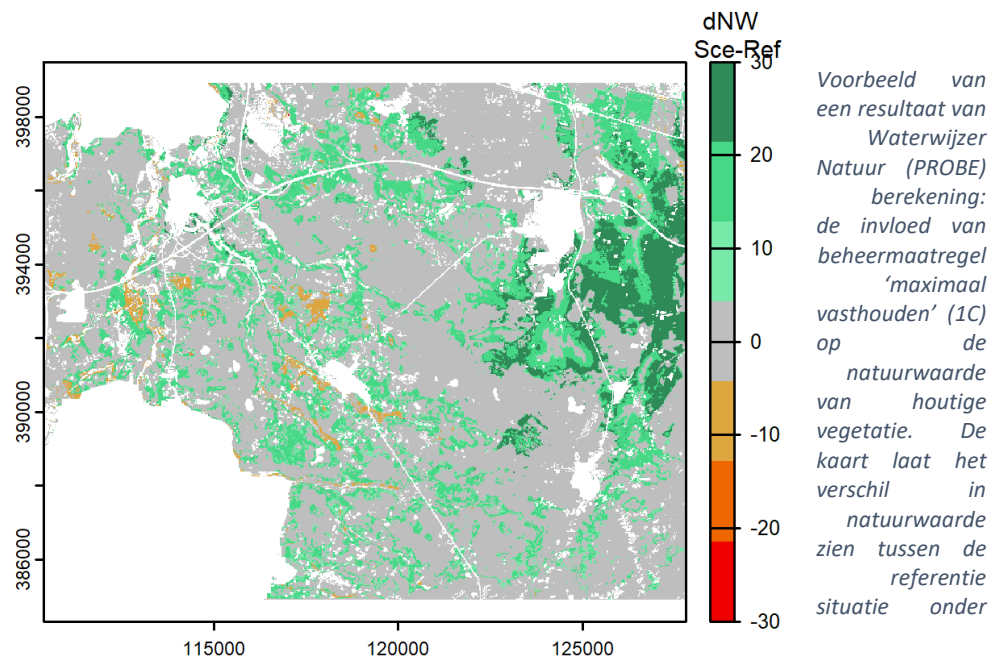


Klimaatadaptatie in de praktijk

Een toepassing van Waterwijzer Natuur op stroomgebied Chaamse Beken



klimaatverandering (KNMI scenario WH) en met variant 1C onder klimaatverandering.



Colofon

Klimaatadaptatie in de praktijk: Een toepassing van Waterwijzer Natuur toepassing op stroomgebied Chaamse Beken

KWR 2023.024 | Juli 2023

Projectnummer

403006

Projectmanager

Edu Dorland

Opdrachtgever

Waterschap Brabantse Delta

Auteurs

Sharon Clevers, Jelmer J. Nijp

Kwaliteitsborger

Ruud Bartholomeus

Verzonden aan

Waterschap Brabantse Delta

Keywords

WWN, Chaamse Beken

[Jaar van publicatie](#)

2023

[Meer informatie](#)

Sharon Clevers

T +31 30 606 9645

E Sharon.Clevers@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



Juli 2023 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een

Samenvatting

Deze studie laat zien hoe de Waterwijzer Natuur (WWN) kan worden ingezet bij toekomstverkenningen voor een stroomgebied, om te bepalen hoe bijvoorbeeld klimaatverandering of verandering in waterhuishouding doorwerkt op potenties voor natuur. De WWN is een instrument waarmee kan worden bepaald wat de effecten zijn van waterbeheer, klimaatverandering en/of stikstofdepositie op terrestrische vegetatie. Hiermee kan de WWN gebruikt worden in gebiedsstudies om te bepalen in welke mate regionale maatregelen bijdrage aan het behalen van natuurdoelen. Om de werking van de WWN te illustreren, is deze toegepast op het stroomgebied van de Chaamse Beken. Hierbij is inzichtelijk gemaakt hoe veranderingen in waterhuishouding en klimaat doorwerken op natuur.

Het Waternood instrumentarium (onderdeel van de Waterwijzer Natuur) is ingezet om te toetsen of en waar natuurdoelen worden gehaald bij de huidige waterhuishouding. Voor de casus Chaamse Beken wordt hierbij gebruik gemaakt van de provinciale ambitiekaart met beheertypen. De ecotoopgroepen uit de resultaten van Waternood zijn doorvertaald naar beheertypen om een vergelijking met de ambitiekaart mogelijk te maken. Hieruit komt naar voren dat voor grote delen van het gebied de hydrologische randvoorwaarden dusdanig zijn dat de natuurambities met meer dan 80% gerealiseerd kunnen worden. Er zijn echter enkele locaties waar de waterhuishouding te droog is voor de doelbeheertypen. Het gaat hierbij om beheertypen met hoge natuurwaarde: Vochtige heide (N06.04), Zwak gebufferde vennen (N06.05) en Zure vennen en hoogveenvennen (N06.06).

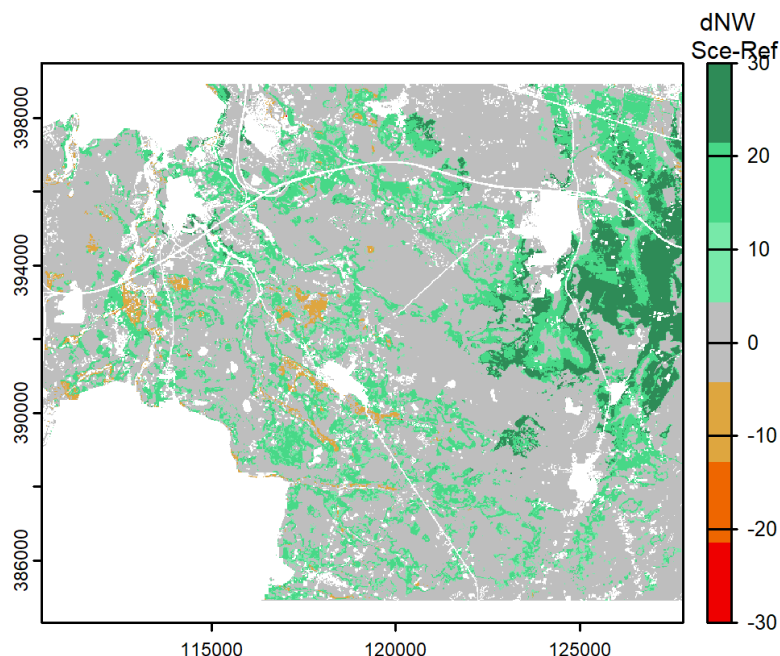
Daarnaast zijn voor casus Chaamse Beken toekomstscenario's verkend voor het KNMI'14 WH scenario met zichtjaar 2050. De invloed van beheermaatregelen is gebaseerd op twee inrichtingsvarianten: Maximaal vasthouden (1C) en Natuur versterken (2B). Voor deze analyses is gebruik gemaakt van PROBE (PROBability-Based Ecological target model), onderdeel van de Waterwijzer Natuur. Met PROBE kan worden ingeschat hoe veranderingen in klimaat, al dan niet in combinatie met waterbeheer en verandering in stikstofdepositie, doorwerken op de vegetatie (Figuur 0-1).

Als gevolg van klimaatverandering wordt de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) in praktisch het hele modeldomein ondieper. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) wordt ondieper in het oostelijke deel maar wordt dieper in het westen. Als gevolg van deze vochtigere omstandigheden in het oosten nemen de potenties voor aan natte standplaatsen gebonden beheertypen volgens PROBE toe door klimaatverandering. Voor zowel de inrichtingsvariant 'Maximaal vasthouden' (1C) als 'Natuur versterken' (2B) wordt een vernatting van het gebied voorspeld. Als gevolg van ingrijpende aanpassingen in het watersysteem in scenario 1C neemt voor korte vegetaties de potentie van vochtige heide en trilveen aanzienlijk toe in het gebied. Voor houtige vegetaties verschuift de potentie van droog bos naar hoog- en laagveenbos en beek-begeleidende bossen. De verschuiving naar nattere natuurtypen gaat gepaard met een toename van natuurwaarde.

Van belang is dat de beheertypen op de ambitiekaart primair gedifferentieerd worden op basis van beheer. Abiotiek speelt hierbij ook een rol, maar is vaak slechts secundair. Dit is een probleem, want alleen als abiotische randvoorwaarden op orde zijn kan met beheer gestuurd worden op welke beheertypen kans hebben. De beheertypen-typologie in de ambitiekaart sluit daarom slecht aan bij het bepalen van effecten van waterbeheer en klimaat op natuurpotenties. Omdat het huidige beleid echter wel met deze informatie wordt gevoed, hebben we deze vertaling - met de nodige mitsen en maren - tóch uitgevoerd.

In dit onderzoek is aan de hand van een casestudie gedemonstreerd hoe de Waterwijzer Natuur kan worden ingezet om te verkennen welke effecten veranderingen in toekomstig waterbeheer en klimaat doorwerken op natuur. Dezelfde methodiek kan worden toegepast voor andere natuurgebieden in het kader van gebiedsprocessen en in het kader van bijvoorbeeld 'Bodem en Water sturend', 'Functie volgt peil' en om de

watertransitie vorm te geven. Dergelijke analyses kunnen worden uitgevoerd als de uitvoer van een betrouwbaar grondwatermodel (GxG en kwelflux) beschikbaar is voor de gewenste scenario's. Met de Waterwijzer Natuur kunnen scenario's worden vergeleken om kwantitatief en ruimtelijk inzichtelijk te maken welke veranderingen in waterbeheer het meest kansrijk zijn om natuurdoelen te behalen. De opgestelde vertaling van ecotoopgroepen naar beheertypen biedt daarbij een verbeterde aansluiting met beleid, zoals provinciale ambitiekaarten.



Figuur 0-1 Voorbeeld van een resultaat van Waterwijzer Natuur (PROBE) berekening: de invloed van beheermaatregel 'maximaal vasthouden' (1C) op de natuurwaarde van houtige vegetatie. De kaart laat het verschil in natuurwaarde zien tussen de referentie situatie onder klimaatverandering (KNMI scenario WH) en met variant 1C onder klimaatverandering.

Inhoud

1	Inleiding	6
2	Methode	7
2.1	Overzicht	7
2.2	Toetsing van de huidige waterhuishouding –Waternood	7
2.3	Effectvoorspelling met Waterwijzer Natuur – PROBE	9
2.3.1	Werking PROBE	9
2.3.2	Beschrijving scenario's	10
2.3.3	Invoer voor PROBE	11
	Waterhuishouding	11
	Overige modelinvoer	14
2.3.4	Ecotoopgroepen	14
2.3.5	Vertaling ecotoopgroepen naar beheertypen	16
2.3.6	Natuurwaarde	19
3	Resultaten	20
3.1	Waternood: Toetsing van huidige waterhuishouding	20
3.2	PROBE: Effect klimaatverandering op natuur	23
3.2.1	Effect klimaatverandering op standplaatscondities	23
3.2.2	Effect klimaatverandering op korte vegetaties	25
	Natuurwaarde	25
3.2.3	Effect klimaatverandering op houtige vegetaties	30
	Natuurwaarde	30
3.3	PROBE: Voorspellen effect van inrichtingsvarianten	33
3.3.1	Effect hydrologische maatregelen op standplaatscondities	33
3.3.2	Effect hydrologische maatregelen op korte vegetaties	36
	Verandering natuurwaarde	36
	Verschuivingen in vegetatietypen	38
3.3.3	Effect hydrologische maatregelen op houtige vegetatie	41
	Verandering natuurwaarde	41
	Verschuivingen in vegetatietypen	43
4	Discussie	46
5	Conclusies	48
6	Literatuur	50

1 Inleiding

Het project KLIMaat Adaptatie in de Praktijk (KLIMAP) is een samenwerking tussen kennisinstellingen en overheden (zie voor meer informatie deze [link](#)). Het project richt zich op de hoge zandgronden waar verschillende cases worden opgepakt. In deze studie wordt de Waterwijzer Natuur (WWN) toegepast op de casestudy Chaamse Beken. De Waterwijzer Natuur (WWN) is een instrument waarmee kan worden bepaald wat de effecten zijn van waterbeheer, klimaatverandering en/of stikstofdepositie op terrestrische vegetatie. De WWN wordt toegepast op verschillende ruimtelijke schalen, van lokaal (een natuurgebied) tot nationaal (heel Nederland). De tool is ontwikkeld door een samenwerking tussen Wageningen University en Research, Stowa, Nutrient Management Institute (NMI), Hoefsloot Spatial Solutions (HSS) en KWR Water Research Institute als trekker. De WWN is continu in ontwikkeling; de afgelopen jaren zijn meerdere versies verschenen. Op dit moment is de nieuwste versie de WWN-3, waarbij de effecten van veranderingen in stikstofdepositie recent aan het instrument zijn toegevoegd (KWR, 2022; Nijp et al., 2022). De WWN bevat twee onderdelen ondergebracht in een gebruiksvriendelijke schil. Met het eerste onderdeel, Waternood, kan worden getoetst of de huidige waterhuishouding in overeenstemming is met ecologische vereisten van vegetatie. Met PROBE, het tweede onderdeel, kunnen ook toekomstvoorspellingen worden gedaan. Doordat mechanistisch rekening gehouden wordt met veranderingen in interacties tussen klimaat, water, voedingsstoffen en zuurgraad, is deze voorspelling klimaatrobust.

