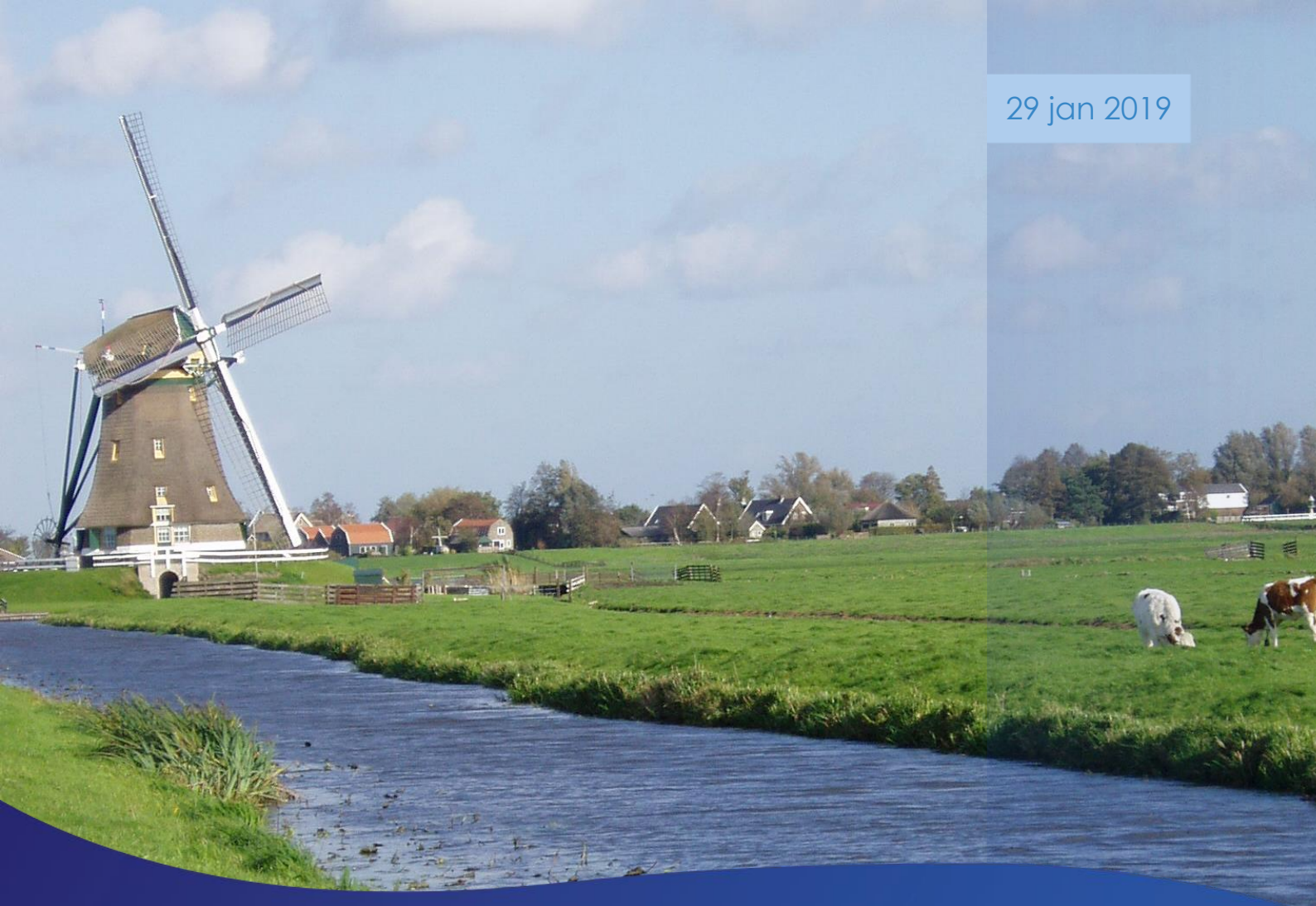
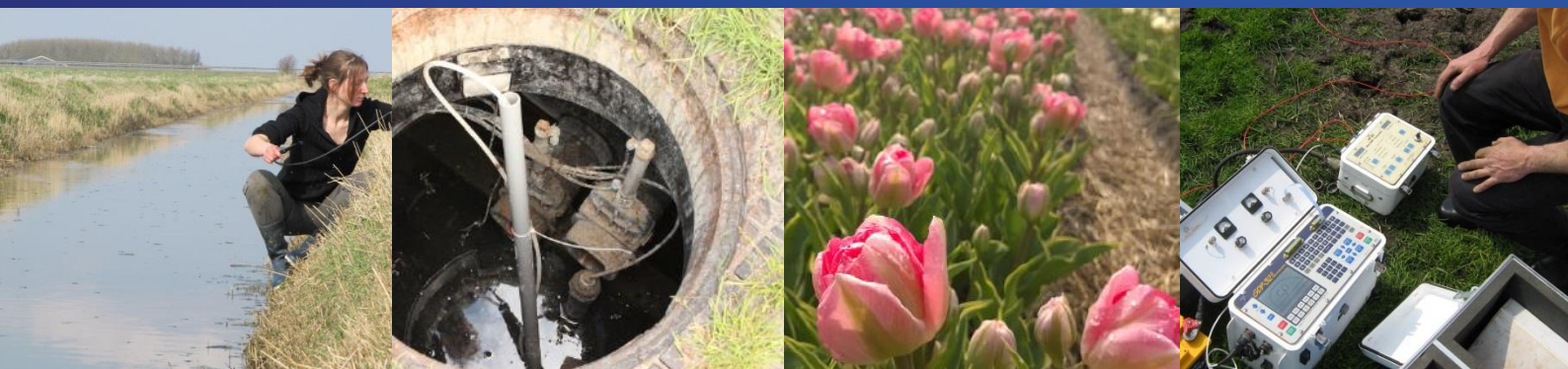


29 jan 2019



Natuurontwikkeling Demen- Dieden

Geohydrologisch onderzoek ten behoeve van MER en
vergunningsaanvragen
Definitief rapport



Colofon

Documenttitel	. Natuurontwikkeling Demen-Dieden
Opdrachtgever	. LieveenseCSO
Verantwoordelijke bij opdrachtgever	. Beatriz de la Loma
Status	. Definitief rapport
Datum	. 29 jan 2019
Projectnummer	. 180830
Projectteam	. Annemieke van Doorn en Beatriz de La Loma Gonzalez
Kenmerk	184_AD_180830
Collegiale toetsing door	Arjen Roelandse
Vrijgegeven door	Beatriz de la Loma Gonzalez
Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding.....	7
1.2	Doel en aanpak.....	8
1.3	Leeswijzer	8
2	Vergelijkingsvarianten en het VKA	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Vergelijkingsvarianten	9
2.3	Voorkeursalternatief (VKA)	11
3	Systeemanalyse	13
3.1	Bodemopbouw	13
3.2	Oppervlaktewater	16
3.3	Maaiveldhoogte	17
3.4	Grondwater.....	18
4	MORIA-model	20
4.1	Aanpassingen aan het model	20
4.2	Opzet stationaire model.....	23
4.3	Opzet niet-stationaire model	24
4.4	Validatie niet-stationaire model	24
4.5	Gevoeligheidsanalyse vergelijkingsvarianten en weerstand deklaag in de uiterwaarden	26
5	Hydrologische effectbeschrijving VKA	29
5.1	Effect op grondwaterstand en stijghoogte.....	29
5.2	Effect op aan- en afvoer.....	33
6	Beoordeling VKA.....	39
6.1	Toetsingscriteria	39
6.2	Beoordeling VKA toetsingscriteria	39
6.3	Effecten VKA op functies	40
7	Conclusie	42
8	Literatuur	44

Bijlagen

- 1 Achtergrondinformatie deklaag
- 2 Weerstand deklaag

- 3 Bodemopbouw referentiemodel
4. Hydrologische effectbeschrijving
5. Effect van het VKA bij MHW

Lijst termen en afkortingen

Overzicht gebruikte termen en afkortingen in deze rapportage

FFF	Modelterm waterbalans: flux front face. Dit is het volume water dat vanuit een modelcell naar de ernaast gelegen modelcell stroomt (Y-richting)
FLF	Modelterm waterbalans: flux lower face. Dit is het volume water dat vanuit een modelcell naar de erboven gelegen modelcell stroomt (z-richting)
FRF	Modelterm waterbalans: flux right face. Dit is het volume water dat vanuit een modelcell naar de ernaast gelegen modelcell stroomt (X-richting)
GG	Gemiddelde grondwaterstand
GHG	Gemiddelde hoogste grondwaterstand, gebaseerd op de drie hoogste grondwaterstanden per jaar, bij half-maandelijkse metingen
GLG	Gemiddelde laagste grondwaterstand, gebaseerd op de drie laagste grondwaterstanden per jaar, bij half-maandelijkse metingen
GXG	Een verzamelterm voor de gemiddelde grondwaterstand (GG), gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste (GLG) grondwaterstand
MHW	Maatgevend Hoogwater. Waterniveau op de Maas dat gemiddeld 1-maal per 1250 jaar voorkomt. Dit is het niveau waarbij de toetsing van dijken plaatsvindt.
sl	Scheidende laag
T = 10	Waterpeil op de Maas dat gemiddeld eenmaal per 10 jaar voorkomt
VKA	Voorkeursalternatief
wvp	Watervoerende pakket

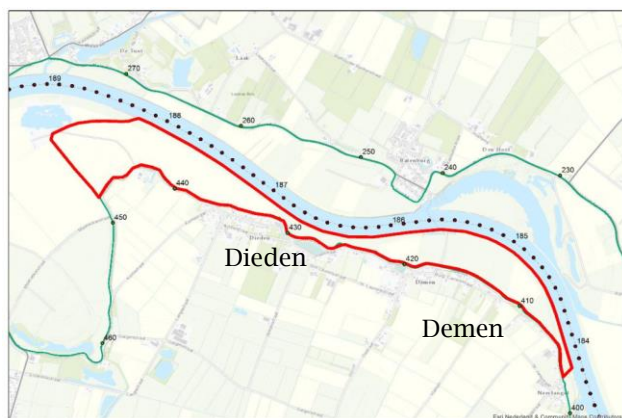
1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Natuurmonumenten heeft het initiatief genomen voor het natuurontwikkelingsproject Demen-Dieden (Figuur 1). Het plan bestaat uit het verlagen van de uiterwaarden en het graven van nevengeulen waardoor zich natuur kan ontwikkelen en de waterveiligheid wordt vergroot. Natuurmonumenten investeert in het project vanuit haar programma MeerMaas, een investeringsfonds voor natuurontwikkeling voor de bedijkte Maas tussen Ravenstein en Raamsdonksveer. Natuurmonumenten werkt samen met Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat investeert in het project vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW) met als doel het ecosysteem van de Maas te herstellen. Hiervoor zijn opgaven en doelen voor de Maas geformuleerd (Richtlijn 2000/60/EG, in juni 2005 geïmplementeerd in de Nederlandse wetgeving). Tevens is Rijkswaterstaat betrokken vanuit de eigendomssituatie van de oeverzone. De grondstoffen (keramische klei) die bij de verlaging vrijkomen, worden afgezet op de markt ten behoeve van de baksteen- en dakpanindustrie. Deze kleiwinning is daarbij ook één van de motoren achter het plan.

Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat hebben de wens uitgesproken de planvorming voor het natuurontwikkelingsproject integraal op te pakken. Natuurmonumenten heeft hierover afstemming met de andere terreineigenaren Van de Wetering b.v., Nass en het waterschap Aa en Maas. De plannen worden zover uitgewerkt dat alle benodigde vergunningen kunnen worden aangevraagd en verkregen. Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat hebben nog geen afspraken gemaakt over de latere uitvoering van het project; in principe moet de uitvoering van de werkzaamheden in de uiterwaarden en in de oeverzone ook onafhankelijk van elkaar uitgevoerd kunnen worden.

In het kader van dit project is een hydrologische studie uitgevoerd als onderdeel van het MER-traject. Onderhavige rapportage dient tevens als onderbouwing voor de vergunningsaanvraag in het kader van de Waterwet.



Figuur 1 Locatie Demen en Dieden

1.2 Doel en aanpak

Het effect van de natuurontwikkeling door kleiwinning op de omliggende geohydrologie wordt bovenal bepaald door de weerstand, die deels verwijderd wordt, door de vergraving. Ondanks dat er grootschalig onderzoek is gedaan naar de verbreiding van de kleilaag, blijft de weerstand van de kleilaag een onzekere factor. Om deze reden is in overleg met waterschap Aa en Maas besloten om tijdens de analyse van de vergelijkingsvarianten (basisvariant vergraving en maximale vergraving) de gevoeligheid van de deklaagweerstand in de uiterwaard te onderzoeken. Dit is gedaan aan de hand van stationaire berekeningen met het MORIA modelinstrumentarium en een bandbreedte van weerstandswaarden.

Op basis van de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse is een worst-case aanname gedaan voor de weerstand van de deklaag en zijn voor het voorkeursalternatief (VKA) de effecten niet-stationair berekend. De hydrologische effecten van het VKA zijn voor de gemiddelde, gemiddeld droge en natte omstandigheden en voor een hoogwatersituatie T=10 in kaart gebracht en beoordeeld aan de hand van beoordelingscriteria. Een T=10 hoogwatersituatie komt theoretisch 1x per 10 jaar voor. Ten behoeve van de geotechnische toetsing is het model ook voor een MHW-situatie doorgerekend.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de hydrologische effecten van de vergravingen in de uiterwaarden Dieden en Demen. De vergelijkingsvarianten en het VKA worden toegelicht in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 gaat in op de aangeleverde gegevens van het gebied. In het kader van dit project zijn met name veel boringen uitgevoerd in de uiterwaard. Deze gegevens zijn vertaald naar input voor het grondwatermodel.

Hoofdstuk 4 beschrijft de aanpassingen die zijn uitgevoerd aan het regionale grondwatermodel MORIA v3.2, bevat een validatie van het model aan grondwaterstandsmetingen en beschrijft de gevoeligheid van het systeem en de maatregel voor de weerstand van de deklaag in de uiterwaard. Hoofdstuk 5 beschrijft de hydrologische effecten die zijn berekend met het model voor het VKA. Vervolgens zijn de hydrologische effecten getoetst aan de beoordelingscriteria. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 6.

2

Vergelijkswarianten en het VKA

2.1 Inleiding

Kern van het project is de aanleg van een nevengeul in de uiterwaard (buiten de beschermingszone) tot op de onderliggende zandondergrond. Hiermee ontstaat een voor natuurontwikkeling gunstige uitgangssituatie. De vrijkomende klei wordt gewonnen voor de keramische industrie. Hierdoor ontstaan ter hoogte van Demen en Dieden brede meestromende ondiepe zandige oevergeulen. Deze geulen zijn tweezijdig aangetakt aan de rivier, met instroomdrempels onder stuwpeil. Tussen de geulen en de Maas ontstaan zandige platen en eilanden daar waar de zandspiegel hoger ligt dan het stuwpeil. De geulen zijn zo vormgegeven dat er door het rivierwater steile buitenbochten en flauwe binnenbochten ontstaan.

In de ontwerpfase zijn varianten ontworpen, uitgewerkt en getoetst. Dit zijn zogenaamde “vergelijkingsvarianten”, die alleen zijn gebruikt om effecten op het gebied van rivierkunde en geohydrologie beter te kunnen bepalen. Reden hiervoor is dat er een afweging moet worden gemaakt tussen versterking van natuur, kleiwinning, en de effecten daarvan op de waterstand, grondwater en (dwars)stroming voor de scheepvaart. Om tot een optimum van deze verschillende parameters te komen zijn daarom de vergelijkingsvarianten opgesteld. De effectbeschrijving en -beoordeling is vervolgens alleen uitgevoerd voor het voorkeursontwerp.

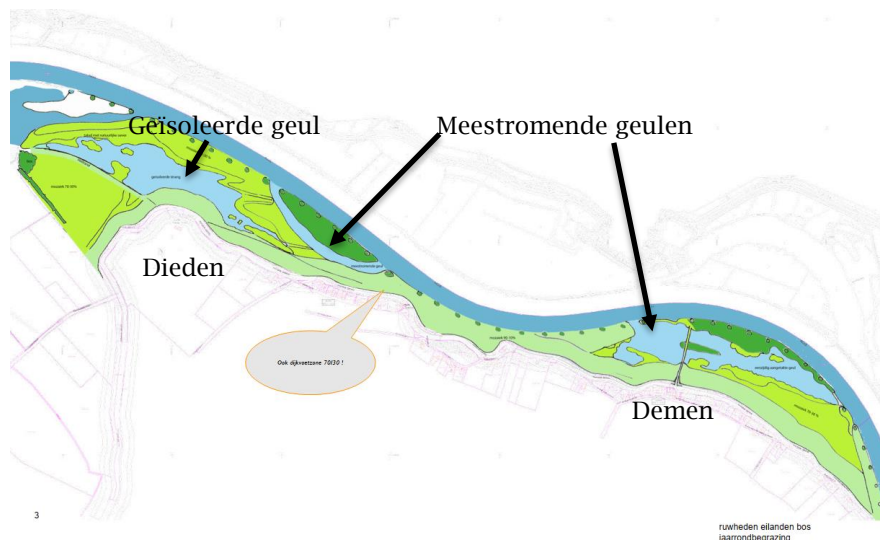
2.2 Vergelijkingsvarianten

2.2.1 Basisvariant

De basisvariant is de variant waaraan is geoptimaliseerd om tot een voorkeursontwerp te komen. Ter hoogte van Demen ontstaat een brede, meestromende, ondiepe, zandige oevergeul door de afgraving. Deze geul is tweezijdig aangetakt aan de rivier, met een instroomdrempels onder stuwpeil (4.9 m +NAP).

Tussen Demen en Dieden wordt geen klei gewonnen. De uiterwaard is hier zo smal dat verlagen binnen de dijkbeschermingszone zou vallen.

Ten westen van Dieden worden twee geulen aangelegd, gescheiden door een hogere rug. Dicht bij de dijk komt een nagenoeg permanent van de Maas geïsoleerde geul waar waterplanten groeien. Het kleipakket is hier zo dik, dat door alles afgraven alleen water zou ontstaan. Daarom blijft een deel van de klei achter. Tussen de geïsoleerde geul en de rivier komt een kleine meestromende geul. De drempel van de geul (fysieke instroomhoogte) ligt onder stuwpeil.

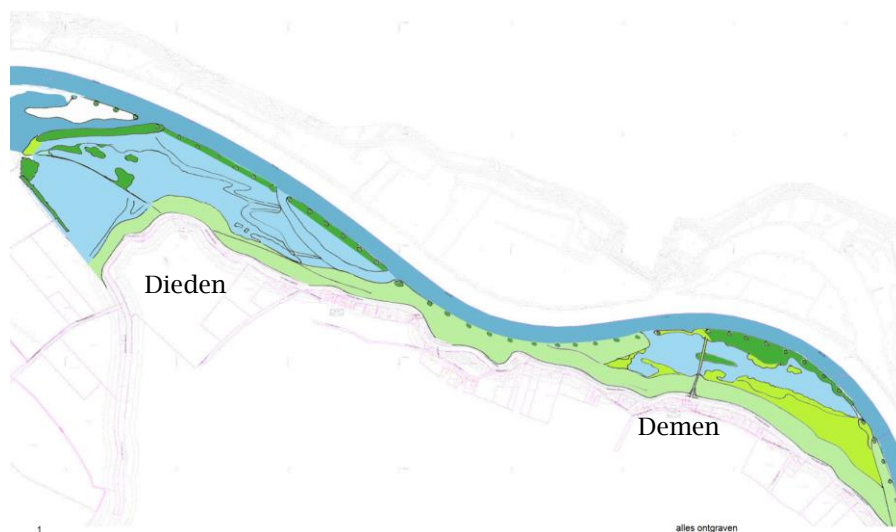


Figuur 2 Verbeelding basisvariant

2.2.2

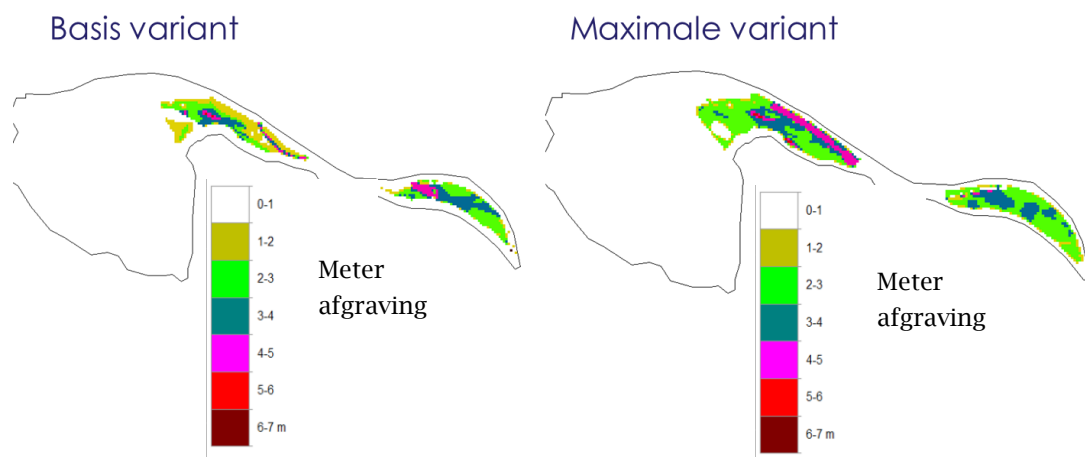
Maximale ontgraving

Bij deze variant wordt alleen alle beschikbare klei in het gebied afgegraven, er wordt dus gekeken naar de aanwezige diepte van alle bruikbare klei. Roofgrond of andersoortige grond (onbruikbare klei en/of ophoogzand) wordt uitgewisseld tegen keramische klei en grover zand in de ondergrond. Ten opzichte van de basisvariant wordt het vergravingsgebied met name aan de westkant uitgebreid.



Figuur 3 Verbeelding variant maximale ontgraving

Figuur 4 geeft de vergravingsdiepten weer voor de twee varianten (bron: hoogtemodellen ontwerp).



Figuur 4 Vergravingsdiepte in meters voor de twee vergelijkingsvarianten

2.3 Voorkeursalternatief (VKA)

Het voorkeursontwerp is het resultaat van diverse verkenningen, schetsstudies en gebiedsanalyses die reeds sinds omstreeks 2002 zijn uitgevoerd naar de potentie voor natuurontwikkeling, de eigendomssituatie, de historie van het gebied, de bodemopbouw en de rivierkundige effecten.



Figuur 5 Voorkeursontwerp

Kern van het project is een maaiveldverlaging middels aanleg van een geulen in de uiterwaard (buiten de beschermingszone) tot op de onderliggende zandondergrond. Tussen de geulen vormt het verlaagde maaiveld de basis voor natuurontwikkeling: een gevarieerde grasvegetatie, overwegend open, met spontaan gevestigde kruiden, waar door zorgvuldig beheer een beperkt oppervlakte struweel en bomen tot ontwikkeling komen.

Ter hoogte van Demen ontstaat een brede, meestromende, ondiepe, zandige oevergeul. Deze geul is tweezijdig aangetakt aan de rivier, met instroomdrempels op 4.5 m +NAP. Tussen de geul en de Maas ontstaan zandige platen en eilanden daar waar de zandspiegel hoger ligt dan het stuwpeil.

De geul is zo vormgegeven dat er door het rivierwater steile buitenbochten en flauwe binnenbochten ontstaan. In de buitenbocht ontstaan steilranden, dit is gunstig voor bijvoorbeeld oeverzwaluwen. In de flauwe binnenbochten zijn de stroomsnelheden beperkt, waardoor hier zich oever- en watervegetaties ontwikkelen. Aan de westzijde van de Demense uiterwaard is een eenzijdig (benedenstrooms) aangetakte nevengeul toegevoegd. Deze rivierkundige optimalisatie is doorgevoerd om de uitstroom bij hogere waterstanden te verdelen en de voor scheepvaart ongewenste dwarsstroming te beperken.

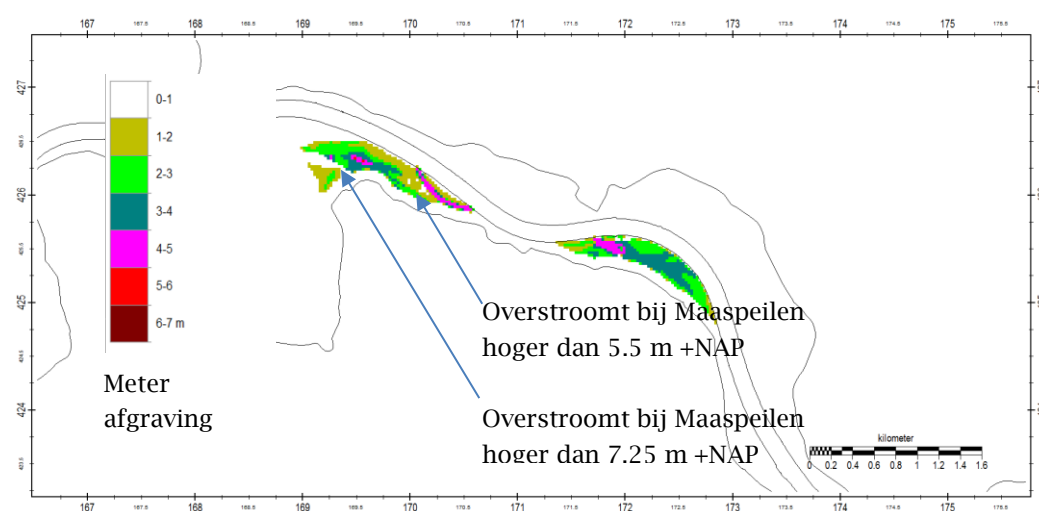
Tussen Demen en Dieden wordt geen klei gewonnen. De uiterwaard is hier zo smal dat verlagen binnen de dijkbeschermingszone zou vallen.

