Achtergrondrapport Watersysteem

HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

Colofon

Rapportgegevens	
Rapporttitel	Achtergrondrapport Watersysteem
Ondertitel	Dijkversterking Wijk bij Duurstede
DMS nummer:	012539-RAP-21453
Versie:	2.0
Datum:	20 oktober 2022

Vrijgave:

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam
Opgesteld door:	Adviseur Water	Noud Koomen
		Kees van Immerzeel
		Niels van der Maaden
		Adrie Otten
	Adviseur rivierkunde	Niels Welsch en Roel Velner
Gecontroleerd door:	Adviseur planvorming	Esther Kruik
Vrijgegeven door:	Coördinator planproces	Pauline van Veen
Autorisator Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	Omgevingsmanager	Margreet van Zee
Vrijgever Hooheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	Projectmanager	Freek Visser

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

030 634 57 00 **T**
sterkelekdijk@hdsr.nl **E**
hdsr.nl/sterkelekdijk **W**

Documenthistorie:

Versie	Datum	Toelichting
0.1	04-03-2022	1e Concept
0.2	19-5-2022	2e concept
Reviewversie	10-08-2022	Versie voor interne review projectteam Wijk bij Duurstede - Amerongen en HDSR
Reviewversie	18-08-2022	Versie voor review Rijkswaterstaat, provincie Utrecht, Gemeente Wijk bij Duurstede, Gemeente Utrechtse Heuvelrug en Natuurorganisaties
1.0	22-09-2022	Versie voor programmateam Sterke Lekdijk en ambtelijke werkgroep
2.0	20-10-2022	Verwerking opmerking beleidskader provincie Utrecht. Versie voor bestuurlijke besluitvorming HDSR.

Inhoud

1 Inleiding 7

1.1 Aanleiding en context 7

1.2 Doelstelling 7

1.3 Leeswijzer 7

2 Wettelijk en beleidsmatig kader 9

2.1 Oppervlaktewatersysteem 9

2.2 Grondwater 11

2.3 Waterkwaliteit 12

2.4 Rivierkunde 14

3 Huidige situatie en autonome ontwikkeling 16

3.1 Oppervlaktewater 17

3.2 Grondwater 21

3.3 Waterkwaliteit 26

3.4 Rivierkunde 28

4 Uitgangspunten van het effectenonderzoek 31

4.1 Onderzoek naar oppervlaktewatersysteem 31

4.2 Grondwateronderzoek 31

4.3 Onderzoek naar KRW-relevant areaal 34

4.4 Onderzoek naar rivierkunde 34

5 Wijze van effectbeoordeling 35

5.1 Effectbeoordeling oppervlaktewatersysteem 35

5.2 Effectbeoordeling grondwatereffecten 36

5.3 Effectbeoordeling waterkwaliteit 39

5.4 Effectbeoordeling rivierkunde 40

Literatuur 43

Bijlage 1. Maatregelenkaarten Kolland 45

Bijlage 2. Effectscorekaart afwatering 47

Bijlage 3. Effectscore graven watergangen 49

Bijlage 4. Beslisbomen watercompensatie 51

Bijlage 5. 3D-grondwatermodellering 53

Bijlage 6. Memo verwachte rivierkundige effecten 55

Bijlage 7. Notitie koppelkansen natuurwaarden bij horizontale pipingmaatregelen in de Lunenburgerwaard 57

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

In het programma Sterke Lekdijk werkt Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) aan het versterken van de Lekdijk tussen Amerongen en Schoonhoven. De Lekdijk strekt zich uit langs de noordelijke oever van de Lek en Nederrijn van Amerongen tot Schoonhoven over een lengte van 55 kilometer. De dijk is bijna 1000 jaar oud en beschermt een groot deel van Midden- en West-Nederland tegen hoge waterstanden op de Lek en Nederrijn. HDSR heeft de taak om de dijk aan de nieuwe norm van de Waterwet te laten voldoen.

Het programma Sterke Lekdijk is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma en is verdeeld in zes deelprojecten van oost naar west:

- Wijk bij Duurstede – Amerongen
- Irenesluis – Culumborgse Veer
- Culemborgse Veer – Beatrixsluis
- Jaarsveld – Vreeswijk
- Salmsteke
- Salmsteke – Schoonhoven

Het deelproject Wijk bij Duurstede – Amerongen ligt tussen de rand van de kern Amerongen en de Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede. Het deelproject bestrijkt daarmee elf kilometer aan primaire kering. Het dijktraject tussen Wijk bij Duurstede en Amerongen voldoet niet aan de in 2017 aangescherpte veiligheidsnormen voor hoogte, piping, macrostabiliteit, microstabiliteit en de grasbekleding binnenwaarts en buitenwaarts. Versterking is daarom noodzakelijk. Op 1 juli 2020 heeft het bestuur van HDSR het voorkeursalternatief vastgesteld.

1.2 Doelstelling

Na het vaststellen van het voorkeursalternatief is het dijkontwerp uitgewerkt. Dit wordt vastgelegd in een Projectplan Waterwet en doorloopt daarmee een openbare besluitvormingsprocedure. Daarbij is ook een Milieueffectrapport (MER) opgesteld waarin de milieueffecten van het dijkontwerp in kaart zijn gebracht. Het beoordelingskader voor het MER is eerder vastgelegd in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau Sterke Lekdijk. Omgevingsaspecten krijgen daarmee een volwaardige rol in de totstandkoming van het dijkontwerp.
Dit achtergrondrapport watersysteem is onderdeel van het MER en heeft als doel het beschrijven van de randvoorwaarden, uitgangspunten en het beoordelingskader voor de effectbeoordeling. De effectbeoordeling zelf is opgenomen in het MER. De achtergrondrapporten per thema zijn als bijlage opgenomen bij het MER.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het wettelijk en beleidsmatig kader beschreven. In hoofdstuk 3 staan de huidige situatie en autonome ontwikkelingen beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft voorgaande onderzoeken en de uitgangspunten van de onderzoeken die voor deze beoordeling zijn gedaan. In hoofdstuk 5 Beoordelingskader wordt beschreven op welke manier de effecten beoordeeld worden. Elk hoofdstuk is opgedeeld in de subhoofdstukken oppervlaktewatersysteem, grondwater, waterkwaliteit en rivierkunde.
In de bijlagen wordt verdere verduidelijking en achtergrondinformatie gegeven bij de hoofdtekst. In de bijlage 1 staat een kaart met de maatregelen in Kolland. In bijlagen 2 en 3 staan de effectscores van de afwatering en het graven van watergangen. In bijlage 4 staan de beslisbomen watercompensatie. En het rapport van de 3D watermodellering staat in bijlage 5. In bijlage 6 staat het Memo verwachte rivierkundige effecten. En in bijlage 7 staat de notitie meekoppelkansen natuurwaarden bij toepassing van horizontale pipingmaatregelen voor de dijkversterking in de Lunenburgerwaard.

2 Wettelijk en beleidsmatig kader

2.1 Oppervlaktewatersysteem

2.1.1 Europees

Kaderrichtlijn Water

In Nederland vertaalt de Rijksoverheid de Kaderrichtlijn Water (KRW) in landelijke beleidsuitgangspunten, kaders en instrumenten. De minister van Infrastructuur en Waterstaat is systeemverantwoordelijk voor de uitvoering van de KRW.

2.1.2 Nationaal

Waterwet

De Waterwet regelt in hoofdzaak de aanleg, het beheer en het gebruik van watersystemen, waaronder waterkeringen, oppervlaktewater- en grondwaterlichamen [1].

Nationaal Water Programma

Het Nationaal Water Programma 2022–2027 geeft een overzicht van de ontwikkelingen binnen het waterdomein, en legt nieuw ontwikkeld beleid vast.
Het programma richt zich op schoon, veilig en voldoende water, dat klimaat adaptief en toekomstbestendig is. Ook is er aandacht voor de raakvlakken van water met andere sectoren.

2.1.3 Regionaal

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) heeft regelgeving opgesteld voor het oppervlaktewatersysteem in haar beheergebied. Deze regelgeving is vastgelegd in de Keur en de Legger. De Keur en de Leggers worden regelmatig geactualiseerd. De actuele versies staan op de website van het hoogheemraadschap.

Keur

In de Keur staan de verbods- en gebodsbepalingen ter bescherming en instandhouding van de waterhuishouding en waterstaatswerken.

Doelcriteria

In de Keur staan doel doelcriteria die betrekking op activiteiten in, bij, langs, op, over, onder, boven oppervlaktewater. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of een activiteit in het watersysteem en de bijbehorende beschermingszones, in de Legger is toegestaan.

- Kwaliteit van oppervlaktewater moet in stand blijven, en in ecologische opzicht waar mogelijk verbeteren;
- Mogelijkheid tot maatschappelijk medegebruik moet in stand blijven;
- Veiligheid moet gewaarborgd blijven, en schade aan waterstaatswerken en eigendommen van derden moet worden voorkomen;
- Taakuitoefening van het waterschap niet mag worden belemmerd;
- Initiatiefnemer en/of uitvoerder is verantwoordelijk voor het in dezelfde of verbeterde toestand achterlaten van het werk en werkterrein.

Voor activiteiten die van invloed zijn of kunnen zijn op oppervlaktewater gelden de volgende doelcriteria:

- Activiteiten mogen geen nadelige effecten hebben voor de dimensionering van het watersysteem, zoals vastgelegd in de legger, waardoor het watersysteem niet meer beantwoordt aan het doel waarvoor het is aangelegd, dan wel niet meer voldoet aan de daarvoor geldende normstelling;
- Activiteiten mogen geen nadelige effecten hebben voor de goede werking van het watersysteem, zoals het negatief beïnvloeden van de doorvoercapaciteit of het doorkruisen van het in peilbesluiten vastgestelde peilbeheer, onder normale omstandigheden en onder piekbelasting;
- Activiteiten mogen geen nadelige effecten hebben voor het kunnen uitvoeren van onderhoud en de bereikbaarheid van het watersysteem;

- Activiteiten mogen geen nadelige effecten hebben voor het watersysteem in die zin dat toekomstige capaciteitsvergroting wordt belemmerd.

Uitvoeringsregels
In de uitvoeringsregels bij de Keur worden de doelcriteria uitgewerkt voor concrete situaties. De uitvoeringsregels bestaan uit stroomschema's, toelichting op de zorgplicht en algemene regels met bijbehorende toelichting.

Bij het doorlopen van de stroomschema's is van de volgende uitkomsten mogelijk:
- Er geldt alleen de zorgplicht;
- Er geldt een algemene regel (al dan niet met voorafgaande melding), met daarnaast de zorgplicht;
- Er geldt een vergunningplicht, met daarnaast de zorgplicht.;
- Er geldt een algeheel verbod en de handeling is in het geheel niet toegestaan.

In deel 1 staan de uitvoeringsregels voor handelingen met betrekking tot oppervlaktewater.

Beleidsregels
In de beleidsregels bij de Keur staan de afwegingskaders voor de vergunningverlening. In deel 1 staan de handelingen met betrekking tot oppervlaktewater.

Voor het graven van oppervlaktewater ten behoeve van het permanent aanleggen van een nieuwe watergang of het verlengen, verdiepen of verbreden van een bestaande watergang zijn de volgende aspecten van belang:
- Het voorkomen van het ontstaan van waterschaarste of -overlast als gevolg van wegzijging of kwel;
- Het garanderen van de aan- en afvoer van water in relatie tot bestaande waterhuishouding en toekomstige ontwikkelingen;
- Het voorkomen dat onderhoudswerkzaamheden aan het watersysteem (watergang en oevers) worden belemmerd;
- Het voorkomen van negatieve effecten op de fysisch-chemische waterkwaliteit en de ecologische toestand van water en oevers.

Legger
In de Leggers staat waaraan de waterstaatswerken wat betreft ligging, vorm, afmeting en constructie moeten voldoen en wie verantwoordelijk is voor het onderhoud ervan.

Bij het beoordelen van de effecten op watergangen wordt rekening gehouden met de watergangen die op de Legger zijn aangegeven. De watergangen die, al dan niet ter compensatie, worden aangelegd, voldoen aan de Keur van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden.

Zorgplicht toename verhard oppervlak
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden heeft in een beleidsregel bij de Keur een beslisboom opgenomen waarin een zorgplicht is opgenomen voor toename van verharde oppervlak [2].

In het project is mogelijk sprake van toename van buitendijkse verharding, als de meekoppelkans voor een buitendijks fietspad wordt gerealiseerd. Deze verharding heeft een langwerpige vorm en levert geen puntbelasting op het watersysteem. Vanwege de omvang (ordegrootte 50.000 m² waarvan 95% buitendijks) geldt in beginsel wel een vergunningsplicht (bij >10.000 m²).

Uit overleg met het hoogheemraadschap is naar voren gekomen dat de omvang relatief klein is en er geen puntbelasting vormt. Het gebied is bovendien beheergebied van Rijkswaterstaat. De kans is hierdoor klein dat daadwerkelijk gevraagd wordt om deze verharding te compenseren.

2.2 Grondwater

2.2.1 Europees

Europese Kaderrichtlijn Water

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) gaat over het beschermen, verbeteren en herstellen van grondwatersystemen. Er wordt gestreefd naar evenwicht in onttrekking en aanvulling, en het reduceren van de grondwaterverontreiniging [1].
De natura 2000-gebieden moeten in principe in 2015 aan alle KRW-doelen voldoen. De KRW bepaalt dat milieuschade als gevolg van grondwaterstandwijzigingen voorkomen moet worden.

2.2.2 Nationaal

Nationaal Water Programma

Het Nationaal Water Programma 2022-2027 beschrijft de hoofdlijnen van het nationale waterbeleid, en het beheer van de rijkswater en rijks vaarwegen.
De ambitie van het Rijk is te komen tot een toekomstbestendig grondwaterbeheer, waarbij de grondwatervoorraden in balans zijn (onttrekking en aanvulling), en van goede kwaliteit zijn.

Wet milieubeheer

In de Wet milieubeheer staat dat de Provincie Utrecht in de provinciale milieuverordening regels moet stellen voor de bescherming van de kwaliteit van het grondwater (artikel 1.2 lid 2) [3].

Waterwet

Volgens de Waterwet zijn de waterschappen belast met het kwantitatieve grondwaterbeheer [1].

2.2.3 Regionaal

Bodem- en Waterprogramma 2022-2027

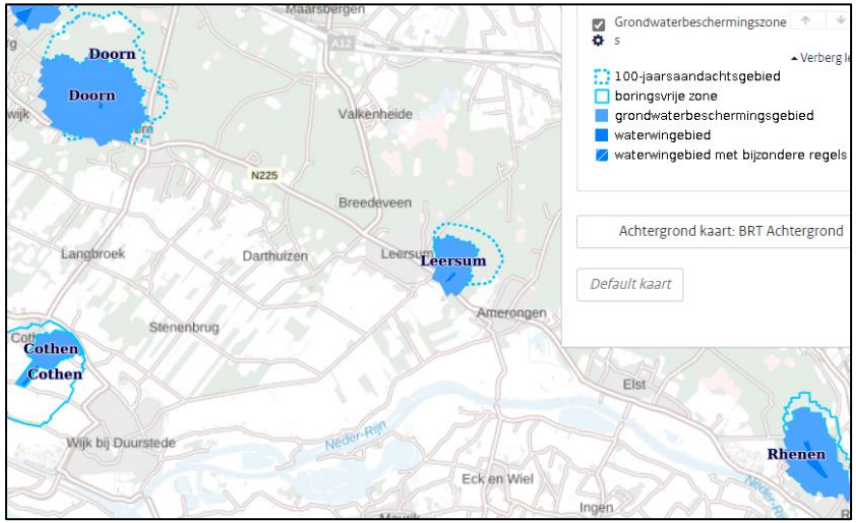
In overeenstemming met de Wet milieubeheer heeft de Provincie Utrecht haar beleid voor de bescherming van de kwaliteit van het grondwater vastgelegd in het Bodem-, en waterprogramma 2022-2027.
Het Bodem- en waterprogramma is een uitwerking van de ambities uit de provinciale Omgevingsvisie. Onderdeel van het programma is het wettelijk verplichte Regionaal Waterplan onder de Waterwet.
In dit plan staat de normering voor wateroverlast. Deze normen variëren per landgebruiksfunctie.

Interim Omgevingsverordening

De Interim Omgevingsverordening van de provincie Utrecht is sinds 1 april 2021 in werking getreden. In de Omgevingsverordening staan de regels voor de leefomgeving.

Onderdeel van de Interim Omgevingsverordening is de kaart met grondwaterbeschermingszones. Het projectgebied ligt niet in een grondwaterbeschermingszone (figuur 2.1).

Met betrekking tot grondwater beschrijft deze verordening de juridische taken van het bestuur die betrekking hebben op het onttrekken en infiltreren van grondwater [4].



Figuur 2.1 Kaart Grondwaterbeschermingszones (Bron: Nationaal Georegister)

De Waterverordening met betrekking tot grondwater beschrijft deze verordening de juridische taken van het bestuur die betrekking hebben op het onttrekken en infiltreren van grondwater [4].

Keur

In de Keur van het waterschap staan specifieke doelcriteria bij grondwater. De criteria hebben betrekking op het onttrekken van grondwater en het (terug) in de bodem brengen van (grond)water.

Voor het onttrekken van grondwater en het (terug) in de bodem brengen van (grond)water formuleert de Keur de volgende doelcriteria:

- Het onttrekken van grondwater mag geen negatief effect hebben op het reguliere grondwaterpeil, waardoor schade kan ontstaan aan natuur, waterstaatswerken en eigendommen van derden;
- Het onttrekken van grondwater mag geen negatief effect hebben op de ondergrondse scheiding tussen grondwater voerende pakketten;
- Het lozen van onttrokken grondwater op oppervlaktewater mag geen negatief effect hebben op het peilbeheer, zoals vastgelegd in peilbesluiten, onder normale omstandigheden en onder piekbelasting;
- De kwaliteit van grondwater mag niet verslechteren door het in de bodem terugbrengen van water;
- De kwaliteit van oppervlaktewater mag niet verslechteren door het lozen van grondwater.

In de Keur wordt in het kader van de zorgplicht gesproken over het voorkomen van nadelige effecten voor het watersysteem [5].

Peilbesluit

In het Peilbesluit oppervlaktewater en grondwaterpeilbesluit staat een [3] kaart met begrenzing van het gebied waarbinnen de oppervlaktelichamen liggen. Daarnaast staat in het Peilbesluit het gewenste waterpeil van deze waterlichamen.

In het Peilbesluit staat ook een overzicht van de vergunningen en meldingen die nodig zijn voor het onttrekken van grondwater of het infiltreren van grondwater [3].

2.3 Waterkwaliteit

2.3.1 Europees

Europese Kaderrichtlijn Water

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is Europees beleid om de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater te waarborgen. Het doel van de KRW is het stimuleren van het duurzaam omgaan met water binnen de grenzen van de Europese Unie. Het doel is om uiteindelijk voor elk waterlichaam een goede toestand te bereiken.

2.3.2 Nationaal

Beheer- en Ontwikkelplan voor Rijkswateren

Het beheersplan heeft Rijkswaterstaat vastgelegd in het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren.

Het waterlichaam buitendijks (rivier de Lek en Nederrijn) van de dijkversterking valt onder het beheer van Rijkswaterstaat. Het rijk overziet implementatie van de KRW in alle Rijkswateren. Een belangrijk instrument hiervoor is het Beheer- en ontwikkelingsplan voor Rijkswateren (BPRW).

Werkzaamheden in Rijkswateren worden beoordeeld door de BPRW-toets. Hieruit blijkt of de werkzaamheden schadelijk zijn voor de ecologie. Alle ingrepen die een waterlichaam mogelijk kunnen beïnvloeden, dienen aan de BPRW-toets voldoen.
De BPRW-toets is geen instrument om de toestand voor wateren te rapporteren. Dat wordt gedaan met de KRW-factsheets. De BPRW-toets kijkt of ruimtelijke ingrepen geen nadelig effect hebben op het waterlichaam

Nationaal waterplan
Het Nationaal Waterplan bevat de hoofdlijnen van het Nederlandse waterbeleid. Rijkswaterstaat heeft haar beheerplan weergegeven in het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren.
Wanneer er werkzaamheden plaatsvinden in Rijkswateren wordt met de BPRW-toets beoordeeld of deze schadelijk zijn voor de aquatische ecologie.
Zo geeft het rijk, invulling aan de Kaderrichtlijn Water en het nationaal waterplan. Dit heeft effect op het plangebied omdat een BPRW-toets uitgevoerd moet worden voordat er werkzaamheden mogen plaatsvinden in Rijkswateren. Hierin worden de ruimtelijke ontwikkelingen getoetst aan het Beheer- en Ontwikkelingsplan voor de Rijkswateren.

Waterwet
De Waterwet behandelt een groot deel van de water gerelateerde milieuaspecten. De Waterwet gaat uit van integraal beheer van het hele watersysteem. Hierbij vormt het een kader waaraan watersystemen getoetst moeten worden. Dit geldt ook voor Rijkswateren.

Wet Milieubeheer
Het rijk implementeert samen met de provincie de Wet milieubeheer. De regels uit de Wet milieubeheer zien toe op de waterketen. Hieronder vallen bijvoorbeeld lozingen in rioolstelsels. De Wet Milieubeheer gaat onder andere over de milieueffectrapportage en benoemd dat deze uitgevoerd moet worden.

2.3.3 Provinciaal

Bodem en waterprogramma provincie Utrecht 2022-2027
In dit programma staan de ambities voor bodem en water uit de Omgevingsvisie provincie Utrecht uitgewerkt. In Bijlage 1 van dit programma 'onderbouwing doelen overig water' staan de vastgestelde doelen overige water, deze komen grotendeels overeen met de KRW-doelen.

2.3.4 Regionaal

Watertoets
Gemeentes zelf toetsen samen met waterschappen waterhuishoudkundige plannen middels een watertoets. Deze toets is wettelijk verankerd in de Waterwet en de Wet Ruimtelijke Ordening.

Vaak zijn het waterschappen die de watertoets opstellen, waarna gemeentes er zelf een invulling aan geven. Dit kan bijvoorbeeld lokaal strengere normen zijn. Het buitendijkse gebied van het hersteltraject zal hier echter geen hinder van ervaren.

Ambitie Gezond Water 2022-2027
De ambitie gezond water is opgesteld door HDSR. Hierin staan de doelen overig water beschreven. Deze komen overeen met Bijlage 1 van het Bodem en waterprogramma provincie Utrecht 2022-2027.

2.4 Rivierkunde

2.4.1 Nationaal

Waterwet

De Waterwet is gericht op het voorkomen, dan wel beperken van overstromingen, wateroverlast en waterschaarste, de bescherming en verbetering van kwaliteit van watersystemen en de vervulling van maatschappelijke functies door watersystemen.

Beleidslijn Grote Rivieren

De beleidslijn heeft als doel de beschikbare afvoer- en bergingscapaciteit van het rivierbed van de grote rivieren te behouden en ontwikkelingen tegen te gaan die de mogelijkheid tot rivierverruiming door verbreding en verlaging feitelijk onmogelijk maken.

Redeneerlijn buitendijks versterken

Bij een dijkverbreding en/of dijkversterking is ook de Redeneerlijn buitendijks versterken van toepassing. Deze redeneerlijn is in december 2017 vastgesteld door Rijkswaterstaat/DGWB, in samenspraak met de Unie van Waterschappen/het Hoogwater beschermingsprogramma.

Rivierkundig beoordelingskader

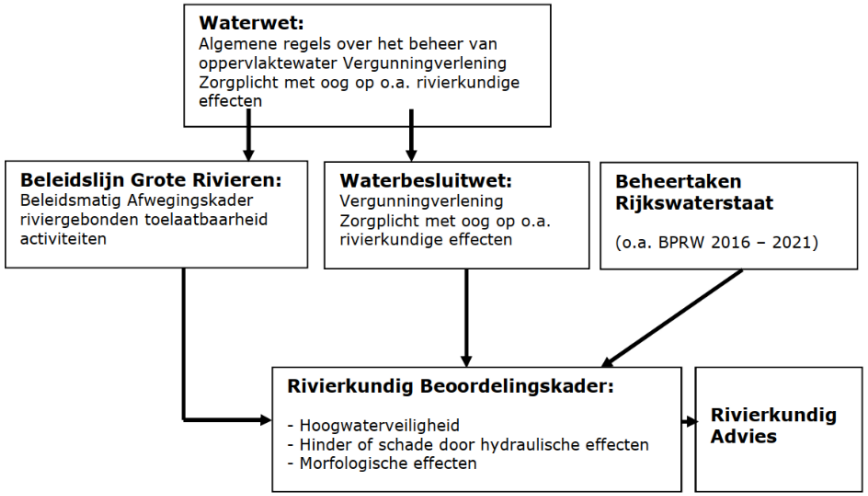
De wettelijke- en beleidsmatige kaders waar de integrale varianten en het dijkontwerp aan moeten voldoen is samengevat in het Rivierkundig beoordelingskader (versie 5.0.)

Het beoordelingskader richt zich op het waarborgen van de hoogwaterveiligheid en de bevaarbaarheid van de Lek en de Nederrijn. Milieu-gerelateerde onderwerpen (zoals ecologie) zijn geen onderdeel van het beoordelingskader. Het beoordelingskader volgt uit de beleidsmatige en wettelijke kaders. Het voorkeursalternatief moet getoetst worden aan het rivierkundig beoordelingskader.

Beheertaken Rijkswaterstaat

De Beheertaken Rijkswaterstaat zijn:

- Monitoring water
- Verdeling van (rivier)water
- Overstromingen voorkomen
- Bevaarbaarheid rivieren bevorderen
- Zorgen voor schoon (oppervlakte)water.



Figuur 2.2 Het rivierkundig Beoordelingskader beschrijft hoe Rijkswaterstaat ingrepen rivierkundig beoordeelt. Het betreft ingrepen die vallen onder het regime van de Waterwet

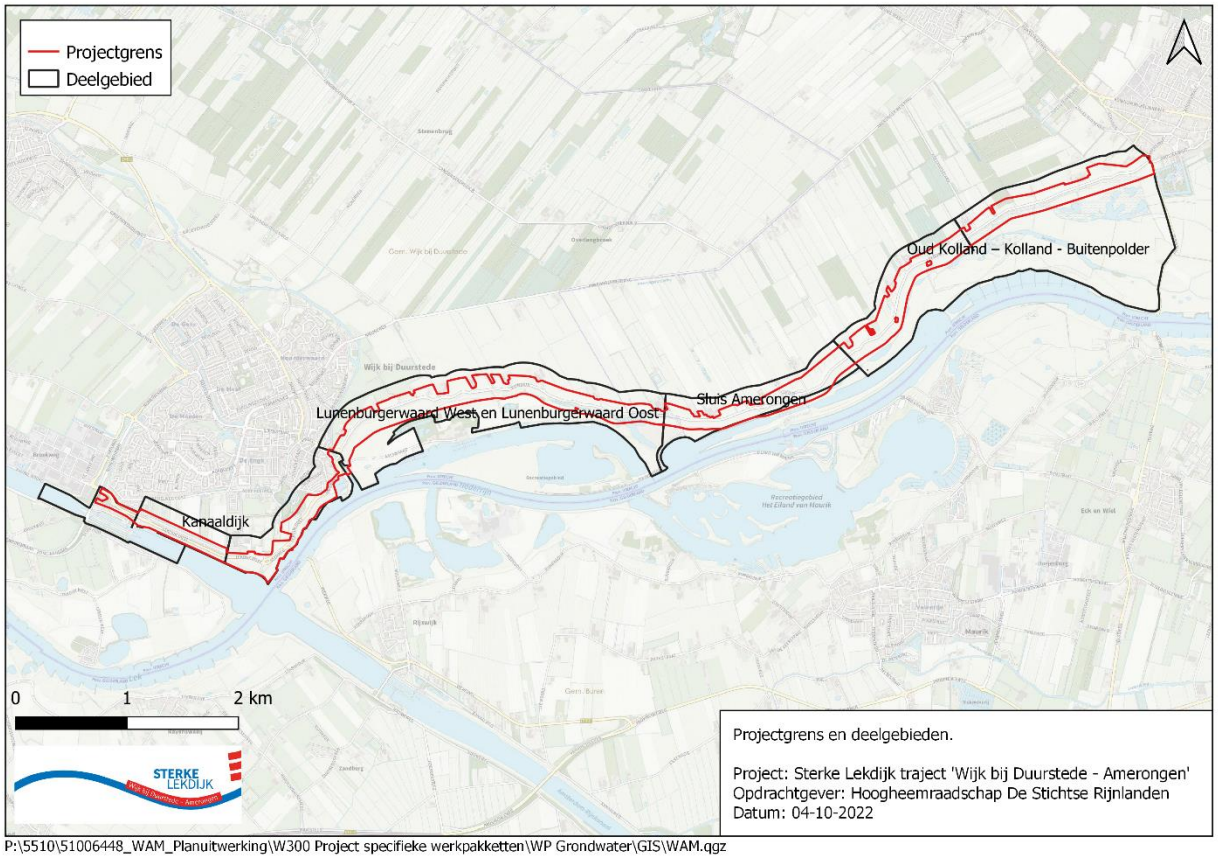
3.5 Werken in de geest van de omgevingswet: Projectbesluit

Het belangrijkste formele besluit (in de planuitwerkingsfase) over dijkversterkingen in Nederland wordt volgens de huidige wetgeving genomen op basis van een Projectplan. De relevante voorschriften voor dit hoofdbesluit zijn opgenomen in de Waterwet. Naar verwachting treedt vanaf 2021 de Omgevingswet in werking. Het projectplan volgens de Waterwet wordt dan vervangen door een projectbesluit volgens de

Omgevingswet. Naar verwachting zal in de planuitwerkingsfase een projectbesluit worden genomen.
Echter de datum voor het van kracht worden van de nieuwe Omgevingswet kan nog verschuiven. We monitoren daarom regelmatig, de ontwikkelingen rondom de Omgevingswet. Indien nodig herzien we tussentijds dit uitgangspunt en maken we gebruik van de huidige planprocedure volgens de Waterwet. We richten het proces dusdanig in dat aan de vereisten van deze wet wordt voldaan. Ook is nog niet alles uitontwikkeld rondom de Omgevingswet wat mogelijk tot veranderingen in wettelijke vereisten leiden.
HDSR kiest ervoor om in de verkenningsfase te werken op de manier zoals in de Omgevingswet is beschreven.

3 Huidige situatie en autonome ontwikkeling

Figuur xxx toont een overzicht van de projectgrens en de verschillende deelgebieden die worden onderscheiden.



P:\5510\51006448_WAM_Planuitwerking\W300 Project specifieke werkpakketten\WP Grondwater\GIS\WAM.qgz

3.1 Oppervlaktewater

3.1.1 Huidige situatie

Het gebied is agrarisch met een veelal grasland. Op sommige locaties liggen de watergangen in een gebied met een hogere natuurwaarde.
In de huidige situatie bestaat het systeem achter de dijk uit een fijnmazig watersysteem met voornamelijk tertiaire watergangen en een enkele secundaire watergang. In Figuur 3.2 is de ligging van de watergangen weergegeven.

3.1.2 Autonome ontwikkelingen

De belangrijkste autonome ontwikkelingen zijn het provinciale project voor de herinrichting van de Lunenburgerwaard (Figuur 3.1), de maatregelen die in Oud-Kolland, en het peilbesluit bij Langbroekerwetering [6].

Lunenburgerwaard

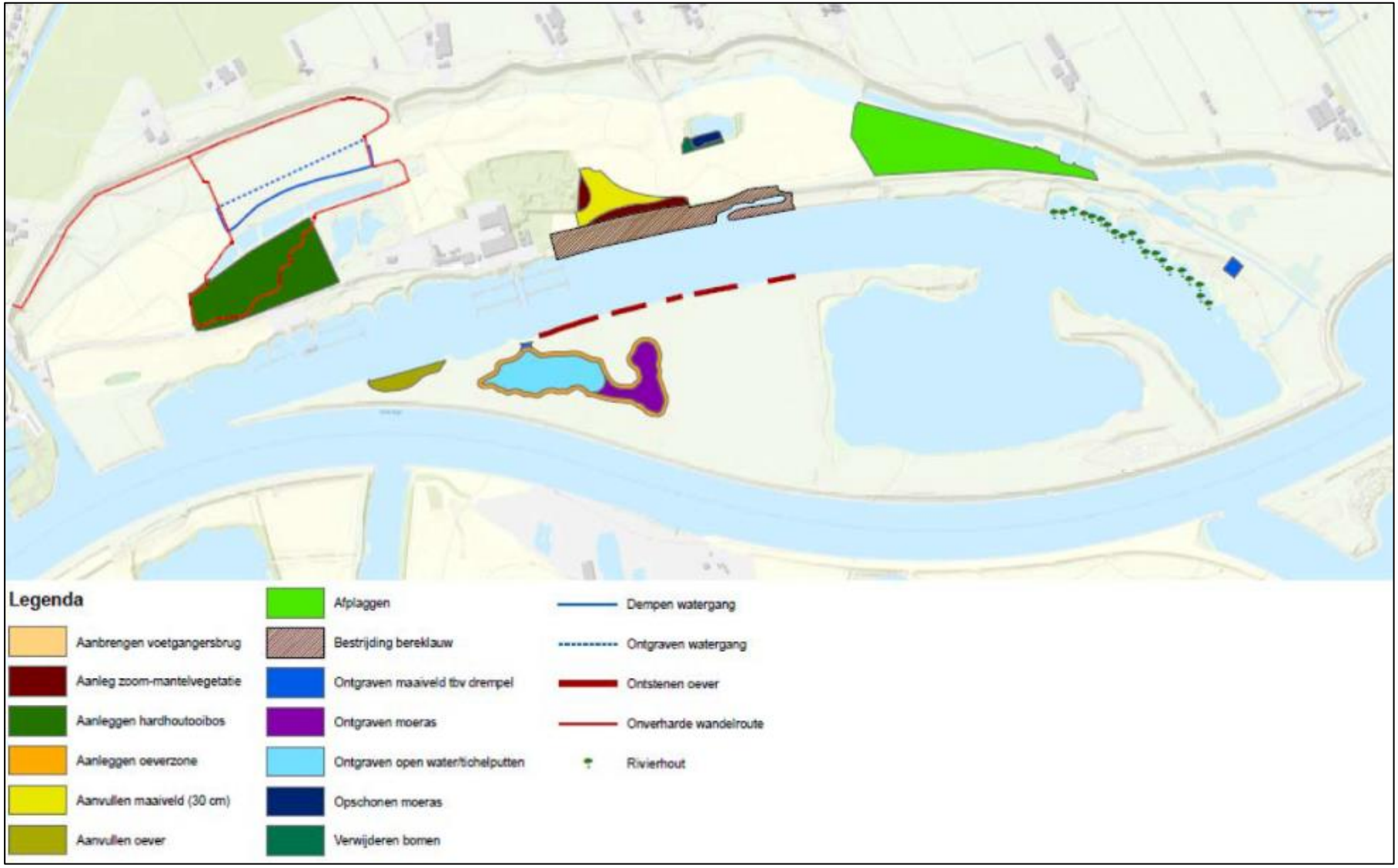
De natuurontwikkeling in de Lunenburgerwaard ligt buitendijks. De natuurontwikkeling kunnen een indirect effect op het watersysteem binnendijks hebben.
De effecten van de natuurontwikkeling worden in het Hydro geologisch model meegenomen. Deze effecten worden omgezet in watersysteemmaatregelen.
Verwacht wordt dat de natuurontwikkelingsmaatregelen in de Lunenburgerwaard geen invloed hebben op het binnendijkse oppervlaktewatersysteem.

Oud-Kolland

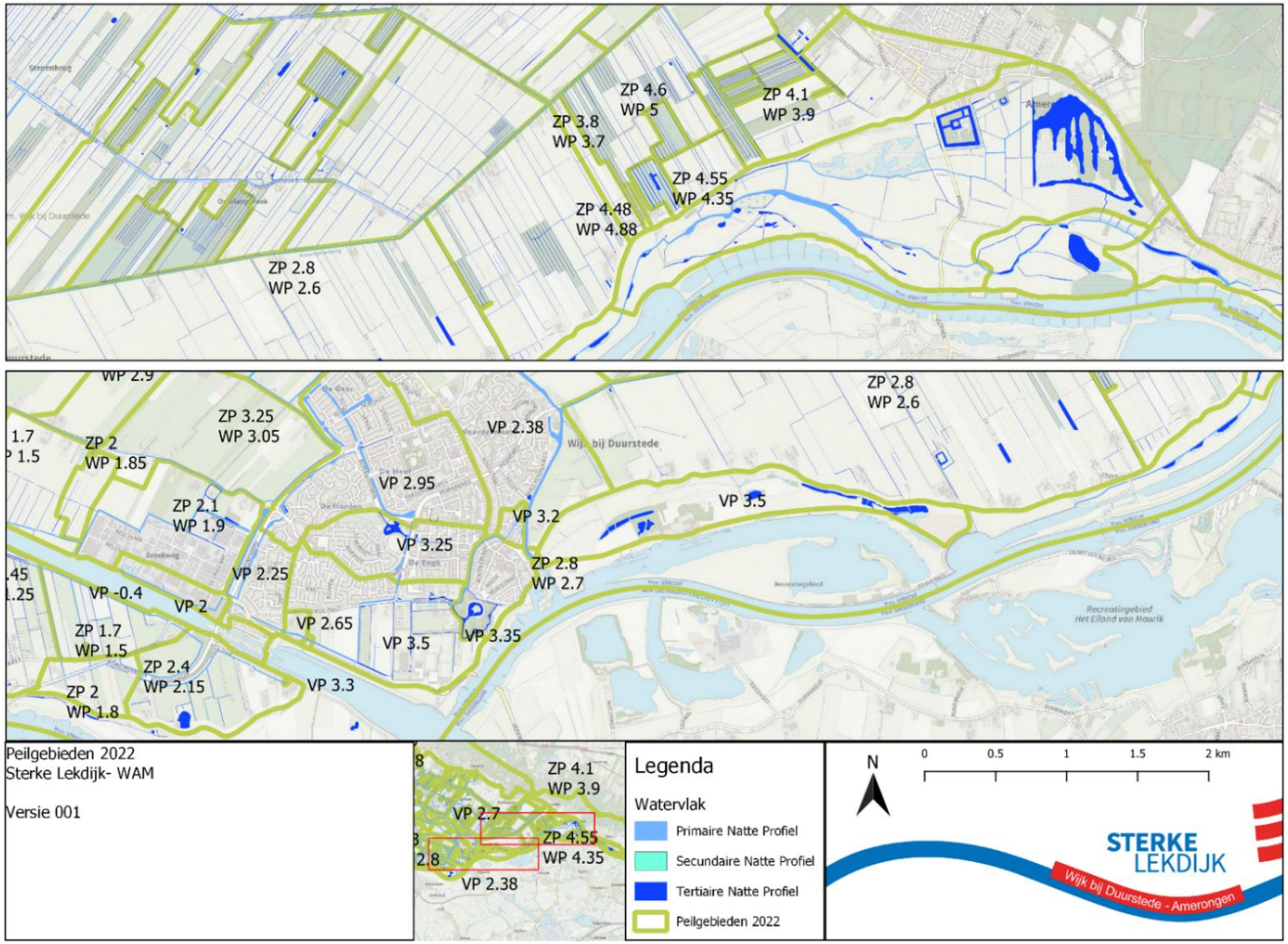
De autonome ontwikkeling in Oud-Kolland bestaat uit het verondiepen van sloten en het instellen van een hoger waterpeil.
De verondiepte sloten hebben minder afvoercapaciteit. Dit heeft een gunstig effect op de capaciteit van het watersysteem. Door de verminderde afvoer vanuit Oud-Kolland zullen de pieken in de rest van het watersysteem afvlakken. De maatregelenkaarten van Oud-Kolland zijn in Bijlage 7 van dit rapport toegevoegd.

Langbroekerwetering

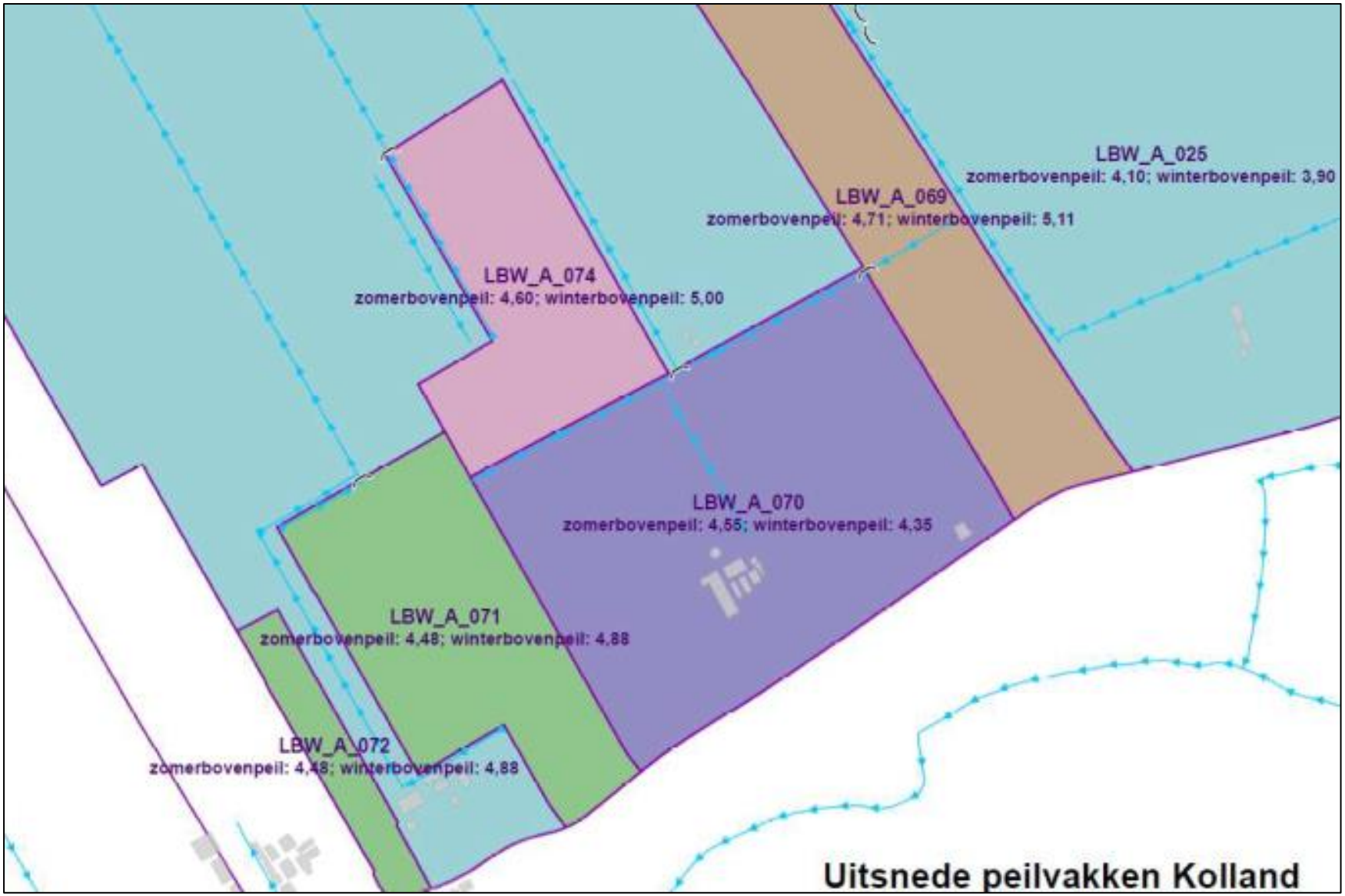
In 2019 is er een nieuw peilbesluit vastgesteld voor de Langbroekerwetering [7]. In Figuur 3.3 is de kaart van het nieuwe peilbesluit weergegeven.



Figuur 3.1 Inrichtingsplan Lunenburgerwaard (Bron: provincie Utrecht)



Figuur 3.2 Peilgebiedenkaart dijkversterking Wijk bij Duurstede-Amerongen (met watergangen)



Figuur 3.3 Nieuwe peilgebieden in Langbroekerwetering (Bron: Wijziging op peilbesluit Langbroekerwetering, Landgoed Kolland (2019))

3.2 Grondwater

3.2.1 Huidige situatie

Invloed van de waterstand in de Nederrijn en Lek

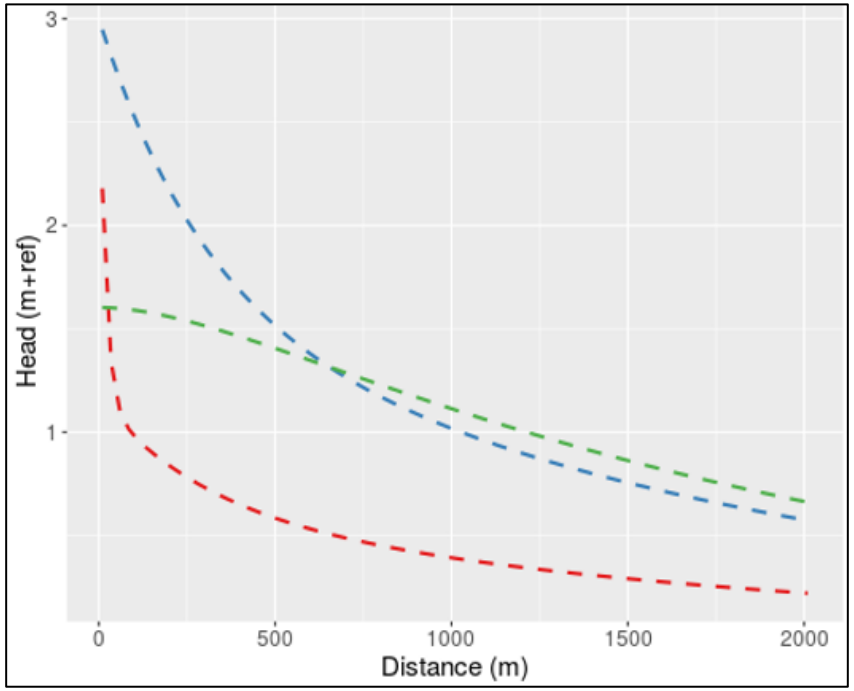
De grondwatersituatie in het studiegebied wordt beïnvloed door de waterstanden in de Nederrijn en de Lek. De invloed van de Nederrijn en de Lek op de stijghoogten wordt kleiner naarmate de locatie verder van de Nederrijn ligt. Dit is in Figuur 3.4 te zien. Dit figuur is gemaakt op basis van een oriënterende berekening (https://sweco.shinyapps.io/MultiLayer3/).

Hoog water

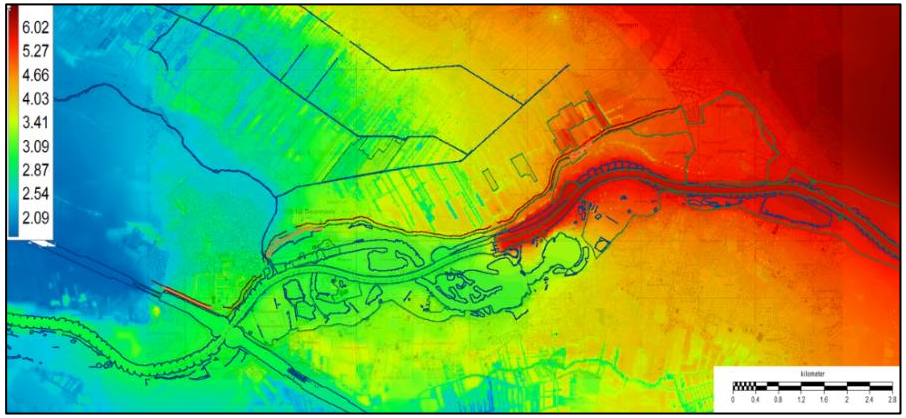
Als de waterstand in de Nederrijn en de Lek hoger dan 3 meter is dan de slootpeilen in de omgeving, is er sprake van hoog water. Uit Figuur 3.4 blijkt dat bij hoog water de grondwaterstand op maximaal 500 meter afstand van de Nederrijn 0,5 meter wordt verhoogd. Dit is in de figuur met een rode lijn weergegeven. In het watervoerend pakket onder de deklaag, wordt de stijghoogte maximaal 1,5 meter verhoogd, bij een hoge waterstand in de Nederrijn en de Lek. Dit is in de figuur met een blauwe lijn aangegeven.

Stuw Amerongen

De stuw bij Amerongen stuwt het water uit de Lek. De stuw staat 75 keer per jaar open, bij hoogwater (Bron: Stuwensemble Nederrijn en Lek | Rijkswaterstaat). De stuwing van het water uit de Lek heeft invloed op de grondwaterstanden in de omgeving.
In Figuur 3.5 is het jaargemiddeld berekende stijghoogte in het plangebied te zien. De stuwing bij Amerongen is te zien door de relatief hoge stijghoogte bovenstrooms van de stuw (rood) en de relatief lage stijghoogte benedenstrooms van de stuw (groen). De stuwing leidt binnendijks (waaronder in Oud Kolland) tot een versterking van de kwelsituatie.



Figuur 3.4 Berekende stijghoogten (+m NAP). Rode lijn is de deklaag, de blauwe lijn is het (eerste) watervoerend pakket, de groen lijn is diep (dieper dan ca. 60 m-NAP, onder de formatie van Waalre).



Figuur 3.5 Berekende jaargemiddelde stijghoogte

Grondwaterstanden

De huidige grondwatersituatie wordt gekenmerkt door de gemiddelde hoogste grondwaterstand, de gemiddelde laagste grondwaterstand, de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en het (jaargemiddelde) kwel en infiltratie.

Gemiddelde hoogste grondwaterstand

Voor de gemiddelde hoogste grondwaterstand worden jaarlijks de 3 hoogste grondwaterstanden, gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydraulisch jaar) genomen.
Deze jaarlijkse waarden wordt over een periode van tenminste 8 jaar gemiddeld. In deze periode mogen er geen ingrepen hebben plaatsgevonden (*Figuur 3.7*).

Gemiddelde laagste grondwaterstand

Voor de gemiddeld laagste grondwaterstand worden jaarlijks de 3 laagste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydraulisch jaar).

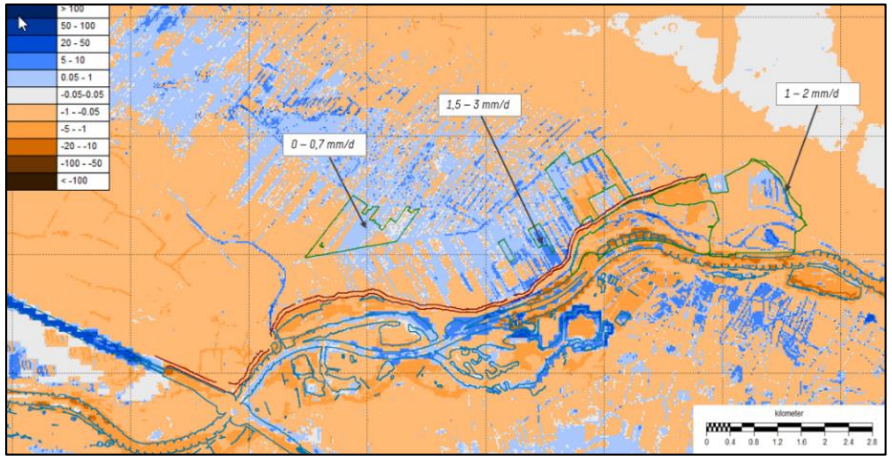
Het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, worden gebruikt als gemiddelde hoogste grondwaterstand (Figuur 3.8).

Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden

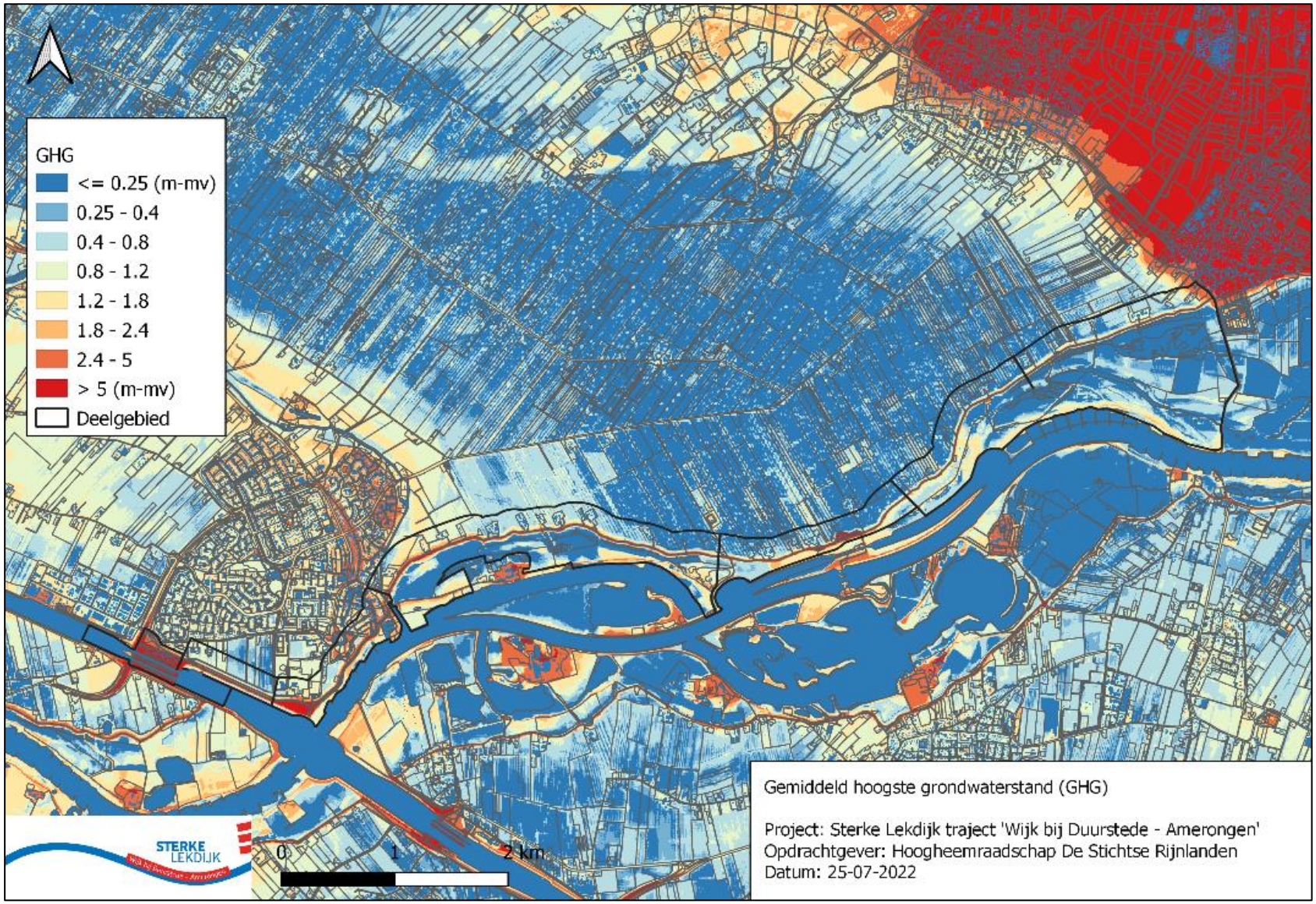
Voor de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand worden jaarlijks de grondwaterstanden van 14 maart, 28 maart en 14 april gemiddeld.
Het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (Figuur 3.9).

(Jaargemiddelde) kwel en infiltratie

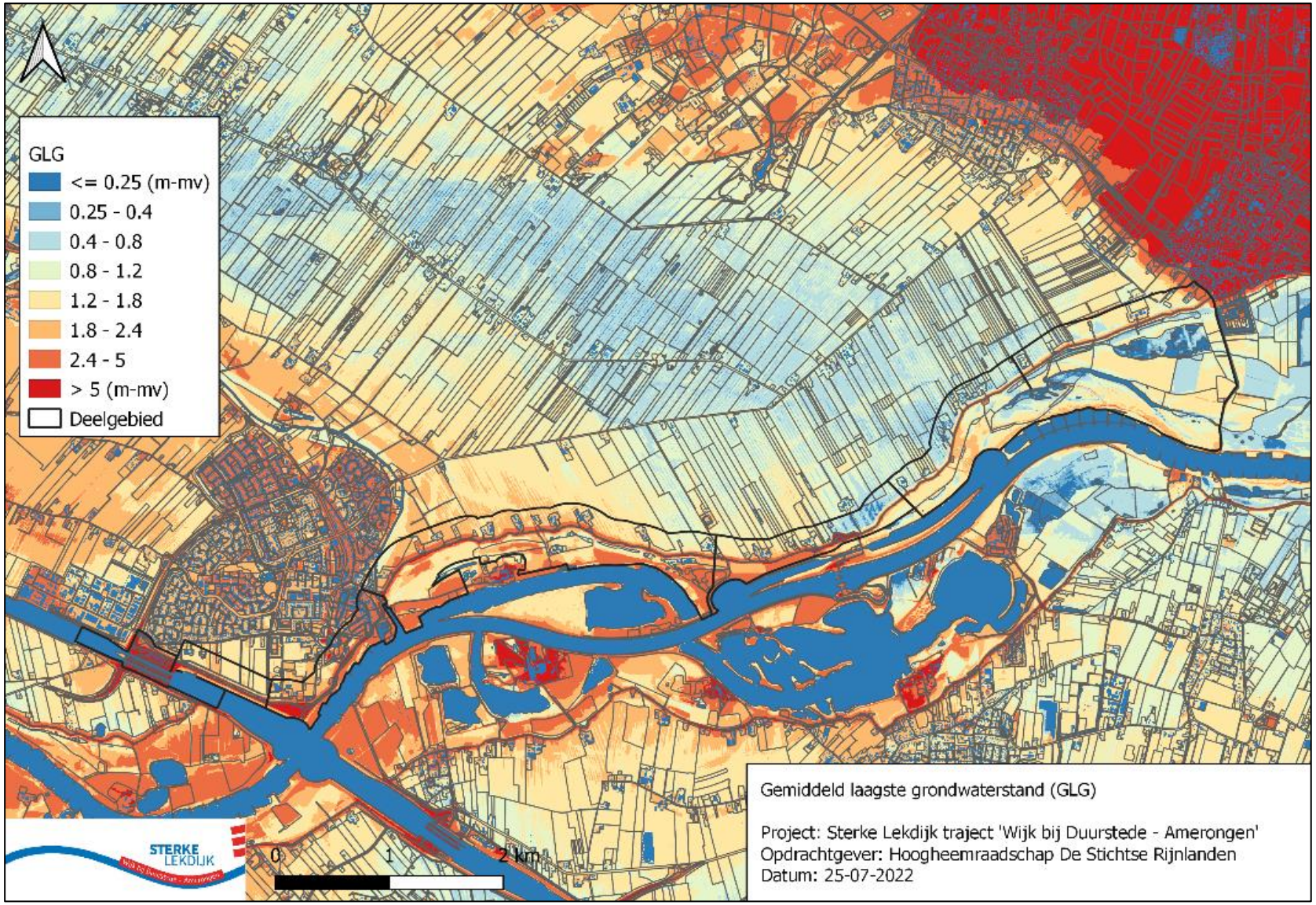
In Figuur 3.6 zijn de berekende (jaargemiddelde) kwel en infiltratie te zien. In bijlage 4 is hier meer informatie over te vinden.



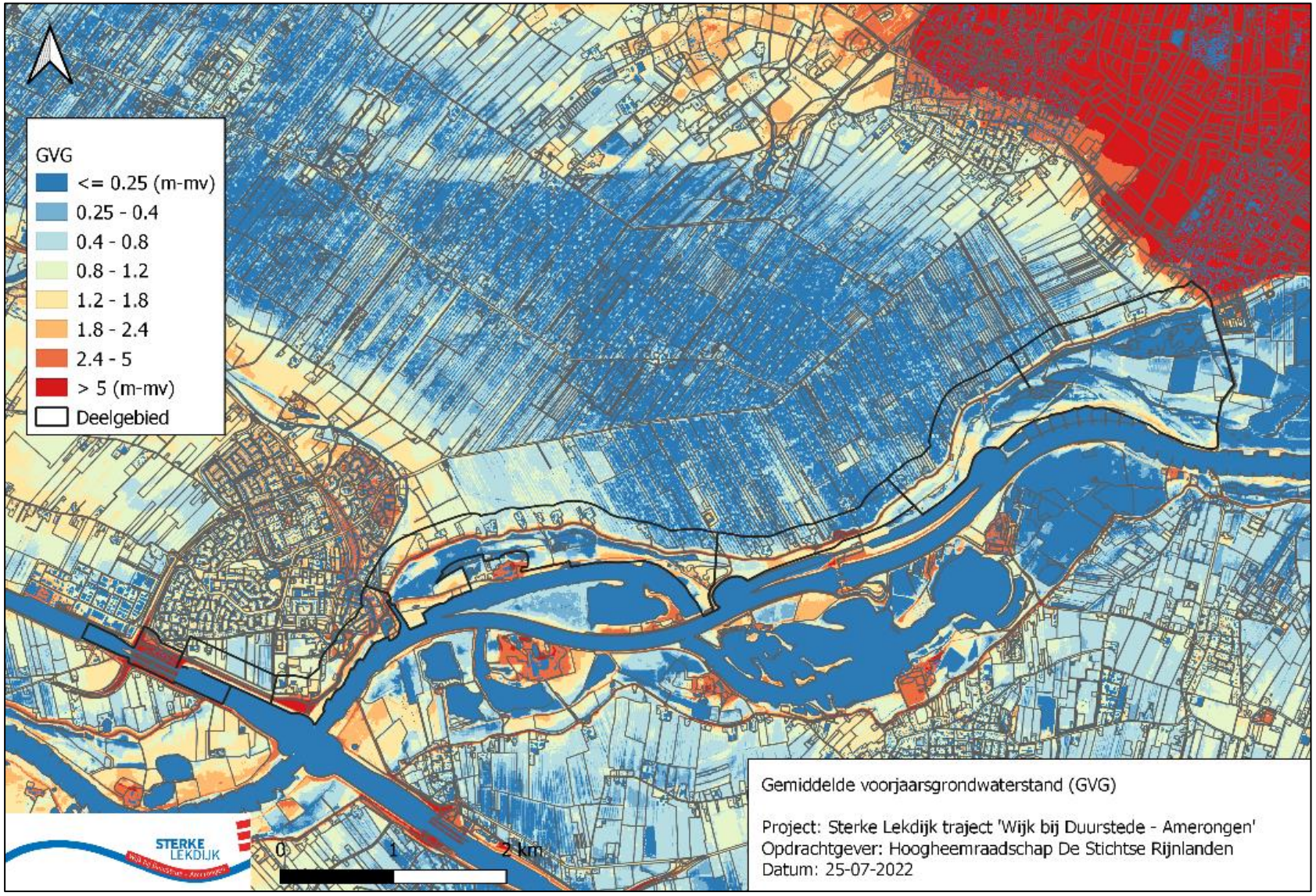
Figuur 3.6 Berekende jaargemiddelde kwel en infiltratie.



Figuur 3.7 Gemiddeld hoogste grondwaterstand (huidige situatie)



Figuur 3.8 Gemiddeld laagste grondwaterstand (huidige situatie)



Figuur 3.9 Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (huidige situatie)

3.2.2 Autonome ontwikkelingen

Bij de beoordeling van de effecten van de dijkversterkingsmaatregelen op het grondwater is de situatie beschouwd die ontstaat na de autonome ontwikkelingen. Het gaat om de volgende twee ontwikkelingen:

1. Het ontgraven van de kleilaag in de Sandenburgerwaard. In Figuur 3.10 is dit met een groen gearceerd vlak weergegeven;
2. Het verleggen van een sloot richting de dijk als onderdeel van de herinrichting Lunenburgerwaard. In Figuur 3.10 is dit te zien. De sloot ligt nu op de rode lijn. Deze wordt verlegd naar de blauwe lijn.

Figuur 3.10 Maatregelen van de herinrichting Lunerwaard (1. Ontgraven kleilaag Sanderburgerwaard – groen gearceerd vlak, 2. Verleggen teensloot – van rode naar blauwe lijn)

In Natura2000-gebied Oud Kolland zijn in het najaar 2022 enkele sloten verondiept. Deze maatregel beïnvloedt de effecten van de dijkversterkingsmaatregelen (nagenoeg) niet en heeft om die reden niet geleid tot modelaanpassingen.

Beoordeling dijversterkingsmaatregelen

Bij de beoordeling van de dijkversterkingsmaatregelen wordt uitgegaan van de onveranderde (niet door de klimaatverandering beïnvloede) grondwatersituatie.

Naar verwachting worden de effecten van de dijkversterkingsmaatregelen op het grondwatersysteem niet merkbaar beïnvloed door de te verwachten klimaatverandering. De dijkversterkingsmaatregelen worden niet anders door de verwachte klimaatverandering.

3.3 Waterkwaliteit

3.3.1 Huidige situatie

Potentieel relevante gebieden KRW

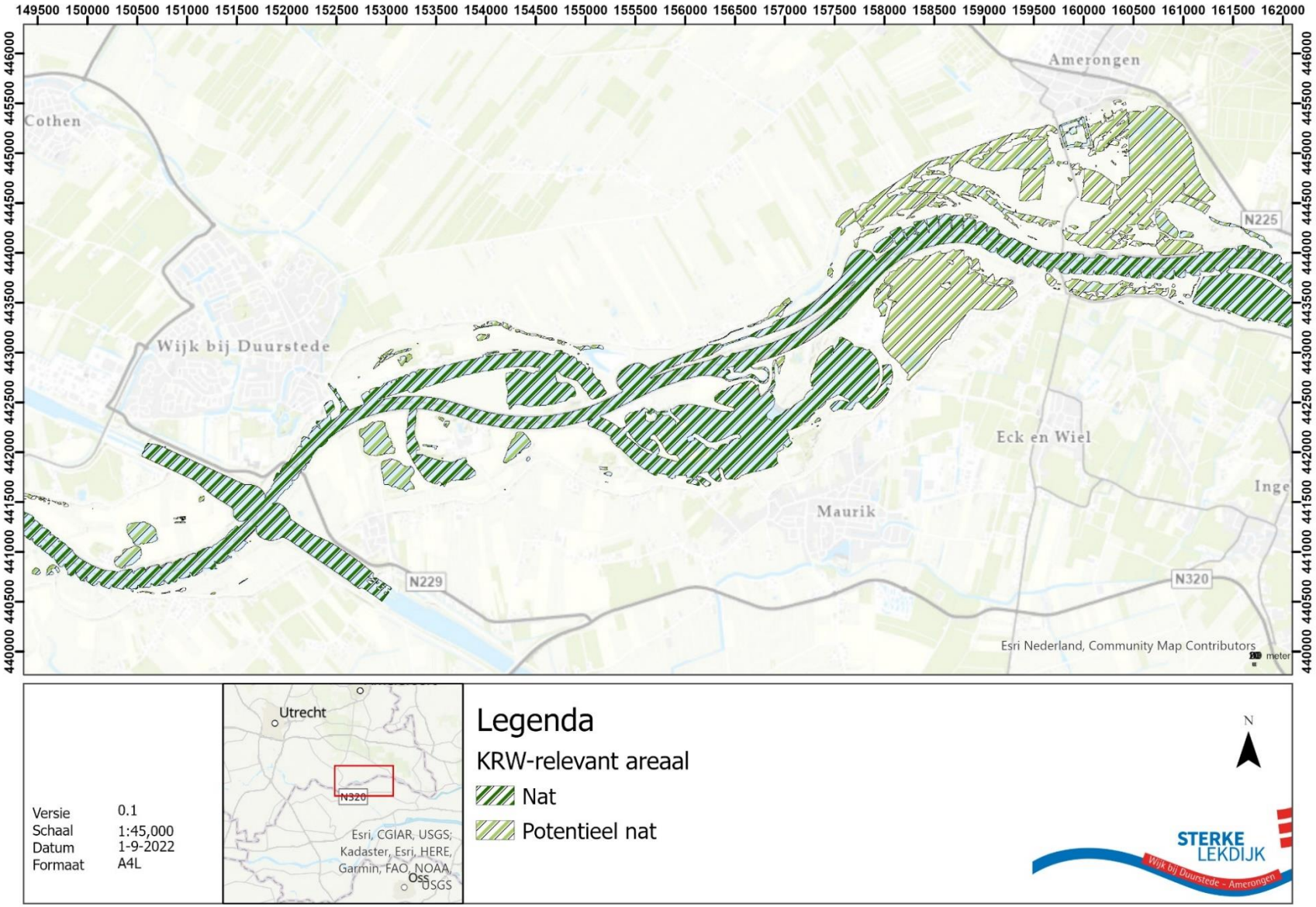
In de huidige situatie zijn er in het plangebied verschillende gebieden die potentieel relevant zijn voor de KRW (Figuur 3.11). In deze gebieden is niet per definitie waardevolle natuur aanwezig. Het zijn locaties waar de condities voor natuurontwikkeling gunstig zijn. Dit geldt voor macrofauna, oeverplanten, vis en waterplanten [8].