Het doel van deze studie is om de werking van de WWN te illustreren en zowel potenties van de tool als beperkingen inzichtelijk te maken. In een recent onderzoek van Deltares (Schoonderwoerd e.a., 2022) is aan de hand van het Brabant Model van Waterschap Brabantse Delta verkend hoe het stroomgebied Chaamse Beken klimaatbestendig kan worden ingericht. Hierbij zijn een aantal toekomstscenario's verkend, gebaseerd op twee inrichtingsvarianten:

1. V1C - Maximaal vasthouden: vasthouden van water in het stroomgebied door middel van rigoureuze aanpassingen in de waterhuishouding, waarbij het natuurlijke watersysteem leidend is. Deze variant geeft een beeld van het maximaal haalbare effect dat binnen het stroomgebied bereikt kan worden.
2. V2B - Natuur versterken: de huidige natte natuur in het stroomgebied wordt versterkt. Maatregelen zijn gericht op gebieden rondom het stroomgebied, terwijl de rest van de inrichting van het systeem gelijk blijft aan de huidige situatie.

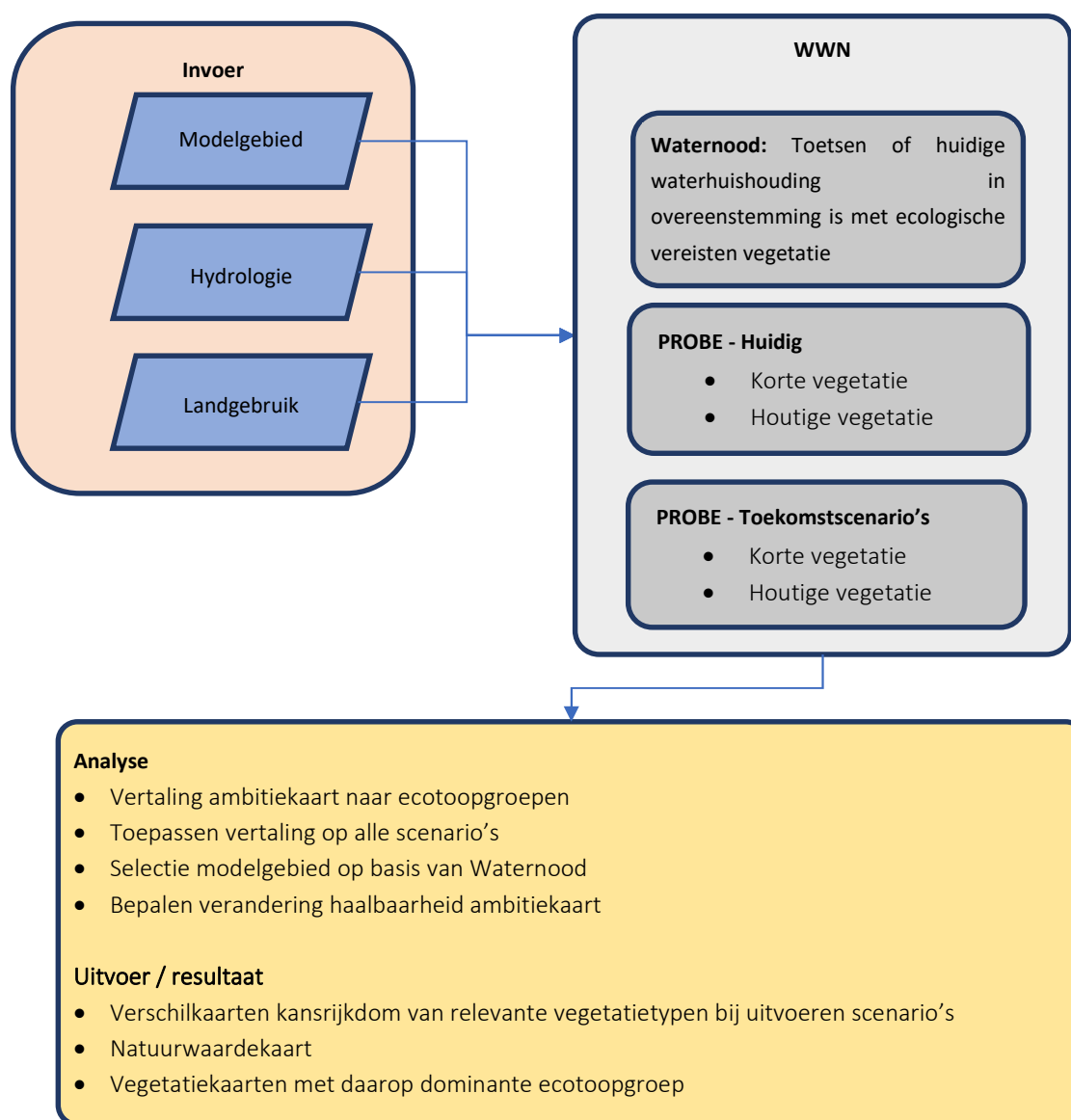
In deze rapportage wordt op de resultaten van Schoonderwoerd et al (2022) voortgeborduurd, waarbij de invloed van klimaatverandering en de inrichtingsvarianten op de natuurbeheertypen en natuurwaarden met behulp van de Waterwijzer Natuur (PROBE) is bepaald. Daarnaast is Waternood ingezet om te toetsen of met de huidige waterhuishouding de doelstellingen van beheertypen gerealiseerd kunnen worden.

Hoofdstuk 2 beschrijft de gehanteerde methodiek en aannames bij de analyses. In hoofdstuk 3 worden de resultaten toegelicht. De resultaten zijn ingedeeld in drie paragrafen: 1) toetsing van de huidige waterhuishouding aan vegetatiedoelen (Waternood), 2) effect van klimaatverandering op vegetatie (PROBE) en 3) effect van hydrologische maatregelen (PROBE). In hoofdstuk 4 volgt een discussie waarin de kansen en beperkingen van de methodiek worden beschreven. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en aanbevelingen van dit rapport.

2 Methode

2.1 Overzicht

Doel van het onderzoek is middels een studie in proefgebied Chaamse Beken een methodiek op te stellen om inzichtelijk te maken hoe veranderingen in waterhuishouding en klimaat doorwerken op natuur. Het schema in Figuur 2-1 vat deze methodiek samen. De afzonderlijke aspecten van dit overzicht worden in de volgende paragrafen uitgebreid toegelicht.

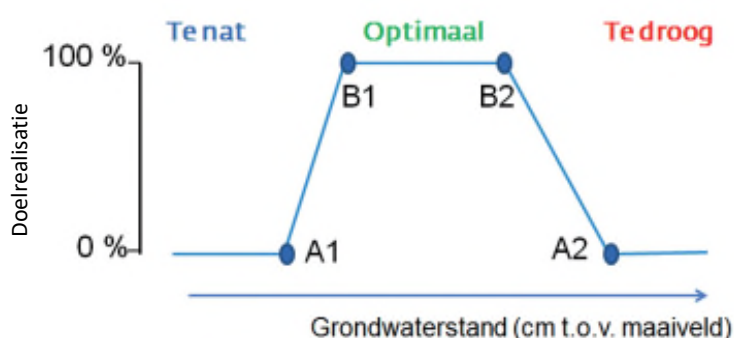


Figuur 2-1. Schematisch overzicht van de methodiek in dit onderzoek.

2.2 Toetsing van de huidige waterhuishouding –Waternood

Het Waternood instrumentarium is sinds 2018 bij de Waterwijzer Natuur ondergebracht en kan worden gebruikt om te toetsen of en waar natuurdoelen in een gebied worden gehaald bij de huidige waterhuishouding. Waternood doet dus geen toekomstvoorspellingen, maar is alleen geschikt voor toetsing van de huidige

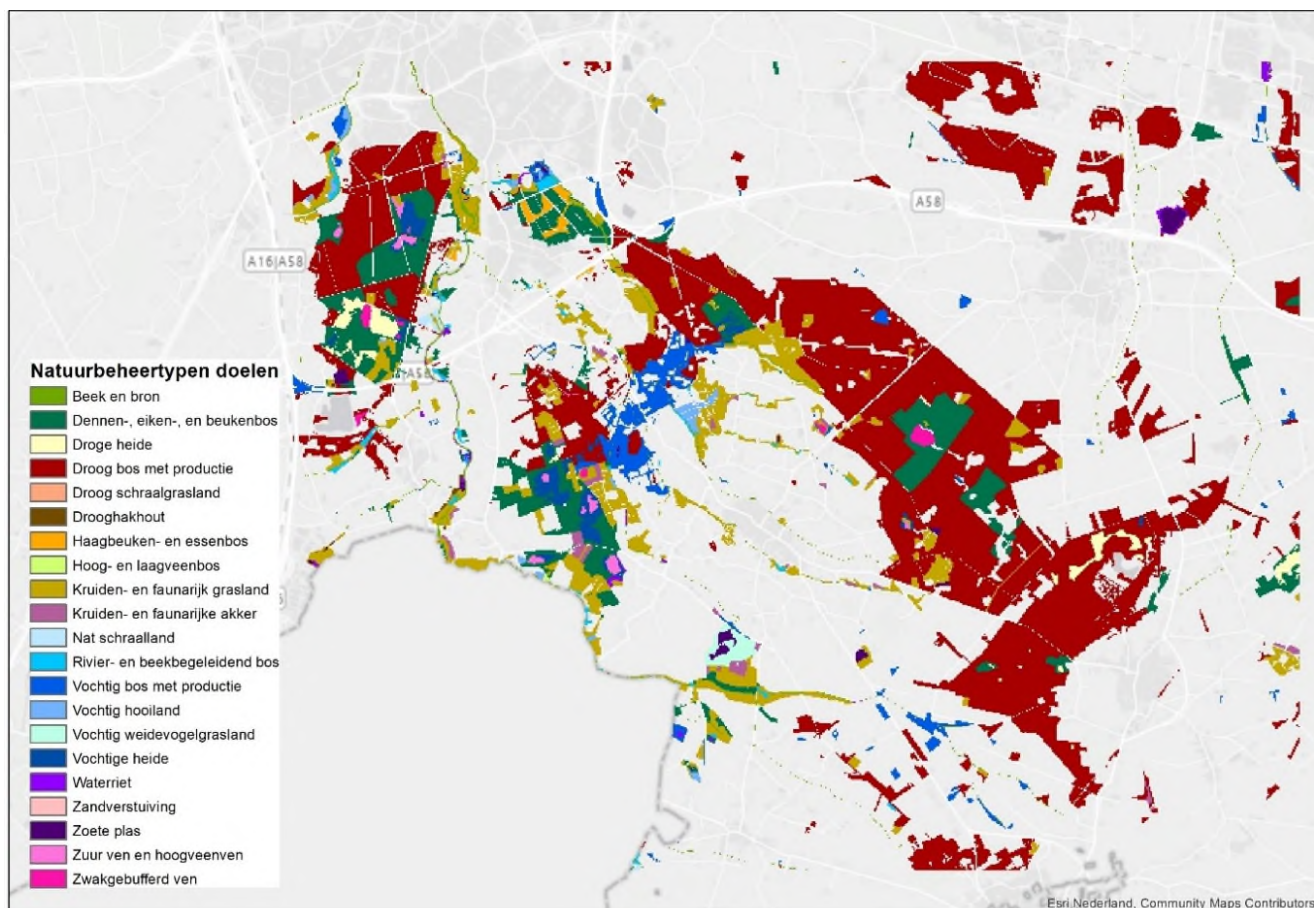
waterhuishouding aan bestaande vegetatiedoelen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Hydrologische Randvoorwaarden Natuur van Runhaar en Hennekens (2015). De hydrologische randvoorwaarden die vegetatietypen of doeltypes stellen aan de waterhuishouding zijn in Waternood opgenomen met trapeziumvormige doelrealisatiefuncties (Figuur 2-2). Deze functies bepalen met knikpunten (A1, B1, B2 en A2) per hydrologische variabele (GVG, GLG en droogtestress DS volgens Jansen e.a. (2000)) bij welke grenzen het vegetatietype/doeltype kan voorkomen en welke waarden optimaal (100%, zonder beperkingen) zijn voor het voorkomen van een vegetatietype. Ook kan een drempelwaarde voor minimale kwelflux worden gedefinieerd om de doelrealisatie voor kwel te bepalen. Daar wordt in dit onderzoek geen gebruik van gemaakt omdat (1) kwel op grotere diepte niks zegt over kwel naar de wortelzone; (2) niet alleen de kwelflux maar juist ook de kwelkwaliteit van belang is en (3) er momenteel (nog) geen kennis beschikbaar is om deze drempelwaarden op te baseren. Naast dat Waternood kwantitatief inzicht geeft in hoeverre een vegetatiedoel gehaald wordt, kan een mismatch tussen vegetatie en waterhuishouding ook indiceren dat het gesimuleerde grondwaterregime in het grondwatermodel onvoldoende overeenkomt met de werkelijkheid.



