

Grondwatersysteemanalyse toevoerboezems Alblasserwaard

Datum	oktober 2019
Auteur	Wilbert Berendrecht
Opdrachtgever	Waterschap Rivierenland
Projectnummer	2019.002
Aantal pagina's	33

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Gebiedsbeschrijving.....	6
2.1	Situatieschets.....	6
2.2	Landschappelijke ontwikkeling en geologie.....	8
2.3	Geulafzettingen nader bekeken.....	10
2.4	Maaiveld	12
2.5	Oppervlaktewater	12
2.6	Grondwater	14
3	Geohydrologische analyse.....	21
3.1	Uitgangspunten.....	21
3.2	Dwarsprofielen.....	21
3.3	Indicatieve effecten van toevoerboezem	27
3.4	Evaluatie tracés	29
4	Aanbevelingen	31
	Referenties	32
	Bijlage A: Alternatieven toevoerboezems.....	33

1 Inleiding

Achtergrond

Door piekbuien en hogere waterstanden in de rivieren krijgt waterschap Rivierenland (WSRL) meer water te verwerken. Daarnaast is er in de Alblasserwaard sprake van bodemdaling en zijn veel boezemkades niet hoog en stevig genoeg. Bij hevige regenval moeten extra noodgemalen bijgeplaatst worden om wateroverlast te voorkomen. Dit alles heeft er voor gezorgd dat het waterschap op zoek is gegaan naar structurele oplossingen. Het waterschap heeft een visie voor 2050 opgesteld om ook in de toekomst een robuust en klimaatbestendig watersysteem te hebben. Deze visie betekent een wijziging in de indeling van het huidige watersysteem van de Overwaard en de Nederwaard. Het water zal dan niet alleen via Kinderdijk worden afgevoerd, maar ook via een nieuw te bouwen boezemgemaal. Op die manier is het waterpeil op de boezems beter te beheersen en hoeven minder kades verbeterd te worden.

Inmiddels zijn er enkele alternatieven uitgewerkt voor toevoerboezems bij Hardinxveld-Giessendam. Om een goede afweging te kunnen maken tussen de alternatieven, is onder andere een grondwatersysteemanalyse noodzakelijk.

Doelstelling

Doel van de grondwatersysteemanalyse is het in beeld brengen van de huidige grondwatersituatie en het beschrijven van potentiële effecten van de alternatieve tracés op de grondwaterstand en stijghoogte.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een uitgebreide beschrijving van het onderzoeksgebied. Hierin komt onder andere de geologie aan de orde en het voorkomen van geulafzettingen. Verder wordt de grondwatersituatie beschreven aan de hand van beschikbare metingen en modelberekeningen.

Hoofdstuk 3 beschrijft de geohydrologische analyse van het gebied. Hoe stroomt het water? Wat is het effect van een toevoerboezem op het grondwatersysteem? En hoe verhouden de alternatieve tracés voor de toevoerboezem zich tot elkaar?

Tenslotte bevat hoofdstuk 4 enkele aanbevelingen voor nader onderzoek ten behoeve van gedetailleerde effectberekeningen en (geohydrologische) afweging van de alternatieven.

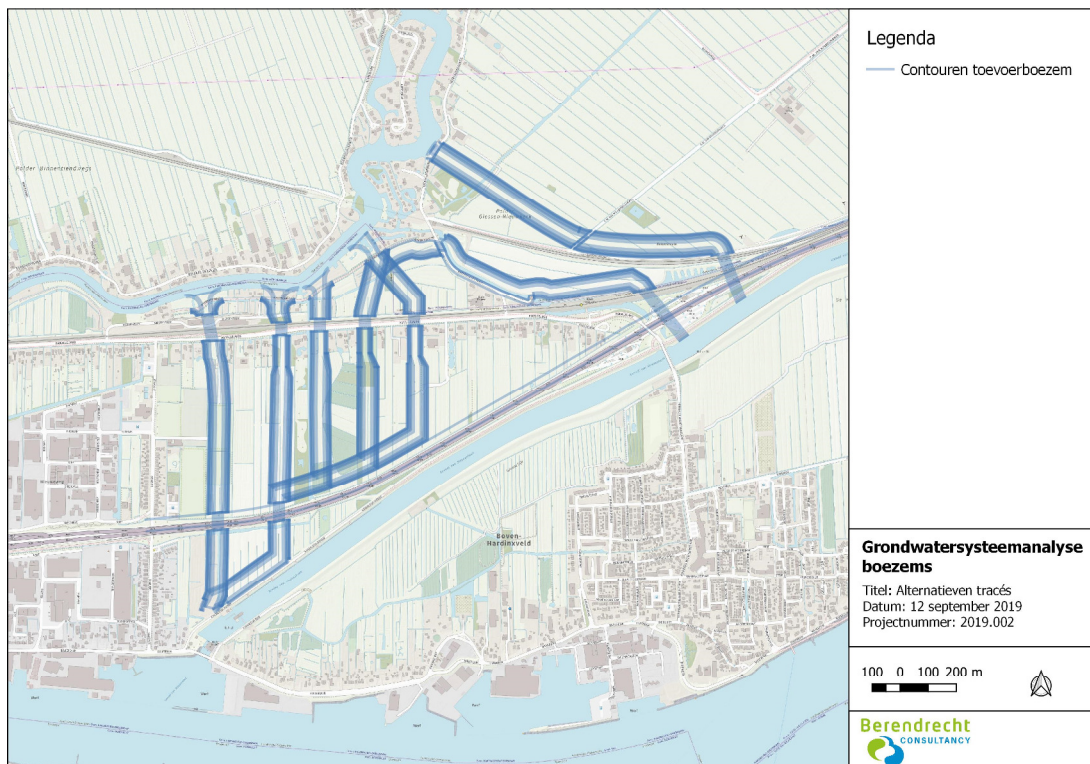
2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Situatieschets

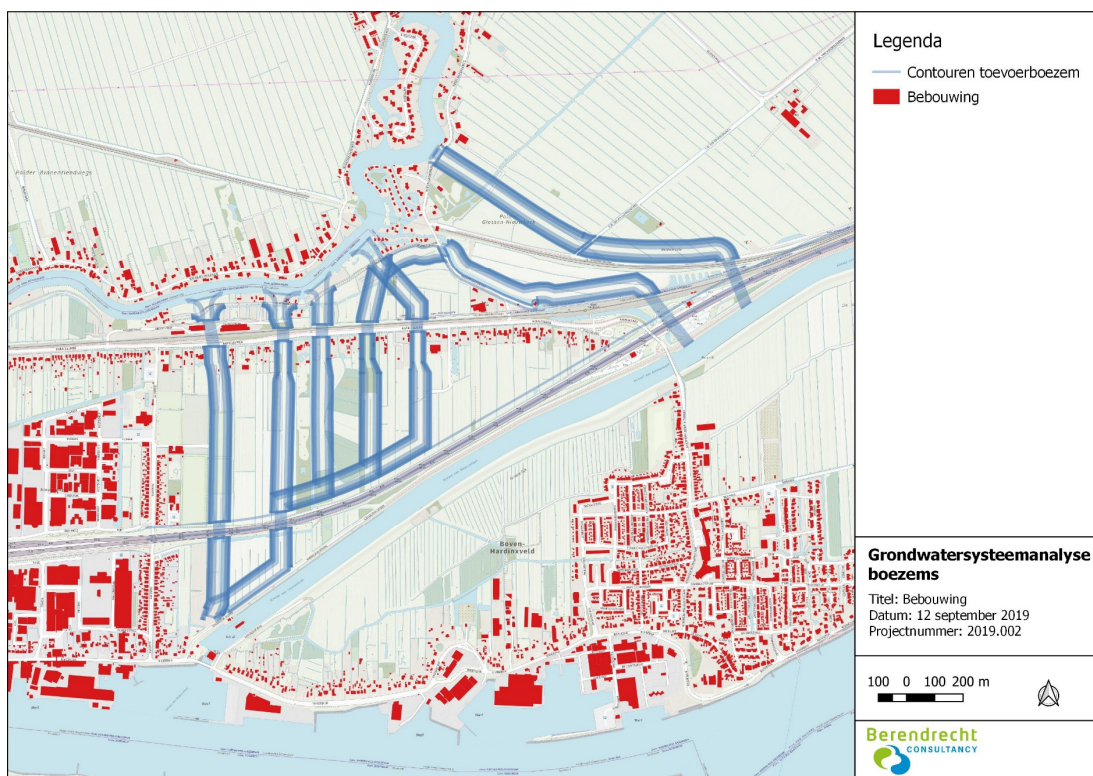
De alternatieve tracés van de boezem zijn gepland in het gebied direct ten oosten van Hardinxveld-Giessendam. Figuur 2.1 toont de situering van de alternatieven. Het gebied wordt omsloten en doorkruist door diverse watergangen en infrastructuur. De noordelijke begrenzing wordt gevormd door de rivier de Giessen. Aan de zuidkant vormt kanaal van Steenenhoek de begrenzing. Dit kanaal takt af van de Linge en mondt via de Steenenhoeksche Kanaalsluis en de uitwateringsgeul van het Gemaal Mr.dr. G. Kolff uit in de Beneden-Merwede. Vlak ten noorden van het kanaal loopt rijksweg A15. Deze weg vormt een obstructie voor de toevoerboezem en zal via een constructie doorkruist moeten worden. Verder loopt ten zuiden van de Giessen van west naar oost de parallelweg en de NS spoorlijn Dordrecht-Gorinchem. Bebouwing wordt met name aangetroffen langs de parallelweg en langs de Giessen (zie Figuur 2.2). Ten noorden van de parallelweg en spoorlijn loopt de Betuwelijn; deze gaat hier onder de rivier de Giessen door.

Het landgebruik is voornamelijk landbouw/grasland (Figuur 2.3). Centraal in gebied ligt een natuurgebied. Aan de westzijde, tegen Hardinxveld-Giessendam, bevinden zich sportvelden en tuincomplex Hardinxveld.

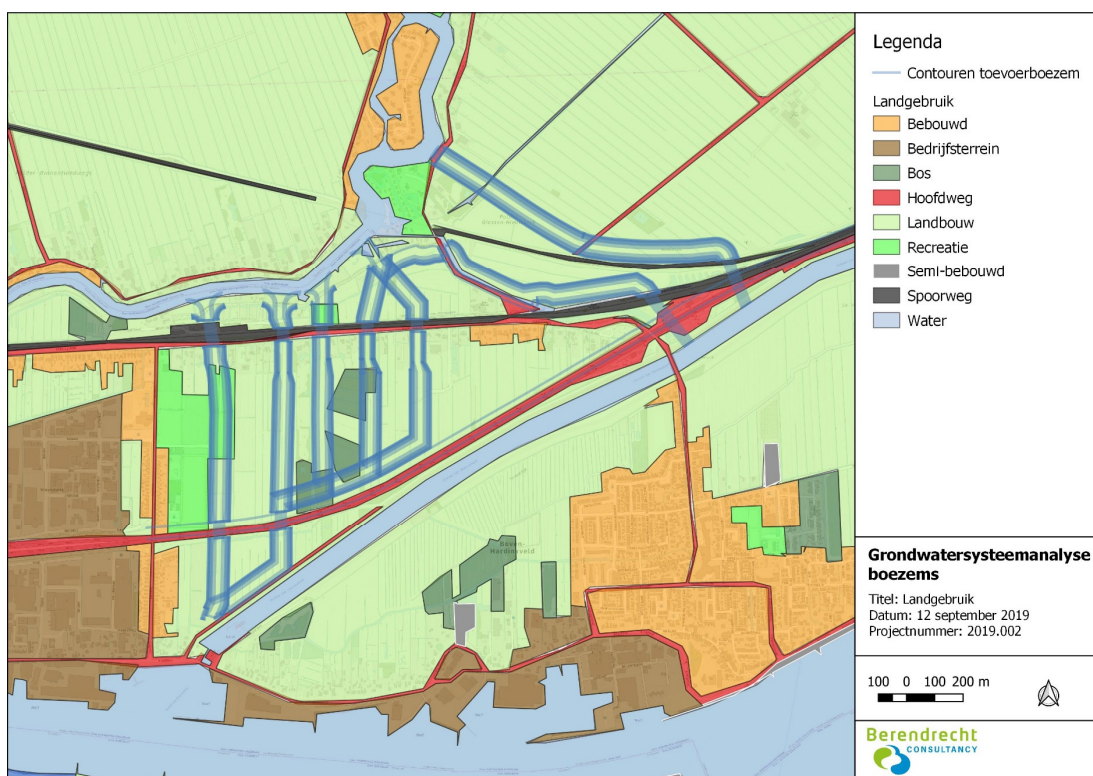
De geplande toevoerboezem heeft een waterpeil van 0.75 m-NAP en een bodemhoogte van 3.75 m-NAP. De breedte van de boezem ter plaatse van het waterpeil is 43 m. Bijlage A bevat een gedetailleerde weergave van de alternatieven en de doorsneden van de boezems.



Figuur 2.1: Situering alternatieven toevoerboezem



Figuur 2.2: Bebouwing (bron: BAG, Kadaster)



Figuur 2.3: Landgebruik (bron: CBS Bestand Bodemgebruik 2015)

2.2 Landschappelijke ontwikkeling en geologie

Het onderzoeksgebied maakt deel uit van het zuidwestelijke zeekleigebied (Berendsen, 2005; De Boer, 2017). In het Pleistoceen stroomden de voorlopers van de Rijn en de Maas door het gebied, waarbij grof zand en grind werd afgezet (Formatie van Kreftenheye en Formatie van Bortel, Laagpakket van Delwijnen). Delen van de riviervlakte vielen periodiek droog, waardoor wind zorgde voor verplaatsing van zand en er duinen konden opstuiven. Deze uit grof zand opgebouwde rivierduinen (ook wel donken genoemd), reiken tegenwoordig plaatselijk door de jongere afzettingen heen tot dicht aan het maaiveld (Formatie van Bortel). In het onderzoeksgebied komen echter geen rivierduinen voor en bevinden de pleistocene rivierafzettingen zich volgens de geologische kaart op een diepte van circa 10 m-NAP.

