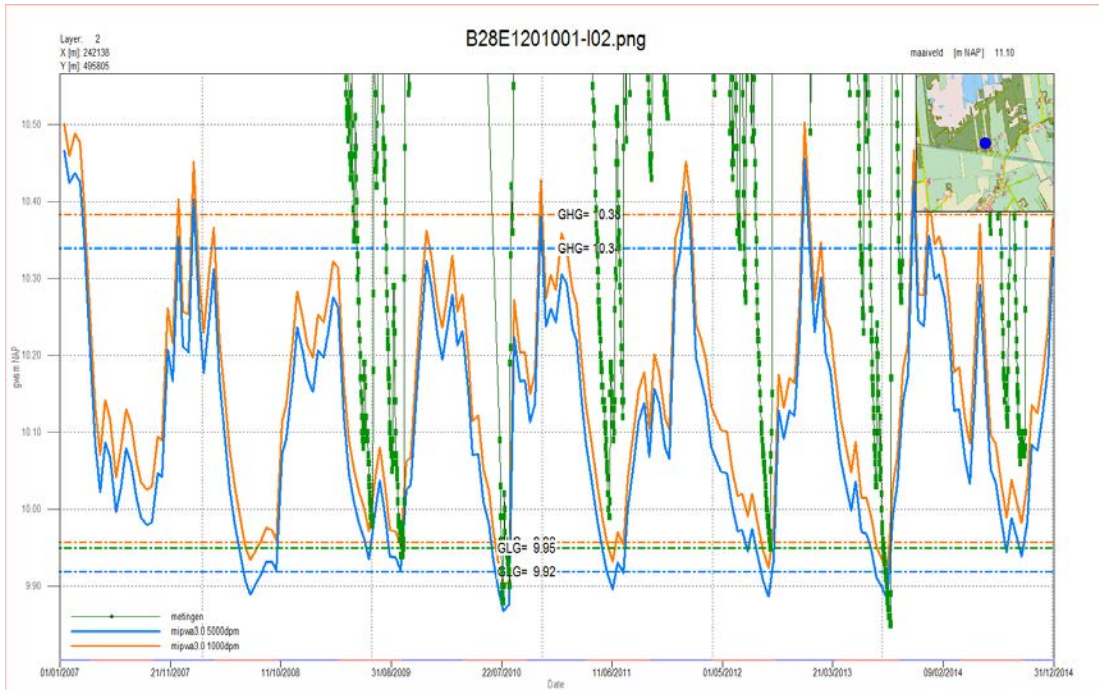




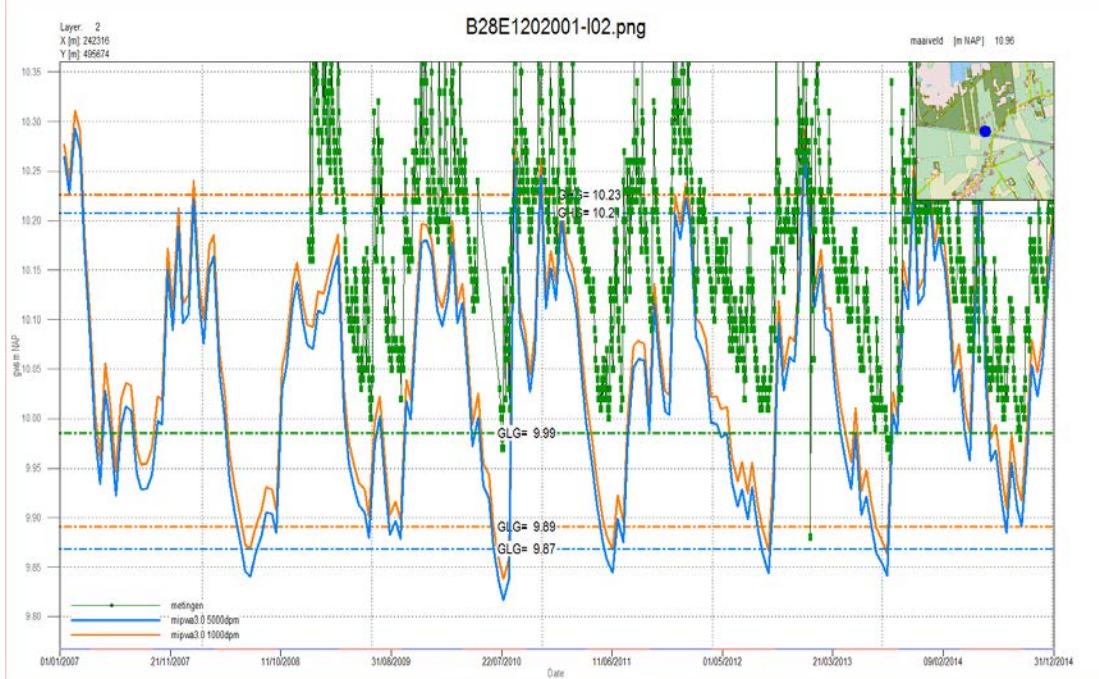
Figuur b8.9 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.10 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

