



KWR 2022.094 | September 2022

Verkenning van effect herstelmaatregelen op waterhuishouding in het Liefstingsbroek

Rapport

Verkenning van effect herstelmaatregelen op waterhuishouding in het Liefstingsbroek

KWR 2022.094 | September 2022

Opdrachtnummer

403133/003

Projectmanager

Arnaut van Loon

Opdrachtgever

Sweco

Auteurs

Jelmer Nijp, Mark Jalink

Kwaliteitsborger

Ruud Bartholomeus

Verzonden naar

Kees van Immerzeel

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgever van het adviesproject. KWR zal zich onthouden van verspreiding van dit rapport en het rapport derhalve niet verstrekken aan derden, tenzij partijen anders overeenkomen. Opdrachtgever is gerechtigd het rapport te verspreiden mits KWR daarvoor vooraf toestemming heeft verleend. Aan de toestemming voor de verspreiding van (onderdelen van) het rapport kan KWR voorwaarden verbinden.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

Ecohydrologie, Liefstingsbroek, grondwatermodellen, voorspellen effecten, waterhuishouding

Jaar van publicatie
2022

Meer informatie
dr. Jelmer J. Nijp
T +31 30 606 9630
E jelmer.nijp@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

September 2022 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Samenvatting

Achtergrond

Het Liefstingsbroek is een Natura-2000 gebied in het dal van de Ruiten Aa in Oost-Groningen dat waardevolle natuur herbergt. De vegetatie varieert van oud Eiken-beukenbos op de hoger gelegen zandruggen tot eiken-haagbeukenbossen, elzenbroekbos en blauwgrasland in de lager gelegen delen van het gebied. De kwaliteit van het habitattypen blauwgrasland is de afgelopen tijd achteruit gegaan door verdroging en verzuring. Recent zijn de belangrijkste knelpunten geïdentificeerd en zijn maatregelen voorgesteld die kunnen bijdragen aan het herstel van natte en zuur-gebufferde standplaatsen en daarmee de potentie voor blauwgrasland (H6410) aanzienlijk kunnen bevorderen (Nijp *e.a.*, 2022a). Het perspectief op herstel van blauwgrasland wordt enerzijds bepaald door de mate waarin de dynamiek kan worden hersteld tot binnen het bereik van de ecologische vereisten van grondwaterafhankelijke habitattypen, en anderzijds door de mate waarin de aanvoer van dieper, gebufferd en kalkhoudend grondwater naar de wortelzone toeneemt in gebieden met potentie voor blauwgrasland.

Doel

Om te bepalen hoe de voorgestelde herstelmaatregelen doorwerken op de waterhuishouding in en om het Liefstingsbroek, is een grondwatermodel opgesteld door van Immerzeel en Holtus (2022). Het doel van de modellering stelt specifieke eisen aan het gebruikte grondwatermodel. De doelen van dit onderzoek zijn om

- 1 Een programma van eisen op te stellen voor het te gebruiken grondwatermodel dat beschrijft in welke mate de modelresultaten bruikbaar zijn voor ecohydrologische interpretatie, toegespitst voor de waterhuishouding in en om het Liefstingsbroek. Dit programma van eisen geeft houvast in de ontwikkeling en verificatie van het model, ten behoeve van een optimale ecohydrologische interpretatie van modeluitkomsten.
- 2 Te evalueren in hoeverre het model ten opzichte van het programma van eisen presteert, en de toepasbaarheid van het grondwatermodel voor het simuleren van ontwikkelpotenties en doelrealisatie voor Natura-2000 te schetsen.
- 3 Op basis van de grondwatermodellering te bepalen wat het effect van herstelmaatregelen is op de waterhuishouding en ecohydrologie van het Liefstingsbroek.

Evaluatie grondwatermodel op basis van programma van eisen

Voor het Liefstingsbroek is met name van belang dat de grote variatie in bodemeigenschappen van de ondiepe ondergrond (tot ca 1 – 1.5 m-mv) goed in het model geïmplementeerd is, dat waterlopen up-to-date zijn, en dat rekening gehouden wordt met afvoer van (regen)water via maaiveld.

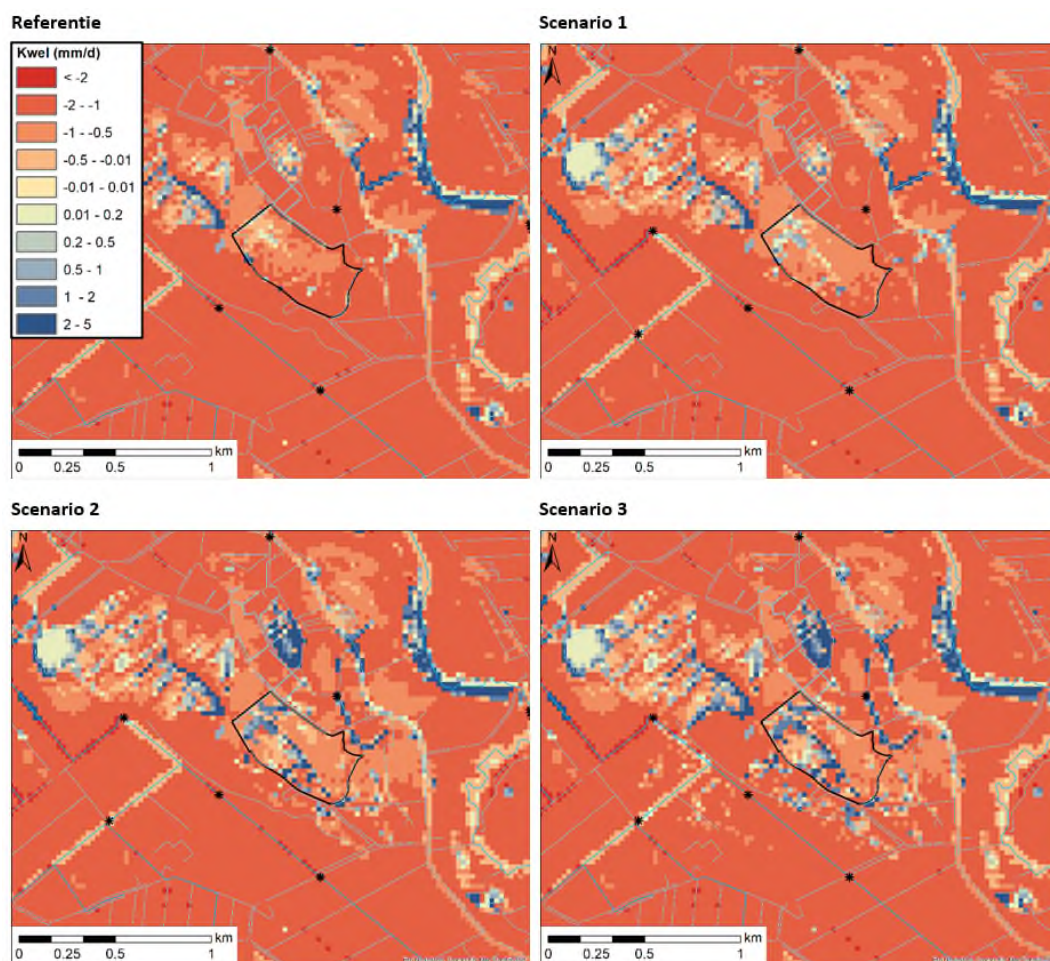
Op basis van het programma van eisen is het model geschikt bevonden voor een kwalitatieve modelbeoordeling. Scenario's kunnen geordend worden in volgorde van het meest tot minst bevorderlijk effect op waterhuishouding voor natuur in het Liefstingsbroek. Grondwaterstanden, kwelfluxen, veranderingen daarin als gevolg van scenario's, en veranderingen in natuurpotenties kunnen daarmee alleen categorisch worden benaderd. Een kwantitatieve effectvoorspelling is niet mogelijk met de huidige modelversie. Ruimtelijke patronen van grondwaterstanden en kwelfluxen kwalitatief overeen met veldkennis en systeembegrip zoals dat gedocumenteerd is in van Delft *e.a.* (2017) en Nijp *e.a.* (2022a). Zo worden bijvoorbeeld kwel en ondiepe grondwaterstanden aangetroffen op plekken waar dat verwacht mag worden op basis van wat de vegetatie indiceert en meetreeksen weergeven. In kwalitatieve zin zijn de resultaten daarmee als plausibel beoordeeld. Een vergelijking tussen gesimuleerde en op meetreeksen gebaseerde GHG, GVG en GLG ⁽¹⁾ geeft aan dat het grondwatermodel de grondwaterstand systematisch te diep inschat, en grondwaterstanden te vroeg in het seizoen uitzakken. Daardoor is slechts een kwalitatieve beoordeling mogelijk bevonden.

⁽¹⁾ GHG, GLG en GVG zijn respectievelijk de gemiddeld hoogste, gemiddeld laagste en gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand.

Gemodelleerd effect herstelmaatregelen op waterhuishouding Liefstingsbroek

De voorgestelde maatregelen (Nijp *e.a.*, 2022a) zijn gebundeld in drie scenario's: (1) alleen randsloten Liefstingsbroek dempen; (2) 1 + dempen sloten in de omgeving en (3) 2 + stuwpeilen waterschapsleiding fors verhogen. Hierbij is er van uit gegaan dat het vergroten van potenties voor natuur prioriteit heeft en dat eventuele hinderlijke neveneffecten met compensatiemaatregelen opgelost kunnen worden. Scenario's zijn opgebouwd van lokale / 'interne' maatregelen naar maatregelen verder in de omgeving rondom het Liefstingsbroek. Het heeft weinig zin enkel in de regio maatregelen te nemen indien er intern niks veranderd wordt.

Uit de modelresultaten komt heel duidelijk naar voren dat het dempen van de waterlopen in de omgeving van het Liefstingsbroek tot een zeer grote toename van kwel in de winterperiode leidt (Scenario 2 en 3, zie Figuur S1 hieronder). Daarnaast breidt het areaal kwelzones uit als gevolg van deze maatregelen. Dit resultaat kan niet worden behaald door alleen de randsloten van het Liefstingsbroek te dempen (Scenario 1). Ingrijpen in de waterhuishouding in de (natuur)gebieden rondom het Liefstingsbroek is daarom essentieel (Scenario 2). Een peilverhoging in de waterschapsleiding leidt tot een extra toename van kwel naar de toplaag en bevordert daarmee de potentie voor blauwgrasland (Scenario 3). Deze gemodelleerde effecten komen zeer goed overeen met de verwachtingen zoals geschetst in eerdere adviezen omtrent herstelmaatregelen (Nijp *e.a.*, 2022a). Dit sterkt het vertrouwen in de modelresultaten.



Figuur S1. Gemodelleerde winterkwel naar 'toplaag' voor de verschillende scenario's. Gemiddelde flux over de periode oktober t/m maart van 2013 – 2020 op 1.2 m beneden maaiveld. Negatieve waarden zijn wegzijging (rood), positieve waarden kwel (blauw).

Ook op grotere diepte wordt opwaartse grondwaterstroming gestimuleerd bij scenario 2 en 3. Dit vergroot de (kans op) aanvoer van baserijk en/of gebufferd grondwater van grotere diepte naar ondieper in de ondergrond. Na transport naar de wortelzone zorgt dit voor oplading van het adsorptiecomplex en compensatie van verzuring in de rest van het groeiseizoen. Deze oplading in de winter is zeer belangrijk in blauwgraslanden, die gekenmerkt worden door een iets uitzakkende grondwaterstand naarmate het groeiseizoen vordert.

Uit waterbalansberekeningen volgt dat er bij scenario 2 en 3 meer grondwater wordt vastgehouden (berging) en dat oppervlakkige afvoer wordt bevorderd door het dempen van sloten (in combinatie met peilverhoging). In de huidige toestand wordt in het Liefstingsbroek ook al water vastgehouden boven maaiveld. In eerder onderzoek is vastgesteld dat dit vooral regenwater is, en dat (diepe) regenwaterlenzen de potenties voor blauwgrasland onderdrukken (van Delft *e.a.*, 2017; Nijp *e.a.*, 2022a). Het is nat, maar het water is te zuur. Bij de gemodelleerde forse toename van kwel en maaiveldafvoer (Figuur 4-13) zullen deze regenwaterlenzen in dikte afnemen of plaatselijk zelfs verdwijnen, waardoor de potentie van blauwgrasland toeneemt. Zelfs indien het aangevoerde grondwater niet door diepere kalkrijke afzettingen stroomt, zal de gemodelleerde bevordering van kwel daarmee een effectieve maatregel zijn.

Conclusie en vervolg

De modelresultaten tonen zeer duidelijk en met ruim voldoende betrouwbaarheid aan dat ingrijpen in de waterhuishouding (scenario 2 en 3) rondom het Liefstingsbroek de potenties voor waardevolle natuur in het Liefstingsbroek aanzienlijk zal verbeteren. Het maatregelpakket is bedoeld als verkenning. Wil men afwijken van de precieze scenario's maar een vergelijkbaar natuureffect teweeg brengen, dan is nadere analyse nodig om effecten in te schatten, bijvoorbeeld door modelberekeningen. Omdat de modelresultaten slechts een kwalitatief beeld geven, blijft het daarnaast noodzakelijk bij uitvoering van herstelmaatregelen de ontwikkeling van standplaatscondities en vegetatie te monitoren (kwaliteit bodemvocht en grondwater, grondwaterstanden, vegetatie).

Literatuur

- Nijp, J.J., Jalink, M., Clevers, S. & Brouwer, E. (2022) *Kansen en knelpunten voor natuur in het Liefstingsbroek*, Nieuwegein. KWR + B-WARE.
- van Delft, S.P.J., de Waal, R.W., Jansen, P.C., Bijlsma, R.-J. & Wegman, R.M.A. (2017) *Ecohydrologische systeemanalyse Liefstingsbroek. Rapport 2790*, Wageningen. Wageningen Environmental Research.
- van Immerzeel, K. & Holtus, E. (2022) *Grondwatermodellering Liefstingsbroek - Effecten van aanpassingen op het watersysteem op de grondwaterdynamiek van Liefstingsbroek en omgeving*. Sweco.

Inhoud

Rapport	2
Samenvatting	3
Inhoud	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doel	9
2 Programma van eisen	10
2.1 Achtergrond en doel	10
2.2 Beoordeling modelkwaliteit	11
2.2.1 Algemene werkwijze modelbeoordeling	11
2.2.2 Conceptueel grondwatermodel en parameterisatie	11
2.2.3 Validatie	16
2.2.4 Plausibiliteit scenario's	17
2.2.5 Vereiste modeluitvoer	18
2.3 Tot slot	19
3 Beoordeling grondwatermodel	20
3.1.1 Beoordeling: Conceptueel model & modeluitvoer	20
3.1.2 Beoordeling: Validatie	22
3.1.3 Beoordeling: Plausibiliteit huidige situatie	24
3.1.4 Toetsing grondwatermodel aan ecologische vereisten vegetatie	24
3.1.5 Conclusie modelbeoordeling	25
4 Resultaten grondwatermodellering	27
4.1 Beschrijving scenario's	27
4.1.1 Scenario 1 – Randsloten dempen	28
4.1.2 Scenario 2 – Ook sloten omgeving dempen	29
4.1.3 Scenario 3 – Ook peil waterschapsleiding ophogen	30
4.2 Gemodelleerde effecten van maatregelen (scenario's)	31
4.2.1 Grondwaterstanden en -dynamiek	31
4.2.2 Kwel	34
4.2.3 Waterbalans Liefstingsbroek	38
4.2.4 Indicatie laterale stroming freatisch pakket	40
4.2.5 Afvoer water via slootsegmenten en stuwen	42
4.2.6 Effect van peilverhoging waterschapsleiding t.o.v. dempen sloten (Vergelijking S3 – S2)	43
4.3 Plausibiliteit scenario's	45
4.4 Verwachte doorwerking van maatregelen op ecologie	46

5	Aanbevelingen	48
6	Conclusie	50
7	Literatuur	51
I	Bodemkaart Liefstinghsbroek	52
II	Bodemprofiel beekdal noordoost	53
III	Eigendomskaart Natuurmonumenten	54

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Liefstingsbroek is een Natura-2000 gebied in het dal van de Ruiten Aa in Oost-Groningen dat waardevolle natuur herbergt. De vegetatie varieert van oud Eiken-beukenbos op de hoger gelegen zandruggen tot Eiken-haagbeukenbossen, Elzenbroekbos en Blauwgrasland in de lager gelegen delen van het gebied. Voor blauwgrasland is een zwak tot matig zure bodem vereist (pH H₂O tussen 5 en 6.5). De kwaliteit van dit habitatype is de afgelopen tijd achteruit gegaan door verdroging en verzuring. De doelstelling is om de potenties van het habitatype H6410 Blauwgrasland te herstellen en het areaal te vergroten.

De zuurgraad in blauwgrasland wordt op peil gehouden door uitwisseling van zuur met aan het adsorptiecomplex gebonden 'basische kationen' (met name calcium en magnesium) aan het adsorptiecomplex. Door infiltratie van regenwater en afvoer via maaien verdwijnen deze basen uit het systeem, en moeten aangevuld worden. Aanvoer van grondwater met een hoge hardheid kan zorgen voor directe neutralisatie van zuur, maar ook, mits het de wortelzone bereikt, de basenvoorraad aanvullen en de zuurgraad op peil houden (zuurbuffering). Basenhoudend grondwater is dus van belang voor herstel en behoud van blauwgrasland, en werd in eerder onderzoek (van Delft *e.a.*, 2017; Nijp *e.a.*, 2022a) in het Liefstingsbroek aangetroffen op enkele locaties vanaf ca 4 – 6 m beneden maaiveld. Een uitgebreide beschrijving van het gebied is te vinden in van Delft *e.a.* (2017) en Nijp *e.a.* (2022a).

Recent zijn een aantal waterhuishoudkundige herstelmaatregelen geïdentificeerd die kunnen bijdragen aan het herstel van natte en zuur-gebufferde standplaatsen (Nijp *e.a.*, 2022a). Het herstel van deze standplaatsen is een van de voorwaarden om aan de Natura-2000 doelstellingen van blauwgrasland te kunnen voldoen.

Als eerste stap in de besluitvorming over de waterhuishoudkundige herstelmaatregelen zijn Prolander en Sweco door Provincie Groningen gevraagd om het effect van maatregelen met een grondwatermodel door te rekenen. Het doel van deze modellering is om na te gaan of en welke herstelmaatregelen het meeste perspectief voor behoud en herstel van de vegetatie, met focus op blauwgrasland, in Liefstingsbroek geven. Dit perspectief wordt enerzijds bepaald door de mate waarin de dynamiek van grondwaterstanden wijzigt ten opzichte van de ecologische vereisten van grondwaterafhankelijke habitattypen, en anderzijds door de mate waarin de aanvoer van dieper, gebufferd en kalkhoudend grondwater naar de wortelzone ter plaatse van gebieden met potentie voor ontwikkeling van blauwgrasland toeneemt. Dit stelt specifieke eisen aan het gebruikte grondwatermodel.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om

- (1) Een programma van eisen op te stellen voor het te gebruiken grondwatermodel, dat beschrijft in welke mate de modelresultaten bruikbaar zijn voor ecohydrologische interpretatie, toegespitst voor de waterhuishouding in en om het Liefstingsbroek. Dit programma van eisen geeft houvast in de ontwikkeling en verificatie van het model, ten behoeve van een optimale ecohydrologische interpretatie van modeluitkomsten (Hoofdstuk 2).
- (2) Te evalueren in hoeverre het model ten opzichte van het programma van eisen presteert, en de toepasbaarheid van het grondwatermodel voor het simuleren van ontwikkelpotenties en doelrealisatie voor Natura-2000 te schetsen. Hierbij wordt ook advies gegeven over eventuele verbetering van het grondwatermodel en de wijze waarop de modelresultaten geïnterpreteerd kunnen worden wat betreft ecohydrologische effecten. Dit dient ter ondersteuning van de interpretatie van de resultaten en het vormgeven van vervolgstappen (Hoofdstuk 3).
- (3) Op basis van de grondwatermodellering te bepalen wat het effect van herstelmaatregelen is op de waterhuishouding en ecohydrologie van het Liefstingsbroek (Hoofdstuk 4).

2 Programma van eisen

2.1 Achtergrond en doel

Als eerste stap in de besluitvorming over de waterhuishoudkundige herstelmaatregelen wordt een grondwatermodel gebruikt om in te schatten hoe maatregelenpakketten doorwerken op potenties voor natuur. Het doel van deze modellering is om na te gaan (1) welke herstelmaatregelen het meeste perspectief op doelbereik geven in het Liefstingsbroek en (2) welke mogelijke negatieve neveneffecten de maatregelen hebben voor omliggende functies (o.a. landbouw en bebouwing). In dit onderzoek wordt alleen het eerste aspect beschouwd, het tweede komt aan bod in van Immerzeel en Holtus (2022). Het perspectief voor natuurherstel wordt enerzijds bepaald door de mate waarin de dynamiek van grondwaterstanden verbeterd kan worden richting de ecologische vereisten van grondwaterafhankelijke habitattypen, en anderzijds door de mate waarin de aanvoer van dieper, kalkhoudend grondwater naar de wortelzone ter plaatse van gebieden met potentie voor ontwikkeling van blauwgrasland toeneemt. Het kwantificeren van deze standplaatsfactoren stelt specifieke eisen aan het grondwatermodel.

Doel van programma van eisen

Het doel van het programma van eisen is om (1) een onafhankelijk kader te bieden voor het beoordelen van de toepasbaarheid van de uitvoer van het grondwatermodel voor ecohydrologische interpretatie en (2) de optimalisatie van de waterhuishoudkundige herstelmaatregelen richting te geven. Het programma van eisen dient als leidraad om te bepalen tot welk detailniveau de modelresultaten gebruikt kunnen worden voor ecohydrologische effectvoorspelling. Het geeft daarmee houvast in de ontwikkeling en verificatie van het model ten behoeve van een optimale ecohydrologische interpretatie van modeluitkomsten in/om het Liefstingsbroek. In het volgende hoofdstuk (Hoofdstuk 3) wordt beoordeeld in hoeverre het tot stand gekomen grondwatermodel voldoet aan het in dit hoofdstuk beschreven programma van eisen.

Kwantitatieve versus kwalitatieve modelinterpretatie

In het meest optimale geval zijn de resultaten van het grondwatermodel van dermate kwaliteit dat het zin heeft een kwantitatieve ecohydrologische effectvoorspelling uit te voeren. Dit houdt in dat er kwantitatieve uitspraken gedaan kunnen worden in hoeverre potenties van vegetatietypen verschuiven als gevolg van herstelmaatregelen (bijvoorbeeld: 'de potentie voor blauwgrasland wordt met 55% verhoogd als scenario X wordt uitgevoerd'). Dergelijke kwantitatieve effectvoorspelling kan worden uitgevoerd met bijvoorbeeld de Waterwijzer Natuur (Witte *e.a.*, 2018; Nijp *e.a.*, 2022b).

Een model is echter per definitie een versimpeling van de werkelijkheid: het is onmogelijk om de complexiteit van de ondergrond en oppervlakkige afvoer over maaiveld in hoog detailniveau in beeld te brengen, en alle terugkoppelingen tussen bodem, water, en vegetatie te verdisconteren in een model. De bodem in het Liefstingsbroek bestaat uit een schakering van beekdalafzettingen die op korte afstand (zowel verticaal als horizontaal) kunnen variëren in hydrologische eigenschappen (zie bodemkaart Bijlage I). Dat heeft zijn weerslag op de waterhuishouding, berekende kwelfluxen en grondwaterregime, en daarmee op (verkeerd ingeschatte) potenties voor vegetatie.

Het is dus goed denkbaar dat een grondwatermodel in meer of mindere mate slechts beperkt gebruikt kan worden om uitspraken te doen over effecten van ingrepen op de waterhuishouding. In het ergste geval zit het grondwatermodel er dermate ver naast, dat het onbruikbaar is voor effectvoorspelling. Doorgaans komt het voor dat modelresultaten zich in een grijs gebied bevinden. In dat geval is het meestal mogelijk om een kwalitatieve effectvoorspelling te doen, zoals 'na uitvoering van scenario X gaat de potentie voor blauwgrasland er op vooruit'. Indien de modelresultaten het toelaten, kan vervolgens een rangschikking gemaakt worden van welke maatregelen het best uitwerken.

