

Natura 2000 Vecht en Beneden-Regge
Tijdreeksanalyse Vecht

Natura 2000 Vecht en Beneden-Regge Tijdreeksanalyse Vecht

Datum	19 december 2025
Auteur(s)	Wilbert Berendrecht
Opdrachtgever	Provincie Overijssel
Projectnummer	2025.006
Aantal pagina's	60

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van Berendrecht Consultancy.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan Berendrecht Consultancy, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

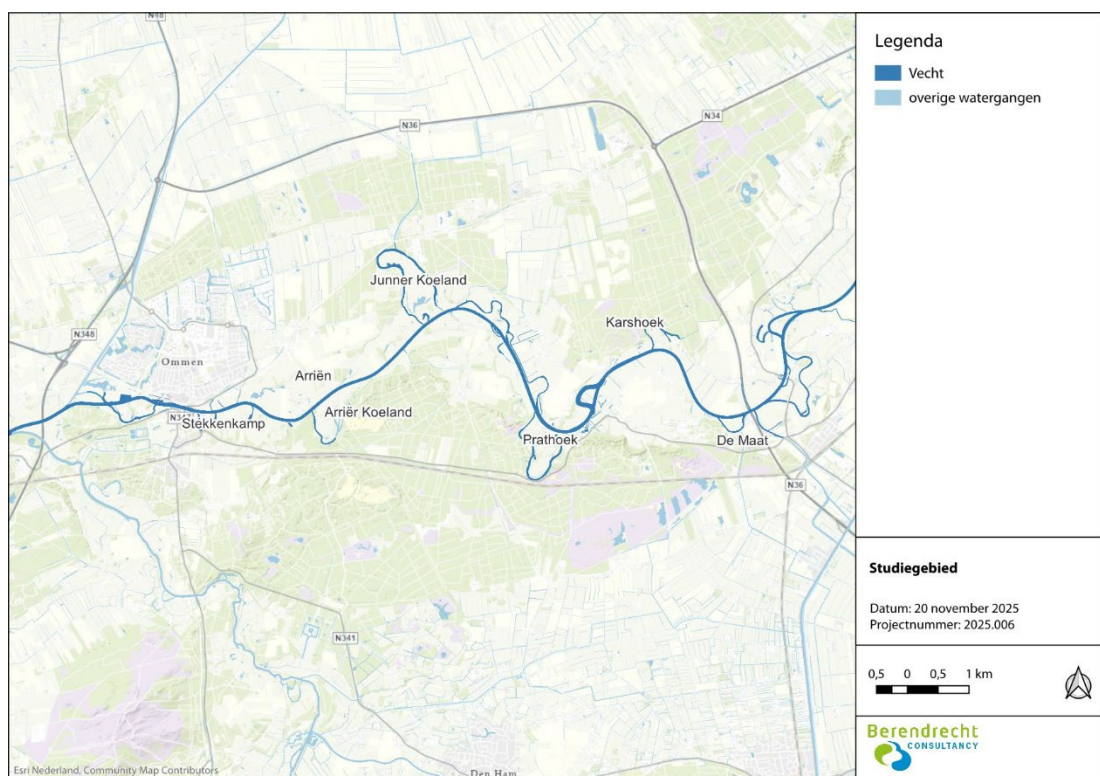
1	Inleiding	2
2	Data en methodiek.....	4
2.1	Invoerdata	4
2.2	Grondwaterstandsdata	5
2.3	Tijdreeksmodellering	7
2.4	Berekening GXG's op basis van langjarige simulatie	9
2.5	Simulatie van effect van peilverhogingen	10
3	Resultaten	12
3.1	Gekalibreerde tijdreeksmodellen	12
3.2	Effect Vechtpeil.....	14
3.3	Simulatie GXG	18
3.4	Toetsing hydrologische randvoorwaarden	22
3.5	Effect peilverhoging	29
4	Conclusies en discussie.....	38
4.1	Samenvatting en conclusies.....	38
4.2	Discussie.....	40
	Literatuur	43
Bijlage A	Peilbuizen met stap in meetreeks	44
Bijlage B	Duiding geschatte responssterkte Vecht	47
Bijlage C	Simulatie GXG	49
Bijlage D	Vergelijking ingemeten maaiveld en AHN.....	53
Bijlage E	Vlakdekkende kaartbeelden.....	56

1 Inleiding

Delen van het Vechtdal tussen Mariënborg en Ommen maken deel uit van het Natura 2000 gebied Vecht en Beneden-Regge. Voor dit Natura 2000 gebied zijn instandhoudingsdoelen vastgesteld, waarvan een deel binnen het Vechtdal moet worden gerealiseerd. Deels gaat het om ten minste het behoud van oppervlak en kwaliteit van aanwezige habitattypen, deels ligt er een opgave voor uitbreiding van oppervlakte en verbetering van de kwaliteit van habitattypen. Figuur 1-1 toont een overzichtskaat van het studiegebied met de verschillende deelgebieden.

Voor dit studiegebied wilde Provincie Overijssel aan de hand van grondwaterstandsreeksen inzicht krijgen in het doelgat voor de grondwaterafhankelijke habitattypen. Een doelgat is gedefinieerd als de grondwaterstandsverhoging of -verlaging die minimaal nodig is om een doelrealisatie van 100% te bereiken voor grondwaterafhankelijke terrestrische natuur (Witte et al., 2018). Een doelrealisatie van 100% betekent dat het geplande natuurdoeltype zonder beperkingen ten aanzien van de grondwaterstand kan worden gerealiseerd; 0% betekent dat het type niet gerealiseerd kan worden.

Naast inzicht krijgen in het doelgat, was de wens om vast te stellen wat de invloed van de Vecht op de grondwaterstanden is en – aan de hand daarvan – wat het effect van een verhoging van de Vechtheil op het doelgat is.



Figuur 1-1: Studiegebied en ligging deelgebieden langs de Vecht

Doel en uitgangspunten

De doelstelling van deze studie was driedig:

1. Bepaal voor iedere peilbuis met behulp van tijdreeksanalyse het doelgat c.q. de doelrealisatie. De tijdreeksanalyse wordt daarbij ingezet om meetreeksen te verlengen zodat de GXG's representatief zijn voor een langere periode en daarmee voor het huidige klimaat.
2. Bepaal voor iedere peilbuis met behulp van tijdreeksanalyse de invloed van de Vecht op de grondwaterstand en analyseer de resultaten hiervan in ruimtelijke samenhang.
3. Bepaal aan de hand van de resultaten van 1 en 2 wat het effect van een verhoging van het Vechtpeil is op het doelgat c.q. de doelrealisatie.

Algemeen uitgangspunt bij deze studie was dat de peilbuisgegevens aangeleverd door de provincie en waterschap Vechtstromen reeds gecontroleerd en gevalideerd waren. Putgegevens zoals locatie en filterstelling zijn daarom niet gecontroleerd.

Naast GLG en GVG zijn ook het gemiddeld aantal dagen droogtestress, de aanwezigheid van kwel en de inundatiefrequentie belangrijke hydrologische stuurvariabelen voor de bepaling van de doelrealisatie. Deze variabelen vielen buiten de scope van deze studie.

Bij het verlengen van de meetreeksen ten behoeve van de GXG's lag de focus met name op de GLG en GVG, aangezien dit de relevante variabelen waren voor het bepalen van het doelgat.

Achtergronddocumentatie

Zoals aangegeven zijn er al diverse studies in het gebied uitgevoerd. De rapportages hiervan bevatten uitgebreide beschrijvingen van het gebied, onder andere met betrekking tot ecologie, bodem, hydrogeologie en grondwater (Jalink et al., 2016; Jalink, 2018b; Kieskamp et al., 2019). Voor gebiedsbeschrijvingen, achtergronden en eerdere studies wordt dan ook naar deze rapporten verwezen.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de data die voor de analyse zijn gebruikt en de methodiek voor het uitvoeren van de tijdreeksanalyse, de stappen om te komen tot langjarige simulaties inclusief betrouwbaarheidsanalyse en tenslotte de methode om verhoging van het Vechtpeil te simuleren.

De resultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 3. Het hoofdstuk beschrijft de resultaten van de tijdreeksanalyse, waarna de gesimuleerde GLG en GVG worden gepresenteerd. Op basis van de GLG en GVG worden de doelgaten berekend en gepresenteerd. Tenslotte beschrijft het hoofdstuk het effect van peilverhogingen op het doelgat.

Deze rapportage wordt in hoofdstuk 4 afgesloten met een opsomming van de belangrijkste conclusies en een discussie van de resultaten.

2 Data en methodiek

2.1 Invoerdata

Vechtpeil

Voor het Vechtpeil zijn reeksen van de meetpunten bij stuwen Mariënberg, Junne en Ommen beschikbaar. Figuur 2-1 toont het gemeten Vechtpeil ter plaatse van stuw Junne aan de bovenstroomse (instroom) en benedenstroomse (uitstroom) zijde voor de periode 2000-2025. De meetpunten aan de uitstroomzijde zijn gebruikt voor de analyse, aangezien de punten aan de instroomzijde gedomineerd worden door het opgelegde stuwpeil.

De meetreeks voor Ommen start in het jaar 2000. De andere meetpunten hebben data vanaf 1960. Voor al deze reeksen geldt dat voor verschillende jaren data ontbreken. Aangezien voor de tijdreeksanalyse volledige meetreeksen als invoer nodig zijn, zijn ontbrekende data geschat met behulp van regressie, waarbij ontbrekende waarden zijn geschat vanuit gemeten waarden ter plaatse van het boven- of benedenstrooms gelegen meetpunt.

Er is ten behoeve van de tijdreeksanalyse voor gekozen om voor iedere grondwatermeetreeks de invoerreeks van het Vechtpeil te schatten op basis van lineaire interpolatie van de gemeten Vechtpeilen (uitstroomzijden). Hiertoe is in GIS voor het traject tussen meetpunt Ommen en stuw Mariënberg de middenlijn van de Vecht omgezet naar punten met een onderlinge afstand van 100 m. Het Vechtpeil ter plaatse van deze punten is geschat door het afstand-gewogen gemiddelde van het boven- en benedenstroomse meetpunt te berekenen. Vervolgens is voor iedere peilbuis bepaald welk punt op de middenlijn van de Vecht het dichtstbij ligt. Het geschatte Vechtpeil voor dit punt is als het representatieve Vechtpeil voor betreffende peilbuis gebruikt.

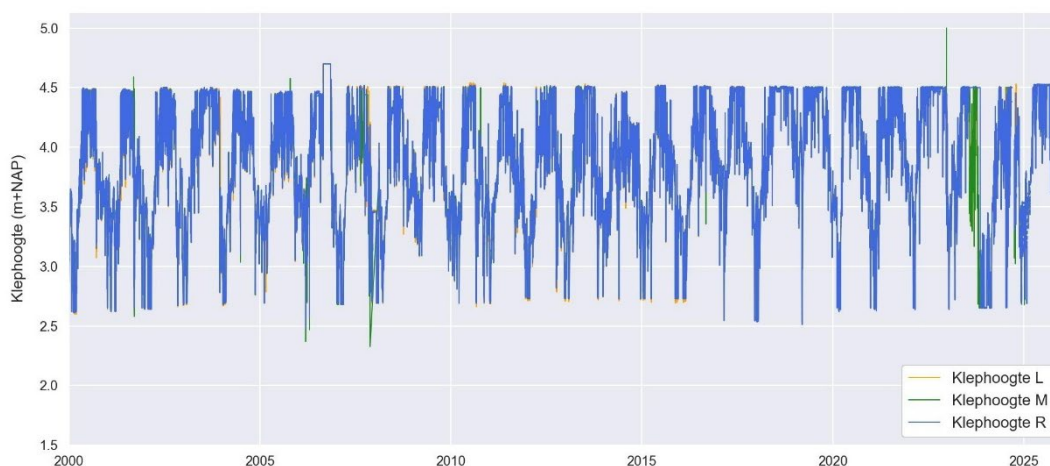


Figuur 2-1: Tijdreeksen van Vechtpeil ter plaatse van stuw Junne aan in- en uitstroomzijde

Klephoogte stuwen

Ten behoeve van de simulatie van peilverhogingen in de Vecht (zie paragraaf 2.5) zijn door Waterschap Vechtstromen geregistreerde klephoogten aangeleverd voor stuw Junne en stuw Mariënberg. Figuur 2-2 toont tijdreeksen van de klephoogte voor de drie afzonderlijke stuwkleppen van stuw Junne.

Waterschap Drents Overijsselse Delta heeft aanvullend klephoogten aangeleverd voor stuw Vilsteren. Echter, de klephoogten voor deze stuw waren niet beschikbaar voor de gehele periode 2000-2025. Daarom is in deze studie alleen gebruikgemaakt van de klephoogten van stuw Junne en Mariënberg.



Figuur 2-2: Tijdreeksen van klephoogte stuw Junne voor de drie afzonderlijke stuwkleppen

Neerslag en verdamping

De data voor neerslag en verdamping is met behulp van de Python package Hydropandas¹ (versie 0.15.1) gedownload van de KNMI server, waarbij voor iedere peilbuis het dichtstbijzijnde KNMI station is geselecteerd.

2.2 Grondwaterstandsdata

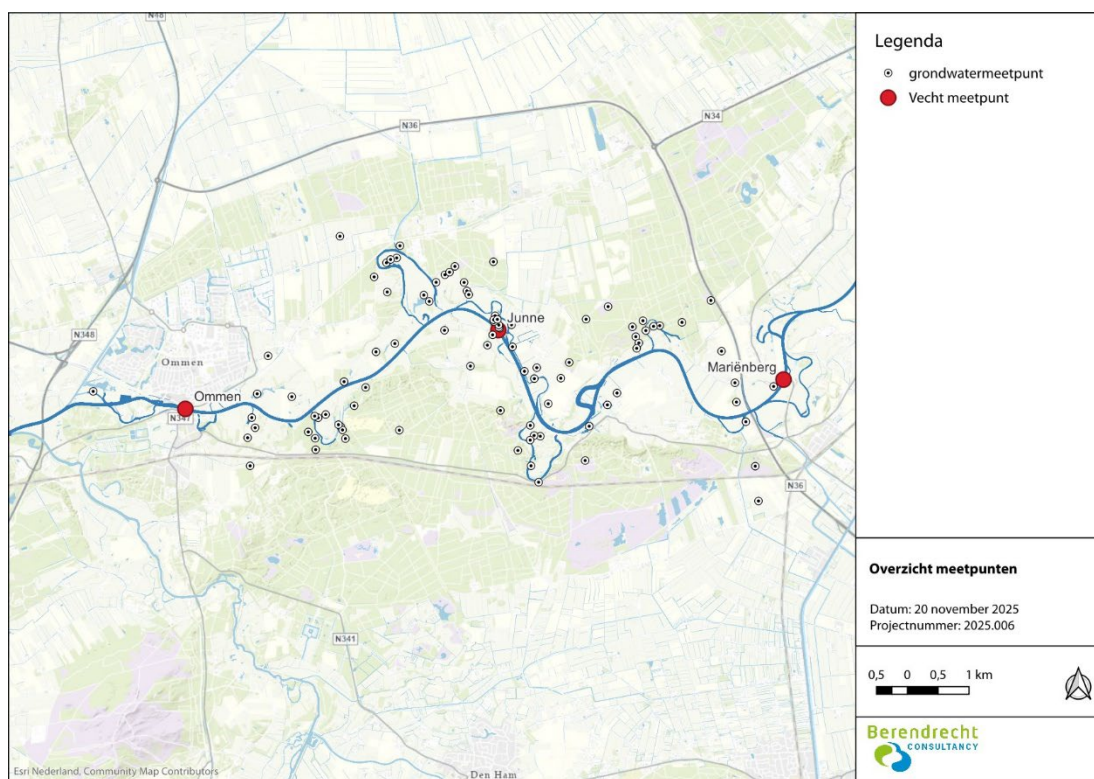
Ten behoeve van de tijdreeksanalyse zijn peilbuisdata aangeleverd door Provincie Overijssel en Waterschap Vechtstromen. Tabel 2-1 geeft een overzicht van de omvang van de dataset. In totaal bevatte de dataset 132 peilbuizen. Vanuit Waterschap Vechtstromen zijn data van 73 peilbuizen aangeleverd. Voor 54 buizen van de provincie kon de meetreeks worden gedownload vanuit de BRO. In totaal waren er dus 127 meetreeksen beschikbaar voor analyse.

¹ <https://hydropandas.readthedocs.io>

Tabel 2-1: Overzicht van aangeleverde peilbuisdata

Omschrijving	Aantal buizen
In dataset	132
Met aangeleverde of downloadbare (BRO) meetreeks	127
Met reekslengte ≥ 3 jaar	115
Met reekslengte < 3 jaar	12

Van de 127 meetreeksen hadden 12 reeksen een lengte van minder dan 3 jaar. Een dergelijke korte meetduur geeft bij de tijdreeksanalyse een extra risico op overfitten en bemoeilijkt het onderscheiden van de verschillende invloeden. Omdat enkele van deze buizen op waardevolle locaties zijn gesitueerd, zijn de reeksen van deze buizen waar mogelijk toch meegenomen in de analyse, waarbij een disclaimer bij de resultaten is opgenomen. De 127 peilbuizen zijn verdeeld over 93 meetpunten, waarbij sommige meetpunten 2 of zelfs 3 filters hebben. De situering van deze meetpunten is weergegeven in Figuur 2-3.



Figuur 2-3: Situering van peilbuizen en Vecht meetpunten

2.3 Tijdreeksmodellering

Voor het uitvoeren van de tijdreeksanalyse is gebruikgemaakt van de Python package Pastas² (Collenteur et al., 2019) versie 1.8.0. Pastas is een software pakket ontwikkeld in Python 3 door de Technische Universiteit Delft, Artesia en de Universiteit Graz. De software is gratis beschikbaar en kan binnen elke Python omgeving worden gebruikt. Binnen dit project is Python versie 3.12 gebruikt.

Pastas maakt gebruik van de PIRFICT (Predefined Impulse Response Function In Continuous Time) methode voor het opstellen van tijdreeksanalyse (Von Asmuth et al., 2002). Dit houdt in dat de respons van de grondwaterstand op invoervariabelen (neerslag, verdamping en Vechtpeil) wordt gemodelleerd met een vooraf gekozen responsfunctie waarvan de parameters worden geschat met behulp van een optimalisatiealgoritme.

Modelselectie

De keuze van de responsfunctie heeft grote invloed op hoe goed het model presteert. Indien een responsfunctie wordt gebruikt die niet past bij het hydrologische systeem, dan zal het geschatte tijdreeksmodel minder goed in staat zijn om de gemeten grondwaterdynamiek adequaat te beschrijven.

Bij de modelselectie is gekeken naar het doel van de tijdreeksanalyse, namelijk:

1. het schatten van de invloed van de Vecht op de grondwaterstand;
2. het verlengen van de meetreeksen voor een zo goed mogelijke schatting van de GLG en GVG.

Voor het eerste doel is het met name van belang dat met het model goed onderscheid gemaakt kan worden tussen de invloed van de Vecht en de invloed van neerslag en verdamping. Hierbij is het goed om te realiseren dat het in dit verband gaat om het onderscheidend vermogen op basis van de invoerreeksen. Uiteraard hangt het Vechtpeil samen met neerslagoverschot, maar als de dynamiek van het Vechtpeil voldoende onderscheidend is ten opzichte van de dynamiek in het neerslagoverschot, dan kan het model beide invloeden prima inschatten. Op het onderscheidend vermogen is getoetst door verschillende modelvormen toe te passen en zowel modellen met neerslagoverschot en het Vechtpeil als invoer te gebruiken, als ook modellen met alleen neerslagoverschot. Een eerste indicatie dat beide invloeden onderscheidend zijn is als een model inclusief Vechtpeil aanzienlijk meer van de grondwaterdynamiek verklaart dan een model met alleen neerslag en verdamping als invoer. Een tweede indicatie is de correlatie tussen geschatte modelparameters die de responssterkte van beide invloeden definiëren. Indien deze correlatie laag is, dan "ziet" het model weinig samenhang tussen beide responsen. Tenslotte is het goed om in dit verband te vermelden dat bij het verlengen van de meetreeksen (tweede doel) de parameteronzekerheid en -correlaties zijn meegenomen (zie paragraaf 2.4), waardoor eventuele correlaties in de simulaties zijn verdisconteerd.

² <https://pastas.readthedocs.io>

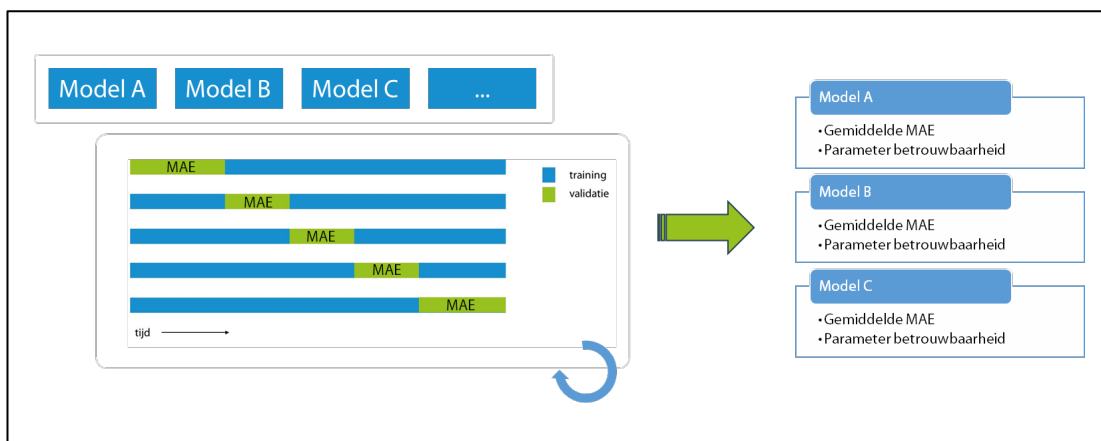
Voor het tweede doel is het van belang dat het model een zo goed mogelijke voorspelling geeft. Hiertoe is een modelselectieprocedure opgezet waarbij op basis van kruisvalidatie het model is gekozen dat de kleinste gemiddelde voorspelfout geeft. Figuur 2-4 toont een schematische weergave van deze procedure.

Als eerste stap zijn voor het neerslagoverschot en het Vechtpeil de volgende mogelijke responsfuncties geselecteerd:

- neerslagoverschot: Gamma en Exponential responsfunctie;
- Vechtpeil: Gamma, Exponential en One responsfunctie.

Voor alle combinaties van responsfuncties is een model opgesteld (Model A, Model B, etc Figuur 2-4). Om het model te selecteren dat de beste voorspelling geeft, is een kruisvalidatie techniek toegepast, waarbij de meetreeks is opgesplitst in een training- en validatiedataset. Het model is vervolgens gekalibreerd op basis van de training set, waarna de gemiddelde absolute voorspelfout (MAE) over de validatieperiode is berekend. Dit is voor verschillende validatieperiodes gedaan, zie onderstaande afbeelding. Voor de validatieperiode is telkens een kalenderjaar geselecteerd. Het eerste en laatste blok zijn wat langer, afhankelijk van het moment in het jaar waarop de reeks start/eindigt. De MAE's voor de verschillende validatieperiodes zijn vervolgens gemiddeld.

Deze procedure is doorlopen voor de combinaties van verschillende responsfuncties voor neerslag/verdamping en de Vecht. Voor ieder model resulteert dit in een gemiddelde MAE voor de validatieset (voorspelfout) en een parameterbetrouwbaarheid (zie Figuur 2-4 rechts). Van alle modellen met significante modelparameters (95% betrouwbaarheidsinterval) is het model met de kleinste voorspelfout geselecteerd als beste model. Indien er geen enkel model kon worden afgeleid waarbij alle parameters significant waren, is vooralsnog het model met de kleinste voorspelfout geselecteerd. In een verdere stap zijn degelijke reeksen nader geanalyseerd.



Figuur 2-4: Procedure voor modelselectie op basis van kruisvalidatie

Het ruismodel

De PASTAS package biedt beperkte mogelijkheden voor het definiëren van het ruismodel. Alleen het AR(1)-model en ARMA(1,1)-model zijn beschikbaar. In de praktijk blijkt dat een AR(1)-model (en ook een ARMA(1,1)-model) op dagbasis veelal onvoldoende het ruisproces beschrijft. Vaak kan de korte-termijn autocorrelatie onvoldoende beschreven worden. Hierdoor kunnen afwijkingen ontstaan in het verklaarde deel. Dit kan voorkomen worden door de tijdsbasis te verhogen.

Om vast te stellen of de tijdsbasis verhoogd moet worden, is een model met en zonder ruismodel geschat. Bovendien is de autocorrelatie structuur van de innovaties onderzocht. Op basis hiervan is ervoor gekozen om de tijdreeksmodellen in eerste instantie te schatten aan de hand van meetreeksen met 7-daagse tijdstappen (in plaats van dagbasis). Hierdoor zijn korte-termijn variaties die niet goed door het (ruis)model beschreven worden, niet van invloed op het geschatte ruismodel. Voor reeksen waarbij de innovaties alsnog autocorrelatie bevatten, is de tijdstap naderhand verder verhoogd naar 14 dagen.

2.4 Berekening GXG's op basis van langjarige simulatie

Simulatieperiode

Voor het verlengen van meetreeksen ten behoeve van de GXG is de reekslengte van het meetpunt bij Ommen als maatgevend beschouwd, aangezien voor dit meetpunt de kortste meetreeks beschikbaar was. Dit betekent dat de grondwaterreeksen zijn gesimuleerd over de periode 2000-2025.

Monte Carlo analyse

Om de onzekerheid van de simulaties in te schatten is gebruikgemaakt van Monte Carlo analyse. Daarbij is de parameteronzekerheid meegenomen door 1000 realisaties van de modelparameters te genereren aan de hand van een multivariate normale verdeling op basis van de geschatte parameters en bijbehorende covariantiematrix. Om negatieve parameterwaardes voor de transferfuncties en positieve parameterwaardes voor de verdampingsfactor te voorkomen, zijn deze afgebroken op 0.01 respectievelijk 0. Met elke realisatie van modelparameters is vervolgens een simulatie van het verklaarde deel gegenereerd.

Tegelijk met de realisaties voor het verklaarde deel zijn ook 1000 realisaties voor het residu gegenereerd. Hiertoe is witte ruis genereerd als input, waarbij de variantie van de witte ruis is bepaald op basis van de variantie van het residu en de AR(1)-parameter:

$$\text{var}(\varepsilon_t) = \frac{\text{var}(n_t)}{1 - \phi^2}$$

met ε_t de innovatie op tijdstip t , n_t het residu op tijdstip t en ϕ de AR(1)-parameter:

$$\phi = e^{-1/\alpha}$$

met α een realisatie van de Pastas modelparameter voor het ruismodel (noise_alpha).

Aangezien de variantie van het residu behoorlijk beïnvloed kan worden door grote uitbijters, zijn voor de bepaling van de variantie eventuele waarden > 5 maal de gemodificeerde z-score niet meegenomen, waarbij de gemodificeerde z-score is berekend als

$$M_t = \frac{0.6745(n_t - \tilde{n})}{MAD}$$

met $\tilde{n}$ de mediaan, MAD de mediane absolute deviatie en 0.6745 een constante om deze score vergelijkbaar te maken met de standaard z-score voor normaal verdeelde data. Veelal wordt een drempelwaarde van 3 of 3.5 gebruikt; een drempelwaarde van 5 is dus conservatief en detecteert alleen de extreme uitbijters in het residu.

De som van het verklaarde deel en het residu levert 1000 realisaties van de grondwaterstand c.q. stijghoogte op. Hierbij wordt verondersteld dat het verklaarde deel en het residu ongecorrleerd zijn. Voor al deze realisaties zijn de GHG, GVG en GLG berekend. Hieruit volgt een gemiddelde waarde en een betrouwbaarheidsinterval.