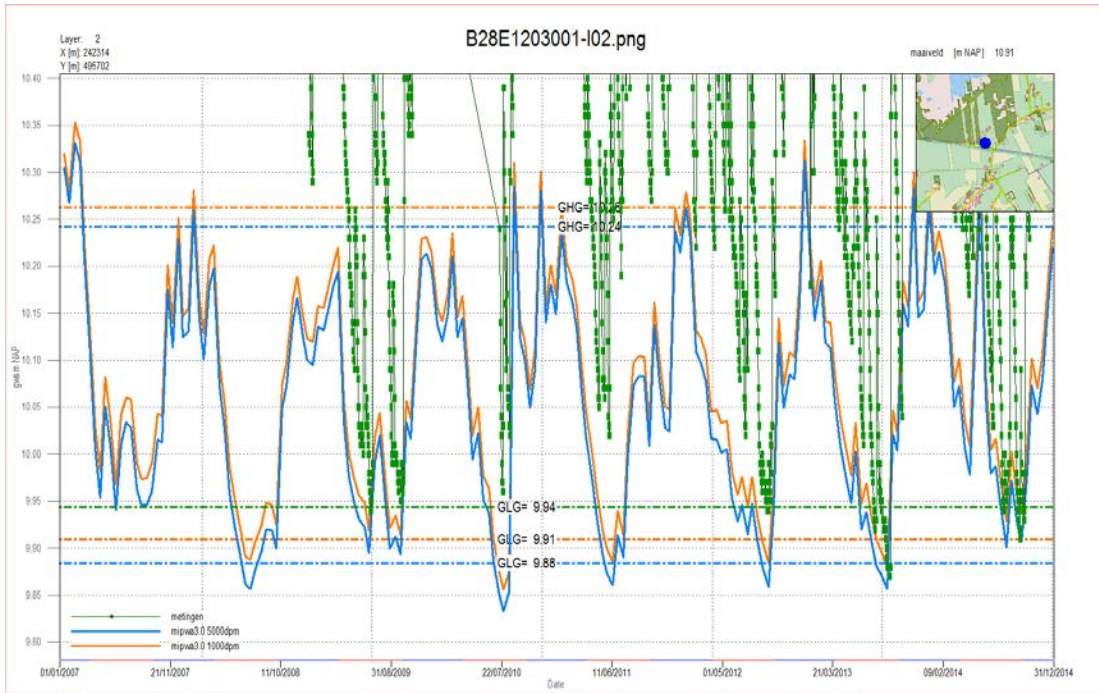


Figuur b8.11 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

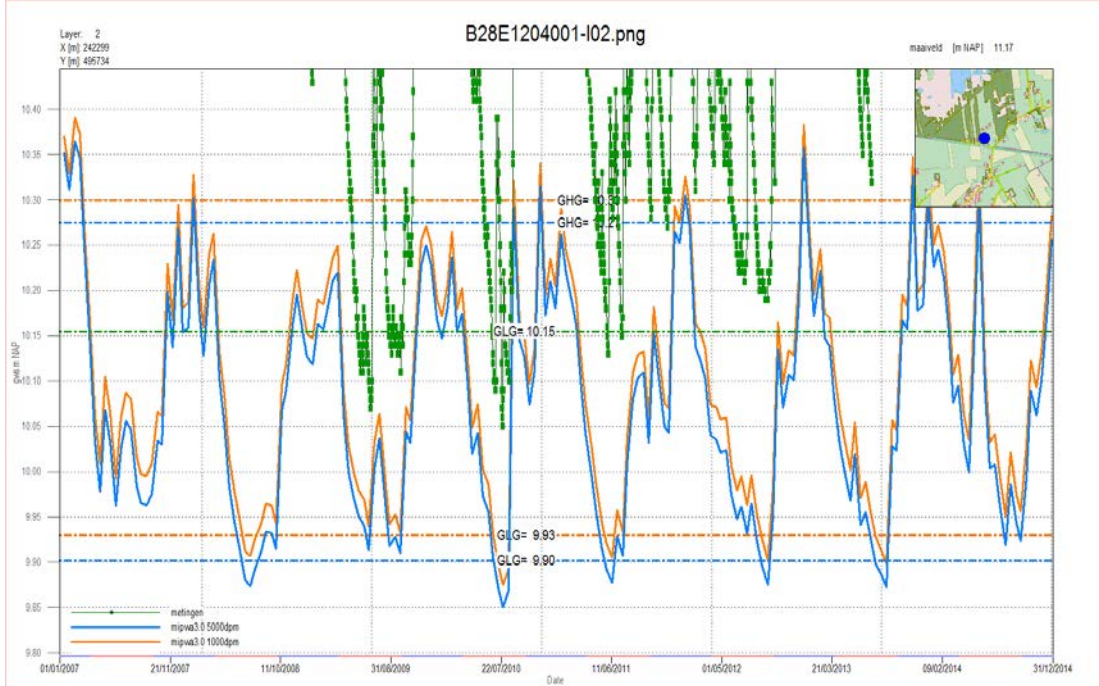


Figuur b8.12 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

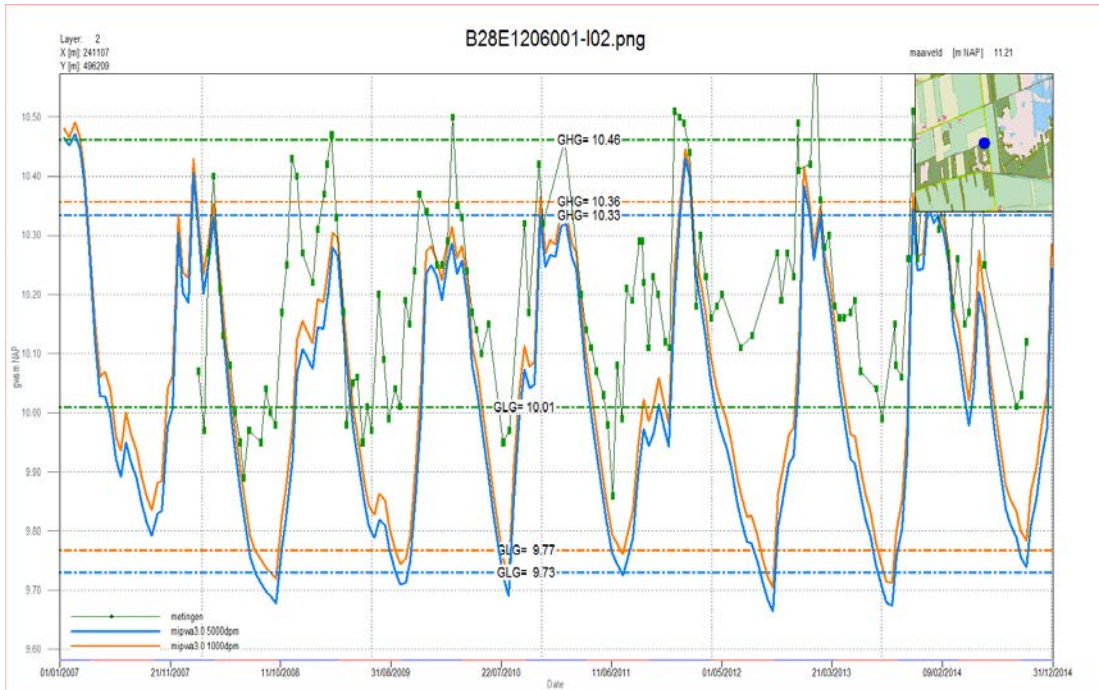




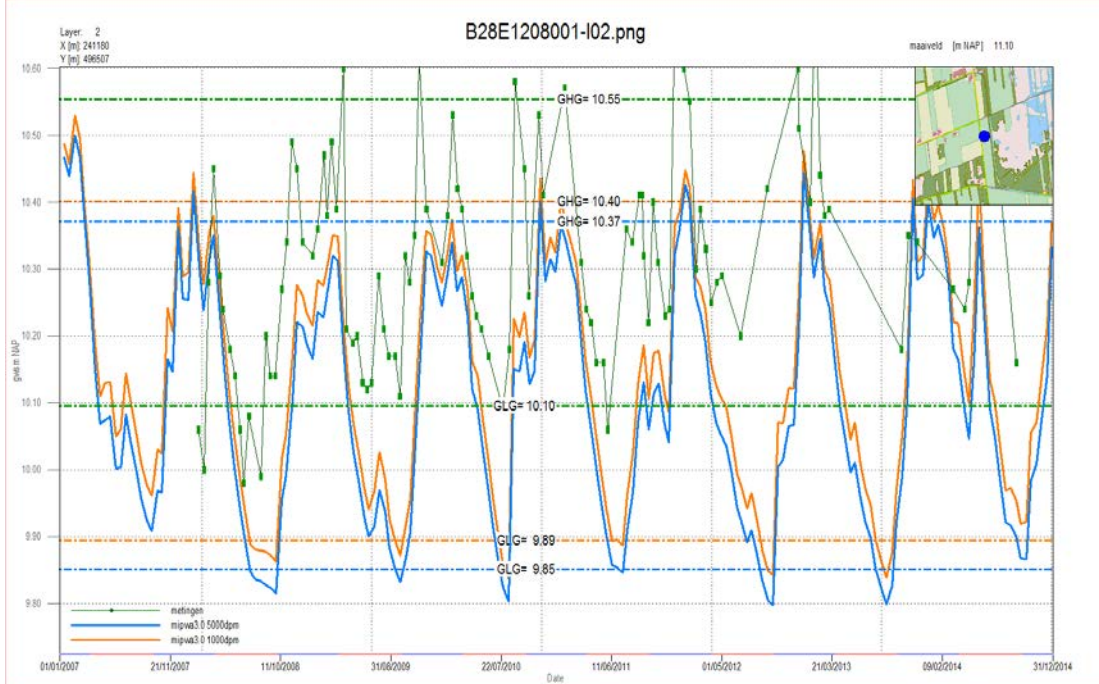
Figuur b8.13 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.14 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