Op deze plekken zijn geen biologische KRW-metingen aangetroffen in de database van Rijkswaterstaat. Het is dus niet bekend of er daadwerkelijk interessante KRW-natuur gevestigd is in het KRW-relevant areaal.

In de Nederrijn en Lek zijn zowel biologische als fysisch-chemische metingen verricht tussen 2010 en 2020.
De dichtstbijzijnde fysisch-chemische metingen zijn uitgevoerd bij sluis Hagestein (ter hoogte van Vianen). Tussen 2010 en 2021 zijn de gemiddelde nutriëntenconcentraties 0,05 – 0,10 mg Ptot l^{-1} en 3,5 mg N l^{-1} [9]. Hiermee is de score volgens het Kaderrichtlijn water matig.

KRW-factsheets

In het kader van de KRW moeten alle waterbeheerders jaarlijks verslag doen van de ecologische toestand van hun wateren. Deze onderzoeken worden samengevat in de zogenoemde KRW-factsheets (13).
De factsheets geven aan dat onder andere de biologische waterkwaliteit in 2020 slecht is en dat specifieke verontreinigende stoffen de norm overschrijden.



Figuur 3.11 KRW-relevant areaal

Onderzoek Rijkswaterstaat
Rijkswaterstaat Oost-Nederland heeft in de afgelopen jaren verschillende onderzoeken gedaan naar de waterkwaliteit van de Nederrijn en Lek. Deze worden hieronder toegelicht.

Bijdrage waterbodemkwaliteit op waterkwaliteit
In 2011 is een onderzoek uitgevoerd over de bijdrage van de waterbodemkwaliteit op de waterkwaliteit (14). Uit het onderzoek blijkt dat de KRW-doelstellingen wordt belemmerd door Pcb's in de bodem. Lokaal kunnen havens en kribvakken zeer sterk verontreinigd zijn.
Vooral gedurende lage afvoer periodes kan de verontreiniging sterk oplopen door de opwerveling van oud rivierslib. De slechte kwaliteit van de bodem heeft een negatief effect op de KRW-score voor macrofauna (14).

Watersysteemanalyse
In 2017 heeft Rijkswaterstaat een watersysteemanalyse uitgevoerd over de ontwikkelingen van de waterkwaliteit en ecologie in de Rijntakken (15). De watersysteemanalyse bevestigt dat de bodemkwaliteit niet optimaal is. Het onderzoek voegt daaraan toe dat door de aanleg van sluizen en stuwen de dynamiek in de rivierbodem grotendeels is verdwenen. Het rapport richt zich op het voorkomen van de onderwater-doelsoorten. De conclusie is dat er weinig geschikt leefgebied beschikbaar is voor kenmerkende riviersoorten, en dat exoten de inheemse fauna verdringen (15).

Optimalisatiestudie
In 2019 is een optimalisatiestudie uitgevoerd voor het stuwbeheer in de Nederrijn ten behoeve van de KRW-functies (16). Hierin zijn de optimalisatiemogelijkheden verkend voor het stuwbeheer van de Nederrijn-Lek vanuit de functie waterkwaliteit en ecologie. Ook in dit rapport komt naar voren dat er veel ecologische winst te boeken valt in deze rivier. Dit zijn maatregelen die buiten het plangebied vallen.

KRW status
Het waterlichaam Neder-Rijn-Lek heeft de KRW status Sterk veranderd gekregen. De reden hiervoor is dat menselijke ingrepen het waterlichaam zodanig veranderd hebben, dat een goede ecologische toestand niet meer te realiseren is zonder significante schade van de gebruiksfuncties (13).
De bovengenoemde studies geven geen rooskleurig beeld van de huidige ecologische toestand in de Nederrijn en Lek.

Samenvatting
Samengevat zijn de fysisch-chemische water- en bodemkwaliteit van de Nederrijn niet zoals gewenst. Daarnaast is ook de ecologische kwaliteit slecht met weinig gewenste doelsoorten en veel invasieve soorten. Tegelijkertijd zijn er lichtpuntjes. De waterkwaliteit is aanzienlijk verbeterd in de afgelopen decennia en vormt geen belangrijke belemmering meer voor de ecologische ontwikkeling.

3.3.2 Autonome ontwikkeling
De belangrijkste autonome ontwikkeling is de voortgang van de Kaderichtlijn Water. De Europese Unie heeft vastgesteld dat in 2027 alle wateren binnen haar grenzen in een goede toestand moeten verkeren. Dit omvat zowel de fysisch-chemische condities als de biologische (10). Het bereiken van deze doelen is de autonome ontwikkeling, omdat er maatregelen zijn gedefinieerd en gepland om deze doelen te halen.

3.4 Rivierkunde

3.4.1 Huidige situatie
In de huidige situatie ligt er een winterdijk tussen Wijk bij Duurstede en Amerongen. Dit is de Lekdijk, aan de rechterzijde van de Lek (gezien vanuit een vaartuig dat stroomafwaarts over de rivier beweegt van oost naar west). Tussen de Lekdijk en het zomerbed ligt een brede uiterwaard en een zomerkade.
De zomerkade zorgt ervoor, dat de uiterwaard bij lage en mediane afvoeren niet onder water komt te staan en dus niet mee stroomt.

3.4.2 Autonome ontwikkelingen

Bij de planuitwerking van het voorkeursalternatief is in kaart gebracht welke autonome ontwikkelingen op rivierkundig gebied voorzien zijn in de omgeving van dit project.

Herinrichting Lunerburgerwaard

De enige autonome ontwikkeling is het provinciale project voor de herinrichting van de Lunenburgerwaard (**Fout! Verwijzingsbron niet g evonden.**).

Uit rivierkundig onderzoek voor het voorkeursalternatief is gebleken dat de invloed van deze autonome ontwikkeling naar verwachting geen significante effecten heeft op dit project. Daarom wordt deze autonome ontwikkeling niet verder meegenomen bij de beoordeling van het dijkontwerp.

4 Uitgangspunten van het effectenonderzoek

4.1 Onderzoek naar oppervlaktewatersysteem

4.1.1 Onderzoek in het voortraject

In de verkenningsfase is voor het bepalen van het voorkeursalternatief een effectbeoordeling uitgevoerd voor het aspect oppervlaktewater. Dit is gedaan door te kijken naar het aantal hectares oppervlaktewater dat geraakt wordt door de dijkversterkingsalternatieven. In de verkenningsfase is voor het aspect oppervlaktewater verder geen onderzoek uitgevoerd.

4.1.2 Vervolgonderzoek in het MER

Bij de start van de planuitwerkingsfase is een eerste beoordeling op de verslechtering van de afwatering door demping en mogelijkheid tot compensatie in hetzelfde peilgebied uitgevoerd.

Dit is gebeurd aan de hand van de beslisboom kans op afwateringsproblemen bij demping watergang en de beslisboom compensatie watergangen (0). De resultaten van deze beoordeling zijn te vinden in de effectscorekaart (Bijlage 2) en de effectscore graven watergangen (0).

Bijlage 2 en Bijlage 3 zijn opgesteld op basis van de maatregelen, die onderdeel waren van het voorkeursalternatief in de verkenningsfase, en zijn gebruikt als input voor het dijkontwerp. De beslisbomen zijn opgesteld volgens het vigerende beleid van het hoogheemraadschap de Stichte Rijnlanden [10].
Het dempen van deze kopsloten veroorzaakt geen effecten op de doorstroming in andere watergangen. Om deze reden is doorstroming geen criterium in de beslisboom.

4.2 Grondwateronderzoek

4.2.1 Onderzoek in het voortraject

In de verkenningsfase van deze dijkversterking is een oriënterend (grondwater) modelonderzoek uitgevoerd (11). Dit onderzoek geeft een indruk van de te verwachten effecten op:

- De grondwaterstanden, de kwel en het waterbezwaar;
- De natuurwaarden van drie alternatieve oplossingsrichtingen.

Op basis van dit verkennend onderzoek is geconcludeerd dat de genoemde effecten vermoedelijk beperkt zijn.

4.2.2 Vervolgonderzoek in het MER

Grondwateronderzoek

Ten behoeve van het MER is onderzoek uitgevoerd met een grondwatermodel. Het doel van het grondwateronderzoek is het in beeld brengen van de effecten van de maatregelen voor dijkversterking op het bestaande grondwaterhuishoudkundige systeem.
De dijkversterkingsmaatregelen die invloed kunnen hebben op het grondwatersysteem zijn het aanbrengen van horizontale pipingmaatregelen in de uiterwaard, en het aanbrengen van verticale pipingschermen langs de binnenzijde van de dijk.

Grondwatermodel

In dit achtergrondrapport staan de randvoorwaarden en uitgangspunten voor het grondwatermodel, in relatie tot de effectbeoordeling in de milieueffectrapportage. In de bijlage Rapportage 3D-grondwatermodellering is het grondwatermodel verder toegelicht.

Buiten het grondwateronderzoek, is er ook gedetailleerd onderzoek uitgevoerd ten behoeve van het dijkontwerp. Het gaat hierbij om de grondwaterstromen die bepalend zijn voor de stabiliteit van de dijk.

Het grondwateronderzoek voor het dijkontwerp valt buiten de scope van dit rapport. Het grondwatermodel voor de milieueffectrapportage en het grondwatermodel voor het dijkontwerp zijn op elkaar afgestemd.

Scope en uitgangspunten van het grondwateronderzoek

De veranderingen in de grondwaterstanden en de kwel zijn van belang voor verschillende functies. De grondwatereffecten zijn input voor afgeleide effecten (de impact van de maatregelen): Landbouw (natschade), Ecologie (grondwaterafhankelijke natuur, Bebouwing en infrastructuur (zettingsrisico's en wateroverlast) en het waterbezwaar.

Deze afgeleide effecten hebben een regionaal karakter (1-2 km).
De grondwaterbeschermingsgebieden liggen op relatief grote afstand van de dijkversterking. Hier worden geen effecten verwacht.
De berekende grondwaterstanden, ten opzichte van maaiveld, zijn onder meer belangrijk, om de mogelijke gevolgen van de effecten op de landbouw te kunnen bepalen.

Tabel 4-1 De veranderingen in de grondwaterstanden en de kwel zijn belangrijk voor verschillende functies

Aspect	Impact parameter	Modelresultaat
Landbouw	Droogte- en natschatschae	Grondwaterstanden
Ecologie	Grondwaterafhankelijke natuuur	Grondwaterstanden, kwel- en infilatratie
Bebouwing en infrastructuur	Zettingrisicos Wateroverlast	Grondwaterstanden
Waterbezwaar	Bemalingskosten	Kwel in hoogwatersituatie in het bemalingsgebied direct achter de dijk

De grondwatermodelleringen geven informatie over zowel de huidige- als de toekomstige grondwatersituatie (na dijkversterking). Met de grondwatersituatie wordt bedoeld: stijghoogten, grondwaterstanden, stromingsrichtingen en snelheden, kwel en infiltratie, waterbezwaar e.d.

Mede op basis van de grondwatermodelleringen kan de impact van de dijkversterking worden bepaald op landbouw, ecologie en bebouwing.
De bepaling van de afgeleide effecten valt buiten grondwateronderzoek, maar is wel bepalend voor de ontwerpeisen die aan de grondwatermodelleringen worden gesteld.

De ontwerpeisen hebben betrekking op de nauwkeurigheid van de grondwaterberekeningen. Hiermee wordt bedoeld: de fout in de berekende stijghoogten, en de mate waarin de ruimte wordt geschematiseerd (resolutie ofwel knoopafstand).
Daarnaast hebben de ontwerpeisen betrekking op situaties die doorgerekend moeten kunnen worden (jaargemiddelde situatie, hoogwatersituatie, maatgevende golf, historische periode).

Het soort informatie dat het model als resultaat moet leveren:

- De voorjaarsgrondwaterstand;
- Gemiddeld verloop van de grondwaterstand (jaargemiddeld);
- Kwelflux naar het maaiveld;
- Waterbezwaar bij een hoge waterstand;
- Herkomst van het grondwater (Heuvelrug of vanuit de rivier).

Om de huidige en de toekomstige grondwatersituatie (na dijkversterking) te onderzoeken, worden grondwatermodellen gebruikt die aansluiten op de te bepalen effecten:

- Regionale, seizoen effecten;
- Lokale, kortdurende effecten.

In deze modellen is alle relevante kennis die beschikbaar is, ondergebracht. Het gaat bijvoorbeeld om informatie over de opbouw van de ondergrond (boringen, sonderingen), en peilen, waterstanden en grondwateronttrekkingen.

Na het inbrengen van de bovengenoemde informatie zijn de modelparameters geoptimaliseerd. Hierdoor wordt een acceptabele fit verkregen met gemeten stijghoogten.
De fouten die resteren tussen de berekende stijghoogten en de gemeten stijghoogten zijn gerapporteerd en toegelicht in de bijlage 3D-grondwatermodellering. Hierdoor geven de (met deze modellen berekende) effecten een goede inschatting voor zowel de huidige situatie als de situatie na dijkversterking. Deze modelresultaten vormen de basis voor de bepaling van de impact van de maatregelen.

Eigenschappen van het grondwatermodel

Om de afgeleide effecten (landbouw, natuur, zetting) te kunnen bepalen moet de modellering aan de volgende eisen voldoen:

- De grondwaterstand ten opzichte van maaiveld moet in een historische periode van minimaal 8 jaar in een strook van 1-2 km vanaf de dijk nauwkeurig worden berekend (fout in de berekende grondwaterstand maximaal 20 cm);
- De berekende kwel en infiltratie sluit aan op de kennis hiervan (met name in natuurgebieden);
- De herkomst van het kwelwater moet kunnen worden bepaald in een jaargemiddelde situatie, maar ook in een hoogwatersituatie;
- Het berekende waterbezwaar, in een strook van 1-2 km vanaf de dijk, moet overeenkomen met de kennis hiervan;
- Resolutie van de berekeningsresultaten is 25x25 meter.

Op grond van deze eisen is voor het effectenonderzoek is gekozen voor het werken met een regionaal 3D grondwatermodel.
De begrenzing van het 3D-grondwatermodel staat in bijlage 4. De modelgrens van het 3D-grondwatermodel, ligt overal op meer dan 10 km afstand van de dijk.
Door deze relatief grote afstand, wordt geborgd dat de keuze van de randvoorwaarden in dit model, niet van invloed is op de hydrologische effecten van de dijkversterking.

Om de effecten van de dijkversterking op de grondwaterstanden te berekenen wordt met het 3D-grondwatermodel een historische periode van minimaal 8 jaar doorgerekend.
Concreet wordt de periode 2009-2019 doorgerekend. De laatste 8 jaren worden gebruikt voor het bepalen van (de effecten op) de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG).

Belangrijke aannamen en kennisleemten

In het 3D grondwatermodel zijn recente gegevens verwerkt. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om informatie die de bodemopbouw beschrijft, maar ook om oppervlaktewaterpeilen, grondwateronttrekkingen e.d.
In het grondwatermodel zijn de fysieke eigenschappen van de bodem verwerkt (doorlatendheden e.d.). Die eigenschappen zijn niet direct gemeten, en zijn daarom afgeleid uit boor- en sondeerinformatie.

De manier waarop het klimaat verandert en de mate waarin is nog niet geheel duidelijk, en daarmee dus het neerslagpatroon, de verdamping, de rivierstanden en daarmee de grondwaterstanden als gevolg daarvan.

4.3 Onderzoek naar KRW-relevant areaal

De scope van het onderzoek naar de effecten op de waterkwaliteit is, al het water en oeverzones die mogelijk beïnvloed worden door de dijkversterking. Dit betreft zowel de tijdelijke effecten van de werkzaamheden als de permanente effecten van de gebruiksfase.

In het conceptnota voorkeursalternatief is een beoordelingscriterium gegeven voor het aspect ruimtebeslag op KRW-relevant gebied. Dit beoordelingscriterium is overgenomen.

4.4 Onderzoek naar rivierkunde

4.4.1 Onderzoek in het voortraject

Bij het opstellen van het voorkeursalternatief voor de dijkversterking zijn er vier alternatieven onderzocht.

Eén van deze vier alternatieven omvatte een rivierwaartse dijkversterking, waarbij de dijk 2 tot 5 meter rivierwaarts zou worden versterkt. Dit alternatief is onderzocht volgens de werkwijze beschreven in het RBK 5.0, waarbij modelberekeningen uit zijn gevoerd met modelsoftware WAQUA. Daaruit werd duidelijk dat alle varianten, inclusief de doorgerekende variant, voldoen aan de gestelde rivierkundige normen.
De uitkomsten van deze berekeningen zijn in 2020 besproken met de rivierbeheerder (Rijkswaterstaat Oost-Nederland) en vervolgens opgenomen in MER-deel 1.
Hoewel de huidige autonome ontwikkelingen anders zijn dan het destijds beoordeelde alternatief, hebben de resultaten uit de modelberekeningen inzicht gegeven in de rivierkundige situatie binnen het projectgebied. Deze inzichten zijn gebruikt ter onderbouwing van de beoordeling van de autonome ontwikkelingen rondom het projectgebied en de veranderingen in het dijkontwerp.

4.4.2 Onderzoek in het MER

In het vervolgonderzoek in het MER is verder onderzoek gedaan naar de rivierkundige effecten van het nieuwe dijkontwerp.
De verwachte rivierkundige effecten zijn in kaart gebracht op basis van expert judgement. Dit is een geschikte methode, omdat de grootte van de rivierkundig relevante ingrepen beperkt is. De gekozen methode is afgestemd met de rivierbeheerder.
Ter onderbouwing van het expert judgement is gebruik gemaakt van de resultaten uit het voortraject, vuistregels, een analytische formule en kengetallen. De gebruikte kengetallen zijn door de rivierbeheerder gepubliceerd.
Het onderzoek zelf is vastgelegd in een memo rivierkundige effecten van koppelkansen (bijlage 6). Dit memo en de daaruit volgende conclusies zijn tijdens het onderzoek voorgelegd aan en besproken met de rivierbeheerder in enkele digitale bijeenkomsten.

5 Wijze van effectbeoordeling

5.1 Effectbeoordeling oppervlaktewatersysteem

5.1.1 Inleiding

Dit aspect beschrijft de effecten van de dijkverbetering op de waterkwantiteit. Het gaat hierbij om de invloed op het areaal regionaal oppervlaktewatersysteem, ondermeer als gevolg van een aantal slootdempingen in het dijkontwerp.
De hoeveelheid waterberging die afneemt door het dempen van watergangen moet volgens de Keur worden gecompenseerd. De dempingen betekenen dus dat er op andere locaties nieuw wateroppervlak moet worden gegraven. Het dempen van watergangen kan leiden tot afwateringsproblemen.

Daarom moet een demping in sommige gevallen worden opgevangen door aanvullende maatregelen, zoals het aanleggen van een leiding om de afvoer van water te waarborgen. Dit als gevolg van anti-pipingmaatregelen zoals demping van watergangen zorgen voor een verslechterde afwatering op de locatie waar de pipingmaatregel wordt genomen. Deze maatregelen worden opgenomen in het hoofdstuk mitigerende maatregelen in de effectbeoordeling van het milieueffectrapport.

5.1.2 Wijze van effectboordeling

Beslisbomen watercompensatie en de eerder uitgevoerde effectenanalyses vormen de basis voor de effectbeoordeling oppervlaktewater. De wijze van beoordeling is erop gericht om de verschillende varianten kwantitatief te kunnen vergelijken.

Bij het aspect oppervlaktewater wordt beoordeeld of er sprake is van oppervlaktewaterdemping, of deze demping in hetzelfde peilgebied kan worden gecompenseerd en wat dit doet met de afwateringssituatie.

5.1.3 Beoordelingskader en normering oppervlaktewatersystemen

Het scoren van de ingrepen in het kader van de dijkversterking vindt plaats aan de hand van de onderstaande scoringstabel. Er is sprake van een verbetering van de afwateringsituatie als de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem op welke manier dan ook toeneemt.

Dit betekent dat de kans op wateroverlast en schade afneemt. In de gunstigste situatie komt er meer oppervlaktewater zonder dat er op een andere locatie wordt gedempt. Als er sprake is van een demping, geeft nieuw oppervlaktewater op hetzelfde perceel de beste score. Dit zorgt ervoor dat de waterberging evenwichtig over het gebied verdeeld blijft en dit houdt het systeem robuust.

Tabel 5-1 Tabel beoordeling oppervlaktewater

Effectscore	Toelichting
+++	Afwateringssituatie verbetert en er komt extra open water.
++	Afwateringssituatie verbetert en waterpartijen blijven onveranderd.
+	Afwateringssituatie verbetert en te graven watercompensatie op hetzelfde perceel als de demping.
0	Afwateringssituatie blijft gelijk zonder maatregelen en/of te graven watercompensatie op hetzelfde peilgebied als de demping.
-	Afwateringssituatie blijft gelijk met eenvoudige maatregelen en/of te graven watercompensatie in hetzelfde peilgebied als de demping.
- -	Afwateringssituatie blijft gelijk, ingrijpende maatregelen zijn noodzakelijk en/of te graven watercompensatie in een ander peilgebied dan de demping.
- - -	Afwateringssituatie verslechtert en/of eventueel benodigde watercompensatie kan niet worden gegraven. Project kan zo geen doorgang vinden.

5.2 Effectbeoordeling grondwatereffecten

Zowel het aanbrengen van horizontale pipingmaatregelen in de uiterwaard, of het plaatsen van een verticaal pipingscherm langs de binnenzijde van de dijk kan effecten hebben op (de stroming van) het grondwater.

Daardoor kunnen de volgende afgeleide effecten ontstaan:
1. Bebouwing en infrastructuur (zetting en grondwaterstand).
2. Natschade.
3. Waterbezwaar.
4. Natuurwaarden (grondwaterstand).
5. Natuurwaarden (kwel).

De wijze van beoordeling is erop gericht om verschillende varianten kwantitatief te kunnen vergelijken.
De effecten van de dijkversterkingsmaatregelen op het grondwater zoals berekend met de 3D-grondwatermodellering vormen de basis voor de beoordeling. Op basis van de resultaten van het vooronderzoek wordt verwacht dat de effecten van de verschillende varianten op het grondwater beperkt zijn. De gehanteerde normering is daarop aangepast (d.w.z. relatief gevoelig gemaakt).

5.2.1 Bebouwing en infrastructuur (zetting) (aanlegfase)

Tijdelijke bronbemalingen ten behoeve van de aanleg van de horizontale of verticale constructies leiden mogelijk tot zetting van de ondergrond ter plaatse. Daardoor zou schade kunnen ontstaan aan bebouwing en infrastructuur (wegen).

Tabel 5.2 bevat de scoretabel voor het aspect zettingen. De score in de tabel geeft aan of de te verwachten zettingsschade aan bebouwing/infrastructuur groter dan wel kleiner is dan in de autonome ontwikkeling.
De tabel heeft betrekking op het gebied waarin de verlaging van de freatische stijghoogte door bronbemaling groter is dan 5 cm. Belangrijk criterium in de tabel is de aan- c.q. afwezigheid van infrastructuur/ bebouwing, de aanwezigheid van zettingsgevoelige lagen (zoals veen) en de maximale verlaging bij de infrastructuur/bebouwing.

Tabel 5-2 Scoretabel m.b.t het aspect zettingen

Effectscore	Toelichting
+++	Nvt
++	Nvt
+	Nvt
0	Geen zettingsgevoelige ondergrond en/of Geen bebouwing c.q. infrastructuur in verlagingsgebied en/of verlaging < 5 cm

-	Zettingsgevoelige ondergrond met bebouwing c.q. infrastructuur in verlagingsgebied 5 cm < verlaging <= 10 cm
- -	Zettingsgevoelige ondergrond met bebouwing c.q. infrastructuur in verlagingsgebied 10 cm < Verlaging <= 25 cm
- - -	Zettingsgevoelige ondergrond met bebouwing c.q. infrastructuur in verlagingsgebied Verlaging > 25 cm

5.2.2 Bebouwing en infrastructuur (grondwaterstand) (gebruiksfase)

Om grondwateroverlast te voorkomen mag de grondwaterstand niet (te vaak) ondiep zijn ter plaatse van bebouwing (20). De grondwaterstanden dicht bij de dijk kunnen mogelijk worden beïnvloed door de maatregelen voor dijkversterking. Op plaatsen waar in de huidige situatie de grondwatersituatie al kritisch is voor de aanwezige bebouwing zou deze situatie in principe nog kritischer kunnen worden.

Overigens is de verwachting dat de dijkversterkingsmaatregelen eerder leiden tot een verlaging van de grondwaterstanden in een smalle zone langs de dijk, waardoor een verslechtering in dit opzicht waarschijnlijk niet aan de orde is.

De regelgeving van het hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden bevat geen specifieke norm voor de grondwaterstanden die ter plaatse van bebouwing gewenst zijn (21). Op basis de Watersysteemrapportage wordt de verhoging (vernatting) van de GHG als criterium gehanteerd, voor zover de huidige hoogste grondwaterstand ondieper is dan 90 cm-mv. (20).

Tabel 5-3 Scoretabel voor het aspect bebouwing en infrastructuur (grondwaterstand). (dGHG = verandering van de gemiddeld hoogste grondwaterstand, voor zover de huidige GHG ondieper is dan 90 cm-mv)

Effectscore	Toelichting
+++	dGHG > 25 cm (droger)
++	10 cm < dGHG <= 25 cm
+	5 cm < dGHG <= 10 cm
0	-5 cm < dGHG <= 5 cm
-	-10 cm < dGHG <= -5 cm
- -	-25 cm < dGHG <= -10 cm
- - -	dGHG <= -25 cm (natter)

5.2.3 Natschade voor de landbouw (gebruiksfase)

In de ca. 250 m brede zone aan weerszijden van het dijktraject zijn effecten mogelijk van de dijkversterkingsmaatregelen op de grondwaterstanden. Hier zijn de hoogste grondwaterstanden relatief nat, dat wil zeggen ondieper dan 40 cm-mv.
Als door maatregelen, bijvoorbeeld door het ingraven van een bentonietmat, de situatie nog natter zou worden, dan zou dat in principe kunnen leiden tot een toename van de natschade in de landbouw. Omgekeerd: als door de maatregelen de hoogste grondwaterstand droger wordt, kan dat leiden tot een afname van de natschade.

Tabel 5.4 bevat de scoretabel m.b.t. het aspect natschade. De natschade wordt berekend volgens met de Waternood-systematiek (22). Met die systematiek kan het effect worden berekend van veranderingen in hydrologische condities op gewasopbrengsten ten opzichte van de huidige situatie
Er wordt onderscheid gemaakt in nat- en droogteschade. Natschade ontstaat door te natte omstandigheden; droogteschade door te droge

omstandigheden. Zowel nat- als droogteschade wordt uitgedrukt in een percentage van de (theoretisch) maximale opbrengst (=100%). Vooral bij ondiepe grondwaterstanden neemt de (nat)schade relatief sterk toe bij een relatief kleine verhoging van de grondwaterstand.

De droogteschade is minder gevoelig voor de grondwaterstand. In de zone langs de dijk waar mogelijk effecten van de dijkversterkingsmaatregelen aan de orde zijn, komen overwegend ondiepe grondwaterstanden voor waardoor alleen de mogelijke effecten van de maatregelen op de natschade zullen worden bekeken (en niet de effecten op de droogteschade) (11).

Tabel 5-4 Scoretabel voor het aspect natschade.

Effectscore	Toelichting
+++	< -5% (=minder natschade)
++	-5,0% - -2,5%
+	-2,5% - -0,5%
0	-0,5% – 0,5%
-	0,5% - 2,5%
- -	2,5% - 5,0%
- - -	>5% (=meer natschade)

5.2.4 Waterbezwaar (gebruiksfase)

In hoogwatersituaties stroomt het grondwater onder de dijk richting het binnendijkse gebied. Deze situatie is daarom maatgevend bij de bepaling van het waterbezwaar. Een deel van dit grondwater moet worden afgevoerd via bemaling van de kwelsloten achter de dijk. Dit zogenaamde waterbezwaar zal doorgaans verminderen door de dijkversterkingsmaatregelen.

Tabel 5.5 bevat de scoretabel m.b.t. het aspect waterbezwaar. Een positieve score betekent dat bij hoogwater minder water hoeft te worden afgevoerd d.m.v. bemaling (en omgekeerd).

Tabel 5-5 Scoretabel m.b.t. het aspect waterbezwaar.

Effectscore	Toelichting
+++	< -5% (=kleiner waterbezwaar)
++	-5,0% - -2,5%
+	-2,5% - -1%
0	-1% – 1%
-	1,0% - 2,5%
- -	2,5% - 5,0%
- - -	>5% (=groter waterbezwaar)

5.2.5 Natuurwaarden (grondwaterstand) (gebruiksfase)

De natuurgebieden Kolland en Overlangbroek zijn gebaat bij ondiepe grondwaterstanden. Er is een analyse gemaakt van de huidige situatie opgenomen betreffende verdroging. De gewenste grondwaterstand is gebaseerd op Essen-Iepenbos (habitattype H91E0_B Essen-Iepenbos). (19). De gewenste grondwaterstand is hier maatgevend.

Vanwege de relatieve nabijheid tot de dijk zouden de dijkversterkingsmaatregelen effect kunnen hebben op deze grondwaterstanden. Een verlagend effect is daarbij ongewenst (en omgekeerd: een verhoging van de grondwaterstand wordt als positief beoordeeld).

Tabel 5.7 toont de scoretabel m.b.t. het aspect natuurwaarden (grondwaterstand). Een verhoging van de gewenste grondwaterstand leidt

tot een positieve score; een verlaging van de gewenste grondwaterstand leidt tot een negatieve score. Voor de score wordt de locatie in het natuurgebied gebruikt waar de berekende verandering van de gemiddelde voorjaars grondwaterstand het grootst is.

Tabel 5-6 Scoretabel m.b.t. het aspect natuurwaarden (grondwaterstand).

Effectscore	Toelichting
+++	< -25 cm (=natter)
++	-25 - -10
+	-10 – 5
0	-5 – 0
-	0 - 5
- -	5 - 10
- - -	>10 (=droger)

5.2.6 Natuurwaarden (kwel) (gebruiksfase)

De natuurgebieden Kolland en Overlangbroek zijn gebaat bij kwel. In beide gebieden is er in de huidige situatie sprake van een netto-kwelsituatie. Een vermindering van de kwel is daarbij ongewenst, een versterking van de kwel zou positief zijn.

Tabel 5.7 toont de scoretabel m.b.t. het aspect natuurwaarden (kwel). Een toename van de kwel leidt tot een positieve score (en omgekeerd). Voor de score wordt de locatie in het natuurgebied gebruikt waar de berekende verandering van de kwel het grootst is.

Tabel 5-7 Scoretabel voor het aspect natuurwaarden (kwel)

Effectscore	Toelichting
+++	< -0,5 mm/d (toename kwel)
++	-0,5 - -0,25
+	-0,25 - -0,1
0	-0,1 – 0,1
-	0,1 – 0,25
- -	0,25 – 0,5
- - -	>0,5 mm/d (=afname kwel)

5.3 Effectbeoordeling waterkwaliteit

De dijkversterking kan effecten hebben op locaties die van belang zijn voor de kaderrichtlijn water.
De ecologische samenhang tussen verschillende soorten dieren, planten en de chemische toestand van het water is zeer complex. Zo hebben vissen bijvoorbeeld planten nodig om te schuilen, paaien of om voedsel te vinden. Planten hebben een effect op de chemische toestand van het water. Daarnaast zijn ze ook afhankelijk van de chemische toestand, omdat ze voldoende, maar niet te veel, voedingsstoffen nodig hebben. Een verandering kan daarom een effect hebben op het hele ecosysteem.

5.3.1 KRW relevant areaal

Een verkleining van het KRW relevant areaal kan ertoe leiden dat er geen ruimte meer is voor sommige plant- en diersoorten. Dit kan neveneffecten hebben op zowel de biologische als de fysisch-chemische waardes. Ook hydromorfologische veranderingen kunnen neveneffecten hebben. Stroomsnelheden zijn hierbij sturend.

Samengevat zijn er veel elementen die de ecologie beïnvloeden. Daarom wordt gebruikgemaakt van de KRW-systematiek die alle belangrijke facetten meeneemt.

De beoordeling zal plaatsvinden op basis van het verlies van KRW relevant areaal. De dijkversterkingsmaatregelen kunnen leiden tot een verlies van KRW-relevant areaal. Met een GIS-analyse wordt berekend wat het oppervlak KRW-relevant areaal voor en na de maatregelen zijn. Vindt er een afname plaats dan zal dit leiden tot een negatieve effectscore.
Voor alle soorten wateren (grote rivieren, kleine rivieren, meren, plassen enz.) is bepaald binnen welke grenzen de chemische en ecologische waardes moeten liggen om te spreken van een goede toestand.
De dijkversterking zal plaatsvinden aan het KRW-waterlichaam Neder-Rijn-Lek. Dit valt onder het type R7 langzaam stromende rivier of nevengeul op zand of klei (7).

Volgens de Kaderrichtlijn Water zijn de volgende maatlatten van belang voor dit type waterlichaam:

- Algemene fysisch-chemische maatlat.
- Maatlat voor fytobenthos.
- Maatlat voor hydromorfologie.
- Maatlat voor fytoplankton.
- Maatlat voor macrofauna.
- Maatlat voor vis.
- Maatlat voor overige waterflora.

Het Rijk heeft voor de maatlatten macrofauna en viskaarten uitgebracht met KRW-relevant areaal. Op deze kaarten staan dus de gebieden die aangewezen zijn als gunstig voor natuurontwikkeling. Ook zijn er kaarten met KRW-relevant areaal voor oeverplanten en onderwaterplanten. Deze vallen onder de maatlat overige waterflora.

Achteruitgang of voorruitgang wordt in dit onderzoek gedefinieerd als een verschil van vergroting of verkleining van KRW-relevant areaal ten opzichte van de autonome ontwikkeling.

Effecten worden beoordeeld van +++ tot --- waarbij onderstaande definitie geldt.

Tabel 5-8 Scoretabel m.b.t. het aspect KRW relevant areaal

Effectscore	Toelichting
+++	Realisatie > 2000 m^2 KRW relevant areaal
++	Realisatie tussen 500 en 2000 m^2 KRW relevant areaal
+	Realisatie < 500 m^2 extra KRW-relevant gebied
0	Geen toe- of afname van KRW relevant areaal
-	Aantasting <500 m^2 KRW relevant areaal
- -	Aantasting tussen 500 en 2000 m^2 KRW relevant areaal
- - -	Aantasting > 2000 m^2 KRW relevant areaal

5.4 Effectbeoordeling rivierkunde

Alle buitendijkse maatregelen op, of boven het maaiveld, kunnen in meer of mindere mate effect hebben op de stroming in de rivier.
Vooral maatregelen die leiden tot een verruwing of versmalling van het stroomgebied van de rivier kunnen leiden tot negatieve effecten. Omdat de rivierafvoer deels belemmerd wordt, ontstaan er hogere waterstanden of verandert de dwarsstroming in de rivier.
Maatregelen die bijdragen aan meer ruimte voor de rivier, en minder hinder in de afvoer, kunnen op een positieve manier bijdragen aan de effectbeoordeling op het gebied van rivierkunde.

5.4.1 Rivierkundig beoordelingskader

De rivierkundige effecten worden getoetst aan de hand van het Rivierkundig Beoordelingskader.
In hoeverre het ontwerp voldoet aan het beoordelingskader, krijgt het ontwerp een positieve, neutrale of negatieve beoordeling volgens

onderstaande normering. De beoordeling van de autonome ontwikkelingen zelf is vastgelegd in de Memo verwachte rivierkundige effecten (bijlage 6).

Tabel 5-9 Scoretabel rivierkundig beoordelingskader

Effectscore	Toelichting
+++	Het ontwerp voldoet aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader, en heeft zeer grote positieve effecten op de waterstanden (waterstandsverlagingen) op de rivier, en daarmee de waterveiligheid. Daarnaast heeft het ontwerp ook op andere belangen positieve effecten.
	Het ontwerp voldoet aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader, en heeft zeer grote positieve effecten op de waterstanden (waterstandsverlagingen) op de rivier, en daarmee de waterveiligheid.
+	Het ontwerp voldoet aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader, en heeft grote positieve effecten op de waterstanden (waterstandsverlagingen) op de rivier, en daarmee de waterveiligheid.
0	Het ontwerp voldoet aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader.
-	Het ontwerp voldoet (deels) niet aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader. Met kleine compenserende maatregelen kunnen de negatieve effecten worden beperkt waardoor het ontwerp wel voldoet.
- -	Het ontwerp heeft negatieve effecten op de rivier, waardoor niet voldaan wordt aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader. Grote compensatiemaatregelen zijn noodzakelijk om wel aan de norm te voldoen.
- - -	Het ontwerp heeft negatieve effecten op de rivier, waardoor niet voldaan wordt aan de normen uit het rivierkundig beoordelingskader. Compensatiemaatregelen zijn niet voldoende om aan de norm te voldoen.

Literatuur

[1] „Helpdesk Water," 7 3 2022. [Online]. Available: https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/handboek-water/thema-s/ruimtelijke-ordening/oppervlakte-water-en/beleid-wet/.

[2] HDSR, „Beleidsregel 12 demping en vergroting van oppervlaktewaterlichamen," HDSR, Houten, 2018.

[3] Sterk Consulting en Colibri Advies, „Handreiking Juridische Helderheid Grondwaterbeheer. Deel A: de theorie uiteengezet.," 2012.

[4] 7 3 2022. [Online]. Available: https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR72383/3.

[5] 7 3 2022. [Online]. Available: https://www.hdsr.nl/regelen/vergunning-subsidies/regelgeving/actuele-keur-leggers/.

[6] Royal Haskoning DHV, „Natuurinrichting Lunenburgerwaard fase 1," Royal HaskoningDHV/Provincie Utrecht, Nijmegen, 2020.

[7] „Wijziging peilbesluit Langbroekerwetering," 2019. [Online]. Available: https://www.hdsr.nl/buurt/peilbesluiten/peilbesluit-2/wijziging/.

[8] Stichting toegepast onderzoek waterbeheer, „Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027," 2018.

[9] Rijkswaterstaat, „Waterinfo Rijkswaterstaat," 2022.

[10] HDSR, „Uitvoeringsregels bij de keur 2018," 2018. [Online]. Available: https://www.hdsr.nl/publish/pages/88292/versneld_afvoeren_en_lozen_van_hemelwater_vanaf_nieuw_verhard_oppervlak_op_oppervlaktewater_-_uitvoe.pdf.

[11] Provincie Utrecht, „Evalutatie verdroging," 14 3 2022. [Online]. Available: https://www.stateninformatie.provincie-utrecht.nl/documenten/Overig-oud/3-Evaluatie-verdroging-20202-Factsheets-Gebieden-1.pdf.

[12] Waternet, „Richtlijnen ter voorkoming van grondwateroverlast in nieuw bebouwd gebied.," 2003.

[13] Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden (HDSR), „HDSR.NL," 10 3 2022. [Online]. Available: https://www.hdsr.nl/regelen/vergunning-subsidies/regelgeving/.

[14] WUR, 10 3 2022. [Online]. Available: https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/.

[15] SWECO, „Oriënterende vergelijking van de hydrologische en ecologische effecten van mogelijke maatregelen voor dijkversterking (tracé Wijk bij Duurstede – Amerongen). Rapport 360562.," 2019.

[16] 3 2 2022. [Online]. Available: https://www.dinoloket.nl/detaillering-van-de-bovenste-lagen-met-geotop.

[17] SWECO, „Sterke Lekdijk traject 'Wijk bij Duurstede Amerongen', werkpakket 'Grondwater'. Modeldocument. Projectnummer 51002408.," 2022.

[18] Rijkswaterstaat, „KRW-Factsheet," 2021.

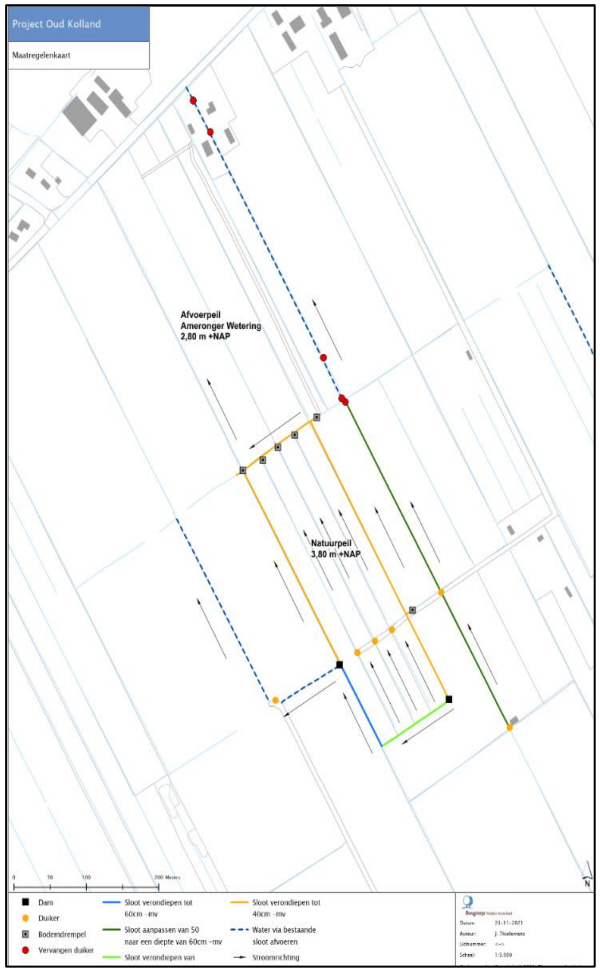
[19] W. Hendriks, „Bepaling van de bijdrage van de waterbodemkwaliteit op de waterkwaliteit in Nederrijn en Lek," 2011.

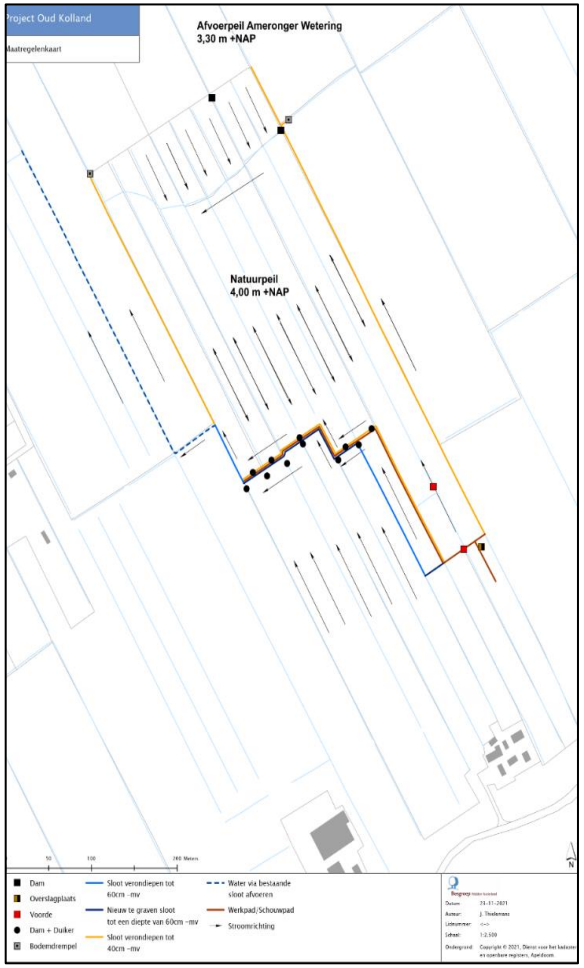
[20] B. Reeze, A. v. Winden, J. Postma, R. Pot, J. Hop en W. Liefveld, „Watersysteemrapportage Rijntakken 1990-2015. Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie.," Harderwijk, 2017.

[21] J. d. D. (. M. P.-W. (. M. D. (. W. L. (. B. G. (. Walter van Doornik (Lievense), „Stuwbeh
functie.," 2019.

[22] Rijkswaterstaat, „Wat is de KRW?," 2022.

Bijlage 1. Maatregelenkaarten Kolland

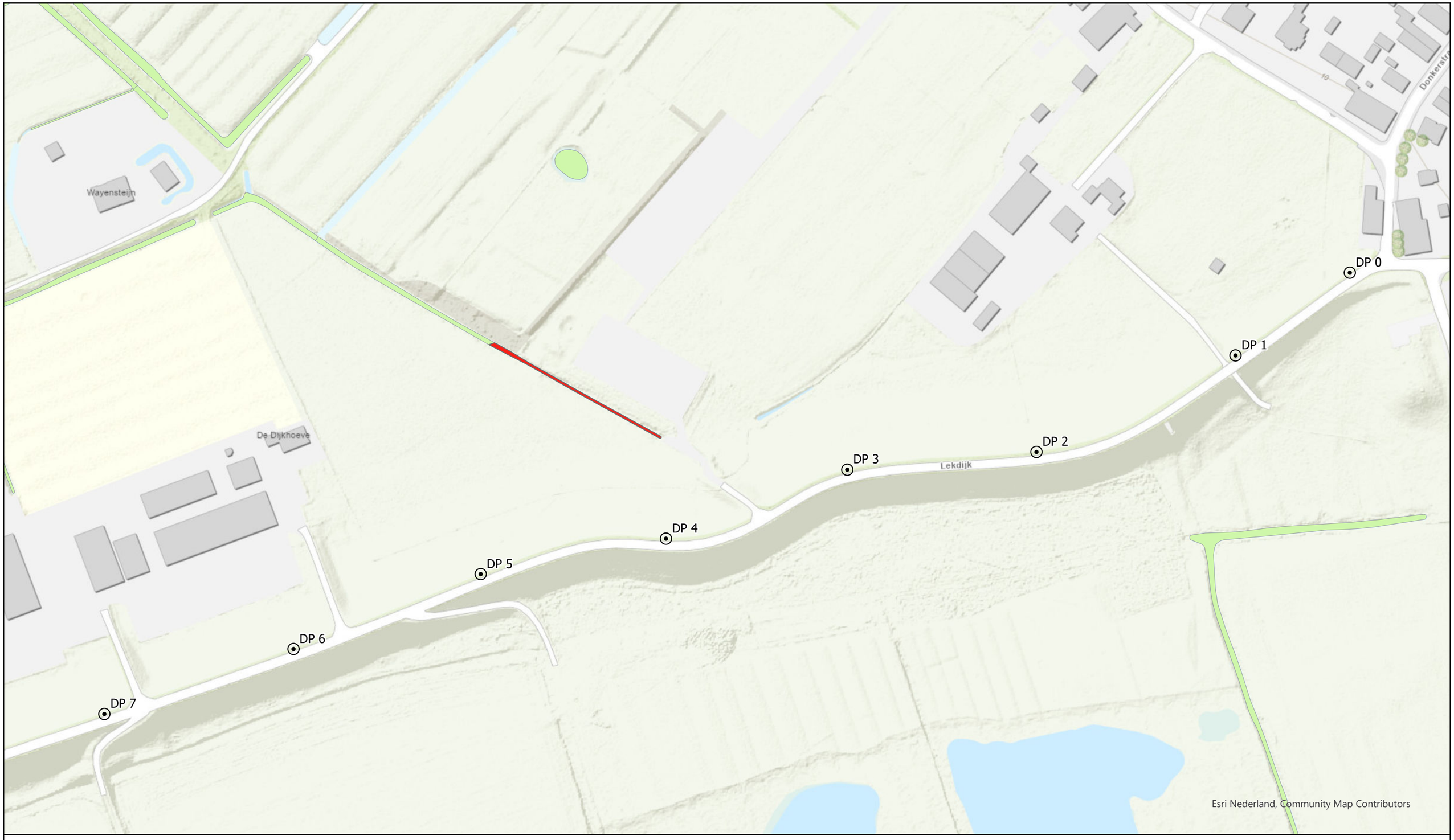




Watergangen bij dijkvak Oud Kolland

Bijlage 2. Effectscorekaart afwatering

Op de locatie is de effectscorekaart van afwatering weergegeven op basis van het voorkeursalternatief uit de verkenningsfase. Deze score is toegedeeld op basis van de beslisboom kans op afwateringsproblemen bij demping watergang uit Bijlage 4.



Waterveiligheidsopgave

Sterke Lekdijk - WAM

Water Dempingen - Blad 1

Versie	001
Schaal	1:1.773
Datum	29-3-2022
Formaat	A3L
Getekend	Roy Teunissen
Gecontroleerd	xxx

Legenda

Dempingen

- Geen belemmeringen, wellicht positief ontvangen door stakeholders.
- Geen problemen met de afwatering.
- Waarschijnlijk geen problemen met de afwatering.
- Afwatering wordt belemmerd, relatief eenvoudig op te lossen.

Dijkpalen

Watervlak

- Primair
- Secundair
- Tertiair
- Overig

N

0 0,02 0,04 0,07 Kilometers

STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen

Waterveiligheidsopgave

Sterke Lekdijk - WAM
Water Dempingen - Blad 2

Versie	001
Schaal	1:1.773
Datum	29-3-2022
Formaat	A3L
Getekend	Roy Teunissen
Gecontroleerd	xxx

Legenda

Dempingen
- Geen belemmeringen, wellicht positief ontvangen door stakeholders.
- Geen problemen met de afwatering.
- Waarschijnlijk geen problemen met de afwatering.
- Afwatering wordt belemmerd, relatief eenvoudig op te lossen.

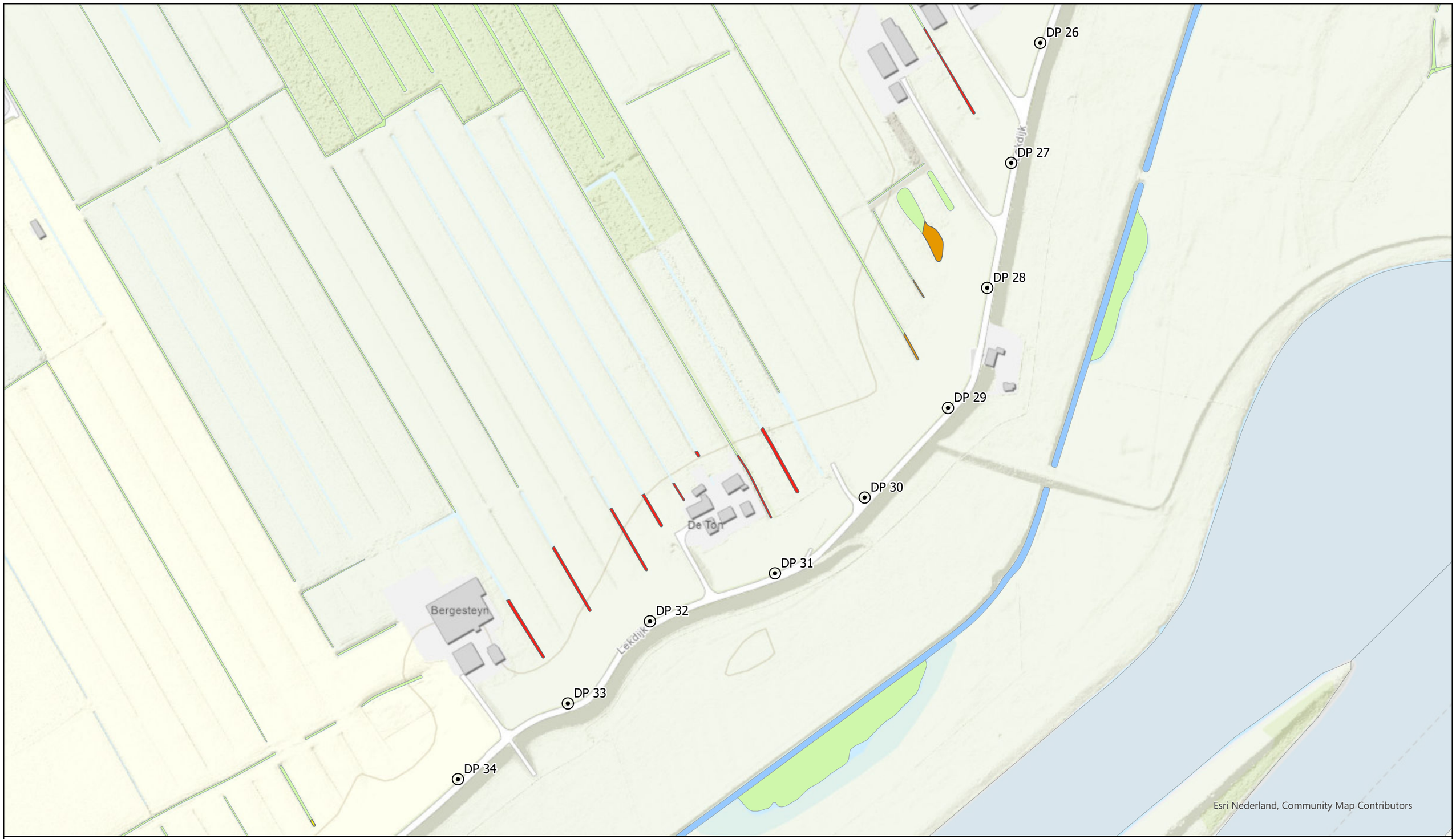
Dijkpalen

Watervlak
- Primair
- Secundair
- Tertiair
- Overig

N

0 0,02 0,04 0,07 Kilometers

STERKE LEKDIJK
Wijk bij Duurstede - Amerongen



Waterveiligheidsopgave

Sterke Lekdijk - WAM
Water Dempingen - Blad 3

Versie	001
Schaal	1:2.771
Datum	29-3-2022
Formaat	A3L
Getekend	Roy Teunissen
Gecontroleerd	xxx

Legenda

Dempingen

- Geen belemmeringen, wellicht positief ontvangen door stakeholders.
- Geen problemen met de afwatering.
- Waarschijnlijk geen problemen met de afwatering.
- Afwatering wordt belemmerd, relatief eenvoudig op te lossen.

Dijkpalen

Watervlak

- Primair
- Secundair
- Tertiair
- Overig

N

0 0,03 0,06 0,12 Kilometers

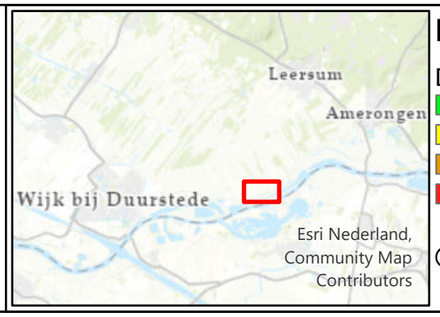
STERKE LEKDIJK
Wijk bij Duurstede – Amerongen

Waterveiligheidsopgave

Sterke Lekdijk - WAM

Water Dempingen - Blad 4

Versie	001
Schaal	1:2.771
Datum	29-3-2022
Formaat	A3L
Getekend	Roy Teunissen
Gecontroleerd	xxx



Legenda

Dempingen

- Geen belemmeringen, wellicht positief ontvangen door stakeholders.
- Geen problemen met de afwatering.
- Waarschijnlijk geen problemen met de afwatering.
- Afwatering wordt belemmerd, relatief eenvoudig op te lossen.

Dijkpalen

Watervlak

- Primair
- Secundair
- Tertiair
- Overig

N

0 0,03 0,06 0,12 Kilometers

STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen

Waterveiligheidsopgave

Sterke Lekdijk - WAM
Water Dempingen - Blad 5

Versie	001
Schaal	1:1.135
Datum	29-3-2022
Formaat	A3L
Getekend	Roy Teunissen
Gecontroleerd	xxx

Legenda

Dempingen

- Geen belemmeringen, wellicht positief ontvangen door stakeholders.
- Geen problemen met de afwatering.
- Waarschijnlijk geen problemen met de afwatering.
- Afwatering wordt belemmerd, relatief eenvoudig op te lossen.

Dijkpalen

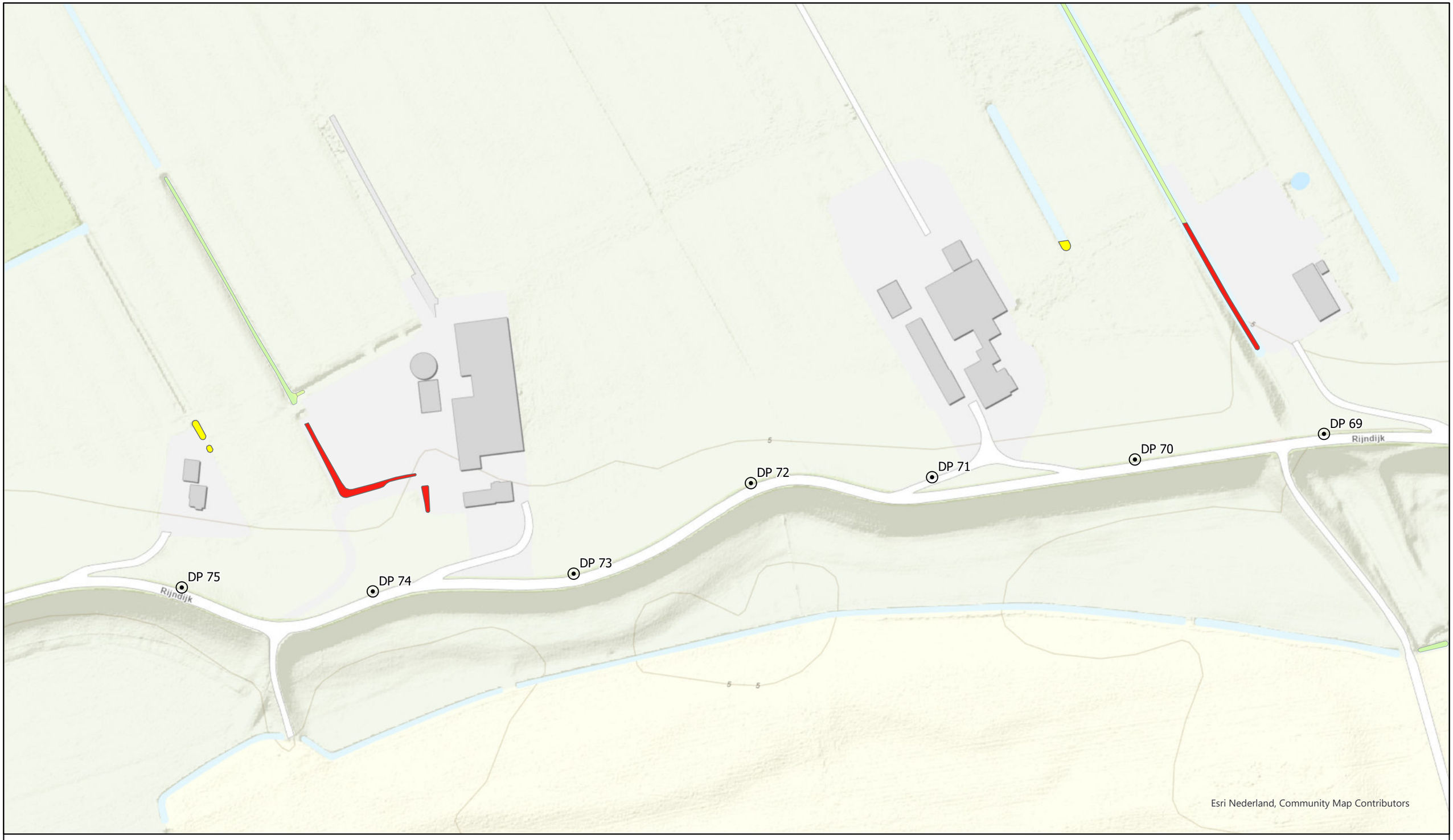
Watervlak

- Primair
- Secundair
- Tertiair
- Overig

N

0 0,01 0,03 0,05 Kilometers

STERKE LEKDIJK
Wijk bij Duurstede - Amerongen



Waterveiligheidsopgave

Sterke Lekdijk - WAM
Water Dempingen - Blad 6

Versie	001
Schaal	1:1.773
Datum	29-3-2022
Formaat	A3L
Getekend	Roy Teunissen
Gecontroleerd	xxx

Legenda

Dempingen
- Geen belemmeringen, wellicht positief ontvangen door stakeholders.
- Geen problemen met de afwatering.
- Waarschijnlijk geen problemen met de afwatering.
- Afwatering wordt belemmerd, relatief eenvoudig op te lossen.

Dijkpalen

Watervlak
- Primair
- Secundair
- Tertiair
- Overig

N

0 0,02 0,04 0,07 Kilometers

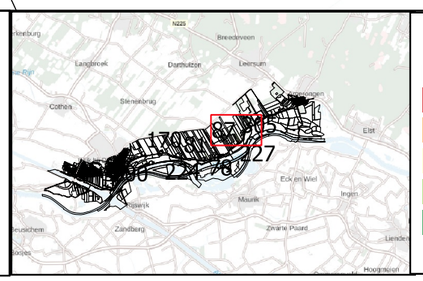
STERKE LEKDIJK
Wijk bij Duurstede - Amerongen

Bijlage 3. Effectscore graven watergangen

Op de locatie is de effectscorekaart van compensatie als gevolg van demping weergegeven op basis van het voorkeursalternatief uit de verkenningsfase. Deze score is toegedeeld op basis van de beslisboom compensatie watergangen uit Bijlage 4.