Figuur 2-2. Doelrealisatiefunctie met 4 knikpunten per vegetatietype in Waternood. Hieruit is af te leiden bij welke waarde van de GVG, GLG en droogtestress hoeveel procent van het natuurdoel kan worden gehaald (Witte e.a., 2018)

Waternood wordt in deze methodiek toegepast om een ruimtelijk beeld te krijgen van de haalbaarheid van vegetatiedoelen en de prestatie van het grondwatermodel. Voor de casus Chaamse Beken zijn de natuurdoelen vastgesteld op de provinciale ambitiekaart als beheertypen (Figuur 2-3). Aan de oorspronkelijke beheertypenkaart zijn enkele wijzigingen aangebracht, aangezien deze enkele beheertypen bevatte die niet in de knikpuntentabel van WWN zijn opgenomen. Het gaat hierbij om de volgende beheertypen:

- N16.03 (droog bos met productie) en N16.04 (vochtig bos met productie): deze beheertypen hebben sinds 01-01-2018 nieuwe codes. In de WWN wordt nog de oude codering gehanteerd; N16.03 is vervangen door N16.01 en N16.04 is vervangen door N16.02.
- N01.03 (Rivier- en moeraslandschap) en N01.04 (Zand- en kalklandschap): behoren tot grootschalige dynamische natuur en omvatten een dermate groot bereik aan standplaatscondities dat het onmogelijk is om daar knikpunten aan te koppelen. Deze beheertypen zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.
- N12.06 (Ruigteveld): zie N01.03; niet te specificeren in abiotische randvoorwaarden. Wordt vooral gestuurd door beheer. Dit beheertype is daarom niet meegenomen in dit onderzoek.
- N17.03 (Park- en stinzenbos): Park- en stinzenbos komt voornamelijk voor op min of meer kalkrijke zand-, zavel- en kleigronden op oeverwallen langs rivieren, op Friese stinzen en in de binnenduinrand. Dit is vooral gekarakteriseerd door aangeplante stinzenflora maar heeft een slechte relatie met abiotische standplaatscondities. Er zijn daarom geen knikpunten gedefinieerd voor dit type. N17.03 is daarom niet meegenomen in dit onderzoek.



Figuur 2-3. Kaart met natuurdoeltypen in het Chaamse Beken stroomgebied

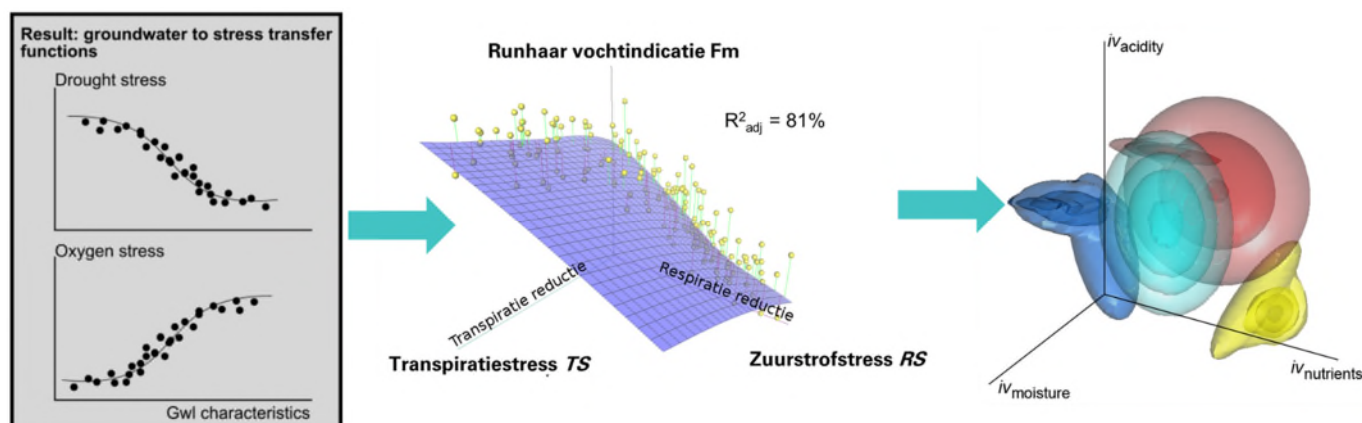
2.3 Effectvoorspelling met Waterwijzer Natuur – PROBE

2.3.1 Werking PROBE

Met PROBE (PRObability-Based Ecological target model; Witte *e.a.* (2007)) kan worden bepaald hoe veranderingen in klimaat, al dan niet in combinatie met waterbeheer en verandering in stikstofdepositie, doorwerken op de vegetatie. In tegenstelling tot Waternood baseert PROBE de kansrijkdom van vegetatie niet alleen op vochttoestand, maar ook voedselrijkdom en zuurgraad van de bodem. In PROBE worden hydrologische en bodemchemische processen, en de wisselwerking daartussen, expliciet gemodelleerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een koppeling van de modellen SWAP (Kroes *e.a.*, 2003), CENTURY (Fujita *e.a.*, 2013) en VSD+ (Bonten *e.a.*, 2016). SWAP wordt gebruikt om de hydrologische invoer te bepalen aan de hand van berekeningen van het transport van water in de onverzadigde zone. Hieruit volgen zuurstofstress en transpiratiestress, klimaatrobuuste maten voor het vochtregime in de bodem (Bartholomeus *e.a.*, 2008). CENTURY gebruikt de hydrologische uitvoer van SWAP om daarmee de mineralisatie van fosfor en stikstof te bepalen. VSD+ wordt gebruikt om de zuurgraad in de bodem te berekenen. Dit laatste gebeurt op basis van de hoeveelheid kwel (vaak basenrijk) en omzettingsprocessen die door de zuurgraad worden beïnvloed (mineralisatie, nitrificatie en denitrificatie). Deze processen bepalen samen met de uitwisseling van kationen en mineraalverwerking de basenverzadiging in de bodem. VSD+ bepaalt op basis van deze basenverzadiging de pH, die weer als input voor PROBE dient (Nijp *e.a.*, 2022). Door rekening te houden met interacties tussen klimaat, water, bodem, en vegetatie, worden klimaatrobuuste standplaatscondities gesimuleerd. Hierdoor is PROBE zeer geschikt voor toekomstverkenningen. PROBE maakt gebruik van statistische relaties tussen versimpelde, makkelijk verkrijgbare modeluitvoer van regionale grondwatermodellen en landelijk beschikbare ruimtelijke informatie enerzijds, en op

procesmodellen gebaseerde standplaatscondities anderzijds. Deze statistische relaties worden metarelaties genoemd.

Figuur 2-4 geeft een beeld van de werking van PROBE en metarelaties wat betreft de hydrologische aspecten. De uitvoer van een grondwatermodel wordt vertaald naar klimaatrobuuste standplaatscondities zuurstofstress en transpiratiestress (links). Op basis van een empirische relatie wordt in een tweede stap de indicatiewaarde voor vocht (naar Runhaar, 2015) uit deze klimaatrobuuste maten voor het vochtregime afgeleid (midden). Ten slotte wordt, gezamenlijk met de indicatiewaarde voor voedselrijkdom en zuurgraad, de kansrijkdom van vegetatie bepaald (rechts). Zie Witte *e.a.* (2018) en Nijp *e.a.* (2022) voor meer informatie en een gedetailleerdere beschrijving van de werking van de Waterwijzer Natuur.



Figuur 2-4. Van uitvoer grondwatermodel naar voorspelling in PROBE. Links: Grondwaterstanden uit grondwatermodel (x as) naar transpiratiestress TS en zuurstofstress RS zoals berekend met procesmodel (y as). Midden: RS en TS naar indicatiewaarde vocht. Rechts: van indicatiewaarde naar kansrijkdom vegetatietypen. De verschillende kleuren geven verschillende vegetatietypen weer, waarbij donkerdere kleuren een grotere kansrijkdom voorstellen.

2.3.2 Beschrijving scenario's

Er zijn twee typen toekomstverkenningen uitgevoerd met PROBE. Ten eerste bepaald wat het effect van klimaatverandering op de huidige natuur is. Hierbij is gebruik gemaakt van KNMI'14 W_H scenario met zichtjaar 2050, waarin de prognose is dat winters natter en zachter worden, terwijl zomers warmer en droger worden (KNMI, 2015). Het effect van klimaatverandering op de huidige natuur is alleen relevant voor gebieden waar momenteel natuur aanwezig is. In de Waterwijzer Natuur wordt via de huidige vegetatiestructuur (landgebruikskaart) opgelegd waar korte vegetaties (K; graslanden en pioniersvegetaties) of houtige vegetaties (H; bossen en struwelen) voorkomen. Via maai- en kapbeheer zou de huidige vegetatiestructuur in natuurgebieden in de toekomst kunnen worden omgevormd van kort naar houtig en vice versa. Daarom zijn scenario's zowel voor korte als houtige vegetaties doorgerekend.

In praktijk wordt soms het criterium gehanteerd dat bossen niet voor zouden kunnen komen bij een GHG ondieper dan 60 cm beneden maaiveld. Er is daarom op kaarten ruimtelijk inzichtelijk gemaakt waar de GHG ondieper is dan 60 cm, en dus waar geen houtige vegetaties zouden kunnen voorkomen.

In de tweede toekomstverkenning is bepaald hoe twee hydrologische inrichtingsvarianten, gericht op het 'klimaatrobuuster' maken van het watersysteem, doorwerken op natuurpotenties. Dit is niet alleen binnen de huidige begrenzing van natuurgebieden bepaald, maar ook juist daarbuiten. Zo kan worden bepaald of er door hydrologische herinrichting potenties ontstaan buiten de huidige begrenzing van natuur. Net als bij de eerste analyse wordt deze toekomstverkenning zowel voor korte als houtige vegetaties uitgevoerd. Zowel voor korte als houtige vegetaties is bepaald waar in de toekomst potenties voor waardevolle natuur bestaan en of deze verschuiven als gevolg van de scenario's. Bij deze toekomstige inrichtingsvarianten wordt ook uitgegaan van KNMI'14 scenario W_H en dient een situatie met toekomstig klimaat maar huidige waterhuishouding als referentie.

Zo kunnen natuurpotenties van alle toekomstvarianten onderling vergeleken worden. In totaal zijn daarvoor 8 PROBE simulaties uitgevoerd (Tabel 2-1). In de volgende paragraaf wordt ingegaan op hoe de scenario's zijn opgebouwd en welke informatie daarvoor is gebruikt.

Tabel 2-1. Overzicht PROBE scenario's.

#	Code	Waterbeheer	Klimaat	Vegetatiestructuur
1	REF_OA	Huidige inrichting watersysteem	Huidig	Kort
2	REF_OA	Huidige inrichting watersysteem	Huidig	Houtig
3	REF_OB	Huidige inrichting watersysteem	WH2050	Kort
4	REF_OB	Huidige inrichting watersysteem	WH2050	Houtig
5	V_1C	Maximum pakket aanpassingen	WH2050	Kort
6	V_1C	Maximum pakket aanpassingen	WH2050	Houtig
7	V_2B	Aanpassingen bufferzones rond natuur	WH2050	Kort
8	V_2B	aanpassingen bufferzones rond natuur	WH2050	Houtig

Samengevat zijn de volgende vergelijkingen gedaan door middel van de uitkomsten uit de PROBE berekeningen:

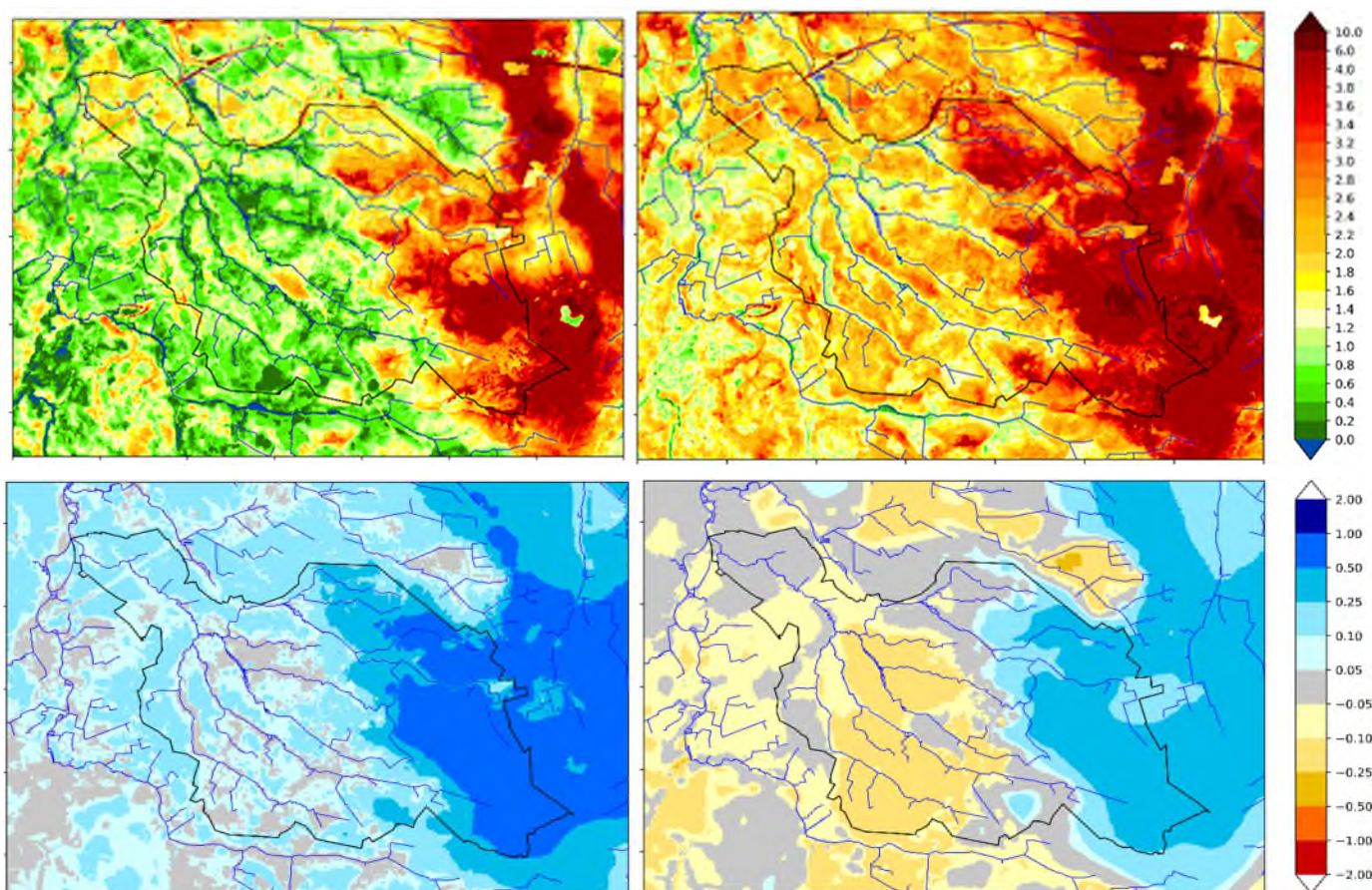
- Effect van klimaatverandering op natuur (huidige begrenzing natuur)
 - REF OB tov REF OA kort
 - REF OB tov REF OA houtig
- Voor hele modelgebied: Effect van maximum pakket (V1C) en bufferzones (V2B) in een toekomstig klimaat:
 - V1C tov REF OB kort
 - V1C tov REF OB houtig
 - V2B tov REF OB kort
 - V2B tov REF OB houtig