Onder invloed van de klimaatsverandering op de overgang van het Pleistoceen naar het Holoceen smolt het poolijs af en steeg de zeespiegel. Het vlechtende rivierpatroon veranderde, door veranderingen in het afvoerregime, in een meanderend riviersysteem dat zich in de oudere sedimenten insneed. In eerste instantie overstromden de geulen alleen bij zeer hoge waterstanden, waarbij bovenop het rivierterras klei werd afgezet (Laag van Wijchen).

Door de doorgaande zeespiegelstijging veranderde het riviersysteem en werd in de geulen het grofste materiaal (zand en grind) afgezet. Bij overstromingen werden zand en klei uit de bedding gelicht en op de oevers afgezet, waardoor oeverwallen ontstonden (zeer fijnzandig en zavelig materiaal). Verder van de rivier af kwam het overstromingswater tot rust en werd klei afgezet (Formatie van Echterd).

Vanaf het Atlanticum verminderde de invloed van de rivieren en trad op veel plaatsen veenvorming op (Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket). De veenvorming werd in eerste instantie nog regelmatig onderbroken door fluviaatle sedimentatie. Later vond veel minder sedimentatie vanuit de rivieren plaats en ontstond een groot veenmoeras waarin een dik pakket veen is ontstaan. Vervolgens nam de fluviaatle activiteit weer toe en werd het veen vanuit de rivieren afgedekt door een kleidek (Formatie van Echterd).

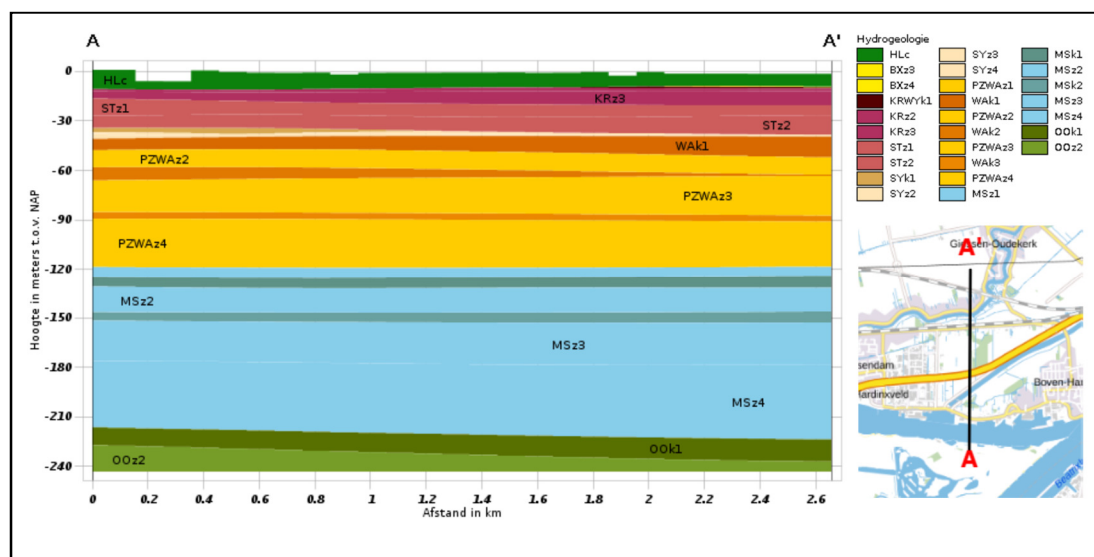
Ten gevolge van ontwatering door de landbouw heeft er in het gebied bodemdaling plaatsgevonden. Hierdoor kreeg het gebied ook steeds meer te maken met wateroverlast en werden vanaf de tiende eeuw kaden aangelegd. Door de ontginning en de daarmee gepaard gaande ontwatering, klonken de bedijkte gebieden echter steeds verder in.

Figuur 2.4 toont een geologisch dwarsprofiel van zuid naar noord op basis van REGIS II v2.2 (Vernes en Van Doorn, 2005). Hierin kunnen we met toenemende diepte de volgende formaties onderscheiden:

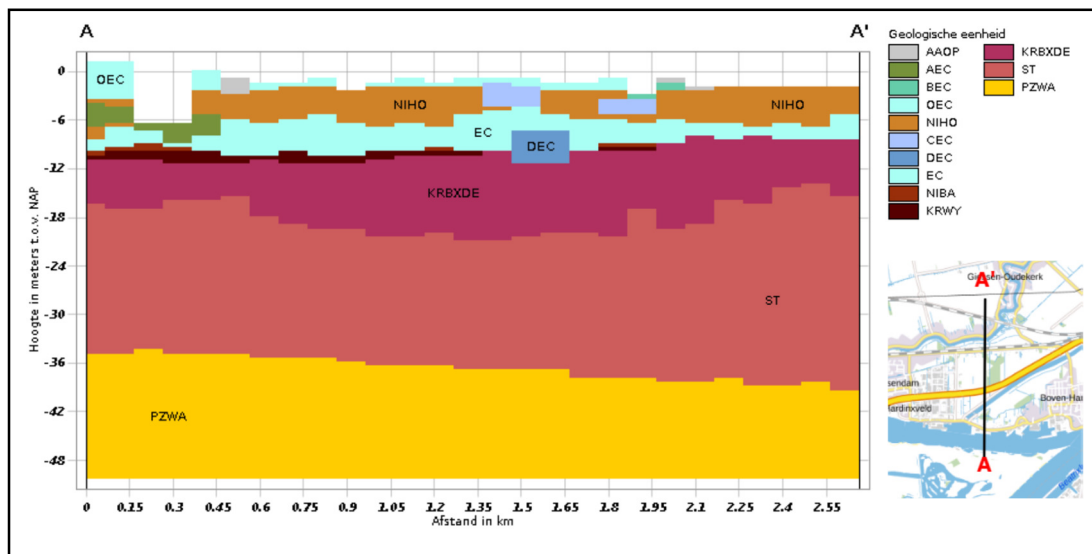
- De kleiig en venig ontwikkelde Holocene deklaag die doorsneden wordt door een aantal zandige stroomgeulafzettingen (diepte circa NAP tot 10 m -NAP).
- Het 1e watervoerend pakket bestaande uit grove zanden van de Formaties van Sterksel en Kreftenheye (diepte circa 10 tot 40 m -NAP).
- De slecht doorlatende laag bestaande uit leem- en kleilagen van de Formaties van Waalre (diepte circa 40 tot 50 m - NAP).

- Het tweede watervoerend pakket bestaande uit de zanden van de Formaties van Peize en Formaties van Waalre (diepte circa 50 tot 120 m - NAP, doorsneden door enkele slecht doorlatende lagen bestaande uit leem- en kleilagen van de Formaties van Waalre
- Het 2e watervoerend pakket bestaande uit matig fijn tot grove zanden van de Formatie van Maassluis (diepte circa 120 tot 220 m - NAP). Ook dit pakket bevat enkele slecht doorlatende lagen.

Figuur 2.5 toont voor hetzelfde profiel de geologische opbouw van de bovenste 50 m op basis van GeoTOP (Stafleu e.a., 2013). Hierin is de hierboven beschreven ontwikkeling duidelijk terug te vinden, met de Formatie van Echteld boven (OEC) en onder (EC) het Hollandveen Laagpakket van de Formatie van Nieuwkoop (NIHO). Geulafzettingen worden in GeoTOP gekarakteriseerd door de relatieve diepteligging in de ondergrond, waarvoor een classificatie A t/m E is bedacht. A staat daarbij voor het minst diep gelegen (en tevens jongste) geulsysteem, E representeert het diepst gelegen (tevens oudste) systeem. De geulafzetting generatie D van de Formatie van Echteld (DEC) bevindt zich op een diepte van circa 7 tot 10 à 11 m-NAP. De geulafzettingen generatie C van de Formatie van Echteld (CEC) bevinden zich dichters aan het maaiveld met de bovenkant op een diepte variërend van circa 1-5 m-NAP en een dikte van circa 2-5 m. Ter plaatse van de Merwede worden ook nog geulafzettingen generatie A (AEC) aangetroffen.



Figuur 2.4: Geologisch dwarsprofiel volgens REGIS II v2.2 (bron: TNO)



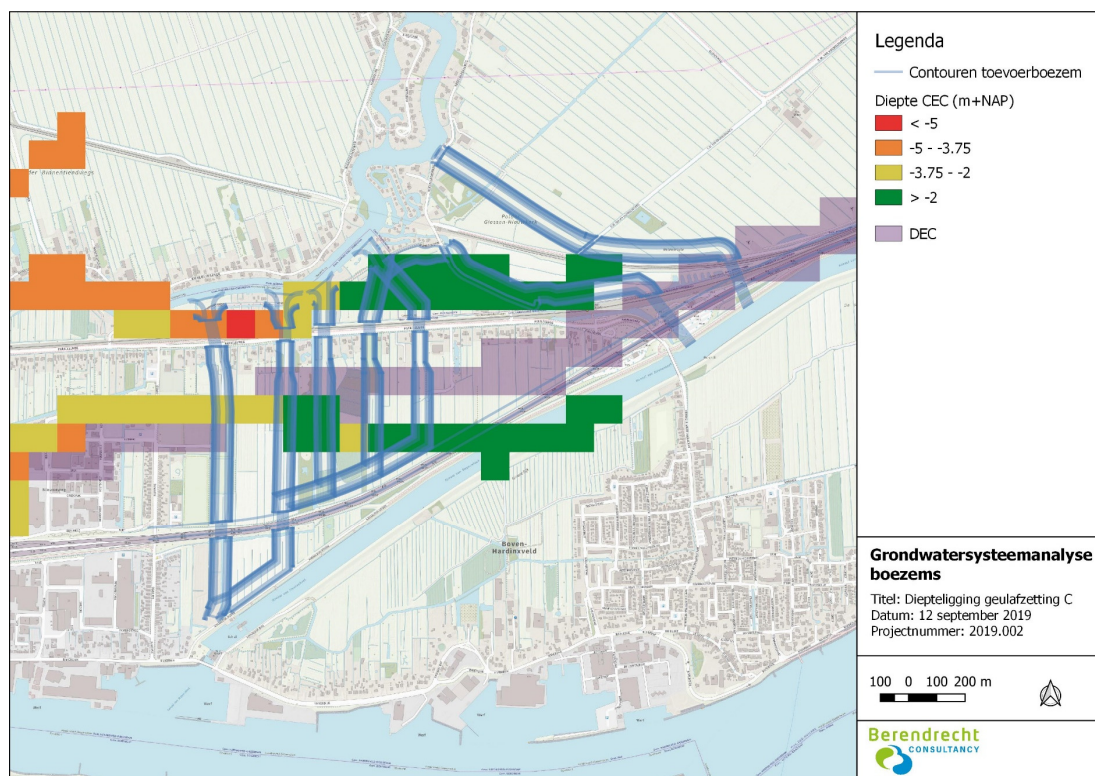
Figuur 2.5: Geologisch dwarsprofiel volgens GeoTOP v1r3 (bron: TNO)

2.3 Geulafzettingen nader bekeken

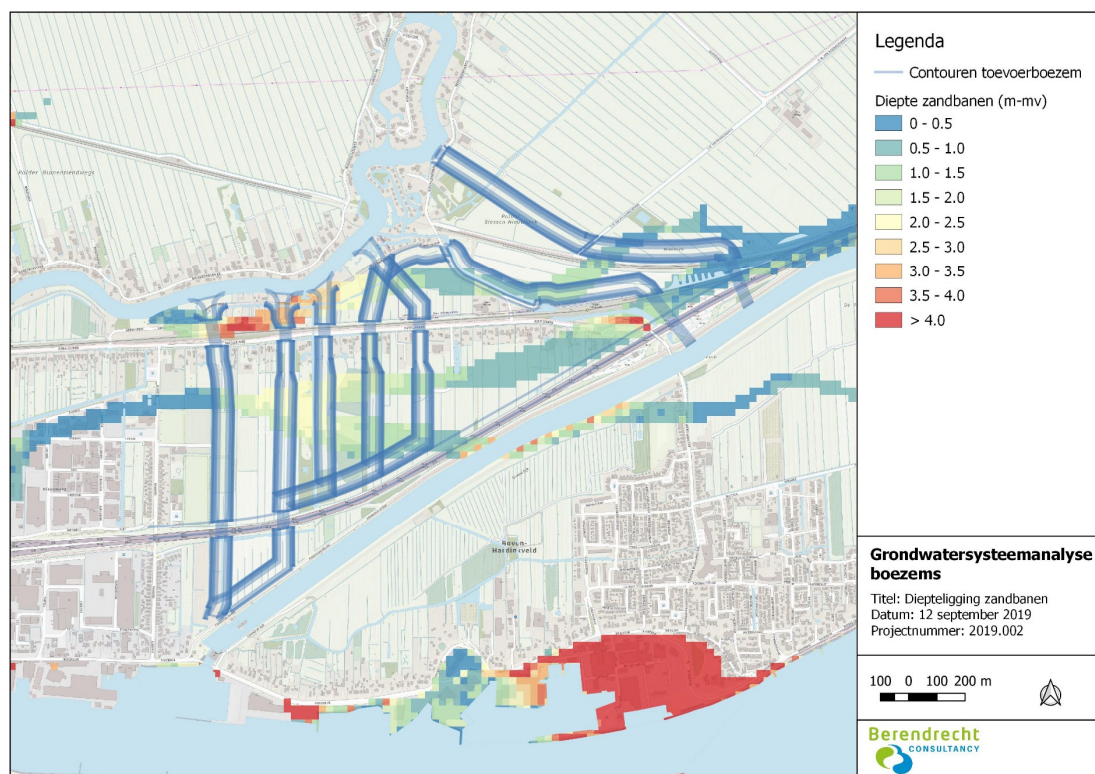
Zoals in de vorige paragraaf is beschreven, worden er in het gebied enkele geulafzettingen aangetroffen. De lithologie van deze afzettingen varieert van zeer fijn tot uiterst grof zand, soms grindhoudend. In het kader van dit onderzoek is met name geulafzetting C van de Formatie van Echteld van belang, omdat deze zich relatief dicht aan het maaiveld bevindt. Hierdoor is de kans aanwezig dat de toevoerboezem een of meerdere geulafzettingen doorsnijdt. Op basis van de lithologie is de verwachting dat deze geulafzettingen een hogere doorlatendheid hebben dan omliggend veen en klei.