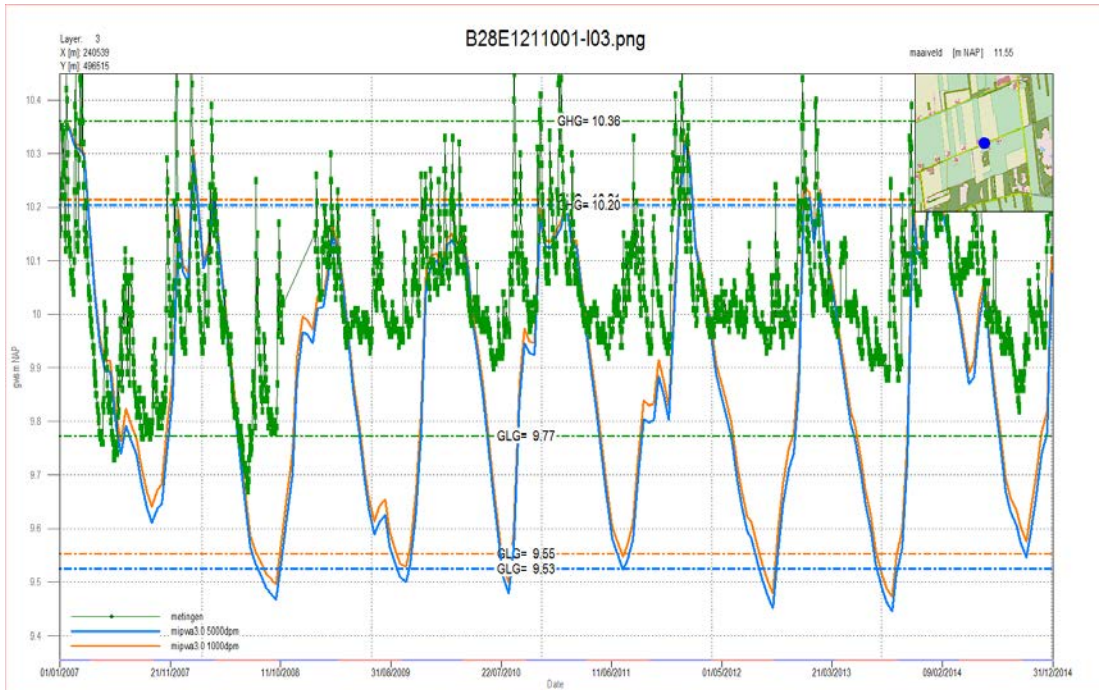


Figuur b8.15 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

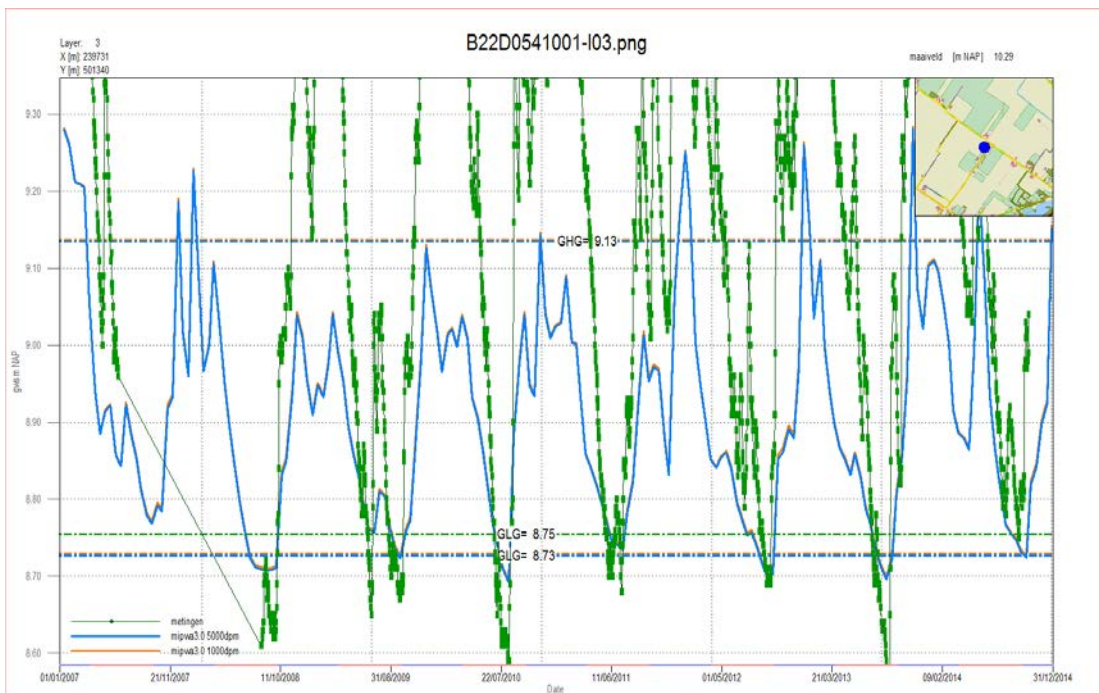


Figuur b8.16 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

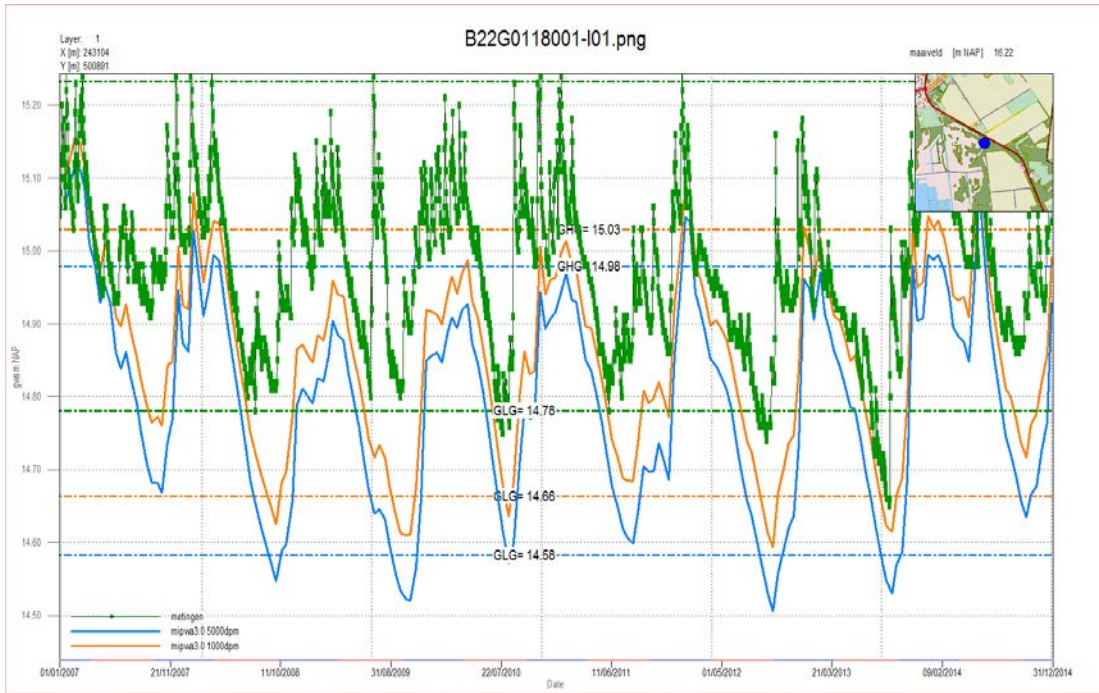




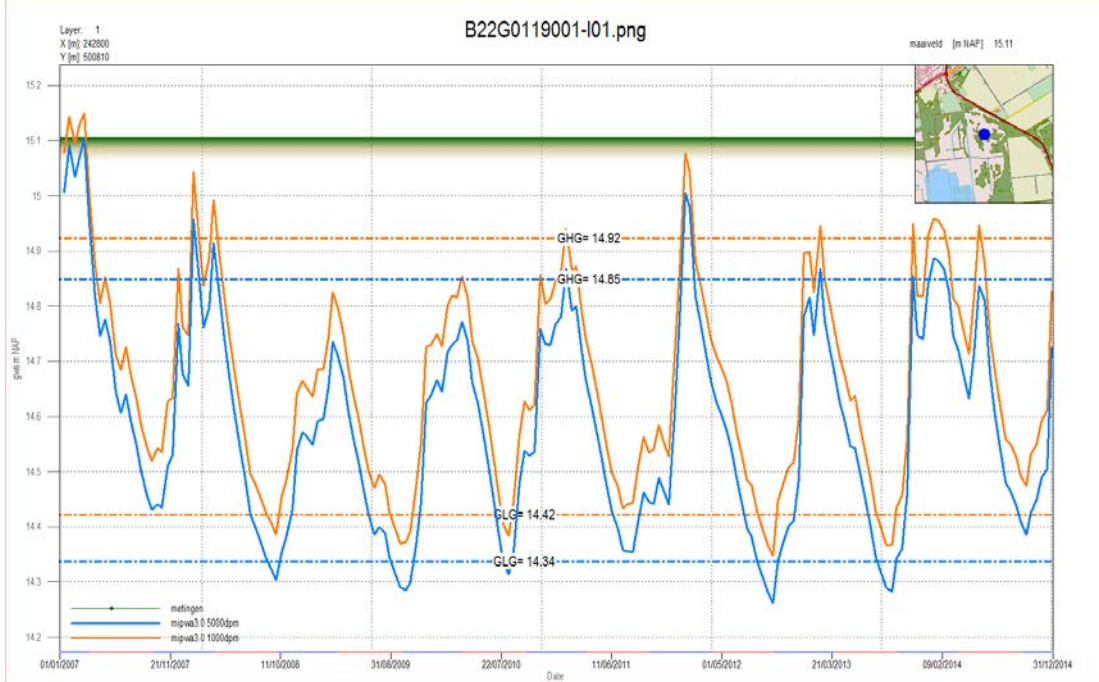
Figuur b8.17 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.18 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

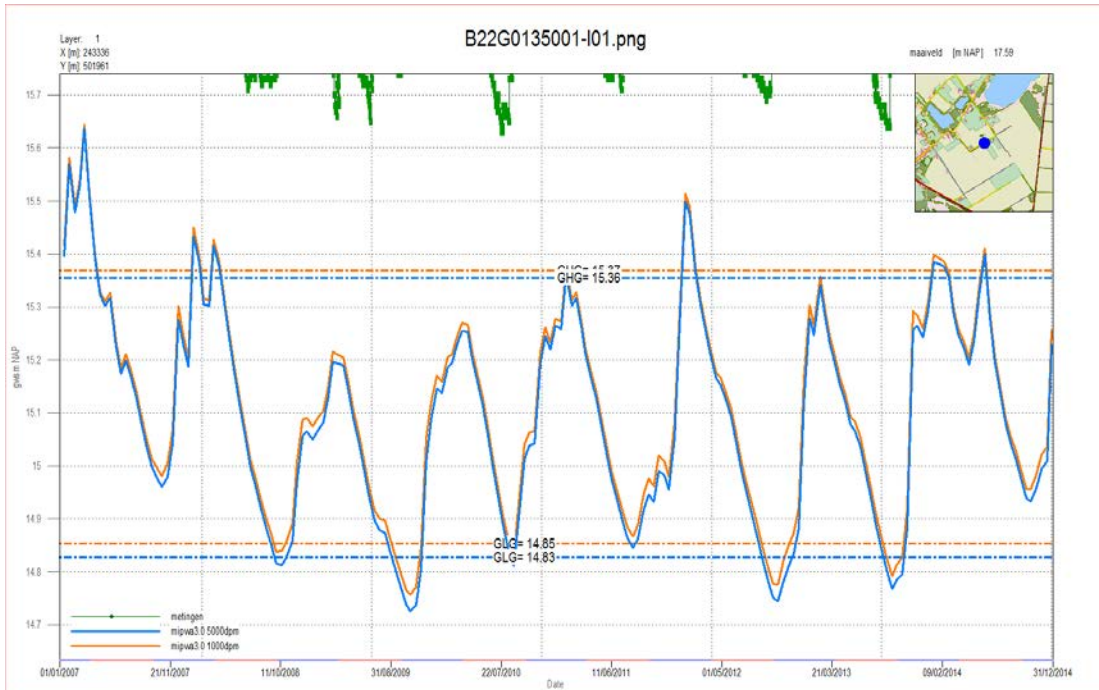


Figuur b8.19 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

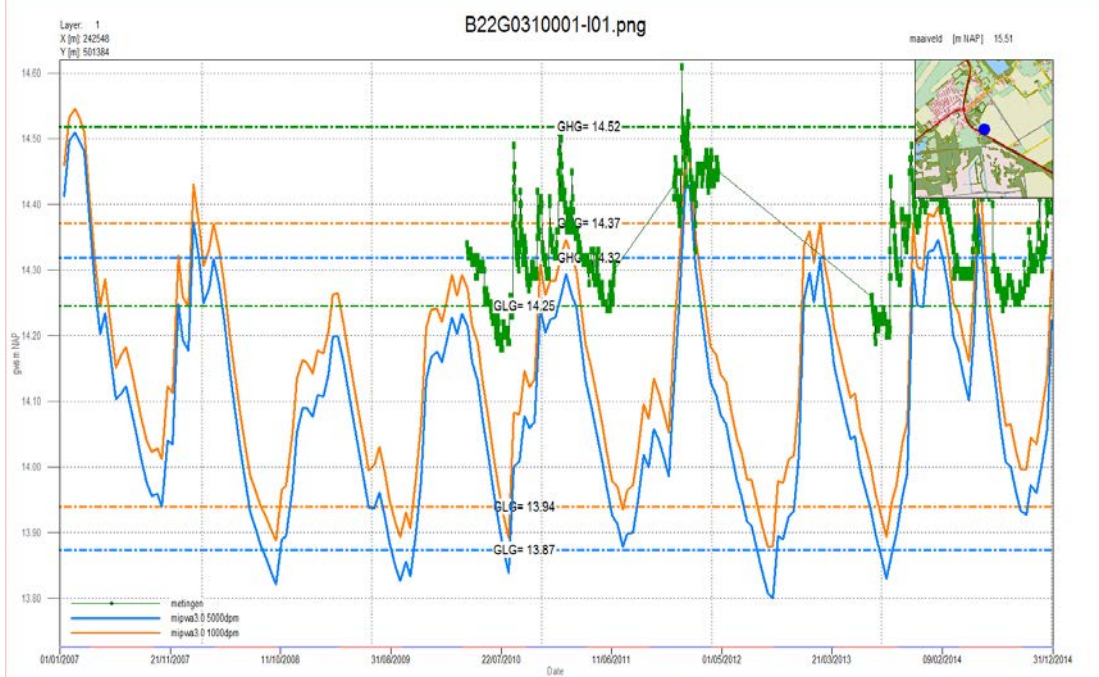


Figuur b8.20 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

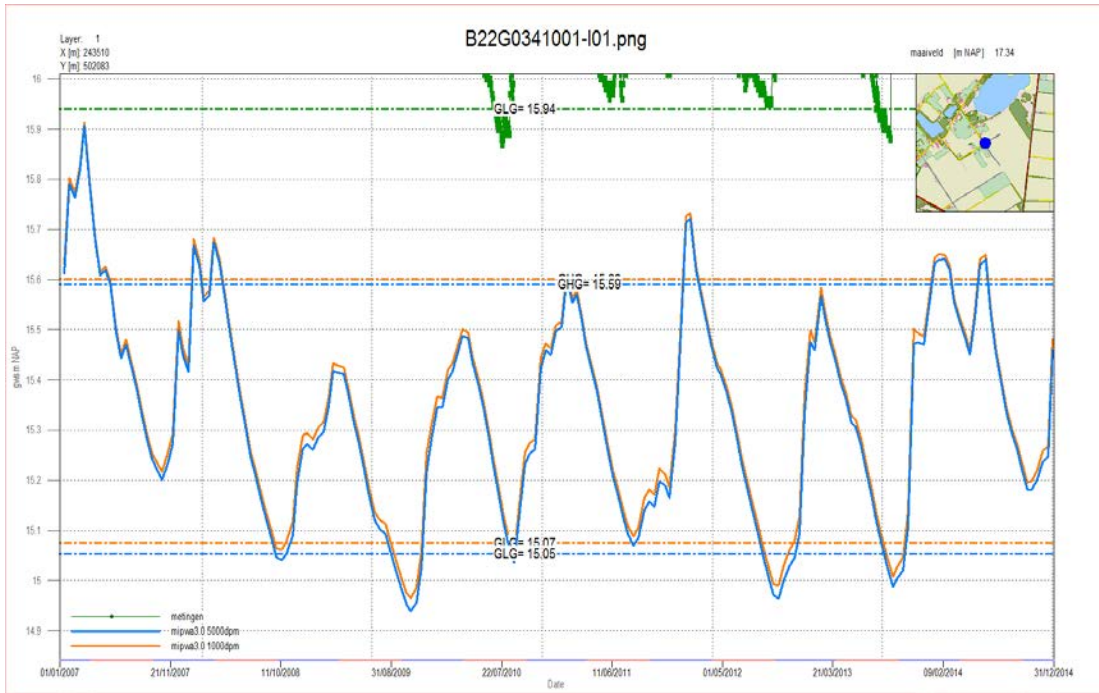




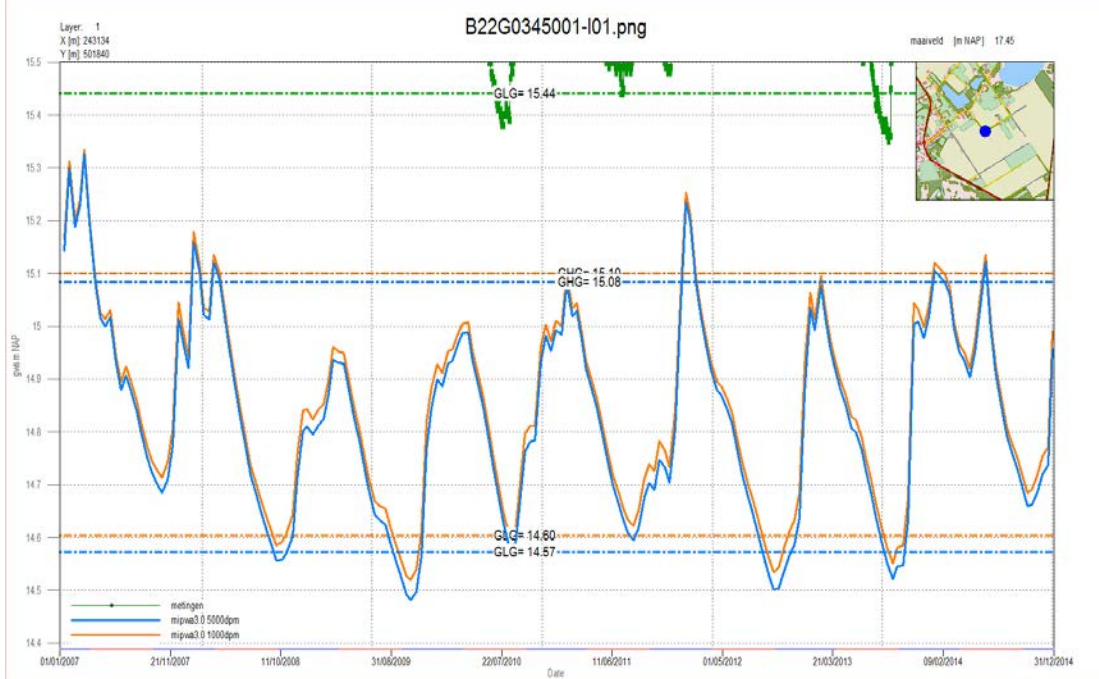
Figuur b8.21: Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