2.3.3 Invoer voor PROBE

Waterhuishouding

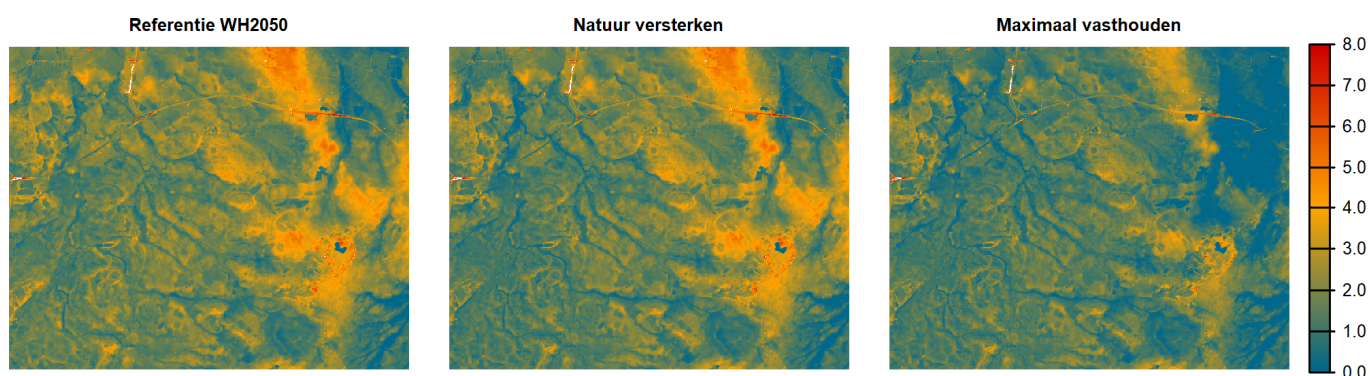
De belangrijkste invoer voor WWN-PROBE die door de gebruiker kan worden aangepast is het grondwaterregime en jaargemiddelde kwelflux. Het grondwaterregime wordt beschreven met de hoogste, laagste, gemiddelde, en voorjaarsgrondwaterstand (GHG, GLG, GG, GVG; gezamenlijk GxG). De hydrologische invoer van de huidige en de toekomstscenario's is afkomstig van simulaties met een grondwatermodel. Dit grondwatermodel is in het kader van KLIMAP opgesteld door Deltares (Schoonderwoerd e.a., 2022), en betreft een aangepaste versie van het Brabant Model. Voor details omtrent de grondwatermodellering verwijzen wij naar Schoonderwoerd e.a. (2022); er zijn voor de analyses met WWN geen aanpassingen gedaan aan het model.

Uit de grondwatermodellering komt naar voren dat de GHG enorm toeneemt door klimaatverandering, met name in het oostelijke hoger gelegen deel van het stroomgebied (Figuur 2-5). De GLG neemt in het oostelijk deel ook toe, maar in de rest van het gebied wordt de GLG juist lager. Dit duidt op een toename van seizoenale grondwaterstandsfluctuaties in het oostelijk deel van het stroomgebied.

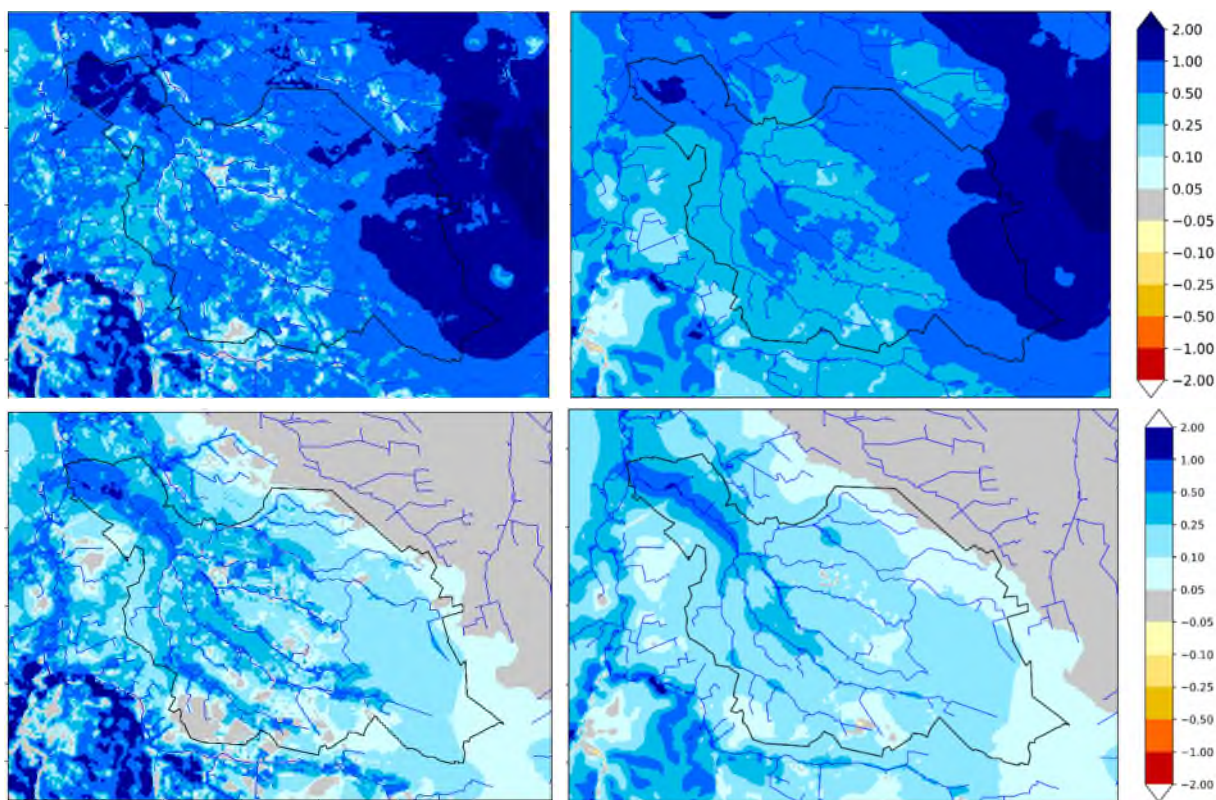


Figuur 2-5. Boven: GHG (links) en GLG (rechts) (m-mv) in referentiesituatie bij huidig klimaat. Gesimuleerde verandering (in meters) van de GHG (links) en GLG (rechts) onder klimaatverandering in de KNMI'14 scenario's (WH2050). Een blauwe kleur geeft een stijging van de grondwaterstand aan (ondieper), een gele tot rode kleur geeft een daling (diepere grondwaterstand) aan. Kaarten en simulaties afkomstig uit Schoonderwoerd e.a. (2022).

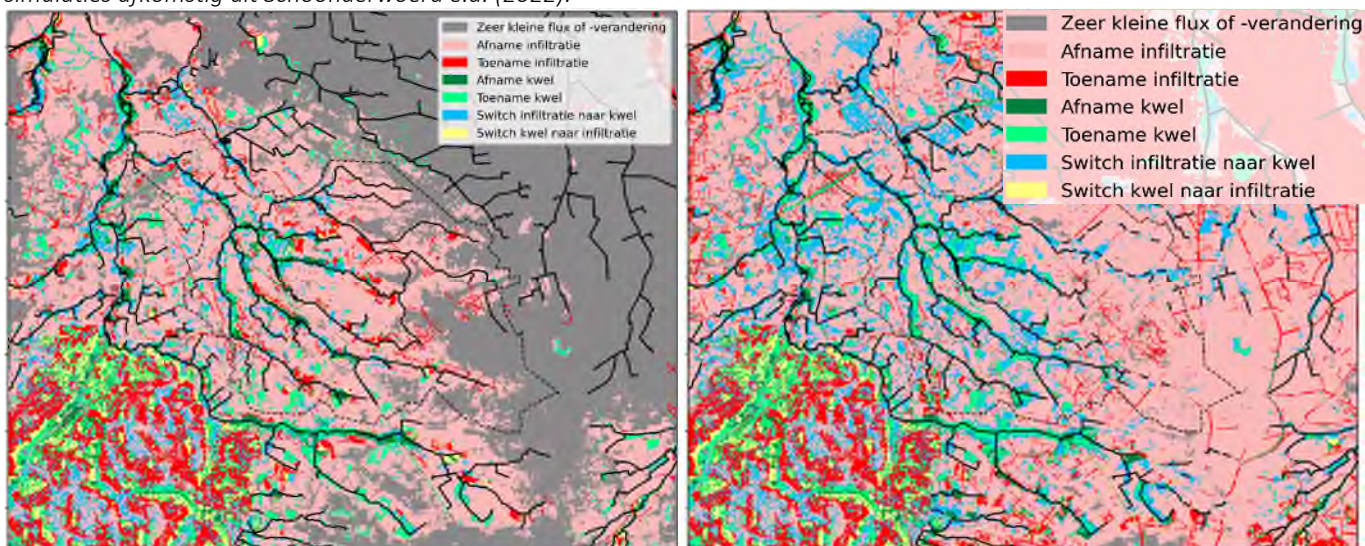
Ook als gevolg van de inrichtingsvarianten wordt een flink ondiepere grondwaterstand in grote delen van het modeldomein voorspeld, oplopend tot meer dan 1 meter in het Chaamse Beken stroomgebied (Figuur 2-6; Figuur 2-7). Voor de variant 'Maximaal vasthouden' (V1C) is dat wederom voornamelijk in het oostelijke deel van het modeldomein (dat overigens buiten het Chaamse Beken stroomgebied valt). Belangrijk is dat in beide varianten een toename van kwel wordt voorspeld: zowel het areaal als de hoeveelheid zullen toenemen, met name bij de variant 'Maximaal vasthouden' (Figuur 2-8). Kwel betreft hier de verticale toestroom over de onderkant van de bovenste modellaag; het geeft dus niet aan of deze kwel ook in de wortelzone komt.



Figuur 2-6. Gemiddeld laagste grondwaterstand (meter beneden maaiveld) bij de drie scenario's. De GLG is bepaald over de periode 1996 – 2004.



Figuur 2-7. Verandering van de GHG (links) en GLG (rechts) bij variant 'maximaal vasthouden' (1C; boven) en variant 'natuur versterken' (2B). Een blauwe kleur geeft een stijging van de grondwaterstand aan, een gele tot rode kleur geeft een daling aan. De grondwaterkarakteristieken zijn berekend over de periode 1996 – 2004. Figuren en simulaties afkomstig uit Schoonderwoerd e.a. (2022).



Figuur 2-8. Verandering jaargemiddelde kwel bij V2B Maximaal vasthouden (links) en V1C (rechts) ten opzichte van de referentie bij WH 2050. Kaarten afkomstig uit Schoonderwoerd e.a. (2022).

Overige modelinvoer

Naast de hydrologische invoer dient het klimaatscenario en scenario voor stikstofdepositie gekozen te worden, en wordt gebruik gemaakt van met de WWN meegeleverde ruimtelijke informatie (rasterbestanden; zie Tabel 2-2). Stikstofdepositie is in alle scenario's gelijk verondersteld aan huidige stikstofdepositie. Zo reflecteren de resultaten zuiver de effecten van verandering in waterhuishouding en klimaat. Voor bodemtype, bodemfysische eenheid en landgebruik is verder uitgegaan van landelijke invoerbestanden die meegeleverd zijn met de Waterwijzer Natuur. Bekend is dat de meegeleverde kwelkwaliteitskaart in de WWN soms onterecht een thallasoclien (brak) kwelkwaliteitstype weergeeft, terwijl in werkelijkheid geen sprake is van brak grondwater. Dit speelt met name in westelijk Brabant. In deze analyse is het thallasocliene (zoute) kwelkwaliteitstype daarom vervangen met een lithoclien (grondwater) kweltype.

Tabel 2-2. Overzicht benodigde ruimtelijke informatie in de Waterwijzer Natuur/PROBE.

