

Notitie

Projectnummer/Kenmerk
AW_051(2)_190914

Datum
11 maart 2019

Aan
Infram, Goswin van Staveren

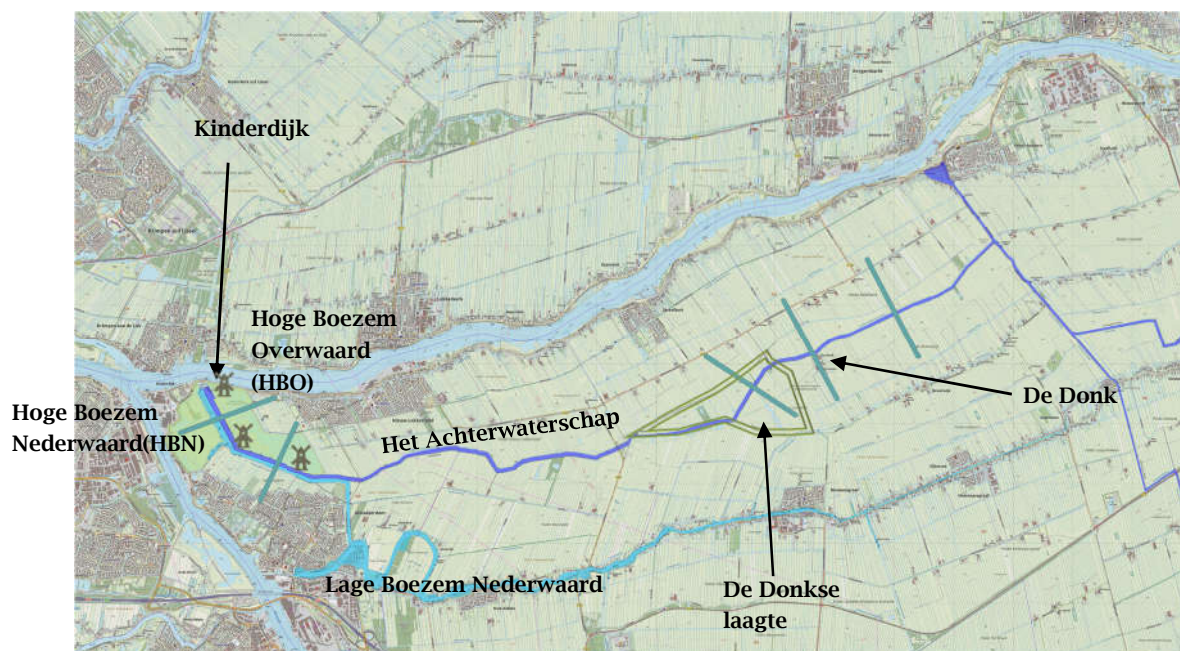
Van
Annemieke van Doorn

Kopie aan
nvt

Onderwerp
Hydrologische effecten van een peilverlaging van 15 cm van het Achterwaterschap

1 Aanleiding en doel

In het kader van een robuust en toekomstbestendig watersysteem verkent Waterschap Rivierenland (WSRL) verschillende watersysteemmaatregelen. Eén van die maatregelen is het verlagen van het peil in het Achterwaterschap van NAP - 0,75 m naar NAP -0,90 m. Deze peilverlaging in de boezem kan effect hebben op het grondwatersysteem en de kwelstromen, en tevens daarmee op de gebruiksfuncties. Er is daarom behoefte aan een goede doorvertaling van peilverlaging in het Achterwaterschap naar effecten in de randzone.



Figuur 1: Locatie van het Achterwaterschap (donkerblauw), de Lage Boezem Nederwaard (licht blauw) en de Hoge Boezem Overwaard en Nederwaard met de molens (licht-groene vlakken met molens). Daarnaast zijn de locaties van de dwarsprofielberekeningen weergegeven.

Om inzicht te krijgen in eventuele effecten van de peilverlaging in het Achterwaterschap richting de omgeving, zijn hydrologische modelberekeningen uitgevoerd. In deze notitie worden de aanpak en de resultaten van de modelberekeningen uiteengezet.

Op basis van de berekende grondwatereffecten worden in een vervolgstudie de effecten op de gebruiksfuncties ingeschat, waaronder geotechnische effecten (zetting e.d.).

De ligging van het onderzoeksgebied en het Achterwaterschap is weergegeven in Figuur 1.

2 Aanpak

Voor een goede doorvertaling van de peilverlaging in het Achterwaterschap naar de omgeving, is de schematisering van de holocene deklaag, met daarin onderscheid in lagen die geen of enige doorlatendheid bezitten, van belang. De aanpak bestaat daarom uit het uitvoeren van grondwaterberekeningen met dwarsprofielen, waarbij een detailschematisering van de deklaag met onderscheid in klei, veen en zand wordt toegepast.

Eerst is voor één representatieve locatie een aantal dwarsprofielberekeningen uitgevoerd, waarbij de gevoeligheden van de verschillende randvoorwaarden in beeld zijn gebracht. Vervolgens zijn op basis van de beschikbare gegevens vijf representatieve profiellocaties geselecteerd. Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt welke range van effecten als gevolg van de beoogde peilverlaging verwacht mogen worden in het gebied.

3 Brongegevens

In bijlage 1 zijn overzichtskaarten opgenomen van de beschikbare brongegevens. Voor de schematisatie van de bodemopbouw zijn de volgende databronnen geraadpleegd:

- Interpretatie van sonderingen langs de dijk en de teensloot (lengteprofiel)
- Boringen uit het DINO, dieper dan 5 m-mv;
- REGIS v2.2;
- GEOTOP v1.3;
- MORIA grondwatermodel V4.1;
- Geotechnische profielen van diverse punten langs het Achterwaterschap (profiel kade);
- Grondwaterstandsmetingen uit DINO.

Daarnaast zijn de volgende gegevens aangeleverd en gebruikt bij het opstellen van de grondwatermodellen:

- Peilgebieden van het Waterschap;
- Metingen profiel waterlopen en het Achterwaterschap, alleen lokaal beschikbaar;
- AHN v3.

3.1 Bodemopbouw

De sonderingen langs de dijk, geven een gedetailleerd beeld van de deklaag ter plaatse van het Achterwaterschap. Hieruit blijkt dat langs het Achterwaterschap de deklaag goed ontwikkeld is tot een diepte van -9 tot -14 mNAP (dikte globaal 7,5 tot 12,5 m). De deklaag bestaat uit veen en klei. Richting het oosten neemt de dikte van de deklaag af tot ongeveer 5 m. Ook in het westen, bij de molens (Figuur 1), wijst 1 sondering uit dat ondieper zand kan voorkomen (op -7 mNAP).

In GEOTOP V1.3 blijkt dat lokaal (zandige) geulafzettingen kunnen voorkomen van de Formatie van Echteld. In bijlage 1 worden deze locaties weergegeven. De boringen en sonderingen in de omgeving van deze locaties bevestigen dit beeld soms.

Er wordt dan zand aangetroffen op een minimale diepte van -7 mNAP. Wel stoppen de boringen op deze diepte en is niet beschreven wat zich hieronder bevindt. In de overige gebieden is de deklaag ontwikkeld tot een diepte van -9 tot -14 mNAP, zoals de sonderingen ook aangeven.

Volgens REGIS v2.2 bevindt zich een zandige eenheid (Formatie van Boxtel) in de deklaag bij de Donk (Figuur 1). Dit gebied ligt ook hoger dan de omgeving. Nadere gedetailleerde informatie over de deklaag is niet beschikbaar in REGIS. Onder de deklaag bevindt zich in het gehele gebied het eerste watervoerend pakket. Dit zijn grofzandige afzettingen van de Formatie van Kreftenheye en Sterksel. Deze wordt vanonder afgesloten door de Waalre klei. Deze kleilaag wordt in het model als ondoorlatende basis beschouwd.

In het regionale grondwatermodel MORIA varieert de weerstand van de deklaag van 1000 dagen tot 6000 dagen. De informatie in MORIA is in eerste instantie gebaseerd op REGIS en GEOTOP, waarna een kalibratieslag heeft plaatsgevonden (RHDHV, 2016).

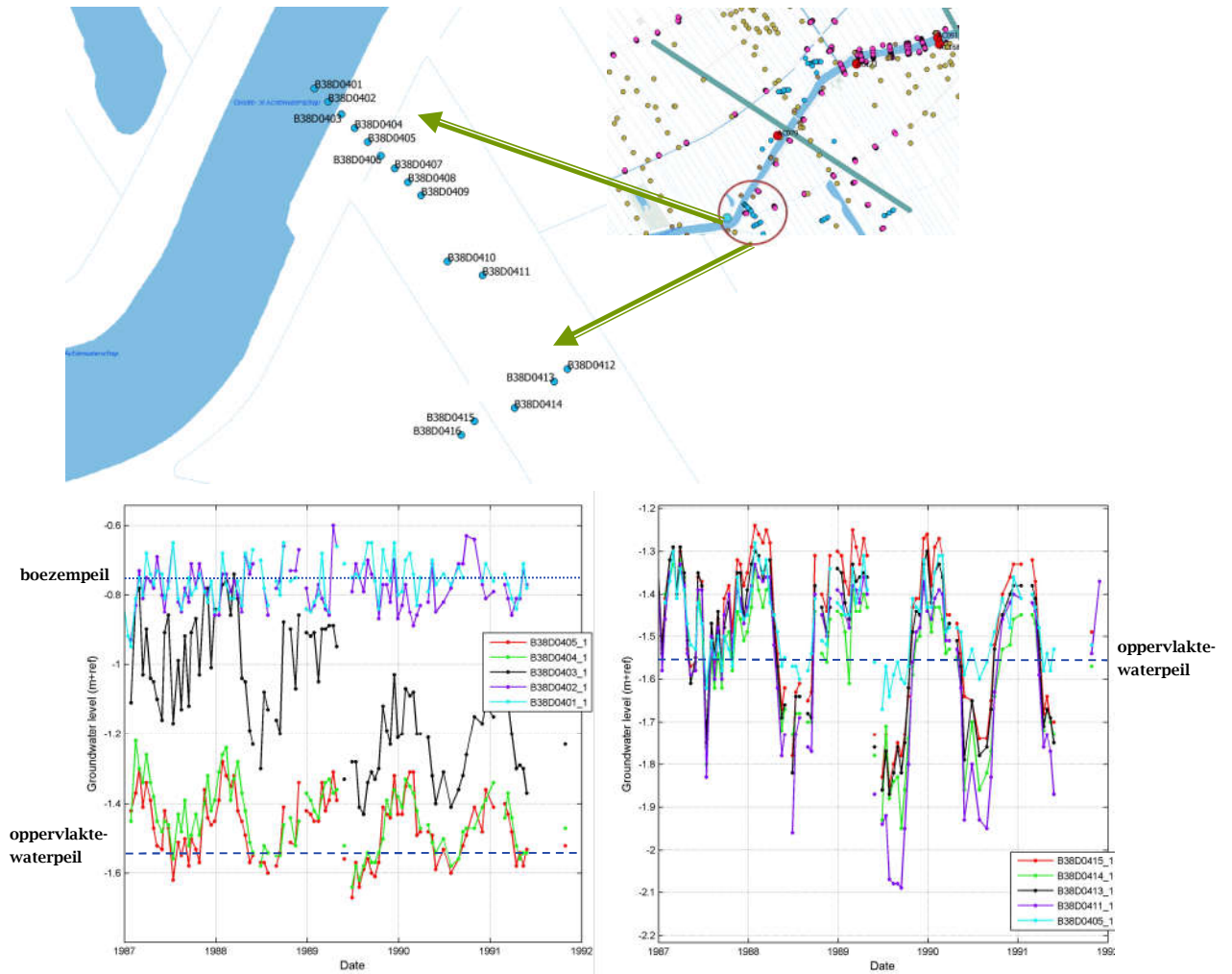
3.2 Oppervlaktewater

De peilverlaging betreft het Achterwaterschap van Kinderdijk tot aan Groot Ammers, zie Figuur 1. Bij Kinderdijk ligt naast het Achterwaterschap de boezemwatergang: de Lage Boezem van de Nederwaard. Deze boezem heeft al een gemiddeld peil van -0,9 mNAP. Tussen de twee lage boezems en de Hoge Boezems (ten westen Hoge Boezem Nederwaard (HBN) en ten oosten Hoge Boezem Overwaard (HBO)) bij Kinderdijk staan molens om het water uit de boezems naar de HBO te pompen. Het waterstandniveau in de HBO is natuurlijk en varieert tussen -0,4 en 0,25 mNAP. Peilfluctuaties in de HBN liggen tussen -1,2 en 0,2 mNAP.