2.2 Beoordeling modelkwaliteit

2.2.1 Algemene werkwijze modelbeoordeling

De toepasbaarheid van het numerieke grondwatermodel voor ecohydrologische interpretatie wordt bepaald door de mate waarin het grondwatermodel adequaat de relevante hydrologische processen beschrijft, en in hoeverre de modeloutput aansluit bij ecohydrologische indicatoren. Dit speelt op vier niveaus:

1 Conceptueel model en parameterisatie (§2.2.2)

De beoordeling wordt gebaseerd op de informatie die meegenomen wordt in het conceptuele model (i.e. de lagenopbouw, hun eigenschappen, gemodelleerde processen) van het Liefstingsbroek. Op basis daarvan kan worden besloten op welk detailniveau uitspraken gedaan kunnen worden in de ecohydrologische effectvoorspelling. Hier moet worden gezorgd dat de conceptualisatie van het model aansluit bij de doelstelling van de modellering.

2 Validatie: Overeenkomst model met metingen voor de huidige situatie (§2.2.3);

De gemodelleerde grondwaterstanden worden vergeleken met observaties. Ook als bij het conceptuele model voldaan wordt aan de criteria (Tabel 2-1), kan uit deze validatie blijken dat (voor een deel van het gebied) geen of in beperkte mate uitspraken kunnen worden gedaan.

3 Plausibiliteit scenario's: verwachte reactie van het grondwatersysteem op ingrepen (§2.2.4)

De voorgaande aspecten gaan in op de kwaliteit van het model bij de uitgangssituatie. Een goede modelkwaliteit voor de huidige situatie is geen garantie voor plausibele simulatie van scenario's (is het gesimuleerde effect van een ingreep logisch te verklaren?). Daarom dient ook de plausibiliteit van scenario's getoetst te worden.

4 Modeluitvoer (§2.2.5)

De modeluitvoer moet passen bij de wijze waarop ecohydrologische indicatoren zijn gedefinieerd.

De criteria zijn in tabelvorm gepresenteerd en worden in de volgende paragrafen per categorie toegelicht.

2.2.2 Conceptueel grondwatermodel en parameterisatie

Rekenperiode

De afgelopen jaren is vaak droogte opgetreden, die systematisch afwijkt ten opzichte van de referentieperiode voor klimaat (de huidige klimaatreeks beslaat 1981 – 2010). Daarom raden wij aan om voor klimaatinput de periode 1991 – 2020 te gebruiken. Ook om gemodelleerde GxGs te kunnen vergelijken met indicatiewaarden op basis van vegetaties of GxGs afgeleid van tijdreeksen is een 30-jaar periode nodig.

Laagopbouw

Het herstel van blauwgraslanden vereist dat basenrijk grondwater langduriger en op grotere oppervlakte de wortelzone bereikt, op locaties met potentie voor ontwikkeling van blauwgrasland. Uit veldmetingen blijkt dat basenrijke grondwater al op 1.5 m-mv aangetroffen kan worden, maar ook dat kalkrijke afzettingen op ca 6 meter beneden maaiveld voorkomen. Om uit de modelresultaten op te kunnen maken of vernattingsmaatregelen bijdragen aan het herstel van aanvoer van basen en gebufferd grondwater naar de toplaag van de bodem (1.2 m), is het noodzakelijk om kwelfluxen op ~4 m-mv en ~1 m-mv te kunnen berekenen. Het lagenmodel moet hiervoor voldoende gedetailleerd zijn. Met deze resultaten kan een beeld van de (verticale) stromingsrichting van grondwater worden verkregen, en geeft daarmee het benodigde ruimtelijk inzicht in stroombanen. Het bepalen van stroombanen, dat wat bewerkelijker is, is daarmee minder cruciaal.

standplaatscondities in werkelijkheid optreden. De beschikbaarheid van informatie over drempelhoogten is waarschijnlijk beperkend voor de mate waarin de sturende processen beschreven kunnen worden.

- 2 Berekende GxGs op basis van het AHN “neerschalen” naar een resolutie van 5x5 m. In dit geval worden de sturende hydrologische processen (stagnerende werking van lokale klei- en leemlagen, kleinschalige gradiënten in topografie resulterend in tijdelijke inundatie en oppervlakte-afvoer, plaatselijke kwel onder invloed van tijdelijke en subtiele stijghoogteverschillen) niet expliciet op het benodigde schaalniveau van 5x5 m gemodelleerd. Hierdoor is het onzeker of de actuele situatie en de reactie van het grondwatersysteem op ingrepen op deze locaties goed gemodelleerd worden. De modelresultaten kunnen dan wel indicatief zijn voor veranderingen op grotere schaal, zodat afgeleid kan worden of kwel naar de wortelzone toeneemt, maar niet hoe groot die toename is en waar dat op gaat treden.

Voor eventuele effectvoorspelling met de Waterwijzer Natuur, dat momenteel op 25 x 25 m rekent, kunnen modelcellen geaggregeerd worden van 5x5 m naar een resolutie van 25 x 25 m waarbij de minimale en maximale waarde per 25 x 25 vlak gebruikt kan worden om tot een doelrealisatiebereik per cel te komen.

Parameterisatie ondiepe leem- en kleilagen

In het Liefstingsbroek zijn beekdalafzettingen in de bodem en ondergrond aanwezig. Zowel verticaal als lateraal treedt een afwisseling van al dan niet venige leem- en kleilagen in de bovenste toplaag op. Deze lagen bieden weerstand tegen waterstroming, en leiden tot stagnatie van regenwater. De aan/afwezigheid van deze lagen heeft effect op grondwateraanvulling, -stroming en -dynamiek, en daarmee op waar basenrijk grondwater naar de oppervlakte wordt getransporteerd. Stagnerend regenwater wordt, zeker onder nattere omstandigheden met grotere hydrologische connectiviteit, oppervlakkig afgevoerd via de stuw in de noordwestpunt van het Liefstingsbroek. Deze oppervlakte-afstroming is complex om goed te ondervangen in grondwatermodellen, maar vormt dus wel een belangrijke afvoercomponent en hydrologisch proces in het Liefstingsbroek die de ecohydrologische standplaatscondities bepaalt.

De ondergrond (vanaf 1.20 m diepte) van het Liefstingsbroek is over het algemeen weinig complex en relatief homogeen. Daarom kan voor de diepere ondergrond (o.a. Formatie van Bortel) grotendeels worden volstaan met gegevens uit DINO. Van belang is dat er in het beekdal aan de noordoostelijke flank van de dekzandrug (‘Adelaarsvarenbult’) een behoorlijke veenlaag aanwezig is die richting de rug uitwigt. Bovendien is hier op grotere diepte een ca. 2 m dikke leemlaag aanwezig (zie Bijlage III), die bepalend is voor de grondwaterstroming naar het Liefstingsbroek. Het wordt aanbevolen om te controleren of deze weerstandbiedende lagen goed (verspreiding en weerstand) in het grondwatermodel zijn opgenomen.

In tegenstelling tot de ondergrond, wordt de bodem (toplaag; tot 1.20 m diepte) gekenmerkt door kleinschalige afwisselingen. In een groot deel van het Liefstingsbroek bestaat de toplaag uit beekafzettingen, die een afwisseling van al dan niet venige klei- en leemlagen vormen. Deze lagen leiden tot stagnatie van regenwater. Deze regenwaterstagnatie is een kernaspect van de ecohydrologie in het Liefstingsbroek. De mate waarin dit in het model meegenomen kan worden is sterk bepalend voor de mate waarin de modelresultaten representatief zijn voor ecohydrologische standplaatsfactoren. Voor de ruimtelijke verbreiding van de klei- en leemlagen is de bodemkaart van van Delft *e.a.* (2017) beschikbaar (Zie Bijlage I). Voor de dikte van de weerstandbiedende toplagen kan gebruik gemaakt worden van de verzamelde gegevens in eerdere onderzoeken van Delft *e.a.* (2017) en Nijp *e.a.* (2022a). Deze informatie kan als uitgangspunt worden gebruikt voor de hydrogeologische parameterisatie van de bodem.

Schematisatie waterlopen

De winter- en zomerpeilen van de waterlopen rondom het Liefstingsbroek zijn bekend bij de Waterschappen. In het Liefstingsbroek is in 2018 een stuw geplaatst. Gezien dit de rekentijd van het grondwatermodel beslaat, moet deze waterhuishoudkundige verandering in de waterhuishouding worden meegenomen in de modelschematisatie.

Belangrijk is dat een aantal waterlopen naar verwachting alleen de bovenste modellaag zal doorsnijden, terwijl andere waterlopen ook de Formatie van Bortel zullen aansnijden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de diepe

Waterschapsleiding. De recente diepte van de waterlopen dient dus ook in het model geïmplementeerd te zijn, door de “drains” of “rivers” aan de juiste modellen toe te kennen.

Inundatie en oppervlakte-afvoer

Zoals gebleken is uit de voorgaande paragrafen, speelt oppervlakte-afvoer een sturende rol in hydrologische standplaatscondities. Zeker zonder validatiegegevens van afvoer is het lastig dit goed in de vingers te krijgen. Alhoewel afvoerdebieten onbekend zijn, zijn de locaties van de afvoerdrempels wél beschikbaar (in ieder geval stuw westpunt, stuw noord). Figuur 3-3 in Nijp *e.a.* (2022a) geeft aan dat bij (zeer) natte omstandigheden het freatisch vlak op de meeste lagergelegen plekken in het Liefstingsbroek vrijwel gelijk is. Dit geeft aan dat onder (zeer) natte omstandigheden de meeste plassen in het Liefstingsbroek met elkaar verbonden zijn. De drempelwaarde van de stuw in de westelijke punt van het Liefstingsbroek zou op basis van deze aanname ca 3.75 m+NAP zijn. Eventueel kunnen intern op basis van het AHN nog drempels voor oppervlakte-afvoer, inclusief de vanggebieden, geïdentificeerd worden.

Tabel 2-2. Criteria voor modelconceptualisatie en consequenties indien niet voldaan wordt voor interpretatie van modeluitkomsten.

Aspect	Criterium	Consequenties indien niet wordt voldaan aan criterium
Rekenperiode	2013-2021 voor spiegelen aan referentiegegevens en afleiden GxG. 1991 – 2020 voor huidige klimaat.	- Ruis in vergelijking gemodelleerd-waargenomen GxG. NB directe vergelijking met reeksen is wel mogelijk. - Representativiteit voor huidig klimaat is beperkt.
Laagopbouw	- Laagovergang op ~4 m diepte: flux over modellaag is indicatie voor basenrijke kwel. - Laagovergang op ~1 m diepte: flux over modellaag is indicatie voor kwel naar wortelzone.	- Afhankelijk van diepte van andere laagovergangen worden effecten op basenrijke kwel onder- of overschat. - Waarschijnlijk klein omdat opwaartse flux op 4 m diepte vergelijkbaar zal zijn met flux op 1 m diepte. Wel goed om te checken.
Resolutie	5x5 m voor expliciet modelleren van sturende hydrologische processen (alternatief) Neerschalen GxG naar 5x5 m op basis van AHN.	- Gradiënten worden uitgevlakt en uitvoer past niet bij schaal vegetatiepatronen. Model heeft kwalitatieve waarde in gebieden met kwel en inundatie. - GxGs kunnen goed ingeschat worden, maar kwelpatronen waarschijnlijk niet in gebieden waar inundatie optreedt.
Ondiepe klei- en leemlagen	- Ruimtelijke verbreiding bodemeigenschappen gebaseerd op onderzoek (van Delft e.a., 2017) (zie bodemkaart bijlage I). - Bodemeigenschappen gebaseerd op gegevens verzameld in onderzoeken van Delft e.a. (2017) en Nijp e.a. (2022a).	- Afhankelijk van huidige parameterisatie toplaag. Bij te laag ingeschatte weerstand in de toplaag worden grondwaterstanden te diep ingeschat, en de reactie van het grondwatersysteem op maatregelen overschat. - Ruimtelijke ligging van kwelgebieden niet goed beschreven.
Waterlopen	- Waterstanden up-to-date. - Ligging belangrijke drempels in orde. - Plaatsing stuw in 2018 - Toekennen aan modellaag op basis van insnijding.	Kwantitatieve interpretatie van uitvoer grondwatermodel onmogelijk, behalve voor locaties waar GxG overeenkomt met ecologische vereisten vegetatie.
Stagnatie regenwater en oppervlakte-afvoer	Plasdiepte en drempels voor oppervlakte-afvoer afleiden van AHN.	- GVG en GHG worden op en nabij natte locaties te droog ingeschat indien plasvorming niet wordt ingebouwd. - Overschatting kwelfuxen, onderschatting areaal met kwel.

2.2.3 Validatie

Kwantitatieve vergelijking model-waarneming

Bij de beoordeling van modellen wordt vaak gebruik gemaakt van numerieke beoordelingscriteria. Een criterium dat recentelijk veel wordt gebruikt is het Kling-Gupta model efficiëntie criterium (KGE) (Gupta *e.a.*, 2009). Bij dit criterium wordt met een drietal aspecten de kwaliteit van een model beoordeeld op basis van tijdreeksen.

In de context van grondwatermodellering zou dit neer komen op:

- 1 **Correlatie** tussen gesimuleerde en gemeten grondwaterstand: bij grote correlatie is er sterke samenhang en kunnen we meer vertrouwen hebben in het model.
- 2 **Systematisch verschil**: de (gemiddelde) afwijking tussen gesimuleerde en gemeten grondwaterstand; (i.e. de 'intercept' van een lineaire regressie tussen simulaties en observaties).
- 3 **Verschil in variabiliteit** en dynamiek tussen gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden door de tijd: indien beide tijdreeksen dezelfde variabiliteit vertonen, kunnen we meer vertrouwen hebben in het model.

Voor een scenario-analyse is het tevens van belang dat het model de reactie van het grondwatersysteem op ingrepen adequaat beschrijft. Dit betekent o.a. dat de factoren die niet-lineaire processen veroorzaken goed in het model verwerkt zijn. We gaan ervan uit dat dit geborgd is indien het grondwatermodel geschikt is voor het beschrijven van de ecohydrologische sleutelprocessen én indien aan bovenstaande drie criteria wordt voldaan.

Van belang in de validatie is dat er rekening gehouden wordt met het feit dat er in 2018 een stuw geplaatst is langs de rand van het Liefstingsbroek. Meetgegevens van grondwaterstanden vóór 2018 zijn daardoor ongeschikt voor validatie voor de huidige situatie. In 2021 is een nieuw meetnet in het Liefstingsbroek geïnstalleerd met ca 15 meetlocaties. Deze tijdreeksen zijn erg kort, en bovendien wijkt de gemodelleerde periode (1981 – 2010) af van de periode van de tijdreeksen (2021 – 2022). Bovenstaande kwaliteitscriteria kunnen dus niet direct gebruikt worden. Het correlatie-aspect valt daardoor af. Dynamiek en systematische afwijkingen kunnen wél worden vastgesteld op basis van geschatte GLG, GHG en GVG (op basis van tijdreeksmodellen, zie Nijp *e.a.* (2022a)). Als richtlijn is dit samengevat in Tabel 2.

De gesimuleerde grondwaterstanden kunnen vergeleken worden met:

- 1 Ecologische vereisten van aanwezige vegetatie volgens de vegetatiekaart. Vegetatie geeft een indicatie van de grondwaterstand ter plekke. Met het programma Waternood, ondergebracht in de Waterwijzer Natuur, kan ruimtelijk worden bepaald in welke mate de gesimuleerde GVG of GLG niet in overeenstemming is met standplaatscondities van aanwezige vegetatie. Plekken waar dat het geval is, kunnen aandachtspunten voor verbetering van het grondwatermodel uitlichten.
- 2 Tijdreeksen van stijghoogten in/om het Liefstingsbroek. In Nijp *e.a.* (2022a) is het grondwaterregime (GxG) voor de referentieperiode 2013 – 2021 (situatie met stuw) met tijdreeksanalyse geschat op basis van slechts 6 maanden aan meetgegevens. Ondanks de (zeer) korte tijdsperiode bleken de tijdreeksmodellen een behoorlijke voorspelkwaliteit te hebben. Met de nodige voorzichtigheid kunnen de geschatte GxG's dus gebruikt worden voor modelvalidatie. Daarnaast is het zinvol de gemodelleerde tijdreeksen te vergelijken met observaties.
- 3 De grondwatertrappenkaart kaart van van Delft *e.a.* (2017), opgesteld op basis van bodemkenmerken. Door deze kaart te vergelijken met gemodelleerde GxG kan worden vastgesteld waar een mismatch is. Belangrijk is dat deze kaart indicatief is voor de periode vóór de plaatsing van de stuw in 2018. De grondwatertrappenkaart wijkt daarom in belangrijke mate af van de huidige waterhuishouding.

Om deze vergelijkingen uit te kunnen voeren, raden wij aan om de huidige situatie (i.e. de hele rekenperiode) op drie manieren door te rekenen:

- Met plaatsing stuw in 2018, i.v.m. vergelijking op basis van (1) ;
- Met plaatsing stuw voor rekenperiode, i.v.m. vergelijking op basis van (2);
- Zonder plaatsing stuw, i.v.m. vergelijking op basis van (3).

Bij de algehele beoordeling van het model ligt de nadruk vooral op het begrijpen van de waterhuishouding in kwelzones. Daarom is een grotere afwijking in dekzandruggen toegestaan.

Plausibiliteitscheck huidige situatie op basis van veldkennis

Bij voorkeur worden grondwatermodellen ook gevalideerd op basis van fluxen of afvoeren. Omdat die niet/beperkt bekend zijn, adviseren wij een plausibiliteitscheck op basis van indrukken uit veldbezoeken en lokale observaties van b.v. de beheerder. Deze check kan uitgevoerd worden op basis van:

- Berekende drainagefluxen per waterloop, c.q. afvoer over stuwen. Deze moeten qua grootteorde overeenkomen met veldwaarnemingen.
- Stromingsrichtingen af te leiden van het freatisch vlak (stijghoogte t.o.v. NAP). Deze moeten overeenkomen met inzichten uit Nijp *e.a.* (2022a).
- Inundaties af te leiden van de GHG-kaarten. Deze moeten overeenkomen met indrukken uit veldwaarnemingen.

Tabel 2-3. Verantwoording voor detailniveau waarmee de kwaliteit van het grondwatermodel kan worden beoordeeld voor de uitgangssituatie. Het detailniveau van de interpretatie kan na zelfs kleine modelaanpassingen verbeterd worden. Dynamiek wordt in dit geval beschreven met GHG, GVG, en GLG.

Niveau	Beoordeling	Voorwaarde modelvoorspelling	Detailniveau interpretatie
1	Onvoldoende	Zowel absolute waarden als dynamiek worden slecht gesimuleerd voor <u>meer</u> dan de helft van het gebied.	Geen interpretatie mogelijk op de plekken waar dit het geval is. De kwaliteit van het model is onvoldoende om sleutelprocessen en de reactie van het grondwatersysteem op ingrepen te modelleren.
2	Onvoldoende	De absolute waarde voldoet, maar de dynamiek in grondwaterstand komt onvoldoende overeen met de werkelijkheid.	Geen interpretatie mogelijk op de plekken waar dit het geval is.
3	Matig	Zowel absolute waarden als dynamiek worden slecht gesimuleerd voor <u>minder</u> dan de helft van het gebied.	Kwalitatieve beoordeling model mogelijk in aaneengesloten deelgebieden waar wél wordt voldaan.
4	Goed	De absolute waarde klopt niet, maar de dynamiek in grondwaterstand voldoet voor het grootste deel van het gebied.	Kwantitatieve effectvoorspelling mogelijk na correctie voor systematisch verschil; kwalitatieve beoordeling zonder correctie.
5	Zeer goed	Zowel de absolute waarde en dynamiek voldoen in het grootste deel van het gebied.	Kwantitatieve effectvoorspelling.

2.2.4 Plausibiliteit scenario's

De voorgaande secties zijn ingegaan op het toetsen van de kwaliteit van het grondwatermodel voor de huidige situatie. Een model dat de huidige situatie goed weergeeft biedt nog geen garantie voor plausible resultaten in scenario-analyse. Met verschillende parameterisaties kan namelijk dezelfde uitkomst tot stand komen (Beven, 2006) in de referentiesituatie, maar kan het model belangrijke verschillen vertonen in scenario's. Daarom is het van belang ook de plausibiliteit van scenario's te toetsen. Het is daarom van belang om van tevoren hypothesen op te stellen van de uitwerking van maatregelen op grondwaterdynamiek en waterbalanscomponenten. Vervolgens kan worden

nagegaan of de uitkomsten overeenkomen met de hypothese, of er een logische verklaring voor een afwijking is, of dat resultaten onverklaarbaar zijn.

Onderstaand is een voorzet voor hypothesen gegeven:

- Het dempen/verondiepen van een waterloop leidt tot ondiepere GHG maar met name ondiepere GLG in de omgeving van de betreffende waterloop, tenzij de sloot tijdens droge perioden infiltreert.
- Het dempen/verondiepen van een waterloop leidt tot een lagere afvoer van de betreffende waterloop in natte perioden en tot een hogere basisafvoer in droge perioden: laterale grondwaterverliezen worden door de tijd gestabiliseerd.
- Door het dempen van waterlopen wordt de afvoer vanuit het Liefstinghsbroek vertraagd en houdt het gebied langer water vast. Dit komt in het model tot uiting tot langdurigere hogere grondwaterstanden.
- Door het dempen van een waterloop die basenrijk grondwater draineert verlegt de kwelstroom zich naar de omgeving, m.n. lagere delen van het maaiveld.

2.2.5 Vereiste modeluitvoer

Voor ieder scenario (zowel referentiesituatie als de maatregelpakketten) is specifieke modeluitvoer nodig om de modelkwaliteit te beoordelen en een effectvoorspelling te kunnen maken. De informatie die beschikbaar dient te komen is samengevat in Tabel 2-4.

Tabel 2-4. Overzicht vereiste modeluitvoer voor zowel huidige situatie als scenario's. Zomer en winter zijn gedefinieerd als de respectievelijk de maanden juni, juli, augustus en december, januari, februari.

Gebiedsdekkende kaarten (rasterbestanden, ascii**) met per modelcel (behalve in waterlopen) voor het Liefstinghsbroek
- a GLG, GVG, GHG (in m-mv, voor de periode 2013 – 2021). - b Kwel/wegzijgingsflux (waarbij kwel een positieve waarde heeft) voor periode 2013 – 2021, bij voorkeur op twee dieptes (4 m-mv en 1 m-mv) • Gemiddelde (mm/d) voor de winter • Gemiddelde (mm/d) voor de zomer • Jaargemiddelde (mm/d) - c Freatisch vlak voor (een dag in) februari 2022 en augustus 2021 - d Rasterbestanden voor laagopbouw (tops en bottoms ten opzichte van maaiveld)
Waterbalanscomponenten op jaarbasis en voor de winter- en zomerperiode
Per stuw, waterloop of drempel in/grenzen aan het Liefstinghsbroek / die aan bod komt als herstelmaatregel: • Gemiddelde drainageflux c.q. afvoervolumes (mm en m³; zowel per jaar, winter, als zomer, per jaar)
Tijdreeksfiguren (op dagbasis) en databestanden (bv .csv) van gemodelleerde en waargenomen stijghoogten en grondwaterstanden

** Uitgelijnd op projectie Amersfoort RD (EPSG:28992), zoals gebruikelijk is.

De kaarten onder a en b vormen, naast een wezenlijk onderdeel van de beoordeling van modelkwaliteit, de basis voor effectvoorspelling met behulp van de Waterwijzer Natuur en de Waterwijzer Landbouw (Mulder *e.a.*, 2018; Witte *e.a.*, 2018; Nijp *e.a.*, 2022b).

2.3 Tot slot

Per definitie is een model een versimpeling van de werkelijkheid. Het is dan ook geen uitzondering dat resultaten van grondwatermodellen behoorlijk afwijken van de werkelijkheid. Vaak is die afwijking al zo groot, dat het geen zin heeft om van tevoren een maximaal toelaatbare afwijking te definiëren. Dat is dan ook niet gedaan in dit programma van eisen. Ondanks de gebreken is het de kunst om te bepalen welke conclusies wél getrokken kunnen worden op basis van modelsimulaties. De kwaliteitsbeoordeling in dit programma van eisen biedt houvast om ruimtelijk vast te stellen op welk detailniveau uitkomsten van een grondwatermodel gebruikt kunnen worden, aansluitend bij de ecohydrologische toepassing in het Liefstinghsbroek.