Toetsing van gesimuleerde GXG's

Het kan voorkomen dat het gekalibreerde tijdreeksmodel niet volledig voldoet aan alle eisen ten aanzien van het ruismodel. Met name modellen voor grondwaterreeksen die onder sterke invloed van het Vechtpeil staan (met grote variaties in de winter en geringere variaties in de zomer) kunnen residuen heteroscedasticiteit (variantie niet constant in de tijd) vertonen met grotere residuen in de winter dan in de zomer. Dit kan leiden tot een te lage simulatie van de GLG of GHG. Voor sommige modellen zou in dat geval een simulatie met alleen het verklaarde deel een betere schatting van de GXG's opleveren.

Om dit te toetsen zijn de GXG's allereerst gesimuleerd over de meetperiode. Daarbij zijn de GLG en GVG op basis van de metingen vergeleken met de gesimuleerde GLG en GVG. De GHG wordt in dit verband buiten beschouwing gelaten, omdat doelgaten worden berekend op basis van de GLG en GVG. Voor buizen waar de gemeten GXG buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de gesimuleerde GXG valt, is verondersteld dat de variantie van het residu niet constant is. In dat geval is er teruggevallen op een simulatie zonder residu.

2.5 Simulatie van effect van peilverhogingen

Om het effect van een peilverhoging te simuleren zijn de meetreeksen voor de Vecht (zie paragraaf 2.1) getransformeerd, waarbij het peil in stappen van 5 cm is verhoogd van 0 tot en met 120 cm. Uitgangspunt voor deze transformatie was dat een peil niet meer gehandhaafd kan worden zodra een of meerdere stuwkleppen volledig zijn neergelaten. Stuwkleppen worden namelijk automatisch geregeld zodanig dat het stuwpeil zolang mogelijk gehandhaafd wordt. Echter, zodra stuwkleppen gestreken zijn kan er niet meer gestuurd worden.

Bij de transformatie van de Vechtreeksen is daarom aangenomen dat het Vechtpeil ongewijzigd blijft in periodes dat een of meerdere stuwkleppen volledig gestreken zijn en het peil boven het actuele stuwpeil komt.

Figuur 2-5 toont een voorbeeld van de gesimuleerde peilverhoging voor stuw Junne ten tijde van de hoogwaterperiode in 2023/2024. De bovenste figuur toont het gemeten en gesimuleerde (peilverhoging 30 cm) Vechtpeil. De onderste figuur toont de klephoogtes van de drie stuwkleppen. Aangezien de gehele reeks van klephoogtes geen uniforme waarde voor laagste klepstand bevatte, is aangenomen dat de klep is gestreken bij een klephoogte < 2.8 m+NAP. Voor stuw Mariënborg is hiervoor een klephoogte van 4.1 m+NAP aangenomen.

De figuur laat zien dat daar waar de hoogte van een of meerdere stuwkleppen onder de grenswaarde zakt, het gesimuleerde peil overloopt naar het gemeten peil. De toestand van de stuwkleppen komt op dat moment namelijk overeen met de referentiesituatie. De aanname is dat het Vechtpeil in die toestand dan ook niet wijzigt. Deze aanname zal waarschijnlijk minder goed standhouden bij toenemende peilverhogingen.

Het meetpunt bij Ommen is niet ter plaatse van een stuw. De dichtstbijzijnde stuw is Vilsteren, maar daarvoor waren geen voldoende lange reeksen van klepstanden beschikbaar (zie paragraaf 2.1). Aangezien het verloop van de klepstanden van beide stuwen redelijk overeenkomen, is de peilverhoging ter plaatse van meetpunt Ommen gesimuleerd aan de hand van de klepstanden van stuw Junne.

Voor de simulatie van de grondwaterreeksen zijn de gesimuleerde Vechtpeilen wederom geïnterpoleerd conform de werkwijze voor de oorspronkelijke meetreeksen (paragraaf 2.1). Eventuele uitdemping van de peilverhoging in bovenstroomse richting is niet meegenomen.



Figuur 2-5: Voorbeeld simulatie peilverhoging van 30 cm bij stuw Junne. De bovenste figuur toont het Vechtpeil conform metingen (referentie) en gesimuleerd met een peilverhoging van 30 cm. De onderste figuur toont de klepstanden voor de drie stuwkleppen. De stippellijn geeft de hoogte aan waarbij is aangenomen dat de stuwklep volledig gestreken is.

3 Resultaten

3.1 Gekalibreerde tijdreeksmodellen

Alle 127 peilbuizen zijn gemodelleerd met behulp van de selectieprocedure uit paragraaf 2.3. Vervolgens zijn de resultaten beoordeeld. Van de 127 peilbuizen die zijn geanalyseerd, kon met behulp van de modelselectieprocedure voor 85 peilbuizen direct een goed model geschat worden. Voor deze buizen kon een aanzienlijk deel van de dynamiek verklaard worden uit neerslag, verdamping en het Vechtpeil. De gemiddelde Explained Variance Percentage (EVP) voor deze buizen is 90%. Dit is zeer hoog. De gemiddelde absolute fout voor het validatiedeel bedraagt 7.7 cm.

Voor de 42 overige buizen bleken aanpassingen noodzakelijk. Een overzicht hiervan is opgenomen in Tabel 3-1.

Voor sommige reeksen bleek het effect van het Vechtpeil dominant zodanig dat de parameters voor de respons op neerslagoverschot niet significant van nul afweken. Deze reeksen zijn opnieuw gemodelleerd zonder neerslagoverschot als invoer. Voor andere buizen bleek dit voor alleen de verdamping te gelden.

Verder bleek op basis van visuele inspectie dat sommige reeksen aan de bovenzijde afgetopt werden. Dit treedt op in gebieden waar periodiek water aan het maaiveld uittreedt. Dergelijke reeksen zijn opnieuw gemodelleerd met een zogenaamde Pastas ThresholdTransform functie. Er is getoetst of de door het model geschatte drempelwaarde ter hoogte van (of nabij) het maaiveld ligt.

Andere reeksen bleken een stap te bevatten (zie ook Bijlage A). Een dergelijke stap kan mogelijk verklaard worden aan de hand van wijzigingen in het hydrologische systeem. Dit gold voor buis B22C1361. In de nabijheid van deze buis is in 2021 een plas aangelegd, wat blijkbaar geleid heeft tot een verlaging van de grondwaterstand. Voor buis B22C1370 (filter 1 en 2) bleek het moment van de stap in de reeks samen te hangen met het moment waarop de buis is ingekort. Er is voor gekozen om de metingen voor dit moment (6 november 2020) te corrigeren voor deze inkorting. Verder bleek ook in de meetreeks van B22C1391-1 een sprong te zitten. Vergelijking met filter 2 toonde aan dat deze sprong samenhangt met het oplengen van de buis op 18 november 2020. Na deze datum is er nauwelijks stijghoogteverschil (gemiddeld 1.5 cm) tussen filter 1 en 2; vóór deze datum is het stijghoogteverschil gemiddeld 27 cm. Daarom is de meetreeks van filter 1 voor 18 november 2020 met 25.5 cm gecorrigeerd. Tenslotte was in het residu van buis B22C0686 ook een sprong waarneembaar. De oorzaak hiervan is niet achterhaald. Aangezien de reeks relatief lang was en de sprong ergens in 2016 optrad, is ervoor gekozen om de data voor 2017 buiten beschouwing te laten. Dit laatste gold ook voor de buizen KS_1_1 t/m KS_1_4. In deze reeksen is in 2020 een duidelijke stap aanwezig. Deze reeksen zijn daarom gekalibreerd vanaf 2021.

Voor reeksen waarbij nog autocorrelatie in de innovaties aanwezig was, is de frequentie verhoogd naar 14 dagen. Op 7-daagse basis bleek het AR(1)-ruismodel voor deze reeksen niet in staat om alle autocorrelatie uit de innovaties te verwijderen, waardoor het model niet voldoet aan de statistische eisen.

Tabel 3-1: Aanpassingen aan data en tijdreeksmodellen op basis van eerste modelselectie en evaluatie

Peilbuis	Opmerking	Aanpassing
B22C1371-1	Reeks aan bovenzijde afgetopt	ThresholdTransform toegepast
B22D0950-2	Hoge parameteronzekerheid	Eenvoudiger model geselecteerd
B22D0955-1	Ruismodel niet goed	Frequentie naar 14 dagen
B22D0955-2	Ruismodel niet goed	Frequentie naar 14 dagen
B22D0961-1	Reeks aan bovenzijde afgetopt; ook droogval	ThresholdTransform toegepast en metingen t.p.v. droogval verwijderd
B22D0961-2	Reeks aan bovenzijde afgetopt	ThresholdTransform toegepast
B22D0962-1	Invloed Vecht te sterk in vergelijking met dieper filter en omliggende filters	Type responsfunctie gelijkgesteld aan die van dieper filter; frequentie naar 14 dagen
B22D0962-2	Ruismodel niet goed	Frequentie naar 14 dagen
B22D0963-2	Effect van verdamping klein en niet significant	Zonder verdamping gemodelleerd
B22D0964-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
B22D0964-2	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
B22D0965-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
B22D0965-2	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
B22D0966-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
B22D0967-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
B22D0967-2	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
B22C1361-1	Effect van recharge klein en niet significant; stap in metingen t.g.v. aanleg plas in 2021	Zonder recharge gemodelleerd; stapmodel met stap op 1-1-2022 en metingen in 2021 verwijderd
B22C1363-1	Respons op Vechtheil > 1 en hoge verdampingsfactor	Andere responsfunctie
B22C1364-1	Ruismodel niet goed	Frequentie naar 14 dagen
B22D0943-1	Ruismodel niet goed	Frequentie naar 14 dagen
B22D0945-1	Ruismodel niet goed	Frequentie naar 14 dagen
B22D0947-1	Ruismodel niet goed	Frequentie naar 14 dagen
B22D0948-1	Sprong in meetreeks in zomer 2020	Stapmodel met stap op 1-8-2020
B22C1380-1	Reeks aan bovenzijde afgetopt	ThresholdTransform toegepast
B22C1380-2	Reeks aan bovenzijde afgetopt	ThresholdTransform toegepast
B22C1380-3	Reeks aan bovenzijde afgetopt	ThresholdTransform toegepast
B22C1370-1	Reeks aan bovenzijde afgetopt; op 6-11-2020 is buis 10 cm ingekort, zie BRO	ThresholdTransform toegepast; metingen voor 6-11-2020 10 cm verlaagd
B22C1370-2	Reeks aan bovenzijde afgetopt; op 6-11-2020 is buis 6.4 cm ingekort, zie BRO	ThresholdTransform toegepast; metingen voor 6-11-2020 6.4 cm verlaagd
B22C1391-1	Sprong in meetreeks, zit niet in filter 2	Correctie filter 1 zodat stijghoogteverschil tussen filter 1 en 2 constant is
B22C0142-1	Vechtrespons onwaarschijnlijk	Andere responsfunctie geselecteerd
B22C0686-1	Er zit een sprong in de reeks in 2016	Reeks gekalibreerd vanaf 2017
B22D0052-1	Veel ruis/lokale effecten in meetreeks	Frequentie naar 14 dagen; zonder recharge gemodelleerd
KS_1_1-1	Stap in reeks in 2020; effect van recharge is klein en niet significant	Reeks gekalibreerd vanaf 2021; zonder recharge gemodelleerd

Peilbuis	Opmerking	Aanpassing
KS_1_2-1	Stap in reeks in 2020	Reeks gekalibreerd vanaf 2021
KS_1_3-1	Stap in reeks in 2020	Reeks gekalibreerd vanaf 2021
KS_1_4-1	Stap in reeks in 2020	Reeks gekalibreerd vanaf 2021
pb_01-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
pb_02-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
pb_03-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
pb_04-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
pb_05-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd
pb_06-1	Effect van recharge is klein en niet significant	Zonder recharge gemodelleerd

Voor de buizen in Tabel 3-1 is opnieuw een tijdreeksmodel afgeleid. De resultaten zijn samengevoegd met die van de overige buizen. Uiteindelijk zijn voor de volgende buizen de modellen als onvoldoende beoordeeld voor verder gebruik in de analyse:

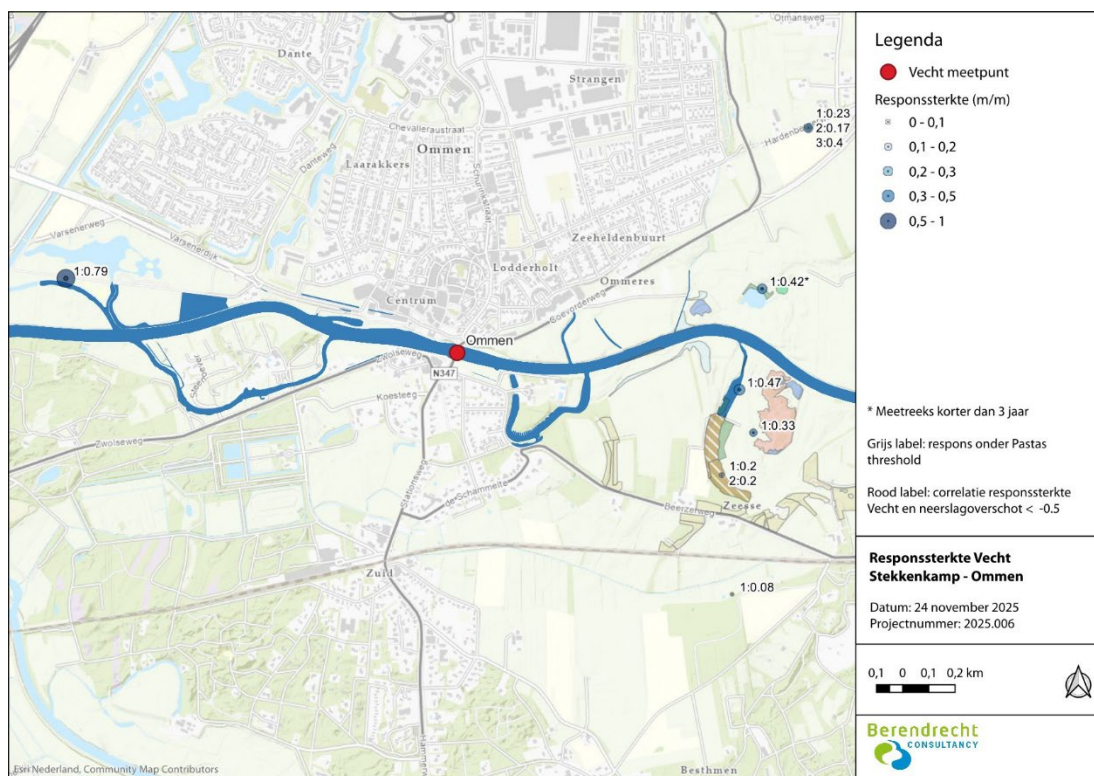
- B22C1389-1
- B22D0964-1
- B22D0964-2
- B22D0966-1
- B22D0967-1
- B22D0967-2
- KS_1_1-1
- KS_1_3-1
- KS_1_4-1
- pb_09-1

Voor al deze buizen gold dat het model de (korte termijn) grondwaterdynamiek in onvoldoende mate beschreef in combinatie met een vrij korte reekslengte. Dit gaf te weinig vertrouwen dat het model het effect van het Vechtpeil en neerslagoverschot voldoende kan onderscheiden en/of een betrouwbare langjarige simulatie kan genereren.

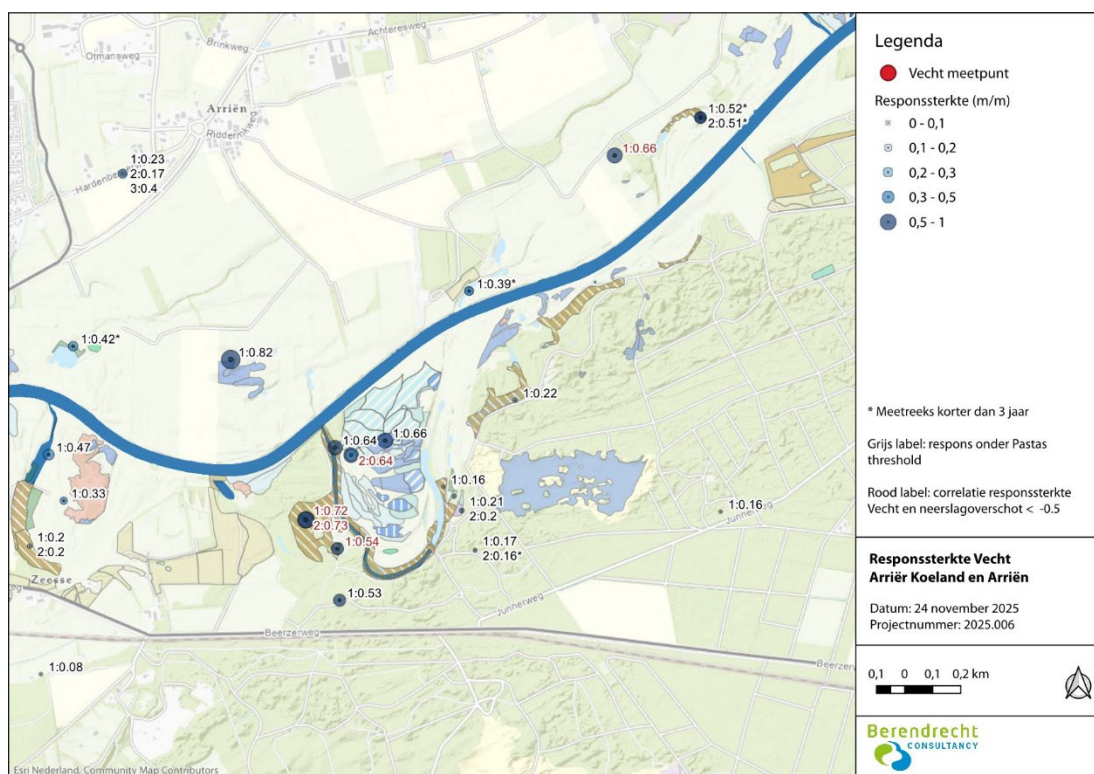
De overige 117 modellen vormden gezamenlijk de basis voor het vaststellen van het effect van het Vechtpeil en de simulatie van de GXG's.

3.2 Effect Vechtpeil

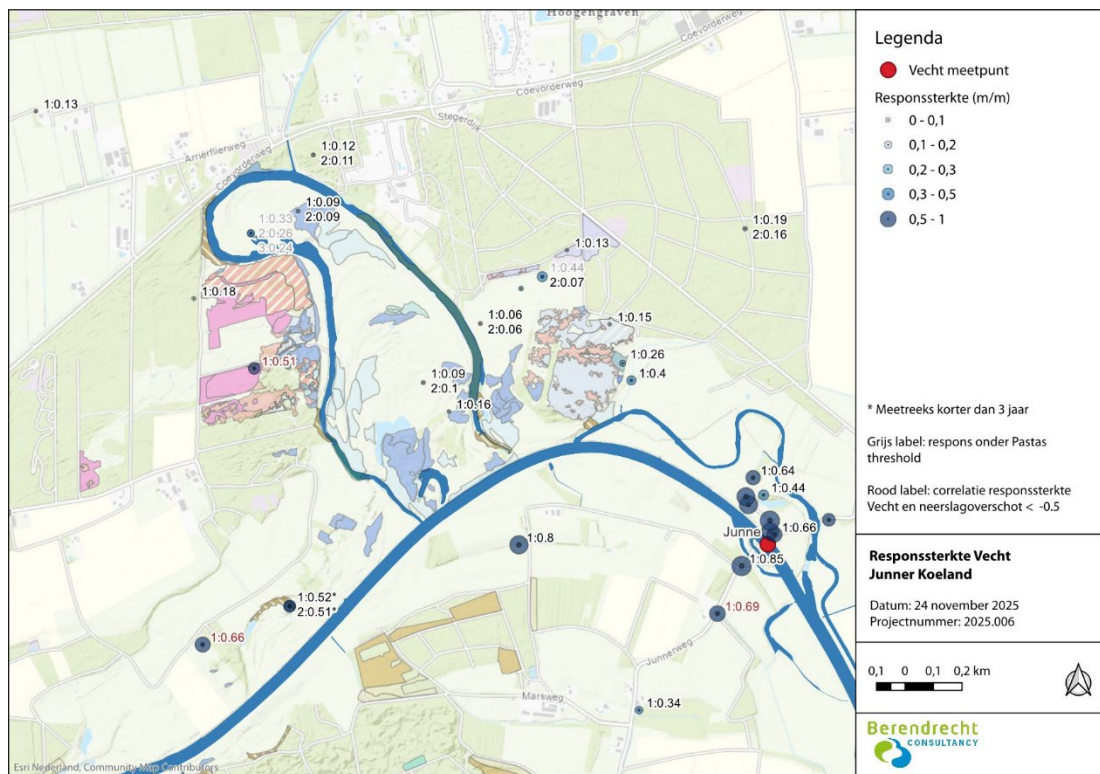
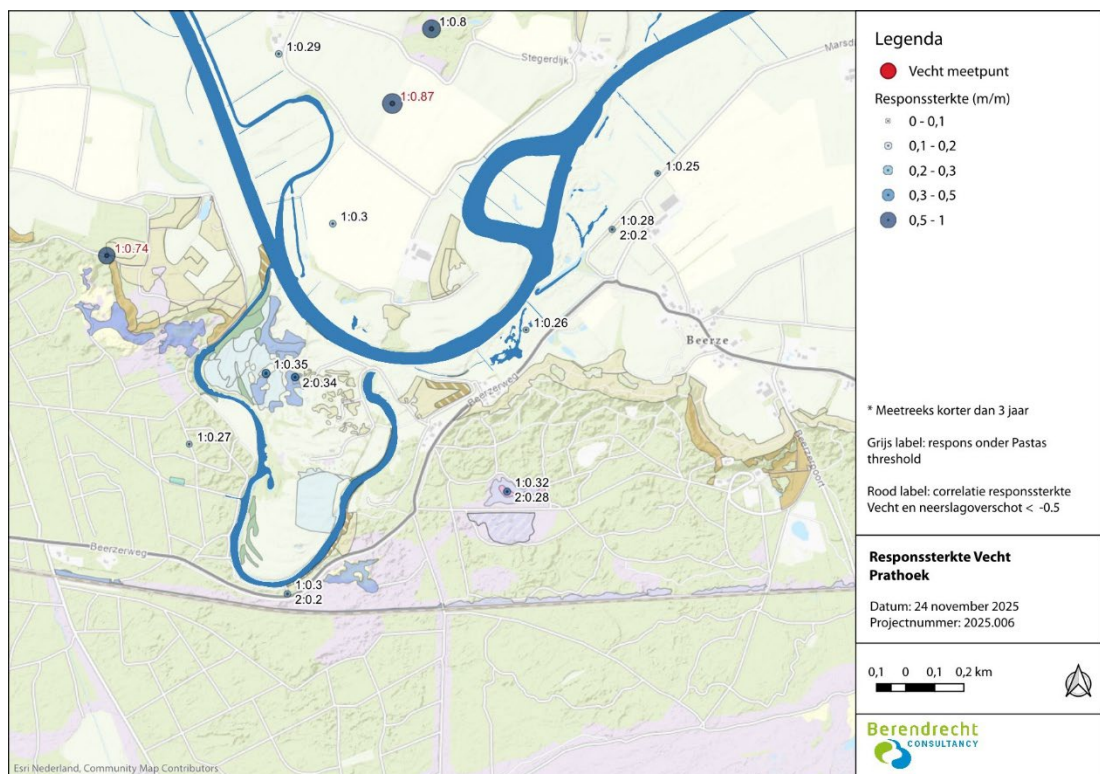
De berekende responssterkte is voor de verschillende deelgebieden ruimtelijk weergegeven in Figuur 3-1 tot en met Figuur 3-6. Een gebiedsdekkende kaart is opgenomen in Bijlage E. De weergegeven waarden representeren het filternummer en de parameter Vecht_A (gain). Deze parameter geeft aan wat de eindwaarde van de respons is op een stap in het Vechtpeil van 1 m. Voor buizen waar een drempelwaarde (Pastas threshold) is toegepast, is het label grijs gekleurd. Boven deze drempelwaarde wordt de respons aanzienlijk gedempt. Aangezien de sterkste variatie van het Vechtpeil veelal samenvalt met de periode dat de grondwaterstand zich boven de drempelwaarde bevindt, is de parameter Vecht_A in dat geval niet echt representatief. Verder is het label rood gekleurd voor buizen met een hoge negatieve correlatie (er is een grenswaarde van -0.5 gehanteerd) tussen de responssterkte van de Vecht en die van het neerslagoverschot.

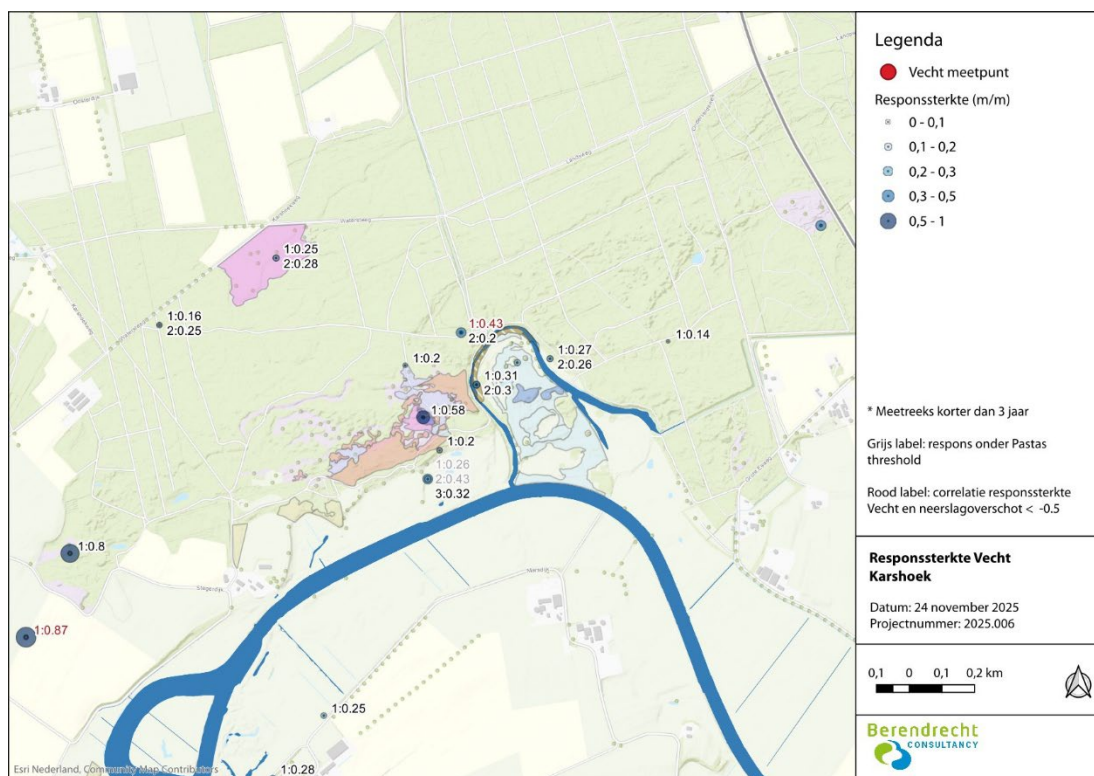


Figuur 3-1: Responssterkte grondwaterstand/stijghoogte op Vechtheil ter hoogte van Stekkenkamp en Ommen

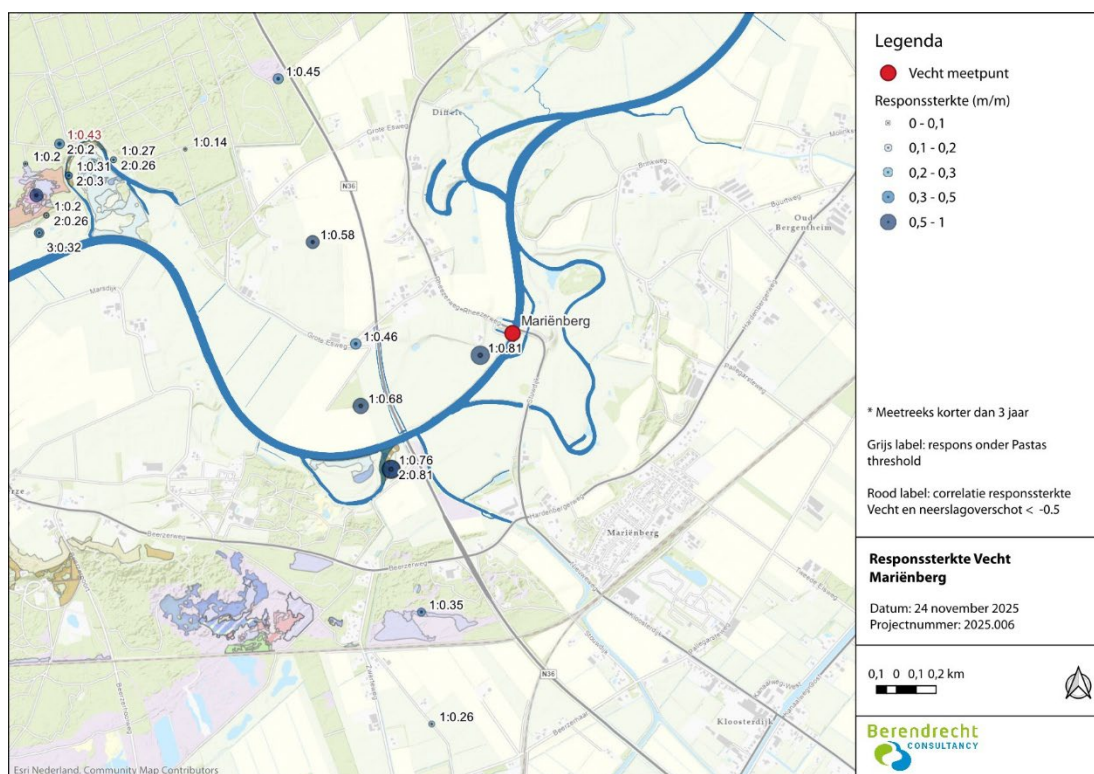


Figuur 3-2: Responssterkte grondwaterstand/stijghoogte op Vechtheil ter hoogte van Arriën Koeland en Arriën





Figuur 3-5: Responssterkte grondwaterstand/stijghoogte op Vechtpiel ter hoogte van Karshoek



Figuur 3-6: Responssterkte grondwaterstand/stijghoogte op Vechtpiel ter hoogte van Mariërborg

De geschatte responssterkten vertonen in het algemeen een hydrologisch plausibel beeld. De responssterkte neemt veelal af met de afstand tot de Vecht. Ook komen de orde groottes van de responssterkte in de diepte overeen (bij meerdere filters in een put). Afwijkingen hierop kunnen worden veroorzaakt door lokale geohydrologische omstandigheden of de nabijheid van een meander. Zo speelt de aan- of afwezigheid van kronkelwaarden een rol als ook het feit dat meanders, zeker als ze verder van de Vecht afliggen en insnijden in de stuifzand- en dekzandcomplexen, sterk kwel gevoed zijn.

