

Notitie / Memo

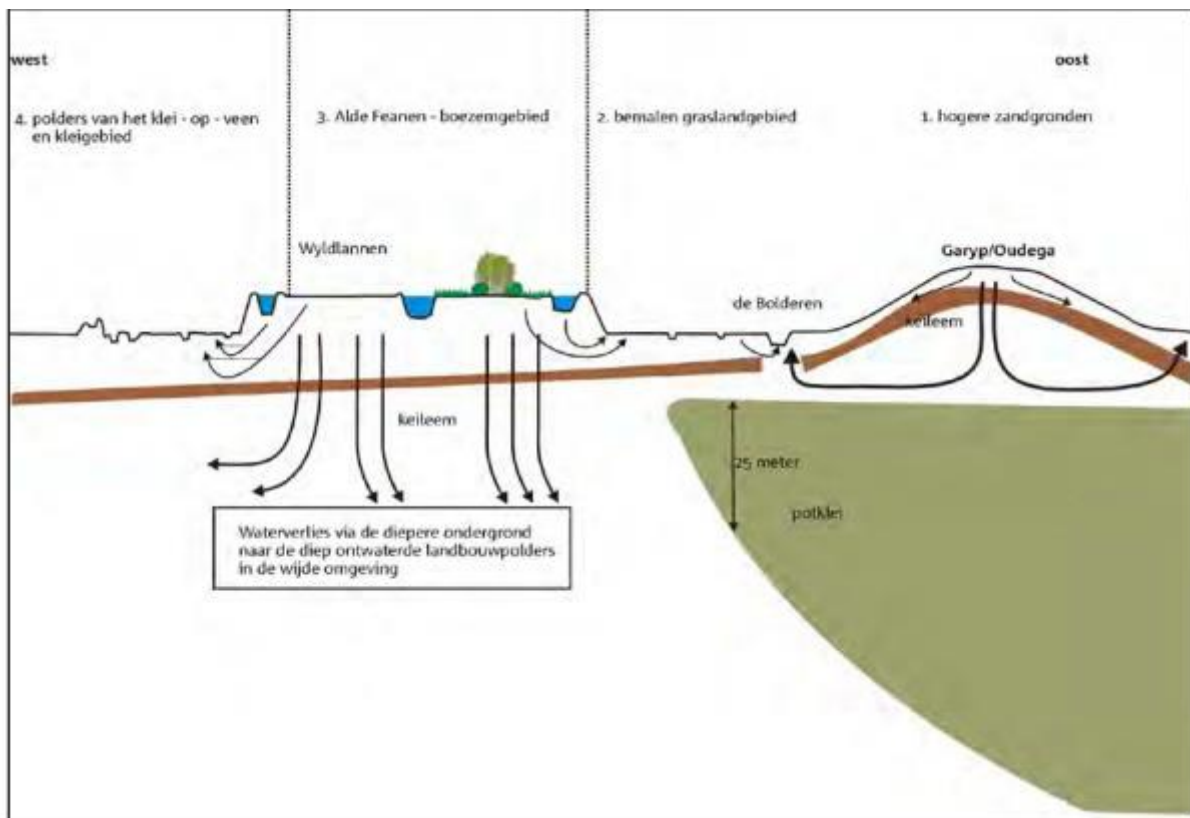
**HaskoningDHV Nederland B.V.
Water**

Aan: Erik Mateman, Willem Molenaar en Johan Medenblik
 Van: Siebren van der Linde
 Datum: 20 augustus 2019
 Kopie: Ben van der Wal
 Ons kenmerk: BG7182WATNT1908201403
 Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: Hydrologische analyse Hegewarren

1 Inleiding

De Provinciale Staten heeft gevraagd de mogelijkheden te onderzoeken voor een integrale gebiedsontwikkeling van de Hegewarren. De Hegewarren is een veenweide gebied met een veenlaag van 2 meter dik. Het veen oxideert en daardoor daalt het maaiveld. Om de functie landbouw te kunnen handhaven moet in de komende decennia steeds dieper worden bemalen en daardoor neemt de verdroging in de naast gelegen natuurgebieden (Alde Feanen) toe. Dit proces is schematisch weergegeven in Figuur 1-1. De natuurgebieden zijn gelegen in het gebied met nummer 3. Aangezien de waterstanden hier hoger liggen dan in de omgeving (waaronder de Hegewarren) verdroogt het natuurgebied. Door de bodemdaling in de veengebieden neemt het waterstandsverschil en daarmee de verdroging van de Alde Feanen toe.

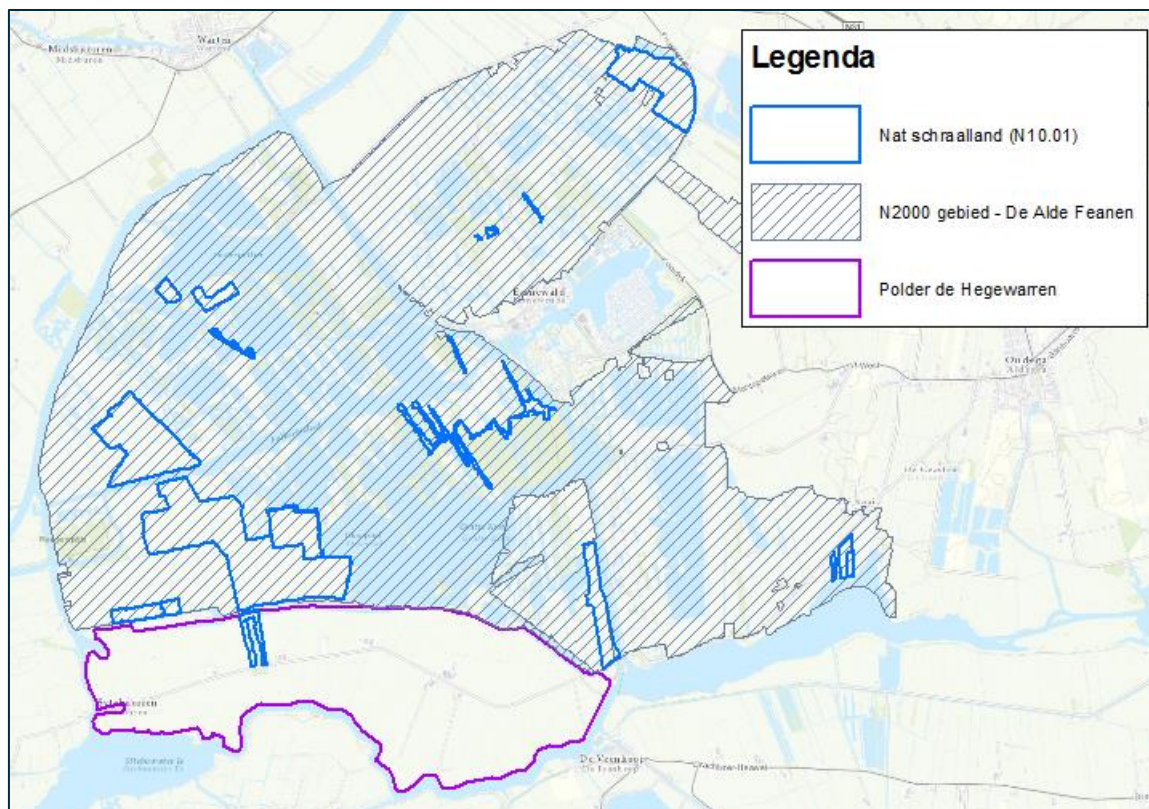


Figuur 1-1: Conceptuele illustratie van het hydrologische systeem.
 Bron: Waterbeheerplan Alde Feanen e.o. (2014), Wetterskip Fryslân.

Om het knelpunt van de verdroging in de Alde Feanen op te lossen zijn er een aantal zaken nader uitgezocht.