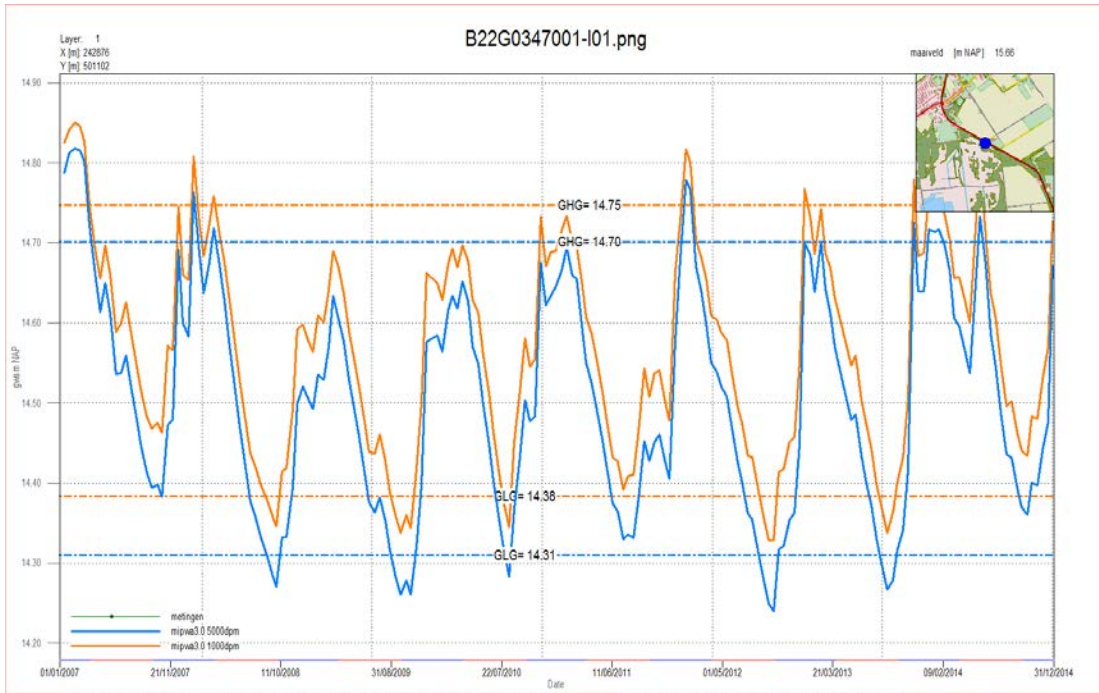
Figuur b8.22: Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



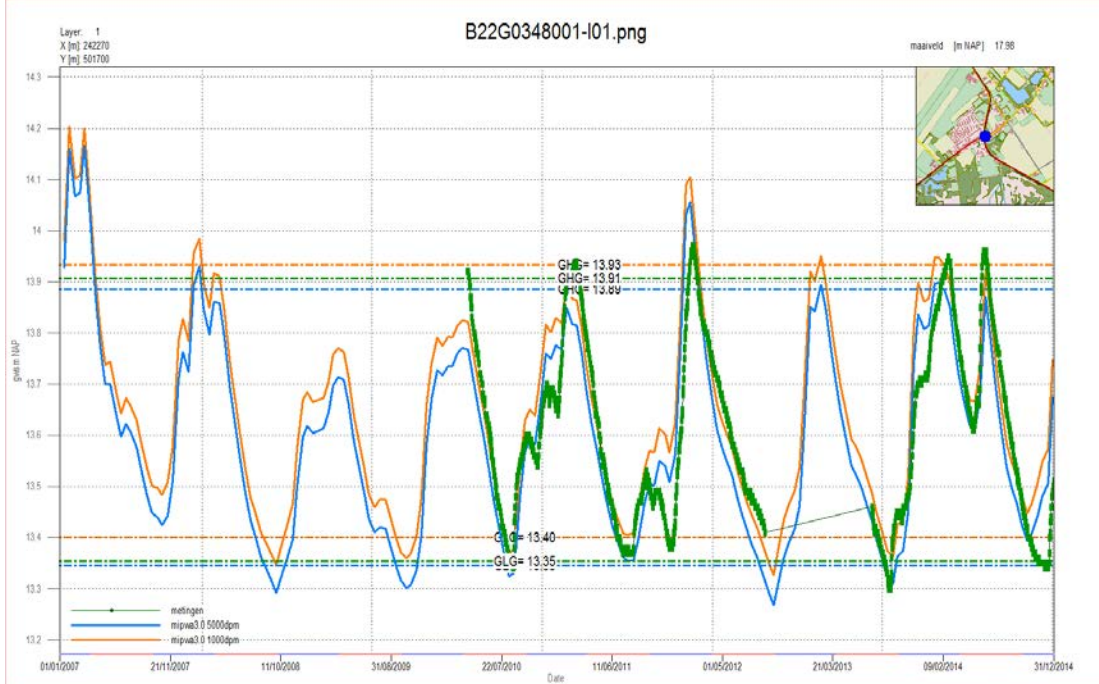
Figuur b8.23: Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.24 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

