

RAPPORT

Geohydrologische effecten piping- /stabiliteitsscherm

Dijkversterking Vianen

Klant: Waterschap Rivierenland

Referentie: WATBG5964R001D01WM

Status: Finale versie/1.0

Datum: 18 februari 2019

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Contactweg 47
1014 AN AMSTERDAM
Water
Trade register number: 56515154

+31 88 348 95 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Geohydrologische effecten piping-/stabiliteitsscherm

Ondertitel: Dijkversterking Vianen
Referentie: WATBG5964R001D01WM
Status: 1.0/Finale versie
Datum: 18 februari 2019
Projectnaam: Vianen Projectplan Waterwet
Projectnummer: BG2964
Auteur(s): Jasper Jansen en Jan Jaap Pape

Opgesteld door: Jasper Jansen en Jan Jaap Pape

Gecontroleerd door: Carola Hesp

Datum/Initialen: 15 februari 2019 C.H.

Goedgekeurd door: Carola Hesp

Datum/Initialen: 18 februari 2019 C.H.

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Aanpak effectbeoordeling geohydrologie	1
2	Analyse watersysteem	3
2.1	Zandbanenkaart	3
2.2	Diepere ondergrond	5
2.3	Waterstanden Lek	7
2.4	Oppervlaktewatersysteem en peilbeheer	8
3	Beschrijving huidige werking watersysteem	9
4	Kwalitatieve beschrijving geohydrologische effecten	13
4.1	Inleiding	13
4.2	Beschrijving piping scherm	13
4.3	Kwalitatieve (geo)hydrologische effectbeschrijving piping scherm	13
5	Berekening van het effect van het pipingscherm	14
5.1	Aanpak	14
5.2	Validatie basismodel	16
5.3	Modelkalibratie	18
5.4	Resultaat effectberekening	22
5.4.1	Op basis van REF3 (zandige deklaag / zandbanen)	22
5.4.2	Op basis van REF4 (zandbanen en lage intreeweerstand rivier)	24
6	Conclusie	27
6.1	Werking grondwatersysteem	27
6.2	Verwacht effect van aanbrengen damwand op basis van analyse bodemopbouw en grondwatersysteem	27
6.3	Rekenresultaten effect aanbrengen damwand	28

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De primaire waterkering, die Vianen beschermt tegen hoogwater, voldoet op een aantal locaties niet aan nieuwe landelijke waterveiligheidsnormen die gelden per 1 januari 2017. Waterschap Rivierenland onderzoekt daarom mogelijke maatregelen om de waterkering zodanig te versterken, dat deze wel aan de veiligheidsnorm voldoet.

De voorliggende dijkversterking betreft het deel van de Lekdijk gelegen tussen de rioolwaterzuivering aan de westzijde en het landhoofd van de A27 aan de oostzijde. Binnendijks van de dijk ligt de woonwijk De Hagen.

Het voorkeursalternatief voor de dijkversterking betreft een pipingschermbetate door verankering extra stabiliteit biedt en daarmee ook fungeert als binnenwaarts stabiliteitsschermbetate. Het piping-/stabiliteitsschermbetate wordt aangebracht tot op een diepte van circa 20 meter onder het huidige maaiveld (circa -12 m NAP).

Dijkversterking gaat gepaard met ingrepen die van invloed kunnen zijn op het grond- en oppervlaktewatersysteem (door bijvoorbeeld het plaatsen van constructies in de bodem en door bijvoorbeeld het dempen of graven van watergangen). Deze effecten kunnen binnendijks gevolgen hebben voor de grondwaterstanden en kwel.

Om deze effecten te beoordelen is eerst een kwalitatieve beschrijving van de mogelijke effecten opgesteld op basis van watersysteemanalyse en algemene basisprincipes met betrekking tot grondwaterstroming en kwel. Vervolgens zijn geohydrologische modelberekeningen uitgevoerd om de effecten kwantitatief in beeld te krijgen.

1.2 Aanpak effectbeoordeling geohydrologie

Voor de beoordeling van de hydrologische effecten van het piping-stabiliteitsschermbetate maken wij gebruik van het bestaande grondwatermodel MORIA. Met het model wordt tijdsafhankelijk een periode doorgerekend waarbij zowel een hoogwatersituatie (waarbij de rivier een infiltrerende werking heeft) als een laagwatersituatie (met een drainerende werking van de rivier) wordt beschouwd.

Het effect van het piping-stabiliteitsschermbetate op het grondwatersysteem is naar verwachting beperkt omdat er geen afsluiting van watervoerende pakketten tot aan onderliggende scheidende lagen wordt verwacht. In het gebied is echter binnendijks lokaal wel sprake van wateroverlast. Daarbij is een belangrijk aandachtspunt de aanwezigheid van zandbanen in de deklaag. Het afsluiten van de zandbanen door het aanbrengen van het piping-stabiliteitsschermbetate kan geohydrologische effecten veroorzaken.

Voor de effectbeoordeling geohydrologie is de volgende aanpak gehanteerd:

1: Analyse watersysteem

- Opbouw ondergrond en zandbanenkaart
- Dikte deklaag
- Waterstanden de Waal
- Oppervlaktewater en peilbeheer

2: Beschrijving huidige werking grondwatersysteem (op basis van berekeningen met grondwatermodel Moria)

- Gemiddelde situatie (isohypsenbeeld).
- Hoogwater perioden (isohypsenbeeld en kwel-intensiteit).
- Laagwater perioden (isohypsenbeeld en kwel-intensiteit).

3: Kwalitatieve beschrijving mogelijke effecten van het pipingscherm

- Op basis van analyse watersysteem.
- Op basis van huidige werking grondwatersysteem.

4: Berekening van het effect van het pipingscherm op de hydrologie met grondwatermodel Moria

- GHG-situatie.
- Hoogwater situatie (piek 2011).
- GLG / Laagwater situatie.
- Invloed van zandbanen op de berekende effecten.

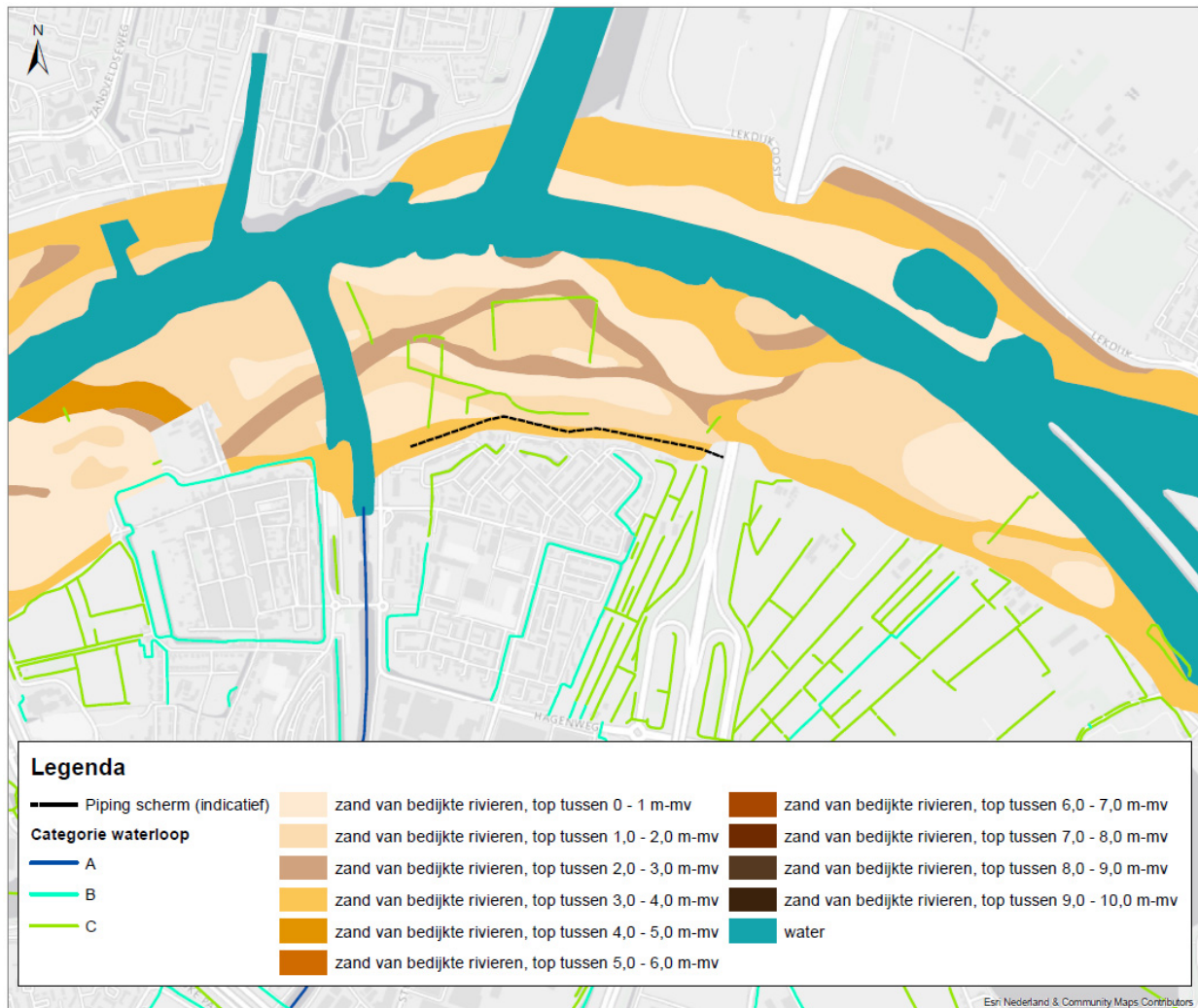
5: Effectbeoordeling van het pipingscherm op de hydrologie

2 Analyse watersysteem

Voor de uitwerking van onderdeel 1 en 2 is gebruik gemaakt van de beschikbare GIS-kaarten en hydrologische modelresultaten van de studie Grondwatermodellering Lek, Linge en Tielerwaard (RHDHV, 17 november 2017). Voor de berekeningen onder onderdeel 4 is gebruik gemaakt van een recent aangepaste versie van het MORIA grondwatermodel. Bij deze modelversie is o.a. de rekenperiode verlengt tot en met maart 2018 waardoor een directe vergelijking gemaakt kan worden tussen het model en recente metingen in en rond de projectlocatie.

2.1 Zandbanenkaart

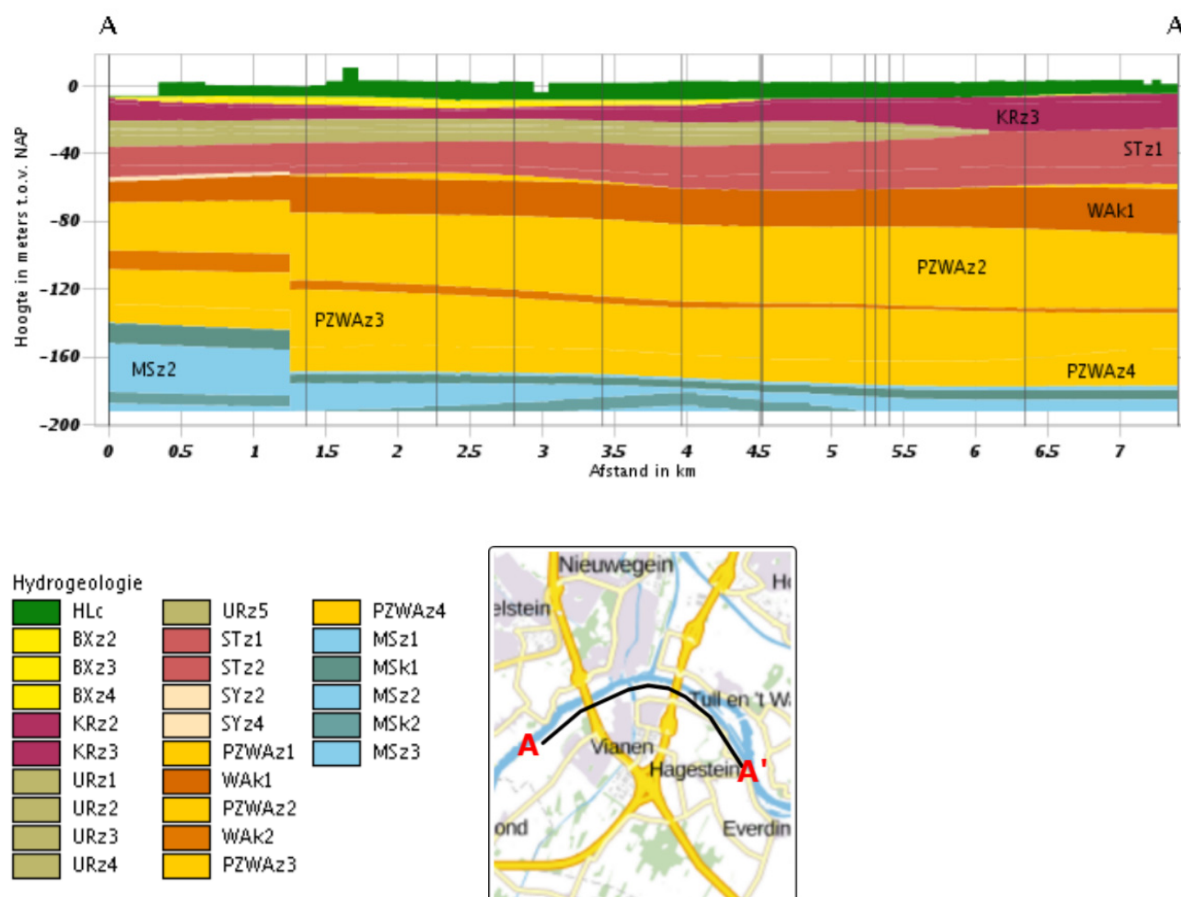
De recente geologische ontstaansgeschiedenis van het Rivierengebied wordt gekenmerkt door de fluviatiele afzettingen van de grote rivieren. In de zandbanenkaart ("Zand in banen", derde geheel herzien druk, Berendsen, 2009) zijn de holocene afzettingen van de grote rivieren gekarteerd (zie figuur 2-1). In de omgeving van Vianen is de kartering alleen uitgevoerd in het buitendijkse gebied. De holocene afzettingen van de grote rivieren worden onderverdeeld in stroomgordelafzettingen (bestaande uit zand en zavel) en komafzettingen (zware klei soms met veenlagen). Daar waar de kleien (komklei) voorkomen ondervindt de grondwaterstroming van en naar het eerste pakket een grotere weerstand. De afwisseling van sedimenten geeft een zeer gevarieerde samenstelling van de ondiepe ondergrond zoals te zien is op de zandbanenkaart. In de omgeving van Vianen is alleen in de uiterwaard de dikte van de deklaag gekarteerd. Uit het kaartbeeld blijkt dat de dikte van de deklaag hier sterk varieert. Daar waar de zandbanen ondiep aanwezig zijn is de deklaag lokaal minder dan 1 m dik, variërend tot een dikte van circa 4 meter. Doordat het binnendijkse gebied hier niet is gekarteerd is het op basis van de zandbanenkaart onduidelijk of en hoe de zandbanen ter plaatse van de bebouwde kom van Vianen verder lopen.