Figuur 2.6 toont de diepteliggings van de generatie C geulafzettingen (CEC) zoals deze is gekarteerd in GeoTOP v1r3. In de legenda is de bodemhoogte van de toevoerboezem (3.75 m-NAP) als klassegrens gebruikt. Dit betekent dat de kleuren geel en groen aangeven dat een eventuele toevoerboezem de geul insnijdt. Bij de kleuren oranje en rood is de geul dieper dan de bodemhoogte van de toevoerboezem. In de figuur is ook de generatie D geulafzetting (DEC) opgenomen. Deze heeft geen diepte indeling, omdat deze enkele meters onder de bodemhoogte van de boezem wordt aangetroffen. Hier zal geen insnijding plaatsvinden.

In 2009 heeft waterschap Rivierenland een zandbanenkaart gemaakt, met daarin de diepteliggings van de zandbanen (bovenkant zandbaan) ten opzichte van maaiveld. Figuur 2.7 toont deze kaart voor het onderzoeksgebied. Uitgaande van een gemiddelde maaiveldhoogte van circa 0.6 m-NAP, bevinden de zandbanen zich volgens deze kaart grofweg op een diepte van circa 1-2 m-NAP. Grootste verschil met GeoTOP in Figuur 2.6 is dat de zandbaan direct ten noorden van het kanaal van Steenenhoek niet in GeoTOP aanwezig is, of als de diepere generatie D geulafzetting (DEC) is gekarteerd. Deze afzetting bevindt zich op een diepte van meer dan 6 m-NAP en is dus aanzienlijk dieper gekarteerd dan op de kaart van het waterschap. Uit navraag bij TNO blijft dat de kaart van het waterschap niet bekend is bij TNO en ook niet is gebruikt in GeoTOP v1r3.



Figuur 2.6: Diepteligging generatie C geulafzettingen (CEC) in m+NAP volgens GeoTOP v1r3 (bron: TNO)



Figuur 2.7: Diepte geulafzettingen t.o.v. maaiveld o.b.v. zandbanenkaart waterschap Rivierenland (bron: waterschap Rivierenland)

2.4 Maaiveld

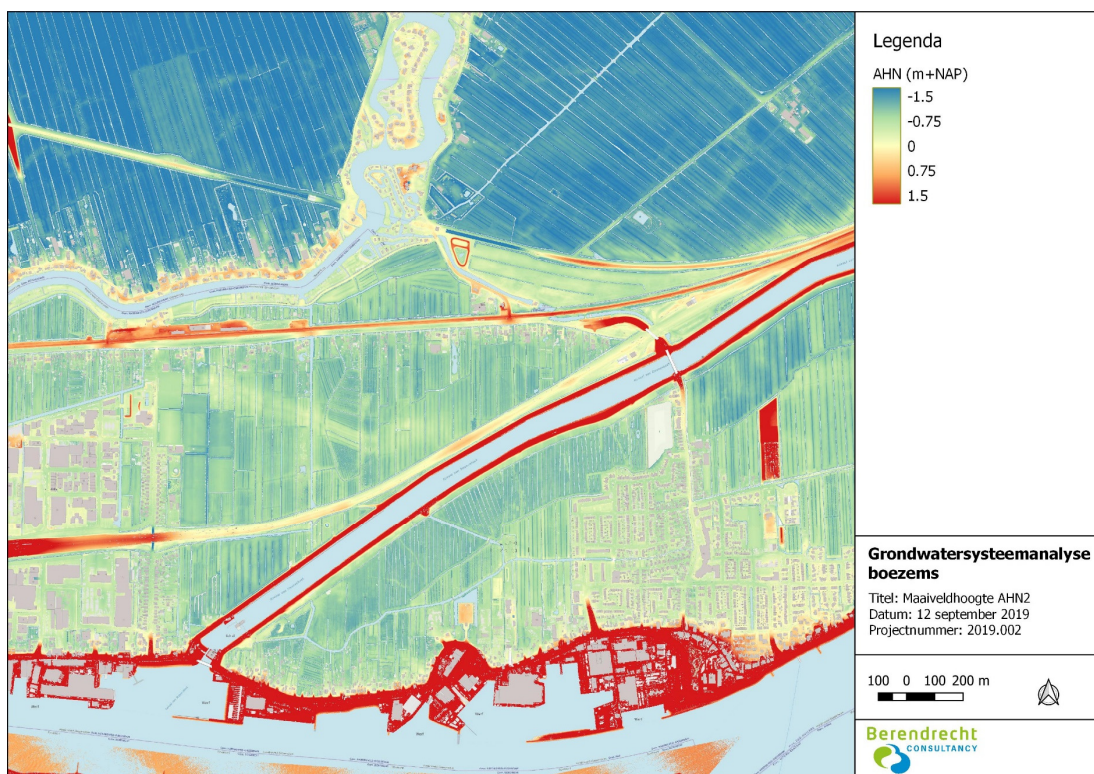
De maaiveldhoogte is weergegeven in Figuur 2.8. De hoger gelegen delen betreffen met name de rijksweg A15, de spoorlijn, Betuwelijn, parallelweg en naastliggende bebouwing en de kades van het kanaal van Steenenhoek. De polders tussen het kanaal van Steenenhoek en de Giessen/Betuwelijn heeft een gemiddelde maaiveldhoogte van circa 0.8 m-NAP. De polders ten noorden van de Giessen/Betuwelijn liggen aanzienlijk dieper op circa 1.4 m-NAP.

Opvallend is verder dat een deel van de geulafzetting duidelijk in het maaiveld is terug te vinden. Deze loopt direct ten oosten van Hardinxveld-Giessendam in zuidoostelijke richting. Het hoogteverschil met de omgeving is circa 0.1-0.2 m.

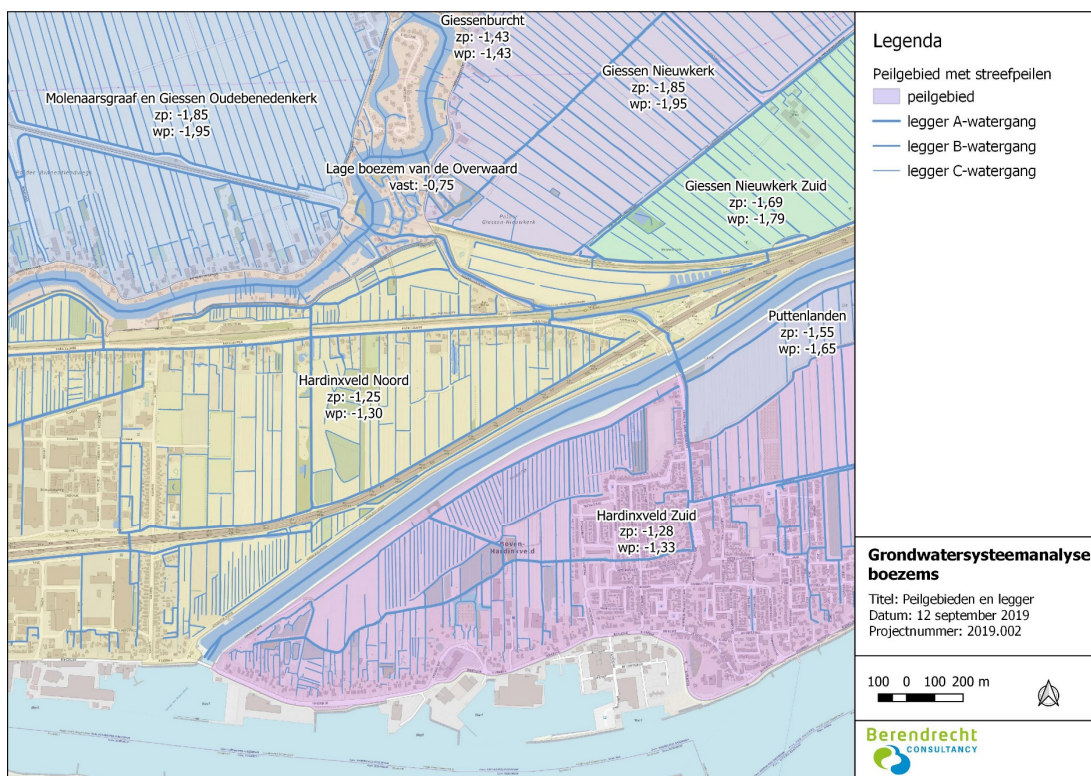
2.5 Oppervlaktewater

De polders in het gebied zijn allemaal peilgestuurd en ingedeeld in peilgebieden. Figuur 2.9 toont de verschillende peilgebieden inclusief het zomer- en winterpeil zoals vastgesteld door het waterschap. De rivier de Giessen valt onder de Lage boezem van de Overwaard en heeft een vast peil van 0.75 m-NAP. Alle polders zijn intensief ontwaterd met een hoge slootdichtheid. Polder Hardinxveld Noord heeft een iets geringere slootdichtheid dan de andere polders.

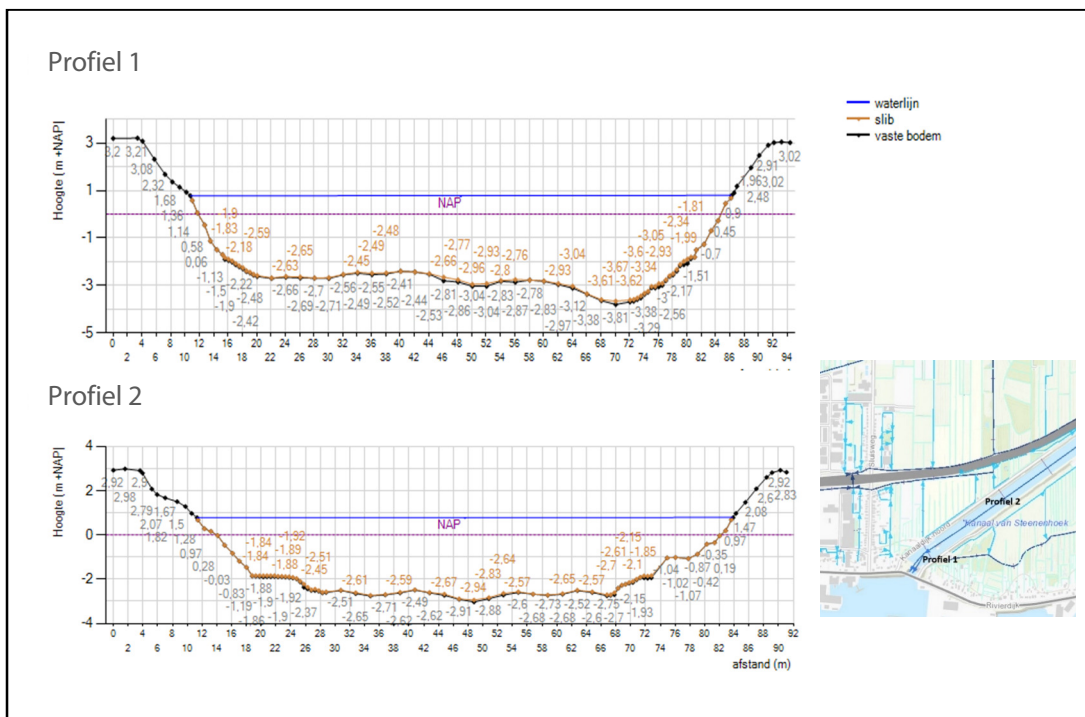
Het peil van kanaal van Steenenhoek is 0.8 m+NAP. De bodem van het kanaal bevindt zich rond de 3 m-NAP, zie Figuur 2.10. De breedte van het kanaal ter plaatse van de waterlijn is circa 70 m.