- Een van de mogelijkheden voor het gebied is dat er een functieverandering komt voor de Hegewarren. Dit zou concreet betekenen dat de landbouw in het gebied stopt en het gebied wordt ingericht voor andere doeleinden. Eén van de opties is dat het gebied (gedeeltelijk) onder water wordt gezet door het peil te verhogen naar boezemniveau (-0.52 mNAP). In deze notitie is het effect hiervan op de grondwaterstanden/kwel beoordeeld.
- In het nabijgelegen Natura-2000 gebied de Alde Feanen zijn blauwgraslanden aanwezig (onderdeel van nat schraalland, N10.01). De instandhoudingsdoelstelling hiervan staat momenteel onder druk ten gevolge van verdroging in de zomer. In deze hydrologische analyse is onderzocht in hoeverre de peilopzet in de Hegewarren leidt tot verbetering van de hydrologische situatie nabij de blauwgraslanden. De ligging van de natuurgebieden zijn aangegeven in Figuur 1-2.
- Tot slot is de hydrologische meerwaarde van een vaarweg klasse V aan de noordzijde van de Hegewarren onderzocht. Als bij aanleg van de vaarweg de keileem (deels) zal worden doorsneden dan kan dit mogelijk (ten positieve) leiden tot verhoging van de grondwaterstanden bij de blauwgraslanden.

De notitie beschrijft in hoofdstuk 2 de uitgangspunten voor het uitvoeren van de modellering. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd. In hoofdstuk 4 worden een aantal conclusies gegeven.



Figuur 1-2: Ligging natuurgebieden.

2 Uitgangspunten modellering

2.1 Basismodel

Als basis voor de modelberekeningen is gebruik gemaakt van het Friesland-model (Royal HaskoningDHV, 2019). Dit model is gebaseerd op MIPWA3.0 en vervolgens verbeterd voor de provincie Friesland. Het Friesland-model rekent op een schaal van 250 x 250 meter. Alle berekeningen zijn stationair uitgevoerd.

2.2 Scenarioberekeningen

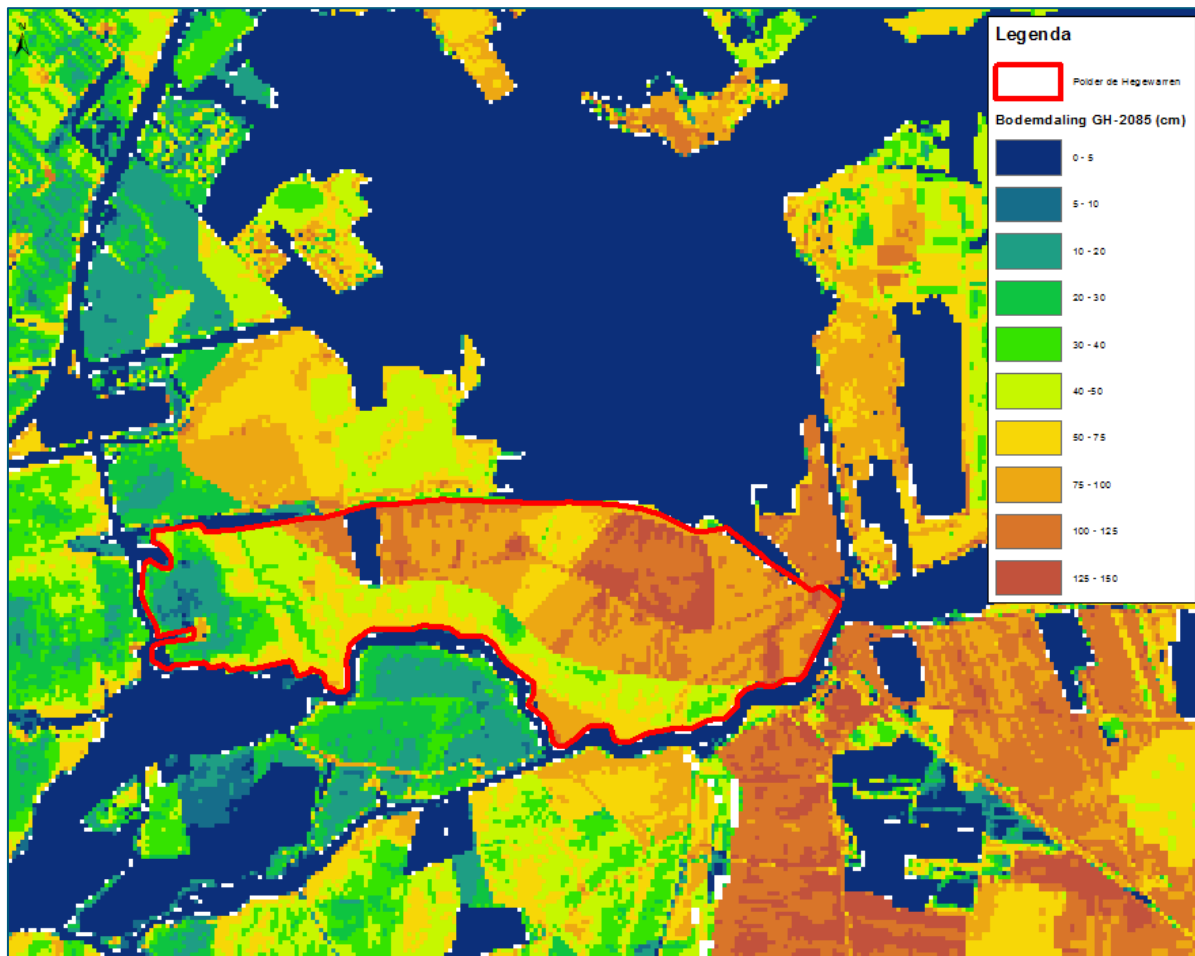
De scenarioberekeningen zijn opgebouwd op het scenario van de autonome ontwikkeling – GH85. In het GH-85 scenario is (onder andere) rekening gehouden met de volgende autonome ontwikkelingen:

- Bodemdaling als gevolg van veenoxidatie en delfstoffenwinning (zie Figuur 2-1)
- Klimaatverandering volgens het KNMI scenario GH-2085

Er zijn drie verschillende scenario's gedefinieerd:

1. Peilopzet Hegewarren
2. Peilopzet Hegewarren + vaarweg
3. Peilopzet Hegewarren + vaarweg met volledige doorsnijding van de keileem

Voor de beoordeling van de effecten van de peilopzet (scenario 1) is gerefereerd aan zowel de huidige situatie als de toekomstige situatie (autonome ontwikkeling). Zoals hiervoor is aangegeven zakt het maaiveld (door veenoxidatie) en moet steeds dieper en meer bemalen worden om het gebied droog te houden. Hierdoor zal het effect van peilopzet in de toekomstige situatie groter zijn dan wanneer de peilopzet in de huidige situatie zou worden uitgevoerd.



Figuur 2-1: Bodemdaling in de omgeving van de Hegewarren - GH85.

2.3 Keileem

De keileemlaag is hydrologisch gezien een zeer invloedrijke laag in de ondergrond van Friesland. Deze laag is afgezet tijdens het Saalien (ca 150.000 jaar geleden) toen Nederland bedekt was door een dik pak landijs dat vanuit Scandinavië naar het zuiden stroomde. Onder deze gletsjer bevond zich een zogenaamde grondmorene. In de grondmorene worden keien en stenen meegevoerd die samen met plaatselijk bodemmateriaal zijn verpulverd en gemengd tot een zeer taai, ongesorteerd mengsel. Dit mengsel bestaat uit klei, leem, zand en grotere keien en is zeer slecht waterdoorlatend. Het voorkomen van deze laag is erg grillig en de dikte varieert sterk. In Friesland is deze laag na het terugtrekken van de ijskappen nagenoeg overal weer bedekt geraakt met zand, veen en klei.

In deze hydrologische analyse is een gevoeligheidsanalyse van de weerstand van de keileem uitgevoerd. Deze is beschreven in paragraaf 2.3.1. Daarnaast is ook de potentiële doorsnijding van de keileemlaag door de vaarweg gecontroleerd, zoals beschreven in paragraaf 2.3.2.