Grondwatermodellering is een iteratief proces. Afhankelijk van de noodzaak, de planning, het budget, en de verwachte verbetering, kan worden besloten om modelaanpassingen door te voeren in delen van het gebied waar niet of in beperkte mate wordt voldaan aan de beoordelingscriteria. Vaak kan met beperkte middelen na een eerste slag al een flinke verbetering worden bereikt.

3 Beoordeling grondwatermodel

De totstandkoming en eigenschappen van het grondwatermodel is beschreven in van Immerzeel en Holtus (2022). De resultaten van de gesimuleerde huidige situatie zijn gebruikt om te bepalen in hoeverre het model voldoet aan het programma van eisen zoals geformuleerd in Hoofdstuk 2. De mate waarin daaraan voldaan wordt is sturend voor het detailniveau waarop het grondwatermodel en de scenario's geïnterpreteerd kunnen worden. Het beoordelingsonderdeel 'plausibiliteit scenario's' komt in Hoofdstuk 4 aan bod.

3.1.1 Beoordeling: Conceptueel model & modeluitvoer

De gemodelleerde processen, laagopbouw en parameterisatie van het grondwatermodel (modelconcepten) zijn vergeleken met de criteria in het programma van eisen (Tabel 3-1). Hieruit komt naar voren dat het model voldoet aan de meeste criteria, en veel belangrijke veranderingen zijn doorgevoerd om het model te verbeteren. De belangrijkste tekortkoming is dat het onmogelijk was om met beschikbare middelen een verfijning van de modelresolutie toe te passen naar 5x5 meter.

Daarnaast is niet geheel voldaan aan de eis om fluxen te berekenen op de gewenste diepte in de ondergrond. De verticale flux is niet op een diepte van ca 4 m-mv afgeleid, maar in plaats daarvan ongeveer 1 m boven de potklei, wat veelal dieper dan 7 m-mv betreft. De verticale flux is een indicator voor opwaarts transport van gebufferd grondwater, afkomstig van in potentie kalkrijke afzettingen. De stroomsnelheid van grondwater neemt met de diepte af. Doordat de flux op grotere diepte bepaald wordt, zal de grootte ervan een onderschatting zijn van de werkelijke flux.

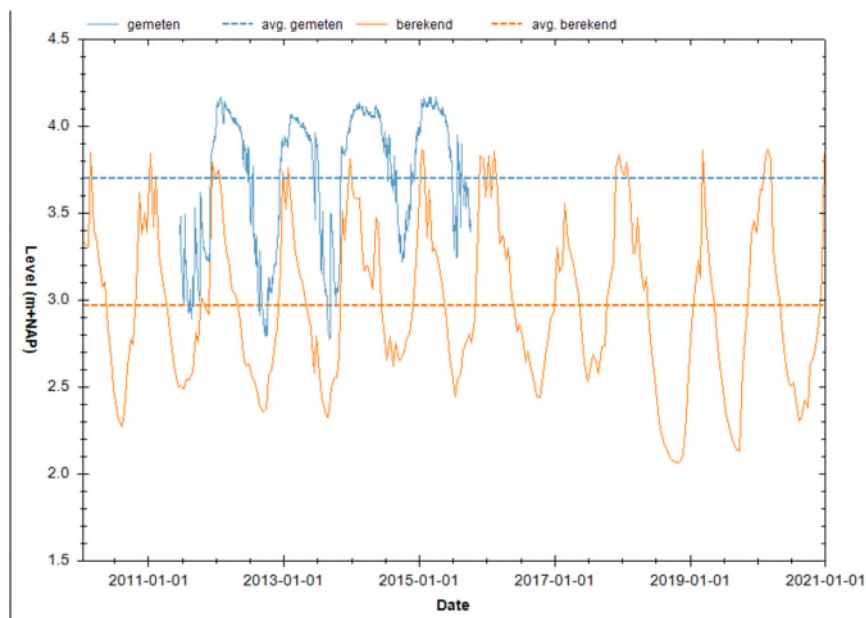
Verder omvat de simulatieperiode niet het jaar 2021 waarvan ook een half jaar aan meetgegevens van circa 20 peilbuisfilters beschikbaar is. Hierdoor is een één-op-één vergelijking met metingen niet mogelijk, maar slechts met afgeleide karakteristieken daarvan voor een selectie van deze filters waarvoor met voldoende betrouwbaarheid een tijdreeksmodel kon worden opgesteld (Nijp *e.a.*, 2022a). Zie voor meer informatie Tabel 3-1.

Tabel 3-1. Overzicht aspecten met betrekking tot conceptuele model waaraan zou moeten worden voldaan voor adequate modelbeoordeling. Een groen vinkje geeft aan dat volledig wordt voldaan aan het opgestelde criterium, een geel vinkje dat dit (groten)deels het geval is, en een rood kruis dat niet wordt voldaan.

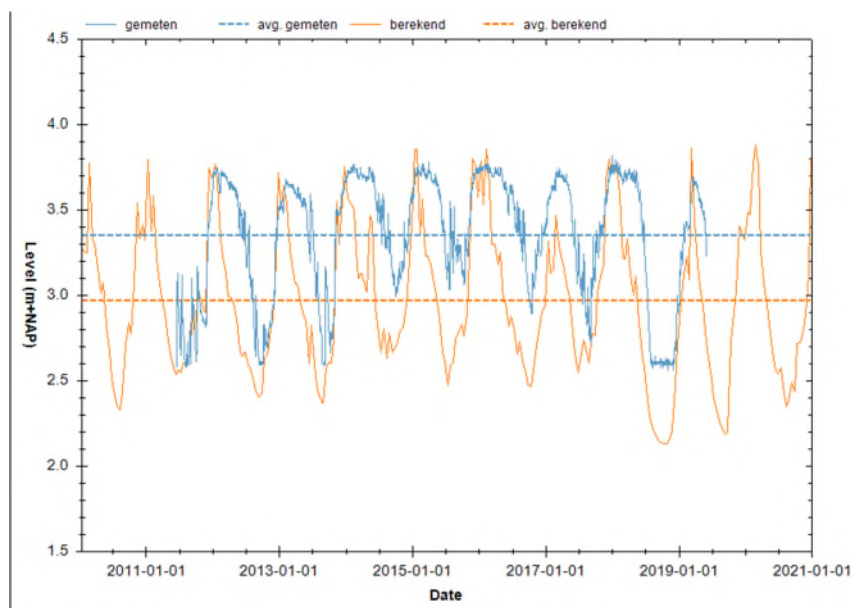
Aspect	Criterium	Toepassing in model	Consequenties
Rekenperiode 	2013-2021 voor spiegelen aan referentiegegevens en afleiden GxG.	De rekenperiode is 2013 – 2020.	- Geen overlap met recente meetgegevens: modelvalidatie beperkt. - Ruis in vergelijking gemodelleerd-waargenomen GxG.
Laagopbouw 	- Laagovergang op ~4 m diepte: flux over modellaag is indicatie voor basenrijke kwel. - Laagovergang op ~1 m diepte: flux over modellaag is indicatie voor kwel naar wortelzone.	- Op 1.2 m-mv is een nieuwe laag onderscheiden en voldoet aan het criterium. - De laag op ~4 m-mv is niet aangebracht maar wordt gebruik gemaakt van de ligging van modellaag 3. Deze bevindt zich op ca. 1 m boven de potklei. Hier varieert de positie ten opzichte van maaiveld.	- De verticale grondwaterstroming hangt af van de diepte. Gezien de diepte waarop de grondwaterflux op ca ~4 m-mv berekend wordt nu niet constant is, kan niet met zekerheid gesteld worden waardoor ruimtelijke verschillen in kwelflux veroorzaakt worden. - Belangrijk is dat de kwelflux berekend is op een grotere diepte, ca >7 m-mv, waar de stroomsnelheid geringer is. Het verschil in diepte leidt er daardoor toe dat de kwel/wegzijgingsflux op ca 4-mv onderschat wordt.
Resolutie 	5x5 m voor expliciet modelleren van sturende hydrologische processen. (alternatief) Neerschalen GxG naar 5x5 m op basis van AHN.	De resolutie van modelinvoer is 25 meter in plaats van 5 meter.	- Gradiënten worden uitgevlakt; modeluitvoer past niet bij schaal vegetatiepatronen. Model heeft alleen <u>kwalitatieve waarde in gebieden met kwel en inundatie</u>. Met name periodieke kwel naar randen in laagten met plasvorming zal worden onderschat. - GxGs kunnen redelijk ingeschat worden, maar kwelpatronen waarschijnlijk niet in gebieden waar plasvorming optreedt. Op grenzen van 25x25m cellen treedt bij verfijning van AHN een sprong op in GxG en kwel.
Ondiepe klei- en leemlagen 	Ruimtelijke verbreiding bodemeigenschappen gebaseerd op onderzoek (van Delft e.a., 2017) Bodemeigenschappen gebaseerd op gegevens verzameld in onderzoeken van Delft e.a. (2017) en Nijp e.a. (2022a).	Op basis van boringen, bodemkaart, eigenschappen van bodemfysische eenheden, en expertkennis, is een ruimtelijk variabele weerstand in de toplaag aangebracht in het Liefstingsbroek.	Buiten de Natura-2000 begrenzing van het Liefstingsbroek is <u>geen</u> verfijning aangebracht. Indien daar kleilagen aanwezig zijn, wordt de weerstand in de toplaag te klein ingeschat en stroomt water makkelijker naar de omgeving. Een groot deel van het gebied is afgeplagd, waardoor deze toplaag mogelijk verwijderd is.
Waterlopen 	- Waterstanden up-to-date. - Ligging belangrijke drempels in orde. - Plaatsing stuw in 2018. - Toekennen aan modellaag op basis van insnijding.	Waterlopen gebaseerd op recente informatie Waterschap, ligging drempels is afgestemd, er wordt rekening gehouden met plaatsing stuw in 2018. Drainage toegekend aan meerdere modellagen en insnijding.	Geen.
Stagnatie regenwater en oppervlakte-afvoer 	Plasdiepte en drempels voor oppervlakte-afvoer afleiden van AHN.	Drempels zijn afgestemd; ruimtelijk variabele plasdiepte is ingebouwd gebaseerd op AHN en gebiedskennis.	Geen.

3.1.2 Beoordeling: Validatie

Om te bepalen of de gemodelleerde grondwaterstanden en de dynamiek ervan plausibel zijn, is de gemodelleerde grondwaterstand vergeleken met observaties. Voor slechts twee buizen was overlap van meetperiode om de gesimuleerde dynamiek in meer detail te vergelijken (Figuur 3-1, Figuur 3-2). Allereerst komt naar voren dat de gesimuleerde grondwaterstand voor beide buizen doorgaans veel dieper is dan de gemeten grondwaterstand. Dit is met name het geval voor B13D1040002. Het bereik van de gesimuleerde grondwaterstanden (amplitude) is voor sommige jaren wel gelijk aan de observaties (2012 en 2013), maar doorgaans wordt met name een te diepe uitzakking van de grondwaterstand gesimuleerd. Ten opzichte van het gemiddelde is de uitzakking van de metingen groter dan in het model. Uit gemeten reeksen blijkt daarnaast dat de grondwaterstand gedurende lange periode stabiel ondiep blijft. Dit contrasteert sterk met de eerder startende daling van grondwaterstanden die in het model naar voren komen. Als gevolg van deze vervroegde daling kan de grondwaterstand ook langduriger dalen en daarmee dieper uitzakken. De grondwaterdynamiek wordt daarmee onvoldoende gesimuleerd. Een mogelijke oorzaak daarvan is dat de stagnatie van regenwater in het Liefstingsbroek, ondanks de aanpassingen in het model, niet goed ondervangen worden.



Figuur 3-1. Tijdreeks voor peilbuis B13D1040002, gemeten (blauw) en berekend (oranje). Overgenomen uit van Immerzeel en Holtus (2022).



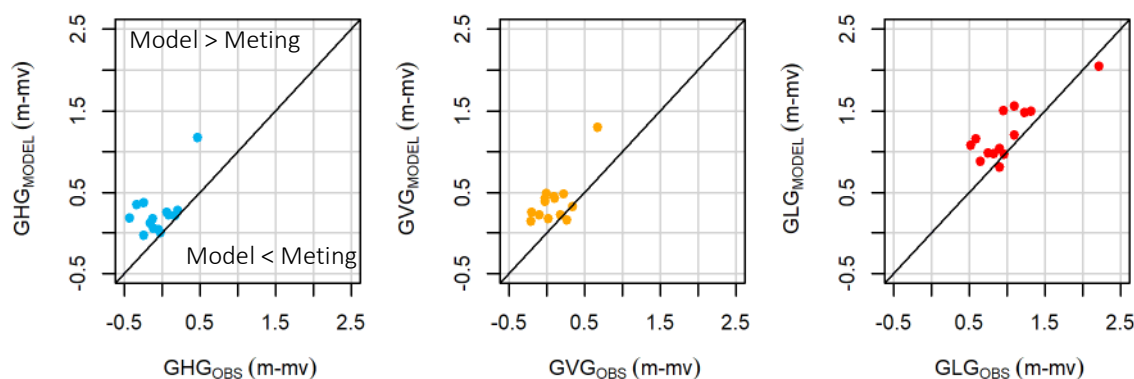
Figuur 3-2. Tijdreeksen voor peilbuis B13D1044001, gemeten (blauw) en berekend (oranje). Overgenomen uit van Immerzeel en Holtus (2022).

Aanvullend op de twee langlopende meetreeksen die hiervoor beschreven zijn, is een vergelijking gemaakt van gesimuleerde grondwaterdynamiek met uit tijdreeksmodellen afgeleide grondwaterkarakteristieken (GxG) gebaseerd op 14 tijdreeksen van grondwater gedurende de periode april – november 2021 voor ondiepe filters (doorgaans ~1.5 m-mv) uit Nijp *e.a.* (2022a). De beoordeling van de tijdreeksmodellen is beschreven in Nijp *e.a.* (2022a), waarin reeds genoemd is dat deze periode eigenlijk (veel) te kort is voor het opstellen van een tijdreeksanalysemodel; desalniettemin bleek de kwaliteit van de modellen van ruim voldoende kwaliteit om de geobserveerde dynamiek te beschrijven. Deze GxG's zijn daarmee indicatief voor de waterhuishouding na 2018, nadat de stuw geplaatst was.

De gesimuleerde GxG is gebaseerd op de waterhuishouding en het klimaat in de periode 2013 – 2020, en houdt rekening met verandering in waterhuishouding als gevolg van plaatsing stuw in 2019. De GxG is bepaald voor modellaag 2 (ook freatisch), waarin filters geplaatst zijn, een maaiveldhoogte op 5 m resolutie en modeluitvoer lineair geïnterpoleerd naar 5 m), terwijl de GxG uit het tijdreeksmodel gebaseerd is op de waterhuishouding in 2021 en het klimaat van 2013 – 2020. De GxG uit het tijdreeksmodel bevat impliciet de plaatsing van de stuw in de westpunt van het Liefstingsbroek, en leidt tot een systematisch ondiepere GxG dan de modelsimulaties. Dat vertroebelt deze vergelijking, maar blijft desalniettemin indicatief. In de vergelijking interpretern we de grondwaterstanden uit de tijdreeksanalyse als 'gemeten'.

De vergelijking tussen 'gemeten' en gemodelleerde GxG is weergegeven in Figuur 3-3. Indien alle punten op de lijn vallen, komen simulaties van het grondwatermodel perfect overeen met metingen; punten die boven de lijn vallen geven een overschatting van het grondwatermodel weer. Uit deze validatie komt naar voren dat het grondwatermodel alle grondwaterkarakteristieken systematisch te diep inschat. Voor de GHG, GVG en GLG is deze overschatting gemiddeld respectievelijk 30, 30, en 23 cm. Desalniettemin is de onderschatting op een aantal plekken in het Liefstingsbroek ook fors groter en kan oplopen tot meer dan 50 cm (van Immerzeel & Holtus, 2022). Voor habitattypen blauwgrasland is in het Waterlood instrumentarium, onderdeel van de Waterwijzer Natuur (Runhaar *e.a.*, 2002; Witte *e.a.*, 2018), bijvoorbeeld het optimale bereik van GVG gedefinieerd van 0 tot 18 cm beneden maaiveld, en komt het type niet meer voor als de GVG meer dan 10 cm boven maaiveld of 30 cm beneden maaiveld uitkomt. Zeker voor de specifieke ecologische eisen die grondwaterafhankelijke natuur aan het grondwaterregime stelt, is deze afwijking dus aanzienlijk. Daar komt bij dat door plaatsing van de stuw in 2018 de grondwaterstand mogelijk ondieper zal zijn geworden. Naar verwachting is het effect maximaal 10 cm, en is de werkelijke afwijking tussen model en observaties dus maximaal circa 10 cm kleiner.

De correlatie tussen gesimuleerde en ‘geobserveerde’ GLG en GVG is sterk en significant ($r = 0.83$ en $r = 0.70$; $P < 0.001$). Voor GHG is de correlatie wat lager maar nog behoorlijk ($r = 0.57$).



Figuur 3-3. Validatie van gesimuleerde grondwaterkarakteristieken ($n = 14$) voor ondiepe freatische filters. Op de x-as staat de ‘gemeten’ grondwaterkarakteristiek, afgeleid uit tijdreeksmodellen (Nijp e.a., 2022a) van peilbuizen in het gebied (gebaseerd op weer voor periode 2013 – 2021 en metingen uit 2021). Op de y-as staat de gesimuleerde grondwaterkarakteristiek voor 2013 – 2020. Indien alle meetpunten op de lijn vallen, komen simulaties perfect overeen met metingen; punten die boven de lijn vallen geven een overschatting van het model weer. GVG = gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand ten opzichte van maaiveld (negatieve waarden boven maaiveld), GLG = gemiddelde laagste grondwaterstand, GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand.

3.1.3 Beoordeling: Plausibiliteit huidige situatie

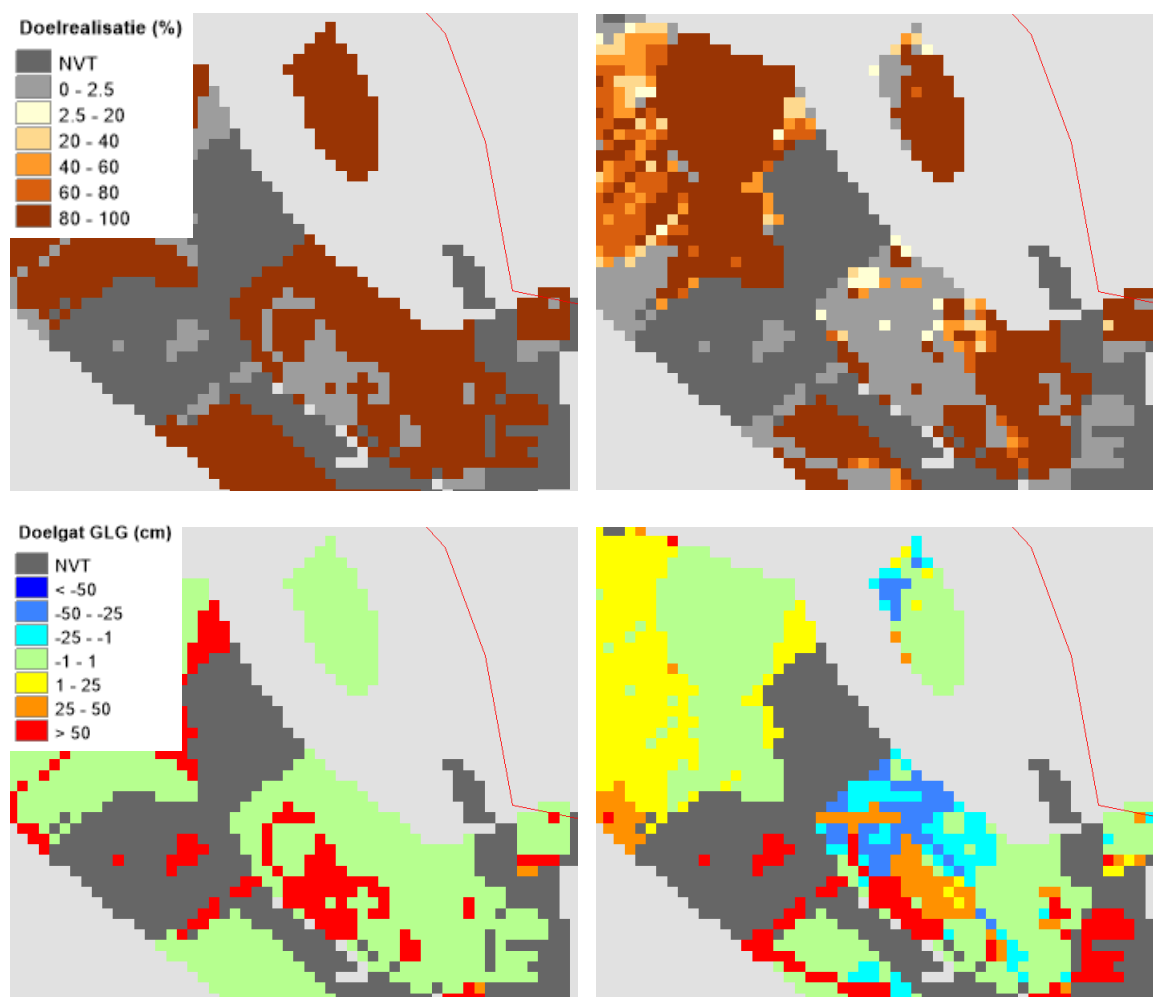
De ruimtelijke patronen van grondwaterdynamiek en kwelzones (Figuur 4-4, Figuur 4-6, Figuur 4-8) zijn consistent met wat verwacht kan worden op basis van vegetatie, veldwaarnemingen, en systeembegrip zoals beschreven in Nijp e.a. (2022a) en van Delft e.a. (2017). De grondwaterstanden zijn daarentegen systematisch te laag ingeschat. Voor ecohydrologische effectvoorspelling, zeker in natte ecosystemen, vormt dat een knelpunt. Verder blijkt ook dat oppervlakkige afvoer via maaiveld in de huidige wintersituatie slechts een beperkte afvoercomponent is (Figuur 4-13). Dit strookt niet met de observatie dat een groot deel van het Liefstingsbroek in de winter met een diepe waterlaag bedekt is, wat een verklaring is voor de te vroeg uitzakkende grondwaterstand in het grondwatermodel. Anderzijds zijn er geen afvoermetingen van bijvoorbeeld de stuw in de westpunt om dit te ondersteunen. Ook heeft de gemodelleerde afvoer over maaiveld betrekking op een periode vóór plaatsing van de stuw, waarin deze waterbalanscomponent naar verwachting een beperktere rol speelde.

3.1.4 Toetsing grondwatermodel aan ecologische vereisten vegetatie

Met behulp van Waternood, ondergebracht in de Waterwijzer Natuur, is bepaald in hoeverre de gesimuleerde GVG en GLG overeenkomen met de ecologische vereisten van de vegetatie. Vegetatie stelt specifieke eisen aan de omgeving, en is daarmee een indicator van de abiotische condities. Als de gesimuleerde grondwaterstand niet overeenkomt met wat men op basis van de aanwezige vegetatie zou verwachten, kan dat een indicatie zijn voor tekortkomingen van het grondmodel voor specifieke deelgebieden.

De gesimuleerde GLG en GVG zijn daartoe vergeleken met de vegetatiekartering uit 2020 (Figuur 3-4). Hieruit komt naar voren dat met name in de lagere delen van het Liefstingsbroek de GLG door het model ruimschoots dieper wordt ingeschat dan wat verwacht zou mogen worden op basis van eigenschappen van de vegetatie. Voor de overige en met name de hoge delen valt de GLG binnen de grenzen van de vereisten van de vegetatie. De gesimuleerde GVG wordt in het zuidelijke deel te diep ingeschat op basis van de aanwezige vegetatie, maar in het noordelijke deel juist weer ruimschoots te ondiep. Dat laatste komt slecht overeen met het beeld dat de vergelijking met recente meetreeksen oplevert. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door de recente plaatsing van de stuw, waar de vegetatie

op gereageerd zou kunnen hebben. Sommige vegetaties reageren snel op milieuveranderingen, met name pioniersvegetaties. Doorgaans wordt aangenomen dat het enkele jaren duurt voordat vegetatie verandert door recente veranderingen in standplaatscondities. Dat betekent dat de vegetatie in 2020 de standplaatscondities van een meerjarige periode reflecteert en waarschijnlijk een groot deel van de simulatieperiode bestrijkt. Daarentegen blijkt uit gedocumenteerde veldbezoeken (Jalink, 2019) dat vegetatie verandert en verzuurt, waarschijnlijk door het vasthouden van regenwater. De plaatsing van de stuw heeft waarschijnlijk geleid tot veranderingen in waterhuishouding en in potentie in verschuiving van vegetatie, die de vergelijking met modelresultaten compliceert.