Ten westen van Dieden worden twee geulen aangelegd, gescheiden door een hogere rug. Dicht bij de dijk komt een nagenoeg permanent van de Maas geïsoleerde geul waar waterplanten groeien. De geïsoleerde geul ligt op de plaats waar op de historische kaart ook een geul is te zien. De nieuwe geul is echter omvangrijker. De tussengelegen gronden zijn in deze uiterwaard slechts lokaal zandig. Het kleipakket is hier zo dik, dat door alles afgraven alleen water zou ontstaan. Daar blijft een deel van de klei achter.

Tussen de geïsoleerde geul en de rivier komt een kleine meestromende geul. Het tracé van deze geul is afgeleid van de historische situatie: hier lag vroeger een oude kade. Nabij de geïsoleerde geul is de (verlaagde) Lelyzone in de huidige situatie plaatselijk nog redelijk zichtbaar. Dit is de aanleiding om nabij Hectometerpaal 440 de dijkzone niet af te graven tot er 1 m klei overblijft. Hierdoor blijft de Lelyzone als terreinsprong beter herkenbaar. Het maaiveld wordt na ontkleien aangevuld in aansluiting op de bestaande laagte in de dijkzone.

In de dijkzone wordt binnen 75 meter, gerekend vanaf de teen van de primaire kering, geen grond ontgraven. De mogelijke archeologische waarden van deze dijkzone maken afgraven onverstandig. Bovendien is er al sprake van een laagte.

Figuur 6 geeft de afgravingddiepte weer en het waterniveau waarbij aangebrachte laagtes in het maaiveld overstromen vanaf de Maas.



Figuur 6 vergravingsdiepte in meters voor het VKA

3

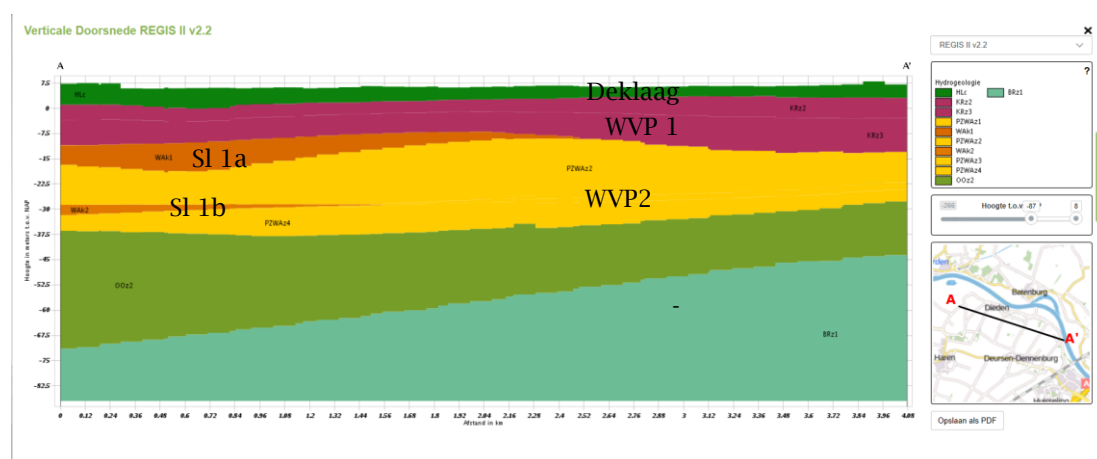
Systeemanalyse

3.1 Bodemopbouw

Ter plaatse van het binnendijkse gebied zijn enkele boringen, dieper dan 15 m-mv, beschikbaar in het DINOloket. De meeste boringen hebben een diepte van ongeveer 20 m. Daarnaast is het REGIS beschikbaar voor een regionaal beeld van de bodemopbouw. In het kader van de uiterwaardvergraving en de dijkstabiliteit is onderzoek uitgevoerd naar de dikte van de kleilaag in de uiterwaard. De volgende gegevens zijn aangeleverd:

- Raaien met boringen, K3Delta;
- Circa 40 boringen in de uiterwaard, K3Delta;
- Enkele boringen rond de overgang van het buitendijkse gebied naar het binnendijkse gebied, LievenseCSO;
- Resultaten van geo-elektrische metingen, waterschap Aa en Maas.

Figuur 7 geeft een dwarsdoorsnede door het binnendijkse gebied van Demen en Dieden weer uit REGIS (oriëntatie van NW naar ZO). Volgens REGIS ligt onder de holocene deklaag een watervoerend pakket (Formatie van Kreftenheye en Peize). In het westelijke gedeelte zijn 1 of 2 scheidende lagen (Waalre klei) aanwezig in het watervoerende pakket. De lagenopbouw van het MORIAModel is gelijk aan de REGIS-schematisatie. Voor de holocene deklaag zijn de parameters gebaseerd op GEOTOP en voor het pleistoceen zijn de REGIS-parameters overgenomen (Royal HaskoningDHV, 2016).



Figuur 7 Dwarsdoorsnede uit REGIS V2.2 door het binnendijkse gebied van Demen en Dieden

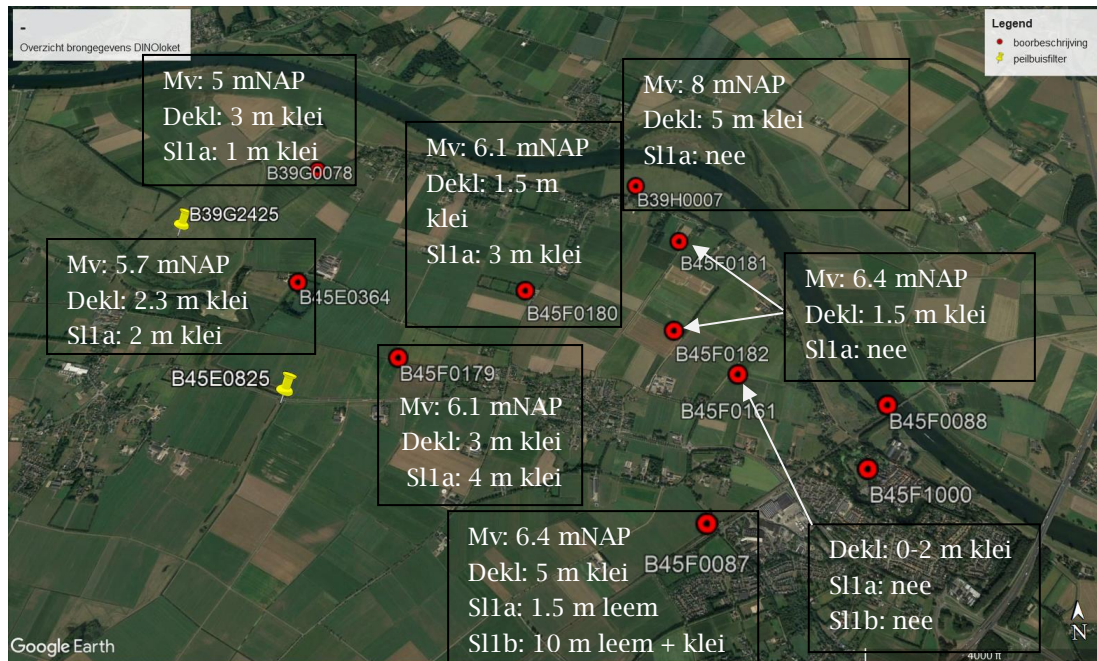
Figuur 8 geeft een overzicht van de boorgegevens in het DINOloket. Bij iedere boring is aangegeven hoeveel meter scheidende lagen aanwezig zijn in de boorbeschrijving. De boorgegevens bevestigen het beeld in REGIS dat met name in het westen van het gebied, scheidende lagen bestaande uit klei, aanwezig zijn in het tweede watervoerende pakket. De

exacte diepte verschilt tussen de boringen. De meeste boringen gaan niet diep genoeg om een uitspraak te doen of er inderdaad een scheidende laag op 30 m diep aanwezig is.

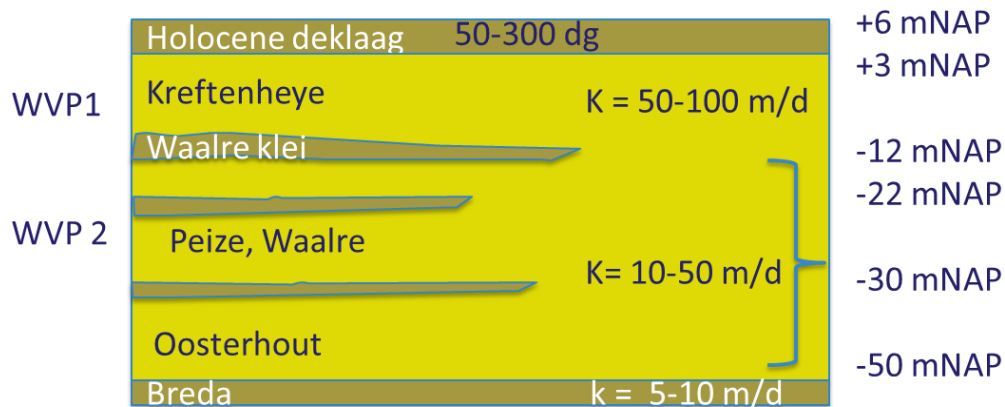
De boorbeschrijvingen geven aan dat de dikte van de kleiige deklaag varieert van 1 tot 3 m dik.

Het eerste watervoerende pakket (Formatie van Kreftenheye) bestaat uit zeer grof zand, dat soms grindhoudend is. In het westelijke gebied ligt de overgang van grof zand naar fijn tot matig grof zand op ongeveer 15 m-mv. In het oostelijke gebied is dit dieper op een diepte van 25-32 m-mv. Boring B45F0161 heeft een diepte van 90 m-mv. Vanaf 50 m-mv is het zandpakket uiterst fijn tot fijn.

Figuur 9 geeft de bodemopbouw binnendijs weer op basis van de beschikbare boringen.



Figuur 8 Overzicht van boringen in het DINOloket dieper dan 15 m (rood) en grondwaterstandpeilbuizen, met metingen na 1990 (geel). Bij de boring is een samenvatting van de weerstandlagen gegeven (dekl: deklaag, sl: scheidende laag, indien sl1b niet genoemd is, betekent dit dat de boring niet zo diep gaat)

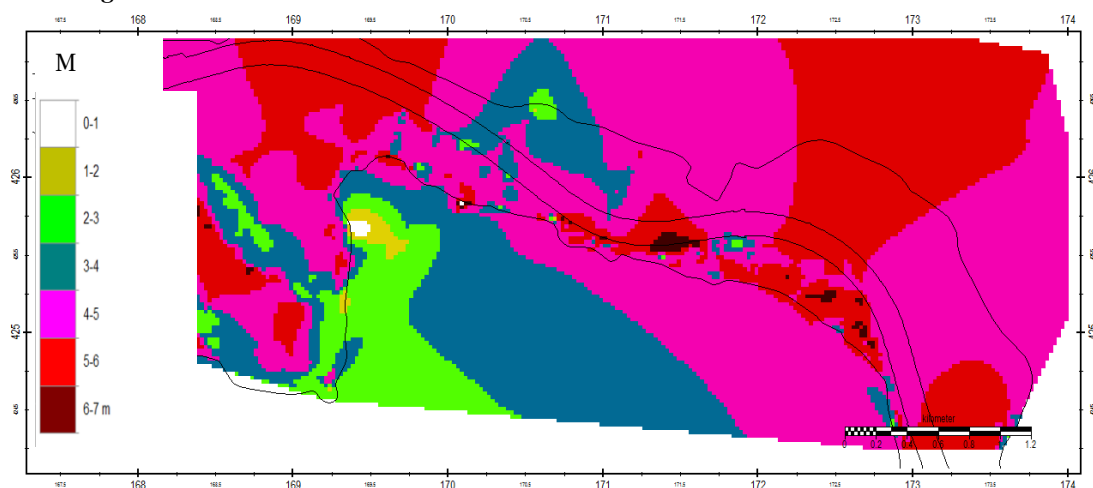


Figuur 9 interpretatie bodemopbouw op basis van de boorgegevens. Ook de Formatie namen zijn weergegeven

Deklaag

Op basis van de aangeleverde gegevens (zie vorige pagina) is de dikte van de deklaag in de uiterwaard nader onderzocht. Eerst is de onderkant van de kleilaag in kaart gebracht ter plaatse van de boringen en de EM-metingen. Op basis van deze gegevens is vervolgens een interpolatie (lineair interpolation ArcGIS) gemaakt van de onderkant van de kleilaag, zie Figuur 10.

In bijlage 1 is achtergrondinformatie opgenomen zoals de locaties van de metingen (EM en boringen), de verschillen tussen de bronbestanden (boringen en EM-metingen) en kaarten van de berekende weerstandswaarden. Op basis van Figuur 10 kan al geconcludeerd worden dat de kleilaag gemiddeld tot een grotere diepte aanwezig is in de uiterwaard van Dieden dan in de uiterwaard van Demen. Uit de bijlage volgt dat de diepten, gebaseerd op de verschillende bronbestanden, soms op geringe afstand van elkaar kunnen verschillen. Ondanks dat, blijft het beeld dat de kleilaag in de westelijke uiterwaard (bij Dieden) gemiddeld tot dieper aanwezig is in stand.



Figuur 10 NAP-hoogte van de onderkant van de kleilaag.

Vertaling dikte kleilaag naar een weerstandswaarde

Het bovenste deel van het kleipakket is gerijpte klei en het onderste deel ongerijpte klei. De overgang van gerijpte naar ongerijpte klei is gelegd op 4.9 m +NAP, gelijk aan het stuwpeil van de Maas. Dit is conservatief gekozen omdat de grondwaterstand gemiddeld hoger is dan het stuwpeil (gebaseerd op de modelresultaten). Op basis van deze uitgangspunten is de weerstand van de deklaag vlakdekkend berekend, voor een bandbreedte van drie weerstandswaarden. De bandbreedte is in overleg met de Waterschappen vastgesteld.

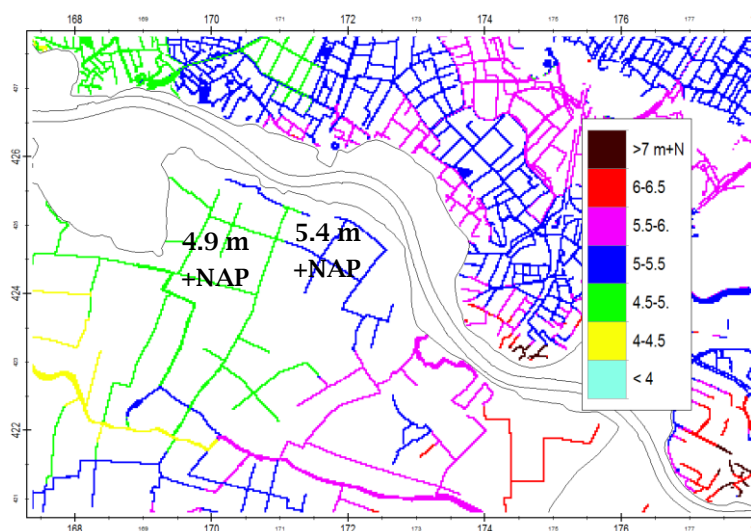
Bandbreedte weerstand deklaag in uiterwaard:

1. Lage weerstand : weerstand berekend met 20 d/m voor gerijpte klei en 250 d/m voor ongerijpte klei;
2. Hoge weerstand: weerstand berekend met 100 d/m voor gerijpte klei en 1000 d/m voor ongerijpte klei;
3. Hoge weerstand geëxtrapoleerd. Deze komt overeen met de hoge weerstand, maar dan is de weerstand, naast in de uiterwaard ook 250 m binnendijs vanaf de dijk vervangen.

3.2 Oppervlaktewater

3.2.1 Watergangen binnendijks

De watergangen in het binnendijkse gebied, direct achter de dijk, hebben een peil van 4.9 m +NAP (westelijke deel) en 5.4 m +NAP (oostelijke deel), zie Figuur 11. Dit peil bevindt zich gemiddeld 1 tot 1.5 m onder maaiveld. Het oppervlaktewater stroomt onder vrij verval, via de Hertogswetering richting het gemaal Gewande (23 km ten westen van Demen en Dieden). Hier wordt het water middels het gemaal op de Maas gepompt. Dit gemaal heeft een capaciteit van 10 m³/s en ontwaterd een gebied van ongeveer 30.000 ha.



Figuur 11 Oppervlaktewaterpeil legger (mNAP), bron: Waterschap Aa en Maas



Figuur 12 Overzichtsk kaart: locaties van de Maaspeilmeetpunten (groen), de Hertogswetering en de locatie van het gemaal Gewande (rood) (bron: Rijkswaterstaat waterinfo)

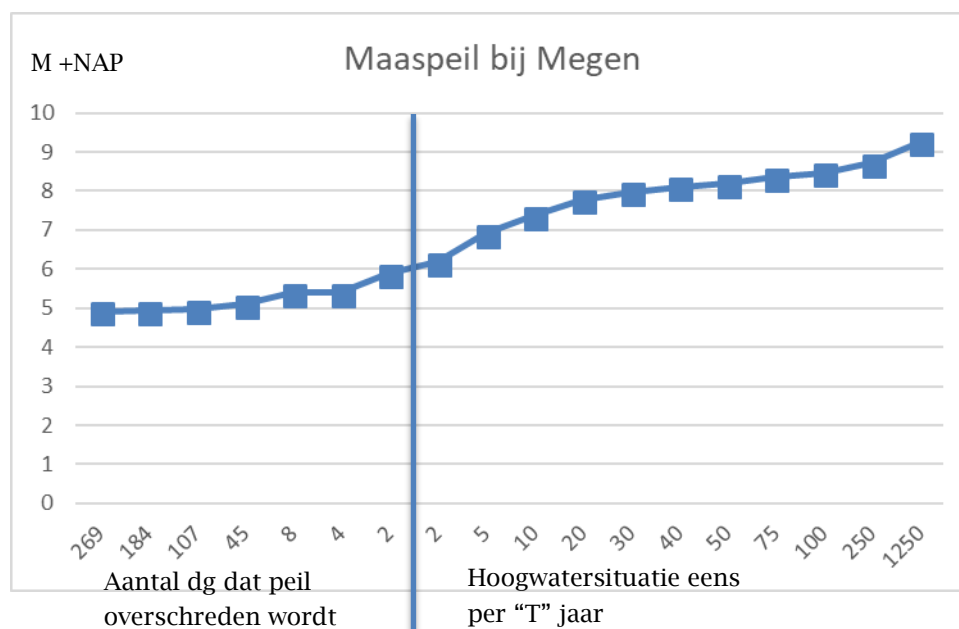
3.2.2 Maas

Stroomafwaarts (circa 14 km) van de uiterwaarden ligt een stuw in de Maas op een niveau van 4.9 m +NAP (Figuur 12). Hierdoor zakt het Maaspeil onder droge condities normaliter niet uit tot onder dit niveau. Figuur 13 geeft een overzicht weer van hoe het Maaspeil gemiddeld

gedurende het jaar varieert ter plaatse van Megen (3.5 km stroomafwaarts). Uit de figuur blijkt dat het waterpeil doorgaans 4.9 tot 5.1 m +NAP bedraagt. Hogere peilen komen ongeveer 10 dagen per jaar voor. Effecten van klimaatverandering op het Maaspeil zijn in deze studie niet beschouwd.

In het MORIA model v3.2 zijn de gemeten Maaspeilen (op enkele plekken langs de Maas) geïnterpoleerd tussen deze meetpunten. Volgens het model bedraagt het Maaspeil onder gemiddelde omstandigheden 5.0 m +NAP ter plaatse van de uiterwaarden. Dit Maaspeil komt vrijwel overeen met het oppervlaktewaterpeil in het westelijke binnendijkse gebied en is ongeveer 0.4 m lager dan het oppervlaktewaterpeil in het oostelijke binnendijkse gebied. Onder gemiddelde condities is er nauwelijks sprake van verval van het Maaspeil langs de uiterwaarden bij Demen en Dieden.

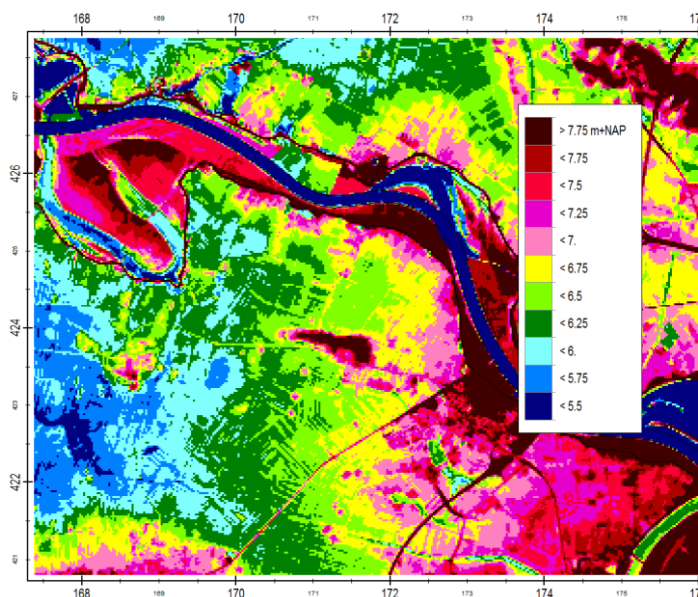
Bij hoogwatercondities is er wel sprake van verval: bij een T=10 situatie is de waterstand ten noordwesten van de uiterwaard van Dieden ongeveer 25 cm lager dan ten zuidoosten van de uiterwaard van Demen, een afstand van 4.5 km (bron: geïnterpoleerde peilen tijdens hoogwatergolf van 2003 uit MORIA v3.2).



Figuur 13 Overzicht van het peil van de Maas onder verschillende omstandigheden bij Megen (bron: Rijkswaterstaat, betrekkinglijnen Maas versie 2017_2018).

3.3 Maaiveldhoogte

Figuur 14 geeft de maaiveldhoogte weer (bron: MORIA model v3.2). De uiterwaarden Dieden en Demen liggen hoger dan de omgeving, op 7.3 tot 8.5 m +NAP. De dorpskernen van Dieden en Demen liggen achter de dijk. Ook hier is het maaiveld hoger dan de omgeving, ongeveer 6.5 tot 7 m +NAP. Rondom de dorpen is het maaiveld lager en het neemt af van het oosten (6.5 m +NAP) naar het westen (5.8 m +NAP). Dit land wordt voornamelijk gebruikt als landbouwgrond en grasland.



Figuur 14 overzicht maaiveldhoogte m +NAP (bron: Moriamodel v3.2)

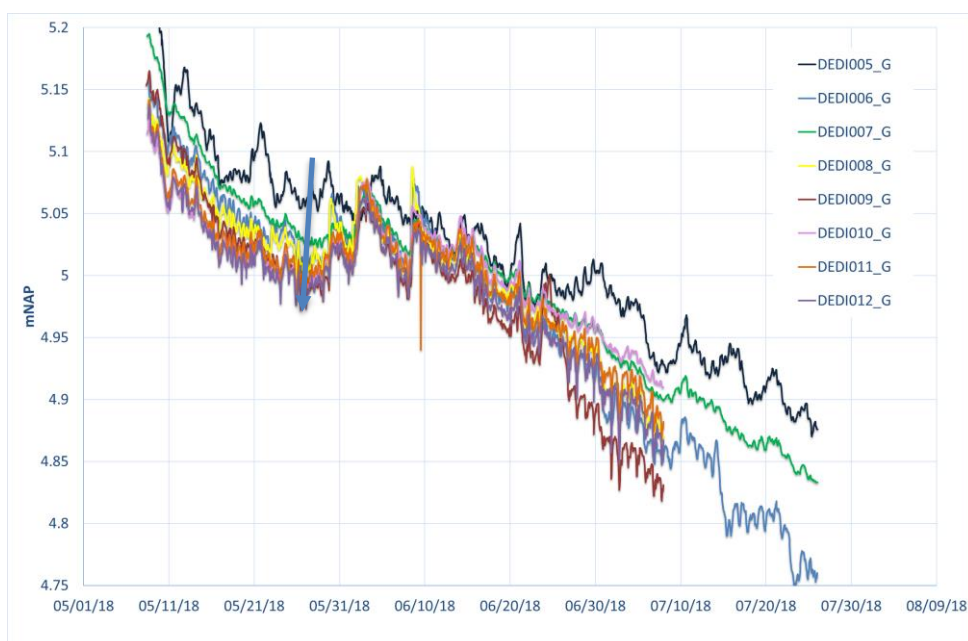
3.4 Grondwater

In het kader van dit project zijn 4 peilbuisraaien geplaatst, zie Figuur 15.