Figuur 2-1 Zandbanenkaart (Berendsen, 2009)

2.2 Diepere ondergrond

In figuur 2-2 is een dwarsdoorsnede gegeven van de opbouw van de ondergrond en de laagopbouw op basis van Regis II, versie 2.2 (TNO, maart 2018).



Figuur 2-2 Dwarsdoorsnede ondergrond op basis van Regis II v2.2

De opbouw van de ondergrond bestaat uit verschillende geologische formaties en afhankelijk van het type sediment kunnen deze worden onderverdeeld in watervoerende pakketten (WVP) en slecht doorlatende lagen (SDL).

De bodemopbouw kan van diep naar ondiep als volgt worden beschreven (gebaseerd op TNO, 2018): De geohydrologische basis in het gebied wordt gevormd door de kleiige mariene afzettingen van de Formatie van Maassluis (codering MS). De Formatie van Maassluis is hoofdzakelijk gevormd in het Vroeg – Pleistoceen, toen het huidige Rivierenland gelegen was in een marien milieu. Dit heeft geleid tot een dikke formatie welke voornamelijk bestaat uit zandige klei. Naar boven toe nemen de korrelgroottes toe, wat resulteert in de Maassluiszanden. De Maassluiszanden zijn goed doorlatend.

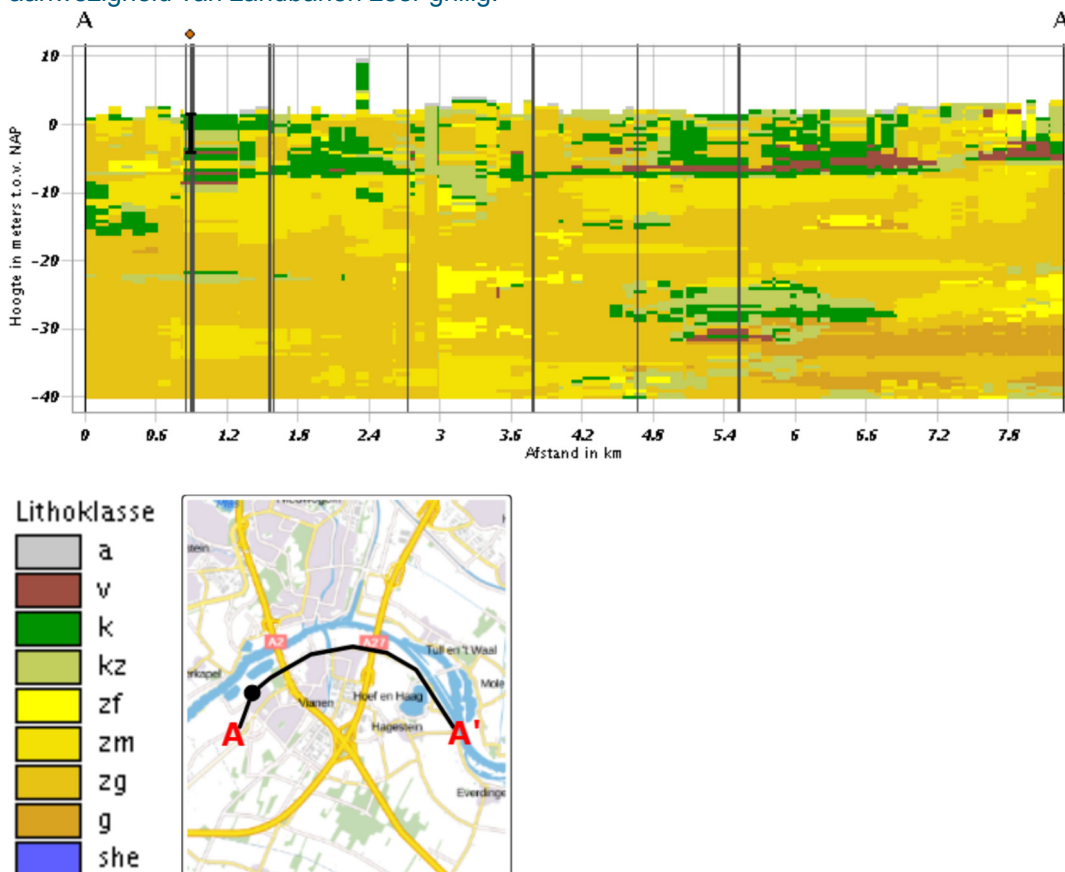
Boven de Formatie van Maassluis liggen de Formaties van Peize en Waalre (codering PZWA). De Formaties van Peize en Waalre bestaan afwisselend uit slecht doorlatende lagen en watervoerende pakketten. De Formatie van Peize bestaat voor het overgrote deel uit fluviale afzettingen die zijn aangevoerd door het Baltische riviersysteem (Eridanos). De Formatie van Waalre bestaat voornamelijk uit fluviale en estuariene afzettingen van de Rijn. Alle typen van fluviale en estuariene afzettingen en sedimentaire structuren die op getijdewerking duiden, kunnen in deze formatie voorkomen.

De formatie bestaat derhalve uit zowel zanden als kleien. Beide formaties zijn in dezelfde periode afgezet en komen daarom afwisselend voor in de ondergrond.

Boven de Formaties van Peize en Waalre komt lokaal de Formatie van Stramproy voor (aangeduid met SY). Deze heeft zich gevormd over een lange periode (Tiglien tot het Cromerien), waarin gedurende lange perioden weinig tot geen afzetting plaatsvond (non-depositie). De afzettingen zijn voor het grootste deel eolisch of periglaciaal gevormd. Verder komen op beperkte schaal fluviatiele en hellingafzettingen voor in de buurt van de Peelrandbreuk. Boven de Stramproy en de Peize Waalre Formatie ligt de Formatie van Sterksel (ST). De Formatie van Sterksel bestaat grotendeels uit grove zanden en grinden, welke fluviatiele afzettingen van de Rijn en Maas zijn. De (vaak zeer dunne) kleiafzettingen in de Formatie van Sterksel zijn restafzettingen in verlaten meanderbochten.

Boven de formatie van Sterksel komt voor het grootste gedeelte de formatie van Urk voor. De Formatie van Urk omvat fluviatiele afzettingen van de Rijn, welke hoofdzakelijk in Noord-Nederland voorkomen. Deze formatie ligt onder de Formatie van Kreftenheye. De Formatie van Kreftenheye bestaat uit fluviatiele afzettingen van de Rijn en zijn voorlopers. De afzetting heeft plaatsgevonden gedurende diverse perioden, waaronder het Eemien en Laat-Saalien. Dit levert veelal goed doorlatende zandpakketten op.

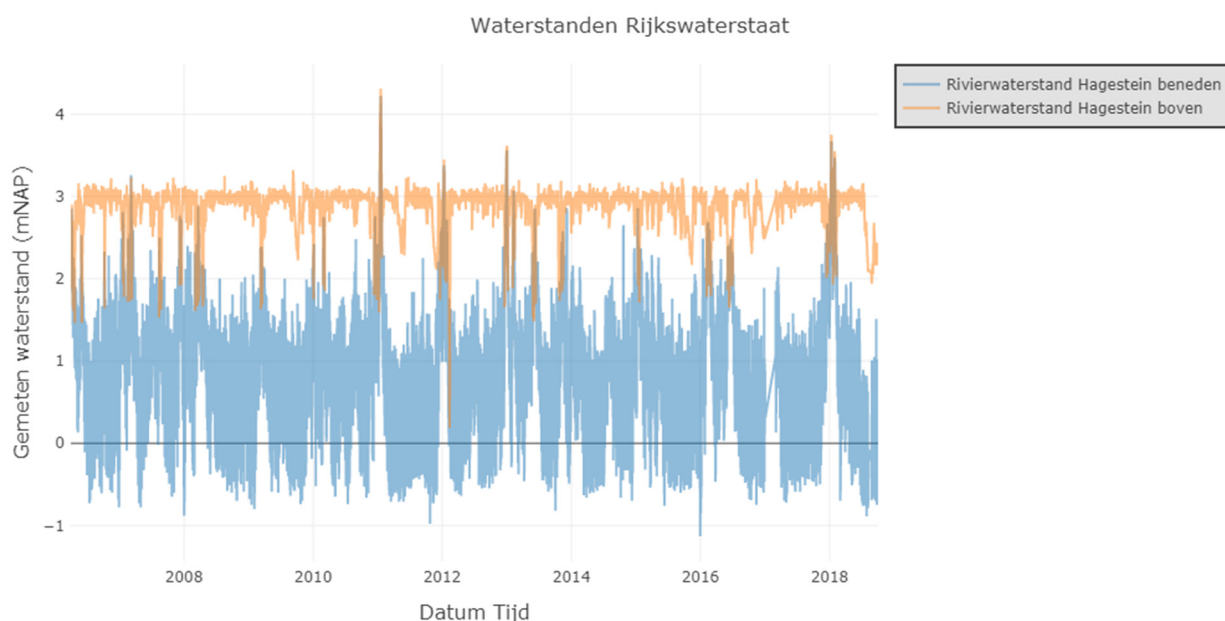
De bovenste en tevens meest recente formaties zijn afgezet in het holoceen. Dit vormt de kleiige deklaag met komgronden. De zandbanenkaart in Figuur 2-1 geeft veel inzicht in de holocene deklaag in de uiterwaarden. In Figuur 2-3 is de meest waarschijnlijke lithoklasse weergegeven voor de bovenste 50 meter van het dijktraject langs de Lek. Hierin zijn de zandbanen in de deklaag goed terug te zien. Daarnaast zijn er verschillende kleiafzettingen te zien in deklaag. De opbouw van de deklaag is door de aanwezigheid van zandbanen zeer grillig.



Figuur 2-3 Meest waarschijnlijke lithoklasse volgens GeoTOP

2.3 Waterstanden Lek

Bij Hagestein meet Rijkswaterstaat de stand van de Lek. Op deze locatie is de Lek gestuwd en verschillen de waterstanden boven en benedenstrooms van de sluis. Deze gemeten standen tussen 2006 en 2018 zijn gevisualiseerd in Figuur 2-4. Hierin is te zien dat de waterstanden benedenstrooms onder invloed staan van getij en daarom meer fluctueren dan de bovenstroomse waterstanden. Het gemiddelde verschil tussen de beneden- en bovenstroomse waterstanden is ongeveer 2m. Hierdoor is er een verhang in grondwaterstanden waarbij het water van het (zuid-)oosten naar het westen zal stromen. De grondwaterstanden ter hoogte van de projectlocatie liggen voornamelijk onder invloed van de benedenstroomse waterstanden, welke fluctueren tussen -1 en 3 m NAP.