Waterveiligheidsopgave
Sterke Lekdijk - WAM
Locaties te graven water - Blad 1

Versie	0.01
Datum	20-5-2022
Gecontroleerd	
Getekend	NKO
Formaat	A3



Legenda

Effectscore graven watergangen

- Demping kan niet worden uitgevoerd in dit peilgebied
- Compensatie in hetzelfde peilgebied mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk, sloten worden verbreed.
- Compensatie niet nodig

- Dempen
- Perceelsgrenzen

N

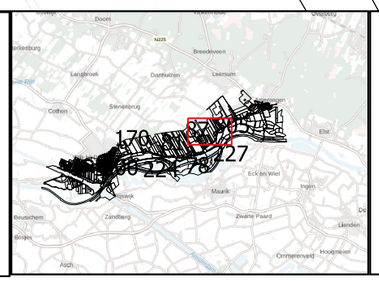
0 100 200 300 400 500 m

STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen

Waterveiligheidsopgave
Sterke Lekdijk - WAM
Locaties te graven water - Blad 2

Versie	0.01
Datum	20-5-2022
Gecontroleerd	
Getekend	NKO
Formaat	A3



Legenda

Effectscore graven watergangen

- Demping kan niet worden uitgevoerd in dit peilgebied
- Compensatie in hetzelfde peilgebied mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk, sloten worden verbreed.
- Compensatie niet nodig

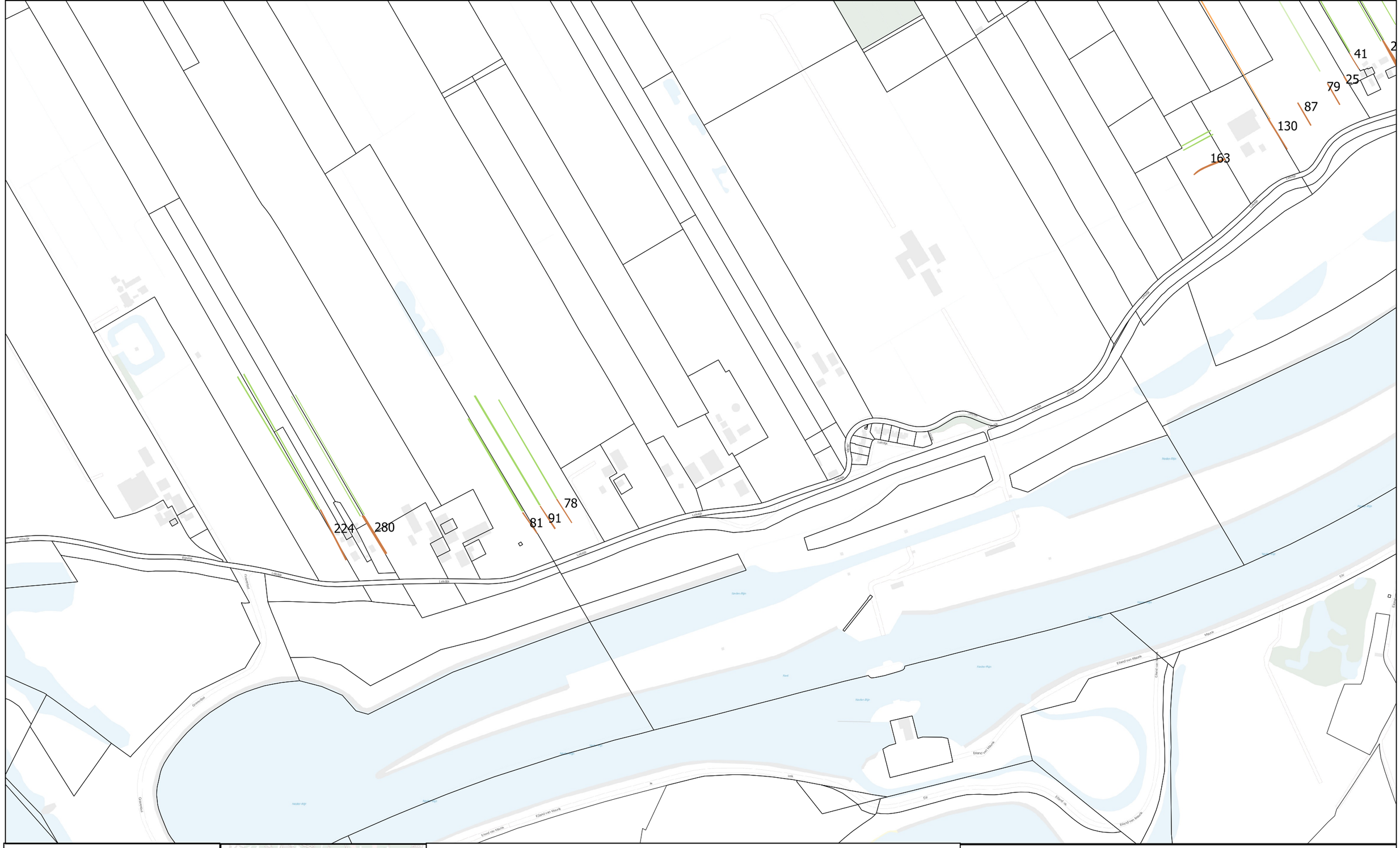
- Dempen
- Perceelsgrenzen

N

0 100 200 300 400 500 m

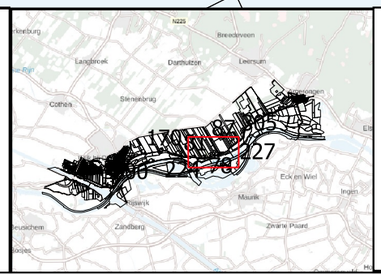
STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen



Waterveiligheidsopgave
Sterke Lekdijk - WAM
Locaties te graven water - Blad 3

Versie	0.01
Datum	20-5-2022
Gecontroleerd	
Getekend	NKO
Formaat	A3



Legenda

Effectscore graven watergangen

- Demping kan niet worden uitgevoerd in dit peilgebied
- Compensatie in hetzelfde peilgebied mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk, sloten worden verbreed.
- Compensatie niet nodig

- Dempen
- Perceelsgrenzen

N

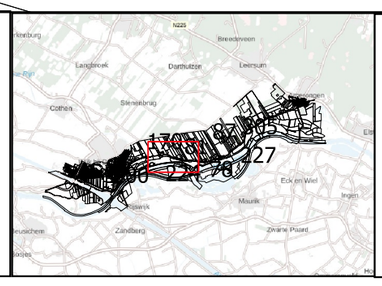
0 100 200 300 400 500 m

STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen

Waterveiligheidsopgave
Sterke Lekdijk - WAM
Locaties te graven water - Blad 4

Versie	0.01
Datum	20-5-2022
Gecontroleerd	
Getekend	NKO
Formaat	A3



Legenda

Effectscore graven watergangen

- Demping kan niet worden uitgevoerd in dit peilgebied
- Compensatie in hetzelfde peilgebied mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk, sloten worden verbreed.
- Compensatie niet nodig

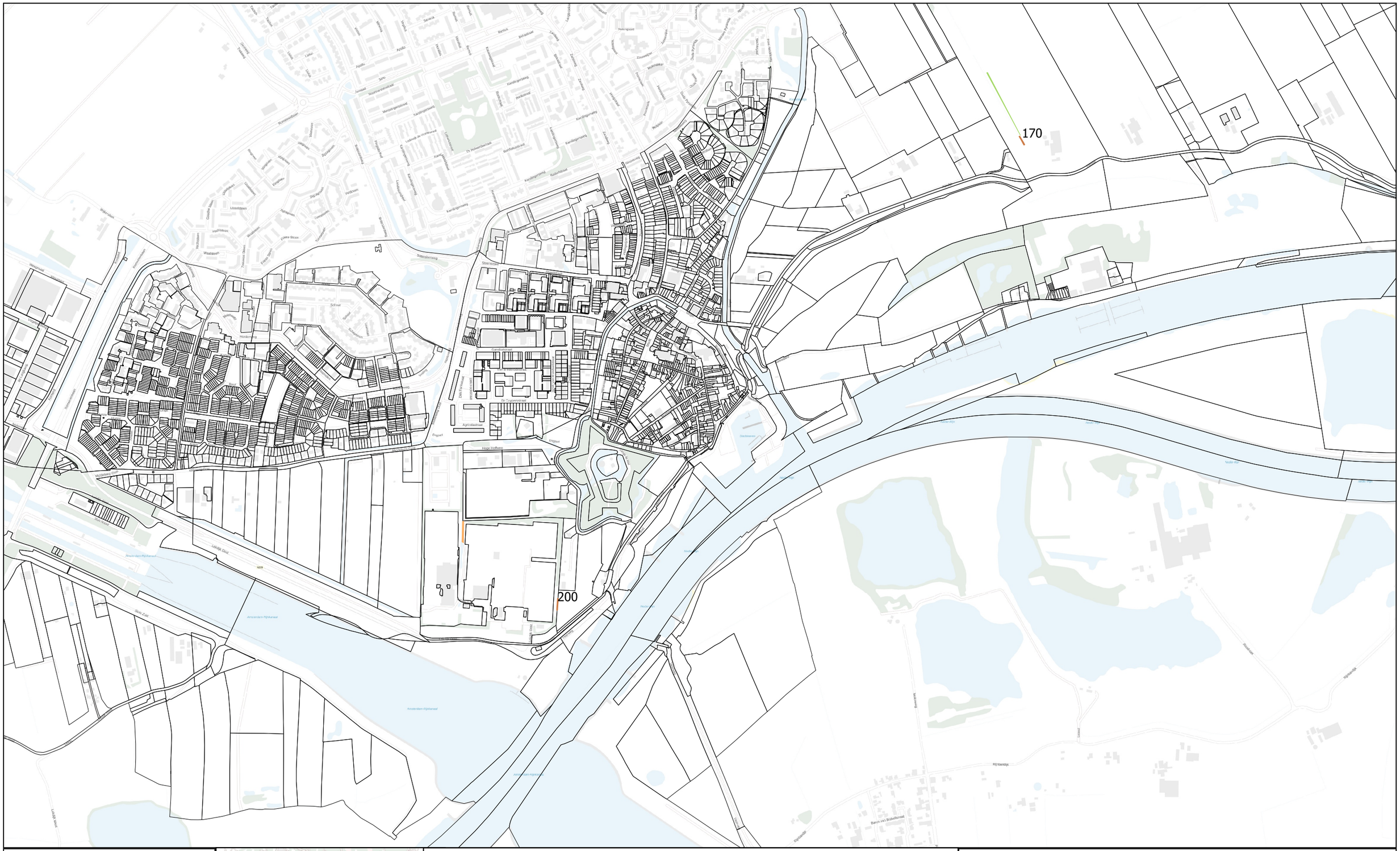
- Dempen
- Perceelsgrenzen

N

0 100 200 300 400 500 m

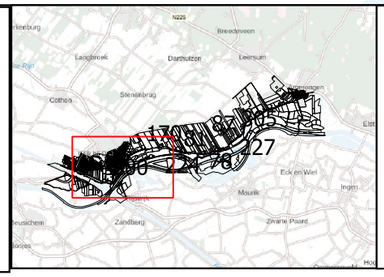
STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen



Waterveiligheidsopgave
Sterke Lekdijk - WAM
Locaties te graven water - Blad 5

Versie	0.01
Datum	20-5-2022
Gecontroleerd	
Getekend	NKO
Formaat	A3



Legenda

Effectscore graven watergangen

- Demping kan niet worden uitgevoerd in dit peilgebied
- Compensatie in hetzelfde peilgebied mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk
- Compensatie op hetzelfde perceel mogelijk, sloten worden verbreed.
- Compensatie niet nodig

- Dempen
- Perceelsgrenzen

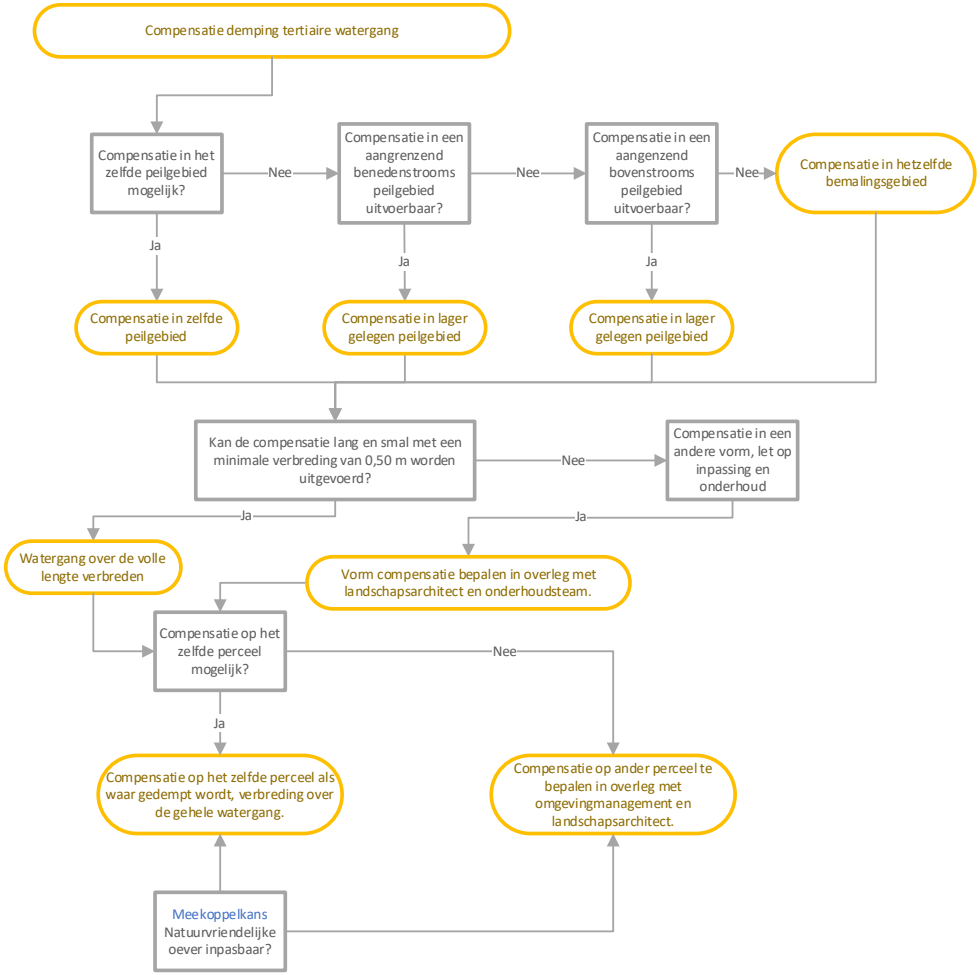
N

0 250 500 750 1000 m

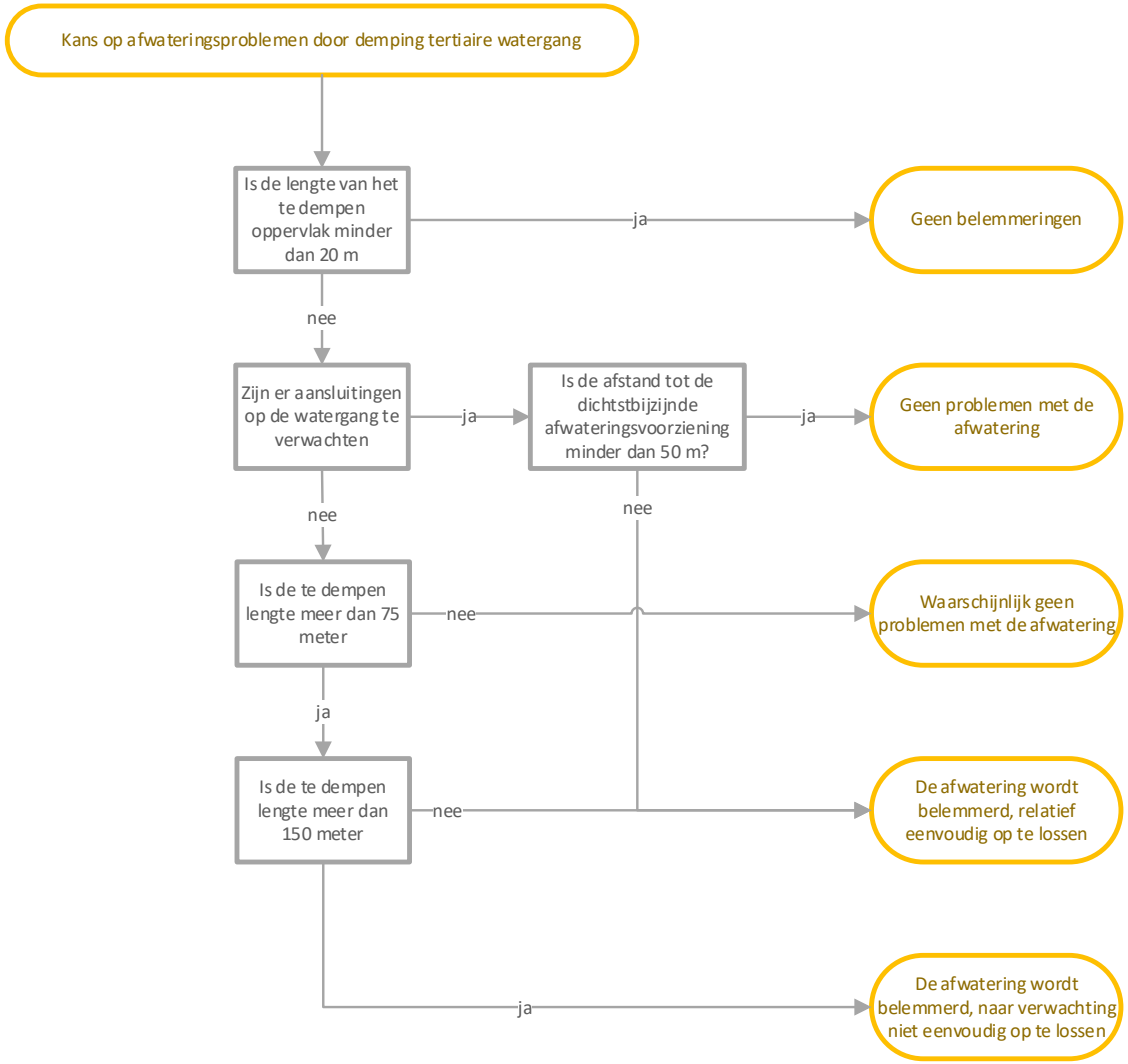
STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen

Bijlage 4. Beslisbomen watercompensatie



Beslisboom compensatie watergangen



Beslisboom kans op afwateringsproblemen bij demping watergang

Bijlage 5. 3D-grondwatermodellering

STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen

Rapportage 3D-Grondwatermodellering

WBS: WBS-1-PU-O020703
Documentnummer: 012539-RAP-22090.docx

Werkpakketnummer: WP Grondwater (012539-MEM-2497)
Datum: 23-06-2022
Revisienummer: D2

Colofon

Vrijgave:

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam	Paraaf
Opsteller:	Geohydroloog	Koen van der Hauw (Sweco)	
Verificateur	Geohydroloog	Kees van Immerzeel (Sweco)	
Autorisator	Technisch Manager	H. van Zanten	
Vrijgever	Projectmanager	Freek Visser	

Documenthistorie:

Revisie	Omschrijving	Datum
C1	Conceptversie	07-04-2022
C2	Na verwerking feedback KI/DE	19-04-2022
D1	Na verwerking feedback PV/LK/ID	31-05-2022
D2	Na verwerking feedback EvdT/SB	23-06-2022

Reviewcommentaar:

Reviewer	Functie	Commentaar	Datum	Locatie in doc

Inhoud

1 Inleiding 4
1.1 Aanleiding en context 4
1.2 Doelstelling 4
1.3 Uitgangspunten 4
1.4 Leeswijzer 4
2 Situatieschets 5
2.1 Algemeen 5
2.2 Maaiveld 5
2.3 Oppervlaktewater 6
2.4 Grondwater 7
2.5 Geologie 8
2.6 Bodem 9
2.7 Overige invloeden 10
3 Methodiek 11
3.1 Algemeen 11
3.2 Modelbeschrijving 11
3.3 Modelbeoordeling basismodel 12
3.4 Beschrijving modelaanpassingen 13
3.5 Modelbeoordeling verbeterd model 14
3.6 Referentiesituatie 22
4 Maatregelen 23
4.1 Basisscenario 23
4.2 Varianten 24
5 Effectbepaling 25
5.1 Inleiding 25
5.2 Effect basismaatregelen 25
5.3 Effect variant 32
6 Conclusies 33
Literatuur 34
Bijlage 1. Modelanalyse en -aanpassingen 35
Bijlage 2. Effectbepaling 51

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

In het kader van het dijkversterkingsproject in het tracé Wijk bij Duurstede – Amerongen (WAM) is het gewenst op regionale schaal effecten van voorgestelde maatregelen op het grondwatersysteem en de omgeving te kunnen bepalen. Dit is onder meer van belang voor het onderdeel 'Watersysteem' van het Milieueffectrapport. Om de effecten te kunnen bepalen is door Sweco een 3D-grondwatermodel opgesteld op basis van recente inzichten en data.

1.2 Doelstelling

De volgende doelstellingen zijn gehanteerd bij de werkzaamheden rond het 3D-grondwatermodel:

- Opstellen van een MODFLOW-grondwatermodel
    - integreren van lokale data over het grondwatersysteem in een nieuw MODFLOW-grondwatermodel;
    - het model zo nodig te verfijnen zodat het geschikt is voor de berekening van effecten.
- Op regionale schaal in beeld brengen van effecten van maatregelen voor dijkversterking op het bestaande grondwatersysteem. Het gaat hierbij om de invloed op:
    - de grondwaterstanden (GxG's);
    - de kwel en infiltratie;
    - de afvoer door oppervlaktewater.
- Verkrijgen van een basis voor het bepalen van *afgeleide effecten*:
    - landbouw (droogte- en natschade);
    - ecologie (grondwaterafhankelijke natuur);
    - archeologie en cultuurhistorie;
    - bebouwing en infrastructuur (zettingsrisico's en wateroverlast.
- Onderbouwing leveren voor in schetsontwerp brengen van compenserende en/of mitigerende maatregelen;
- Benutten van meekoppelkansen op het gebied van waterhuishouding in het ontwerpproces;

1.3 Uitgangspunten

Voor de grondwatermodellering is uitgegaan van het volgende:

- Het model dient om op regionale schaal effecten van voorgestelde maatregelen op het grondwatersysteem en de omgeving te kunnen bepalen. Het model wordt niet gebruikt voor het dijkontwerp, waarbij het vooral gaat om lokale inzichten in een van ca. 100 meter rond de dijk;
- Voor het dijkontwerp zijn met name situaties relevant met *extreme rivierwaterstanden*, waar voor het bepalen van de regionale afgeleide effecten ook *jaargemiddelde- of seizoen effecten* gewenst zijn;
- De grondwatermodelleringen geven informatie over zowel de huidige- als de toekomstige grondwatersituatie (na dijkversterking);
- De resolutie van de berekeningsresultaten is 25x25 meter;
- Effecten dienen tijdsafhankelijk te kunnen worden bepaald in een historische periode van minimaal 8 jaar;
- Er wordt gestreefd naar een maximale gemiddelde modelafwijking van 20 cm binnen 1-2 km vanaf de dijk;

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een aantal aspecten van de omgeving beschreven die van belang zijn voor de analyse van het grondwater. In hoofdstuk 3 is het model beschreven dat is gebruikt voor de analyse en effectbepaling. In hoofdstuk 3 is tevens de toetsing van de modelresultaten beschreven. In hoofdstuk 4 zijn de maatregelen beschreven, waarvoor in hoofdstuk 5 de berekende effecten zijn weergegeven en toegelicht. Hoofdstuk 6 sluit af met samenvattende conclusies.

2 Situatieschets

2.1 Algemeen

In deze paragraaf worden een aantal kenmerken van het gebied beschreven die van belang zijn voor de modellering en voor de interpretatie van de modelresultaten. Daarnaast is gebruik gemaakt van aanvullende lokale databronnen en inzichten.

In afbeelding 2.1 is de ligging weergegeven van het tracé voor de dijkversterking bij Wijk bij Duurstede – Amerongen (WAM). Het tracé ligt aan de noordzijde van de Nederrijn in het stroomgebied van de Kromme Rijn. Belangrijke factoren die van invloed zijn op het grondwater zijn:

- de nabijheid van de Nederrijn, die na de stuw bij Amerongen opsplitst in de Lek en de Kromme Rijn;
- de stuwwal van de Utrechtse Heuvelrug aan de noordoostzijde en
- het Amsterdam-Rijnkanaal aan de westzijde.

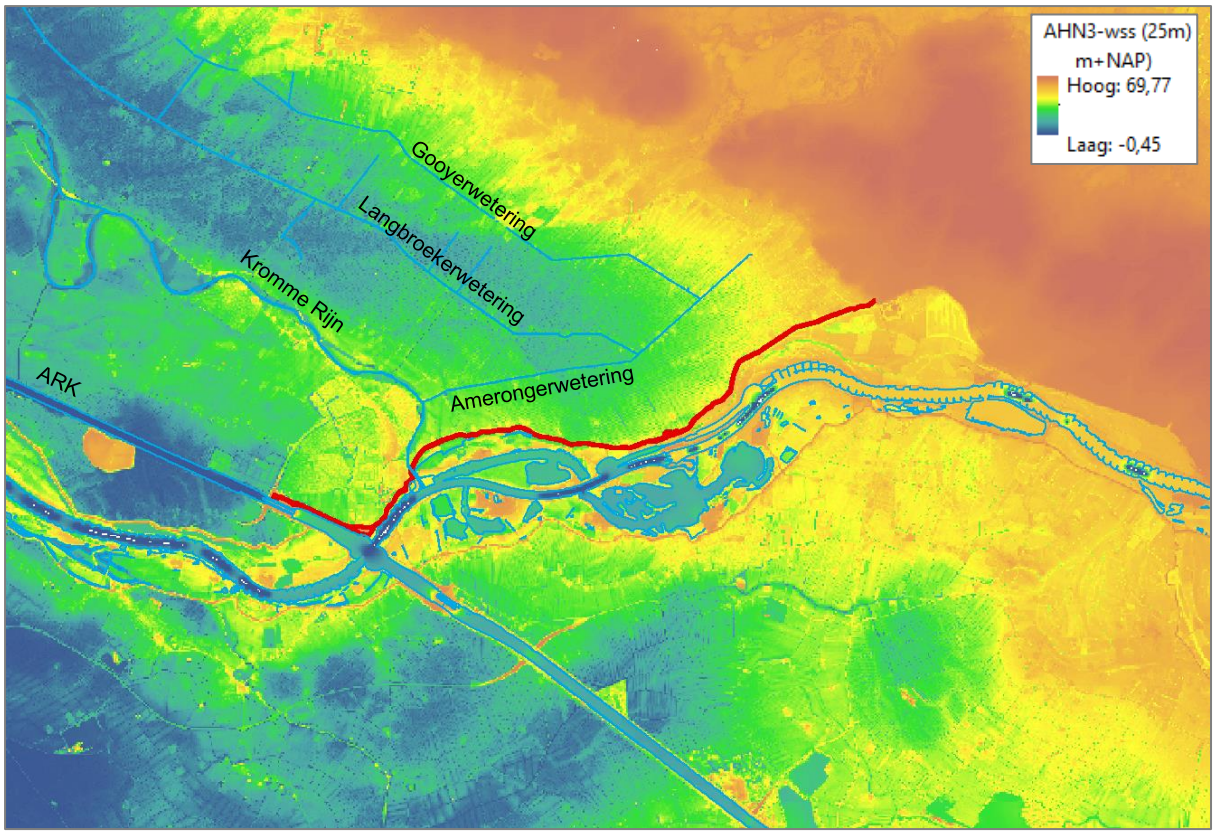
Tussen de Kromme Rijn, de Nederrijn en de Utrechtse Heuvelrug ligt het relatief laaggelegen gebied (zie afbeelding 2.2) van de Kromme Rijn en Langbroekerwetering. Dit gebied bevat belangrijke waarden wat betreft cultuurhistorie, natuur, landbouw en bewoning. In het bijzonder zijn er vele landgoederen en diverse N2000-gebieden, waaronder Kolland en Overlangbroek en de Amerongse Bovenpolder. Een groot deel van het gebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een ondiepe weerstandbiedende laag van rivierklei.

Afbeelding 2.1 Ligging van het dijktracé WAM (rode lijn) en de binnendijkse N2000-gebieden (groene lijn). Bronnen: topologie: TOP100raster; ArcGIS Online.

2.2 Maaiveld

Het maaiveld direct langs het dijktracé varieert aan de oostzijde van ongeveer 9 m+NAP op de flank van de stuwwal tot ongeveer 6 m+NAP aan de onderzijde van de stuwwal. Aan de westzijde bij Wijk bij Duurstede is het maaiveldniveau nabij de dijk ongeveer 4,5 m+NAP. In de uiterwaarde ligt het maaiveld grotendeels tussen 5,5 en 6,5 m+NAP, terwijl het maaiveldniveau binnendijks een gradiënt vertoont richting het noordwesten: ongeveer 4,5

m+NAP langs de dijk tot 2,5 m+NAP in het noordwesten. Verder is er een gradiënt dwars op de stuwwal, waarbij het maaiveldniveau op de stuwwal kan oplopen tot lokaal meer dan 60 m+NAP. Zie afbeelding 2.2 voor een ruimtelijke weergave.



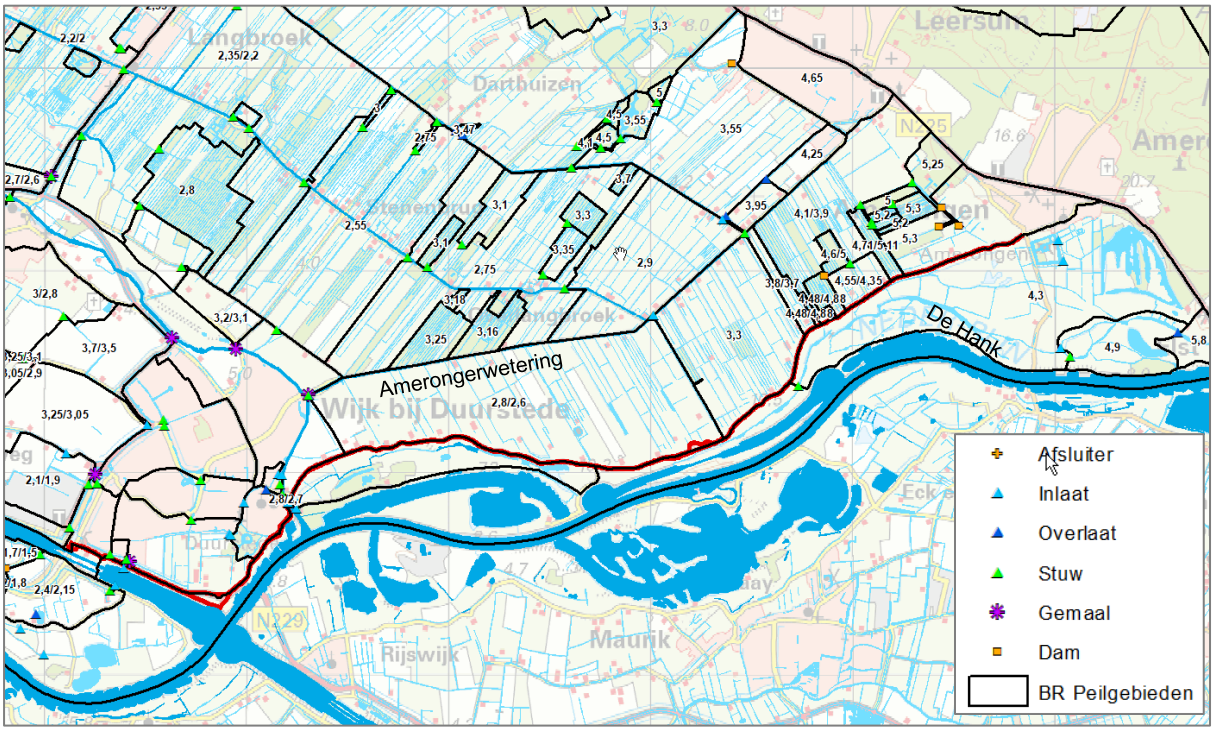
Afbeelding 2.2 Maaiveldniveau rond het projectgebied (bron: AHN3-WSS 25x25).

2.3 Oppervlaktewater

In het oppervlaktewatersysteem spelen de volgende waterlichamen een belangrijke rol:

- De aanwezigheid van de Nederrijn met een gemiddeld peil van ongeveer 6 m+NAP bovenstrooms van de stuw bij Amerongen en 3 m+NAP benedenstrooms van de stuw;
- De Kromme Rijn met een peil van ongeveer 2,4 m+NAP;
- Het Amsterdam-Rijnkanaal met een peil van -0,4 m+NAP;
- De Amerongerweterering, van oost naar west lopend tussen de stuwwal en de Kromme Rijn;
- De Langbroekerwetering, van zuidoost naar noordwest lopend, ten noordoosten van de Kromme Rijn;
- De Gooyerwetering, van zuidoost naar noordwest lopend, ten noordoosten van de Langbroekerwetering;
- Een intensieve slootpatroon in de laaggelegen gebieden;
- De Hank, een kwelgeul in de uiterwaarden bij Amerongse Bovenpolder.

In een deel van het gebied worden zomer- en winterpeilen gehanteerd, waar wateraanvoer mogelijk is en het peil kan worden gehandhaafd. Daarnaast worden bovenpeilen gehanteerd in gebieden waar geen aanvoer mogelijk is. Zie afbeelding 2.3 voor de ligging van deze gebieden conform de peilgebiedskaart van 30 mei 2018 uit het Open Data Portaal van HDSR. Het bovenpeil is in deze afbeelding weergegeven als een label met een enkel getal. In de N2000-gebieden kloppen de peilen uit de peilgebiedskaart overigens niet, daar gelden afwijkende (hogere) peilen die als onderdeel van de modelverbetering zijn verwerkt in het grondwatermodel.



Afbeelding 2.3 Zomer-/winterpeil of bovenpeil in peilgebieden van 30 mei 2018 (bron: HDSR dataportaal)

2.4 Grondwater

De grondwaterstand wordt binnendijks van het WAM-tracé in sterke mate bepaald door:

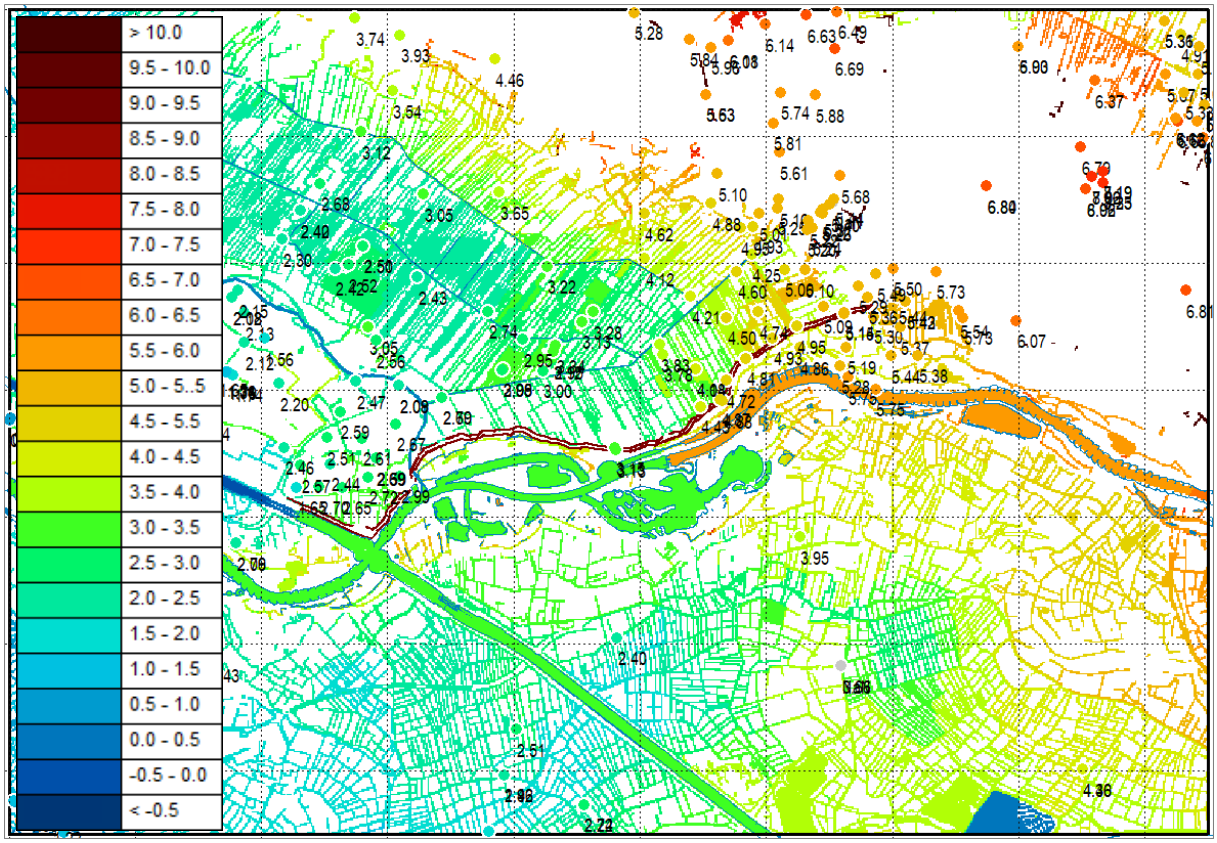
- toestroming van grondwater vanaf de stuwwal;
- het relatief hoge peil in de Nederrijn van gemiddeld 6 m+NAP, ten noorden van de stuw;
- het relatief lage peil in de Lek van gemiddeld 3 m+NAP, ten westen van de stuw en
- het slotenpatroon met waterpeilen van 3 tot 5 m+NAP. Deze lage waterpeilen zorgen voor een kwelflux in het Langbroekerwetering gebied.

Zie afbeelding 2.4 voor de (gemiddelde) gemeten stijghoogten in het eerste watervoerende pakket (en de freatische grondwaterstand in de stuwwal). afbeelding 2.4Kenmerkend is de relatief hoge stijghoogte in de stuwwal, maar ook in de uiterwaarden in het deel bovenstrooms van het stuw- en sluizencomplex Amerongen.

In afbeelding 2.4 is tevens het oppervlaktewaterpeil weergegeven. Dit laat zien dat de stijghoogte sterk wordt bepaald door het oppervlaktewaterpeil. Het beeld voor de gemeten freatische grondwaterstand is over het algemeen vergelijkbaar. Er is een beperkt aantal freatische filters beschikbaar en deze geven over het algemeen een potentiaalverschil van minder dan 20 cm tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

Zowel het ondiepe grondwater in het eerste watervoerende pakket als het diepere, regionale grondwater stroomt van het noordoosten (vanaf de stuwwal) richting het zuidwesten. De freatische grondwaterstroming wordt lokaal sterk bepaald door de aanwezigheid van oppervlaktewater. In veel gevallen heeft het oppervlaktewater een drainerende werking, wat vervolgens kan leiden tot een kwelflux vanuit het watervoerende pakket naar de sloten toe. Daarnaast vindt grondwaterstroming plaats vanuit het gebied bovenstrooms van het stuw- en sluizencomplex richting het binnendijkse gebied.

Het Amsterdam-Rijnkanaal snijdt door de deklaag heen en heeft een belangrijke drainerende invloed op het regionale grondwater en beïnvloedt daarmee ook het regionale stromingsbeeld.

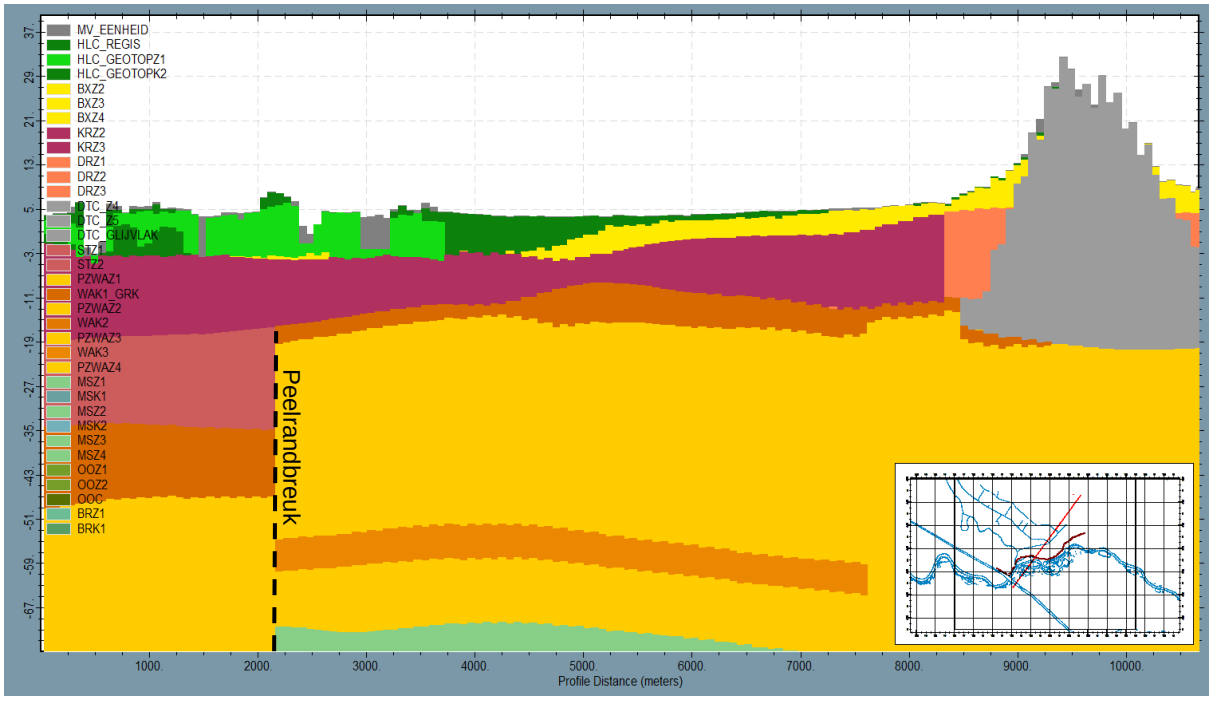


Afbeelding 2.4 Gemiddelde, gemeten stijghoogte (bollen/label in m+NAP) in het eerste watervoerende pakket (m+NAP), plus peilen van oppervlaktewater (gridcellen) ter indicatie van de stijghoogte- en stijghoogtegradiënt (bron: DINOloket, peilbesluit HDSR en rivierdata Rijkswaterstaat)

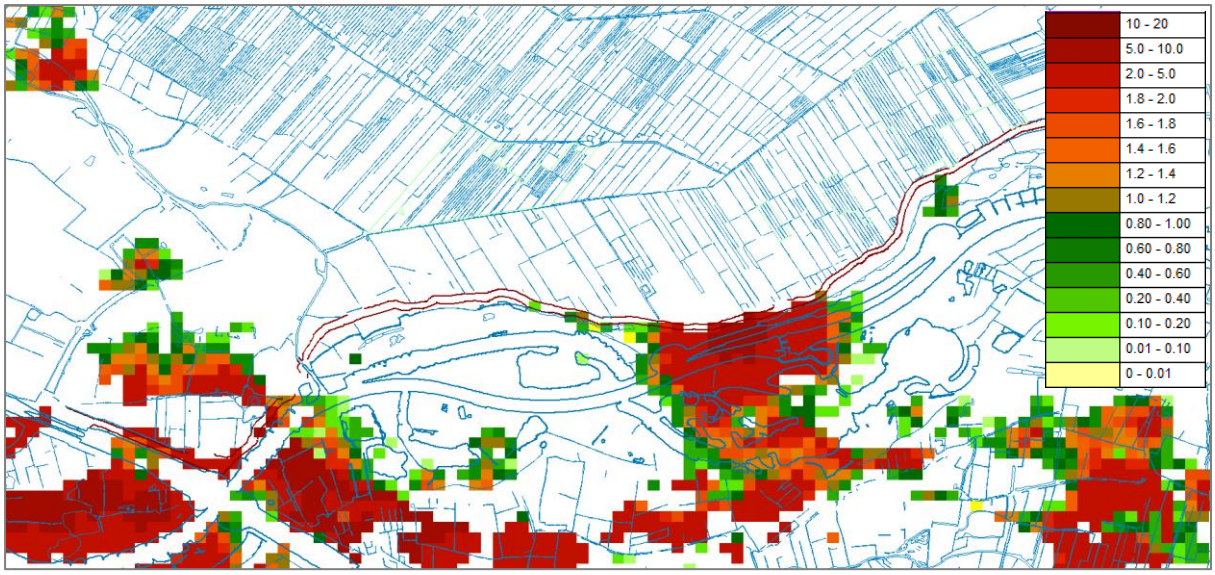
2.5 Geologie

De geologie in het gebied wordt gekenmerkt door gestuwde zandpakketten (DTc cf. REGIS) in de Utrechtse Heuvelrug en ondiepe leem- en (rivier)kleilagen (Holoceen en Formatie van Boxtel). Daaronder bevinden zich lokaal matig doorlatende zanden uit de Formatie Boxtel. In het gehele rivierengebied bevinden zich zandbanen met lokaal hogere doorlatendheden. Aan de onderzijde van de Formatie van Boxtel komen lokaal slecht doorlatende lagen voor, zie afbeelding 2.6. Daaronder bevindt zich het watervoerende pakket dat wordt gevormd door grove zandlagen uit de formatie van Kreftenheije. Onder deze formatie bevinden zich eveneens grofzandige lagen uit de Formatie van Sterksel. De kleilagen wiggen uit richting het noordwesten over zandige lagen uit de Formatie van Boxtel.

In de ondergrond is een uitloper van de Peelrandbreuk aanwezig. Langs deze breuk is een sprong aanwezig in de ligging van enkele Pleistocene formaties, volgens REGIS ongeveer tot de onderkant van de Formatie van Kreftenheije. Dit vermindert het doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket enigszins. Zie afbeelding 2.5 voor een beeld van de geologie in een dwarsprofiel zuidwest-noordoost door de dijk richting de stuwwal.



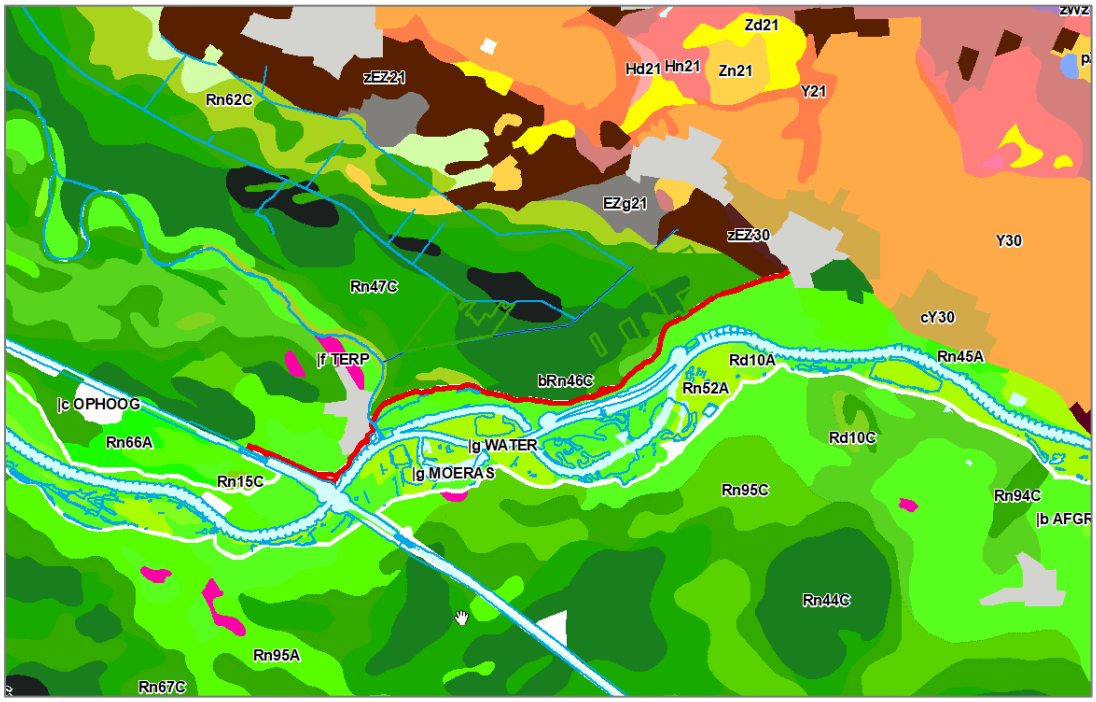
Afbeelding 2.5 Geologische formaties in een ZW-NO dwarsprofiel (bron: REGIS II v2.2, GeoTOP r1.4)



Afbeelding 2.6 Dikte weerstandbiedende laag aan onderzijde van het Holoceen en/of Boxtel (bron: GeoTOP r1.4)

2.6 Bodem

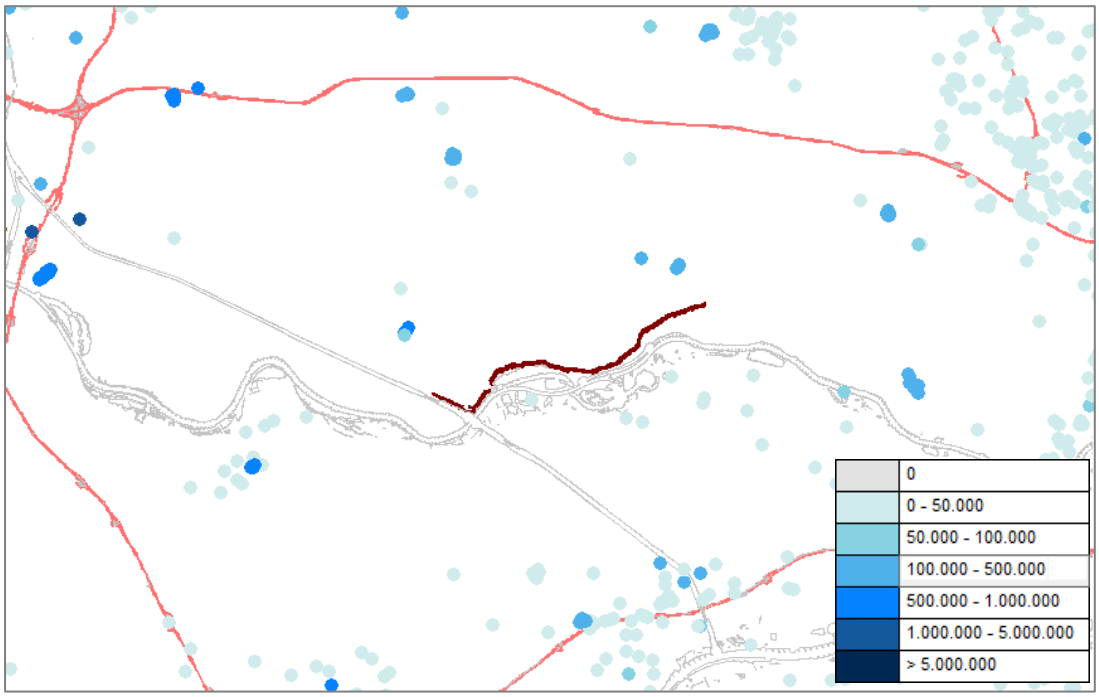
In afbeelding 2.7 zijn de voorkomende bodemsoorten weergegeven volgens de bodemkaart 1:50.000. Duidelijk zichtbaar is de rivierklei in het Langbroekerwetering gebied, het Kromme Rijn gebied en in de uiterwaarden. In de uiterwaarden gaat het om lichte zavel, zware zavel en lichte klei. Binnendijks gaat het ook om zware klei (Rn4x) of klei op veen (Rv). Op de flank van de stuwwal gaan de kleibodems over in zandgronden (enkeerdgronden (EZ) en beekeerdgronden (pZg)) en verder op de stuwwal in grovere, droge zandgronden (podzolgronden (Y, Hn, Hd)).



Afbeelding 2.7 Bodemkaart 1:50.000 (bron: Alterra)

2.7 Overige invloeden

Er zijn diverse onttrekkingen in de omgeving die van invloed zijn de op het grondwater (zie afbeelding 2.8). Er zijn geen grote ondiepe drinkwaterwinningen direct in de nabijheid van het dijktracé. Wel zijn er twee winningen van Vitens aan de noordwest en aan de noordoostzijde van het tracé. De filters hiervan bevinden zich onder de ongeveer 15m dikke kleilaag van de Formatie van Waalre (WAk1). Richting het oosten is deze kleilaag nog enkele meters dik.



Afbeelding 2.8 Ligging en debiet (m^3/j) van industriële grondwateronttrekkingen (bron: Provincie Gelderland (AZURE), HDSR (MORIA) en drinkwaterwinningen (bron: Vitens (AZURE)).

3 Methodiek

3.1 Algemeen

Er is in het projectgebied geen grondwatermodel beschikbaar dat al direct inzetbaar is. Er is daarom gebruik gemaakt van de volgende databronnen om een nieuw model op te bouwen:

- De vorig jaar opgeleverde AZURE+UGM-workflow v1.1 voor het maken van een geologisch lagenmodel voor een deelmodel, gebaseerd op REGIS II v2.2 (TNO, 2019) en GeoTOP r1.4 (TNO, 2019).
- Data uit de UGW-Bouwsteen Oppervlaktewater voor basisdata voor het oppervlaktewatersysteem. Deze maakt gebruik van data uit de dataportalen van de diverse waterschappen in het gebied.
- Data voor overige modelinvoer (zoals meteo, onttrekkingen, drainerende waterlopen en randvoorwaarden) uit LHM, NHI, MORIA en AZURE.

Het model is opgebouwd met iMOD v5.3 (Deltares, 2021) en doorgerekend met MODFLOW-2005 in combinatie met MetaSWAP v8.1.0.1 (SVN 1977). Voor de modelbouw, -analyse en -bewerking is daarnaast gebruik gemaakt van SIF, het instrumentarium van Sweco voor iMOD-modellering. Het SIF-instrumentarium faciliteert het transparant en reproduceerbaar modelleren (Sweco, 2019).

Zie tabel 3.1 voor een overzicht van de gebruikte basisdata per package.

Tabel 3.1 Modelinvoer voor het basismodel per package en daarvoor gebruikte basisdata.

Categorie	Package	Basisdata	Basisdata bron	Basisdata formaat	Basisdata resolutie
Grondwateraanvulling	RCH	LHM 4.1 Grondwateraanvulling 2011-2018	NHI Data Portaal	TIF	250
Maaiveldafvoer	OLF	Waterschadeschatter + AZURE+UGM-workflow	AZURE+UGM	TIF; BAG; ...	25
Onverzadigde zone	CAP	MORIA v4.5	MORIA	ASC; IDF	1000; 25
Oppervlaktewater	RIV / DRN	ISG-tool MORIA/AZURE/AMIGO	RWS / RHDHV	ISG	
		UGW-Bouwsteen Oppervlaktewater	HDSR (Artesia)	SHP	
Buisdrainage	DRN	NHI Dataportaal Buisdrainage 25x25	NHI	IDF	25
Lagenmodel	TOPBOT; KHVKW; ANI	REGIS II v2.2 / GeoTOP r1.4 / TNO	AZURE+UGM	IDF	100
Breuken	HFB	REGIS II v2.2 (AZURE+UGM)	AZURE+UGM	GEN	
Onttrekkingen	WEL	Drinkwaterwinningen Vitens	Vitens	XLSX	
		Industriele winningen AZURE-model v1.3	AZURE	IPF	
Randvoorwaarden	SHD	LHM 4.1 (AZURE+UGM-workflow)	AZURE+UGM	IDF	250
Kalibratieset	PST	DINOloket	DINOloket	XML; IPF	

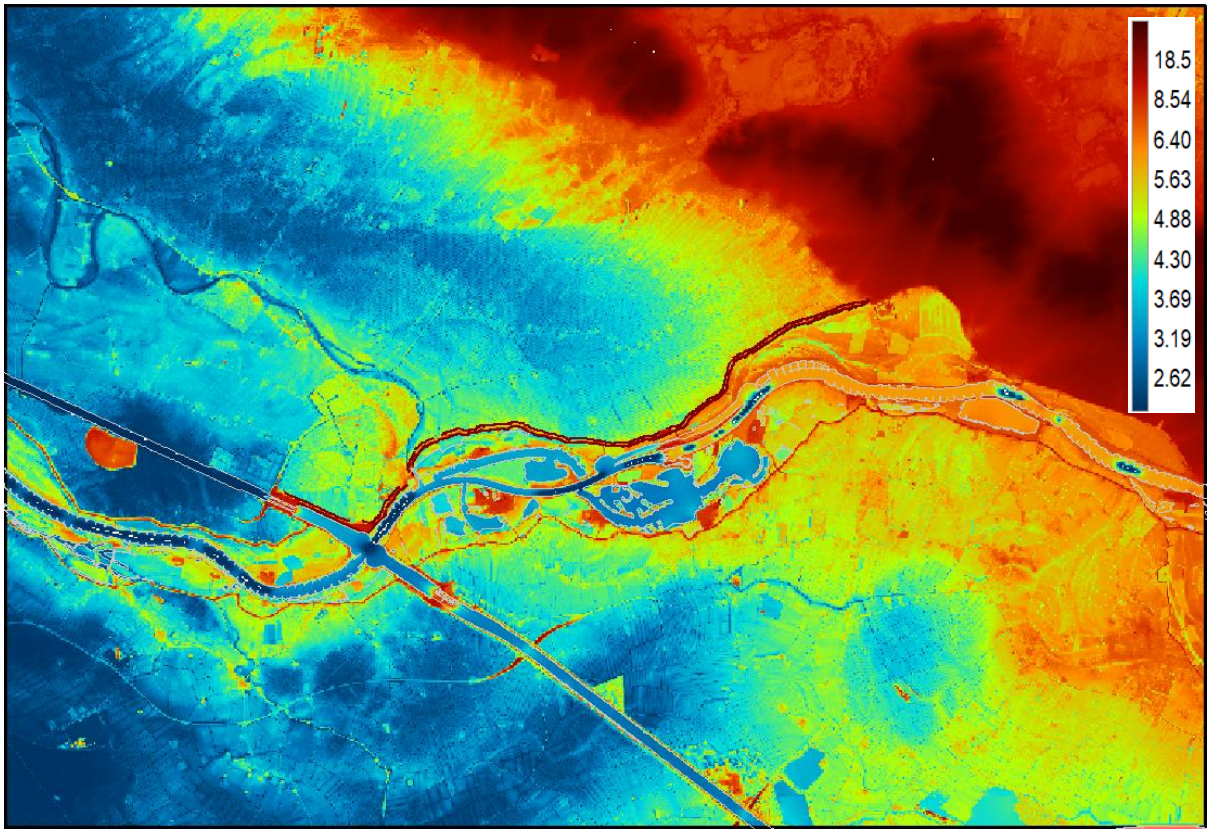
Het hiermee verkregen basismodel is beoordeeld en vervolgens verder verbeterd op basis van aanvullende, lokale gegevens, gebiedskennis of modelanalyse. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste eigenschappen van het model beschreven. Bijlage 1 beschrijft de uitgevoerde controles.

3.2 Modelbeschrijving

In eerste instantie is gestart met een relatief groot model, ruim voorbij de stuwwal en tot voorbij de Waal. Dit bleek echter in verband met de rekentijd praktisch niet werkbaar voor niet-stationaire modelruns. Daarom is gekozen voor een kleiner model, waarbij de berekende stijghoogten van het grotere, stationaire model zijn gebruikt als randvoorwaarden voor het hier beschreven model. De modelgrens is bepaald o.b.v. de volgende waterscheidingen:

- Noordgrens: door noordelijk deel Utrechtse Heuvelrug
- Oostgrens: voorbij Utrechtse Heuvelrug
- Zuidgrens: ruim voorbij Rijn / Lek
- Westgrens: ten westen van Amsterdam-Rijnkanaal

Het resulterende modelextent heeft de coördinaten (xll, yll, xur, yur): 146000,437000,165000,450000. Het model is doorgerekend met resolutie 25x25, waarbij 100x100-celwaarden van m.n. het lagenmodel door iMOD lineair worden geïnterpoleerd bij het doorrekenen van het model. Als rekenperiode is 2009-2019 gebruikt, waarbij de laatste 8 jaren worden gebruikt voor het bepalen van (de effecten op) de GxG's. Voor de kalibratie-/validatieset zijn peilbuizen uit DINOloket gedownload voor de rekenperiode en visueel gecontroleerd en gecorrigeerd voor evidente fouten (bijv. extreme uitbijters).



Afbeelding 3.1 Ligging modelgebied met AHN3WSS (25x25, bron: waterschadeschatter) als achtergrond

Voor het lagenmodel is REGIS II v2.2 gebruikt en GeoTOP v1.4 voor de bovenste Holocene laagpakketten. Het Holocene pakket uit is daarbij opgedeeld o.b.v. de zandbanen uit GeoTOP. Met de AZURE+UGM-workflow is een lagenmodel afgeleid. De REGIS klei-eenheden waren daarbij bepalend voor de opdeling in modellagen. Zandige eenheden zijn waar mogelijk samengevoegd om het aantal modellagen beperkt te houden. Dit heeft geleid tot een 12-laags model. Zie tabel B1.1 in bijlage 1 voor de schematisatie via een zgn. 'linktable' (voor de NHI-lagenmodule) met de koppeling tussen REGIS II v2.2 en het lagenmodel. De k-waarden (doorlatendheid) komen van REGIS en GeoTOP en zijn vervolgens aangepast zoals beschreven in paragraaf 3.4 en in bijlage 1.

Zie afbeelding 2.5 voor een beeld van de hieruit afgeleide geologie. Deze data is rechtstreeks verwerkt in het lagenmodel van het WAM-model. De schematisatie is daarmee vergelijkbaar met de laatste versie van MORIA, het grondwatermodel voor het Rivierengebied.

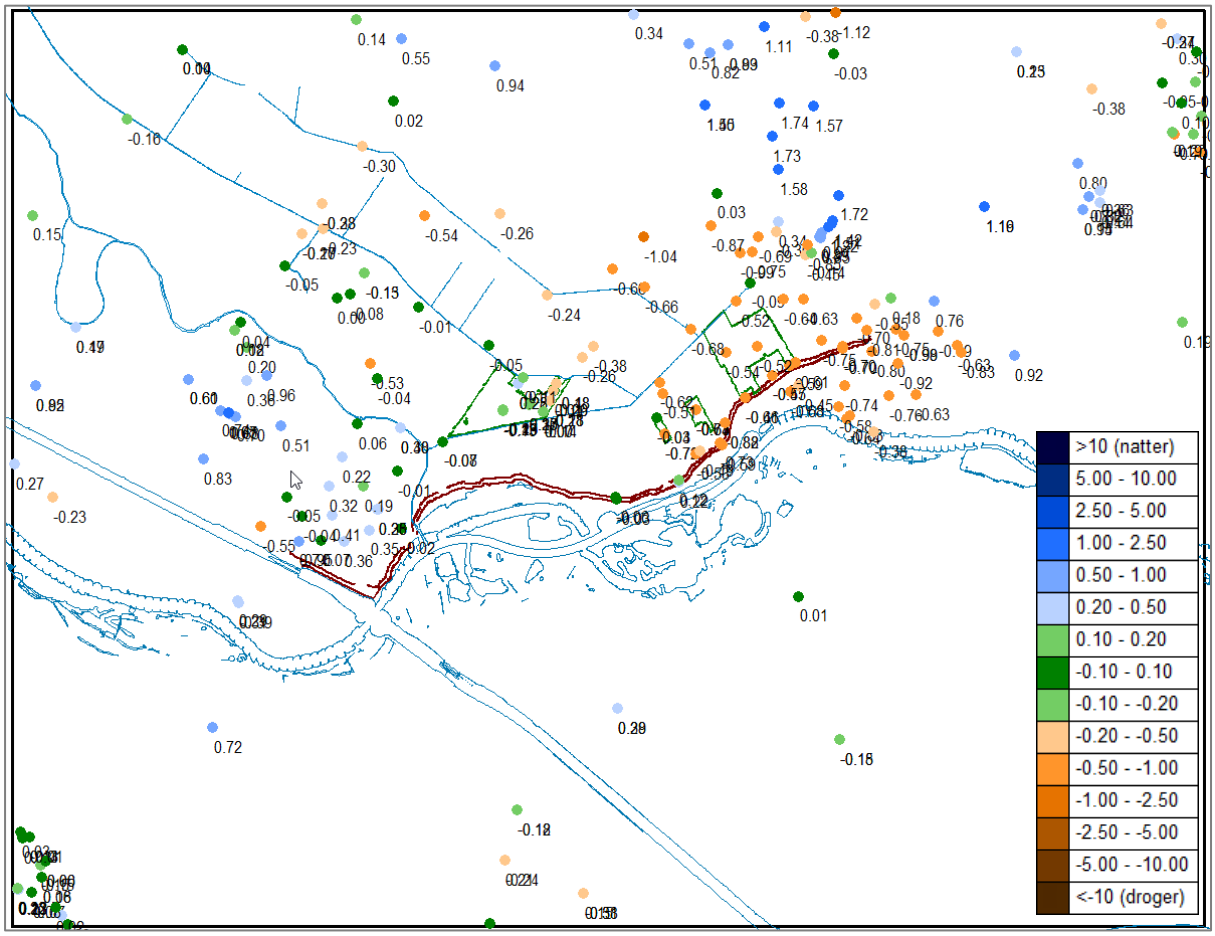
3.3 Modelbeoordeling basismodel

Het basismodel bestaat uit een minimale variant, waarin de beschikbare basisdata als modelinvoer is opgenomen voor het lagenmodel, oppervlaktewater, de grondwateraanvulling, onttrekkingen en breuken. Dit basismodel is aangeduid met de code 'BASIS5_01RIV'. Zie het bovenste deel van tabel 3.2 voor de modelaanpassingen die leiden tot dit model.

In afbeelding 3.2 zijn de modelresiduen, de afwijking tussen gemeten en berekende stijghoogte, weergegeven voor het stationaire basismodel, voor de modellagen L1-5, boven de slecht doorlatende laag WAk1. Dit geeft een beeld van de modelprestatie in het freatische en het eerste watervoerende pakket. Zie afbeelding B1.13 in bijlage 1 voor de residuen van de diepere modellagen L6-12.

Het is duidelijk dat er nog grote systematische afwijkingen in dit model aanwezig zijn, met veel te nat berekende stijghoogten op de stuwwal en veel te droog berekende stijghoogten in een groot deel van het interessegebied rond het dijktracé.

In paragraaf 3.5 zijn tevens statistieken opgenomen van de residuen per modellaag van dit model.



Afbeelding 3.2 Residuen (m) freatisch en 1e watervoerende pakket (L1-5) berekend met het basismodel (BASIS5_01RIV), inclusief het WAM-dijktracé (rood) en het belangrijkste oppervlaktewater (blauw).

3.4 Beschrijving modelaanpassingen

In tabel 3.2 is een samenvatting opgenomen van de modelaanpassingen die zijn uitgevoerd voor de modelbouw. In bijlage 1 zijn de betreffende aanpassingen zo nodig nader beschreven.

De varianten tot BASIS5_06KAL bevatten aanpassingen die gebaseerd zijn op aanvullende kennis of inzichten na nadere analyse. Voor de varianten van BASIS5_06KAL is een handmatige kalibratie uitgevoerd op basis van gevoeligheidsberekeningen of inzichten uit het 2D-model dat voor het WAM-tracé is gemaakt.

Tabel 3.2 Samenvatting van de modelaanpassingen voor modelbouw en -verbetering per modelvariant.