Kaart	Bron en aanpassingen
Grondwaterregime (GHG, GLG, GG, GVG)	Schoonderwoerd e.a. (2022)
Kwel/infiltratieflux	Schoonderwoerd e.a. (2022)
Bodemkaart	Meegeleverd met WWN
Bodemfysische eenheden; BOFEK	Meegeleverd met WWN
Stikstofdepositie	Meegeleverd met WWN
Kwelkwaliteit	Meegeleverd met WWN, thallasocliene kwelkwaliteit is vervangen met lithoclien grondwater
Vegetatiestructuur	Afgeleid uit Landgebruikskaart Nederland (LGN). Is meegeleverd met WWN en wordt gebruikt voor bepaling effect klimaatverandering op huidige natuur en nutriëntenstatus via kennisregels in de referentiesituatie. Voor effectvoorspelling van inrichtingsvarianten zijn simulaties uitgevoerd voor zowel korte als houtige vegetatiestructuur.
Klimaatdistrict	Meegeleverd met WWN

2.3.4 Ecotoopgroepen

In de Waterwijzer Natuur wordt met PROBE een voorspelling gedaan van vegetatietypen. Deze voorspellingen betreffen potenties: het geeft weer welke vegetatie voor kán komen op basis van abiotiek en processen die gemodelleerd zijn. Suboptimaal maai- en waterbeheer en zaadverspreiding, uitbraak van ziekten, en andere beheers- en biotische processen verlagen in de praktijk deze kansrijkdom.

De vegetatietypen die in PROBE worden voorspeld zijn ecotoopgroepen (Runhaar 2004;

Tabel 2-3 en Tabel 2-4). In de ecotoopgroepsystematiek geeft de letter de vegetatiestructuur weer (aquatische vegetatie (A), houtige vegetaties i.e. bos en struweel (H), en korte vegetatie (K)), het eerste cijfer de vochttoestand (1 = aquatisch, 2 = nat; 4 = vochtig; 6 = droog), en het laatste cijfer de voedselrijkdom en zuurgraad in het wortelmilieu (1 = voedselarm en zuur; 2 = voedselarm en zwak-zuur; 3 = voedselarm en basisch; 7 = matig voedselrijk; 8 = zeer voedselrijk). De brakke (b) en zoute (z) ecotoopgroepen zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Het voordeel van de indeling van ecotoopgroepen is dat deze gebaseerd is op standplaatscondities. Eenmaal gewend aan de indeling, kan direct inzichtelijk gemaakt worden hoe veranderingen in abiotiek doorwerken in vegetatie. Dit is niet het geval bij bijvoorbeeld beheertypen, waarbij een beheertype als Dennen-, eiken-, en beukenbos (N15.02) bij een grote bandbreedte aan hydrologische standplaatsen, voedselrijkdom, en zuurgraad kan voorkomen. De verschuiving van kansrijkdom van dit type zal dan ook nauwelijks veranderen als het klimaat of waterbeheer verandert.

Tabel 2-3. Ecotoopgroepen van Nederland en Vlaanderen (Bron: www.synbiosys.alterra.nl). Zie Tabel 2-4 voor een beschrijving van de ecotoopgroepen.

saliniteit		zoet tot licht brak			zeer zoet		zoet tot licht brak		brak	zout
voedselrijkdom		voedselarm			matig voedselrijk			zeer voedselrijk	-	-
zuurgraad		zuur	zwak zuur	basisch	zuur - zwak zuur	basisch	-	-	-	-
-	water	A11	A12	A13	A15	A16zt	A16	-	A18	bA10 zA10
korte vegetatie	nat	K21	K22	K23	-	-	-	K27	K28	bK20 zK20
	vochtig	K41	K42	K43	-	-	K47kr	K47	K48	
	droog	K61	K62	K63	-	-	-	K67	K68	
bos en struweel	nat	H21	H22	-	-	-	-	H27	H28	-
	vochtig	H41	H42	H43	-	-	H47kr	H47	H48	-
	droog	H61	H62	H63	-	-	-	H69		-

Tabel 2-4. Indeling in ecotoopgroepen (bewerkt naar Runhaar e.a. (2004)) die in de Waterwijzer Natuur (PROBE) wordt gehanteerd. De letters links geven het type vegetatie weer (A = aquatisch, K = korte en pioniersvegetaties, H = houtig: bossen en struwelen). Het middelste getal is indicatief voor vochttoestand (1 = aquatisch, 2 = nat, 4 = vochtig, 6 = droog) en het laatste getal is een combinatie van voedselrijkdom en zuurgraad (1 = voedselarm en zuur, 8 = zeer voedselrijk).

Code	Omschrijving
A11	Verlandings- en zoetwatervegetaties van voedselarme, zure wateren (zure vennen, hoogveenplassen)
A12	Verlandings- en zoetwatervegetaties van voedselarme, zwak zure wateren (gebufferde vennen, duinplassen in kalkarme duinen)
A15	Verlandings- en zoetwatervegetaties van matig voedselrijke, zwak zure wateren (sloten en plassen met zacht water, vooral in dekzandgebieden)
A16	Verlandings- en zoetwatervegetaties van matig voedselrijke, basische wateren (sloten en plassen met hard water, vooral in laagveen en kleigebieden)
A18	Verlandings- en zoetwatervegetaties van zeer voedselrijke wateren (sloten en plassen in laagveen- en kleigebieden)
K21	Pioniersvegetaties en graslanden op natte, voedselarme, zure bodems (natte heiden en hoogvenen)
K22	Pioniersvegetaties en graslanden op natte, voedselarme, zwak zure bodems (veenmosrietlanden, trilvenen, blauwgraslanden, kalkarme duinvalleien)
K23	Pioniersvegetaties en graslanden op natte, voedselarme, basische bodems (natte duinvalleien)
K27	Pioniersvegetaties, graslanden en ruigten op natte, matig voedselrijke bodem (hooilanden in het laagveen en in de middenloop van beekdalen)
K28	Pioniersvegetaties, graslanden en ruigten op natte, zeer voedselrijke bodems (ruigtes langs rivieren en sloten, nat cultuurgrasland)
K41	Pioniersvegetaties en graslanden op vochtige, voedselarme, zure bodems (vochtige heiden en hoogvenen)
K42	Pioniersvegetaties en graslanden op vochtige, voedselarme, zwak zure bodems (heischrale graslanden, kalkarme duinvalleien)
K43	Pioniersvegetaties en graslanden op vochtige, voedselarme, basische bodems (kalkgraslanden)
K47	Pioniersvegetaties en graslanden op vochtige, matig voedselrijke bodems (dijkhellingsen, glanshaverhooilanden)
K48	Pioniersvegetaties en graslanden op vochtige, zeer voedselrijke bodems (akkers, bermen, fabrieksterreinen)
K61	Pioniersvegetaties en graslanden op droge, voedselarme, zure bodems (droge heiden)

Code	Omschrijving
K62	Pioniersvegetaties en graslanden op droge, voedselarme, zwak zure bodems (droge heiden en Buntgras-graslanden)
K63	Pioniersvegetaties en graslanden op droge, voedselarme, basische bodems (kalkrijke duingraslanden)
K67	Pioniersvegetaties, graslanden en ruigten op droge, matig voedselrijke bodems (ondergroei in graanakkers, ruderaal vegetatie in droge duinen)
K68	Pioniersvegetaties, graslanden en ruigten op droge, matig voedselrijke bodems (ondergroei in zwaar bemeste akkers, ruderaal vegetatie langs rivieren)
H21	Bossen en struwelen op natte, voedselarme, zure bodems (hoogveenbossen)
H22	Bossen en struwelen op natte, voedselarme, zwak zure bodems (bronbossen)
H27	Bossen en struwelen op natte, matig voedselrijke bodems (elzenbroekbos, nat hellingbos)
H28	Bossen en struwelen op natte, zeer voedselrijke bodems (rivierbossen, grienden)
H41	Bossen en struwelen op vochtige, voedselarme, zure bodems (vochtige eiken-berkenbossen en beuken-zomereikenbossen met Pijpenstrootje)
H42	Bossen en struwelen op vochtige, voedselarme, zwak zure bodems (beuken-zomereikenbossen met Leleitje-van-dalen en armere vormen van eiken—)
H43	Bossen en struwelen op vochtige, voedselarme, basische bodems (hellingbossen in Zuid-Limburg)
H47	Bossen en struwelen op vochtige, matig voedselrijke bodems (oudere stinzenbossen en andere parkachtige bossen op rivierklei, leem en lemige)
H48	Bossen en struwelen op vochtige, zeer voedselrijke bodems (jonge aangeplante bossen op kleigrond)
H61	Bossen en struwelen op droge, voedselarme, zure bodems (droge eiken-berkenbossen en beuken-zomereikenbossen)
H62	Bossen en struwelen op droge, voedselarme, zwak zure bodems (binnenduinrandbossen en droge bossen op weinig uitgelopen zand met Bosviooltje en Lelietje-)
H63	Bossen en struwelen op droge, voedselarme, basische bodems (bossen en struwelen van kalkrijke duinen)
H67	Bossen en struwelen op droge, matig voedselrijke bodems (aangeplante bossen op voormalige landbouwgrond op zand)

2.3.5 Vertaling ecotoopgroepen naar beheertypen

Om de interpretatie van WWN uitkomsten te kunnen vertalen naar typologie zoals gehanteerd in de landelijke en provinciale beheertypenkaart/ambitiekaarten, is een procedure ontwikkeld om de kansrijkdom van ecotoopgroepen om te zetten naar beheertypen. Deze omzetting is gebaseerd op de conversietabel in Witte e.a. (2022), zie Tabel 2-5, die eerder is toegepast om de kansrijkdom van beheertypen te bepalen. Deze tabel is tot stand gekomen op basis van genoemde kenmerken en soorten voor beheertypen (website BIJ12; <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>) en ecotoopgroepen (website WENR; <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research.htm>). In dit project is dezelfde tabel gebruikt om te bepalen welk beheertype het meest kansrijk is. Zoals uit de conversietabel blijkt, kan een ecotoopgroep aan meerdere beheertypen worden toegekend. Bovendien zijn er een aantal zeer ruim gedefinieerde beheertypen die in een groot spectrum van abiotische condities kunnen voorkomen. Zo kan het beheertype Dennen-eiken-beukenbos (N15.02) voorkomen op zowel natte tot droge als voedselrijke tot voedselarme standplaatsen. Daarentegen is een type als Haagbeuken-essenbos (N14.03) veel specifiek in standplaatscondities en heeft daarnaast een hogere natuurwaarde. Bij de vertaling van ecotoopgroepen naar beheertypen is daarom het uitgangspunt gehanteerd dat het meest specifieke beheertype op de potentiekaart

voor beheertypen wordt weergegeven. De specificiteit van een beheertype is berekend als de som van gewichten in de conversietabel (Dennen-eiken-beukenbos is dus minder specifiek dan Haagbeuken- en essenbos). Daarnaast is natuurwaarde meegenomen als criterium, waarbij beheertypen met hoge (gemiddelde) natuurwaarde voorrang krijgen. In deze vertaling zijn beheertypen die alleen tot het fysisch-geografisch district duinen, laagveen, hoogveen behoren buiten beschouwing gelaten; deze komen niet voor in het stroomgebied van de Chaamse Beken. Ook zijn alle cultuurhistorische typen buiten beschouwing gelaten (N17.x; Eendenkooi, Park- en stinzenbos, en dergelijke). Deze typen zijn sterk ruimtelijk begrensd tot specifieke locaties met cultuurhistorisch erfgoed, waardoor het voorkomen voornamelijk afhangt van specifiek beheer en ligging en hangt minder nauw samen met standplaatscondities. Het resultaat is weergegeven in Tabel 2-6.

Belangrijk: Van belang is dat de resulterende beheertypenkaart de hoogst haalbare ambities weergeeft voor het betreffende scenario. Nog belangrijker is echter dat, zoals de naam al aangeeft, de beheertypen op de ambitiekaart primair gedifferentieerd worden op basis van **beheer**. Abiotiek speelt hierbij ook een rol, maar is vaak slechts secundair. Dit is een probleem, want alleen als abiotische randvoorwaarden op orde zijn kan met beheer gestuurd worden op welke beheertypen kans hebben. De beheertypen-typologie in de ambitiekaart sluit daarom slecht aan bij het bepalen van effecten van waterbeheer en klimaat op natuurlimieten. Omdat het huidige beleid echter wel met deze informatie wordt gevoed, hebben we deze vertaling - met de nodige mitsen en maren - toch uitgevoerd.

Tabel 2-5. Vertaaltabel tussen beheertypen (linker kolom) en ecotoopgroepen (overige); overgenomen uit Witte e.a. (2022). In de rechter kolommen is weergegeven in welke fysisch geografische regio's beheertypen voor kunnen komen. Gewichten waarmee ecotoopgroepen zijn toebedeeld aan beheertypen (rood = 1.0, blauw = 0.5). Fysisch geografische regio's: 1 = Duin- en kustzandgebied, 4 = Zeekleigebied, 6 = Laagveengebieden, 7 = Hogere Zandgronden, 8 = Rivierengebied, 9 = Heuvelland, 18 = Beekdalen en droogdalen, 19 = Hoogvenen, 99 = heel Nederland.