Het oppervlaktewaterpeil van de polders, grenzend aan het Achterwaterschap, varieert tussen -2 mNAP en -2,45 mNAP. Het Achterwaterschap heeft derhalve een infiltrerende werking. Het Achterwaterschap is gemiddeld ongeveer 50 m breed en heeft een bodemhoogte op -3 tot -3,8 mNAP. Het Achterwaterschap wordt periodiek gebaggerd. Door het waterschap is aangegeven dat de bodem uit veen bestaat en erg slap is. Hierdoor wordt soms tot dieper gebaggerd, dan noodzakelijk is. Dat het Achterwaterschap in veenlagen ligt, komt overeen met het beeld uit de bodemgegevens.

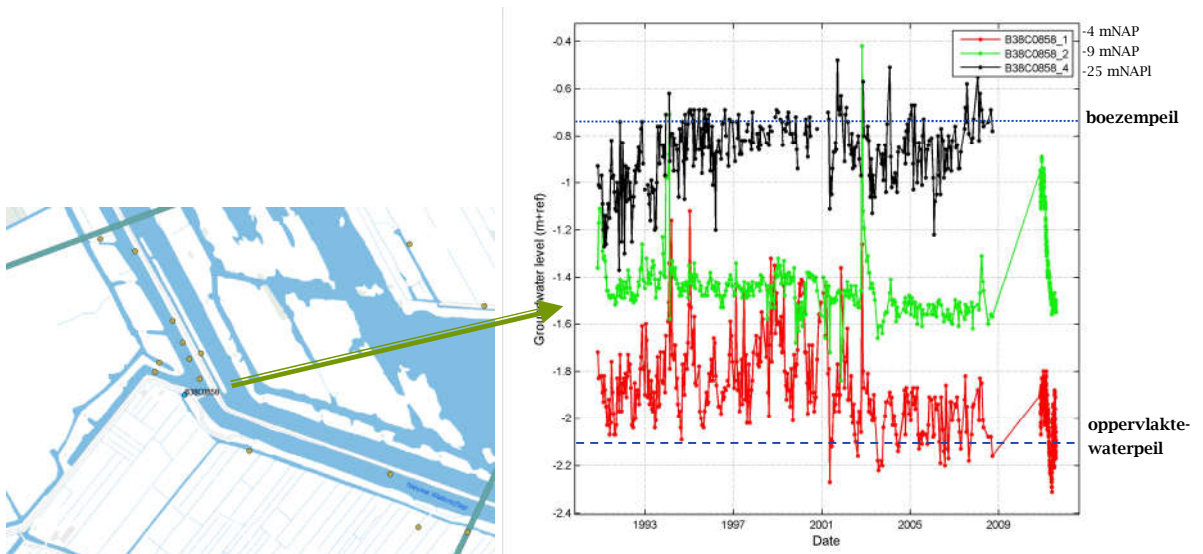
3.3 Grondwaterstandgegevens

In DINO zijn langs het Achterwaterschap op diverse locaties grondwaterstandsmetingen beschikbaar uit de jaren '90. Deze metingen wijzen overal uit dat de grondwaterstand in het poldergebied sterk samenhangt met het peil van het poldersysteem. De opbolling van de grondwaterstand onder de percelen is beperkt, ongeveer 10 tot 15 cm. Op enkele locaties zijn grondwaterstanden direct naast het Achterwaterschap gemeten, zie Figuur 2. Deze metingen wijzen uit dat tussen de boezem en de teensloot de grondwaterstand (peilreeks B38D0405_1) al praktisch overeenkomt met de grondwaterstandreeksen die in de polder gemeten worden (bv. B38D0415_1).



Figuur 2 Locatie met grondwaterstandmetingen bij het Achterwaterschap bij de Donkse laagte (Figuur 1). Let op: peilreeks B38D0405_1 (aan de kadekant van de teensloot) staat in beide grafieken weergegeven. (gestippelde lijn is boezempeil en gestreepte lijn is het oppervlaktewaterpeil in de polder bij deze peilbuis)

Bij de molens bij Kinderdijk zijn minder grondwaterstandsmetreeksen beschikbaar. Peilbuis B38C0858 (Figuur 3) geeft aan dat net binnen het poldersysteem naast de twee boezemwateren (met de peilen -0,9 en -0,75 mNAP), de ondiepe grondwaterstand sterk beïnvloed wordt door het polderpeil (gemiddeld zomerpeil/ winterpeil -2,12 mNAP). Dit komt overeen met het beeld in de Donkse laagte (Figuur 2).



Figuur 3 Locatie met grondwaterstandmetingen bij de molens en de HBO. De metingen zijn uitgevoerd op drie dieptes: -4, -9 en -25 mNAP. (gestippelde lijn is boezempeil en gestreepte lijn is het oppervlaktewaterpeil in de polder bij deze peilbuis)

4 Modelopzet

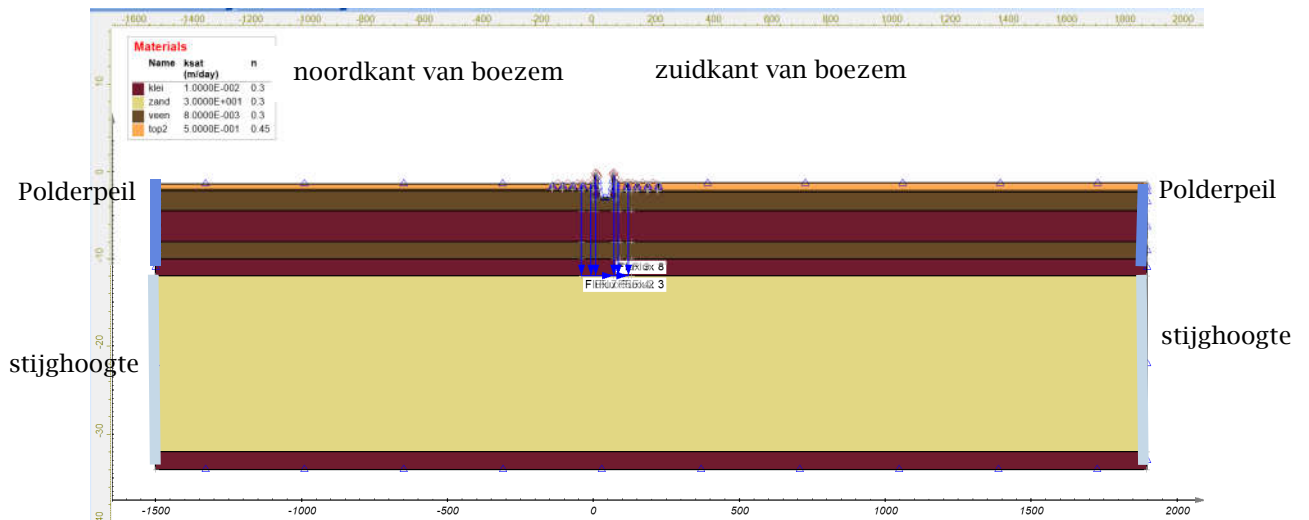
De modellen zijn opgezet in SVOoffice versie 6, dat gebruik maakt van de modelcode FlexPDE. Dit programma maakt gebruik van eindige elementen. Voor meer informatie zie <https://soilvision.com/products/svoffice-gt>. De modellen zijn in 2D middels een dwarsprofiel opgezet en zijn stationair. De zijranden zijn gekozen op 1500 m van het Achterwaterschap met een vaste stijghoogte. Het model loopt van maaiveld tot 40 m-NAP (tot en met de eerste laag van de Waalre klei). FlexPDE bepaalt zelf de celgrootte van de elementen. In het interessegebied varieert de lengte van de elementen ongeveer van 20 cm tot 1,5 m.

De modelopbouw is voor elk van de geselecteerde profielen gebaseerd op de verzamelde bodemgegevens, waarin vooral aandacht is besteed aan het detailleren van de opbouw van de deklaag. De opbouw van de deklaag is gebaseerd op de sonderingen, boringen en indien aanwezig het geotechnisch profiel nabij het dwarsprofiel.

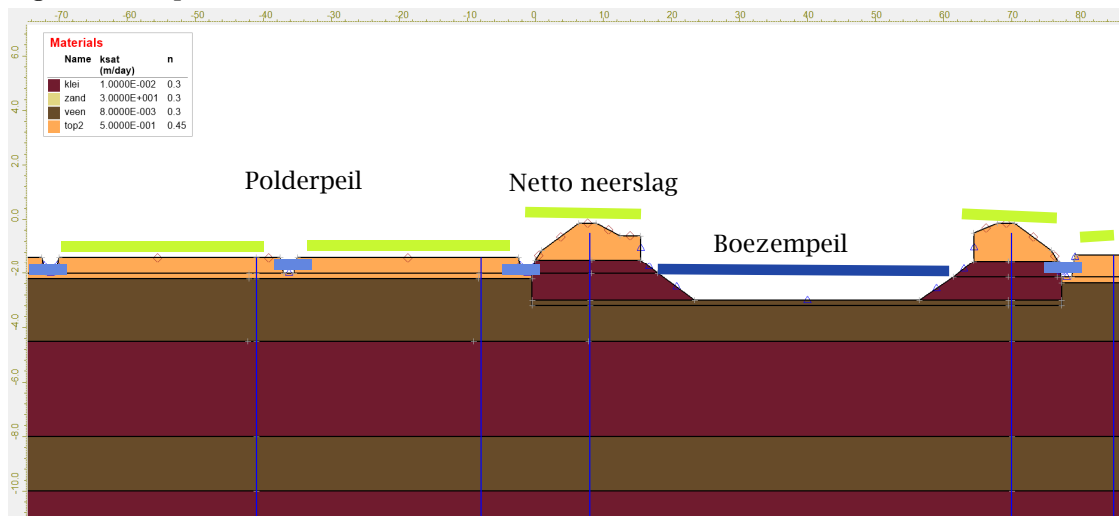
Voor het opstellen van de randvoorwaarden is gebruik gemaakt van het profiel van de dijk, de boezem, het maaiveld en de watergangen. Deze zijn op basis van de beschikbare databronnen zo waarheidsgetrouw mogelijk in het modelprofiel verwerkt. Nabij de boezemwatergang zijn individuele sloten expliciet in het model ingevoerd. Op grotere afstand, waar geen effect van peilverandering wordt verwacht, is het polderwaterniveau als randvoorwaarde aangehouden. Daarnaast is de netto neerslag, die infiltreert naar het grondwatersysteem, als stationaire bovenrandvoorwaarde opgelegd aan het model met 200 mm/jaar. Aan beide uiteinden van de dwarsdoornede (de zijranden) is een een vaste stijghoogte en een vast polderpeil ingevoerd in het watervoerend pakket en de deklaag, respectievelijk. De aangehouden stijghoogte is gebaseerd op MORIA V2.2 en bedraagt overal -1.5 mNAP.

Figuur 4 geeft weer hoe het model is opgezet voor de gevoeligheidsanalyse voor het profiel De Donkse laagte (zie §5, overzicht modelberekeningen). De kleuren geven de bodemparameters weer (zie voor een extra toelichting Tabel 1). De totale weerstand voor de klei- en veenlagen is in eerste instantie gebaseerd op MORIA V4.1 en bedraagt bij de Donkse laagte ongeveer 1000 dagen.

Op basis van de boorbeschrijvingen (10 m mengeling van klei en veen) lijkt dit aan de lage kant en is daarmee een conservatieve aanname voor de effectberekening. In deze modellen is de horizontale doorlatendheid gelijk aan de verticale doorlatendheid op ieder knooppunt.