Figuur 3-4. Doelrealisatie (bovenste rij) en doelgat (onderste rij) voor GLG (links) en GVG (onderste rij). Het doelgat geeft weer hoeveel de gemodelleerde grondwaterstand te diep (rood) of ondiep (blauw) is voor de aanwezige vegetatie.

3.1.5 Conclusie modelbeoordeling

In conclusie wordt het model geschikt bevonden voor een kwalitatieve modelbeoordeling. Scenario's kunnen geordend worden in volgorde van het meest tot minst bevorderlijke gevolgen van veranderingen in waterhuishouding voor natuur in het Liefstingsbroek. Grondwaterstanden, kwelfluxen, veranderingen daarin als gevolg van scenario's, en veranderingen in natuurpotenties kunnen daarmee alleen categorisch worden benaderd. Deze conclusie heeft ook gevolgen voor de weergave van resultaten in het volgende hoofdstuk. Deze zijn zodanig opgesteld dat ze een al te precieze interpretatie verhinderen. Zo wordt de grondwaterstand bijvoorbeeld ingedeeld in categorieën in plaats van een continue schaal.

Ondanks de tekortkomingen komen ruimtelijke patronen van grondwaterstanden en kwelfluxen kwalitatief overeen met veldkennis en systeembegrip zoals dat gedocumenteerd is in van Delft e.a. (2017) en Nijp e.a. (2022a). Zo worden bijvoorbeeld kwel en ondiepe grondwaterstanden aangetroffen op plekken waar dat verwacht mag worden op basis van wat de vegetatie indiceert en meetreeksen weergeven. In kwalitatieve zin zijn de resultaten daarmee als plausibel beoordeeld.

Het conceptuele grondwatermodel zou geschikt geacht worden voor een kwantitatieve effectvoorspelling als de gemeten en berekende grondwaterstanden en stijghoogten voldoende overeenkwamen. Uit de validatie met tijdreeksen van gemeten grondwaterstanden kwam echter naar voren dat grondwaterstanden structureel te diep worden ingeschat en de dynamiek onvoldoende overeenkomt met de metingen. Op basis van deze bevindingen wordt geconcludeerd dat het grondwatermodel onvoldoende presteert om een kwantitatieve ecohydrologische effectvoorspelling toe te laten.

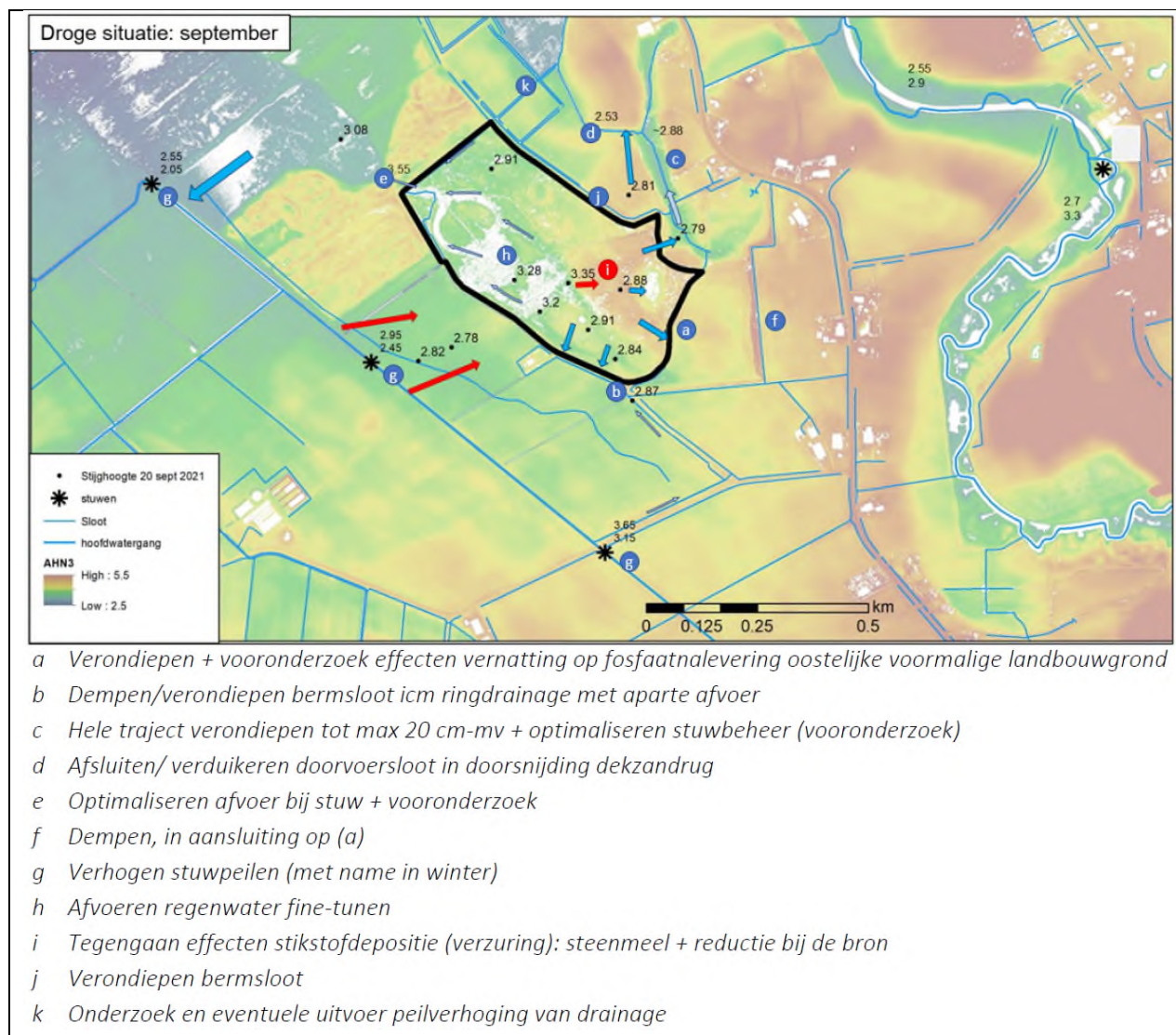
Het is de vraag of het met de beschikbare gegevens van o.a. de bodemopbouw en maaiveldafvoer en met beperkte inspanning mogelijk is het model veel verder te verbeteren. De bodem in de lage delen van het Liefstingsbroek is namelijk uitermate complex. Daarnaast wordt oppervlakkige afvoer over maaiveldonvoldoende meegenomen, en vraagt de voorspelling van verschuiving in natuurpotenties voor vegetaties als blauwgrasland een hoge nauwkeurigheid en grote eisen aan een grondwatermodel.

4 Resultaten grondwatermodellering

4.1 Beschrijving scenario's

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe, volgens de grondwatermodellering, waterhuishoudkundige maatregelen doorwerken op de waterhuishouding en ecohydrologie in het Liefstingsbroek. In 2021 is onderzoek uitgevoerd dat de kansen en knelpunten voor het Liefstingsbroek in kaart heeft gebracht (Nijp *e.a.*, 2022a). In dat onderzoek zijn maatregelen voorgesteld die de waterhuishouding en natuurwaarden van het Liefstingsbroek zouden kunnen verbeteren (zie Figuur 4-1). In deze paragraaf wordt beschreven hoe combinaties van deze maatregelen zijn omgezet in scenario's. In (van Immerzeel & Holtus, 2022) is beschreven hoe de scenario's technisch in het grondwatermodel zijn opgenomen en welke aanpassingen daarvoor zijn gemaakt.

Daarnaast zijn aandachtspunten die van belang zijn voor de interpretatie van grondwaterstandsveranderingen en kwelfluxen behandeld in Hoofdstuk 3. Deze aandachtspunten komen in dit hoofdstuk niet terug; we richten ons alleen op de interpretatie van de modeluitkomsten, zoals die beschikbaar is.



Figuur 4-1. Overzicht en ligging van 11 maatregelen ter bevordering waterhuishouding Liefstingsbroek. Overgenomen uit Nijp *e.a.* (2022a). 9 ervan zijn hydrologische maatregelen.

Uit Figuur 4-1 komt naar voren dat er talloze unieke combinaties van denkbare maatregelen mogelijk zijn (om precies te zijn: $9! = 362880$). Het is uiteraard weinig zinvol en overzichtelijk om alle unieke combinaties door te rekenen. Daarom zijn een aantal maatregelenpakketten opgesteld op basis van een denkkader en twee uitgangspunten:

- 1 Het eerste uitgangspunt is dat het weinig zin heeft enkel in de regio maatregelen te nemen indien er intern niets veranderd wordt. Daarnaast zullen ingrepen in de waterhuishouding verder buiten het natuurgebied ingrijpender zijn voor de belanghebbenden in de omgeving van het Liefstingsbroek. Ook vanuit dat perspectief is het dus zinvol om eerst te bepalen in hoeverre interne maatregelen de standplaatscondities voor natuur kunnen verbeteren alvorens buiten het natuurgebied in te grijpen. De scenario's zijn dus opgebouwd van lokale / 'interne' maatregelen, tot maatregelen die verder de omgeving rondom het Liefstingsbroek in reiken.
- 2 Een tweede uitgangspunt is dat, in deze oriënterende fase, het vergroten van potenties voor natuur prioriteit heeft. Hierbij wordt dus nog geen rekening gehouden met eventuele hinderlijke neveneffecten en praktische bezwaren voor de omgeving. Er wordt vanuit gegaan dat, indien maatregelen positief doorwerken op natuur maar negatief op de omgeving, er compenserende maatregelen getroffen kunnen worden om deze effecten tegen te gaan. Dat betekent dat de ingrepen in de scenario's fors zijn, maar daarmee ook bepalen wat maximaal haalbaar is. Deze ingrepen kunnen in de praktijk daarmee lastig uitvoerbaar zijn, maar met een dergelijk extreem scenario kan worden bepaald of het met maximale inspanning lukt om natuurpotenties te verbeteren. Als namelijk blijkt dat het zelfs dan niet haalbaar is, zouden ingrepen in de waterhuishouding weinig zinvol zijn. Het betreft dus meer een gevoeligheidsanalyse dan een analyse van afgewogen scenario's.

Met de opdrachtgever is afgesproken om een drietal scenario's door te rekenen. Hierbij is op basis van bovenstaande uitgangspunten een zeer lokaal en minder ingrijpend scenario opgesteld, een tussenvariant en een extreme variant waarbij zoveel mogelijk maatregelen uitgevoerd worden (Tabel 4-1). Wat volgt is een gedetailleerdere beschrijving van de scenario's.

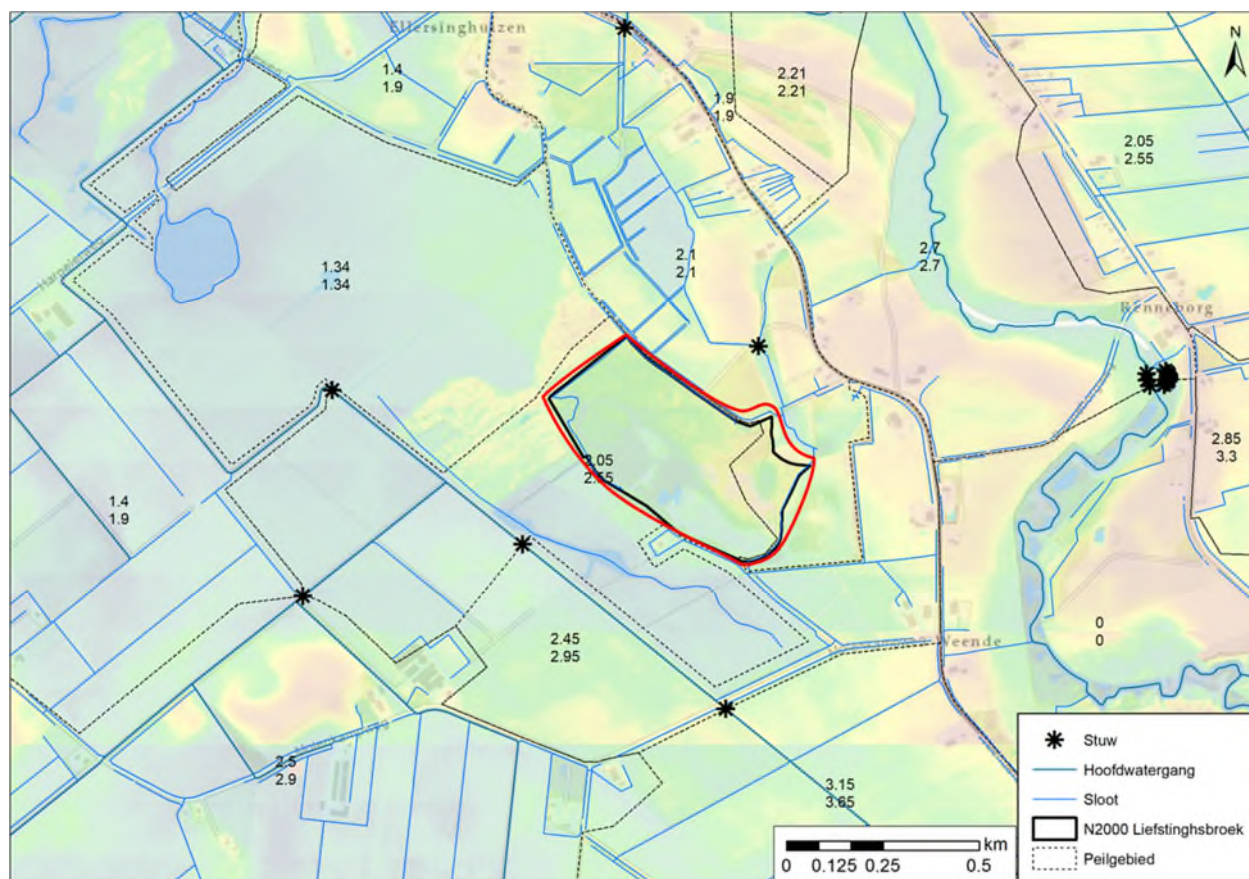
Tabel 4-1. Overzicht scenario's en korte beschrijving

Scenario	Beschrijving	Redenatie
1	Alle sloten grenzend aan Liefstingsbroek worden gedempt	Minimale variant van hydrologisch herstel (lokaal)
2	1 + dempen sloten omgeving	Tussenvariant met hydrologisch herstel in de regio
3	2 + stuwpeilen waterschapsleiding verhogen	Hydrologisch herstel in de regio inclusief effect van waterschapsleiding op waterhuishouding Liefstingsbroek.

4.1.1 Scenario 1 – Randsloten dempen

In dit scenario worden alleen de waterlopen langs de Natura-2000 begrenzing van het Liefstingsbroek gedempt (Figuur 4-2). Dit is de minimale variant van ingrepen en zal weinig uitstraling hebben naar de omgeving. Interne 'sloten en greppels' (in noordwestelijk deel van het gebied) zijn echter niet uit het model verwijderd. De gedachtegang daarvoor is dat dit ook grotendeels natuurlijke laagten in het gebied omvat, en bovendien de afvoer via deze sloten bepaald wordt door de stuw in de westpunt van het Liefstingsbroek.

In plaats van het dempen van waterlopen had ook een peilverhoging kunnen worden opgenomen als scenario. Dit sluit niet aan bij het doel van de scenario's, waarbij het uitgangspunt is om te bepalen wat maximaal haalbaar is.



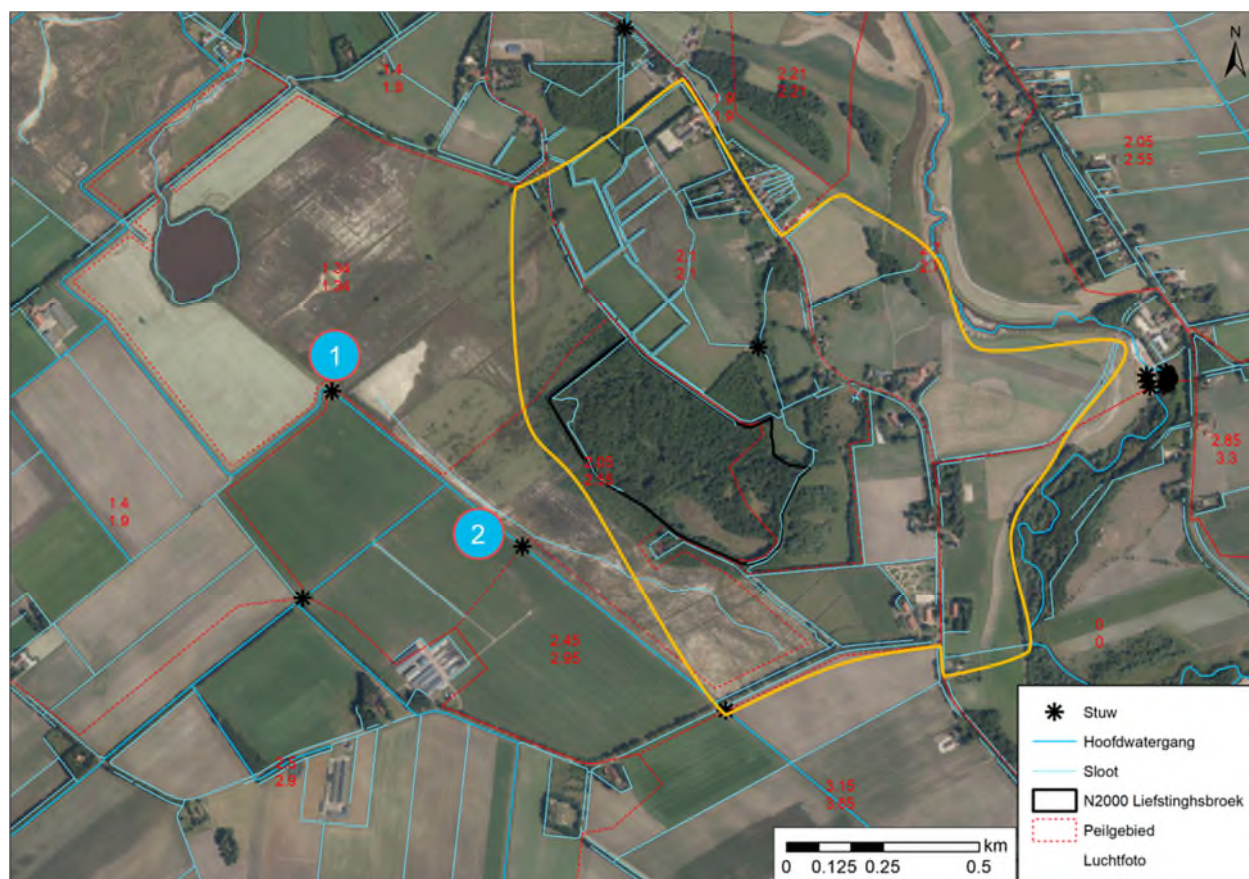
Figuur 4-2. Overzicht van ligging Liefstingsbroek in relatie tot waterlopen (blauwe lijnen), peilvakken (gestreepte zwarte lijnen) en maaiveldhoogte (kleuren: blauw is laag, rood is hoog gelegen). De rode polygoon geeft indicatief weer welke randsloten gedempt zijn in Scenario 1.

4.1.2 Scenario 2 – Ook sloten omgeving dempen

In het tweede scenario worden niet alleen de randsloten gedempt, maar ook die in de omgeving van het Liefstingsbroek. Belangrijk is dat deze maatregelen ook getroffen zijn in het Barkeveen. Het grootste deel van deze waterlopen bevindt zich in of op de grens van dit natuurgebied in beheer van Natuurmonumenten (zie Bijlage III). Dit maatregelenpakket is een combinatie van praktisch alle voorgestelde maatregelen door Nijp *e.a.* (2022a).

Ook de waterlopen grenzend aan de Ruiten Aa zijn gedempt. Deze bevinden zich aan de andere kant van de waterscheiding (de zandruggen ten westen van de Ruiten Aa) en liggen niet in hetzelfde deelgebied als het Liefstingsbroek. Desalniettemin beïnvloeden ze in potentie wel de opbolling en aanvoer van grondwater naar het Liefstingsbroek vanuit deze dekzandrug. Daarom is er voor gekozen ook deze sloten te dempen in dit scenario.

Van de twee waterlopen aan zuidelijke rand van de gele polygoon is met luchtfoto's bevestigd dat ze behoren tot het peilgebied van de middelste stuw ten zuiden van het Liefstingsbroek. Daarom zijn ook deze waterlopen gedempt in het scenario.



Figuur 4-3. Gedempte waterlopen in Scenario 2 (alle waterlopen binnen de gele polygoon). Waterlopen zijn weergegeven met blauwe lijnen, peilvakken met gestreepte rode lijnen. De rode getallen geven zomerpeil (boven) en winterpeil (onder) in de betreffende peilvakken weer (m+NAP). De cirkels met getallen geven de stuwen in Scenario 3 weer.

4.1.3 Scenario 3 – Ook peil waterschapsleiding ophogen

Scenario 3 is hetzelfde als Scenario 2, met als aanvullende maatregel dat het peil van een tweetal stuwen wordt opgehoogd waarvan de peilvakken in de invloedssfeer van het Liefstingsbroek liggen (Figuur 4-3). In de waterschapsleiding wordt een omgekeerd peil gehanteerd, waardoor de winterpeilen lager zijn dan de zomer. Met name het winterhalfjaar, de periode waarin in het natuurgebied basenrijke kwel zou moeten worden aangevoerd naar maaiveld, stroomt daardoor naar verwachting (Nijp *e.a.*, 2022a) basenrijk grondwater richting de waterschapsleiding. Met name stuw 1 zou hier een groot effect op kunnen hebben, gezien een groot deel van het Liefstingsbroek in het peilvak valt waarvan het peil door deze stuw wordt bepaald.

De ophoging van de peilen is, in overeenstemming met de uitgangspunten, vrij fors (Tabel 4-2). Dit is met name het geval voor het winterpeil, waarbij een peilverhoging van 1.1 meter wordt genomen. Het onderscheid tussen winter- en zomerpeil komt voor deze peilvakken te vervallen, en is gebaseerd op het laagste peil in het bovenstroomse peilvak. Effecten van de peilverhoging leveren daardoor bovenstrooms nauwelijks problemen op, alhoewel wel wat verval voor afvoer nodig is. Het maaiveld in het Ellersinghuizerveld gelegen tussen het Liefstingsbroek en de waterschapsleiding heeft een maaiveldpositie van ca 3.1 m+NAP. Dit betekent dat het stuwpeil structureel boven maaiveld uit zou komen. Daarentegen is de waterschapsleiding gelegen in een kade, wat daarmee waarschijnlijk geen probleem vormt voor directe aanvoer van eventueel voedselrijk landbouwwater over maaiveld. Verkenning op basis van AHN3 geeft aan dat de kadehoogte ca 3.6 m+NAP is.

Overwogen is om ook het peil van de Ruiten Aa op te hogen in dit scenario. Uit de grondwatermodellering bleek dat de Ruiten Aa in de zomer kan infiltreren en grondwater lateraal richting het Liefstingsbroek stroomt. Een

peilophoging zou daarmee ook deze toestroom kunnen bevorderen. Daarentegen is een dergelijke ingreep in de Ruiten Aa dermate ingrijpend dat deze, ondanks de uitgangspunten voor maximale potenties van natuur, buiten beschouwing is gelaten.

Tabel 4-2. Overzicht van winterpeil en zomerpeil in de huidige situatie en bij uitvoering scenario 3.