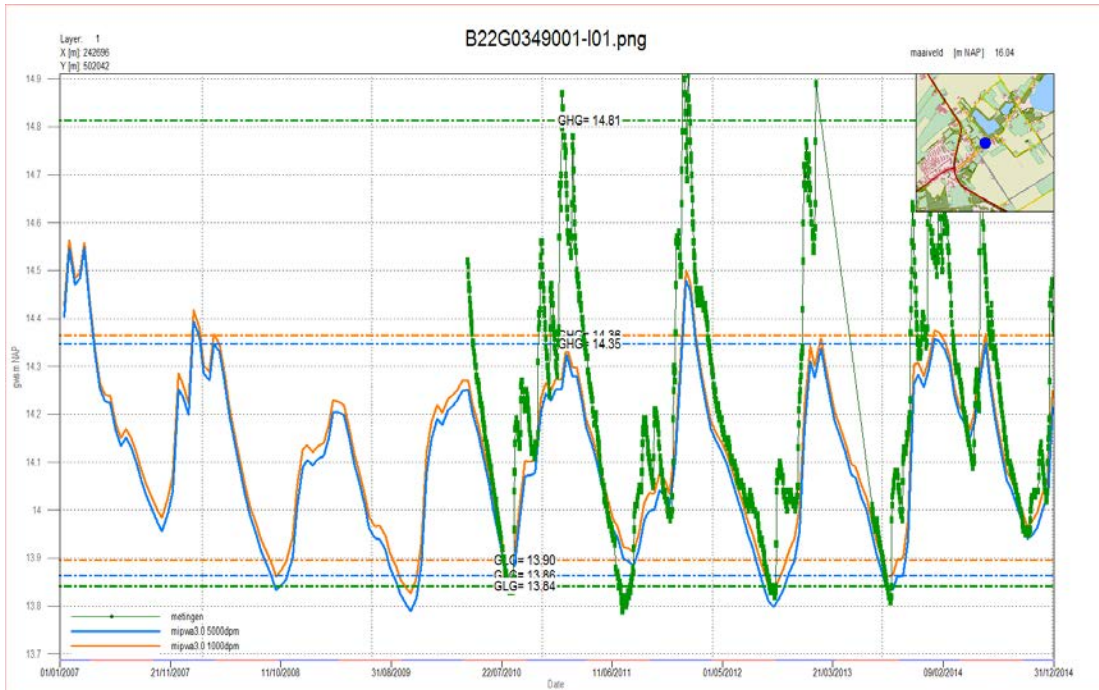


Figuur b8.25 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

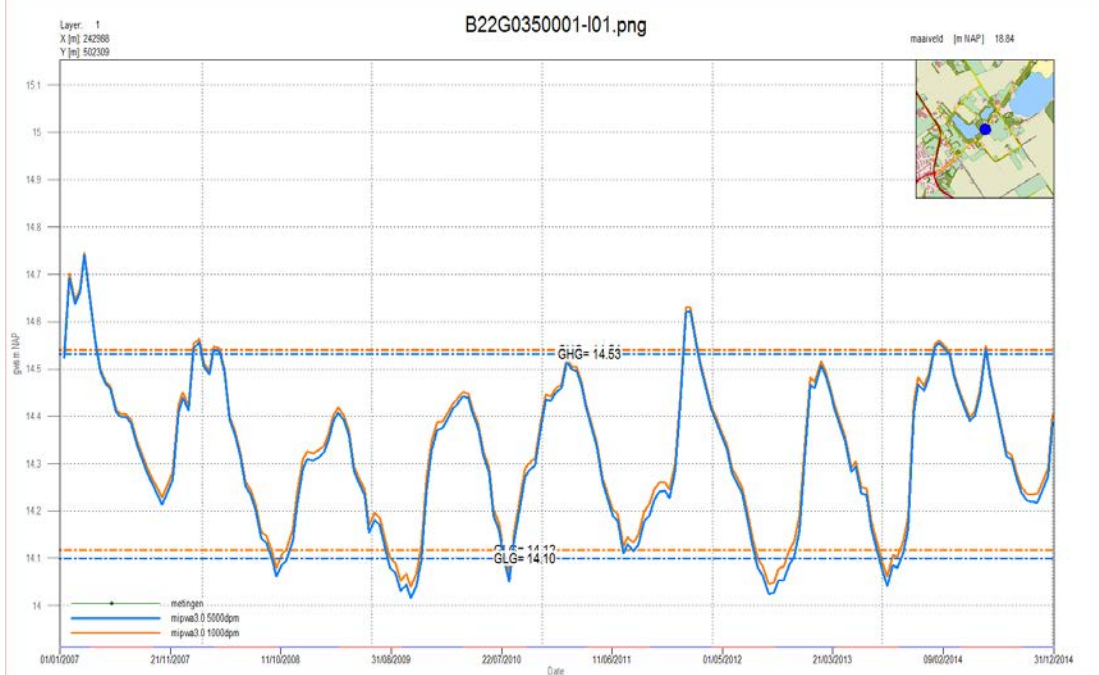


Figuur b8.26 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

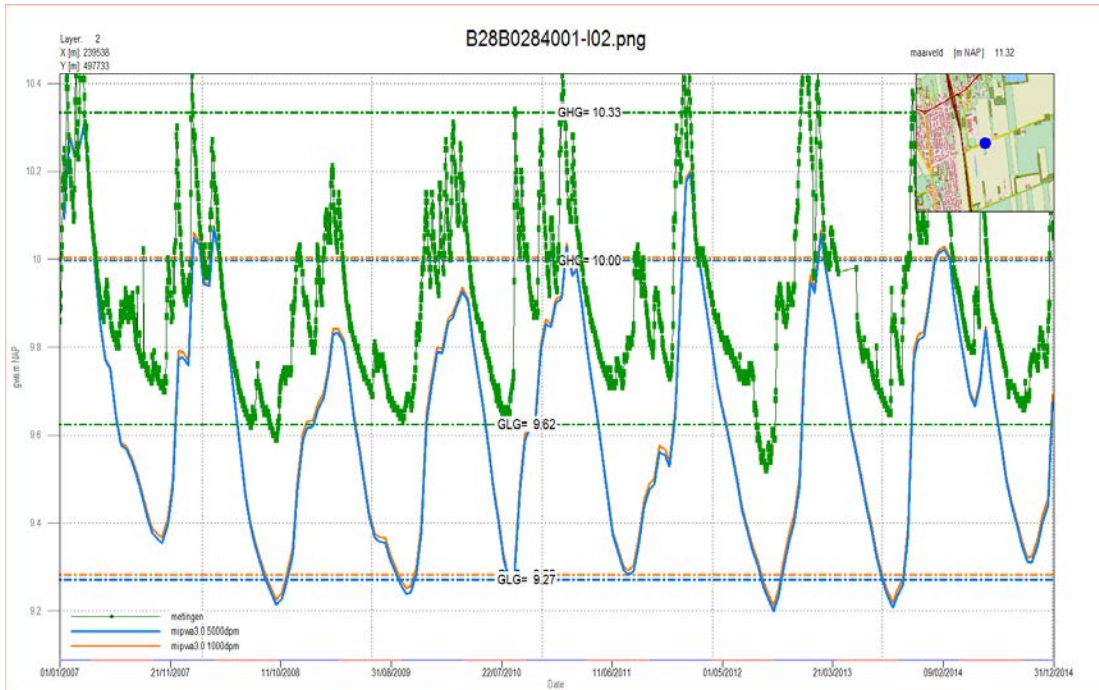




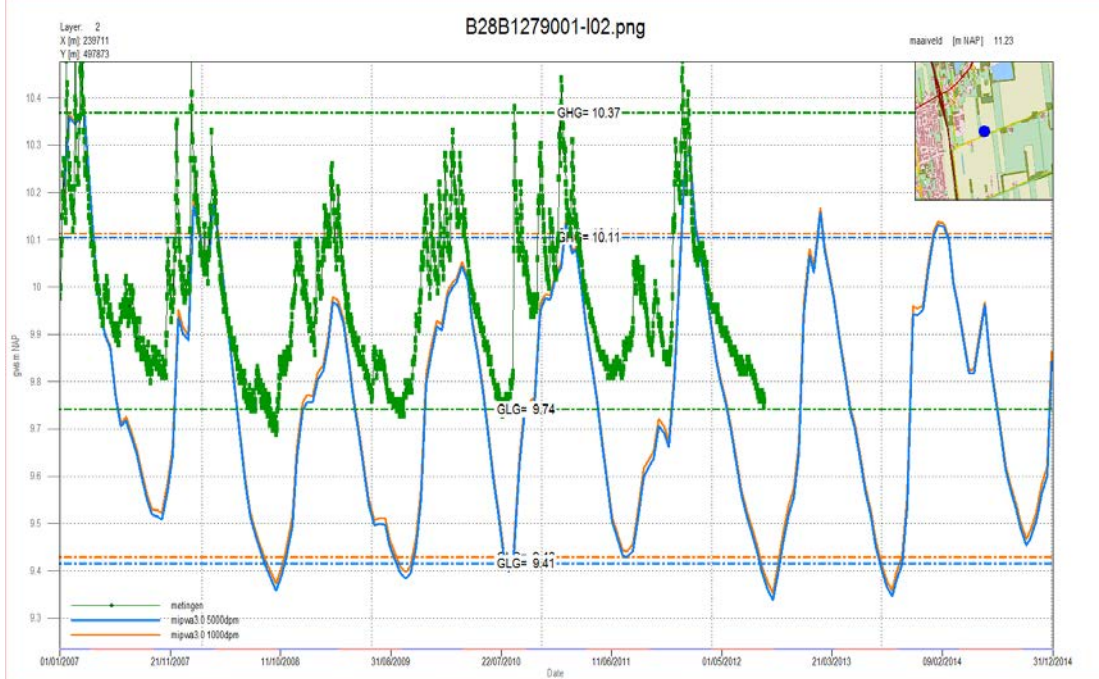
Figuur b8.27: Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



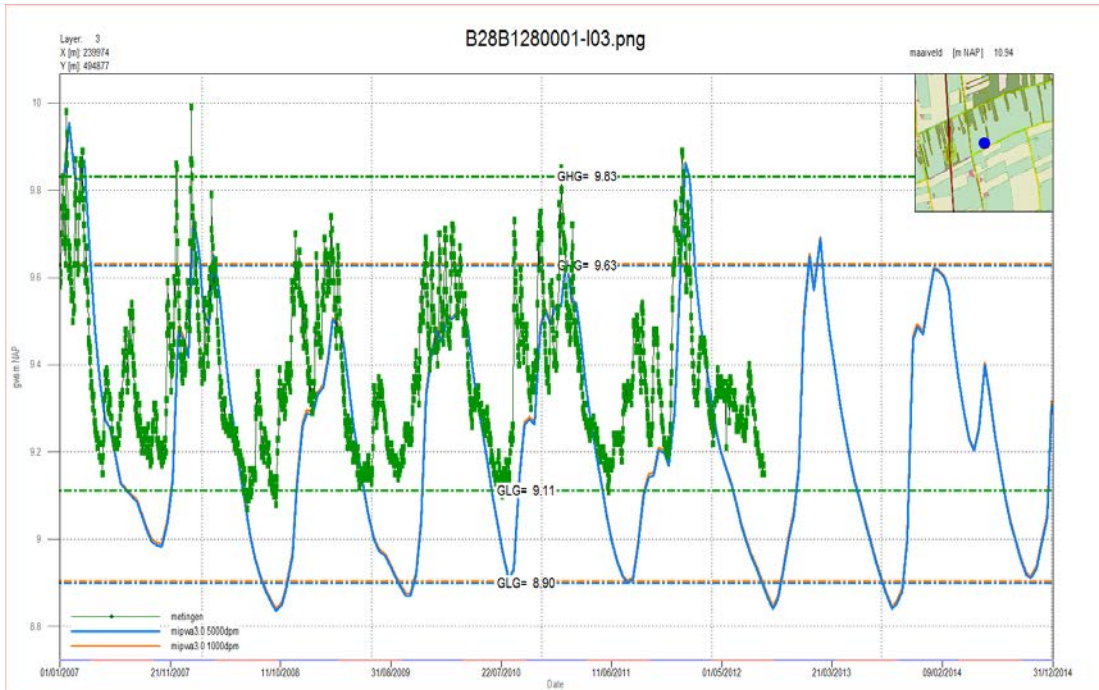
Figuur b8.28 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



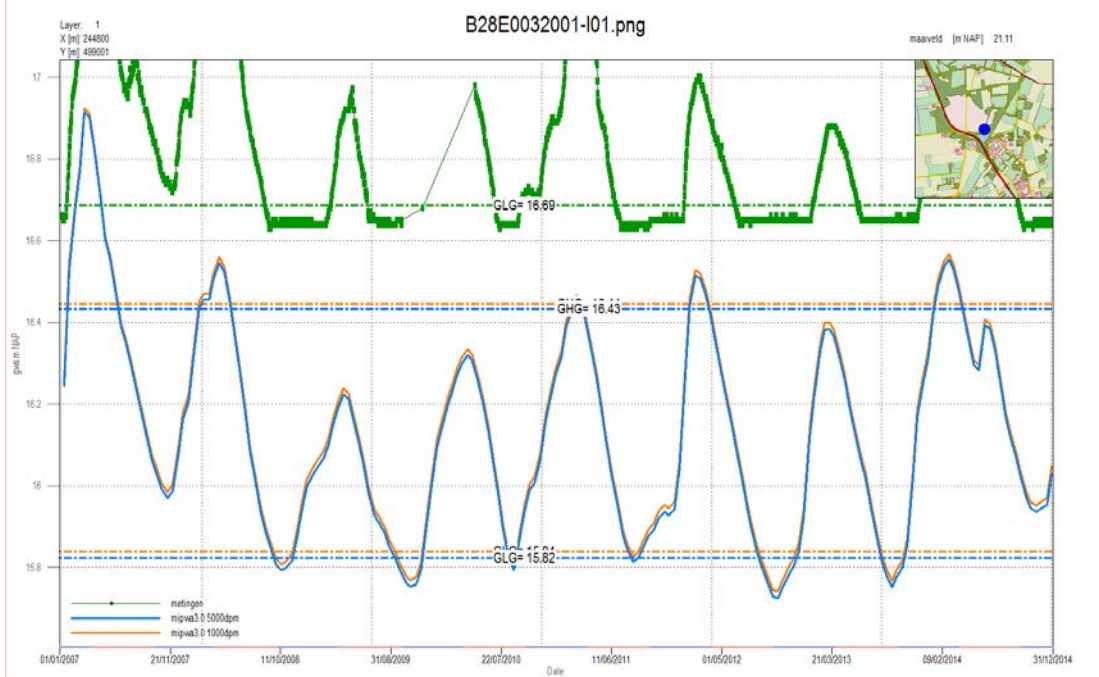
Figuur b8.29 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.30 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