In Bijlage B is een kaart opgenomen waarbij de geschatte responssterkte van de Vecht is weergegeven tegen een achtergrond van de geomorfogenetische gesteldheid anno 1890 (Wolfert et al., 1996). Hierop zijn de kronkelwaarden ingetekend. Binnen de kronkelwaarden ligt een enkele meters dik pakket aan zandige rivierafzettingen. Deze bestaan uit dunne, fijnzandige tot lemige scheefliggende accretievlakken en kleiige tot venige geulopvullingen. Onder die laag ligt een dunne zandlaag die grover is op homogenere dekzanden en fluvioperiglaciale afzettingen (Jalink, 2018b, Quick, 2016, Wolfert et al, 2009). De invloed van deze gelaagdheid op de grondwaterstanden en -stroming zal lokaal verschillend zijn, maar duidelijk is wel dat er binnen de kronkelwaarden sprake moet zijn van weerstand gezien het grote verhang in de grondwaterstand richting de Vecht.

Daarnaast speelt wellicht een rol dat een aantal van deze kronkelwaarden ver van de Vecht af liggen en ingesneden zijn in het omringende infiltratiegebied dat veelal bestaat uit stuif- en dekzanden. Daardoor is er in een aantal kronkelwaarden zoals het Junner Koeland en Arriër Koeland sprake van sterke kwel. Die kwel zorgt voor continue aanvoer van grondwater en daardoor stabiele grondwaterstanden die in de winter veelal aan maaiveld worden afgetopt in de laagste delen, ver van de Vecht af. Daar komen dan ook de trilvenen (Junner Koeland) voor.

Tenslotte worden verschillen in effectafstanden mogelijk verklaard door verschillen in geohydrologisch opbouw. De verbreiding van scheidende lagen in het watervoerend pakket is divers langs de Vecht. De belangrijkste weerstandbiedende lagen zijn kleilagen behorend tot de formatie van Kreftenheye (laagpakket van Zutphen) en kleilagen behorend tot de Formatie van Drenthe (Laagpakket van Gieten). De verbreiding en dikte en dus weerstand van het laagpakket van Zutphen is heel divers. Dat geldt ook voor de keileemlagen. Daardoor is ook de weerstand verschillend. Zie ook Jalink (2018b).

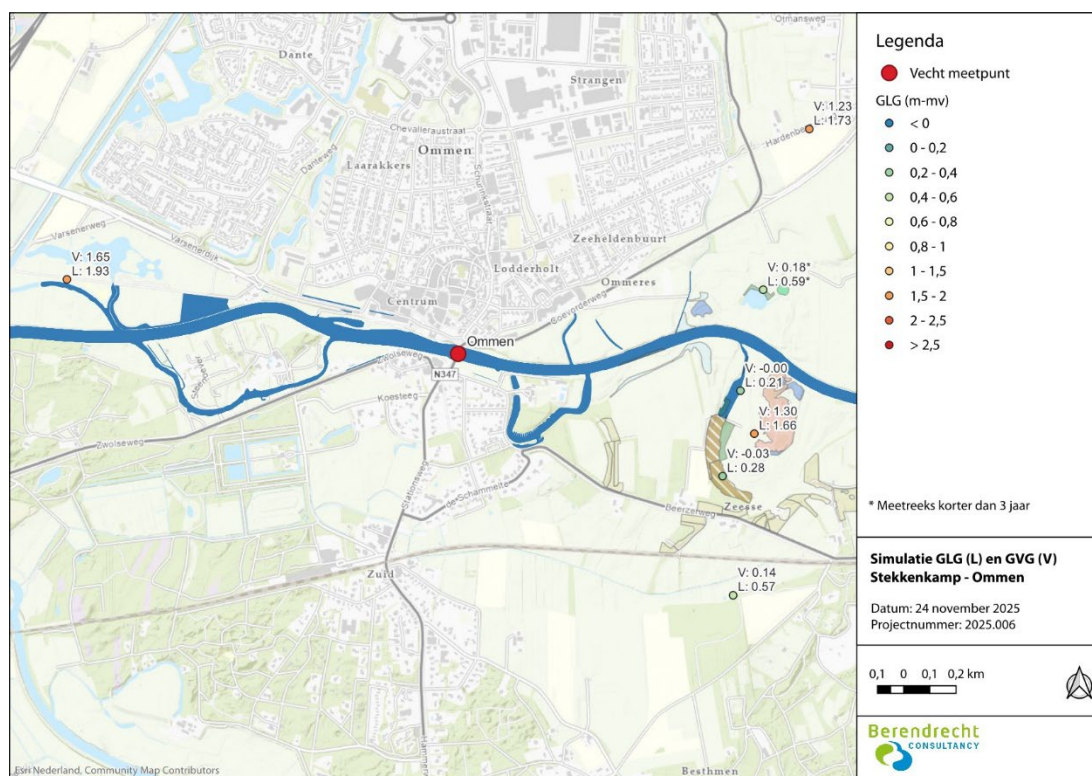
3.3 Simulatie GXG

Voor alle peilbuizen zijn met de geschatte tijdreeksmodellen 1000 realisaties van de GLG, GVG en GHG gegenereerd conform de in paragraaf 2.4 beschreven werkwijze. Om te toetsen hoe goed het model in staat is om de GXG's te reproduceren, is in eerste instantie een simulatie uitgevoerd voor de meetperiode. De aldus gesimuleerde GLG en GVG zijn vergeleken met de GLG en GVG op basis van de meetdata. Als de GLG en GVG op basis van de metingen binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval van de simulatie viel, dan gaf dit voldoende vertrouwen dat het model ook een goede langjarige simulatie over de periode 2000-2025 kon genereren. Voor buizen waar dit niet het geval was, is gekeken of een model zonder ruis tot betere resultaten leidde en is het model zonder ruis gebruikt voor de simulatie. Dit bleek te gelden

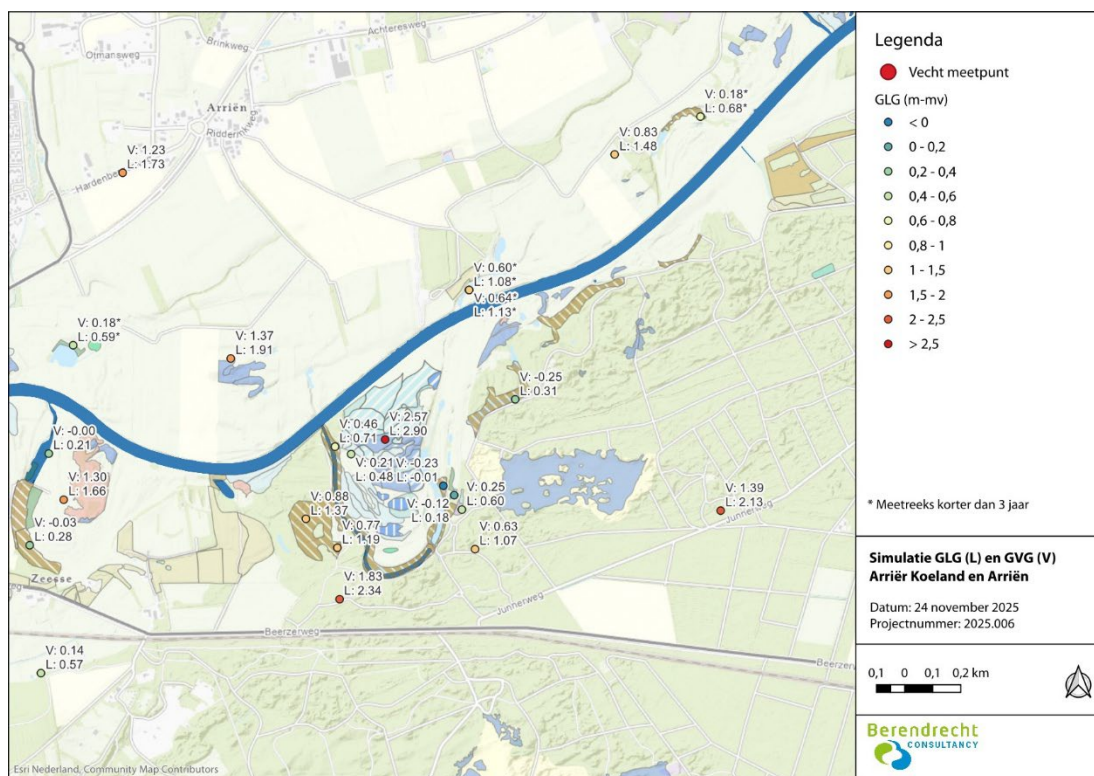
voor de buizen B22C1395-1, B22C1395-2, B22C1396-1 en B22D0946-1. Alle overige buizen zijn gesimuleerd inclusief ruismodel.

De definitieve simulatie is uitgevoerd over de periode 2000-2025. In Bijlage C zijn de gesimuleerde GXG's voor alle peilbuizen opgenomen inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval. Dit betrouwbaarheidsinterval is voor 50% van de buizen kleiner dan ± 5 cm en voor 90% van de buizen kleiner dan ± 10 cm. Figuur 3-7 tot en met Figuur 3-12 tonen de GLG en GVG voor de verschillende deelgebieden. Een gebiedsdekkende kaart is opgenomen in Bijlage E.

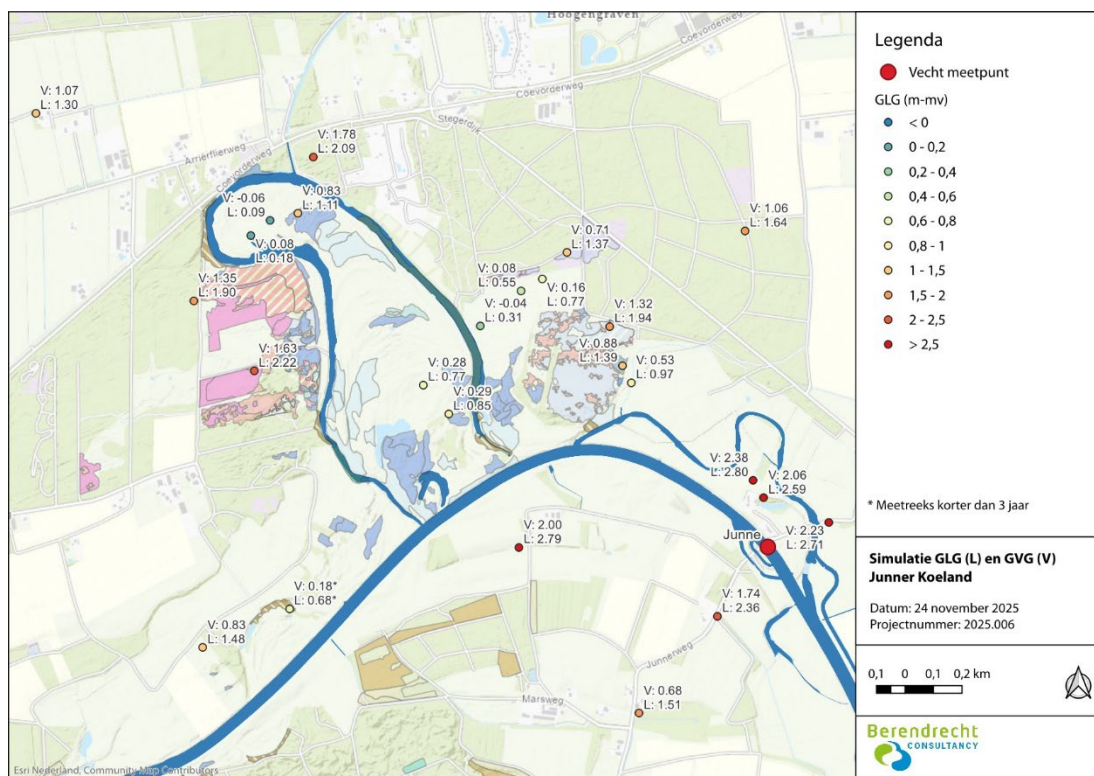
Aangezien de GXG's zijn uitgedrukt ten opzichte van maaiveld, heeft een eventuele fout in de maaiveldhoogte direct invloed op de berekende GXG. Daarom zijn als globale controle de ingemeten maaiveldhoogtes vergeleken met het AHN4 (zie Bijlage D). Verschillen tussen het ingemeten maaiveld en het AHN konden veelal verklaard worden door lokale gradiënt, dichte vegetatie en meeton nauwkeurigheid. Echter, voor buis B22C1380 kon geen plausibele verklaring voor het verschil worden gegeven. Daarnaast bleek dat deze meetreeks zich volledig boven het ingemeten maaiveld bevindt en dat de meetreeks afgetopt wordt rond het AHN niveau. Daarom is ervoor gekozen om voor deze put de GXG's uit te drukken ten opzichte van de AHN-maaiveldhoogte.



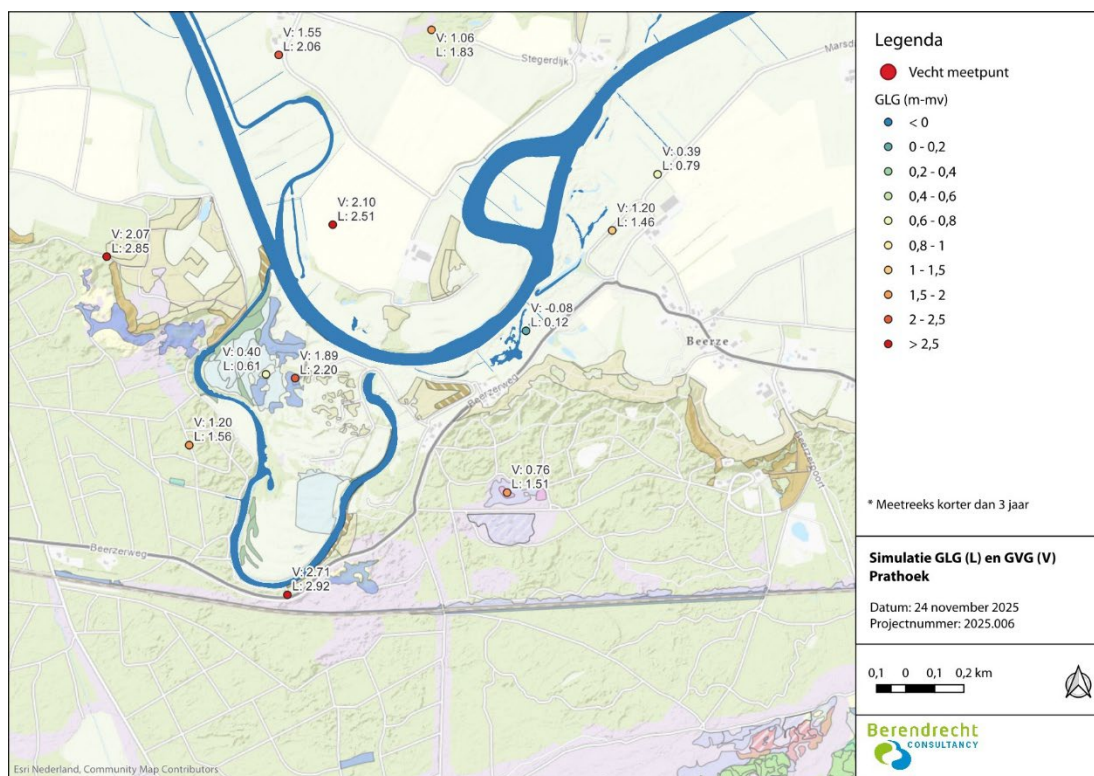
Figuur 3-7: Gesimuleerde GLG (L) en GVG (V) voor de peilbuizen ter hoogte van Stekkenkamp en Ommen



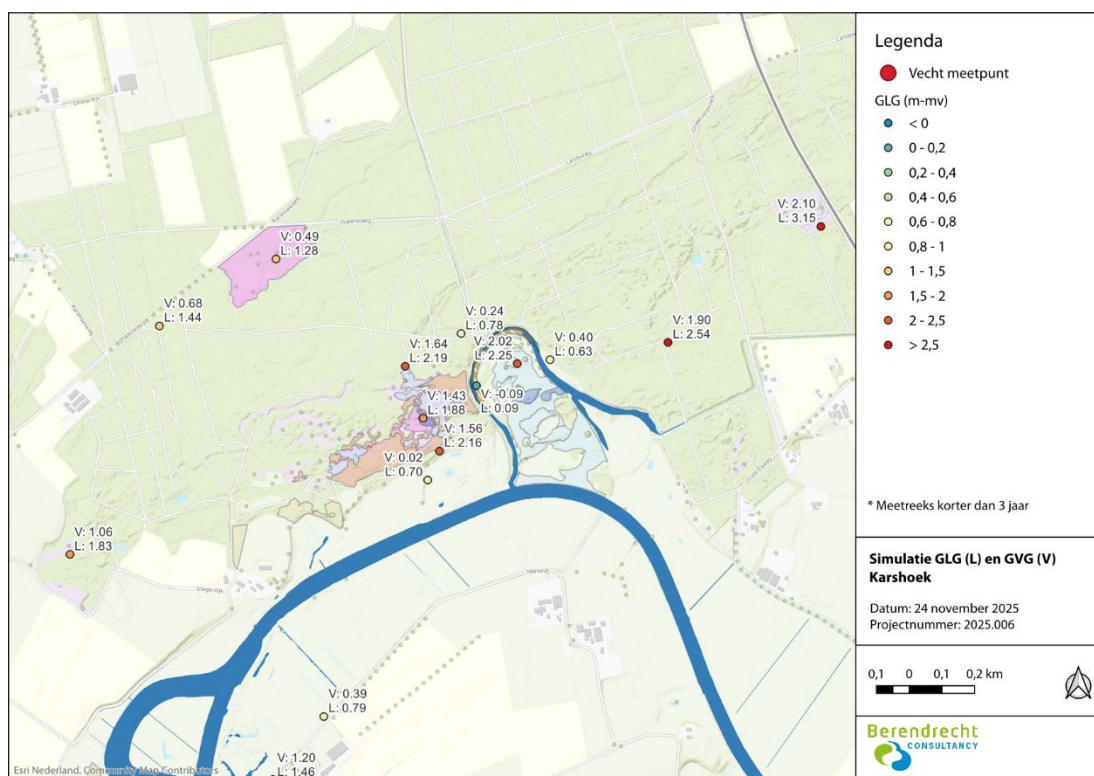
Figuur 3-8: Gesimuleerde GLG (L) en GVG (V) over 2000-2025 voor de peilbuizen ter hoogte van Arriër Koeland en Arriën



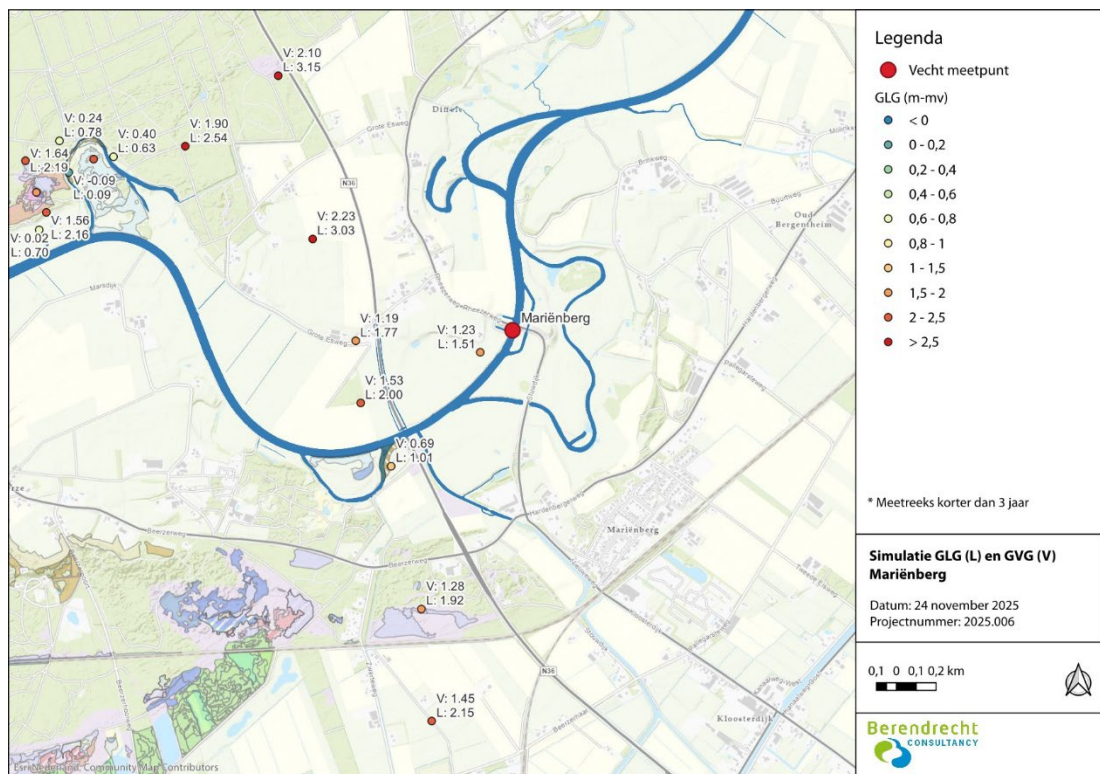
Figuur 3-9: Gesimuleerde GLG (L) en GVG (V) over 2000-2025 voor de peilbuizen ter hoogte van Junner Koeland



Figuur 3-10: Gesimuleerde GLG (L) en GVG (V) over 2000-2025 voor de peilbuizen ter hoogte van Prathoek



Figuur 3-11: Gesimuleerde GLG (L) en GVG (V) over 2000-2025 voor de peilbuizen ter hoogte van Karshoek



Figuur 3-12: Gesimuleerde GLG (L) en GVG (V) over 2000-2025 voor de peilbuizen ter hoogte van Marienberg

3.4 Toetsing hydrologische randvoorwaarden

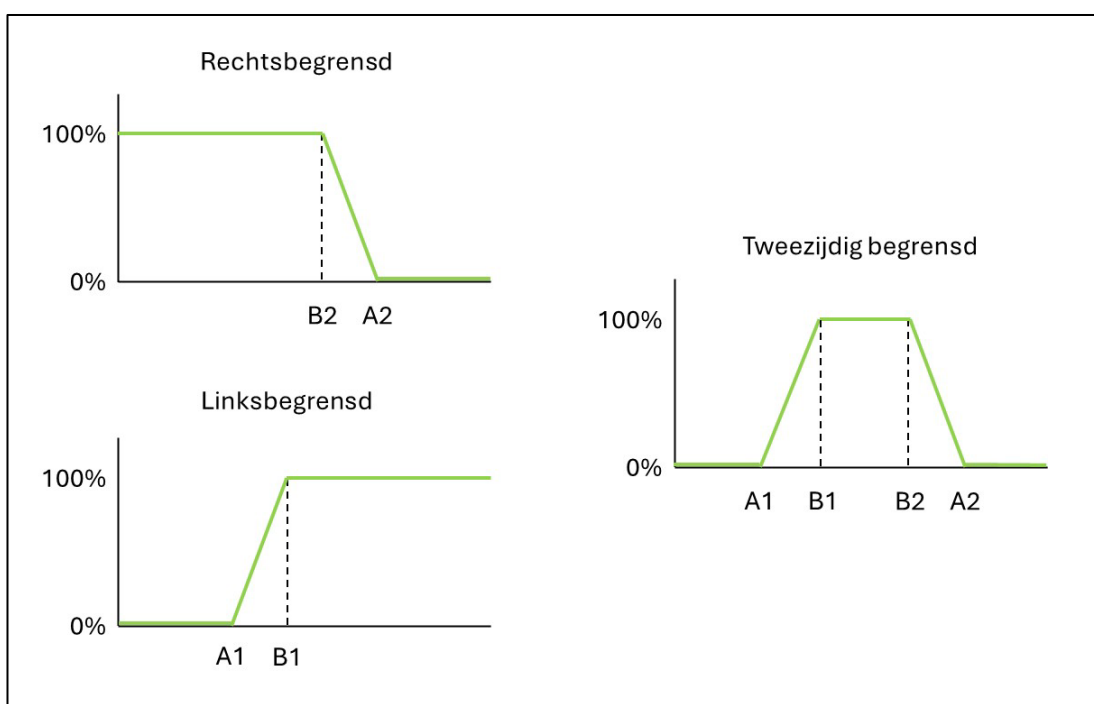
Het doel van deze studie was om voor de verschillende peilbuislocaties het doelgat en doelrealisatie voor de GVG en GLG vast te stellen en vervolgens te bepalen wat het effect van een eventuele verhoging van het Vechtpiel hierop is. Zoals in de inleiding is vermeld zijn ook het gemiddeld aantal dagen droogtestress, de aanwezigheid van kwel en de inundatiefrequentie belangrijke hydrologische stuurvariabelen voor de bepaling van de doelrealisatie. Deze variabelen vielen echter buiten de scope van deze studie.

Voor het vaststellen van doelgaten is gebruikgemaakt van de doelrealisatiefuncties zoals gepresenteerd in Runhaar en Hennekens (2015). Hierbij wordt de mate waarin de waterhuishouding op een locatie voldoet uitgedrukt in de mate van doelrealisatie. De doelrealisatie is 100% wanneer de functie zonder enige hydrologische beperking kan worden vervuld, en 0% wanneer de hydrologische condities zodanig zijn dat de functie niet kan worden vervuld. Voor de natuur betekent een doelrealisatie van 100% dat het geplande natuurdoeltype zonder beperkingen kan worden gerealiseerd, en 0 % dat het type niet gerealiseerd kan worden.