2.3.1 Gevoeligheidsanalyse keileemweerstand

Het voorkomen (de verspreiding) van de keileemlaag is relatief goed in beeld gebracht door TNO en is ook gedetailleerd opgenomen in MIPWA3.0. De uiteindelijke hydrologische weerstandswaarde (c) die wordt toegekend aan de keileem is echter naast de kartering (welke een dikte geeft) ook afhankelijk van de gekozen k-waarde. Zie onderstaande formule. Er is daarom ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd

naar de weerstand van de keileem. Dit geeft inzicht in de effecten van de scenario's rekening houdend met de onzekerheid in de gekozen k-waarde.

$$c = D/k$$

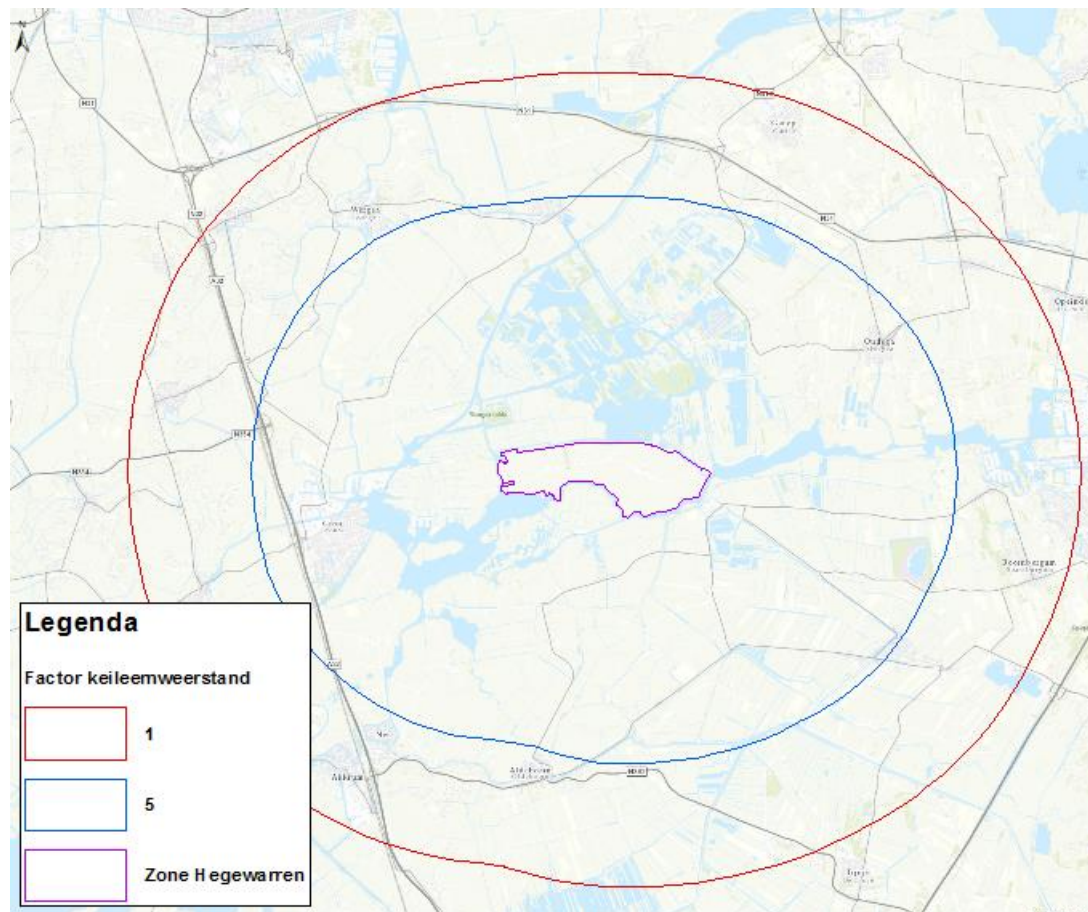
Waar:

c = weerstand (d)

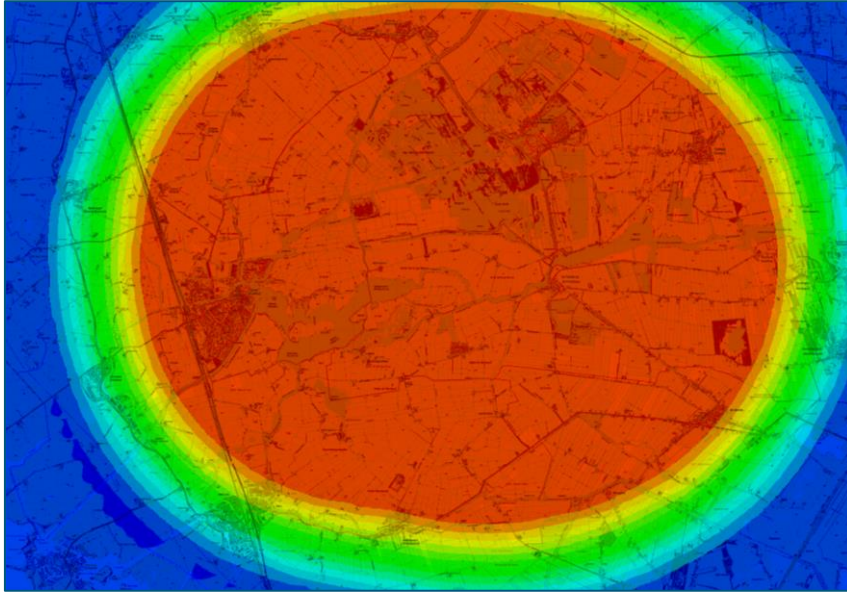
D = dikte (m)

k = hydrologische doorlatendheid (m/d)

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd door binnen een zone rondom de Hegewarren de weerstandswaarde met een factor 5 te verhogen en te verlagen (Figuur 2-2). Omdat onverklaarbare uitkomsten te voorkomen is dit niet toegepast over het gehele grondwatermodel maar enkel in de regio van de Hegewarren. Hier is de overgang binnen een buffer van 2 km geïnterpoleerd van een factor 5 tot een factor 1 (= geen aanpassing), zie Figuur 2-3.



Figuur 2-2: Zone waarbinnen de keileemweerstand is gevarieerd.

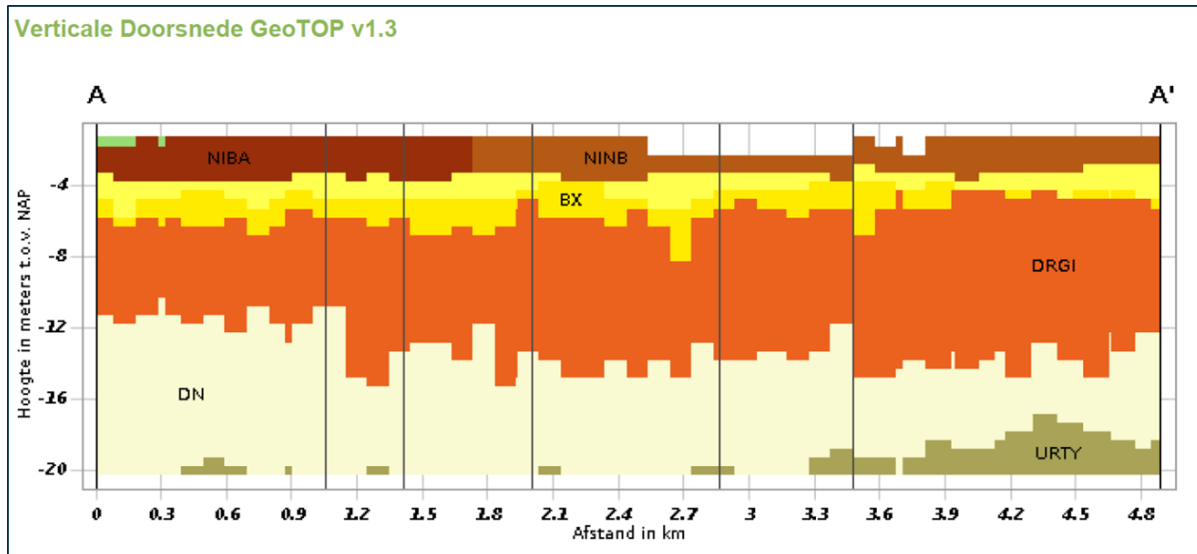


Figuur 2-3: Geïnterpoleerde factor: 5 in het midden (rood) en 1 erbuiten (blauw).