Ingezoomd opzet model



Figuur 4 Overzicht opzet model met de vaste randvoorwaarden (licht blauw, blauw, donkerblauw en groene lijnen)

Tabel 1 Overzicht bodemparameters in model voor gevoeligheidsanalyse

Lithologie deklaag	Doorlatendheid: Kh en Kv (en weerstand)
Klei (donkerrood*)	0,01 m/d (100 d/m)
Veen (bruin)	0,008 m/d (125 d/m)
Zand (geel)	30 m/d
Toplaag (oranje)	0,5 m/d

* kleur, die is gebruikt in de afbeeldingen van de opzet van het model

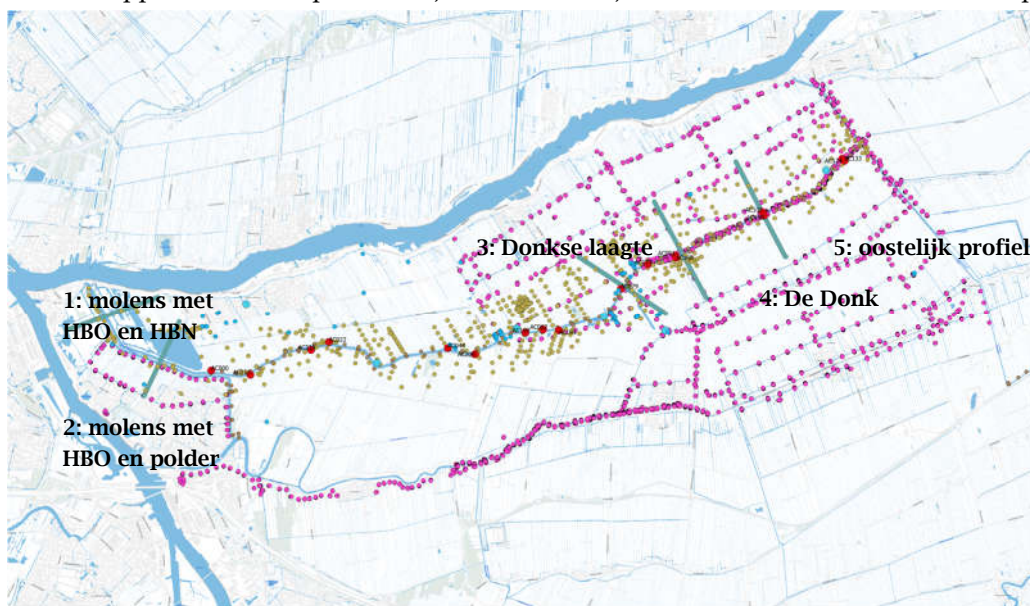
5 Overzicht modelberekeningen en beoordeling

Dwarsprofiellocaties

Op basis van de brongegevens zijn 5 locaties gekozen voor een dwarsprofielberekening (zie Figuur 5):

1. De Molens met aan weerszijden HBO en HBN;
2. De Molens met aan één zijde HBO en één zijde poldersysteem;
3. Donkse laagte, natuurgebied, globaal representatief voor traject tussen profiel 2 en 4;
4. De Donk, deels ontbreken deklaag;
5. Oostelijke deel, dikte deklaag 5 m.

De locaties zijn zo gekozen, dat deze de bandbreedte van de voorkomende randvoorwaarden en bodemparameters beslaan. Voor deze profiellocaties zijn modelberekeningen uitgevoerd met een oppervlaktewaterpeil van -0,75 mNAP en -0,9 mNAP voor het Achterwaterschap.



Figuur 5 Locatie profielen en beschikbaarheid van brongegevens (bruin: bodemgegevens, blauw: grondwaterstandmetingen, roze: bodempeilmetingen)

Berekeningen gevoeligheidsanalyse

Om de invloed van variaties in doorlatendheden van bodemlagen en de gekozen randvoorwaarden vast te stellen, is een gevoeligheidsanalyse op de effectberekening uitgevoerd. Hiermee wordt inzicht gegeven in de betrouwbaarheid van de modelresultaten. Omdat dwarsprofiel 3 (Donkse laagte) representatief is voor een groot deel van het traject, is voor dit profiel de gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Voor de gevoeligheidsanalyse zijn de volgende modelberekeningen uitgevoerd:

1. Referentie situatie (zie § 4, Modelopzet);
2. Aanpassing van weerstand deklaag, van 1000 d (dagen) naar 6000 d: → k (doorlatendheid) veenlaag naar 0,001 m/d en k kleilaag naar 0,005 m/d;
3. Tijdelijk hoogwater peil (-0,5 mNAP) in plaats van gemiddeld boezempeil;
4. Stijghoogte bij hoog water op de lek (-1,3 mNAP) in plaats van gemiddelde stijghoogte;
5. Zandbaan van -2,2 tot -4,5 mNAP, k zandlaag = 10 m/d
6. Zandbaan van -2,2 tot -4,5 mNAP, maar afgedekt door dunne veenlaag, k zandlaag = 10 m/d en k veenlaag = 0,0005 m/d.

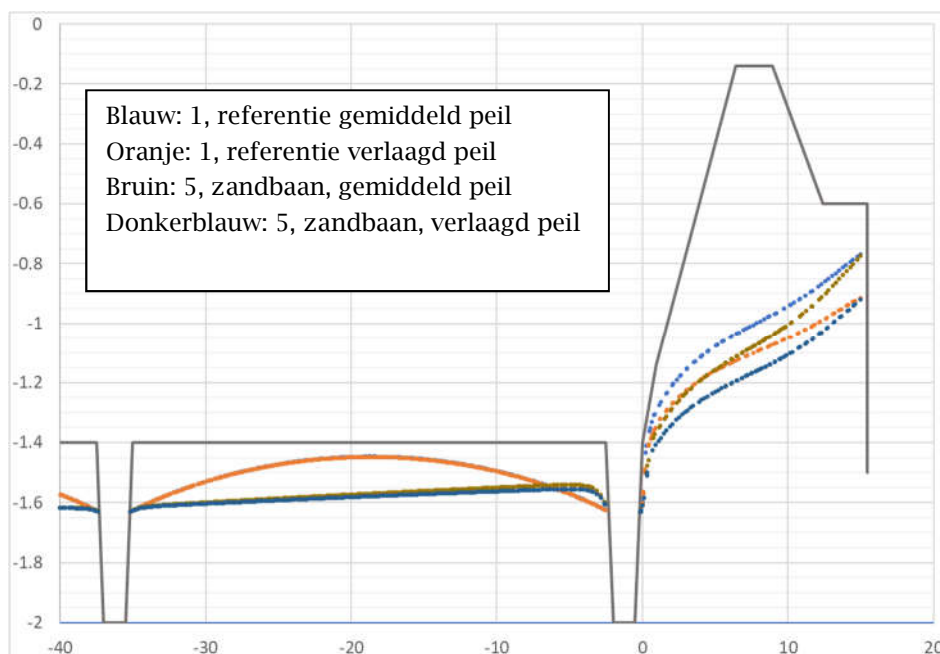
Beoordeling effect peilverlaging

Voor ieder dwarsdoorsnede-profiel wordt bij de beoordeling onderscheid gemaakt in het effect op de (a) grondwaterstand, (b) de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket en de (c) flux die uittreedt in de sloten. De flux wordt gesommeerd over een verticaal profiel in de dwarsdoorsnede. Deze zijn modelmatig weergegeven als lijntracé's (zie blauwe lijnen in Figuur 4). Naast deze informatie is op vaste punten (op verschillende diepten) bij de kade, de teensloot en op enige afstand daarvan, de berekende grondwaterstand en stijghoogte weggeschreven ten behoeve van de geotechnische effectbeoordeling (zie bv. blauwe punten in de modelopzetfiguren in bijlage 3).

6 Modelresultaten

6.1 Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor een 5-tal aanpassingen aan de randvoorwaarden (zie § 5). Figuur 6 geeft het berekende freatische peil weer voor de referentieberekening (variant 1) en de variant met ondiep een zandlaag (variant 5). Deze variant geeft namelijk de grootste gevoeligheid weer. In bijlage 2 worden de modelresultaten voor alle varianten weergegeven en besproken.



Figuur 6 grondwaterstandverloop, berekend voor de 2 varianten (referentie en met zandbaan) en de 2 oppervlaktewaterpeilen van het Achterwaterschap (-0,75 en -0,9 mNAP)

Uit de referentieberekening blijkt dat effecten van het verlagen van het boezempeil op de grondwaterstand optreden in de boezemkade zelf (15 cm naast het Achterwaterschap en enkele centimeters bij de teensloot).

De flux in de teensloot neemt in de referentieberekening af met ongeveer 20 % ten gevolge van de boezempeilverlaging. Dit is aannemelijk, aangezien het peil daalt met 15 cm en dit is ook ongeveer 20 % van het totale verschil tussen de boezem en het poldersysteem (-0,75 mNAP naar -1,5 mNAP = 0,75 cm.). In de verder weggelegen sloten treedt nagenoeg geen effect meer op, op de flux.

Door met de randvoorwaarden te variëren, varieert het berekende grondwaterniveau in de boezemkade wel, echter de mate van effect in de boezemkade varieert zeer beperkt. Dit komt omdat het grondwater bij de boezem 15 cm naar beneden getrokken wordt, maar bij de teensloot op eenzelfde niveau blijft omdat dit niveau niet verandert.

In het landbouwperceel wordt, alleen als er inderdaad sprake is van ondiepe zandbanen, een effect berekend op de grondwaterstand ten gevolge van de peilverlaging. Het effect is berekend op 1 tot 2 cm. Op basis van de brondata is de verwachting dat dit niet voorkomt of alleen heel lokaal. De verspreiding van dit effect hangt af van de weerstand van de tussenliggende klei/veenlaag en de verbreiding van de zandbaan.

Uit de grondwaterstandsmetingen blijkt dat er een geringe opbolling plaatsvindt van de grondwaterstand op de percelen. In het model is daarom voor de doorlatendheid van de bovenste laag 0,5 m/d aangehouden. Dit is een aannemelijke waarde aangezien de kleibodem boven het drainageniveau vaak gerijpt is en daarmee een hogere doorlatendheid heeft dan ongerijpte klei. Zichtbaar is dat voor sommige scenario's de berekende opbolling onder het perceel dan nog te hoog is. Dit duidt erop dat het ondiepe grondwatersysteem een sterkere uitwisseling met het polderwatersysteem heeft (een hogere horizontale doorlatendheid dan verticale doorlatendheid) en de eventuele berekende effecten bij de percelen waarschijnlijk in praktijk sterker uitgedempd worden door het oppervlaktewatersysteem.

Op basis van een vergelijkbaar effect voor de varianten is besloten dat het volstaat om het effect van de peilverlaging alleen met de randvoorwaarden van de referentieberekening uit te voeren. Aangeraden wordt wel om per profiel uit te gaan van een lage inschatting van de weerstand van de deklaag en uit te gaan van de minimale diepte van de deklaag. In de profielmodellen wordt hiermee gebruik gemaakt van conservatieve parameters.

6.2 Dwarsdoorsnede profielen

In deze paragraaf zijn de resultaten samengevat. Voor een gedetailleerdere toelichting, afbeelding van de opzet van de profielberekeningen en effectplaatjes wordt verwezen naar bijlage 3.

Ondanks dat de randvoorwaarden voor de dwarsprofielberekeningen verschillen, komen de resultaten redelijk met elkaar overeen. Tabel 2 geeft een samenvattend overzicht van de effecten op de grondwaterstand en de stijghoogte in het midden van de kade en de insteek van de sloot naast de kade.