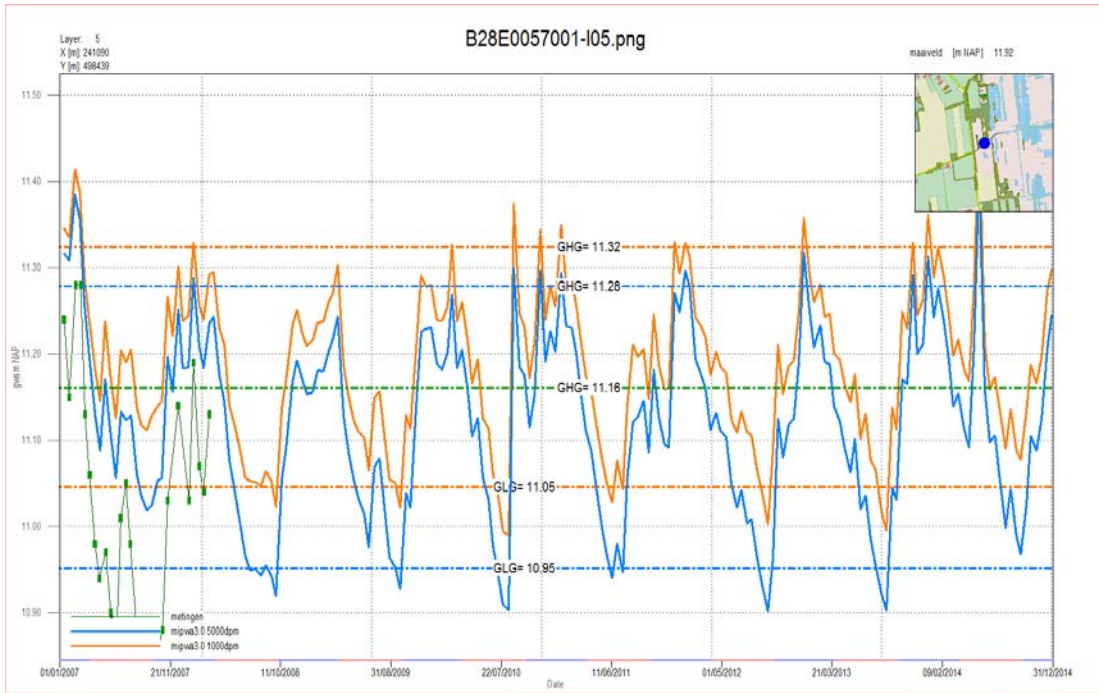


Figuur b8.31 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

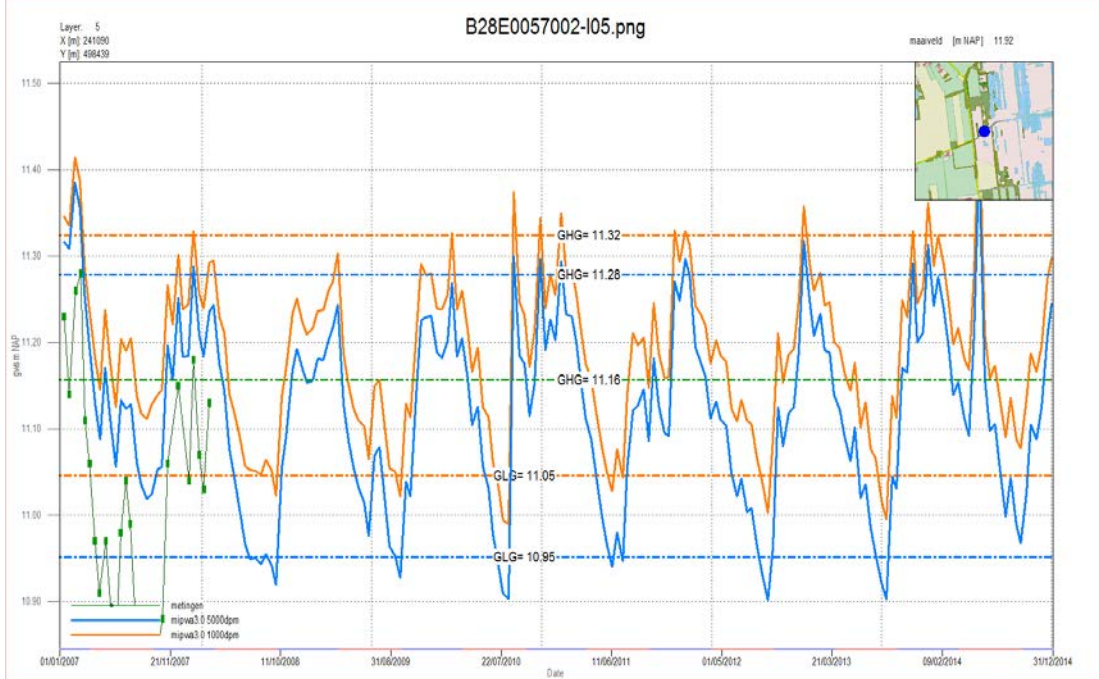


Figuur b8.32 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

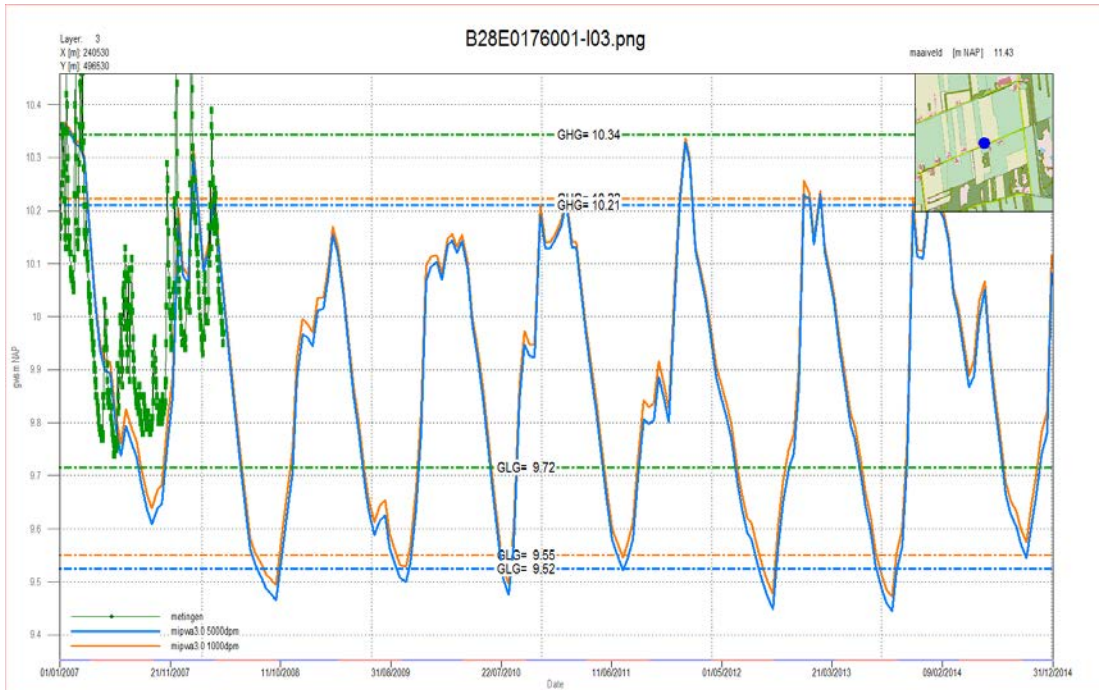




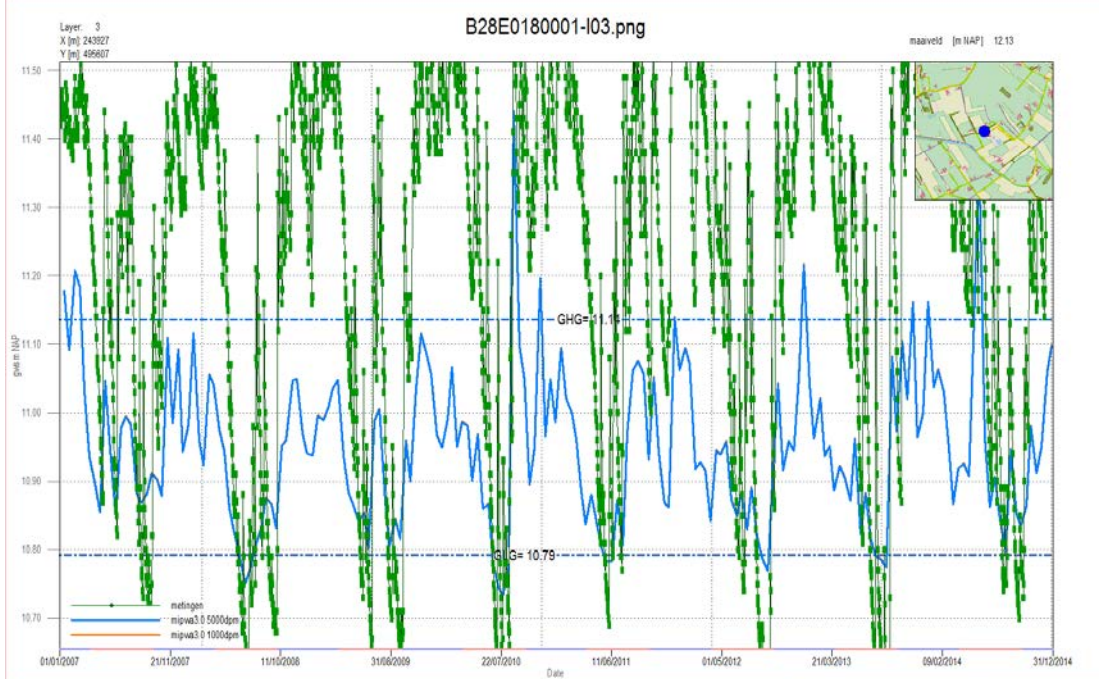
Figuur b8.33 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.34 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

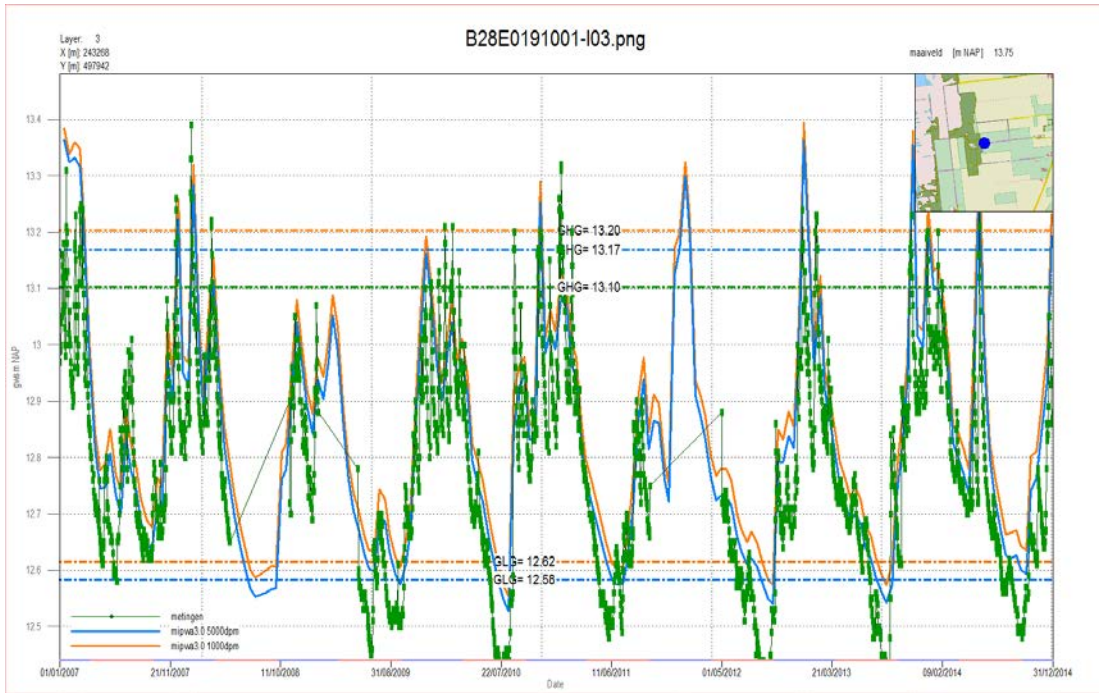


Figuur b8.35 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

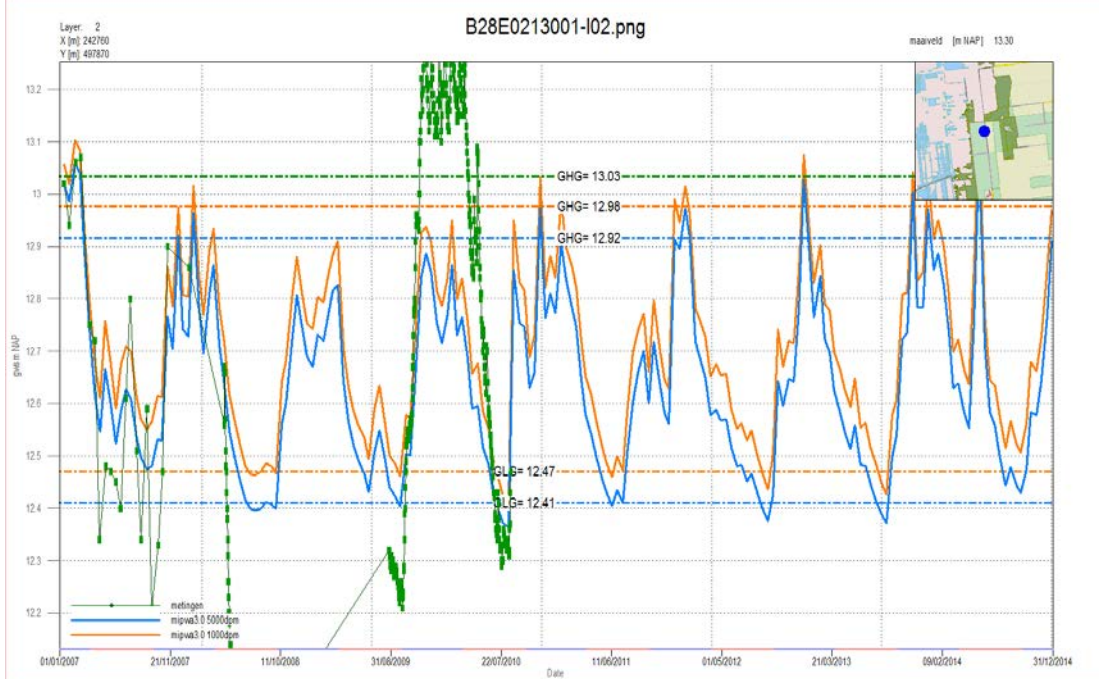


Figuur b8.36 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)