Figuur 2.8: Maaiveldhoogte op basis van AHN2 (bron: RWS)



Figuur 2.9: Peilgebieden met zomerpeil (zp) en winterpeil (wp) en legger watergangen (bron: waterschap Rivierenland)



Figuur 2.10: Dwarsprofielen van kanaal van Steenenhoek (bron: waterschap Rivierenland)

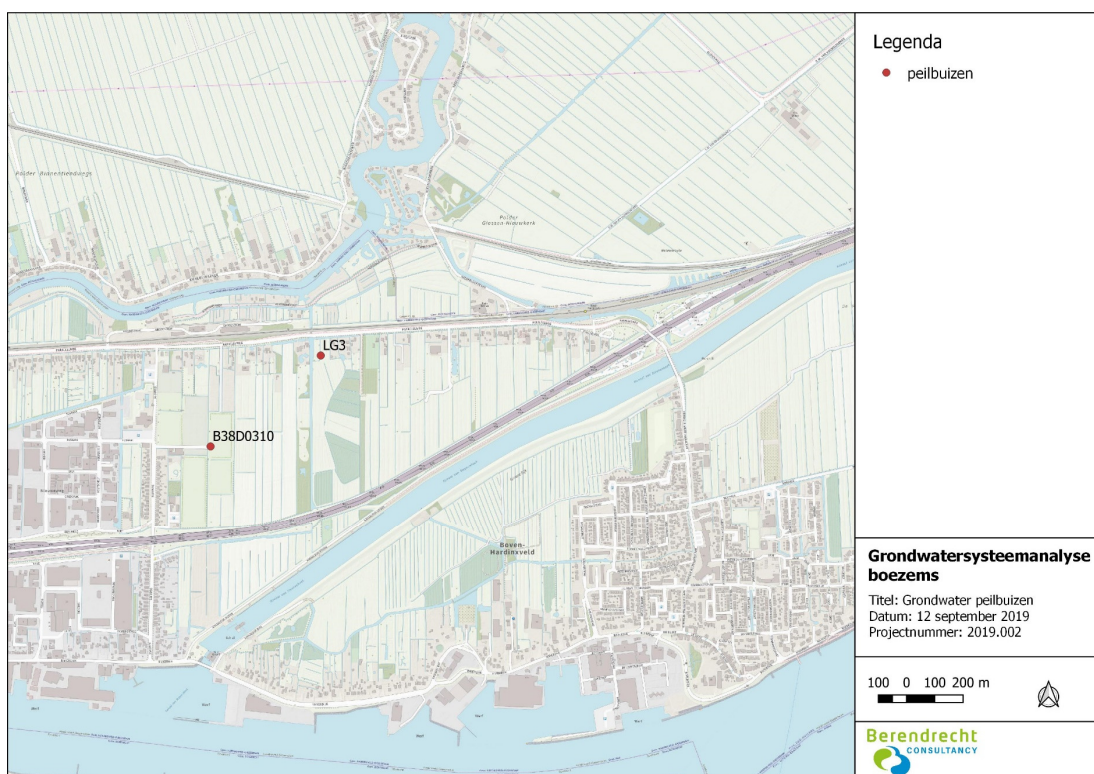
2.6 Grondwater

Om inzicht te krijgen in de grondwaterstand zijn peilbuisgegevens opgevraagd bij:

- Dinoloket
- Waterschap Rivierenland
- Provincie Zuid-Holland

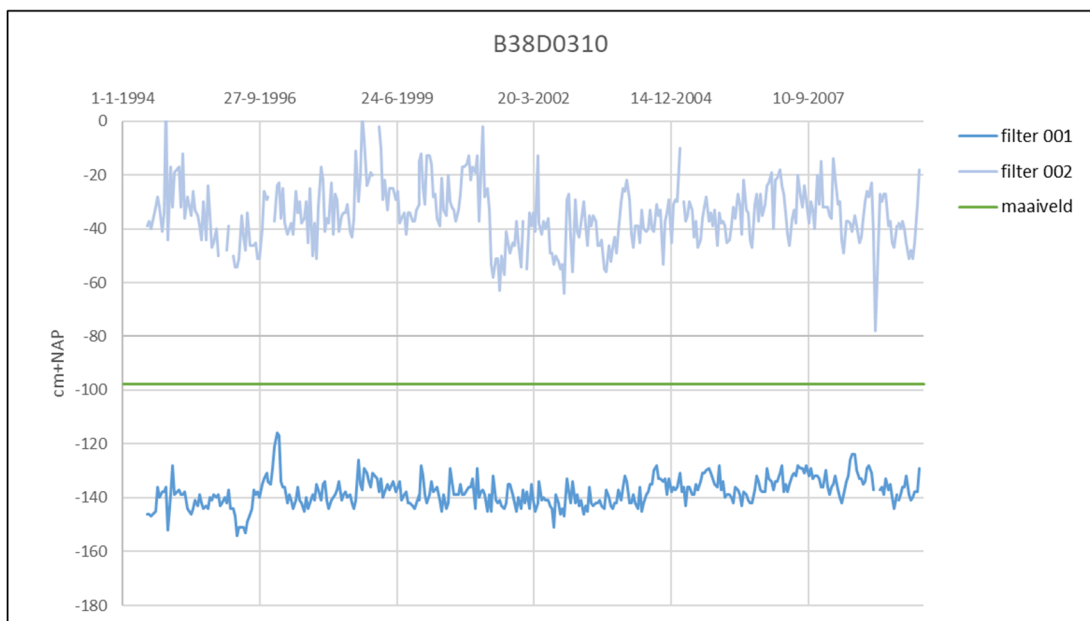
In het onderzoeksgebied blijken slechts 2 meetpunten aanwezig. Eén meetpunt met 2 filters uit Dinoloket (B38D0310) en één meetpunt met een freatisch filter van het waterschap (LG3). De filters van B38D0310 betreffen een freatisch filter (001) en een filter in het eerste watervoerend pakket (002). De locatie van de peilbuizen is weergegeven in Figuur 2.11.

Figuur 2.12 toont de gemeten grondwaterstand en stijghoogte ter plaatse van B38D0310. De meetreeks bevat slechts data tot eind 2009. De eerste meting heeft plaatsgevonden in juni 1994. Het is niet bekend of de peilbuis nog actief bemeten wordt. Het meetpunt is waarschijnlijk in beheer van Oasen. Uit de meetreeks valt op te maken dat de grondwaterstand gemiddeld op circa 40 cm beneden maaiveld zit. De GHG is 32 cm-mv, de GLG is 47 cm-mv. De kweldruk vanuit het eerste watervoerend pakket is aanzienlijk: het gemiddelde stijghoogteverschil is circa 1 m. Tevens is er een duidelijk verschil tussen de dynamiek van de stijghoogte en die van de grondwaterstand. Het verloop van de freatische grondwaterstand is een stuk vlakker dan het stijghoogteverloop. Dit duidt op een behoorlijke weerstand van de deklaag.

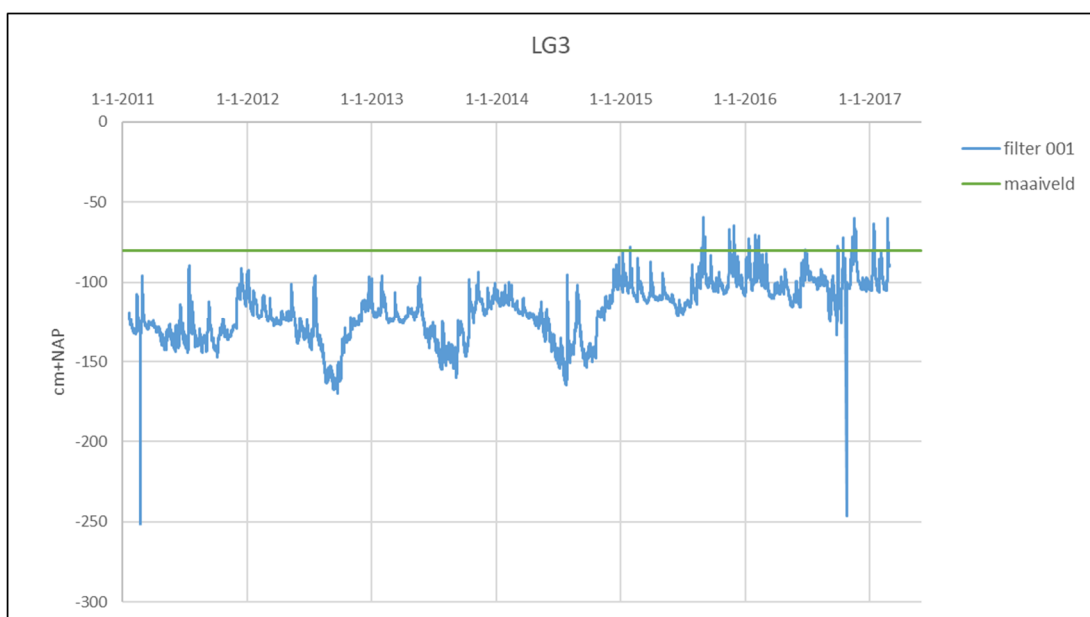


Figuur 2.11: Locatie van grondwater peilbuizen

De meetreeks voor meetpunt LG3 van het waterschap is weergegeven in Figuur 2.13. Deze meetreeks start in januari 2011 en loopt tot begin 2017. Het maaiveld is geschat op basis van het AHN2. De grondwaterstand blijkt op deze locatie vlak onder het maaiveld te zitten. Vanaf 2015 lijkt er een structurele verandering in het grondwaterregime te hebben plaatsgevonden. Hierdoor zakt de grondwaterstand in de zomer niet meer uit en komt de grondwaterstand dichterbij het maaiveld; af en toe zelfs boven maaiveld.



Figuur 2.12: Verloop van de freatische grondwaterstand (filter 001) en stijghoogte (filter 002) ter plaatse van peilbuis B38D0310



Figuur 2.13: Verloop van de freatische grondwaterstand ter plaatse van peilbuis LG3

Naast de peilbuisdata hebben we ook de beschikking over het regionale grondwatermodel MORIA. Voor deze studie is gebruik gemaakt van versie 4.5. Het voerde te ver om in het kader van deze systeemanalyse een uitgebreide modelstudie uit te voeren. Wel zijn enkele modelresultaten, zoals de GXG, stijghoogten en eventueel effectberekeningen, als indicatie gebruikt.

Hierbij dienen wel de volgende kanttekeningen geplaatst te worden. Allereerst is MORIA gebouwd als regionaal model. Berekende grondwaterstanden en stijghoogten kunnen op de schaal van deze systeemanalyse daarom slechts als indicatief worden beschouwd. Ten tweede blijkt uit de rapportage van de modelbouw dat voor de schematisatie van het Holocene, de transmissiviteit van ingesloten zandigere delen is verwaarloosd. Alleen als er bovenin het Holocene zandigere eenheden voorkomen, is de uit GeoTOP afkomstige transmissiviteit van deze eenheden is opgenomen in het model. Ten derde lijkt voor het onderzoeksgebied dat de insnijding van de waterlopen te diep is in relatie tot de toekenning van de Holocene weerstand aan de modellagen. De waterlopen zitten namelijk in modellaag 1 en 2, terwijl alle weerstand van de Holocene deklaag is toegekend aan modellaag 1. Ter plaatse van het onderzoeksgebied varieert de deklaagweerstand in MORIA tussen enkele honderden en enkele duizenden dagen. Doordat de waterlopen tot onder deze weerstand reiken, staan ze feitelijk rechtstreeks in verbinding met het watervoerend pakket. De waterloopweerstand is voor de stationaire situatie gelijkmatige verdeeld over beide modellagen. Hier is dan ook de verwachting dat de waterlopen een significant effect hebben op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Dit lijkt niet correct, gezien de dikte van het Holocene van circa 10 m (zie paragraaf 2.2). Voor de niet-stationaire situatie is de waterloopweerstand in modellaag 2 sterk gereduceerd. Hierdoor is het effect van de waterlopen op de stijghoogte gering. Voor eventuele vervolg-/detailstudies is het sterk aan te bevelen om de modelschematisatie goed te controleren, eventueel in overleg met de betrokken modelleurs/modelbouwers, zodat de schematisatie en het detailniveau aansluiten bij de wijze waarop het model gebruikt gaat worden.

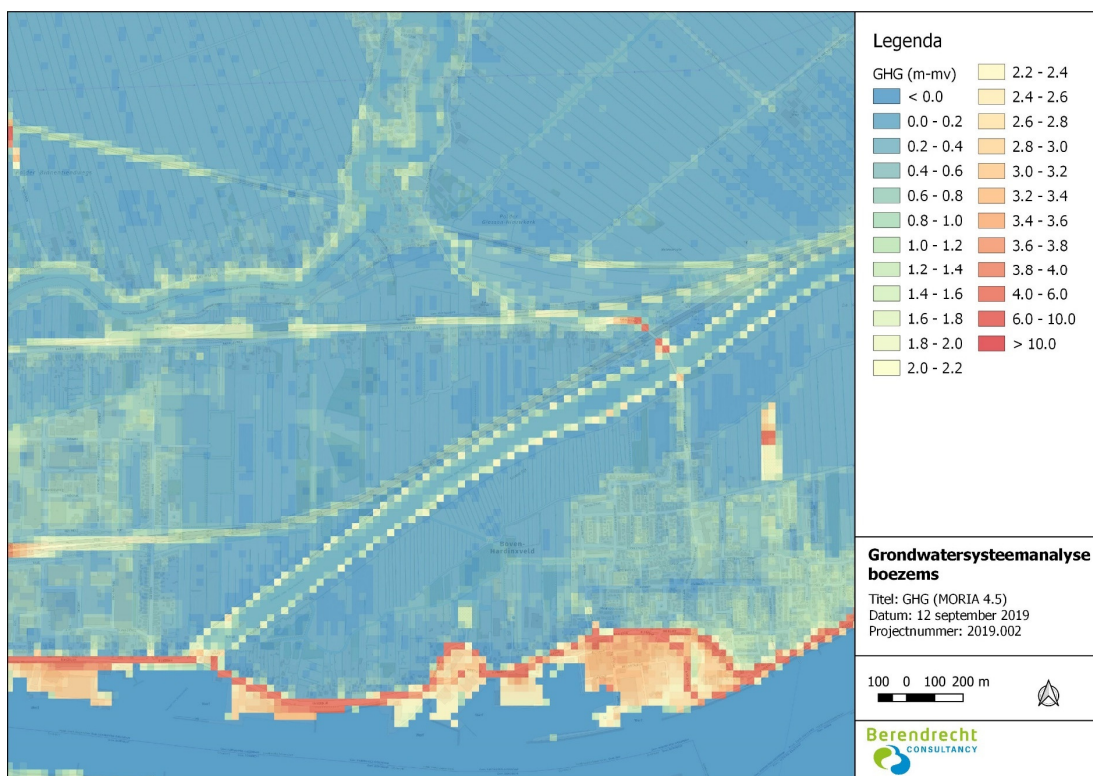
Figuur 2.14 toont de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) zoals berekend met MORIA 4.5. De berekende GHG ligt – behalve in bebouwd gebied en bij infrastructuur – vlak onder maaiveld. Vertaald naar NAP hoogte ligt de GHG in het gebied tussen de parallelweg en kanaal van Steenenhoek (polder Hardinxveld Noord) gemiddeld op circa 0.9-1.0 m-NAP. In het noordoostelijk deel (polder Giessen Nieuwkerk en Giessen Nieuwkerk-Zuid) ligt de GHG op circa 1.2-1.4 m-NAP.