Naam	Ecotoopgroep																																Fys. geogr. regio										
	K21	K22	K23	K27	K28	K41	K42	K43	K47	K48	K61	K62	K63	K67	K68	H21	H22	H23	H27	H28	H41	H42	H43	H47	H48	H61	H62	H63	H67	H68	A11	A12	A15	A16	A18	#	1	2	3	4	5		
N02.01 Rivier	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1	8					
N05.01.02 Landriet	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3	4	6	8			
N05.01.03 Waterriet	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3	4	6	8			
N05.01.06 Moerasstruweel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	4	6	8		
N05.01.11 Galigaanmoerassen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	2	4	6				
N05.02 Gemaaid rietland	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	3	4	6	8			
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1	6					
N06.02 Trilveen	0.0	1.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.5	0.0	2	6	18				
N06.03 Hoogveen	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	19					
N06.04 Vochtige heide	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	7	19			
N06.05 Zwakgebufferd ven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	1	7					
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	7	19				
N07.01 Droge heide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	7				
N07.02 Zandverstuiving	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	7				
N08.02.03 Witte duinen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	1	7			
N08.02.07 Droog duingrasland kalkrijk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1				
N08.02.08 Droog duingrasland kalkarm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1				
N08.02.11 Duinstruweel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1				
N08.02.15 Duingrasland	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1				
N08.03 Vochtige duinvallei	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1				
N08.04 Duinheide	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1				
N10.01 Nat schraalland	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	6	7	9	18		
N10.02 Vochtig hooiland	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	6	8	18		
N11.01 Droog schraalgrasland	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	8	9	18		
N12.01 Bloemdijk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	4	8	9		
N12.02 Kruiden- en faunairijk grasland	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	99				
N12.03 Glanshaverhooiland	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	4	8	9		
N12.05 Kruiden- en faunairijke akker	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	99				
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	99				
N13.02 Wintergasteweide	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	99				
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	8	18			
N14.02 Hoog- en laagveenbos																																											

Tabel 2-6. Vertaling van ecotoopgroep naar beheertype, gebaseerd op methodiek zoals beschreven in paragraaf 2.3.5. De laatste kolom geeft de geschaalde natuurwaarde per ecotoopgroep weer.

Ecotoopgroep	Beheertype	Naam	Natuurwaarde
A11	N06.06.00	Zuur ven en hoogveenven	32.79
A12	N06.05.00	Zwakgebufferd ven	80.95
A15	N05.01.11	Galigaanmoerassen	53.96
A16	N05.01.11	Galigaanmoerassen	26.97
A18	N05.01.03	Waterriet	11.82
H21	N14.02.00	Hoog- en laagveenbos	45.44
H22	N14.01.00	Rivier- en beekbegeleidend bos	43.41
H23	N14.01.00	Rivier- en beekbegeleidend bos	100
H27	N14.01.00	Rivier- en beekbegeleidend bos	28.98
H28	N14.01.00	Rivier- en beekbegeleidend bos	18.58
H41	N16.04.00	Vochtig bos met productie	23.26
H42	N14.03.00	Haagbeuken- en essenbos	41.13
H43	N14.03.00	Haagbeuken- en essenbos	83.86
H47	N14.03.00	Haagbeuken- en essenbos	37.1
H48	N16.04.00	Vochtig bos met productie	6.65
H61	N16.03.00	Droog bos met productie	21.72
H62	N16.03.00	Droog bos met productie	31.07
H63	N16.03.00	Droog bos met productie	52.77
H67	N16.03.00	Droog bos met productie	34.48
K21	N06.04.00	Vochtige heide	67.32
K22	N10.01.00	Nat schraalland	75.7
K23	N06.02.00	Trilveen	92.48
K27	N10.02.00	Vochtig hooiland	39.85
K28	N13.01.00	Vochtig weidevogelgrasland	13.18
K41	N06.04.00	Vochtige heide	50.92
K42	N06.04.00	Vochtige heide	62.38
K43	N10.01.00	Nat schraalland	86.18
K47	N10.02.00	Vochtig hooiland	21.4
K48	N13.01.00	Vochtig weidevogelgrasland	0.4
K61	N07.01.00	Droge heide	23.64
K62	N07.02.00	Zandverstuiving	34.96
K63	N11.01.00	Droog schraalgrasland	52.51
K67	N12.03.00	Glanshaverhooiland	27.34
K68	N12.02.00	Kruiden- en faunarijk grasland	0

2.3.6 Natuurwaarde

Met de Waterwijzer Natuur kan ruimtelijk in kaart worden gebracht waar waardevolle natuur voorkomt en hoe dat verandert als gevolg van het opgegeven scenario. Natuurwaarde betreft hier de botanische waarde van natuur. Ecosysteemdiensten als waterberging, buffering van piekafvoer, koolstofvastlegging, verwijderen van nutriënten, etc. worden hier dus (nog?) niet toe gerekend. De botanische natuurwaarde kan op verschillende manieren worden uitgedrukt. In deze studie gebruik we de 'Methode Gelderland', waar de waarde van natuur wordt uitgedrukt op basis van het aantal plantensoorten en de abundantie ervan, de nationale en internationale zeldzaamheid en indigeniteit (mate van inheems zijn) per ecotoopgroep. Door de kansrijkdom van elke ecotoopgroep te vermenigvuldigen met de natuurwaarde van elke ecotoopgroep, en dit vervolgens voor alle ecotoopgroepen op te tellen, wordt de totale natuurwaarde bepaald. De natuurwaarde is een geschaalde waarde tussen 0 – 100, waarbij een waarde van 100 de hoogste natuurwaarde weerspiegelt. De natuurwaarde per ecotoopgroep en beheertype is weergegeven in Tabel 2-6.

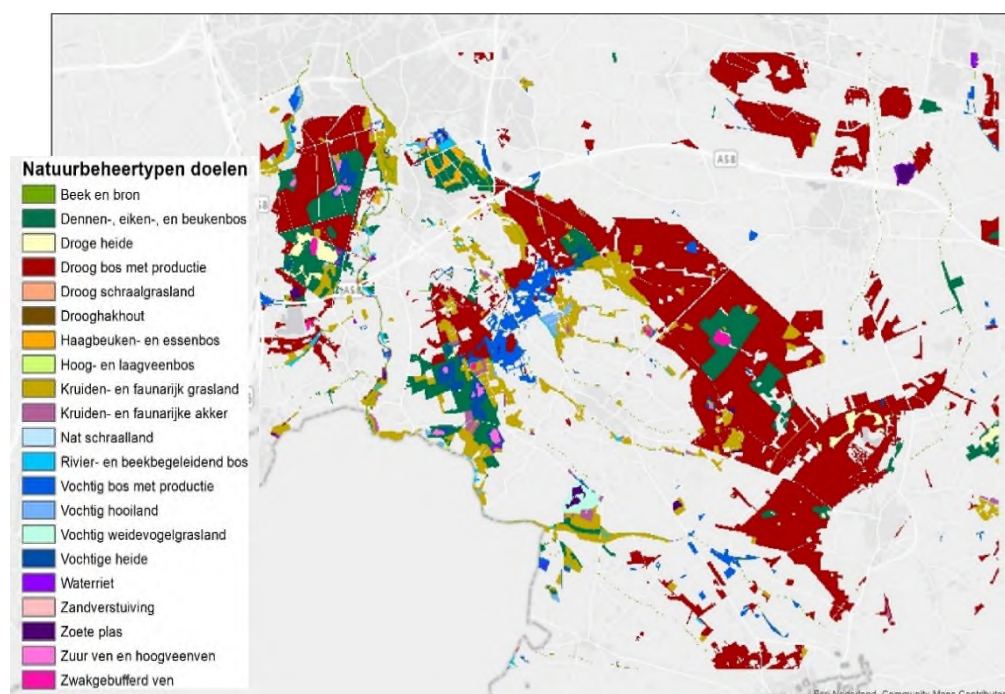
3 Resultaten

In dit hoofdstuk wordt eerst de doelrealisatie van natuurambities bij huidig klimaat en waterhuishouding beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de toekomstverkenningen met PROBE, waarbij de resultaten zijn uitgesplitst voor korte en houtige vegetaties. Voorspellingen van vegetatie zijn zowel weergegeven in ecotoopgroepen als in beheertypen. Hier is voor gekozen omdat ecotoopgroepen een gedetailleerder beeld geven van veranderingen in abiotiek en vegetatie dan beheertypen, terwijl beheertypen beter aansluiten bij huidige besluitvorming en beleid.

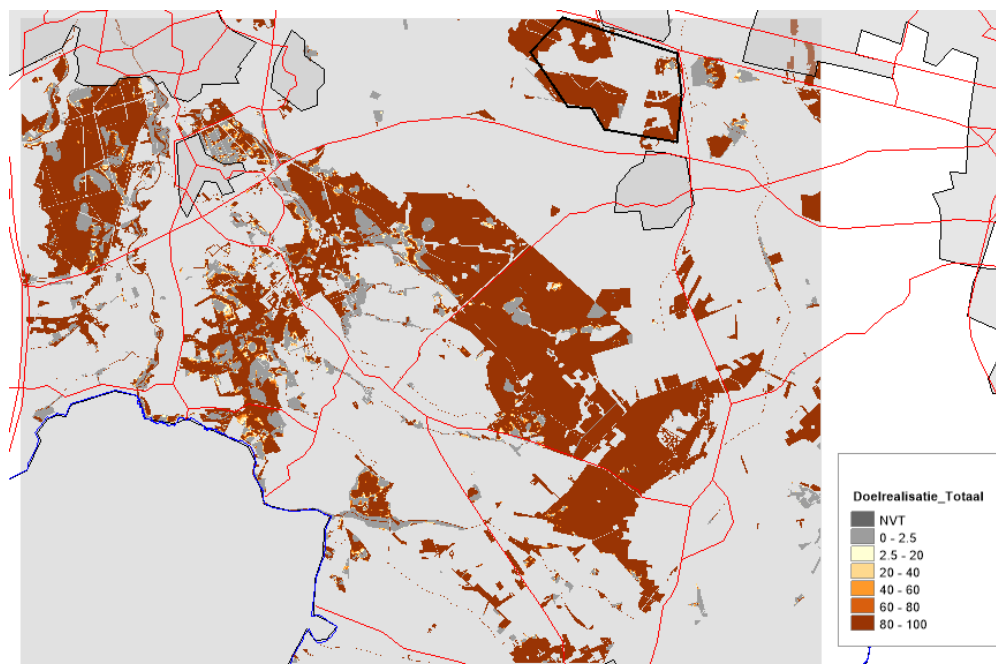
3.1 Waternood: Toetsing van huidige waterhuishouding

Waternood is toegepast om te bepalen in welke mate de natuurdoelen in het Chaamse Beken stroomgebied zoals vastgesteld in de ambitiekaart worden gehaald met de huidige waterhuishouding. De natuurdoelenkaart, zoals weergegeven in Figuur 3-1, bevat voor het grootste deel droog productiebos. Dit is een vegetatietype dat lage eisen aan standplaatscondities stelt, waarvan verwacht kan worden dat zich hier weinig knelpunten voordoen. Langs de waterlopen is het doel veelal om kruiden- en faunairijk grasland te realiseren.

Met Waternood is de totale doelrealisatie berekend (Figuur 3-2). Voor grote delen van het modelgebied is de doelrealisatie groter dan 80 procent. Dit betekent dat de abiotische randvoorwaarden in 80% van het areaal past bij de doelstelling. Vooral voor natte vegetatietypen als Zwakgebufferde vennen (N06.05), Zure vennen en hoogveenvennen (N06.06), en Vochtige heide (N06.04) is de huidige (gesimuleerde) waterhuishouding niet in overeenstemming met de ambitie. Dit geldt ook voor Kruiden- en faunairijk grasland (12.02), een beheertype dat kenmerkend is voor drogere standplaatsen.