Meetraai: KERI417, heeft metingen vanaf januari 2018. De overige raaien hebben metingen vanaf begin mei 2018 en zijn alleen geplot om de range weer te geven. Alle peilbuizen hebben alleen een ondiep peilfilter. In de figuur (middelste afbeelding) zijn de metingen bij meetraai KERI geplot, met het Maaspeil, gemeten in Megen. Het jaar 2018 was een extreem droog jaar. Ondanks de droogte is het zichtbaar dat het Maaspeil (gestuwd) en de grondwaterstanden nauwelijks uitzakken in de zomer. De variatie in het grondwaterstandsniveau tussen de meetlocaties is gering, ongeveer 10 cm tot 25 cm. De grondwaterstand daalt in deze zomerperiode in de binnendijkse peilbuis van een raai steeds het meest. Eind juli verschilt de grondwaterstand in de uiterwaard ongeveer 10 cm met de peilbuis binnendijks in meetraai KERI.

In januari 2018 is het Maaspeil hoog (> 5.75 m +NAP bij Megen). Uit de metingen blijkt dat de grondwaterstanden in peilbuisraai KERI vrijwel direct reageren op de variatie in het Maaspeil.

In het DINoloket is één peilbuis aanwezig in het binnendijkse gebied (Figuur 8): B45E0825. Het is niet vermeld op welke diepte het filter ligt. De metingen zijn uitgevoerd tussen 2000 en 2018. De gemiddelde grondwaterstand bedraagt 5.18 m +NAP en deze varieert tussen 4.8 en 5.5 m +NAP.

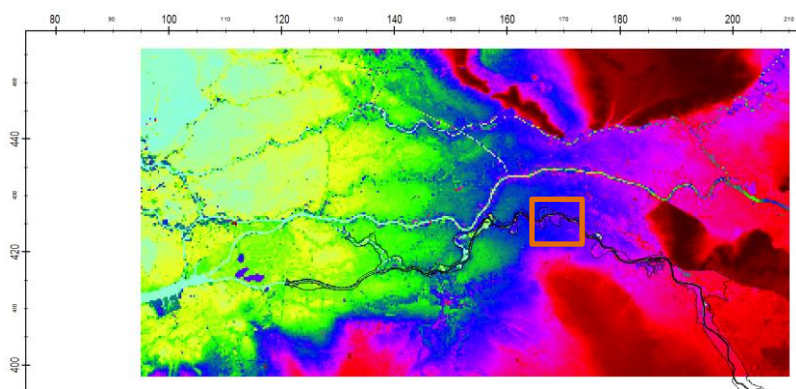


Figuur 15 Overzicht meetlocaties peilbuisraaien en de metingen van begin januari tot begin augustus 2018. Middelste figuur meetraai Keri. Onderste figuur meetraaien met de peilbuizen 5 t/m 8 en 9 t/m 12. Meetraai 1 t/m 4 is niet weergegeven vanwege onlogische fluctuaties in de metingen

4 MORIA-model

Om de effecten van de uiterwaardvergraving in beeld te brengen is gebruik gemaakt van het bestaande regionale model MORIA versie 3.2. Dit model wordt beschreven in de rapportage Royal HaskoningDHV, 2016. Het model wordt door waterschap Rivierenland beheerd in samenwerking met partners. Dit model is opgezet, gebruik makende van de beschikbare regionale informatie.

Figuur 16 geeft de extensie van het MORIA model weer. Het model bestaat uit 18 lagen en omvat de ondergrond tot aan de Formatie van Breda in de omgeving van Demen en Dieden.



Figuur 16 Modelgrenzen van het MORIA model, het rechthoek geeft de ligging van de uiterwaarden aan

Voor de effectberekeningen is een uitsnede gemaakt van dit regionale model. Een aantal aspecten van het model zijn aangepast aan de lokale, beschikbaar gekomen informatie. paragraaf 4.1 beschrijft de aanpassingen die zijn uitgevoerd aan het model. Opgemerkt wordt dat voor de niet-stationaire berekeningen soms nog extra aanpassingen zijn gedaan op basis van de verkregen inzichten. Deze worden ook in paragraaf 4.1 toegelicht en in paragraaf 4.2 samengevat. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk weergegeven welke randvoorwaarden en modeldiscretisatie zijn aangehouden voor de stationaire en niet-stationaire berekeningen.

Voor de analyse voor de vergelijkingsvarianten (basisvergraving en maximale vergraving) zijn stationaire berekeningen uitgevoerd. Daarbij is de gevoeligheid van het effect voor de weerstandswaarde in de deklaag onderzocht door deze varianten met een lage en hoge weerstandswaarde door te rekenen. De resultaten hiervan worden als laatste beschreven.

4.1 Aanpassingen aan het model

4.1.1 Oppervlaktewatersysteem

Oppervlaktewatersysteem binnendijs

Door waterschap Aa en Maas zijn modelgrids aangeleverd, die het oppervlaktewatersysteem van Aa en Maas beschrijven. Ten zuiden van de Maas is in de ruime omgeving (tot minimaal 8

km) van het projectgebied het oppervlaktewatersysteem (watergangen en drainagegebieden) hierdoor vervangen.

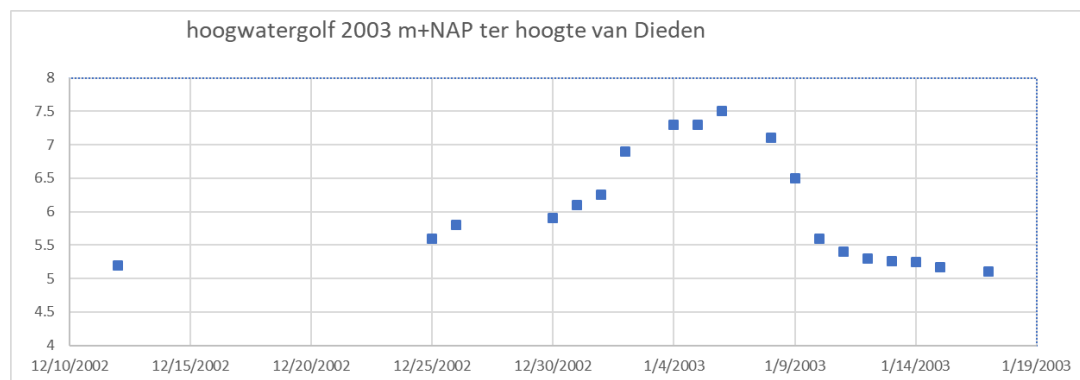
Op enkele locaties is in de uiterwaarden een watergang aanwezig. Bij de niet-stationaire berekening is dit oppervlaktewater gemodelleerd als drainage (voert water af als grondwaterstand hoog genoeg is) in plaats van rivier (infiltreert water of voert water af, afhankelijk van grondwaterpeil). Dit is gedaan omdat anders de watergang in het model bij overstroming van de uiterwaard in werking blijft (zal water afvoeren).

Maas

In een overleg met het waterschap Aa en Maas op 3 juli 2018 is afgesproken om de onderstaande modelparameters te gebruiken voor de Maas voor de stationaire berekeningen:

- Peil Maas gemiddelde situatie: uitgaan van stuwhoogte. Dit betekent dat het peilniveau 4.9 m +NAP is. Omdat het waterpeil in de Maas hier gestuwd is, en dus niet verder uitzakt is deze berekening daarmee ook representatief voor laagwatermomenten.
- Peil Maas maatgevend hoog water (MHW): bij MWH hoort een niveau van 10.3 m +NAP (bron: Maas-beno_mknov15_5-v4: het vigerende model van RWS dat ook gebruikt wordt voor Meanderende Maas, waarbij de Maaskades onoverstroombaar zijn gemaakt, in afstemming met Jan Bremer RWS-ZN). Opgemerkt wordt dat voor de vergunningsonderbouwende rivierkundige beoordeling een ander model wordt gevraagd (Maas-beno_15_5-v4) waarin de Maaskades wel overstroombaar zijn en de MHW iets lager ligt, op 9.6 m +NAP.
- Maas en de geulen in de uiterwaard (ten zuiden van de Maas), die in open verbinding staan met de Maas: rivierbodemweerstand van 1 dag en een infiltratiefactor van 1;
- Overige gedeelte van de uiterwaard (ten zuiden van de Maas): rivierbodemweerstand van 5 dagen en een infiltratiefactor van 1.

Op 30 augustus is door het waterschap middels de memo: *Advies effecten beoordeling herinrichting uiterwaarden.pdf*, aangegeven dat het VKA beoordeeld dient te worden tijdens een gemiddelde situatie en een hoogwatersituatie T=10 (komt 1x per 10 jaar voor). De hoogwatergolf van januari 2003 (Figuur 17) is hiervoor representatief (mededeling waterschap Rivierenland, overleg 24 juli 2018). Omdat het model start in 2005, zijn deze hoogwaterpeilen op exact gelijke wijze in het model gebracht in een later stadium, namelijk in januari 2013. Gedurende januari 2013 trad namelijk ook een hoogwatersituatie op, maar minder hoog dan in januari 2003. De grondwaterstanden zijn in januari 2013 ook kenmerkend voor een hoogwatersituatie, ongeveer 10 tot 25 cm boven GHG.



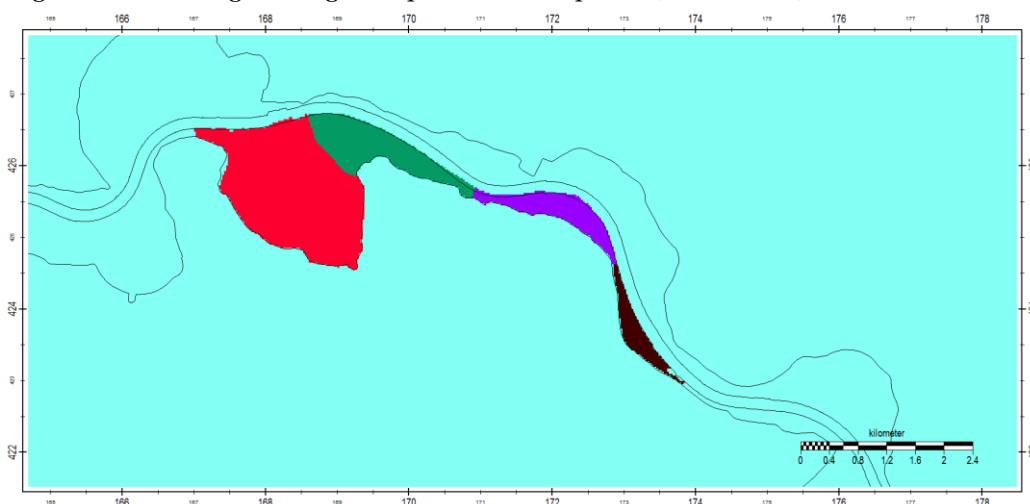
Figuur 17 Overzicht van de momenten waarop een nieuw Maaspeil is opgenomen in het model met daarbij de hoogte van het Maaspeil in m +NAP. Het Maaspeil blijft in het model constant totdat een nieuw peil in het model is opgelegd.

Om de geotechnische effecten te kunnen beoordelen is op het overleg van 9 oktober besloten om aanvullend ook de MHW-situatie voor het VKA met het grondwatermodel te berekenen. Dit is uitgevoerd en alleen kort toegelicht in bijlage 5. Voor nadere informatie en effectbeoordeling wordt verwezen naar de rapportage geotechniek.

Inundatie van uiterwaarden

Om niet-stationaire modelberekeningen uit te voeren, is het noodzakelijk om de werkelijke Maaspeilen in het model op te nemen. Afhankelijk van het Maaspeil kan een deel van de uiterwaard onder water staan. Dit onderdeel is opnieuw in het model ingebracht voor de referentiesituatie en het VKA, omdat de inundatie in de uiterwaarden Demen en Dieden niet op juiste wijze was ingebracht.

De uiterwaarden zijn in 4 vlakken ingedeeld (zie Figuur 18). Ieder vlak is gekoppeld aan een punt in de rivier, waarvan de waterhoogte representatief is voor dat stukje uiterwaard bij overstroming. Vervolgens is bepaald per tijdstap op basis van de overstromingshoogte (maaiveldhoogte of drempelhoogte) welke delen van het vlak onder water staan. Indien een deel onder water staat, dan wordt voor de desbetreffende tijdstap en dat gedeelte van het vlak de rivier toegekend aan het model. Per vlak wordt dus eenzelfde Maaspeil aan het model toegekend. In werkelijkheid treedt tijdens hoogwater situaties een verval per vlak op van ongeveer 10 cm volgens de geïnterpoleerde Maaspeilen (MORIA v3.2).



Figuur 18 Overzicht van de 4 vlakken, waarmee de overstroming opnieuw is ingebracht in het model

4.1.2 Bodemparameters

Deklaag

De verticale weerstand van de deklaag in het model is vervangen binnen de uiterwaard door een bandbreedte van 3 nieuwe weerstandswaarden, gebaseerd op boringen en EM-metingen. In hoofdstuk 3 wordt dit toegelicht. De nieuwe weerstandswaarden liggen in dezelfde orde van grootte als in het oorspronkelijke model, maar lokaal kunnen de weerstandswaarden afwijken.

Bijlage 1 geeft een overzicht van de drie berekende weerstanden voor de deklaag (lage weerstand, hoge weerstand en hoge weerstand geëxtrapoleerd) voor de referentiesituatie. Bijlage 2 geeft een overzicht van de weerstand van de deklaag na vergraving (basisvergraving, maximale vergraving en het VKA). Daarnaast is weergegeven hoeveel weerstand verwijderd is door de vergraving.

K3Delta heeft boringen geplaatst om de bodemopbouw vast te stellen. In deze boringen is de toplaag als roofgrond benoemd omdat deze niet geschikt is als keramische klei. Feitelijk bestaat de roofgrond wel uit klei. In de analyse van de vergelijkingsvarianten is de roofgrond niet meegenomen als klei, in de beoordeling van het VKA is de roofgrond wel als klei met een geringe doorlatendheid meegenomen. Deze toplaag heeft een gemiddelde dikte van 30 cm en ligt altijd boven het stuwpeil, het verschil tussen de weerstandswaarden is daarom gering: 7 of 30 dagen.

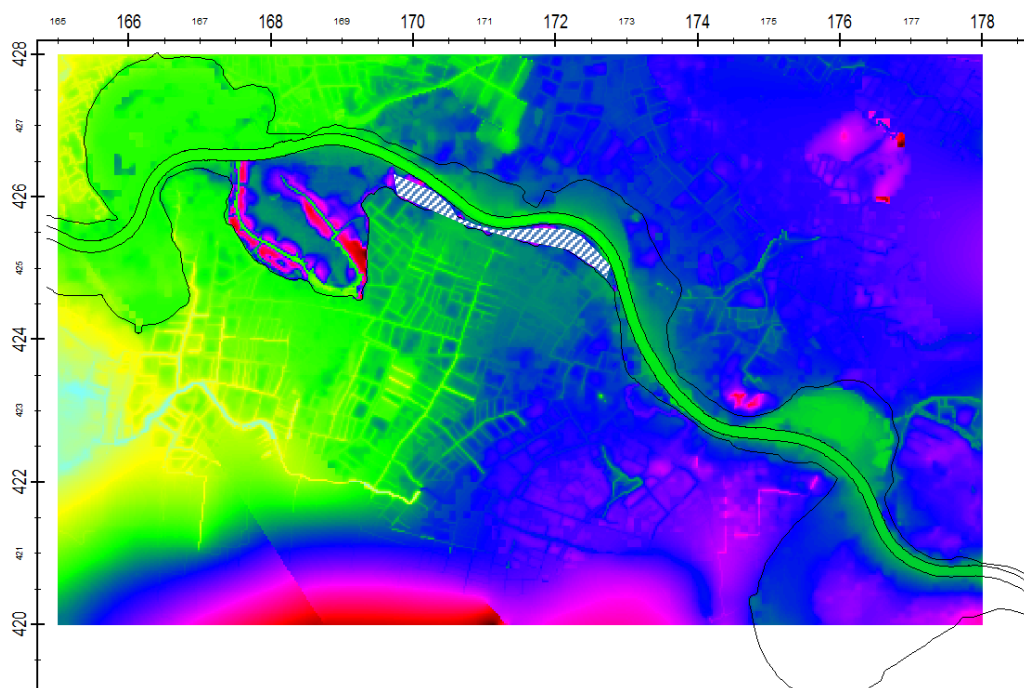
Doorlaatvermogen laag 1

Voor de stationaire berekeningen is het doorlaatvermogen van de deklaag niet gewijzigd in het model. Op basis van de resultaten van de analyse van de vergelijkingsvarianten zijn wel aanpassingen gedaan voor het VKA. Het doorlaatvermogen in modellaag 1 is naar beneden bijgesteld in de uiterwaard naar 0.5 m/d. Ter plaatse van de dijk is de weerstand nog extra verlaagd naar 0.1 m/d.

4.2 Opzet stationaire model

Het stationaire regionale model is eerst op grote schaal met celgroottes van 250 m bij 250 m doorgerekend voor de referentie situatie met een Maaspeil van (1) 4.9 m +NAP (gemiddelde situatie) en (2) 10.3 m +NAP (MHW) om randvoorwaarden te berekenen voor de stationaire detailmodellen.

Het detailmodelgebied (Figuur 19) beslaat circa 5 km om het projectgebied (oost-, zuid- en westkant) en 2 km (noordkant). Het detailmodel is doorgerekend op een schaal van 25 m * 25 m. Om na te gaan of de randen ver genoeg gekozen zijn, is de spreidingslengte berekend met een doorlaatvermogen van maximaal 2000 m²/d en een weerstand van 200 dagen. Dit komt uit op een spreidingslengte van 630 m. Driemaal de spreidingslengte is 1900 m. Dit geeft aan dat de randen ver genoeg gekozen zijn.



Figuur 19 Overzicht extensie detailmodel en de locatie van de vergravingen

4.3 Opzet niet-stationaire model

Het niet-stationaire model loopt van 1 januari 2005 t/m 31 maart 2016 en rekent met dagtijdstappen. Het modelgebied van de niet-stationaire berekening is gelijk aan de stationaire berekening (zie Figuur 19). Op de modelranden is een niet-stationaire vaste stijghoogte aangehouden. Om deze te bepalen is het regionale model met celgroottes van 250 m bij 250 m niet-stationair doorgerekend voor de referentiesituatie.

Normaliter zijn de modelresultaten weggeschreven op de 14^e en 28^e van iedere maand. Tijdens de hoogwatergolf (T=10), die is opgelegd in januari 2013, zijn de resultaten dagelijks weggeschreven zodat het mogelijk is om een waterbalans op te stellen over deze periode.

Tijdens de studie zijn kleine verbeterlagen in het modelinstrumentarium uitgevoerd tussen het uitvoeren van de stationaire en de niet-stationaire berekeningen. Deze zijn toegelicht in paragraaf 4.1. Hieronder worden de verschillen in de modelparameters nogmaals samengevat:

- Weerstand deklaag: bij het VKA is aangehouden dat ook de bovenste 30 cm van de bodem uit klei bestaat, zie paragraaf 4.1.2, één na laatste alinea;
- Horizontale doorlatendheid onder de dijk in modellaag 1. Deze is naar beneden bijgesteld, omdat stroming door de dijk nagenoeg niet plaatsvindt, zie §4.1.2, laatste alinea;
- Horizontale doorlatendheid deklaag in de uiterwaard. Deze is naar beneden bijgesteld omdat het een kleipakket betreft en het doorlaatvermogen daarvan gering is, §4.1.2, laatste alinea.

4.4 Validatie niet-stationaire model

4.4.1 Bodemopbouw

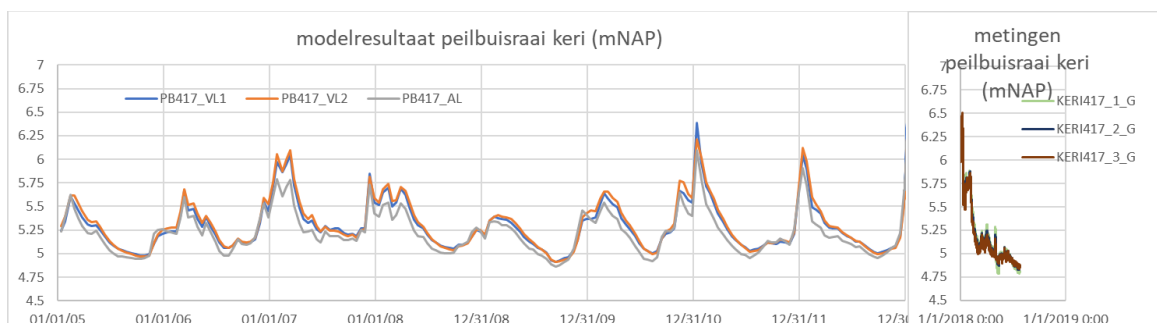
Bijlage 3 geeft een overzicht van de modelbodemparameters per geohydrologische laag. Tabel 1 geeft een vergelijking tussen de modelparameters uit MORIA en de boorbeschrijvingen binnendijks (zie hoofdstuk 3). De weerstanden en doorlatendheden, gebruikt in het model, geven in relatie tot de beschikbare boringen, geen aanleiding de modelopbouw te herzien. De verbreiding van de Waalre klei komt in beide bronnen overeen. Mogelijk is de deklaagweerstand in het binnendijkse gebied lokaal aan de lage kant. Effecten op de grondwaterstand, berekend met het model, worden in dat geval plaatselijk gering overschat en zijn daarmee worst case.

Tabel 1 Overzicht bodemparameters voor het binnendijkse gebied, op basis van MORIAModel per hydrologische eenheid (kolom 2) en op basis van boorbeschrijvingen (kolom 3)

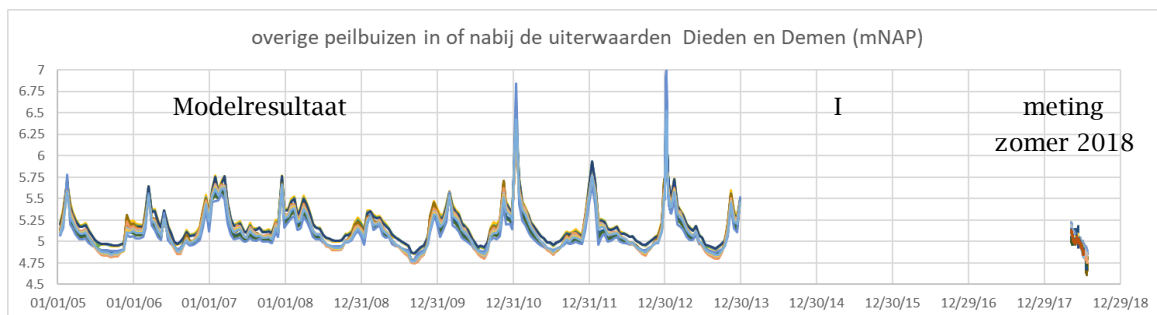
Geohydrologische eenheid	Modelparameters (weerstand en doorlaatvermogen)	Boring (dikte klei en zandlagen)	Vergelijking
Deklaag	25-300 dagen	1 tot 3 m dik	In het model komen lokaal lagere weerstandswaarden voor van ongeveer 25 m/d
Wvp 1	400-1600 m ² /d	Circa 15 m zeer grof soms grindig zand (k= 50-100 m/d), gemiddeld 1125 m ² /d	Het doorlaatvermogen in het model bedraagt meestal rond de 1000 m ² /d. Lokaal komen hogere en lagere waarden voor
Waalre klei	0-2000 dagen	Enkele meters dik	Kleilagen komen in beide databronnen in het westelijke gedeelte van het binnendijkse gebied voor
WVP2	900-1200 m ² /d	Circa 30-40 m zand (k = 10-50 m/d), gemiddeld 1050 m ² /d	Er is maar één boring beschikbaar met gegevens op deze diepte

4.4.2 Grondwaterstandsmetingen

In de uiterwaarden en net binnendijks, zijn recentelijk peilbuizen geplaatst en metingen uitgevoerd (zie ook § 3.4, blz. 16). Uit het model zijn de waterstanden direct onder de deklaag ter plaatse van de meetraaien in de uiterwaarden weggeschreven opdat de dynamiek in de peilbuizen vergeleken kan worden. De gemodelleerde en gemeten grondwaterstandsreeksen hebben namelijk geen overlappende periode. De gemeten grondwaterstanden in de peilbuisraai “keri” (Figuur 20) hebben ongeveer dezelfde dynamiek en niveau als de gemodelleerde grondwaterstanden in voorgaande jaren. De gemeten grondwaterstanden zakten in de zomer van 2018 iets sterker uit, maar dat kan komen doordat 2018 een extreem droog jaar was. De berekende grondwaterstanden ter plaatse van de andere peilbuizen (Figuur 22) komen sterk overeen met de grondwaterstanden in de peilbuisraai “Keri”, net zoals in de metingen.