Figuur 2.15 toont de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) zoals berekend met MORIA 4.5. In polder Hardinxveld Noord bevindt de GLG zich gemiddeld op 0.5-0.7 m-mv, ofwel 1.3-1.5 m-NAP. De grondwaterdynamiek is dus vrij gering. In het noordoostelijke deel (polder Giessen Nieuwkerk en Giessen Nieuwkerk-Zuid) bevindt de GLG zich hoofdzakelijk in de range van 0.6-0.8 m-mv, ofwel 1.5-1.7 m-NAP.

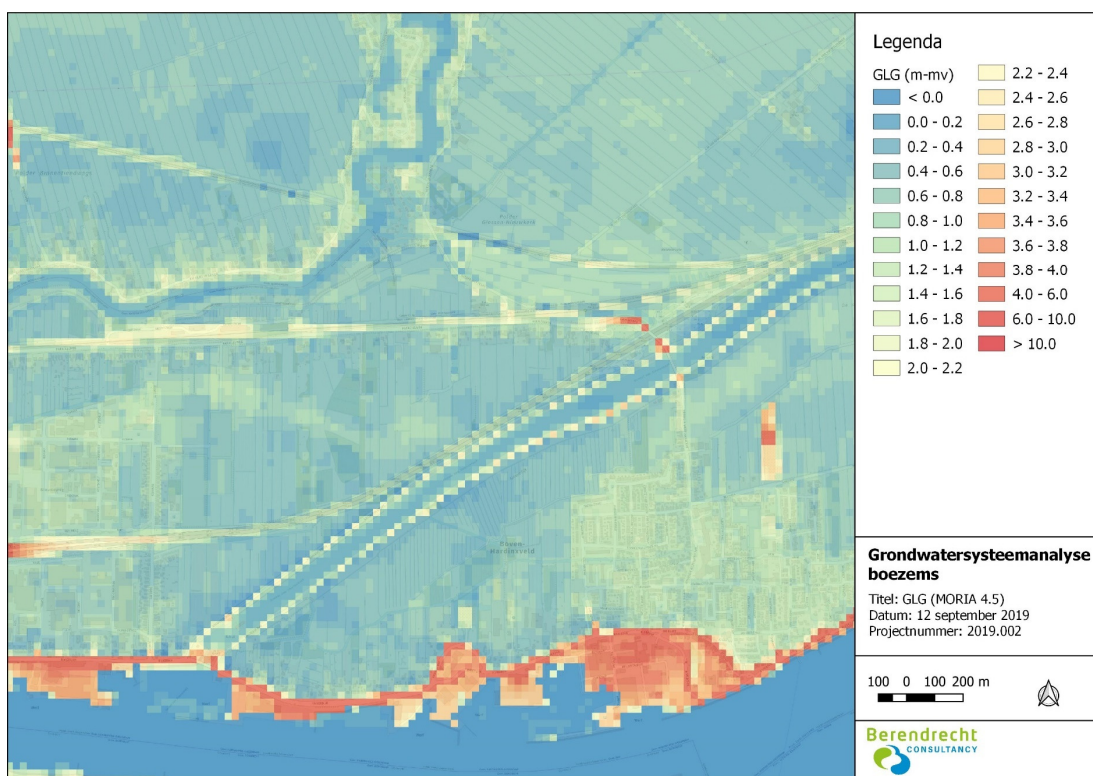
In het eerste watervoerend pakket is de stromingsrichting van de Merwede af in noord dan wel noordwestelijke richting. Figuur 2.16 toont de berekende stijghoogte in de GHG situatie; Figuur 2.17 toont de berekende stijghoogte in de GLG situatie.

In MORIA heeft de deklaag een behoorlijk heterogene weerstand variërend van een paar honderd dagen tot circa 2000 dagen, met op enkele locaties zelfs een nog hogere weerstand (3000-5000 dagen). Door de aanzienlijke weerstand van de deklaag is het stijghoogteverschil tussen het watervoerend pakket en de freatische grondwaterstand vrij groot. Dit werd ook al waargenomen in de filters van put B38D0310 (Figuur 2.12). De gemeten stijghoogte ligt echter wat hoger dan de stijghoogte die MORIA berekent.

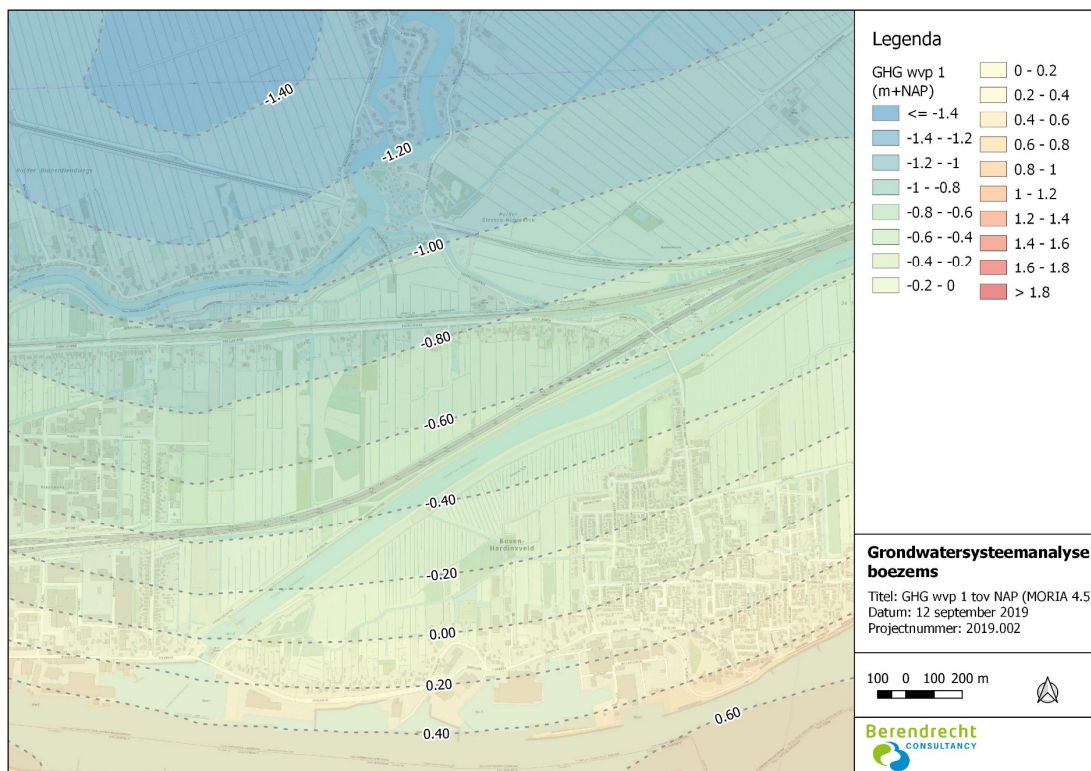
Om de stijghoogte te vergelijken met de grondwaterstand, is de stijghoogte omgerekend van NAP naar maaiveld. Vervolgens is het verschil berekend als de freatische grondwaterstand minus de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 2.18 (GHG situatie) en Figuur 2.19 (GLG situatie). Beide figuren laten duidelijk zien dat MORIA ter plaatse van de grote watergangen (Merwede, kanaal van Steenenhoek en de Giessen) een stijghoogte in het watervoerend pakket berekent die lager ligt dan de freatische grondwaterstand. In de tussenliggende gebieden wordt overwegend een hogere stijghoogte berekend, wat inhoudt dat daar sprake is van een kwel situatie, waarbij de stijghoogteverschillen afnemen van zuid/zuidoost naar noord.



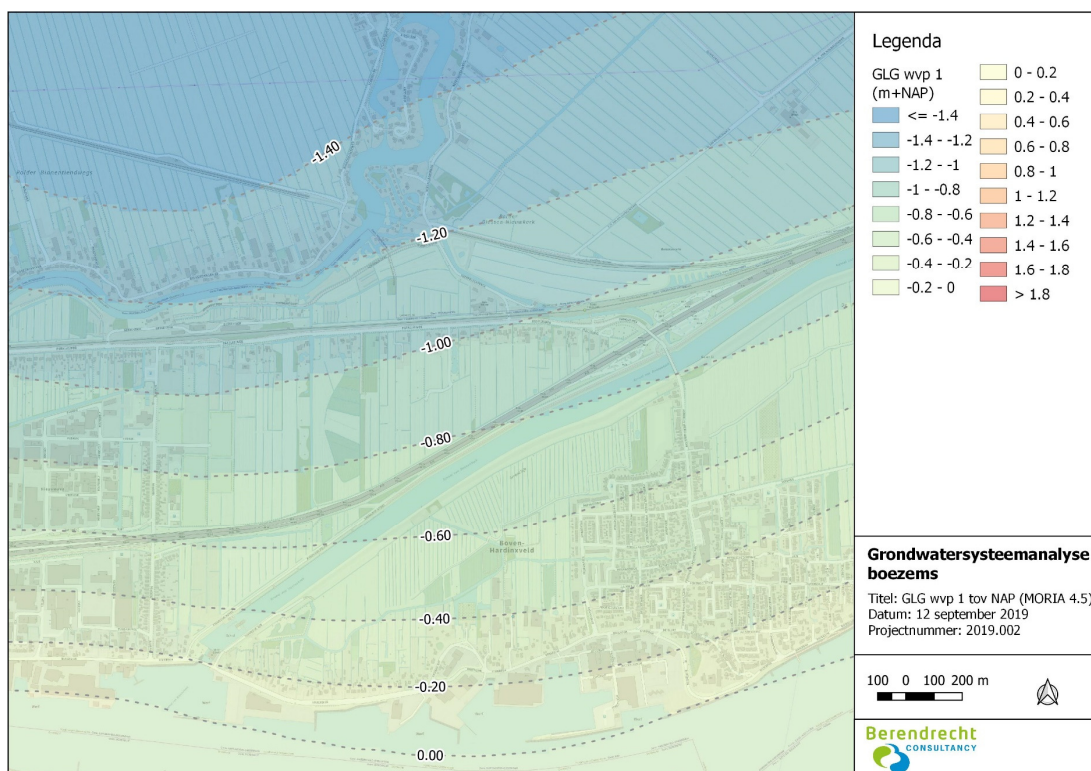
Figuur 2.14: GHG (freatisch) ten opzichte van maaiveld volgens MORIA 4.5 (bron: waterschap Rivierenland)



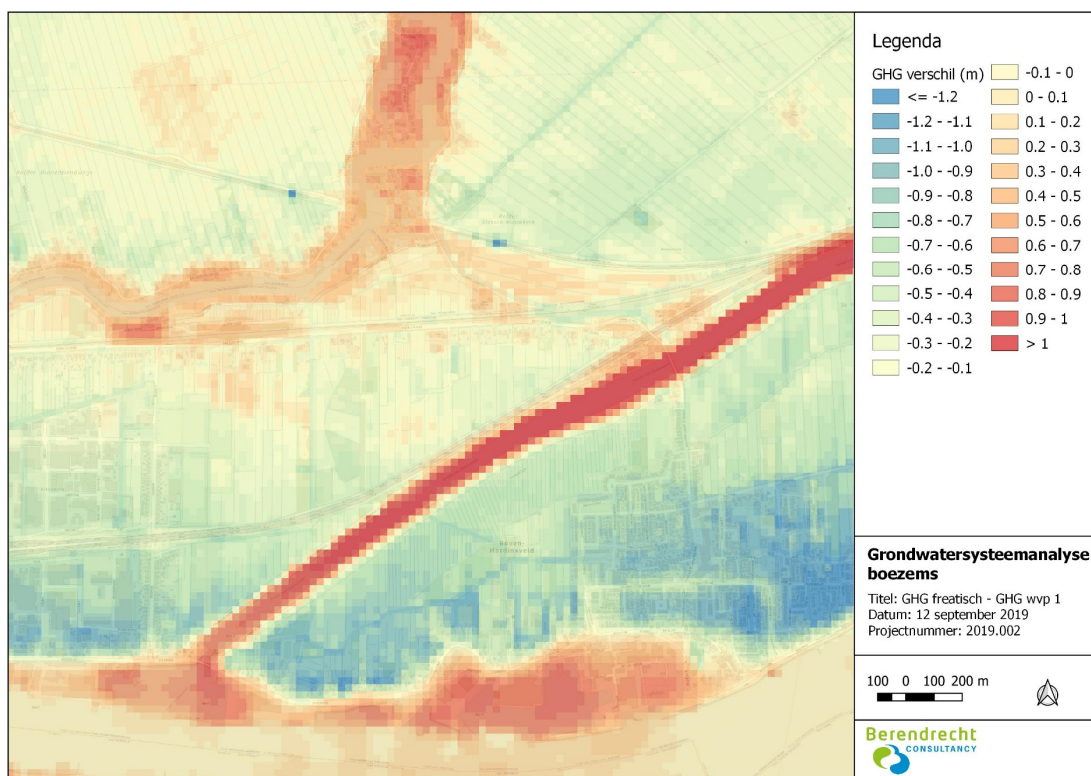
Figuur 2.15: GLG (freatisch) ten opzichte van maaiveld volgens MORIA 4.5 (bron: waterschap Rivierenland)