Stuw	Winterpeil (m+NAP)		Zomerpeil (m+NAP)	
	Huidig	Scenario 3	Huidig	Scenario 3
1	2.05	3.15	2.55	3.15
2	2.45	3.15	2.95	3.15

4.2 Gemodelleerde effecten van maatregelen (scenario's)

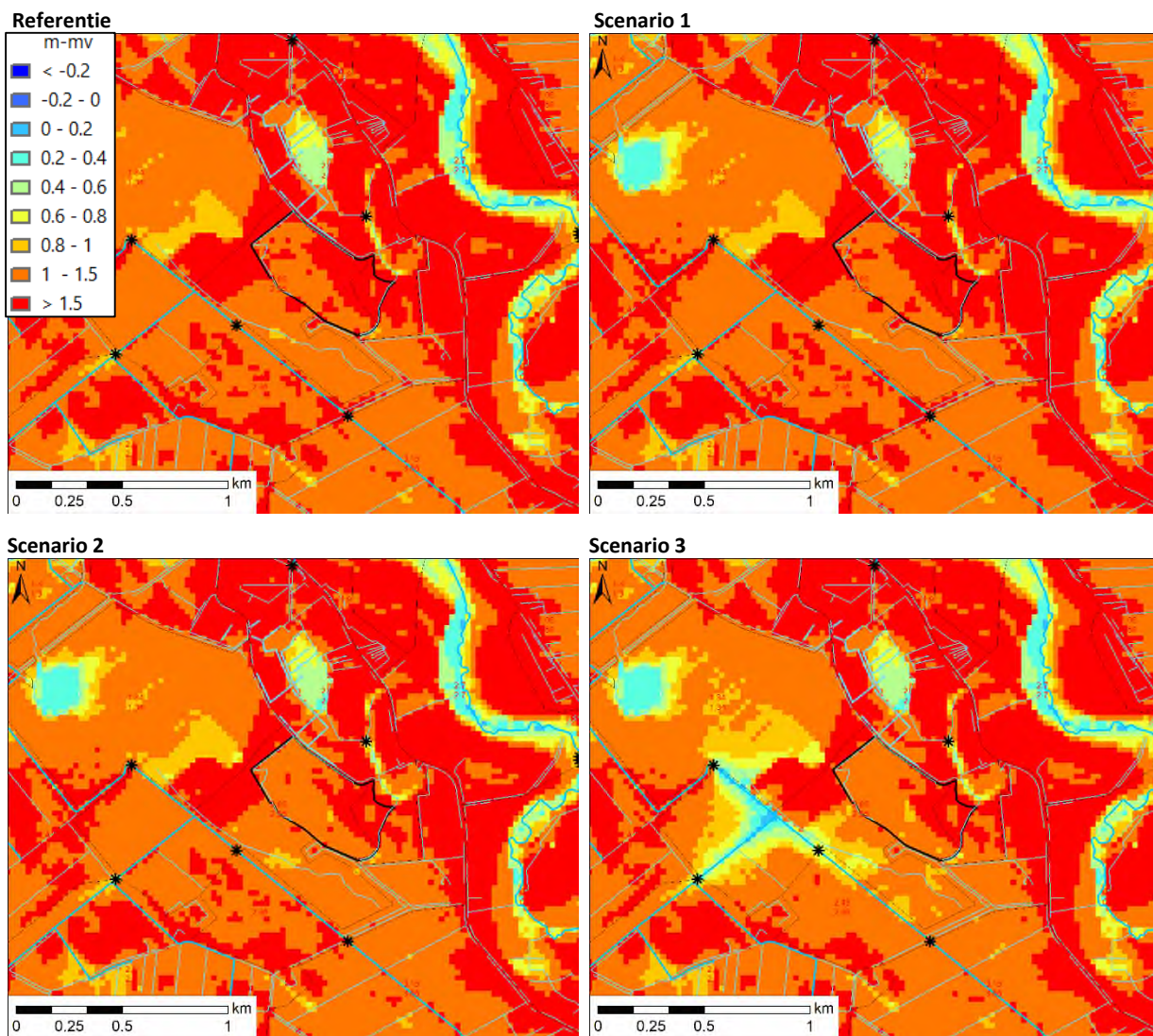
4.2.1 Grondwaterstanden en -dynamiek

Van belang voor de interpretatie van deze resultaten is dat in de waterschapsleiding een omgekeerd peil gehanteerd wordt: In de winter is het stuwpeil lager dan in de zomer. Dit is niet meer het geval bij scenario 3, waarbij het peil in de winter hetzelfde is als in de zomer (Tabel 4-2). In de directe nabijheid van deze waterloop (naar schatting tot ca. 50 m) zal daardoor de GLG in de winter plaatsvinden en niet in de zomer; van dit effect is geen sprake in het Liefstingsbroek en Barkeveen. In overeenstemming met het programma van eisen worden kwantitatieve uitspraken zo veel mogelijk gemeden.

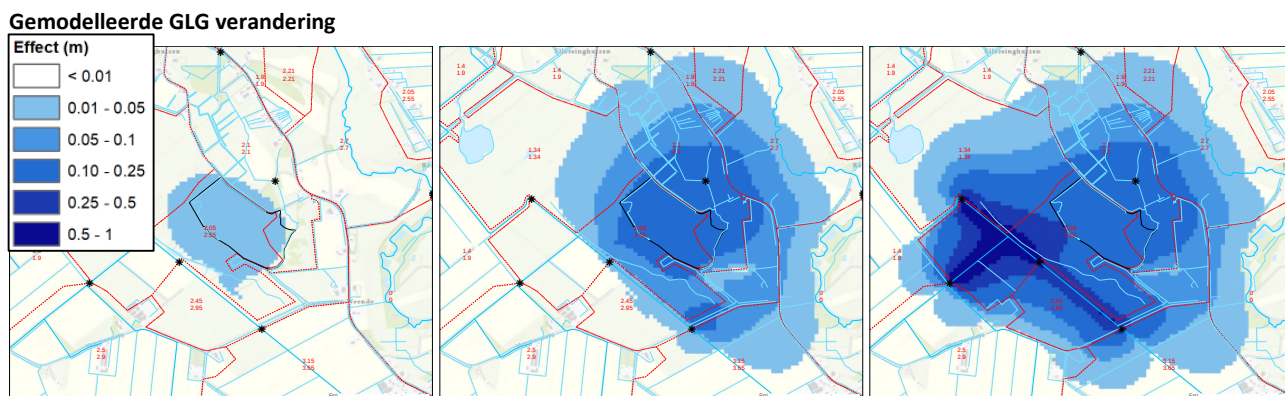
Uit de modellering komt naar voren dat bij alle scenario's de gesimuleerde GHG, GVG en GLG ondieper worden (Figuur 4-4 t/m Figuur 4-7; van Immerzeel en Holtus (2022)). De mate waarin dat gebeurt en de grootte van het gebied nemen toe naarmate meer maatregelen getroffen worden. Bij scenario 1, waarbij alleen alle randsloten direct grenzend aan de Natura-2000 begrenzing van het Liefstingsbroek gedempt worden, zien we dat de gemodelleerde GVG tot circa 25 cm ondieper wordt, logischerwijs met name langs de randen van het gebied die onder invloed van deze waterlopen staan (Figuur 4-7). Bij scenario 2 en 3 is de gemodelleerde GVG-verandering veel groter dan bij scenario 1. Met name aan de zuidoostzijde van het gebied (o.a. Groote Weide, Adelaarsvarenbult) is de GVG verandering groot en kan oplopen tot 50 cm ondiepere GVG. Eerder onderzoek gaf aan dat de GVG reeds in orde was voor de ontwikkeling van blauwgrasland (Nijp *e.a.*, 2022a). De gemodelleerde stijging in GVG bij scenario 2 en 3 is fors en mogelijk zelfs wat te groot voor blauwgrasland. Al met al laat de modellering zien dat de GVG verhoogd kan worden door de maatregelen.

Daar waar de GVG in de huidige situatie al op veel plekken op orde was, zakte de GLG daarentegen te diep uit in de huidige situatie. Uit de scenario-analyse komt naar voren dat alleen het dempen van de randsloten (scenario 1) tot slechts een zeer beperkte toename van de GLG leidt (Figuur 4-5), die in het gehele Liefstingsbroek optreedt. Bij scenario 2 en 3 is de verhoging in grondwaterstand groter dan bij scenario 1. Bij scenario 3 wordt de GLG met name in het Ellersinghuizerveld gelegen tussen de waterschapsleiding en het Liefstingsbroek aanzienlijk ondieper.

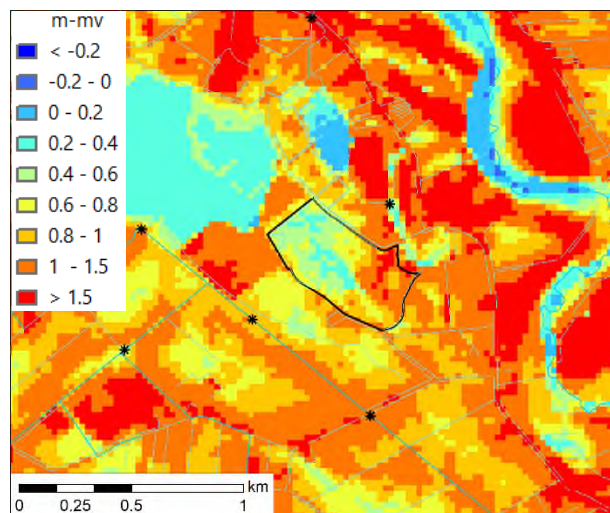
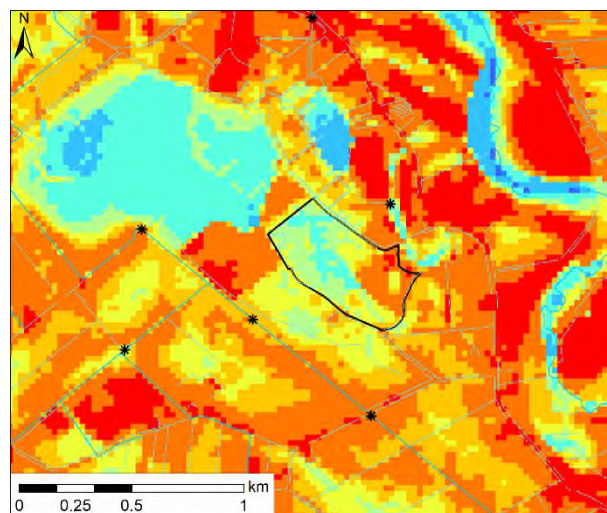
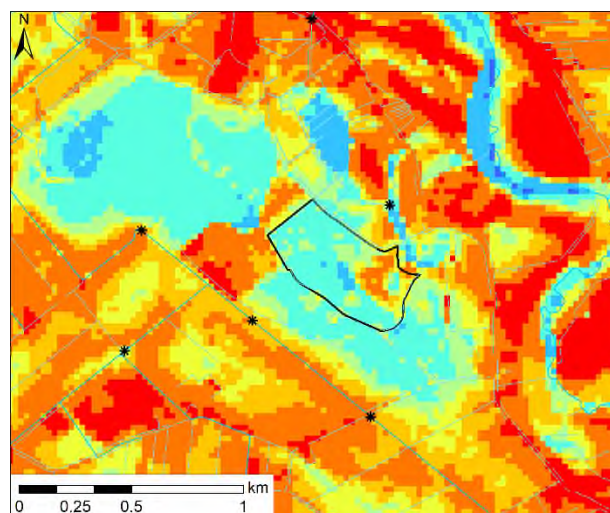
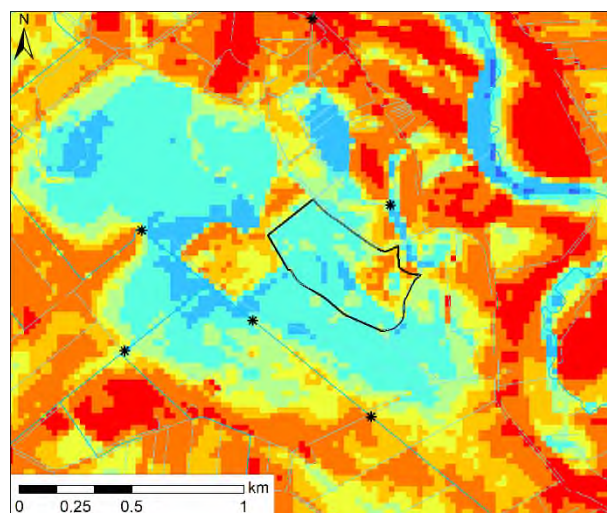
Herstelmaatregelen in de omgeving zijn noodzakelijk om een ondiepe GLG te garanderen (scenario 2). De modelresultaten geven aan dat het dempen van de sloten in de omgeving van het Liefstingsbroek tot een aanzienlijk ondiepere GLG kan leiden (scenario 2). Komt er ook een verhoging van het stuwpeil bij (scenario 3), dan wordt ook in de omgeving een ondiepe GLG gerealiseerd. In potentie maakt dat het watersysteem van het Liefstingsbroek beter bestand tegen klimatologische extremen. De positieve effecten op de grondwaterstand van scenario 2 en 3 stralen uit tot in het Barkeveen.



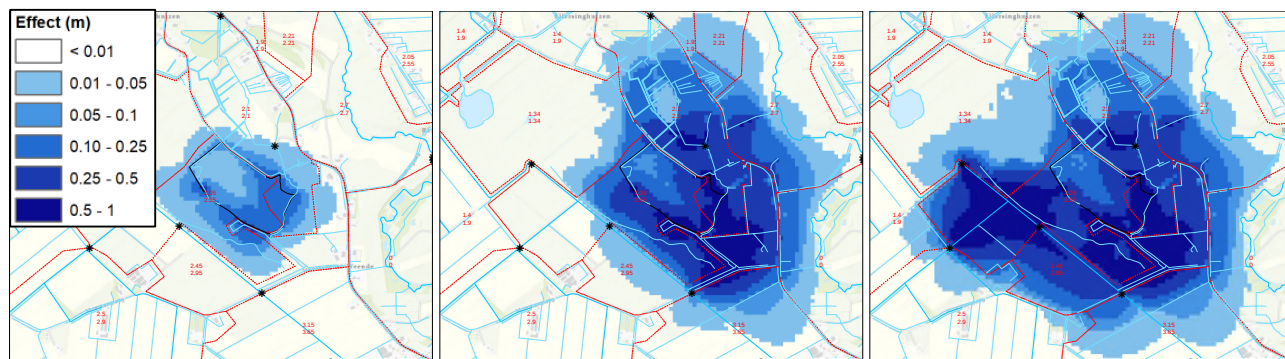
Figuur 4-4. Gemodelleerde GLG ten opzichte van maaiveld voor de verschillende scenario's. NB: de GLG treedt in de zomer op, behalve in een naar schatting 50 m zone rondom de waterschapsleiding, waar door omgekeerd peil de GLG in de winter optreedt.



Figuur 4-5. Gemodelleerde verandering in GLG voor scenario 1 (links), scenario 2 (midden) en scenario 3 (rechts). Positieve getallen betekent een grotere gesimuleerde stijging (ondiepere GLG). NB: de GLG treedt in de zomer op, behalve in een naar schatting 50 m zone rondom de waterschapsleiding, waar door omgekeerd peil de GLG in de winter optreedt.

Referentie**Scenario 1****Scenario 2****Scenario 3**

Figuur 4-6. Gemodelleerde GVG (m-mv) ten opzichte van maaiveld voor de verschillende scenario's.

Effect op GVG

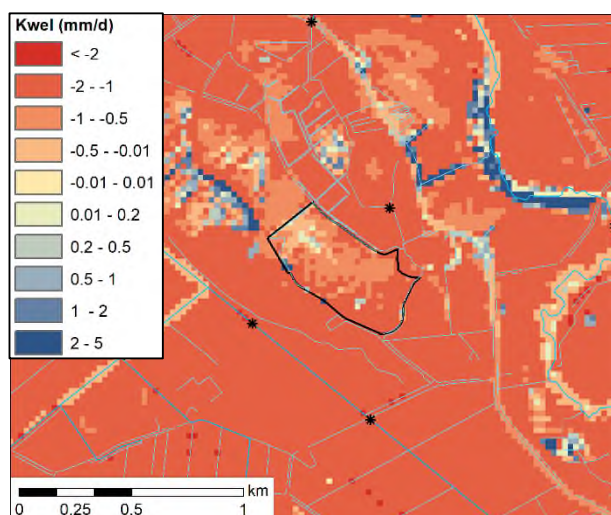
Figuur 4-7. Gemodelleerde verandering in GVG voor scenario 1 (links), scenario 2 (midden) en scenario 3 (rechts). Berekend als scenario – referentie. Positieve getallen betekend een grotere gesimuleerde stijging (ondiepere GVG).

4.2.2 Kwel

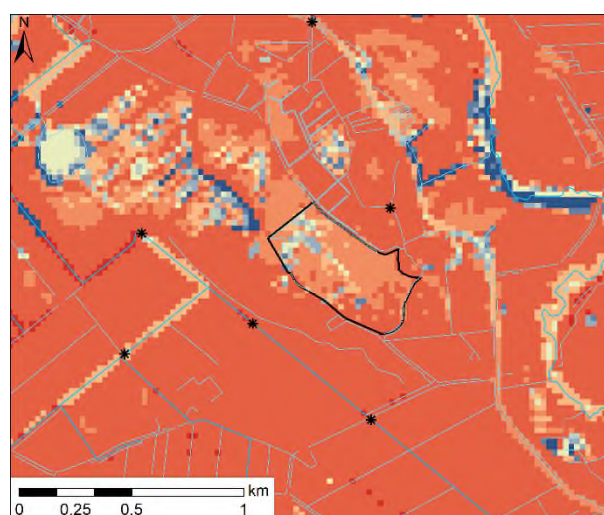
Uit de modellering blijkt dat bij alle scenario's een toename van winterkwel in het doelgebied Liefstingsbroek optreedt, maar ook in het Barkeveen (Figuur 4-8 t/m Figuur 4-9). Dit is met name zichtbaar in kwel naar de 'toplaag' (flux op 1.2 m beneden maaiveld), die hierna ter onderscheiding van kwel op grotere diepte, 'kwel naar de toplaag' wordt genoemd. Bij kwel op deze diepte wordt aangenomen dat dit grondwater via verzadigde grondwaterstroming of capillair transport in de wortelzone terecht zou kunnen komen (voor veel bodems kan 2 mm/d geleverd worden bij een grondwaterstand van 1.2 m-mv).

Bij scenario 1 is deze verandering beperkt, maar bij scenario 2 en 3 neemt kwel enorm toe. Op plekken waar in het Liefstingsbroek wegzijging optreedt in de referentiesituatie vermindert de wegzijging of slaat zelfs om in kwel. Op hoger gelegen delen neemt wegzijging toe doordat het stijghoogteverschil met de omgeving is toegenomen. Het areaal van kwelzones breidt volgens de modelresultaten dus uit als gevolg van het dempen van sloten in en rond het Liefstingsbroek. Dit is niet alleen binnen het Liefstingsbroek het geval, maar ook in het Barkeveen en in het beekdal ten noordoosten van het Liefstingsbroek. Deze effecten worden versterkt door een peilverhoging in de waterschapsleiding. Hierbij slaat aanvullend in delen van het Ellersinghuizerveld gelegen tussen de leiding en het Liefstingsbroek wegzijging om naar kwel.

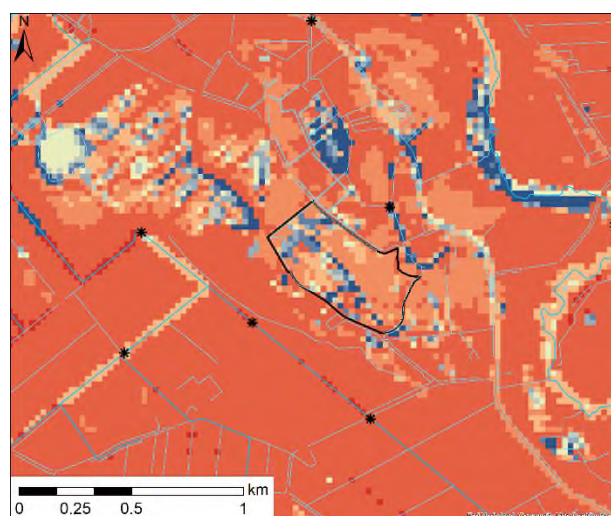
Referentie



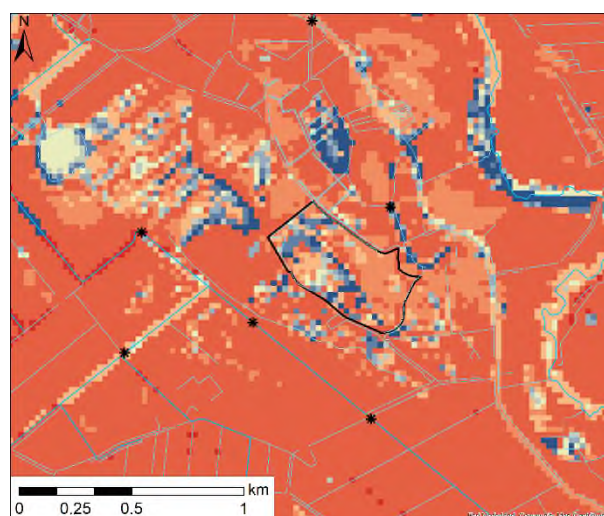
Scenario 1



Scenario 2

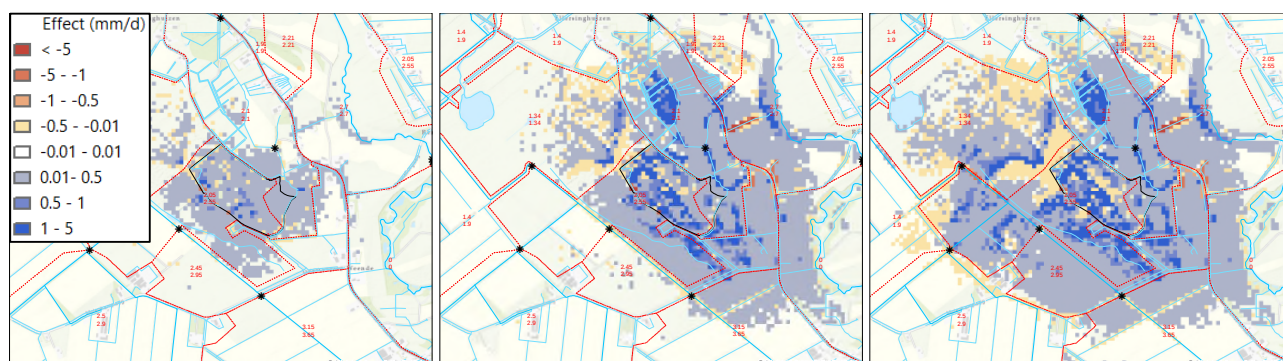


Scenario 3



Figuur 4-8. Gemodelleerde winterkwel naar 'toplaag' voor de verschillende scenario's. Gemiddelde flux over de periode oktober t/m maart van 2013 – 2020 op 1.2 m beneden maaiveld. Negatieve waarden zijn wegzijging, positieve waarden kwel.

Verschillen in winterkwel tussen scenario en referentie



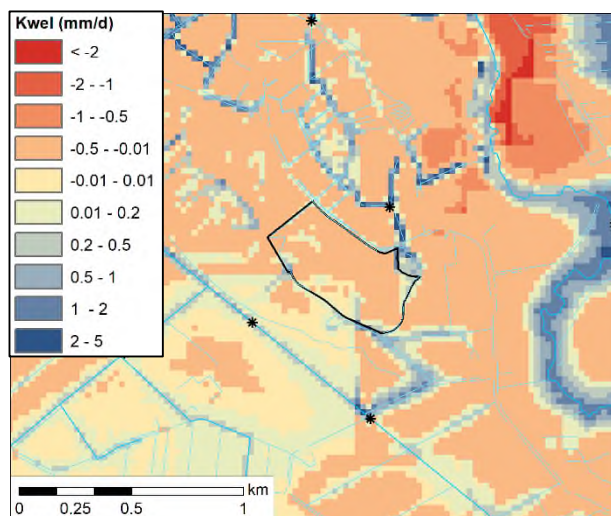
Figuur 4-9. Gemodelleerde verandering in verticale flux op 1.2 m-mv (onderkant laag 1) in de wintermaanden als gevolg van scenario 1 t/m scenario 3 (van links naar rechts). Een positief getal geeft aan dat er meer kwel (of afname van wegzijging) optreedt als gevolg van uitvoeren van een scenario, een negatief getal dat er minder kwel (of meer wegzijging) optreedt. Gebieden waar een verwaarloosbare verandering optreedt, hebben geen kleur maar hebben de topografische ondergrond.

Daarnaast wordt ook de kwelflux op ca. 1 meter boven de potklei (~7 m-mv) groter in de winter (Figuur 4-10). Op grotere diepte is de verticale flux veel kleiner dan ondiep in de bodem. Deze flux, ook al is deze gering ten opzichte van ondiepere verticale flux, is van belang voor opwaarts transport van basenrijk grondwater, al dan niet afkomstig uit de dieper gelegen kalkrijkere afzettingen.