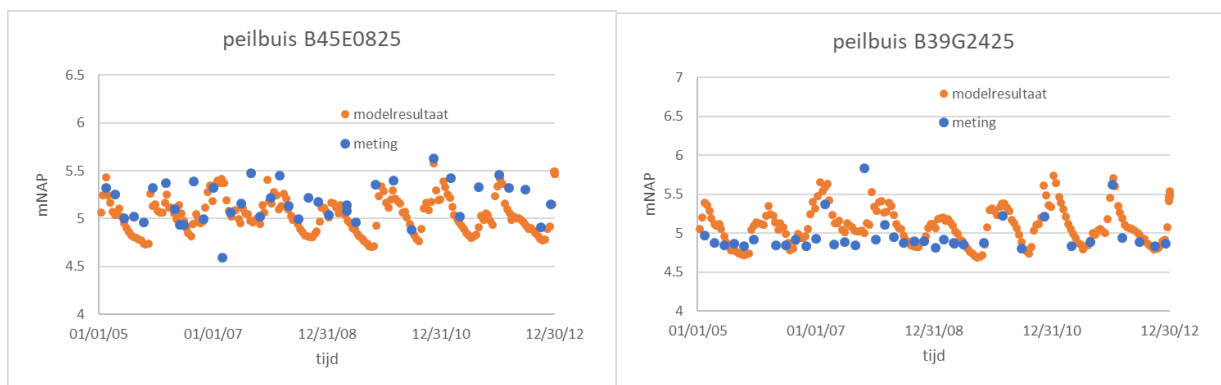


Figuur 20 Gemodelleerde waterstanden bij peilbuisraai Keri en de gemeten waterstanden in de peilbuizen.



Figuur 21 Gemodelleerde waterstanden bij de andere drie peilbuisraaien en de gemeten waterstanden in de peilbuizen.

Daarnaast zijn er twee peilbuisreeksen in het DINOket beschikbaar. De meetfrequentie varieert van maandelijks tot éénmaal per 4 maanden. Van deze metingen is de filterdiepte niet bekend. Deze metingen zijn vergeleken met het modelresultaat van modellaag 2, zie Figuur 22. De metingen komen qua niveau en dynamiek goed met de modeluitkomsten overeen.



Figuur 22 Gemeten en gemodelleerde waterstanden in twee peilbuizen, afkomstig uit DINO.

4.5 Gevoeligheidsanalyse vergelijkingsvarianten en weerstand deklaag in de uiterwaarden

Om de gevoeligheid van de effecten van de vergraving voor de vergravingscontouren en de deklaagweerstand te bepalen zijn een 18-tal stationaire berekeningen uitgevoerd. In de berekeningen is als volgt gevarieerd met de modeluitgangspunten:

- Contouren van de vergraving:
 - Basisvariant (de verwachte vergraving)
 - Maximale vergraving (uitgevoerd om na te gaan wat de maximale effecten kunnen zijn)
- Bandbreedte weerstand van de deklaag in uiterwaarden (zie paragraaf 3.1, paragraaf 2.2 en bijlage 2):
 - Lage weerstand
 - Hoge weerstand
 - Hoge weerstand geëxtrapoleerd naar binnendijkse gebied
- Maaspeilen:
 - Stuwhoogte 4.9 m +NAP (representatief voor laagwater en gemiddelde omstandigheden)
 - MHW-niveau 10.3 m +NAP

In bijlage 4 is een hydrologische effectbeschrijving van deze gevoeligheidsanalyse opgenomen. De weerstanden van de deklaag voor de verschillende varianten worden in bijlage 2 weergegeven.

Conclusie gevoeligheidsanalyse

Bij een Maaspeil gelijk aan stuwpeil treden verlagingen op van de grondwaterstand- en stijghoogte ten gevolge van de maatregel. In enkele gridcellen, direct binnendijks van de dijk, treden grondwaterstandverlagingen op van 16 cm (maximale vergraving en hoge weerstand deklaag), maar doorgaans zijn de effecten kleiner dan 10 cm. Grondwaterstandverlagingen groter dan 5 cm worden binnendijks berekend voor een gebied van 37 ha voor de maximale variant met een hoge weerstand.

Onder hoogwateromstandigheden (MHW) treden verhogingen van de grondwaterstand en stijghoogte op ten gevolge van de maatregel. Hierdoor neemt de kwel en afvoer binnendijks toe. De toename van de kwel wordt geschat op 5 – 15 % op basis van de stationaire berekeningen.

Voor Dieden geldt dat de effecten van de maximale vergraving bijna tweemaal zo groot zijn als de basisvariant. In de maximale vergraving wordt in deze uiterwaard ook veel meer vergraven. Voor Demen geldt dat het verschil in effect tussen de basis en maximale vergraving geringer is, ongeveer 20-30 % groter. In de basisvariant wordt al relatief veel klei verwijderd uit de uiterwaard.

De verschillende weerstandswaarden hebben invloed op de grootte van de berekende effecten. Als uitgegaan wordt van hogere weerstandswaarden in de uiterwaard, dan worden de effecten op de grondwaterstand, stijghoogte en de kwelflux ongeveer verdubbeld. Als ervan uit wordt gegaan dat de kleilaag met de hoge weerstandswaarde nog 250 m binnendijks doorloopt zijn de berekende effecten iets geringer (circa 15 % op basis van de kwelfluxen) dan zonder het extrapoleren van de kleilaag.

De kleidikte in de uiterwaard is zo goed mogelijk in kaart gebracht op basis van gedetailleerde informatie. Mogelijk wijkt de bodemopbouw in werkelijkheid toch (lokaal) af. Hierdoor kunnen de effecten anders optreden dan nu berekend is. Deze variantenanalyse geeft ook input voor een risico-inschatting hiervoor:

- Uiterwaard Dieden: in deze uiterwaard blijft bij de basisvariant op veel locaties klei achter in de uiterwaard. Mogelijk blijkt tijdens de afgraving, dat de klei tot minder diep aanwezig is. In dat geval zal het effect van de vergraving (basisvariant) groter zijn. De worst-case situatie hiervoor is de maximale afgraving, in dat geval nemen de effecten richting het binnendijkse gebied met een factor 2 toe;
- Uiterwaard Demen: in de basisvariant wordt al in een groot deel van de uiterwaard de klei geheel verwijderd. Indien het kleipakket in werkelijkheid minder diep aanwezig blijkt dan kan het effect maar beperkt toenemen, orde grootte van 20-30 % (verschil effect maximale en basisvariant).
- De bandbreedte van de weerstandswaarden voor de kleilaag is zo gekozen dat deze de uitersten omvat.

Een ander risico is dat de deklaagweerstand in het model binnendijks significant hoger is dan in werkelijkheid. De grondwatereffecten binnendijks zijn dan groter, direct achter de dijk. De weerstand van de deklaag binnendijks in het model, is in vergelijking met de boorbeschrijvingen, juist aan de lage kant (dus worst-case). Dit is niet gewijzigd in het model.

Voorstel voorkeursalternatief (VKA)

Op basis van de gevoeligheidsanalyse, in overleg met waterschap Aa en Maas op 24 juli 2018, is gekozen om de volgende modeluitgangspunten te hanteren voor het VKA. Deze aanpassingen zijn al reeds toegelicht in paragraaf 4.1 en paragraaf 4.2:

- In het model wordt aangepast:
 - De horizontale doorlatendheid ter plaatse van de dijk in modellaag 1 naar 0.1 m/d;
 - De horizontale doorlatendheid ter plaatse van de uiterwaard in modellaag 1 naar 0.5 m/d;
 - De weerstand voor de bovenste 30 cm ook toekennen aan de weerstand in modellaag 1 op basis van de kleiparameters (zie ook § 4.1)
 - De waterbalans ook op te stellen voor het eerste en tweede watervoerende pakket per poldergebied;
 - De flux onder de dijk te bepalen. De dijk dient opgedeeld te worden in deeltrajecten die overeenstemmen met de grenzen van het poldergebied.
- Uit te gaan van een weerstand van 1000 d (ongerijpt) en 100 d (gerijpt) en de weerstand in het binnendijkse gebied niet te wijzigen t.o.v. het oorspronkelijke model. Dit is een worst-case aanname.
- Uitvoeren van een niet-stationaire MORIA berekening waarbij het uiterwaardsysteem voor één representatieve hoogwatersituatie (T=10) wordt aangepast in het model. Dit wordt gedaan om na te gaan of ten gevolge van een tijdelijke hoogwatersituatie, effecten optreden op de grondwaterstand en/of het lokale afvoersysteem.

5

Hydrologische effectbeschrijving VKA

Dit hoofdstuk beschrijft de hydrologische effecten, berekend met het grondwatermodel, die optreden als gevolg van het voorkeursalternatief (VKA). De effecten zijn berekend met een niet-stationair model. Het effect van de vergraving wordt beschouwd onder gemiddelde, gemiddeld droge en natte omstandigheden en ten tijde van een hoogwatersituatie T=10. Een dergelijke hoogwatersituatie treedt gemiddeld éénmaal per 10 jaar op en duurt ongeveer 10 dagen. De doorvertaling van de hydrologische effecten op de doelfuncties vindt plaats in hoofdstuk 7.

Voor de effectbepaling zijn 2 modelscenario's gerund: namelijk de referentiesituatie en het VKA. De gemiddelde, gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden (GG, GHG en GLG) zijn bepaald over de jaren 2005 t/m 2012. De hoogwatergolf is in het model gebracht op januari 2013, zie §4.1.1, blz 17. Het effect van de hoogwatergolf is geanalyseerd op 8 januari 2013. Op deze datum (1 dag nadat het hoogste waterpeil op de Maas optrad), treden namelijk de grootste stijghoogte effecten op in het binnendijkse gebied.

Opgemerkt wordt dat voor de geotechnische beoordeling van de dijk ook een niet-stationaire berekening is uitgevoerd voor de referentiesituatie en het VKA met een hoogwatergolf, gelijk aan MHW. Dit onderdeel wordt toegelicht in het geotechnische rapport. In bijlage 5 van deze rapportage is alleen een beknopte toelichting opgenomen.

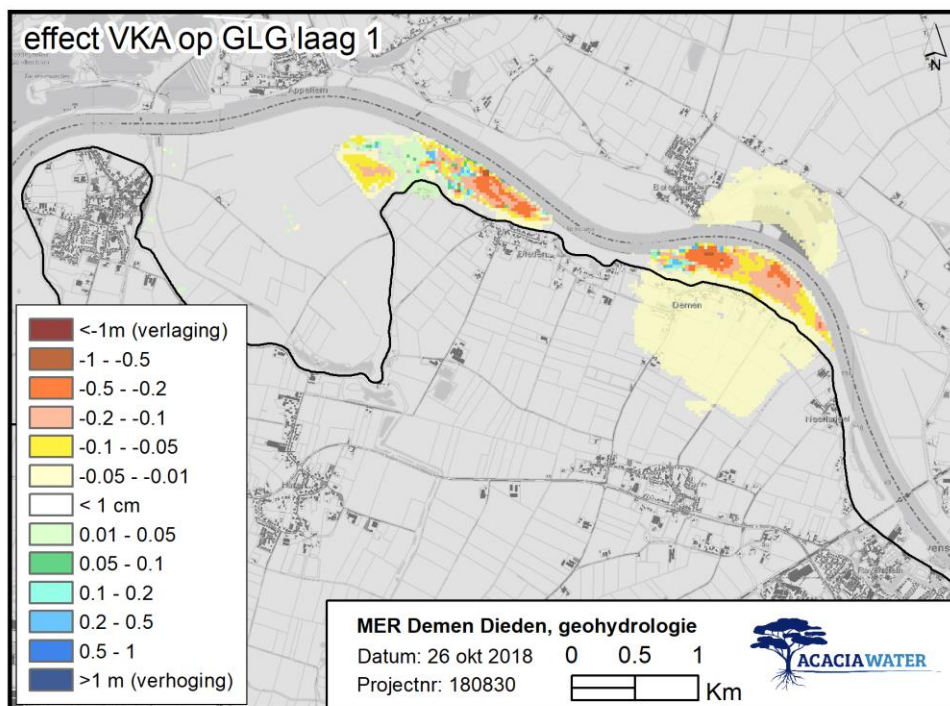
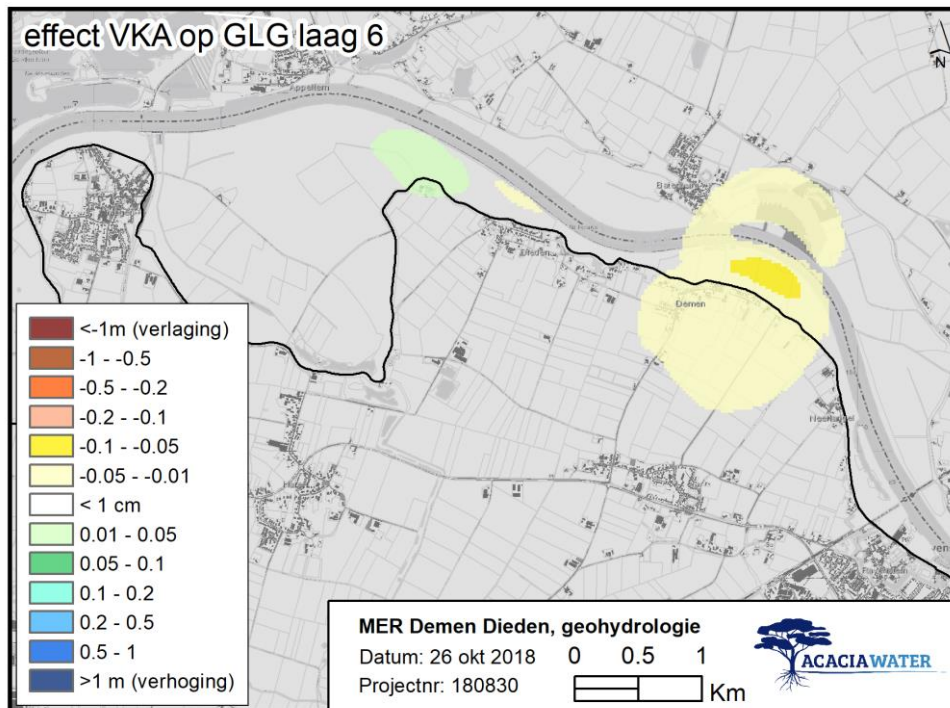
5.1 Effect op grondwaterstand en stijghoogte

Gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)

Tijdens GLG treden met name verdrogende effecten op in de uiterwaard. Dit komt omdat lokaal de grond wordt afgegraven en de huidige grondwaterstand hoger is dan het rivierpeil of het vergravingsniveau volgens het model. Op enkele plekken in de uiterwaard wordt een verhoging van enkele centimeters berekend, dit gebeurt op of rondom plekken waar in de nieuwe situatie open water is en het grondwaterstandspeil in droge perioden verder uitzakte dan het rivierpeil.

De GLG heeft een waarde van ongeveer 5.0 m +NAP in de uiterwaard. Op plaatsen waar de deklaagweerstand hoog is in het model, is de GLG lokaal hoger, rond 5.2 m +NAP.

Binnendijks treden geen grondwaterstand of stijghoogte effecten op groter dan 5 cm. Dit wijkt af van de stationaire effectberekeningen in bijlage 4. Dit komt omdat voor de berekening van het VKA de horizontale doorlatendheid van de deklaag is naar beneden is aangepast, naar een waarde die meer representatief is voor een kleilaag.

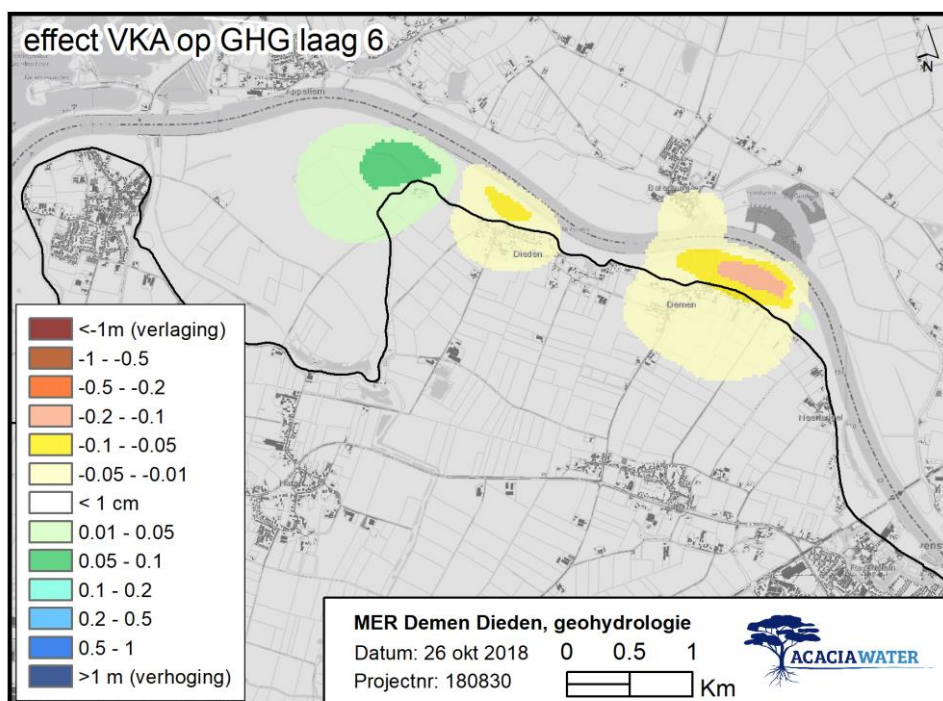
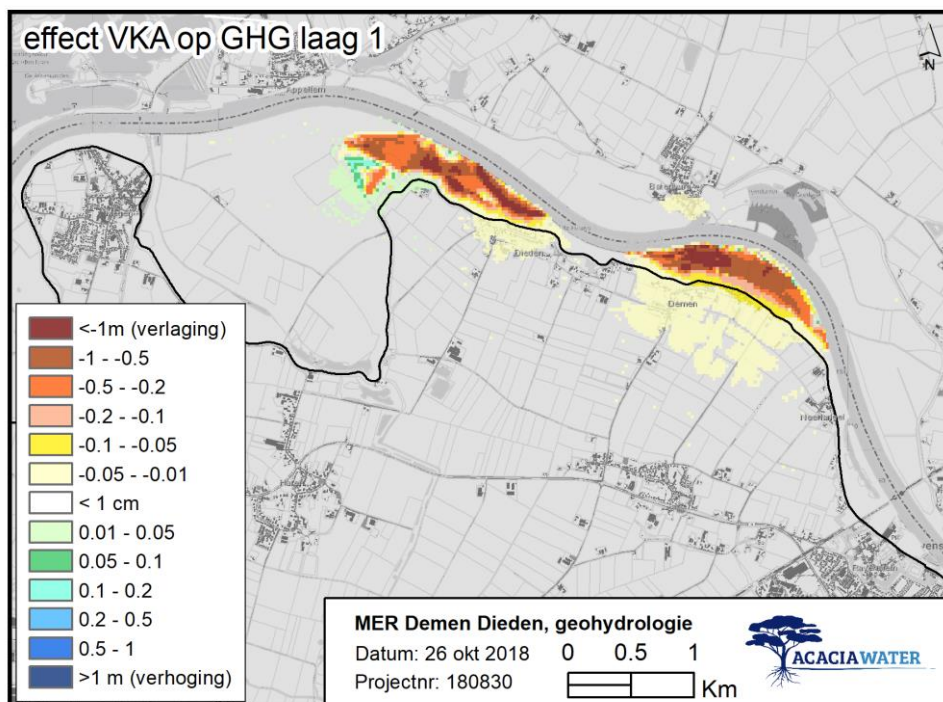


Figuur 23 Effect VKA op GLG, boven: grondwaterstand en onder: stijghoogte

Gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG)

Ook tijdens GHG treden met name grondwaterstandsverlagingen op in de uiterwaard. In de referentiesituatie is de grondwaterstand rond de 6 m +NAP en deze kan lokaal bij plekken met een hoge deklaagweerstand oplopen tot 7 m +NAP volgens het model. Het rivierpeil is doorgaans lager dan dit niveau, waardoor ter plaatse van de vergraving en openwaterlocaties de GHG daalt.

Binnendijs treden geen grondwaterstands- of stijghoogteveranderingen op van meer dan 5 cm.



Figuur 24 Effect VKA op GHG, boven: grondwaterstand en onder: stijghoogte

Gemiddelde grondwaterstand (GG)

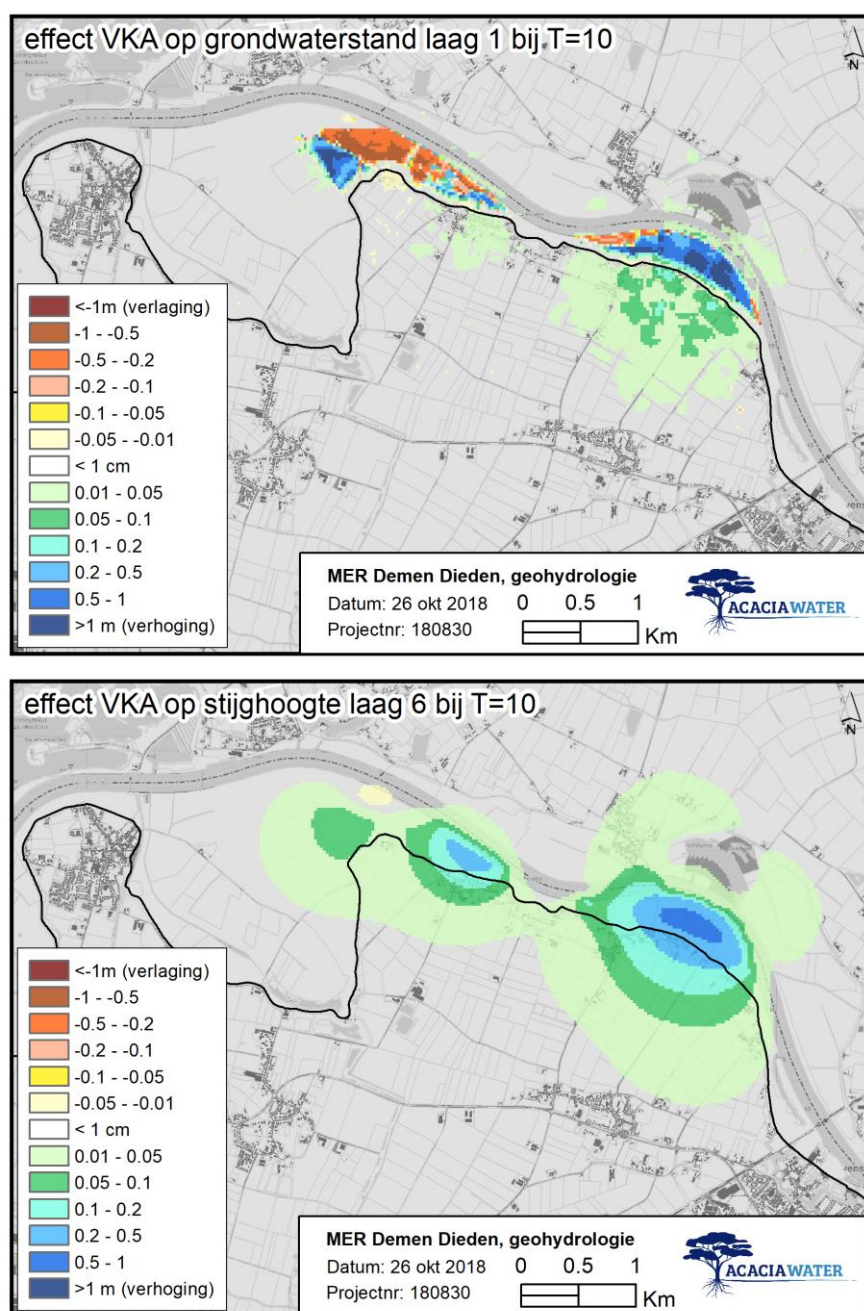
Ook onder gemiddelde omstandigheden treden geen grondwaterstands- of stijghoogteveranderingen op, groter dan 5 cm.