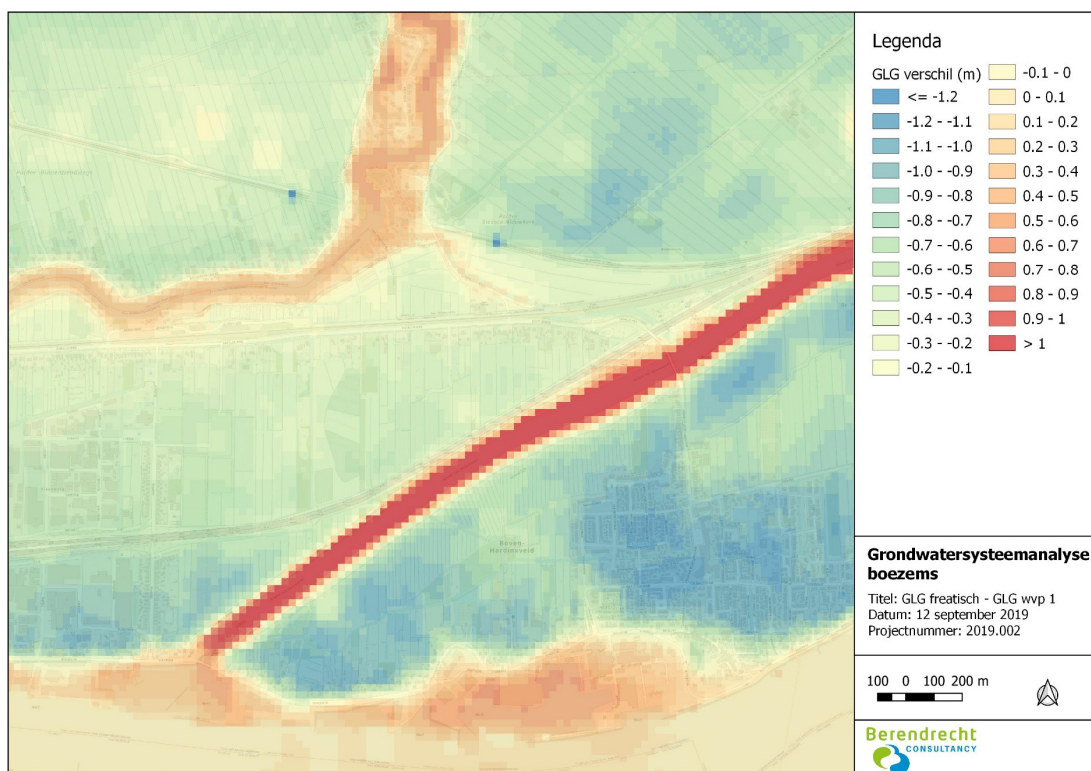
Figuur 2.16: GHG situatie in wvp 1 ten opzichte van NAP volgens MORIA 4.5 (bron: waterschap Rivierenland)



Figuur 2.17: GLG situatie in wvp 1 ten opzichte van NAP volgens MORIA 4.5 (bron: waterschap Rivierenland)



Figuur 2.18: Verschil tussen freatische grondwaterstand en stijghoogte in wvp 1 in GHG situatie (rood: stijghoogte in wvp 1 is lager; blauw: stijghoogte in wvp 1 is hoger)



Figuur 2.19: Verschil tussen freatische grondwaterstand en stijghoogte in wvp 1 in GLG situatie (rood: stijghoogte in wvp 1 is lager; blauw: stijghoogte in wvp 1 is hoger)

3 Geohydrologische analyse

3.1 Uitgangspunten

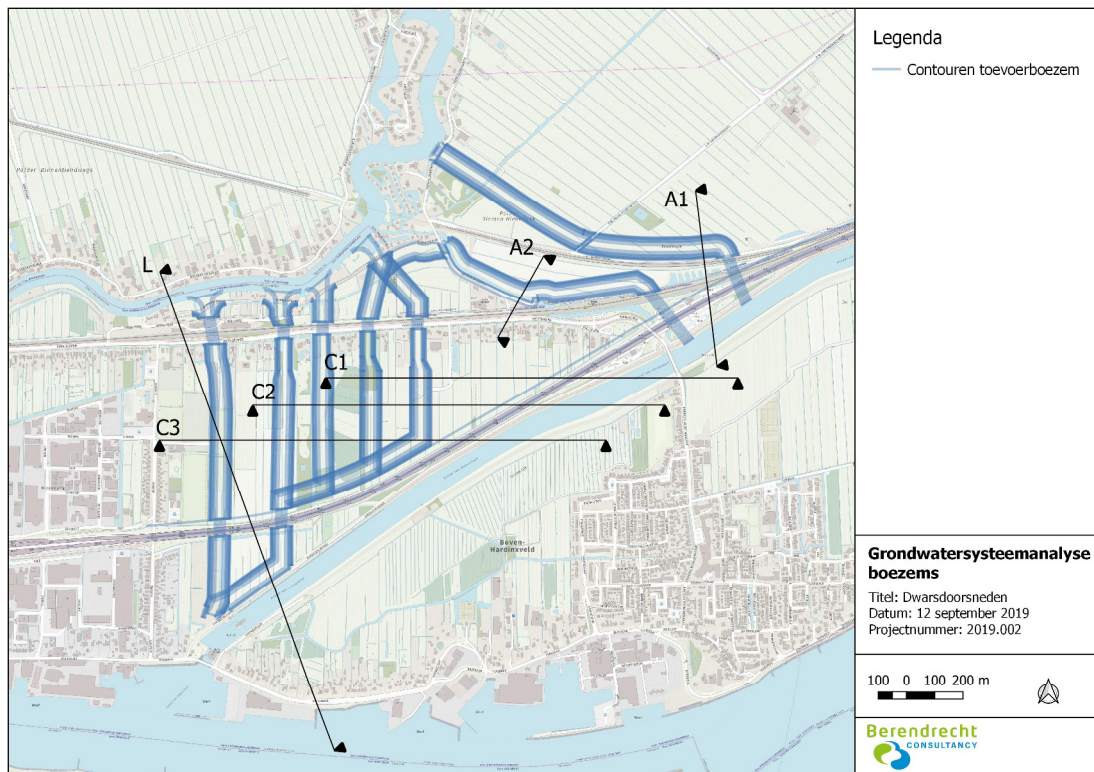
Op basis van de gebiedsbeschrijving in hoofdstuk 2 is een indicatieve geohydrologische analyse uitgevoerd. Doel van deze analyse is om een eerste schatting te verkrijgen van mogelijke grondwatereffecten als gevolg van een toevoerboezem en om geohydrologische aandachtspunten/risico's van de alternatieven te duiden.

Voor de dimensionering van de toevoerboezem is uitgegaan van het ontwerp zoals opgenomen in Bijlage A. Hierbij is ook uitgegaan van de kwelsloot zoals opgenomen in de weergegeven profielen van de toevoerboezem. Deze kwelsloot heeft een peil gelijk aan het polderpeil.

In algemene zin geldt dat de omvang van eventuele grondwatereffecten in relatie staat tot de aanwezigheid en diepteligging van geulafzettingen. Uitgangspunt hierbij is dat de doorlatendheid van de geulafzettingen groter is dan van de rest van de deklaag, waardoor grondwatereffecten verder door kunnen werken. Hoewel er in de loop van de tijd veel informatie is verzameld over de ligging van deze geulafzettingen, blijkt er in de praktijk discrepantie te bestaan tussen geraadpleegde databronnen (zie paragraaf 2.3). Om voor dit onderzoeksgebied meer zekerheid te krijgen over de ligging en lithologische samenstelling van geulafzettingen, wordt aanbevolen om specifiek voor dit gebied navraag te doen bij de bronhouders over de gebruikte brondata en hoe deze is verwerkt.

3.2 Dwarsprofielen

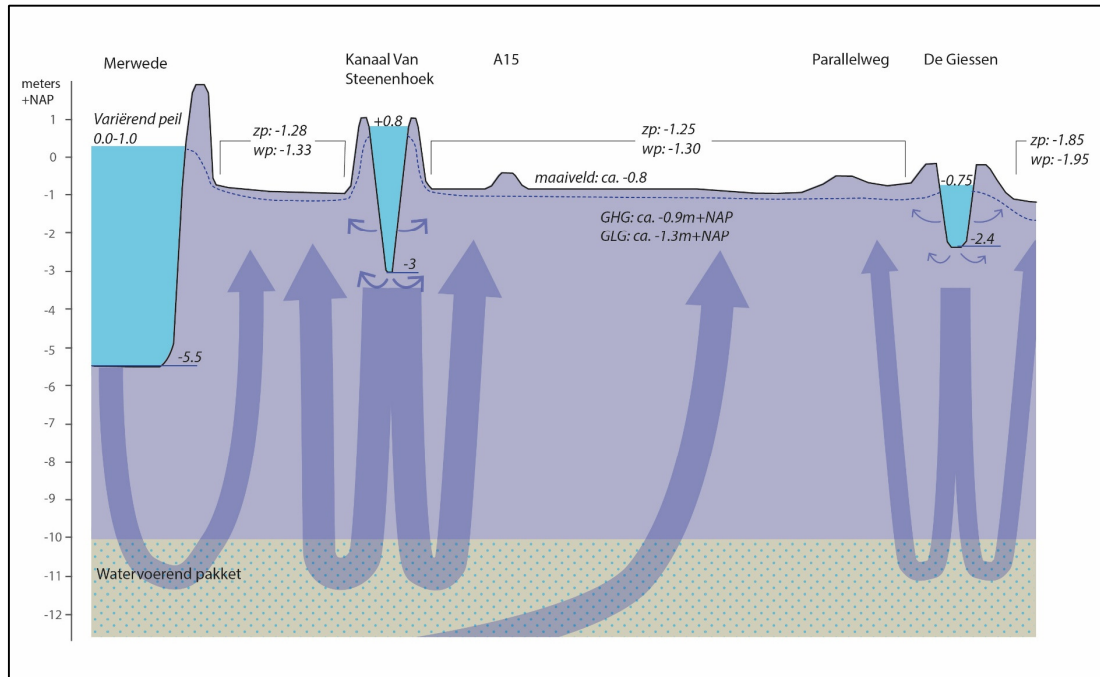
Voor het beschrijven van de geohydrologische situatie rondom de geplande toevoerboezem zijn diverse schematische dwarsdoorsneden over het gebied gemaakt. De locaties hiervan zijn weergegeven in Figuur 3.1. De doorsneden bevatten diverse kentallen zoals polder- en rivierpeilen, globaal maaiveldniveau en een indicatie van de GHG en GLG op basis van MORIA 4.5. Deze GHG en GLG betreffen een gemiddelde ter plaatse van de doorsnede en zijn zonder verdere modelaanpassingen overgenomen uit MORIA. De getoonde waarden dienen dus puur als indicatief beschouwd te worden. Verder is in de dwarsprofielen C, A2 en A1 ook de stijghoogte in het watervoerend pakket in de "GHG situatie" en "GLG situatie" opgenomen. Dit wordt aangeduid met GHG^{wvp} resp. GLG^{wvp} . Net als de GHG en GLG zijn deze stijghoogten gemiddelden zoals berekend met MORIA 4.5, zie ook Figuur 2.16 en Figuur 2.17. Hierbij dient opgemerkt te worden dat, gegeven de opmerkingen in paragraaf 2.6 over MORIA, de berekende stijghoogte getoetst dient te worden.



Figuur 3.1: Overzicht geohydrologische dwarsdoorsneden

Om op macroniveau begrip van het systeem te krijgen, is voor de huidige situatie een langsdoorsnede gemaakt vanaf de Merwede tot aan de rivier de Giessen (doorsnede L). De doorsnede is weergegeven in Figuur 3.2. In de figuur is het maaiveldverloop schematisch (niet op schaal) weergegeven. Ook zijn de zomer- en winterpeilen in de sloten weergegeven, alsmede een gemiddelde maaiveldhoogte en een indicatie van de GHG en GLG. De basis van het Holocene ligt op circa 10 m-NAP. Het peil in de Merwede fluctueert door het jaar heen, veelal tussen de 0 en 1 m+NAP, met een gemiddelde van circa 0.25 m+NAP. De bodemhoogtes van de Merwede, kanaal van Steenenhoek en de Giessen zijn schattingen. De stroming in het watervoerend pakket is vanaf de Merwede richting de Giessen. De dominante stromingsrichting in de deklaag is verticaal, gezien de lage transmissiviteit van de deklaag. Zowel de Merwede als het kanaal van Steenenhoek en de Giessen infiltreren. Vlak erlangs kan hier en daar ook nog wegzijging optreden, maar voor het overgrote deel van de tussengelegen polders kwelt het water op en wordt het afgevoerd via de poldersloten.

Figuur 3.3 toont dezelfde dwarsdoorsnede L, maar dan in de situatie met toevoerboezem. Ter plaatse van de boezem zal infiltratie vanuit de boezem optreden. De opwaartse flux vanuit het watervoerend pakket zal hierdoor wat afbuigen.