De mate van doelrealisatie per vegetatietype of per doeltype wordt weergegeven met doelrealisatiefuncties zoals in Figuur 3-13. Per hydrologische stuurvariabele (in deze studie: GVG en GLG) wordt daarmee aangegeven bij welke waarden het vegetatietype of doeltype kan

voorkomen en bij welke waarden het type optimaal voorkomt. Het zijn eenvoudige lineaire functies, waarvan de vorm wordt bepaald door de volgende parameters:

- A1: buitengrens waar beneden het type niet meer kan voorkomen
- B1: knikpunt waar boven het type optimaal voorkomt, dat wil zeggen dat de waterhuishouding geen beperking vormt voor de ontwikkeling of handhaving van het type
- B2: knikpunt waar beneden het type optimaal voorkomt
- A2: buitengrens waar boven het type niet meer kan voorkomen



Figuur 3-13: Doelrealisatiefuncties zoals gebruik bij de bepaling van de doelrealisatie voor de terrestrische natuur. De horizontale assen representeren de GLG of GVG ten opzichte van maaiveld. A1 en A2 zijn buitengrenzen waaronder resp. waarboven het type niet kan voorkomen; B1 en B2 zijn knikpunten waarboven resp. waaronder type optimaal voorkomt.

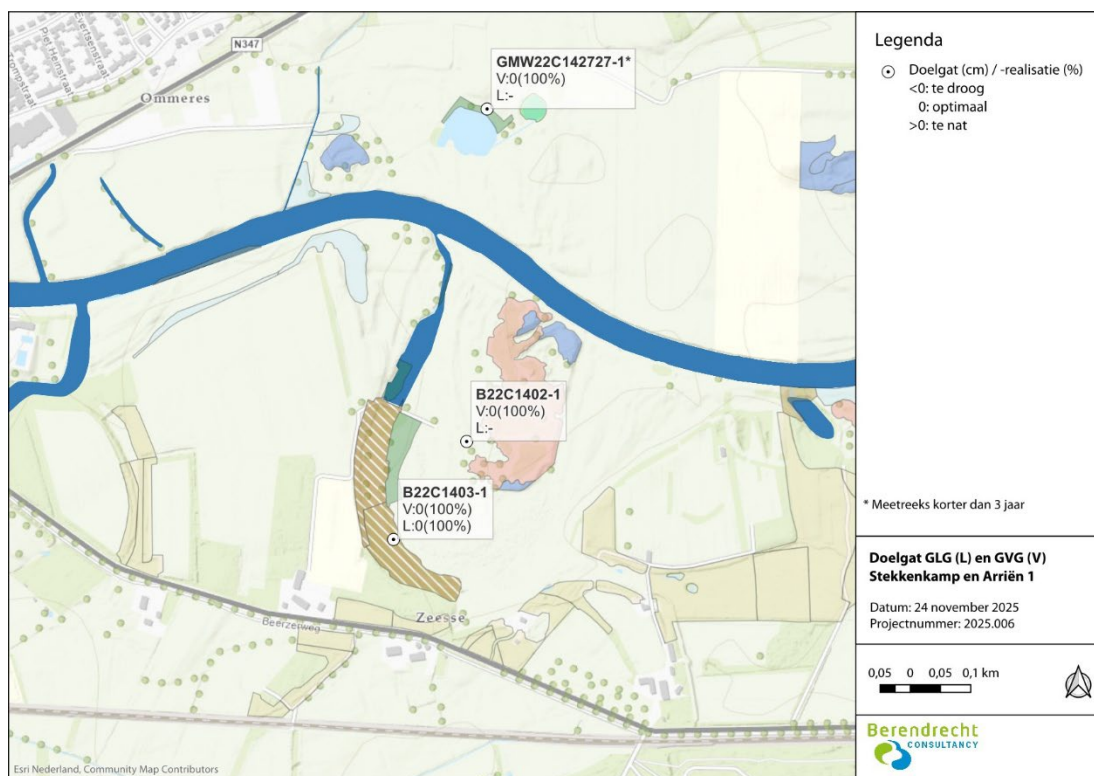
Ten behoeve van deze studie zijn de grenswaarden voor de doelrealisatiefuncties aangeleverd door Staatsbosbeheer, zie Tabel 3-2. Hierbij zijn op basis van de coördinaten van de peilbuislocaties de habitattypen en vegetatietypen uit de habitattypenkaart van Provincie Overijssel (bron: online Atlas van Overijssel) overgenomen. Het resultaat is vergeleken met de tabel in bijlage 2 van Jalink (2018a). Daar waar in de habitattypenkaart geen en in de tabel wel een habitattype en vegetatietype is toegekend, is de waarde uit de tabel als uitgangspunt genomen. Tenslotte zijn op basis van deze vegetatietypen de doelrealisatiefuncties uit het Waternoodinstrumentarium (Runhaar en Hennekens, 2015) overgenomen.

Voor 29 peilbuislocaties zijn grenswaarden gedefinieerd. De doelrealisatiefuncties voor de GLG zijn allemaal rechtsbegrensd. Voor de GVG zijn rechtsbegrensd dan wel tweezijdig begrensd doelrealisatiefuncties gedefinieerd.

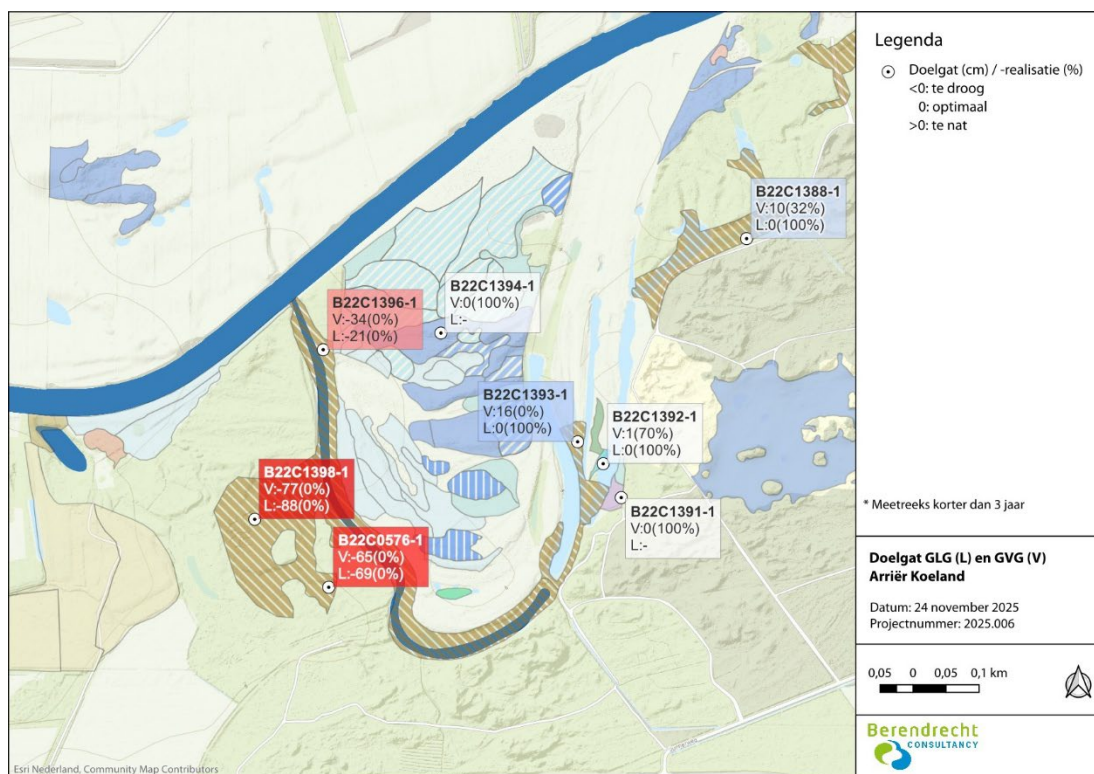
Tabel 3-2: Gehanteerde grenswaarden voor doelrealisatiefuncties GVG en GLG (cm-mv) op basis van de habitattypenkaart van Provincie Overijssel en aangevuld met data uit Jalink (2018a), Bijlage II.

Meetpunt	Habitatype	GVG_A1	GVG_B1	GVG_B2	GVG_A2	GLG_B2	GLG_A2
B22C0576	H91E0C	-30	-15	12	25	50	70
B22C1369	H2310	-10	-2	18	30	30	50
B22C1374	H2310	50	70				
B22C1375	H6410	-10	0	25	40		
B22C1379	H2330	70	90				
B22C1380	H7140A	-15	-10	5	15	20	30
B22C1384	H4030	50	70				
B22C1386	H6410	-5	5	22	30		
B22C1388	H91E0C	-30	-15	10	20	40	60
B22C1391	H6410	-10	0	25	40		
B22C1392	H7140A	-15	-10	5	15	20	30
B22C1393	H91E0C	-15	-8	12	25	50	70
B22C1394	H2330	70	90				
B22C1396	H91E0C	-30	-15	12	25	50	70
B22C1398	H91E0C	-30	-15	12	25	50	70
B22C1402	H6120	60	75				
B22C1403	H91E0C	-30	-15	12	25	50	70
B22D0943	H2310	50	70				
B22D0950	H91E0c	-30	-15	12	25	50	70
B22D0953	H6120	60	75				
B22D0954	H91E0C	-30	-15	12	25	50	70
B22D0955	H4010A	-5	8	35	50		
B22D0956	H2310	50	70				
B22D0958	H4010A	-5	8	35	50		
B22D0962	H4010A	-5	8	35	50		
B22D0963	H2320	70	90				
B22D0965	H6410	-10	0	25	40		
GMW22C142727	H6430A	-10	5	30	40		
GMW22C142728	H91E0C	-15	-8	12	25	50	70

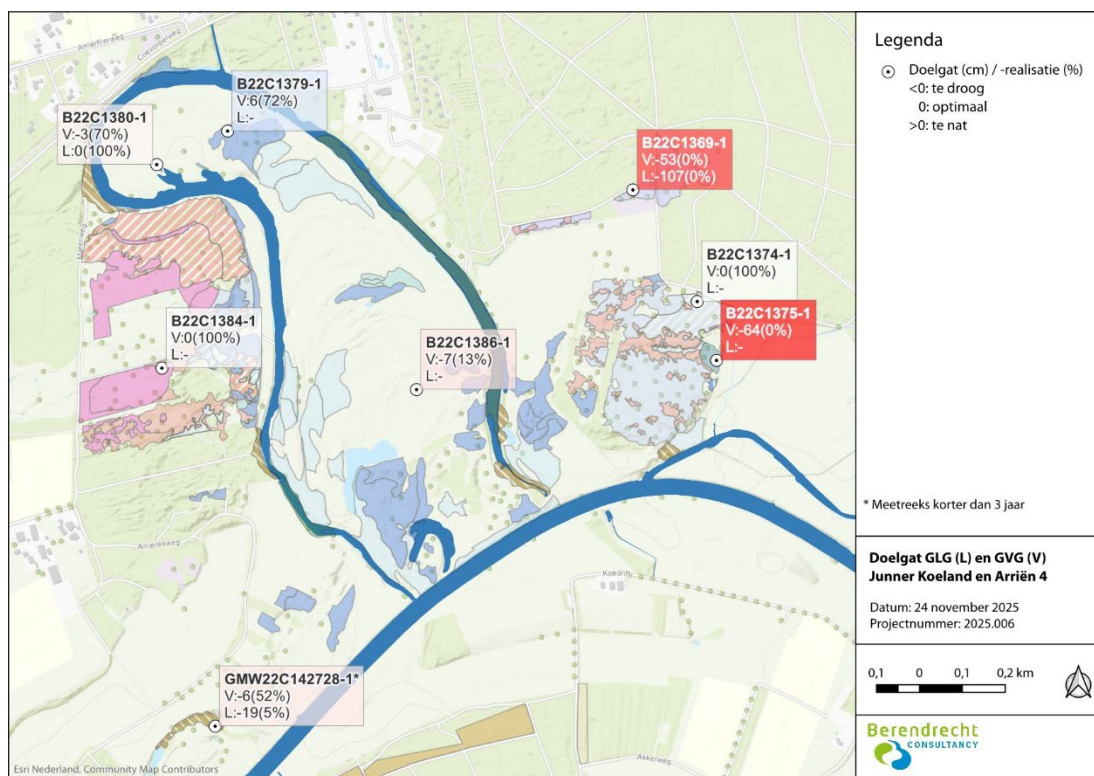
Figuur 3-14 tot en met Figuur 3-19 tonen voor bovengenoemde peilbuizen het berekende doelgat en de bijbehorende doelrealisatie op basis van het gemiddelde van de 1000 gesimuleerde GLG's en GVG's. Alleen de bovenste filters in een put zijn weergegeven. De kleuren geven aan of de (GVG) condities te droog (rood), te nat (blauw), of optimaal (wit) zijn. Een gebiedsdekkende kaart is opgenomen in Bijlage E.



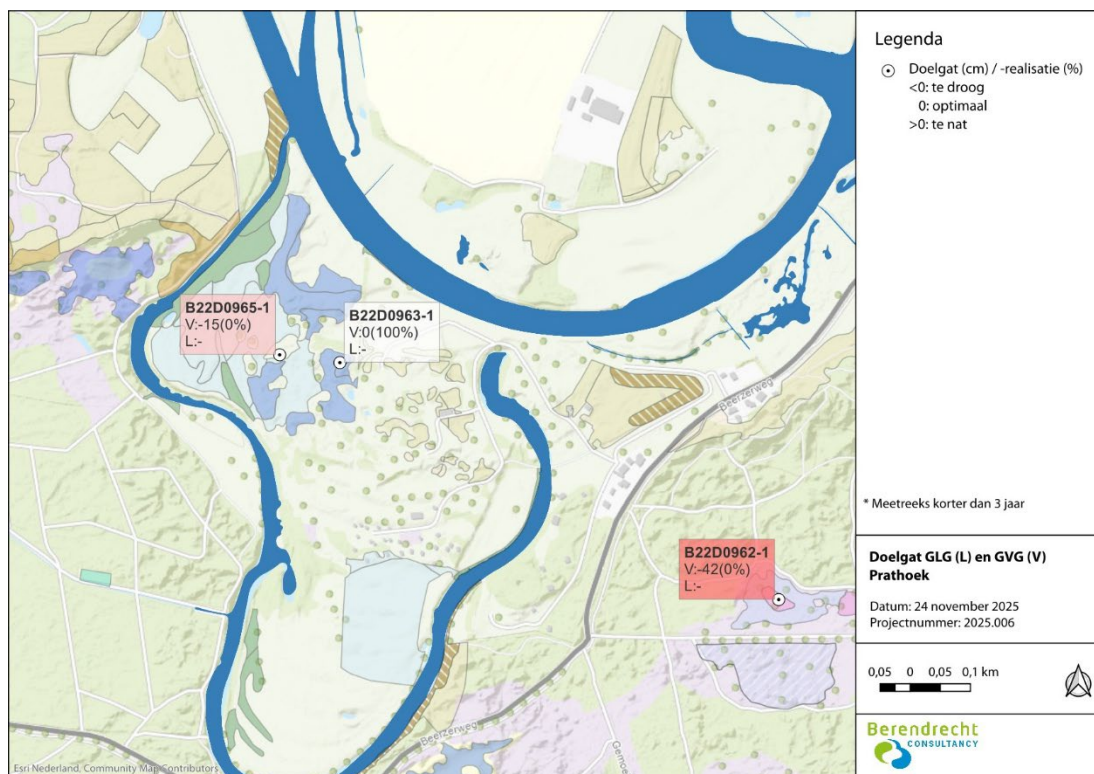
Figuur 3-14: Doelgat (cm) en tussen haakjes de doelrealisatie (%) voor de GLG (L) en GVG (V) op basis van het gemiddelde van de gesimuleerde GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Stekkenkamp en Arriën 1



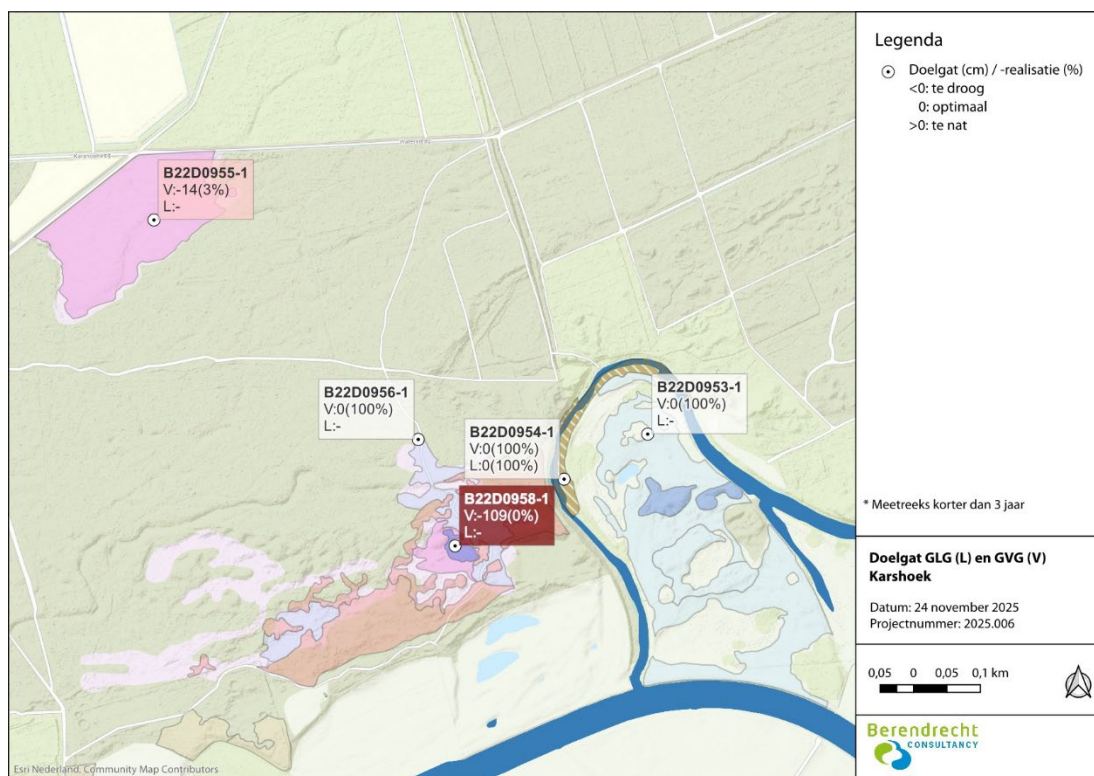
Figuur 3-15: Doelgat (cm) en tussen haakjes de doelrealisatie (%) voor de GLG (L) en GVG (V) op basis van het gemiddelde van de gesimuleerde GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Arriër Koeland



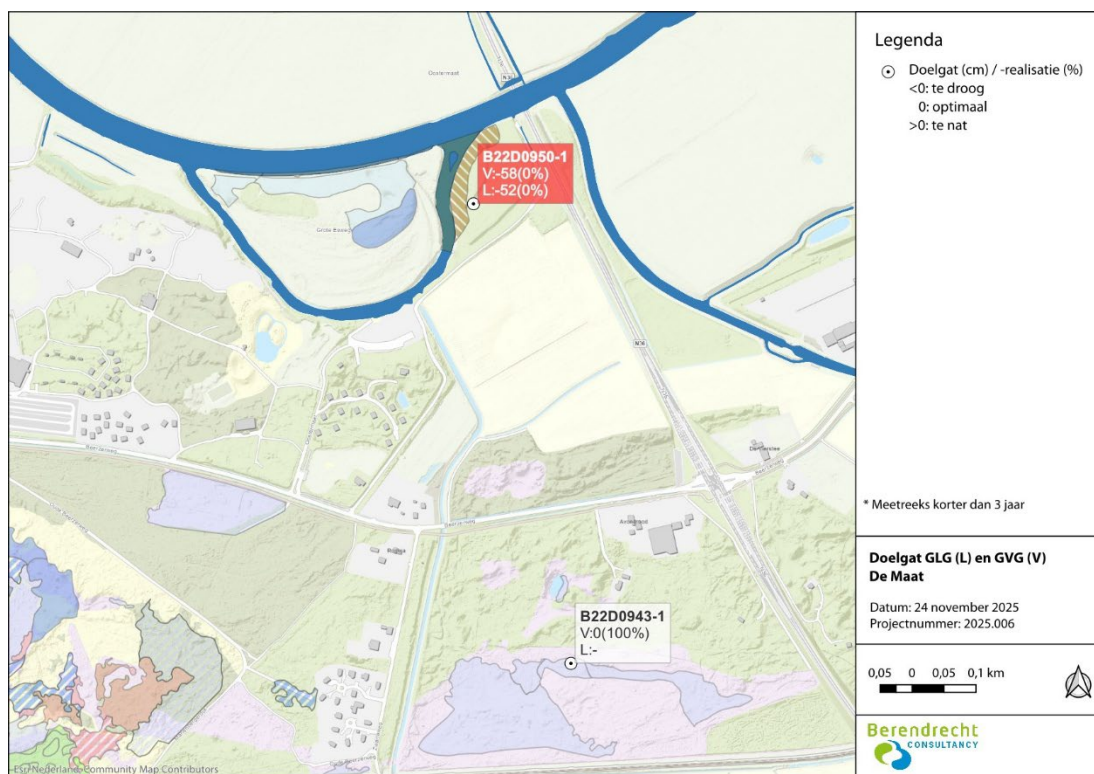
Figuur 3-16: Doelgat (cm) en tussen haakjes de doelrealisatie (%) voor de GLG (L) en GVG (V) op basis van het gemiddelde van de gesimuleerde GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Junner Koeland en Arriën 4



Figuur 3-17: Doelgat (cm) en tussen haakjes de doelrealisatie (%) voor de GLG (L) en GVG (V) op basis van het gemiddelde van de gesimuleerde GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Prathoek



Figuur 3-18: Doelgat (cm) en tussen haakjes de doelrealisatie (%) voor de GLG (L) en GVG (V) op basis van het gemiddelde van de gesimuleerde GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Karshoek



Figuur 3-19: Doelgat (cm) en tussen haakjes de doelrealisatie (%) voor de GLG (L) en GVG (V) op basis van het gemiddelde van de gesimuleerde GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van De Maat

Tabel 3-3 bevat de waarden voor het doelgat en de doelrealisatie uit bovenstaande figuren. Tevens bevat de tabel de onder- en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval op basis van het betrouwbaarheidsinterval van de gesimuleerde GXG's.

Tabel 3-3: Doelgat en doelrealisatie inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval (gem=gemiddelde; og=ondergrens; bg=bovengrens) voor locaties waarvoor toetswaarden zijn aangeleverd; een negatieve waarde voor het doelgat betreft te droge condities; een positieve waarde te natte condities

Peilbuis	Habitat type	GVG						GLG					
		Doelgat (cm)			Doelrealisatie (%)			Doelgat (cm)			Doelrealisatie (%)		
		gem	og	bg	gem	og	bg	gem	og	bg	gem	og	bg
B22C0576-1	H91E0C	-65	-68	-63	0	0	0	-69	-71	-66	0	0	0
B22C1369-1	H2310	-53	-58	-48	0	0	0	-107	-111	-102	0	0	0
B22C1374-1	H2310	0	0	0	100	100	100						
B22C1375-1	H6410	-64	-71	-58	0	0	0						
B22C1379-1	H2330	6	3	8	72	84	61						
B22C1380-1	H7140A	-3	-5	-2	70	55	84	0	0	0	100	100	100
B22C1384-1	H4030	0	0	0	100	100	100						
B22C1386-1	H6410	-7	-10	-4	13	0	56						
B22C1388-1	H91E0C	10	3	16	32	79	0	0	0	0	100	100	100
B22C1391-1	H6410	0	-3	0	100	82	100						
B22C1392-1	H7140A	1	0	4	70	100	17	0	-1	0	100	95	100
B22C1393-1	H91E0C	16	13	18	0	0	0	0	0	0	100	100	100
B22C1394-1	H2330	0	0	0	100	100	100						
B22C1396-1	H91E0C	-34	-35	-33	0	0	0	-21	-22	-20	0	0	0
B22C1398-1	H91E0C	-77	-81	-74	0	0	0	-88	-91	-83	0	0	0
B22C1402-1	H6120	0	0	0	100	100	100						
B22C1403-1	H91E0C	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	100
B22D0943-1	H2310	0	0	0	100	100	100						
B22D0950-1	H91E0c	-58	-60	-56	0	0	0	-52	-53	-48	0	0	0
B22D0953-1	H6120	0	0	0	100	100	100						
B22D0954-1	H91E0C	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	100
B22D0955-1	H4010A	-14	-23	-6	3	0	62						
B22D0956-1	H2310	0	0	0	100	100	100						
B22D0958-1	H4010A	-109	-113	-105	0	0	0						
B22D0962-1	H4010A	-42	-53	-32	0	0	0						
B22D0963-1	H2320	0	0	0	100	100	100						
B22D0965-1	H6410	-15	-19	-12	0	0	23						
GMW22C142727-1 ¹	H6430A	0	0	0	100	100	100						
GMW22C142728-1 ¹	H91E0C	-6	-19	0	52	0	100	-19	-36	-10	5	0	52

¹ Meetreeks is korter dan 3 jaar waardoor de simulatie een grotere onbetrouwbaarheid heeft

De gebiedsgemiddelde (gemiddelde voor de peilbuislocaties) doelrealisatie voor de GLG is 51%. Ter plaatse van 6 van de 12 buizen zijn de GLG condities optimaal. Voor de overige 6 buizen geldt dat ter plaatse van 1 buis de condities suboptimaal zijn. Ter plaatse van de overige 5 buizen is de doelrealisatie 0%; het habitatype kan hier bij de huidige GLG condities (te droog) niet duurzaam voorkomen.

Voor de GVG is de gebiedsgemiddelde doelrealisatie 52%, waarbij de condities ter plaatse van 12 van de 29 buizen optimaal. Voor de overige 17 buizen geldt dat ter plaatse van 7 buizen de condities suboptimaal zijn en ter plaatse van 10 buizen het habitatype niet duurzaam kan voorkomen bij de huidige GVG condities. Op 1 van deze locaties zijn de GVG condities te nat, op de overige 9 locaties zijn de GVG condities te droog.

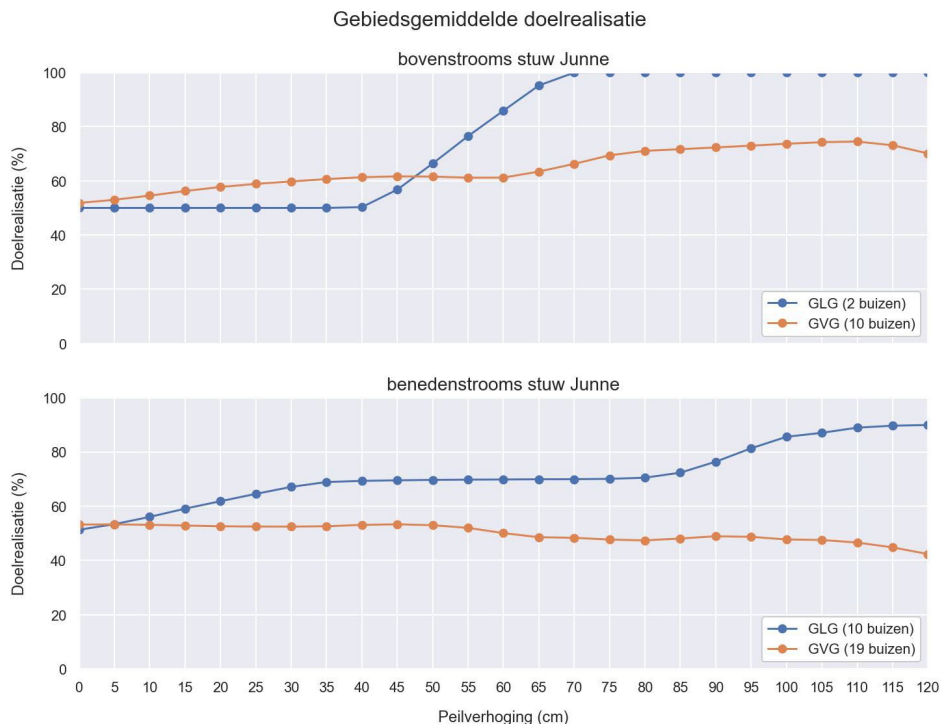
3.5 Effect peilverhoging

Zoals in paragraaf 2.5 is aangegeven, zijn 24 peilverhogingen tussen 5 en 120 cm doorgerekend met stappen van 5 cm. Voor iedere peilverhoging zijn 1000 realisaties van de gesimuleerde grondwaterstand uitgevoerd. Vervolgens zijn de GLG en GVG berekend alsook het daarvan afgeleide doelgat en de doelrealisatie.