Hoogwater T=10

Tijdens een hoogwatersituatie treden verhogingen van de stijghoogte op. Hierdoor treden binnendijs ook grondwaterstandsverhogingen op. Ten tijde van hoogwater worden direct achter de dijk bij de uiterwaard van Demen grondwaterstandsverhogingen berekend tot maximaal 15 cm. Grondwaterstandsverhogingen groter dan 5 cm treden op ter plaatse van

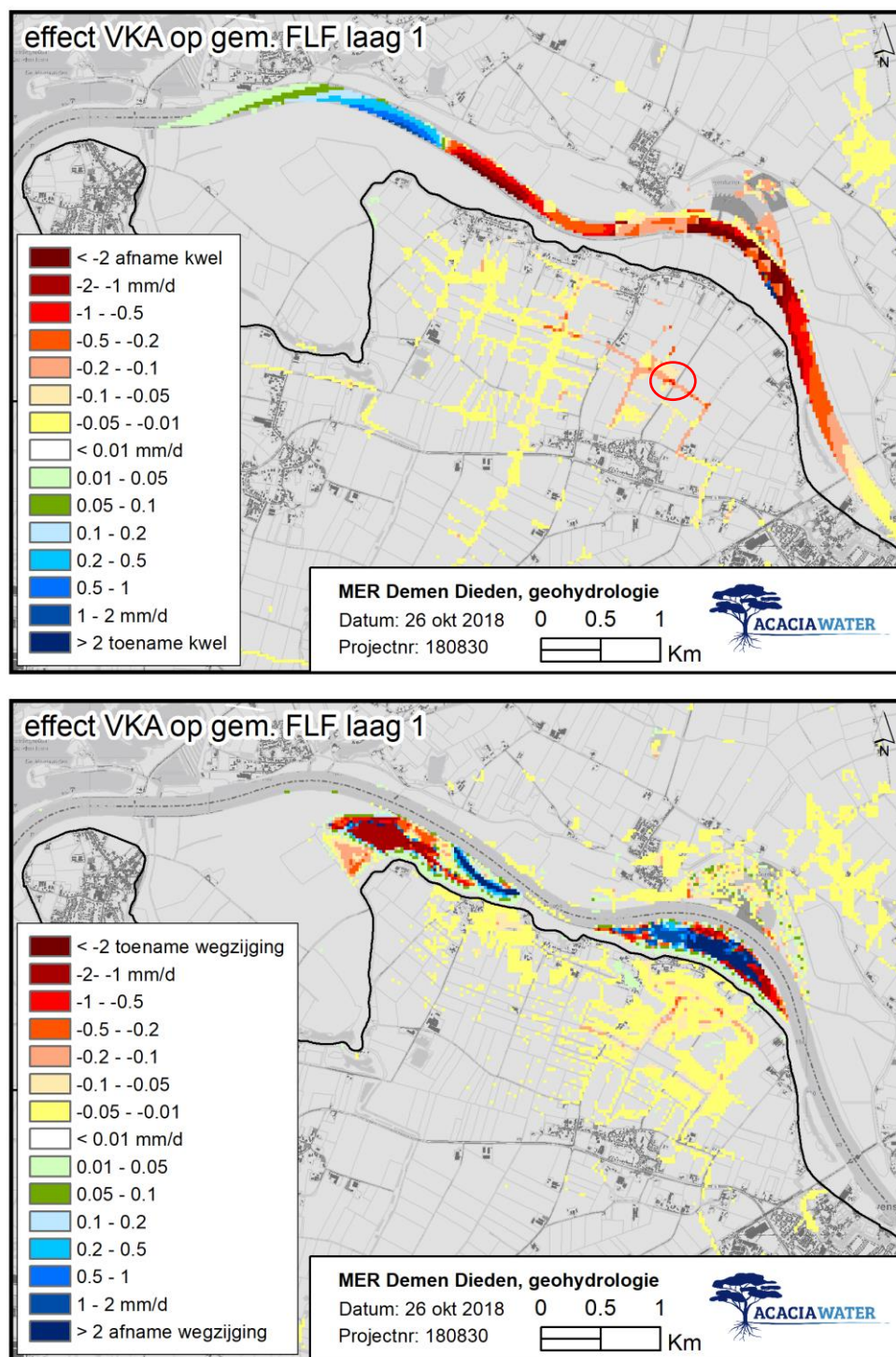
een areaal van 32 ha, waarvan op ongeveer 5 ha bebouwing aanwezig is. In de uiterwaard is zichtbaar dat lokaal ook verlagingen kunnen optreden ten opzichte van de huidige situatie. Dit betreffen locaties waar na uitvoering van het VKA de uiterwaard in open verbinding staat met de Maas. Het effect is gepresenteerd 1 dag na het hoogste waterniveau, dan treedt het grootste effect op. Op deze locaties daalt de waterstand bij het VKA sneller omdat het water niet meer langzaam als grondwaterstand uitzakt maar actief meedaalt met het Maaspeil.

De stijghoogteveranderingen binnendijs van de uiterwaard Dieden bedragen maximaal 15 cm en van uiterwaard Demen 30 cm. Aan de noordkant van de Maas treden binnendijs geen effecten op de grondwaterstand of stijghoogte groter dan 5 cm op.



Figuur 25 Effect VKA op waterstand tijdens hoogwater T=10, boven: grondwaterstand en onder: stijghoogte

5.2 Effect op aan- en afvoer



Figuur 26 Effect VKA op verticale flux door modell laag 1 (FLF1). Boven: locaties met wegzijging in de referentie situatie en onder: locaties met kwel in de referentie situatie

5.2.1 Onder gemiddelde omstandigheden

Onder gemiddelde omstandigheden neemt de afvoer/ kwel binnendijks af en de wegzijging toe. Meestal is de verandering geringer dan 0.05 mm/d, zie Figuur 26.

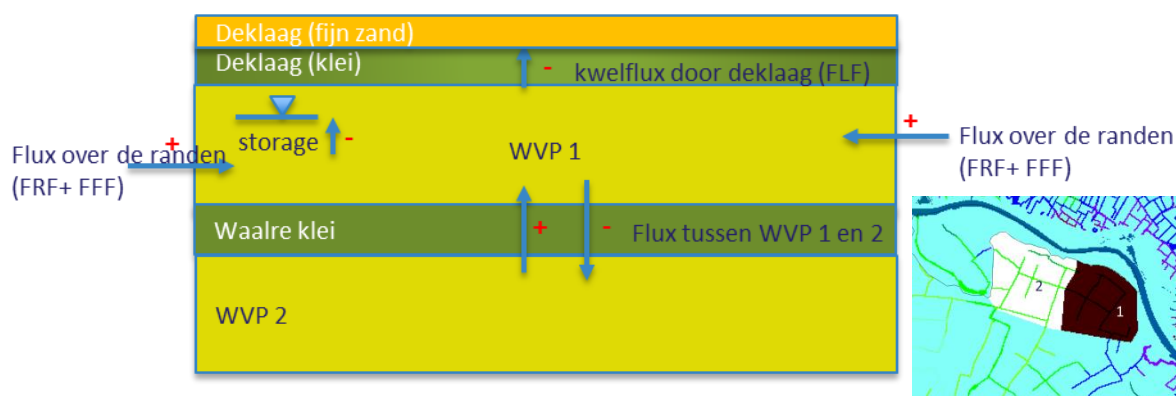
Nabij watergangen, ten zuiden van de Maas, kan plaatselijk het effect groter zijn. Ter plaatse van twee gridcellen (zie voor locatie rode ellips in deze figuur) is de verandering van de kwelflux groter dan 0.5 mm/d (0.6 mm/dag). Anders bedraagt lokaal de maximale fluxverandering (geldt voor kwel en wegzijging) 0.35 mm/dag.

5.2.2 Effecten tijdens hoog water T = 10

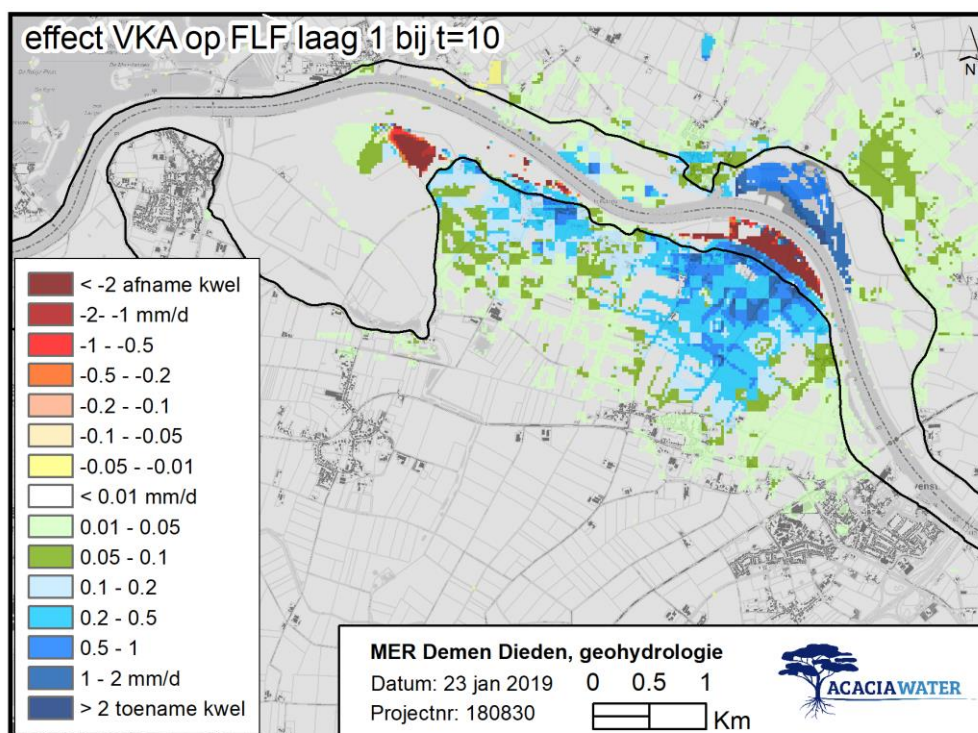
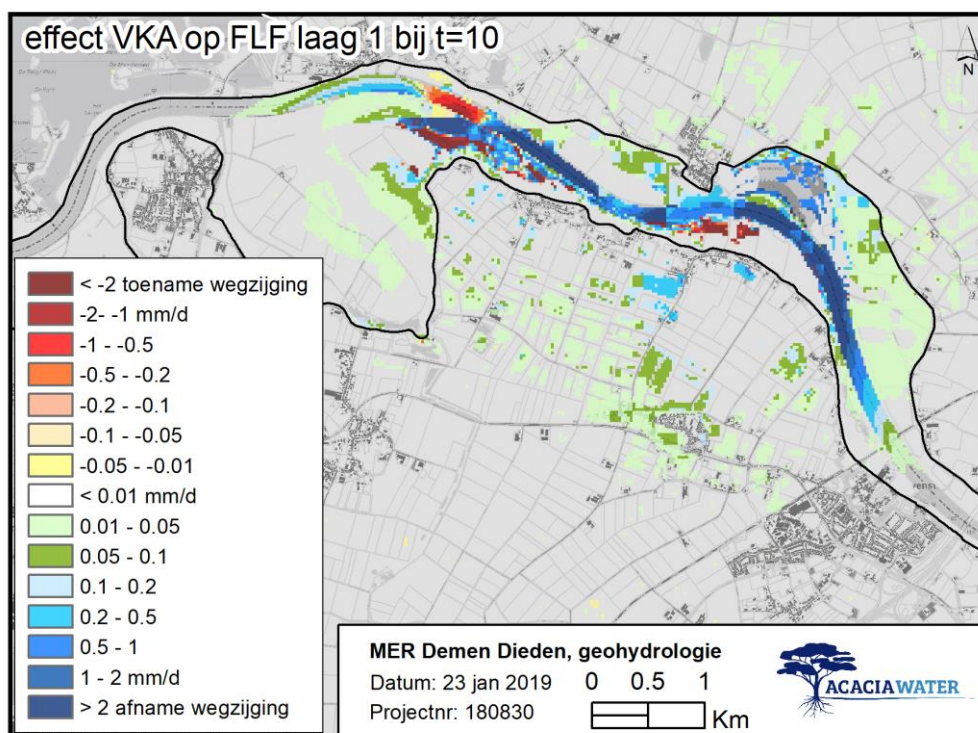
Ten zuiden van de Maas treden ter plaatse van een gebied van 0.44 km² veranderingen van de flux groter dan 0.5 mm/dag op. Dit is met name bij Demen achter de dijk. De gemiddelde kwelfluxverandering van dit gebied bij Demen (over 1 km²) bedraagt 0.48 mm/dag. Bij Dieden bedraagt de verandering (over 1 km²) 0.1 mm/dag.

Ten noorden van de Maas treden binnendijs geen veranderingen van de kwelflux op, groter dan 0.3 mm/dag (Figuur 28).

Het model schrijft tijdens de hoogwatergolf, de waterbalanstermen dagelijks weg. Voor de twee peilgebieden binnendijs bij Dieden en Demen is een waterbalans opgesteld. De waterbalanstermen en locaties van de peilgebieden zijn weergegeven in Figuur 27.



Figuur 27 Overzicht termen waterbalans niet-stationaire modelberekening. De plus en min geven aan of de flux het eerste watervoerende pakket in of uit is gericht. Links: weergave van de gebieden waarvoor een waterbalans is opgesteld



Figuur 28 Effect VKA op verticale flux door modellalaag 1 (FLF1). Boven: locaties met wegzijging in de referentie situatie en onder: locaties met kwel in de referentie situatie

Oostelijk peilgebied bij Demen

De waterbalans is gesommeerd over 11 dagen van 30 december tot en met 9 januari. Tabel 2 geeft de waterbalanstermen weer.

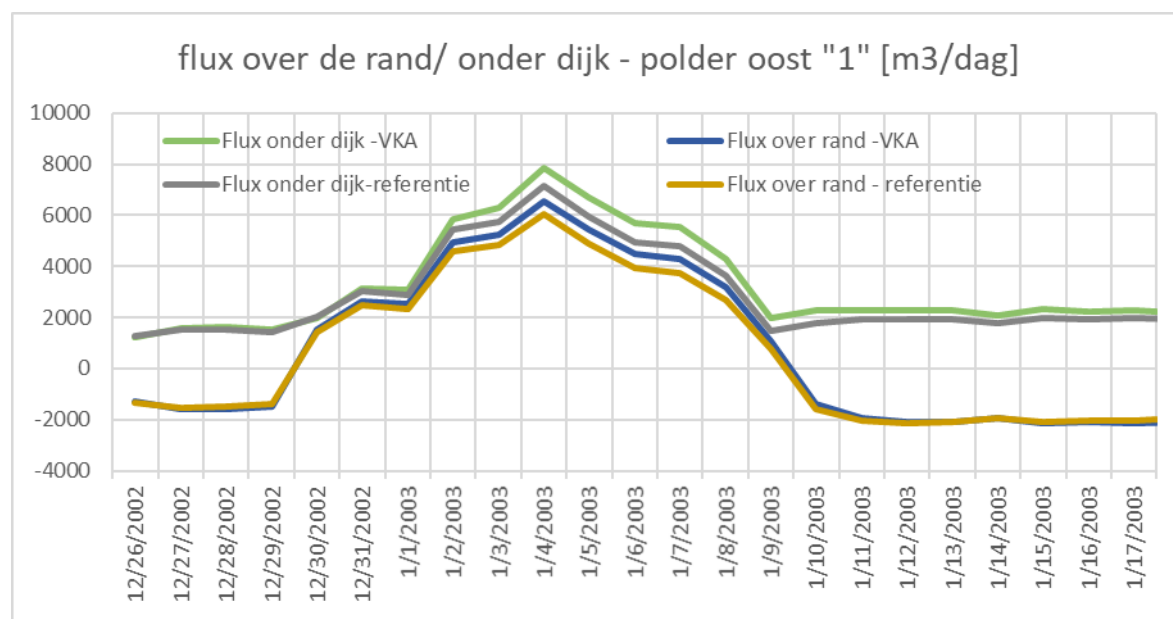
Het water komt onder de dijk door (Flux over de randen WVP 1) en vanuit het tweede watervoerende pakket (Flux van WVP 2 naar WVP1). Lokaal ontbreekt hier de scheidende laag tussen WVP 1 en WVP2 in het model, waardoor ook in het tweede watervoerende pakket water onder de dijk doorstroomt. Deze fluxen tezamen resulteren in een toename van de ondiepe kwelflux (FLF laag1) en een stijging van de stijghoogte (Storage WVP1). De ondiepe kwelflux neemt tijdens een T=10 hoogwatersituatie ongeveer 15 % toe ten gevolge van het VKA. De absolute toename bedraagt ongeveer 5000 m3 tijdens de hoogwatergolf.

Ter vergelijking is ook de waterbalans opgesteld van het aangrenzende dijktraject. De flux onder de dijk is iets groter dan de horizontale flux van het peilgebied, maar ligt in dezelfde orde van grootte. Figuur 29 geeft deze waterbalanstermen niet-stationair weer.

Tabel 2 Waterbalans peilgebied bij Demen, fluxen gesommeerd over 11 dagen tijdens het hoogwaterniveau.

Peilgebied Demen	Referentie [m3/11dg]	VKA [m3/11dg]	Vershil
FLF laag 1	-32 475	-37 385	4 900 m3 15 % toename
Flux van WVP 2 naar WVP1	+7 255	+9 746	2 500 m3 34 % toename
Flux over de randen naar het peilgebied WVP 1*	+37 676	+41 981	4 300 m3 11 % toename
Storage WVP 1	-12 441	-14 357	1900 m3 15 % toename
Totaal	~ 0	~ 0	
Ter vergelijking:			
Flux onder de dijk door WVP 1*	47 080	52 360	5280 m3 11% toename

*Deze twee termen worden in Figuur 29 per dag weergegeven.



Figuur 29 Overzicht van de flux over de randen van het peilgebied Demen, gebaseerd op de waterbalans van het gebied zelf en de waterbalans van het aangrenzende dijktraject.

Westelijk peilgebied bij Dieden

Voor het westelijke peilgebied is dezelfde exercitie uitgevoerd. De fluxen zijn nu gesommeerd over de dagen 2 januari t/m 11 januari (10 dagen), zie Tabel 3. Ter plaatse van deze uiterwaard is wel overal een scheidende laag aanwezig tussen WVP 1 en WVP2, vandaar is de stroming tussen het eerste en tweede watervoerende pakket nu omgekeerd. De vergravingen in deze uiterwaard zijn minder grootschalig.

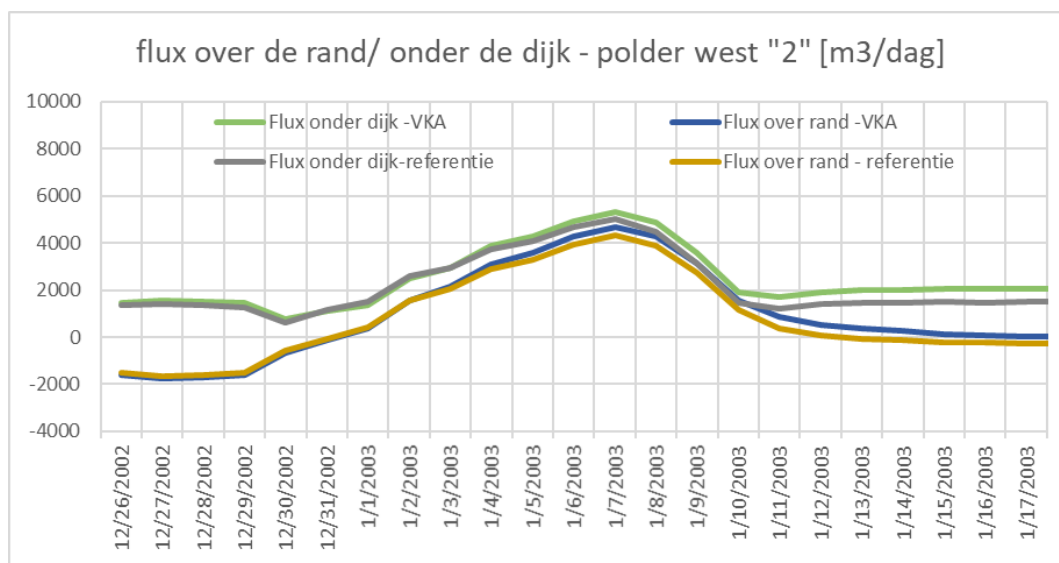
De effecten van het VKA op de waterbalans zijn daarom minder groot. De ondiepe kwelflux neemt tijdens een T=10 hoogwatersituatie ongeveer 7,5 % toe ten gevolge van het VKA. De absolute toename bedraagt ongeveer 2000 m³ tijdens de hoogwatergolf.

De hoeveelheid water naar storage (verhoging waterstand in het eerste watervoerende pakket) is gering in vergelijking met de storage hoeveelheid, berekend voor het peilgebied Demen. Dit heeft te maken met de periode waarover de waterbalans is opgesteld. De waterbalans is voor dit gebied opgesteld, voor een periode waarbij bij aanvang en einde, de kwelflux ongeveer gelijk is (Figuur 30).

Tabel 3 Waterbalans peilgebied bij Dieden, fluxen gesommeerd over 10 dagen tijdens het hoogwaterniveau.

Peilgebied Dieden	Referentie [m ³ /10dg]	VKA [m ³ /10dg]	Verschil
FLF laag 1	-25 060	-26 950	1 890 m ³ 7,5 % toename
Flux van WVP 2 naar WVP1	-2 077	-1 896	-
Flux over de randen WVP 1*	+26 230	+29 320	3 000 m ³ 11 % toename
Storage WVP 1	+911	-472	-
Totaal	~ 0	~ 0	
Ter vergelijking:			
Flux onder de dijk door WVP 1*	33 780	35 900	2120 m ³ 6,3 % toename

*Deze twee termen worden in Figuur 30 per dag weergegeven.



Figuur 30 Overzicht van de flux over de randen van het peilgebied Dieden, gebaseerd op de waterbalans van het peilgebied zelf en de waterbalans van het aangrenzende dijktraject.

Tezamen treedt er een toename van de kwelflux op van ongeveer 7000 m³ ten gevolge van een T=10 hoogwatersituatie.

6 Beoordeling VKA

6.1 Toetsingscriteria

Om de effecten te kunnen toetsen heeft Waterschap Aa en Maas beoordelingscriteria geformuleerd en bestuurlijk vastgesteld (bron: adviesnota voor het dagelijks bestuur d.d. 3 sep 2018):

- De grondwaterstandsverandering (GLG en GHG) mag maximaal 5 cm bedragen.
- De dijkse kwelflux mag (bij een T=10 situatie) maximaal 2% toenemen.

6.2 Beoordeling VKA toetsingscriteria

6.2.1 Grondwaterstandsverandering binnendijks

Binnendijks zijn geen grondwaterstandseffecten groter dan 5 cm berekend voor de GLG of GHG. Dit criterium scoort daarom neutraal.

6.2.2 Verandering van kwelflux

Onder gemiddelde omstandigheden treedt geen toename van de kwelflux op, maar een afname. De afname bedraagt lokaal maximaal 0.6 mm/dag, maar is meestal in een orde van grootte van minder dan 0.05 mm/d.

Tijdens een hoogwatersituatie T=10, neemt de binnendijkse kwelflux meer dan 2% toe. Dit aspect scoort daarom negatief.

De toename van kwelflux leidt tot een toename van water en daarmee een extra belasting van de afvoercapaciteit. De toename is berekend op een totaal van 7.000 m³ tijdens een T=10 hoogwatergolf van ongeveer 10 dagen. De toename van 7.000 m³ treedt met name uit bij de sloten en stroomt daarna via de Hertogswetering naar het gemaal Gewande (capaciteit 10 m³/s). Het oppervlaktewatersysteem wordt hierdoor tijdelijk iets sterker belast (lokaal 7 tot 15 %). Het waterschap Aa en Maas zal, bij de vergunningaanvraag, moeten beoordelen of dit mogelijk is dan wel of de toename in water zodanig is dat hier binnendijks maatregelen voor getroffen moeten worden.

Ten noorden van de Maas treden geen fluxverhogingen groter dan 0.3 mm/dag op bij een T=10 hoogwatersituatie.

6.3 Effecten VKA op functies

Om de effecten ook in het bredere kader van de m.e.r. te beoordelen wordt ook gekeken naar de effecten op landbouw, gebouwen en infrastructuur en overlast. De thema's zijn weergegeven in Tabel 4 en zijn mede gebaseerd op MER-trajecten van vergelijkbare uiterwaardvergravingen in de afgelopen jaren (MER Hemelrijk, MER Munnikenland en MER Millingerwaard). De classificering is gebaseerd op de adviesnota van Aa en Maas waarin de criteria zijn toegelicht.

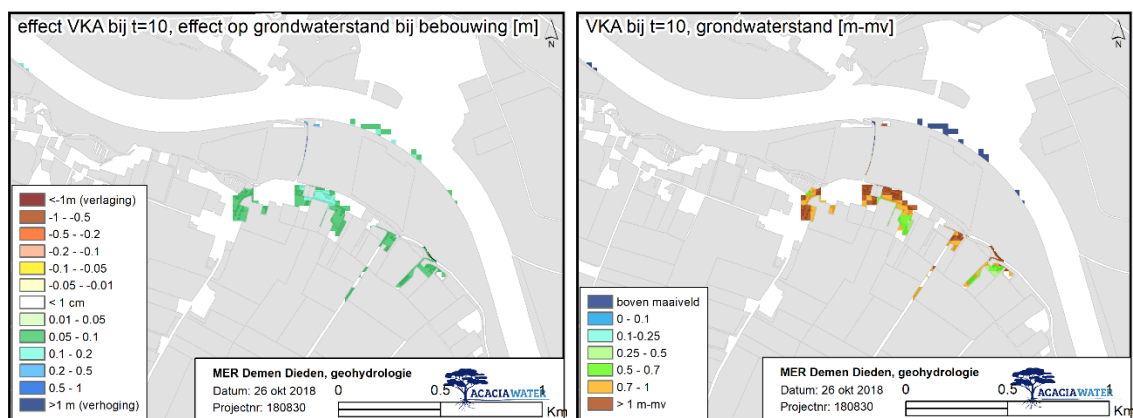
Tabel 4 Classificering effecten van het VKA op functies

Thema	classificering		toelichting
	Negatief effect	Geen negatief effect	
Natschade landbouw	> 5cm stijging GHG	< 5cm stijging GHG	Aa en Maas verwacht dat met deze beoordelingscriteria negatieve effecten op verschillende gebruiksfuncties worden voorkomen.
Droogteschade landbouw	> 5 cm daling GLG	< 5 cm daling GLG	Aa en Maas verwacht dat met deze beoordelingscriteria negatieve effecten op verschillende gebruiksfuncties worden voorkomen.
Zettingsrisico gebouwen en infrastructuur	> 5 cm waterstandsverandering bij GLG	< 5 cm waterstandsverandering bij GLG	Aa en Maas verwacht dat met deze beoordelingscriteria negatieve effecten op verschillende gebruiksfuncties worden voorkomen.
Grondwateroverlast bebouwing*	> 5 cm stijging grondwaterstand bij GHG en onvoldoende drooglegging	< 5 cm stijging grondwaterstand of voldoende drooglegging	Aa en Maas verwacht dat met deze beoordelingscriteria negatieve effecten op verschillende gebruiksfuncties worden voorkomen.
Grondwateroverlast bebouwing, bij T=10 hoogwatersituatie*	> 5 cm stijging grondwaterstand of voldoende drooglegging	< 5 cm stijging grondwaterstand of voldoende drooglegging	Aa en Maas verwacht dat met deze beoordelingscriteria negatieve effecten op verschillende gebruiksfuncties worden voorkomen.