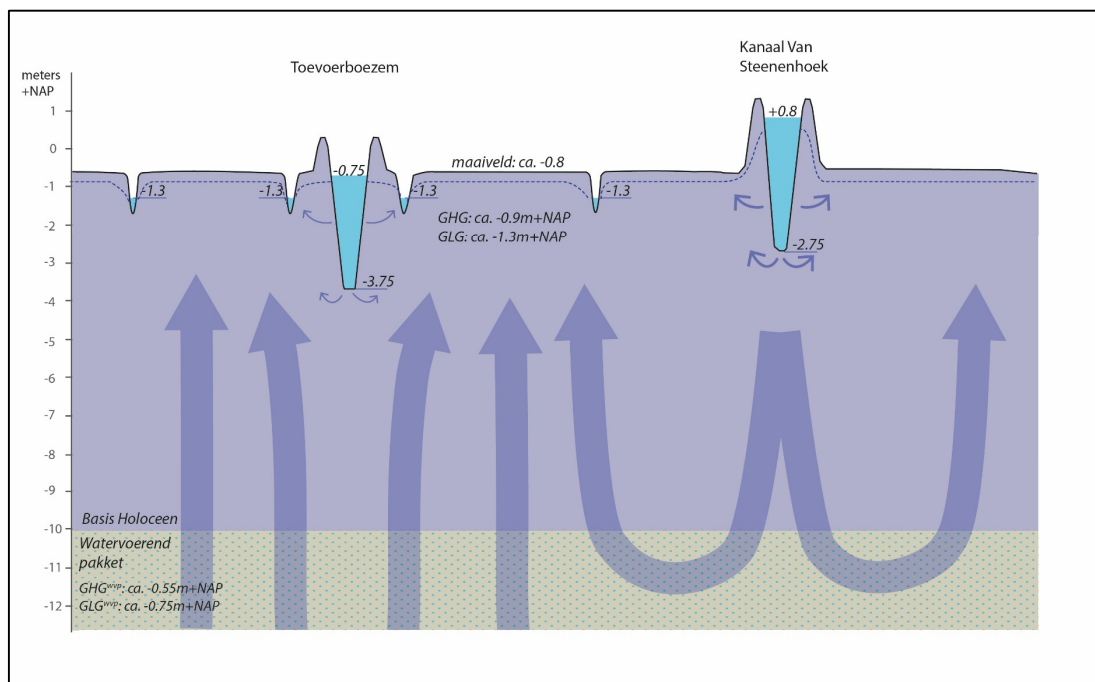


Figuur 3.4 en Figuur 3.5 tonen dwarsdoorsneden van de C-tracés. Figuur 3.4 toont doorsnede C3, waarbij de toevoerboezem geen geulafzetting doorsnijdt. De basis van het Holocene ligt op circa 10 m-NAP. In de huidige situatie is er sprake van een opwaartse druk vanuit het watervoerend pakket. De stijghoogte in het watervoerend pakket is circa 0.35-0.55 m hoger dan de grondwaterstand. Er treedt dus hoofdzakelijk kwel op.

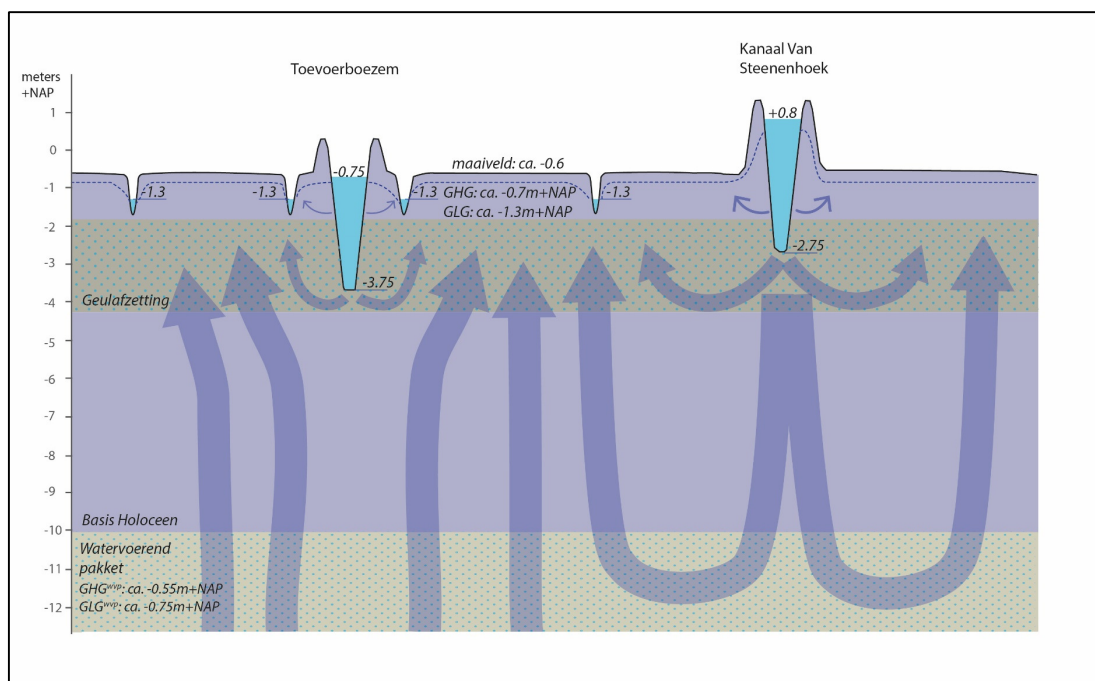
Het peil van de toevoerboezem is 0.75 m-NAP. Dit is circa 0.15 m hoger dan de huidige GHG en circa 0.55 m hoger dan de huidige GLG. Dit betekent dat er in de GHG-situatie (winter) ter plaatse van de toevoerboezem slechts sprake is van een geringe verhoging (0.15 m). Hierdoor zal, in combinatie met de lage transmissiviteit van de deklaag, het effect van de toevoerboezem op de omliggende grondwaterstand naar verwachting gering zijn. Daarbij komt dat het effect gedempt wordt door de geplande kwel sloten langs de boezem.

De stijghoogte in het watervoerend pakket bedraagt gemiddeld 0.55/0.75 m-NAP, waarbij volgens MORIA de stijghoogte ter plaatse van de westelijke C tracés hoger en ter plaatse van de oostelijke C tracés lager. Dit betekent dat voor de westelijke C tracés de kans groot is dat er ter plaatse van de toevoerboezem de kwelsituatie gehandhaafd blijft. Voor de oostelijke C tracés zal – met name in de zomer – ter plaatse van de toevoerboezem waarschijnlijk wel wegzijging optreden.

Figuur 3.5 toont de doorsneden C1 en C2, waarbij de toevoerboezem (en het kanaal) een geulafzetting doorsnijden. Dit situatie komt sterk overeen met die van doorsnede C3. Echter, door de hogere doorlatendheid van de geul, zal de invloed van de toevoerboezem in principe wat verder reiken. Anderzijds ligt ter plaatse van de geulafzettingen het maaiveld veelal iets hoger dan de nabije omgeving (paragraaf 2.4). De grondwaterstand (met name de GHG) ligt daardoor ook iets hoger, waardoor het peil van de toevoerboezem nauwelijks zal afwijken van de huidige GHG. Hierdoor wordt het verwachte effect van de toevoerboezem – met name in de winter – ook geringer.



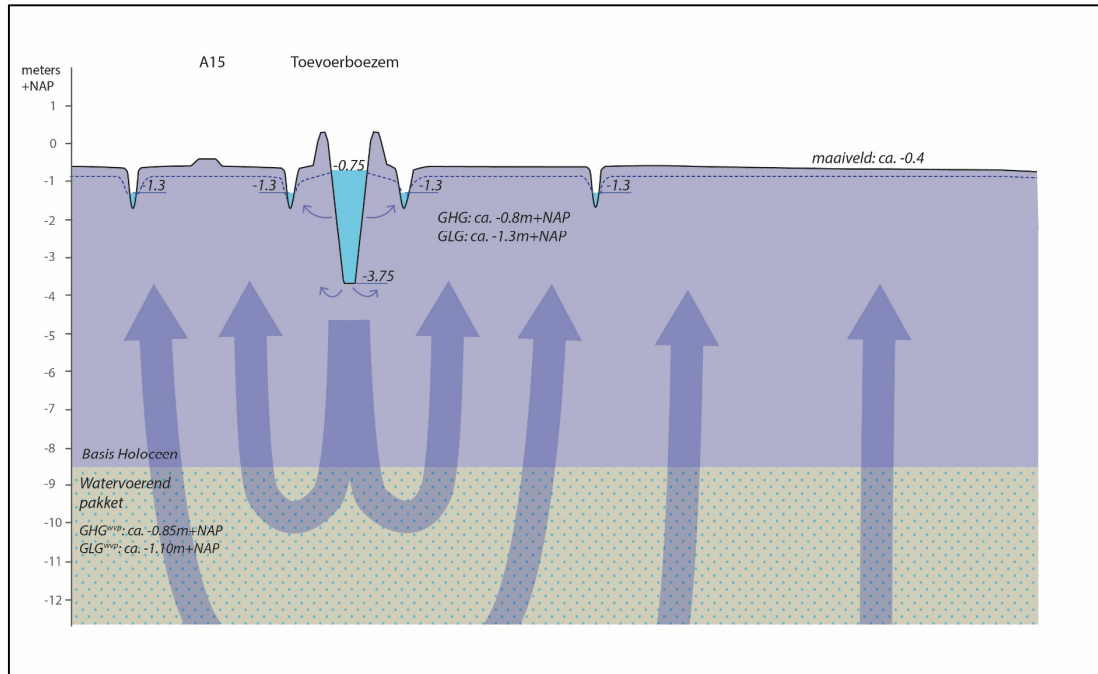
Figuur 3.4: Dwarsdoorsnede C3 zonder geulafzetting (peilen t.o.v. NAP; GHG, GLG en stijghoogte in huidige situatie)



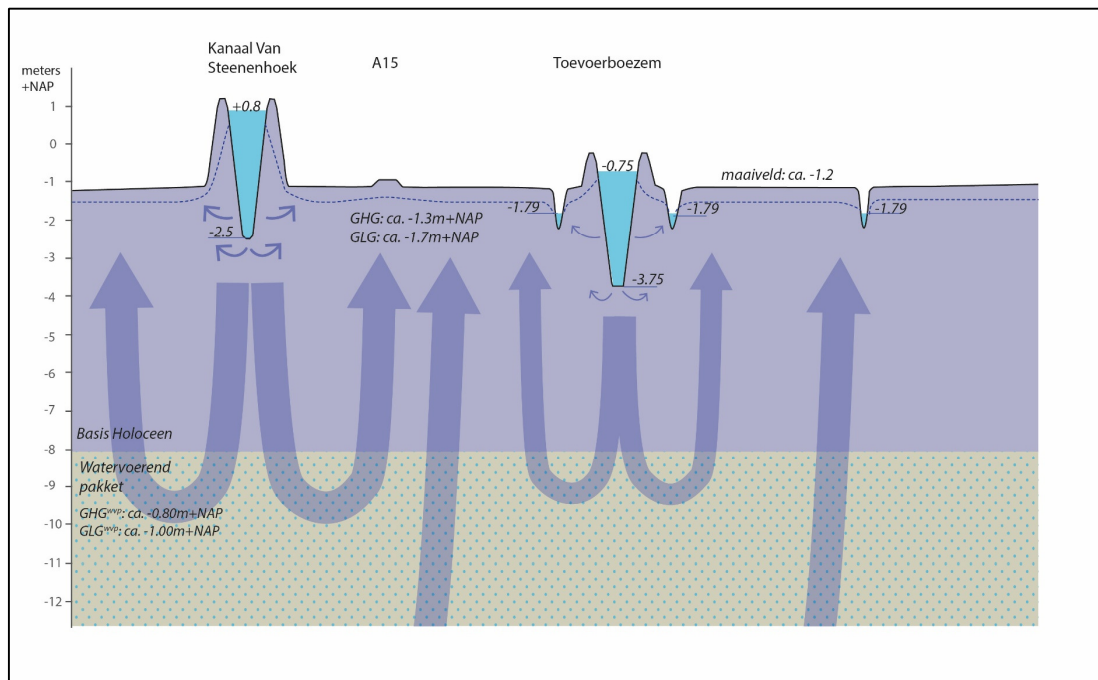
Figuur 3.5: Dwarsdoorsnede C1 en C2 ter plaatse van geulafzetting (peilen t.o.v. NAP; GHG, GLG en stijghoogte in huidige situatie)

Figuur 3.6 toont de dwarsdoorsnede A2 ter plaatse van tracé A2. Alhoewel ook hier een kans is op de aanwezigheid van een geulafzetting, is voor dit tracé alleen een doorsnede zonder geulafzetting opgenomen. Indien een geulafzetting aanwezig is, zal het beeld vergelijkbaar zijn met het beeld in Figuur 3.5. In vergelijking met de C-tracé ligt ter plaatse van tracé A2 de Holocene basis ondieper, namelijk op circa 8.5 m-NAP. De stijghoogte in het watervoerend pakket is wat lager dan bij de C-tracés, maar ook hier is nog steeds sprake van een (lichte) kwelsituatie. Ter plaatse van de toevoerboezem zal naar verwachting wegzijging plaatsvinden.

Figuur 3.7 bevat een weergave van het dwarsprofiel A1 ter plaatse van tracé A1 Zuid. Dit tracé doorsnijdt polder Giessen Nieuwkerk en Giessen Nieuwkerk Zuid. Beide polders hebben een aanzienlijk lager polderpeil dan polder Hardinxveld Noord, waar de overige tracés zijn gesitueerd. Daarnaast is de dikte van de Holocene deklaag geringer. Hierdoor is er een hogere kweldruk vanuit het watervoerend pakket. Verder komt het peil van de toevoerboezem hoger te liggen ten opzichte van het polderpeil en de grondwaterstand. Door het grotere drukverschil zal er meer water vanuit de toevoerboezem infiltreren, waardoor de verwachting is dat de grondwaterstand meer en over een groter gebied zal stijgen. Net als bij de andere alternatieven geldt hierbij wel dat de geplande kwelsloten langs de toevoerboezem een dempende werking zullen hebben op het effect.



Figuur 3.6: Dwarsdoorsnede A2 (peilen t.o.v. NAP; GHG, GLG en stijghoogte in huidige situatie)



Figuur 3.7: Dwarsdoorsnede A1 (peilen t.o.v. NAP; GHG, GLG en stijghoogte in huidige situatie)

3.3 Indicatieve effecten van toevoerboezem

Om een indruk te krijgen van de mogelijke uitstralingseffecten van de toevoerboezem, zijn enkele analytische berekeningen uitgevoerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de formule van Mazure (Verruijt, 1970):

$$\Delta\varphi(x) = \varphi_0 e^{-x/\lambda}, \quad \lambda = \sqrt{kDc}$$

met:

$\Delta\varphi(x)$: verhoging van stijghoogte in watervoerend pakket op afstand x (m)

φ_0 : verhoging van stijghoogte in watervoerend pakket t.p.v. de toevoerboezem (m)

x : afstand tot de toevoerboezem (m)

λ : spreidingslengte (m)

k : doorlatendheid van het watervoerend pakket (m/dag)

D : verzadigde dikte van het watervoerend pakket (m)

c : hydraulische weerstand van de afsluitende deklaag (dag).