Tabel 2 Effect van peilverlaging Achterwaterschap op de grondwaterstand en stijghoogte bij de 5 profielen

Profiel	Extra variant	Grondwaterstands- verandering		Stijghoogteverandering bovenkant WVP 1*	
		midden kade	insteek sloot naast kade	midden kade	insteek sloot naast kade
1	-	-2 cm	< 1 cm	< 1 cm	< -1 cm
2	Met zandlaag	-3 cm	< 1 cm	< -1 cm	< -1 cm
2	Zonder zandlaag	-2 cm	< 1 cm	< -1 cm	< -1 cm
2	Met zandlaag en aangepaste k-waarde	-6 cm	< 1 cm	< -1 cm	< -1 cm
3	-	-11 cm	< 1 cm	< -1 cm	< -1 cm
4	-	0 tot -2 cm	-2 cm	-2 cm	-2 cm
5	-	-8 tot -10 cm	< 1 cm	-1 cm	-1 cm

*WVP: watervoerende pakket

Uit de berekeningen volgt dat in de boezemkade, direct naast het Achterwaterschap het effect op de grondwaterstand 15 cm bedraagt. Dit effect neemt af naar enkele centimeters (2-6 cm) aan de andere zijde van de boezemkade. Bij de insteek van de teensloot bedraagt het effect maximaal 2 cm en aan de polderkant van de teensloot wordt geen effect (> 1 cm) op de grondwaterstand meer berekend. Uit Tabel 2 blijkt dat de grootte van het effect in het midden van de kade verschilt, dit komt doordat de dikte van de kade verschilt (bij de molens 35 m in tegenstelling tot profiel 3 en 5, waar deze ongeveer 8 m is).

Bij de meeste profielen wordt geen effect (> 1 cm) berekend op de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Bij profiel 4, bij De Donk, ontbreekt de deklaag. Lokaal wordt hier een effect van 2 cm berekend. Bij profiel 5, oostelijke deel, is de deklaag dunner dan in het overige gebied. Hier wordt daardoor ook een effect berekend op de stijghoogte van 1 cm.

Effecten op de flux van het Achterwaterschap naar het poldersysteem worden alleen berekend ter plaatse van de sloot direct naast het Achterwaterschap (dit betreft meestal de teensloot). De flux neemt hier af met circa 20 %.

7 Samenvatting en conclusies

In het Achterwaterschap is een peilverlaging beoogd van 15 cm, van -0,75 mNAP naar NAP -0,9 m. Om inzicht te krijgen in eventuele effecten hiervan richting de omgeving, zijn hydrologische modelberekeningen uitgevoerd. Er is namelijk behoefte aan een goede doorvertaling van de peilverlaging in het Achterwaterschap naar effecten in de randzone. De effecten van de peilwijziging op het grondwater zijn berekend met behulp van een grondwatermodel. Voor 5 representatieve locaties zijn dwarsprofielen gemodelleerd, waarin de lokale bodemopbouw en waterhuishoudkundige situatie geschematiseerd is opgenomen. Deze hydrologische effecten vormen de basis voor vervolgstudies, waarin het effect wordt doorvertaald naar effect op functies.

Voor deze studie is lokatie informatie beschikbaar gesteld. Op basis van deze informatie is geconstateerd dat:

- de deklaag goed ontwikkeld is en doorgaans 7,5 tot 12,5 m dik is. De deklaag bestaat uit een afwisseling van klei en veen. Boringen in de dijk en de slootbodem wijzen ook uit dat het Achterwaterschap in het veen of klei ligt. Zeer lokaal kan het voorkomen dat er op een diepte van -7 mNAP al zand wordt aangetroffen.
- de grondwaterstand, zelfs aan de kadekant van de teensloot, al onder sterke invloed staat van het polderwaterpeil. Ook is de opbollig onder het perceel gering, wat erop duidt dat ondiep de horizontale doorlatendheid groter is dan de verticale doorlatendheid.

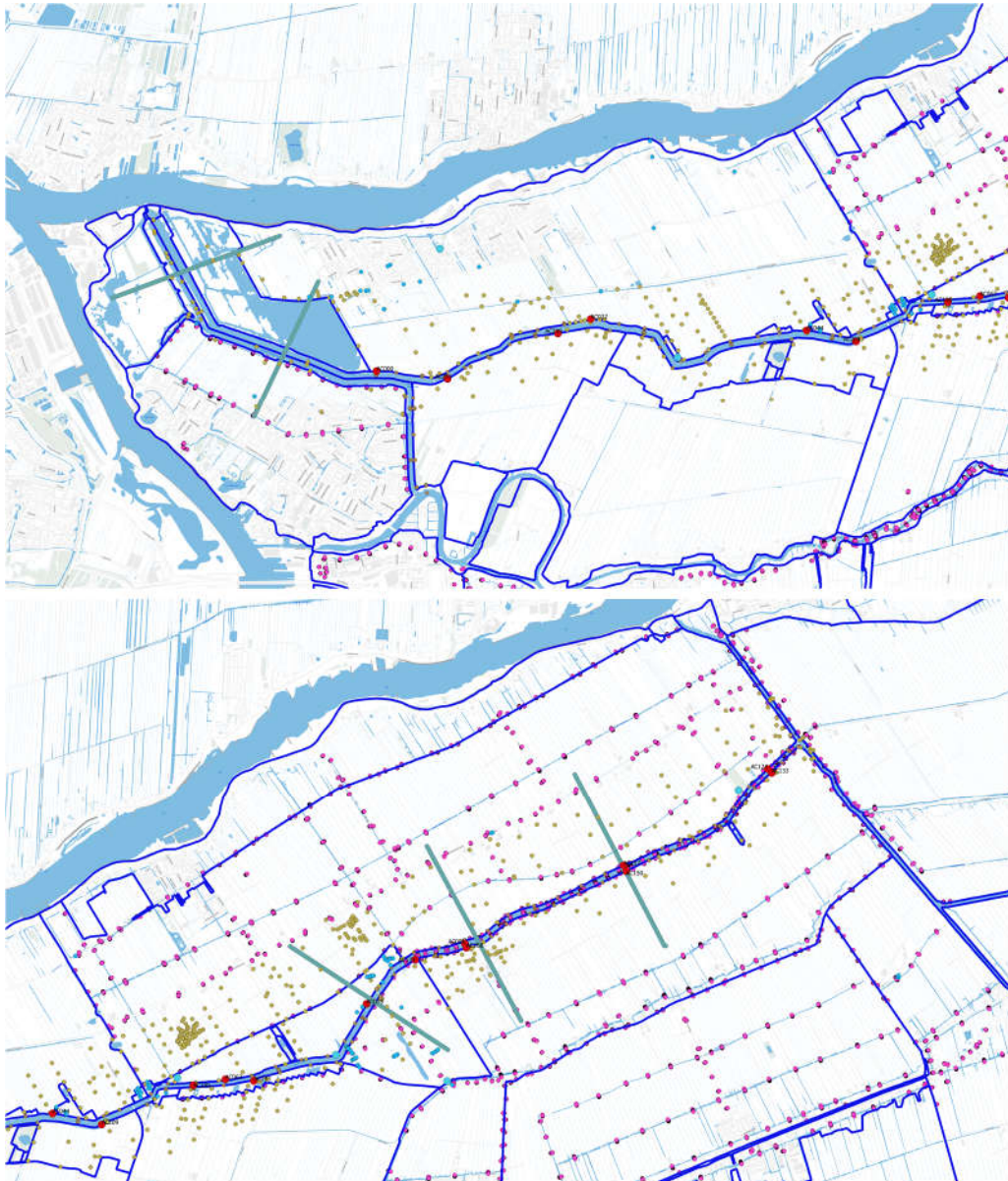
Voor één van de profielen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om zo de juiste randvoorwaarden voor de profielberekeningen te kunnen bepalen. Hieruit volgt dat de gevoeligheid van het effect van de peilverlaging beperkt is voor de gekozen bandbreedtes. Wel is besloten om voor de profielberekeningen uit te gaan van worst-case aannames (lage weerstand en minimale dikte voor de deklaag).

De resultaten van de dwarsprofielberekeningen wijzen uit dat de effecten (> 5 cm) zich beperken tot de boezemkade zelf. De berekende effecten op de grondwaterstand bedragen bij de insteek van het Achterwaterschap 15 cm en deze nemen af richting de teensloot naar 2-6 cm. Er worden geen effecten (> 5 cm) berekend op de grondwaterstand achter de teensloot. Fluxveranderingen van de sloten beperken zich tot de teensloot naast het Achterwaterschap. Alleen als de deklaag dunner is dan 7 m of lokaal ondiep een zandbaan voor komt, wordt een effect van de peilverlaging van 1 tot 2 cm op de grondwaterstand en/of de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket berekend.

8 Literatuur

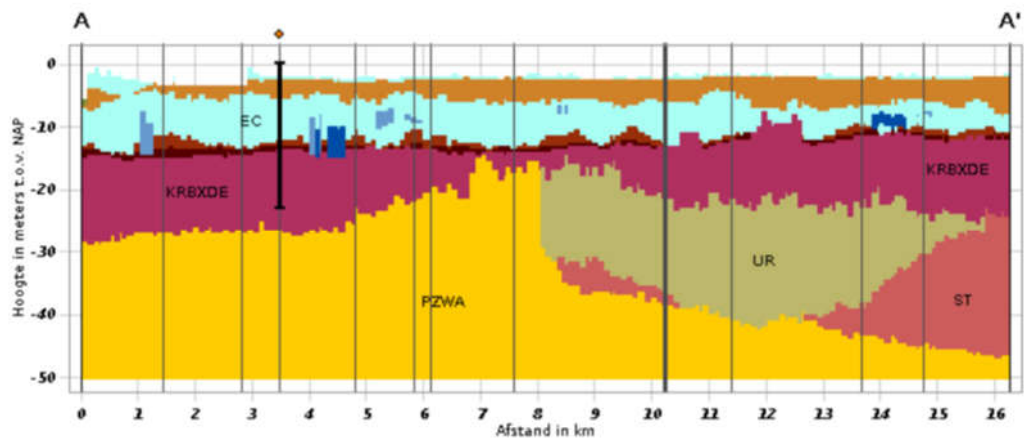
- Royal HaskoningDHV, 2016. Lagenmodel MORIA, nieuw lagenmodel voor het MORIA modelinstrumentarium gebaseerd op REGIS en Geotop;
- <https://soilvision.com/products/svoffice-gt>.

Bijlage 1 Overzicht brondata, bodemgegevens GEOTOP en REGIS



Legenda:

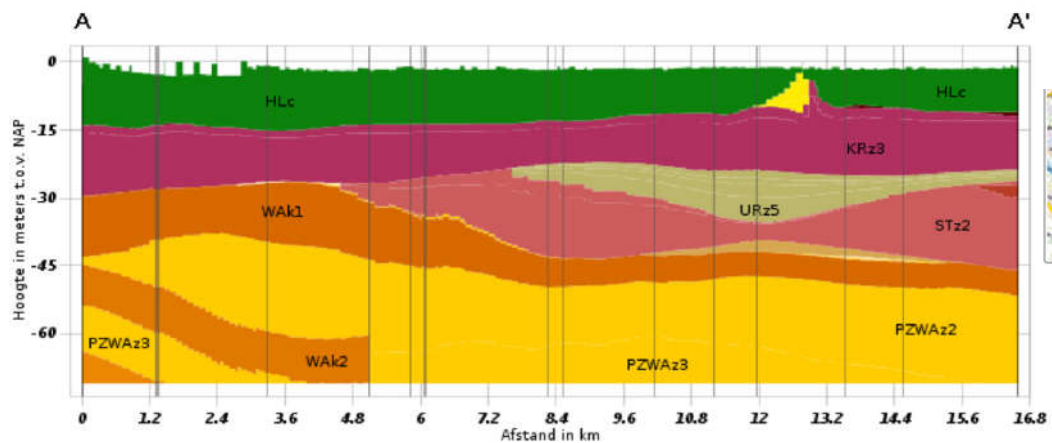
- Blauwe rondjes: grondwaterstandsmetingen
- Bruine rondjes: bodemdata (sondering/ boring)
- Roze rondjes: bodemmetingen in oppervlaktewater
- Rode rondjes: geotechnisch profiel beschikbaar (let op de profielen bij de molens van Kinderdijk zijn niet aangegeven op de kaart)
- Groenen lijnen: dwarsprofielberekening met grondwatermodel
- Blauwe contourvlakken: polderpeilen



Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie D) (GeoTOP v1.3)



Verticale Doorsnede REGIS II v2.2



Bijlage 2 resultaten gevoeligheidsanalyse

Overzicht varianten:

1. Referentie (zie § 4, Modelopzet);
2. Aanpassing van weerstand deklaag, van 1000 d (dagen) naar 6000 d: → k (doorlatendheid) veenlaag naar 0,001 m/d en k kleilaag naar 0,005 m/d;
3. Tijdelijk hoogwater peil (-0,5 mNAP) in plaats van gemiddeld boezempeil;
4. Stijghoogte bij hoog water op de Lek (-1,3 mNAP) in plaats van gemiddelde stijghoogte;
5. Zandbaan van -2,2 tot -4,5 mNAP, k zandlaag = 10 m/d
6. Zandbaan van -2,2 tot -4,5 mNAP, maar afgedekt door dunne veenlaag, k zandlaag = 10 m/d en k veenlaag = 0,0005 m/d.