Modelvariant	Package	Para-meter	Laag	Beschrijving
BASIS0				Lagenmodel afleiden o.b.v. REGIS II.2 en GeoTOP met AZURE+UGM-workflow en NHI-lagenmodule.
BASIS2_01RCH	RCH		L1	Grondwateraanvulling (25x25) overgenomen van LHM v4.1 (NHI Dataportaal); NoData opgevuld via interpolatie
BASIS2_03DRN	DRN		L0	Buisdrainage (25x25) overgenomen van NHI-dataportaal 2017/2018; weerstand omgerekend o.b.v. celgrootte
BASIS2_04HFB	HFB		L5-12	Breuken AZURE+UGM vergrid naar resolutie van REGIS (100x100) en zijbreuken opgenomen
BASIS2_06WEL	WEL		L1-12	Onttrekkingsdata overgenomen van AZURE-model

Modelvariant	Package	Para-meter	Laag	Beschrijving
BASIS5_01RIV	RIV	RWS	L0	Rijkswater overgenomen o.b.v. ISG-tool RHDHV/Deltares (MORIA_AMIGO_AZURE_20200408)
BASIS5_01RIV	RIV	Legger	L0	Overige waterlopen o.b.v. UGW-Bouwsteen, MORIA; herverdeling waterlopen over modellagen i.v.m. conductance
BASIS5_02RIV	RIV (RWS)	STAGE	L0	Correctie inundatiezone in uiterwaard aan noordzijde Lek
BASIS5_02RIV	RIV (legger)	INFFCT	L0	Correctie infiltratiezone ZW van Gooyerwetering
BASIS5_02RIV	RIV (RWS)	BOTTOM	L0	Correctie bodemhoogten plassen en uiterwaarden
BASIS5_02RIV	RIV	STAGE	L0	Correctie peilen landgoederen en natuurgebieden o.b.v. peilbesluiten/HDSR-data
BASIS5_02RIV	RIV	STAGE	L0	Correctie peilen op flank stuwwal (m.b.t. BOVENPEIL);
BASIS5_02RIV	RIV	STAGE	L0	Correctie peil sluiscomplex: binnen sluis gemiddelde niveau
BASIS5_03DEKL	KVV,TOP, BOT		L1-2	Correctie dikte + kv deklaag o.b.v. DINOloket + WAM-boringen
BASIS5_04OLF	OLF		L1	Correctie OLF-niveau: boven maaiveld en legger-peil en NoData voor RWS-peil
BASIS5_05SHD	SHD		L1-12	Overnemen SHD-waarden van groter WAM-model i.p.v. LHM
BASIS5_06KAL	RIV	COND	L0	Correctie intreeweerstand waterlopen: 1) o.b.v. bodemtype; 2) o.b.v. stijghoogtemetingen uiterwaarde
BASIS5_06KAL	RIV	COND	L0	Correctie intreeweerstand waterlopen o.b.v. 2D-model in grote waterlichamen (Lek, ARK, Hank, etc.)
BASIS5_06KAL	KVV		L4	Correctie kv-waarde van glijvlak (DTc) onder stuwwal Utrechtse Heuvelrug: verhoging met factor 10
BASIS5_06KAL	KVV		L1-2	Correctie kv-waarden in uiterwaarde o.b.v. zones in bodemkaart en residuen
BASIS5_07DEF				Kopie BASIS5_06KAL_04KVV
BASIS5_ 07DEF-NS	RIV	RIV (NS)	L0	Dagelijkse rivierpeilen via ISG-tool MORIA, AZURE en AMIGO; correctie foute inundatie
BASIS5_ 07DEF-NS	CAP	DB		Nieuwe MetaSWAP-database gebruikt: “LHM2018_v02v_BOFEK2020” voor iMODFLOW 5.3
BASIS5_ 07DEF-NS	CAP	NOPP		Nat oppervlak bepaald o.b.v. oppervlak in cel van polygonen in waterareas GEN-file
BASIS5_ 07DEF-NS	CAP	OLF		Ponding depth aangepast o.b.v. leggerpeil en maximaal (dagelijks) rivierpeil

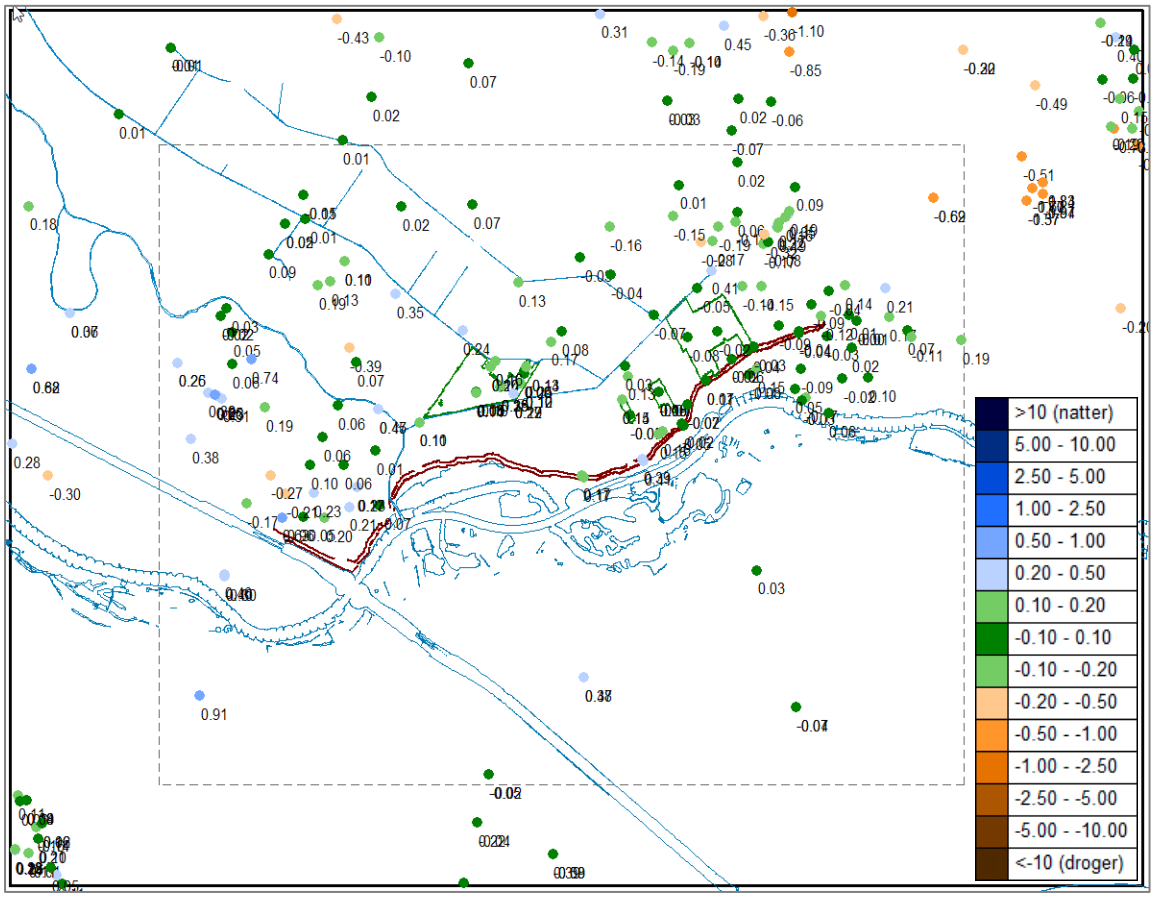
3.5 Modelbeoordeling verbeterd model

In deze paragraaf zijn de modelprestaties van het verbeterde model (BASIS5_07DEF) beschreven. In bijlage 1 is daarnaast een controle beschreven op de ligging van de modelrand en van de invloed van afwijkingen in de vaste stijghoogten op de modelrand. Bij de beoordeling van het model is het relevant dat het doel effectbepaling is. Doordat daarbij het *verschil* wordt bepaald tussen berekende stijghoogten voor en na maatregelen, zal over het algemeen een deel van de modelafwijkingen tegen elkaar wegvallen, waardoor de onzekerheid van het resultaat kleiner zal zijn dan de onzekerheid van de absolute, berekende stijghoogten.

3.5.1 Modelresiduen

In afbeelding 3.3 zijn de stationair berekende residuen (afwijking tussen berekend en gemeten stijghoogte) weergegeven van dit model. In tabel 3.3 zijn voor het stationaire model de gemiddelde en gemiddelde absolute residuen weergegeven per modellaag en per modelvariant, zoals beschreven in tabel 3.2. De statistieken van tabel 3.3 zijn bepaald voor de peilbuisfilters binnen de rechthoek die in afbeelding 3.3 is weergegeven met een zwarte onderbroken lijn. Tabel 3.3 laat een duidelijke verbetering zien door de verschillende modelaanpassingen.

Het verbeterde model geeft veel kleinere residuen dan het basismodel. Daarnaast zijn er geen systematische afwijkingen meer zichtbaar, met uitzondering van een groepje peilbuizen aan de andere zijde van de stuwwal. De berekende stijghoogten zijn daar 'te droog'. Vanwege de grote afstand van het projectgebied tot deze peilbuizen en de ligging ervan (achter de stuwwal), zijn deze afwijkingen als minder relevant beoordeeld.



Afbeelding 3.3 Residuen (m) freatisch en 1e watervoerende pakket (L1-5) van het verbeterde stationaire model (BASIS5_07DEF), inclusief het WAM-dijktracé (rood) en het belangrijkste oppervlaktewater (blauw).

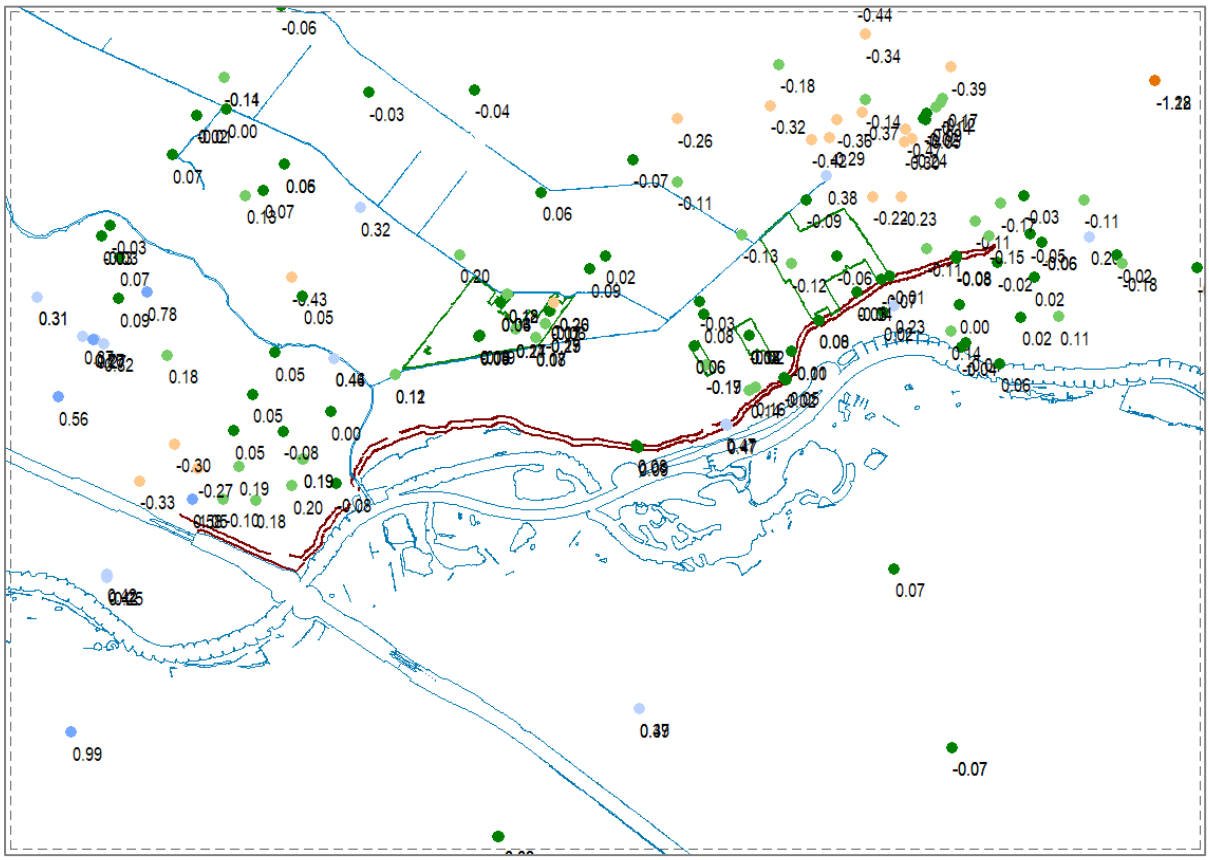
Ook voor het niet-stationaire model zijn residuen bepaald. Om hierbij ook korte reeksen te benutten is de afwijking per meting bepaald en gemiddeld over het aantal metingen per peilfilter. Zie afbeelding 3.4 voor het resultaat met residuen in het freatische en 1e watervoerende pakket (L1-5).

Zie afbeelding 3.5 en afbeelding 3.6 voor kenmerkende tijdreeksen van berekende en gemeten stijghoogten. Door de gebruikte aanpak geven de berekende en gemeten reeksen links in afbeelding 3.6 toch een goede fit (klein residu). Een vergelijking via de GxG over de hele rekenperiode zou hier misgaan, doordat de meet- en rekenperiode (2011-2019) hier niet samenvallen. De linker grafiek in afbeelding 3.5 geeft een voorbeeld van te hoog berekende pieken waardoor het model hier de stijghoogten van de GHG-situatie te hoog (te nat) berekent.

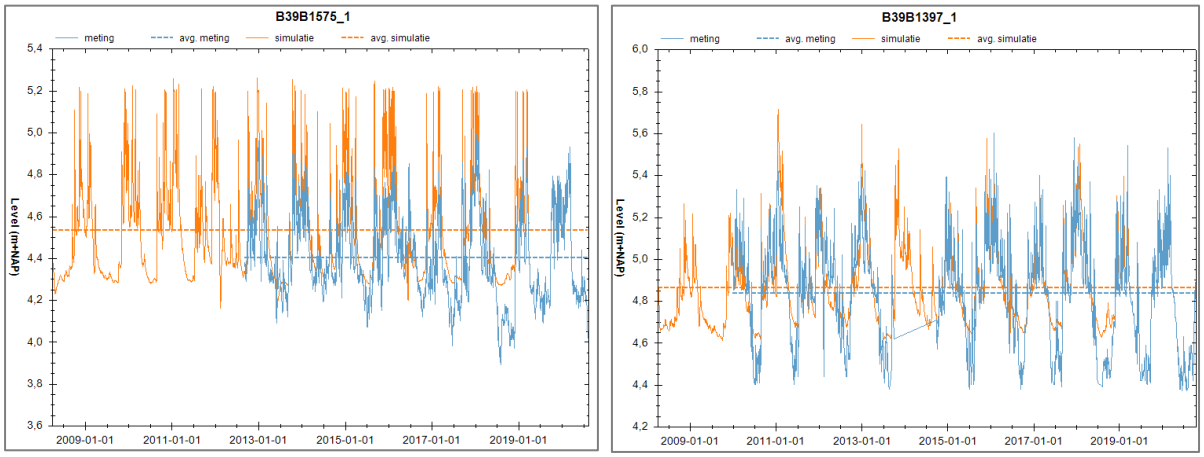
In het algemeen presteert ook het niet-stationaire model goed rond het dijktracé, maar berekent het model de GHG en GVG soms te nat. Afbeeldingen B1.15 en B1.18 bevatten ook de GHG- en GLG-residukaarten.

Tabel 3.3 Gemiddelde residuen (m) en gemiddelde absolute residuen per modellaag en per modelvariant van BASIS5 (N: aantal peilbuisfilters). De statistieken zijn bepaald binnen de rechthoek rond het WAM-tracé zoals weergegeven in afbeelding 3.3.

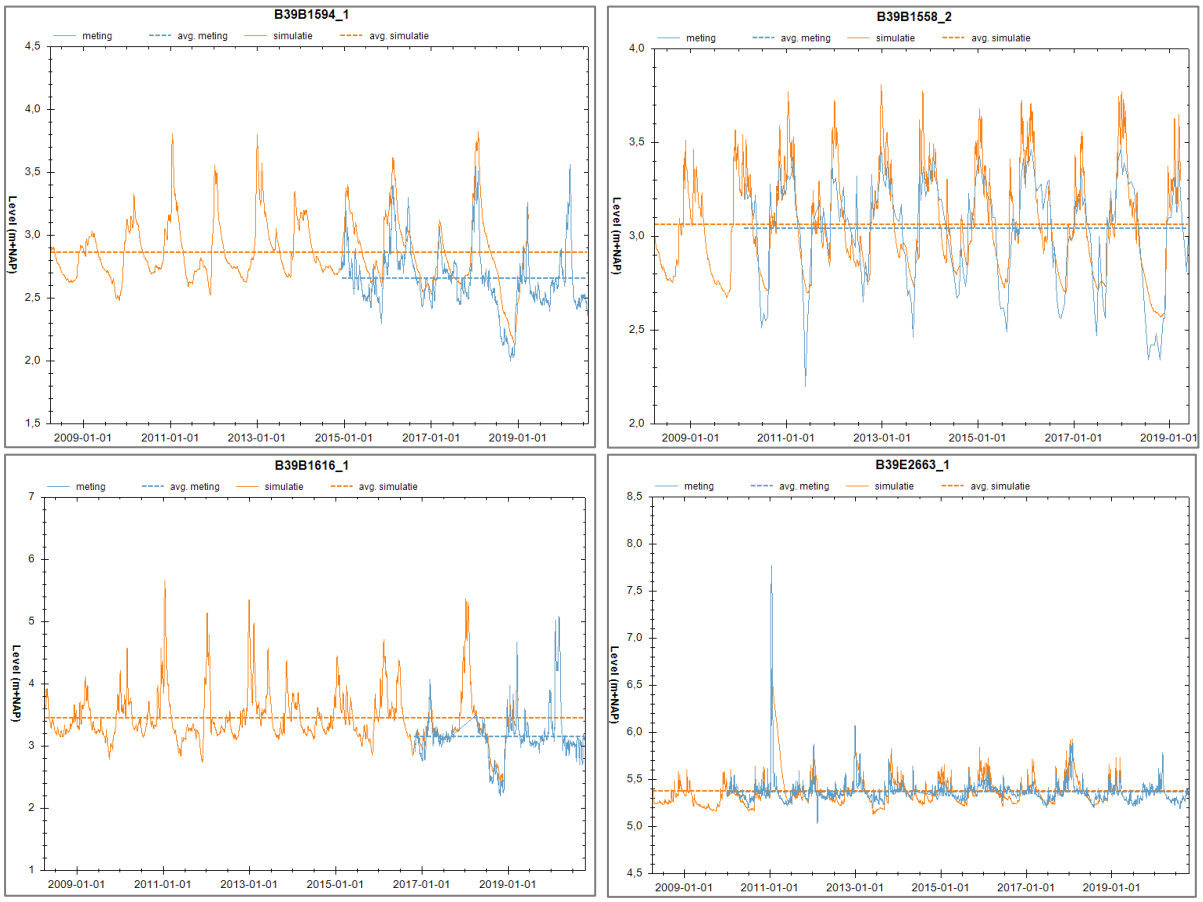
Set	Laag	N	01RIV	02RIV corr	03DEKL	04OLF	05SHD	06KAL_01 RIVCOND	06KAL_02 RIVCOND	06KAL_03 KVV-DTc	06KAL 04KVV	07DEF
ValSet (gem. residu)	1	42	-0,23	-0,25	-0,24	-0,25	-0,25	-0,01	0,00	0,00	0,06	0,06
	2	38	-0,14	-0,02	0,00	-0,01	-0,01	0,05	0,06	0,05	0,08	0,08
	3	27	-0,35	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	0,01	0,02	-0,03	0,04	0,04
	4	55	0,03	0,09	0,11	0,10	0,10	0,31	0,33	0,01	0,05	0,05
	5	10	0,41	0,44	0,44	0,37	0,37	0,20	0,19	0,20	0,21	0,21
	6	28	-0,34	-0,28	-0,27	-0,28	-0,28	-0,13	-0,12	-0,08	-0,06	-0,06
	7	5	-0,52	-0,44	-0,43	-0,43	-0,42	-0,23	-0,22	-0,15	-0,13	-0,13
	8	4	-0,41	-0,32	-0,31	-0,32	-0,32	-0,17	-0,16	-0,11	-0,09	-0,09
	9	2	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11
	10	1	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
	Totaal	**212**	**-0,15**	**-0,09**	**-0,08**	**-0,09**	**-0,09**	**0,07**	**0,08**	**0,00**	**0,04**	**0,04**
ValSet (gem. abs. residu)	1	42	0,35	0,33	0,32	0,33	0,33	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17
	2	38	0,38	0,28	0,27	0,26	0,26	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14
	3	27	0,41	0,34	0,33	0,34	0,34	0,17	0,16	0,12	0,13	0,13
	4	55	0,63	0,58	0,57	0,57	0,56	0,44	0,43	0,17	0,16	0,16
	5	10	0,59	0,59	0,59	0,53	0,53	0,34	0,33	0,32	0,33	0,33
	6	28	0,44	0,38	0,37	0,37	0,37	0,26	0,24	0,21	0,20	0,20
	7	5	0,53	0,44	0,43	0,43	0,43	0,25	0,24	0,17	0,15	0,15
	8	4	0,41	0,32	0,31	0,32	0,32	0,17	0,16	0,13	0,14	0,14
	9	2	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11
	10	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
	Totaal	**212**	**0,46**	**0,40**	**0,40**	**0,39**	**0,39**	**0,26**	**0,25**	**0,17**	**0,17**	**0,17**



Afbeelding 3.4 Gemiddelde residuen per meting (m) voor niet-stationaire model (BASIS5_07DEF-NS) in L1-5.



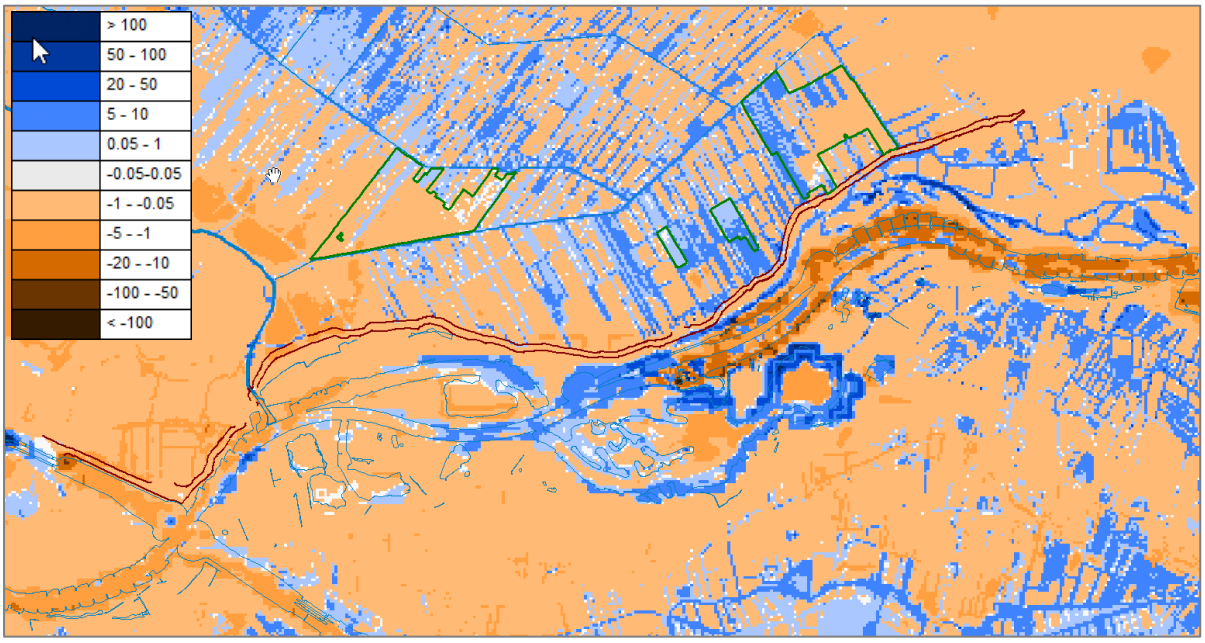
Afbeelding 3.5 Vergelijking tussen gemeten en berekende tijdstijghoogte voor freatische peilfilters binnendijks langs de dijk ter hoogte van Oud Kolland (links) en Kolland (rechts).



Afbeelding 3.6 Vergelijking tussen gemeten en berekende tijdstijghoogte voor peilfilters in het watervoerende pakket: binnendijks in Wijk bij Duurstede (linksboven), op landgoed Overlangbroek (rechtsboven), binnendijks, langs de dijk, benedenstrooms van het sluiscomplex (linksonder), in de Amerongse Bovenpolder (oost) (rechtsonder).

3.5.2 Kwelflux

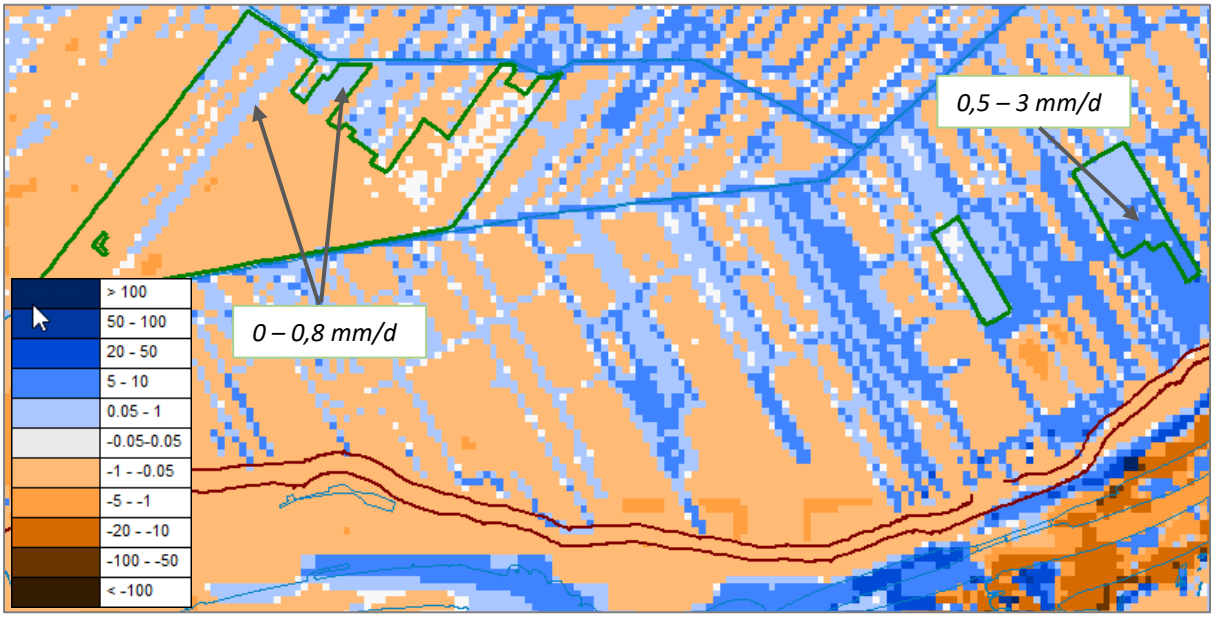
In afbeelding 3.7 is de stationair berekende kwelflux weergegeven, deze is hier gedefinieerd als het debiet vanuit het watervoerende naar het freatische pakket. Dit is vergeleken met inzichten over kwel uit de diverse beheerplannen van de natuurgebieden.



Afbeelding 3.7 Stationair berekende kwelflux (mm/d) van het watervoerende (L2) naar het freatische pakket (L1) met het verbeterde model (BASIS5_07DEF) (blauw: kwel; oranje/bruin: wegzijging).

Beheerplan Kolland en Overlangbroek 2019-2025 geeft de volgende informatie over de kwel in beide gebieden:

- Oud Kolland: “De gemiddelde kweldruk is hier ongeveer 2 tot 3 mm/dag”;
- Overlangbroek:
  - “De Amerongerwetering vangt veel rivierkwel af”;
  - “De gemiddelde kweldruk in het Natura 2000-gebied ligt tussen de 0 en de 2 mm/dag, maar plaatselijk treedt lichte infiltratie op.”

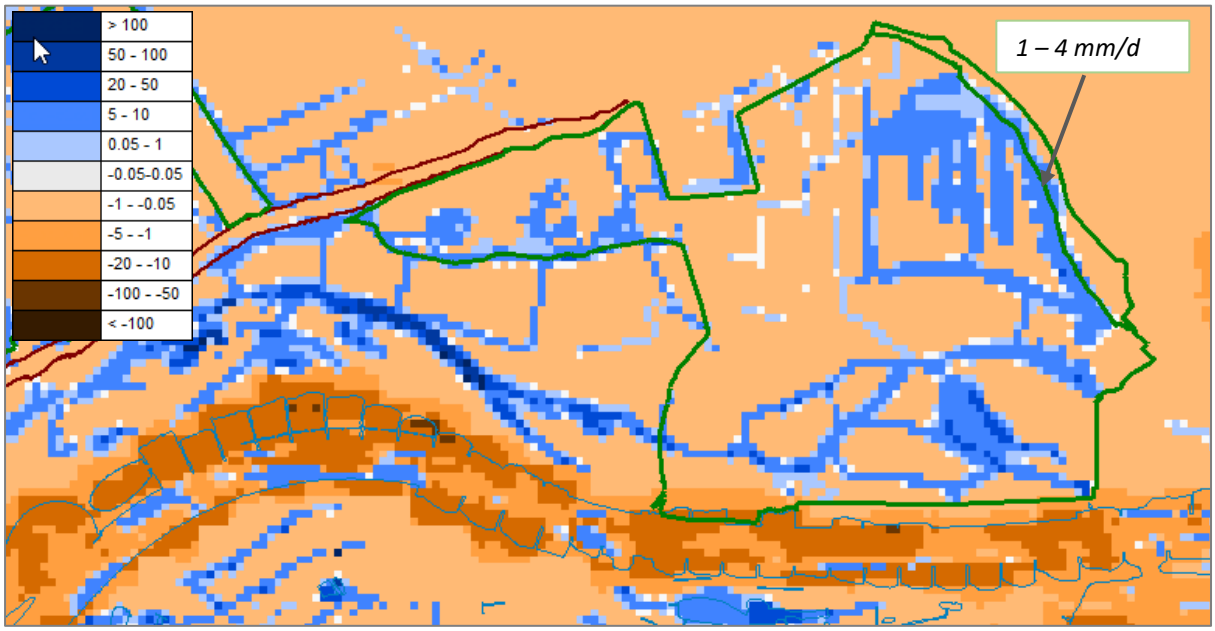


Afbeelding 3.8 Stationair berekende kwelflux (mm/d) rond Overlangbroek en Oud Kolland

Beheerplan Amerongse Bovenpolder 2011-2021 geeft het volgende inzicht:

- Berekende kwelflux na herinrichting 2,5 mm/d voor smalle strook Onderlangs en gemiddeld 1,5 mm/d voor het kwelmoeras. Naar het zuidwesten neemt de kwelflux af tot onder 0,2 mm/d.

De modelresultaten stemmen goed overeen met de informatie uit de beheerplannen.

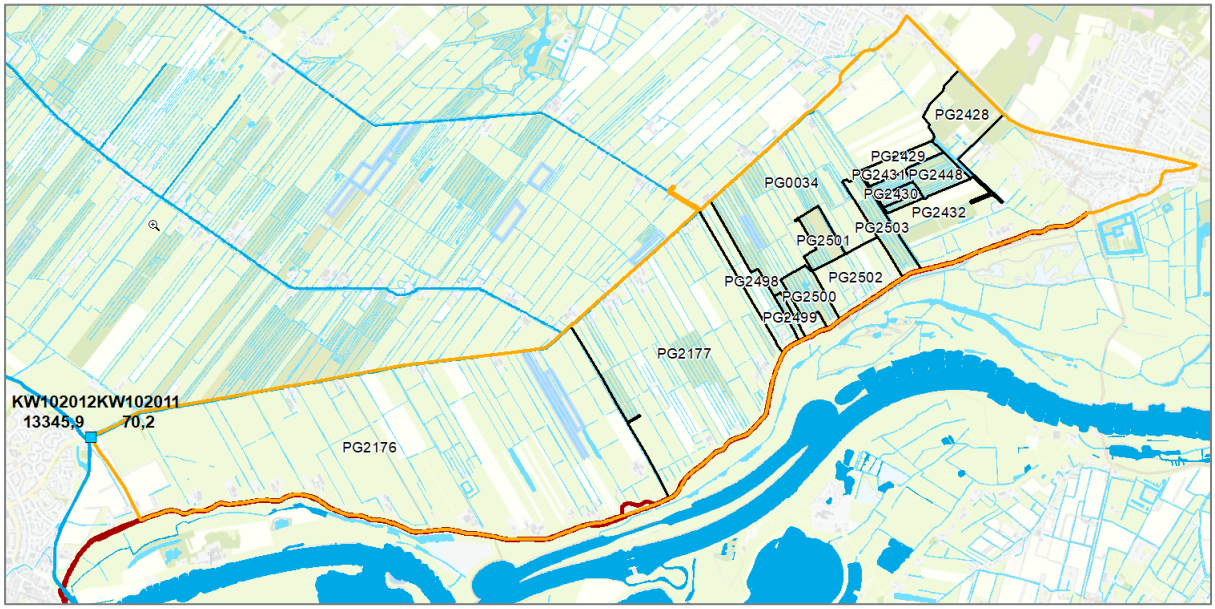


Afbeelding 3.9 Stationair berekende kwelflux (mm/d) rond de Amerongse Bovenpolder

3.5.3 Afvoer

Om te controleren of het model rondom het dijktracé de grondwaterafvoer goed berekent, zijn de modelresultaten (de flux naar waterlopen via de RIV-, DRN- en OLF-package) vergeleken met de gemeten afvoer voor stuw KW102012. Via deze stuw wordt de afvoer verzorgd van het oppervlaktewater uit het gebied ten noorden van het dijktracé. Dit gebied is oranje gemarkeerd in afbeelding 3.10.

De gemiddelde gemeten dagelijkse afvoer voor deze stuw is 13.346 m^3/d; de berekende hoeveelheid is 10.782 m^3/d (zie tabel 3.4), wat voor een grondwatermodel wordt beschouwd als een goede overeenkomst.



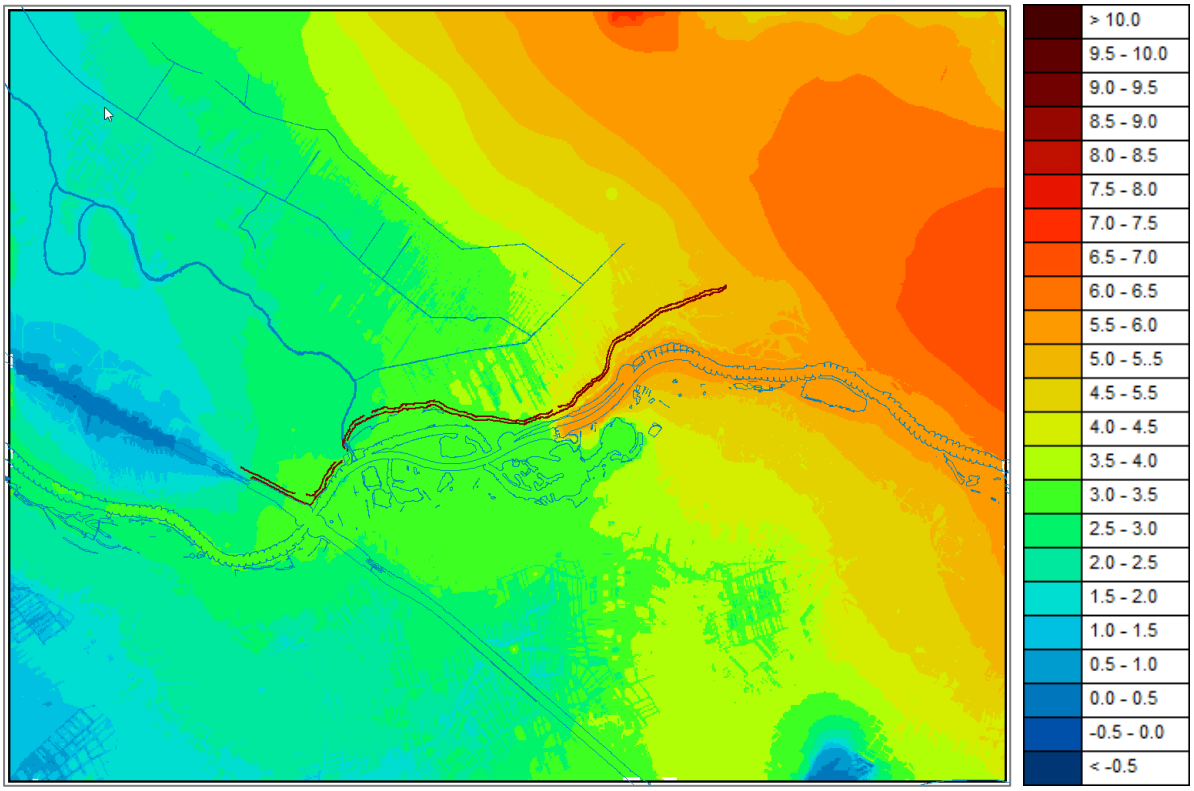
Afbeelding 3.10 Afvoergebied (oranje) voor kunstwerk KW102012 en de corresponderende peilgebieden (zwart).

Tabel 3.4 Gesommeerde afvoer over peilgebieden binnen afvoergebied van stuw KW102012.

	Model PRJ-file BASIS5_07DEF (STAT-PRJ 25x25)	Model PRJ-file BASIS5_07DEF (STAT-PRJ 25x25)	Model PRJ-file BASIS5_07DEF (STAT-PRJ 25x25)	Meting KW102012
PG	**BDGRIV (m3/d)**	**BDGDRN/OLF (m3/d)**	**Totaal**	**Q (m3/d)**
35	7,26	0,00	7,26	
151	3732,18	333,91	4066,09	
152	2,20	0,00	2,20	
392	1,67	0,00	1,67	
393	1,92	0,00	1,92	
1276	165,15	0,00	165,15	
1327	241,95	21,00	262,95	
1328	45,24	1,18	46,42	
1329	48,26	7,21	55,47	
1330	0,43	0,27	0,70	
1331	123,02	29,27	152,29	
1428	2,44	0,00	2,44	
1740	2593,70	447,59	3041,29	
2120	2598,82	377,47	2976,28	
	9.564,2	**1.217,9**	**10.782,1**	**13.345,9**

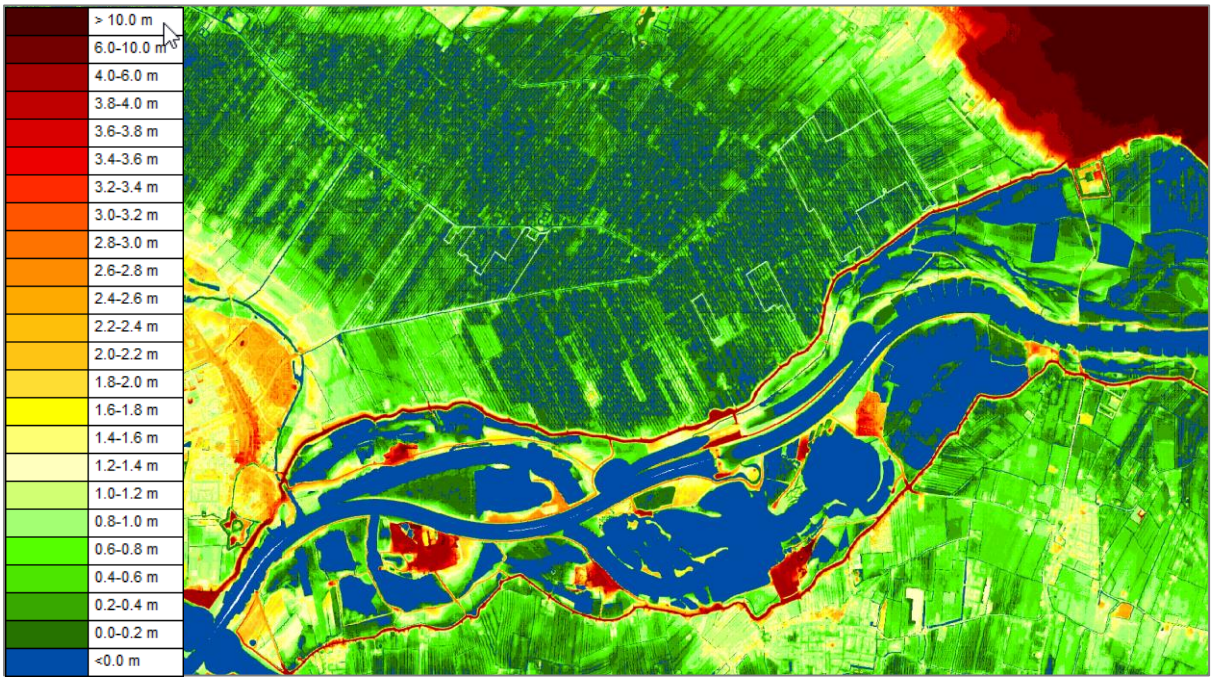
3.5.4 Berekende grondwaterstand

De gemiddelde stijghoogte in het modelgebied is bepaald met het stationaire model en is weergegeven in afbeelding 3.11. Hierin is duidelijk de invloed van het hoge stuwpeil op de Nederrijn te zien langs het noordoostelijke deel van het dijktracé. Dit komt overeen met het patroon dat in paragaaf 2.4 op basis van metingen is bepaald.

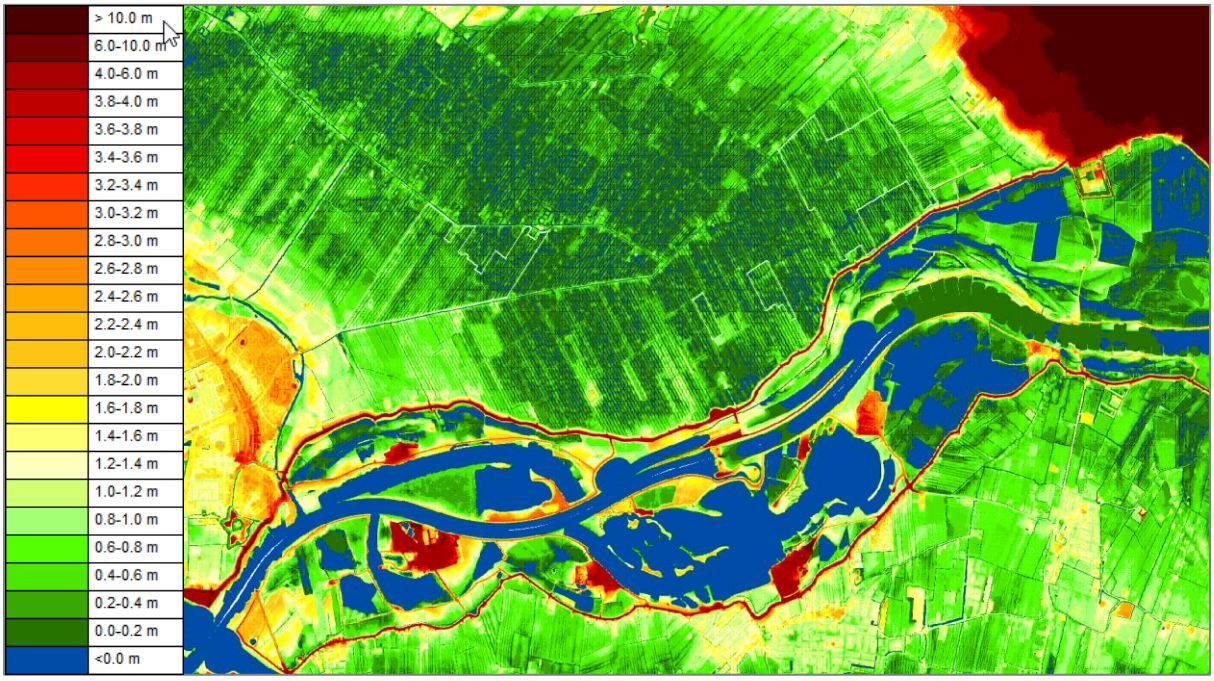


Afbeelding 3.11 Stationair berekende freatische grondwaterstand (m+NAP) met het verbeterde model (BASIS5_07DEF).

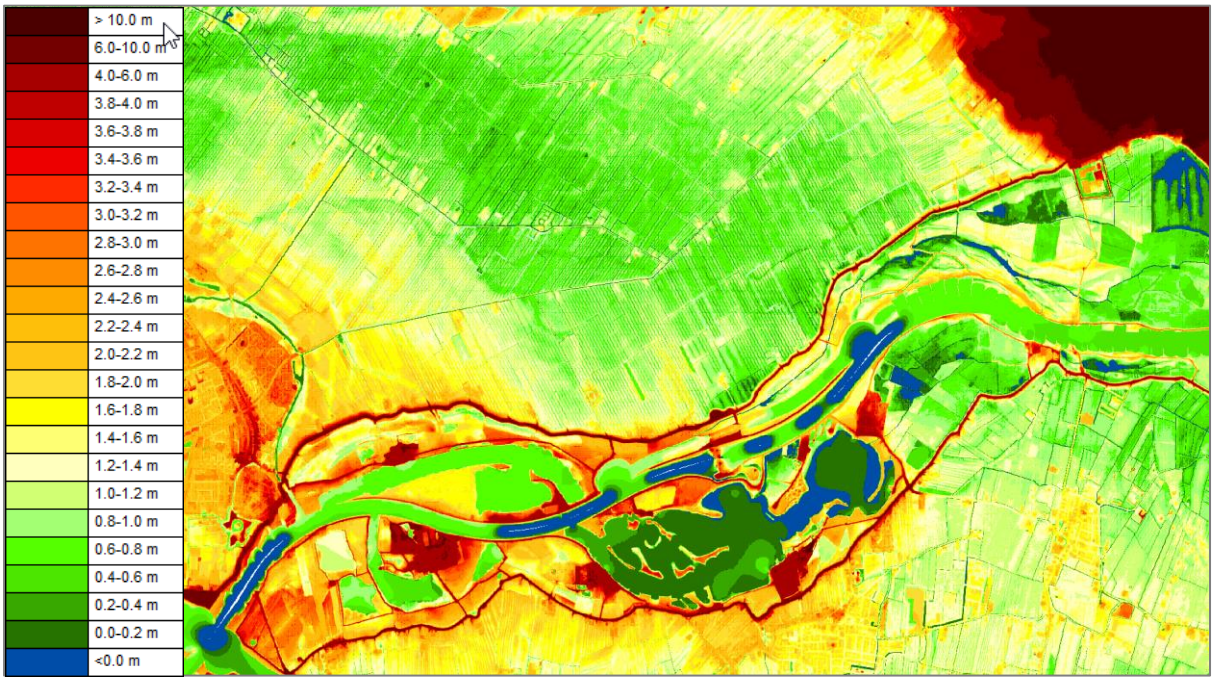
In de onderstaande afbeeldingen zijn de niet-stationair berekende GHG, GVG en GLG weergegeven ten opzichte van maaiveld.



Afbeelding 3.12 Berekende GHG (m-mv) over 2011-2019 met het verbeterde model (BASIS5_07DEF).



Afbeelding 3.13 Berekende GVG (m-mv) over 2011-2019 met het verbeterde model (BASIS5_07DEF).



Afbeelding 3.14 Berekende GLG (m-mv) over 2011-2019 met het verbeterde model (BASIS5_07DEF).

3.6 Referentiesituatie

Het model is getoetst en verbeterd voor de modelperiode 2011-2019. Voor evaluatie van de maatregelen is het van belang om in de referentiesituatie een aantal autonome ontwikkelingen mee te nemen die geen onderdeel zijn van de dijkversterking, maar mogelijk wel van invloed zijn op de effecten van de maatregelen voor dijkversterking.

De volgende autonome ontwikkelingen zijn meegenomen in het referentiemodel:

- Het ontgraven van de kleilaag in de Sandenburgerwaard;
- Het verleggen van een sloot richting de dijk als onderdeel van de herinrichting Lunenburgerwaard;
- Herstelmaatregelen Oud Kolland zoals gepland voor najaar 2022 (aanpassingen slootsysteem).

Zie afbeelding 3.15 voor de ligging van deze ontwikkelingen. Het effect van de maatregelen voor dijkversterking zal worden beoordeeld uitgaande van de situatie waarin beide ontwikkelingen zijn gerealiseerd. In een gemiddelde situatie hebben deze maatregelen nauwelijks effect op het grondwater. De veranderingen hebben met name tijdens hoogwater invloed. Deze invloed is hier niet afzonderlijk in beeld gebracht, maar wordt hiermee in de modelberekeningen voor de dijkversterking meegenomen.

Afbeelding 3.15 Relevante autonome ontwikkelingen: slootverlegging (blauw lijn i.p.v. rode lijn) voor herinrichting Lunenburgerwaard en ontgraving van een kleilaag ter plaatse van Sandenburgerwaard (groen, gearceerde vlak).

4 Maatregelen

In paragraaf 4.1 worden de maatregelen van het basisscenario beschreven die met het model zijn doorgerekend. Daarnaast is een aanvullende maatregel beschreven in paragraaf 4.2. De maatregelen zijn gebaseerd op de varianten voor het waterveiligheidsontwerp van de dijkversterking van maart 2022. De maatregelen zijn naderhand nog verder uitgewerkt en verfijnd.

4.1 Basisscenario

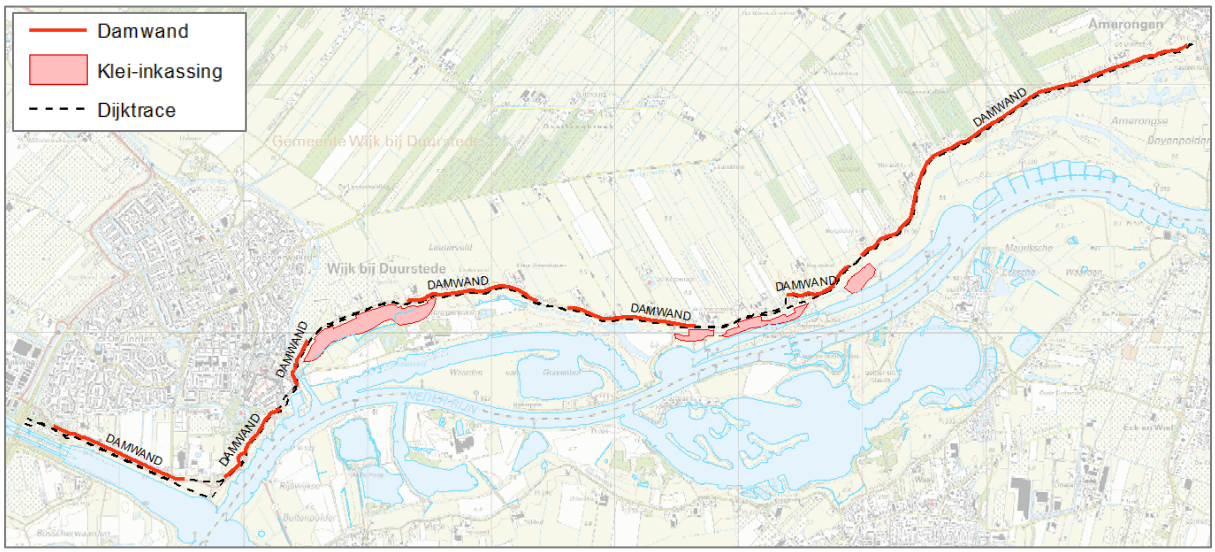
De volgende maatregelen zijn onderdeel van de dijkversterking ter voorkoming van piping, de stroming van grondwater onder de dijk door als gevolg van verschillen in grondwaterstand. Dit speelt met name een rol tijdens hoogwatersituaties. Het effect van deze maatregelen is doorgerekend met het grondwatermodel:

- Verticale damwanden langs de dijk
- Horizontale klei-inkassing

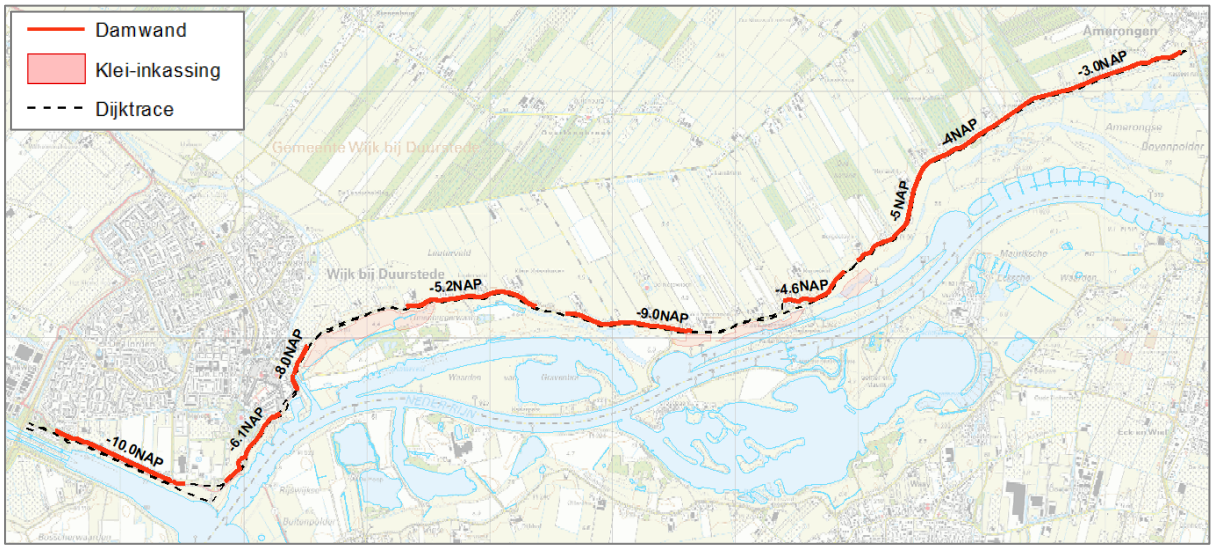
Zie afbeelding 4.1 voor de ligging van de genoemde maatregelen. De klei-inkassing betreft een horizontale laag klei van 1,5 m dikte om piping tegen te gaan. De klei-inkassing wordt als praktisch ondoorlatend gezien en is afgedekt met een zandlaag van 80 cm. De damwanden worden geslagen tot in het watervoerende pakket (maar niet noodzakelijk tot op een onderliggende kleilaag) om de stroming door het dijklichaam te voorkomen. Zie afbeelding 4.2 voor de diepte van de damwanden per sectie.

De klei-inkassing is geschematiseerd als een slecht doorlatende laag aan de onderkant van modellaag 1, met een weerstand van 25.000 d. Dit betreft een rekentechnische waarde met als doel de klei-inkassing dicht te maken en betreft geen specificatie voor de klei-inkassing. De bovenkant van deze modellaag wordt op 80 cm-mv gelegd. Overigens kan de horizontale pipingmaatregel ook worden gerealiseerd middels een bentonietmat, als alternatief voor een klei-inkassing. In het model werkt een bentonietmat hetzelfde als een klei-inkassing.

De damwanden worden geschematiseerd als ondoorlatende breuken (HFB package) in modellagen L1-3. Deze breuken moeten aan een volledige modellaag worden toegekend, waardoor de onderkant niet exact op het niveau gelegd kan worden zoals weergegeven in afbeelding 4.2. Belangrijk is echter vooral dat de damwanden in het model niet het watervoerende pakket afsluiten tot op een kleilaag omdat daarmee het effect sterk overschat zou worden: in werkelijkheid kan het grondwater onder de damwanden doorstromen.



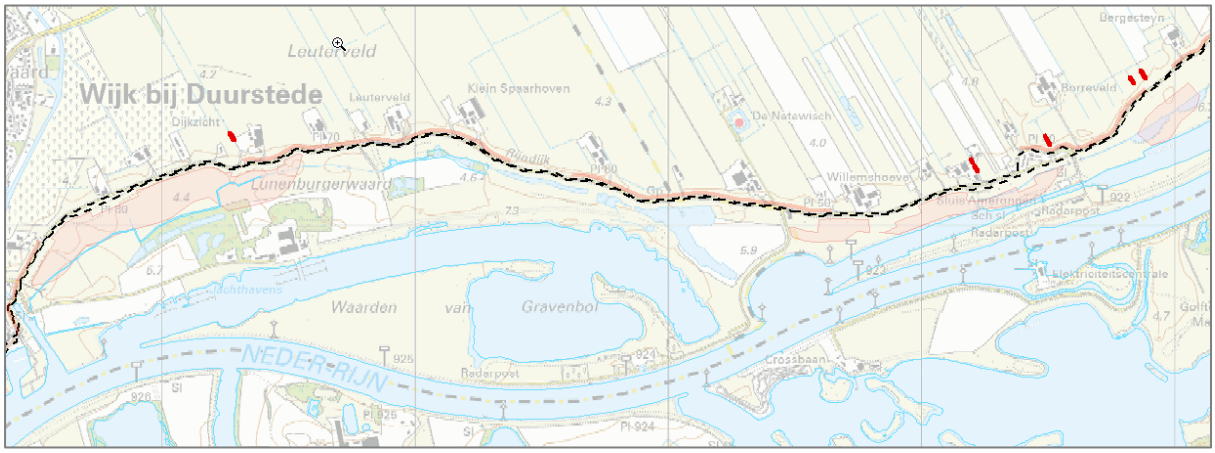
Afbeelding 4.1 Ligging van de maatregelen i.v.m. dijkversterking.



Afbeelding 4.2 Diepte (m+NAP) van de damwanden (rood) i.v.m. dijkversterking.

4.2 Varianten

Als variant op het basisscenario zijn een vijftal binnendijkse kopsloten gedempt, eveneens ter voorkoming van piping. Het effect hiervan is afzonderlijk in beeld gebracht.



Afbeelding 4.3 Ligging te dempen kopsloten (rode lijnen) in maatregelvariant.

5 Effectbepaling

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de berekende effecten van de maatregelen in beeld gebracht. De effecten zijn bepaald:

- voor een gemiddelde situatie met een stationair model
- voor de GxG-situaties (GHG, GVG, GLG) over een langjarige periode met een niet-stationair model
- voor een hoogwater situatie met een stationair model

Indien relevant is daarnaast het volgende in beeld gebracht:

- Effect op de freatische grondwaterstand (L1) en op de stijghoogten in eerste watervoerende pakket (L3)
- Effect op kwel/wegzijging vanuit/naar het watervoerende pakket en naar/vanuit het freatisch pakket;
- Effect op de afvoer.

In de afbeeldingen is met grijze lijnen de ligging van waterlopen weergegeven, met groene lijnen de ligging van de binnendijkse N2000-gebieden en met rode lijnen de ligging van de maatregelen.

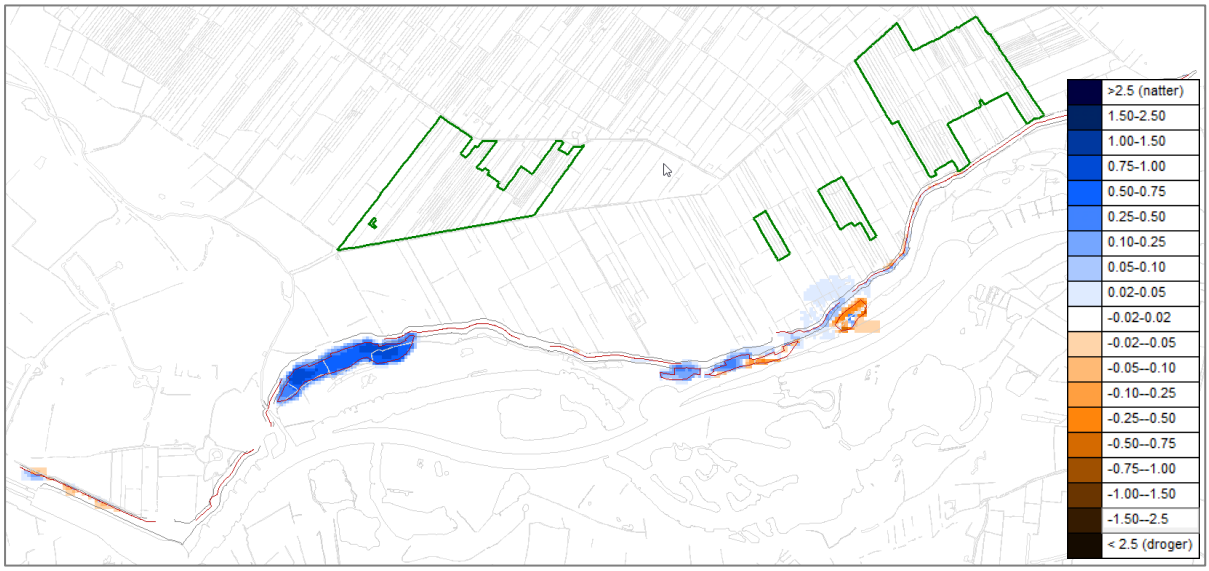
5.2 Effect basismaatregelen

5.2.1 Stationair gemiddeld effect

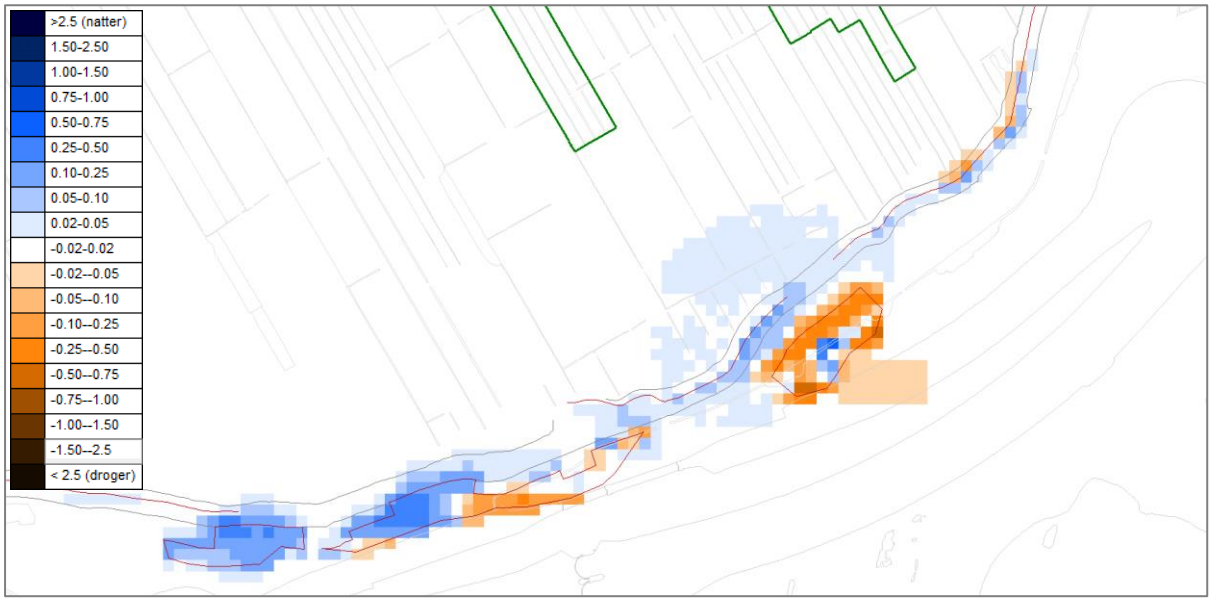
In afbeelding 5.1 is het stationair berekende, gemiddelde effect weergegeven van het basisscenario ten opzichte van de referentiesituatie. Duidelijk is dat het effect van de damwanden beperkt is (< 5 cm). Dit is te verklaren doordat het grondwater nog onder damwanden door kan stromen. Daarnaast valt op dat het effect van de klei-inkassing op sommige locaties vernattend (lokaal tot 85 cm) en op een andere locaties verdrogend is. De oorzaak is dat er op de eerste groep locaties in de referentiesituatie sprake is van wegzijging en in de tweede groep locaties kwel. Door de klei-inkassing zullen wegwijzing en kwel worden beperkt en wordt het natter respectievelijk droger.

Daarnaast valt op dat er bovenstrooms van het sluiscomplex binnendijks een beperkte vernatting (+/- 2 cm) wordt berekend, zie afbeelding 5.2 voor meer detail. Deze vernatting wordt veroorzaakt door de klei-inkassing, die buitendijks zorgt voor beperking van de kwelflux, een lokale daling van de freatische grondwaterstand en een stijging van de stijghoogte in het watervoerende pakket onder de klei-inkassing. Daardoor zal er wat meer grondwater vanuit de uiterwaarden via het watervoerende pakket richting binnendijks gebied stromen. Dit geeft ook binnendijks een beperkte verhoging van de stijghoogte in het watervoerende pakket en in mindere mate een verhoging va de freatische grondwaterstand. In afbeelding B2.3 is dit weergegeven in een dwarsprofiel.

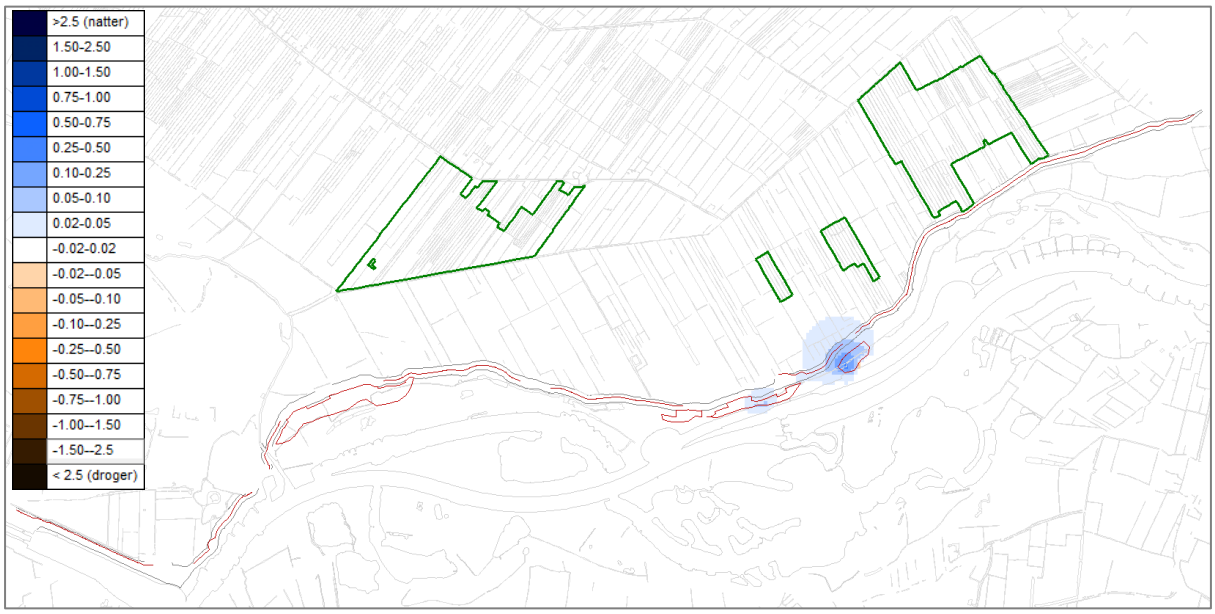
In afbeelding 5.3 is het berekende effect op de stijghoogte in het watervoerende pakket weergegeven. Dit effect is conform bovenstaande verklaring. Door de klei-inkassing wordt de buitendijkse kwelflux beperkt, waardoor de stijghoogte daar in het watervoerende pakket wat hoger wordt.



Afbeelding 5.1 Effect (m) grondwaterstand (L1) basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HFB2 – REF2_BAS).



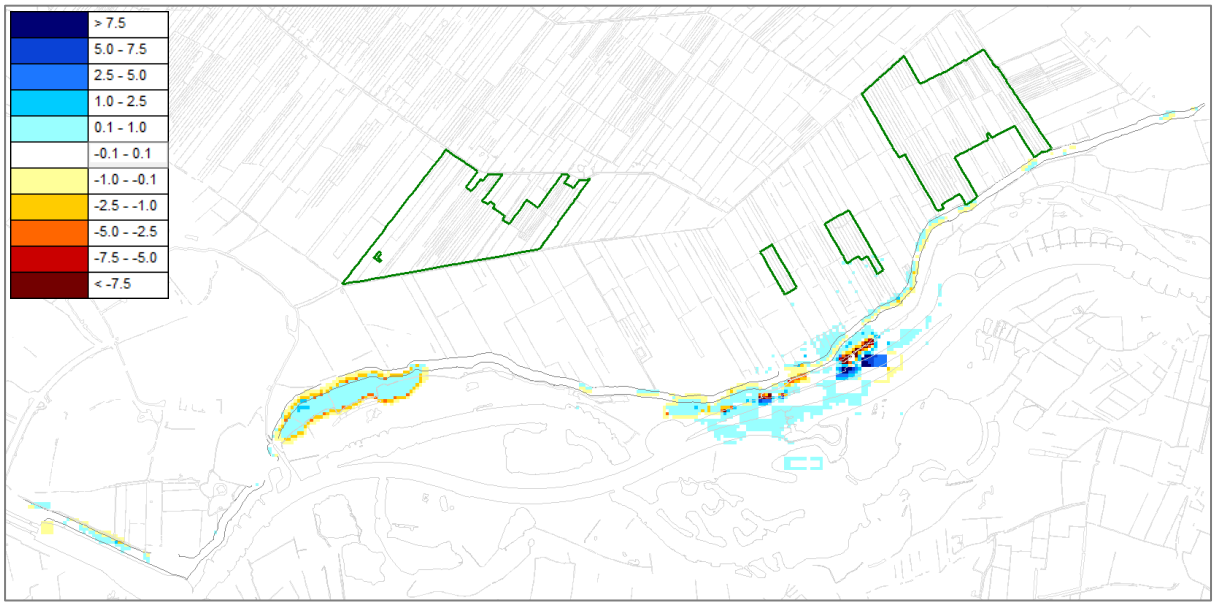
Afbeelding 5.2 Effect (m) grondwaterstand (L1) basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HFB2 – REF2_BAS).