2.3.2 Doorsnijding

De klasse V vaarweg die eventueel zal worden aangelegd nabij de Hegewarren zal een diepte krijgen van ca. 5 meter. Aangenomen is dat de waterstand gelijk zal zijn aan het Friese boezempeil (-0.52 mNAP). De bodem van de vaarweg zal daarom komen te liggen op ca. -5.5 mNAP. Figuur 2-4 toont over de verwachte ligging van de vaarweg een doorsnede van de ondergrond tot een diepte van -20 mNAP. In deze doorsnede is de keileem gekarteerd in de eenheid DRGI (Drenthe-Gietenklei). Uit de doorsnede komt duidelijk naar voren dat de vaarweg slechts een klein deel van de keileem zal doorsnijden.

Om rekening te houden met de mogelijkheid dat er lokaal verschillen zijn tussen GeoTOP en de werkelijkheid is er een scenario opgenomen waarbij de vaarweg de keileem volledig doorsnijdt. Het is echter aannemelijker dat (als de keileem al doorsneden wordt) dit slechts op enkele stukken van het tracé van de vaarweg voorkomt, omdat de keileem door zijn heterogene oorsprong mogelijk plaatselijk afwezig is, of zeer dun.



Figuur 2-4: Doorsnede GeoTOP v1.3.



Figuur 2-5: Locatie doorsnede.

2.4 Peilopzet Hegewarren

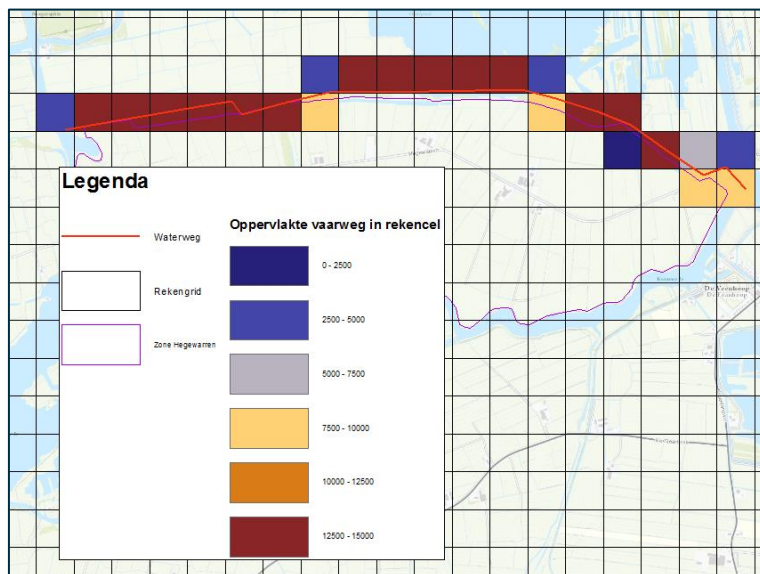
De peilopzet van de Hegewarren is als volgt gemodelleerd:

- Alle drainagesystemen lager dan -0.52 zijn uitgezet
- De parameter top10vlak krijgt binnen de gehele polder een niveau van -0.52 mNAP.
- De drainageweerstand is gelijk gehouden aan de opzet van de Friese Boezem in MIPWA3. Dit betreft een weerstand van 10 dagen.
- Er is een infiltratiefactor van 1/3 gehanteerd. Aangezien het gebied permanent zal infiltreren zal dit mogelijk een te lage infiltratieweerstand zijn. De effecten zullen in werkelijkheid dus mogelijk ook minder groot zijn. Het wordt aanbevolen om in vervolgstudie het effect van deze weerstandswaarde verder te analyseren.
- In het geval van de opbouw op het autonome GH-85 scenario is hier de bodemdaling niet doorgezet en daarmee ook niet de vermindering van de deklaagweerstand (door de oxidatie van veen).

2.5 Vaarweg

De vaarweg is verwerkt in de DRN en de RIV package van MODFLOW. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Gelijke drainage en infiltratieweerstanden als de Friese Boezem (10 d en infiltratiefactor van 1/3). Ook dit zal waarschijnlijk te optimistisch zijn aangezien grotere kanalen vaak snel dichtslibben.
- De breedte is 50 m.
- De gemodelleerde conductance is geschaald naar het effectieve oppervlak van de vaarweg in elke rekencel (Figuur 2-6). Als de vaarweg bijvoorbeeld volledig recht door een rekencel gaat dan is het oppervlak van de vaarweg daar $50 * 250 = 12500 \text{ m}^2$. Als deze slechts een klein deel van de cel doorsnijdt is dit oppervlak kleiner en is de vaarweg in die cel dus minder effectief (lagere conductance).
- Op basis van de diepte van de bodem (-5.5 mNAP) is bepaald in welke modellagen de vaarweg actief is. Hierbij is 90% van de conductance in de diepste modellaag geplaatst (uitwisseling gaat voornamelijk door de bodem).
- In het scenario met volledige doorsnijding is de bodem van de vaarweg onder de onderkant van de keileem gelegd. Hierdoor is de waterloop actief in de modellaag onder de keileem.



Figuur 2-6: Correctie van de conductance op basis van het effectieve oppervlakte per rekencel.

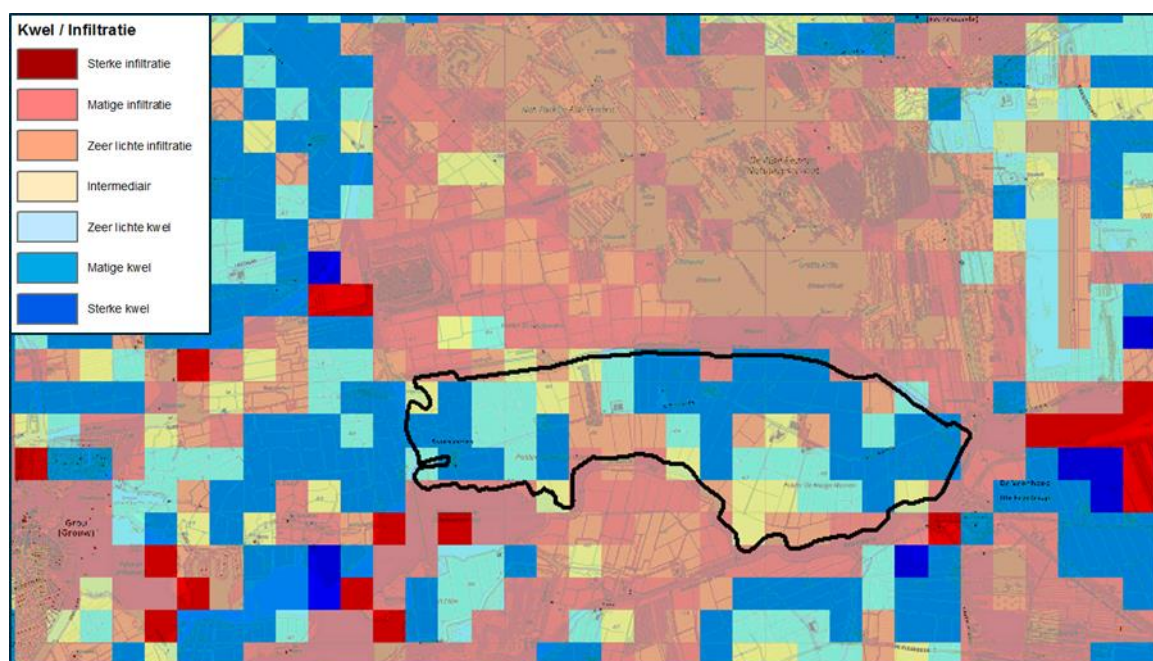
3 Resultaten

In paragraaf 3.1 wordt ingegaan op het effect van de autonome ontwikkeling op het hydrologische systeem in de omgeving van de Hegewarren. De resultaten van het scenario met peilopzet van de Hegewarren worden vervolgens uitgebreid beschreven in paragraaf 3.2. De aanleg van de vaarweg had geen significant andere effecten en wordt daarom niet apart besproken. In paragraaf 3.3 staan de resultaten van de gevoeligheidsanalyse van de keileem en de (al dan niet doorsneden) vaarweg. In paragraaf 3.4 worden de resultaten van de scenario's op de waterbalans gepresenteerd.