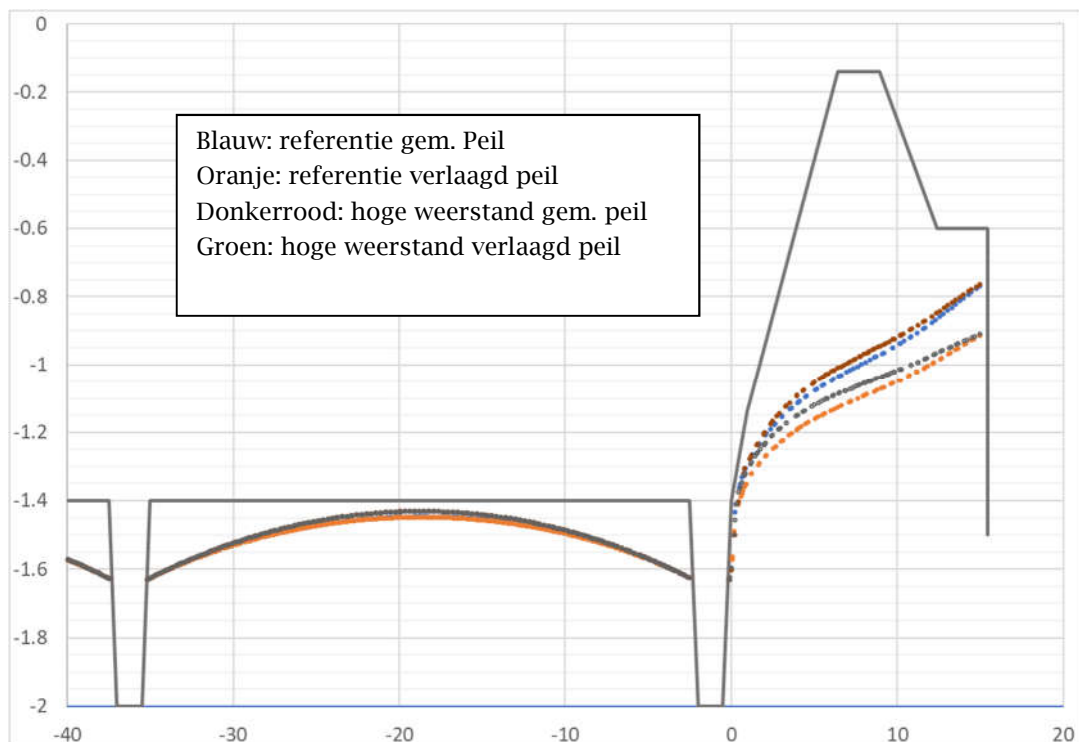
Referentie

Door het model wordt alleen een effect van de peilverlaging op het grondwaterniveau in de boezemkade berekend. Het effect bedraagt ongeveer 4 cm bij de insteek sloot keringzijde en 15 cm bij de insteek van de teensloot. In de teensloot neemt de kwelflux op met 20 %.

In de overige sloten wordt geen significante fluxverandering berekend.

Hogere weerstand deklaag

De grondwaterstand blijft 3-6 cm hoger in de boezemkade dan in de referentie situatie. Bij de insteek van de teensloot treedt nagenoeg geen verschil meer op.

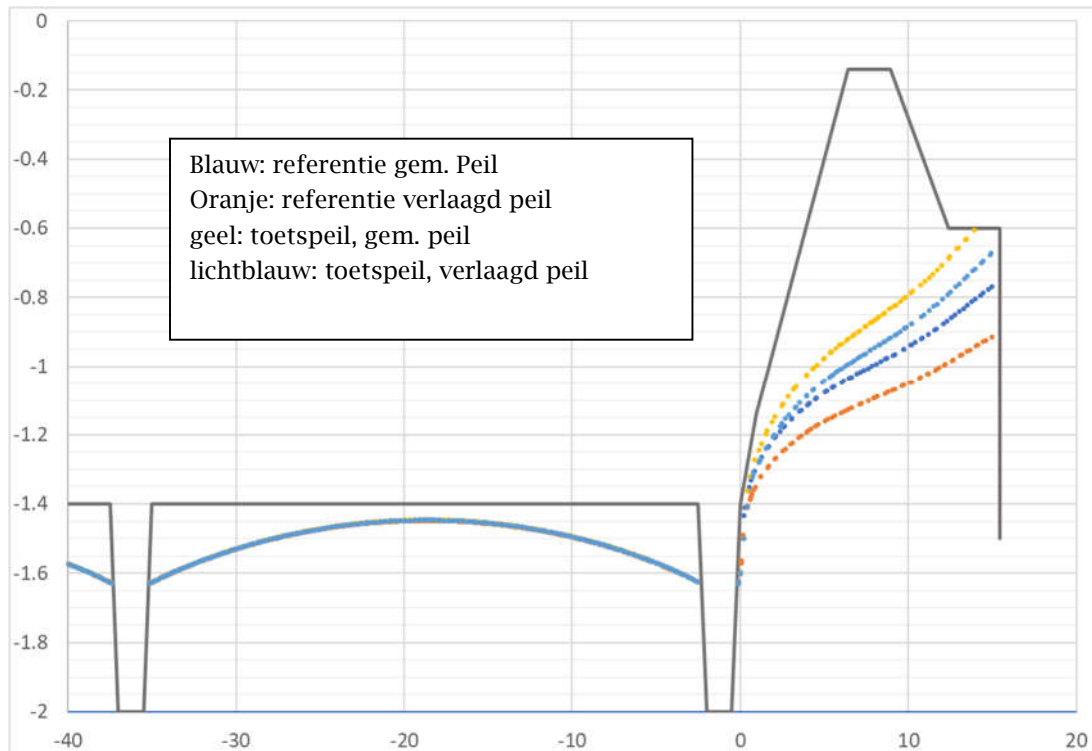


In het landbouwperceel is de grondwaterstand circa 2 cm hoger dan in de referentie ten gevolge van de hogere weerstand, maar er is geen invloed van de peilverlaging geconstateerd.

Toetspeil boezem

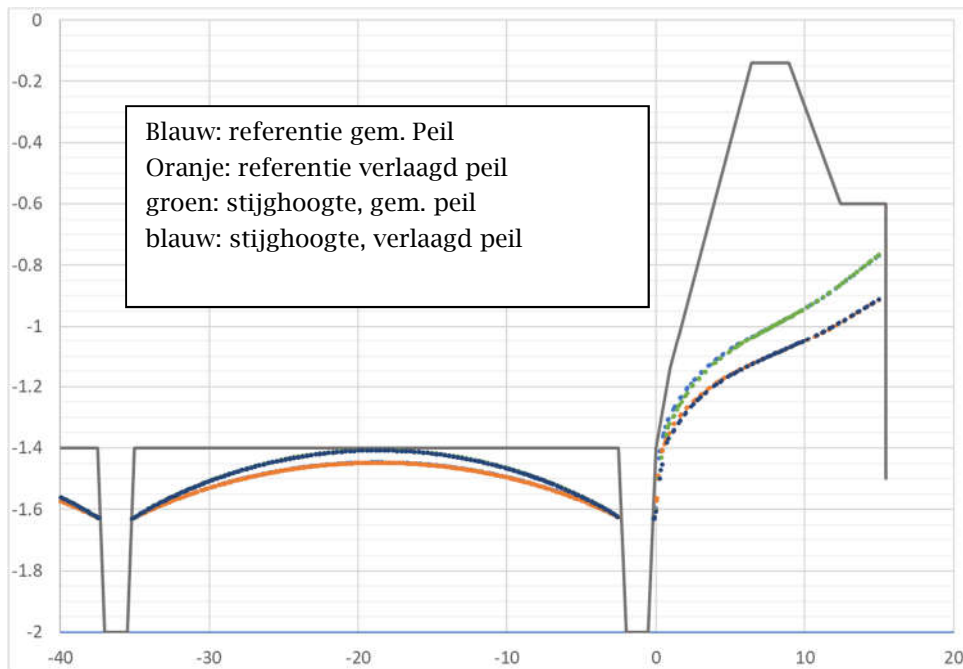
Door het hogere toetspeil is de grondwaterstand naast de boezem hoger. Het effect van de peilverlaging in de boezemkade is vergelijkbaar met de referentie.

Het peil in het landbouwperceel wordt niet significant beïnvloed door het hogere toetspeil.



Stijghoogte bij hoogwater op de Lek

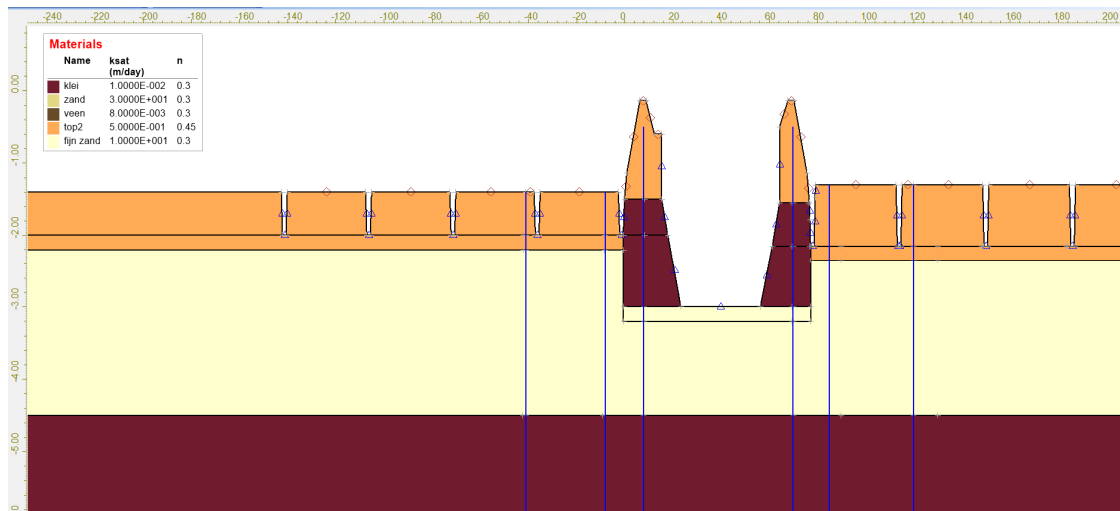
Het grondwaterniveau in de boezemkade verandert niet door de hogere stijghoogte ten opzichte van de referentie. Door de hogere stijghoogte is het grondwaterniveau in het landbouwperceel wel hoger (ongeveer 5 cm). Maar het berekende effect van de boezempeilverlaging is gelijk aan de referentie.