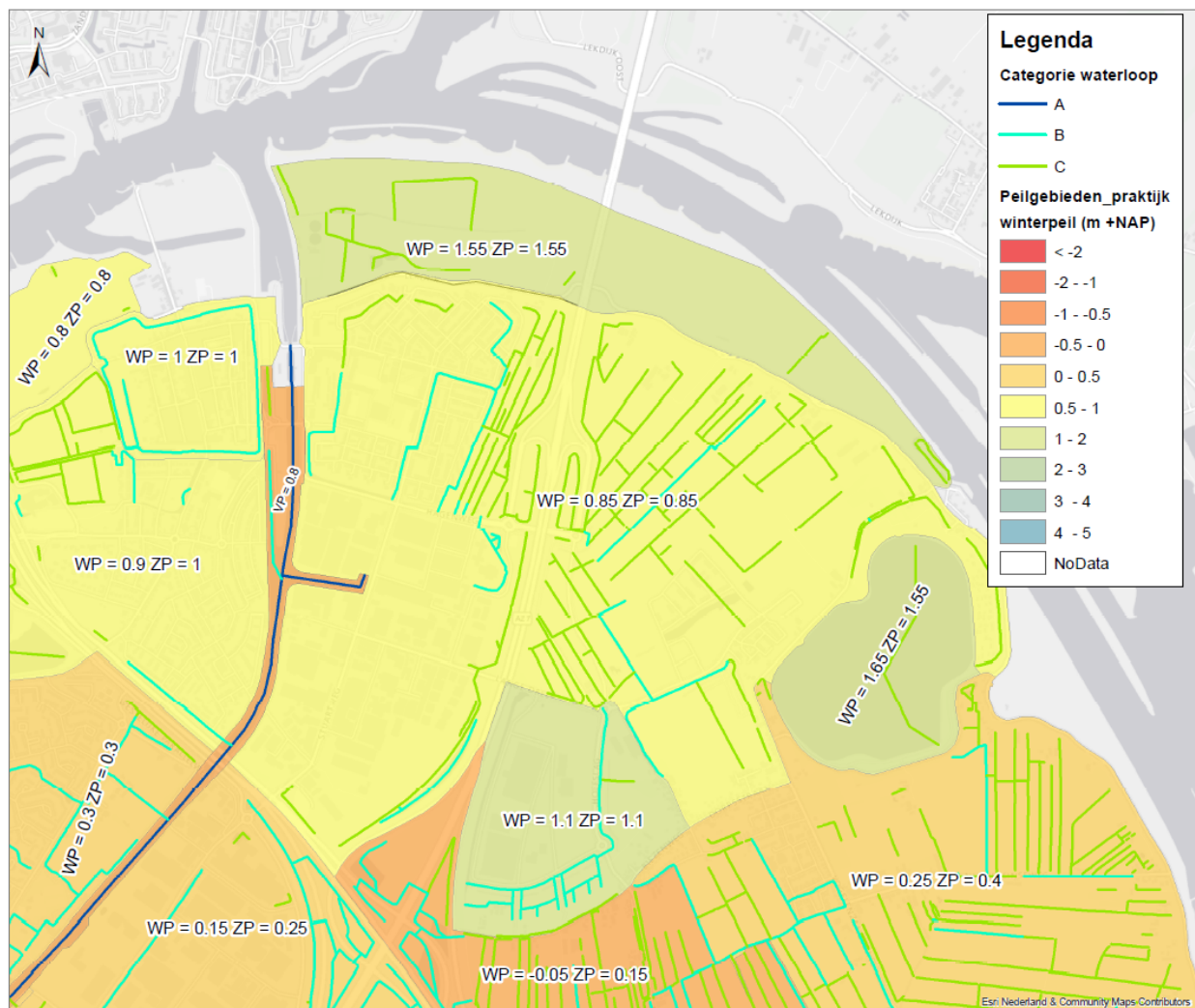
Figuur 2-4 Waterstanden Lek bij meetpunt Hagestein boven en Hagestein beneden

2.4 Oppervlaktewatersysteem en peilbeheer

Waterschap Rivierenland legt essentiële informatie over wateren vast in de legger. In figuur 2-5 is het oppervlaktewatersysteem in het projectgebied weergegeven met onderscheid tussen A-, B- en C-watgangen:

- A-wateren: van primair belang voor het waterbeheer en worden daarom door het waterschap onderhouden.
- B-wateren: van secundair belang voor het waterbeheer en dienen door de aangrenzende eigenaren te worden onderhouden.
- C-wateren: wateren die van tertiair belang zijn voor het waterbeheer waarvoor geen jaarlijkse onderhoudsplicht geldt.

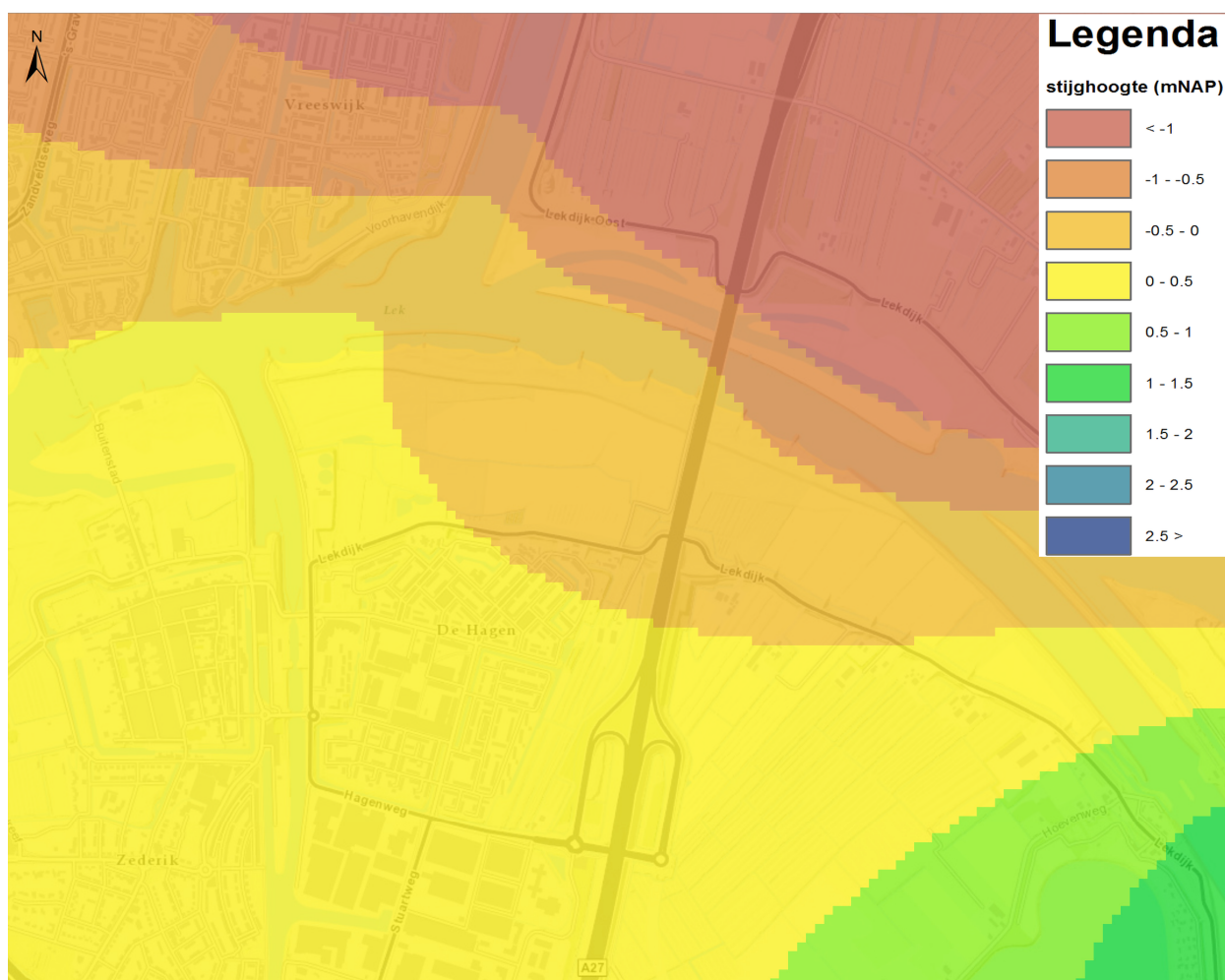
In de figuur zijn tevens de peilvakken weergegeven. Voor het beheer van het watersysteem wordt in het gebied gewerkt met winter- en zomerstreefpeilen. Scheiding van peilgebieden is gereguleerd met stuwen en duikers. In de figuur zijn de winterpeilen gepresenteerd. De zomer- en winterpeilen verschillen nauwelijks in dit gebied. Voor een aantal peilvakken zijn de winterpeilen 10-20cm hoger dan de zomerpeilen, maar dit valt buiten de legendavariatie.



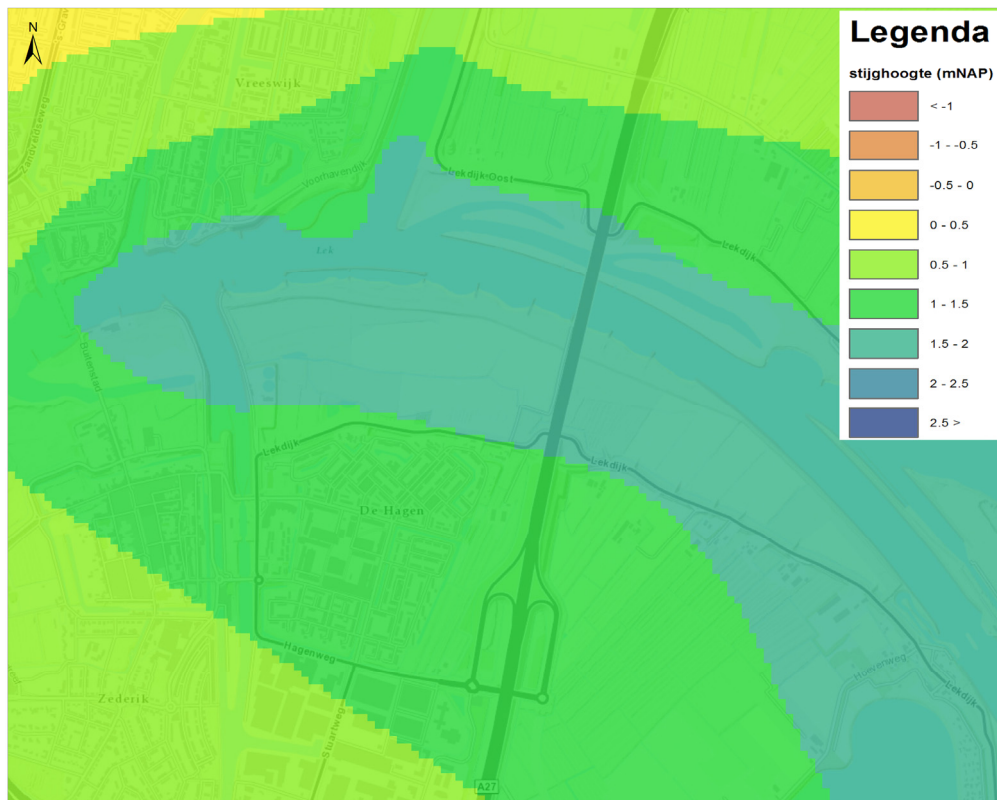
Figuur 2-5 Oppervlaktewatersysteem en peilbeheer (ZP = zomerpeil, WP = winterpeil, VP = vast peil)

3 Beschrijving huidige werking watersysteem

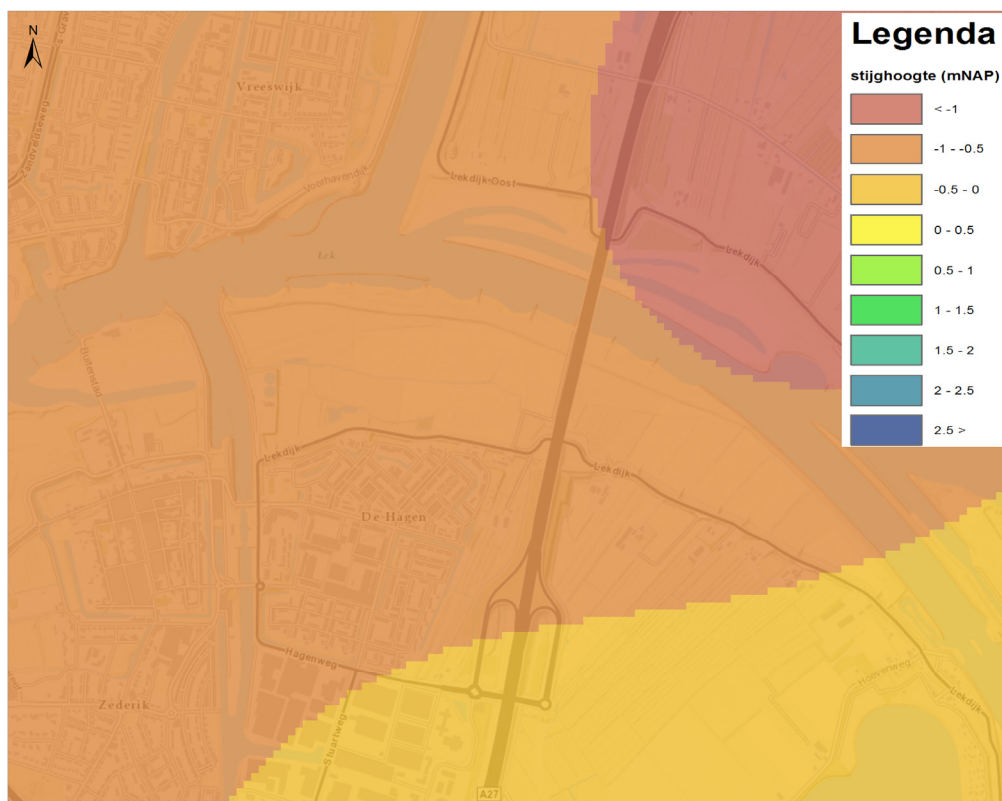
Aan de hand van de hydrologische modelresultaten van de studie Grondwatermodellering Lek, Linge en Tielerwaard (RHDHV, 17 november 2017) zijn figuren gemaakt met het stijghoogte patroon in het projectgebied voor verschillende hydrologische situaties. In figuur 3-1 is het stijghoogtepatroon voor een gemiddelde hydrologische situatie gepresenteerd. In figuur 3-2 en 3-3 is het stijghoogtepatroon voor respectievelijk een T10-hoogwatersituatie (winter 2003) en T10-laagwatersituatie (najaar 2003) gepresenteerd.