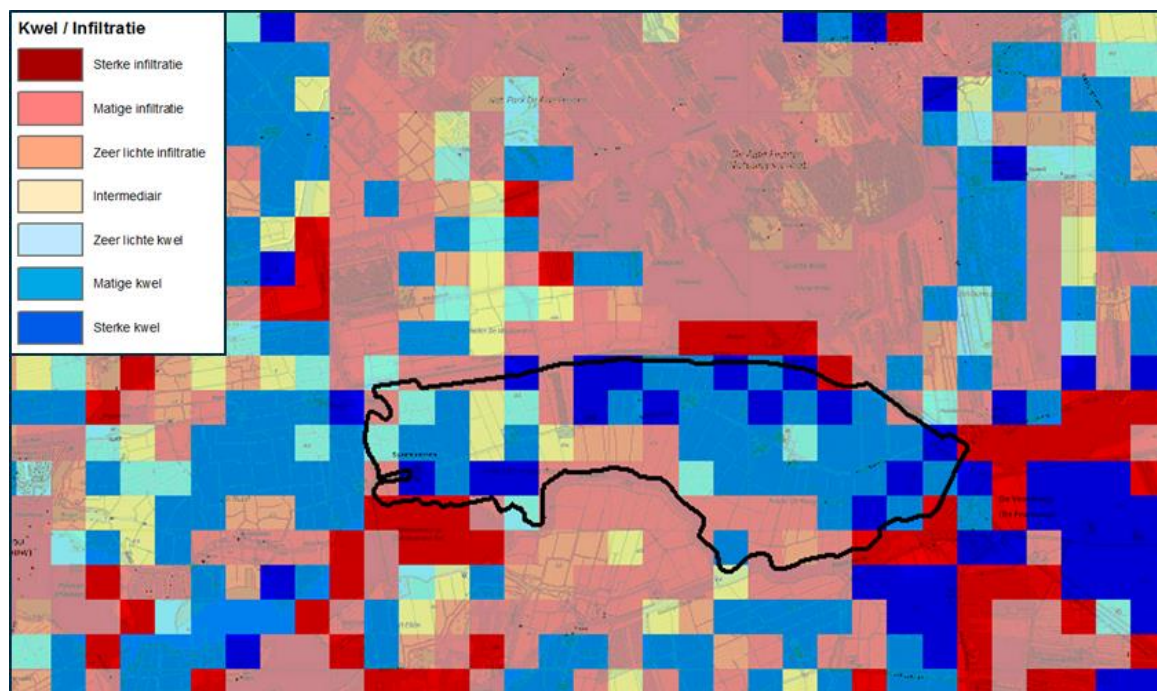
3.1 Effect autonome ontwikkeling

In de huidige situatie is in nagenoeg de gehele Hegewarren sprake van kwel (zie Figuur 3-1). Het grootste deel van deze kwelgebieden zijn gelegen in het noordoosten van de Hegewarren, waar de Hegewarren grenst aan de Alde Feanen. Langs dit deel van de Alde Feanen is er ook sprake van matige infiltratie. Hieruit blijkt dus dat in de huidige situatie er veel oppervlaktewater verloren gaat aan wegzijging richting de Hegewarren. Als gevolg van autonome ontwikkelingen (voornamelijk bodemdaling) neemt dit proces significant toe. In Figuur 3-2 is zichtbaar dat waar in de huidige situatie voornamelijk nog sprake was van zeer lichte kwel en matige kwel er in 2085 grote gebieden ontstaan met matige kwel tot sterke kwel. In het zuidelijk deel van de Alde Feanen ontstaan er nu gebieden met sterke infiltratie.

Wat ook opvalt is dat er in de polder de Wyldlanden en in andere polders in de omgeving kwelgebieden beginnen te ontstaan. Dit komt doordat daar ook bodemdaling plaatsvindt (zie Figuur 2-1) terwijl de oppervlaktewaterpeilen op Fries boezempeil worden gehouden. Hierdoor ontstaan er dus tegelijkertijd ook meer zones met sterke infiltratie.



Figuur 3-1: Absolute kwel/infiltratie in de huidige situatie.



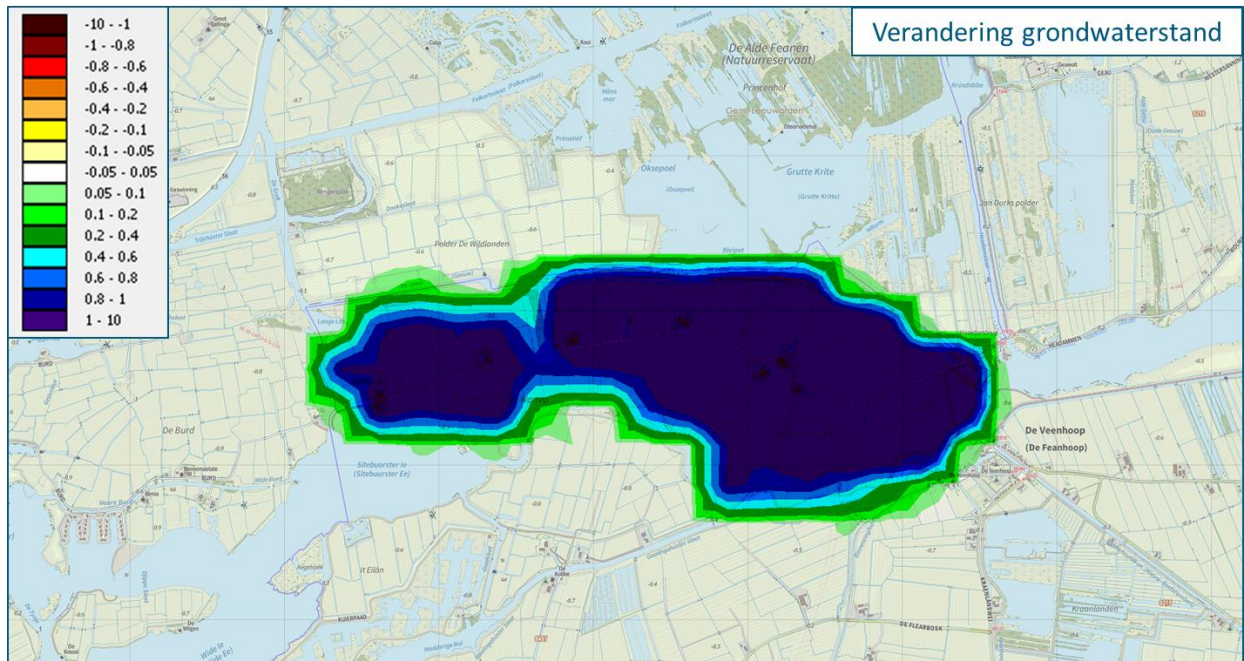
Figuur 3-2: Absolute kwel/infiltratie (mm/d) in de situatie GH-85.