De wens van de provincie was om het effect van zowel een zomer- als een winterpeilverhoging te bepalen. Het was echter ondoenlijk om alle verschillende combinaties van zomer- en winterpeilverhogingen door te rekenen. Daarom is gekozen voor een benadering waarbij de peilverhoging jaarrond is doorgevoerd en het effect hiervan op de GVG en GLG is vastgesteld. Vervolgens is aangenomen dat berekende effecten ook gelden voor een onafhankelijke verhoging van het zomer- en winterpeil, waarbij een zomerpeilverhoging uitsluitend effect heeft op de GLG en een winterpeilverhoging uitsluitend effect heeft op de GVG. Deze aanname is getoetst door de met het tijdreeksmodel geschatte responstijden uit te voeren. Voor vrijwel alle buizen bleek de responstijd (t_{95}) ruim binnen een half jaar te liggen, met een gemiddelde responstijd van 17 dagen en voor 90% van de buizen een responstijd van minder dan 52 dagen.

Figuur 3-20 toont voor zowel de GVG als GLG het berekende effect van een peilverhoging op de gebiedsgemiddelde doelrealisatie, waarbij de dataset is opgesplitst naar buizen boven- en benedenstrooms van stuw Junne. De waarden voor een peilverhoging van 0 cm komen overeen met die in paragraaf 3.4. Hierbij is het belangrijk om op te merken dat het gebiedsgemiddelde een eenvoudig rekenkundig gemiddelde betreft en dat hier geen rekening is gehouden met verschillen in belang en representativiteit tussen de locaties.

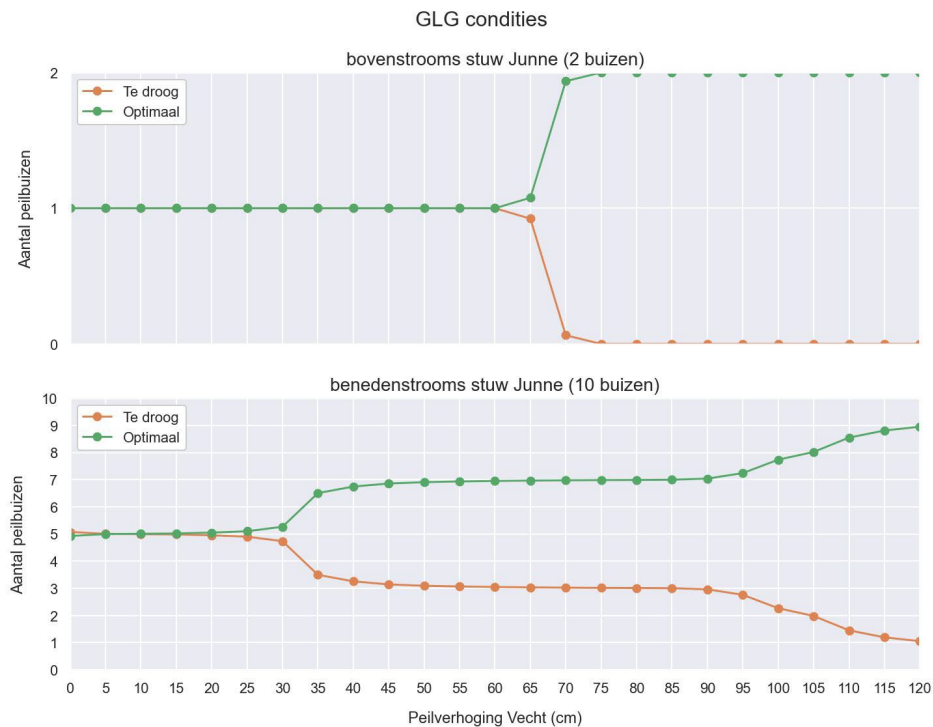
Voor het bovenstroomse deel zijn slechts 2 buizen waarvoor een GLG-doelrealisatie is vastgesteld. Door het meenemen van de onzekerheden verloopt bij een peilverhoging van 40-70 cm de gebiedsgemiddelde doelrealisatie geleidelijk van 50% (1 van de 2 buizen optimaal) naar 100% (beide buizen optimaal). Benedenstrooms van stuw Junne verloopt de GLG-doelrealisatie van 51% bij het huidig peil, naar 86% bij een peilverhoging van 100 cm en naar 90% bij een peilverhoging van 120 cm. De reden dat de doelrealisatie voor de GLG monotoon stijgt, is dat de doelrealisatiefunctie voor de GLG voor alle locaties eenzijdig begrensd is.



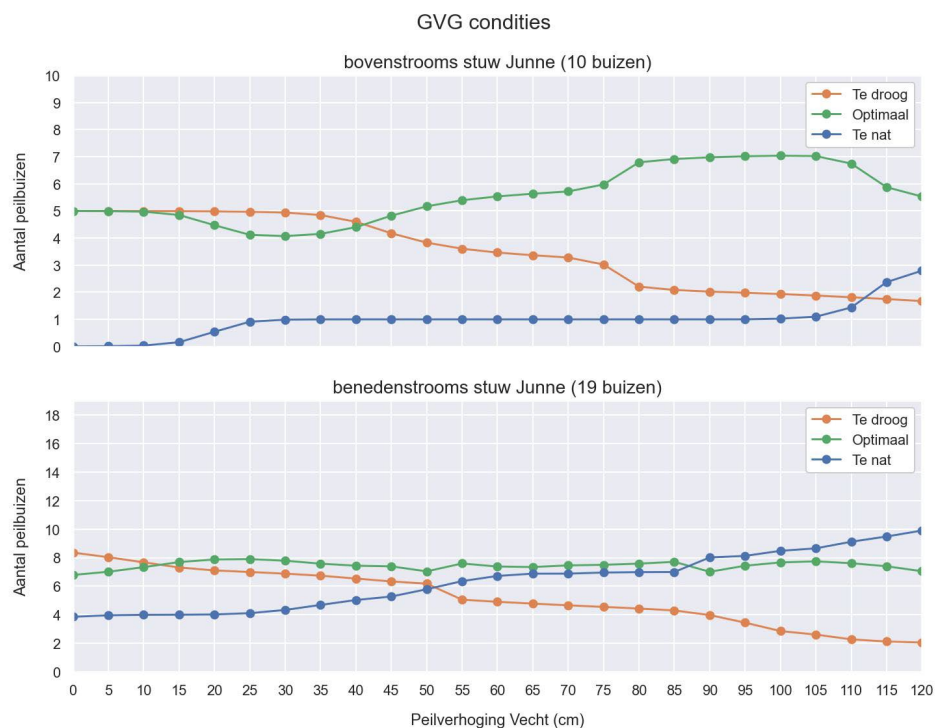
Figuur 3-20: Verandering van gebiedsgemiddelde doelrealisatie (%) als gevolg van peilverhoging in de Vecht voor de buizen in Tabel 3-2, opgesplitst naar buizen boven- en benedenstrooms van stuw Junne

De gebiedsgemiddelde doelrealisatie voor de GVG neemt voor het bovenstroomse gebied geleidelijk toe met de mate waarin het peil wordt verhoogd. Bij een peilverhoging tussen de 30 en 60 cm vlakt deze af. Vanaf 60 cm neemt de doelrealisatie verder toe, maar vanaf circa 80 cm is de toename zeer beperkt. Vanaf een peilverhoging van 110 cm daalt de doelrealisatie. Aan de benedenstroomse zijde blijft de doelrealisatie vrijwel vlak tot een peilverhoging van circa 50 cm. Daarna neemt de doelrealisatie af met een verdere peilverhoging. Een afname van de doelrealisatie ontstaat doordat de GVG condities te nat worden. Daarbij is het goed om te realiseren dat voor modellen waarbij geen drempelwaarde is gebruikt, een stijging van de grondwaterstand door een verhoging van het Vechtpeil niet is begrensd. In werkelijk zullen hoge grondwaterstanden op plekken waar grondwater op maaiveld kan uittreden en afstromen, afgetopt worden en zal de GVG mogelijk (vanaf een bepaalde peilverhoging) minder hard stijgen dan het model nu berekent.

Het effect van een peilverhoging is verder inzichtelijk gemaakt door de deze uit te zetten tegen de verwachtingswaarde van het aantal peilbuizen waarvoor de condities te droog, te nat of optimaal zijn. Dit is gevisualiseerd in Figuur 3-21 en Figuur 3-22. De verwachtingswaarde van het aantal peilbuizen is gebaseerd op alle 1000 realisaties van een simulatie. Hierdoor hoeft de verwachtingswaarde geen geheel getal te zijn.



Figuur 3-21: Verwachtingswaarde aantal peilbuizen met te droge of optimale GLG condities in relatie tot een verandering van het Vechtpeil, opgesplitst naar buizen boven- en benedenstrooms van stuw Junne



Figuur 3-22: Verwachtingswaarde aantal peilbuizen met te droge, te natte of optimale GVG condities in relatie tot een verandering van het Vechtpeil, opgesplitst naar buizen boven- en benedenstrooms van stuw Junne

Figuur 3-21 laat net als voor de gebiedsgemiddelde doelrealisatie een monotone stijging van het aantal buizen met optimale GLG condities zien. Het aantal buizen met te droge condities neemt evenredig af. Benedenstrooms zullen pas vanaf een peilverhoging van 30 cm op extra locaties optimale GLG condities ontstaan. Een verdere peilverhoging leidt pas vanaf circa 100 cm weer tot aanvullende locaties met optimale condities.

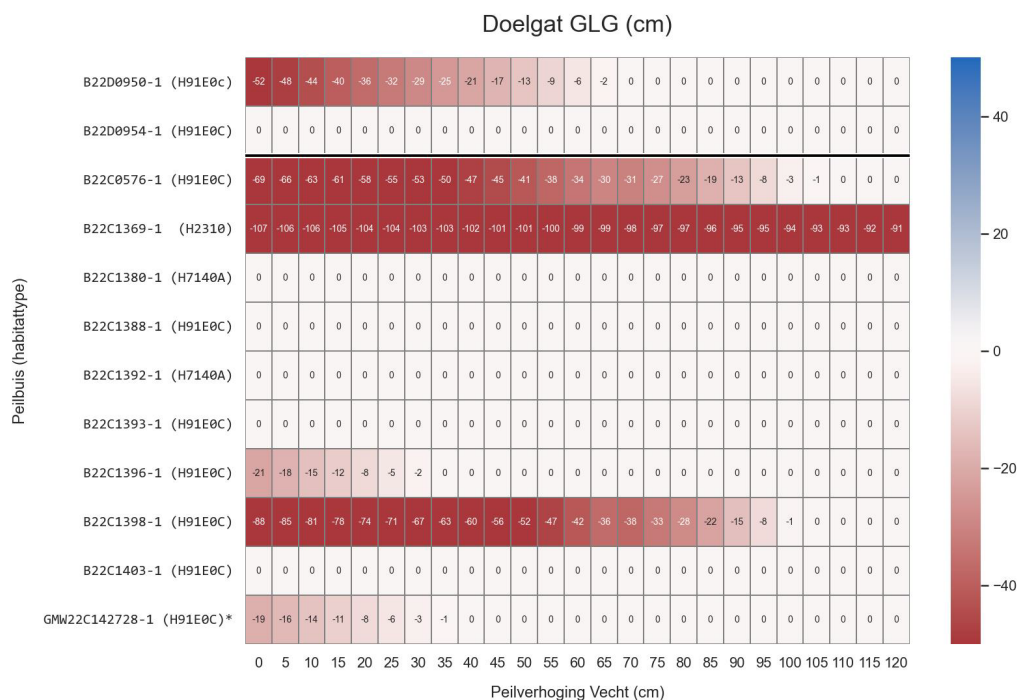
Figuur 3-22 brengt goed in beeld hoe een peilverhoging leidt tot een afname van het aantal buizen met te droge GVG condities en gelijktijdig tot een toename van het aantal buizen met te natte GVG condities. Dit zorgt uiteindelijk voor een beperkte toename van het aantal buizen met optimale GVG condities. Opnieuw wordt hier benadrukt dat de te natte condities mogelijk overschat worden, doordat in de modellen een stijging van de grondwaterstand als gevolg van een verhoging van het Vechtpeil niet is begrensd (tenzij er al een drempelwaarde in het model was opgenomen).

We kunnen vervolgens verder inzoomen en op peilbuisniveau kijken naar het effect van een peilverhoging. Dit is gevisualiseerd in Figuur 3-23 tot en met Figuur 3-26. In deze figuren zijn de betreffende peilbuizen (inclusief bijbehorend habitatype) op de verticale as weergegeven en de peilverhoging op de horizontale as. De waarden in de figuur tonen het doelgat dan wel de doelrealisatie op basis van de gemiddelde waarde van de gesimuleerde GLG respectievelijk GVG.

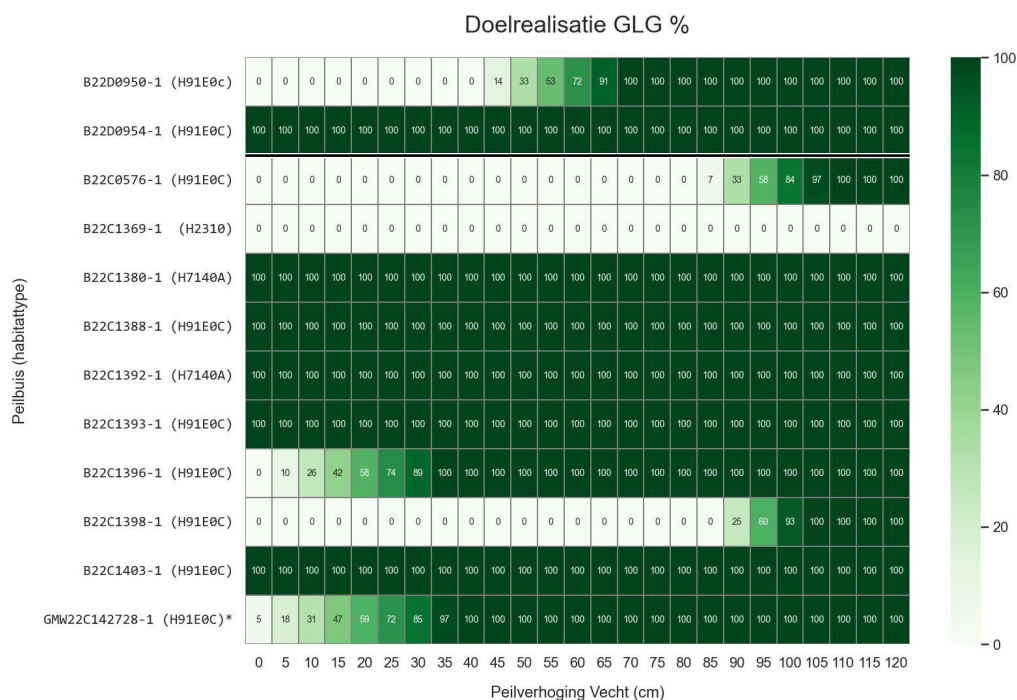
De figuren laten zien hoe het doelgat en de doelrealisatie veranderen als gevolg van een peilverhoging. Een doelgat van 0 betekent optimale condities en komt overeen met een doelrealisatie van 100%. Negatieve waarden (rood) voor het doelgat betekent dat de condities te droog zijn. Positieve waarden (blauw) voor het doelgat betekent dat de condities te nat zijn. Op deze wijze wordt in een oogopslag helder hoe een peilverhoging doorwerkt in het doelgat en de doelrealisatie ter plaatse van de verschillende peilbuizen.

Voor de buizen B22D0958 (te droog), B22D0962 (te droog), B22C1369 (te droog), B22C1375 (te droog), B22C1379 (te nat), B22C1388 (te nat), B22C1392 (te nat) en B22C1393 (te nat) blijkt het niet haalbaar om met een peilverhoging tot 120 cm optimale GVG condities te bewerkstelligen. Veel van deze buizen staan ter hoogte van Junner Koeland en aan de oostzijde van Arriër Koeland. In deze gebieden is het effect van het Vechtpeil veelal kleiner, onder andere vanwege de aanwezigheid van kronkelwaarden (zie paragraaf 3.2).

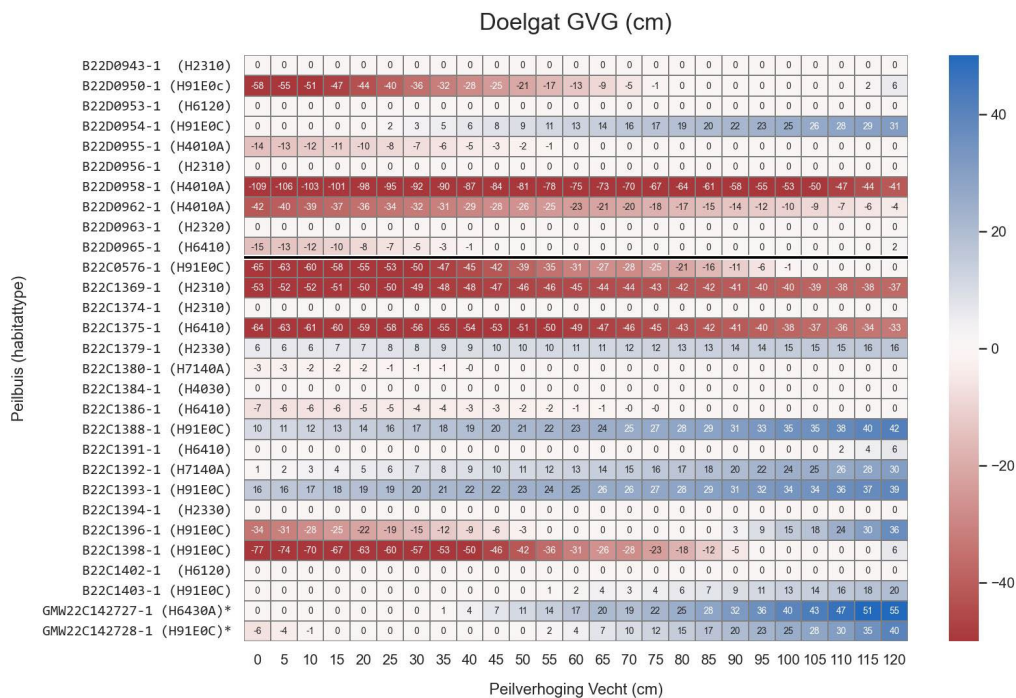
Tenslotte is de range van benodigde peilverhoging voor optimale condities ruimtelijk weergegeven in Figuur 3-27 tot en met Figuur 3-32. Een gebiedsdekkende kaart is opgenomen in Bijlage E. De kaartbeelden tonen per peilbuis welke peilverhoging noodzakelijk is om voor de GVG en GLG optimale condities te realiseren.



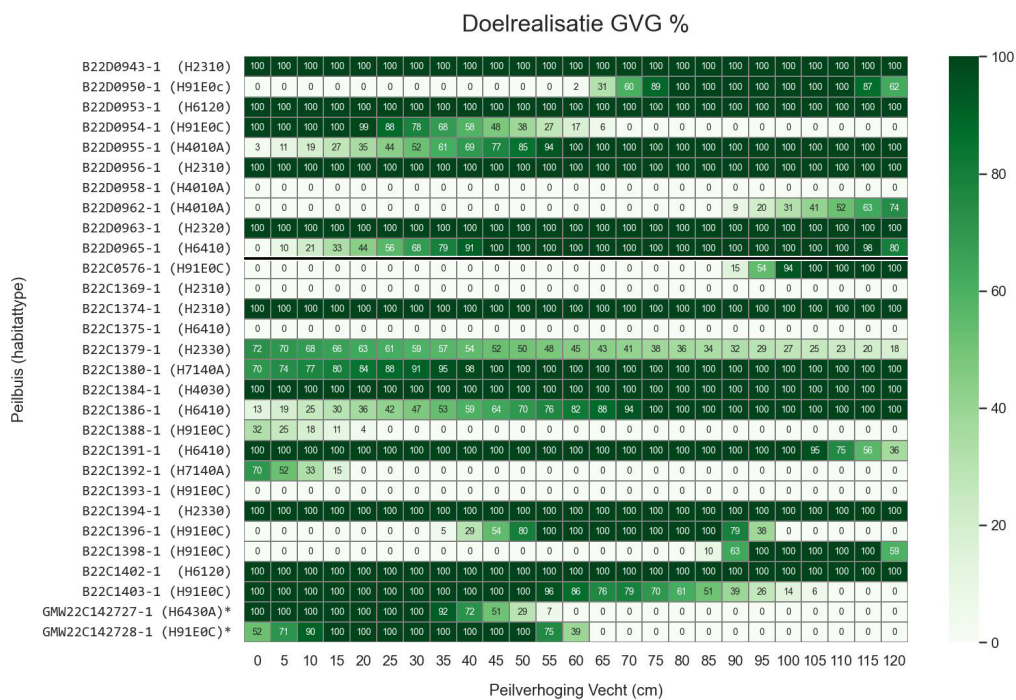
Figuur 3-23: Verwachtingswaarde (gemiddelde) GLG doelgat per peilbuis in relatie tot een verhoging van het Vechtpcil. Op de verticale as is tussen haakjes het habitatype weergegeven; de buizen boven de horizontale zwarte lijn zijn bovenstrooms en de buizen onder de lijn benedenstrooms van stuw Junne gesitueerd; peilbuizen met een * hebben een meetreeks korter dan 3 jaar.



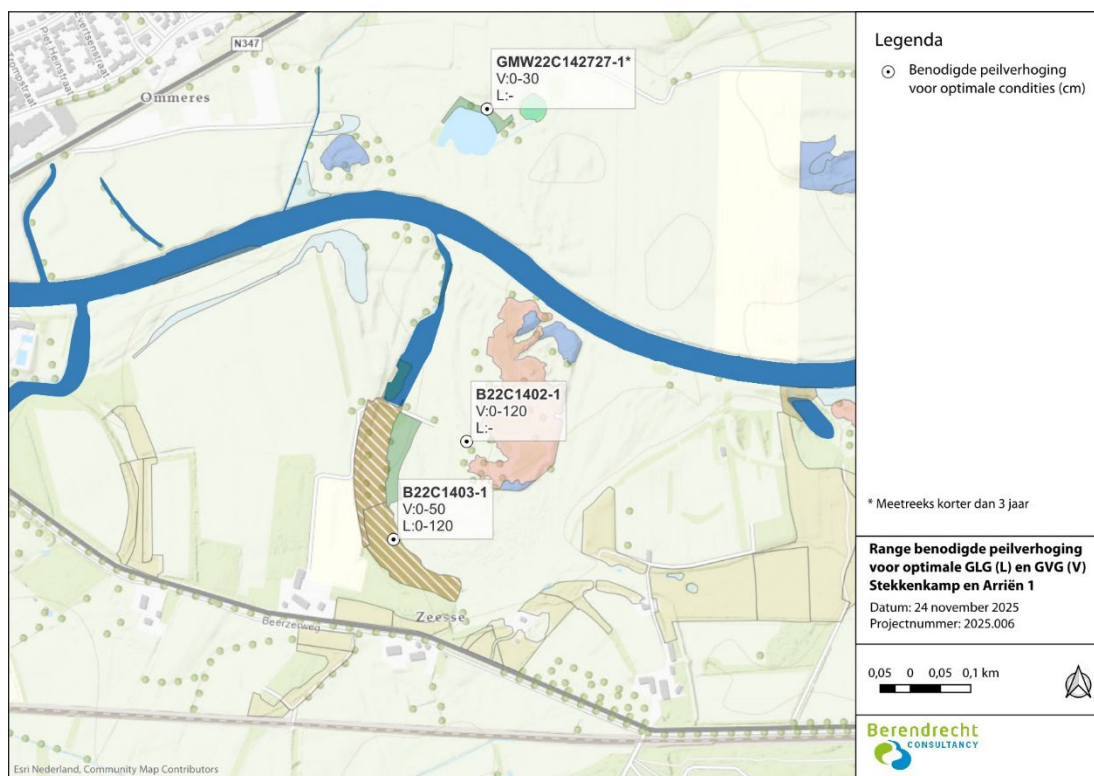
Figuur 3-24: Verwachtingswaarde (gemiddelde) GLG doelrealisatie per peilbuis in relatie tot een verhoging van het Vechtpcil. Op de verticale as is tussen haakjes het habitatype weergegeven; de buizen boven de horizontale zwarte lijn zijn bovenstrooms en de buizen onder de lijn benedenstrooms van stuw Junne gesitueerd; peilbuizen met een * hebben een meetreeks korter dan 3 jaar.



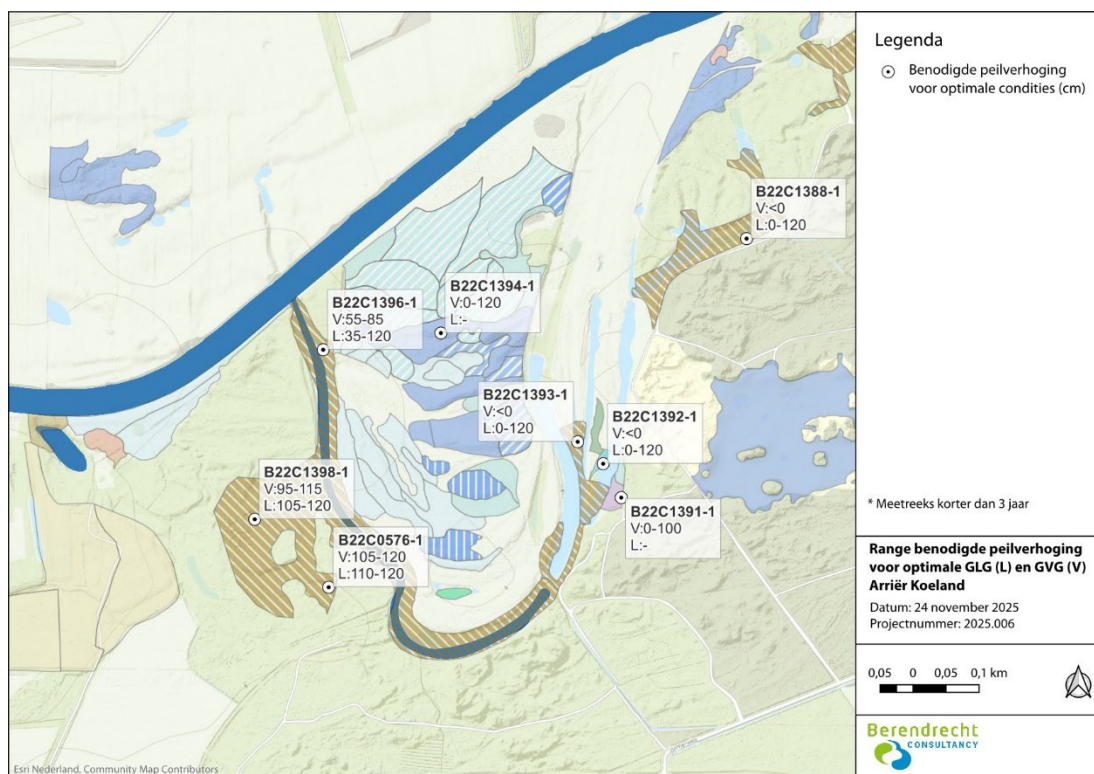
Figuur 3-25: Verwachtingswaarde (gemiddelde) GVG doelgat per peilbuis in relatie tot een verhoging van het Vechtpcil. Op de verticale as is tussen haakjes het habitatype weergegeven; de buizen boven de horizontale zwarte lijn zijn bovenstrooms en de buizen onder de lijn benedenstrooms van stuw Junne gesitueerd; peilbuizen met een * hebben een meetreeks korter dan 3 jaar.