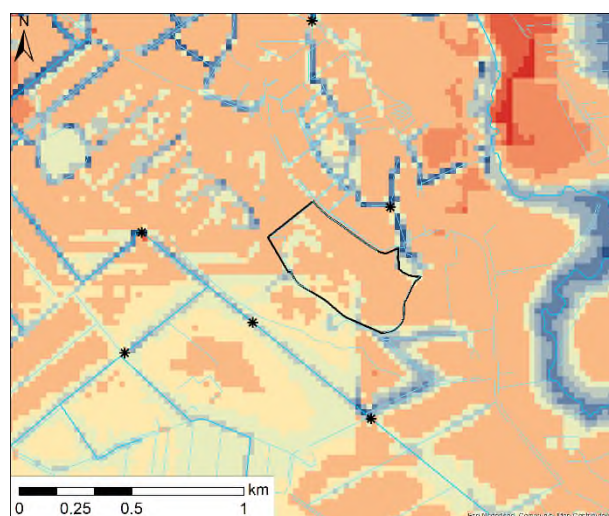
Net als voor de kwel naar de 'toplaag', blijkt uit de modellering dat het effect van enkel de randsloten dempen (scenario 1) op diepere kwel weliswaar positief is, maar zeer gering. Duidelijk komt uit de modellering naar voren dat met name in de kwelzones van het Liefstingsbroek deze diepe flux verhoogd kan worden en het areaal uitbreidt bij dempen van sloten in de omgeving van het Liefstingsbroek (Figuur 4-10).

Een effect als gevolg van de peilverhoging zoals in scenario 3 is gedefinieerd, is dat de waterschapsleiding gaat infiltreren stroomopwaarts van de meest noordelijke stuw. In de referentie vindt hier nog een matige onttrekking uit het Liefstingsbroek en nabij gelegen landbouw plaats.

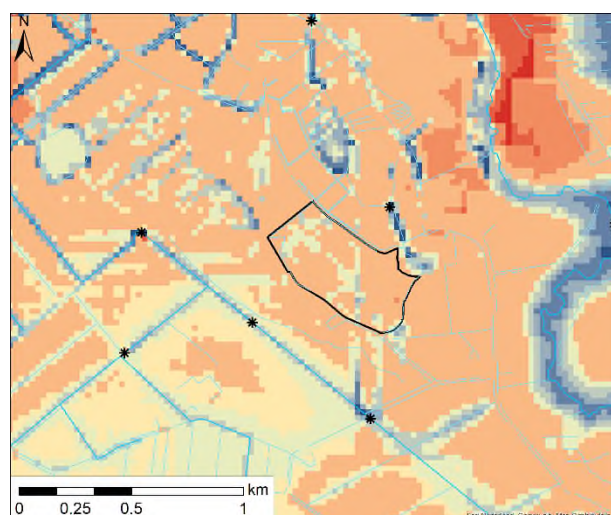
Referentie



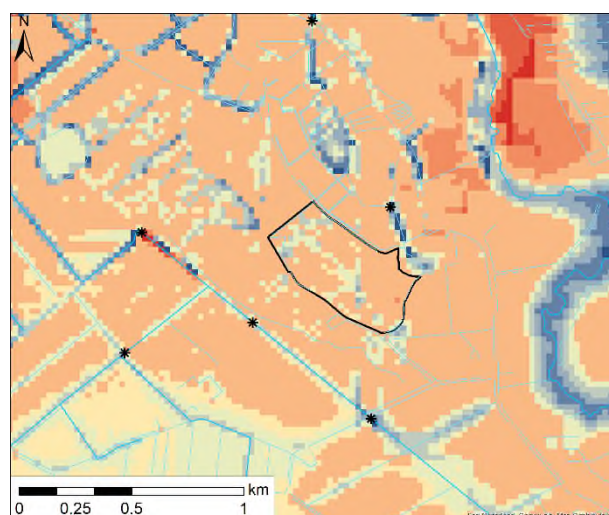
Scenario 1



Scenario 2



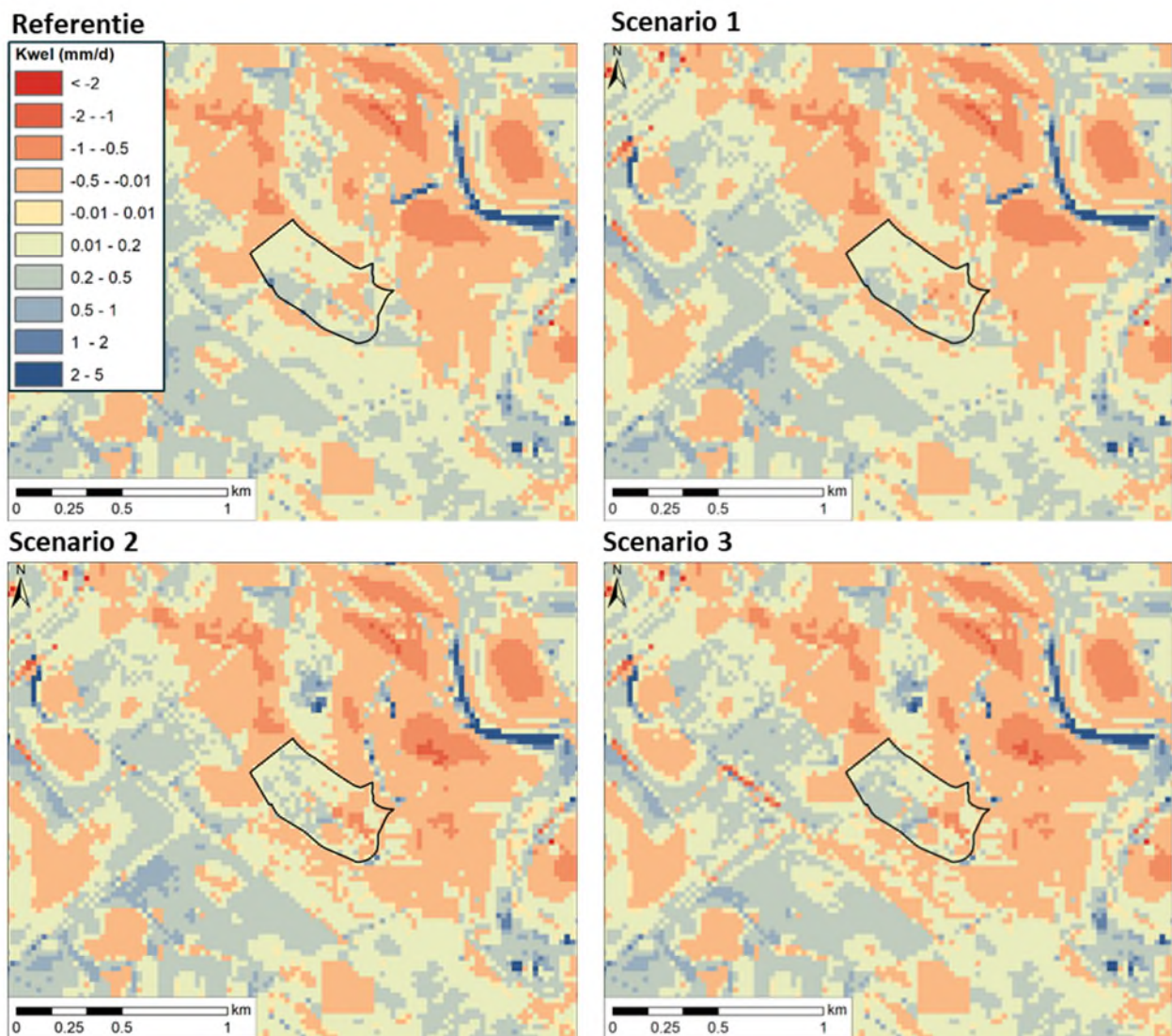
Scenario 3



Figuur 4-10. Gemodelleerde winterkwel op grotere diepte voor de verschillende scenario's. Gemiddelde flux over de periode oktober t/m maart van 2013 – 2020 op 1.2 m beneden maaiveld. De rode cirkel geeft ter oriëntatie globaal de ligging van het Barkeveen aan, de zwarte polygoon het Liefstingsbroek. Negatieve waarden zijn wegzijging, positieve waarden kwel.

Zomerkwel

In vergelijking tot de winter is de gemodelleerde kwel in de zomer relatief beperkt in alle scenario's (Figuur 4-11). Toch is de flux ook in de zomer niet te verwaarlozen in het Liefstingsbroek en het Barkeveen. Er treedt dan geen wegzijging en verlies van basen vanuit de toplaag naar het diepere grondwatersysteem op, maar deze blijven ondiep in het systeem (mits niet lateraal afgevoerd). Bij uitvoering van scenario 3 zou volgens het model de flux naar de toplaag en het areaal waar kwel optreedt behoorlijk toenemen (verdubbelen). Daarnaast lijkt ook vooral het laaggelegen Barkeveen hier van te profiteren. Bij scenario 2 en 3 neemt bovendien de wegzijging vanuit lokale zandruggen in het Liefstingsbroek in de zomer toe, terwijl aangrenzend kwel wordt bevorderd. Dit is een aanwijzing dat lokale stroombanen bevorderd worden en deze dieper stromen (wat ook blijkt uit voorgaande paragraaf).



Figuur 4-11. Gemodelleerde zomerkwel naar 'toplaag' voor de verschillende scenario's. Gemiddelde flux over de periode april t/m september van 2013 – 2020 op 1.2 m beneden maaiveld. De rode cirkel geeft, ter orientatie, de ligging van het Barkeveen aan. Negatieve waarden zijn wegzijging, positieve waarden kwel.

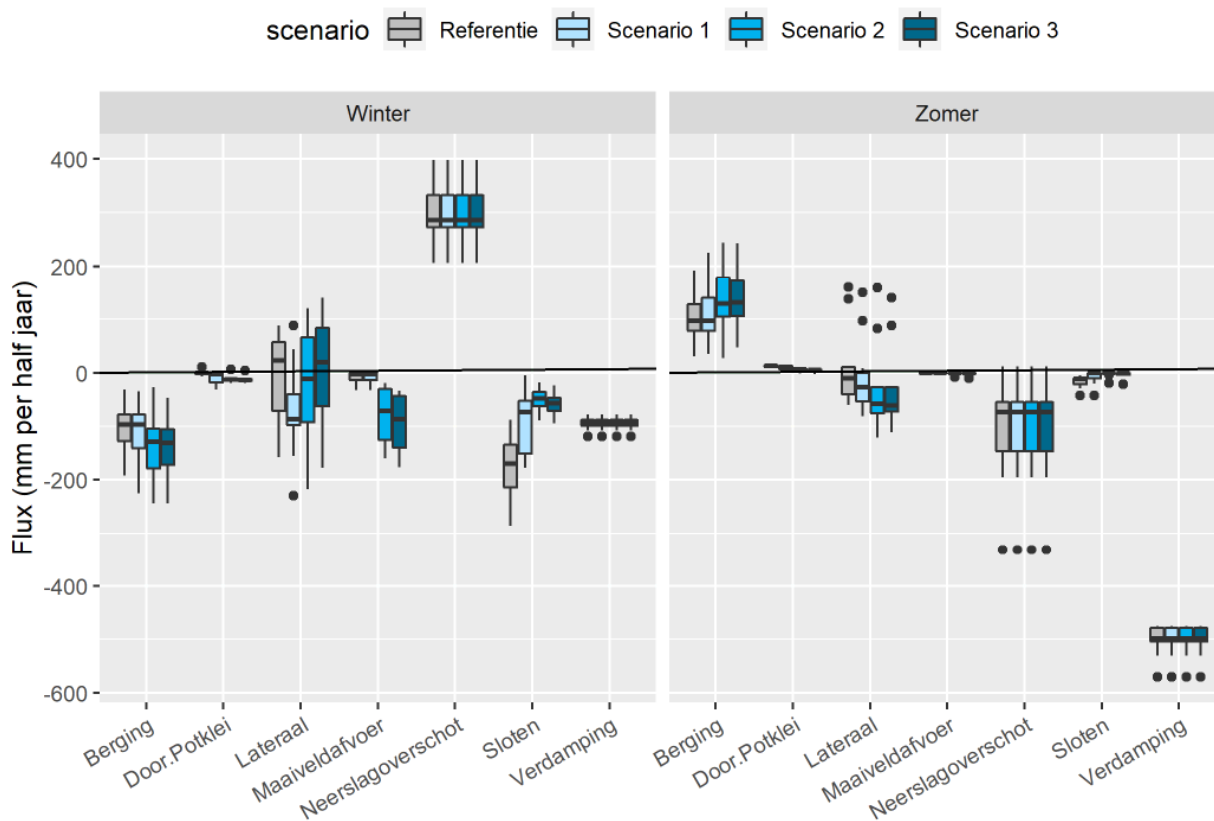
4.2.3 Waterbalans Liefstingsbroek

Op basis van de modelresultaten is door van Immerzeel en Holtus (2022) een indicatieve waterbalans geleverd van het Liefstingsbroek (Natura-2000 begrenzing) voor de winter (oktober t/m maart) en de zomer (april t/m september). Hiermee kan inzicht worden verkregen in veranderingen in verschillende componenten van de waterbalans als gevolg van de scenario's. Hierbij is van belang dat voor verdamping is uitgegaan van potentiële verdamping van een referentiegrasmat. De actuele verdamping kan, met name voor de zomersituatie, aanzienlijk verschillen tussen de scenario's. Bij minder diep wegzakkende grondwaterstanden kan meer verdamping optreden. Deze terugkoppeling tussen grondwaterstand en verdamping wordt nu niet meegenomen in de resultaten.

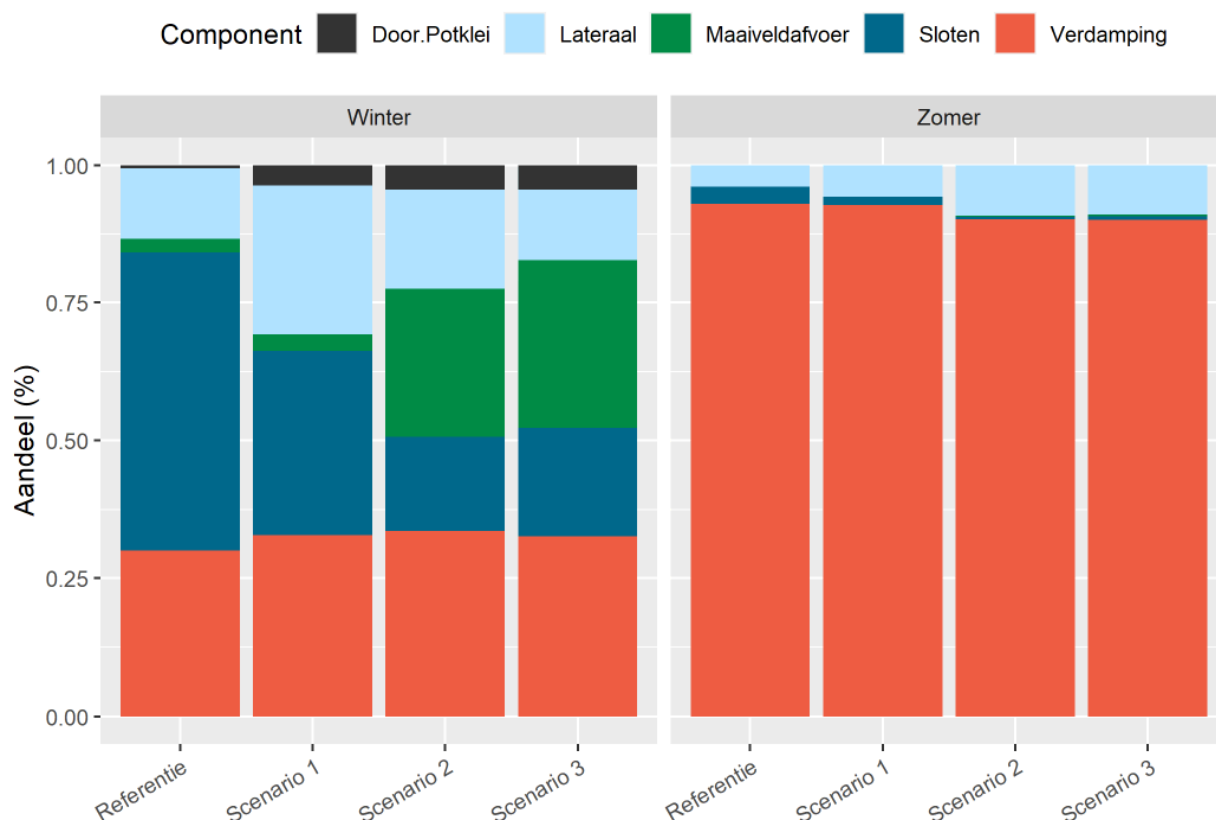
Uit de waterbalans komt duidelijk naar voren dat er een verschuiving in de componenten optreedt (Figuur 4-12 en Figuur 4-13), met name in de winterperiode. In de zomerperiode is de voornaamste afvoercomponent verdamping en spelen andere processen een relatief beperkte rol. Door het dempen van de randsloten (scenario 1) neemt volgens het model in de winter de hoeveelheid water die het gebied via waterlopen verlaat logischerwijs af. Het water vindt daardoor zijn weg via laterale grondwaterafvoer, die daardoor toeneemt. Opvallend is daarnaast dat in de winter wegzijging door de potklei licht toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door de ondiepere grondwaterstanden in de winter, die leiden tot een grotere stijghoogtegradiënt. Het belang van verliezen door de potklei als afvoercomponent blijft echter zeer beperkt (Figuur 4-13). In overeenkomst met eerdere systeembeschrijvingen (van Delft *e.a.*, 2017; Nijp *e.a.*, 2022a), is de potklei zoals in het model geïmplementeerd behoorlijk slecht doorlatend. Verder blijven de componenten van de waterbalans nagenoeg gelijk bij scenario 1.

Als naast de randsloten van het Liefstingsbroek ook de sloten in het omliggend gebied (hoofdzakelijk natuurgebied) gedempt worden (scenario 2), zien we dat daarnaast de afvoer via maaiveld in de winter geactiveerd wordt, die gepaard gaat met een toename in de berging (meer negatief). Daarmee geven de modelresultaten aan dat scenario 2 leidt tot meer vasthouden van grondwater in de winter, en dat door ondiepere grondwaterstanden regenwater het gebied via oppervlakkige afvoer verlaat. Dit is een belangrijk resultaat: de stimulans van afvoer over maaiveld geeft aan dat regenwater het gebied verlaat, en regenwaterlenzen daardoor verdrongen kunnen worden met kwelwater, gezien de kwelflux fors toeneemt (Figuur 4-8). De toename in berging wordt dus vertegenwoordigd door kwel/grondwater, en niet regenwater. Deze verschuiving in waterbalans bevordert daarmee de potenties voor blauwgrasland. Ook zijn de laterale grondwaterverliezen in scenario 2 ten aanzien van scenario 1 veel beperkter, wat aangeeft dat water beter wordt vastgehouden. Hetzelfde effect speelt in de zomerperiode: ook dan wordt grondwater beter vastgehouden in het gebied, zij het in beperktere mate.

Bij scenario 3 treden dezelfde effecten op als bij scenario 2, waarbij de effecten in de winter wat geprononceerder naar voren komen. De maaiveldafvoer neemt nog wat toe, en in de winter komt zelfs grondwater lateraal naar het Liefstingsbroek toegestroomd.



Figuur 4-12. Componenten van de waterbalans voor het Liefstingsbroek voor de winter- en zomerperiode in boxplots. Een negatieve waarde betekent dat water het Liefstingsbroek verlaat (behalve berging, waarbij negatieve waarden een toename in berging weergeven). Bij verdamping is in de geleverde waterbalans uitgegaan van potentiële referentieverdamping. De winter- en zomerperiode zijn respectievelijk gedefinieerd als de maanden oktober t/m maart en april t/m september. De horizontale lijnen in de boxen zijn de mediaan, de boxen geven weer waar 25% tot 75% van de waarden in valt, de verticale lijnen de minimale en maximale waarden zonder uitschieters. Cirkels zijn uitschieters.

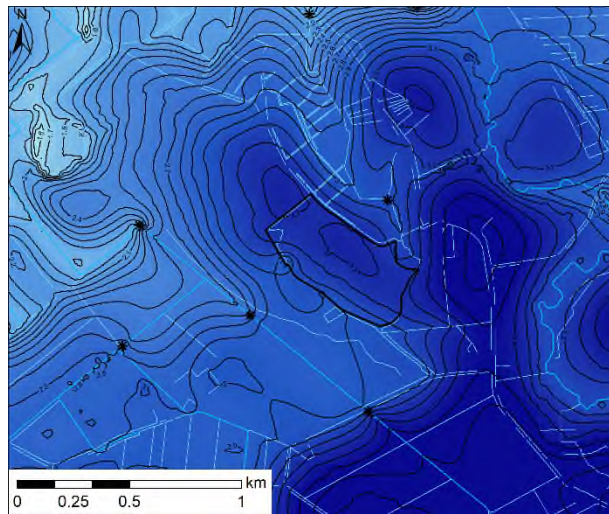
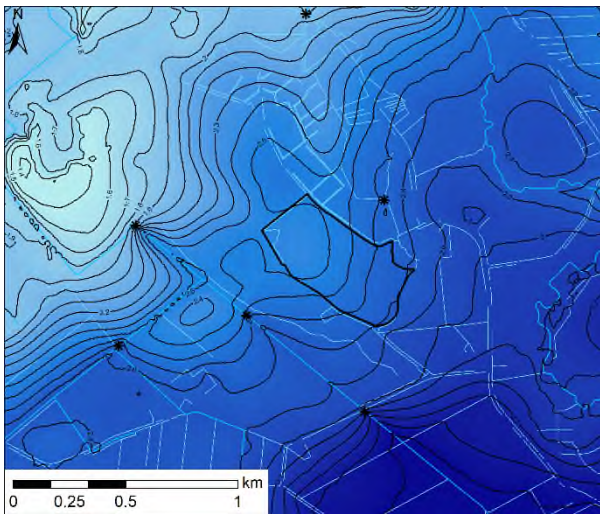
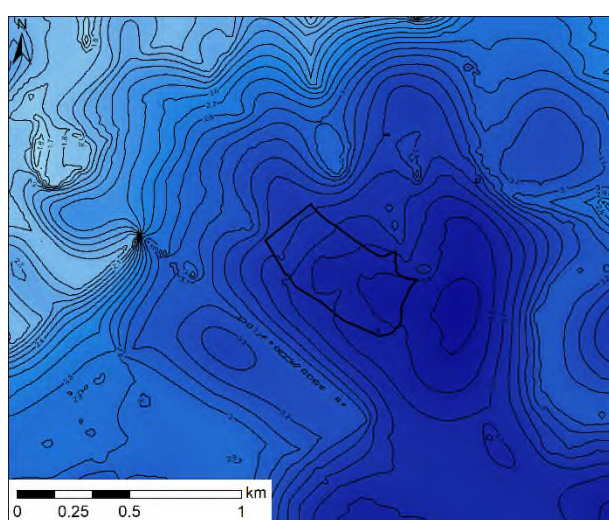
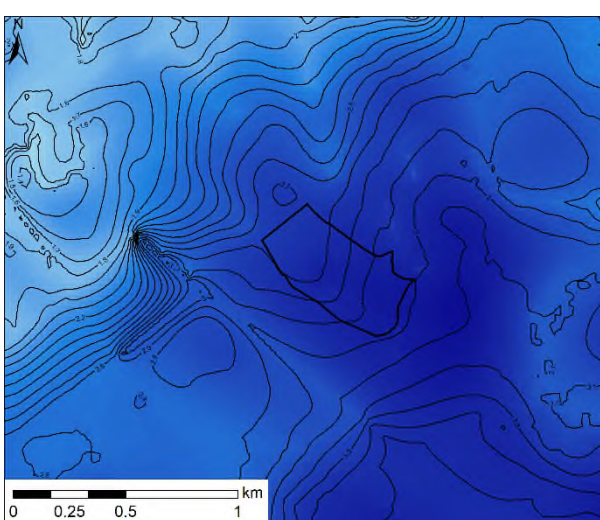


Figuur 4-13. Relatief aandeel van waterbalanscomponenten in de afvoer uit het Liefstingsbroek voor de winter (links) en zomerperiode (rechts). Componenten die voor aanvoer zorgen zijn daarbij buiten beschouwing gelaten. De winter- en zomerperiode zijn respectievelijk gedefinieerd als de maanden oktober t/m maart en april t/m september. Berging is buiten beschouwing gelaten omdat deze in het gebied intern opgeslagen wordt en dus niet afgevoerd wordt.