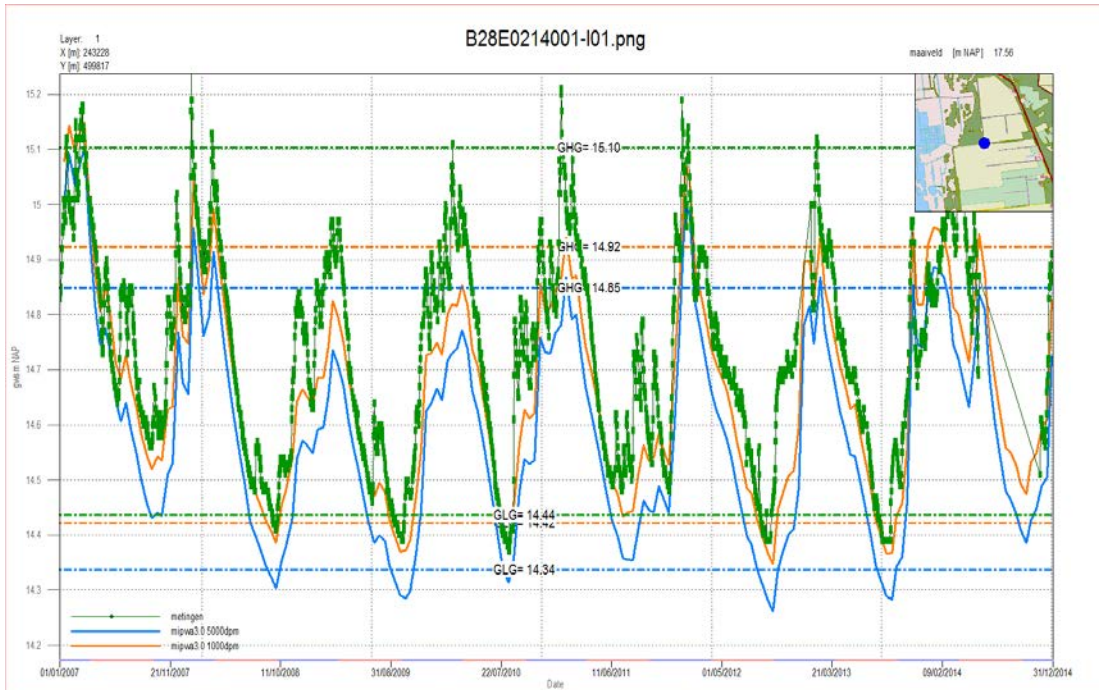




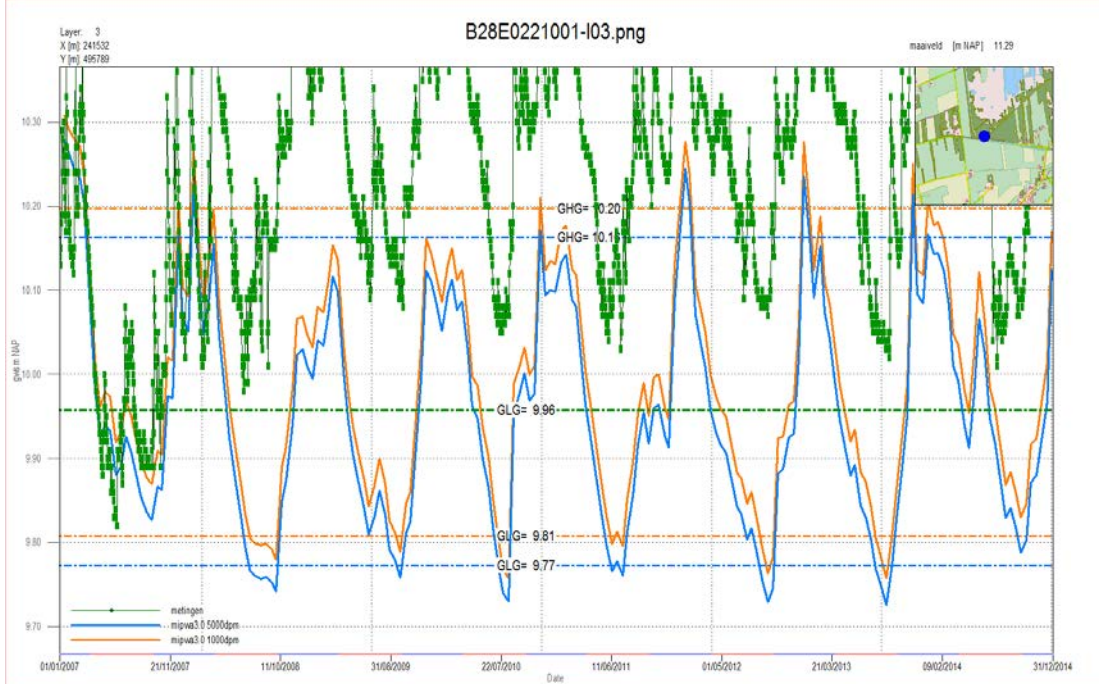
Figuur b8.37 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



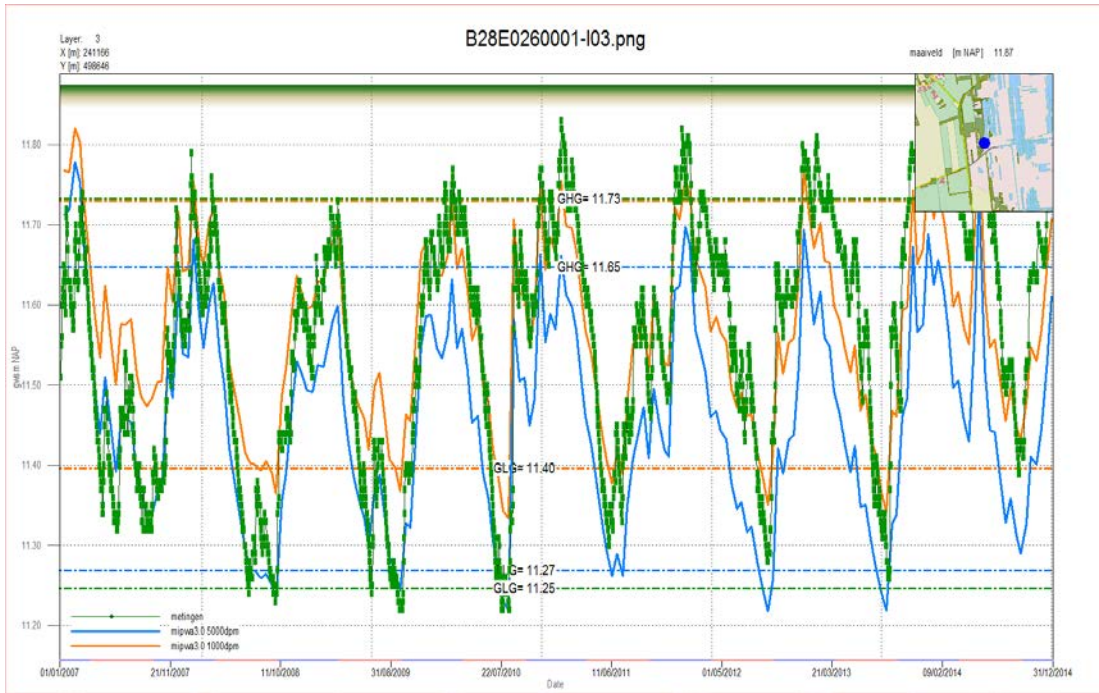
Figuur b8.38 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.39 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.40 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)



Figuur b8.41 Regionaal model, weerstand veen 1000 dagen per meter (blauw) en weerstand veen 5000 dagen per meter (oranje)





## Bijlage 9 Samenvatting kanttekeningen Commissie van Deskundigen 2013

De Commissie heeft daarom een aantal cruciale kanttekeningen en twijfels geplaatst bij de bruikbaarheid van dit model. De kanttekeningen en twijfels omvatten (Jansen et al., 2013):

- Gebrek aan goede gegevens: *“Dit gebrek speelt niet alleen de analyse en visuele interpretatie parten, maar elk (grondwater)model dat van het gebied gemaakt wordt. In feite zouden eerst de beschikbare gegevens die nodig zijn voor een grondwatermodel, op orde gebracht moeten worden. Nu zijn betrouwbare, kwantitatieve uitspraken over de Engbertsdijksvenen niet goed mogelijk.”*
- De wijze waarop de grondwateraanvulling is gemodelleerd: *“Het holoceen-veenpakket is niet in het model opgenomen. In plaats daarvan is een constante grondwateraanvulling gebruikt. Dat leidt om meerdere redenen tot problemen:*
  - *De grondwateraanvulling is niet constant maar is afhankelijk van het verschil tussen grondwaterstand en stijghoogte net onder veenlaag. De dynamiek van grondwaterstanden en stijghoogten is niet hetzelfde en daardoor de flux ook niet*
  - *Hierdoor mis je de mogelijkheid interne en externe maatregelen af te wegen. Immers, er kan niet worden uitgerekend wat het effect daarvan is op de dynamiek van de grondwaterstanden (en openwaterstanden) in het deel van het model met een veenpakket*
  - *Hierdoor wordt ook de aansluiting gemist op de standplaatseis van maximaal 40 -50 mm/jaar wegzijging*
  - *Er is geen ruimtelijke variatie in de grondwateraanvulling aangebracht terwijl die in werkelijkheid afhangt van o.a. de dikte van de veenlaag.*
  - *Een constante voeding leidt immers tot minder dynamiek in de grondwaterstanden in de Engbertsdijksvenen. Dat wordt bevestigd door de modelresultaten*
  - *Uit metingen van o.a. Schouwenaars (1990) blijkt een niet onaanzienlijke perifere afstroming op te treden. Deze afstroming is echter op nul gezet*
  - *Om de actuele verdamping te berekenen had gebruik gemaakt kunnen worden van de gewasfactoren van Schouwenaars (1990) die in de Engbertsdijksvenen zelf zijn gebruikt. De Commissie vraagt zich af waarom deze gebiedseigen factoren niet zijn gebruikt”*
- De wijze waarmee de is omgegaan met weerstanden:
  - *“Over het gehele modelgebied is een constante weerstand van het eerste watervoerend pakket van 15 resp. 11 dagen gebruikt. Dat wordt veroorzaakt door de gebruikte modelschematisatie. Deze dwingt tot een parameterkeuze die niet goed is te onderbouwen,*
  - *De gebruikte weerstand van de eerste weerstandbiedende laag is erg laag. Voor zwartveen/gliede/gyttja/kazige B-horizont worden in de literatuur specifieke weerstanden in de orde van duizenden d/m genoemd (Schouwenaars, 1990; Streefkerk & Casparie, 1987; Van Walsum & Joosten, 1994). De veendiktekaart van het natuurgebied laat zien dat er sprake moet zijn van aanzienlijke weerstanden. Voor weinig aangetaste veenpakketten in het Bargerveen komen Streefkerk & Oosterlee (1984) op een weerstand van 20.000 dagen. Een wegzijging van uiteindelijk 0,59 mm/d spoort niet met een weerstand van de veenlaag die aanzienlijk is.”*



- Berekeningswijze van wegzijging van het veenpakket naar de onderliggende zandlaag: *“Op basis van literatuurgegevens en waarnemingen van het optreden van afvoeren uit het gebied is de hoogte van de in het model gebruikte wegzijging waarschijnlijk een factor 2 à 3 overschat. En dus moeten er ook vraagtekens worden gezet bij de in het model gebruikte parameters van de zandondergrond. Bij een geringere doorstroming en een evenredig kleiner doorlaatvermogen wordt toch ongeveer dezelfde fit bereikt. Dit staat in de vakliteratuur bekend als het probleem van equifinilaty. Indien dit aan de orde is, geeft een duidelijk verschillende combinatie van parameterwaarden ongeveer gelijke modelprestaties, uitgedrukt in karakteristieken voor bijvoorbeeld het verschil tussen gemeten en berekende grondwaterstanden.”*

Daarnaast heeft de Commissie twijfels of een complex hoogveensysteem überhaupt met numerieke hydrologische modellen betrouwbaar gesimuleerd kunnen worden. In onderstaand kader is de onderbouwing hiervoor van de Commissie beschreven.