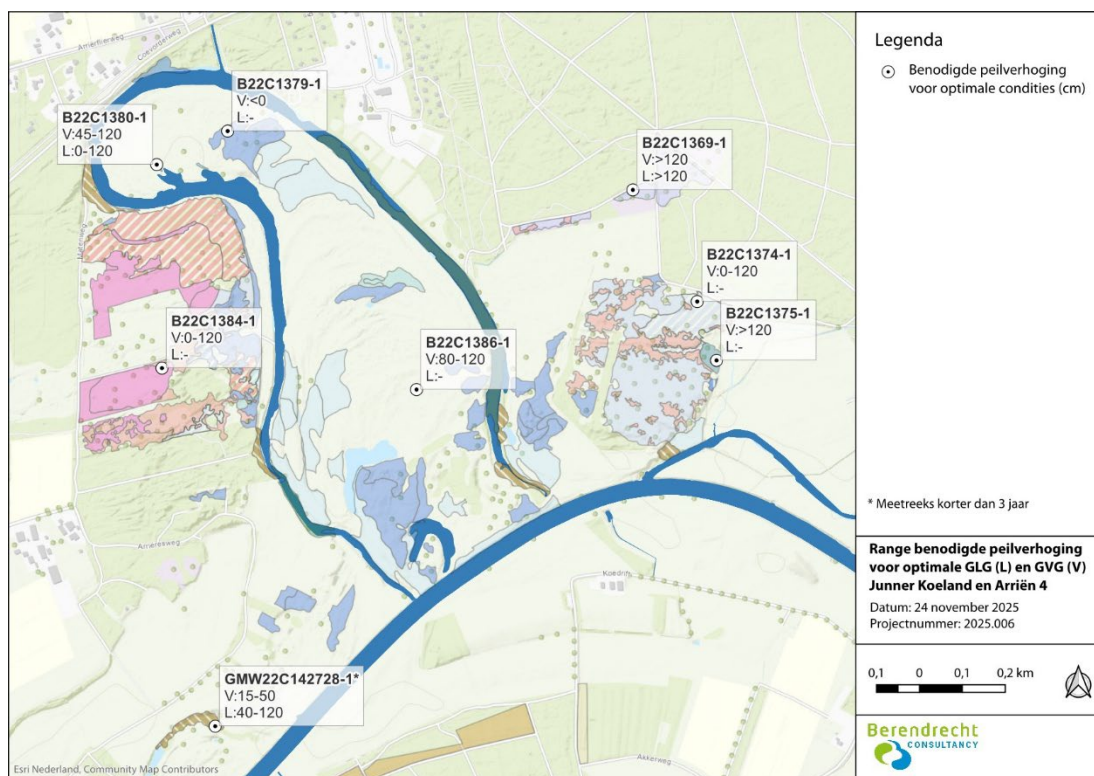
Figuur 3-26: Verwachtingswaarde (gemiddelde) GVG doelrealisatie per peilbuis in relatie tot een verhoging van het Vechtpcil. Op de verticale as is tussen haakjes het habitatype weergegeven; de buizen boven de horizontale zwarte lijn zijn bovenstrooms en de buizen onder de lijn benedenstrooms van stuw Junne gesitueerd; peilbuizen



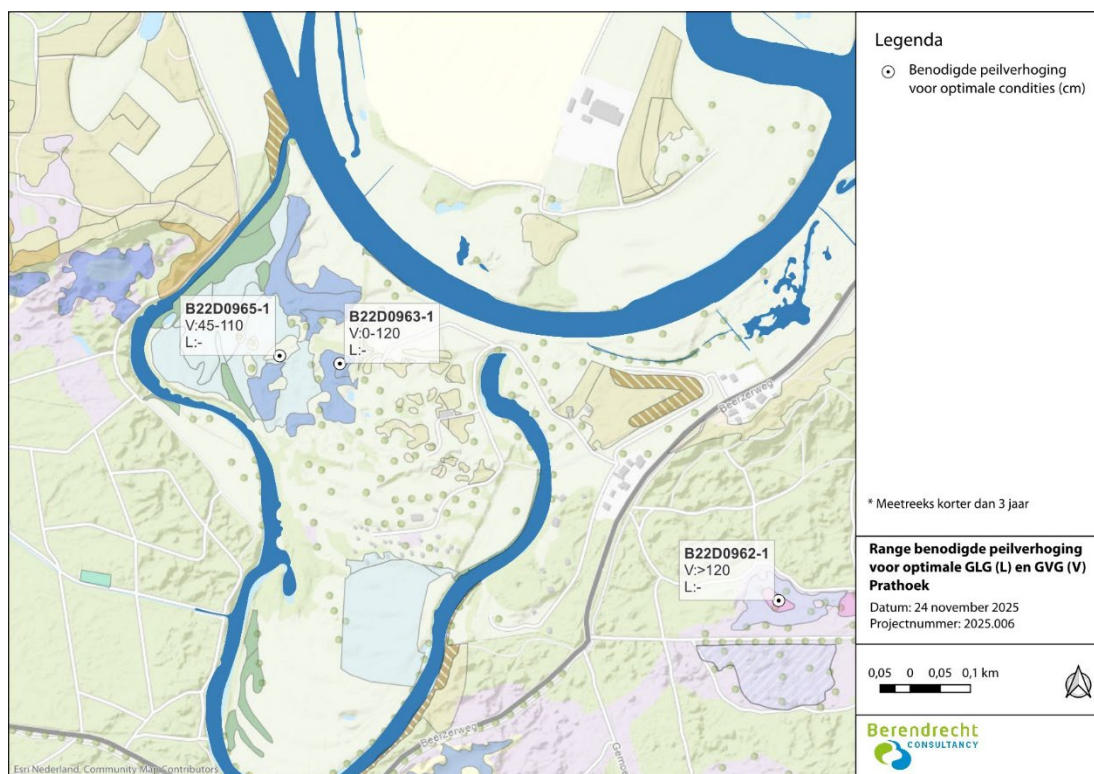
Figuur 3-27: Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG (L) en GVG (V) op basis van de verwachtingswaarde van de GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Stekkenkamp en Arriën 1



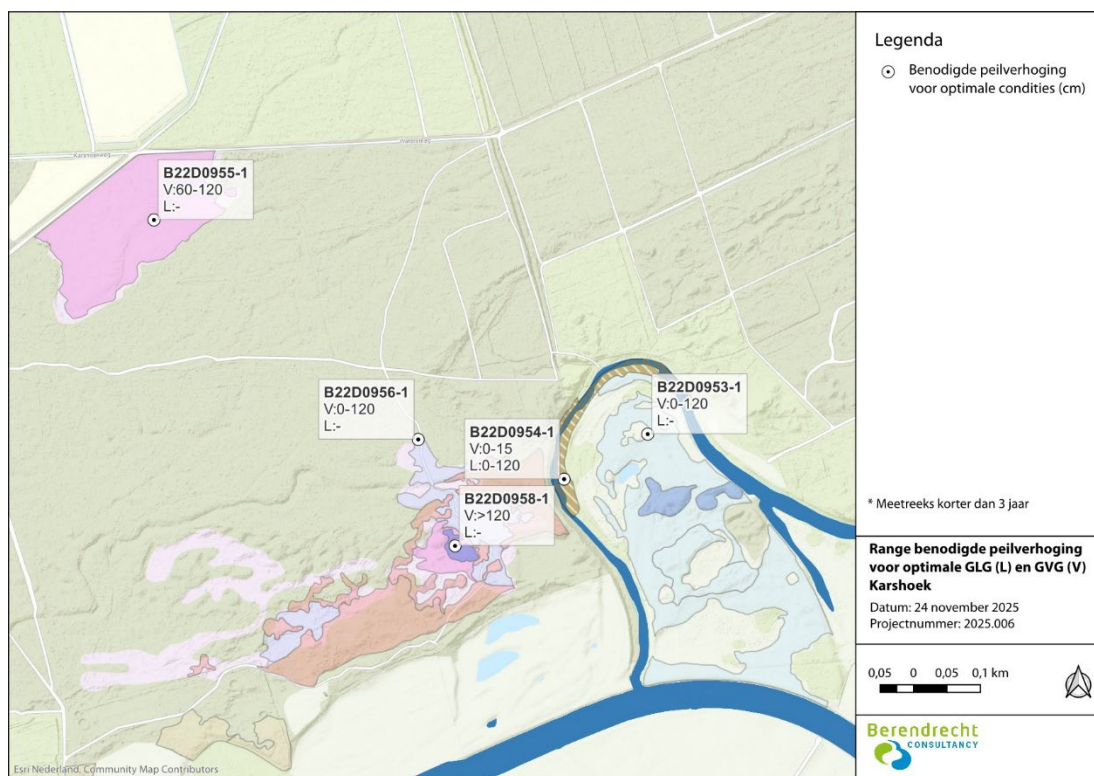
Figuur 3-28: Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG (L) en GVG (V) op basis van de verwachtingswaarde van de GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Arriër Koeland



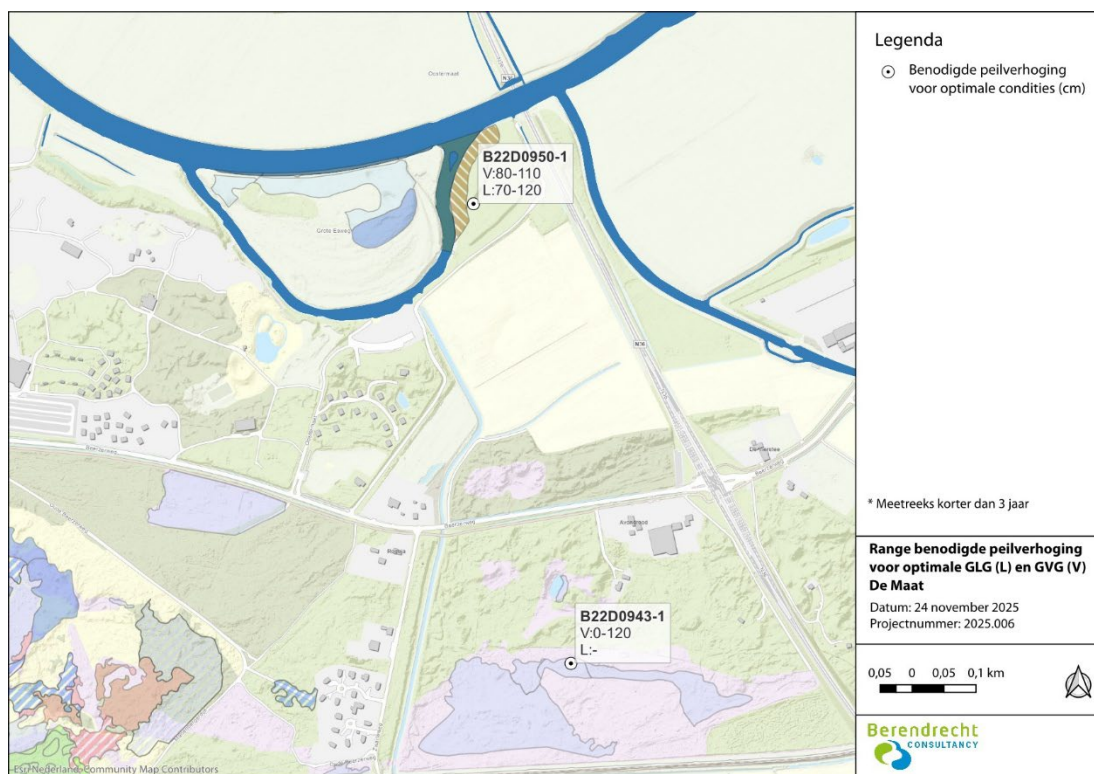
Figuur 3-29: Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG (L) en GVG (V) op basis van de verwachtingswaarde van de GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Junner Koeland en Arriën 4



Figuur 3-30: Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG (L) en GVG (V) op basis van de verwachtingswaarde van de GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Prathoek



Figuur 3-31: Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG (L) en GVG (V) op basis van de verwachtingswaarde van de GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van Karshoek



Figuur 3-32: Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG (L) en GVG (V) op basis van de verwachtingswaarde van de GLG resp. GVG voor de peilbuizen ter hoogte van De Maat

4 Conclusies en discussie

4.1 Samenvatting en conclusies

In deze studie is met behulp van tijdreeksanalyse geschat wat het effect van variaties in het Vechtheil is op de grondwaterstand en stijghoogte in omliggend gebied. Hiertoe is gebruikgemaakt van 127 tijdreeksen van grondwaterstands- en stijghoogtemetingen welke zijn aangeleverd door Provincie Overijssel en Waterschap Vechtstromen.

De gemeten dynamiek van de grondwaterstand/stijghoogte is gemodelleerd met een tijdreeksmodel met behulp van de Python package Pastas. Als verklarende variabelen zijn de neerslag- en verdampingscijfers van nabijgelegen weerstations gebruikt en meetreeksen van het Vechtheil ter plaatse van de meetpunten Mariënberg, Junne en Ommen. Voor de modelselectie is een automatische procedure toegepast op basis van een minimale voorspelfout.

Veruit de meeste reeksen konden goed tot zeer goed verklaard worden uit deze input variabelen. Enkele reeksen zijn gecorrigeerd voor een stap ten gevolge van herinrichting van het meetpunt. Twee andere reeksen zijn gemodelleerd met een stap trend; de een vanwege een aanpassing in het hydrologische systeem en de ander vanwege een stap met onbekende oorzaak. Een beknopte analyse en toelichting is opgenomen in Bijlage A. Tenslotte is voor enkele reeksen met een sprong aan het begin van de meetperiode, het gedeelte na de sprong gebruikt voor kalibratie. Voor al deze reeksen met een sprong is aangenomen dat de meest recente data correct is en de huidige situatie beschrijft. Aanbevolen wordt om deze aanname te verifiëren door het meetpunt te controleren en eventueel opnieuw in te meten.

Na controle en evaluatie van de tijdreeksmodellen en eventuele correcties in de data, is voor 42 buizen een aangepast tijdreeksmodel gekalibreerd. Uiteindelijk bleek voor 10 buizen geen plausibel en betrouwbaar model afgeleid te kunnen worden. Deze buizen zijn buiten de verdere analyse gehouden. De overige 117 tijdreeksmodellen zijn als basis gebruikt voor de simulaties.

Met behulp van de gekalibreerde tijdreeksmodellen zijn langjarige simulaties over de periode 2000-2025 gegenereerd. Als verklarende input zijn neerslag- en verdampingsreeksen van nabijgelegen KNMI weerstations gebruikt en meetreeksen van het Vechtheil ter plaatse van de meetpunten Mariënberg, Junne en Ommen. Op basis van de simulaties zijn vervolgens de GLG, GVG en GHG afgeleid inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval. Dit interval is gebaseerd op de geschatte parameteronzekerheid en onderlinge correlaties (covariantiematrix) en onzekerheid als gevolg van het ruismodel. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval is voor 50% van de buizen kleiner dan ± 5 cm en voor 90% van de buizen kleiner dan ± 10 cm. Dit betekent dat met de simulatie een betrouwbare inschatting gemaakt kan worden van de GXG. Een belangrijke reden hiervoor is dat de GXG's gemiddelde waarden zijn, waardoor onzekerheden aanzienlijk worden uitgemiddeld. Anderzijds speelt mee dat de reeksen goed verklaard konden worden uit neerslagoverschot en het Vechtheil, waardoor het residu relatief klein was.

Vervolgens zijn het doelgat en de doelrealisatie berekend met behulp van doelrealisatiefuncties die per peilbuislocatie zijn aangeleverd. Voor 29 locaties is een

doelrealisatiefunctie voor de GVG en voor 12 hiervan ook een doelrealisatiefunctie voor de GLG aangeleverd.

Aan de hand van deze doelrealisatiefuncties en de gesimuleerde GXG's is vastgesteld dat op 12 van de 29 locaties de GVG condities optimaal en op 7 locaties suboptimaal zijn (3 iets te nat, 4 iets te droog). Op de overige 10 locaties geven de berekeningen nu te droge (9 locaties) of te natte (1 locatie) GVG condities aan.

De GLG condities zijn op basis van de berekeningen op 6 van de 12 locaties optimaal. Op 1 locatie zijn de condities suboptimaal en op 5 locaties zijn de GVG condities te droog.

Bij deze totalen is het belangrijk om te realiseren dat het om een relatief klein aantal meetlocaties gaat die niet ruimtelijk representatief zijn verdeeld en vaak voor een heel specifiek doel (LESA) zijn geplaatst. Hier wordt in onderstaande discussie (paragraaf 4.2) nader op in gegaan.

Als laatste stap in de analyse zijn verhogingen van het Vechtheil gesimuleerd, waarbij is gekeken wat het effect hiervan is op de GLG en GVG – en daarmee op de doelrealisatie. Op basis van de uitgevoerde simulaties blijkt dat een verhoging van het Vechtheil over het geheel genomen slechts in beperkte mate leidt tot een verbetering van de gebiedsgemiddelde GVG condities. Tot 30 cm peilverhoging neemt de gebiedsgemiddelde doelrealisatie voor de GVG zelfs helemaal niet toe. Op sommige locaties bevindt de GVG zich simpelweg te diep onder maaiveld; een peilverhoging leidt wel tot een verhoging van de GVG, maar dit is onvoldoende om optimale condities te bereiken. Op andere locaties leidt een peilverhoging wel tot optimale condities, maar tegelijkertijd zijn er ook locaties die dan van optimale naar te natte condities gaan. Hierdoor neemt de gebiedsgemiddelde doelrealisatie voor de GVG maar beperkt toe bij een peilverhoging. Deze neemt zelfs af bij een peilverhoging van 110 cm of meer. Hierbij wordt nadrukkelijk de kanttekening geplaatst dat daar waar de grondwaterstand vlak aan maaiveld komt het model bij een peilverhoging mogelijk te natte GVG condities berekent. Hierop wordt verder ingegaan in de discussie in paragraaf 4.2.

Voor de GLG is het effect van een peilverhoging op de gemiddelde doelrealisatie sterker. Dit komt doordat de doelrealisatiefuncties voor de GLG niet aan de bovenzijde begrensd zijn. Iedere peilstijging leidt in dat geval tot een verbetering van de GLG condities. Echter, op basis van de berekeningen blijkt dat zelfs met een peilverhoging van 120 cm het niet lukt om voor alle 12 locaties optimale GLG condities te realiseren.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat deze studie inzicht heeft gegeven in het effect van het Vechtheil op de grondwaterstanden in de omgeving. Een eventuele peilverhoging in de Vecht kan bijdragen aan het verminderen van het doelgat voor de GLG en GVG. Echter, de resultaten laten ook zien dat zelfs met een peilverhoging van 120 cm het doelgat niet ter plaatse van alle peilbuizen gedicht kan worden. Daarnaast laten de resultaten zien dat tenminste een peilverhoging van 30 cm noodzakelijk is om een toename van het aantal locaties met optimale GLG condities te realiseren. Voor de GVG is het beeld wat minder eenduidig, maar ook hiervoor geldt dat – op basis van de uitgevoerde berekeningen – een peilverhoging van meerdere decimeters nodig zal zijn om een toename van het aantal locaties met optimale GVG condities te realiseren.

4.2 Discussie

In deze studie is het modelleerproces met zorg uitgevoerd, waarbij onzekerheden zo goed mogelijk zijn gekwantificeerd en meegenomen in het uiteindelijke resultaat. Desalniettemin dient bij de interpretatie van de resultaten rekening gehouden te worden met de volgende aspecten.

Methodiek

Voor iedere peilbuis is de dynamiek van het Vechtpeil afgeleid op basis van lineaire interpolatie tussen de meetpunten Mariënberg, Junne en Ommen. Voor peilbuizen die in de binnenbocht van de Vecht liggen of nabij een meander, kan dit geïnterpoleerde Vechtpeil afwijken van de representatieve dynamiek van de Vecht.

Ten behoeve van het simuleren van peilverhogingen, zijn reeksen van het Vechtpeil afgeleid van de historische meetreeksen over de periode 2000-2025 (zie paragraaf 2.5). Hierbij zijn aannames gedaan over de werking van de stuw en de doorwerking hiervan op het boven- en benedenstroomse peil. Dit is slechts een benadering. De verwachting is dat de benadering slechter wordt bij toenemende peilverhogingen. Dit zal echter met name het geval zijn bij hoogwater en daarmee dus vooral van invloed zijn op de GHG en naar verwachting slechts in beperkte mate op de GVG.

Het effect van een verhoging van het zomer- en winterpeil op de GLG respectievelijk GVG is benaderd door de peilverhoging jaarrond door te voeren en vervolgens het effect hiervan op de GLG en GVG vast te stellen. Aangenomen is dat berekende effecten ook gelden voor een onafhankelijke verhoging van het zomer- en winterpeil. Deze aanname is getoetst aan de hand van de berekende responstijden op het Vechtpeil. Met een gemiddelde responstijd van 17 dagen bleek deze aanname gerechtvaardigd. Bij toekomstige berekeningen waarbij meer specifieke peilaanpassingen doorgerekend gaan worden, is het advies om wel het afzonderlijke winter- en zomerpeil mee te nemen.

In de tijdreeksmodellen is geen rekening gehouden met inundatie. Dit resulteert bij diverse reeksen in een onderschatting van de "grondwaterstand" ten tijde van inundatie. Echter, de verwachting is dat dit niet of slechts zeer beperkt doorwerkt in de GVG.

In deze studie lag de focus op het afleiden van de GLG en GVG. Echter, de GHG is als "bijproduct" meegeleverd. Mede in het licht van bovengenoemde discussie dienen deze simulaties van de GHG bij een eventueel gebruik eerst kritisch beoordeeld te worden.

Naast GLG en GVG zijn ook het gemiddeld aantal dagen droogtestress, de aanwezigheid van kwel en de inundatiefrequentie belangrijke hydrologische stuurvariabelen voor de bepaling van de doelrealisatie. Deze variabelen vielen buiten de scope van deze studie en zijn niet meegenomen. Echter, in het Waternood instrumentarium kan de GLG worden gebruikt om in combinatie met gegevens over bodemopbouw en neerslagoverschot, de droogtestress te schatten. Hierbij bieden de LESA's en eerder uitgevoerde onderzoeken waardevolle inzichten.

In deze studie is uitsluitend het Vechtpeil als sturingsvariabele gebruikt. Eventuele andere variabelen zoals lokale peilopzet, (peil)aanpassingen in meanders en verminderen lokale drainage zijn niet onderzocht, maar zouden mogelijk kunnen bijdragen aan verbetering van de lokale hydrologische condities.

Onzekerheden

De onzekerheid in de gesimuleerde GXG is één op één doorvertaald naar onzekerheid van het berekende doelgat. Dit zijn echter onzekerheden gegeven het gekozen model. Met behulp van een automatische modelselectieprocedure is voor iedere peilbuis het model geselecteerd dat de kleinste voorspelfout voor de validatiedataset geeft. Daarbij zijn de resulterende modellen beoordeeld en waar nodig verbeterd. Desondanks kan het voorkomen dat voor enkele buizen een andere modelvorm (responsfunctie) beter zou hebben gepast bij het hydrologische systeem. Aangezien de meeste modellen al zeer veel van de dynamiek verklaren, zou een andere modelvorm zich met name vertalen in een andere verhouding van de invloed van neerslagoverschot en die van het Vechtpcil. Daarmee kan het zijn dat de voorspelling van het effect van een peilverhoging in de Vecht op een enkele locatie over- of onderschat wordt.

De GXG-waarden en het doelgat zijn uitgedrukt ten opzichte van maaiveld. Eventuele fouten in de ingemeten maaiveldhoogte vertaalt zich direct door in een fout in de GXG en het doelgat. Bij peilbuis B22C1380 (filter 1, 2 en 3) is een correctie uitgevoerd voor de maaiveldhoogte op basis van het AHN4 en het karakter van de meetreeks (aftopping ter hoogte van maaiveld). Deze correctie dient gecontroleerd te worden door de maaiveldhoogte ter plaatse van de buis opnieuw in te meten. Bijlage D bevat een tabel met de ingemeten maaiveldhoogtes en het AHN4-maaiveld ter plaatse van de meetpunten.

Spreiding en representativiteit

De ruimtelijke representativiteit van de gebruikte meetpunten is beperkt. Een groot deel van de buizen is voor een heel specifiek doel (namelijk de LESA's) geplaatst. De gebiedsgemiddelde resultaten zoals gepresenteerd in hoofdstuk 3 dienen in dit licht beoordeeld te worden.

Ook dient onderzocht te worden hoe deze analyse op puntniveau vertaald kan worden naar een meer ruimtelijke schaal. Daarbij gaat het om de ruimtelijke verdeling van de peilbuizen over het gebied en over de verschillende habitattypen. Vastgesteld dient te worden hoe de verschillende habitattypen zich tot elkaar verhouden: hoe weeg je een verbetering op een locatie ten opzichte van een verslechtering op een andere locatie?

Bij de interpretatie van de resultaten is het goed om te realiseren dat de peilbuizen vaak aan de rand van vegetatievlakken zijn gesitueerd, waardoor het afhankelijk is van de karteerschaal of een buis aan het juiste habitatype is toegekend. Verder is een deel van de buizen (bewust) in gradiëntrijke situaties geplaatst om meer inzicht te krijgen in het functioneren van het systeem. Dit maakt dat de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld al op korte afstand kan afwijken van wat er ter plaatse van de peilbuis is gemeten. Bij toekomstig onderzoek helpt het om in het veld vast te stellen hoe representatief een peilbuis is voor het gehele vegetatievlak.

Te natte condities

Het effect van een peilverhoging op de gebiedsgemiddelde GVG-doelrealisatie wordt beperkt doordat bij een peilverhoging op sommige locaties GVG condities worden gesimuleerd die volgens de doelrealisatiefunctie te nat zijn. Dit zal echter niet altijd terecht zijn. Voor veel van de peilbuizen is bij de kalibratie van het model namelijk geen drempelwaarde toegepast, aangezien de meetreeks daartoe geen aanleiding gaf. Hierdoor zal bij een verhoging van het

Vechtpeil de grondwaterstand aan maaiveld niet begrensd worden. In werkelijk zullen hoge grondwaterstanden op plekken waar grondwater op maaiveld kan uittreden en afstromen, afgetopt worden en zal de GVG mogelijk (vanaf een bepaalde peilverhoging) minder hard stijgen dan het model heeft berekend. Daarmee is de verwachting dat de gepresenteerde resultaten een (lichte) overschatting van locaties met te natte condities geven. Het effect van een peilverhoging op de GVG-doelrealisatie is daarmee mogelijk gunstiger.

Bij het bespreken van de resultaten heeft Staatsbosbeheer aangegeven dat te natte condities niet echt een probleem hoeven te zijn. Immers, de huidige vegetatiegradiënt is het gevolg van de huidige hydrologische situatie. Bij integrale vernatting gaat de zonering in vegetatietypen schuiven, waarbij een deel van de meer vochtiger typen hoger naar de gradiënt zal verschuiven. Dat kan vanuit de landschaps-ecologisch perspectief juist gewenst zijn. Verder kunnen te natte condities voor de typen in het Vechtdal eigenlijk alleen ontstaan als er in de zomer langdurig enkele decimeters water op maaiveld zou staan. Omdat het water veelal kan afstromen en grondwaterstanden tot aan of onder maaiveld kunnen wegzakken, zal dat waarschijnlijk niet optreden.

Effect meanders en doorwerking peilverhoging

Aangezien er in de analyseperiode geen structurele veranderingen in het Vechtpeil zijn geweest, bepalen met name de hoogwatergolven de geschatte responssterkte van het grondwater op het Vechtpeil. Bij meanders zullen deze hoogwatergolven veelal gedempt doorwerken in de meander. Echter, structurele veranderingen kunnen in theorie mogelijk dieper doorwerken in meanders en daarmee leiden tot een groter effect op de grondwaterstand in de omgeving. In de praktijk zal dit waarschijnlijk meevallen, aangezien er in de meanders veelal sprake is van een hoge gradiënt, waardoor de doorwerking in de meander beperkt wordt.