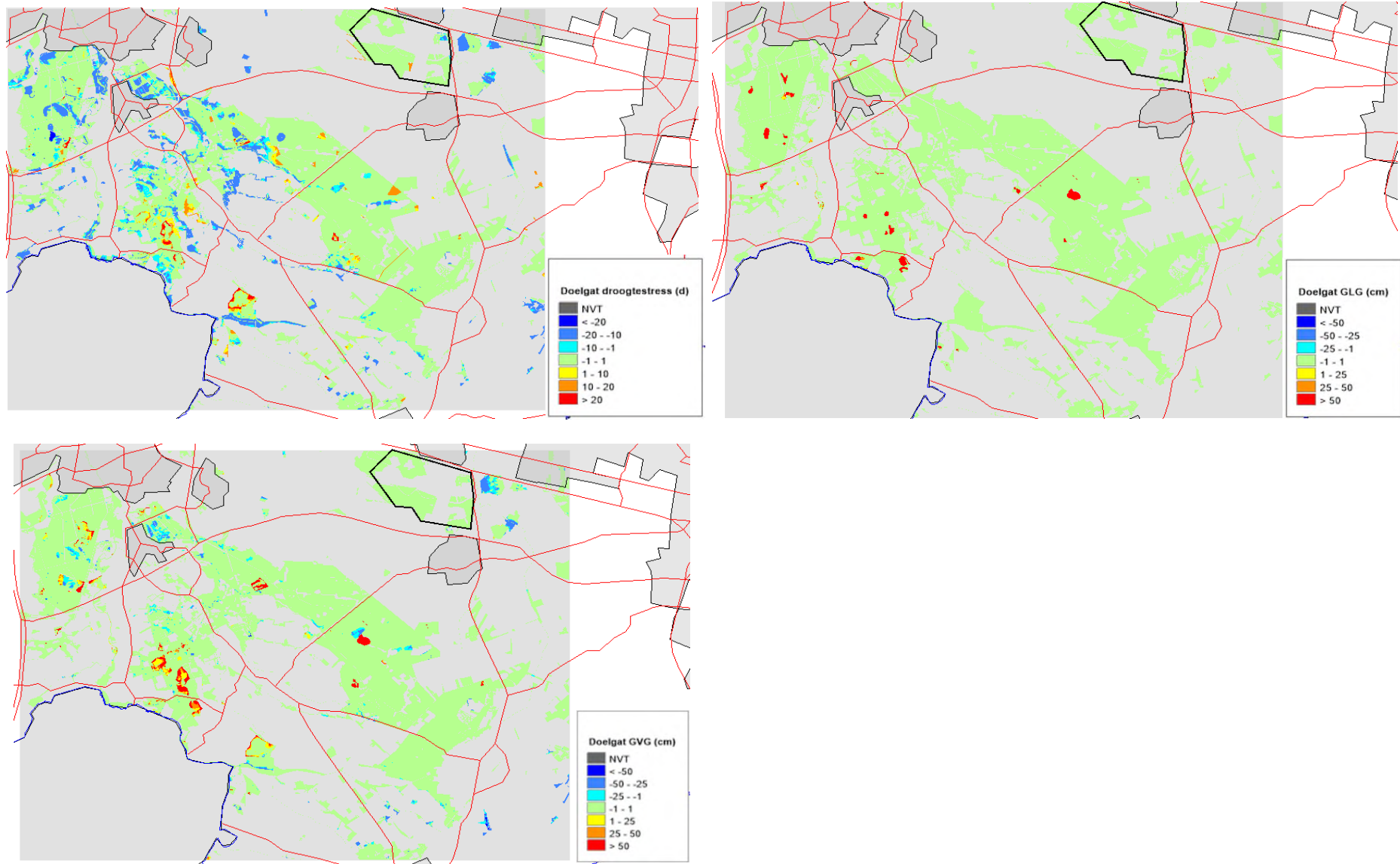


Figuur 3-1. Kaart met natuurdoeltypen in het Chaamse Beken stroomgebied



Figuur 3-2. Totale doelrealisatie voor Chaamse Beken

De kaarten in Figuur 3-3 laten het doelgat zien per factor dat bijdraagt aan de totale doelrealisatie. Het doelgat is het verschil tussen de werkelijke waarde van deze factor en de vereiste waarde voor het betalen van de doelrealisatie. Hieruit is af te leiden dat in de gebieden waar de doelrealisatie beperkt is, dit voornamelijk komt doordat er een doelgat droogtestress en GVG optreedt. In de blauwe gebieden op de kaarten is het te nat en op de rode plekken op deze kaart is het te droog voor de huidige doelbeheertypen. De doelgatkaarten van de GLG en GVG tonen specifieke locaties waar het te droog is voor de doelbeheertypen (rode kleuren). Op deze locaties is de ambitie om Zuur ven en hoogveenven en zwakgebufferd ven te realiseren. Dit zijn vegetatietypen die niet voorkomen bij diepere grondwaterstanden. Het beheertype productiebos kan bij een groot bereik aan grondwaterstanden voorkomen, waardoor dit beheertype, zoals verwacht, een hoge doelrealisatie heeft.

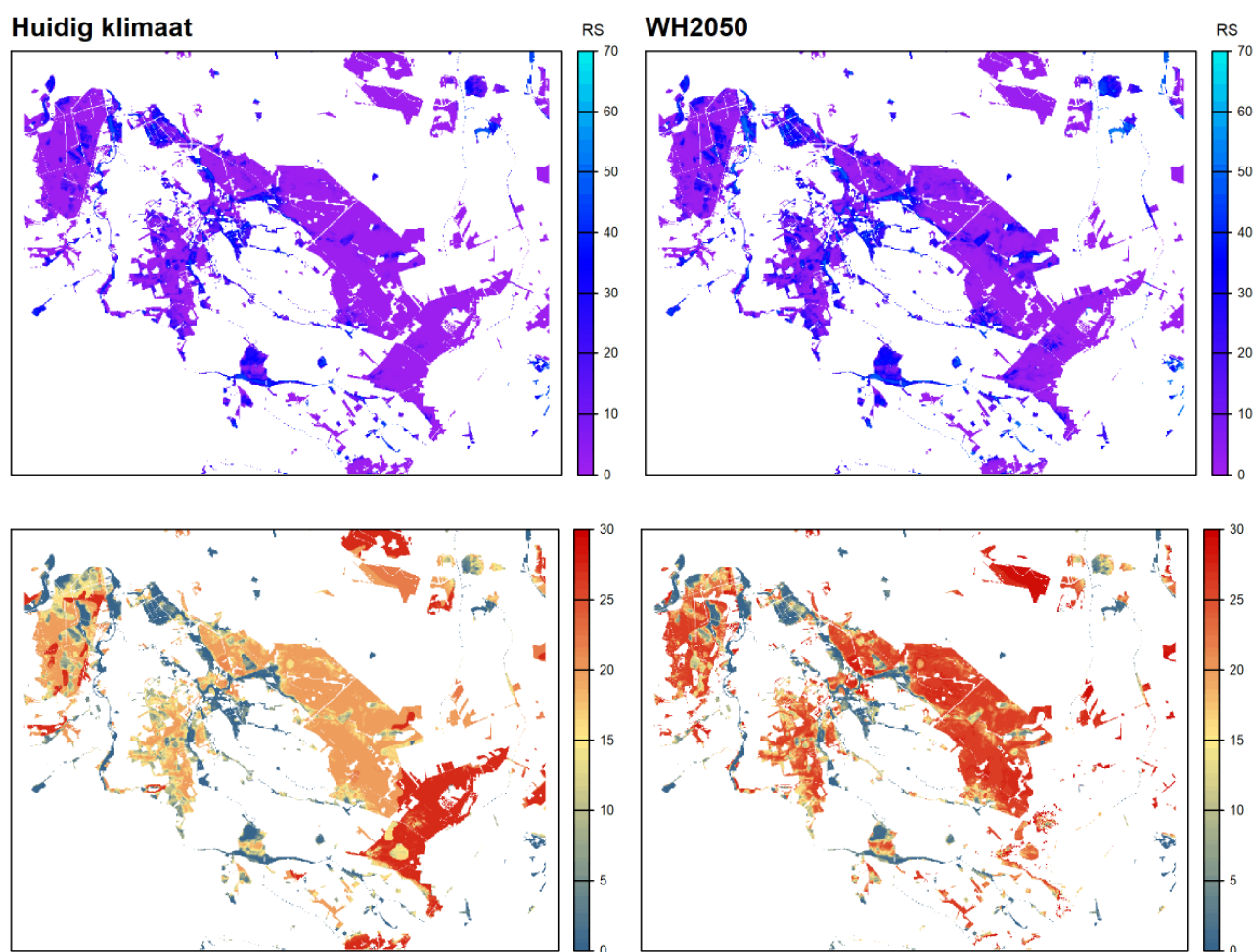


Figuur 3-3. Doelgat voor de droogtestress (linksboven), GLG (rechtsboven), GVG (linksonder) voor casus Chaamse Beken

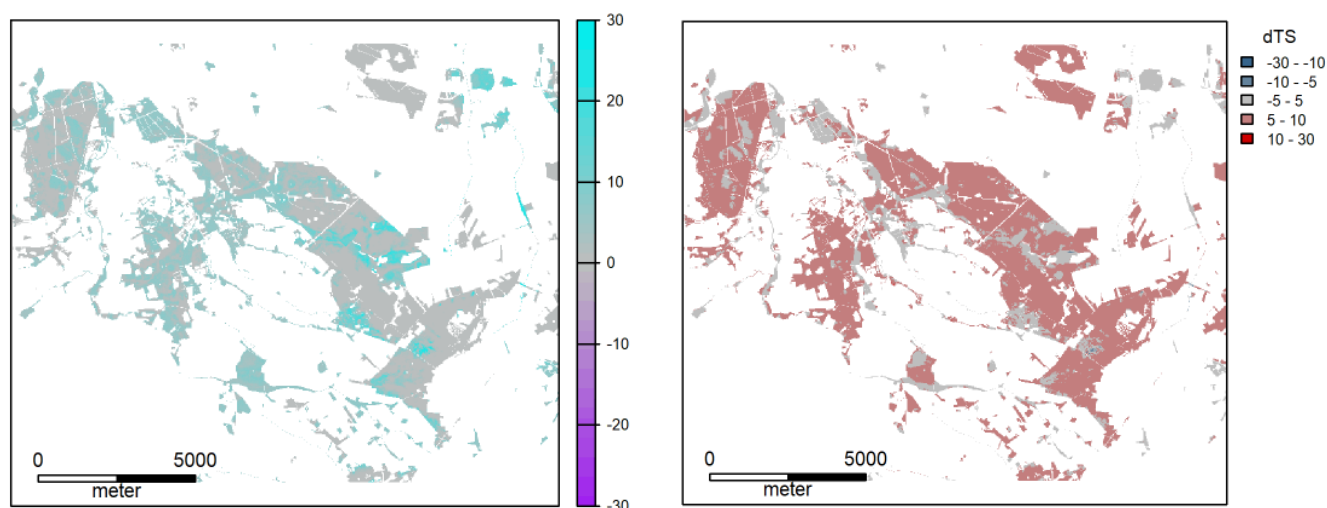
3.2 PROBE: Effect klimaatverandering op natuur

3.2.1 Effect klimaatverandering op standplaatscondities

Om eventuele verschuivingen in vegetatie te kunnen duiden als gevolg van klimaatverandering, is het van belang eerst een beeld te hebben van effecten op klimaat robuuste standplaatscondities. Uit de PROBE simulaties komt naar voren dat als gevolg van klimaatverandering zowel zuurstofstress als transpiratiestress toenemen in delen van het Chaamse Beken stroomgebied (Figuur 3-4 en Figuur 3-5). De toename in transpiratiestress is te verklaren door de droge zomers die zullen optreden bij WH2050. Een toename in zuurstofstress (respiratiestress) kan worden verklaard door toename van extreme regenval in de zomer gepaard met hogere bodemtemperatuur, maar ook door de ondiepere grondwaterstand in (met name) het voorjaar. Opvallend is dat op de plekken waar zuurstofstress toeneemt, een toename in transpiratiestress uitblijft. Uit eerder onderzoek (Bartholomeus et al., 2011) volgt dat er ook standplaatsen zijn waar beide stressen kunnen toenemen. Alhoewel de grondwaterstand in nabij gelegen gebied ongeveer gelijk is, werkt klimaatverandering kennelijk heel anders uit. Hier komt heel duidelijk een effect van bodem en plantfysiologie naar voren; immers, klimaatverandering werkt niet alleen door op de beschikbaarheid van water en zuurstof voor een plant, maar ook op de vraag naar water en zuurstof.

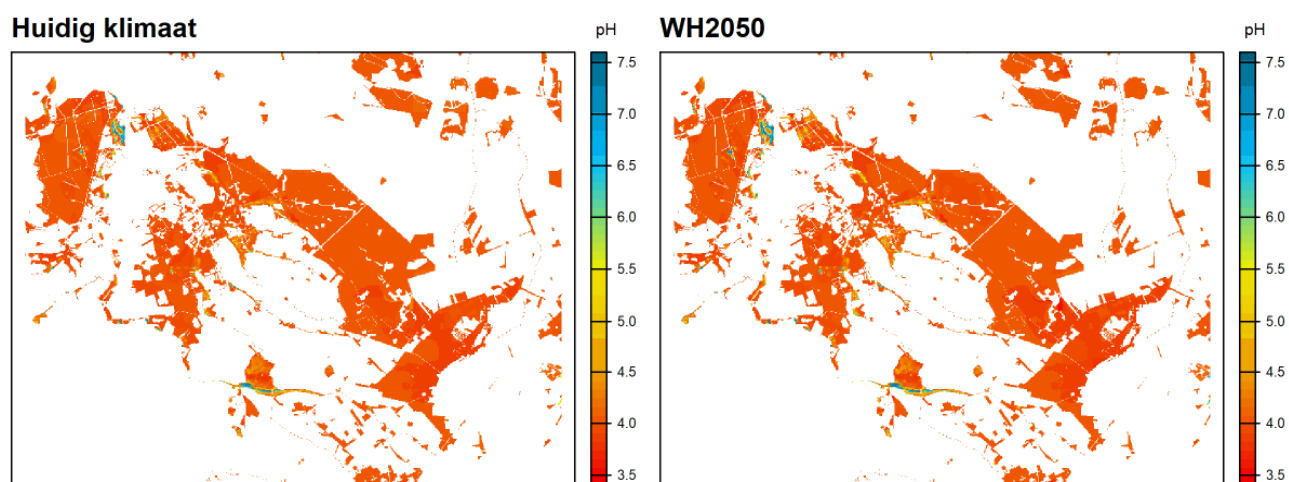


Figuur 3-4. Met PROBE gesimuleerde zuurstofstress (bovenste rij) en transpiratiestress (onderste rij) bij huidig klimaat (links) en toekomstig klimaat (rechts; WH2050). Respiratiestress is uitgedrukt als het maximale jaarlijkse zuurstoftekort ($\text{g O}_2 \text{ m}^{-2}$) per 10 dagen in de wortelzone voor een referentiegewas, gemiddeld over een periode van 30 jaar. Transpiratiestress is uitgedrukt als de maximale jaarlijkse transpiratiereductie gedurende 10 dagen, gemiddeld over een periode van 30 jaar (mm water).



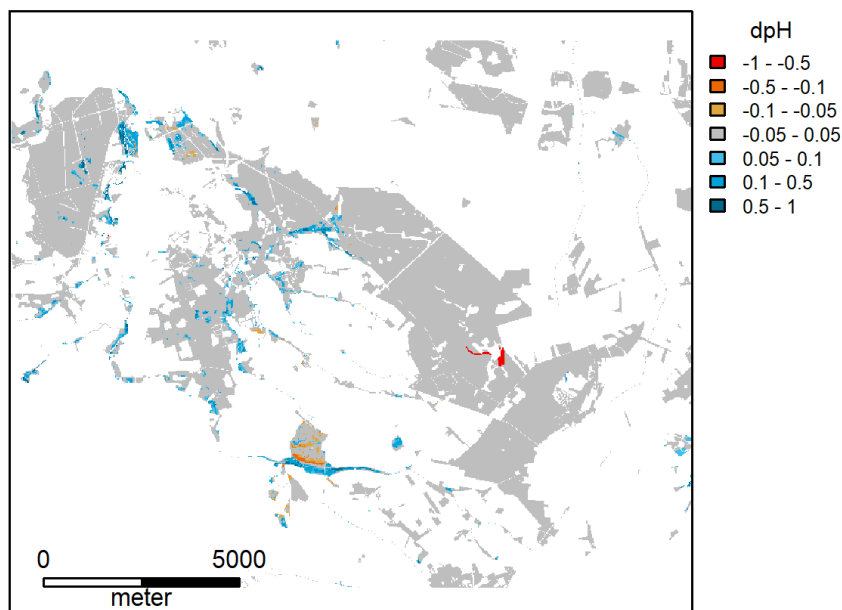
Figuur 3-5. Door PROBE voorspelde verandering in zuurstofstress (links) en transpiratiestress (rechts) als gevolg van klimaatverandering. Zie bijschrift Figuur 3-4 voor toelichting.