Figuur 3-1 Stijghoogtepatroon gemiddelde hydrologische situatie

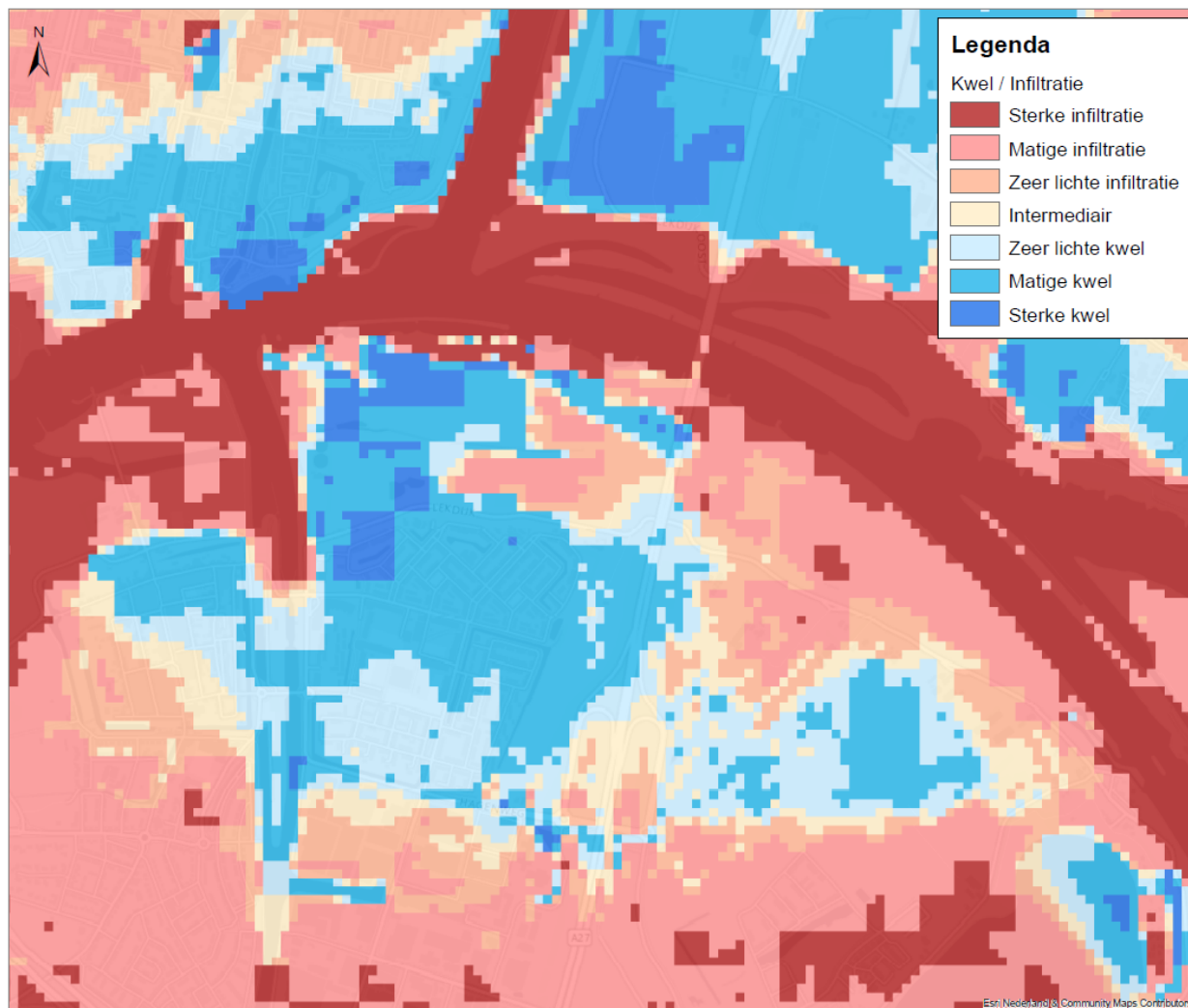


Figuur 3-2 Stijghoogtepatroon hoogwatersituatie (T1)



Figuur 3-3 Stijghoogtepatroon laagwatersituatie (T1)

Een overzicht van de kwel-intensiteit tijdens een T10-hoogwatersituatie (januari 2011) is gepresenteerd in figuur 3-4.



Figuur 3-4 Kwel-intensiteit tijdens een hoogwatersituatie (januari 2011). NB In deze situatie is de zomerkade net niet overstroomd bij de Vianense waard.

Uit de figuren blijkt dat de Lek een zeer sterke invloed heeft op de werking van het watersysteem direct rondom de rivier. In de gemiddelde situatie lijkt voornamelijk het verschil in de rivierwaterstand tussen Hagestein boven en beneden de grondwaterstromingen in het eerste watervoerende pakket te bepalen.

Hoogwaterperioden

De Lek heeft tijdens hoogwaterperioden een sterk infiltrerende werking waarbij er ook een sterke binnendijkse kwel is. De hoge waterstand op de Lek zorgt ervoor dat de stijghoogten vlak achter de dijk sterk toenemen. De invloed van de Lek neemt af naar mate de afstand tot de Lek toeneemt. Daardoor zie je ook binnendijkse gebieden die een licht tot matige infiltratie laten zien. Dit is te wijten aan de infiltratie van neerslag naar het eerste watervoerende pakket.

De uiterwaarden ten noorden van de Lek staan tijdens de gemodelleerde hoogwatergolf onder water. De uiterwaarden ten zuiden van de Lek staan onder water tot de zomerdijk.

Daardoor treedt er tijdens deze situatie (sterke) infiltratie op naar het eerste watervoerend pakket in de gebieden die onder water staan. Daarnaast is er ook sprake van een stroming richting binnendijks gebied.

Laagwaterperioden

Tijdens een laagwatersituatie is de hydrologische werking niet zozeer omgedraaid maar bepaalt het verschil in rivierwaterstand tussen Hagestein boven en Hagestein beneden en de lagere peilgebieden ten noorden van de Lek de grondwaterstromingen. Hierdoor stroomt het water voornamelijk vanuit het zuidoosten naar het noorden, wat goed is terug te zien in de stijghoogtepatronen.

4 Kwalitatieve beschrijving geohydrologische effecten

4.1 Inleiding

Aan de hand van de analyse van het watersysteem en de beschrijving van het aan te leggen piping scherm zijn de (geo)hydrologisch relevante aspecten beschreven. Deze beschrijving is kwalitatief en geeft op hoofdlijnen een beeld van de te verwachte geohydrologische effecten zowel binnendijs als buitendijs.

4.2 Beschrijving piping scherm

Op het dijktraject ter hoogte van de A27 bij Vianen wordt een piping scherm in de dijk aangebracht. Dit scherm bestaat uit een damwand die tot -12 m NAP in de grond wordt aangebracht. Dit is globaal tot de onderzijde van de deklaag.

4.3 Kwalitatieve (geo)hydrologische effectbeschrijving piping scherm

Het piping scherm heeft als doel om de kwelweg onder de dijk te verlengen. Dit betekent dat het water dat in de uiterwaarden en in de rivier infiltreert een langere weg aflegt en dus een langere reistijd heeft tot het binnendijs op kan kwellen. Door deze langere reistijden kan het water minder zand meenemen waardoor er minder risico is op piping onder de dijk.

De damwand wordt aangebracht tot een diepte van circa -12 m NAP en sluit daarmee de deklaag volledig af. Het onderliggende watervoerende zandpakket wordt niet afgesloten. Afhankelijk van de precieze hoogteligging van de onderkant van de deklaag kan de damwand een beperkte diepte in het onderliggende watervoerende zandpakket worden aangebracht. Dit zandpakket heeft een dikte van circa 50 meter (globaal tot -60 m NAP).

In de situatie zonder damwand is er bij hoogwater sprake van kwel onder de dijk door. Een deel van deze kwel vindt plaats door de deklaag en dan vooral via de daarin aanwezige zandbanen. Via het onder de deklaag aanwezige watervoerende zandpakket (dikte circa 50 meter) vindt bij hoogwater ook stroming plaats vanaf de rivier (en uiterwaarden) naar het binnendijkse gebied. Hierdoor wordt de stijghoogte verhoogd en neemt de kwel vanuit het watervoerende pakket naar/door de deklaag toe.

Het afsluiten van de deklaag zorgt ervoor dat de ondiepe kwel onder de dijk door sterk beperkt wordt. Dit effect is groter als er meer goed doorlatende zandbanen in de deklaag aanwezig zijn of als deze een grote dikte hebben. Op basis van de beschikbare zandbanenkaart (uiterwaarden), boringen en gegevens uit GeoTOP is duidelijk dat er zandbanen aanwezig zijn. De exacte ligging en dikte is niet bekend. Daarmee is de exacte invloed van het afsluiten van de deklaag niet bekend.

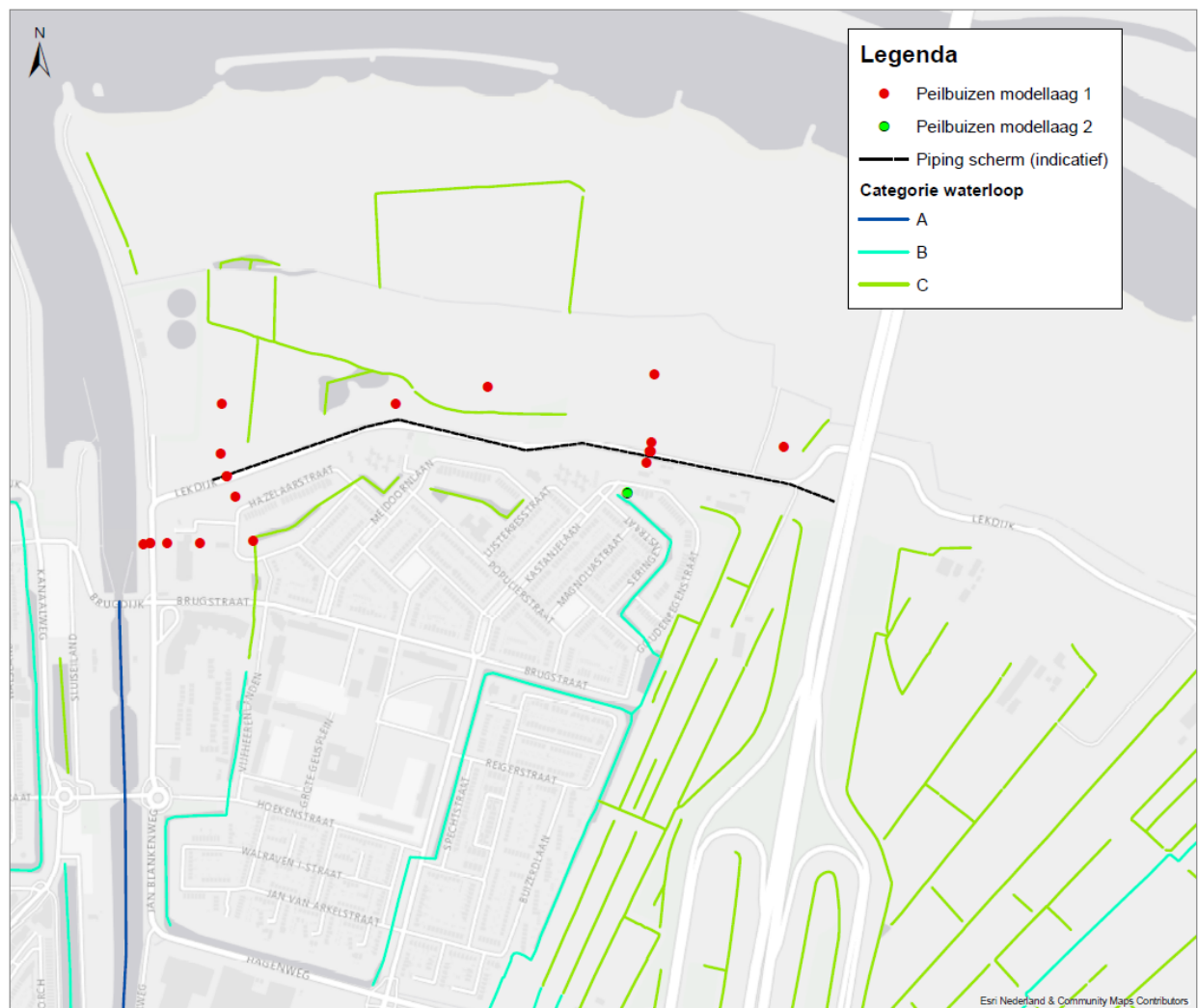
Het watervoerende pakket wordt niet of zeer beperkt afgesloten door de damwand. De stijghoogte in het watervoerende pakket wordt daardoor niet beïnvloed door de aanleg van de damwand. Daardoor wordt ook geen invloed verwacht op de kwel vanuit het watervoerende pakket.