Schijngrondwaterspiegels

Er zijn een paar gebieden verder van de Vecht af waar schijngrondwaterspiegelsystemen voorkomen. Het is niet altijd duidelijk of deze schijngrondwaterspiegels nog een relatie hebben met de stijghoogte in de zandondergrond of niet. Het al dan niet voorkomen van dergelijke schijngrondwaterspiegels bepaalt uiteindelijk wel de nut en noodzaak van een peilverhoging voor deze locaties. In toekomstig onderzoek zal de aanwezigheid en het effect van deze schijngrondwaterspiegels geadresseerd moeten worden.

Literatuur

Collenteur, R.A., Bakker, M., Caljé, R., Klop, S.A., Schaars, F. (2019), Pastas: open source software for the analysis of groundwater time series. Groundwater. doi: 10.1111/gwat.12925.

Jalink, M. (2018a), LESA Overijsselse Vecht - Fase 3: Meetnet grond- en oppervlaktewater t.b.v. LESA. KWR-rapport 2017.076.

Jalink, M. (2018b), LESA Overijsselse Vecht – Fase 3: Hydrogeologie. KWR-rapport 2017.073.

Jalink, M. Van Delft, B., Leunk, I. (2016), Ecohydrologische verkenning Vechtdal Ommen-Marienberg, KWR-rapport 2016.100.

Kieskamp, A.A.M., Eysink, A.T.W., Bakx, W., Arens, M. (2019), Knelpuntenanalyse Vecht – Arriën 1 t/m 5, Stekkenkamp, Prathoek en De Maat. Unie van Bosgroepen rapport 18.31.738.01.

Runhaar, H., Hennekens, S. (2015), Hydrologische randvoorwaarden natuur gebruikershandleiding (Waternoodapplicatie versie 3). Stowa-rapport 2015-22. ISBN 978.90.5773.687.2.

Von Asmuth, J.R., M.F.P. Bierkens en K. Maas (2002), Transfer function noise modeling in continuous time using predefined impulse response functions; in: Water Resources Research, vol 38, no 12, p1287-1299, doi:10.1029/2001WR001136.

Witte, J.P.M., Fujita, Y., Hoefsloot, P., Kros, J., Mol, J., De Vries, W. (2018), De waterwijzer natuur – instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur. Stowa-rapport 2018-44. ISBN 978.90.5773.809.8.

Wolfert, H.P., Maas, G.J., Dirkx, G.H.P. (1996), Het meandergedrag van de Overijsselse Vecht : historische morfodynamiek en kansrijkdom voor natuurontwikkeling. Rapport DLO-Staring Centrum, ISSN 0927-4499.

Wolfert, H.P. , Corporaal, A. , Maas, G. , Maas, K. , Makaske, B., Termes, P. (2009), Toekomst van de Vecht als een halfnatuurlijke laaglandrivier; Bouwstenen bij de grensoverschrijdende Vechtvisie. Wageningen, Alterra, HKV, KWR. Alterra-Rapport 1897.

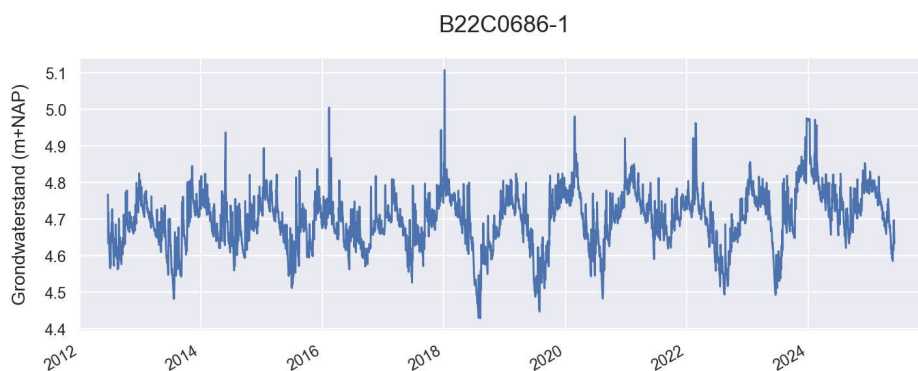
Quik, C. (2016). Historical morphodynamics of the Overijsselse Vecht: Extreme lateral migration of meander bends caused by drift-sand activity? Wageningen, Wageningen University Department of Environmental Sciences. Master Thesis.

Bijlage A Peilbuizen met stap in meetreeks

Deze bijlage bevat een overzicht van peilbuizen met een stap in de meetreeks.

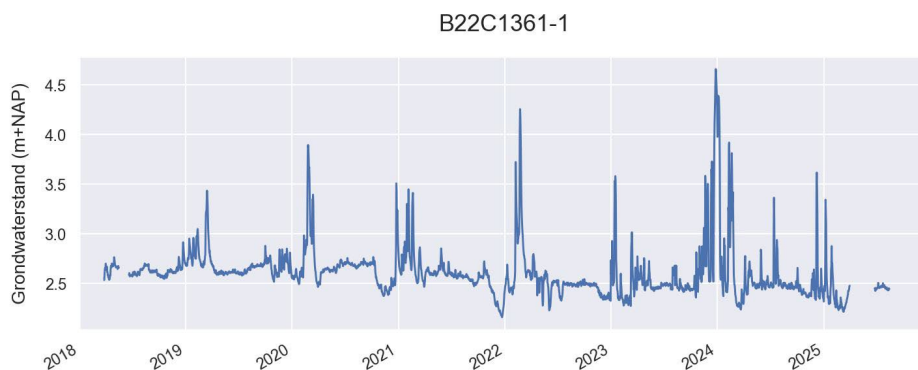
B22C0686-1

In de meetreeks van deze buis is de stap niet direct zichtbaar. Echter, na modellering van de reeks bleek er een stap in het residu te zitten ter hoogte van het jaar 2016. Aanbevolen wordt om te onderzoeken of de oorzaak van deze stap achterhaald kan worden en of het referentieniveau van de metingen vanaf 2017 al dan niet gecorrigeerd moet worden.



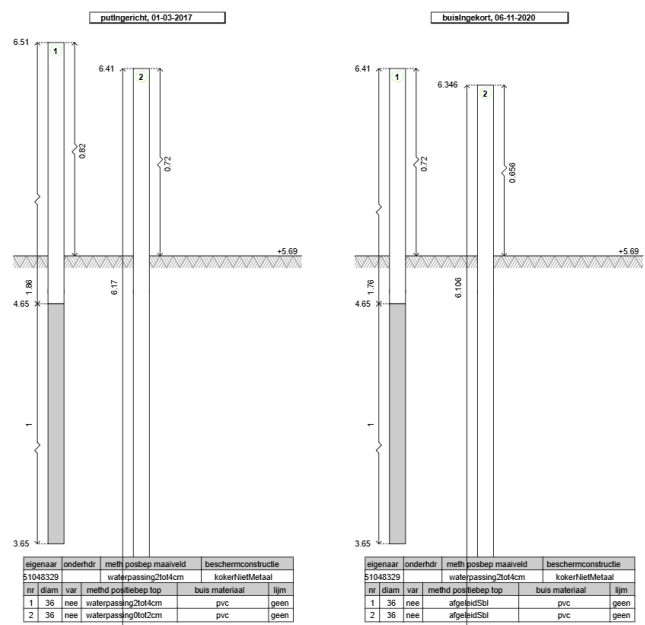
B22C1361-1

Er is een verschil tussen het gemiddelde in de periode voor 2022 en het gemiddelde in de periode erna. Uit navraag bleek dat in de nabijheid van deze peilbuis in 2022 een plas is aangelegd. Hieruit is de conclusie getrokken dat de stap hydrologisch verklaard kan worden.

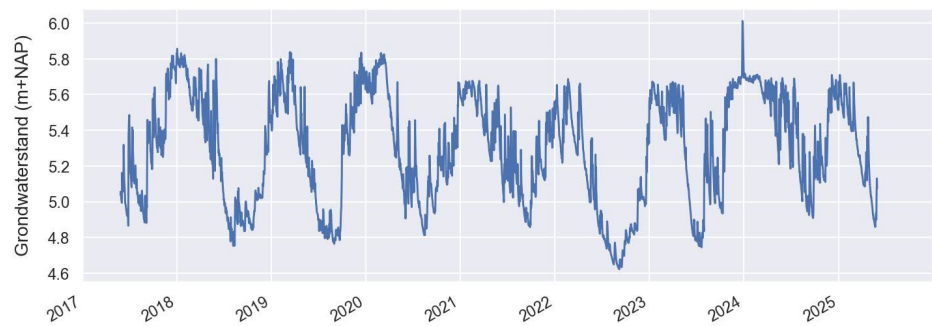


B22C1370

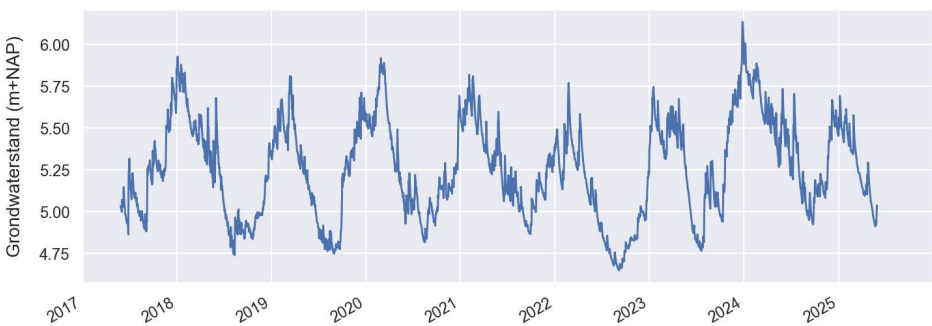
In de reeks van filter 1 is duidelijk een stap zichtbaar in het jaar 2020. In BROloket is aangegeven dat de buizen op 6 november 2020 zijn ingekort. Daarmee is de stap te verklaren. Aangezien de reeks aan de bovenzijde is afgetopt en dit niveau na 2020 overeenkomt met de maaiveldhoogte van 5,69 m+NAP, is aangenomen dat de metingen na 6 november 2020 correct zijn.



B22C1370-1

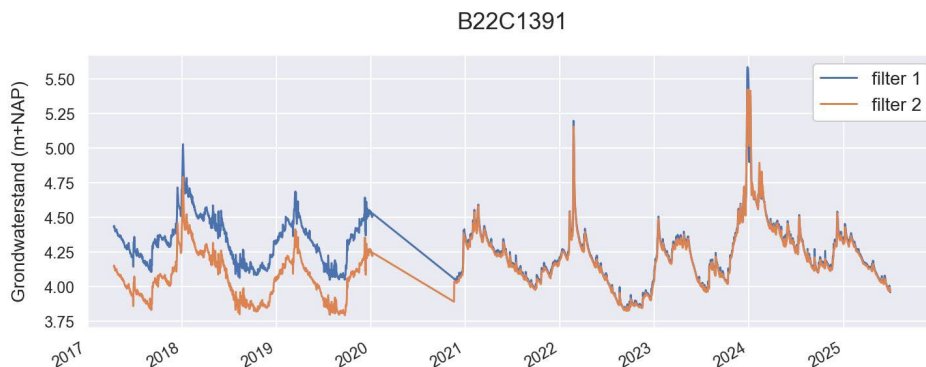


B22C1370-2



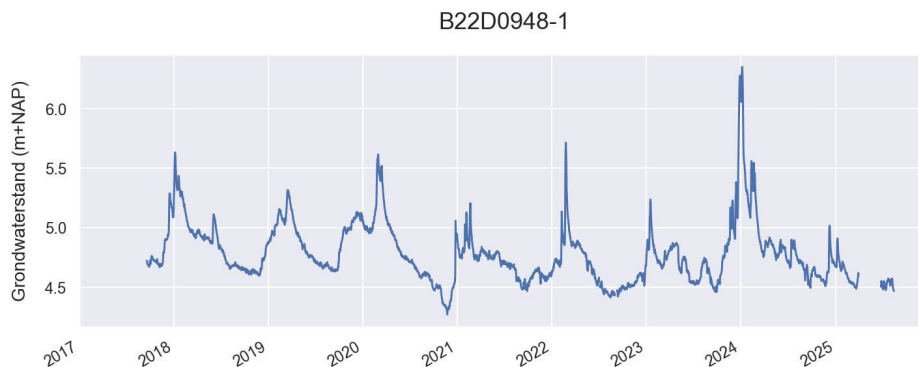
B22C1391-1

Vergelijking van de meetreeksen voor filter 1 en 2 laten zien dat er vanaf 2021 slechts een minimaal stijghoogteverschil wordt gemeten, terwijl voor 2021 het stijghoogteverschil aanzienlijk is. Aangenomen is dat de metingen vanaf 2021 correct zijn en dat er geen oorzaak is voor een verandering van het stijghoogteverschil. De metingen van filter 1 voor 2021 zijn gecorrigeerd zodanig dat het stijghoogteverschil overeenkomt met die van de periode na 2021.



B22D0948-1

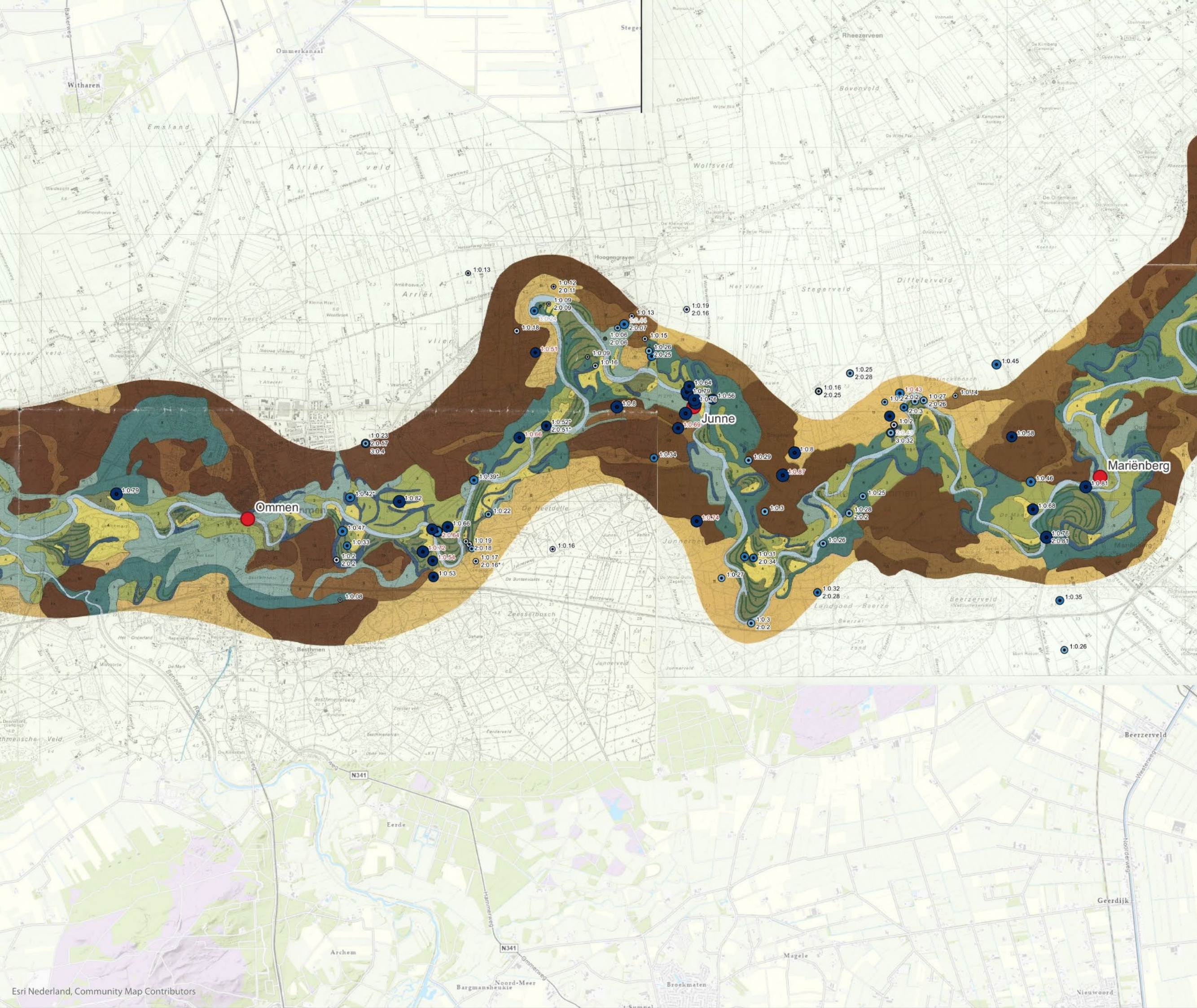
Deze meetreeks bevat een sprong in het jaar 2020. Het is niet bekend of dit een hydrologische oorzaak heeft, of dat hier sprake is van een fout in de data. Aangenomen is dat de data vanaf 2021 correct zijn en de huidige situatie beschrijven.



Bijlage B Duiding geschatte responssterkte Vecht

Deze bijlage bevat een kaart waarbij de geschatte responssterkte van de Vecht is weergegeven tegen een achtergrond van de geomorfogenetische gesteldheid anno 1890 (Wolfert et al., 1996). Deze achtergrondkaart is een samenvoeging van twee kaarten uit het rapport van Wolfert et al. (1996) en is met behulp van georeferencing gecombineerd met de responssterkte van de Vecht.

Deze kaart is opgenomen ter ondersteuning van de duiding in paragraaf 3.2.



Legenda

● Vecht meetpunt

Responssterkte (m/m)

○ 0 - 0,1

○ 0,1 - 0,2

○ 0,2 - 0,3

○ 0,3 - 0,5

● 0,5 - 1

Geomorfogenetische gesteldheid anno 1890

Code	Eenheid
	Laagwaterbed 1890
1	Verlaten bedding
2	Kronkelwaard
3	Oeverwal
4	Rivierduinen
5	Riviervlakte
6	Rivierkom
7	Estuariumkom
8	Kolk
9	Dalvakteterras
10	Oud- bouwlandrug
11	Landduinen
V	Vechtdelta
	Kronkelwaardruggen

* Meetreeks korter dan 3 jaar

Grijs label: respons onder Pastas threshold

Rood label: correlatie responssterkte Vecht en neerslagoverschot < -0.5

Duiding responssterkte Vecht

Datum: 24 november 2025
Projectnummer: 2025.006



Bijlage C Simulatie GXG

Onderstaande tabel bevat de gesimuleerde GLG, GVG en GHG ten opzichte van maaiveld voor alle 117 peilbuizen. Op basis van 1000 simulaties over de periode 2000-2025 is het gemiddelde (gem) en de onder- (og) en bovengrens (bg) van het 95%-betrouwbaarheidsinterval gegeven.

In deze studie was de focus op het schatten van de GLG en GVG ten behoeve van het bepalen van het doelgat. Met name voor peilbuizen waar de grondwaterstand boven maaiveld komt en/of waar sprake is van inundatie tijdens hoogwater, zal de gesimuleerde GHG mogelijk afwijken van de daadwerkelijke GHG. Voor peilbuizen waar de GHG op basis van de metingen buiten het 95% betrouwbaarheidsinterval van de gesimuleerde GHG valt (simulatie over de meetperiode), zijn de GHG-waarden in onderstaande tabel grijs gekleurd. Deze waarden minder betrouwbaar.

Voor enkele buizen zijn de gesimuleerde GXG's gebaseerd op een meetreeks korter dan 3 jaar. Ondanks de beperkte reekslengte is ervoor gekozen om deze reeksen wel mee te nemen in de simulatie vanwege het plausibele model dat is geschat. Bij dergelijke reeksen zijn de parameteronzekerheden veelal groter dan bij langere reeksen. Dit is verdisconteerd in de simulatie aangezien parameter realisaties zijn gegenereerd op basis van de covariantiematrix (zie paragraaf 2.4). Betreffende peilbuizen zijn in onderstaande tabel gelabeld met een superscript 3. Bij interpretatie en/of gebruik van deze gesimuleerde GXG's dient nadrukkelijk rekening gehouden te worden met de beperktere betrouwbaarheid ten gevolge van de korte meetreeks.

Peilbuis	GLG gem	GLG og	GLG bg	GVG gem	GVG og	GVG bg	GHG gem	GHG og	GHG bg
B22C0142-1	1.73	1.68	1.78	1.23	1.18	1.28	0.99	0.94	1.03
B22C0142-2	1.66	1.62	1.69	1.47	1.43	1.50	1.31	1.27	1.35
B22C0142-3	1.83	1.80	1.87	1.47	1.44	1.51	1.25	1.21	1.28
B22C0512-1	1.30	1.27	1.33	1.07	1.03	1.10	0.75	0.72	0.78
B22C0525-1 ¹	2.13	2.04	2.22	1.39	1.31	1.48	1.20	1.12	1.29
B22C0576-1	1.19	1.16	1.21	0.77	0.75	0.80	0.57	0.54	0.59
B22C0686-1	0.09	0.08	0.10	-0.06	-0.07	-0.05	-0.14	-0.15	-0.13
B22C1358-1	1.48	1.44	1.51	0.83	0.79	0.87	0.53	0.49	0.57
B22C1359-1	1.91	1.84	1.95	1.37	1.32	1.43	1.06	1.01	1.11
B22C1361-1	1.93	1.89	1.96	1.65	1.61	1.68	1.19	1.16	1.23
B22C1362-1	0.85	0.81	0.89	0.29	0.24	0.34	0.11	0.07	0.16
B22C1363-1	2.79	2.70	2.86	2.00	1.93	2.06	1.73	1.64	1.80
B22C1364-1	1.51	1.20	1.84	0.68	0.45	0.93	0.54	0.30	0.74
B22C1369-1	1.37	1.32	1.42	0.71	0.66	0.76	0.51	0.47	0.56
B22C1370-1	0.77	0.74	0.81	0.16	0.13	0.20	0.00	-0.03	0.04
B22C1370-2	0.77	0.72	0.82	0.23	0.17	0.29	0.04	-0.02	0.09
B22C1371-1	0.55	0.51	0.61	0.08	0.05	0.11	-0.04	-0.06	-0.01

Peilbuis	GLG gem	GLG og	GLG bg	GVG gem	GVG og	GVG bg	GHG gem	GHG og	GHG bg
B22C1372-1	0.31	0.27	0.35	-0.04	-0.09	0.00	-0.19	-0.23	-0.15
B22C1372-2	0.32	0.28	0.36	-0.05	-0.09	0.00	-0.19	-0.23	-0.16
B22C1374-1	1.94	1.87	2.00	1.32	1.26	1.39	1.12	1.06	1.18
B22C1375-1	1.39	1.32	1.44	0.88	0.82	0.95	0.59	0.53	0.65
B22C1375-2	1.39	1.32	1.44	0.88	0.82	0.95	0.59	0.54	0.65
B22C1376-1	0.97	0.92	1.01	0.53	0.48	0.58	0.13	0.08	0.17
B22C1377-1	2.09	2.07	2.11	1.78	1.76	1.81	1.63	1.60	1.65
B22C1377-2	2.08	2.06	2.11	1.77	1.74	1.80	1.62	1.59	1.64
B22C1379-1	1.11	1.09	1.13	0.83	0.81	0.86	0.68	0.66	0.70
B22C1379-2	1.11	1.09	1.13	0.83	0.81	0.85	0.67	0.65	0.69
B22C1380-1 ²	0.18	0.16	0.20	0.08	0.07	0.10	-0.01	-0.02	0.02
B22C1380-2 ²	0.11	0.09	0.12	0.01	-0.01	0.02	-0.08	-0.09	-0.06
B22C1380-3 ²	0.18	0.16	0.19	0.07	0.06	0.09	-0.01	-0.02	0.01
B22C1383-1	1.90	1.85	1.95	1.35	1.30	1.40	1.14	1.10	1.19
B22C1384-1	2.22	2.18	2.26	1.63	1.58	1.68	1.44	1.39	1.48
B22C1386-1	0.77	0.74	0.80	0.28	0.25	0.31	0.11	0.08	0.14
B22C1386-2	0.73	0.70	0.76	0.25	0.21	0.28	0.08	0.04	0.11
B22C1388-1	0.31	0.25	0.36	-0.25	-0.31	-0.18	-0.39	-0.45	-0.34
B22C1390-1	1.07	1.02	1.12	0.63	0.57	0.69	0.50	0.44	0.55
B22C1390-2 ³	1.01	0.83	1.13	0.66	0.53	0.78	0.55	0.41	0.66
B22C1391-1	0.60	0.58	0.63	0.25	0.21	0.28	0.10	0.08	0.13
B22C1391-2	0.61	0.59	0.64	0.26	0.23	0.29	0.12	0.09	0.15
B22C1392-1	0.18	0.16	0.21	-0.12	-0.14	-0.09	-0.24	-0.27	-0.22
B22C1392-2	0.19	0.16	0.21	-0.12	-0.14	-0.09	-0.24	-0.27	-0.22
B22C1393-1	-0.02	-0.04	0.00	-0.24	-0.26	-0.21	-0.36	-0.38	-0.34
B22C1394-1	2.90	2.89	2.91	2.57	2.55	2.59	2.25	2.24	2.27
B22C1395-1	0.48	0.46	0.49	0.21	0.19	0.23	-0.13	-0.15	-0.11
B22C1395-2	0.48	0.46	0.49	0.20	0.18	0.21	-0.16	-0.19	-0.14
B22C1396-1	0.71	0.70	0.72	0.46	0.45	0.47	0.08	0.07	0.10
B22C1397-1	2.34	2.30	2.37	1.83	1.79	1.87	1.67	1.63	1.70
B22C1398-1	1.37	1.32	1.40	0.88	0.85	0.92	0.63	0.56	0.66
B22C1398-2	1.38	1.33	1.42	0.89	0.85	0.92	0.63	0.57	0.67
B22C1401-1	0.17	0.15	0.21	0.00	-0.02	0.03	-0.30	-0.37	-0.27
B22C1402-1	1.66	1.63	1.68	1.30	1.27	1.33	1.10	1.07	1.13
B22C1403-1	0.28	0.24	0.31	-0.03	-0.07	0.00	-0.18	-0.21	-0.15
B22C1403-2	0.27	0.23	0.29	-0.05	-0.08	-0.01	-0.20	-0.23	-0.16
B22C1404-1	0.57	0.50	0.64	0.14	0.08	0.21	0.06	-0.01	0.12
B22D0052-1	2.92	2.90	2.95	2.71	2.68	2.75	2.46	2.43	2.49
B22D0052-2	2.47	2.42	2.52	2.06	2.01	2.11	1.88	1.84	1.93
B22D0074-1	1.64	1.60	1.68	1.06	1.02	1.11	0.75	0.71	0.79
B22D0074-2	1.76	1.74	1.78	1.40	1.38	1.43	1.18	1.16	1.21
B22D0115-1	1.44	1.38	1.50	0.68	0.62	0.74	0.45	0.39	0.50
B22D0115-2	1.47	1.44	1.51	1.01	0.97	1.04	0.79	0.76	0.83