3.2 Effect peilopzet Hegewarren

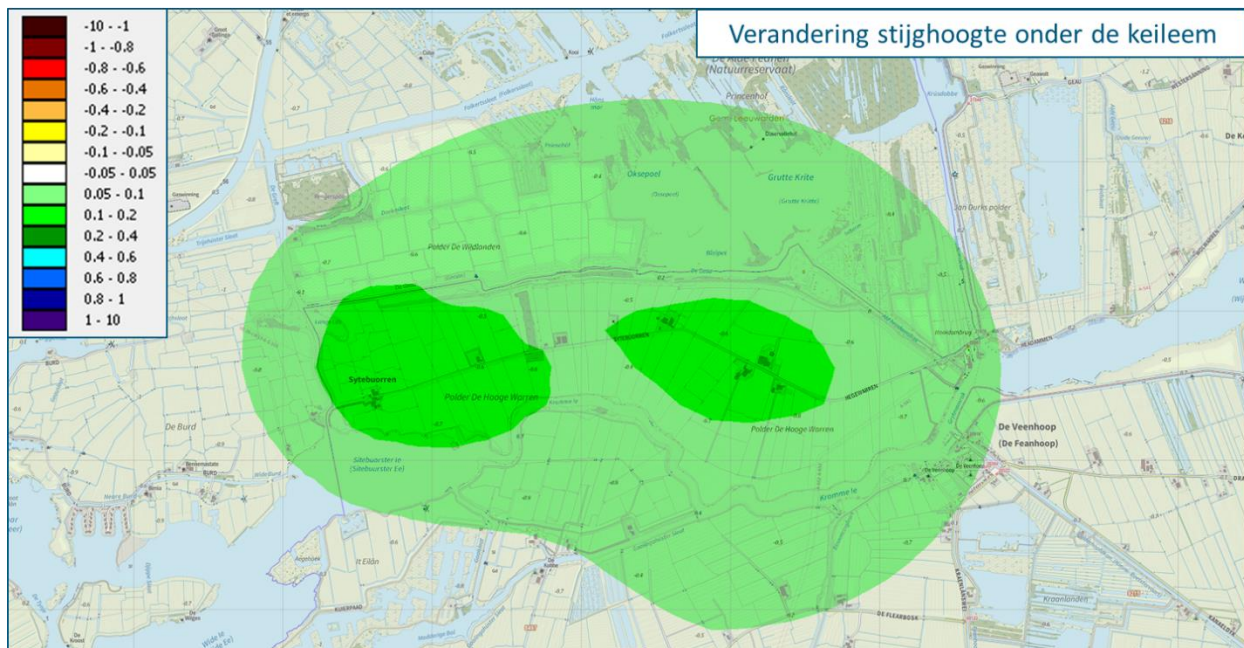
Het effect van de peilopzet in de Hegewarren op de GH85-grondwaterstand wordt getoond in Figuur 3-3. Hieruit komt naar voren dat het effect op grondwaterstanden in de omgeving zeer beperkt is. Het uitstralende effect wordt beperkt doordat de weerstanden van zowel de holocene deklaag als de keileem zodanig hoog zijn dat de stijghoogte toename (die overigens wel significant verder doorwerkt, zie Figuur 3-4) slechts 5-10 cm is. Hierdoor leidt deze stijghoogteverandering nauwelijks tot een grondwaterstandsverhoging in de omgeving.

De kwelverandering, te zien in Figuur 3-5, straalt wat verder uit dan de grondwaterstandsverandering. Dit is echter ook een kwestie van legenda-indeling (vanaf welke grens is het effect niet meer zichtbaar gemaakt). Daarbij blijft het topsysteem (buisdrainage en de sloten en greppels) buiten de Hegewarren ongewijzigd. Hierdoor kan er wel een kweltoename zijn zonder dat er een grondwaterstandsstijging zichtbaar wordt. Duidelijk is echter dat ook het effect op de kwel niet ver doorwerkt op de ruimere omgeving maar beperkt blijft tot een zone rondom de Hegewarren.

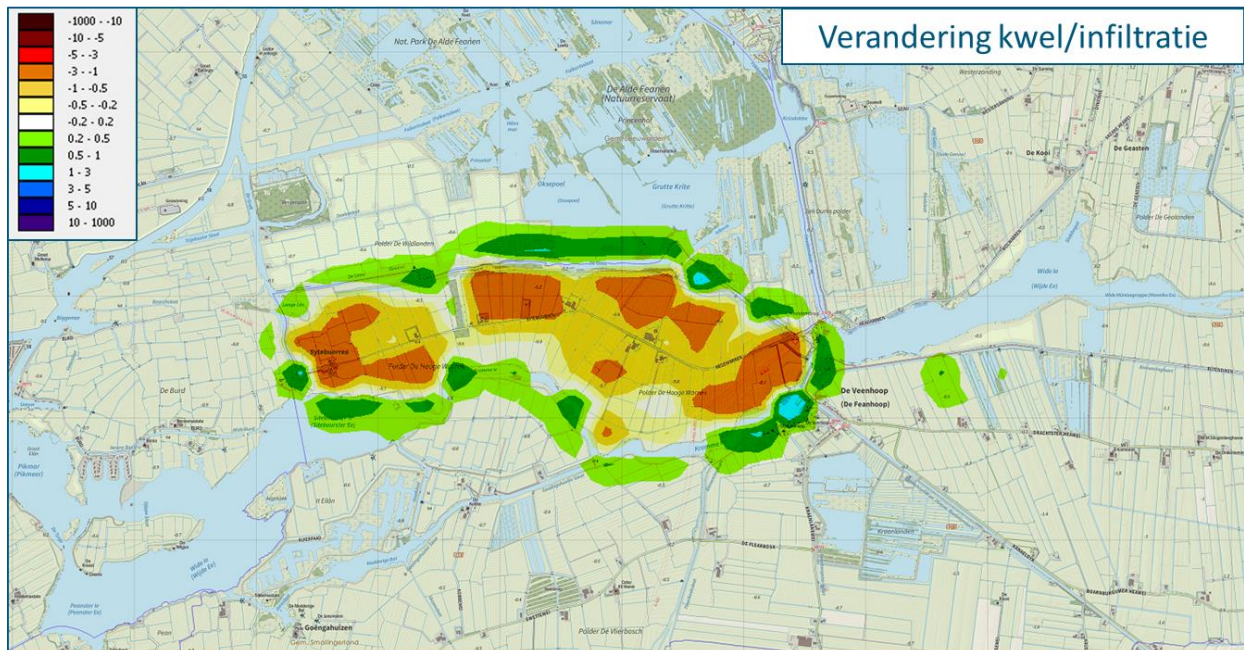
Wanneer wordt gekeken naar de absolute kwel (Figuur 3-6) dan blijkt dat de gehele Hegewarren veranderd van kwelgebied naar infiltratiegebied. Hierdoor neemt ook de wegzijging aan de zuidrand van de Alde Feanen sterk af. Daarnaast ontstaan er nog wat meer kwelgebieden in de polder 'de Wildlanden'.