5 Berekening van het effect van het pipingscherm

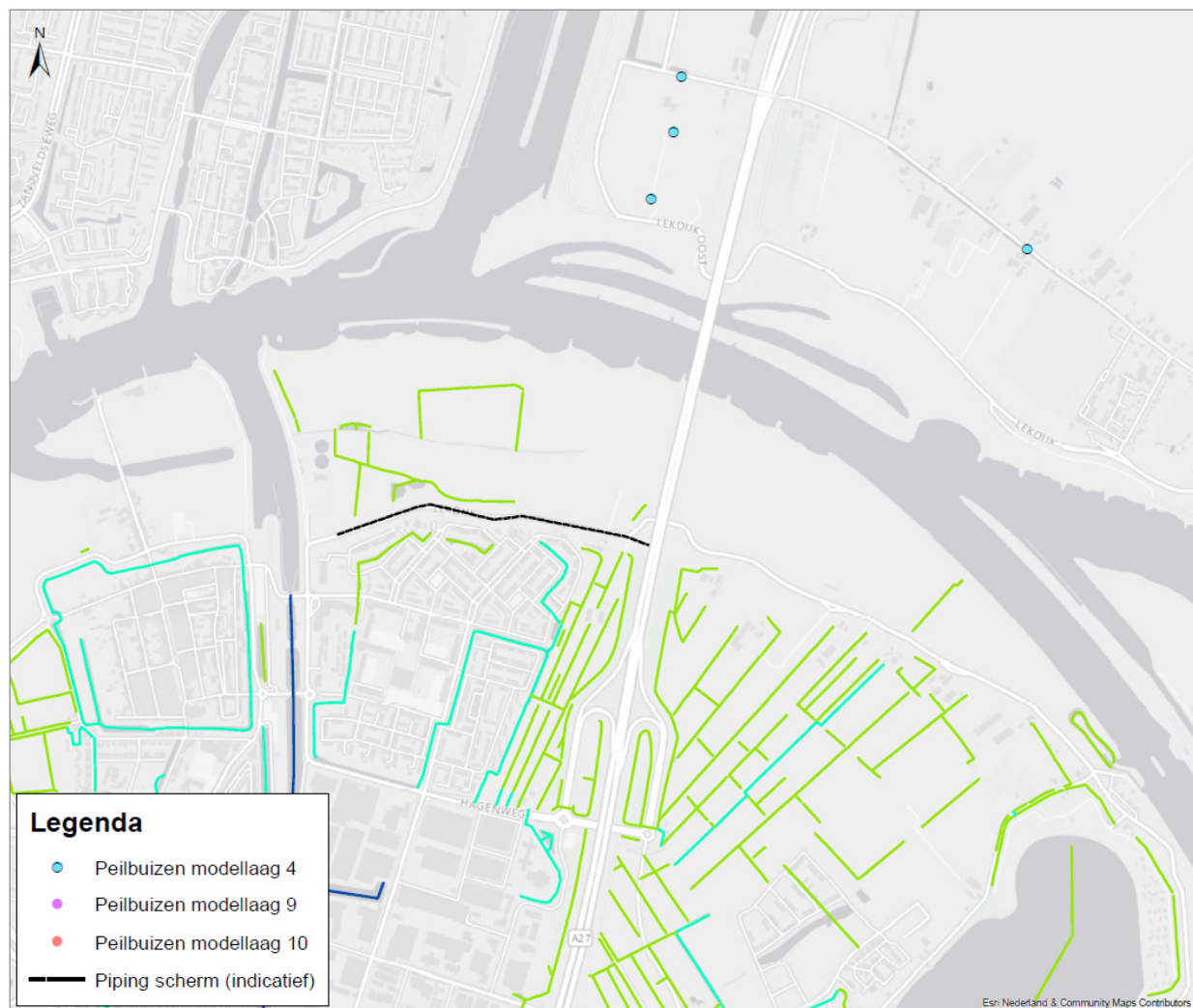
5.1 Aanpak

Het effect van het aanbrengen van een damwand in de deklaag is berekend met het beschikbare grondwatermodel. Omdat niet precies bekend is waar zandbanen voorkomen is ervoor gekozen om twee berekeningen uit te voeren. Eén berekening met het beschikbare model zonder wijzigingen en één berekening waarbij is aangenomen dat de volledige deklaag zandig is ter plaatse van Vianen. Met deze tweede berekening wordt bepaald wat het maximale effect is van het aanbrengen van de damwand (bij een zandige deklaag is er immers meer stroming door de deklaag zelf en heeft het aanbrengen van een damwand in de deklaag dus ook het grootste effect).

Voor de effectberekening wordt gebruik gemaakt van het modelleringsinstrumentarium MORIA. In deze studie wordt MORIA v4.3 gebruikt als uitgangspunt. Het model wordt op een resolutie van 25 bij 25m doorgerekend waarbij de grenzen van het model gebaseerd zijn op eerder geproduceerde output voor het grotere regionale model. Voor het valideren is een periode van 01-01-2005 tot 01-04-2018 doorgerekend. Ter validatie zijn monitoringsgegevens opgevraagd uit het Dinoloket. Deze bestaan vooral uit peilbuisgegevens vanuit filters in deklaag en een aantal in het eerste watervoerende pakket. De locaties van de peilbuizen zijn weergegeven in Figuur 5-1 en Figuur 5-2.



Figuur 5-1 Peilbuizen modelgebied in deklaag



Figuur 5-2 Peilbuizen modelgebied in watervoerende pakketten

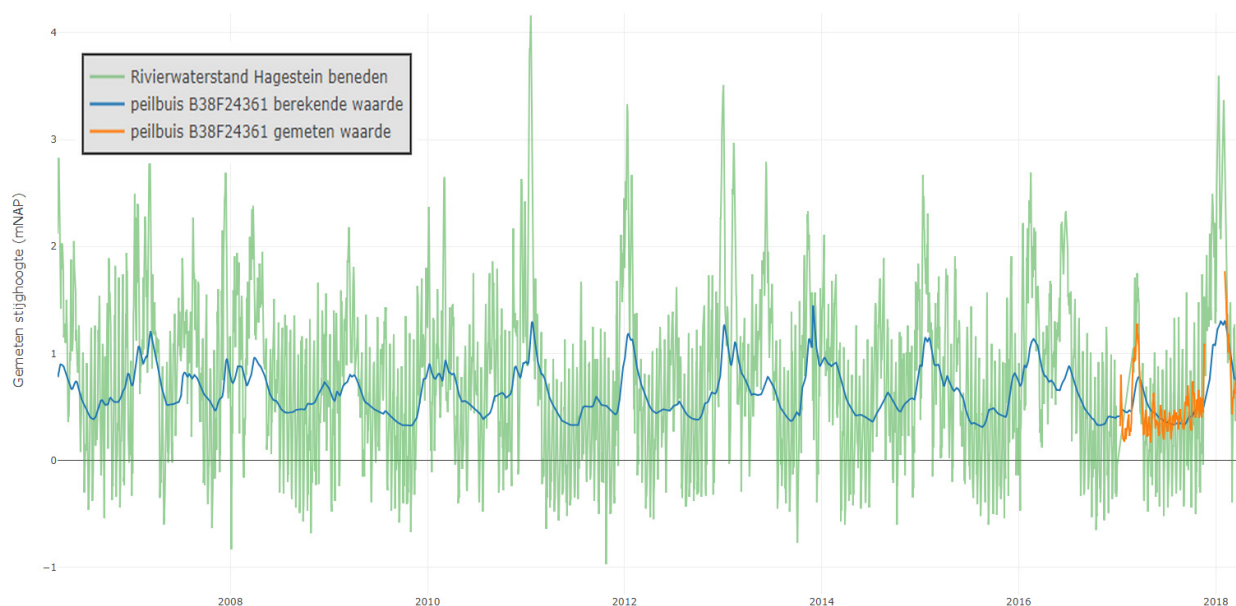
De effecten worden berekend voor de hoogwatersituatie in de winter van 2010-2011 en de GHG en GLG. Het verschil in GHG en GLG wordt gebruikt ter indicatie van de effecten bij hoog en laagwater dat circa 1 maal per jaar voorkomt. De hoogwaterpiek van januari 2011 komt globaal overeen met een T-10 hoogwater.

5.2 Validatie basismodel

Om te bepalen hoe goed het verloop van de grondwaterstand en stijghoogte wordt berekend met het model is een validatie uitgevoerd op basis van de beschikbare metingen. De peilbuizen in de deklaag ten zuiden van de Lek in Figuur 5-1 zijn voornamelijk beschikbaar vanaf begin 2017 tot begin 2018. Voor al deze peilbuizen geldt dat de meetdata mist tussen 20-11-2017 en 03-02-2018. Dat is precies tijdens de piek van een hoogwater in deze periode. De aanloop naar het hoogwater en het uitzakken van de grondwaterstand direct na de piek zit wel in de meetreeksen. Er kan dus niet gevalideerd worden op de exacte hoogte van de piek in de grondwaterstand en stijghoogte. Wel kan de snelle stijging bij het begin van de piek en het snelle uitzakken na de piek vergeleken worden met de modelberekeningen.

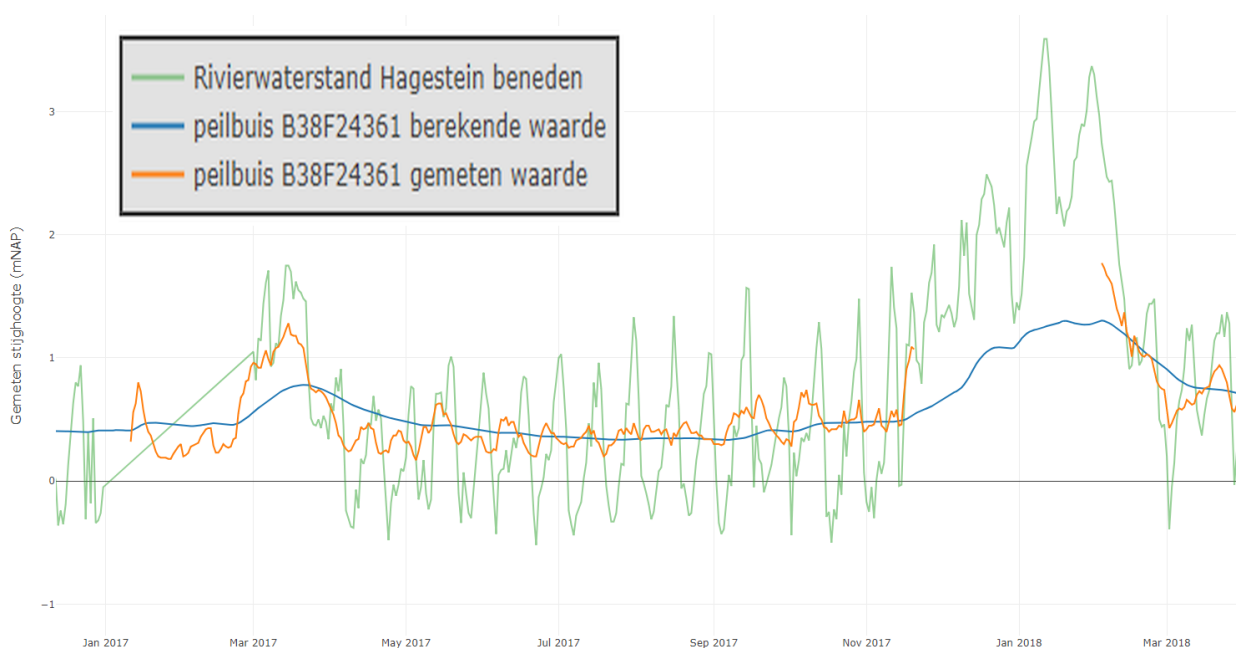
Een voorbeeld van een peilbuis vlakbij het te plaatsen piping scherm is weergegeven in Figuur 5-3 en in meer detail in Figuur 5-4.