* Het waterschap kent geen droogleggingseisen voor bebouwing. Voor woningen is een drooglegging van 0.7 of 1 m gebruikelijk. Voor woningen zonder kruipruimte kan een hogere grondwaterstand ook voldoende zijn.

In het binnendijkse gebied treden geen significante grondwaterstandveranderingen (> 5 cm) op onder gemiddelde droge en natte omstandigheden (GLG en GHG) als gevolg van het VKA. Significante effecten op de landbouw (droogte- danwel natschade) treden derhalve niet op. Ook het zettingsrisico en het risico op grondwateroverlast onder GHG-condities worden daarom als neutraal beoordeeld.

In T=10 situaties worden direct achter de dijk bij de uiterwaard van Demen grondwaterstandverhogingen berekend tot maximaal 12 cm. Nu is aangehouden dat risico op grondwateroverlast kan optreden als de grondwaterstand ondieper ligt dan 0.7 m-mv. Figuur 31 geeft ter plaatse van bebouwing de locaties weer waar (1) veranderingen van de grondwaterstand groter dan 5 cm optreden en (2) het grondwaterstandsniveau onder maaiveld berekend voor het VKA. Zichtbaar is dat op enkele plekken grondwaterstanden ondieper dan 70 cm-mv voorkomen. De berekende toename van de grondwaterstand bedraagt hier maximaal 7 cm. Of dit ook daadwerkelijk tot overlast leidt is niet bekend.



Figuur 31 links: grondwaterstandverandering bij een T=10 hoogwaterniveau bij bebouwing en rechts: de hoogte van de grondwaterstand onder maaiveld, berekend voor het VKA tijdens een hoogwater T=10

De totaaltabel met de effecten van het VKA per functie is opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5 Effecten van het VKA op functies

Thema	Classificering		
	Negatief effect (-)	Geen negatief effect (0)	Score
Natschade landbouw	> 5cm stijging GHG	< 5cm stijging GHG	0
Droogteschade landbouw	> 5 cm daling GLG	< 5 cm daling GLG	0
Zettingsrisico gebouwen en infrastructuur	> 5 cm waterstandsverandering bij GLG	< 5 cm waterstandsverandering bij GLG	0
Grondwateroverlast bebouwing	> 5 cm stijging grondwaterstand bij GHG en onvoldoende drooglegging	< 5 cm stijging grondwaterstand of voldoende drooglegging	0
Grondwateroverlast bebouwing, bij T=10 hoogwatersituatie	> 5 cm stijging grondwaterstand of voldoende drooglegging	< 5 cm stijging grondwaterstand of voldoende drooglegging	-

7

Conclusie

De effecten van het natuurontwikkelingsproject Demen-Dieden, op het hydrologische systeem, zijn met het regionale grondwatermodel (MORIA v3.2) berekend en gescoord aan de hand van beoordelingscriteria van waterschap Aa en Maas. De verandering van de dijkse kwelflux bij een T=10 hoogwatersituatie verandert meer dan 2 % en scoort daarmee negatief.

Overzicht: score van de effecten van natuurontwikkelingsproject Demen-Dieden

nr	Beoordelingscriterium	Score
1	De grondwaterstandsverandering (GLG en GHG) mag maximaal 5 cm bedragen.	0
2	De dijkse kwelflux mag (bij een T=10 situatie) maximaal 2% toenemen.	-

Het regionale grondwatermodel is lokaal verfijnd en aangepast voor de weerstand in de uiterwaard en het oppervlaktewatersysteem binnendijks van Demen en Dieden. In de omgeving van Demen en Dieden zijn weinig grondwaterstand- of stijghoogtemetingen beschikbaar. Het model is getoetst aan de beschikbare metingen. Het berekende grondwaterniveau en de dynamiek komen goed overeen.

De diepte van de klei in de uiterwaard is in de planfase middels boringen gedetailleerd onderzocht. De weerstand van de klei is echter niet goed bekend. Om deze reden is eerst een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd middels stationaire effectberekeningen voor een bandbreedte van weerstandswaarden. Daarnaast zijn twee vergravingsvarianten doorgerekend, de basisvergraving (globaal representatief voor de uitwerking van het project) en de maximale vergraving, waarbij alle klei vergraven wordt.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat bij Dieden, de effecten van de maximale vergraving tweemaal zo groot zijn als de basisvariant. Bij de maximale vergraving wordt in deze uiterwaard ook veel meer vergraven. Voor Demen geldt dat het verschil in effect tussen de basis en maximale vergraving geringer is, ongeveer een toename van 20-30 %. In de basisvariant wordt namelijk al relatief veel klei verwijderd uit de uiterwaard.

Het VKA is op basis van alle deelstudies geoptimaliseerd, maar komt globaal overeen met de basisvariant. Het VKA is niet-stationair doorgerekend, om zo de effecten onder gemiddelde, gemiddeld droge en natte omstandigheden en tijdens een T=10 hoogwatersituatie in kaart te kunnen brengen. Voor het VKA is uitgegaan van de worst-case inschatting van de weerstandswaarden (hoge weerstand in de uiterwaard en relatief lage weerstand in het binnendijkse gebied). Daarnaast is ervan uitgegaan dat de open water gebieden in de uiterwaard na vergraving in goed contact blijven met de ondergrond.

De effecten van het VKA zijn onder gemiddelde en gemiddeld droge en natte omstandigheden in het binnendijkse gebied, gering. Grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen zijn kleiner dan 5 cm en fluxveranderingen zijn meestal kleiner

dan 0.05 mm/d (maar kunnen lokaal hoger zijn tot 0.6 mm/d). Dit komt mede doordat de Maas gestuwd is en in droge perioden niet uitzakt. Onder gemiddelde omstandigheden (GLG, GG en GHG) wordt daarmee, zelfs in deze worst-case berekening, neutraal gescoord op de beoordelingscriteria.

Een t=10 hoogwatersituatie komt gemiddeld éénmaal per 10 jaar voor en duurt ongeveer 10 dagen. Ten gevolge hiervan treden stijghoogteverandering op tot 30 cm, binnendijks, achter de dijk bij Demen. De grondwaterstandsveranderingen bedragen maximaal 15 cm en treden op ter plaatse van een areaal van 32 ha, waarvan op ongeveer 5 ha bebouwing aanwezig is. De grootste effecten op de kwelflux treden ook op bij Demen. De totale binnendijkse kwel neemt bij een T=10 hoogwatersituatie toe met ongeveer 7000 m³, dit komt neer op een toename van 15 % van de kwelflux. De toename van de kwelflux scoort daarom negatief. Het extra kwelwater stroomt uit bij de sloten en stroomt erna via de Hertogswetering naar het gemaal Gewande (capaciteit 10 m³/s). Het waterschap Aa en Maas zal, bij de vergunningaanvraag, moeten beoordelen of deze (zeer) tijdelijke lokale extra belasting van het oppervlaktewatersysteem mogelijk is, of dat de toename in waterhoeveelheid zodanig is dat hier binnendijks maatregelen voor getroffen moeten worden.

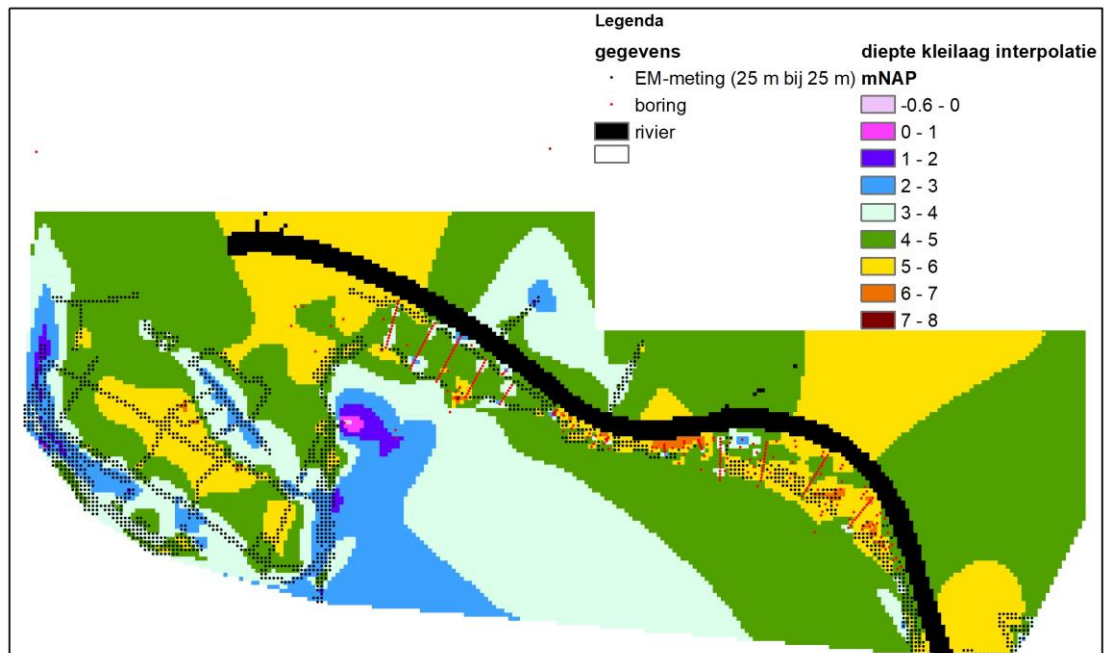
8 Literatuur

- Royal HaskoningDHV, 2016. Lagenmodel Moria, nieuw lagenmodel voor het Moria modelinstrumentarium gebaseerd op REGIS en Geotop

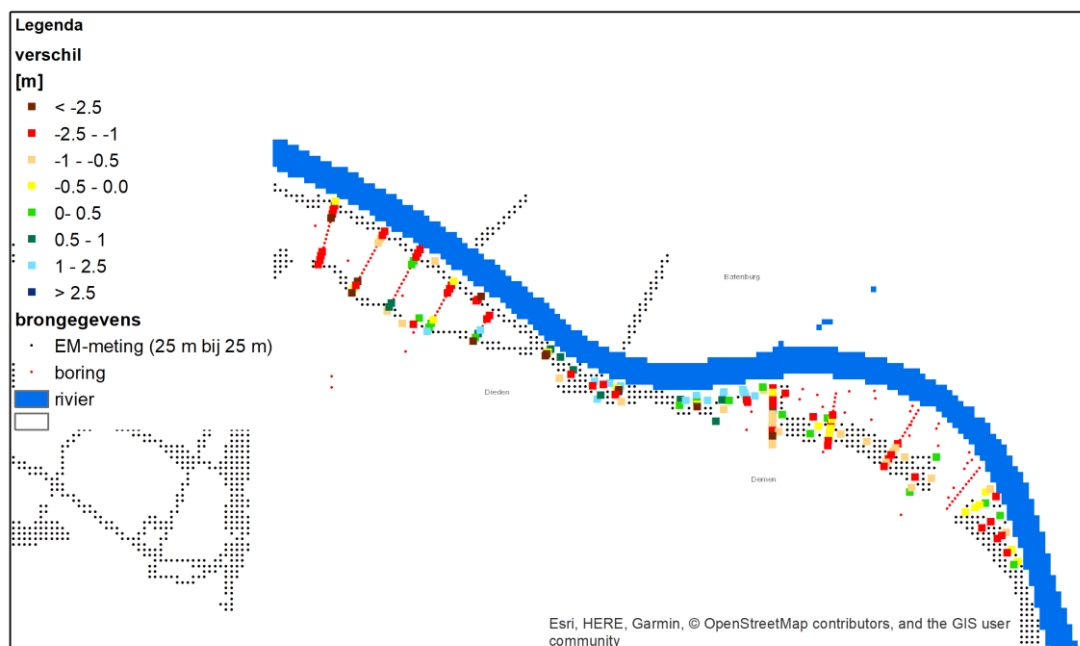
Bijlage 1

Achtergrondinformatie deklaag

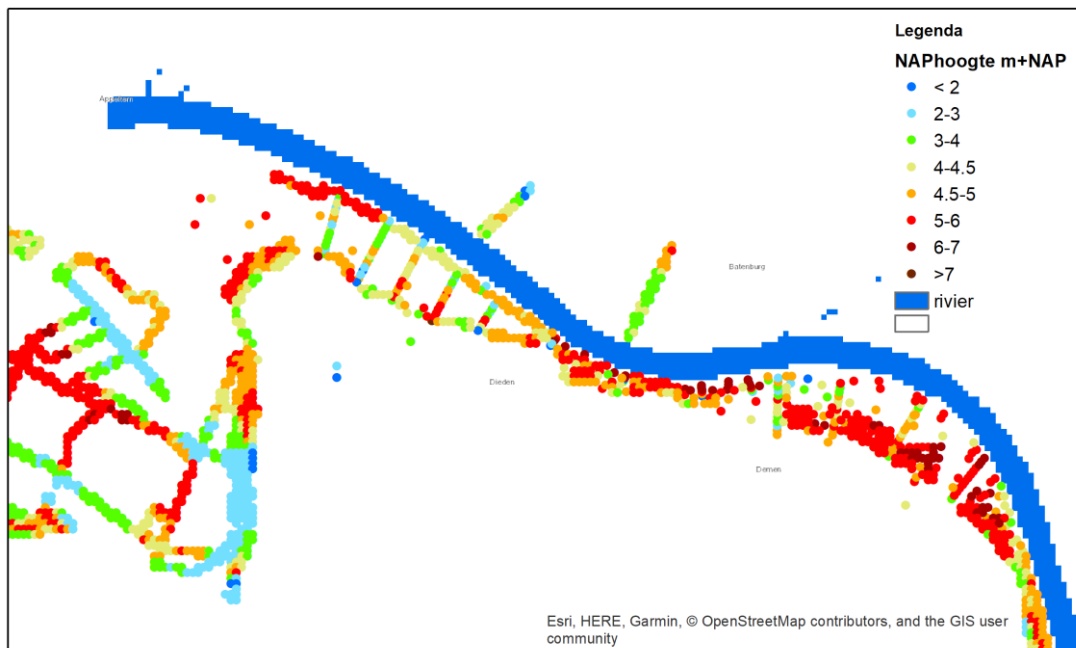
Deze bijlage bevat achtergrondinformatie over het vertalen van de aangeleverde bodemgegevens naar een weerstandswaarde voor de deklaag.



Figuur 32 Geïnterpoleerde onderkant van de kleilaag (m +NAP) op basis van boringen (rode puntjes) en EM-metingen (zwarte puntjes)



Figuur 33 Verschil tussen de onderkant kleilaag bepaald op basis van de EM-metingen en de boringen (boring minus EM)

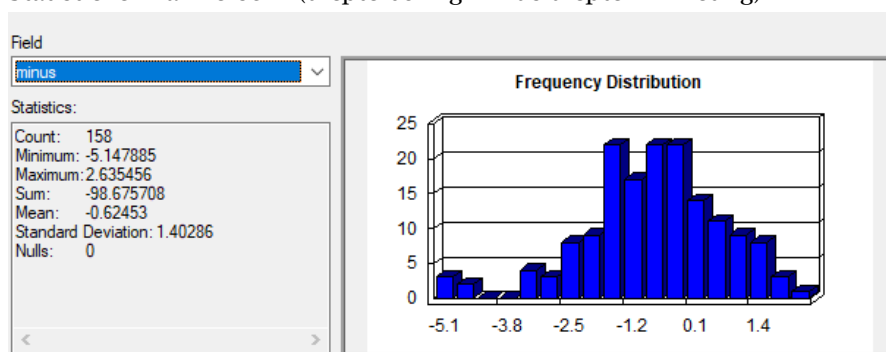


Figuur 34 NAP-hoogte van onderkant kleilaag (puntmetingen) bepaald op basis van de EM-metingen en de boringen

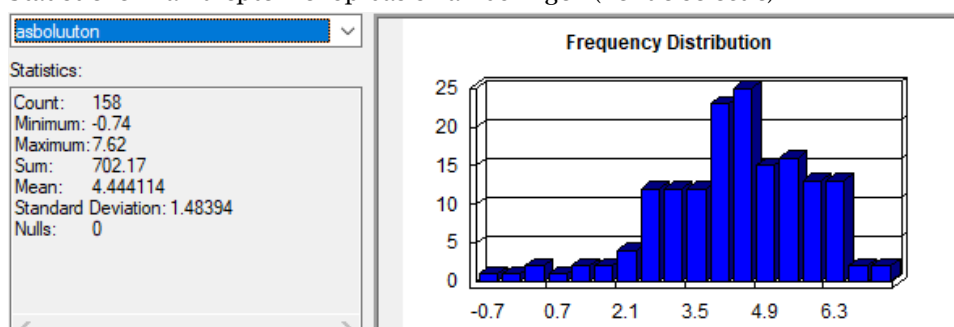
Op sommige locaties liggen de boringen en EM-metingen dicht bij elkaar. Om na te gaan hoe deze bronnen met elkaar overeen komen zijn de boorlocaties geselecteerd, die maximaal 50 m van EM-boringen liggen. Daarna is per geselecteerde boring nagegaan welke EM-meting het dichtst bij ligt en zijn de diepte van de kleilaag van de twee bronbestanden vergeleken. Op de vorige pagina geeft de figuur het verschil weer (als volgt bepaald: diepte kleilaag op basis van boringen minus kleidiepte op basis van EM-metingen).

Onderstaande overzichten geven de statistieken weer van deze selectie. Geconcludeerd wordt dat de diepte van de klei op basis van de boringen gemiddeld lager is (gemiddeld 60 cm) en dat de bandbreedte groter is.

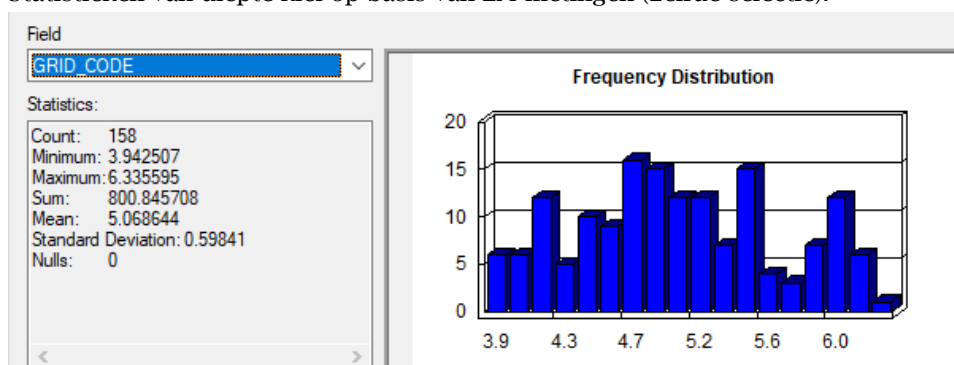
Statistieken van verschil (diepte boring minus diepte EM-meting):

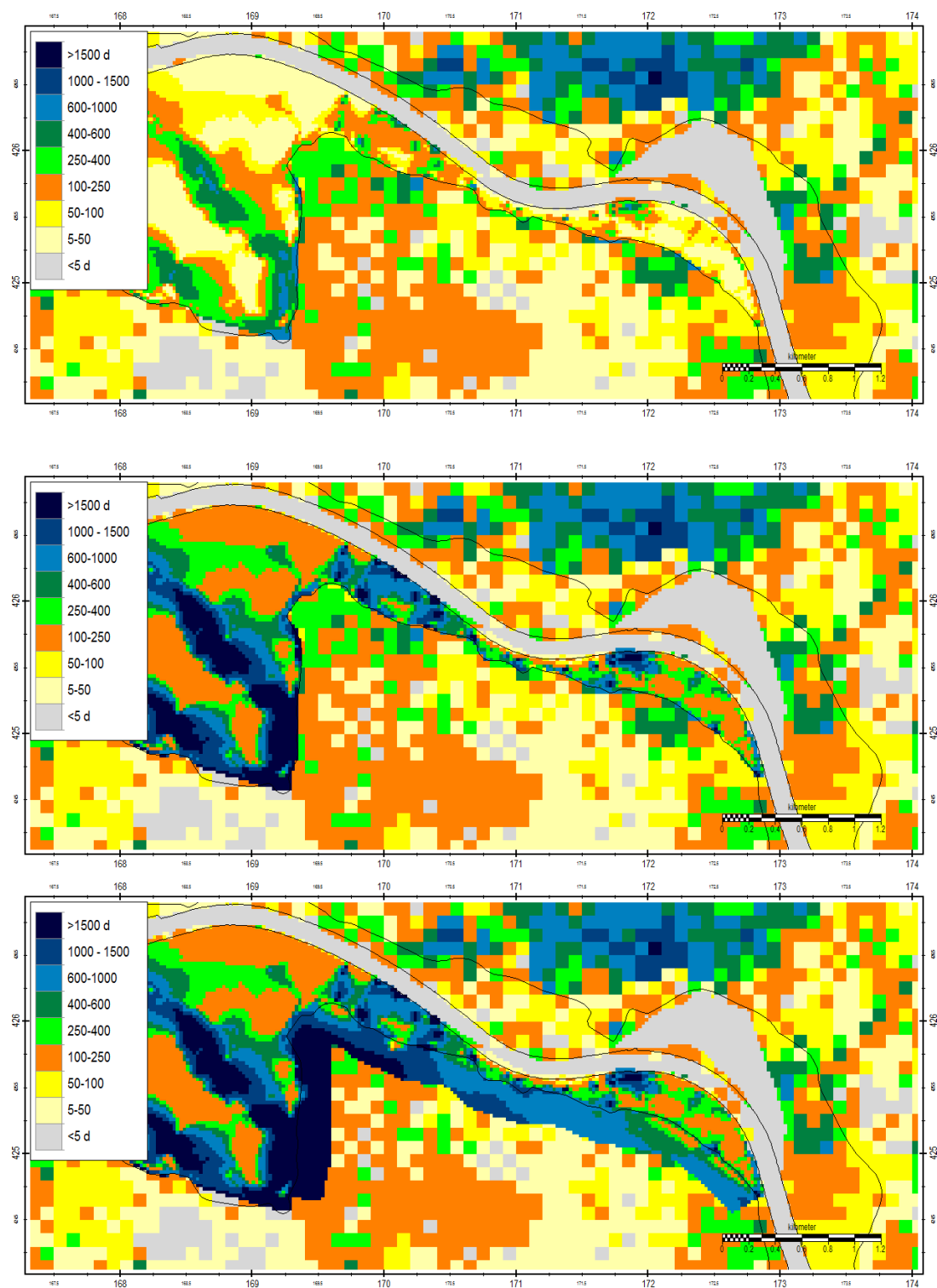


Statistieken van diepte klei op basis van boringen (zelfde selectie):

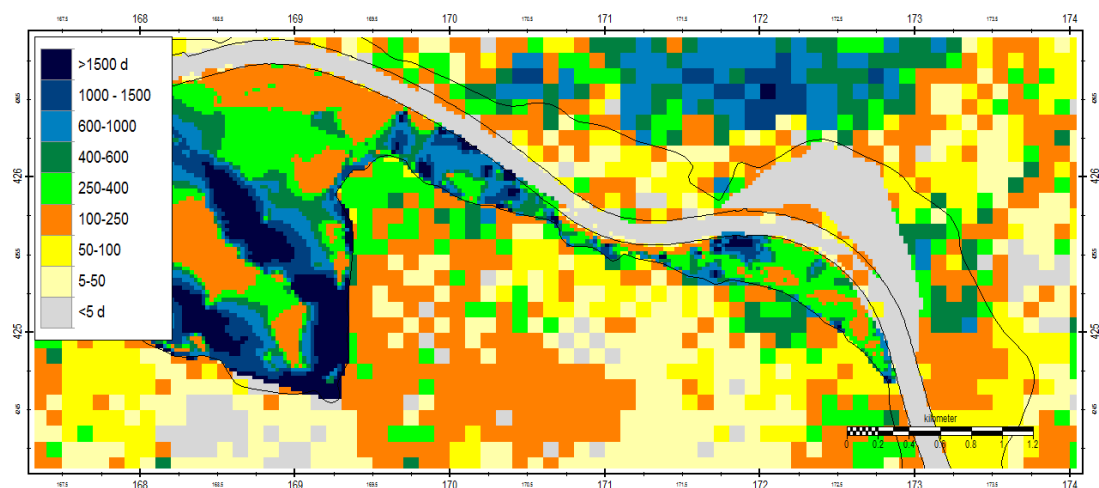


Statistieken van diepte klei op basis van EM-metingen (zelfde selectie):





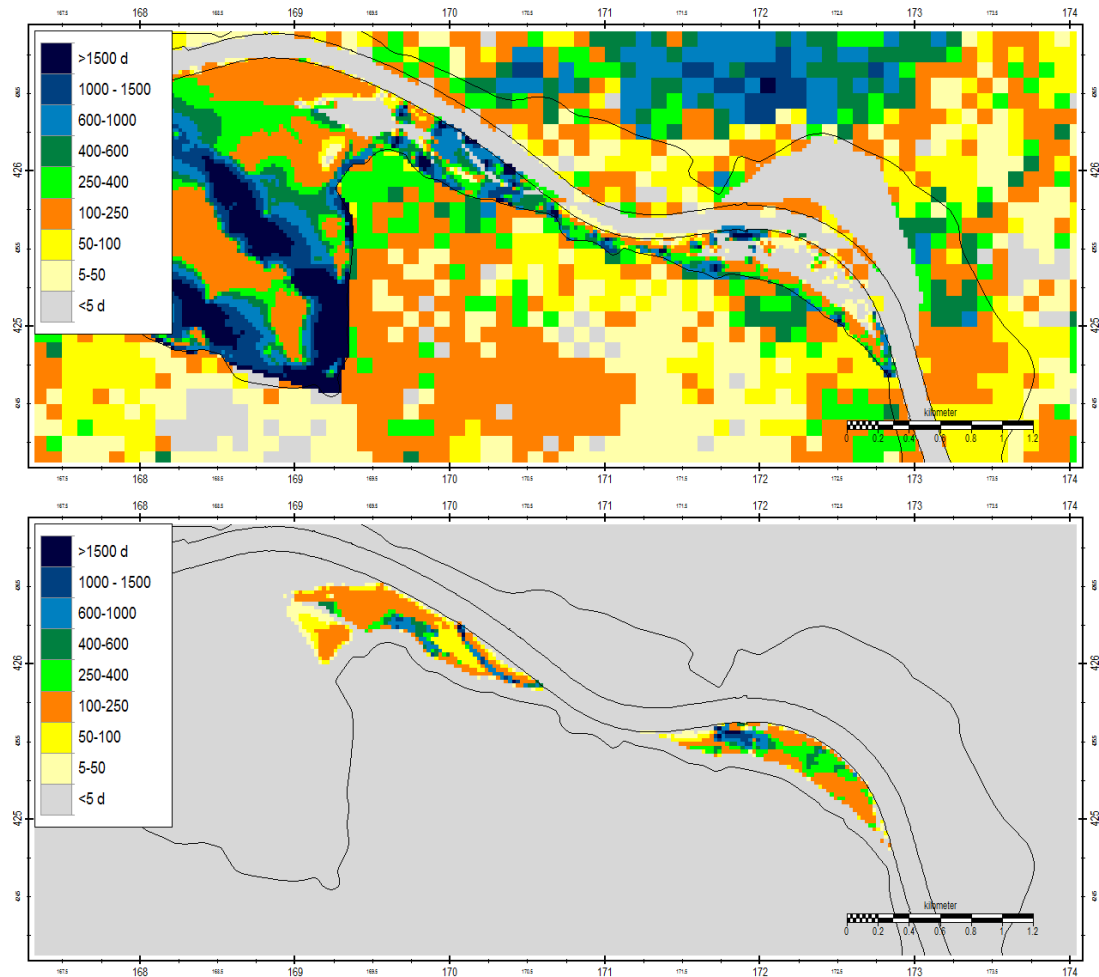
Figuur 35 Weerstand van modellaag 1 in dagen voor de gevoeligheidsanalyse. Boven berekend bij 20 en 250 d/m, midden en onder berekend bij 100 en 1000 d/m. In de onderste afbeelding is de aangepaste weerstand nog 250 m binnendijs geëxtrapoleerd.