Bij toepassing van deze formule is het belangrijk om te realiseren dat wordt uitgegaan van het superpositiebeginsel; er wordt aangenomen de verandering in de stijghoogte en kwel ten gevolge van de toevoerboezem onafhankelijk is van het bestaande stijghoogtepatroon. Daarnaast wordt de voorwaarde gesteld dat de bodemopbouw simpel is: één homogeen watervoerend pakket met een constant doorlaatvermogen en één deklaag met een constante

weerstand. Hoewel aan deze voorwaarden niet wordt voldaan, kunnen we deze formule wel gebruiken om indruk te krijgen van de orde van grootte van effecten.

De horizontale transmissiviteit (kD) van de deklaag (zonder geulafzettingen) is gering en wordt geschat op enkele dagen. De weerstand van de deklaag is in de orde grootte van 500-2000 dagen. Daarmee komt voor het freatisch pakket de geschatte spreidingslengte op 50-100 m. Let wel: de spreidingslengte is niet de verwachte invloedsafstand. Deze wordt verderop in de tekst bepaald.

Ter plaatse van geulafzettingen is de horizontale transmissiviteit hoger. In GeoTOP is de dikte van geulafzetting C 2-3 m. Uitgaand van een horizontale doorlatendheid van 10-20 m/d komt de transmissiviteit uit op 20-60 m²/d. De spreidingslengte in de geulafzetting komt daarmee op 100-350 m.

De grondwaterstandsverhoging ter plaatse van de toevoerboezem hangt af van het verschil tussen het boezempeil en de huidige grondwaterstand, de bodemweerstand van de boezem, en de effectiviteit van de kwel sloten. Het verschil tussen het boezempeil en de huidige grondwaterstand (GHG en GLG) is weergegeven in Tabel 3.1. Behalve voor tracé A1 geldt dat het verschil tussen boezempeil en de huidige grondwaterstand in de winter (GHG) 0.05-0.15 m bedraagt. Voor tracé A1 is dit aanzienlijk meer, namelijk 0.55 m. In de zomer is de het peilverschil 0.95 m voor tracé A1 en 0.55 m voor de overige tracés.

Tabel 3.1: Indicatief verschil tussen boezempeil en huidige GHG resp. GLG per tracé (volgens MORIA 4.5)

Tracé	Boezempeil – GHG (m)	Boezempeil – GLG (m)
C	0.15	0.55
A2	0.05	0.55
A1	0.55	0.95

De bodemweerstand van de boezem zal vlak na aanleg laag zijn (enkele dagen), maar zal in de loop van de tijd toenemen doordat zich op de bodem een sliblaag opbouwt. De effectiviteit van de kwel sloten is op dit moment lastig in te schatten, maar de verwachting is dat deze zodanig worden gedimensioneerd dat het grootste deel van de grondwaterstandsstijging wordt opgeheven. Verder zullen ook bestaande watergangen een dempende werking hebben op het effect.

Om een eerste globale indicatie te krijgen van het invloedsgebied (> 5 cm effect), doen we de volgende aannames:

- De bodemweerstand van de toevoerboezem zorgt ervoor dat de doorwerking van het boezempeil naar de grondwaterstand wordt gedempt met 30%;
- De geplande kwel sloten naast de toevoerboezem zorgen voor een verdere demping van het effect met 80%.

Gegeven deze kentallen en bovenstaande uitgangspunten en aannames, komen we tot de inschatting dat het invloedsgebied in de wintersituatie beperkt is tot maximaal enkele tientallen meters, met de grootste effecten bij tracé A1 en ter plaatse van een geulafzetting. In

de zomersituatie is het effect wat groter, namelijk in de orde grootte van tientallen tot enkele honderden meters.

Het effect op de stijghoogte in het watervoerend pakket hangt als eerste nauw samen met de deklaagweerstand. Deze is hoog (orde grootte 1000-1500 dagen), waardoor de peilverhoging in het freatisch pakket maar zeer beperkt doorwerkt naar het watervoerend pakket. Op basis van enkele proefberekeningen met MORIA, wordt geschat dat het effect in het watervoerend pakket circa 5-10% van het freatisch effect bedraagt. Dit betekent grofweg dat de stijghoogte met maximaal enkele centimeters zal stijgen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat volgens MORIA de deklaagweerstand behoorlijk heterogeen is. Er kunnen dus plekken zijn waar de weerstand lokaal aanzienlijk lager is, met grotere stijghoogte effecten tot gevolg.

3.4 Evaluatie tracés

Op basis van de geohydrologische analyse is voor de alternatieve tracés een scoringsmatrix opgesteld. Hierbij zijn de volgende criteria gebruikt:

- Risico op geulafzetting(en): op basis van de diverse databestanden wordt het risico aangegeven dat het tracé een of meerdere geulafzettingen doorsnijdt. Een hoog risico op geulafzettingen scoort negatief;
- Dikte Holocene deklaag: hoe dikker de Holocene deklaag, des te geringer de doorwerking van eventuele effecten naar het watervoerend pakket. Een dikker pakket scoort positiever dan een dunner pakket;
- Verhoging ter plaatse van boezem in wintersituatie: een groter verschil tussen het boezempeil en de huidige GHG t.p.v. de boezem, leidt potentieel tot grotere effecten. Een grote verhoging scoort negatief;
- Verhoging ter plaatse van boezem in zomersituatie: een groter verschil tussen het boezempeil en de huidige GLG t.p.v. de boezem, leidt potentieel tot grotere effecten. Een hoge netto peilopzet scoort negatief.

Deze vier criteria worden vervolgens samengebracht tot de criteria:

- Verwacht effect grondwaterstand: een geringe peilopzet een lager risico op geulafzettingen resulteert in een hogere score;
- Verwacht effect stijghoogte wvp (watervoerend pakket): een kleiner effect op de grondwaterstand en een grotere dikte van de Holocene deklaag resulteert in een hogere score.

Tabel 3.2 toont de scoringsmatrix voor de alternatieven op basis van genoemde criteria. Tracé A1 heeft het laagste risico op geulafzetting(en). Echter, de netto peilopzet is aanzienlijk hoger dan bij de andere tracés, waardoor in totaal tracé A1 het slechtst scoort. De overige tracés scoren min of meer gelijk. Tracé C3 scoort net iets beter dan de rest, doordat het risico op geulafzettingen – en daarmee het effect op de grondwaterstand – minder groot is.

Tabel 3.2: Scoringsmatrix alternatieven naar omvang van grondwater effecten

Tracé	C3	C2b	C2a	C1b	C1a	A2	A1
Risico geulafzetting(en)	0	-	-	-	-	-	+
Dikte Holocene deklaag	+	+	+	+	+	0	0
Verhoging tpv boezem in wintersituatie	0	0	0	0	0	+	-
Verhoging tpv boezem in zomersituatie	0	0	0	0	0	0	-
Verwacht effect grondwaterstand	+	0	0	0	0	0	-
Verwacht effect stijghoogte wvp	0	0	0	0	0	0	-

De scoring op het verwachte grondwater- resp. stijghoogte effect is vervolgens meegenomen in een scoring op potentiële grondwateroverlast, zie Tabel 3.3. In deze matrix zijn de volgende 2 criteria toegevoegd:

- Afstand natuur: een toevoerboezem door of langs een natuurgebied kan leiden tot verstoring van de grondwatersituatie, zowel in kwantitatieve als kwalitatieve zin. Dit dient zoveel mogelijk voorkomen/beperkt te worden. Indien een tracé op grotere afstand van een natuurgebied ligt, resulteert dit in een hogere score;
- Afstand bebouwing: een stijging van de grondwaterstand kan leiden tot wateroverlast ter plaatse van woningen in de vorm van bijvoorbeeld natte kelders of kruipruimtes, of schade aan de woning. Als criterium is daarom de afstand van bebouwing tot de tracés meegenomen. Hoe meer bebouwing er in of vlak langs het tracé staat, des te lager de score.

Wat betreft de natuur is er sprake van een natuurgebied tussen tracé C2a en C1b, en ter noorden van de kruising van tracé C2a met de A15. Dit laatste stuk wordt doorsneden door de tracés C1a, C1b en C2a. Deze tracés scoren negatief. Tracé C2b ligt nabij genoemd natuurgebied en scoort neutraal. De tracés C3, A2 en A1 liggen op grotere afstand van natuur en scoren daarmee positief.

Voor het criterium bebouwing is gekeken hoeveel panden (woningen) er in of vlak naast het tracé liggen. Hierbij scoren de tracés C2b, C1b, C1a en A2 het slechts. Hoewel langs tracé C3 minder bebouwing staat, heeft dit tracé ook een negatief score gekregen, omdat deze het dichtst bij de bebouwing aan de Sluisweg (Hardinxveld-Giessendam) ligt. Tracé C2a scoort neutraal en A1 positief (nauwelijks bebouwing in direct nabijheid).

Tabel 3.3: Scoringsmatrix alternatieven naar risico op potentiële grondwateroverlast

Tracé	C3	C2b	C2a	C1b	C1a	A2	A1
Afstand natuur	+	0	-	-	-	+	+
Afstand bebouwing	-	-	0	-	-	-	+
Verwacht effect grondwaterstand	+	0	0	0	0	0	-
Verwacht effect stijghoogte wvp	0	0	0	0	0	0	-

4 Aanbevelingen

Tijdens de systeemanalyse zijn enkele zaken naar voren gekomen die aandacht behoeven op het moment dat er nader onderzoek wordt verricht en meer gedetailleerde uitspraken nodig zijn. Deze zaken zijn al in voorgaande hoofdstukken benoemd, maar worden hieronder nog eens samengevat.

Allereerst lijken verschillende databronnen verschillende interpretaties te geven van de ligging van de geulafzettingen. Voor deze systeemanalyse is gebruik gemaakt van de zandbanenkaart van het waterschap uit 2009 en van de informatie die in GeoTOP van TNO (Stafleu e.a., 2013) zit. Geadviseerd wordt om de databronnen die ten grondslag liggen aan beide kaarten met elkaar te vergelijken. Zodra er inzicht is in het aantal gebruikte boringen en de ligging hiervan, kan ook de nauwkeurigheid van beide interpretaties beoordeeld worden. Eventueel zouden aanvullend hierop nog gerichte boringen uitgevoerd kunnen worden, om zo de ligging en diepte van de zandbanen nauwkeuriger in beeld te brengen.

Indien het grondwatermodel MORIA gebruikt gaat worden voor het berekenen van effecten, zal het model onderzocht en waar nodig verfijnd en verbeterd moeten worden. Tijdens de systeemanalyse zijn de volgende aandachtspunten naar voren gekomen:

- Uit de MORIA rapportage blijkt dat ingesloten zandbanen in de deklaag zijn verwaarloosd bij de parameterisatie van de transmissiviteit van de deklaag, omdat deze geen invloed zouden hebben op het regionale stromingspatroon. Voor deze lokaal detailstudie zijn ze echter wel van belang. Deze moeten daarom alsnog meegenomen worden;
- Het patroon en de waarde van de transmissiviteit van de deklaag in het onderzoeksgebied is moeilijk te duiden. Deze lijkt over het geheel genomen aan de hoge kant ($20\text{--}30\text{ m}^2/\text{d}$). En juist daar waar zandbanen worden verwacht is de transmissiviteit heel laag. Daarnaast is de weerstand van de deklaag behoorlijk heterogeen. De vraag is of dit echt zo is, of dat dit vooral komt door parameter onzekerheden tijdens de interpolatie van GeoTOP;
- De toekenning van waterlopen aan modellagen in combinatie met de gekozen laagindeling roept vragen op. De waterlopen zijn namelijk toegekend aan modellaag 1 en 2. De deklaagweerstand zit echter volledig in modellaag 1. Bij niet-stationaire berekeningen is de waterloopweerstand voor laag 2 sterk gereduceerd, waardoor de directe invloed van de waterlopen op het eerste watervoerend pakket beperkt wordt. Bij de stationaire berekening is de weerstand voor laag 2 echter identiek aan die van laag 1. Daarmee lijken de waterlopen een te groot effect te hebben op de stijghoogte. Er moet daarom goed gekeken worden hoe de deklaagweerstand over de modellagen verdeeld moet worden en hoe diep de waterlopen vervolgens insnijden. Verder is het advies om te achterhalen of het verschil in waterloopweerstand bij de stationaire en niet-stationaire berekening een fout is, of dat hiervoor een reden is.

Indien meer inzicht in de doorwerking in en naar het watervoerend pakket nodig blijkt te zijn, dan zou het helpen om 1 of 2 peilbuizen te installeren met filters in zowel het freatisch als watervoerend pakket.

Referenties

Berendsen, H.J.A. (2005). *Landschappelijk Nederland. De fysisch-geografische regio's. (Fysische geografie van Nederland)*. Koninklijke Van Gorcum, Assen.

De Boer, E.A.M. (2017). *Hardinxveld-Giessendam, Plangebied Buitendams 301-307, Archeologisch bureauonderzoek en Inventariserend veldonderzoek (verkennende fase)*. BAAC Rapport V-15.0044, 's-Hertogenbosch.

Stafleu, J. e.a. (2013). *GeoTOP modellering*. TNO-rapport TNO 2012 R10991, Utrecht.

Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn (2005). *Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid; toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II*. TNO-rapport NITG-05-038-B, Utrecht.

Verruijt, A. (1970). *Theory of Groundwater Flow*. Macmillan.

Bijlage A: Alternatieven toevoerboezems

Kaart met ligging en dimensionering van alternatieven voor toevoerboezem (apart bestand)