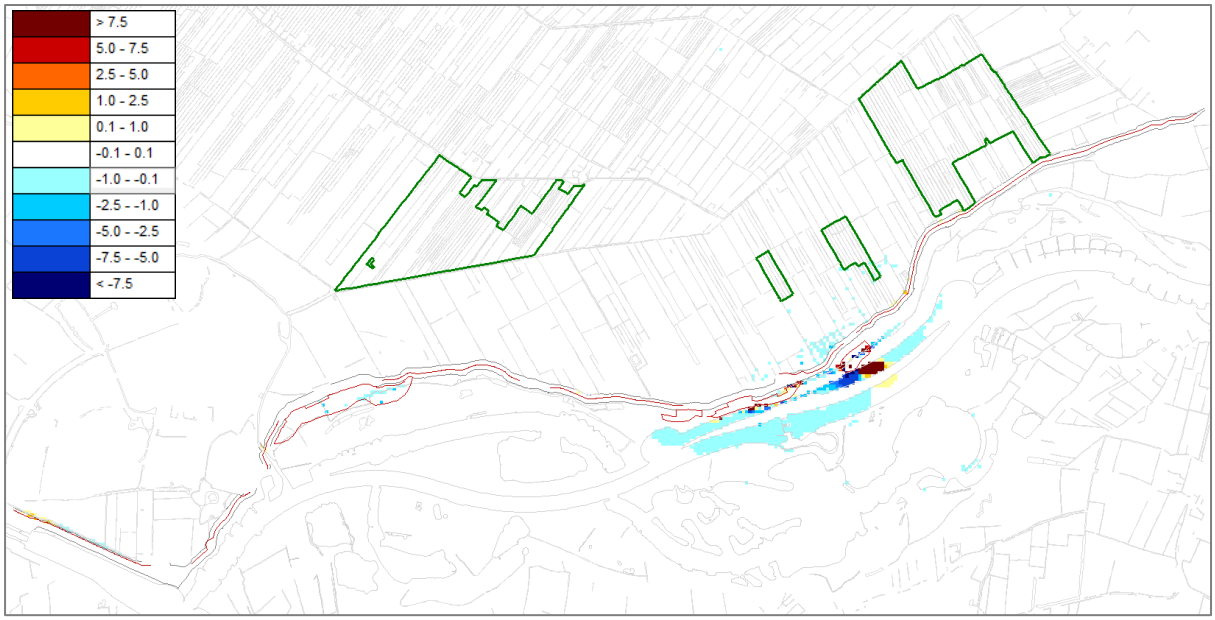
Afbeelding 5.3 Effect (m) stijghoogte (L3) basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HFB2 – REF2_BAS)

In afbeelding 5.4 is het berekende effect op de kwelflux weergegeven. Ter plaatse van de westelijk gelegen klei-inkassing is het effect groter dan nul (lichtblauwe kleur), wat hier duidt op een vermindering van de wegzijging naar het watervoerende pakket door de extra weerstand. Ter plaatse van de meest oostelijk gelegen klei-inkassing is een effect kleiner dan nul (rode kleur) berekend. De klei-inkassing zorgt hier voor minder kwel vanuit het watervoerende pakket wat overeenkomt met de verdroging in het freatische pakket, die daar ook zichtbaar is in afbeelding 5.2.

In afbeelding 5.5 is het berekende effect op de afvoer gegeven. Een verschil kleiner dan nul (blauwe kleur) duidt hier op een grotere afvoer van grondwater door waterlopen (of drainagebuizen) door de maatregelen. Een verschil groter dan nul (gele/rode kleur) duidt hier op minder afvoer. Het berekende effect komt hier overeen met de andere effecten: bovenstrooms van het sluiscomplex zorgen de maatregelen binnendijks voor een wat hogere kwelflux (+/- 5% vanaf 25 m afstand van de dijk en meer direct achter de dijk) en daarmee ook voor een wat grotere afvoer.



Afbeelding 5.4 Effect (mm/d) op kwelflux (L1) basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HFB2 – REF2_BAS)



Afbeelding 5.5 Effect (mm/d) op de afvoer van het basisscenario t.o.v. de referentie (SCEN2A_HFB2 – REF2_BAS)

5.2.2 Niet-stationair effect

Om een beeld te krijgen van het tijdsafhankelijke gemiddelde effect is het effect van de maatregelen ook niet-stationair doorgerekend voor de referentie en maatregelen. Het berekende effect is in afbeelding 5.6, afbeelding 5.7 en afbeelding 5.8 weergegeven voor de GHG, GVG en GLG.

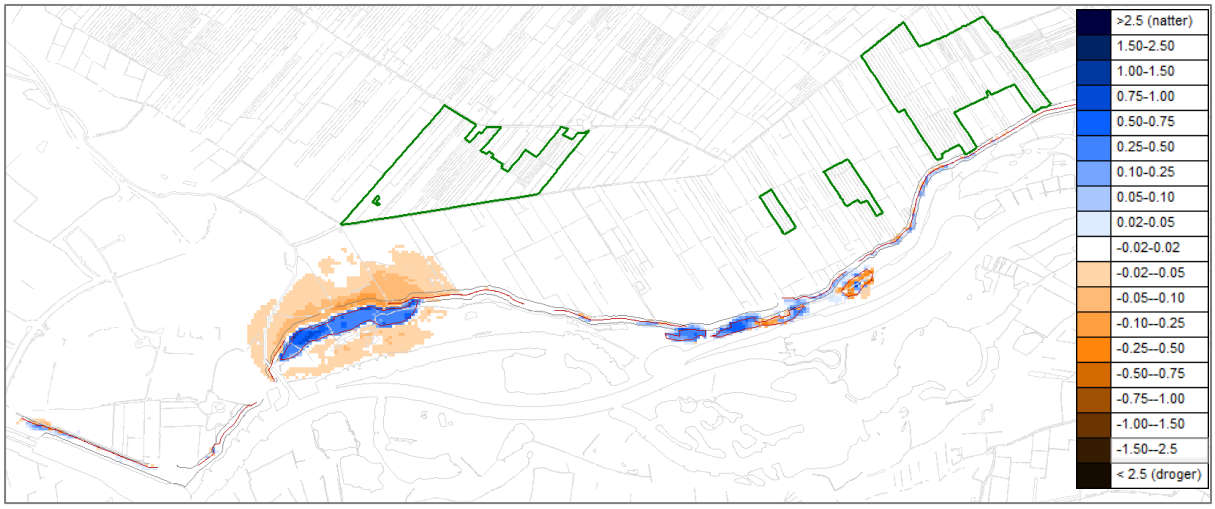
Het effect op de GHG is vooral zichtbaar ter plaatse van locaties met een klei-inkassing. Het effect hangt daarbij af van de kwel/wegijzing in de referentiesituatie. Voor de westelijk gelegen klei-inkassing is er bijvoorbeeld sprake van wegzijging in de referentiesituatie. Door de extra weerstand zal deze wegzijging minder worden, wat overeenkomt met de blauwe kleur in afbeelding 5.6: een +/40 cm hogere, freatische grondwaterstand en daarmee wat meer afvoer via de kwelgeul Het effect op de omgeving werkt door via het watervoerende pakket. Doordat er ter plaatse van de klei-inkassing minder wegijzing is zal de stijghoogte in het watervoerende pakket onder de klei-inkassing lager worden en daarmee ook de stijghoogte in de omgeving. Dit resulteert in een lagere kweldruk in de omgeving en daarmee in een lagere freatische grondwaterstand rondom de klei-inkassing (+/- 5 cm tot 250 m

noord van de dijk). De meest oostelijk gelegen klei-inkassing heeft een tegenovergesteld effect doordat er daar sprake is van kwel in de referentiesituatie, die beperkt wordt door de extra weerstand van de klei. Het effect op de GVG is vergelijkbaar met het effect op de GHG, alleen is het effect op de omgeving iets kleiner (+/- 2 cm).

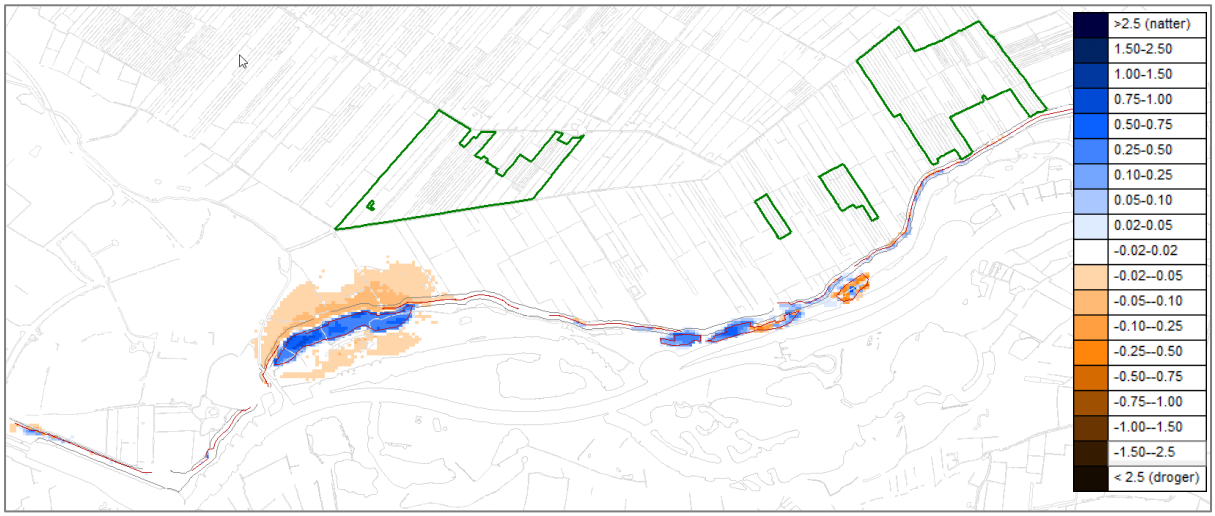
Het effect op de GLG is anders. Doordat de freatische grondwaterstand in de GLG-situatie flink uitzakt is er in de referentie nauwelijks kwel of wegzijging. De extra klei geeft lokaal een flinke vernatting, maar heeft verder geen effect op de stijghoogte in het watervoerende pakket, waardoor er ook geen invloed is naar de omliggende stijghoogte en grondwaterstand. Het effect op de GLG lijkt op het stationair berekende, gemiddelde effect. Maar opvallend is dat er nu geen binnendijkse vernatting wordt berekend bovenstrooms van het sluiscomplex. De reden is vermoedelijk dat de niet-stationaire invloed van een maatregel wat meer uitdempt in de tijd door (vaak) tegengestelde seizoensinvloeden, terwijl een maatregel met het stationaire model wordt doorgerekend voor een stationaire evenwichtstoestand.

Het effect van de damwanden is beperkt (tot 20 cm ter plaatse van de dijk en damwanden, maar ≤ 5 cm op 25 m van de dijk) doordat deze het watervoerende pakket niet afsluiten en er grondwater onderdoor kan stromen.

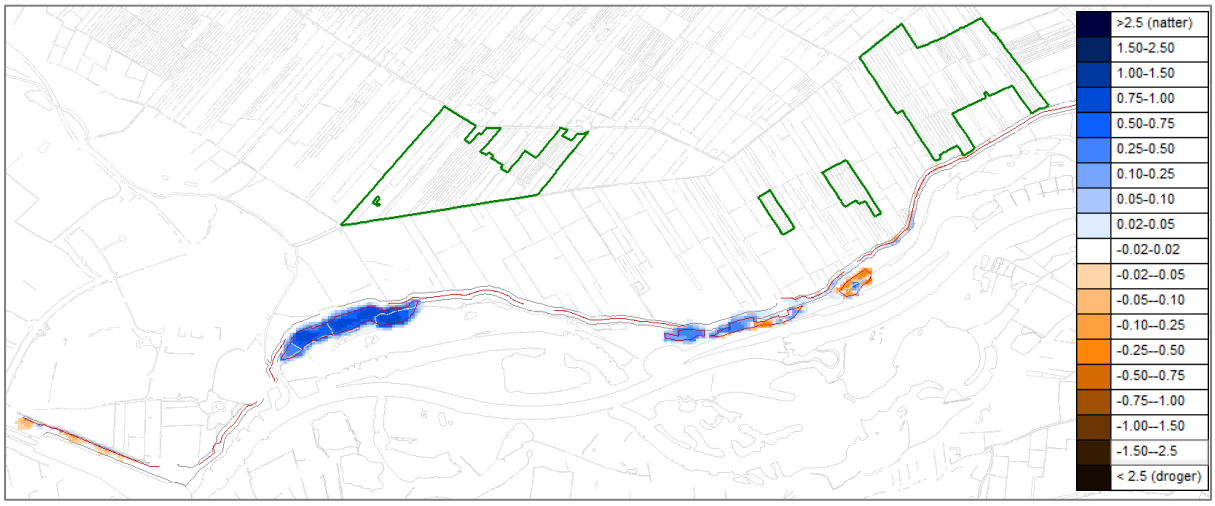
Het model berekent de GHG op een aantal locaties te nat, zie paragraaf 3.5. Het effect op de GHG zal daardoor in werkelijkheid wat meer zijn zoals het berekende effect op de GVG, die 10 tot 20 cm dieper ligt dan GHG. Omdat het effect op de omgeving voor de GVG wat kleiner is berekend dan het effect op de GHG, kan worden gesteld dat het berekende effect op de omgeving voor de GHG-situatie een worst-case beeld geeft. Hetzelfde geldt voor de GVG, die het model ook iets te nat berekent.



Afbeelding 5.6 Effect (m) op GHG (L1) voor basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HFB2-NS – REF2_BAS-NS)



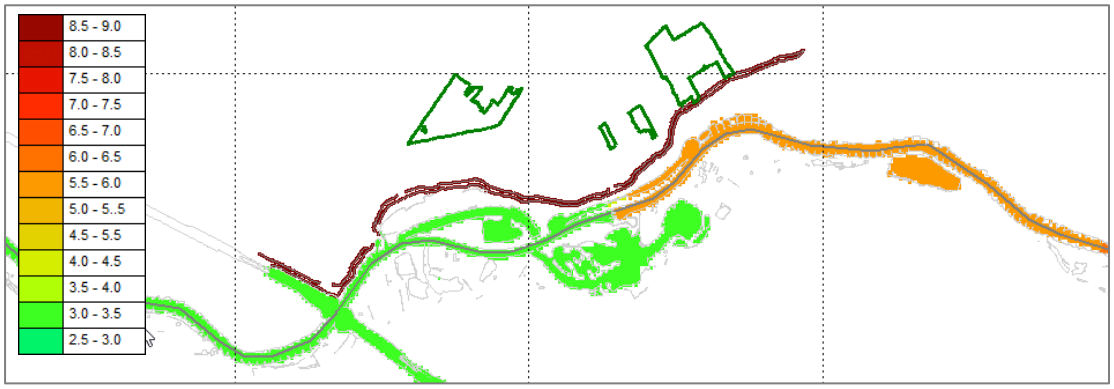
Afbeelding 5.7 Effect (m) op GVG (L1) voor basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HFB2-NS – REF2_BAS-NS).



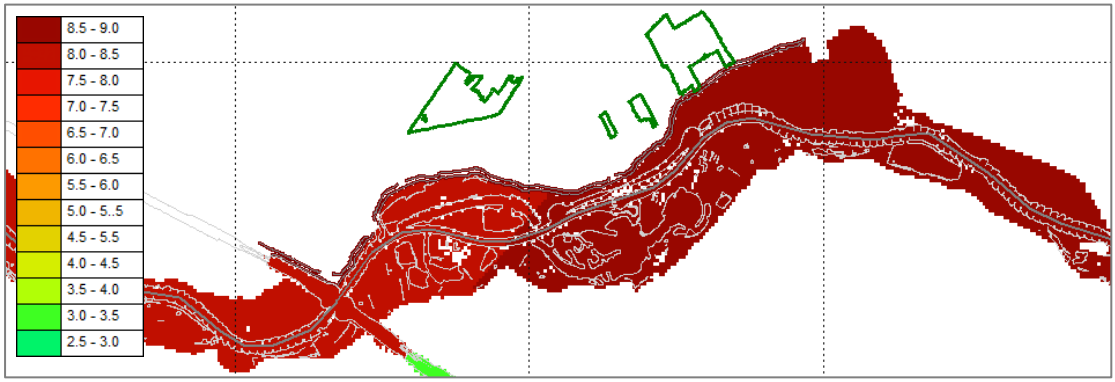
Afbeelding 5.8 Effect (m) op GLG (L1) voor basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HFB2-NS – REF2_BAS-NS).

5.2.3 Effect tijdens hoogwater

Om het effect tijdens een hoogwatersituatie te bepalen zijn de maatregelen stationair doorgerekend voor een hoogwatersituatie en vergeleken met een referentiesituatie voor dezelfde hoogwatersituatie. Hiervoor is uitgegaan van een rivierpeil van ongeveer 8,5 m+NAP boven het stuw- en sluiscomplex van Amerongen. Dit is afgeleid van een aangeleverd Hydra-puntenbestand (scenario Pl2050WpC), waarbij dit peil ongeveer overeenkomt met een situatie die eens per 10 jaar op treedt. De beschikbare peilen liggen langs de dijk en zijn ten behoeve van de berekening geëxtrapoleerd binnen de uiterwaarden. Het resulterende rivierpeil loopt op bovenstrooms van de stuw en neemt af benedenstrooms van de stuw. Vrijwel de hele uiterwaard is hierbij geïnundeerd, zie afbeelding 5.10.



Afbeelding 5.9 Rivierpeil (m+NAP) in normale referentiesituatie

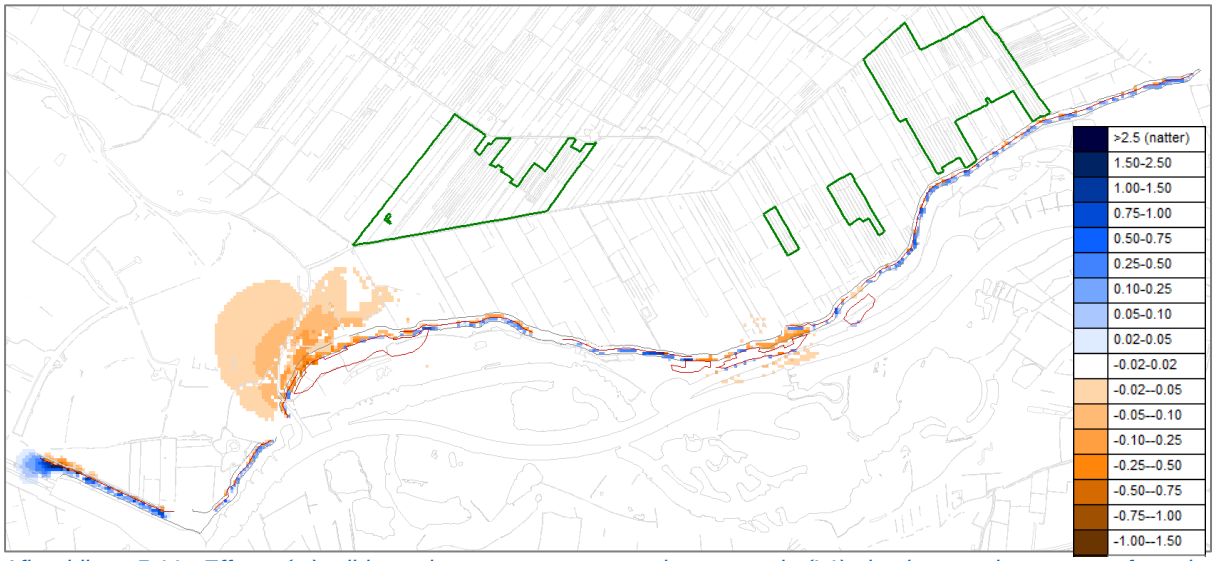


Afbeelding 5.10 Rivierpeil (m+NAP) in tijdens hoogwater

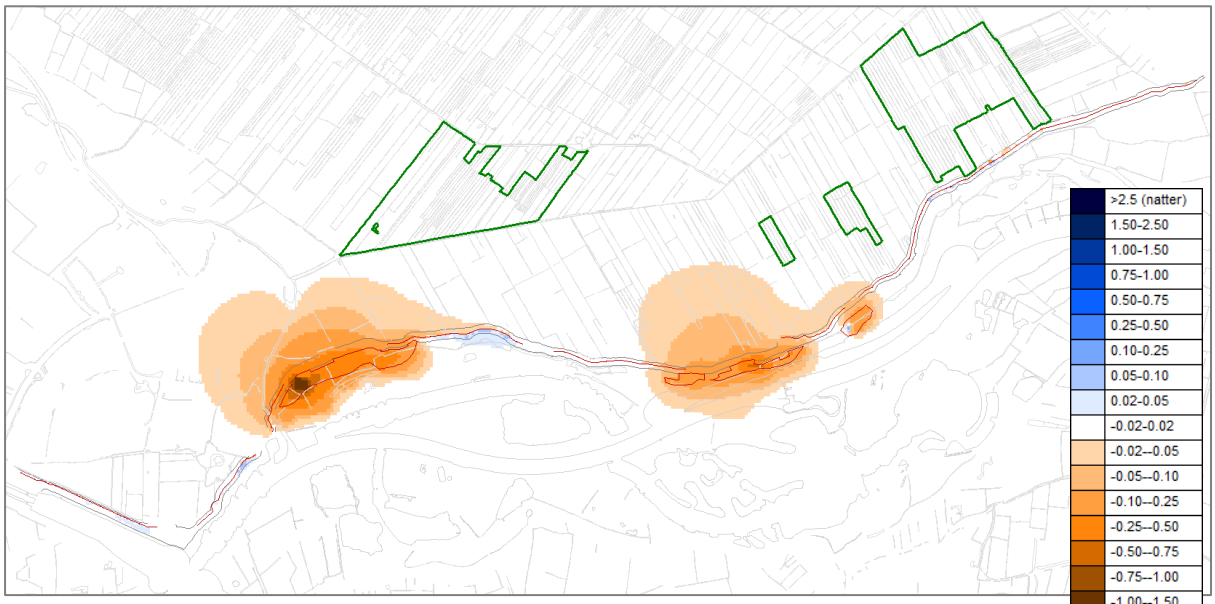
In afbeelding 5.11 tot en met afbeelding 5.14 zijn de effecten van de maatregelen tijdens een hoogwatersituatie weergegeven voor de freatische grondwaterstand, de stijghoogte in het watervoerende pakket, kwelflux en afvoer. Het effect van hoogwater op de grondwaterstand, ten opzichte van de gemiddelde situatie, is weergegeven in bijlage 2.

Er is buitendijks geen freatisch effect doordat het rivierpeil daar tijdens hoogwater niet anders wordt door de maatregelen. In het watervoerende pakket is er wel een buitendijks effect: door de klei-inkassing zal er daar minder water wegzijgen naar het watervoerende pakket, zodat de stijghoogte daar en in de omgeving iets lager wordt. Dit zorgt weer voor een iets lagere binnendijkse kwelflux ter hoogte van de locaties met een klei-inkassing. Dit wordt daarbij gemitigeerd door de aanwezigheid van de Kromme Rijn die door deze zone heen loopt.

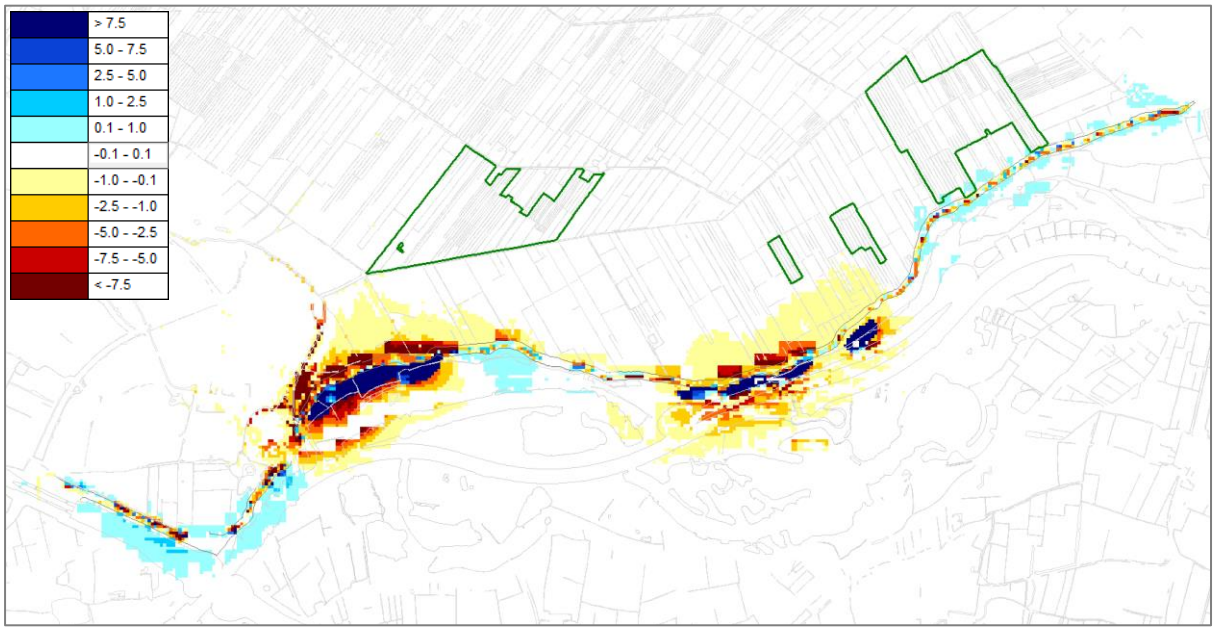
De verhoogde kwel in het noordoosten aan beide zijden van de dijk is te verklaren door de aanwezigheid van de damwanden. Deze beperken de ondiepe, horizontale stroming (van buiten- naar binnendijks) waardoor buitendijks de freatische grondwaterstand iets stijgt en binnendijks tijdens hoogwater juist de stijghoogte in het watervoerende pakket wat meer stijgt dan freatisch, waardoor de kwel (en daarmee de afvoer) daar wat toeneemt.



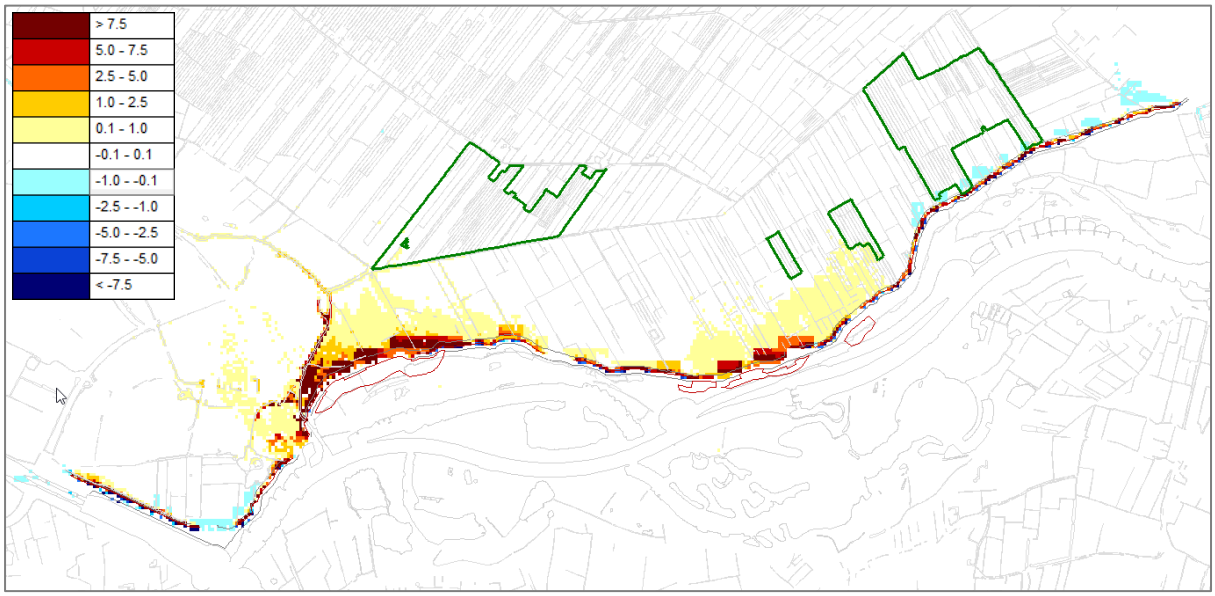
Afbeelding 5.11 Effect (m) tijdens hoogwater op grondwaterstand (L1) basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HW85 – REF2_HW85)



Afbeelding 5.12 Effect (m) tijdens hoogwater op stijghoogte (L3) basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HW85 – REF2_HW85)



Afbeelding 5.13 Effect (mm/d) tijdens hoogwater op kwelflux (L1) basisscenario t.o.v. referentie (SCEN2A_HW85 – REF2_HW85)



Afbeelding 5.14 Effect (mm/d) tijdens hoogwater op de afvoer van het basisscenario t.o.v. de referentie (SCEN2A_HW85 – REF2_HW85)

5.3 Effect variant

Aanvullend op het basisscenario is een variant doorgerekend waarbij een vijftal binnendijks gelegen kopsloten zijn gedempt, zie afbeelding 4.3 voor de ligging. Zie afbeelding 5.15 voor het maximum van het stationair en niet-stationair berekende effect. Het dempen geeft, conform verwachting, een lokale vernatting. Het is effect is echter zeer beperkt wat samenhangt met de relatief grote weerstand tussen de sloot en het grondwater, onder andere door aanwezigheid van rivierklei.

Afbeelding 5.15 Effect (m) op de freatische grondwaterstand door dempen kopsloten (SCEN2B_BAS–REF2_BAS)

6 Conclusies

Op basis van de grondwatermodellering en de effectberekeningen worden de volgende conclusies getrokken:

- Het stationaire grondwatermodel geeft een beperkte, acceptabele afwijking tussen gemeten en berekende stijghoogten (over het algemeen kleiner dan 20 cm).
- Het stationair model berekent een afvoer voor de peilgebieden ten noorden van het dijktracé die goed overeenkomt met de gemeten afvoer bij stuw KW102012 (zie paragraaf 3.5.3).
- Het stationaire model berekent een kwelflux die goed overeenkomt met kwelgegevens zoals beschreven in de beheerplannen van diverse natuurgebieden (zelfde orde van grootte in millimeters, zie paragraaf 3.5.2).
- Het niet-stationaire model geeft over het algemeen een beperkte, acceptabele gemiddelde afwijking tussen gemeten en berekende stijghoogten in het gebied rond het dijktracé (over het algemeen kleiner dan 20 cm).
- Het niet-stationaire model berekent de GHG en GVG voor verschillende peilfilters wat te hoog. De verwachting is dat de berekende effecten op de GHG/GVG daarmee iets zijn overschat (zie paragraaf 5.2.2).
- De berekende effecten van het basisscenario, bestaande uit damwanden en klei-inkassing, op de freatische grondwaterstand, zijn over het algemeen beperkt aan de binnendijkse zijde, zowel in de gemiddelde stationaire en niet-stationaire situatie als in een hoogwatersituatie (zie paragraaf 5.2 en 5.3):
    - Voor de westelijke klei-inkassing tot 5 cm verdroging in de GHG- en GVG-situatie op 250 m van de dijk. Geen binnendijks effect in de GLG situatie.
    - Minder dan 2 cm vernatting bovenstrooms van het stuw- en sluiscomplex tot 200 m van de dijk.
    - Ter plaatse van damwanden minder dan +/- 5 cm tot op 25 m van de dijk.
    - Tijdens hoogwater +/- 5 cm verdroging tot 350 m van de dijk oostelijk in Wijk bij Duurstede..
- Vooral de locaties met een klei-inkassing geven lokale binnendijkse effecten: in de gemiddelde (stationaire) situatie betreft dit lokaal een beperkte vernatting (+/- 2cm); tijdens hoogwater en de GHG-situatie betreft dit lokaal enige demping van de binnendijkse vernatting door hoogwater of GHG-situatie.
- De damwanden geven een beperkt effect doordat grondwater er nog onderdoor kan stromen. De damwanden sluiten de watervoerende zandlaag (eerste watervoerende pakket), boven de slecht doorlatende kleilaag uit de Formatie van Waalre (WAk1) namelijk niet af.
- Het effect op het patroon van kwel/wegzijging reikt over het algemeen verder dan het effect op de stijghoogte. Met name de locaties met klei-inkassing zorgen tijdens hoogwater binnendijks voor enige beperking (< 0,5 mm) van de kwelflux tot op maximaal 500 m van de dijk, buiten de N2000-gebieden (zie afbeelding 5.13).
- Er worden in de gemiddelde, stationaire situatie en in de GHG-, GVG of GLG-situatie geen veranderingen berekend van de stijghoogte (groter dan 2cm) of van de kwelflux (groter dan 0,1 mm/d) die tot in de binnendijkse N2000-geieden reiken. Tijdens hoogwater wordt een beperkte verhoging van de kwelflux berekend (kleiner dan 0,2 mm/d), tot ongeveer 100m vanaf de dijk bij Kolland.
- Voor het dempen van enkele binnendijks gelegen kopsloten wordt slechts een beperkt, lokaal effect berekend (kleiner dan 10 cm op 25 m afstand van de sloot).

Literatuur

De volgende literatuur is gebruikt bij de in dit rapport beschreven werkzaamheden:

- Artesia, Brakenhoff D., Tollenaar D., Bouwsteen Oppervlaktewater, in opdracht van: Vitens, 9 oktober 2020, https://github.com/ArtesiaWater/UGW
- Delgromij, Brochure Sandenburgerwaard, Delgromij, K3, Utrechts Landschap, 2019 https://www.k3.nl/sites/default/files/2020-12/Brochure_Sandenburgerwaard.pdf
- Deltares, Vermeulen, P.T.M, et al, iMOD User Manual 5.3, 30 juli 2021, http://oss.deltares.nl/web/imod/home.
- Deltares, De Lange W., Borren W., Grondwatermodel AZURE versie 1.0, april 2014, AZURE-consortium
- Provincie Utrecht, Beheerplan 2019-2025 Kolland en Overlangbroek, https://www.provincie-utrecht.nl/sites/default/files/2020-03/beheerplan_2019-2025_kolland_en_overlangbroek.pdf
- RHDHV/Sweco, Swierstra W., van der Hauw J.K., Schunselaar S., Lagenmodel AZURE+UGM, in opdracht van: AZURE -consortium en HDSR, 3 juni 2021, BH4617WATRP2106021806
- RHDHV, Engel W., Wachtendonk A. van, Avis L., MORIA v4.5 Niet stationair, 19 juli 2019, Waterschap Rivierenland
- RHDHV, Engel W, van Steijn T., Update tijdsafhankelijke parameters AMIGO (ISG-tool), 17 augustus 2017, Waterschap Rijn en IJssel
- Stichting Het Utrechts Landschap, Beheerplan 2011-2021 Amerongse Bovenpolder en Amerongse Bos https://utrechtslandschap.nl/l/library/download/urn:uuid:df915fa8-34af-46c0-95fd-f44034f1670e/beheerplan+amerongse+bovenpolder+en+amerongse+bos.pdf
- Sweco, van der Hauw J.K., Sweco iMOD Framework (SIF-basis), 22 oktober 2019, SWNL0251036
- TNO, Stafleu, J. et al, Totstandkomingsrapport GeoTOP, 3 dec. 2019, TNO 2019 R11655
- TNO, Hummelman J. et al, Totstandkomingsrapport Hydrogeologisch Model (REGIS II), 6 dec. 2019, TNO 2019 R11654

Internet:

- Google Drive voor data UGW-Bouwsteen Oppervlaktewater: https://github.com/ArtesiaWater/UGW
- HDSR - Open Data Portaal: https://data-hdsr.opendata.arcgis.com
- Peilgebieden HDSR-portaal 2020: https://data-hdsr.opendata.arcgis.com/datasets/peilgebieden/explore
- Peilbesluit Langbroekerwetering 2020: https://www.hdsr.nl/buurt/peilbesluiten/peilbesluit-2
- Ontwerp peilbesluit Langbroekerwetering (2020) pdf: https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2020-32141/1/bijlage/exb-2020-32141.pdf
- NHI Dataportaal (buisdrainage en grondwateraanvulling): www.nhu.nu
- REGIS II v2.2, GeoTOP, boringen en peilbuizen: DINOloket (www.dinoloket.nl)
- Waterschadeschatter maaiveld: https://www.waterschadeschatter.nl

Bijlage 1. Modelanalyse en -aanpassingen

In deze bijlage zijn de niet-triviale modelaanpassingen beschreven die hebben geleid tot het verbeterde model. Zie tabel 3.2 voor een overzicht van de modelaanpassingen die hier nader zijn toegelicht. In tabel 3.3 en B1.2 zijn de residuen te zien, rondom het interessegebied resp. in het totale modelgebied, na de diverse aanpassingen. Daarnaast zijn in afbeeldingen B1.7 tot en met B1.12 kaarten met de relatieve verbetering van de modelresiduen getoond voor een aantal van de modelaanpassingen. Hiervoor is per peilbuis het verschil tussen het absolute modelresidu voor en na de modelaanpassing getoond. Dit geeft een ruimtelijk beeld van de modelverbeteringen.

Lagenmodel (BASIS0)

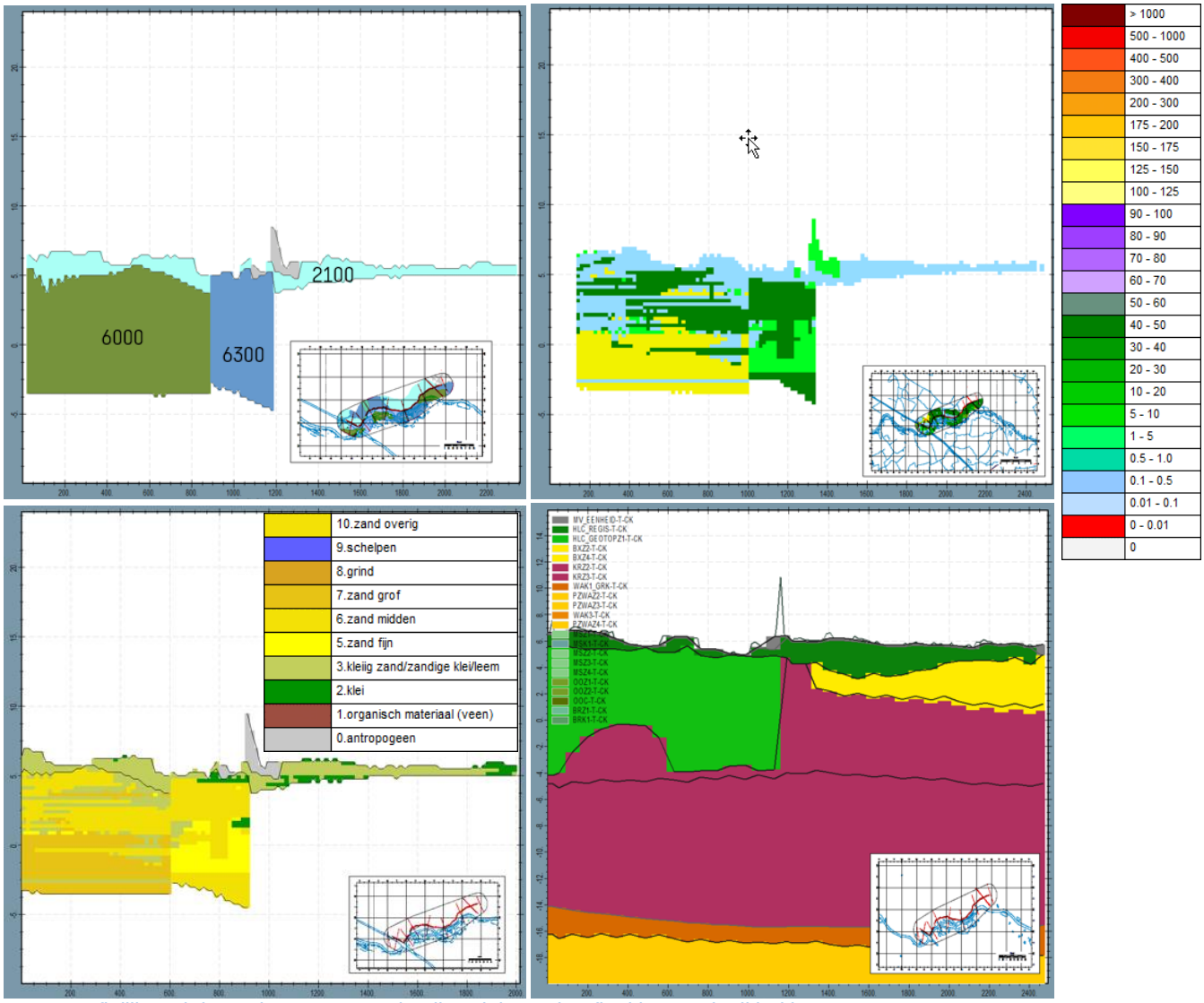
De eerste stap betreft het afleiden van een lagenmodel o.b.v. REGIS en GeoTOP (TNO, 2019) met behulp van de workflow die voor AZURE+UGM is ontwikkeld (RHDHV/Sweco, 2021). Hierbij zijn de relevante slecht doorlatende lagen opgenomen in een aparte modellaag en zijn zandige lagen daartussen samengenomen om het aantal modellagen te beperken. Boven de Holocene deklaag is een zogenaamde maaiveldeenheid opgenomen met een minimale dikte van 10 cm om enige horizontale stroming in/over de kleilaag in het mogelijk te maken.

Tabel B1.1 Linktabel tussen REGIS en modellagen 1 t/m 8 van het 12-laags WAM-model

Nr	Naam	Type	Percentage	Laag	Part	AvgK	KVA	SHD
1	MV_eenheid	Aquifer	100	1	1	8,55	KVA_L1	SHD_LHM41_L1.IDF
2	HLc_regis	Aquitard	67,8	-1	1	0,47	1	SHD_LHM41_L1.IDF
3	HLc_geotopZ1	Aquifer	46,5	2	1	2,72	0,2	SHD_LHM41_L1.IDF
4	DTc_z3	Aquifer	2,13	2	1	20,00	KVA_DTC	SHD_LHM41_L4.IDF
5	HLc_geotopk2	Aquitard	22,11	-2	1	1,13	1	SHD_LHM41_L1.IDF
6	HLc_geotopZ2	Aquifer	3,13	-2	1	0,89	1	SHD_LHM41_L1.IDF
7	HLc_geotopk3	Aquitard	2,07	-2	1	0,35	1	SHD_LHM41_L1.IDF
8	bxz2	Aquifer	31,5	3	1	5,47	0,2	SHD_LHM41_L2.IDF
10	bxz3	Aquifer	26,89	3	1	5,30	0,2	SHD_LHM41_L2.IDF
11	bxz4	Aquifer	32,57	3	1	5,54	0,2	SHD_LHM41_L2.IDF
12	DTc_z4	Aquifer	8,32	3	1	20,00	KVA_DTC	SHD_LHM41_L4.IDF
13	krz2	Aquifer	77,52	4	1	63,05	0,2	SHD_LHM41_L2.IDF
14	krz3	Aquifer	81,25	4	1	65,54	0,2	SHD_LHM41_L2.IDF
16	eez1	Aquifer	0,13	4	1	14,85	0,2	SHD_LHM41_L2.IDF
17	eez2	Aquifer	0,13	4	1	16,13	0,2	SHD_LHM41_L2.IDF
18	eez3	Aquifer	0,13	4	1	13,10	0,2	SHD_LHM41_L3.IDF
19	drz1	Aquifer	10,29	4	1	21,14	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
21	drz2	Aquifer	8,39	4	1	23,32	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
23	drz3	Aquifer	9,91	4	1	23,85	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
24	DTc_z5	Aquifer	18,37	4	1	20,00	KVA_DTC	SHD_LHM41_L4.IDF
25	DTc_glijvlak	Aquitard	18,38	-4	1	0,00002	1	SHD_LHM41_L4.IDF
26	urz1	Aquifer	6,57	5	1	55,81	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
27	urz3	Aquifer	6,57	5	1	56,45	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
28	urz4	Aquifer	6,59	5	1	56,16	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
29	urz5	Aquifer	6,58	5	1	57,73	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
30	stz1	Aquifer	26,82	5	1	38,65	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
32	stz2	Aquifer	30,13	5	1	38,69	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
33	pzwaz1	Aquifer	7,2	5	1	19,02	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
34	WAk1_grk	Aquitard	70,59	-5	1	0,01	1	SHD_LHM41_L4.IDF
35	pzwaz2	Aquifer	99,98	6	1	37,89	0,2	SHD_LHM41_L4.IDF
36	wak2	Aquitard	31,89	-6	1	0,01	1	SHD_LHM41_L4.IDF
37	pzwaz3	Aquifer	100	7	1	49,18	0,2	SHD_LHM41_L5.IDF
38	wak3	Aquitard	87,69	-7	1	0,02	1	SHD_LHM41_L5.IDF
39	pzwaz4	Aquifer	97,91	8	1	32,1206	0,2	SHD_LHM41_L6.IDF

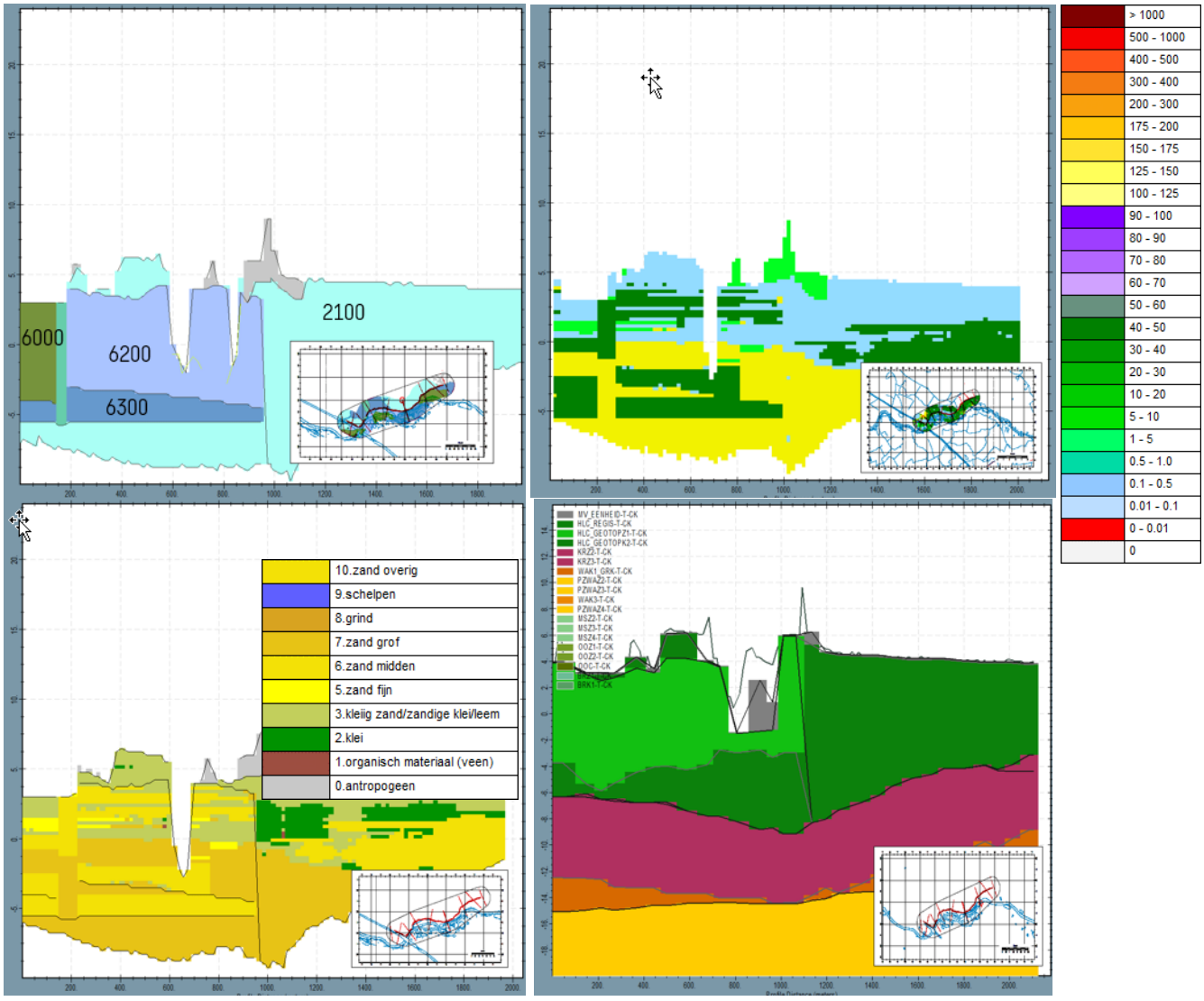
Nr	Naam	Type	Percentage	Laag	Part	AvgK	KVA	SHD
40	msz1	Aquifer	70,96	8	1	19,1379	0,2	SHD_LHM41_L6.IDF
41	msk1	Aquitard	55,22	-8	1	0,00437	1	SHD_LHM41_L6.IDF

TNO heeft voor het project Sterke Lekdijk een detail GeoTOP-model opgeleverd met 25x25 voxel van 25 cm dikte. Het deelmodel hiervan voor WAM is vergeleken met de schematisatie van het reeds gemaakte lagenmodel. Er blijkt een vrij goede match te zijn. Dit GeoTOP-model is niet opgenomen in het grondwatermodel omdat het gezien de beperkte grootte randeffecten zou geven die voor een regionaal grondwatermodel niet gewenst zijn.

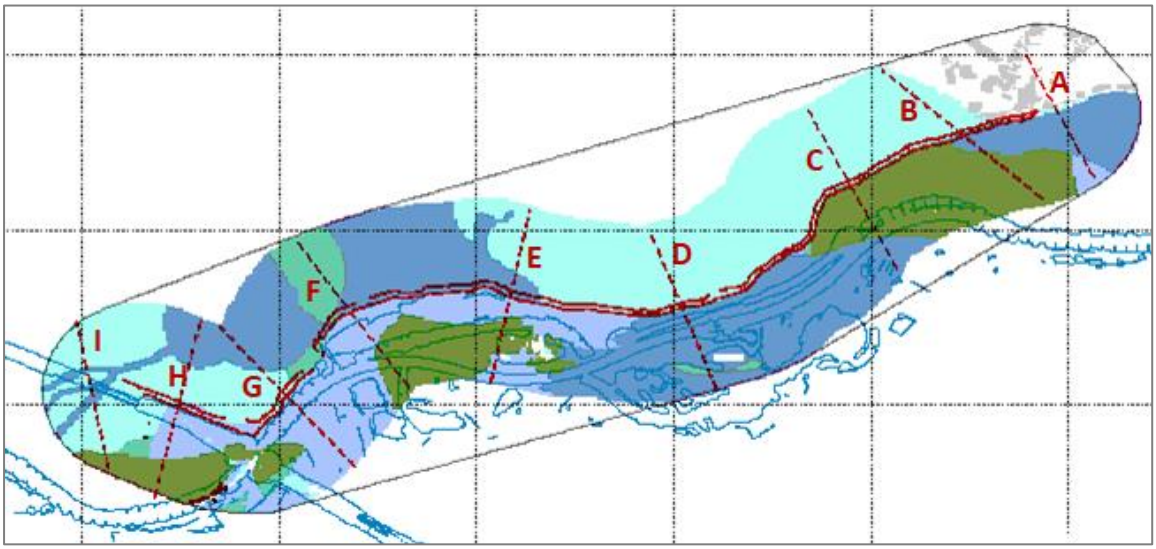


Dwarsprofiellijnen (C) ZN door GeoTOP-detailmodel: stratigrafie, kh-waarde; lithoklasse, REGIS+GeoTOP

Stratigrafie: 2100 (F. v. Echteld); 6300 (DEC, F. v. Echteld, geulafz. Generatie D); 6200 (CEC, F. v. Echteld, Geulafz. Gen. C), 6000 (AEC, F. v. Echteld, Geulafz. Gen. A)



Dwarsprofiellijnen (D) ZN door GeoTOP-detailmodel: stratigrafie, kh-waarde; lithoklasse, REGIS + GeoTOP



Afbeelding B1.1 Dwarsprofiellijnen door TNO GeoTOP-model voor WAM van 0 naar W; stratografie

	ENAWO (6420): F. Naaldwijk, LP Wormer (geulg E)
	ENAWA (6410): F. Naaldwijk, LP Walcheren (geulg E)
	EEC (6400): F. Echteld (geulg E)
	DNAWO (6320): F. Naaldwijk, LP Wormer (geulg D)
	DNAWA (6310): F. Naaldwijk, LP Walcheren (geulg D)
	DEC (6300): F. Echteld (geulg D)
	CNAWO (6220): F. Naaldwijk, LP Wormer (geulg C)
	CNAWA (6210): F. Naaldwijk, LP Walcheren (geulg C)
	CEC (6200): F. Echteld (geulg C)
	BNAWO (6120): F. Naaldwijk, LP Wormer (geulg B)
	BNAWA (6110): F. Naaldwijk, LP Walcheren (geulg B)
	BEC (6100): F. Echteld (geulg B)
	ANAWO (6020): F. Naaldwijk, LP Wormer (geulg A)
	ANAWA (6010): F. Naaldwijk, LP Walcheren (geulg A)
	ABEOM (6005): F. Beegden, LP Oost-Maarland (glg A)
	AEC (6000): F. Echteld (geulg A)
	AK (5330): F. Aken
	VA (5320): F. Vaals
	GU (5310): F. Gulpen
	MT (5300): F. Maastricht
	HO (5290): F. Houthem
	HT (5280): F. Heijenrath
	LA (5270): F. Landen
	DO (5260): F. Dongen
	DOIE (5250): F. Dongen, LP Ieper
	DOAS (5240): F. Dongen, LP Asse
	TO (5230): F. Tongeren
	TOGO (5220): F. Tongeren, LP Goudsberg
	TOZEWA (5210): F. Tongeren, LP Zelzate, L Watervli
	RU (5200): Rupel Formatie
	RUBO (5190): Rupel Formatie, LP Boom
	BR (5180): F. Breda
	VI (5170): F. Ville
	IE (5160): F. Inden
	OO (5150): F. Oosterhout
	KI (5140): Kiezeloöliet Formatie
	MS (5130): F. Maassluis
	PZWA (5120): F. Peize en F. Waalre
	WA (5110): F. Waalre
	PZ (5100): F. Peize
	SY (5090): F. Stramproy
	AP (5080): F. Appelscha
	ST (5070): F. Sterksel
	UR (5060): F. Urk
	PE (5050): F. Peelo
	URTY (5040): F. Urk, LP Tynje
	DN (5030): F. Drachten
	GE (5020): Door landijs gestuwde afzettingen
	DRGI (5010): F. Drente, LP Gieten
	DR (5000): F. Drente

	EEWB (4120): F. Woudenberg en Eem F.
	EE (4110): Eem F.
	WB (4100): F. Woudenberg
	KW (4090): F. Koewacht
	BE (4080): F. Beegden
	BERO (4070): F. Beegden, L Rosmalen
	BEWY (4060): F. Beegden, L Wijchen
	BEOM (4055): F. Beegden, LP Oost-Maarland
	KR (4050): F. Kreftenheye
	KRTW (4040): F. Kreftenheye, LP Twello
	KROE (4030): F. Kreftenheye, onder de Eem F.
	KRZU (4020): F. Kreftenheye, LP Zutphen
	KRBXDE (4010): F. Kreftenheye en F. Boxtel, LP Del
	KRWY (4000): F. Kreftenheye, L Wijchen
	BX (3100): F. Boxtel
	BXBS (3090): F. Boxtel, LP Best
	BXLM (3060): F. Boxtel, LP Liempde
	BXSC (3050): F. Boxtel, LP Schimmert
	BXDEKO (3045): F. Boxtel, LP Delwijnen en Kootwijk
	BXDE (3040): F. Boxtel, LP Delwijnen
	BXWISIKO (3030): F. Boxtel, LP Wierden, Singraven
	BXWIKO (3025): F. Boxtel, LP Wierden en Kootwijk
	BXWI (3020): F. Boxtel, LP Wierden
	BXSI2 (3012): F. Boxtel LP Singraven (onderste dee
	BXSI1 (3011): F. Boxtel LP Singraven (bovenste dee
	BXSI (3010): F. Boxtel, LP Singraven
	BXKO (3000): F. Boxtel, LP Kootwijk
	KK (2030): Kreekrak F.
	NI (2020): F. Nieuwkoop
	EC (2010): F. Echteld
	NA (2000): F. Naaldwijk
	NIBA (1130): F. Nieuwkoop, Basisveen Laag
	NAWOVE (1120): F. Naaldwijk, LP Wormer, L Velsen
	NWNZ (1110): F. Naaldwijk, LP Wormer en Zandvoort
	NAWO (1100): F. Naaldwijk, LP Wormer
	NIHO (1090): F. Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket
	NAWOBE (1080): F. Naaldwijk, LP Wormer, L Bergen
	OEC (1070): F. Echteld (gedeelte boven NIHO)
	BHEC (1060): F. Echteld (gedeelte buiten NIHO)
	NAWA (1050): F. Naaldwijk, LP Walcheren, onder F.
	NINB (1045): F. Nieuwkoop, L Nij Beets
	NAZA (1040): F. Naaldwijk, LP Zandvoort
	ONAWA (1030): F. Naaldwijk, LP Walcheren (gedeelte
	NASC (1020): F. Naaldwijk, LP Schoorl
	NIGR (1010): F. Nieuwkoop, LP Griendtsveen
	AAES (1005): Antropogene afzettingen, esdekken
	AAOP (1000): Antropogene afzettingen, opgebrachte
	NN (0): Niet formeel ingedeelde afzettingen of onb

Grondwateraanvulling (BASIS2_01RCH)

De grondwateraanvulling voor stationaire model is overgenomen van het NHI LHM 4.1 (2011-2018), via het NHI Data portaal. Gaten zijn opgevuld met iMOD-batchfunction XYZTOIDF. De grondwateraanvulling voor het niet-stationaire model is bepaald via MetaSWAP o.b.v. meteorasters van MORIA v4.5.

Vergridding breuklijnen (BASIS2_04HFB)

Om verticale lekkage langs breukvlakken te voorkomen is het van belang om de breuklijnen vooraf aan een modelberekening te vergridden naar de resolutie waarmee de slecht doorlatende lagen zijn geschematiseerd, d.w.z. 100x100m conform REGIS. Wanneer dit achterwege wordt gelaten, vergrid iMOD de breuklijnen naar de voor de berekening gebruikte 25x25m-resolutie, wat niet overeenkomt met de ligging van de slecht doorlatende lagen met resolutie 100x100, waardoor er gaten tussen breukvlak en slecht doorlatende lagen kunnen voorkomen.

Modelinvoer onttrekkingen (BASIS2_06WEL)

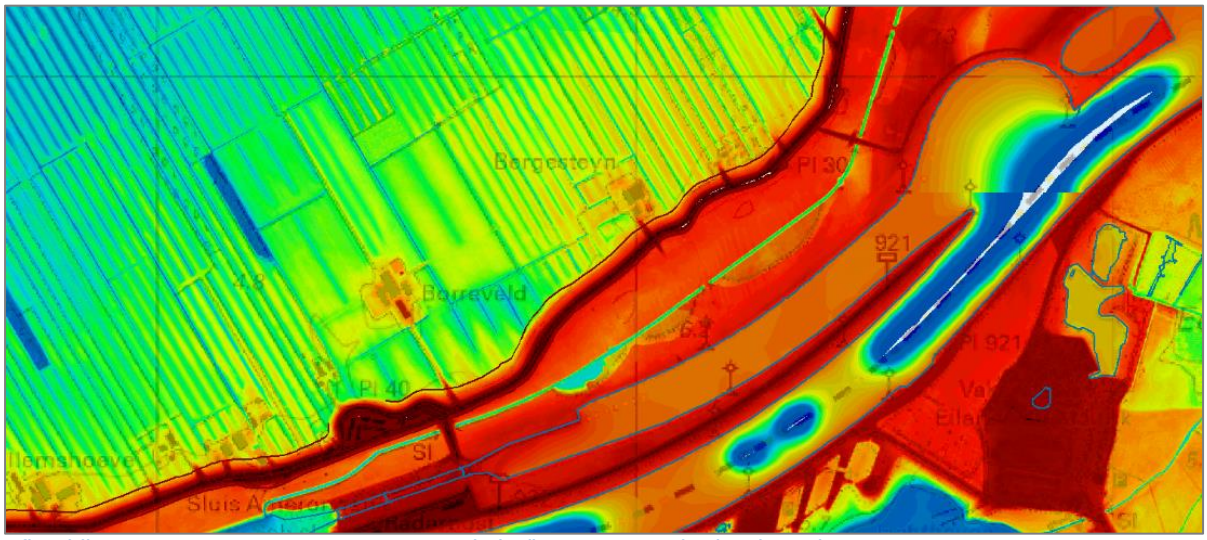
Als onderdeel van de AZURE+UGM-workflow is al een gemiddeld debiet voor de winningen van Vitens verwerkt naar modelinvoer (BASIS0). Dit is aangevuld met modeldata uit AZURE voor onttrekkingen in de Provincies Gelderland en Utrecht.

Oppervlaktewater (BASIS5_01RIV)

De stationaire en niet-stationaire modelinvoer voor de Rijkswateren is bepaald met behulp van de ISG-tool die door RHDHV en Deltares is ontwikkeld voor de grondwatermodellen MORIA, AMIGO en AZURE (RHDHV, 2017). Deze tool maakt gebruikt van metingen van Rijkswaterstaat, die worden geïnterpoleerd binnen de contouren van de rivierbedding, waarbij ook rekening wordt gehouden met inundatie in de uiterwaarden.

Voor de overige waterlopen is gebruik gemaakt van de UGW-Bouwsteen Oppervlaktewater die in opdracht van Vitens is ontwikkeld door Artesia en die gebruikt van openbaar beschikbare data van de waterschappen (Artesia, 2020). Hierbij is gebruik gemaakt van door Artesia aangeleverde shapefiles met de betreffende data (waterareas.shp via Google Drive Artesia). Deze shapefiles bevatten polygonen met de ligging van alle waterlopen met indien bekend peilen en bodemniveau. De peilen in het interessegebied komen hierbij grotendeels uit het peilbesluit, zoals beschikbaar in het Open Data Portaal van HDSR, waarbij onderscheid wordt gemaakt in zomerpeil, winterpeil of bovenpeil (indien er geen wateraanvoer mogelijk is). Deze gegevens zijn vergrid naar de 25x25m-cellen van het model, waarbij er, specifieke aandacht is besteed aan de aggregatie van meerdere waterlopen binnen een cel en het voorkomen van gaten (eilanden) in vlakken, gezien de grote dichtheid van kleine waterlopen. In eerste instantie is er van uitgegaan dat de waterlopen niet infiltreren. Wanneer er geen waterpeil of bodemhoogte bekend is, zijn deze geschat o.b.v. het maaiveldniveau van de Waferschadeschatter (AHN3-WSS) met resolutie 5x5. Per 25x25m-cel is het laagste niveau uit de corresponderende 5x5m-cellen geselecteerd en gebruikt als peil voor de betreffende 25x25m-cel. Vergelijking met een AHN3-WSS 1x1m-grid laat zien dat dit een redelijke benadering geeft. Bij overlap wordt het gewogen gemiddelde bepaald naar rato van het wateroppervlak.

Op basis van het totale oppervlak van waterlopen binnen een cel en een initiële schatting van de intreeweerstand van 1 dag, is de conductance bepaald die benodigd is als modelinvoer.

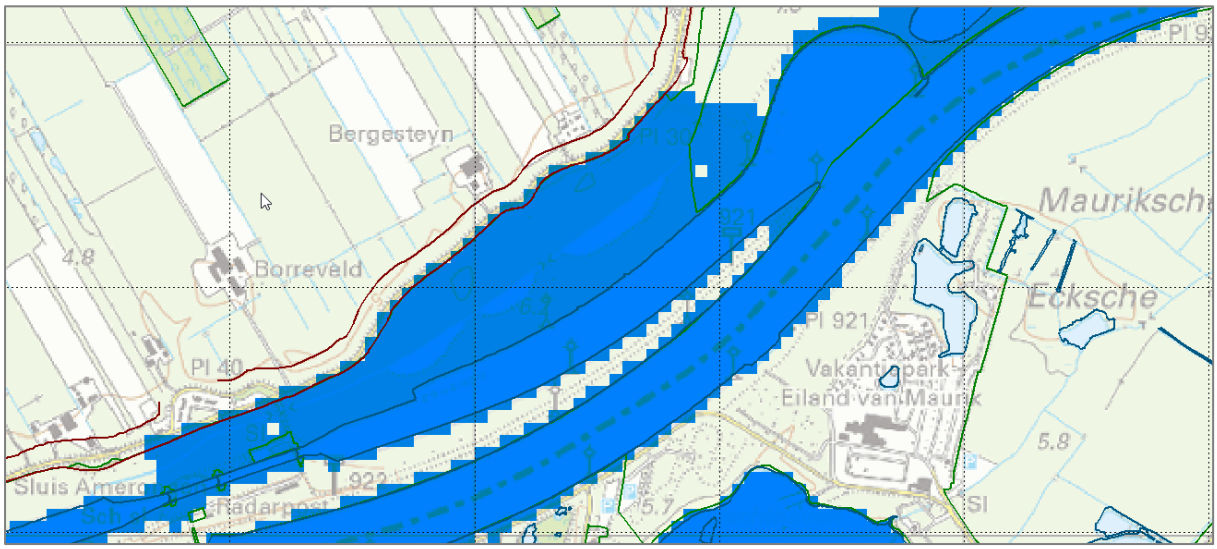


Afbeelding B1.2 AHN3-WSS met 1x1m resolutie (bron: Waterschadeschatter)

Correcties Oppervlaktewater (BASIS5_02RIV)

Voor een juiste verdeling van de conductance over de modellagen is gerekend met PRJ-files en de iMOD-optie DEFLAYER=1.

Correctie inundatiezone in uiterwaard aan noordzijde Lek
In de stationaire rivierpeilen die zijn verkregen via de ISG-tool kwam een verdachte zone met inundatie in de uiterwaarden voor ten noorden van de Lek, net bovenstrooms van het stuw- en sluiscomplex, zie onderstaande afbeelding. In een gemiddelde situatie wordt hier geen inundatie verwacht. De stationaire en niet-stationaire grids met rivierpeilen zijn hierop aangepast.



Afbeelding B1.3 Cellen (blauw) met rivierpeilen in gemiddelde, stationaire situatie

Correctie infiltratiezone ten zuidwesten van de Gooyerwetering
HDSR heeft aangegeven dat grofweg voor de waterlopen in het gebied ten zuidwesten van de Gooyerwetering wateraanvoer mogelijk is. In deze zone is de infiltratiefactor in het model aangepast zodat infiltratie mogelijk is.

Correctie bodemhoogten plassen en uiterwaarden
De bodemhoogte van de zandwinplassen ten zuiden van het WAM-tracé zaten niet goed in het model, slechts zeer ondiep. Een duikcentrum uit Eindhoven (https://duikcentrumeindhoven.nl/Event/eiland-van-maurik-maurik-2) geeft aan dat de diepte van de plas 35m is. Daarnaast is daar aangegeven dat de bodem langzaam afloopt tot een diepte van ongeveer 10 m, waarna het ineens hard gaat tot zo'n 25 meter en dan weer langzamer naar 35 meter diepte. De bodemhoogte in het model is hierop aangepast. Daarnaast is ook de diepte van de zandwinplas bij Elst verdiept o.b.v. een bathymetriegrid van Rijkswaterstaat. Tenslotte is het bodemniveau van de Put van Schoonhoven in het zuidwesten van de Amerongse Bovenpolder aangepast naar ongeveer 15m diepte.