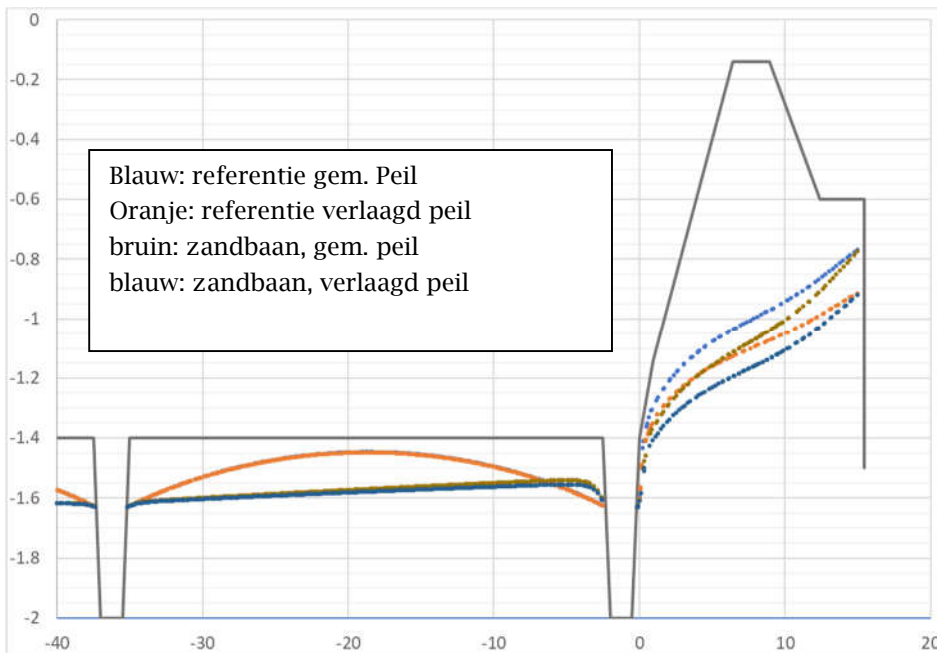


Zandbaan ondiep

Het effect op het grondwaterniveau op de boezemkade is ongeveer gelijk als in de referentie, wel is het verloop anders. Aan de polderkant van de teensloot is een effect van 1-2 cm grondwaterstandverlaging berekend. Dit treedt direct op aan de polderkant van de teensloot. Bij de eerstvolgende sloot wordt dit effect opgeheven.

Weergave van aangepaste bodemparameters:



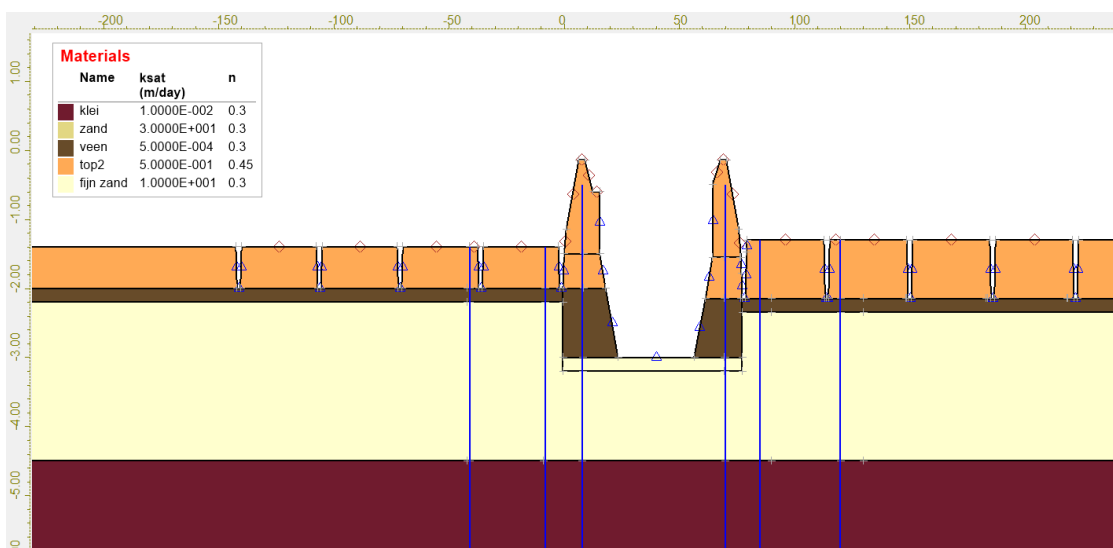


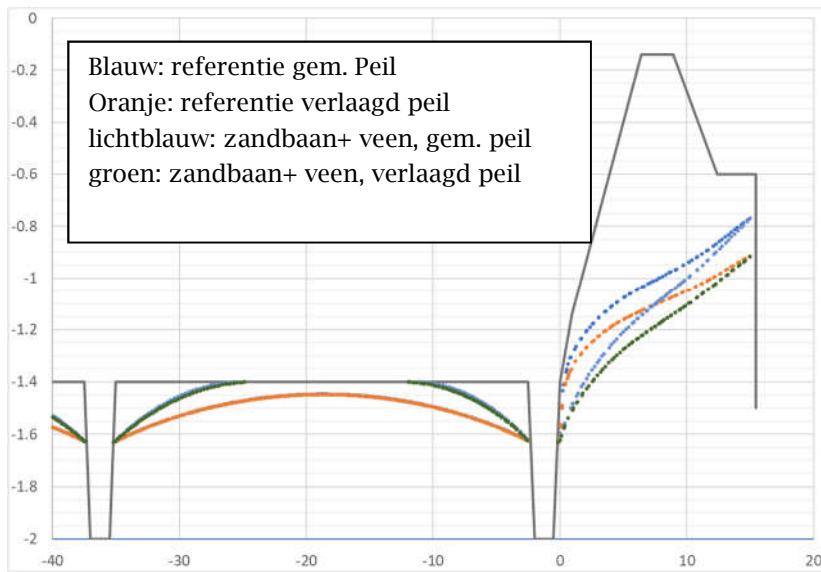
Zandbaan ondiep afgedekt door veenlaag

Het effect op het grondwater niveau in de boezemkade is ongeveer gelijk als in de referentie, wel is het verloop anders.

Aan de polderkant van de teensloot wordt een effect van 1-2 cm grondwaterstandverlaging berekend. Dit treedt op in de landbouwpercelen naast de boezem. Het effect treedt nu op tot een grotere afstand door de veenlaag die de zandbaan afsluit.

Tevens is zichtbaar dat het grondwater bij de landbouwpercelen sterker opbolt dan in de referentie. Dit komt niet overeen met de metingen en duidt er dus op dat deze situatie niet representatief is voor de locatie.

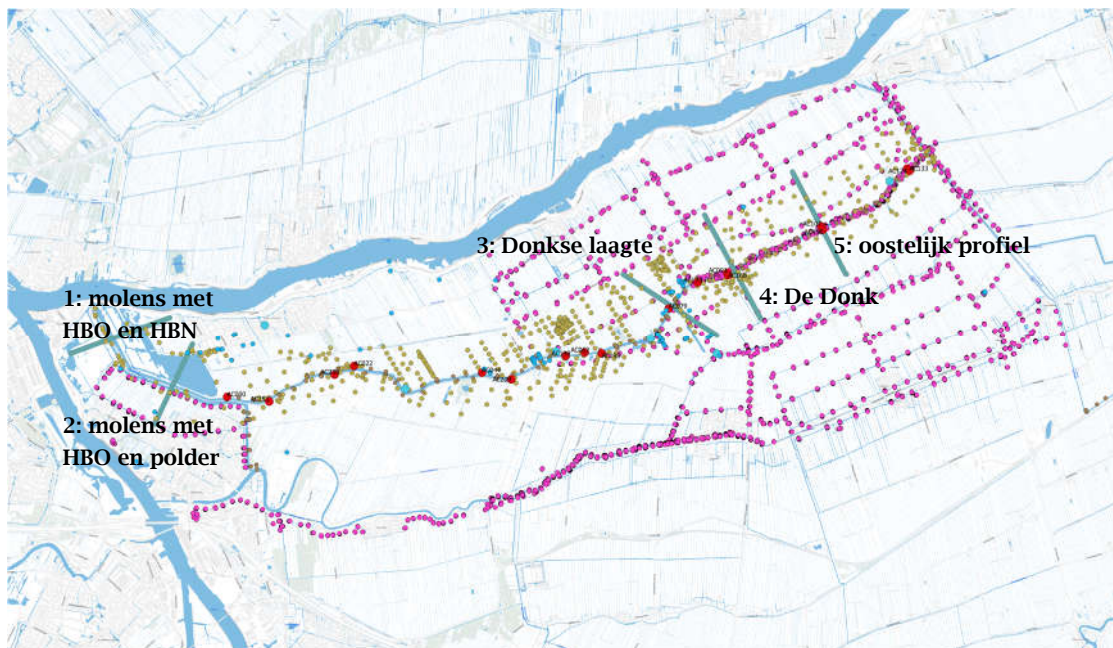




Bijlage 3 resultaten profielberekeningen

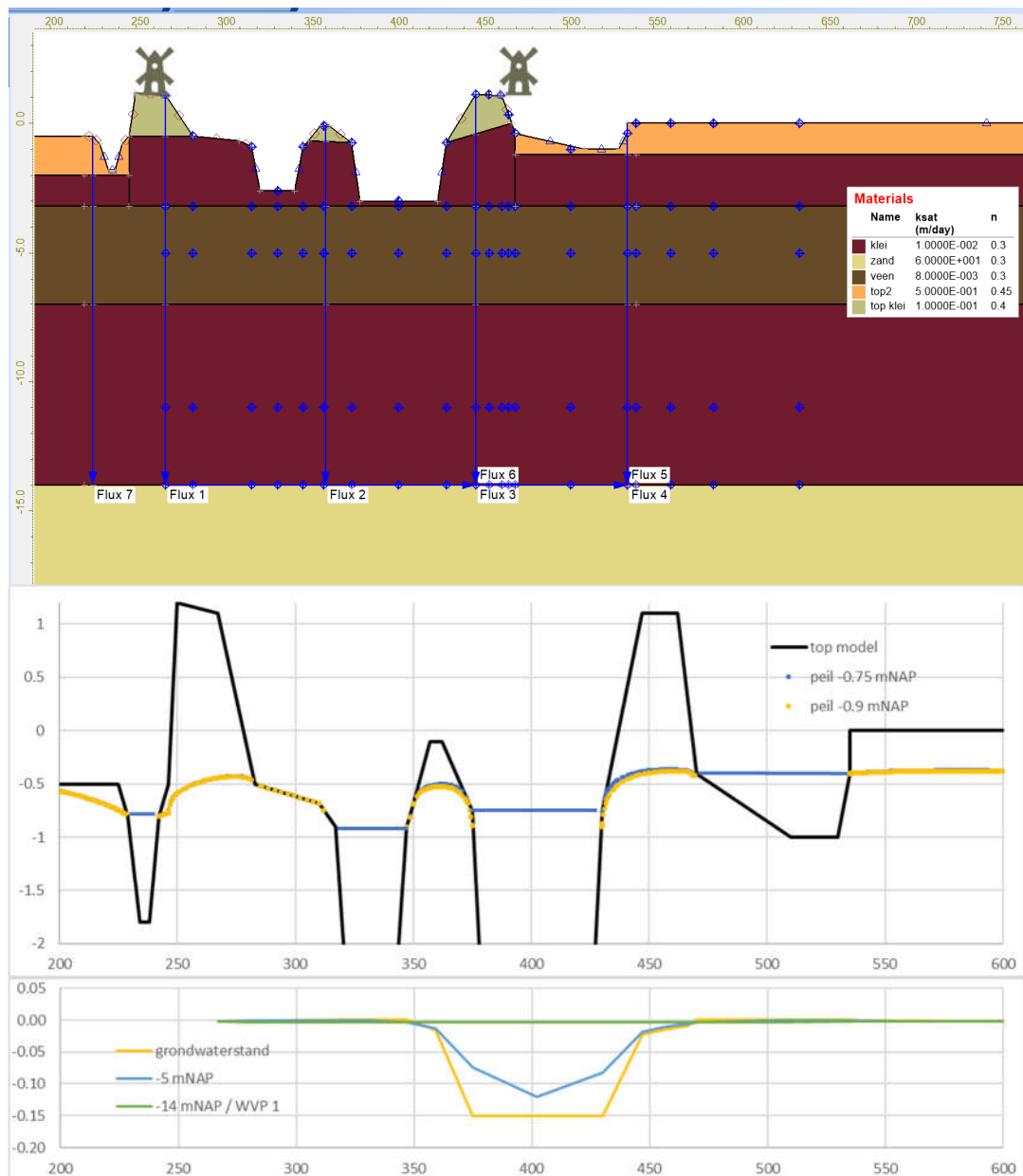
Overzicht van de dwarsprofielen:

1. De Molens met aan weerszijden HBO en HBN;
2. De Molens met aan één zijde HBO en één zijde poldersysteem;
3. Donkse laagte, natuurgebied, globaal representatief voor traject tussen profiel 2 en 4;
4. De Donk, ontbreken deklaag;
5. Oostelijk deel, dikte deklaag 5 m.