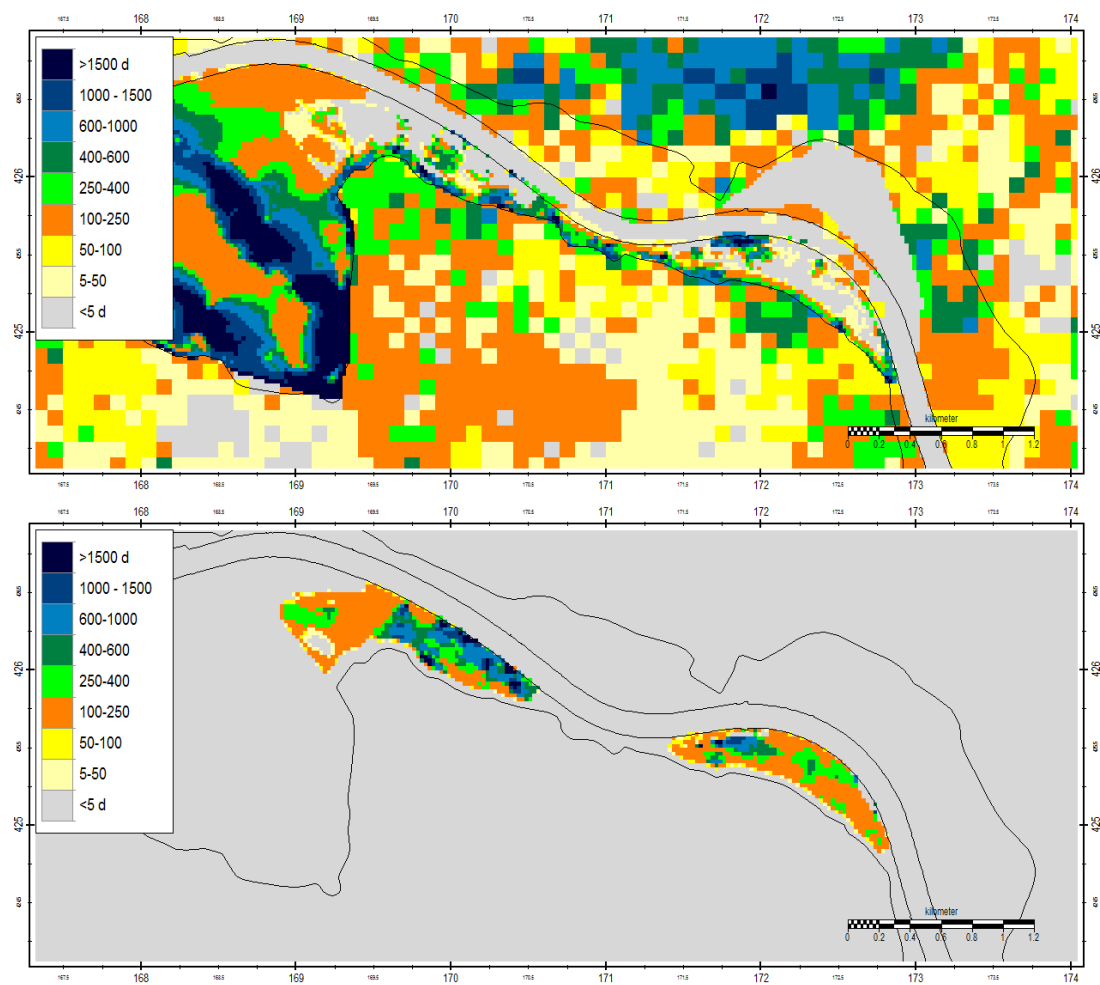
Figuur 36 Weerstand van modellaag 1 in dagen voor het VKA, berekend bij 100 en 1000 d/m.

Bijlage 2

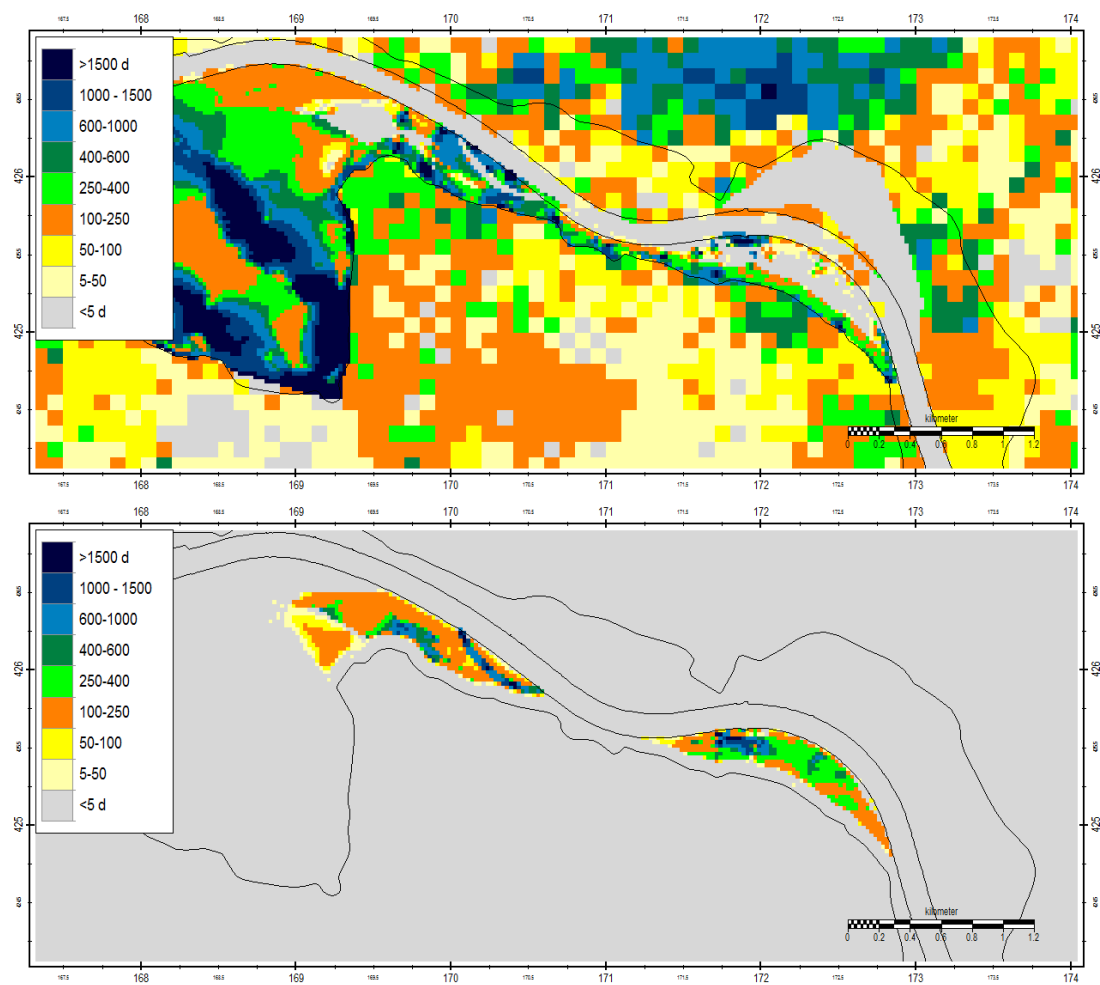
Weerstand deklaag (dagen) na vergraving voor de vergelijkingsvarianten en het VKA



Figuur 37 Weerstand van modellaag 1 in dagen, berekend bij 1000 en 100 d/m voor basisvariant. Boven: weerstand in dagen en onder: vergraven weerstand in dagen.



Figuur 38 Weerstand van modelaag 1 in dagen, berekend bij 1000 en 100 d/m voor maximale vergraving. Boven: weerstand in dagen en onder: vergraven weerstand in dagen.

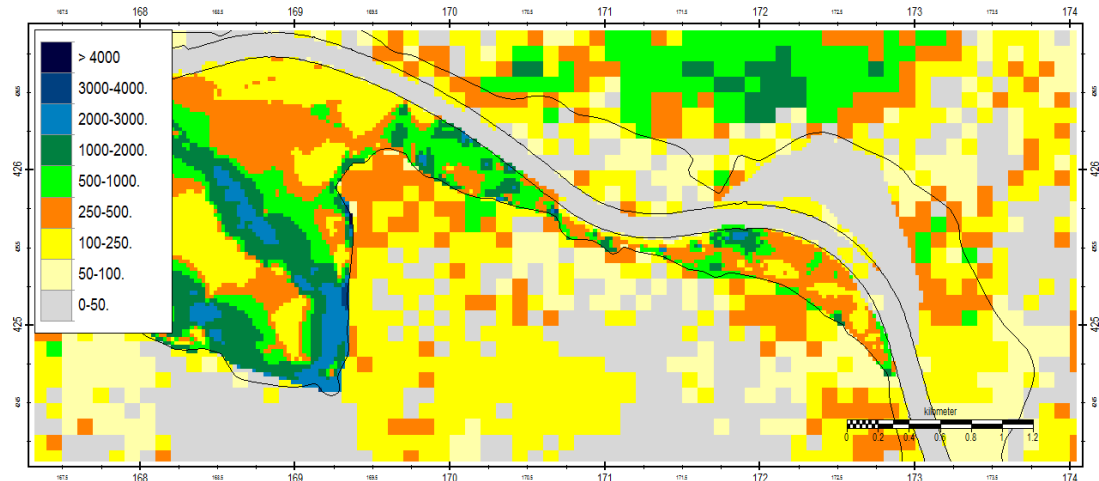


Figuur 39 Weerstand van modelaag 1 in dagen, berekend bij 1000 en 100 d/m voor VKA. Boven: weerstand in dagen en onder: vergraven weerstand in dagen.

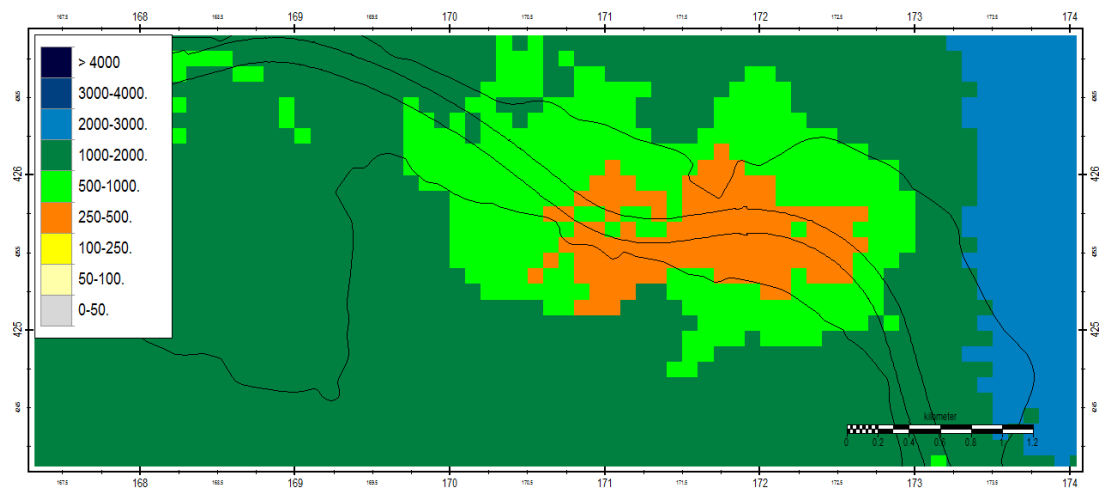
Bijlage 3

Bodemopbouw referentie model

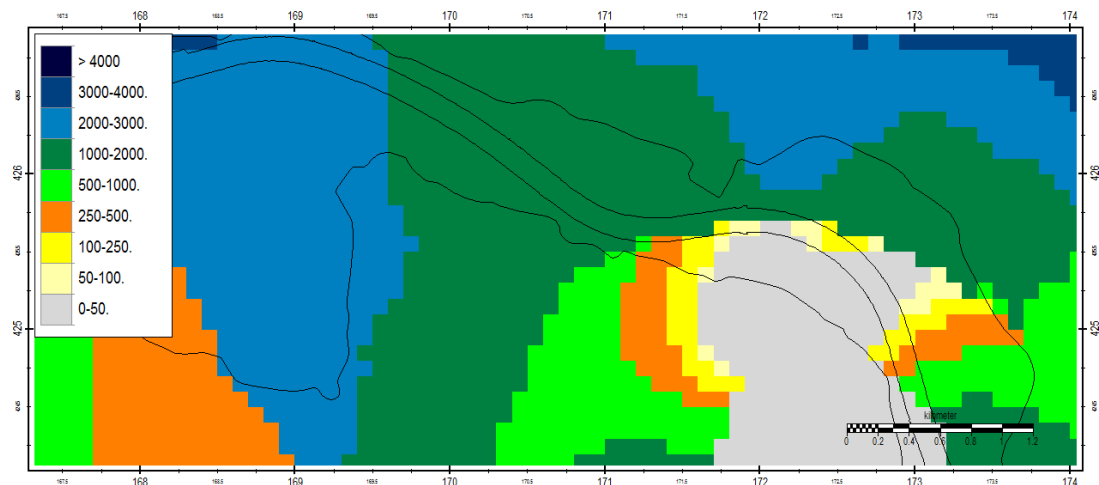
Deklaag, weerstand in dagen, berekend met weerstanden van 100 en 1000 m/d



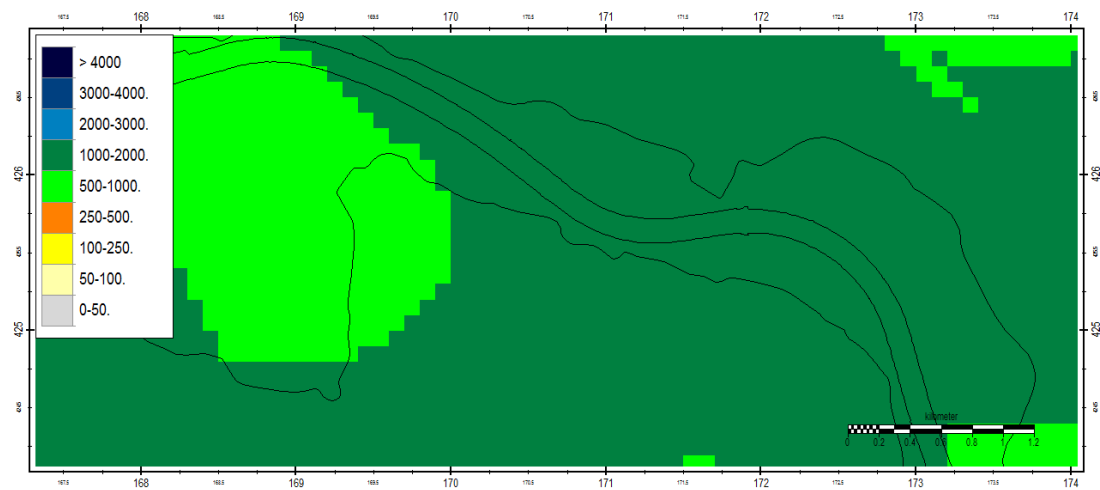
WVP 1, doorlaatvermogen in m²/d



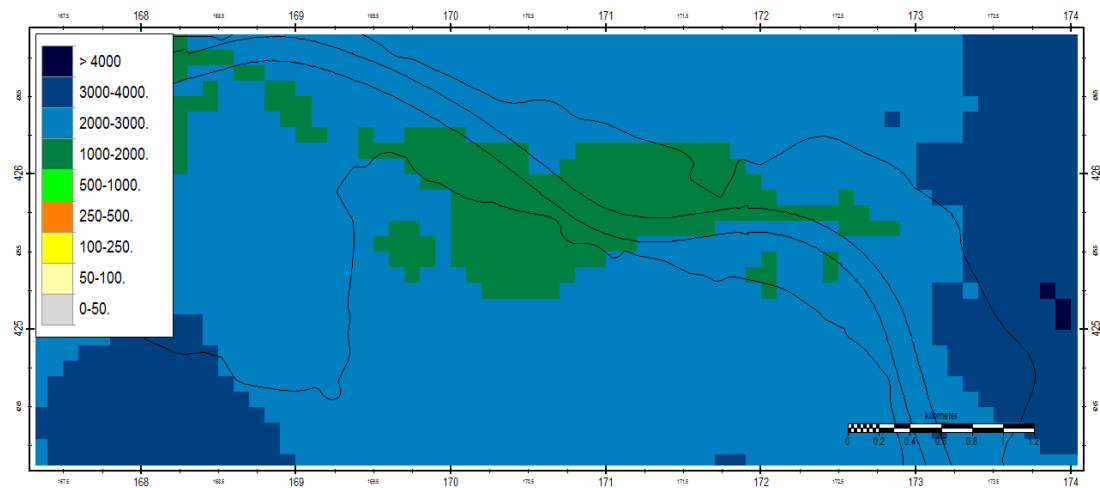
Waalre klei totaal, weerstand in dagen



WVP 2, doorlaatvermogen in m²/d



WVP 1 en 2 tezamen, doorlaatvermogen in m²/d



Bijlage 4

Hydrologische effectbeschrijving gevoeligheidsanalyse vergravingscontour en weerstand deklaag in uiterwaarden

Eerst worden de effecten op het hydrologische systeem bij een Maaspeil van 4.9 m +NAP beschreven en daarna bij MHW.

Modelresultaat Maaspeil 4.9 m +NAP

Grondwaterstand en stijghoogte

Voor deze situatie treden als gevolg van de uiterwaardvergravingen grondwaterstandverlagingen op in de uiterwaard. Deze worden veroorzaakt doordat in de uiterwaard de grondwaterstand gemiddeld boven het Maaspeil berekend wordt door het model (5.2 tot 5.5 m +NAP). Deze effecten stralen in beperkte mate uit naar het binnendijkse gebied.

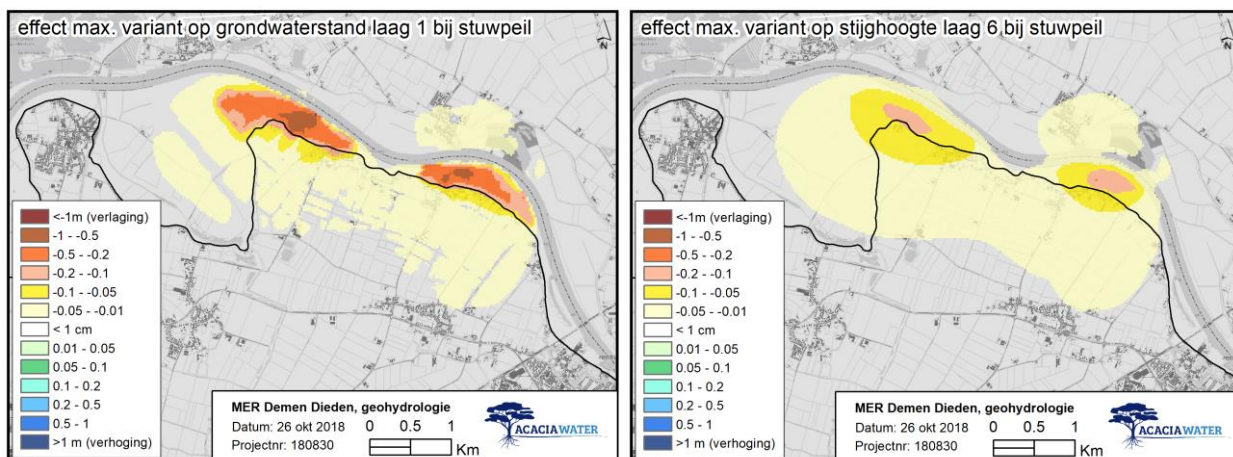
Binnendijks worden grondwaterstand-/ en stijghoogteverlagingen van maximaal 16 cm berekend ter plaatse van enkele gridcellen direct achter de dijk (Tabel 6) voor de maximale vergraving en hoge weerstand. Doorgaans zijn de effecten binnendijks maximaal 10 cm.

De gemiddelde grondwaterstand binnendijks bedraagt ongeveer 5.2 m +NAP.

Tabel 6 Overzicht effect op grondwaterstand binnendijks ter plaatse van de twee vergravingslocaties

Variant	Dieden uiterwaard		Demen uiterwaard	
	Maximale verandering grondwaterstand in uiterwaard	Maximale verandering binnendijks	Maximale verandering grondwaterstand in uiterwaard	Maximale verandering binnendijks
Basisvariant - lage weerstand	-22 cm	-7 cm	-45 cm	-9 cm
Basisvariant - hoge weerstand	-44 cm	-11 cm	-60 cm	-10 cm
Maximale vergraving - lage weerstand	-30 cm	-12 cm	-45 cm	-9 cm
Maximale vergraving - hoge weerstand	-70 cm	-16 cm	-64 cm	-12 cm

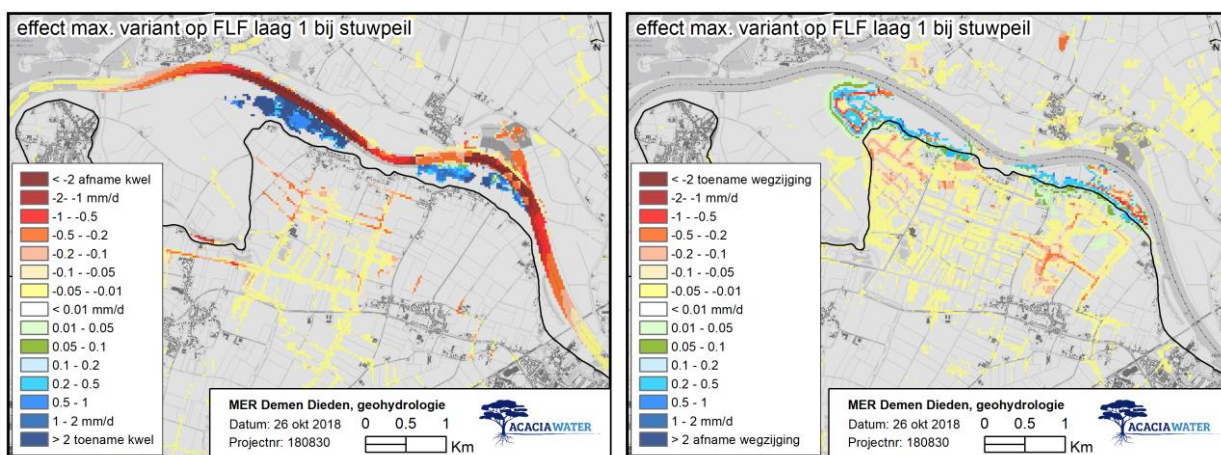
Figuur 40 geeft de berekende effecten voor de verschillende modellagen weer voor de worst-case variant (maximale vergraving en een hoge weerstand).