4.2.4 Indicatie laterale stroming freatisch pakket

Om ter oriëntatie een beeld te krijgen van hoe de richting en stroomsnelheid van de laterale grondwaterstroming in het freatisch pakket verandert als gevolg van de scenario's, zijn isohypsenkaarten gemaakt voor de winter- en zomerperiode. Hiervoor is gebruik gemaakt van modeluitvoer van het freatisch vlak op de datums 14 april 2016 en 28 september 2016. Uiteraard is het stroombeeld op deze precieze datum aan toevallige verloop van hydrometeorologische omstandigheden onderhevig. Desalniettemin geeft het een oriënterend beeld van hoe laterale grondwaterstroming op globaal landschapniveau verschilt tussen de scenario's. Van belang is dat dit slechts de horizontale stromingscomponent beschrijft, en geen inzicht geeft in waar kwel naar de toplaag optreedt. Dat hangt af van de verticale stijghoogtegradiënt en maaiveldligging. Bij de vergelijking tussen referentie en scenario 3 komt het volgende globale beeld naar voren:

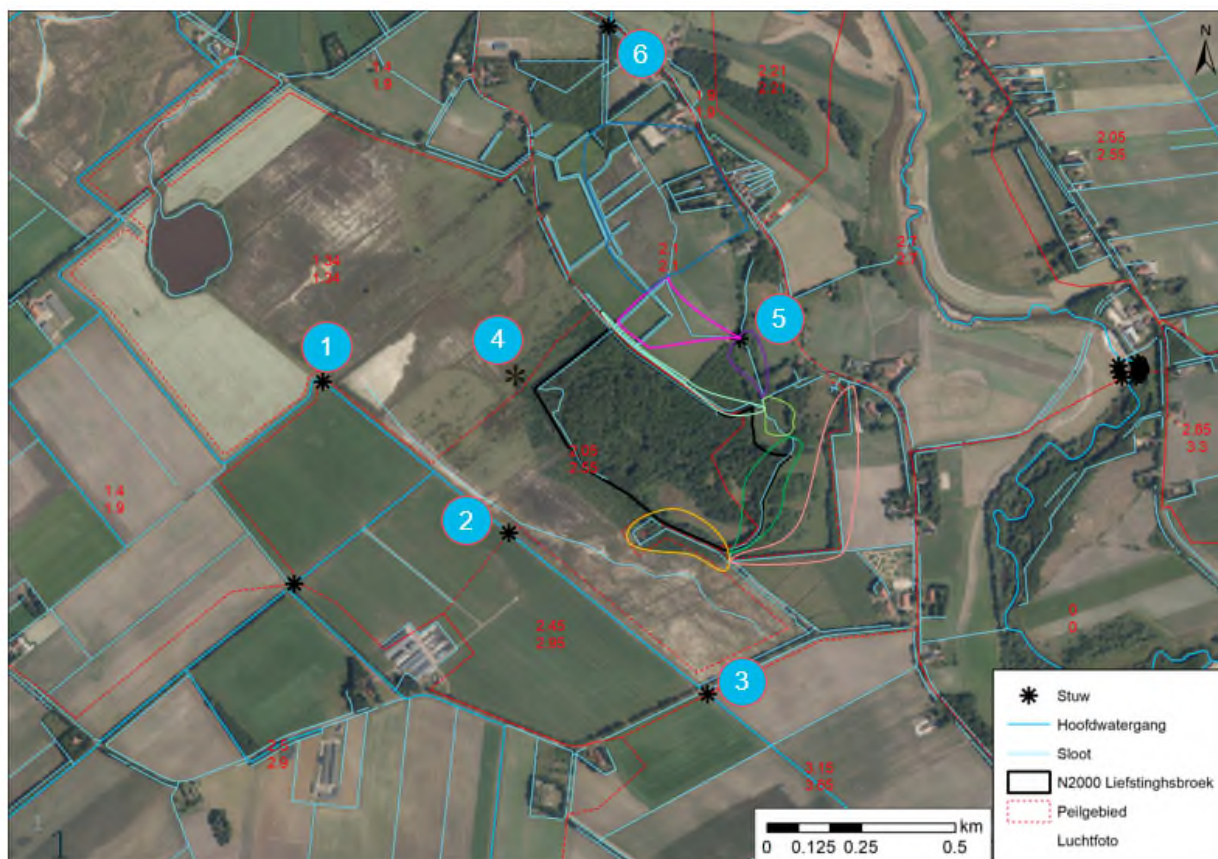
- 1 Het stroombeeld voor de zomersituatie is vergelijkbaar voor beide scenario's. De hoofdrichting is van zuidoost naar noordwest. Dit komt overeen met eerdere modelsimulaties met eerdere versies van het MIPWA model (van Delft *e.a.*, 2017).
- 2 In de referentiesituatie zijn in de winter in en rond het Liefstingsbroek afzonderlijke 'opbollingen' onder dekzandruggen aanwezig. Bij scenario 3 zijn deze losse systemen verdwenen, en komt naar voren dat de zandrug ten westen van de Ruiten Aa een hogere stijghoogte krijgt (3.9 m+NAP in scenario 3, 3.6 m+NAP in huidige situatie). Mogelijk wordt deze zandrug daarmee van meer belang als kwelmotor van het systeem. De grotere afstand tussen de berekende isohypsen in de wintersituatie bij scenario 3 ten opzichte van de referentiesituatie geeft aan dat de stijghoogtegradiënt bij uitvoering van scenario 3 afneemt.

3 Referentie – winter**Referentie – zomer****Scenario 3 – winter****Scenario 3 – zomer**

Figuur 4-14. Gemodelleerde isohypsen in het freatisch pakket in het modelgebied van het Liefstingsbroek. Isohypsen zijn lijnen van gelijke druk (stijghoogte) van grondwater. De stromingsrichting van grondwater is haaks op de lijnen van gelijke druk, en is in de richting van hoge naar lage druk. De kleuren geven relatief, per scenario, weer waar de stijghoogte hoog (donkerblauw) of laag (lichtblauw) is. De getallen van de isohypsen geven de stijghoogte in het freatisch pakket in m+NAP weer; het verschil in stijghoogte tussen die isohypsen is 0.1 m.

4.2.5 Afvoer water via slootsegmenten en stuwen

Om verkennend te bepalen welke waterlopen volgens de modellering relatief het meeste water af/aanvoeren, is van een aantal slootsegmenten het gedraineerde volume bepaald, zoals ook beschreven stond in het programma van eisen. De indeling van slootsegmenten is gebaseerd op de individuele maatregelen in Figuur 4-1 en is weergegeven in Figuur 4-15. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat niet kan worden bepaald welk aandeel van het water van welke kant van de waterloop afkomstig is. Omdat de resultaten slechts indicatief zijn voor relatieve verschillen, zijn absolute waarden van afvoervolumes buiten beschouwing gelaten. Het dempen van een slootsegment betekent dat het gedraineerde volume water beschikbaar zou komen voor, voornamelijk, natuur in het Liefstingsbroek en omliggende terreinen, maar ook voor overige gebruikers in de omgeving.

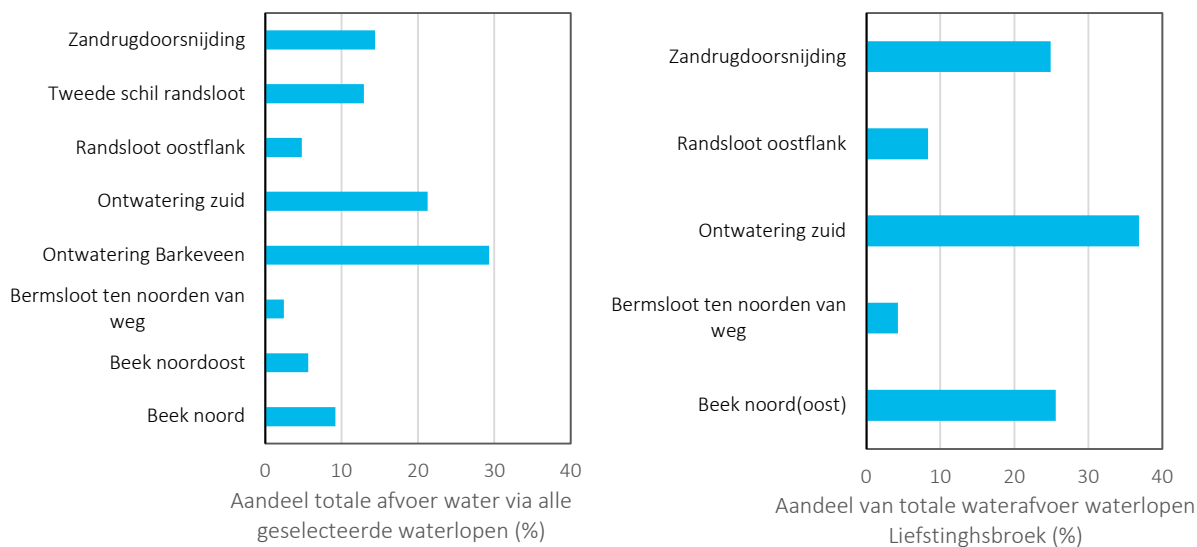


Figuur 4-15. Slootsegmenten (gekleurde polygonen) en stuwen (blauwe cirkels met nummering) waarvoor de gemodelleerde afvoer in de huidige situatie is bepaald. De kleuren van de polygonen komen overeen met de volgende gebieden: *Ontwatering zuid*, *Randsloot oostflank*, *Beek noordoost*, *Beek noord*, *Bermesloot ten noorden van de weg*, *Zandrugdoorsnijding*, *Ontwatering Barkeveen*, *Tweede schil randsloot oost*.

Uit de gemodelleerde afvoer via de slootsegmenten komt naar voren dat van alle geselecteerde slootsegmenten met name de ontwatering van het Barkeveen een groot volume water uit het gebied onttrekt (Figuur 4-16). Dit is een gebied met hoge drainagedichtheid en bovendien ook een groot oppervlak, dus dat is naar verwachting. Na deze slootsegmenten vormen met name de waterlopen ten zuiden van het Liefstingsbroek, waar de ontwatering van de woning aan de zuidwest grens van het Liefstingsbroek op aangesloten zit, een belangrijke afvoerpost van water. Dit komt overeen met verwachtingen, en ook met waterkwaliteitsmetingen (Nijp e.a., 2022a) vegetatie in de betreffende waterloop, die indiceert dat de waterloop gebufferd grondwater wordt afgevoerd.

Beschouwen we alleen de slootsegmenten in de directe omgeving van het Liefstingsbroek, dan zien we dat de zuidelijke ontwatering de belangrijkste afvoercomponent vormt. Ook de diep liggende waterlopen in de zandrugdoorsnijding en de beeksegmenten ten noord(oosten) van het Liefstingsbroek van belang zijn. De randsloot aan de oostkant van het Liefstingsbroek heeft een relatief kleine drainerende werking. Dat komt ook doordat de

‘tweede schil randsloot’ een groot deel van de afvoer voor zijn rekening neemt en een deel van de oostelijk gelegen zandrug draineert. Duidelijk komt naar voren dat de bermsloot ten noorden van de weg volgens de modelresultaten slechts een beperkte bijdrage aan drainage uit het Liefstingsbroek levert.



Figuur 4-16. Relatief belang van waterlopen in afvoeren van water. Links: alle individuele slootsegmenten zoals weergegeven in Figuur 4-3. Rechts: slootsegmenten die direct rondom het Liefstingsbroek liggen. Hier zijn de segmenten 'beek noord' en 'beek noordoost' samengevoegd. Gebaseerd op modelresultaten van de huidige situatie.

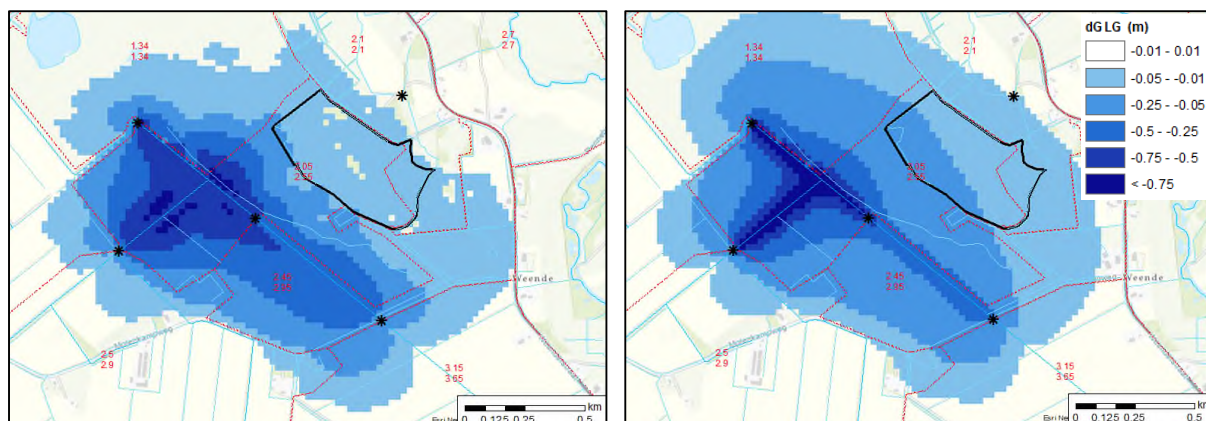
4.2.6 Effect van peilverhoging waterschapsleiding t.o.v. dempen sloten (Vergelijking S3 – S2)

Om te kunnen bepalen in hoeverre een peilverhoging in de waterschapsleiding in toevoeging op het dempen van waterlopen (scenario 3) een zinvolle maatregel is ten opzichte van enkel het dempen van sloten (scenario 2), zijn beide scenario's onderling met elkaar vergeleken.

Gebaseerd op de modelresultaten lijkt een peilverhoging in de waterschapsleiding tot een aanzienlijke verhoging van zowel de GVG als de GLG te leiden (ondieper) (Figuur 4-17) in de directe nabijheid van de waterschapsleiding en het Ellersinghuizerveld gelegen tussen het Liefstingsbroek en de waterschapsleiding. Door de stuwpeilverhoging in aanvulling op het dempen van waterlopen worden de GVG en GLG geschikter voor grondwaterafhankelijke natuur. Als de resultaten van het model kloppen, wordt de GVG maximaal 5 cm ondieper binnen de begrenzing van het Liefstingsbroek. De GLG wordt zelfs tot maximaal 10 cm ondieper in het zuidwestelijke deel. Voor blauwgraslandvegetaties, die gebaat zijn bij zeer ondiepe grondwaterstanden (met basenrijk en gebufferd grondwater), is dat een niet te verwaarlozen stijging. Echter, de precieze mate waarin het stuwpeil de grondwaterdynamiek in het Liefstingsbroek beïnvloedt kan niet met voldoende betrouwbaarheid worden gekwantificeerd: zoals aangeven kunnen de modelresultaten alleen kwalitatief beoordeeld worden. Desalniettemin is duidelijk dat scenario 3 van meerwaarde is voor bevordering natuurbodemten opzichte van scenario 2 voor de grondwaterdynamiek omdat

- 1 De GVG en GLG in de goede richting op veranderen en daarmee potentie voor blauwgrasland verbeteren
 - 2 De modellering aangeeft dat het Liefstingsbroek binnen de invloedssfeer van de waterschapsleiding valt.
- Een extra complicatie is dat bij scenario 2 de GLG door omgekeerd peil in de waterschapsleiding in de winterperiode valt. De grondwaterstand (GLG) in de winter is niet zo relevant voor blauwgrasland; het gaat om de uitzakking tijdens het groeiseizoen. Deze omgekeerde peildynamiek treedt naar verwachting slechts op tot geringe afstand van de waterschapsleiding, en is van geen invloed in het Liefstingsbroek.

Effect peilverhoging op grondwaterdynamiek



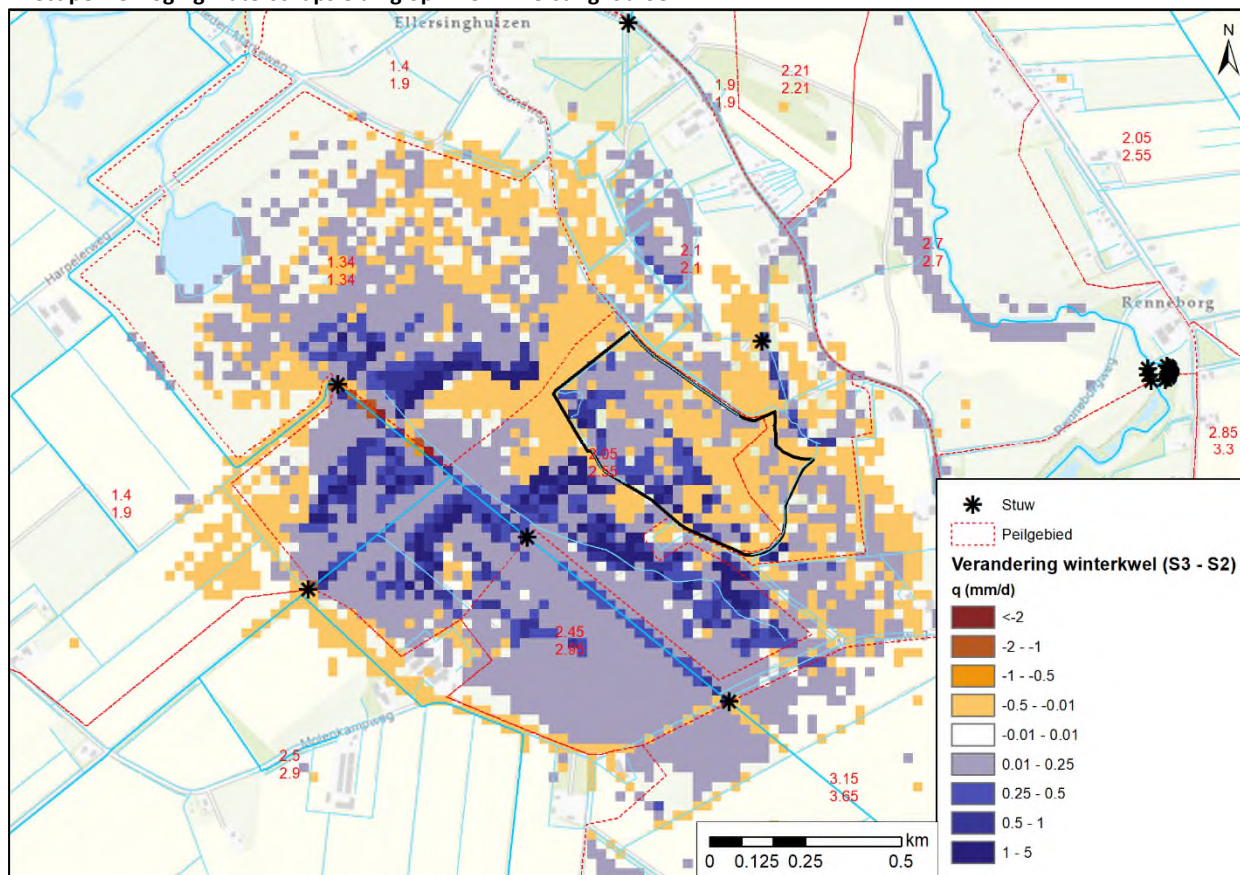
Figuur 4-17. Berekende verschil in GVG (links) en GLG (rechts) als gevolg van peilverhoging in de waterschapshoofdleiding in toevoeging tot dempen sloten (verschil tussen scenario 3 en scenario 2 (3 – 2)). Negatieve getallen geven weer dat de GxG ondieper wordt als gevolg van peilverhoging in de waterschapshoofdleiding. NB: de GLG treedt in de zomer op, behalve in een naar schatting 50 m zone rondom de waterschapshoofdleiding, waar door omgekeerd peil de GLG in de winter optreedt.

In voorgaand onderzoek (Nijp *e.a.*, 2022a) werd op basis van vuistregels (van der Gaast & Massop, 2003) waarmee de freatische spreidingslengte is bepaald, geconcludeerd dat het Liefstingsbroek nauwelijks in de invloedssfeer van de waterschapshoofdleiding is. De freatische spreidingslengte is een maat voor de invloedafstand waarop veranderingen in peil effect hebben op de freatische grondwaterstand. Uit de effectberekeningen komt echter naar voren dat de GxG in het Liefstingsbroek nog behoorlijk kan veranderen als gevolg van peilverhoging (Figuur 4-17). De waterhuishouding van het gebied staat dus wel in verband met de waterschapshoofdleiding.

Naast de grondwaterdynamiek worden ook de stroombanen van het grondwater beïnvloed door een peilverhoging. Uit de modellering komt duidelijk naar voren dat de hoeveelheid winterkwel naar de toplaag in kwelzones van het Liefstingsbroek en nabijgelegen laagten behoorlijk toe zou kunnen nemen door de peilverhoging. Omdat het om een verandering in flux gaat, kan het overigens ook om een afname van wegzijging gaan. Beide zijn gunstig voor de ontwikkelpotenties van blauwgrasland omdat het betekent dat er meer gebufferd grondwater aangevoerd wordt (meer kwel) of minder uitspoeling van basen optreedt (minder wegzijging).

Opvallend is dat in het meest noordwestelijke deel van de waterschapshoofdleiding een aanzienlijke toename van wegzijging optreedt tijdens de winter. Dit wordt veroorzaakt doordat in het model de waterschapshoofdleiding in de uitgangssituatie op dit traject water uit het gebied onttrok en door de peilverhoging infiltreert. Volgens de modellering heeft een peilverhoging van de waterschapshoofdleiding (scenario 3) dus ook toegevoegde waarde voor natuurpotenties ten opzichte van enkel het dempen van sloten (scenario 2) voor de kwelfluxen in het Liefstingsbroek.

Effect peilverhoging waterschapsleiding op kwel in Liefstingsbroek



Figuur 4-18. Berekende verschil in gemiddelde winterkwelflux tussen scenario 3 en 2. Positieve getallen zijn een toename in kwel of afname in wegzijging door verhoging peil waterschapsleiding.

4.3 Plausibiliteit scenario's

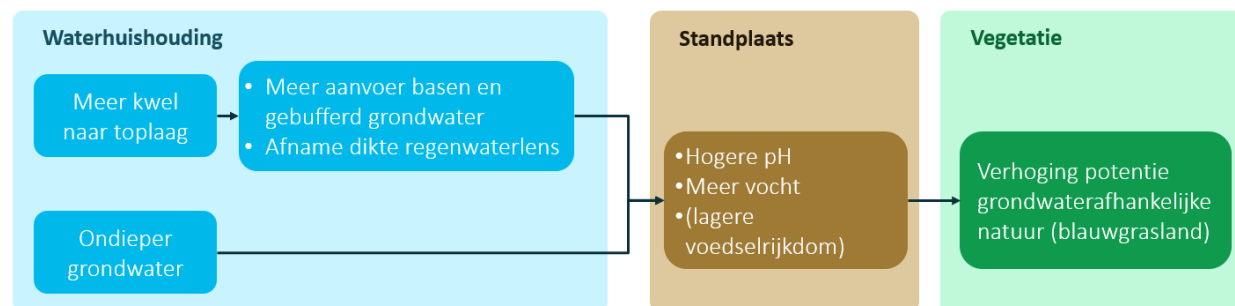
De ruimtelijke patronen van (verandering) in grondwaterdynamiek, kwelflux, en uitbreiding kwelzones als gevolg van de scenario's, komen zeer goed overeen met de verwachtingen van herstelmaatregelen zoals beschreven in Nijp *e.a.* (2022a). Deze grote overeenkomst geeft aan dat het functioneren van het watersysteem en de effecten van scenario's goed begrepen worden. Ook de veranderingen in de componenten van de waterbalans (Figuur 4-13) zijn logisch. Doordat de veranderingen goed verklaarbaar zijn, worden de effecten van de scenario's plausibel bevonden.

4.4 Verwachte doorwerking van maatregelen op ecologie

Zoals genoemd is de huidige versie van het grondwatermodel ontoereikend om een goede kwantitatieve ecohydrologische effectvoorspelling te verantwoorden. Daarom worden de gevolgen van herstelmaatregelen zoals beschreven in de scenario's in kwalitatieve zin beoordeeld. Hierbij worden de modelresultaten in perspectief geplaatst en wordt beschreven hoe de verwachte hydrologische effecten doorwerken op vegetatie. Vervolgens is een ordening aangebracht in hoe de scenario's naar verwachting uitwerken op de potenties voor kwelafhankelijke natuur (met nadruk op blauwgrasland) in het Liefstingsbroek.