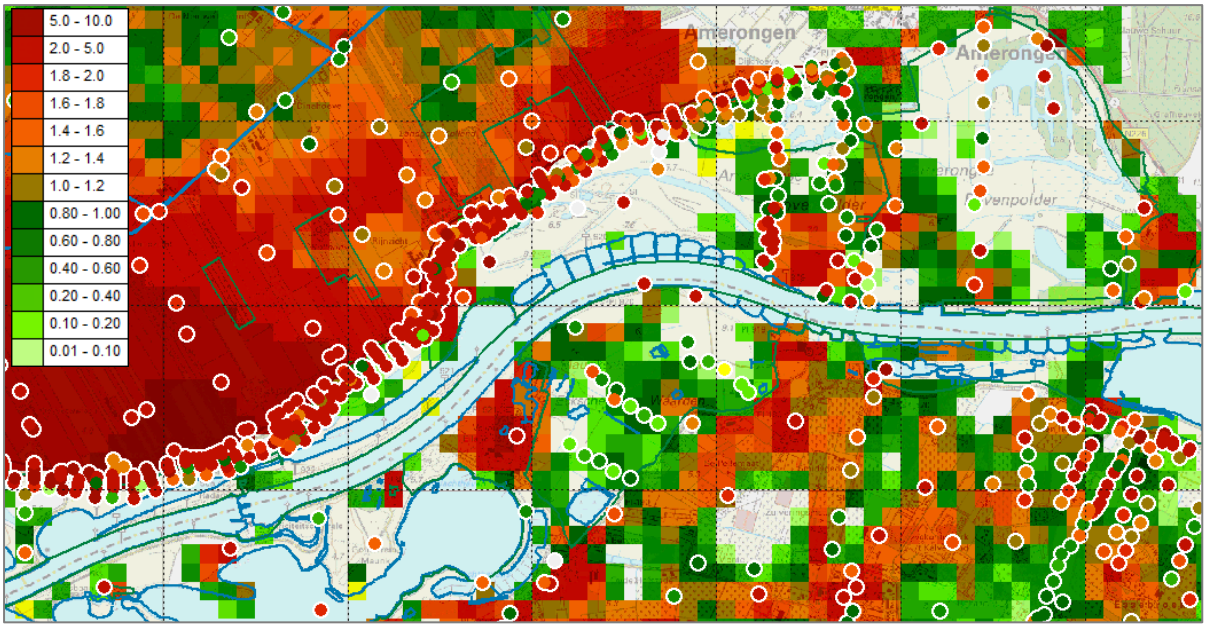
Correctie peilen landgoederen en natuurgebieden o.b.v. peilbesluiten/HDSR-data
Ter plaatse van de landgoederen Langbroekerwetering, (Oud) Kolland, Boekhuizen en in de Amerongse Bovenpolder is door HDSR lokale peildata aangeleverd. Hiermee en op basis van metingen, beheerplannen en peilbesluiten is het oppervlaktewaterpeil lokaal nauwkeuriger in het model verwerkt. Dit gaf daar een duidelijke modelverbetering en een betere overeenkomst met grondwaterstandsmetingen.

Correctie peilen op flank stuwwal (m.b.t. BOVENPEIL);
Op de flank van de stuwwal is voornamelijk een bovenpeil gedefinieerd. In de waterareas-shapefile leek het peil echter regelmatig niet te kloppen. Het bleek dat het bovenpeil geheel niet was meegenomen. Er is als onderdeel van deze aanpassing alsnog gebruik gemaakt van het bovenpeil uit het HDSR Open Dataportaal.

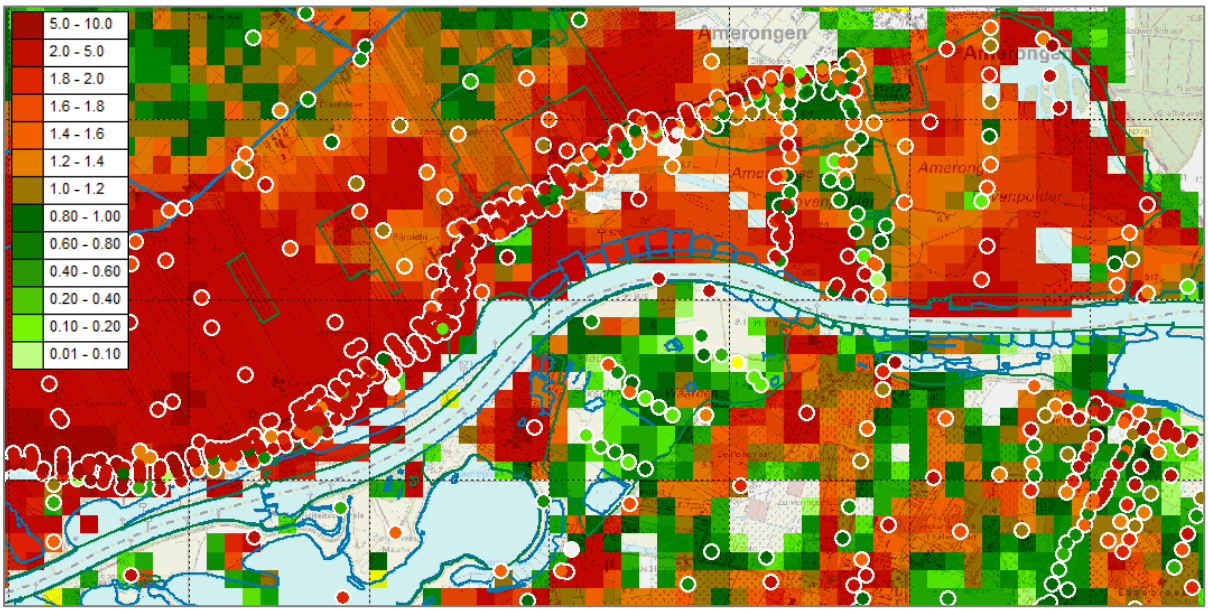
Correctie peil sluiscomplex: binnen sluis gemiddelde niveau
Het gemiddelde peil in het model ter plaatse van de sluis zat op 6 m+NAP, terwijl dit ook een deel van de tijd lager zal zijn. Het peil gemiddelde is hier aangepast naar 4,5m +NAP, wat een betere overeenkomst gaf met ten noorden van de sluis gelegen peilbuizen, waarvoor het model een te hoge grondwaterstand berekent.

Correctie deklaag o.b.v. DINOloket en WAM-boringen (BASIS5_03DEKL)

Naar aanleiding van boringen uit DINOloket en lokale boringen voor het WAM-project is de dikte van de deklaag in de uiterwaard gecorrigeerd. Hiervoor is per boring de totale dikte aan ondiepe klei of leem gesommeerd en ruimtelijk geïnterpoleerd. Ondiepe boringen, die niet tot in het onderliggende zand reiken, zijn hierbij alleen gebruikt bij de interpolatie om een minimale dikte te geven. Ook is de dikte van de deklaag ten noordwesten van het sluis- en stuwcomplex verkleind. Deze was in REGIS/GeoTOP aanzienlijk dikker dan de boringen aangaven. Beide aanpassingen zijn zichtbaar in onderstaande afbeeldingen B1.4 en B1.5, waarin de deklaagdikte voor en na aanpassing zichtbaar zijn, inclusief de dikte die uit de boringen volgt.



Afbeelding B1.4 Dikte (m) deklaag o.b.v. REGIS/GeoTOP (grid) + boringen DINOloket + WAM



Afbeelding B1.5 Dikte (m) deklaag na correctie o.b.v. boringen DINOloket + WAM

Correctie OLF-niveau (BASIS5_04OLF)

Het maaiveldafvoerniveau is gecorrigeerd zodat het overal 2cm boven maaiveldniveau en oppervlaktewaterpeil ligt, zoals gecorrigeerd tijdens de eerdere aanpassingen. Voor de riviercellen is een NoData-waarde gebruikt

Aanpassing vaste stijghoogten op modelrand (BASIS5_05SHD)

In eerste instantie zijn de berekende stijghoogten van LHM v4.1 gebruikt als vaste stijghoogten (SHD-waarden) op de modelrand. Deze zijn opgenomen als onderdeel van de AZURE+UGM-workflow. In plaats hiervan zijn de berekende stijghoogten gebuikt van een eerdere versie van het 3D-model, met een ruimer extent. Dit gaf een verbetering van de SHD-residuen (afwijking SHD-waarden t.o.v. metingen) langs de noordelijke modelrand.

Modelkalibratie (BASIS5_06KAL)

Er is een handmatige kalibratie uitgevoerd op modelresiduen voor een aantal onzekere modelparameters, namelijk de conductance van de waterlopen en de kv-waarden van de deklaag en de weerstand onder de stuwwal.

In een eerste stap (01RIVCOND is de conductance van de waterlopen aangepast o.b.v. een handmatige gevoeligheidsanalyse. De conductance geeft de doorlatendheid van de waterloopbodem/-wand en is bepaald door het natte oppervlak (o.b.v. de shapefile) te delen door de intreeweerstand (initieel: 1 dag). Dit heeft geleid tot de volgende kalibratiefactoren:

- Een factor 0.1 voor de gebieden waar de bodemkaart 1:50.000 klei aangeeft.
- Een factor 0.5 voor de waterlopen in de Amerongse Bovenpolder
- Een factor 0.1 voor de overige waterlopen in de uiterwaarden
- Een factor 0.25 voor alle overige waterlopen

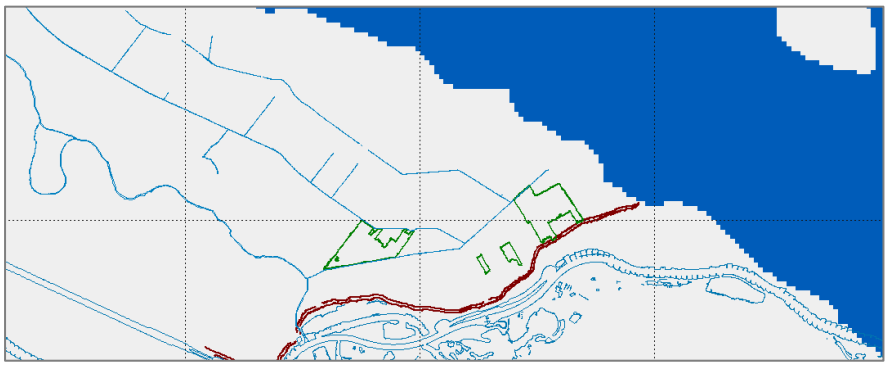
Dit geeft een aanzienlijke verbetering van de residuen, zoals getoond in afbeelding B1.9.

Vervolgens is de conductance aangepast (02RIVCOND) o.b.v. inzichten over de intreeweerstand uit het 2D-model:

- Voor de Hank is uitgegaan van een weerstand van 2 dagen
- Voor de Kromme Rijn is uitgegaan van een weerstand van 2 dagen
- Voor de Lek is uitgegaan van een weerstand van 2 dagen
- Voor de jachthaven is uitgegaan van een weerstand van 1000 dagen
- Voor de voorhaven in het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) is uitgegaan van een weerstand van 20 dagen
- Voor het Amsterdam-Rijnkanaal is uitgegaan van een weerstand van 100 dagen.

De initiële ARK-weerstand was hier +/- 80 dagen na de sluis en 15 dagen in de voorhaven.

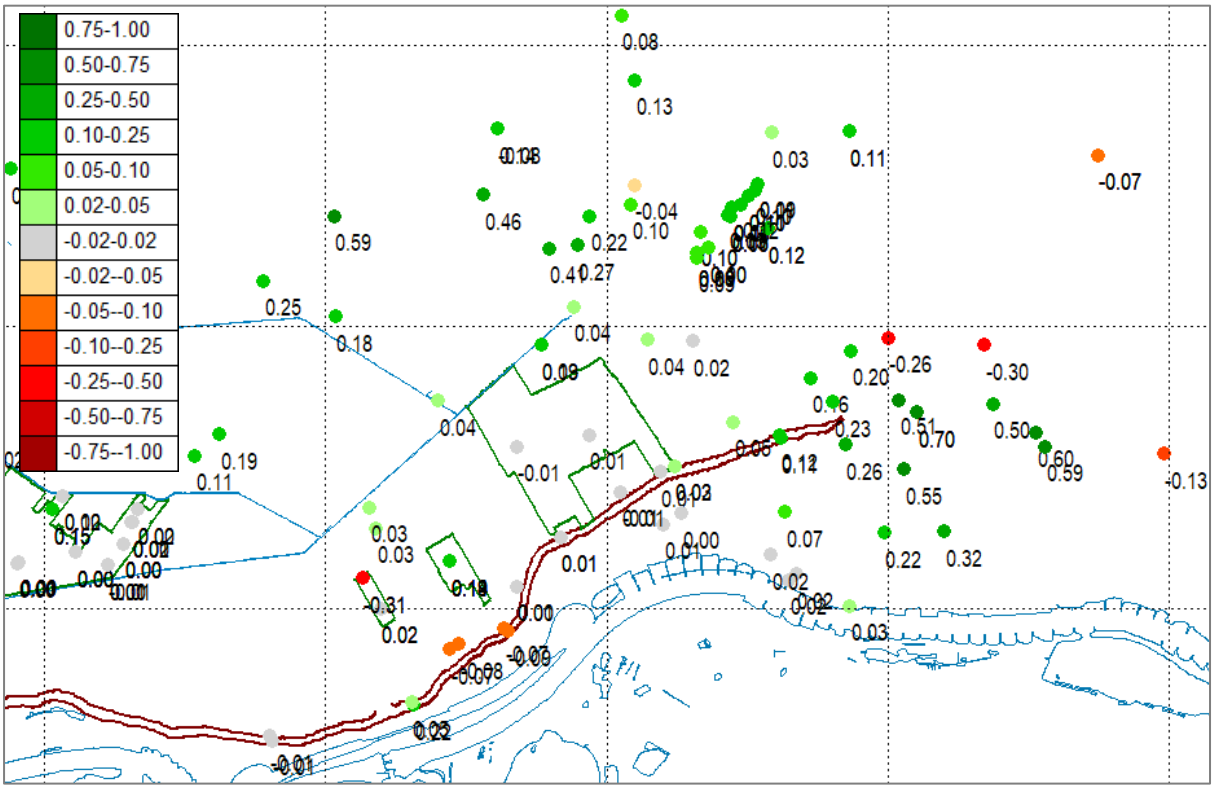
In een derde stap (03KVV-DTc) is de weerstand onder de Utrechtse Heuvelrug (zie afbeelding B1.6) verlaagd met een factor 10. In het initiële model, zoals afgeleid met de AZURE+UGM-workflow, was er hier onder de stuwwal (het zogenaamde glijvlak) een weerstand van 5000 dagen opgenomen. Verlaging naar 500 dagen gaf een aanzienlijke verbetering van de residuen, zie afbeelding B1.11.



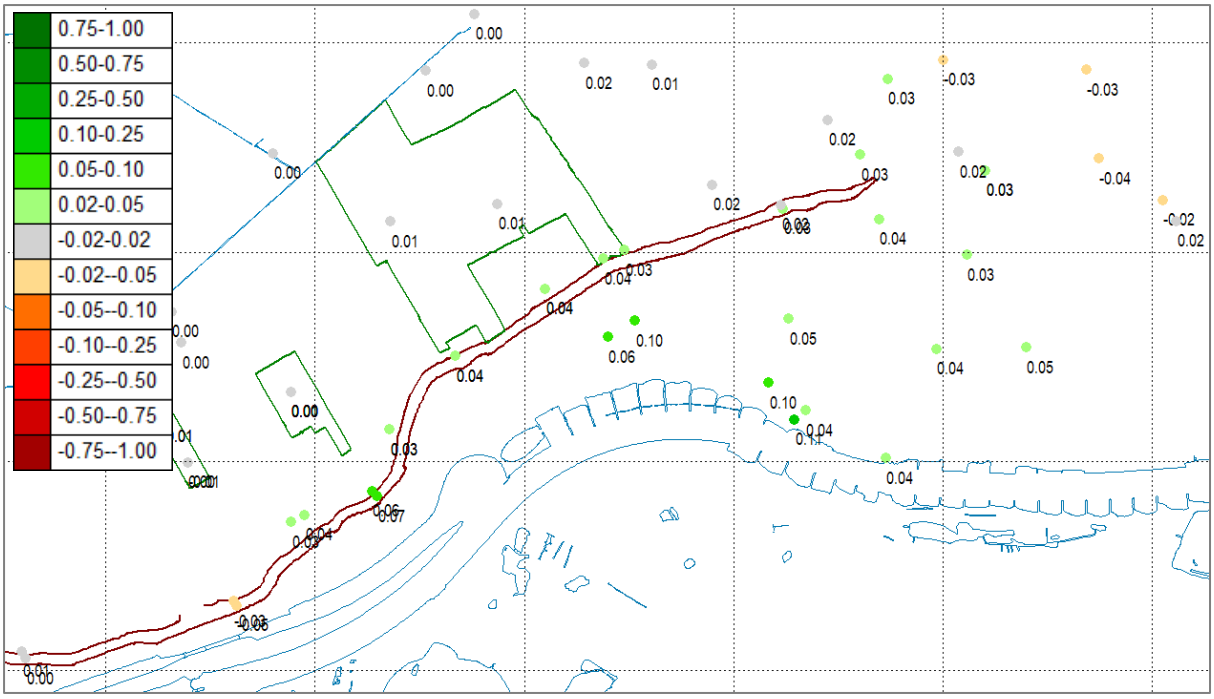
Afbeelding B1.6 Zone met aangepaste kv-waarden (BASIS5_06KAL_03KVV-DTc)

In de laatste stap van de handmatige kalibratie is de kv-waarde van de deklaag aangepast naar waarden die ook in het 2D-model zijn gebruikt en die over het algemeen leiden tot een hogere weerstand van de deklaag. REGIS en GeoTOP gaven hier een relatief hoge kv-waarde en daarmee aan relatief lage weerstand. Deze is als volgt aangepast in zones o.b.v. de bodemkaart:

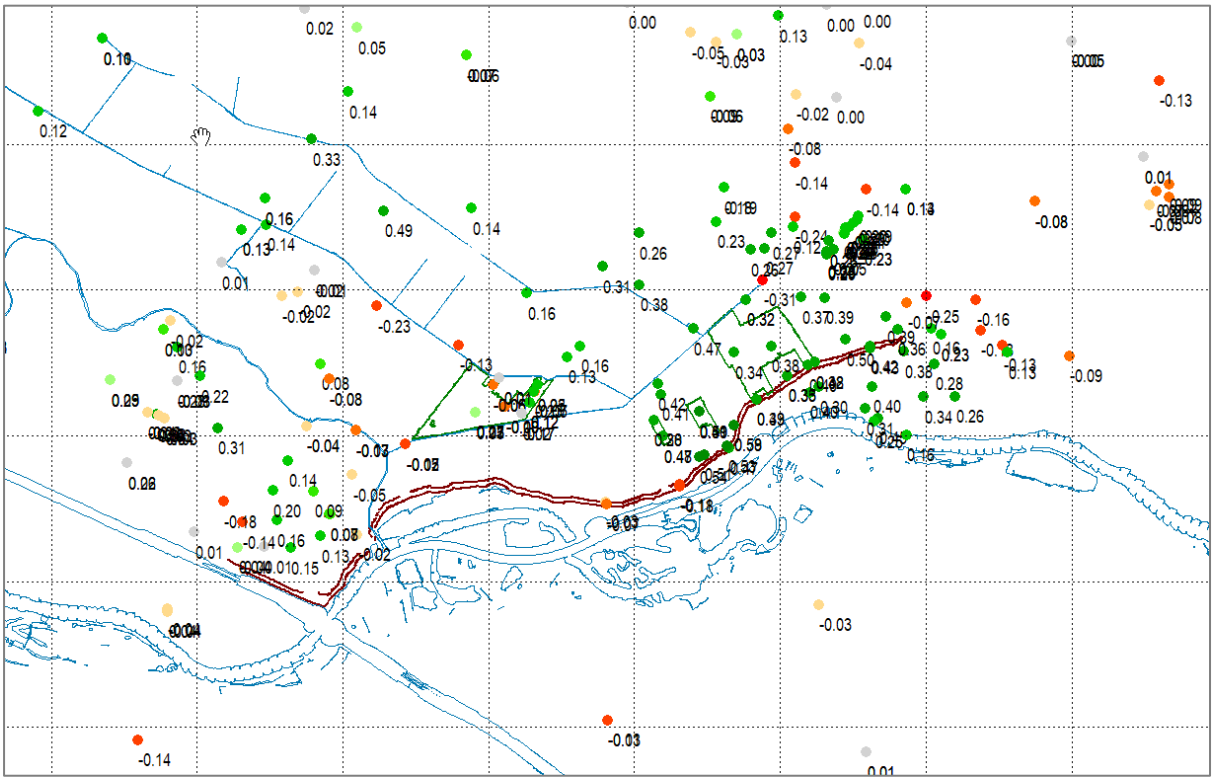
- kv-waarde 0,04 in zones met vnl. code Rd9x (Rd duidt hier op droge klei, de 9 op zware zavel en lichte klei), die vooral voorkomen op de flank van de stuwwal, langs de Kromme Rijn en in de uiterwaarden.
- kv-waarde 0,01 in zones met vnl. code Rn4 of Rn6 (Rn4 duidt hier op zware klei, Rn6 op zavel en lichte klei), die vooral voorkomen in het lager gelegen gebied van de Langbroekerwetering.



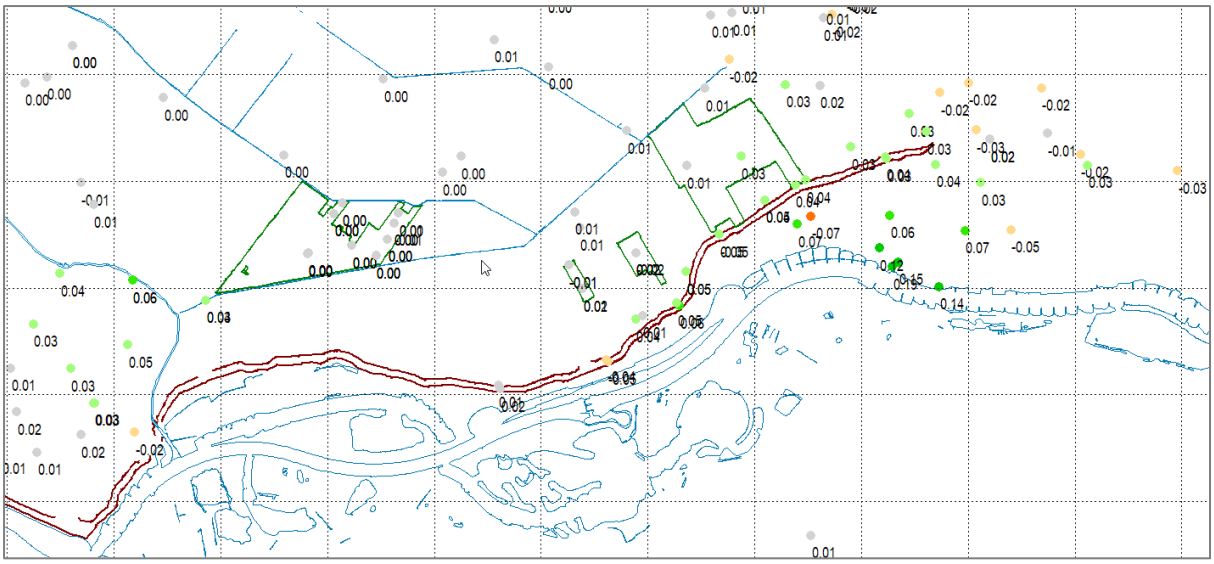
Afbeelding B1.7 Residuverbetering (m) L1-11 door modelaanpassing BASIS5_02RIV t.o.v. BASIS5_01RIV



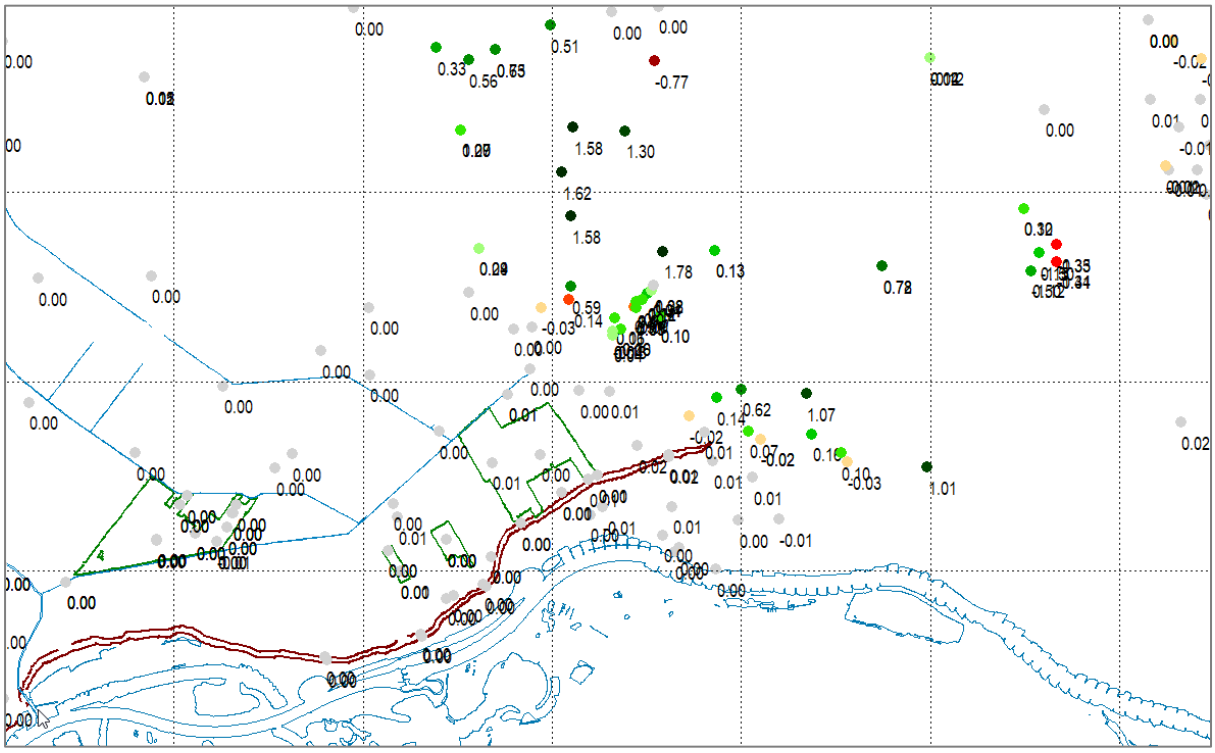
Afbeelding B1.8 Residuverbetering (m) L1-5 door modelaanpassing BASIS5_03DEKL t.o.v. BASIS5_02RIV



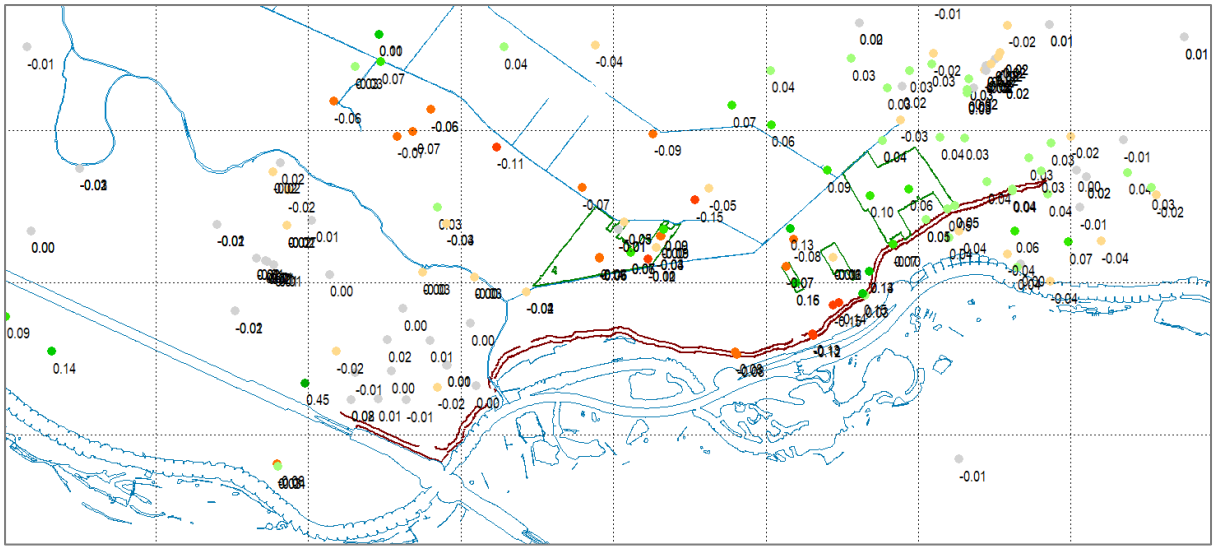
Afbeelding B1.9 Residuverbetering (m) L1-11 door BASIS5_06KAL_01RIVCOND t.o.v. BASIS5_05SHD



Afbeelding B1.10 Residuverbetering (m) L1-5 door BASIS5_06KAL_02RIVCOND t.o.v. 06KAL_01RIVCOND



Afbeelding B1.11 Residuverbetering (m) L1-11 door BASIS5_06KAL_03KVV-DTc t.o.v. 06KAL_02RIVCOND

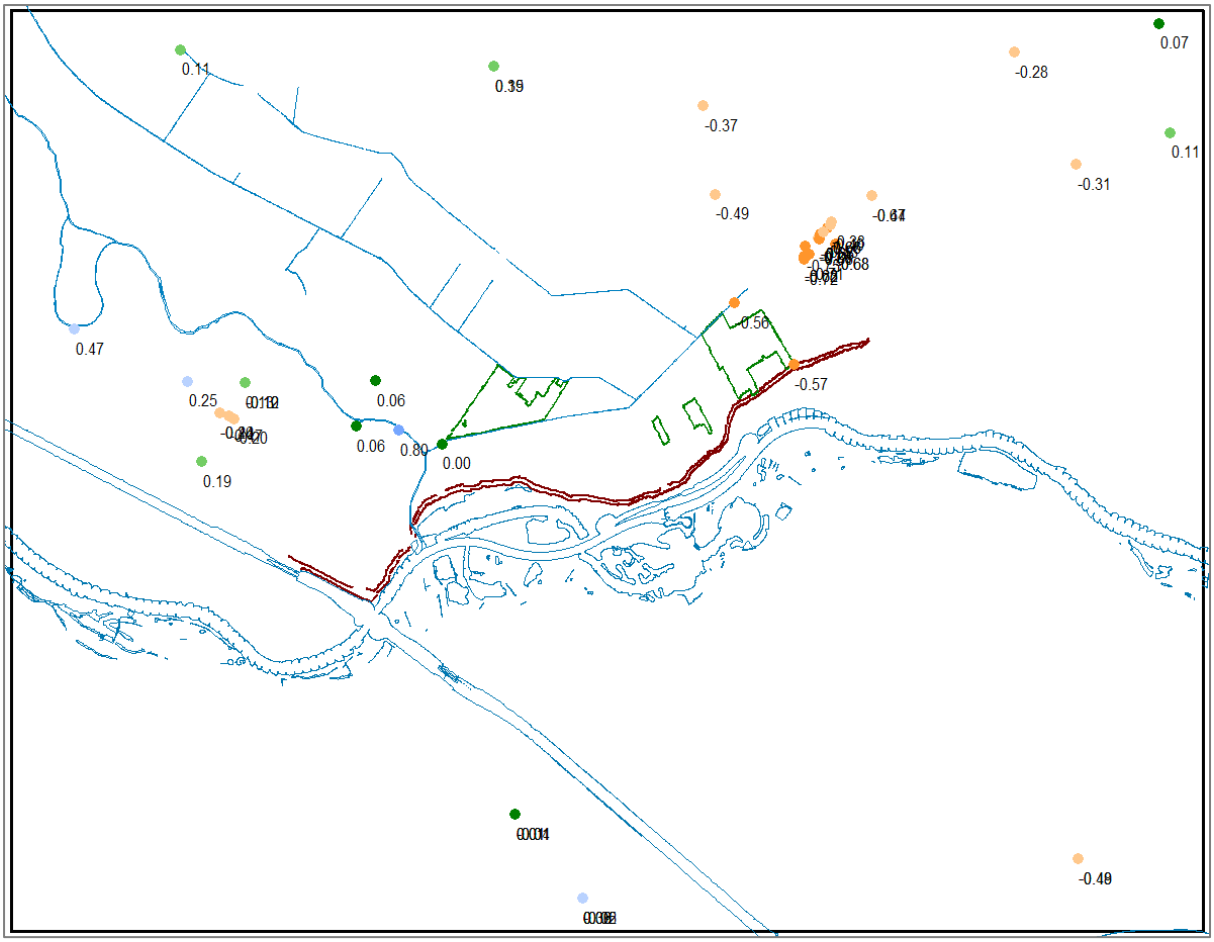


Afbeelding B1.12 Residuverbetering (m) L1-11 door BASIS5_06KAL_04KVV t.o.v. 06KAL_03KVV-DTc

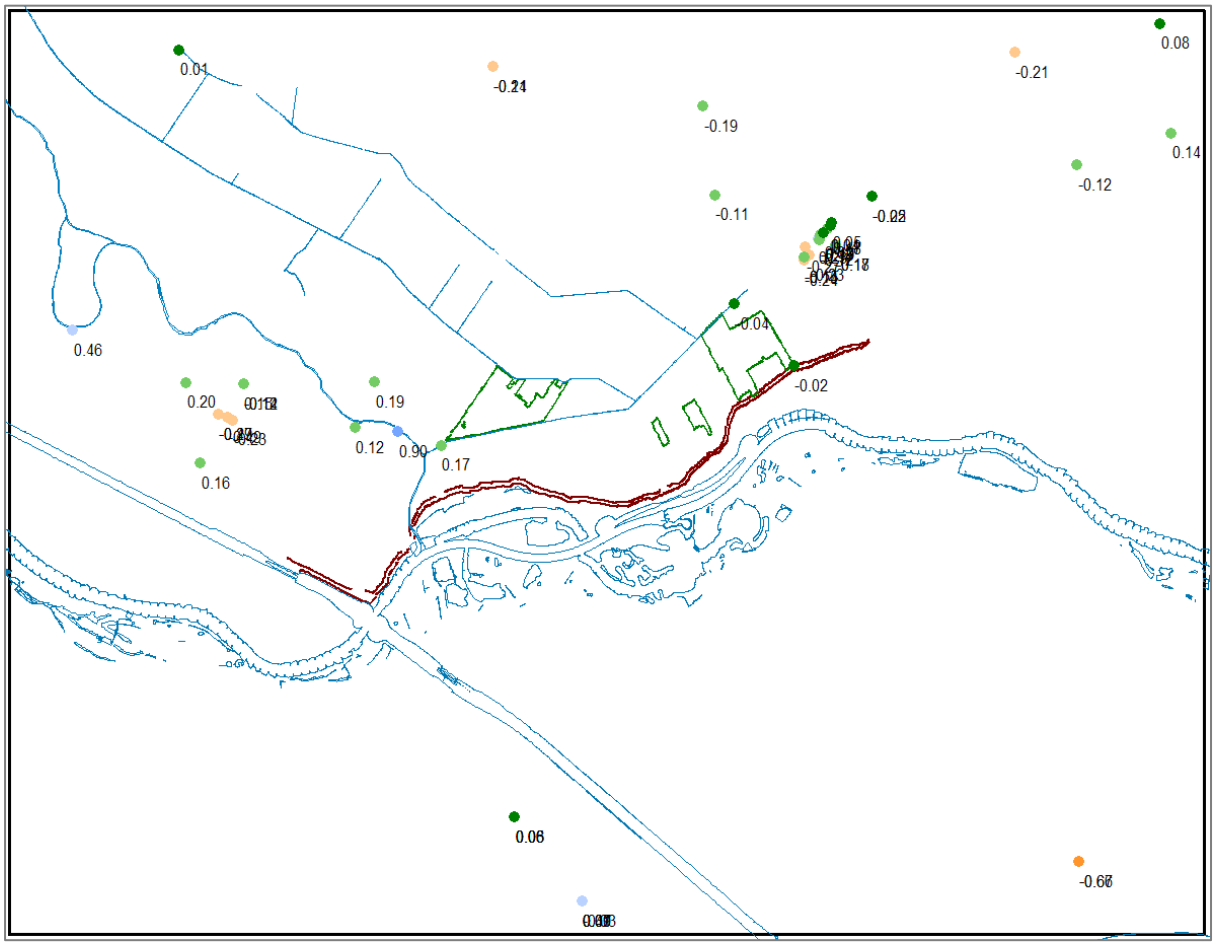
In tabel B1.2 zijn de gemiddelde en gemiddelde absolute residuen weergegeven van de diverse modelvarianten, voor het gehele modelgebied. In tabel 3.3 zijn dezelfde statistieken (plus toelichting) weergegeven voor het interessegebied rondom het WAM-tracé. In beide tabellen is duidelijk de verbetering van de residuen te zien door de diverse modelaanpassingen. Het gaat hierbij vooral om modellagen L1-5, met het freatische en watervoerende pakket, boven de slecht doorlatende Waalre klei (WAk1).

Tabel B1.2 Residustatistiek binnen totale modelgebied, conform afbeelding 3.3, zie toelichting bij tabel 3.3

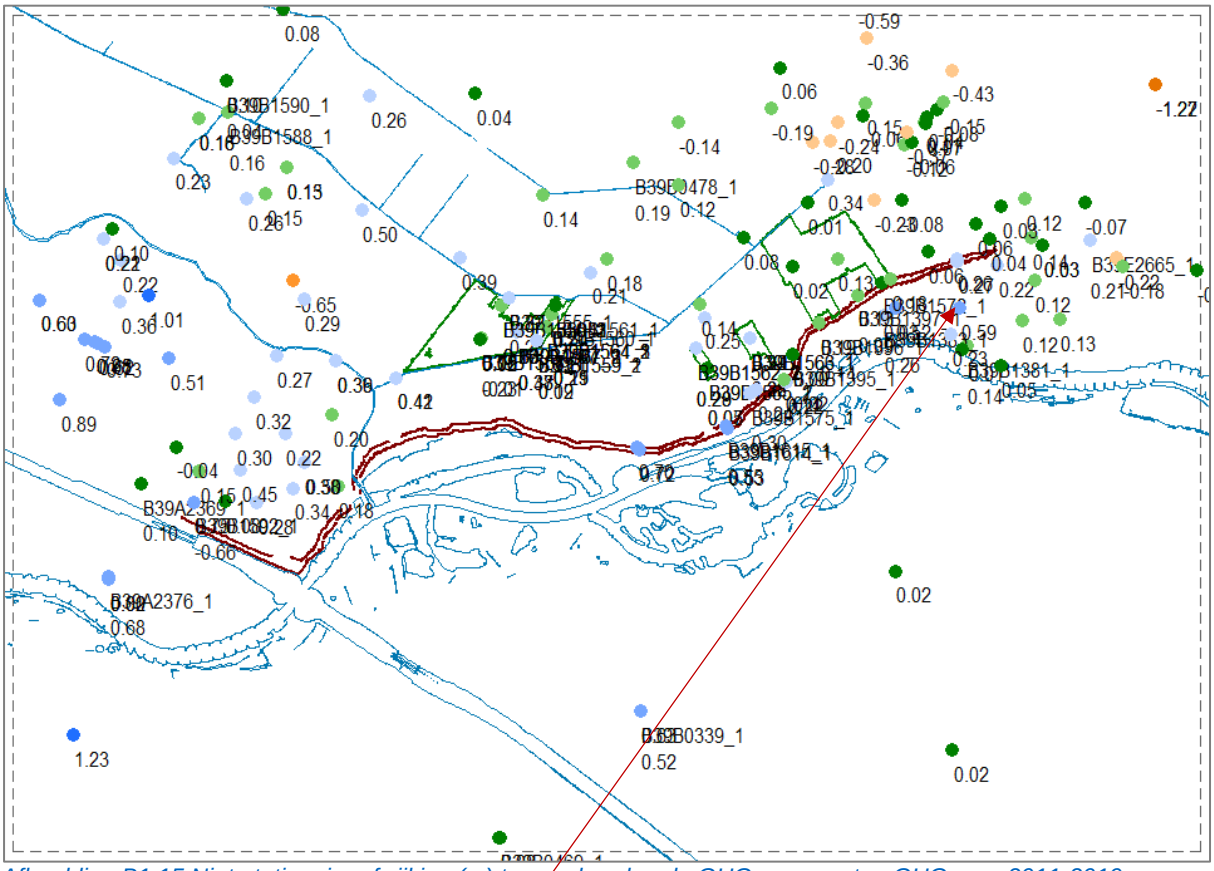
Set	Laag	N	01RIV	02RIV corr	03DEKL	04OLF	05SHD	06KAL_01 RIVCOND	06KAL_02 RIVCOND	06KAL_03 KVV-DTc	06KAL 04KVV	07DEF
ValSet (gem. residu)	1	57	-0,16	-0,17	-0,17	-0,18	-0,18	0,01	0,02	0,02	0,06	0,06
	2	46	-0,08	0,02	0,04	0,03	0,03	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09
	3	62	-0,02	0,01	0,02	0,01	-0,01	0,12	0,12	-0,25	-0,22	-0,22
	4	80	0,09	0,12	0,13	0,13	0,12	0,27	0,28	0,01	0,04	0,04
	5	11	0,35	0,37	0,37	0,30	0,31	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18
	6	36	-0,26	-0,22	-0,21	-0,22	-0,23	-0,11	-0,10	-0,06	-0,04	-0,04
	7	8	-0,27	-0,21	-0,21	-0,21	-0,20	-0,08	-0,07	-0,02	-0,01	-0,01
	8	7	-0,28	-0,28	-0,27	-0,28	-0,31	-0,24	-0,23	-0,20	-0,18	-0,18
	9	2	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11
	10	2	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,33	-0,33	-0,33	-0,32	-0,32
	11	1	0,36	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
	Totaal	**312**	**-0,05**	**-0,02**	**-0,01**	**-0,02**	**-0,03**	**0,09**	**0,10**	**-0,04**	**-0,01**	**-0,01**
ValSet (gem. abs. residu)	1	57	0,30	0,29	0,28	0,29	0,29	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18
	2	46	0,36	0,28	0,27	0,26	0,26	0,19	0,18	0,17	0,17	0,17
	3	62	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44	0,36	0,36	0,33	0,33	0,33
	4	80	0,55	0,50	0,49	0,49	0,49	0,40	0,39	0,18	0,17	0,17
	5	11	0,57	0,56	0,56	0,51	0,51	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30
	6	36	0,40	0,34	0,33	0,33	0,34	0,24	0,23	0,20	0,19	0,19
	7	8	0,39	0,34	0,33	0,33	0,33	0,22	0,21	0,17	0,16	0,16
	8	7	0,34	0,28	0,27	0,28	0,31	0,24	0,23	0,21	0,22	0,22
	9	2	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11
	10	2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35
	11	1	0,36	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
	Totaal	**312**	**0,43**	**0,39**	**0,38**	**0,38**	**0,38**	**0,29**	**0,28**	**0,22**	**0,21**	**0,21**



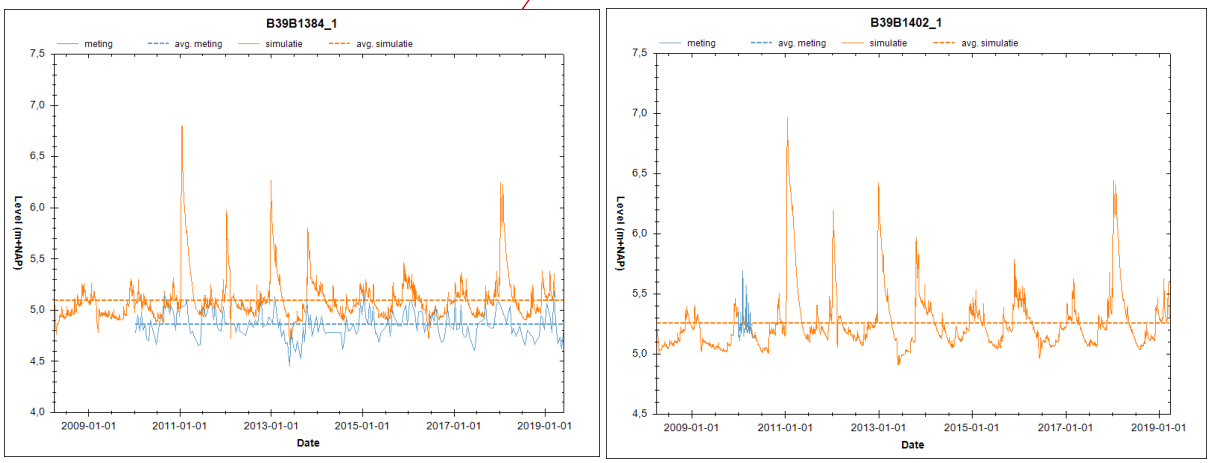
Afbeelding B1.13 Residuen (m) diepere watervoerende pakketten (L6-12) van basismodel (BASIS5_01RIV), inclusief het WAM-dijktracé (rood) en het belangrijkste oppervlaktewater (blauw)



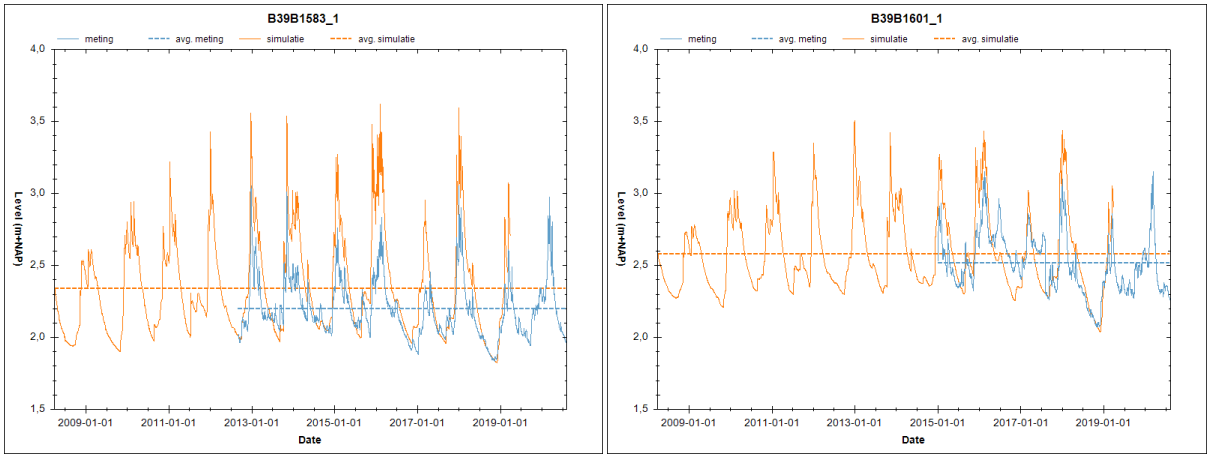
Afbeelding B1.14 Residuen (m) diepere watervoerende pakketten (L6-12) van verbeterd model (BASIS5_07DEF), inclusief het WAM-dijktracé (rood) en het belangrijkste oppervlaktewater (blauw)



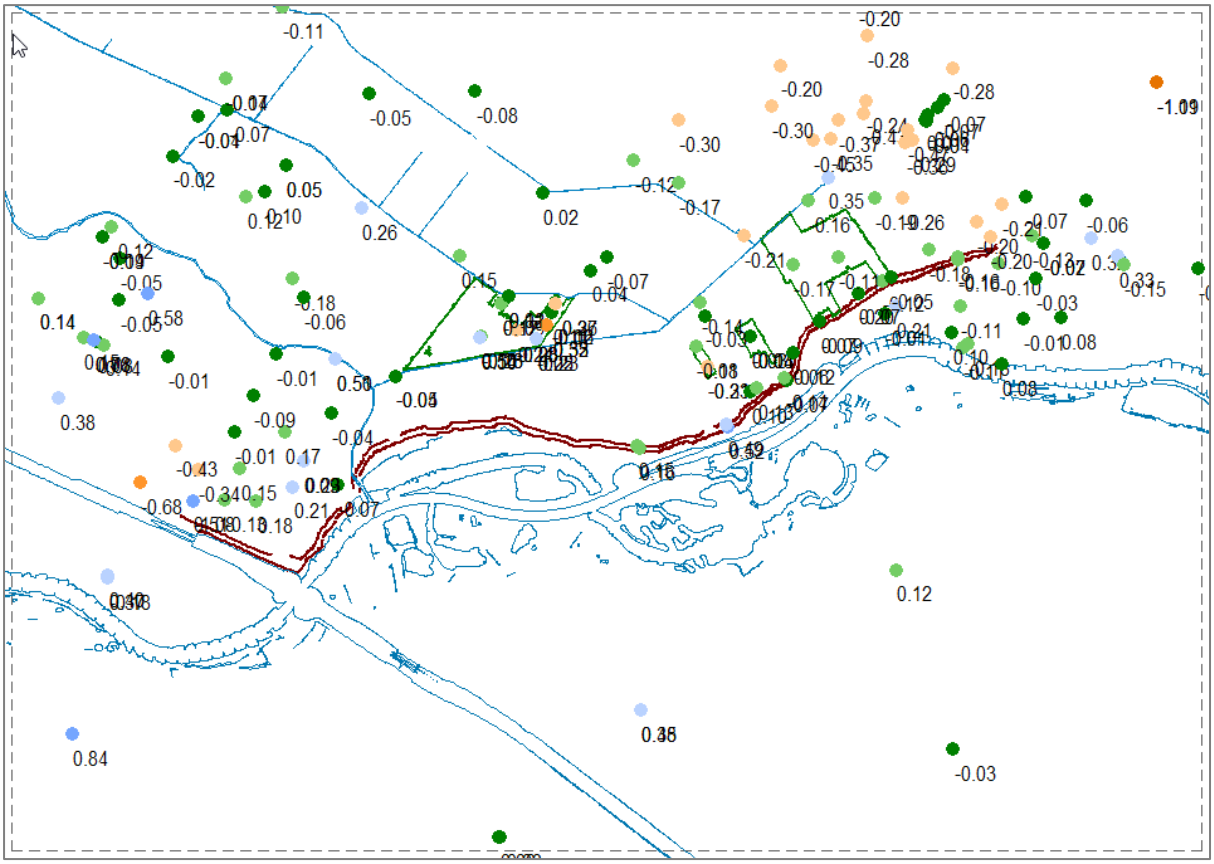
Afbeelding B1.15 Niet-stationaire afwijking (m) tussen berekende GHG en gemeten GHG over 2011-2019



Afbeelding B1.16 Voorbeeld vergelijking tussen gemeten tijdstijghoogte en berekende stijghoogtelijn voor peilfilters in Amerongse Bovenpolder: de linker reeks is gemiddeld 25 cm te nat berekend, maar geeft een afwijking van 50 cm bij vergelijking van GHG-waarden doordat de hoge pieken in de uiterwaarde worden gemist; de rechter reeks heeft goede fit, maar zal bij vergelijking van de GxG een grote afwijking geven door de periodes niet matchen.



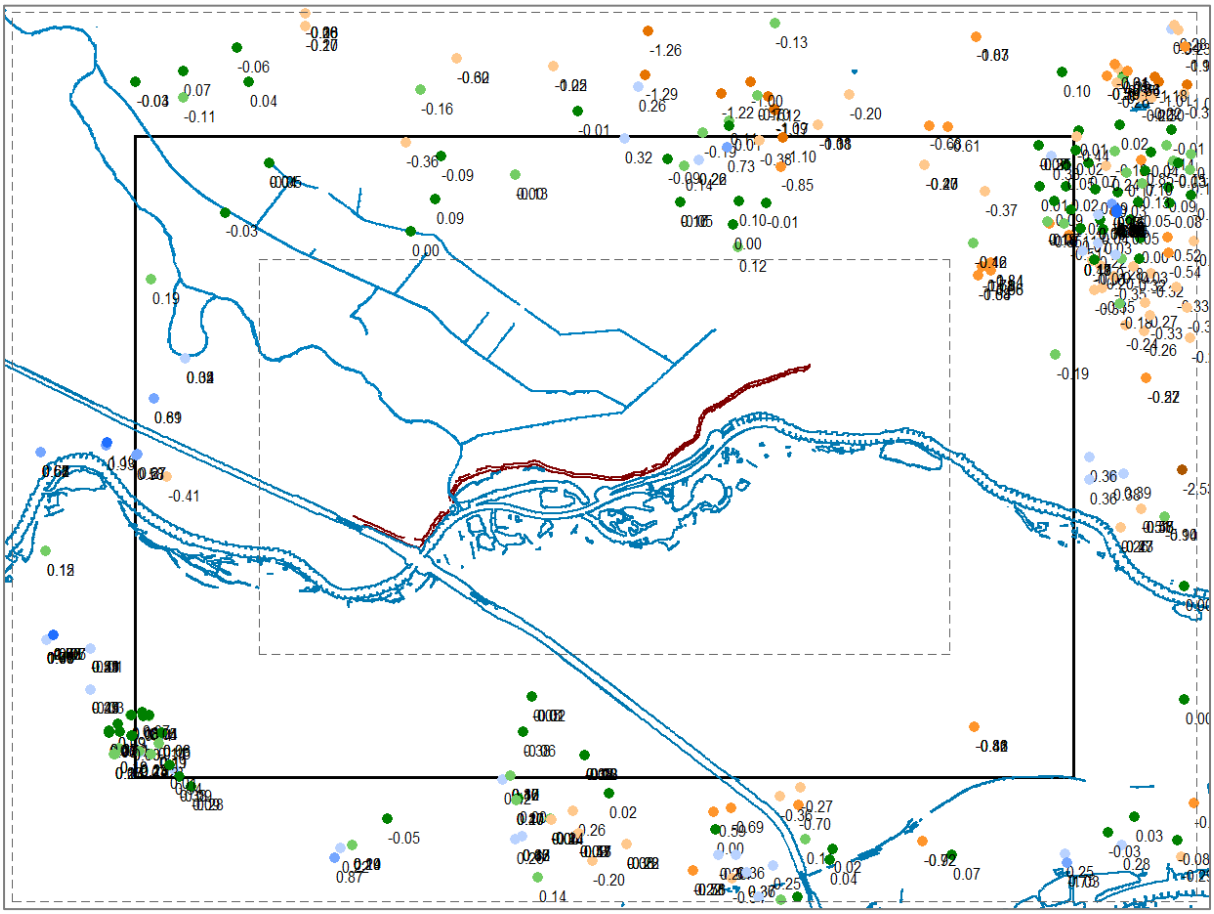
Afbeelding B1.17 Voorbeeld vergelijking tussen gemeten tijdstijghoogte en berekende stijghoogtelijn voor peilfilters in Wijk bij Duurstede met GHG-residu van 0,5 resp. 0,3 m.



Afbeelding B1.18 Niet-stationaire afwijking (m) tussen berekende GLG en gemeten GLG over 2011-2019

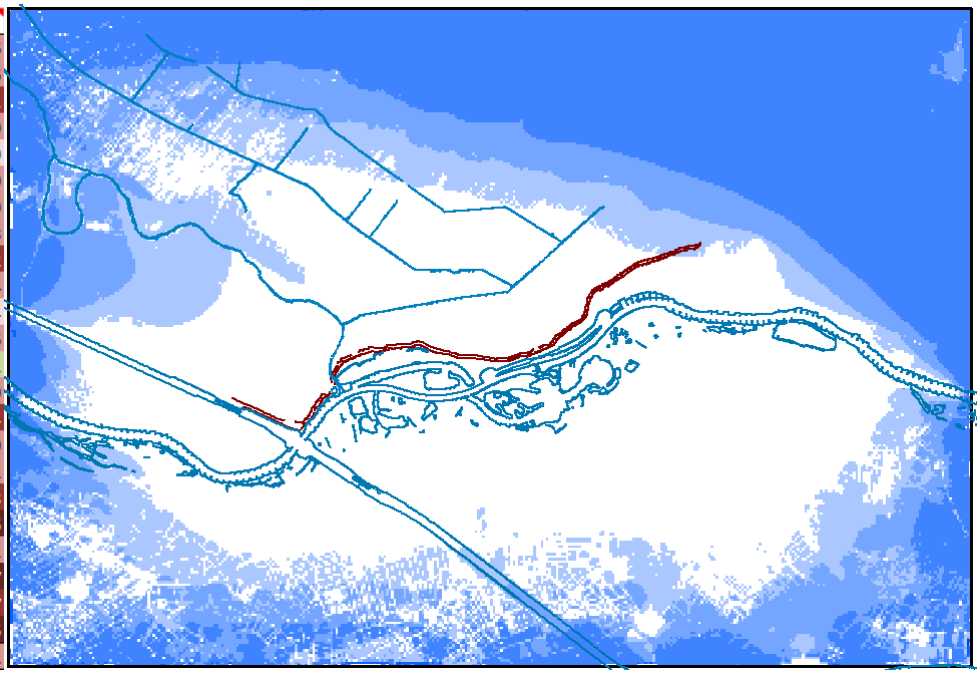
Controle modelrand

Voor controle van de ligging van de modelrand zijn de residuen bepaald van de SHD-grids t.o.v. de metingen. Zie afbeelding B1.19 met deze SHD-residuen rond de modelrand. Over het algemeen is de afwijking rond de modelrand kleiner dan 0,5 m. Om in te schatten in hoeverre deze afwijkingen van de vaste stijghoogten doorwerken naar het interessegebied, is een variant doorgerekend met 0,5 m hogere SHD-waarden. Het effect van deze variant is weergegeven in afbeelding B1.20. Daarin is te zien dat alleen aan de noordoostzijde een eventuele afwijking van 0,5 doorwerkt tot in het interessegebied. De gem. SHD-afwijking op de rand is daar echter kleiner dan 0,5 m.



Afbeelding B1.19 SHD-residuen van de SHD-grids (de modelresultaten van een ruimer model voor modellagen L1-24) versus metingen, binnen en buffer van 2500 m rondom de modelrand.

Laag	N	ME	MAE
1	43	-0,03	0,26
2	41	0,13	0,26
3	76	-0,40	0,51
4	38	-0,16	0,20
5	32	0,06	0,20
6	12	0,22	0,30
7	1	-0,20	0,20
8	9	-0,47	0,48
9	2	-0,72	0,72
10	2	-0,06	0,24
11	5	-0,02	0,14
12	39	-0,26	0,46
13	1	-0,01	0,01
15	6	0,15	0,20
16	3	0,64	0,64
17	35	0,00	0,30
18	22	0,27	0,41
19	12	0,18	0,58
20	9	-1,42	1,66
21	2	0,16	0,41
22	3	0,62	1,17
23	6	0,77	0,87
24	3	2,16	2,16
Total	402	-0,08	0,41



Afbeelding B1.20 Residustatistiek voor SHD-grids van ruimer model en effect (m) in L1-5 bij verhoging van alle SHD-grids met gemiddelde afwijking van 0,5m.

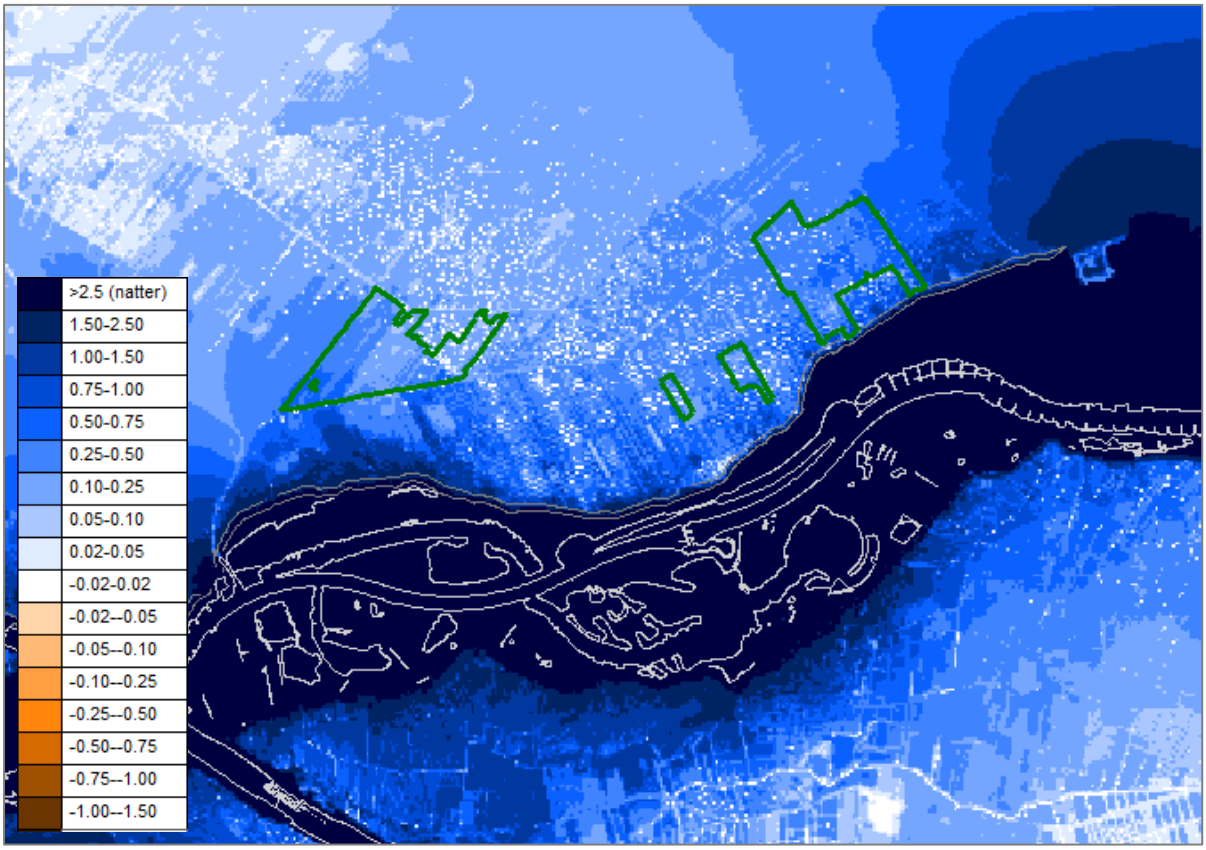
Bijlage 2. Effectbepaling

In deze bijlage zijn aanvullende afbeeldingen opgenomen met betrekking tot effectbepaling.

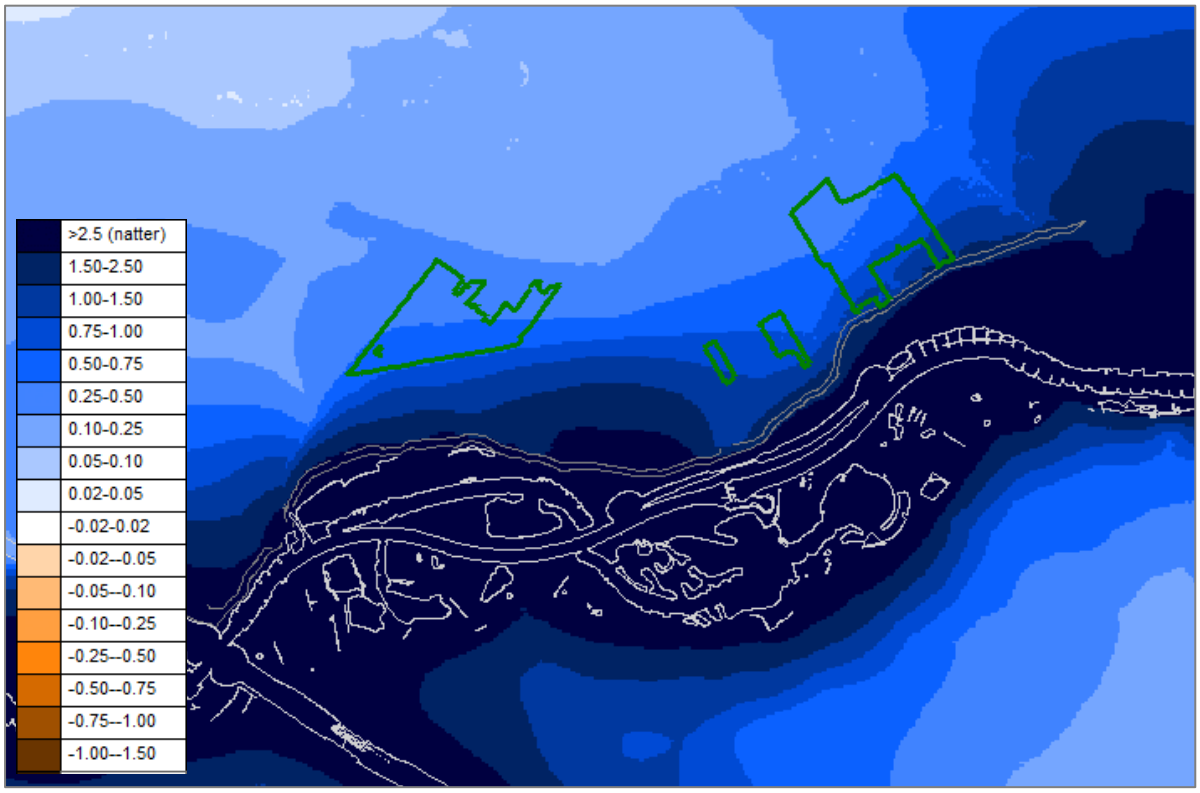
Onderstaande afbeeldingen B2.1 en B2.2 geven een indicatie van het effect van hoogwater ten opzichte van de normale, gemiddelde grondwatersituatie (modelvariant REF2_HW85 – REF2_BAS). Dit geeft vermoedelijk een overschatting omdat hoogwater in werkelijkheid geen stationaire toestand is. Het gaat er hier echter slechts om een indruk te krijgen van de omvang van het gebied waar hoogwater invloed heeft. Zie afbeelding B2.1 voor het effect op de freatische grondwaterstand en afbeelding B2.2 voor het effect op de stijghoogte in het watervoerende pakket. Aan het verschil tussen het effect op het freatische grondwater en de stijghoogte is duidelijk te zien dat het effect zicht via het watervoerende pakket verspreid.