Het gemeten verloop van de grondwaterstand in de tijd wordt door het model redelijk goed benaderd. Kleine fluctuaties, veroorzaakt door kleine fluctuaties in het rivierpeil, worden door het model minder berekend. Dat wordt veroorzaakt doordat het opgegeven rivierpeil in het model met stappen van 25 cm varieert. Als er tussen twee tijdstappen een kleiner verschil is in de rivierstand dan wordt geen aangepaste rivierstand in het model meegenomen (dit om de hoeveelheid invoer data van het model enigszins te beperken). Daarnaast fluctueert het rivierpeil gedurende de dag als gevolg van getijdewerking.



Figuur 5-3 Berekende (gemodelleerde) waarde met de gemeten waarden ter hoogte van peilbuis B38F2436-1 en de gemeten rivierwaterstanden bij Hagestein beneden

Tijdreeks B38F24361

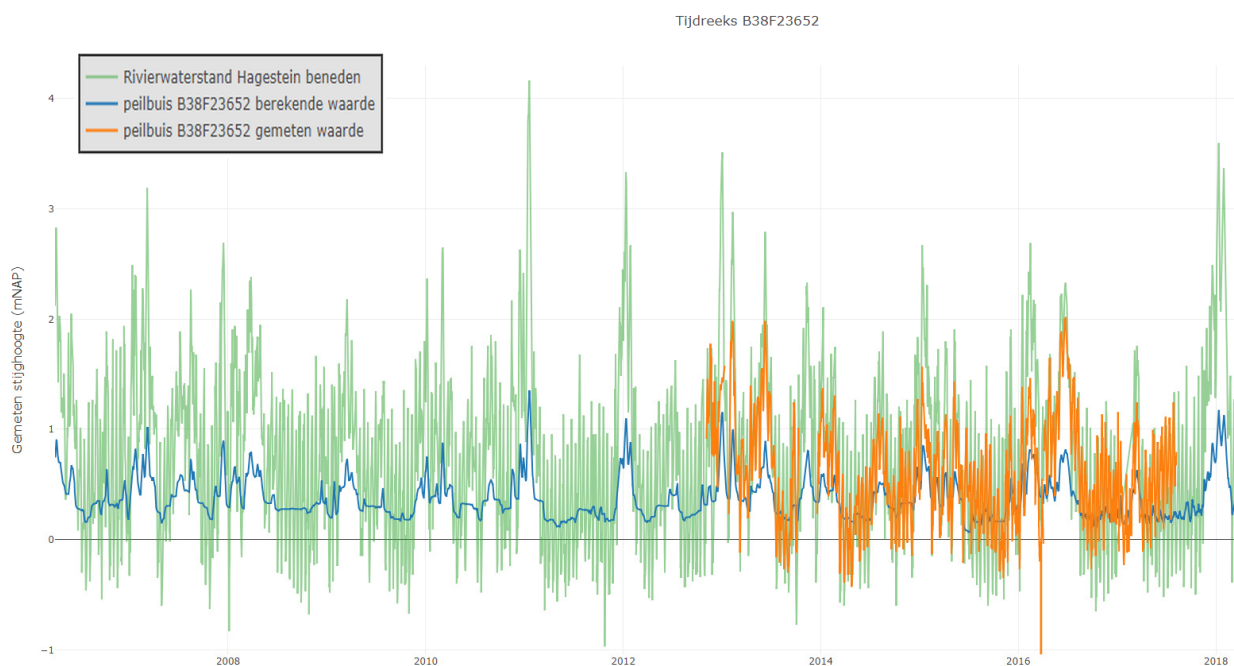


Figuur 5-4 Zoom Figuur 5-3 van 2017/2018

Bij de hoogwaterpiek in december 2017 en januari 2018 en deels ook in mei 2017 is te zien dat de grondwaterstand in de modelberekening minder snel stijgt en ook minder hoog komt dan in de meting. Op basis van het beschikbare deel van de meetreeks in januari 2018 lijkt de piek in de grondwaterstand circa 0.5 meter onderschat te worden. Na de hoogwaterpiek zakt de grondwaterstand ook minder snel weer terug naar het normale niveau. Dit beeld is bij alle peilbuizen in en rondom het projectgebied te zien.

De peilbuizen in het eerste watervoerende pakket ten noorden van de Lek in Figuur 5-2 zijn wisselend beschikbaar vanaf eind 2012 tot begin 2018. In Figuur 5-5 is een peilbuis weergegeven die het dichtst bij de Lek staat achter de dijk en het verste van de modelgrenzen.

Uit deze figuur is de dynamiek in de metingen ten gevolge van het getij goed te zien. In de berekeningen wordt het getij niet meegenomen (berekening op dagbasis) de berekende waarde moet dus midden in de bandbreedte van de metingen liggen. Voor redelijk gemiddelde situaties is dit het geval. Op het moment van een hoogwaterpiek wordt de stijghoogte onderschat tot 0.8 meter (juni 2016). Bij laagwater wordt de stijghoogte overschat tot 0.2 meter (april 2014). De dynamiek van de stijghoogte wordt door het model dus onderschat. De gemiddelde trend van de stijghoogte lijkt echter wel goed weergegeven te worden.



Figuur 5-5 Berekende (gemodelleerde) waarde met de gemeten waarden ter hoogte van peilbuis B38F23652 en de gemeten rivierwaterstanden bij Hagestein beneden

5.3 Modelkalibratie

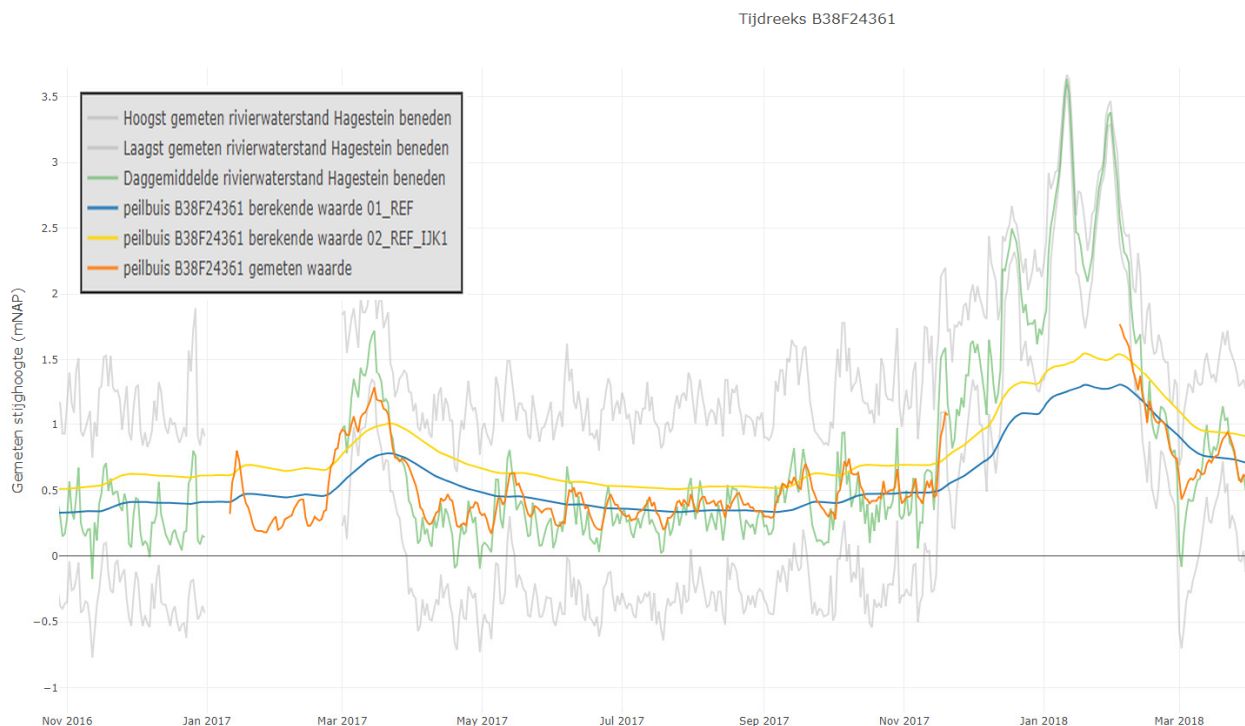
Het gebruikte grondwatermodel is in enkele stappen gekalibreerd met als doel het beter berekenen van het verloop van de grondwaterstand en stijghoogte bij met name de hoogwaterpieken. Op basis van de validatie van het basismodel blijkt dat de dynamiek van de grondwaterstand en stijghoogte als gevolg van fluctuaties in het rivierpeil onderschat wordt. Daarnaast worden de pieken in de grondwaterstand en stijghoogte bij hoogwater onderschat. Blijkbaar heeft de rivierstand in het basis grondwatermodel niet voldoende invloed op de grondwaterstand in de omgeving van de rivier.

Na analyse van de modelinvoer en de rekenresultaten blijkt dat hier meerdere oorzaken voor zijn (deels specifiek voor deze projectlocatie):

- De Vianense waard kan normaal via een drempel afwateren op de Lek op een vast peil van 1.55 m +NAP. In het model zijn in de Vianense waard diverse slootje en greppels opgenomen die altijd op dit niveau kunnen afwateren. In werkelijkheid is afwatering op dit niveau niet mogelijk als het rivierpeil hoger is dan 1.55 m +NAP. Doordat de Vianense waard tijdens de doorgerekende periode (2005 t/m 2018) ook bij de hoogste pieken (net) niet inundeert blijft er in het model steeds afwatering op het lage niveau mogelijk (bij inundatie worden in het model automatisch de afwateringsniveaus aangepast aan het rivierpeil). Dit dempt het effect van de rivier in de directe omgeving van de Vianense waard.
- Er is maaiveld drainage mogelijk op een laag niveau in de delen die niet inunderen.
- Er zit te veel weerstand tussen de rivier en het watervoerende pakket (te hoge weerstand modellaag 1 onder de rivierbedding) en tussen de rivier en de deklaag (te hoge intreeweerstand van de rivier, in het model opgenomen als een te lage conductance).
- De doorlatendheid van de deklaag is (lokaal) te laag. De deklaag lijkt lokaal zandiger / beter doorlatend dan in het basismodel.

Bij de modelkalibratie is eerst de afwatering van de Vianense waard bij hoogwater op de rivier aangepast. Daarbij is ervoor gezorgd dat er geen afwatering mogelijk is op een niveau lager dan het rivierpeil. Vervolgens is voor de resterende (lage) delen van de uiterwaarden gezorgd dat er geen drainage op het niveau van het maaiveld mogelijk is tijdens hoogwater / inundatie.