*Kader 2 - Commissie van Deskundigen, eisen aan grondwatermodel (Jansen et al., 2013)*

*“Numerieke modellen vragen om zeer veel gegevens en in het geval van natuurgebieden ook nog eens van een hoge mate van ruimtelijk en temporeel detail. De ruimtelijke schematisering van het gebruikte model is zeer fijn – een ruimtelijke resolutie van 25 maal 25 m maar in een dermate heterogeen gebied als de Engbertsdijksvenen nog te grof voor expliciete modellering van sloten, plasjes en slenken. Voor een adequate modellering van snelle (veelal aan-uit) processen zoals maaiveldafvoer en stroming en berging in het oppervlaktewater in een dergelijk niet-lineair gebied zijn de toegepaste tijdstappen van 14 dagen te lang.”*





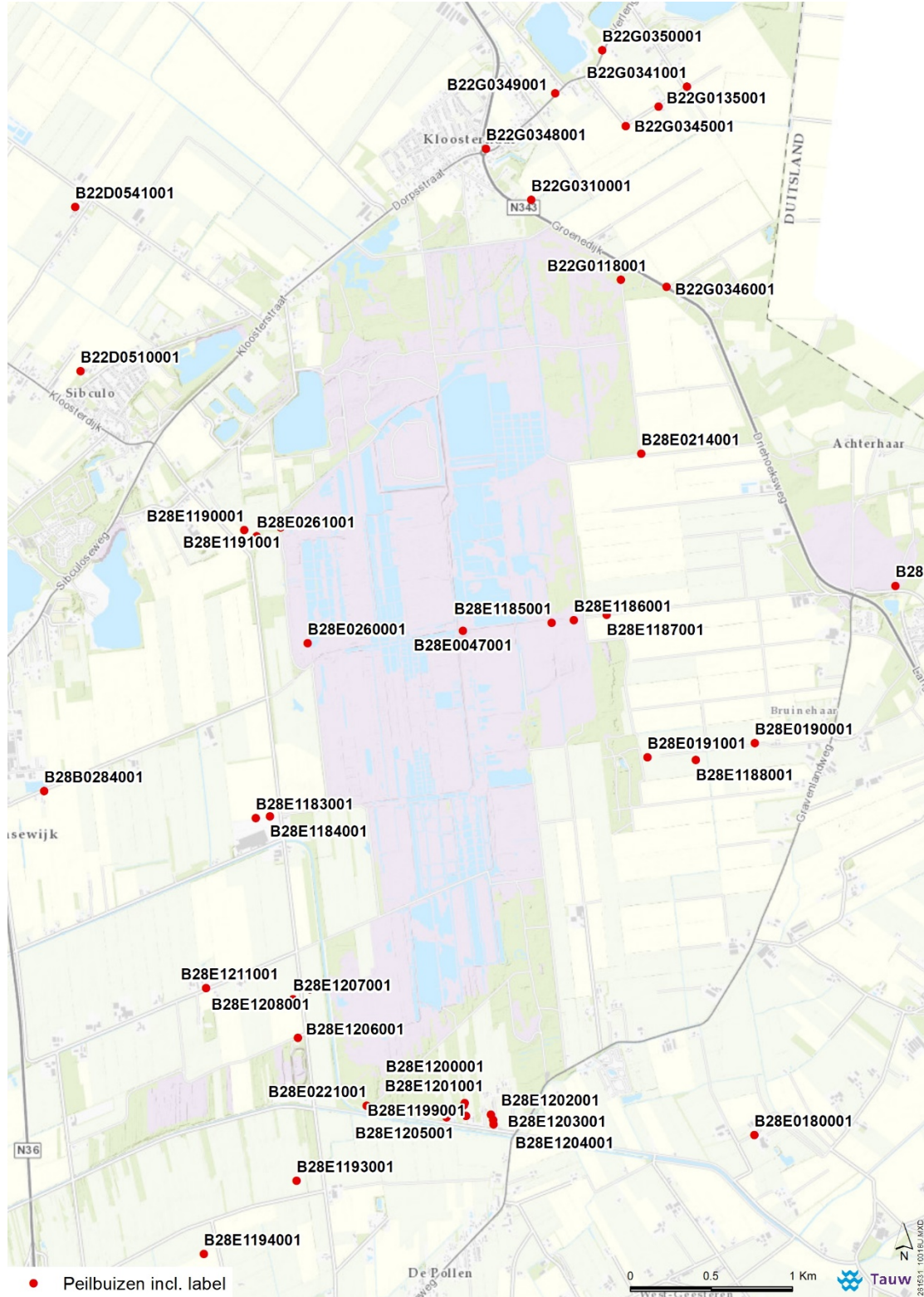
## **Bijlage 2**

## **Kalibratieset**

Peilbuis	Laagnr	Mv (m NAP)	Boven (m NAP)	Onder (m NAP)	b.k. (m-mv)	o.k. (m-mv)	GHG (m NAP)	Gemiddeld (m NAP)	GLG (m NAP)	dyn (m)
B22D0510001	2	12.55	8.55	7.55	4.0	5.0	9.87	9.61	9.4	0.47
B22D0541001	3	10.07	5.95	4.95	4.1	5.1	9.7	9.25	8.81	0.89
B22G0118001	1	15.7	13.82	13.67	1.9	2.0	15.13	14.97	14.81	0.32
B22G0135001	1	17.387	14.348	13.85	3.0	3.5	16.12	15.88	15.77	0.35
B22G0341001	1	17.74	14.36	13.36	3.4	4.4	16.31	16.11	15.95	0.36
B22G0345001	1	17.56	13.6	12.6	4.0	5.0	15.89	15.64	15.46	0.43
B22G0346001	1	17.39	13.42	12.42	4.0	5.0	15.62	15.44	15.25	0.37
B22G0348001	1	17.91	12.34	11.34	5.6	6.6	13.91	13.61	13.39	0.52
B22G0349001	1	16.38	12.82	11.82	3.6	4.6	14.69	14.21	13.87	0.82
B22G0350001	1	18.91	13.07	12.07	5.8	6.8	13.73	13.48	13.29	0.44
B28B0284001	2	11.77	8.82	7.82	3.0	4.0	10.26	9.88	9.65	0.61
B28E0180001	3	12.129	10.00	9.00	2.1	3.1	11.53	11.21	10.65	0.88
B28E0190001	3	14.29	13.29	12.29	1.0	2.0	13.64	13.43	13.12	0.52
B28E0191001	3	13.99	11.53	11.03	2.5	3.0	12.97	12.74	12.41	0.56
B28E0214001	1	18.02	14.4	13.9	3.6	4.1	15.00	14.71	14.45	0.55
B28E0221001	3	11.33	8.69	8.19	2.6	3.1	10.39	10.19	9.99	0.4
B28E0260001	3	12.02	9.74	9.24	2.3	2.8	11.71	11.52	11.27	0.44
B28E0261001	2	12.41	10.39	9.89	2.0	2.5	11.91	11.72	11.54	0.37
B28E1183001	2	11.14	9.44	7.44	1.7	3.7	10.17	10.00	9.85	0.32
B28E1184001	2	10.93	9.33	7.33	1.6	3.6	10.3	10.12	9.94	0.36
B28E1185001	1	14.44	12.99	10.99	1.5	3.5	13.66	13.24	12.92	0.74
B28E1186001	1	14.39	12.94	10.94	1.5	3.5	13.69	13.35	13.03	0.66
B28E1187001	1	14.45	11.85	10.85	2.6	3.6	13.53	13.32	13.19	0.34
B28E1188001	2	13.04	10.69	9.69	2.4	3.4	12.98	12.83	12.67	0.31
B28E1190001	2	12.65	10.44	9.44	2.2	3.2	11.91	11.68	11.49	0.42
B28E1191001	1	13.49	11.00	10.00	2.5	3.5	12.09	11.88	11.69	0.40
B28E1193001	3	11.62	8.64	7.64	3.0	4.0	10.27	10.01	9.78	0.49
B28E1194001	1	11.04	11.44	9.19	-0.4	1.9	10.64	10.12	9.60	1.04
B28E1199001	1	11.28	11.13	8.13	0.1	3.2	10.68	10.46	10.07	0.61
B28E1200001	1	11.12	11.12	8.22	0.0	2.9	10.65	10.37	10.08	0.57
B28E1201001	1	11.14	11.14	8.44	0.0	2.7	10.92	10.65	10.05	0.87
B28E1202001	1	11.08	11.08	8.13	0.0	3.0	10.31	10.17	10.04	0.27
B28E1203001	1	10.96	10.96	8.16	0.0	2.8	10.67	10.4	10.02	0.65
B28E1204001	1	11.20	10.90	7.90	0.3	3.3	10.78	10.49	10.18	0.6
B28E1205001	1	11.59	11.24	8.24	0.4	3.4	10.47	10.26	10.03	0.44
B28E1206001	2	11.37	9.27	8.27	2.1	3.1	10.50	10.20	9.94	0.56
B28E1207001	1	10.83	10.06	9.06	0.8	1.8	- *	10.24	- *	- *
B28E1208001	2	11.16	9.01	8.01	2.2	3.2	- *	10.31	- *	- *
B28E1211001	3	11.27	8.13	7.13	3.1	4.1	10.22	10.00	9.81	0.41
B28E0032002	8	21.26	-15.4	-16.40	36.7	37.7	16.59	16.19	15.98	0.61
B28E0047001	6	14.61	-12.04	-13.04	26.7	27.7	12.97	12.65	12.38	0.59
B22G0310001	1	15.54	13.24	12.24	2.3	3.3	14.42	14.34	14.21	0.21

\* = niet voldoende metingen voor GxG bepaling

## Situering peilbuizen ijkset





## Bijlage 3

## Tijdstijghoogtelijnen



Per tijdstijghoogtegrafiek zijn de tijdstijghoogtelijnen weergegeven van het ongekalibreerde regionale model (lichtblauwe kleur), de eerste kalibratierun (rode kleur) en de tweede kalibratierun (= het gekalibreerde model) (donkerblauwe kleur).