In afbeelding B2.3 is in een dwarsprofiel het effect van de noordoostelijk gelegen klei-inkassing weergegeven in de zone waar binnendijks een lichte verhoging van de grondwaterstand wordt berekend. In dit dwarsprofiel is het lagenmodel met watervoerende (gele vlakken) en slecht doorlatende (groene vlakken) lagen weergegeven. Daarbovenop zijn de berekende freatische grondwaterstand en de stijghoogte van de referentiesituatie (REF2) in licht- resp. donkerblauw weergegeven. De freatische grondwaterstand en stijghoogte van het scenario (SCEN2A) zijn in licht resp. donkerpaars weergegeven. De locatie van de klei-inkassing is met donkerrood weergegeven. De peilen van de Lek en de overige waterlopen zijn met blauw weergegeven (horizontale lijnen). Het volgende valt op:

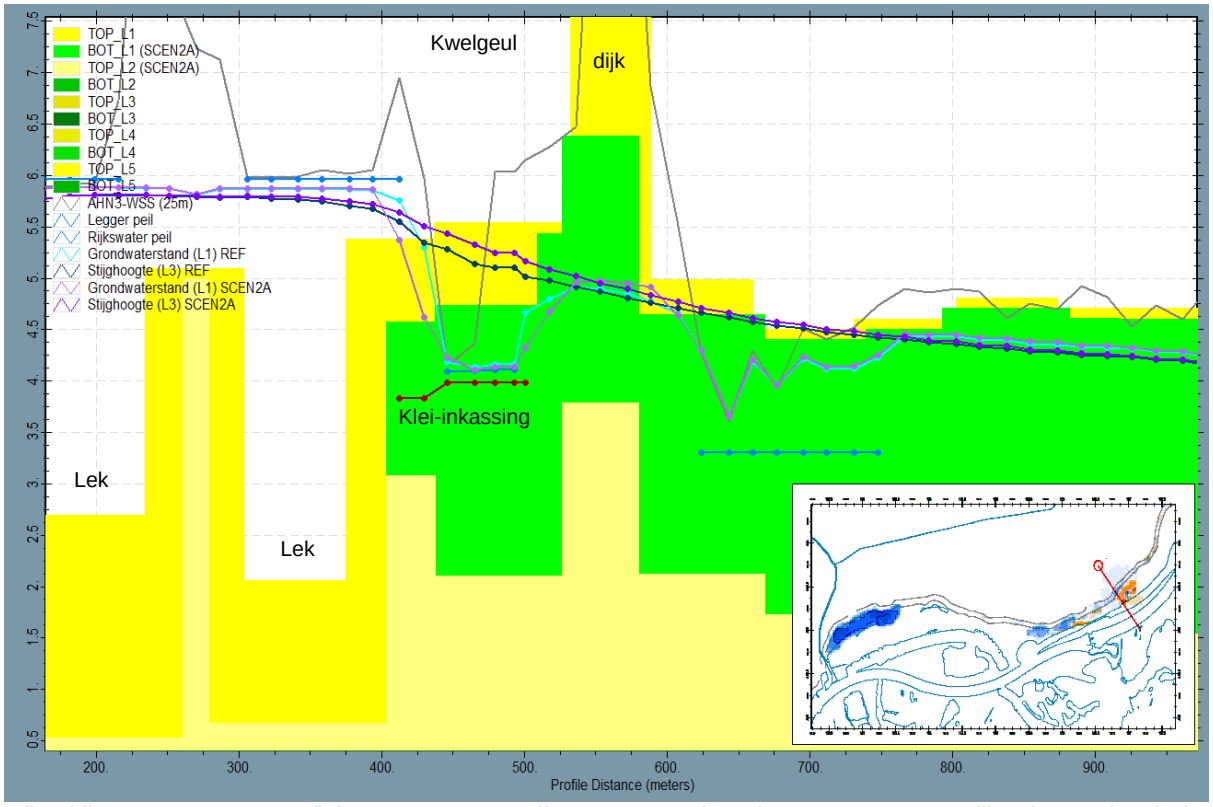
- Ter plaatse van de klei-inkassing is te zien dat:
  - er geen of weinig effect is ter plaatse van de kwelgeul;
  - er een daling van de freatische grondwaterstand is direct ten noorden en zuiden van de kwelgeul;
  - er een daling van de stijghoogte is in het watervoerende pakket.
- Binnendijks is te zien dat:
  - de stijghoogte in het watervoerende pakket (in mindere mate dan buitendijks) wat is verhoogd;
  - de grondwaterstand iets omhoog komt: de lichtpaarse lijn ligt hier net iets hoger dan de lichtblauwe lijn).



Afbeelding B2.1 Effect (m) van hoogwatersituatie op freatische grondwaterstand (L1) (REF2_HW85 - REF2_BAS)



Afbeelding B2.2 Effect (m) van hoogwatersituatie op stijghoogte in WVP1 (L3) (REF2_HW85 - REF2_BAS)



Afbeelding B2.3 Dwarsprofiel ZO-NW met effect maatregelen (SCEN2A, paarse lijnen) op freatische grondwaterstand en stijghoogte in WVP1 (L3) t.o.v. referentie (REF2_BAS, blauw lijnen). Zie toelichting in de tekst.

Bijlage 6. Memo verwachte rivierkundige effecten

Titel	:	Memo verwachte rivierkundige effecten
Ondertitel	:	Dijkversterking Wijk bij Duurstede - Amerongen
Datum	:	*01-07-2022*
Aan	:	*WAM projectteam en RWS-ON*
Van	:	*Auteur: Niels Welsch (Sweco), collegiale toets: Roel Velner (Sweco)*
Betreft	:	*Quickscan verwachte rivierkundige effecten van een tweetal koppelkansen en opgave aanleggen beheerstrook en taludherstel*
DMS-nummer	:	*012539-MEM-22350*
Bijlagen	:	*"Praatprent-052-0.1.pdf" en "D2.0 20200219 WAM-49412 (dd 2020).pdf"*

1.1 Introductie en aanleiding voor dit memo

Bij de dijkversterking Sterke Lekdijk (WAM) zijn een tweetal koppelkansen benoemd die mogelijk geïntegreerd worden in het DO. Ook is er een opgave voor het aanleggen van een beheerstrook en taludherstel. Dit memo beschrijft de resultaten van een quickscan naar verwachte rivierkundige effecten als gevolg van deze ingreepen. De quickscan is vooral op een kwalitatieve manier uitgevoerd door bestaande kaarten en (model)informatie te analyseren met behulp van expert judgement. Daarnaast is gebruik gemaakt van een analytische formule om een benadering te geven van verwachte opstuwing op de as van de rivier. Dit memo is tot stand gekomen na afstemming met het bevoegd gezag (Rijkswaterstaat Oost-Nederland) en wordt gebruikt als onderbouwing voor een Projectplan Waterwet.

Voor het Projectplan Waterwet dient aangetoond te worden dat de (combinatie van) ingreepen voldoen aan de eisen zoals gesteld in het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) 5.0. Het RBK maakt hierin onderscheid in drie onderdelen: hoogwaterveiligheid (bergend vermogen en waterstanden), hinder of schade door hydraulische effecten (o.a. stroombeelden en afvoerverdeling op de splitsingspunten) en morfologische effecten. De relevante ingreepen worden in dit memo getoetst op bovenstaande onderdelen. Vervolgens zal aan het einde een totaaloverzicht gegeven worden van de conclusies van de quickscan per ingreep.

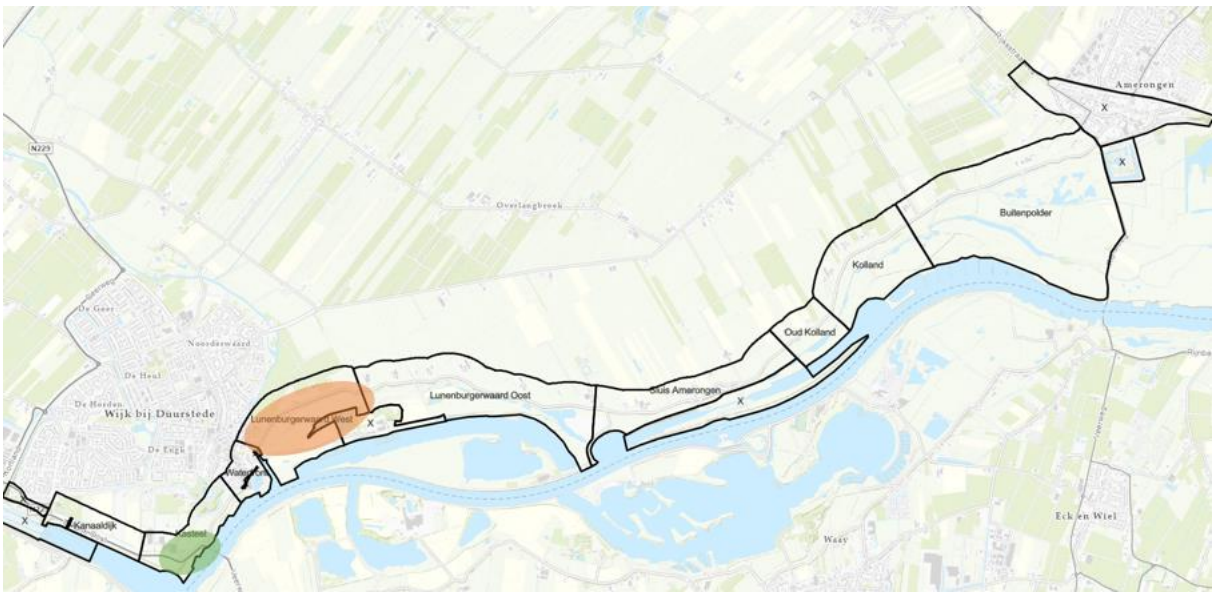
Bij koppelkans 3 wordt bij de dijkversterking ook een 'plusvariant': een variant die de huidige koppelkans vergroot. Deze plusvariant is in dit memo niet opgenomen, omdat deze ook niet onderdeel is van het Projectplan Waterwet. Hoewel bij een combinatie van ingreepen de rivierkundige effecten elkaar kunnen versterken of juist compenseren zijn de ingreepen in dit memo individueel beoordeeld. De quickscan die bij iedere ingreep wordt gepresenteerd moet dus op zichzelf geïnterpreteerd worden. Er is voor gekozen voor deze individuele beoordeling omdat het nog onzeker is welke koppelkansen meegenomen zullen worden in vervolgstadia van het project WAM en in een nog later stadium ook richting Projectplan Waterwet en uitvoering gebracht zullen worden. De uitgangspunten bij de uitgevoerde analyse zijn hieronder per ingreep beschreven. Als deze uitgangspunten worden aangepast bij de verdere

uitwerking, dan zal opnieuw een rivierkundige analyse worden uitgevoerd om de nieuwe situatie te toetsen, en zal deze opnieuw met Rijkswaterstaat worden besproken.

1.2 Overzicht totale projectgebied met beschouwde ingreepen

In totaal worden in dit memo drie ingreepen beoordeeld, waarvan de ligging is weergegeven in Figuur 1.2.1:

- Koppelkans 3: Natuurontwikkeling Lunenburgerwaard, aanbrengen reliëf in de Lunenburgerwaard West;
- De aanleg van een beheerstrook en taludherstel;
- Koppelkans 4: Verbeteren vrij liggend fietspad tussen beermuur en Princes Irenesluis (Variant 1 Fietspad en voetpad langs de Veerweg).



Figuur 1.2.1 Overzicht van projectgebied met ligging van ingrepen getoetst in dit memo. Koppelkans Lunenburgerwaard West (oranje), vrijliggend fietspad (groen), aanleg beheerstrook en taludherstel (hele dijktracé, zie voor beter inzicht in dit tracé de pdf: "Praatprent-052-0.1.pdf").

1.3 Resultaten verkennende rivierkundige berekeningen VKA fase (d.d. 2020)

Tijdens de totstandkoming van het voorkeursalternatief is in het jaar 2020 een variant onderzocht en gerapporteerd waarbij er sprake was van een rivierwaartse dijkversterking tussen de 2 en 5 meter. De rivierkundige effecten van deze ingreep zijn destijds in kaart gebracht door berekeningen in Waqua. Hierbij was de conclusie dat de rivierkundige effecten van de rivierwaartse dijkverbreding overal binnen de getolereerde 1 mm opstuwing op de rivier-as bleven. Verdere toelichting op de uitgevoerde simulaties is opgenomen in het memo met kenmerk "D2.0 20200219 WAM-49412" (zie bijlage). De inzichten verkregen door deze

berekeningen uit 2020 worden gebruikt bij het beoordelen van de rivierkundige effecten van een de aanleg van de beheerstrook en het taludherstel.

1.4 Relatie met de 'redeneerlijn buitendijks versterken'

In 2017 is geconstateerd dat er in het rivierengebied een forse dijkversterkingsopgave lag. Bij veel van die dijkversterkingen moesten omvangrijke bermen worden gerealiseerd voor het verbeteren van de macrostabiliteit. Dit bleek binnendijks op sommige locaties niet mogelijk vanwege de aanwezigheid van bijvoorbeeld monumentale bebouwing. In die gevallen kwam een buitenwaartse versterking in beeld, waarbij de as van de dijk rivierwaarts wordt verlegd.

De ruimte buitendijks (in het rivierbed) is echter schaars en moet zo veel mogelijk beschikbaar blijven voor de afvoer en berging van rivierwater. In de Redeneerlijn buitendijks (rivierwaarts) versterken (december 2017 vastgesteld door RWS/DGWB in samenspraak met Unie van Waterschappen/HWBP) is toegelicht hoe te handelen indien binnendijkse ingreepen redelijkerwijs niet mogelijk zijn. Elementen van de redeneerlijn zijn dat de waterstandseffecten (zoveel mogelijk binnen de projectscope) worden gecompenseerd. Indien dit niet mogelijk is kan worden meegekoppeld met andere projecten of op programma- / gebiedsniveau.
Bij onder meer dijkversterking Gorinchem-Waardenburg is gebruik gemaakt van de redeneerlijn. Hier is de as van de dijk op enkele plaatsen buitenwaarts verschoven en zijn de rivierkundige effecten binnen het project gecompenseerd.

Bij dijkversterking WAM is in de verkenning een versterking langs de buitenzijde van de dijk onderzocht als één van de varianten. In het huidige dijkontwerp is echter geen sprake van buitenwaartse versterking zoals bedoeld in de redeneerlijn. De pipingopgave wordt opgelost door middel van een combinatie van technische ingreepen aan de binnenzijde en aan de buitenzijde van de dijk. De buitenwaartse versterkingen zijn ingreepen onder het maaiveld.

2 Quickscan rivierkundige effecten van de ingrepen

In dit hoofdstuk beschrijven we achtereenvolgens de quickscan van:
- Koppelkans 3: Natuurontwikkeling Lunenburgerwaard West (par. 2.1);
- De aanleg van een beheerstrook en taludherstel (par. 2.2);
- Koppelkans 4: Verbeteren fietspad tussen beermuur en Princes Irenesluis (par. 2.3).

Elke paragraaf is opgebouwd uit de volgende beschreven onderdelen:
1. Locatie
2. Beschrijving ingreep
3. Veranderingen ten opzichte van de huidige situatie
4. Quickscan rivierkundige effecten

De eerste drie onderdelen vormen de beschrijving van de ingreep. Onderdeel vier bevat de rapportage van de quickscan naar de verwachte rivierkundige effecten.

2.1 Natuurontwikkeling Lunenburgerwaard West (koppelkans 3)

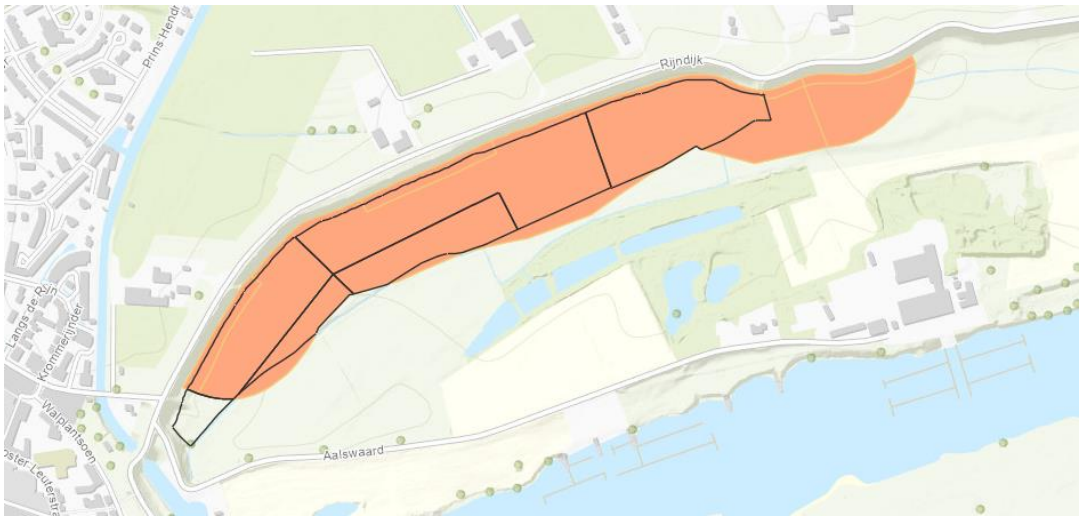
2.1.1 Locatie

Koppelkans 3 ligt in het gebied de Lunenburgerwaard West, ten oosten van Wijk bij Duurstede tussen dijkpaal 74 en 85, zie Figuur 2.1.

2.1.2 Beschrijving ingreep

Vanuit de hoogwaterveiligheidseisen zal er in de Lunenburgerwaard West een horizontale pipingingreep getroffen worden. De ligging hiervan is weergegeven middels het oranje gebied in Figuur 2.1. De pipingingreep wordt ingevuld door middel van het realiseren van een klei-inkassing of door het ingraven van een bentonietmat. Het is op dit moment nog niet duidelijk welk van beide ingreepen daadwerkelijk gekozen wordt. Indien er gekozen wordt voor de realisatie van een klei-inkassing wordt er een kleilaag van ruim een meter dikte op 80cm onder het maaiveld aangebracht. De bentonietmat wordt 1 cm dik en ook op 80cm onder het maaiveld aangebracht. De diepte van 80cm onder maaiveld wordt aangehouden om te voorkomen dat (wortels van) vegetatie en eventuele bovengrondse activiteiten de mat of klei-inkassing perforeren.

Koppelkans 3 is het ontwikkelen van natuur in de Lunenburgerwaard West, door het afplaggen van een voedselrijke toplaag van 20 cm. Deze koppelkans is aangedragen door de Provincie Utrecht. Het betreffende gebied is zwart omlijnd in Figuur 2.1. Afgesproken is dat het project WAM onderzoekt of dit kan in combinatie met de horizontale pipingingreep, omdat hiervoor al grootschalig grondwerk wordt verricht. Naast het afgraven van de toplaag, wordt ook reliëf aangebracht in de uiterwaard. Voor beide onderdelen van de koppelkans (afplaggen en reliëf aanbrengen) is het uitgangspunt om geen rivierkundige effecten teweeg te brengen. De grond die vrijkomt bij het afplaggen zal in het geval van de bentonietmat onder de mat worden teruggebracht. In het geval van een klei-inkassing wordt de vrijgekomen grond afgevoerd naar buiten het gebied. De benodigde grond die nodig is voor het aanbrengen van het reliëf in de uiterwaard komt vrij uit delen in het gebied waar de grond wordt afgegraven om het reliëf aan te passen. Dit wordt onder andere gedaan om een ongehinderde afwatering te bevorderen en zo ingesloten laagtes te voorkomen.

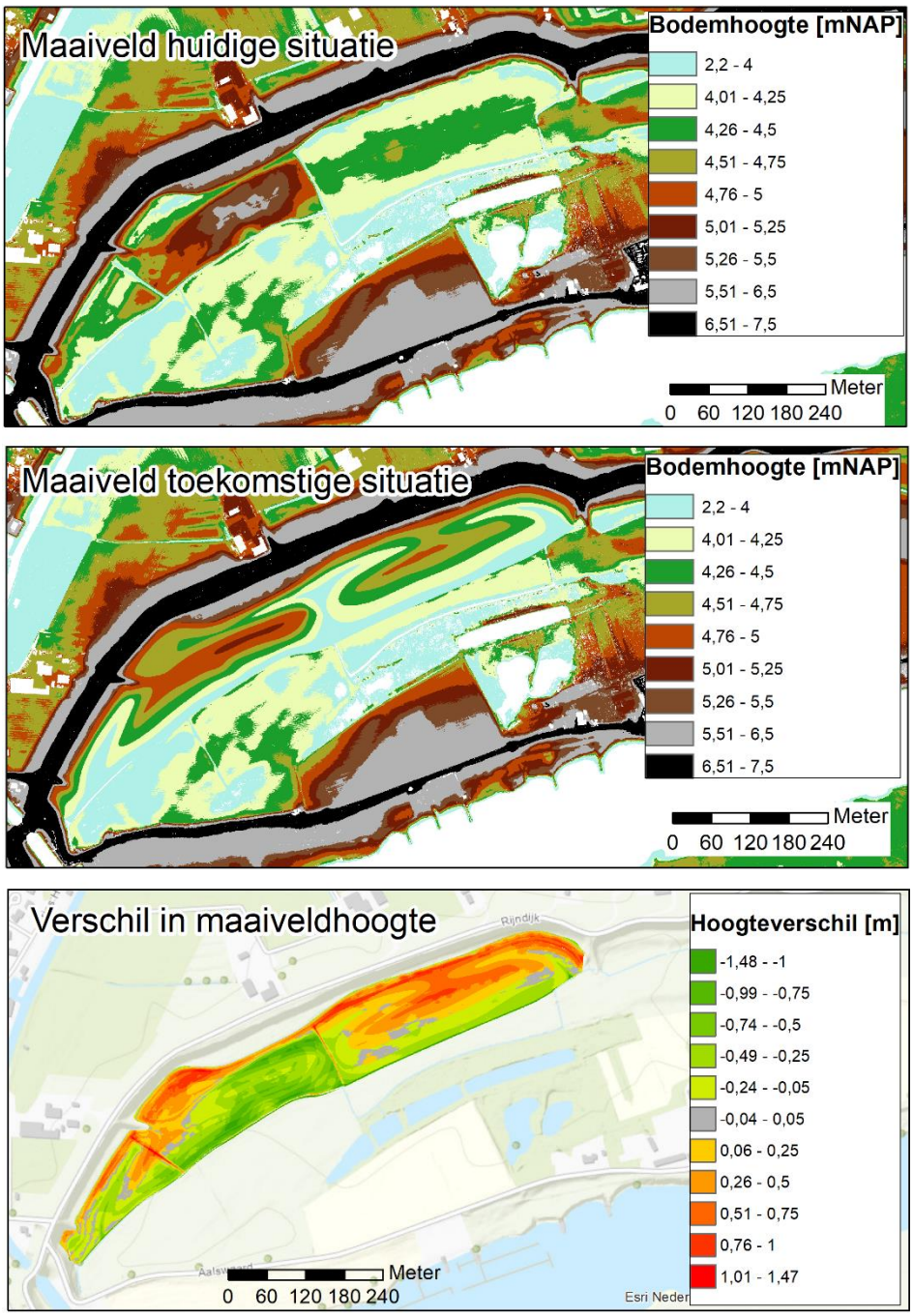


Figuur 2.1. Gebiedsbeslag van de ingrepen in de Lunenburgerwaard West. Het oranje gebied betreft de locatie van de horizontale pipingingreep. De zwarte lijnen beschrijven de omtrek van het gebied dat binnen de koppelkans zal worden afgeplagd.

2.1.3 Veranderingen ten opzichte van huidige situatie

Het aanleggen van een horizontale pipingingreep in combinatie met de afplagging leidt niet tot een ophoging- of verlaging van het maaiveld. De afgeplagde grond zal bij voorkeur worden afgevoerd. Deze afgevoerde grond zal worden vervangen door voedselarme grond die vrijkomt bij het creëren van ruimte voor het kleipakket. Het restant grond dat vrijkomt door de klei-inkassing en niet ter vervanging van de afgeplagde grond dient wordt ook afgevoerd. Indien er een bentonietmat ingegraven wordt, dan zal dit geen effect hebben op de bodemhoogte in het oranje gearceerde deel in Figuur 2.1.

Het aanbrengen van reliëf in de uiterwaard levert wel een verandering in maaiveldhoogte op. In Figuur 2.2 is de huidige bodemhoogte op basis van AHN3 voor de Lunenburgerwaard West samen met het toekomstige ontwerp voor het nieuwe reliëf in de Lunenburgerwaard West weergegeven. De reeds aanwezige grondrug wordt iets verlaagd, om ten oosten hiervan een nieuwe lagere grondrug aan te brengen. Hiermee worden ingesloten laagtes voorkomen. De hoogtelijnen voor de toekomstige situatie zijn in stappen van 25cm ingetekend. Hierdoor ontstaat er een getrapt beeld als het ontwerp met het huidige AHN3 raster wordt samengevoegd. In de praktijk zal de herinrichting glooiend worden aangelegd tussen de hoogtelijnen. Het materiaal dat nodig is om het maaiveld op te hogen komt vrij uit de plekken waar het maaiveld wordt verlaagd. Netto wordt er dus geen grond aangevoerd.

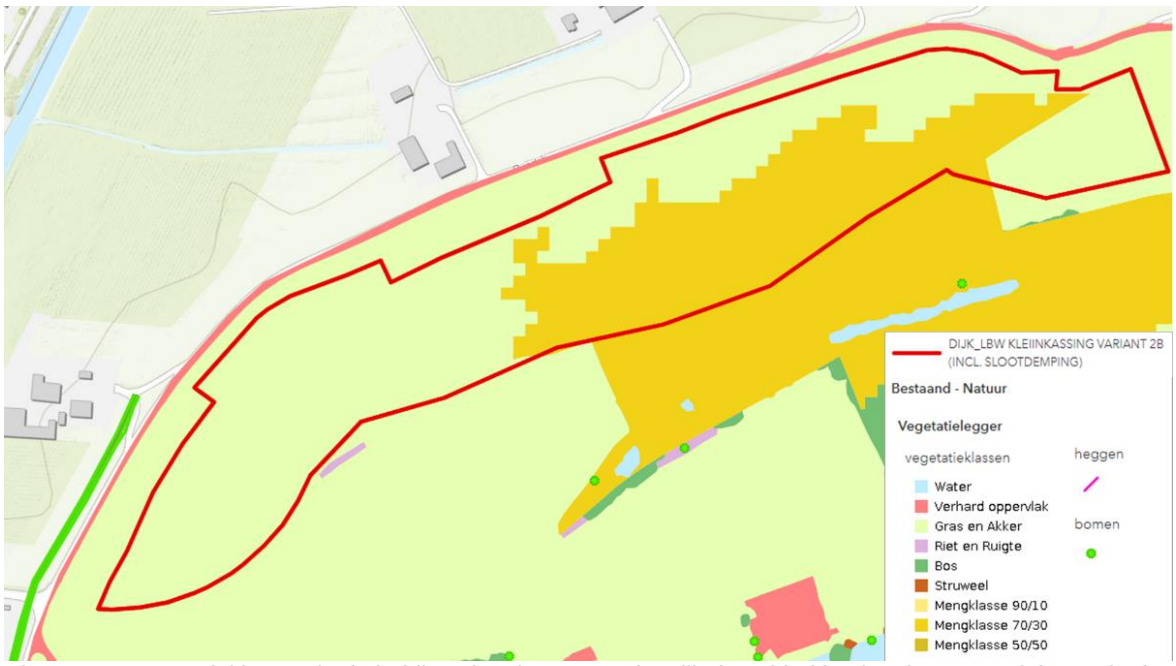


Figuur 2.2. Maaiveldhoogte in de huidige en toekomstige situatie en het verschil tussen beiden voor het ontwerp van de Lunenburgerwaard West.

De verandering in bodemhoogte tussen de huidige en toekomstige situatie is weergegeven in Figuur 2.2. Te zien is dat de maximale toename in bodemhoogte 1,3m bedraagt. De toename bevindt zich vooral bij de aansluiting met de teen van de dijk en op de plekken waar de twee huidige aanwezige watergangen die haaks op de dijk liggen worden gedempt. Hiermee wordt de afwatering naar de sloot bevorderd. Tegelijkertijd worden ingesloten laagtes voorkomen. De reeds aanwezige grondrug wordt verlaagd met ongeveer 25 cm tot 5.25 mNAP (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

Vegetatieontwikkeling
Het afplaggen van de toplaag heeft als doel om natuurontwikkeling te realiseren. In de huidige situatie (Figuur 2.3) bestaat het gebied volgens de Vegetatielegger 2020 uit een combinatie van “gras en akker” en “mengklasse 70/30”. In het gebied van de natuurontwikkeling bevinden zich daarnaast geen bomen en heggen.

In de toekomstige situatie zal het gebied worden ontwikkelend met glanshaverhooiland. Conform het beeldenboek vegetatiebeheer wordt glanshaverhooiland ingedeeld in de klasse “gras en akker”. Dit is minder ruw dan de huidig aanwezige “mengklasse 70/30”. Vanuit het project is de wens echter om de vegetatielegger niet aan te passen. De vegetatieontwikkeling wordt om die reden dus ook niet meegenomen in de quickscan van de rivierkundige effecten.



Figuur 2.3. Vegetatieklassen in de huidige situatie. Het rood omlijnde gebied beslaat het oppervlak waarin de ingreep plaatsvindt.

2.1.4 Quickscan rivierkundige effecten ‘natuurontwikkeling Lunenburgerwaard West’

Impact op de waterstand
De locatie van deze koppelkans ligt in een regime dat volgens het Beleidsboek Grote Rivieren geclassificeerd kan worden als stroomvoerend regime. Beoordelingscriterium 1.1 uit het RBK 5.0 schrijft daarom voor dat de opstuwing veroorzaakt door deze koppelkans onder 1mm dient te blijven. Het aanbrengen van reliëf in de Lunenburgerwaard West leidt tot een lokale verhoging van het maaiveld en op een andere locatie tot een verlaging van het maaiveld. De verhoging van het maaiveld zal naar verwachting leiden tot een lokale belemmering van de rivierafvoer, terwijl de maaiveldverlaging de lokale rivierafvoer juist zal versoepelen. De mate waarin beide effecten optreden is mede afhankelijk van de ligging en de (directe) omgeving. In dit memo is op een conservatieve manier geanalyseerd. We benaderen de opstuwing als gevolg van de ophoging met een analytische formule. Voor deze benadering hebben we gebruik gemaakt van onderstaande formule, afkomstig uit de RIZA nota “Ruimte voor de rivier door herinrichting van de Afferdensche en Deestsche Waarden”:

$$\Delta h = \left[\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 - 1\right]\Delta H_0$$

Waarbij Q staat voor de afvoer door de vaargeul in m³/s, H voor het verhang in mm over de lengte van de ingreep en het subscript 0 staat voor de huidige situatie en subscript 1 staat voor de toekomstige situatie. We gaan in de berekening uit van een stroomsnelheid in de huidige situatie op de locatie van de ingreep tussen 0,2 en 0,3 m/s bij MHW (zoals berekend in 2020). Om de belemmering in doorstroomoppervlak te bepalen, bepalen we het dwarsprofiel op twee locaties:

1. Daar waar momenteel het maaiveld binnen het projectgebied het hoogste is (Figuur 2.4, lijn 1), hier ontstaat de meest relevante toename in doorstroomoppervlak;
2. Daar waar in het ontwerp de toename in maaiveldhoogte het meeste toeneemt (Figuur 2.4, lijn 2), hier ontstaat de grootste afname in.

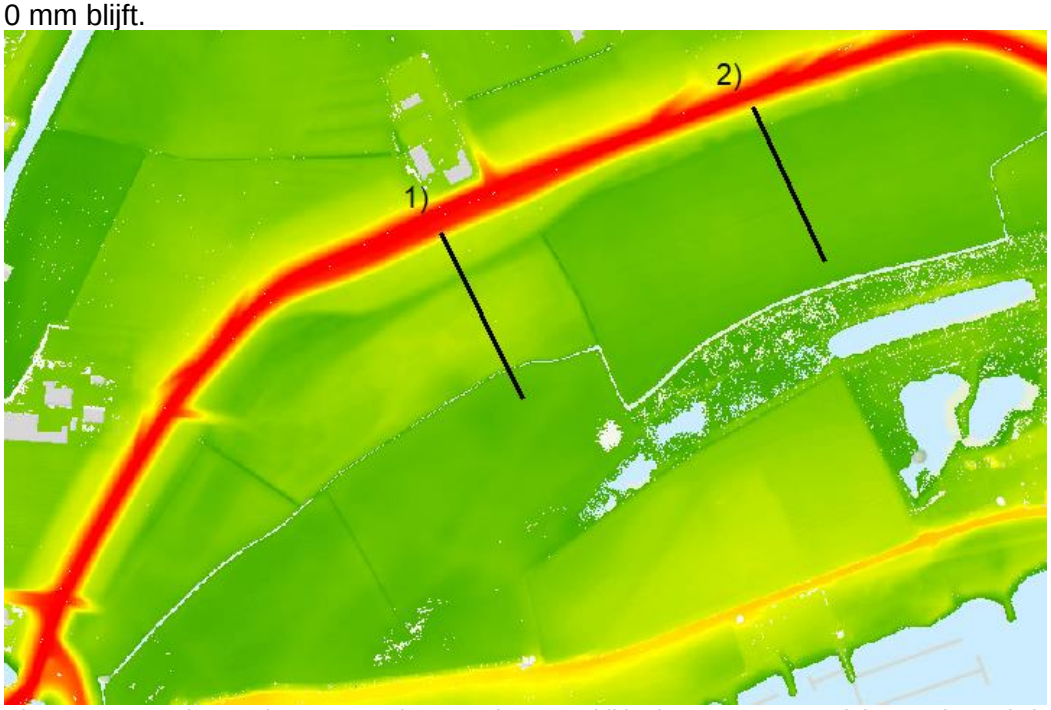
Door het verschil in bodemhoogte in de huidige en toekomstige situatie per locatie van elkaar af te trekken kan de verandering in doorstroomoppervlak worden bepaald. De bodemhoogte op de raaien is afgeleid middels een GIS analyse. Uit de maaiveldveranderingen op de locatie van de dwarsprofielen volgt dat op de eerste locatie er sprake is van een afname in doorstroomoppervlak van ongeveer 50 m². Op basis van de bovenstaande formule levert dit een waterstandsverlaging tussen 0.7 en 1 mm. Op de tweede locatie, daar waar het maaiveld verhoogd wordt, verdwijnt er ongeveer 35 m² doorstroomoppervlak. Volgens bovenstaande formule resulteert dit in een waterstandsverhoging tussen 0.5 en 0.7 mm. Aangezien de waterstandsverlaging direct benedenstrooms van de waterstandsverhoging ontstaat, wordt verwacht dat beide effecten met elkaar verrekend mogen worden. Dit verwachten we omdat de waterstandsverhoging door de maaiveldverhoging binnen de invloedslengte van de waterstandsverlaging door de maaiveldverlaging ligt. De invloedslengte is de afstand waarover

een ruimtelijke verandering effect heeft op de waterstand. Deze benaderen we aan de hand van een vuistregel:

$$invloedslengte = lengte\ ingreep + 3 * breedte\ ingreep.$$

Vullen we deze vuistregel in met de eigenschappen van de maaiveldverlaging, lengte is 250m en breedte is 77m, dan vinden we een invloedslengte van 481m. De invloedslengte van de maaiveldverhoging bovenstrooms, met een lengte van 315m en een breedte van 60m, is ongeveer 496m. Daarmee zijn de invloedslengtes ongeveer gelijk en kunnen we de verhoging en verlaging bij elkaar optellen. Daarnaast scheidt een zomerkade met een hoogte van 7 mNAP het zomerbed van de uiterwaard. Door de hoogte van deze kade, zal de kade op zichzelf als stuw functioneren: het gebied achter de zomerkade zal zich eerst als een badkuip vullen. Op het moment dat de rivierafvoer ook door het gebied van de ingreep zal stromen moet er in het gebied al ongeveer 1.3m water staan om over de zomerkade uit de uiterwaard te stromen. Eventuele kleine waterstandsverschillen in de uiterwaard zullen door de zomerkade worden uitgevlakt en op de as van de rivier niet meer zichtbaar zijn.

De benadering geeft daarmee aan dat deze ingreep naar verwachting aan beoordelingscriterium 1.1 voor stroom voerende regimes uit het RBK 5.0 voldoet, omdat de opstuwing naar verwachting (en na verrekening van verlagingen en verhogingen) op of onder 0 mm blijft.



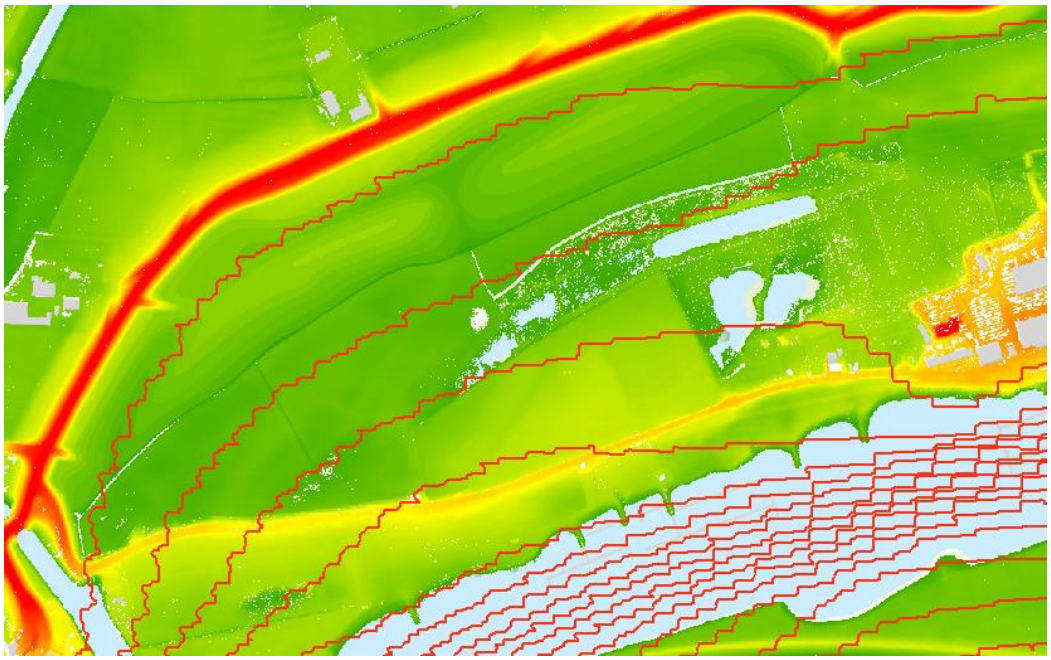
Figuur 2.4. Locatie van de cross-secties waar het verschil in doorstroomoppervlak voor de analytische vuistregel is bepaald.

Impact op de afvoerverdeling
De ingreep bevind zich ongeveer 46 rivierkilometers benedenstrooms van het splitsingspunt de IJsselkop en 56 rivierkilometers van de Pannerdensche Kop. Eventuele rivierkundige effecten door deze ingreep moet dus ver in bovenstroomse richting doorwerken om de dynamiek, en daarmee de afvoerverdeling, op deze splitsingspunten te beïnvloeden. Door deze grote afstand tot het splitsingspunt, zal de afvoerverdeling door deze ingreep naar verwachting niet veranderen.

Impact op het stroombeeld en onttrekking van water uit het zomerbed van de Rijntakken
Voor de scheepvaart is het onder andere belangrijk dat de dwarsstroming niet te groot wordt. In het RBK wordt daarom ook getoetst op stroombeeld in de vaarweg en de uiterwaard. De ingreep ligt zoals beschreven achter een zomerkade die het zomerbed van het winterbed scheidt bij afvoeren onder 8000m³/s. Bij afvoeren onder 8000m³/s treden dus geen veranderingen in het stroombeeld in het zomer en winterbed op. Van onttrekking van water uit het zomerbed bij lage en mediane afvoeren is dus ook geen sprake.

Bij afvoeren groter dan 8000m³/s zal het winterbed mee gaan stromen met de rivier. Voordat een ruimtelijke verandering op deze locatie in het winterbed de stroming in het zomerbed zal beïnvloeden, moet de waterstand hier ten minste gelijk zijn aan de hoogte van de zomerkade. Het winterbed zal eerst ‘vol moeten lopen’. Wanneer dat het geval is, is de waterdiepte op de locatie van de ingreep al ruim 1m; de ingreep is al volledig overstroomd. Daarnaast wordt de ingreep in lijn met de huidige stroombanen aangelegd, zie Figuur 2.5. Hierdoor zal het water langs de huidige stroombanen blijven stromen. Van toename in dwarsstroming in de vaarweg is dus geen sprake.

Op basis van deze redenering concluderen we dat het ontwerp van de ingreep voldoet aan de eisen uit het RBK5.0 op het gebied van stroombeelden en onttrekking van water uit de Rijntakken.



Figuur 2.5. Maaiveldhoogte in de Lunenburgerwaard West voor de toekomstige situatie samen met de stroombanen in de huidige situatie. De stroombanen zijn ingetekend per 100m³/s.

Impact op de morfologie
Ingrepen in de uiterwaard van de rivier kunnen leiden tot aanzanding en/of erosie in zowel het zomerbed als in het winterbed. In het RBK 5.0 zijn daarom twee beoordelingscriteria opgenomen waarbij getoetst wordt op de erosie die de ingreep in het rivierbed veroorzaakt.

Effecten in het zomerbed
De ingreep in de Lunenburgerwaard West vindt plaats in het gedeelte van de uiterwaard dat door een zomerkade gescheiden wordt van de vaargeul. Door de hoogte van deze zomerkade op 7 mNAP, zal het gebied waarin de ingreep plaatsvindt pas bij afvoeren boven 8000 m³/s mee gaan stromen op basis van de betrekkingslijnen (RWS, 2018). Voor afvoeren onder 8000 m³/s hebben veranderingen in de uiterwaard dus geen effecten op het stroombeeld in de vaargeul. Daardoor wordt er geen erosie in het zomer- en winterbed verwacht door de erosie bij afvoeren onder 8000 m³/s.

Bij afvoeren boven 8000 m³/s kan in theorie de ingreep wel leiden tot een bodemontwikkeling in het zomerbed. Een vereiste hiervoor is dat de stroomsnelheid (en daarmee de waterstand) in het zomerbed door de ingreep wordt aangetast. Eerder in dit memo is geconcludeerd dat de ingreep geen effecten zal hebben op de waterstand. Daarmee is dus ook de verwachting dat er geen morfologische effecten op zullen treden in het zomerbed. Ook niet bij afvoeren hoger dan 8000 m³/s.

Effecten in het winterbed

In het winterbed, en dan enkel lokaal in de omgeving van de veranderingen van het reliëf, zullen bij afvoeren boven 8000 m^3/s mogelijk kleinschalige morfologische ontwikkelingen optreden. De aanwezige zomerkade functioneert echter als een drempel voor het sediment, waardoor sediment uit de vaargeul naar verwachting niet in het winterbed zal belanden en andersom. Daarnaast zullen de stroomsnelheden nabij de bodem in de uiterwaard in het projectgebied door de aanwezigheid van de relatief hoge zomerkade niet toenemen. De stroomsnelheidsverschillen zijn daarmee zodanig klein dat er ten gevolge van de ingrepen geen verandering optreed ten opzichte van de huidige situatie. Er treden dus geen veranderingen op in het winterbed.

Op basis van bovenstaande redenering concluderen we daarmee dat het ontwerp van de ingreep voldoet aan de eisen uit het RBK 5.0 op het gebied van morfologie in het zomer- en winterbed.

2.2 De aanleg van een beheerstrook en taludherstel

2.2.1 Locatie

De ingreep waarbij er een beheerstrook wordt aangelegd betreft het gehele tracé van het dijkherstel. Het taludherstel vindt plaats op de locaties waar het talud door inklinking van de dijk te steil is geworden (zie Figuur 2.2.1).

2.2.2 Beschrijving ingreep

Beheerstrook

Langs de dijk is in de huidige situatie op veel plekken geen beheerstrook aanwezig. Deze is wel noodzakelijk, zowel langs de binnenzijde als de buitenzijde van de dijk, voor inspectie en onderhoud. De noodzaak hiervan is groter geworden dan voorheen, door de hogere eisen die de Waterwet stelt aan de dijk en de kwaliteit van de grasmat. Daarom wil HDSR overal langs de dijk beheerstroken realiseren die te allen tijde toegankelijk zijn.

Taludherstel

Over meer dan 80% van de lengte van de dijk worden de taluds van de dijk aangepast.
Het oorspronkelijke talud is na de vorige dijkversterking veelal aangelegd met een taludhelling van 1:3. Die situatie is in de huidige legger waterkeringen vastgelegd. In de loop der jaren is het talud op veel plaatsen ingezakt naar een hol profiel met een steile bovenkant en een minder steile onderkant. Waar taluds steiler zijn uitgezakt dan 1:2,7 daar wordt het talud wederom naar (minimaal) 1:3 gebracht. Dit om te voldoen aan de Basisspecificatie Primaire Waterkeringen van HDSR (datum, bestuurlijke behandeling). HDSR kiest ervoor om dit groot onderhoud mee te nemen met de dijkversterking als integraal onderdeel van het ontwerp van de nieuwe dijk.

2.2.3 Verandering ten opzichte van huidige situatie

In de toekomstige situatie wordt een beheerstrook aangelegd. Deze strook is maximaal 5,5 m breed en wordt tegen de teen van de dijk aangelegd. Om de strook een egale hoogte te maken leidt dit tot verschillende bodemhoogteveranderingen. Daarnaast wordt de strook op een tweetal locaties hoger aangelegd, in verband met de drooglegging. Voor de toegang tot de beheerstrook worden meerdere toe- en afritten aangelegd (ter hoogte van bestaande op- en afritten). Deze komen tegen de dijk aan, waardoor ze parallel aan de stroomrichting van de rivier komen te liggen (zie Figuur 2.2.1 en de bijlage “*Praatprent-052-0.1.pdf*”).

Vegetatieontwikkeling

Bij deze ingreep is geen sprake van vegetatieontwikkeling. Na de aanleg van de beheerstrook zal er een onverharde, gemaaide grasstrook van 2 meter breed zijn aangebracht. Nu is er sprake van “Gras en Akker” volgens de legger. Dat blijft zo, een onverharde, gemaaide grasstrook valt ook in de categorie “Gras en Akker”.

Figuur 2.2.1. Hoogteverschil tussen huidig AHN3 en de aan te leggen beheerspaden. Op basis van "Praatprent-052 versie 0.1".

2.2.4 Quickscan rivierkundige effecten 'beheerstrook en taludherstel'

Impact op de waterstand

In de Waqua berekeningen ten tijde van het vaststellen van het VKA d.d. 2020 is een (inmiddels weer verlaten) variant getoetst waarbij de dijk 2 tot 5 m rivierwaarts versterkt zou worden. Deze variant heeft een grotere impact op de rivierkunde dan de hier in dit memo behandelde beheerstrook. Bij dit alternatief uit 2020 bleef de opstuwing op de rivier-as onder 1 mm, waarmee het ontwerp voldeed aan de eisen betreffende de waterstand in het RBK 5.0. De ingreep betreft ook een verhoging van de bodem aan de rivierwaartse teen van de dijk. Deze bodemhoogte verandering is echter vele malen kleiner dan de eerder getoetste variant. Aangezien ook de toe- en afritten van en naar de beheerstrook parallel aan de dijk lopen, ontstaan er in de nieuwe situatie geen blokkades in de stroomrichting. Omdat de eerdere variant, met een grotere rivierkundige ingreep, voldeed, zal deze ingreep naar verwachting ook voldoen aan de eisen uit het RBK 5.0.

Impact op de afvoerverdeling

Gezien de grote afstand tussen de ingreep en de splitsingspunten en de waterstandsverandering die naar verwachting lokaal onder 1 mm op de rivier-as blijft zal er naar verwachting geen verandering in de afvoerverdeling optreden. Deze conclusie is eerder ook bevestigd middels de verkennende berekeningen bij het VKA in 2020.

Impact op het stroombeeld en onttrekking van water uit zomerbed Rijntakken

De ingreep vindt plaats in het winterbed dat door een zomerkade van het zomerbed wordt gescheiden. Deze zomerkade overstroomt bij een afvoer van 8000m³/s, waardoor er bij lagere afvoeren geen rivierkundige effecten optreden als gevolg van deze ingreep. Van onttrekking

van water uit het zomerbed van de Rijntakken bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren is dus geen sprake. De zomerkade zorgt er ook voor dat ingrepen in het winterbed pas effecten op het stroombeeld in het zomerbed hebben indien de waterstand in de uiterwaard hoger is dan de zomerkade. Bij deze waterstand is de verandering in maaiveld gering ten opzichte van de waterdiepte (centimeters t.o.v. meters). Tevens speelt mee dat de ingreep tegen de teen van de winterdijk ligt, waardoor deze parallel ligt aan de huidige stroombanen. Vanwege beide factoren zal de ingreep de stroombanen in de vaarweg en het winterbed niet beïnvloeden. Daarmee voldoet deze ingreep aan de eisen uit het RBK5.0 op het gebied van stroombeelden en onttrekking van water uit de Rijntakken.

Impact op de morfologie

Effecten in het zomerbed

De ingreep bevindt zich in het winterbed tegen de teen van de winterdijk. Net als bij de ingreep in de Lunenburgerwaard West zorgt een zomerdijk voor een scheiding tussen het zomer- en winterbed bij lage afvoeren. Pas bij een afvoer hoger dan 8000m^3/s bij Lobith zal het winterbed mee gaan stromen op basis van betrekkingslijnen (RWS, 2018) Bij afvoeren lager dan 8000m^3/s zullen er dus geen morfologische effecten optreden.

Bij afvoeren boven 8000 m^3/s kunnen er morfologische veranderingen in het zomerbed optreden, indien de stroomsnelheden in het zomerbed worden beïnvloed door de ingreep. Om tot veranderingen in stroomsnelheid te komen, zal een deel van de afvoer niet meer door het winterbed maar door het zomerbed moeten gaan stromen. Op de plek van de ingreep, de teen van de winterdijk, zal de stroomsnelheid van nature erg beperkt zijn. Deze beperkte stroomsnelheid in combinatie met een kleinschalige verhoging van het maaiveld, en daarmee beperking van doorstroomoppervlak, zal daarom naar verwachting niet leiden tot een toename van de afvoer door de vaargeul. Uit eerdere berekeningen voor het VKA d.d. 2020 bleek dat dat een rivierwaartse dijkverbreding van 5m leidt tot een relatieve toename in stroomsnelheid van ordegrootte 0.3% bij MHW. Gezien de kleinschaligere omvang van de ingreep in dit memo (t.o.v. de variant uit 2020) zal de stroomsnelheidstoename door deze ingreep nog kleiner zijn.

Om een inschatting te maken van de grootte van de morfologische impact maken we gebruik van de zogenoemde ‘evenredigheidsvuistregel’: een jaarronde toename van 1% in afvoer door het zomerbed zal leiden in een 1% toename van de waterdiepte in het zomerbed. Omgekeerd geldt hetzelfde: een jaarronde afname van 1% afvoer, leidt tot een afname van 1% van de waterdiepte.

Als we uitgaan van een zeer conservatieve benadering, waarbij we aannemen dat de stroomsnelheidstoename inderdaad 0.3% is, verwachten we een erosie van 3.1 cm door de ingreep bij jaarrond MHW. In de praktijk zal er uiteraard geen sprake zijn van jaarrond MHW.Het aantal dagen per jaar waarbij wanneer morfologische effecten op kunnen treden, vanaf 8000m³/s, is niet in de betrekkingslijnen vermeld. Rijkswaterstaat gaat er vanuit dat een afvoer van 6000m³/s 5 dagen per jaar wordt overschreden. Houden we dezelfde duur aan voor

afvoeren van 8000m³/s in deze benadering, wordt een afvoer van 8000m³/s 5 dagen per 3,5 jaar (1277 dagen) overschreden. Dit is 0,4% van het jaar. Uitgaande van een lineaire relatie tussen mate van voorkomen en bodemverandering is de verwachte erosie dus ongeveer dan 0.1mm. Zelfs bij een sterk conservatieve benadering is de erosie dus zeer klein. Gezien zeer beperkte erosie wordt verwacht en geen aanzanding, voldoet de ingreep dus aan het RBK 5.0 op het onderdeel morfologie in het zomerbed.

Effecten in het winterbed
Daarnaast bevat het RBK 5.0 een onderdeel morfologie in het winterbed. Daarbij wordt beoordeeld of objecten in het winterbed schade zullen ondervinden door morfologische effecten door de ingreep. De zomerkade die het zomer- van het winterbed scheidt fungeert als drempel voor sediment. Naar verwachting zal er in de praktijk daarom geen uitwisseling van grof (en daarmee morfologisch relevant) sediment tussen zomer- en winterbed plaatsvinden. De verschillen in stroomsnelheid in het winterbed door de ingreep zullen daarnaast naar verwachting zodanig beperkt zijn, dat geen schade aan objecten in het winterbed wordt verwacht. Daarmee voldoet de ingreep ook aan het RBK5.0 op het onderdeel morfologie in het winterbed.

2.3 Verbeteren fietspad tussen beermuur en Prinses Irenesluis (koppelkans 4)

2.3.1 Locatie

Deze koppelkans bevindt zich ten zuiden van Wijk bij Duurstede tussen de beermuur en de Prinses Irenesluis. Tussen dijkpaal 95 en 97, net bovenstrooms van de kruising van de Nederrijn en het Amsterdams-Rijnkanaal (zie Figuur 2.3.1).

2.3.2 Beschrijving ingreep

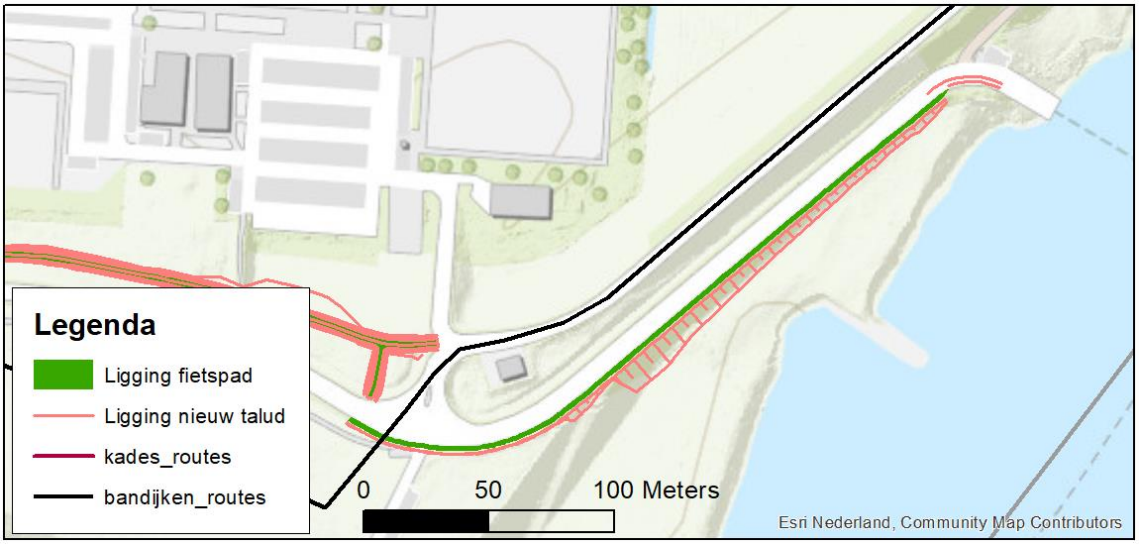
Ten behoeve van het verbeteren van recreatieve mogelijkheden is door de gemeente Wijk bij Duurstede de koppelkans verbeteren vrij liggend fietspad tussen de beermuur en Princes Irenesluis aangedragen. Hiervoor wordt ook een nieuw fietspad en voetpad lans de Veerweg onderzocht. De ligging van dit fietspad is weergegeven in figuur 2.3.1. Deze koppelkans veroorzaakt mogelijk rivierkundige effecten, omdat er sprake is van een buitendijkse, rivierwaartse verbreding van het talud van de Veerweg. Om het fietspad aan te leggen is 2 meter extra ruimte nodig, waardoor het bestaande talud met 2 meter richting de rivier wordt verschoven (zie figuur 2.3.2).

2.3.3 Verandering ten opzichte van huidige situatie

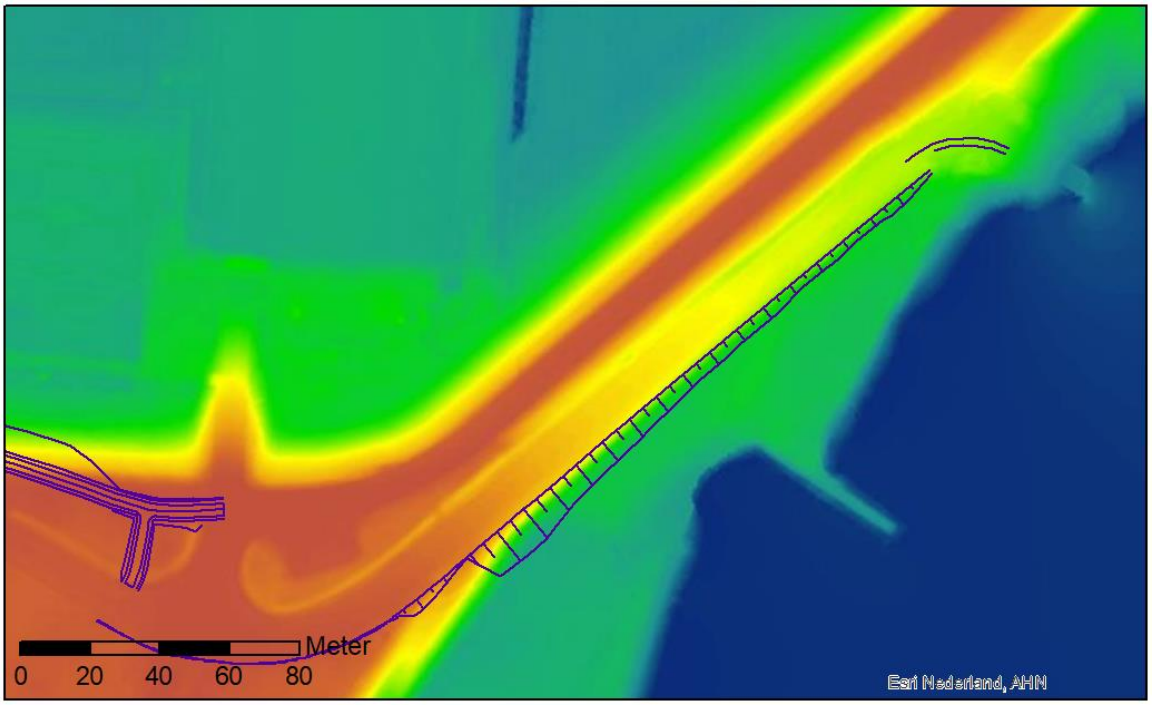
Door de aanleg van het fietspad wordt het talud van de Veerweg met 2 meter richting de rivier verschoven, het talud zelf behoudt dezelfde helling als in de huidige situatie. De ingreep leidt daarmee dus tot een bodemverhoging parallel aan de al aanwezige veerweg, waarbij het huidige profiel van de bodem langs de Veerweg met 2 meter rivierwaarts wordt verschoven.

Vegetatieontwikkeling

Bij deze ingreep is geen sprake van vegetatieontwikkeling. Voor de aanleg van het fietspad zal er echter wel een verharde strook (asfalt) van 2 meter breed worden aangebracht, waar nu nog sprake is van “Gras en Akker” volgens de legger. De ingreep zal dus zeer lokaal de bodemruwheid iets doen afnemen. In de Baseline schematisatie zal voor deze ingreep de ecotopenklasse op de plek van het nieuwe fietspad veranderen van “Gras en Akker” naar “Verhard” (zie figuur 2.3.3).



Figuur 2.3.1. Huidige situatie Veerweg met daarbij de ligging van het fietspad en de nieuwe locatie van het talud ingetekend. Het talud behoudt dezelfde ligging als in de huidige situatie.



Figuur 2.3.2. Bodemhoogte in de huidige situatie op basis van AHN3 met daarop ingetekend de nieuwe locatie van het talud.

Figuur 2.3.3. Vegetatieklassen volgens de vegetatielegger 2020. De ligging van het fietspad (zwart omlijnd) en de locatie van het talud (paarse lijnen).

2.3.4 Quickscan rivierkundige effecten 'fietspad beermuur en Prinses Irenesluis'

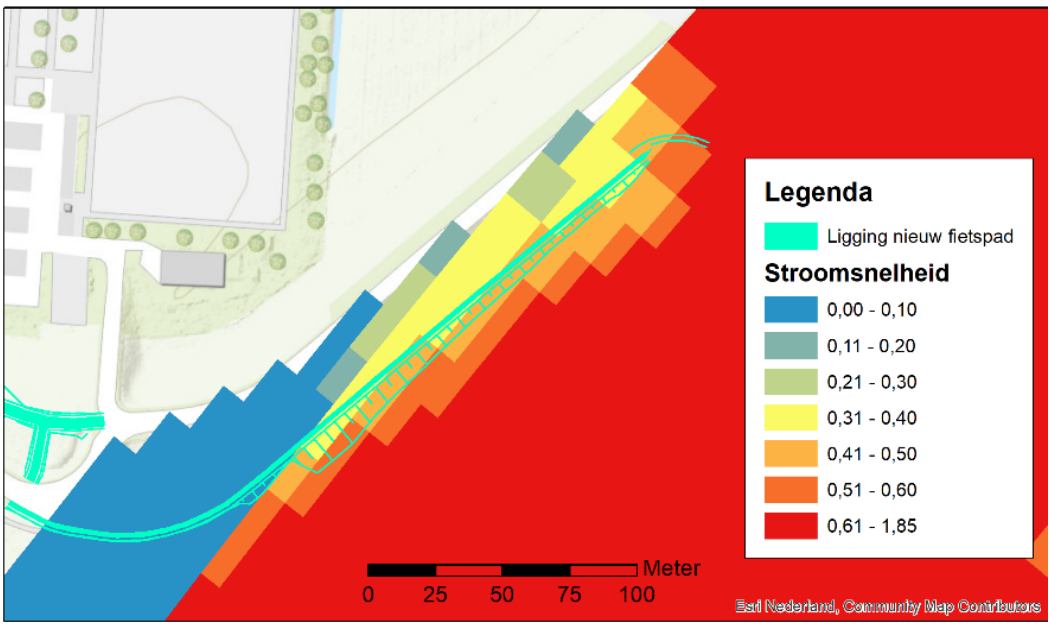
Impact op de waterstand

De ingreep ligt in een vernauwing van de rivier, dicht op de rivier-as. Bij maatgevende afvoer treden hier door de vernauwing in doorstroombreedte in de hoofdgeul van de rivier relatief hoge stroomsnelheden op (1 – 1,5 m/s). Ingrepen die niet in lijn met de stroombanen van het water georiënteerd zijn, kunnen daardoor hier relatief grote opstuwing veroorzaken. De huidige Veerweg loopt echter in de stroomrichting geleidelijk op in hoogte vanaf de rivier tot aan de bovenkant van de Lekdijk in de stroomrichting. Omdat het fietspad direct aan de huidige Veerweg wordt gelegd, is er daarom geen reden om aan te nemen dat de ingreep tot een significante obstructie van de stroming zal leiden. De inperking van doorstroombreedte is daarnaast beperkt: 2 meter op een totale breedte van 1000 m tussen beide banddijken. Naar verwachting zal de ingreep tot een beperkte waterstandsverhoging aan de banddijk leiden. Het is echter niet met zekerheid op basis van expert judgement te stellen dat het huidige ontwerp aan het RBK voldoet. Om hier wat meer gevoel bij te krijgen hebben we met een formule de verwachte waterstandstoename benaderd.

Voor de benadering hebben we gebruik gemaakt van onderstaande formule, afkomstig uit de RIZA nota “Ruimte voor de rivier door herinrichting van de Afferdensche en Deestsche Waarden”:

$$\Delta h = \left[\left(\frac{Q_1}{Q_o}\right)^2 - 1\right]\Delta H_0$$

Waarbij Q staat voor de afvoer door de vaargeul in m³/s, H voor het verhang in m/m en de subscript 0 staat voor de huidige situatie en subscript 1 staat voor de toekomstige situatie. We gaan in de berekening vervolgens uit van een stroomsnelheid in de huidige situatie op de locatie van de ingreep tussen 0,2 en 0,5 m/s (zoals berekend in 2020, zie Figuur 2.3.4) en een belemmering van het doorstroomoppervlak van 15 m². De aangenomen bandbreedte in stroomsnelheid levert een benaderde waterstandsverandering tussen 0,3 en 0,6 mm op de as van de rivier op.



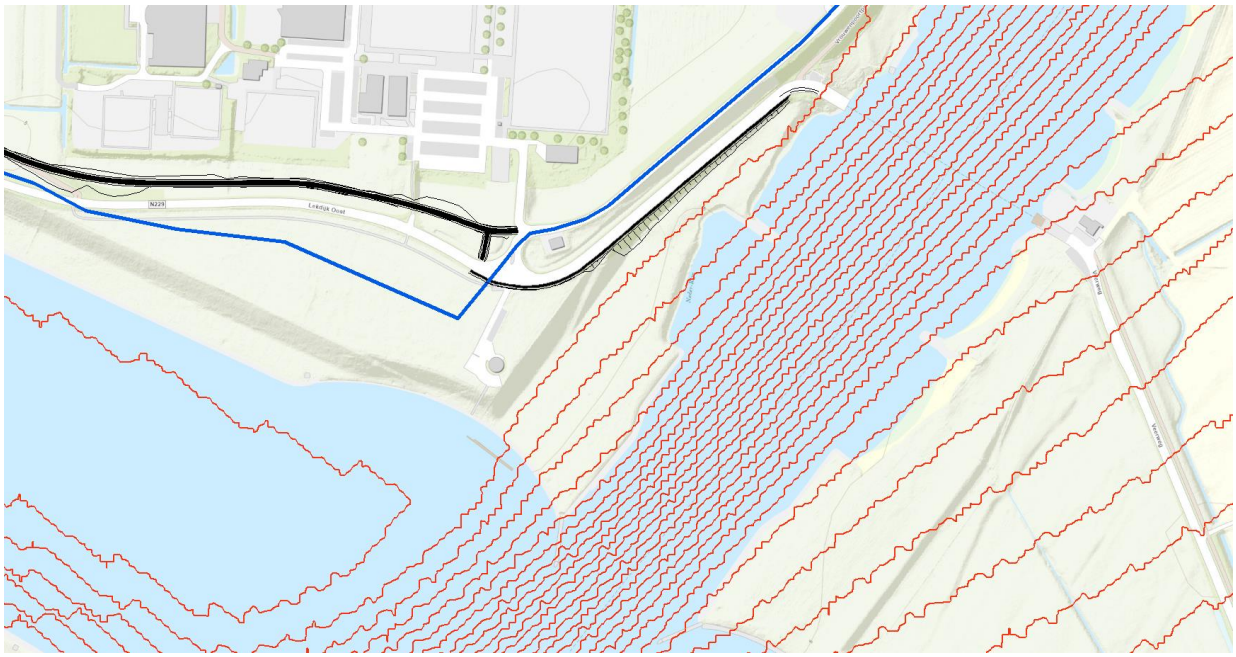
Figuur 2.3.4. Stroomsnelheden rondom de locatie van het fietspad. Op basis van resultaten van referentie berekening van het VKA in 2020.