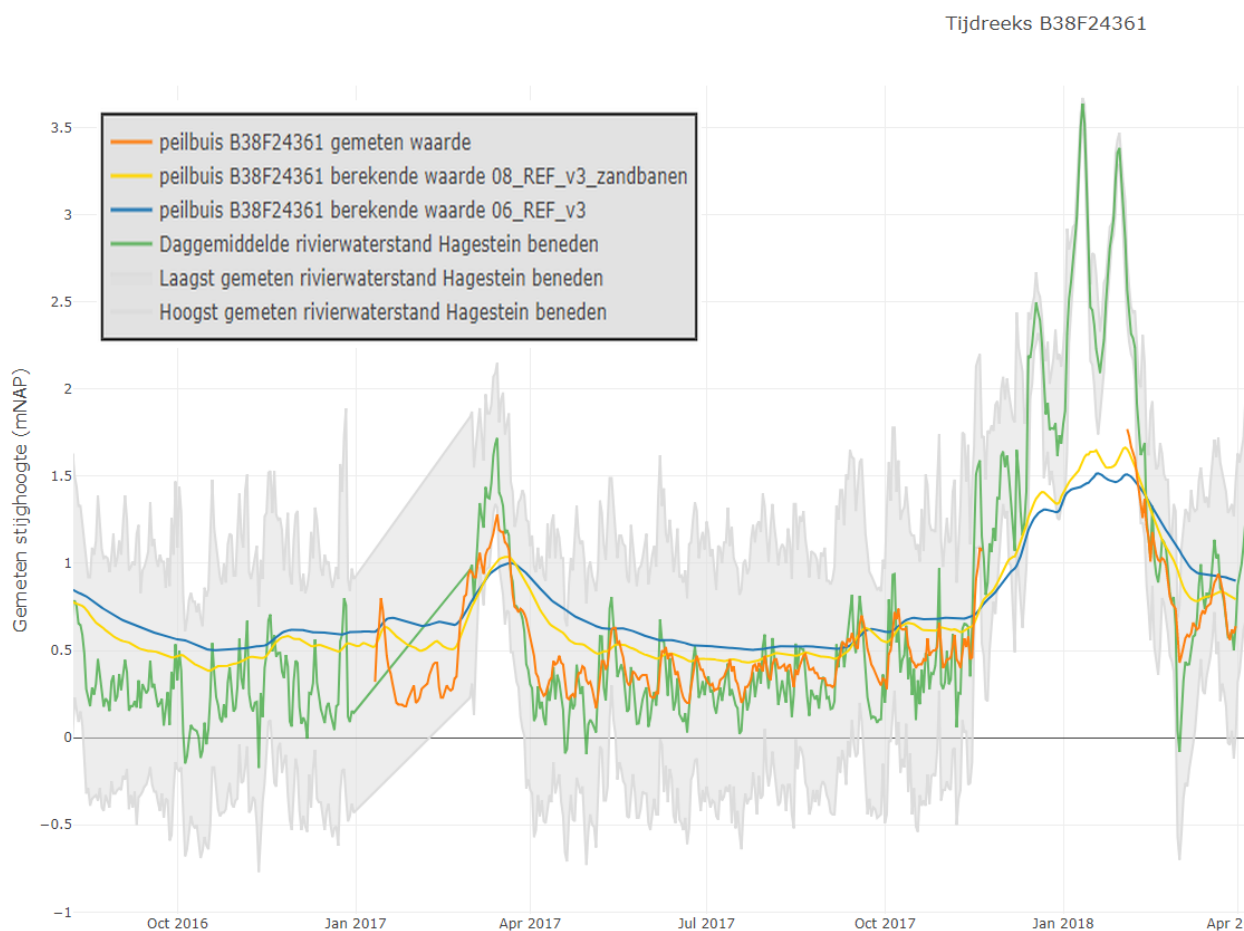
Met deze aanpassingen wordt tijdens hoogwater een hogere grondwaterstand en stijghoogte berekend. Opvallend is dat de grondwaterstand structureel hoger wordt berekend. De snelheid waarmee de grondwaterstand stijgt en weer daalt bij een hoogwaterpiek wordt nog steeds onderschat. Dit beeld is bij alle peilbuizen in en rond het projectgebied te zien.



Figuur 5-6 Berekend verloop van de grondwaterstand bij peilbuis B38F2436-1 basismodel (blauw) en na ijking 1 (geel) vergeleken met gemeten verloop (oranje)

Als tweede stap is de doorlatendheid van de deklaag verhoogd (modellagen 1 t/m 3). Hierbij is de k waarde vermenigvuldigd met 4 en is de minimale k waarde verhoogd 4 m/d zodat ook in zones waar in het basismodel (vrijwel) geen doorlatendheid in de deklaag zat ook stroming mogelijk is. Omdat is uitgegaan van een zandigere deklaag is ook de weerstand tussen modellaag 1 en 2 verlaagd met een factor 0.5 (tussen modellaag 2 en 3 zit op deze locatie geen weerstand in het basismodel).

Met deze aanpassing wordt de invloed van de rivierwaterstand op de grondwaterstand in de deklaag en in het watervoerende pakket vergroot. In de grafiek met gemeten en berekend verloop van de grondwaterstand is te zien dat met deze aanpassing meer dynamiek wordt berekend. Het gemeten snelle stijgen en dalen van de grondwaterstand wordt hierdoor beter benaderd met het model. De piek lijkt nog wel onderschat te worden, maar het is lastig te zeggen hoeveel doordat er geen metingen tijdens het hoogste deel van de piek zijn.

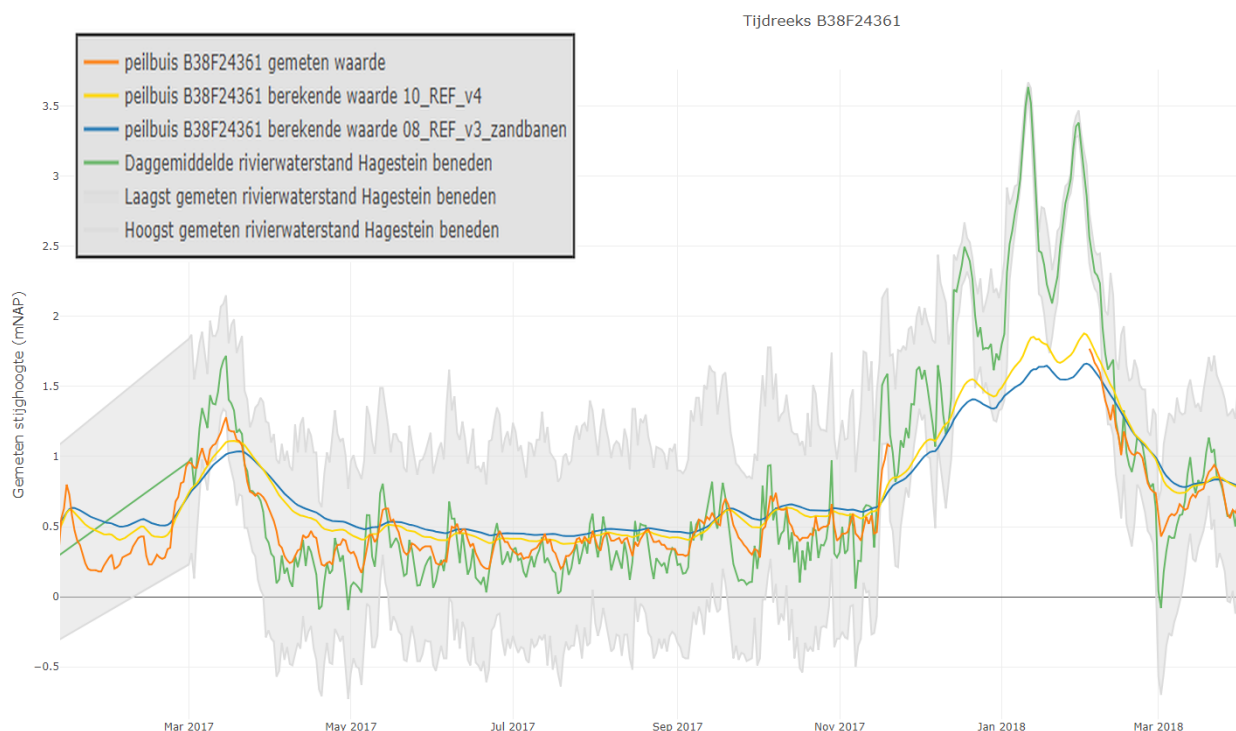


Figuur 5-7 Berekend en gemeten verloop van de grondwaterstand bij peilbuis B38F2436-1. Gemeten verloop (oranje), berekende verloop met deklaag uit basismodel (blauw) en berekende verloop bij zandige deklaag (geel).

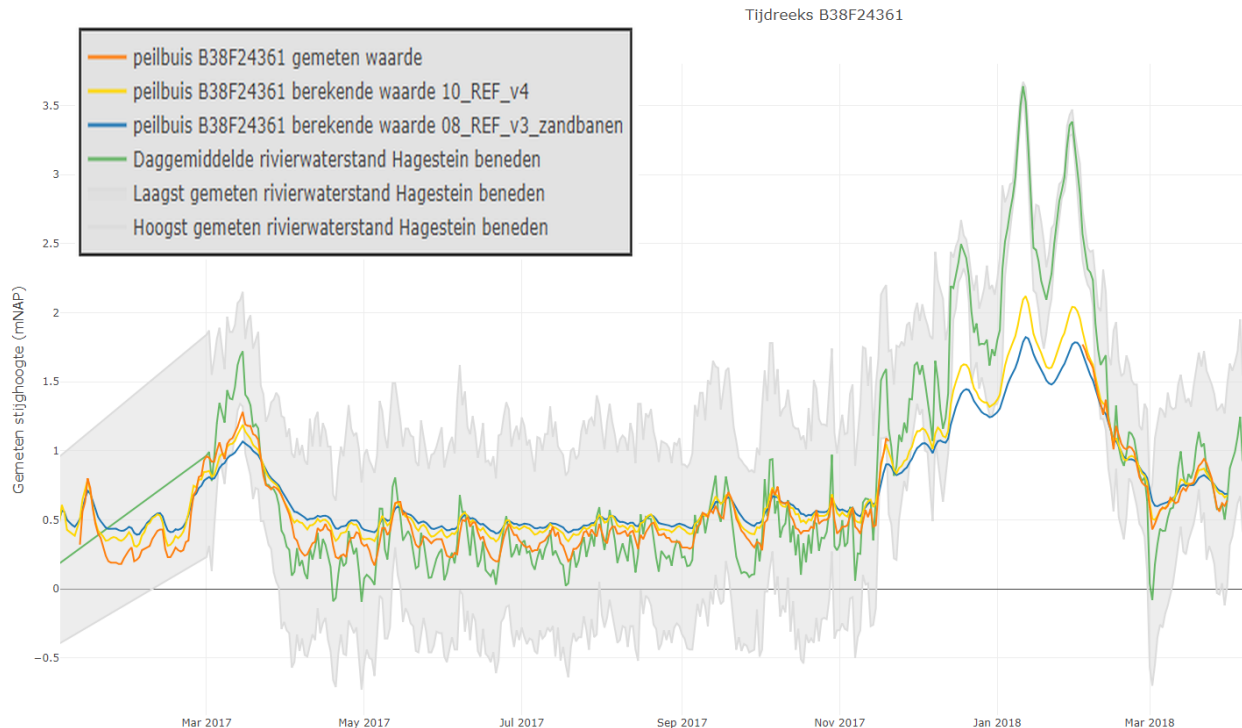
Als laatste kalibratiestap is de invloed van de rivier verder vergroot door de conductance (een maat voor de intreeweerstand van de rivier) te verhogen met een factor 10. De rivier kan daardoor 10 maal sterker infiltreren in de bovenste modellaag vergeleken met het basismodel. Hierbij moet opgemerkt worden dat onder de rivier nog weerstand zit tussen modellaag 1 en 2 waardoor de doorwerking naar de diepere lagen (het watervoerende pakket) beperkt wordt.

Deze aanpassing zorgt voor verdere toename van de dynamiek in de berekende grondwaterstand en stijghoogte. Hierdoor past het berekende verloop beter bij het gemeten verloop. De hoogte van de pieken en de snelheid van stijgen en dalen komen bij deze berekening goed overeen met de metingen. Zie Figuur 5-8.

Omdat de peilbuizen in en rond de projectlocatie ondiepe filters hebben zijn deze in het model toegekend aan modellaag 1. In het model zit alle weerstand van modellaag 1 dus onder deze filters (de weerstand zit tussen modellaag 1 en 2). In werkelijkheid kan de weerstand ook juist (voor een deel) hoger in het bodemprofiel zitten. In dat geval zouden de gemeten grondwaterstanden vergeleken moeten worden met de berekende grondwaterstanden in modellaag 2. In Figuur 5-9 is dit gedaan voor peilbuis B38F2436. Hier is te zien dat het gemeten verloop dan zeer goed wordt benaderd. Met name de snelheid van stijgen en dalen en de hoogte van de piek worden nog beter berekend. Bij deze vergelijking is het niet zeker welke berekening het beste de metingen benaderd. De berekening met zandige deklaag (REF3) en de berekening met zandige deklaag plus lagere intreeweerstand van de Lek (REF4) passen dan beide goed bij de metingen.



Figuur 5-8 Berekend en gemeten verloop van de grondwaterstand bij peilbuis B38F2436-1. Gemeten verloop (oranje), berekende verloop bij zandige deklaag (blauw) en berekende verloop bij 10 maal lager intreeweerstand van de rivier (geel).



Figuur 5-9 Berekend en gemeten verloop van de grondwaterstand bij peilbuis B38F2436-1. Gemeten verloop (oranje), berekende verloop bij zandige deklaag (blauw) en berekende verloop bij 10 maal lager intreeweerstand van de rivier (geel). Berekend verloop uit modellaag 2 in plaats van modellaag 1.

Op basis van de vergelijking van de laatste twee kalibratieslagen is besloten om de effecten van het aanbrengen van het pipingscherm te berekenen op basis van beide referentieberekeningen.