Figuur 40 Maximale effecten op de grondwaterstand (links) en stijghoogte WVP 1 (rechts) bij Maaspeil 4.9 m +NAP (maximale vergraving en hoge weerstand)

Kwel en wegzijging

In het binnendijkse gebied is het effect van het slotenpatroon zichtbaar in het effect op de kwel en wegzijging (flux onderkant modellaag 1), zie Figuur 41. Ter plaatse van (diepe) sloten treedt drainage op, dit neemt af ten gevolge van de grondwaterstandverlagingen. Tussen de sloten vindt wegzijging plaats, deze neemt toe. De verandering in de kwel/ wegzijging binnendijs bedraagt lokaal maximaal 0.3 mm/d (maximale vergraving en hoge weerstand).



Figuur 41 Maximale effect op de kwel en wegzijging bij Maaspeil 4.9 m +NAP (maximale vergraving en hoge weerstand) (links: locatie waar kwel optreedt en deze afneemt, rechts: locatie waar wegzijging optreedt en deze toeneemt).

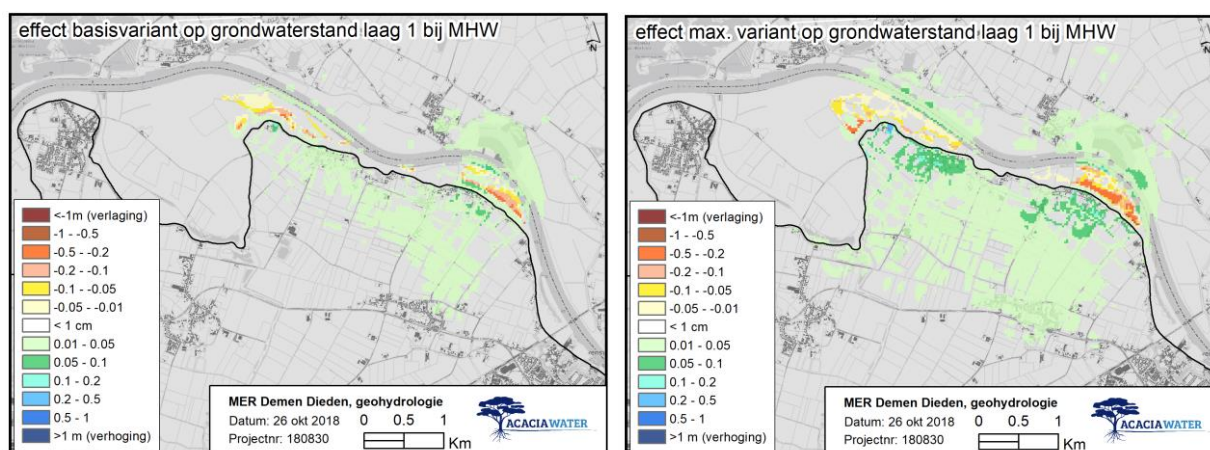
Modelresultaat met Maaspeil 10.3 m +NAP (MHW)

Grondwaterstand en stijghoogte

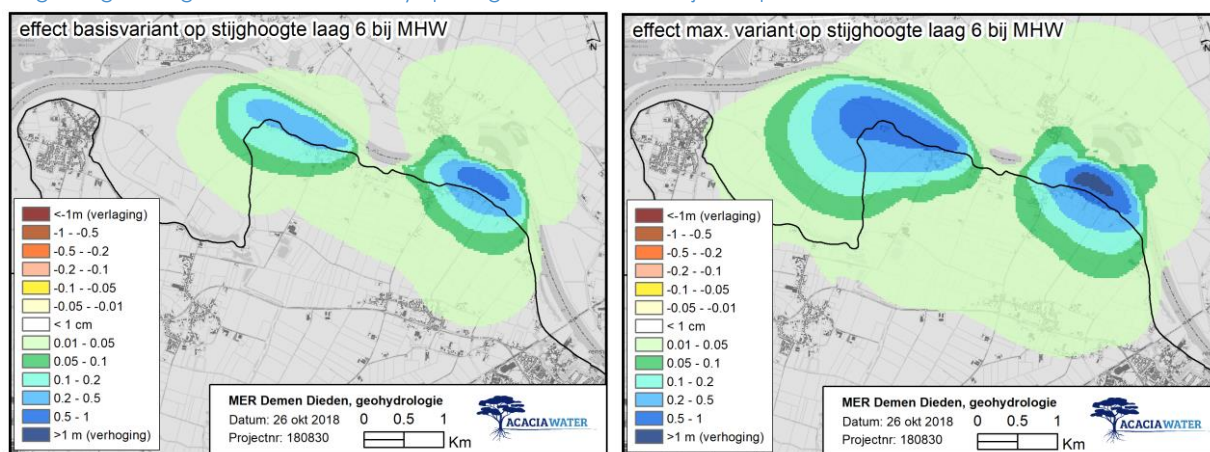
Tijdens MHW staat de gehele uiterwaard onder water. Doordat plaatselijk de deklaag (deels) verwijderd wordt door de vergravingen, infiltreert het water uit de rivier makkelijker naar het grondwatersysteem. Hierdoor nemen de grondwaterstanden en stijghoogten binnendijs toe (Figuur 42 en Figuur 43). De toename van de grondwaterstand binnendijs hangt af van de mate waarin weerstand in de uiterwaard verwijderd is. De berekeningen met een hoge weerstand leiden tot bijna een verdubbeling van het effect op de grondwaterstand en stijghoogte ten opzichte van de berekeningen met een lage weerstand.

Binnendijs bij Demen nemen de grondwaterstanden maximaal 8 cm (lage weerstand) tot 13 cm (hoge weerstand) toe (Tabel 7). Binnendijs van Dieden treedt in het noordwestelijke puntje lokaal het maximale effect op (11 cm lage weerstand en basisvergraving tot 30 cm hoge weerstand en maximale vergraving). In het overige gebied bedragen de berekende grondwaterstandsverhogingen voor de maximale vergraving met een hoge weerstand maximaal 12 cm.

De berekende stijghoogteverhogingen direct achter de dijk bedragen 30 tot 70 cm. Het wordt aangeraden om dit effect voor het VKA met een minder extreme hoogwatersituatie te verifiëren.



Figuur 42 Minimale effecten (basisvergraving en lage weerstand - links) en maximale effecten (maximale vergraving en hoge weerstand - rechts) op de grondwaterstand bij Maaspeil 10.3 m +NAP



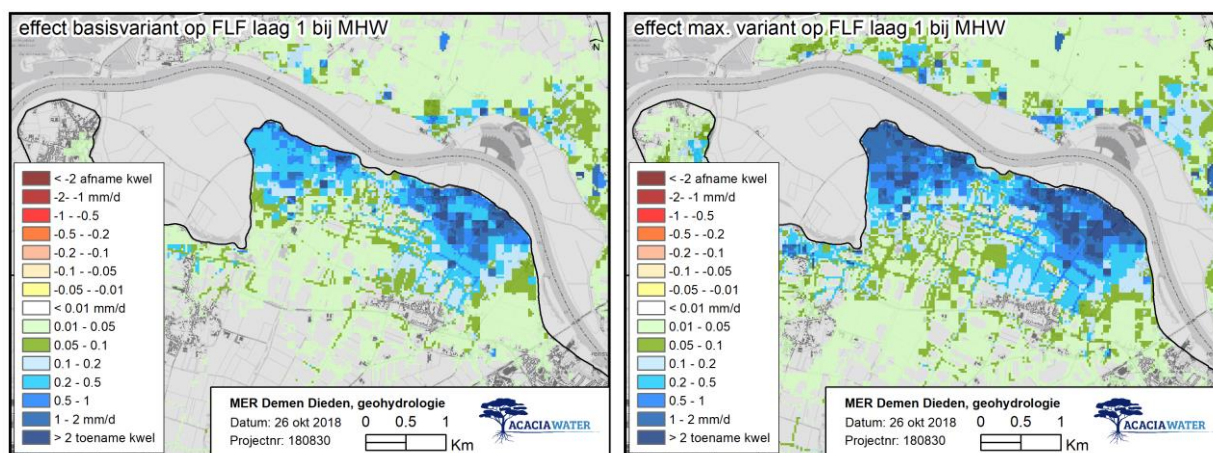
Figuur 43 Minimale effecten (basisvergraving en lage weerstand - links) en maximale effecten (maximale vergraving en hoge weerstand - rechts) op de stijghoogte WVP1 bij Maaspeil 10.3 m +NAP

Tabel 7 Overzicht effect op grondwaterstand binnendijs ter plaatse van de twee vergravingslocaties

Variant	Dieden uiterwaard - Maximale verandering grondwaterstand binnendijs	Demen uiterwaard - Maximale verandering grondwaterstand binnendijs
Basisvariant - lage weerstand	+11 cm	+8 cm
Basisvariant - hoge weerstand	+20 cm	+13 cm
Maximale vergraving - lage weerstand	+21 cm	+8 cm
Maximale vergraving - hoge weerstand	+30 cm	+13 cm

Kwel en wegzijging

Ten gevolge van de stijghoogtetoeename in WVP1 neemt de kwel naar de deklaag en het oppervlaktewatersysteem binnendijs toe, zie Figuur 44. De modelfluxen zijn gesommeerd per poldergebied (weergave gebieden in Figuur 46 en overzicht van de fluxtermen Figuur 45). De kwelflux is het grootst als uitgegaan wordt van lage weerstanden in het model. De verandering in kwelflux is echter het grootst als uitgegaan wordt van hoge weerstanden in het model. Om deze reden is voor de effectplaatjes uitgegaan van de modelresultaten, berekend met hoge weerstandswaarden.



Figuur 44 Minimale effecten (basisvergraving en lage weerstand - links) en maximale effecten (maximale vergraving en hoge weerstand - rechts) op de kwelflux bij Maaspeil 10.3 m +NAP (alleen locaties met kwel zijn gepresenteerd)

Tabel 8 geeft de waterbalans voor het binnendijkse gebied bij Dieden weer. Door uit te gaan van een hogere weerstand in plaats van een lage weerstand wordt het effect op de kwelflux ongeveer verdubbeld (toename van de kwelflux door vergraving bedraagt een factor 0.14 in plaats van 0.07). Zichtbaar is ook dat als de weerstandswaarde binnendijs wordt aangepast, het effect van de flux net iets geringer is dan zonder de aanpassing. De effecten van de maximale vergraving zijn ongeveer tweemaal groter dan de effecten van de basisvariant. De flux over de randen (modeltermen: FRF (flux right face) + FFF (flux front face)) bedragen een kwart van de flux die door de deklaag stroomt (FLF flux lower face). Dit duidt erop dat de

horizontale doorlatendheid in modellaag 1 hoog is. De horizontale doorlatendheid in het model bedraagt ongeveer 5 m/d met op enkele plekken hogere waarden tot 40 m/d. In werkelijkheid ligt hier een dijk waardoor horizontale stroming praktisch voorkomen wordt.



Figuur 45 Overzicht waterbalanstermen deklaag

Figuur 46 twee deelgebieden, die gebruikt zijn om waterbalans termen te sommeren

Tabel 8 Gesommeerde fluxen voor gebied 2 (Dieden binnendijks) van de kwelflux (FLF modellaag 1) en de flux over de rand (FRF+FFF van modellaag 1) en de verandering van de kwelflux (verandering FLF) als gevolg van de ingreep

Berekening	FRF+FFF m3/d	FLF m3/d	FLF m3/s	verandering FLF
hoge weerstand referentie	4071	13824	0.16	
hoge weerstand basis	4049	14929	0.17	0.08
hoge weerstand maximaal	4034	15692	0.18	0.14
lage weerstand referentie	3998	16864	0.20	
lage weerstand basis	3989	17506	0.20	0.04
lage weerstand maximaal	3980	18031	0.21	0.07
hoge weerstand + binnendijks referentie	4112	11245	0.13	
hoge weerstand + binnendijks basis	4104	12033	0.14	0.07
hoge weerstand + binnendijks maximaal	4098	12524	0.14	0.11

Tabel 9 geeft de waterbalans voor het binnendijkse gebied bij Demen weer. De effecten van de basis en maximale vergraving zijn in tegenstelling tot de waterbalans, binnendijks bij Dieden, vergelijkbaar qua orde van grootte. Door het aanpassen van de weerstandswaarde treedt ook in dit poldergebied ongeveer een verdubbeling van de kwelflux op. Ook in dit gebied geldt dat de horizontale doorlatendheid in het model relatief hoog is ter plaatse van de dijk en dat aanbevolen wordt deze aan te passen voor de VKA-berekening.

De kwelflux neemt ongeveer 5-15 % (afhankelijk van de gekozen vergraving en weerstandswaarde deklaag) toe in het binnendijkse gebied bij een Maaspeil van 10.3 m +NAP.

Tabel 9 Gesommeerde fluxen voor gebied 1 (Demen binnendijks) van de kwelflux (FLF modellaag 1) en de flux over de rand (FRF+FFF van modellaag 1) en de verandering van de kwelflux (verandering FLF) als gevolg van de ingreep

Berekening	FRF+FFF m3/d	FLF m3/d	FLF m3/s	verandering FLF
hoge weerstand referentie	1616	19004	0.22	
hoge weerstand basis	1601	20975	0.24	0.10
hoge weerstand maximaal	1597	21259	0.25	0.12
lage weerstand referentie	1588	20251	0.23	
lage weerstand basis	1581	21529	0.25	0.06
lage weerstand maximaal	1578	21814	0.25	0.08
hoge weerstand + binnendijks referentie	1630	17496	0.20	
hoge weerstand + binnendijks basis	1625	19086	0.22	0.09
hoge weerstand + binnendijks maximaal	1624	19303	0.22	0.10

Op basis van deze analyse wordt aangeraden om voor het VKA (1) de doorlatendheid in modellaag 1 aan te passen naar een lagere waarde ter plaatse van de dijk en de uiterwaard, (2) de effecten op de fluxen onder een minder extreme situatie te berekenen en (3) om ook de flux onder de dijk te bepalen en te vergelijken met de kwelflux in het binnendijkse gebied.

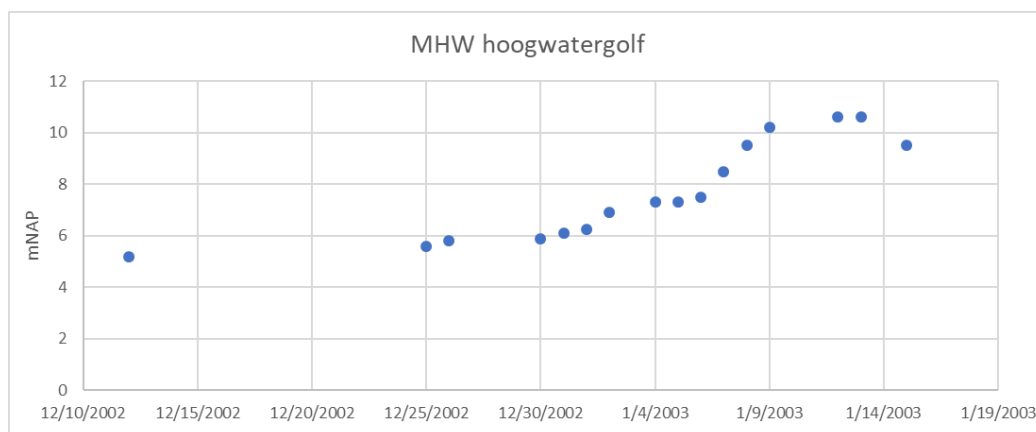
Bijlage 5

Effect van het VKA bij MHW

Ten behoeve van de geotechnische effectrapportage is ook een niet-stationaire modelberekening uitgevoerd voor MHW voor de referentie situatie en het VKA. De modeluitgangspunten en de kale modelresultaten zijn in deze bijlage ter volledigheid opgenomen. De resultaten zijn niet in deze rapportage uitgewerkt, maar worden toegelicht in de geotechnische rapportage.

Modeluitgangspunten

Voor deze berekeningen is het niet-stationaire model gebruikt, waarbij alleen de hoogwatergolf in 2013 is aangepast naar een MHW-situatie. Dit is gedaan door de MHW-hoogwatergolf achter de T=10 hoogwatersituatie in het model op te nemen. Figuur 47 geeft de golf weer.

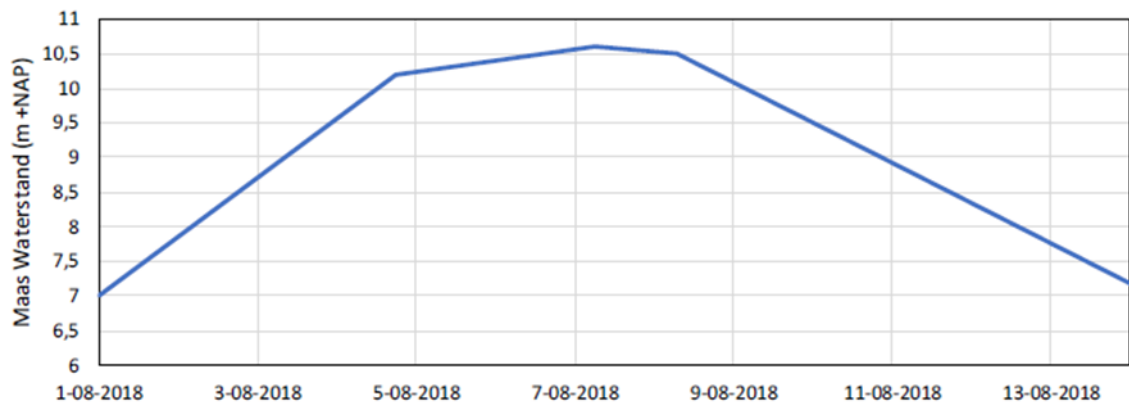


Figuur 47 Overzicht van de gehanteerde Maaspeilen tijdens de MHW-golf in het grondwatermodel

De hoogwatergolf is voor het WBI2017 aangeleverd. Deze hoogwatergolf is geëxtrapoleerd naar de ontwerpwaterstand van 2075. Deze hoogwatergolf is ook gebruikt voor de geotechnische toetsing en is hoger dan het eerder gebruikte MHW-niveau in de stationaire sommen (bijlage 4). Figuur 48 hoort bij dwarsprofiel 440 waarvan een D Geo Flow berekening is gemaakt. Voor het VKA is aangehouden dat het peil op de Maas 7 cm lager zal zijn dan in de referentieberekening ten gevolge van de vergravingen.

De maatgevende waterstand in 2075 per dijkpaal langs het traject is als volgt:

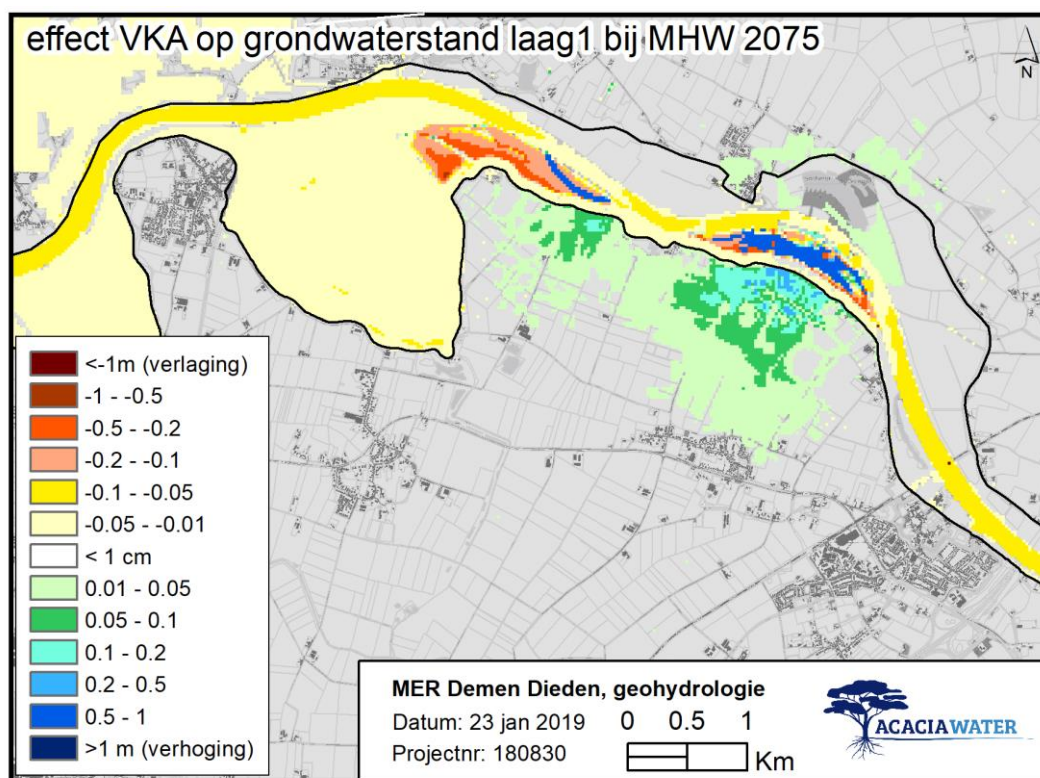
Interpolatie naar dijkpalen	Waterstand excl. Maatregelen (2075)
409	11.19
415	11.10
420	10.99
424	10.91
430	10.83
434	10.78
440	10.64



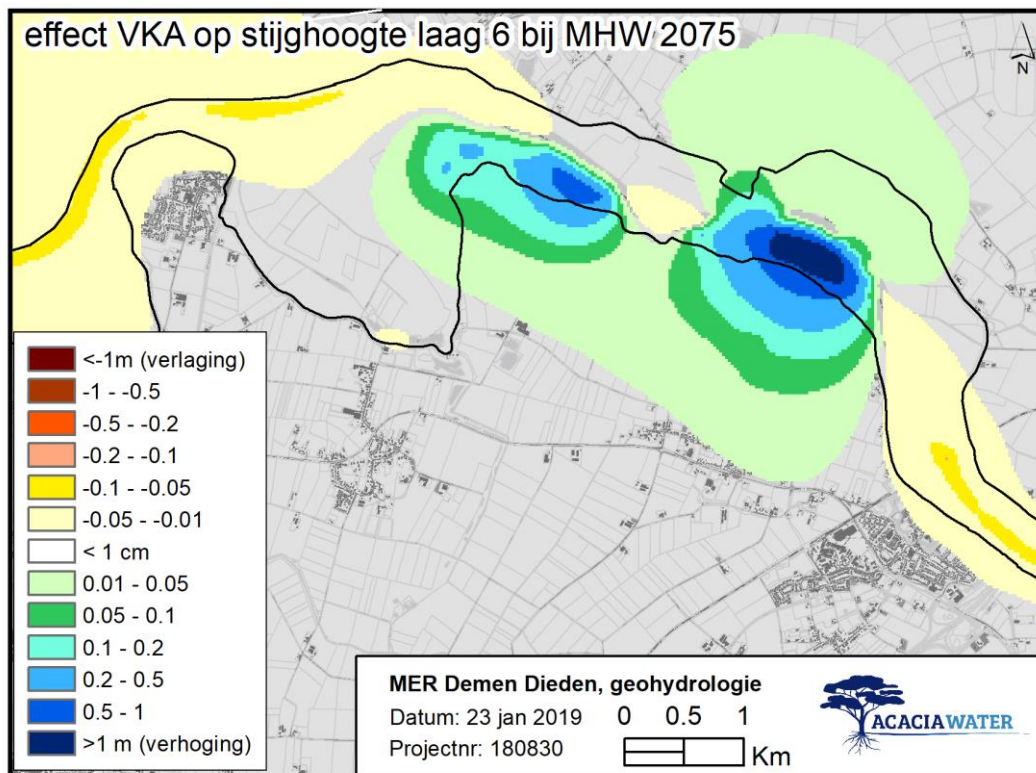
Figuur 48 hoogwatergolf WBI2017 geëxtrapoleerd naar de ontwerpwaterstand van 2075 ter plaatse van dwarsprofiel 440 waarvan een D Geo Flow berekening is gemaakt.

Modelresultaat

Figuur 49 en Figuur 50 geven het effect van het VKA tijdens MHW op respectievelijk de grondwaterstand en de stijghoogte weer.



Figuur 49 Effect van VKA op de grondwaterstand (modellag 1) op de modeldag 14 jan 2013



Figuur 50 Effect van VKA op de stijghoogte (modellaag 6) op de modeldag 14 jan 2013



van Hogendoornplein 4
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 - 686 424
Internet: www.acaciawater.com
Email: info@acaciawater.com