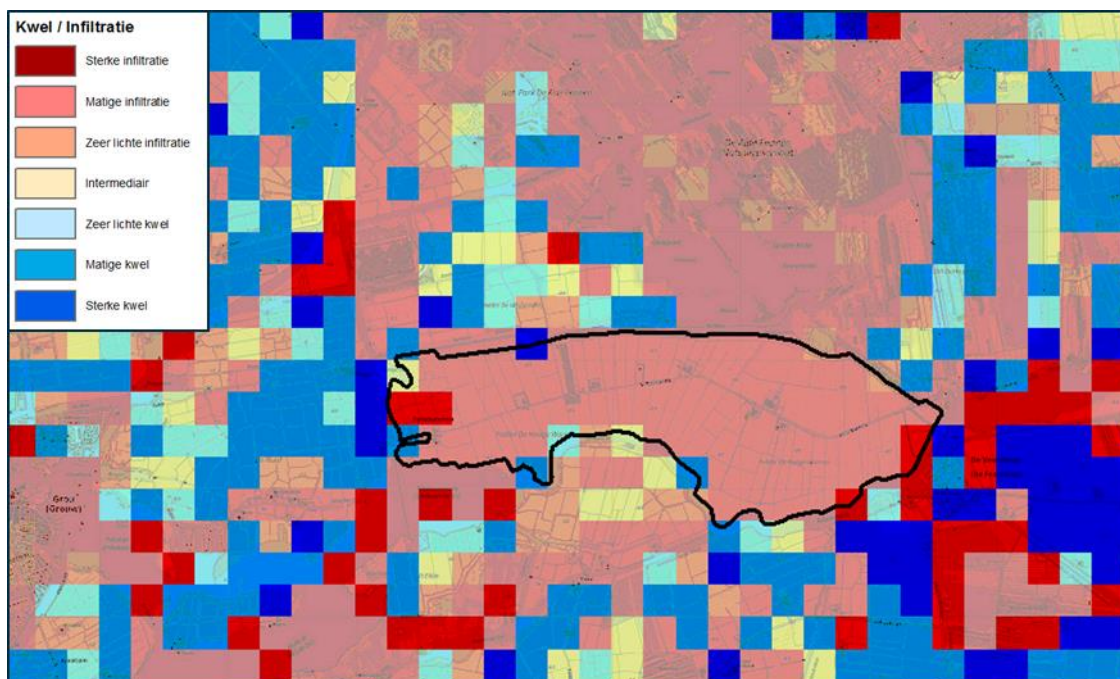
Figuur 3-3: Verandering GH85-grondwaterstand als gevolg van peilopzet in de Hegewarren.



Figuur 3-4: Verandering GH85-stijghoogte (onder de keuleem) als gevolg van peilopzet in de Hegewarren.



Figuur 3-5: Verandering GH85-kwel als gevolg van peilopzet in de Hegewarren.

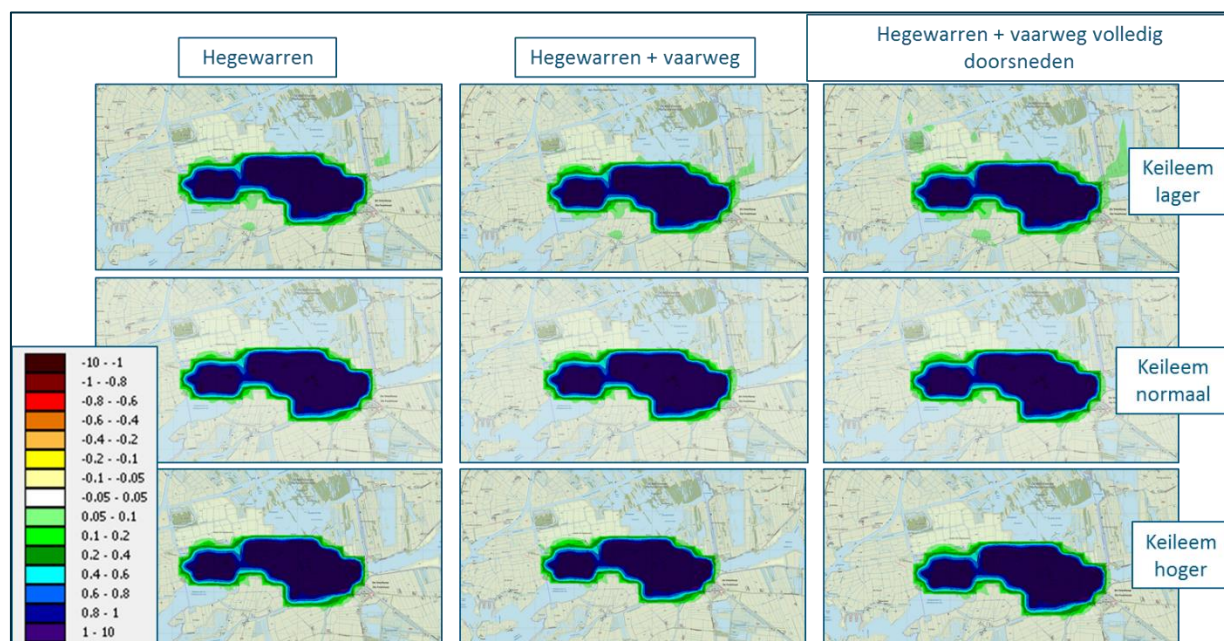


Figuur 3-6: Absolute kwel/infiltratie (mm/d) in de situatie GH-85 met peilopzet in de Hegewarren.

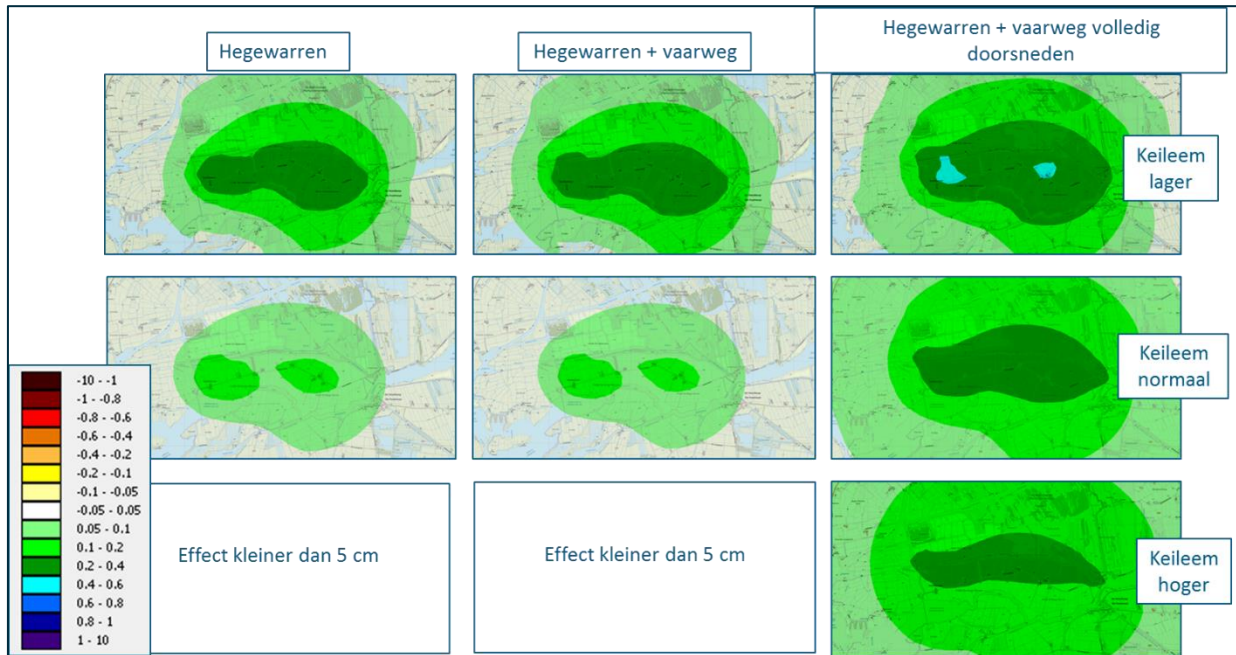
3.3 Gevoeligheidsanalyse keileem en vaarweg

De berekende scenario-effecten van de verschillende varianten van de keileemweerstand zijn weergegeven in Figuur 3-7 tot Figuur 3-9. Het blijkt dat de effecten op de grondwaterstand nagenoeg gelijk zijn voor elke variant. Enkel bij de variant met een volledig doorsneden vaarweg i.c.m. een 5x lagere weerstand van de keileem ontstaan er lokaal wat zones met vernatting. Hoewel de effecten op de stijghoogte gevoelig zijn voor de keileemweerstand, leidt dit echter niet tot significante veranderingen van de grondwaterstand. Als de weerstand lager is zijn de effecten op de stijghoogte groter en stralen ze verder uit. Als de weerstand groter is dan is het effect van peilopzet of peilopzet i.c.m. de vaarweg niet meer waarneembaar in de stijghoogte onder de keileem. De verandering van de kwel is niet gevoelig voor een hogere weerstand. Als de keileemweerstand lager is dan worden de effecten groter.