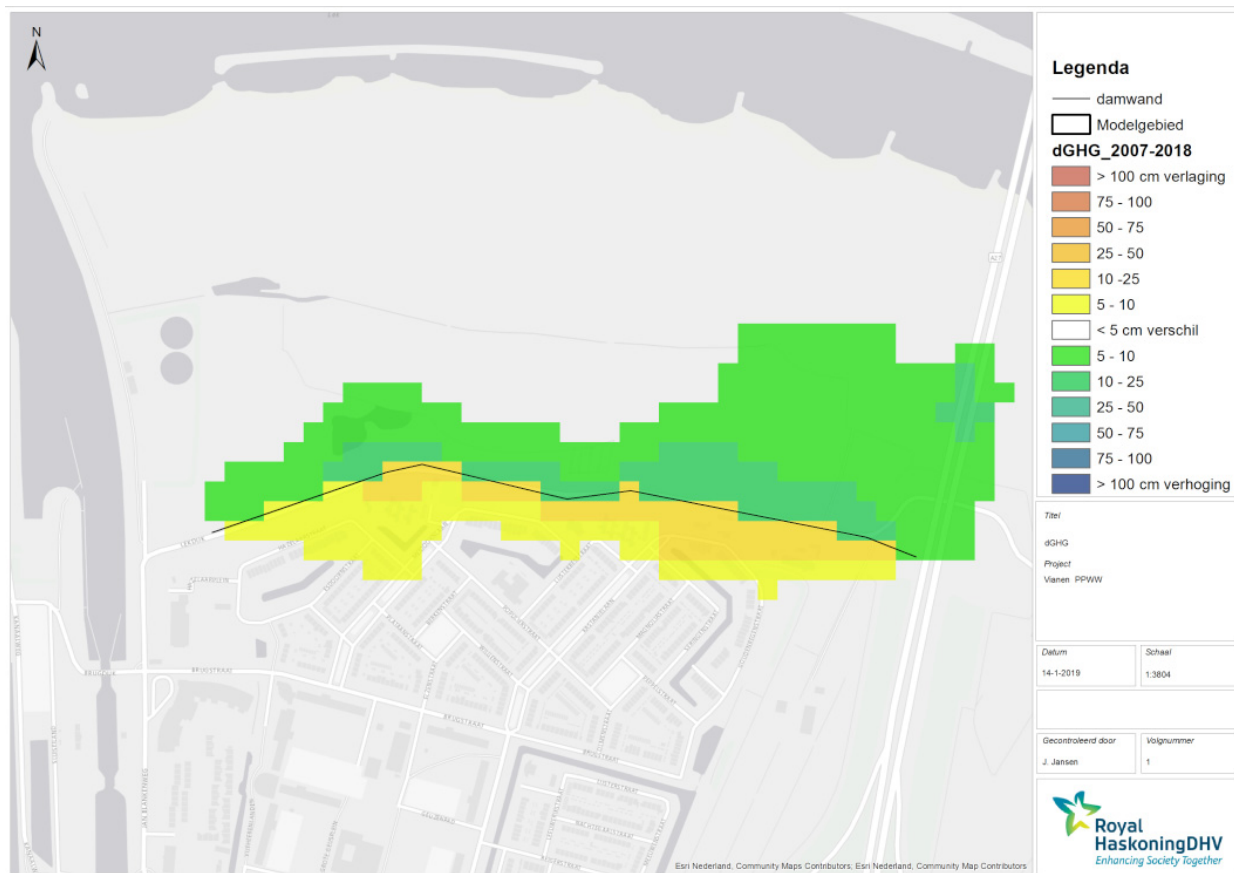
- REF3: Basismodel met aanpassing afwatering Vianense waard, verhoging doorlatendheid deklaag (factor 4, minimale k-waarde 4 m/d) en verlaging deklaagweerstand (factor 0.5).
- REF4: Gelijk aan REF3 maar met intreeweerstand Lek verminderd met factor 10.

5.4 Resultaat effectberekening

5.4.1 Op basis van REF3 (zandige deklaag / zandbanen)

In de GHG-situatie is er stroming door de deklaag vanaf de rivier naar het binnendijkse gebied. Door het aanbrengen van de damwand is deze ondiepe stroming niet meer mogelijk. Aan de rivier zijde van de damwand wordt daardoor een hogere grondwaterstand berekend (opstuwing) en aan de binnendijkse zijde van de damwand wordt een verlaging van de grondwaterstand berekend. De verhoging aan de buitendijkse zijde van de dijk is maximaal circa 25 cm. Aan de binnendijkse zijde is de berekende verlaging circa 5 tot 25 cm. De 5 cm verlagingcontour ligt op maximaal 100 tot 150 meter dan de damwand. Zie figuur 5.10.

In de GLG-situatie is het berekende effect van de damwand zeer beperkt. In deze situatie is er zeer beperkt stroming door de deklaag vanaf het binnendijkse gebied richting de lek. De damwand zou dan een licht opstuwende werking kunnen hebben. In de modelberekening werkt echter het verlagerende effect dat binnendijs optreedt bij hoogwater lang door waardoor dit in de zomer, bij laagwater ook nog merkbaar is. Er resteert dan in een kleine zone een minimale verlaging van de grondwaterstand binnendijs en een minimale verhoging van de grondwaterstand buitendijs.



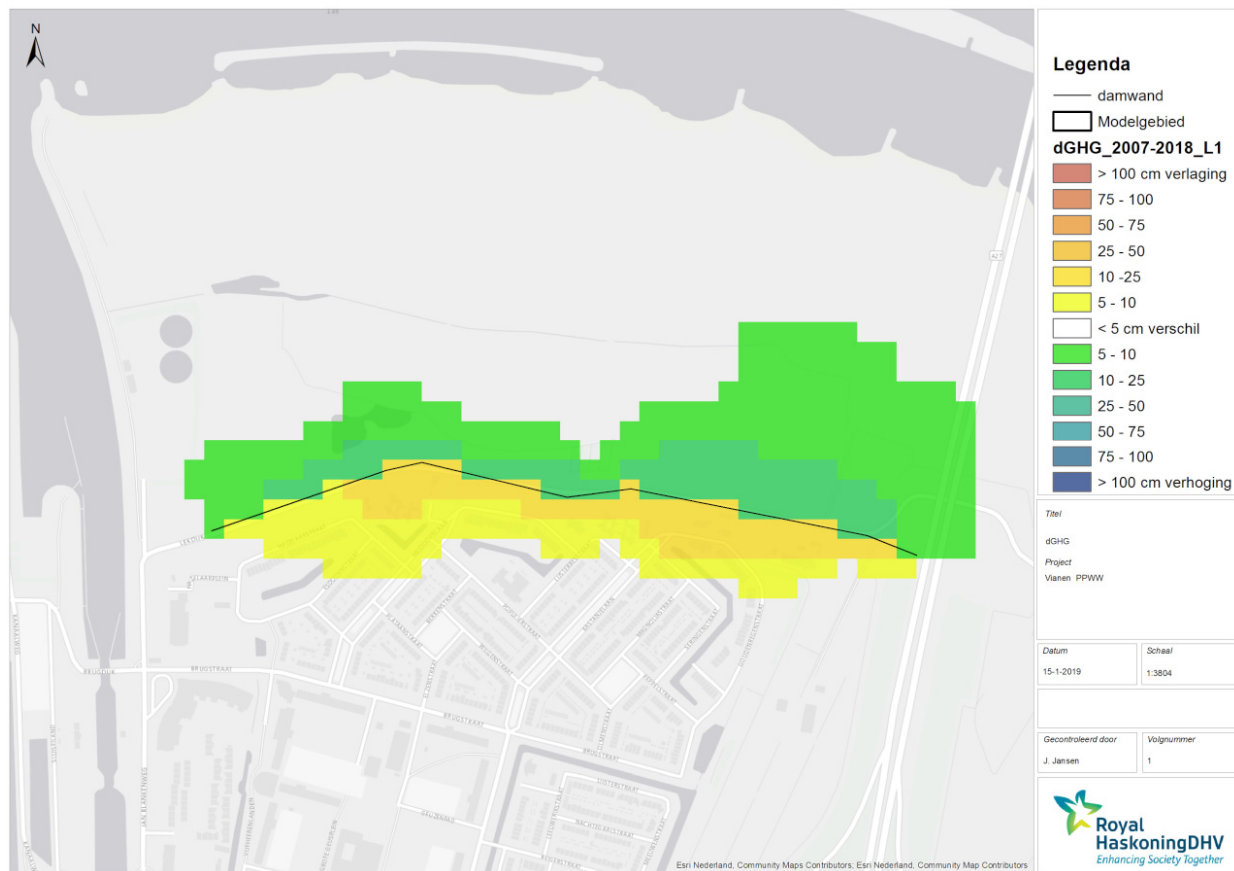
Figuur 5-10 Berekende verandering van de GHG



Figuur 5-11 Berekende verandering van de GLG

5.4.2 Op basis van REF4 (zandbanen en lage intreeweerstand rivier)

Doordat er bij deze berekening meer interactie is tussen het rivierpeil en de grondwaterstand binnendijs is ook het berekende effect van het piping scherm groter. Het berekende effect is wel vergelijkbaar met het eerder berekende effect. Bij hoogwater wordt de grondwaterstand direct binnendijs minder sterk verhoogd. Bij laagwater is er een minimaal effect te zien.



Figuur 5-12 Berekende verandering van de GHG



Figuur 5-13 Berekende verandering van de GLG

6 Conclusie

6.1 Werking grondwatersysteem

De Lek heeft een zeer sterke invloed heeft op de werking van het watersysteem direct rondom de rivier. In de gemiddelde situatie lijkt voornamelijk het verschil in de rivierwaterstand tussen stuw Hagestein boven en beneden de grondwaterstromingen in het eerste watervoerende pakket te bepalen.

Hoogwaterperioden

De Lek heeft tijdens hoogwaterperioden een sterk infiltrerende werking waarbij er ook een sterke binnendijkse kwel is. De hoge waterstand op de Lek zorgt ervoor dat de stijghoogten vlak achter de dijk sterk toenemen. De invloed van de Lek neemt af naar mate de afstand tot de Lek toeneemt. Daardoor zie je ook binnendijkse gebieden die een licht tot matige infiltratie laten zien. Dit wordt veroorzaakt door de infiltratie van neerslag.

De uiterwaarden ten noorden van de Lek staan tijdens de gemodelleerde hoogwatergolf onder water. De uiterwaarden ten zuiden van de Lek staan onder water tot de zomerdijk. Daardoor treedt er tijdens deze situatie (sterke) infiltratie op naar het eerste watervoerend pakket in de gebieden die onder water staan. Daarnaast is er ook sprake van een stroming richting binnendijs gebied.

Laagwaterperioden

Tijdens een laagwatersituatie is de hydrologische werking niet zozeer omgedraaid maar bepaalt het verschil in rivierwaterstand tussen Hagestein boven en Hagestein beneden en de lagere peilgebieden ten noorden van de Lek de grondwaterstromingen. Hierdoor stroomt het water voornamelijk vanuit het zuidoosten naar het noorden, wat goed is terug te zien in de stijghoogtepatronen.

6.2 Verwacht effect van aanbrengen damwand op basis van analyse bodemopbouw en grondwatersysteem

De damwand wordt aangebracht tot een diepte van circa -12 m NAP en sluit daarmee de deklaag volledig af. Het onderliggende watervoerende zandpakket wordt niet afgesloten. Dit zandpakket heeft een dikte van circa 50 meter (globaal tot -60 m NAP).

In de situatie zonder damwand is er bij hoogwater sprake van kwel onder de dijk door. Een deel van deze kwel vindt plaats door de deklaag en dan vooral via de daarin aanwezige zandbanen. Dit zorgt voor kwel direct binnendijs. In het onder de deklaag aanwezige watervoerende zandpakket (dikte circa 50 meter) vindt bij hoogwater ook verhoging van de stijghoogte plaats. Hierdoor neemt de kwel vanuit het watervoerende pakket naar/door de deklaag toe. Dit heeft tot op grotere afstand van de dijk effect.

Het afsluiten van de deklaag zorgt ervoor dat de ondiepe kwel onder de dijk door sterk beperkt wordt. Dit effect is groter als er meer goed doorlatende zandbanen in de deklaag aanwezig zijn of als deze een grote dikte hebben. Het effect is beperkt tot een zone direct binnendijs.

Het watervoerende pakket wordt niet of zeer beperkt afgesloten door de damwand. De stijghoogte in het watervoerende pakket wordt daardoor niet beïnvloed door de aanleg van de damwand. Daardoor wordt ook geen invloed verwacht op de kwel vanuit het watervoerende pakket.

6.3 Rekenresultaten effect aanbrengen damwand

Met behulp van het grondwatermodel is berekend wat het effect van de aanleg van het piping scherm op de grondwaterstand is. Afhankelijk van de mate van doorlatendheid van de deklaag die wordt aangenomen en van de intree weerstand van de rivier varieert het berekende effect. Alle berekeningen laten wel globaal op dezelfde locaties een vergelijkbaar effect zien:

- Direct binnendijs verlaging van de GHG en de grondwaterstand bij de piek in 2011. De verlaging is circa 5 tot 25 cm in een zone tot maximaal 100 a 150 meter vanaf de dijk.
- Op grotere afstand van de dijk is er geen effect van het aanbrengen van het piping scherm. Hier wordt de stijghoogte en de mate van kwel vooral bepaald door stroming via het watervoerende pakket (dat niet wordt afgesloten).
- Bij de GLG / laagwater situatie is het effect van het piping scherm zeer beperkt.