Peilbuis	GLG gem	GLG og	GLG bg	GVG gem	GVG og	GVG bg	GHG gem	GHG og	GHG bg
B22D0117-1	1.46	1.43	1.48	1.20	1.17	1.23	0.94	0.91	0.97
B22D0117-2	1.03	0.99	1.07	0.57	0.54	0.62	0.40	0.36	0.44
B22D0273-1	1.77	1.73	1.82	1.19	1.14	1.23	0.95	0.91	0.99
B22D0927-1	1.51	1.48	1.53	1.23	1.20	1.27	0.83	0.80	0.85
B22D0934-1	2.85	2.77	2.92	2.07	2.00	2.12	1.93	1.86	1.99
B22D0940-1	3.15	3.00	3.25	2.10	1.99	2.21	1.94	1.83	2.04
B22D0941-1	3.03	2.95	3.11	2.23	2.15	2.31	2.06	1.98	2.14
B22D0942-1	2.00	1.95	2.05	1.53	1.48	1.59	1.20	1.15	1.25
B22D0943-1	1.92	1.80	2.02	1.28	1.17	1.40	1.09	0.98	1.20
B22D0944-1	2.15	2.00	2.26	1.45	1.34	1.57	1.27	1.15	1.37
B22D0945-1	1.56	1.51	1.61	1.20	1.14	1.25	1.01	0.96	1.06
B22D0946-1	2.80	2.74	2.85	2.38	2.33	2.44	1.79	1.73	1.84
B22D0947-1	0.12	0.05	0.19	-0.08	-0.14	0.01	-0.29	-0.37	-0.23
B22D0948-1	2.51	2.43	2.58	2.10	2.02	2.19	1.84	1.76	1.91
B22D0949-1	0.79	0.75	0.82	0.39	0.36	0.43	0.17	0.13	0.20
B22D0950-1	1.01	0.98	1.02	0.69	0.67	0.71	0.23	0.21	0.25
B22D0950-2	1.02	0.99	1.04	0.77	0.74	0.79	0.28	0.25	0.30
B22D0951-1	2.54	2.48	2.60	1.90	1.84	1.97	1.74	1.68	1.81
B22D0952-1	0.63	0.60	0.64	0.40	0.38	0.42	0.19	0.17	0.21
B22D0952-2	0.55	0.53	0.57	0.32	0.29	0.34	0.11	0.09	0.13
B22D0953-1	2.25	2.23	2.27	2.02	2.00	2.04	1.80	1.78	1.82
B22D0954-1	0.09	0.04	0.12	-0.09	-0.12	-0.07	-0.31	-0.34	-0.28
B22D0954-2	0.10	0.08	0.11	-0.10	-0.11	-0.08	-0.30	-0.32	-0.29
B22D0955-1	1.28	1.19	1.36	0.50	0.41	0.58	0.23	0.15	0.31
B22D0955-2	1.28	1.20	1.36	0.53	0.44	0.61	0.27	0.19	0.34
B22D0956-1	2.19	2.13	2.25	1.64	1.57	1.71	1.47	1.41	1.53
B22D0957-1	0.78	0.74	0.81	0.24	0.20	0.28	0.02	-0.02	0.06
B22D0957-2	0.63	0.60	0.66	0.20	0.16	0.24	0.03	-0.01	0.06
B22D0958-1	1.88	1.82	1.91	1.43	1.39	1.47	1.25	1.21	1.28
B22D0959-1	2.16	2.05	2.24	1.56	1.47	1.65	1.42	1.33	1.51
B22D0959-2	2.14	2.09	2.19	1.78	1.72	1.83	1.57	1.52	1.62
B22D0961-1	0.70	0.64	0.76	0.02	-0.05	0.09	-0.27	-0.33	-0.21
B22D0961-2	0.66	0.61	0.72	0.08	0.02	0.14	-0.18	-0.23	-0.12
B22D0961-3	0.49	0.45	0.53	0.16	0.11	0.20	-0.09	-0.13	-0.05
B22D0962-1	1.52	1.41	1.61	0.76	0.66	0.87	0.53	0.44	0.63
B22D0962-2	1.60	1.48	1.69	1.01	0.91	1.11	0.84	0.75	0.93
B22D0963-1	2.20	2.11	2.26	1.89	1.82	1.95	1.61	1.55	1.67
B22D0963-2	2.22	2.19	2.26	2.02	1.98	2.06	1.77	1.73	1.81
B22D0965-1	0.61	0.58	0.64	0.40	0.37	0.44	0.14	0.11	0.18
B22D0965-2	0.62	0.59	0.65	0.43	0.39	0.47	0.16	0.13	0.20
GMW22C140247-1 ³	1.08	0.93	1.18	0.60	0.49	0.68	0.26	0.15	0.34
GMW22C140248-1 ³	1.13	1.03	1.22	0.64	0.55	0.72	0.27	0.18	0.34
GMW22C142727-1 ³	0.59	0.54	0.64	0.18	0.14	0.22	-0.10	-0.15	-0.06

Peilbuis	GLG gem	GLG og	GLG bg	GVG gem	GVG og	GVG bg	GHG gem	GHG og	GHG bg
GMW22C142728-1 ³	0.68	0.59	0.85	0.18	0.11	0.31	-0.24	-0.41	-0.16
GMW22C142728-2 ³	0.70	0.61	0.81	0.18	0.12	0.28	-0.21	-0.33	-0.14
KS_1_2-1	2.06	1.98	2.14	1.55	1.49	1.62	1.33	1.27	1.39
pb_01-1	4.10	4.05	4.14	3.71	3.66	3.76	3.20	3.15	3.25
pb_02-1	4.18	4.14	4.21	3.78	3.74	3.82	3.20	3.16	3.25
pb_03-1	3.41	3.37	3.45	2.98	2.94	3.02	2.42	2.38	2.46
pb_04-1	3.45	3.40	3.49	3.03	2.98	3.08	2.43	2.38	2.48
pb_05-1	3.32	3.27	3.37	2.91	2.85	2.96	2.32	2.27	2.38
pb_06-1	3.15	3.12	3.18	2.72	2.69	2.75	2.31	2.27	2.34
pb_07-1	2.36	2.29	2.45	1.74	1.67	1.82	1.53	1.42	1.58
pb_08-1	2.72	2.63	2.79	2.23	2.15	2.32	1.68	1.59	1.75
pb_10-1	2.59	2.52	2.66	2.06	1.98	2.14	1.54	1.46	1.61
PB3-1	1.83	1.50	2.11	1.06	0.84	1.36	0.89	0.66	1.09
PB4-1	4.05	3.72	4.29	3.27	3.12	3.47	3.08	2.87	3.22

¹ AHN4 maaiveld circa 0.36 m lager dan ingemeten maaiveld, zie Bijlage D. Onbekend is of ingemeten maaiveld en ingemeten peilbuis hoogte en filterstelling correct zijn; GXG's gebaseerd op ingemeten maaiveld

² maaiveldhoogte overgenomen uit het AHN4, zie Bijlage D

³ meetreeks korter dan 3 jaar

Bijlage D Vergelijking ingemeten maaiveld en AHN

In onderstaande tabel is de ingemeten maaiveldhoogte vergeleken met de maaiveldhoogte op basis van AHN4 0.5x0.5 m². Daarbij is de minimale waarde van een window van 3x3 cellen rondom het meetpunt gebruikt.

Voor buis B22C1380 is de AHN4 waarde overgenomen, omdat de gehele meetreeks boven de ingemeten maaiveldhoogte ligt en de reeks is afgetopt rond de AHN4-maaiveldhoogte. Dit lijkt voldoende bevestiging dat het AHN4-maaiveld een betere waarde is dan het ingemeten maaiveld. Echter, dit zal in het veld gecontroleerd moeten worden.

Voor buis B22C0525 is het ingemeten maaiveld aanzienlijk hoger dan het (omliggende) AHN4-maaiveld. Dit kan een fout bij het inmeten zijn. Echter, het kon niet afgeleid worden of de overige meetwaarden (filterstelling en bovenkant buis) wel/niet correct zijn. Daarom is het maaiveld voor deze buis niet aangepast.

Voor de overige buizen zijn alleen de grote verschillen beoordeeld aan de hand van luchtfoto's en eventuele ruimtelijke patronen in het AHN4. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de verschillen zeer waarschijnlijk verklaard kunnen worden door de aanwezigheid van vegetatie. Hierdoor lijkt het AHN maaiveld vaak te hoog ingeschat. Een andere oorzaak van verschillen is de aanwezigheid van een sterke gradiënt in het maaiveld.

locatie	x	y	ingemeten maaiveld	AHN4	verschil
B22C1380	228610.80	506140.90	4.22	4.63	-0.41
B22D0952	233042.00	505123.00	5.57	5.91	-0.34
pb_10	230410.00	505223.00	5.25	5.49	-0.24
B22C1371	229559.00	505947.00	5.41	5.64	-0.23
B22C1382	228518.00	506075.00	4.42	4.62	-0.20
pb_06	230333.00	504974.00	6.69	6.87	-0.18
B22C1395	227504.00	503632.00	3.65	3.80	-0.15
B22C1372	229416.00	505824.30	5.09	5.23	-0.14
B22C1398	227343.00	503402.00	4.58	4.72	-0.14
B22C1363	229551.50	505048.10	5.85	5.98	-0.13
B22C1397	227463.00	503116.00	6.20	6.32	-0.12
B22D0950	234439.00	503566.00	5.40	5.52	-0.12
B22C1393	227832.10	503519.30	3.76	3.87	-0.11
B22D0957	232770.00	505203.00	5.85	5.96	-0.11
B22C1401	226428.00	503634.00	3.44	3.54	-0.10
B22C1394	227625.00	503684.00	6.22	6.31	-0.09
B22C1402	226481.00	503470.00	5.11	5.20	-0.09
B22C1362	229305.60	505516.00	4.84	4.91	-0.07
B22C1389	228273.00	504122.00	3.60	3.67	-0.07
B22C1383	228411.00	505912.00	6.80	6.87	-0.07

locatie	x	y	ingemeten maaiveld	AHN4	verschil
B22C1358	228441.80	504698.30	4.92	4.98	-0.06
B22D0963	231105.00	503332.00	6.63	6.69	-0.06
B22C1396	227446.70	503658.70	3.65	3.70	-0.05
pb_07	230248.00	504807.00	6.65	6.70	-0.05
pb_09	230848.00	505245.00	6.54	6.59	-0.05
GMW22C142727	226514.77	504019.53	3.72	3.77	-0.05
B22C0686	228678.20	506194.13	4.69	4.74	-0.05
B22D0948	231234.30	503858.90	6.92	6.97	-0.05
B22C1404	226400.00	502853.00	4.55	4.59	-0.04
B22D0944	234643.20	502284.70	8.68	8.72	-0.04
B22C1361	223855.70	504059.00	4.17	4.21	-0.04
B22D0965	231005.00	503345.00	5.01	5.05	-0.04
B22D0945	230741.40	503101.90	6.39	6.43	-0.04
B22D0115	231847.00	505226.00	7.07	7.11	-0.04
B22C1388	228088.00	503827.00	3.93	3.97	-0.04
B22C1392	227870.80	503486.10	4.06	4.10	-0.04
B22D0966	230941.00	503271.00	5.05	5.09	-0.04
B22D0947	231897.90	503494.30	4.72	4.75	-0.03
B22D0934	230458.20	503749.10	7.85	7.89	-0.03
B22D0958	232654.00	504944.00	6.93	6.96	-0.03
B22C0512	227856.80	506569.10	6.73	6.76	-0.03
B22D0052	231078.54	502587.95	7.51	7.54	-0.03
B22C1381	228546.00	506097.00	5.27	5.30	-0.03
B22D0961	232668.00	504755.00	5.20	5.23	-0.02
B22C1384	228623.00	505667.00	6.76	6.78	-0.02
B22D0943	234591.30	502847.70	8.25	8.27	-0.02
B22C0576	227455.05	503299.09	4.63	4.65	-0.02
B22C1369	229720.00	506082.00	6.44	6.46	-0.02
B22D0962	231833.00	502939.00	6.93	6.95	-0.02
B22D0954	232817.00	505043.70	4.87	4.89	-0.02
B22D0964	230943.00	503508.00	4.86	4.88	-0.01
B22C1379	228776.00	506219.00	5.81	5.82	-0.01
B22C1370	229633.60	505988.80	5.69	5.70	-0.01
B22D0967	230955.00	502853.00	5.00	5.00	0.00
B22D0959	232704.00	504843.00	6.97	6.97	0.00
B22C1390	227945.00	503294.00	5.30	5.30	0.00
pb_05	230348.00	505217.10	6.14	6.13	0.01
pb_01	230448.00	505084.00	7.28	7.27	0.01
B22C1377	228830.00	506416.00	7.04	7.03	0.01
B22C1375	229915.00	505685.00	5.17	5.16	0.01
B22C1364	229972.80	504468.30	6.29	6.28	0.02

locatie	x	y	ingemeten maaiveld	AHN4	verschil
B22D0942	234286.00	503884.50	6.83	6.81	0.02
B22D0946	230373.20	505283.70	5.68	5.65	0.02
B22C1391	227898.20	503434.80	4.59	4.56	0.03
KS_1_1	230848.80	504383.80	5.50	5.48	0.03
B22D0117	232194.00	503839.00	6.19	6.16	0.03
B22C1403	226360.00	503308.00	3.86	3.83	0.03
B22D0949	232349.80	504031.70	5.66	5.63	0.03
B22C1387	228288.00	504007.00	4.33	4.30	0.04
B22D0074	230345.00	506157.00	7.20	7.16	0.04
GMW22C140248	227924.04	504216.12	3.90	3.86	0.04
GMW22C140247	227923.63	504215.81	3.90	3.85	0.05
pb_02	230433.00	505095.10	7.23	7.18	0.05
KS_1_3	231009.10	504265.50	5.61	5.55	0.06
KS_1_4	230654.80	504779.90	5.50	5.44	0.06
PB4	231439.00	504271.20	9.05	8.99	0.06
B22C1376	229946.00	505625.00	4.43	4.37	0.06
B22D0968	231351.00	503086.00	5.38	5.32	0.06
pb_04	230357.00	505189.00	6.27	6.21	0.06
B22D0955	232204.00	505431.00	7.15	7.09	0.07
B22D0273	234261.00	504197.00	7.02	6.95	0.07
pb_03	230432.00	505133.00	6.41	6.34	0.07
B22C1386	229216.00	505617.00	5.02	4.95	0.07
B22C1374	229870.00	505822.00	6.35	6.27	0.08
B22D0941	234044.30	504709.20	8.76	8.68	0.08
B22D0951	233403.00	505176.00	8.37	8.27	0.10
PB3	231573.50	504527.60	6.89	6.79	0.10
B22D0956	232599.00	505103.00	7.54	7.44	0.10
B22D0940	233870.80	505530.50	9.46	9.36	0.10
B22D0927	234887.50	504139.40	6.17	6.06	0.11
B22D0953	232942.00	505111.00	7.09	6.97	0.12
KS_1_2	231048.70	504441.70	6.44	6.30	0.13
pb_08	230639.00	505135.90	6.22	6.07	0.15
B22C1359	227075.60	503972.30	5.25	5.08	0.17
B22C0142	226691.00	504633.00	6.03	5.77	0.27
GMW22C142728	228747.00	504833.00	3.75	3.47	0.28
B22C0525	228819.00	503431.00	6.91	6.51	0.40

Bijlage E Vlakdekkende kaartbeelden

Deze bijlage bevat de volgende vlakdekkende kaartbeelden:

1. Responssterkte Vecht
2. Simulatie GLG en GVG
3. Doelgat GLG en GVG
4. Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG en GVG



Legenda

- Vecht meetpunt
- Responssterkte (m/m)
 - 0 - 0,1
 - 0,1 - 0,2
 - 0,2 - 0,3
 - 0,3 - 0,5
 - 0,5 - 1

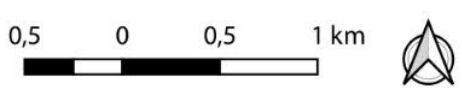
* Meetreeks korter dan 3 jaar

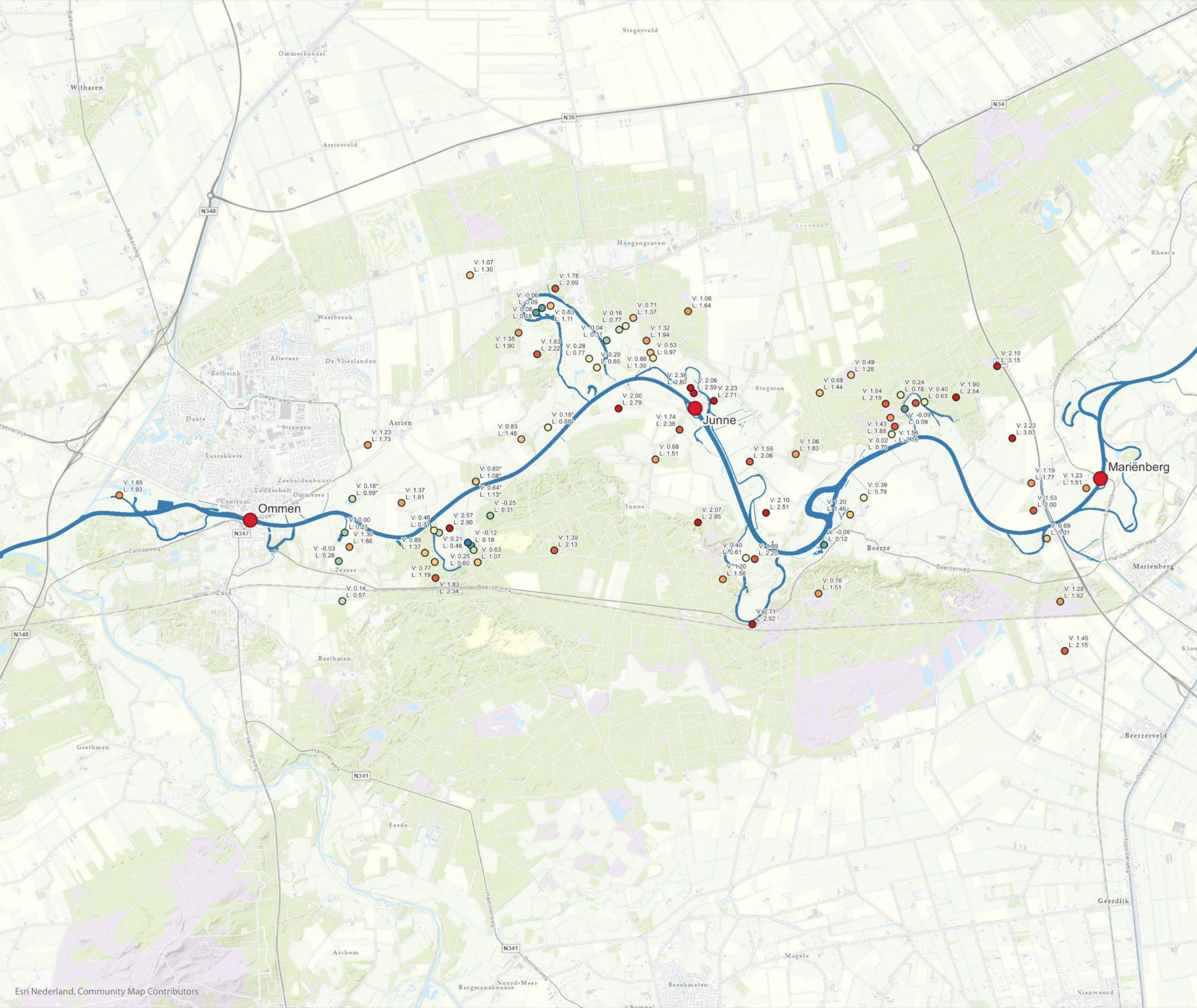
Grijs label: respons onder Pastas threshold

Rood label: correlatie responssterkte Vecht en neerslagoverschot < -0.5

Responssterkte Vecht

Datum: 24 november 2025
Projectnummer: 2025.006





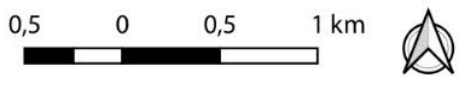
Legenda

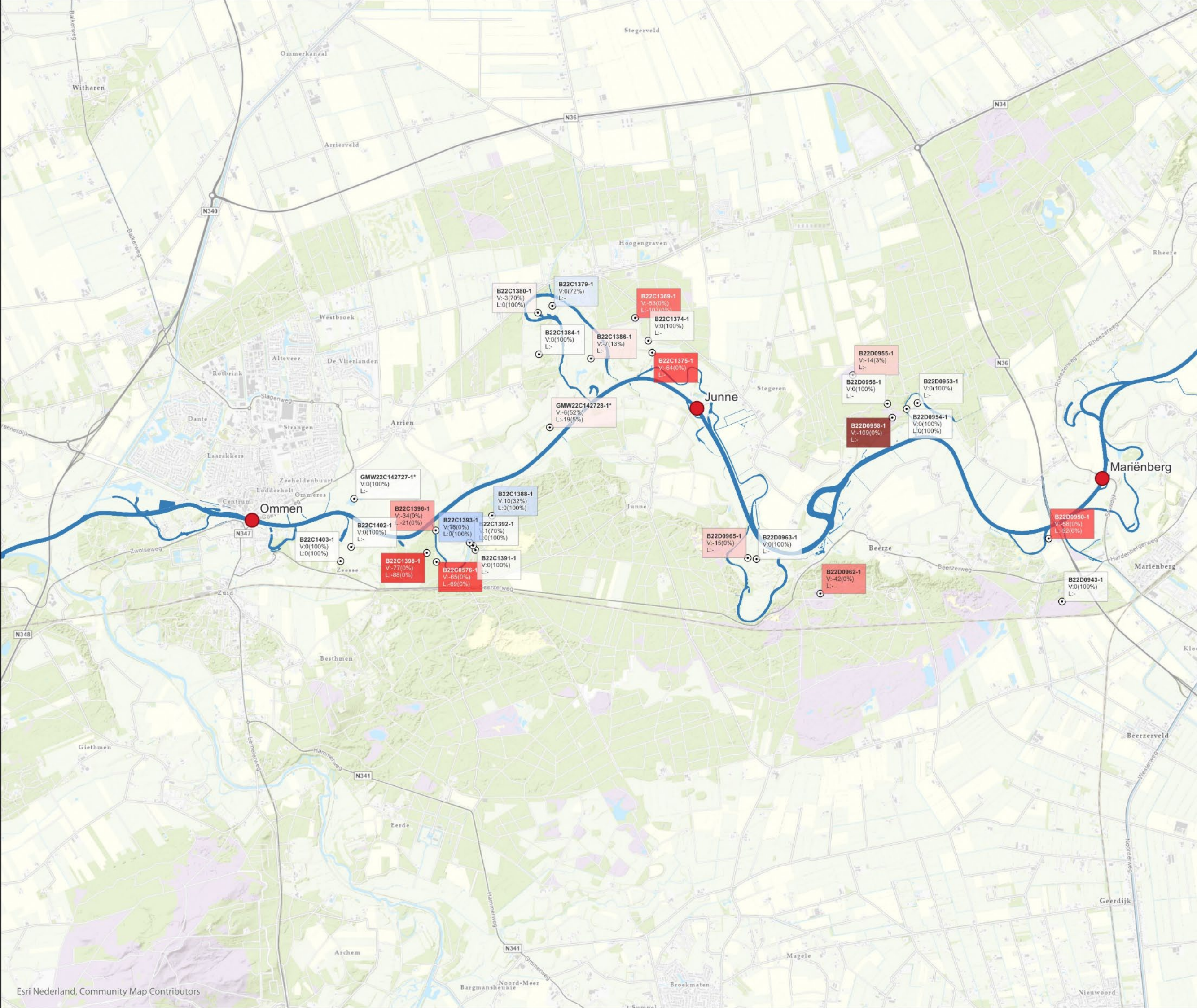
- Vecht meetpunt
- GLG (m-mv)
 - < 0
 - 0 - 0,2
 - 0,2 - 0,4
 - 0,4 - 0,6
 - 0,6 - 0,8
 - 0,8 - 1
 - 1 - 1,5
 - 1,5 - 2
 - 2 - 2,5
 - > 2,5

* Meetreeks korter dan 3 jaar

Simulatie GLG (L) en GVG (V)

Datum: 24 november 2025
Projectnummer: 2025.006





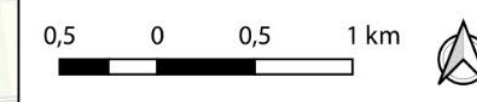
Legenda

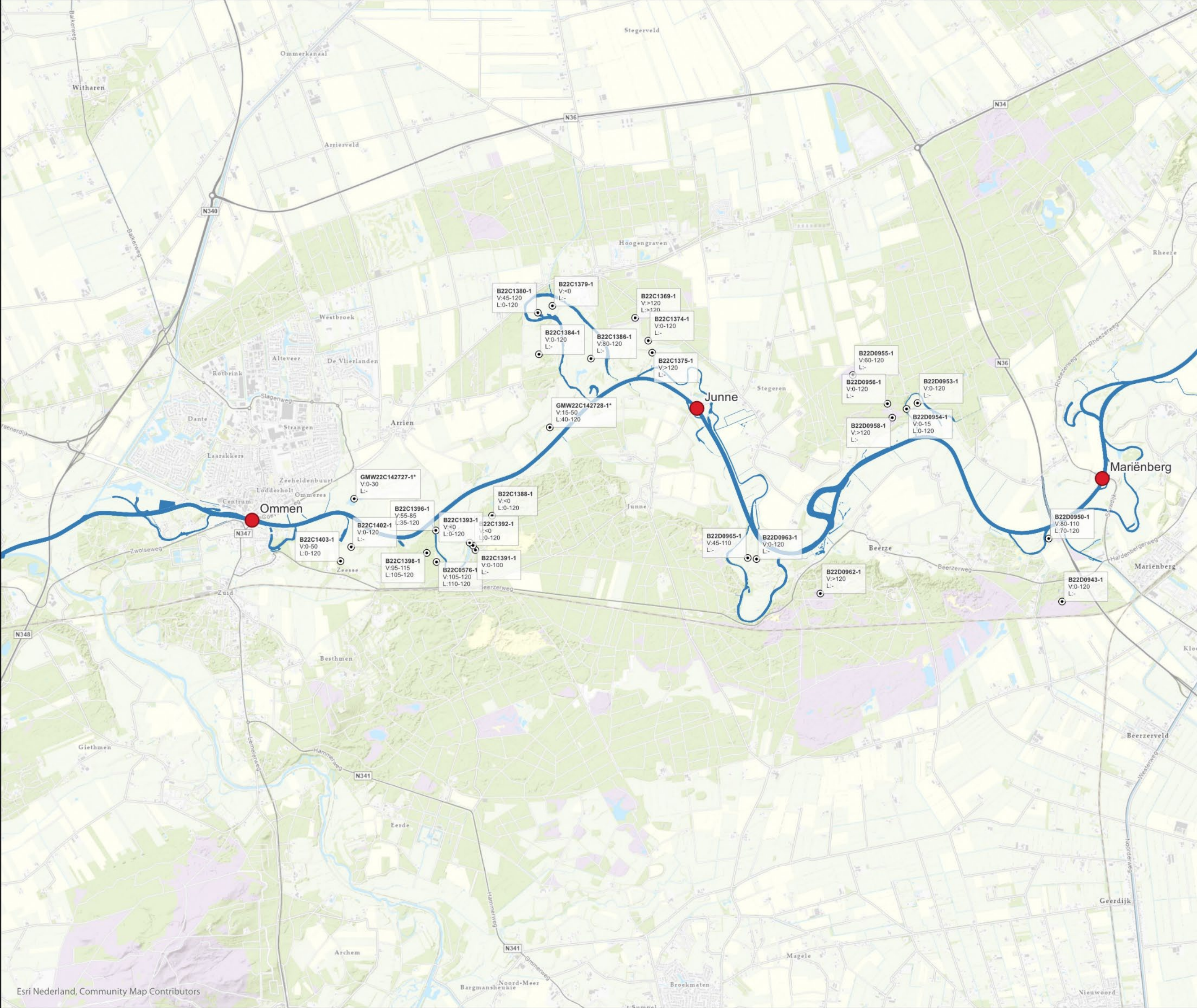
- Vecht meetpunt
- ⊙ Doelgat (cm) / -realisatie (%)
 - <0: te droog
 - 0: optimaal
 - >0: te nat

* Meetreeks korter dan 3 jaar

Doelgat GLG (L) en GVG (V)

Datum: 24 november 2025
Projectnummer: 2025.006





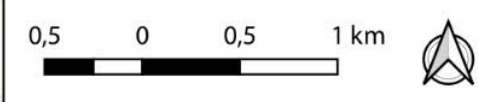
Legenda

- Vecht meetpunt
- Benodigde peilverhoging voor optimale condities (cm)

* Meetreeks korter dan 3 jaar

Range benodigde peilverhoging voor optimale GLG (L) en GVG (V)

Datum: 24 november 2025
Projectnummer: 2025.006



Innovative solutions
to water management challenges