Het belangrijkste resultaat van de modellering is dat het dempen van de waterlopen in de omgeving van het Liefstingsbroek en Barkeveen tot een zeer grote verhoging van kwel in de winterperiode leidt. Daarnaast breidt het areaal kwelzones uit als gevolg van deze maatregelen. Dit resultaat kan niet worden behaald door alleen de randsloten van het Liefstingsbroek te dempen. Ingrijpen in de waterhuishouding in de (natuur)gebieden rondom het Liefstingsbroek is daarom essentieel. In combinatie met een peilverhoging in de waterschapsleiding neemt dit effect nog extra toe. Deze gemodelleerde effecten komen zeer goed overeen met de verwachtingen zoals geschetst in eerdere adviezen omtrent herstelmaatregelen (Nijp *e.a.*, 2022a). Dit sterkt het vertrouwen in de modelresultaten (in kwalitatieve zin). De stimulans van kwel op grotere diepte als gevolg van de maatregelen zorgt voor extra aanvoer van basenrijk en/of gebufferd grondwater van grotere diepte naar ondieper in de ondergrond. Kwelfluxen in de ondiepe ondergrond (1.2 m-mv) worden zeer sterk bevorderd, wat aangeeft dat dit kwelwater tenminste deze diepte kan bereiken en waarschijnlijk nog verder, gezien de toenemende afvoer over maaiveld. Via verzadigd grondwatertransport of capillaire opstijging kan het basenrijke en/of gebufferde water zijn weg dan vinden naar de wortelzone. Aldaar aangekomen zorgt het voor oplading van het adsorptiecomplex en compenseert verzuring in de rest van het groeiseizoen (Figuur 4-19). Deze oplading in de winter is zeer belangrijk in blauwgraslanden, die gekenmerkt worden door een iets uitzakkende grondwaterstand naarmate het groeiseizoen vordert. Dit wordt ook weerspiegeld in de zomerkwel, hoewel die ten opzichte van de winter beperkt is. Desalniettemin wordt ook zomerkwel naar de toplaag bevorderd in scenario 2 en 3.

Uit de waterbalansberekeningen volgt dat er bij scenario 2 en 3 meer grondwater wordt vastgehouden (berging) en dat oppervlakkige afvoer wordt bevorderd door het dempen van sloten (in combinatie met peilverhoging). In de huidige toestand wordt in het Liefstingsbroek ook al water vastgehouden boven maaiveld. Uit eerder onderzoek bleek dat dit vooral regenwater is, en dat (diepe) regenwaterlenzen de potenties voor blauwgrasland onderdrukken (van Delft *e.a.*, 2017; Nijp *e.a.*, 2022a). Het is nat, maar het water is te zuur. Bij de forse gemodelleerde bevordering van de kwel en maaiveldafvoer (Figuur 4-13) zullen deze regenwaterlenzen in dikte afnemen en/of verdwijnen, waardoor de potentie van blauwgrasland toeneemt. Zelfs indien het aangevoerde grondwater niet door diepere kalkrijke afzettingen stroomt, zal bevordering van kwel daarmee een effectieve maatregel zijn. Ook op een diepte van ca. 1.5 m-mv is grondwater in het Liefstingsbroek gebufferd (Nijp *e.a.*, 2022a) en bevordert potenties voor grondwaterafhankelijke natuur.



Figuur 4-19. Samenvattend overzicht van hoe ingrepen in de waterhuishouding (scenario 2 en 3) rondom het Liefstingsbroek leiden tot veranderingen in standplaatscondities en hoe die doorwerken op vegetatie.

In de huidige situatie is een te diepe grondwaterstand in de zomer een knelpunt voor behoud en herstel van blauwgrasland. De modelresultaten geven aan dat bij scenario 2 en 3 de grondwaterstand in de zomer ondieper wordt. Dit stimuleert de kansen voor het behalen van de Natura-2000 doelstelling om blauwgrasland te behouden en herstellen (Figuur 4-19).

De resultaten geven verder aan dat een peilverhoging van de waterschapsleiding aanvullend op het dempen van waterlopen tot een toename van kwel naar de top laag in de winter leidt. De effecten van de peilverhoging van de waterschapsleiding op grondwaterdynamiek zijn vooral groot langs de waterschapsleiding en beperkt in het Liefstinghsbroek. De verhoogde aanvoer van kwel komt de potenties voor grondwaterafhankelijke natuur ten goede en is daarmee een effectieve maatregel om de kans van het behalen van de doelstelling voor behoud en herstel van blauwgrasland in het Liefstinghsbroek aanzienlijk te vergroten. Naast de waterhuishouding spelen ook andere factoren een rol in het behalen van deze doelstelling, o.a. verzuring en vermesting door stikstofdepositie. Deze zijn hier niet beschouwd.

Verkenning effect op overige habitattypen

In de vorige paragrafen lag de nadruk op blauwgrasland. Behalve blauwgrasland komt in het Liefstinghsbroek ook Elzenbroekbos, Eiken-haagbeukenbos en Eiken-beukenbos voor als Natura-2000 doelstelling. Voor Elzenbroekbos en Eiken-haagbeukenbos zijn de veranderingen in waterhuishouding als gevolg van scenario 2 en 3 zoals hiervoor genoemd waarschijnlijk ook bevorderlijk voor behoud en herstel. Beide typen profiteren van basenaanvoer naar de wortelzone middels kwel (van den Burg *e.a.*, 2016). Bovendien is de verandering voor Elzenbroekbos (optimale bereik GVG: 18 cm boven tot 7 cm onder maaiveld) minder kritiek: dit komt reeds voor op plekken waar plasvorming optreedt. In de huidige situatie is de GLG op de meeste plekken nét voldoende ondiep of te diep. De ondiepere GLG als gevolg van scenario 2 of 3 zal daardoor ook voor Elzenbroekbos gunstig uitwerken.

Voor het Eiken-Beukenbos zou een vernatting van het gebied kunnen betekenen dat bomen meer zuurstofstress zullen ondervinden. Het wortelstelsel is nu aangepast aan diepere grondwaterstanden. Daarentegen bevindt dit type zich op de hoger gelegen plekken in het Liefstinghsbroek en kunnen in potentie negatieve effecten van verzuring worden tegengegaan bij een ondiepere grondwaterstand: gebufferd grondwater kan capillair opstijgen en de pH in de wortelzone verhogen. Zeker in combinatie met mogelijke aanrijking van basen is dit mogelijk ook gunstig voor Eiken-Beukenbos. De hydrologische maatregelen zouden ook kunnen leiden tot een verschuiving langs de hoogtegradiënt, waarbij Eiken-beukenbos naar een wat hoger gelegen deel verschuift.

5 Aanbevelingen

- De modelresultaten bevestigen observaties in het veldonderzoek en uitwerking van hydrologisch herstel zoals voorgesteld in eerder onderzoek (Nijp *e.a.*, 2022a). Alhoewel de modelresultaten als goede basis gebruikt kunnen worden, is niet met zekerheid te stellen hoe en in welke mate voorgestelde maatregelen in de praktijk precies uitpakken. Bij herstelmaatregelen is het daarom belangrijk om met behulp van monitoring zowel de uitgangssituatie als de gevolgen van de maatregelen door de tijd te blijven volgen met monitoring. Daarvoor is ook een goed beeld van de uitgangssituatie nodig. Met behulp van metingen van (grond)waterkwaliteit en porievocht en tijdreeksen van stijghoogten en waterpeilen kan gemonitord worden of doelen gehaald worden en of ongewenste neveneffecten optreden. Het wordt daarom aanbevolen om de monitoring, die nu nog op projectbasis wordt uitgevoerd tijdig te evalueren en op basis daarvan te besluiten welke monitoring daarvoor moet worden voortgezet en of aanvullende monitoring noodzakelijk is.
- Om de modeluitkomsten en plausibiliteit van scenario's te toetsen, en gezien de grote rol van verdringing van kwel in de bodem door regenwater in de huidige situatie, is het ook van belang om te bepalen hoe bepalend de stuw in de westpunt van het Liefstingsbroek is voor de waterhuishouding. Wordt hier voornamelijk grondwater afgevoerd of is het regenwater? Hoe varieert dit door de tijd? Wat is het effect van herstelmaatregelen op deze delicate balans? Zoals eerder aanbevolen (Nijp *e.a.*, 2022a) biedt het monitoren van EGV en afvoer op deze locatie waarschijnlijk een goed inzicht in de aanvoer van grondwater en basenbalans en optimalisatie van het stuwpeil. De modelresultaten bevestigen het belang van waterlopen voor de waterhuishouding van natuurgebieden.
- Dit onderzoek betreft een verkenning van natuurpotenties. Nu gebleken is dat er kansrijke maatregelen getroffen kunnen worden, is nader onderzoek nodig om te bepalen hoe hier precies invulling aan gegeven kan worden. Enkel de natuurpotenties beschouwend is het dempen van waterlopen in de huidige scenario's (2 en 3) effectief. Als dit direct uitgevoerd wordt, moet nog worden vastgesteld welke noodzakelijke compensatiemaatregelen effectief zijn. Bij gematigdere varianten van de scenario's is grondwatermodellering met nader gespecificeerde scenario's nodig. Hiermee kan bijvoorbeeld worden bepaald in hoeverre met het verhogen van waterloopbodems dezelfde positieve effecten bereikt kunnen worden als het dempen van waterlopen, en in hoeverre een kleinere peilverhoging van de waterschapsleiding ook voldoende bijdraagt aan bevordering van kwel naar de toplaag van het Liefstingsbroek. De modelresultaten geven aan dat de zuidelijke randsloten, de beek ten noordoosten van het Liefstingsbroek, en de zandrugdoorsnijding ten noorden van het Liefstingsbroek de grootste volumes (grond)water draineren in de directe omgeving van het Liefstingsbroek (zie Figuur 4-15 en Figuur 4-16). Deze waterlopen dienen dus in elk geval opgenomen te worden in uitwerking van vervolgsenario's.
- Het wordt afgeraden om met het huidige grondwatermodel een kwantitatieve effectvoorspelling zoals met bijvoorbeeld de Waterwijzer Natuur uit te voeren. Daarvoor is een betrouwbare modellering van de absolute grondwaterstanden in zowel de huidige als de toekomstige situatie noodzakelijk. Het huidige grondwatermodel is daarom nog niet voldoende geschikt. Na verbeteringen is het heel goed denkbaar dat dit wél mogelijk is. Een van de belangrijkste modelaspecten voor verbetering omvat het vroege uitzakken van de grondwaterstand, en de juiste parameterisatie en representatie van processen die dat bepalen. Daarvan zijn een juiste schatting van actuele verdamping, parameterisatie maaiveldafvoer, en drainage via waterlopen belangrijke kandidaten. Een verklaring voor de te diep wegzakkende grondwaterstanden in de zomer zou kunnen zijn dat gemodelleerde verdamping nog doorgaat, terwijl in werkelijkheid transpiratiereductie optreedt door vochttekort. Het belang van maaiveldafvoer zou met metingen van debiet en EGV bij de stuw (zie tweede aanbeveling hierboven) kunnen worden gekarakteriseerd. De

parameterisatie en procesmatige implementatie van verdamping en reductie ervan onder droogte- en zuurstofstress in het grondwatermodel zal daarvoor nog beter onderbouwd moeten worden.

Een tweede aspect dat aandacht verdient is de drainage/infiltratie-weerstand en het waterpeil van waterlopen, en ten derde de drempelwaarden die de maaiveldafvoer bepalen. Hiervan is de gevoeligheid nog niet bepaald en de waarden zijn verder niet gekalibreerd in deze eerste versie van een grondwatermodel gericht op het Liefstingsbroek. Het zou goed zijn om de parameterisatie daarvan nog grondig na te gaan en/of een kalibratie uit te voeren, gebruik makend van de bestaande meetgegevens.

6 Conclusie

Op basis van het voor het Liefstingsbroek opgestelde programma van eisen en de modelberekeningen voor de huidige situatie is geconcludeerd dat het grondwatermodel geschikt is voor een kwalitatieve scenario-analyse. Dit houdt in dat de grootte orde van berekende effecten plausibel geacht wordt en dat een ordening in scenario's kan worden aangebracht. De gemodelleerde ruimtelijke patronen van grondwaterdynamiek, kwel, en effecten van scenario's komen goed overeen met verwachtingen van herstelmaatregelen zoals geformuleerd in eerder onderzoek (Nijp *e.a.*, 2022a). Dit sterkt het vertrouwen en geeft aan dat het model van voldoende kwaliteit is om effecten te berekenen en de richting van veranderingen als gevolg van drie scenario's te bepalen. Deze drie scenario's dienden ter verkenning van haalbare ontwikkelruimte voor natuur. Een precieze duiding van toename van habitattypen uitgedrukt in percentages en oppervlakten is echter niet mogelijk. De berekende absolute grondwaterstanden (met name in de GLG-situatie) vertonen daarvoor nog een te grote afwijking met de metingen voor een kwantitatieve ecologische effectanalyse.

Uit de modelresultaten komt heel duidelijk naar voren dat ingrepen in de terreinen (hoofdzakelijk natuurgebied) rondom het Liefstingsbroek (Scenario 2) nodig zijn om de waterhuishouding in en om het Liefstingsbroek ten behoeve van grondwaterafhankelijke natuur (blauwgrasland, Eiken-haagbeukenbossen en Elzenbroekbos) te bevorderen. Peilverhoging van de waterschapsleiding (Scenario 3) draagt daar nog in belangrijke mate aan bij: binnen de begrenzing van het Liefstingsbroek bevordert deze maatregel de toestroom van kwel naar de toplaag, en verhoogt daarmee de potenties voor blauwgrasland. De gemodelleerde effecten van het scenario (Scenario 1) waarbij alleen de randsloten gedempt worden, zijn onvoldoende om aanvoer van basenrijke kwel en de grondwaterdynamiek te herstellen naar het benodigde bereik van blauwgrasland(-achtige) vegetaties.

Bij alle scenario's zakt de grondwaterstand in het voorjaar en in de zomer minder diep uit. De gewenste voorjaarsgrondwaterstand was ook in de recente situatie na plaatsing van de stuw al in het bereik van blauwgrasland. Dat kwam door het vasthouden van regenwater, waardoor regenwaterlenzen ontstonden. Het dempen van waterlopen leidt volgens de modellering tot een behoorlijke bevordering van kwel naar de toplaag en bovendien van kwel die diepere kalkrijke lagen aansnijdt. Daarmee wordt niet alleen de grondwaterdynamiek verbeterd, maar met name juist ook de aanvoer van basenrijk en gebufferd grondwater. De resultaten van het grondwatermodel zijn niet geschikt bevonden om doorvertaald te worden naar een kwantitatieve verschuiving van natuurpotenties. Desondanks geven de modelresultaten zeer duidelijk en met ruim voldoende betrouwbaarheid aan dat ingrijpen in de waterhuishouding rondom het Liefstingsbroek de potenties voor waardevolle natuur in het Liefstingsbroek aanzienlijk zal verbeteren.

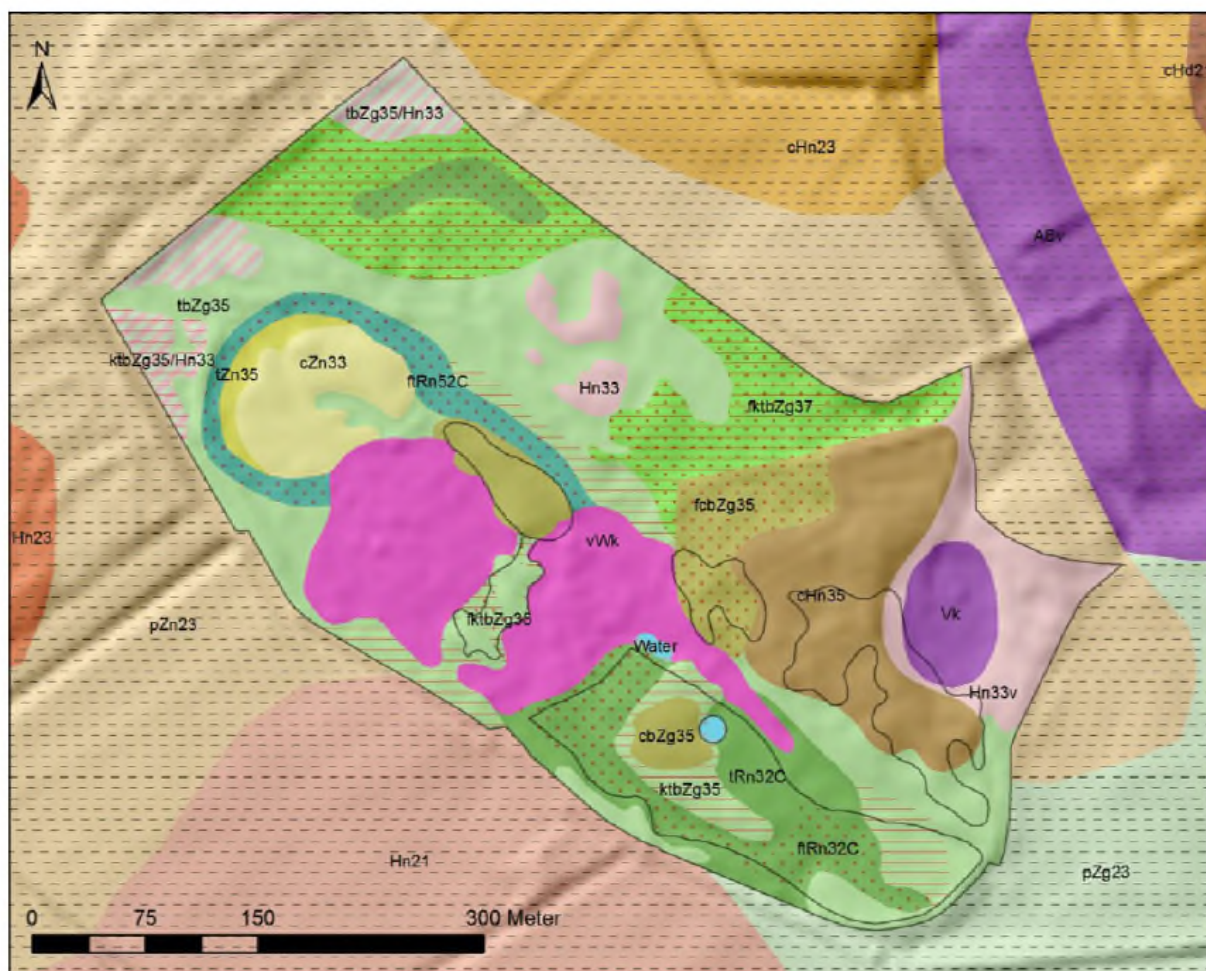
Tabel 6-1. Samenvattend overzicht effecten maatregelenpakketten op potenties voor grondwaterafhankelijke natuur in het Liefstingsbroek.

Scenario	Verwacht effect op kwel	Verwacht effect op grondwaterdynamiek
Scenario 1: Randsloten dempen	Verwaarloosbaar	Onvoldoende
Scenario 2: 1 + omgeving LB dempen	Gunstig	Gunstig
Scenario 3: 2 + stuwpeilen omhoog	Zeer gunstig	Zeer gunstig

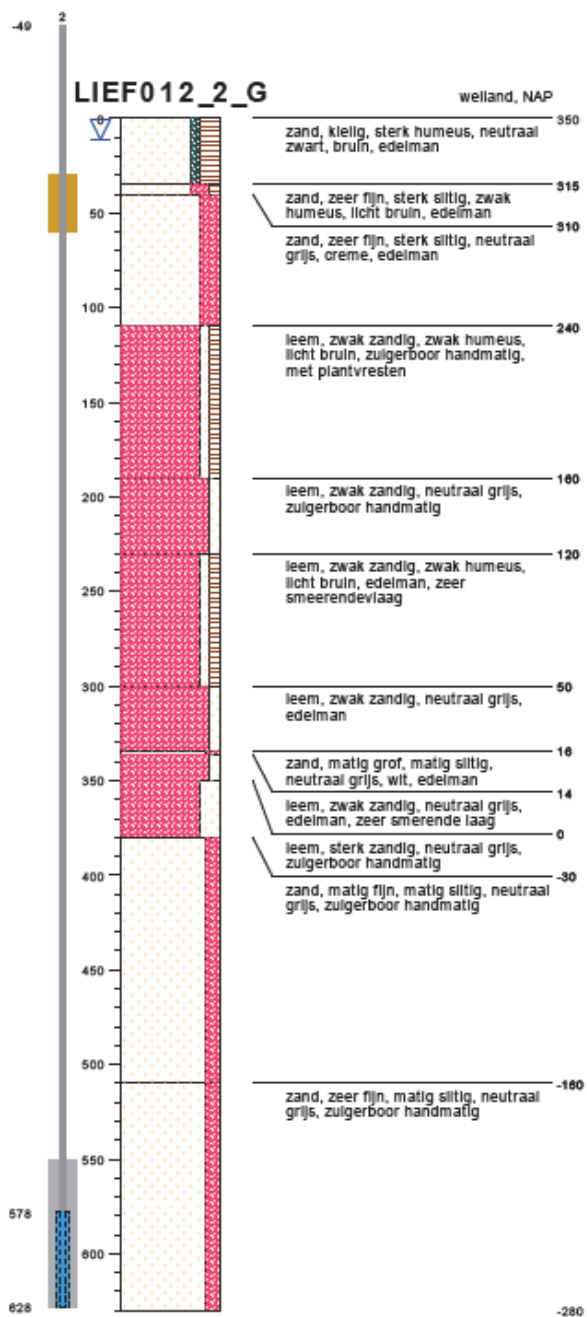
7 Literatuur

- Beven, K. (2006) A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of hydrology*, **320**, 18-36.
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K. & Martinez, G.F. (2009) Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of hydrology*, **377**, 80-91.
- Jalink, M. (2019) *Memo Deskundigen-advies Blauwgrasland Liefstingsbroek*, Nieuwegein. KWR Water Research Institute.
- Mulder, M., Hack-ten Broeke, M., Bartholomeus, R., van Dam, J., Heinen, M., van Bakel, J., Walvoort, D., Kroes, J., Hoving, I. & Holshof, G. (2018) *Waterwijzer Landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie*. Stowa.
- Nijp, J.J., Jalink, M., Clevers, S. & Brouwer, E. (2022a) *Kansen en knelpunten voor natuur in het Liefstingsbroek*, Nieuwegein. KWR + B-WARE.
- Nijp, J.J., de Wit, J., Clevers, S., Dorland, E., Reinds, G.-J., Kros, H., Fuijta, Y., Hoefsloot, P. & Witte, J.-P.M. (2022b) *Waterwijzer Natuur Fase 3 - Klimaatrobuuste modellering van effecten van zuur- en stikstofdepositie op natuur*, Nieuwegein. KWR, WENR, NMI, FWE.
- Runhaar, J., Gehrels, J.C., Van der Lee, G., Hennekens, S.M., Wamelink, G.W.W., van der Linden, W. & De Louw, P.G.B. (2002) *Waterlood deelrapport Doelrealisatie Natuur*, Utrecht, NL. STOWA.
- van Delft, S.P.J., de Waal, R.W., Jansen, P.C., Bijlsma, R.-J. & Wegman, R.M.A. (2017) *Ecohydrologische systeemanalyse Liefstingsbroek. Rapport 2790*, Wageningen. Wageningen Environmental Research.
- van den Burg, A., Bijlsma, R., Brouwer, E. & de Waal, R. (2016) *Vochtige bossen, tussen verdrogen en nat gaan*, Driebergen. OBN / VBNE.
- van der Gaast, J. & Massop, H.T.L. (2003) *Spreidingslengte voor het beheersgebied van waterschap Veluwe; een maat voor het bufferzonebeleid*. Alterra.
- van Immerzeel, K. & Holtus, E. (2022) *Grondwatermodellering Liefstingsbroek - Effecten van aanpassingen op het watersysteem op de grondwaterdynamiek van Liefstingsbroek en omgeving*. Sweco.
- Witte, J., Runhaar, J., Bartholomeus, R., 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.

I Bodemkaart Liefstingsbroek



II Bodemprofiel beekdal noordoost



III Eigendomskaart Natuurmonumenten



Geel gearceerde gebieden zijn ten tijde van 2022 in beheer van Natuurmonumenten