Profiel 1: Molens met aan weerszijde HBO en HBN

Figuur 7 geeft een overzicht van de modelopzet voor dit profiel weer. Ter plaatse van de molen aan de oostkant van het Achterwaterschap is een geotechnisch profiel aangeleverd. Aan weerszijden van de twee boezemkades wordt het peil gereguleerd door een vast oppervlaktewaterpeil. Ten oosten van het Achterwaterschap is uitgegaan van een peil van -0,4 mNAP, dit betreft de ondergrens van het peil, en is hiermee worst-case gekozen.



Figuur 7 Boven: Modelopzet dwarsprofiel (ingezoomd). Midden: berekende grondwaterstand (mNAP) tegen de afstand (m) voor de referentie situatie en met aangepast boezempeil. Onder: berekende effect van peilverlaging (mNAP) op drie diepten tegen de afstand (m)

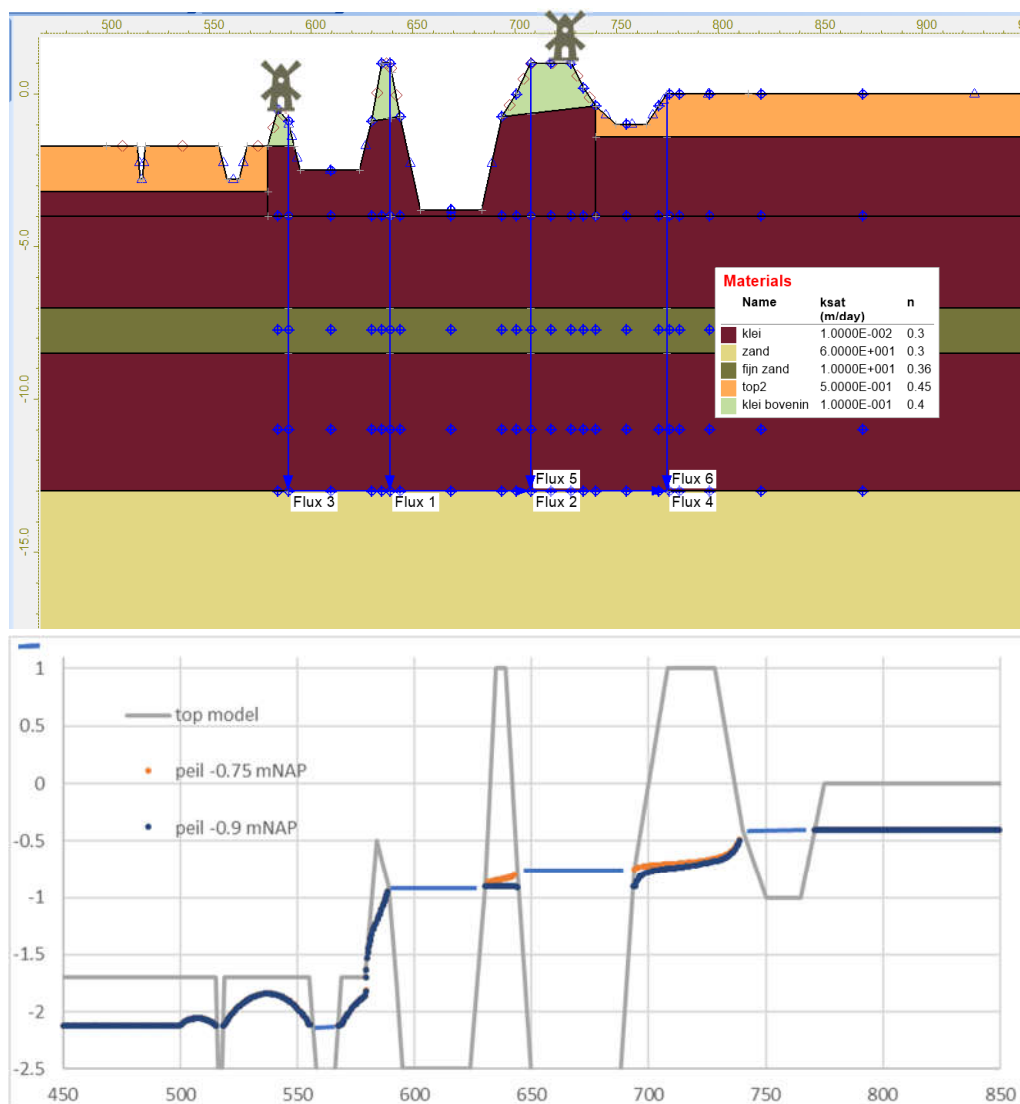
Ter plaatse van de molens bedraagt de grondwaterstandsverlaging minder dan 3 cm en de stijghoogteverlaging bovenin het eerste watervoerende pakket minder dan 1 cm. Fluxverandering treedt alleen op richting het eerstvolgende oppervlaktewater naast het Achterwaterschap.

Profiel 2: Molens met aan één zijde HBO

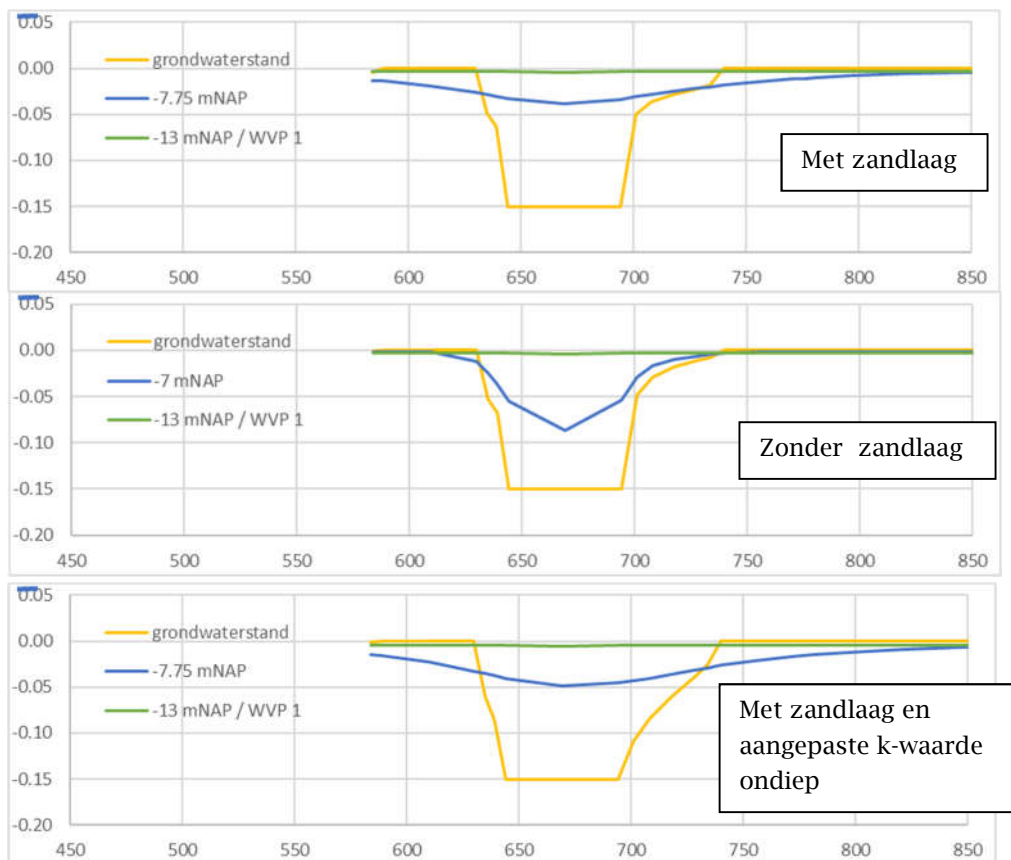
Bij beide molens is een geotechnisch profiel beschikbaar. De deklaag bestaat hier voornamelijk uit klei. In 1 boring in de omgeving wordt op -7 mNAP zand aangetroffen. Dit profiel is daarom doorgerekend voor enkele varianten:

- met een zandlaag op -7 mNAP tot -8,5 mNAP
- zonder zandlaag
- met een zandlaag en aanvullend een doorlatendheid van 0,5 m/d voor de gehele bodemopbouw tot en met de slootbodembodem van het Achterwaterschap.

In figuur 8 is het modelresultaat met zandlaag weergegeven. In Figuur 9 zijn ook de effectplaatjes weergegeven voor de twee andere berekeningen.



Figuur 8 Boven: Modelopzet dwarsprofiel (ingezoomd). Onder: berekende grondwaterstand (mNAP) tegen de afstand (m) voor de referentie situatie en met aangepast boezempeil.



Figuur 9 Berekende effect van peilverlaging (mNAP) op drie diepten tegen de afstand (m) met zandlaag (boven), zonder zandlaag (midden) en met zandlaag en aangepaste k-waarde bovenin (onder)

Tabel 3 Effect van peilverlaging Achterwaterschap in het midden van de kade bij dijkpaal Ho019

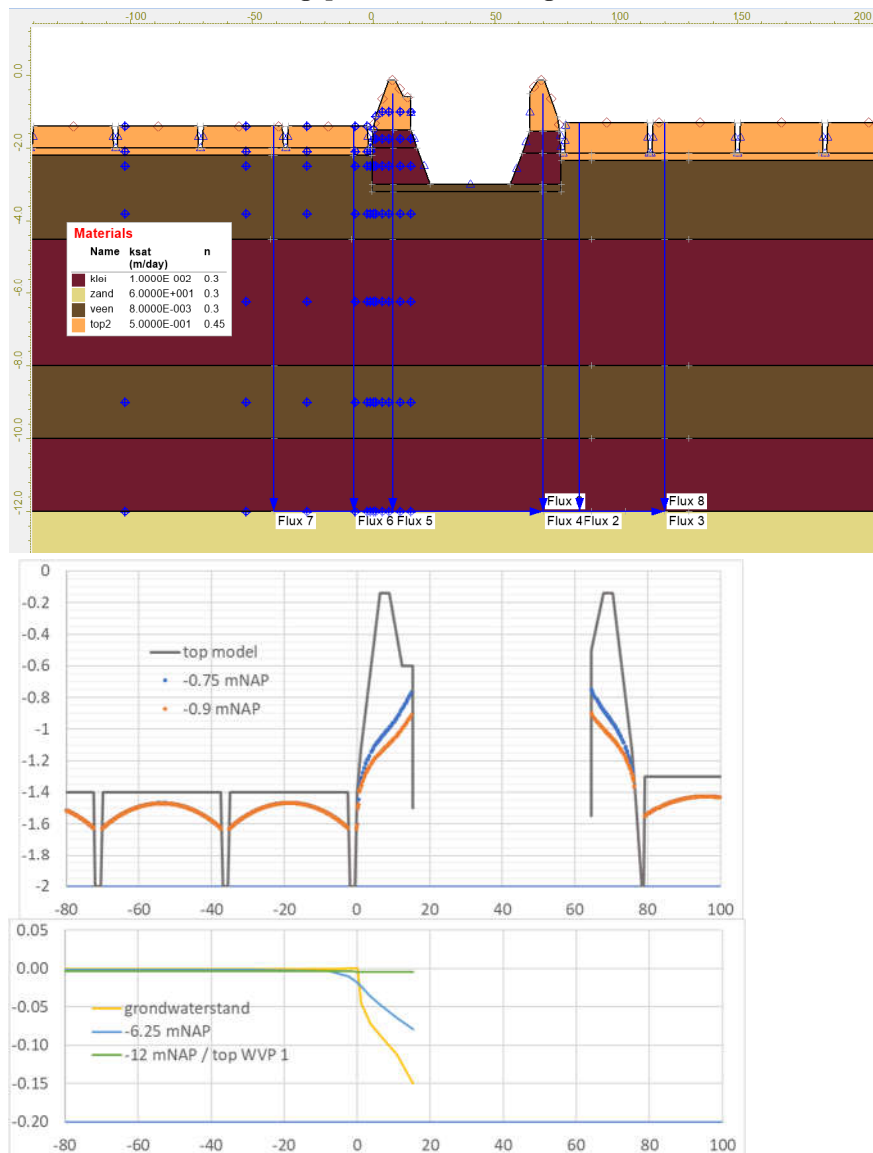
modelvariant	grondwaterstandsverandering	Op -7,75 mNAP	Top WVP 1
Met zandlaag	-3 cm	-3 cm	< 1 cm
Zonder zandlaag	-2 cm	-1 cm	< 1 cm
Met zandlaag en aangepaste k-waarde	-6 cm	-4 cm	< 1 cm

Het effect van de peilverlaging met een zandlaag op -7mNAP geeft met name een ander beeld in deze zandlaag zelf. Het effect onder de kade is 1 cm groter en straalt meer uit naar de omgeving. Door de doorlatendheid van de kade (derde variant) te vergroten, neemt het effect op de grondwaterstand richting de omgeving toe.