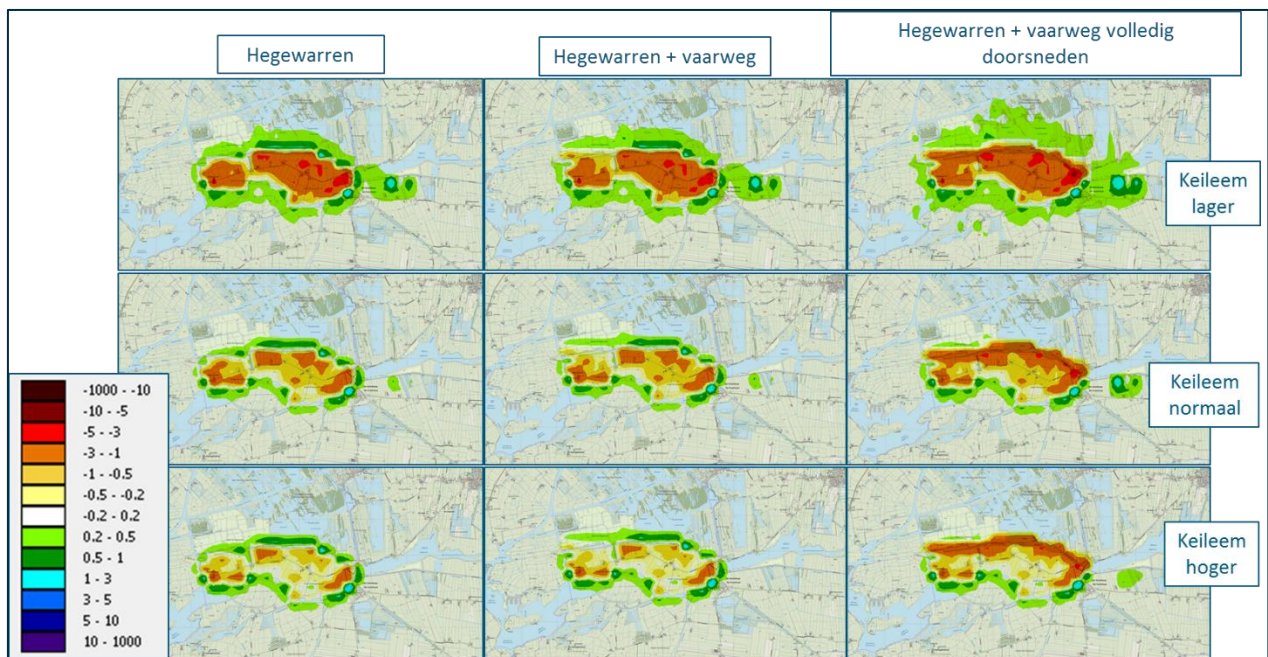
De effecten van peilopzet in de Hegewarren verschillen niet significant wanneer er daarnaast ook een vaarweg wordt aangelegd. Dit komt doordat de vaarweg niet op een hoger peil dan de Hegewarren komt te staan (beide -0.52 mNAP) en het daarnaast relatief weinig boezemwater toevoegt t.o.v. peilopzet van de gehele Hegewarren. Doorsnijding van de keileem is zeer onwaarschijnlijk in dit gebied (zie paragraaf 2.3.2). In geval van volledige doorsnijding is kweltoename bij blauwgraslanden juist kleiner. Dit komt doordat de waterweg dan sterk gaat infiltreren naar het watervoerende pakket onder de keileem waardoor er minder drukverhoging ontstaat onder de blauwgraslanden.



Figuur 3-7: Verandering van de grondwaterstand. Resultaten van de scenarioberekeningen met variërende weerstand van de keileem.



Figuur 3-8: Verandering van de stijghoogte onder de keileem. Resultaten van de scenarioberekeningen met variërende weerstand van de keileem.



Figuur 3-9: Verandering van de kwel. Resultaten van de scenarioberekeningen met variërende weerstand van de keileem.

3.4 Resultaat waterbalans

Tabel 3-1: Resultaten van de waterbalans van de polder Hegewarren voor verschillende scenario's.

Fluxen polder Hegewarren (m ³ /d)	Huidige Situatie	GH-85	Hegewarren	Vaarweg	Vaarweg - doorsneden
Topsysteemafvoer (negatief is afvoer)	-5224	-6814	-2627	-2758	-2839
Grondwateraanvulling	3972	4506	4506	4506	4506
Infiltratie vanuit boezem	442	506	55	83	705
Laterale toestroming (negatief is richting de Hegewarren)	-810	-1802	1935	1832	2372

De stationaire waterbalans voor de Hegewarren is weergegeven in bovenstaande tabel. Hieruit kan worden afgeleid dat de topsysteemafvoer in de Hegewarren als gevolg van klimaatverandering en bodemdaling met ca. 30% toeneemt. Zodra de Hegewarren op boezempeil wordt gezet dan neemt dit vervolgens weer met 50% af t.o.v. de huidige situatie en met 60% t.o.v. de situatie GH-85. Ook de boezeminfiltratie neemt met ongeveer een factor 10 af ten opzichte van de situatie GH-85 als de Hegewarren op boezempeil wordt gezet.

De verschillen tussen de scenario's met/zonder vaarweg zijn klein. Het opvallendste verschil van het scenario met de vaarweg is zichtbaar in de infiltratie vanuit de boezem. Zodra de keileem wordt doorsneden neemt dit bijna een factor 10 toe. Dit komt doordat de stijghoogte onder de keileem significant lager is dan het boezempeil.

In zowel de huidige situatie als de situatie GH-85 is er netto toestroming vanuit de omgeving naar de Hegewarren (meer dan 2x zoveel in de situatie GH-85). Zodra de Hegewarren op boezempeil wordt gezet keert deze flux volledig om. Er is dan juist netto afstroming naar de omgeving. De hoeveelheid die Hegewarren in de situatie GH85 aantrekt is absoluut gezien nagenoeg gelijk aan de hoeveelheid water die de Hegewarren in de situatie met peilopzet kwijtraakt aan de omgeving.

4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Het uitvoeren van verschillende hydrologische berekeningen heeft geleid tot de volgende inzichten:

1. Als gevolg van autonome ontwikkelingen (voornamelijk bodemdaling) neemt de kwel in de Hegewarren met 30% toe ten opzichte van nu. Hierdoor neemt de verdroging van de Alde Feanen in de toekomst significant toe.
2. Nabij de blauwgraslanden, in de polder Wyldlanden, ontstaan er kwelgebieden als gevolg van de bodemdaling en het gelijktijdig op peil houden van het boezemsysteem.
3. De hydrologische effecten van peilopzet in de Hegewarren zijn naar de wijdere omgeving toe beperkt als gevolg van de hoge weerstanden in de ondergrond (deklaag en keileem).
4. Als gevolg van peilopzet in de Hegewarren kan de autonome toename van de verdroging van de Alde Feanen (deels) worden gemitigeerd. Daarnaast veranderen er in de Wyldlanden een aantal percelen van infiltratiegebieden in kwelgebieden.
5. De aanleg van een vaarweg in combinatie met peilopzet in de Hegewarren leidt niet tot significant andere (positieve) effecten dan enkel peilopzet in de Hegewarren.
6. De berekende effecten zijn niet gevoelig voor de gemodelleerde weerstand van de keileem.
7. Bij aanleg van een vaarroute is het zeer onwaarschijnlijk dat de keileem wordt doorsneden.

Aanbevelingen

Het Friesland-model rekent op een schaal van 250 x 250 meter. Dit betekent dat de resultaten niet gedetailleerd genoeg zijn om uitspraken te kunnen doen op perceelsniveau. Aangezien de vraagstelling in dit stadium nog zeer conceptueel van aard is, is besloten dat deze schaalgrootte in deze fase voldoet. Als in de toekomst wordt besloten verder te gaan met de gebiedsontwikkeling raden we aan het model te verfijnen en daarnaast ook tijdsafhankelijk te rekenen.