De benadering geeft daarmee dus aan dat deze ingreep aan de eisen van het RBK 5.0 voldoet, omdat de opstuwing onder 1 mm blijft. De expert judgement beoordeling is in lijn met deze conclusie op basis van de benadering van de opstuwing met behulp van de formule. Zoals eerder aangegeven kunnen effecten van verschillende rivierkundige ingrepen elkaar versterken of juist (deels) compenseren. Bovenstaande benadering geldt alleen voor de situatie waarbij deze ingreep als enige uitgevoerd wordt. Indien deze ingreep samen met een

of meerdere andere van de andere ingreepen worden uitgevoerd, kunnen de gecombineerde effecten afwijken. Met name de ingreep in de Lunenburgerwaard is hierbij interessant, omdat die de verdeling van afvoer tussen zomerbed en uiterwaard op de locatie van het fietspad kan beïnvloeden.

Impact op de afvoerverdeling
Gezien de afstand tussen de ingreep en de splitsingspunten IJsselkop en Pannerdensche kop (46 en 56km respectievelijk) en de naar verwachting beperkte waterstandsverandering zal de afvoerverdeling op de splitsingspunten aan de in het RBK 5.0 gestelde eisen voldoen.

Impact op het stroombeeld en onttrekking van water uit zomerbed Rijntakken
Zoals beschreven zal de ingreep pas rivierkundige effecten teweeg brengen bij een afvoer groter dan 8000m³/s. Van onttrekking van water uit het zomerbed bij lage en mediane afvoeren is dus geen sprake. Bij afvoeren groter dan 8000m³/s beperkt de ingreep een deel van het doorstroomoppervlak. Daardoor neemt de afvoer in de vaargeul beperkt toe. In de huidige situatie lopen de stroombanen in de uiterwaard en vaargeul parallel aan de veerweg, zie Figuur 2.3.5. Het aanleggen van het fietspad tegen de veerweg aan, zal dus niet leiden tot een verandering van de richting van de stroombanen in de directe omgeving van de ingreep. De aanwezige trechterwerking bovenstrooms van de veerweg zal niet worden beïnvloed. Hetzelfde geldt voor de stroombanen benedenstrooms van de veerweg, waar de rivier weer ruimte krijgt en zicht verbreedt. Daarmee voldoet deze ingreep aan de eisen uit het RBK5.0 op het gebied van stroombeelden en onttrekking van water uit de Rijntakken.



Figuur 2.3.5. De stroombanen (rood) rondom de locatie van de koppelkans (zwart). In blauw is de banddijk weergegeven. De stroombanen zijn per 100m³/s ingetekend.

Impact op de morfologie
Op de locatie van de ingreep is de rechter uiterwaard erg smal. De ingreep ligt daarbij dus relatief dicht op het zomerbed. Op de locatie van de ingreep zit ook geen duidelijke begrenzing tussen het zomerbed en de uiterwaard: de kribvakken lopen geleidelijk over in het winterbed.

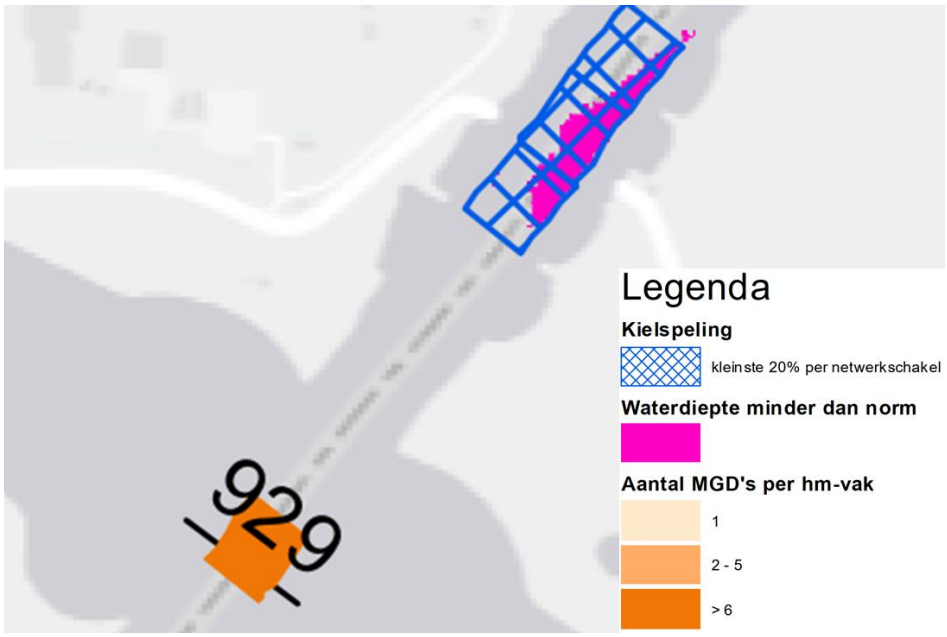
Aangezien het laagste punt van de ingreep op 6.50 mNAP ligt, zal de ingreep bij afvoeren onder 8000 m³/s geen morfologische effecten teweeg brengen. Bij afvoeren boven 8000 m³/s kan de ingreep in theorie tot morfologische veranderingen leiden. Om een inschatting te maken van de grootte van de morfologische impact maken we gebruik van de zogenoemde ‘evenredigheidsvuistregel’: een jaarronde toename van 1% in afvoer door het zomerbed zal leiden in een 1% toename van de waterdiepte in het zomerbed. Omgekeerd geldt hetzelfde: een jaarronde afname van 1% afvoer, leidt tot een afname van 1% van de waterdiepte.

De ingreep zal in toenemende mate morfologische effecten hebben voor toenemende afvoeren boven 8000m³/s. Dit komt omdat de afname in doorstroomoppervlak door de ingreep toeneemt bij stijgende waterstanden. Uit toepassing van de vuistregel voor de waterstandsverandering blijkt dat de ingreep leidt tot minder doorstroomoppervlak bij MHW. Hierdoor zal de afvoer in het zomerbed met 1 tot 4 m³/s toenemen. Dit is 0.05 tot 0.2% van de zomerbedafvoer bij MHW. De evenredigheidsvuistregel geeft aan dat een jaarronde toename

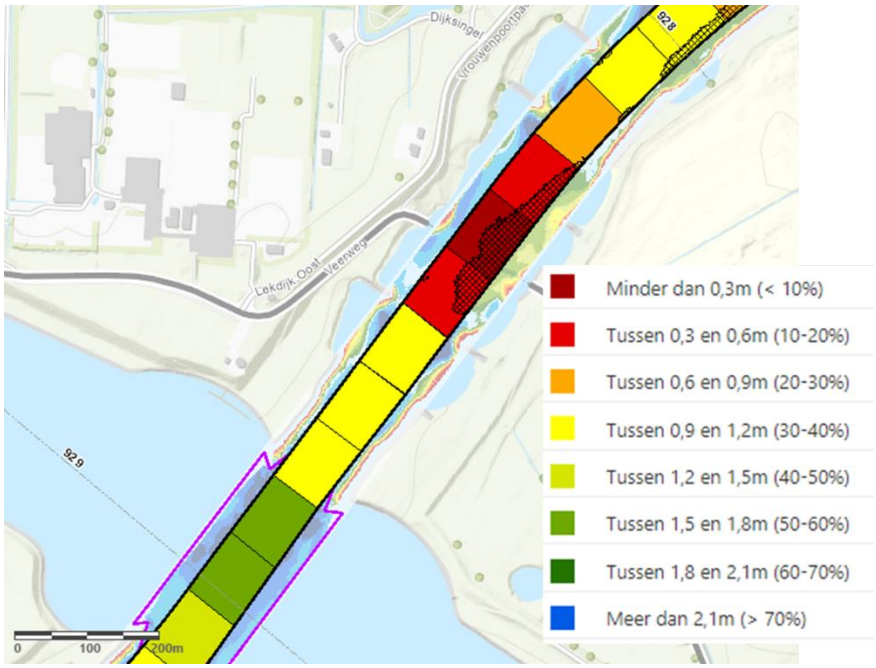
van 0.2% van de waterdiepte door de ingreep te verwachten is. Aangezien de waterdiepte bij MHW 10.60m is, is de verwachte erosie 0.5 tot 2cm. Bij deze inschatting wordt echter uitgegaan van een jaarronde toename in afvoer. Dat is in de praktijk niet het geval: een afvoer van 8000m³/s of hoger, waarbij de ingreep morfologische effecten kan veroorzaken, komt gemiddeld genomen eenmaal per 3,5 jaar voor (betrekkingslijnen RWS, 2018). Het aantal dagen per jaar waarbij de afvoer hoger is dan 8000m³/s is niet in de betrekkingslijnen vermeld. Rijkswaterstaat gaat er vanuit dat een afvoer van 6000m³/s 5 dagen per jaar wordt overschreden. Houden we dezelfde duur aan voor afvoeren van 8000m³/s in deze benadering, wordt een afvoer van 8000m³/s 5 dagen per 3,5 jaar (1277 dagen) overschreden. Dit is 0,4% van het jaar. Uitgaande van een lineaire relatie tussen mate van voorkomen en bodemverandering is de verwachte erosie daarmee 0.2 tot 0.8mm. Dit is een conservatieve benadering: in deze benadering wordt uitgegaan van een maximaal effect bij de laagste afvoer waarbij effecten optreden en wordt de jaarlijkse overschrijdingsduur van een afvoer van 8000m³/s overschat.

Om de ordegrootte van de erosie te duiden, bekijken we de lokale waterdiepte op de locatie van de ingreep. De minimale waterdiepte in de vaargeul mag als gevolg van de ingrepen niet kleiner worden dan 3.5m-OLR volgens het RBK 5.0. In Figuur 2.3.6 is te zien dat het hectometervak naast de ingreep behoort tot de kleinste 20% van de netwerkschakel (blauw raster). Ook voldoet de waterdiepte in een deel van de vaargeul niet aan de norm (roze arcering). Lokale erosie van de bodem is daarmee positief, aangezien meer waterdiepte wordt gecreëerd. Het is ook belangrijk dat de breedtegemiddelde waterdiepte in de vaargeul voldoende blijft. De ruimte ten opzichte van de norm is weergegeven in Figuur 2.3.7. Te zien is dat er rond de ingreep slechts zeer beperkte ruimte is ten opzichte van de norm. In het zwart gearceerde gebied wordt de norm niet gehaald in de huidige situatie. Dit maakt de verwachte lokale erosie ook voordelig. Gezien de zeer kleine verwachte morfologische effecten, in combinatie met de richting van de morfologische ontwikkeling (erosie), voldoet deze ingreep aan de eisen in het RBK 5.0 op het gebied van morfologie in het zomerbed. De ingrepen leiden niet tot een toename van de baggerinspanning of baggerbezwaar. De beschikbare vaardiepte zal als gevolg van de ingrepen zeer licht toenemen met minder dan 1 mm rondom rkm 928.4.

Op basis van bovenstaande inschatting van de morfologische effecten, is er in de uiterwaard in het projectgebied geen grootschalige aanzandig of erosie te verwachten. Gezien de beperkte breedte van de uiterwaard is het niet aannemelijk dat de verandering in afvoer door de uiterwaard grote veranderingen in stroomsnelheid teweeg zal brengen. De daaruit volgende morfologische veranderingen bij afvoeren boven 8000m³/s zullen daarom naar verwachting zodanig klein zijn dat er geen verandering optreedt ten opzichte van de huidige situatie. Verandering van aanzanding of erosie in de uiterwaard ten opzichte van de huidige situatie is daarmee naar verwachting niet aan de orde. Dus voldoet de ingreep aan het RBK 5.0 op het gebied van morfologie in het winterbed.



Figuur 2.3.6. Uitsnede van de MOGD kaart op de locatie van de ingreep bij de veerweg. Bron: Memo waterdiepte effecten in HVWN, bijlage 1.



Figuur 2.3.7. Waterdiepte ten opzichte van de norm per hectometervak rondom koppelkans 4. In het zwart gearceerde vlak wordt de norm niet gehaald. Bron: waterdieptekaarten RWS-ON d.d. 28-6-2022.

3 Samenvatting van de resultaten van de quickscan en combinatie van ingrepen

In de voorgaande hoofdstukken zijn de resultaten van een quickscan naar verwachte rivierkundige effecten door de ingrepen beschreven. In dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting en conclusie per ingreep in tabelvorm gegeven. We sluiten af met de verwachte effecten bij het combineren van ingrepen.

	KOPPELKANS 3 LUNENBURGERWAARD	**BEHEERSTROOK & TALUDHERSTEL**	**KOPPELKANS 4 FIETSPAD**
WATERSTANDEN	Met behulp van een analytische formule en expert judgement wordt geen opstuwing verwacht. Daarmee voldoet deze ingreep aan het RBK 5.0.	Minder ingrijpend dan VKA variant uit 2020 waarbij effecten binnen de normen blijven; dus geen risico op problemen qua waterstanden.	Met behulp van een analytische formule wordt de opstuwing op de rivier-as geschat op 0.3 á 0.6 mm. Daarmee voldoet deze ingreep aan de norm van het RBK 5.0.
AFVOERVERDELING	Gezien de naar verwachting afwezige effecten op waterstanden en de afstand tot de splitsingspunten wordt geen effect op de afvoerverdeling verwacht. Daarmee voldoet deze ingreep aan het RBK 5.0.	Gezien de zeer beperkte opstuwing en de afstand tot de splitsingspunten wordt geen effect op de afvoerverdeling verwacht. Daarmee voldoet deze ingreep aan het RBK 5.0.	Gezien de beperkte opstuwing en de afstand tot de splitsingspunten wordt geen effect op de afvoerverdeling verwacht. Daarmee voldoet deze ingreep aan het RBK 5.0.
STROOMBEELD EN ONTTREKKING VAN WATER UIT ZOMERBED RIJNTAKKEN	Gezien de grote waterdiepte op de locatie van de ingreep voordat deze het stroombeeld in de vaargeul kan beïnvloeden en de oriëntatie t.o.v. de huidige stroombanen wordt geen verandering in dwarsstroming in de vaargeul verwacht. Daarmee voldoet deze ingreep aan het RBK5.0.	Gezien de grote waterdiepte op de locatie van de ingreep voordat deze het stroombeeld in de vaargeul kan beïnvloeden en de ligging t.o.v. de huidige stroombanen wordt geen verandering in dwarsstroming in de vaargeul verwacht.	Gezien de oriëntatie van de ingreep ten opzichte van de huidige stroombanen wordt geen verandering in dwarsstroming in de vaargeul verwacht. Daarmee voldoet deze ingreep aan het RBK5.0.

		Daarmee voldoet deze ingreep aan het RBK5.0.	
MORFOLOGIE	Er zullen naar verwachting geen veranderingen in waterstand optreden, waardoor geen morfologische effecten optreden; geen risico op rivierkundige problemen.	Minder ingrijpend dan VKA variant, op basis van hydraulische effecten VKA variant verwachting dat morfologische impact verwaarloosbaar is; geen risico op rivierkundige problemen.	Naar verwachting verwaarloosbare erosie (< 0.1 mm) in de vaargeul bij afvoeren groter dan 8000 m3/s. Naar verwachting geen risico.
CONCLUSIE	**Voldoet naar verwachting aan eisen in het RBK 5.0**	**Voldoet naar verwachting aan eisen in het RBK 5.0**	**Voldoet naar verwachting aan eisen in het RBK 5.0**

Doorkijk naar effecten van combinaties van ingrepen:
De quickscan in dit memo heeft tot het inzicht geleid dat nadelige rivierkundige effecten van koppelkans 3, de Lunenburgerwaard en de aanleg van de beheerstrook en het taludherstel naar verwachting afwezig zijn. Voor koppelkans 4, het fietspad, is het inzicht ontstaan dat deze ingreep naar verwachting ook voldoen aan de rivierkundige eisen in het RKB 5.0.

Aangezien er geen rivierkundige effecten worden verwacht bij koppelkans 3 zal de combinatie van deze koppelkans en de beheerstrook naar verwachting ook geen nadelige rivierkundige effecten opleveren.

De verwachte rivierkundige effecten van de beheerstrook en het fietspad zullen naar verwachting rondom en bovenstrooms van de ingrepen effect hebben. Daarmee is het dus vooral relevant om te kijken hoe de rivierkundige effecten van koppelkans 4, het fietspad, de rivierkundige effecten van de beheerstrook beïnvloeden. Daarvoor kijken we eerst naar de afstand tussen beide ingrepen, dit is 2.1km (einde beheerstrook bij rkm 926.3 en begin fietspad bij rkm 828.4). In paragraaf 2.3.4 hebben we bepaald dat de aanleg van het fietspad naar verwachting zal leiden tot 0.3 tot 0.6mm opstuwing op de rivier-as. Naar verwachting is de stuwkromme van deze opstuwing korter dan 2.1km, waardoor we kunnen stellen dat beide ingrepen elkaar naar verwachting niet zullen versterken.

De combinatie van de drie ingreepen, met eigenschappen per ingreep zoals beschreven in dit memo, zal (ongeacht de samenstelling van de combinatie) naar verwachting dus ook voldoen aan de eisen gesteld in het RBK 5.0.

Bijlage 7. Notitie koppelkansen natuurwaarden bij horizontale pipingmaatregelen in de Lunenburgerwaard

14-07-2022

Notitie

Auteur: Kees van Immerzeel
Projectnummer: sweco.projectId
Onderwerp: sweco.name
Klant: sweco.mainCustomer.name
Projectleider: sweco.projectManager.firstName
sweco.projectManager.lastName

Verantwoording

Titel:	Notitie koppelkansen natuurwaarden bij horizontale pipingmaatregelen in de Lunenburgerwaard
Onderwerp:	Natuurontwikkeling op een horizontale pipingmaatregel
Projectnummer:	51006448/3010
Klant:	Combinatie Lek Ensemble VOF
Referentienummer:	
Versie:	1.0
Datum:	14-7-2022
Auteur:	Kees van Immerzeel / Evalyne de Swart
E-mailadres:	Kees.vanimmerzeel@sweco.nl / Evalynedeswart@sweco.nl
Gecontroleerd door:	Ron Buitelaar
Paraaf gecontroleerd:	
Vrijgegeven door:	Ron Buitelaar
Paraaf vrijgegeven:	
Document referentie:	

Sweco
Kees van Immerzeel
Consultant
Kees.vanimmerzeel@sweco.nl
M +31 6 12991261

Postbus 7057
NL 9701 JB Groningen
Netherlands
T +31 (0) 88 811 6600
www.sweco.nl

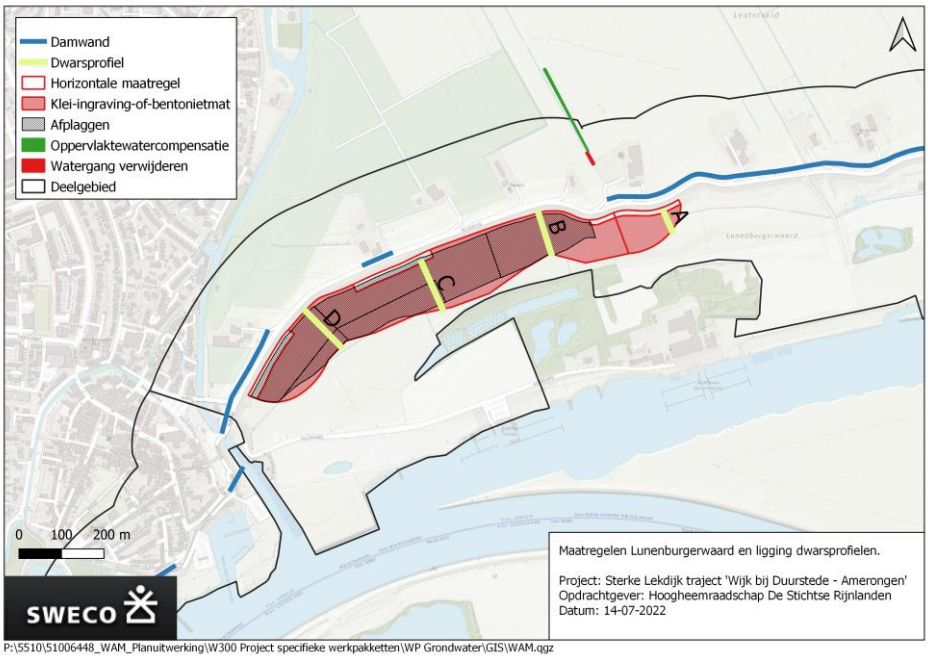
Sweco Nederland B.V.
Handelsregister 30129769
Statutair gevestigd te: De Bilt

1 Inleiding

In het kader van het dijkversterkingsproject *Sterke Lekdijk, traject Wijk bij Duurstede Amerongen*, wordt de toepassing van een bentonietmat of een kleiinkassing overwogen als horizontale pipingmaatregel in het deelgebied Lunenburgerwaard (figuur 1). Een bentonietmat bestaat uit een dunne laag zeer slecht doorlatende klei. Deze maatregel wordt langs het dijktraject gecombineerd met andere maatregelen, zoals de plaatsing van damwanden.

In dit memo wordt steeds gesproken over een bentonietmat als horizontale pipingmaatregel; de analyse geldt echter ook voor een klei-inkassing met dezelfde diepteligging.

Primair is de functie van een bentonietmat het voorkomen van piping. Dat is de geconcentreerde stroming van grondwater onder dijken en kades. Piping is ongewenst omdat dit proces de stabiliteit van een dijk kan ondermijnen.



Figuur 1: Maatregelen in het deelgebied Lunenburgerwaard (Basis scenario).

In het project *Sterke Lekdijk, traject Wijk bij Duurstede Amerongen* wordt ernaar gestreefd om, waar mogelijk, kansen te benutten die ontstaan door de dijkversterking. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat dijkversterking tevens natuurwaarden kan versterken. Daarom wordt bijvoorbeeld, ten behoeve van natuurontwikkeling, afplaggen als maatregel overwogen.

Deze memo beschrijft de meekoppelkansen voor natuurwaarden bij de toepassing van een bentonietmat. De verwachting is namelijk dat deze matten - doordat ze relatief ondiep in het bodemprofiel worden aangebracht- leiden tot relatief natte omstandigheden, wat gunstig kan zijn voor natte natuurdoeltypen.

Het grondwaterregime en de daarmee samenhangende vochttoestand van de bodem is dan ook belangrijk bij de bepaling van de meekoppelkansen voor natuurwaarden.

Hoofdstuk 2 (Werkwijze) beschrijft de manier waarop het te verwachten grondwaterregime en de vochttoestand van de bodem boven de bentonietmat is

bepaald. Daarbij is uitgegaan van vier representatieve dwarsprofielen in de Lunenburgerwaard. De locaties van de dwarsprofielen zijn weergegeven in figuur 1.

Paragraaf 3.1 beschrijft de resultaten van deze werkwijze, op basis waarvan in paragraaf 3.2 de meekoppelkansen voor natuurwaarden in de Lunenburgerwaard worden beschreven.

Het vierde hoofdstuk bevat de conclusies van de bovenstaande analyse. Het vijfde hoofdstuk tenslotte bevat de literatuur verwijzingen.

Bijlage 1 beschrijft het gereedschap (een waterbalansmodel) waarmee de analyses zijn uitgevoerd.

2 Werkwijze

Om te bepalen welk grondwaterregime c.q. welke vochttoestand van de bodem te verwachten is op de plaatsten waar de bentonietmat worden toegepast, is een waterbalans model gemaakt van de bodem boven deze matten. Het gaat om een zgn. puntmodel.

De volgende uitgangspunten zijn daarbij gehanteerd:
- De bentonietmat worden aangebracht op een diepte van 80 cm-mv, waarbij de onderste 30 cm bestaat uit schoon zand, waarop een laag van 50 cm van het oorspronkelijke bodemmateriaal wordt teruggeplaatst.
- De waterbalans in een dwarsprofiel (figuur 1) wordt beschreven door een puntmodel.

Bijlage 1 beschrijft de werking van het waterbalans model en gaat daarnaast in op de parametrisering van dit model op de vier dwarsprofiel locaties.

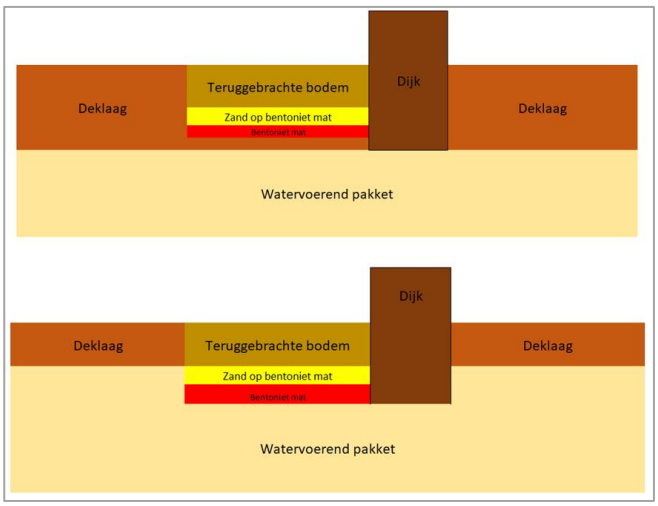
Dit hoofdstuk beschrijft de aspecten die meest bepalend zijn voor het grondwaterregime en vochttoestand van de bodem boven de bentonietmat.

Het gaat om:
- de *ligging* van de mat (in- of onder de deklaag)
- de *hoogteligging* van de mat (ten opzichte van de grondwaterstanden in de omgeving)
- de *breedte* van de mat.

<u>Ligging in- of onder de deklaag</u>
Een bentonietmat vertegenwoordigt in het bodemprofiel een sterk storende laag. De hydraulische weerstand van de mat is zodanig hoog (>8000 dagen[1]), dat de mat bijna ondoorlatend is. Figuur 2 toont schematisch de ligging van een bentonietmat ten opzichte van de deklaag, de dijk en het watervoerend pakket.

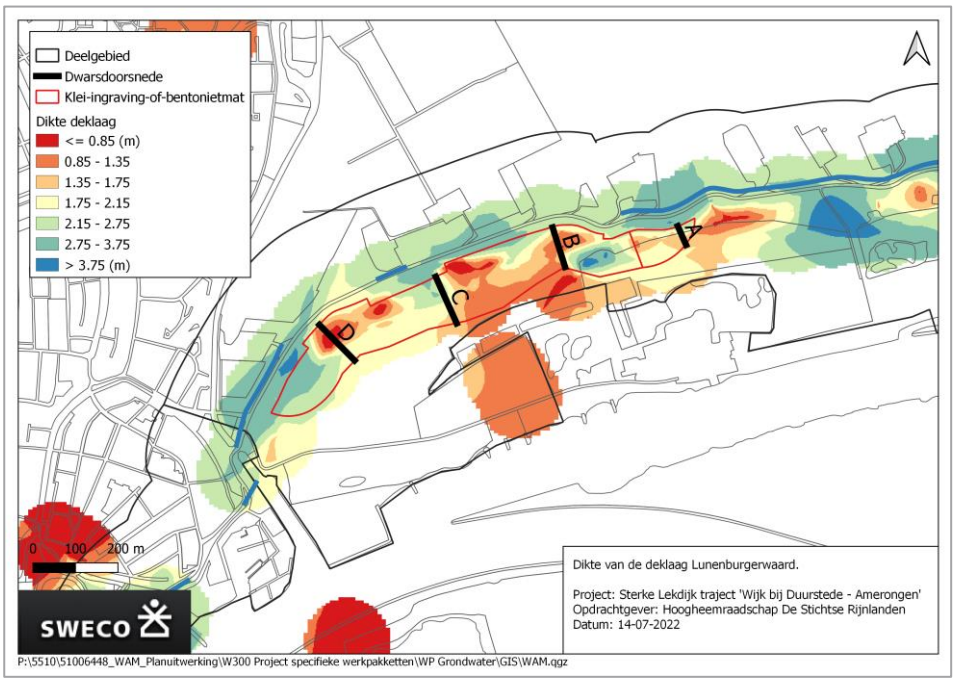
Omdat de bentonietmat bij benadering ondoorlatend is, is er in de modellering vanuit gegaan dat er geen (verticale) stroming door deze mat mogelijk is tussen het watervoerend pakket en de zand c.q. bodemlaag op de mat.

[1] *Factsheet Innovatie – Bentonietmat*, 10-5-2021.



Figuur 2: Schematische weergave van de ligging van een bentonietmat ten opzichte van de deklaag, de dijk en het watervoerend pakket. Boven: ligging in de deklaag. Onder: ligging onder de deklaag.

De deklaag bestaat in het studiegebied vooral uit zandige klei (B-Ware, 2021). De dikte van de deklaag is wisselend (figuur 3), waardoor de bentonietlaag soms in de deklaag ligt en soms in het watervoerend pakket eronder.



Figuur 3: Dikte van de deklaag beneden 80 cm-mv nabij de Hank (Bovenpolder). Bron: (B-Ware, 2021).

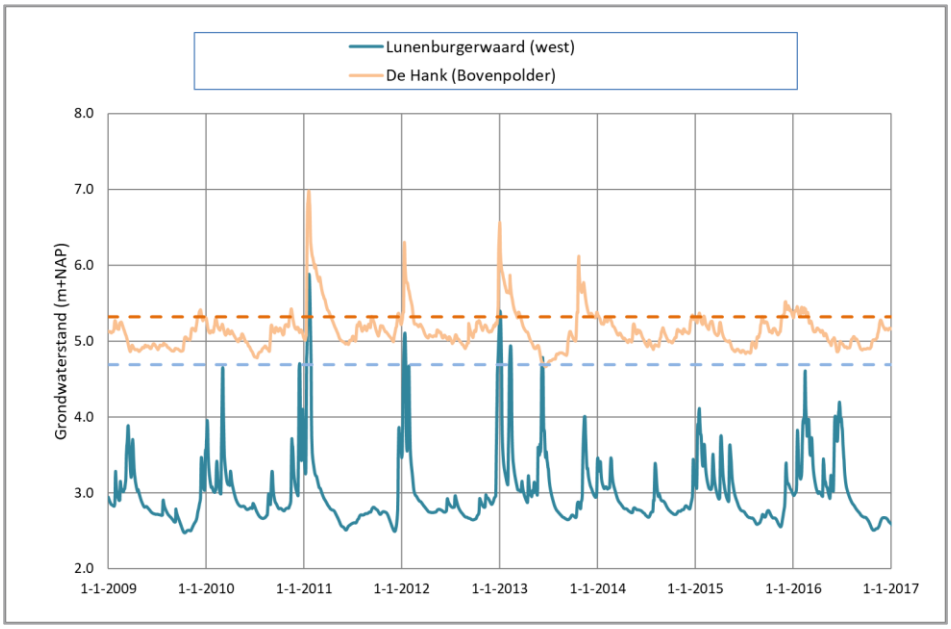
De doorlatendheid van de deklaag is gering in vergelijking met het zand op de bentonietmat. De ontwatering van de bodem boven de bentonietmat vindt daarom vooral plaats door middel van de 30 cm dikke zandlaag op de bentonietmat. Daarnaast kan water uit het profiel worden afgevoerd door stroming over het maaiveld.

Het zal duidelijk zijn dat de ontwatering via de zandlaag op de bentonietmat relatief moeilijk is als deze laag is ingesloten in de deklaag (figuur 2, boven).

Omgekeerd, als de zandlaag onder de deklaag ligt is de ontwatering van de bodem boven de bentonietmat via deze zandlaag relatief makkelijk (figuur 2, onder).

De hoogteligging

De grondwaterstanden in de omgeving van de bentonietmat bepalen het niveau waarop de bentonietmat kan afwateren. Deze grondwaterstanden kennen een jaarlijkse dynamiek. De grondwaterstanden zijn verder afhankelijk van de locatie in het ca. 10 km lange dijktraject in het project. Ter illustratie toont figuur 4 het verloop van de grondwaterstand (m+NAP) ter plaatse van de Lunenburgerwaard (west) en De Hank (Bovenpolder).



Figuur 4: Verloop van de grondwaterstand (m+NAP) t.p.v. de Lunenburgerwaard (west) en De Hank (Bovenpolder)[2].

De breedte van de bentonietmat

Zoals gezegd, de ontwatering van de bodem boven de bentonietmat vindt, afgezien van stroming over het maaiveld en eventuele greppels, vooral plaats door middel van de zandlaag op de bentonietmat. Dit kan echter alleen plaatsvinden aan de kant van de uiterwaard, omdat de zandlaag eindigt bij de dijk.

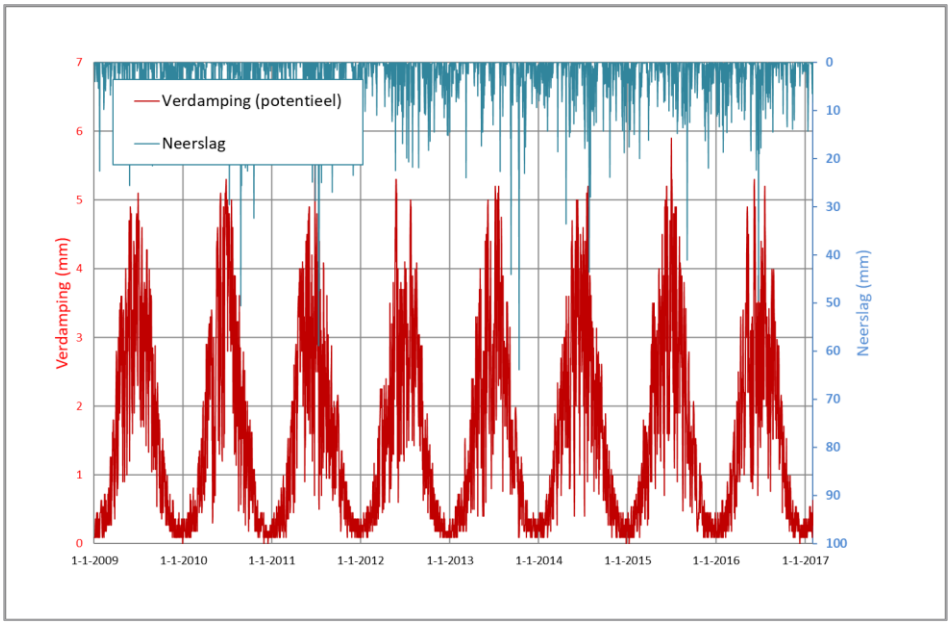
De ontwatering via de zandlaag is dus 1-zijdig, via een denkbeeldige sloot aan de polderzijde. De (denkbeeldige) slootafstand is in de modellering daarom gelijk aan twee maal de breedte van de bentonietmat. De sloot heeft een peil gelijk aan de grondwaterstand in de omgeving. Het zal duidelijk zijn dat, naarmate de bentonietmat breder is, de ontwatering via de zandlaag moeilijker is omdat de slootafstand groter is.

Het is denkbaar dat in de zone in de uiterwaard die grenst aan de bentonietmat de grondwaterstanden worden beïnvloed door het water dat via de zandlaag afstroomt. Vooralsnog is echter aangenomen dat er van een dergelijke beïnvloeding geen sprake is.

[2] Bron: 3D Grondwater modellering WAM (2021).

Modelberekeningen

In het volgend hoofdstuk worden de berekeningsresultaten getoond die betrekking hebben op vier dwarsprofielen op de bentonietmat in de Lunenburgerwaard (figuur 1). De berekeningen hebben betrekking op een historische periode (2009-2017). Figuur 5 toont de neerslag en verdamping in die periode. Voor de leesbaarheid van de figuren worden in het volgende hoofdstuk alleen de resultaten getoond van de periode 2014-2017.



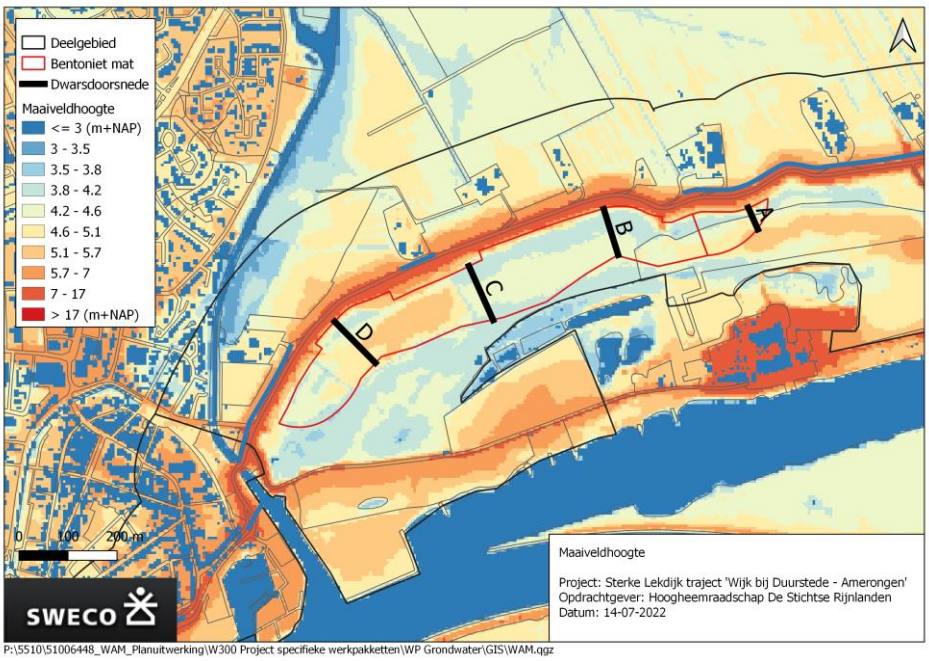
Figuur 5: Neerslag en verdamping (potentieel). Station 260 (de Bilt).

Als basis voor de berekeningen op de vier dwarsprofiel locaties zijn de parameters gebruikt uit tabel 1.

Tabel 1: Parameters ter plaatse van de dwarsprofielen A t/m D. Figuur 1 toont de locaties van de dwarsprofielen. De restdikte is de dikte van de deklaag onder de bentonietmat.

Dwarsprofiel	Maaiveldhoogte (m+NAP)	Afplaggen (m)	Breedte mat (m)	Dikte deklaag (m)	Restdikte (m)
A	4.70	0.00	50	1.65	0.85
B	4.25	0.30	98	1.00	0.00
C	4.25	0.30	121	2.00	0.90
D	5.00	0.30	115	0.60	0.00

Uit tabel 1 blijkt dat voor de modellering in ieder dwarsprofiel een representatieve maaiveldhoogte is gebruikt. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijke situatie. Ter vergelijking toont figuur 6 de maaiveldhoogte en de ligging van de dwarsprofielen.



Figuur 6: Maaiveldhoogte. Bron: AHN.

3 Resultaten

3.1 Modelresultaten

3.1.1 Grondwaterregime

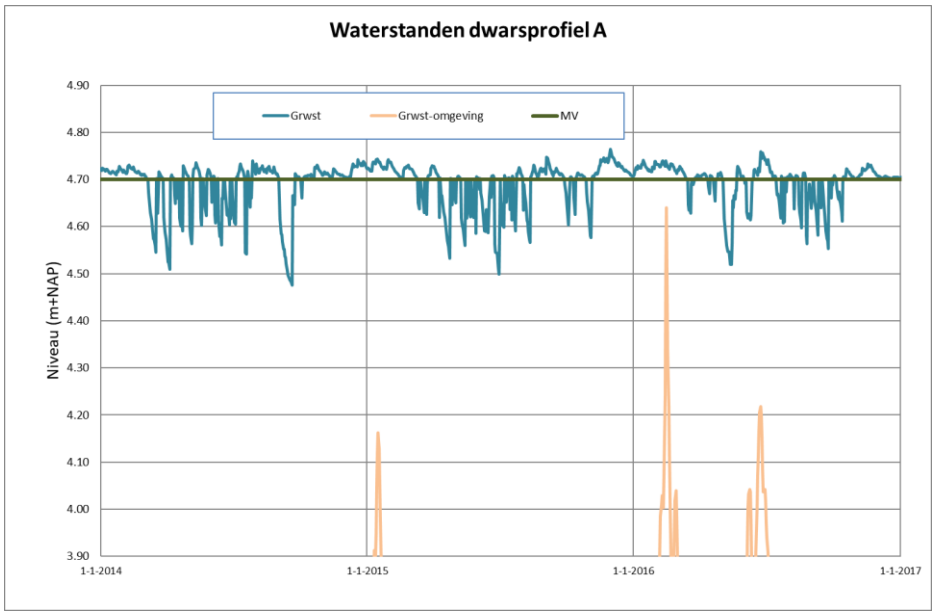
De figuren 7 tot en met 10 tonen de berekende grondwaterstanden in de profielen A t/m D (blauwe lijnen)[3]. Zichtbaar is dat de berekende grondwaterstand in de dwarsprofielen A en C jaarrond op of net onder het maaiveld staat. In de dwarsprofielen B en D kan de grondwaterstand tijdelijk op of net onder het maaiveld komen maar de grondwaterstand zakt met name in de zomer tot op het niveau van de bentonietmat (80 cm-mv).

In deze laatste profielen (B en D) ligt de bentonietmat onder de deklaag (vergelijk de situatie in figuur 2 onder), terwijl in de profielen A en C de bentonietmat in de deklaag ligt.

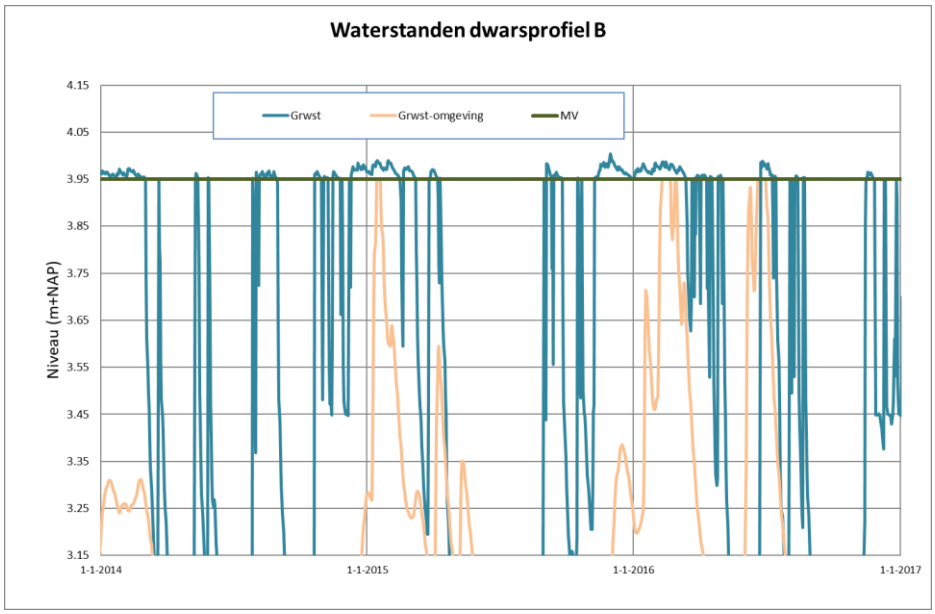
De ligging van de bentonietmat onder de deklaag (profielen B en D) leidt ertoe dat de 30 cm dikke zandlaag boven de mat beter contact maakt met het watervoerend pakket. Daardoor, en door de lage waterstanden in de omgeving, is de ontwatering van het bodemprofiel boven de bentonietmat relatief goed. Dat leidt tot uitzakkende grondwaterstanden in het bodemprofiel boven de bentonietmat.

Omgekeerd: De ligging van de bentonietmat boven de deklaag (profielen A en C) leidt ertoe dat de 30 cm dikke zandlaag boven de mat slecht contact maakt met het watervoerend pakket. Daardoor is de ontwatering van het bodemprofiel boven de bentonietmat relatief slecht. Dat leidt tot stagnerend grondwater in het bodemprofiel boven de bentonietmat.

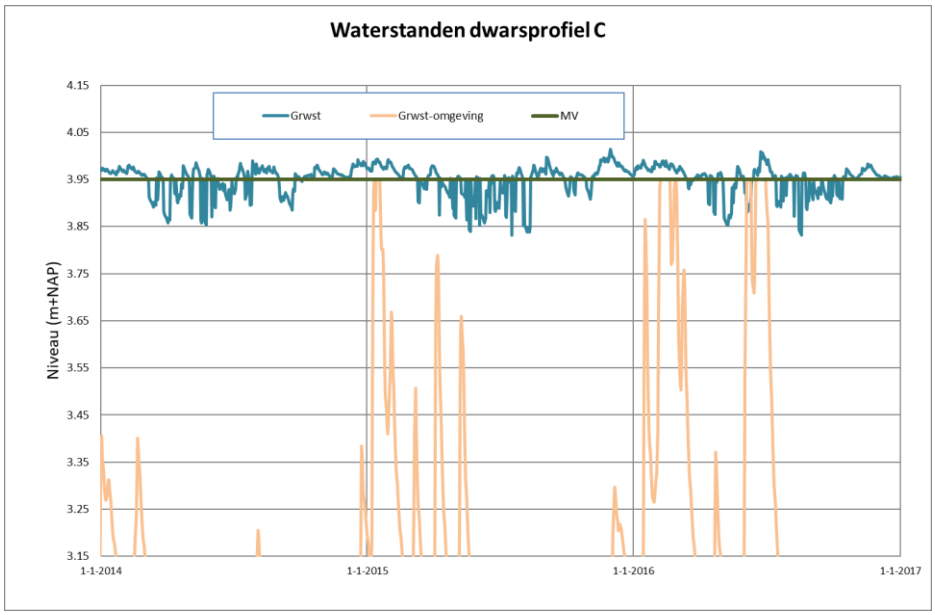
[3] De oranje lijnen tonen de grondwaterstanden in de omgeving van de dwarsprofielen. Deze informatie is gebaseerd op de berekeningsresultaten van een 3D grondwatermodel.



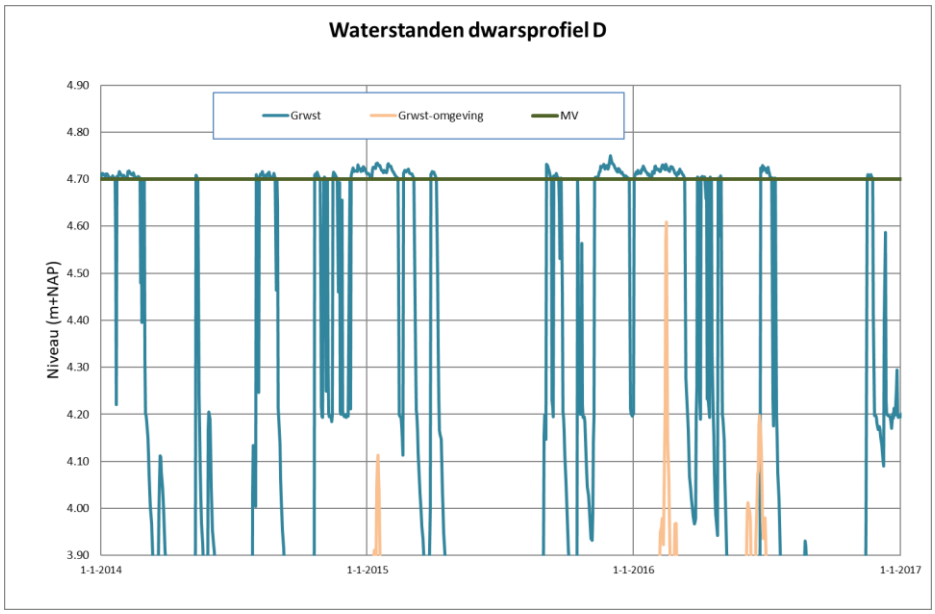
Figuur 7: Berekende grondwaterstanden dwarsprofiel A.



Figuur 8: : Berekende grondwaterstanden dwarsprofiel B.



Figuur 9: : Berekende grondwaterstanden dwarsprofiel C.

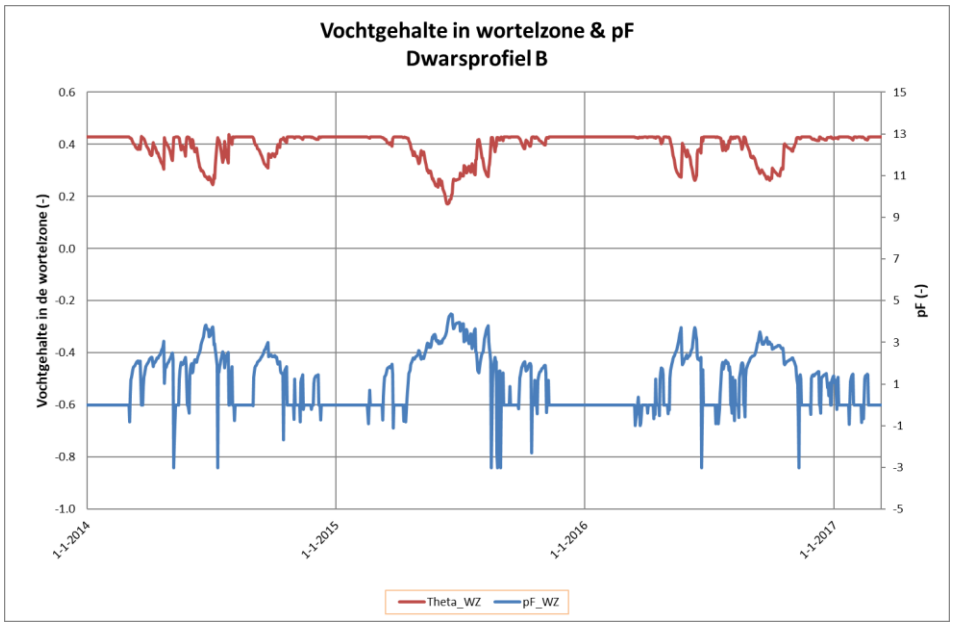


Figuur 10: : Berekende grondwaterstanden dwarsprofiel D.

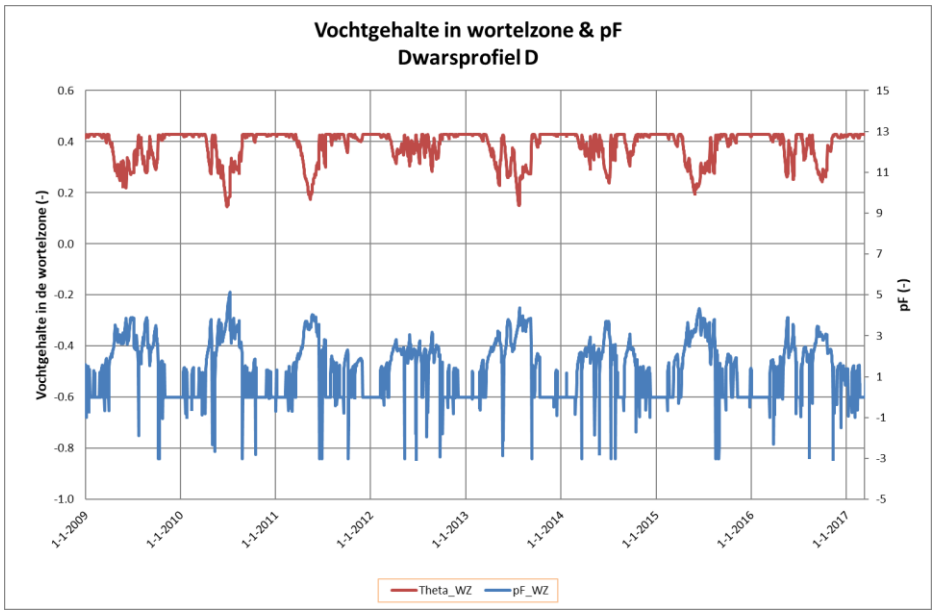
3.1.2 Vochttoestand

In de dwarsprofielen A en C is de berekende grondwaterstand steeds op of net onder het maaiveld, waardoor de bodem steeds verzadigd of bijna verzadigd is met vocht.

In de dwarsprofielen B en D kan de grondwaterstand wel uitzakken (figuren 8 en 10). Dat vertaalt zich in tijdelijk lagere vochtgehaltes in de bodem (figuren 11 en 12).



Figuur 11: Dwarsprofiel B: berekend vochtgehalte in de wortelzone (Theta_WZ) en de berekende pF (pF_WZ).



Figuur 12: Dwarsprofiel D: berekend vochtgehalte in de wortelzone (Theta_WZ) en de berekende pF (pF_WZ).

3.2 Consequenties voor de te ontwikkelen natuur

Voor de verschillende natuurdoelen voor de natuurontwikkelingslocaties in de Lunenburgerwaard kan uitgegaan worden van de volgende grondwaterstandsranges:

- Glanshaverhooiland (glanshaver) H6510A: vochtig tot matig droog: GVG > 40 cm – maaiveld
- Glanshaverhooiland (grote vossenstaart) H6510B: zeer nat tot vochtig: GVG 0-40 cm – maaiveld. Volgens de index natuur en landschap is dit natuurbeheertype vochtig hooiland.

- Vochtig hooiland: GVG 5-50 cm -maaiveld (uitgaande van klei en zavelgronden).
- Kruiden en faunarijk grasland: GVG veelal > 40 cm – maaiveld
- Dynamisch moeras: GVG +5 tot – 50 cm -mv

Voor het N2000 habitattype glanshaverhooiland H6430 is de grondwaterstandrange overgenomen uit het profieldocument voor H6430, voor de natuurbeheertypen is de Index Natuur en Landschap geraadpleegd (https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/).

Uitgaande van het berekende grondwaterstandverloop in paragraaf 3.1 en de bovengenoemde grondwaterstandsranges betekent dit het volgende:

- In de dwarsprofielen A en C is sprake van permanent hoge grondwaterstanden. In de winter staat er water op het maaiveld en in de zomer zakt de grondwaterstand ongeveer 20 centimeter weg. Bij deze permanent hoge grondwaterstanden kan een moerasvegetatie tot ontwikkeling komen. Aandachtspunt bij de moerasontwikkeling is het risico dat de bentonietmat wordt beschadigd door de wortels van een rietvegetatie die zich hier kan vestigen.
- In de dwarsprofielen B en D is sprake van een hoge grondwaterstand in de winter en een wegzakkende grondwaterstand in de zomer. Onder deze omstandigheden kan de vochtige variant van het glanshaverhooiland of (H6510B) of vochtig (glanshaver)hooiland tot ontwikkeling komen.

3.3 Vragen en antwoorden

1. *Een alternatief voor bentonietmatten is de traditionele kleiinkassing. (ca 1m dikke kleilaag, ca 1m onder mv). In hoeverre gelden de bevindingen uit deze studie ook voor een kleiinkassing?*

In beide gevallen (bentonietmat of kleiinkassing) kan bij benadering worden gesteld dat de hydraulische weerstand van de laag zodanig hoog is dat de kwel/infiltratieflux heel beperkt is. M.a.w.: op het aspect hydraulische weerstand zijn beide oplossingen vergelijkbaar.

2. *Wat is de impact van de breedte van de bentonietmatten op de bevindingen uit deze studie?*

Het effect ervan is afhankelijk van de hoogteligging van de bentonietmat ten opzichte van de grondwaterstanden in de omgeving. Ligt de mat relatief hoog (t.o.v. de grondwaterstanden in de omgeving) zoals in de Lunenburgerwaard het geval is, dan kan de bodem boven de mat in principe afwateren op de omgeving. In dat geval leidt een bredere mat ertoe dat deze afwatering wordt bemoeilijkt en ontstaan er dus in de bodem boven de mat nattere omstandigheden. Ligt de mat relatief laag (t.o.v. de grondwaterstanden in de omgeving) dan kan de bodem boven de mat in principe NIET afwateren op de omgeving. Een bredere mat verandert daar dan weinig aan de vochttoestand van de bodem boven de mat: die blijft dan overwegend nat.

3. *Is een onderste laag van 30cm schoonzand nodig? Kan eventueel worden volstaan met het volledig terugbrengen van het oorspronkelijk bodemmateriaal?*

Hier geldt in grote lijnen hetzelfde: het effect hangt af van de hoogteligging van de bentonietmat ten opzichte van de grondwaterstanden in de

omgeving. Ligt de mat relatief hoog (t.o.v. de grondwaterstanden in de omgeving) dan leidt het niet aanbrengen van de zandlaag tot nattere omstandigheden in de bodem boven de bentonietmat. Dit leidt tot een ontwikkelingsrichting naar een vochtiger natuurtype. Een verschuiving van glanshaver hooiland naar moeras is echter niet waarschijnlijk. Ligt de mat relatief laag (t.o.v. de grondwaterstanden in de omgeving) dan maakt het weinig uit voor de vochttoestand van de bodem boven de mat: die blijft dan overwegend nat (moeras).

4. *Om laterale afvoer op locaties zonder deklaag te voorkomen, zou de bentonietmat aan de uiterwaardzijde iets omhoog kunnen lopen, waardoor het water wordt opgesloten. Welk effect zou dit hebben?*

Deze aanlegwijze kan leiden tot nattere omstandigheden in de bodem boven de bentonietmat op de locaties waar deze mat -ten opzichte van de grondwaterstanden in de omgeving- relatief hoog ligt. Dit is het geval in de Lunenburgerwaard. Ligt de mat relatief laag (t.o.v. de grondwaterstanden in de omgeving) dan maakt het weinig uit voor de vochttoestand van de bodem boven de mat: die blijft dan overwegend nat.

5. *In hoeverre is verzuring een probleem omdat er geen uitwisseling plaats kan vinden met het grondwater?*

In de huidige situatie is er al sprake van infiltratie waardoor er ook in de huidige situatie geen invloed van grondwater hoog in het profiel is. Op basis van de bodemeigenschappen in het gebied wordt verwacht dat verzuring geen knelpunt gaat worden (B-Ware, 2021; expert-oordeel B-Ware, 2022). Door verschillende ontwerpmaatregelen wordt er bovendien voor gezorgd dat overtollige neerslag kan worden afgevoerd.

6. *Met 80 cm -maaiveld wordt in het planontwerp bedoeld: 80 cm onder nieuwe maaiveld(hoogte), na afvoer/afplaggen van de voedselrijke toplaag. Als het nieuwe maaiveld lager ligt dan het maaiveld in de huidige situatie, dan geldt dat ook voor 80 cm -maaiveld. Hoe werkt dit door in de modelresultaten?*

Het waterbalansmodel illustreert dat in de Lunenburgerwaard de vochttoestand van de bodem boven de bentonietmat met name wordt bepaald door: de situering van de zandlaag ten opzichte van de deklaag: erin of eronder (en dus in het watervoerend pakket onder de deklaag);

Als het nieuwe maaiveld lager ligt dan het maaiveld in de huidige situatie, dan heeft effect op de afwateringsmogelijkheden van de bodem boven de mat: de (resterende) dikte van de deklaag neemt af (of is zelfs 0 m), waardoor er een beter contact is met het watervoerend pakket → het wordt mogelijk droger boven de matten.

7. *Uitgaande van een constante ligging van de bentonietmat op 80 cm -maaiveld, en gegeven de verschillen in maaiveldhoogte, zou de bentonietmat een golvende ligging krijgen. Daardoor wordt laterale afstroming bepaald door twee assen: loodrecht op de dijk en evenwijdig aan de dijk. In de notitie is alleen de afstroming loodrecht op de dijk beschouwd. Als je de andere as ook in beschouwing neemt, dan vindt op relatief hooggelegen terrein met bentonietmat in de toch laterale afstroming plaats, namelijk via de as evenwijdig aan de dijk naar het laagste punt. Betekent dit dat de hogere locaties altijd uitdrogen in het zomerhalfjaar? En dat lagere locaties natter kunnen zijn dan berekend?*

Inderdaad. Per locatie is te bekijken wat het meest relevante afwateringsniveau is en welke hydraulische weerstand gekoppeld kan worden aan dat afwateringsniveau. In de notitie is uitgegaan van een langgerekte vorm van de matten parallel aan de dijk. Voor de afwatering is in die situatie de kortste zijde het meest relevant: de weerstand voor afstroming is in die richting kleiner dan in de lengterichting. Vandaar dat ervoor is gekozen alleen de stroming loodrecht op de dijk te beschouwen.

8. Betekent een toename van moerassige milieus die periodiek door rivierwater worden overstroomd ook een toename van het oppervlak KRW-relevant areaal in de uiterwaarden?

Een toename van moerassig milieu dat periodiek inundeert draagt niet altijd bij aan het oppervlak KRW-relevant areaal. Dat is alleen het geval wanneer het om structuren rondom kolken, geïsoleerde strangen, meestromende nevengeulen en dergelijke gaat. Die structuren zijn sowieso al KRW-relevant.

4 Conclusies

Modelresultaten

Het grondwaterregime (of meer algemeen: de vochttoestand van de bodem) boven de bentonietmat wordt met name bepaald door:

- Het verloop van de neerslag en verdamping;
- De mate waarin de 30 cm dikke zandlaag op de bentonietmat drainerend kan werken. Dit hangt af van:
    - De hoogteligging van de bentonietmat ten opzichte van de grondwaterstanden in de omgeving;
    - De situering van de zandlaag ten opzichte van de deklaag: erin of eronder (en dus in het watervoerend pakket onder de deklaag);
    - De breedte van de strook waar de bentonietmat wordt aangebracht.

Op de relatief laag gelegen locaties, met name waar nog een deklaagdikte resteert onder het bentonietmat niveau:

- blijven ook in de zomerperioden de grondwaterstanden ondiep (doorgaans < 20 cm-mv); in de winter is de grondwaterstand overwegend aan- of op het maaiveld
- vindt ontwatering vrijwel uitsluitend plaats via stroming over maaiveld.
- blijft de wortelzone ook in de zomer bijna geheel verzadigd met water.

Op de relatief hoog gelegen locatie, met name waar geen deklaag aanwezig is onder het bentonietmat niveau:

- zakt de grondwaterstand diep uit (> 80 cm-mv)
- vindt de ontwatering voor een belangrijk deel plaats via de zandlaag op de bentonietmat (=laterale drainage)
- droogt de bodem in de zomerperiode uit tot pF = 4; in de winter is de grondwaterstand overwegend aan het maaiveld.

Wat betekent dit voor de te ontwikkelen natuur?

De modelresultaten geven aan dat in de Lunenburgerwaard mogelijkheden ontstaan voor de ontwikkeling van zowel glanshaverhooiland (met name vochtig glanshaverhooiland) als moeras.

Glanshaverhooiland

In de drogere delen van het gebied waar de voorjaarsgrondwaterstand hoog is maar in de zomer wegzakt, kan een ontwikkeling plaatsvinden richting glanshaverhooiland. Gezien de hoge voorjaarsgrondwaterstand gaat het hier om de vochtige variant van het glanshaverhooiland. Deze situatie treedt op doordat de deklaag de afvoer via de zandlaag op de bentonietmat niet beperkt. Op de hogere terreindelen waar de voorjaarsgrondwaterstand lager is, kan de niet-vochtige variant van het glanshaverhooiland tot ontwikkeling komen. Om de ontwikkeling richting (vochtig) glanshaverhooiland mogelijk te maken moet de voedselrijke toplaag worden afgevoerd.

Moeras

In de nattere delen van het gebied is de grondwaterstand zowel in de winter als in de zomer hoog. In de zomer zakt de grondwaterstand maximaal ca. 20 cm uit. Deze natte situatie in delen van de Lunenburgerwaard ontstaan doordat de ontwatering van de bodem boven de bentoniet mat wordt belemmerd door de

deklaag. Ook voor de ontwikkeling richting moeras is het noodzakelijk dat de voedselrijke toplaag wordt afgevoerd.

Aandachtspunt bij de moerasontwikkeling is het risico dat de bentonietmat wordt beschadigd door de wortels van een rietvegetatie die zich hier kan vestigen

5 Verwijzingen

B-Ware. (2021). *Onderzoek bodemopbouw, bodem- en hydrochemie Amerongse Bovenpolder.*

Bijlage 1: Beschrijving waterbalans model

Ten behoeve van de modelberekeningen die in deze memo gepresenteerd zijn, is een bestaand model voor de modellering van de onverzadigde zone gebruikt. Een complete beschrijving van het model vindt u in het document Waterbalans 2016 (Sweco, 2016).

Het model in het kort:

- modellering van het oppervlaktewater, de onverzadigde- en de verzadigde zone
- 21 voorgedefinieerde bodemtypen
- berekening van de verdampingsreductie op basis van de potentiaal in de wortelzone
- berekening van de potentialen, grondwaterstand en oppervlaktewaterstand
- één bakje grondwater, één voor oppervlaktewater en twee bakjes voor de onverzadigde zone (wortelzone en ondergrond).

De bestaande modelcode is op twee punten specifiek gemaakt voor de modellering van de grondwaterstanden en de vochttoestand van de bodem boven de bentonietmat:

- Het niveau van het oppervlaktewater wordt als externe parameter ingebracht in plaats van gemodelleerd. In de modellering wordt dit niveau gebruikt als afwateringsniveau (grondwaterstand in de omgeving van de bentonietmat)
- Als in de berekening de grondwaterstand zakt tot in de zandlaag boven de bentonietmat, vindt er geen nalevering meer plaats van water uit de verzadigde zone. De bentonietmat wordt namelijk als ondoorlatend beschouwd.

De drainageweerstand voor laterale stroming is berekend op basis van:

- De dikte van de zandlaag op de bentonietmat (30 cm)
- De doorlatendheid van de zandlaag (30 m/d)
- De breedte van de bentonietmat (m)
- De resterende dikte van de deklaag onder de bentonietmat, waarbij is uitgegaan van een hydraulische weerstand van 200 (d/m).

De berekeningsmethode van deze weerstand is gebaseerd op de publicatie *Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of drainageweerstand in de randvoorwaarde van een grondwatermodel* (Figuur 13). Als slootafstand L is twee maal breedte van de bentonietmat gebruikt; de weerstand van de bodem van het oppervlaktewater is gelijk gesteld aan de hydraulische weerstand van de resterende dikte van de deklaag onder de bentonietmat.

$Wdr = c^{*} - c1$
$c^{*} = (cb + c1) \cdot F_L + (cb \cdot L / u) \cdot F_B$

De termen F_B en F_L staan voor de volgende hyperbolische functies:

$F_B = X_B \cdot ctnh(X_B)$
$F_L = X_L \cdot ctnh(X_L)$

De termen X_B en X_L kunnen worden gezien als respectievelijk de 'slootbreedte-invloed' en de 'slootafstand-invloed' in de voedingsweerstand (c^{*}):

$X_B = u / 2 \cdot \lambda_B$
$X_L = L / 2 \cdot \lambda_L$

$\lambda_B = (K \cdot H \cdot c1 \cdot cb / c1 + cb)^{1/2}$
$\lambda_L = (K \cdot H \cdot c1)^{1/2}$

Wdr = drainageweerstand [T]
c^{*} = voedingsweerstand [T]
c1 = weerstand van de slechtdoorlatende laag [T]
cb = weerstand van de bodem van het oppervlaktewater [T]
L = slootafstand [L]
u = natte omtrek van de sloot [L]
λ_L = spreidingslengte van het perceel [L]
λ_B = spreidingslengte van de sloot [L]
K = doorlatendheid van de toplaag [$L \cdot T^{-1}$]
H = verzadigde dikte van de toplaag [L] (i.e. grondwaterstand van de toplaag)

$$\lambda_B = l_B = \sqrt{\frac{k_{0,x} H_0 c_1' c_0}{c_1' + c_0}} =$$

$$\lambda_L = l_L = \sqrt{c_1' k_{0,x} H_0} = c$$

Figuur 13: Berekening van de drainageweerstand voor drainage via de zandlaag op de bentonietmat volgens W. de Lange (1997).