Fluxverandering treedt alleen op richting het eerstvolgende oppervlaktewater naast het Achterwaterschap.

Profiel 3: Donkse laagte, natuurgebied

Voor globaal dit profiel is de gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De noord- en zuidkant van het Achterwaterschap zijn qua uitgangspunten gelijk en daarom is het effect van de peilverlaging alleen aan de noordkant gepresenteerd (zie Figuur 10).



Figuur 10 Boven: Modelopzet dwarsprofiel (ingezoomd). Midden: berekende grondwaterstand (mNAP) tegen de afstand (m) voor de referentie situatie en met aangepast boezempeil. Onder: berekende effect van peilverlaging (mNAP) op drie diepten tegen de afstand (m)

Het effect bij de insteek van het Achterwaterschap op de grondwaterstand bedraagt 15 cm. Dit neemt af richting de teensloot naar 5 cm. Aan de andere kant van de teensloot is het effect op de grondwaterstand kleiner dan 1 cm. In het eerste watervoerende pakket is het effect van de peilverlaging kleiner dan 1 cm. In dit gebied zijn in het verleden grondwaterstandmetingen uitgevoerd, nabij het Achterwaterschap. Deze bevestigen het beeld dat de grondwaterstand, zelfs aan de kadekant van de teensloot, onder invloed staat van het polderwaterpeil.

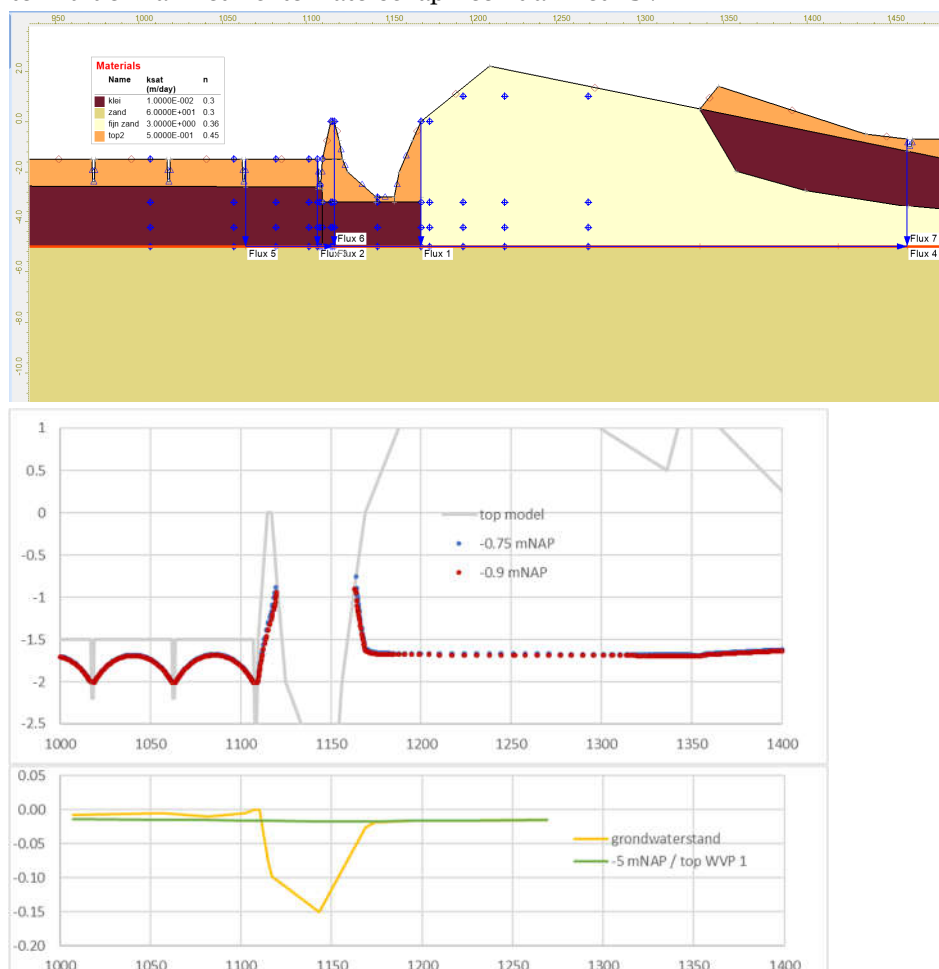
Fluxveranderingen richting de sloot treden alleen op in de teensloot. De flux van het Achterwaterschap naar de teensloot neemt ongeveer met 20 % af.

Profiel 4: De Donk, ontbreken deklaag

Ter hoogte van de Donk, ontbreekt ten zuiden van het Achterwaterschap de deklaag. Het maaiveld is er hoger tot +2 mNAP. Uit de boringen blijkt dat op een gedeelte van de Donk, de deklaag geheel ontbreekt en de ondergrond matig grof zand betreft. Goede uitwisseling met het eerste watervoerende pakket wordt hierdoor verwacht. Direct onder de boezem zijn wel weerstand biedende lagen aanwezig volgens de boorgegevens, waarmee het hydraulisch contact tussen de boezem en het watervoerend pakket beperkt is. Ten noorden van het Achterwaterschap is de deklaag ook minder diep dan in de omgeving (tot -5 mNAP blijkt uit de boringen en sonderingen).

Uit de berekeningen blijkt dat ten noorden van het Achterwaterschap het effect op de grondwaterstand optreedt tot aan de teensloot, het effect bedraagt 10 cm tot 8 cm bij de kade. Ten zuiden van het Achterwaterschap bedraagt het effect op de grondwaterstand ongeveer 2 cm, zodra de bodem overgaat in de zandige eenheid. Dit effect is gelijk aan het effect dat optreedt in het eerste watervoerende pakket. Het effect strekt zicht uit naar de omgeving en bedraagt op 100 m afstand van het Achterwaterschap nog 1 cm.

De flux van het Achterwaterschap naar de teensloot aan de noordkant en naar het zandpakket ten zuiden van het Achterwaterschap neemt af met 13 %.

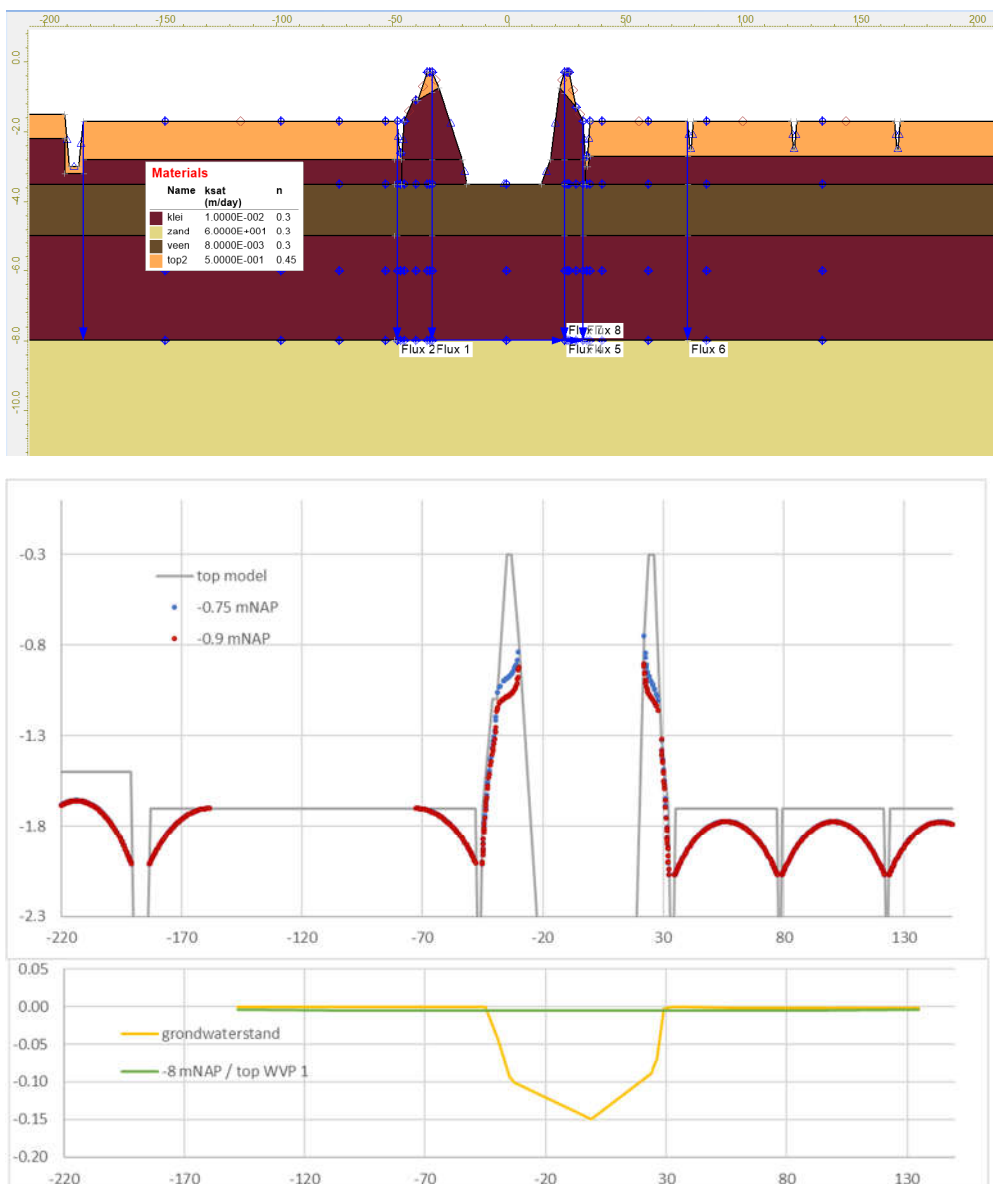


Figuur 11 Boven: Modelopzet dwarsprofiel (ingezoomd). Midden: berekende grondwaterstand (mNAP) tegen de afstand (m) voor de referentie situatie en met aangepast boezempeil. Onder: berekende effect van peilverlaging (mNAP) op twee diepten tegen de afstand (m)

Profiel 5: Oostelijke deel, dikte deklaag 5 m

Aan weerszijde van het Achterwaterschap is een geotechnisch profiel beschikbaar. Ook zijn er metingen van de bodem van het Achterwaterschap beschikbaar. De resultaten komen overeen met de resultaten van de eerdere profielen. Tot een afstand van 25 m van het Achterwaterschap wordt lokaal een effect van 1 cm berekend op de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Dit komt doordat de deklaag hier iets dunner is.

De flux van het Achterwaterschap naar de teensloot aan de noordkant en naar het zandpakket ten zuiden van het Achterwaterschap neemt af met ongeveer 30 %.



Figuur 12 Boven: Modelopzet dwarsprofiel (ingezoomd). Midden: berekende grondwaterstand (mNAP) tegen de afstand (m) voor de referentie situatie en met aangepast boezempeil. Onder: berekende effect van peilverlaging (mNAP) op twee diepten tegen de afstand (m)