Naast een verandering in het bodemvochtregime wordt ook een verandering in de zuurgraad van de wortelzone voorspeld met PROBE. In het merendeel van het gebied is de pH behoorlijk laag. Alleen in de beekdalen komt een hogere pH voor (Figuur 3-6). De prognose is dat door klimaatverandering de zuurgraad zou kunnen afnemen (pH toenemen; Figuur 3-7). Deze toename is te duiden door ondiepere grondwaterstanden op de hogere zandgronden, die voor een hogere kweldruk zorgen. Hierdoor kan er meer kwelwater in de wortelzone toetreden om de zuurgraad en basenverzadiging op peil te houden. Te verwachten is dat op de plekken waar een daling van de zuurgraad plaatsvindt, de potenties voor basenminnende vegetaties zullen toenemen.



Figuur 3-6. Met PROBE gesimuleerde zuurgraad bij huidig (links) en toekomstig klimaat (rechts; WH2050).

Sce - Ref



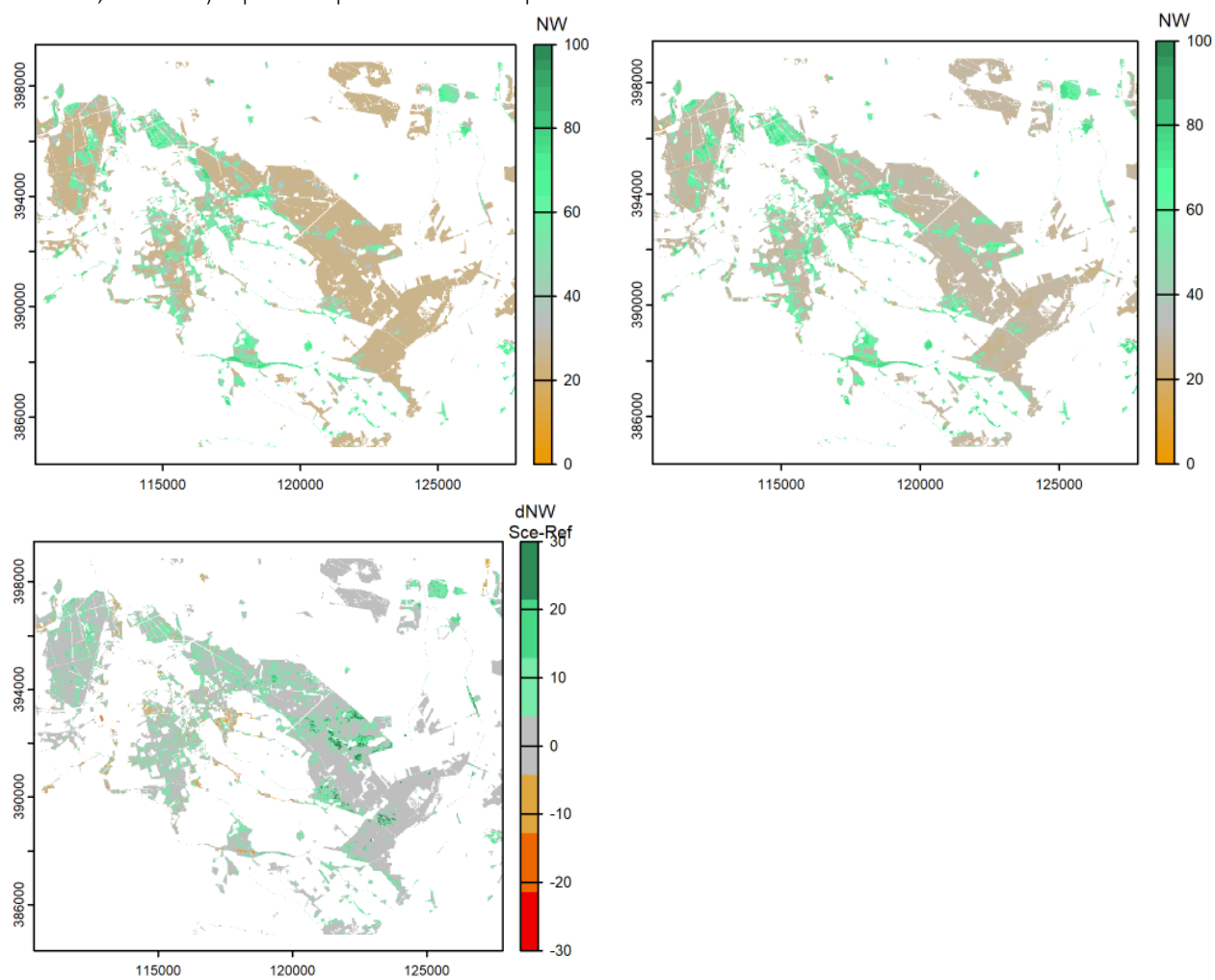
Figuur 3-7. Met PROBE gesimuleerde verandering in zuurgraad (blauw = toename door klimaatverandering).

3.2.2 Effect klimaatverandering op korte vegetaties

Natuurwaarde

De invloed van klimaatverandering op de natuurwaarde van korte vegetatie laat zien dat zowel in de referentiesituatie als bij klimaatverandering gebieden met hoge natuurwaarde zich met name in de laagtes van het stroomgebied bevinden (Figuur 3-8). De simulaties geven aan dat als gevolg van klimaatverandering en de gesimuleerde effecten ervan op grondwaterstanden, de natuurwaarde veelal toeneemt, met name in het centrale deel van het gebied. Deze toename wordt veroorzaakt door verschuiving in kansrijkdom naar nattere ecotoopgroepen die een hogere natuurwaarde hebben (

Tabel 3-1, Tabel 2-6). Op enkele plekken is er ook sprake van een afname van de natuurwaarde.

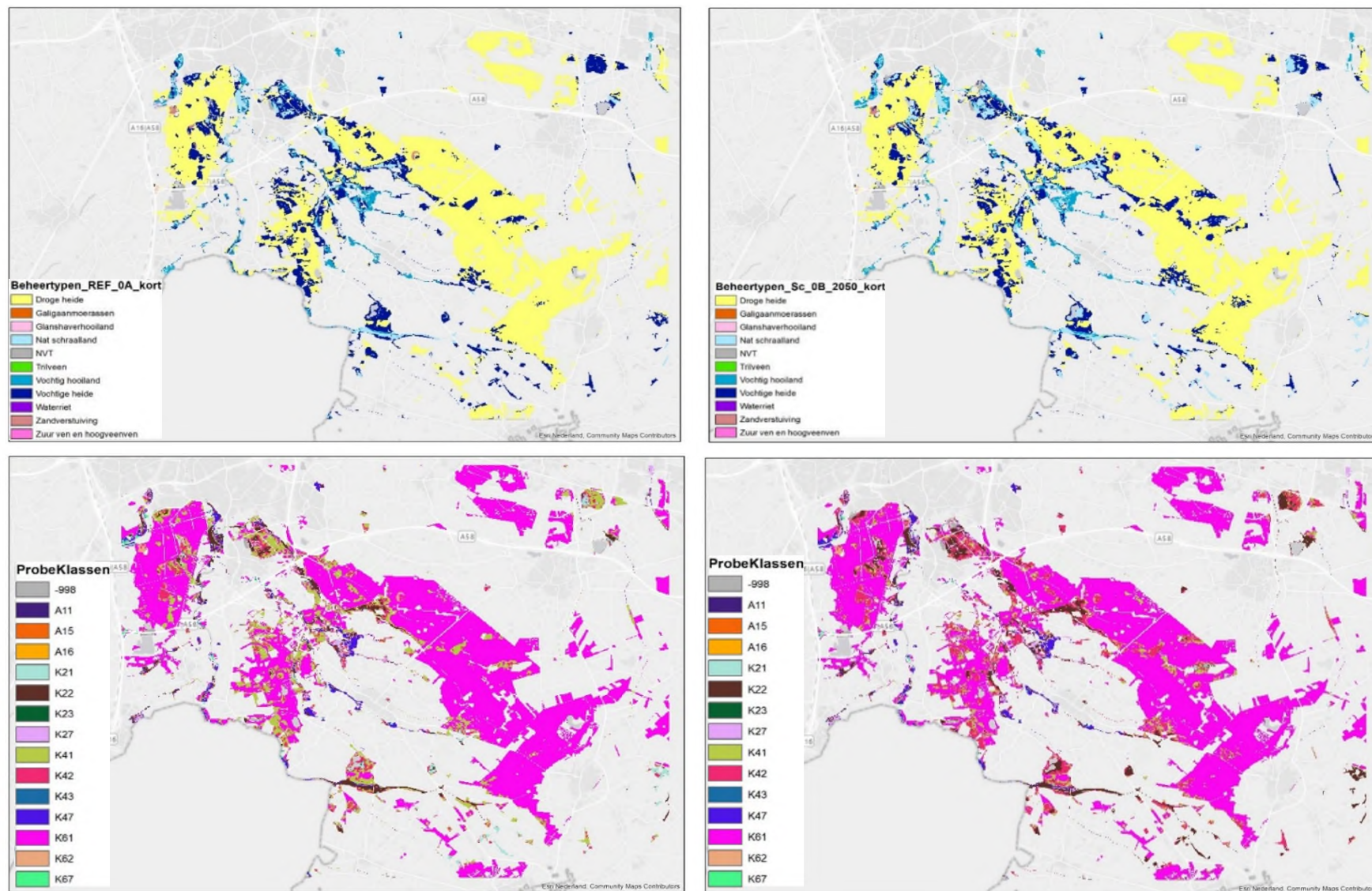


Figuur 3-8. Natuurwaarde (0 – 100) bij huidig klimaat (linksboven) en toekomstig klimaat (rechtsboven); zichtjaar 2050, scenario OB, en het berekende verschil (scenario – referentie) voor korte vegetaties (onder).

Tabel 3-1 vat de PROBE resultaten samen, en geeft het voorspelde oppervlak voor de korte beheertypen weer voor huidig klimaat (0A) en toekomstig klimaat (2050 0B) en de verandering ten opzichte van de referentiesituatie (%). In Figuur 3-9 zijn de ecotoopgroepkaarten en beheertypenkaarten weergegeven voor korte vegetatie in het huidige en toekomstige klimaat. Als gevolg van klimaatverandering wordt een potentiële toename van N10.01 (nat schraalland) en N10.02 (vochtig hooiland) voorspeld. Daarnaast is er een potentiële afname van N06.04 (vochtige heide), N07.02 (zandverstuiving) en N12.03 (glanshaverhooiland) als gevolg van klimaatverandering. Op de ecotoopgroepenkaarten is onder andere een toename zichtbaar van K22 (Korte vegetaties van natte, voedselarme, zwak zure standplaatsen; Tabel 2-4) en een afname van K41 (Korte vegetaties van vochtige, voedselarme, zure standplaatsen) als gevolg van klimaatverandering. Deze verschuivingen in ecotoopgroepen komen goed overeen met de bevindingen op basis van de beheertypen.

Tabel 3-1. Voorspeld effect van klimaatverandering op oppervlakten van beheertypen voor korte vegetaties. De kolom Huidig geeft de oppervlakte weer bij huidig klimaat, de kolom WH2050 het oppervlak in 2050 bij KNMI scenario WH2050, zonder verandering in waterbeheer. De kolom Verandering geeft de relatieve verandering van het betreffende beheertype ten opzichte van de referentie weer $(Sce - Ref)/Ref \cdot 100\%$. De oppervlakten weerspiegelen natuurpotenties op basis van abiotiek; factoren als dispersie en adequaat beheer zijn niet meegenomen. Beheertype NVT betekent dat er geen beheertype kan worden toegekend bij de combinatie van abiotische omstandigheden.

Beheertype	Naam	Oppervlakte (ha)			Verandering (%)
		Huidig (0A)	WH2050 (0B)	WH2050 - Huidig	
Kort					
N05.01.03	Waterriet	0	0	0	0
N05.01.11	Galigaanmoerassen	0	0	0	0
N06.02.00	Trilveen	0	2.8	2.8	> 100
N06.04.00	Vochtige heide	1034.8	919.9	-114.9	-11
N06.05.00	Zwakgebufferd ven	0	0	0	0
N06.06.00	Zuur ven en hoogveenven	0	0.2	0.2	> 100
N07.01.00	Droge heide	3917.5	3822.2	-95.2	-2
N07.02.00	Zandverstuiving	13.6	11.9	-1.7	-12
N10.01.00	Nat schraalland	201.2	369.1	167.9	83
N10.02.00	Vochtig hooiland	193.9	223.5	29.6	15
N11.01.00	Droog schraalgrasland	0	0	0	0
N12.03.00	Glanshaverhooiland	20	11.3	-8.7	-43
N13.01.00	Vochtig weidevogelgrasland	0	0	0	0
NVT	NVT	28.4	48.3	19.9	70

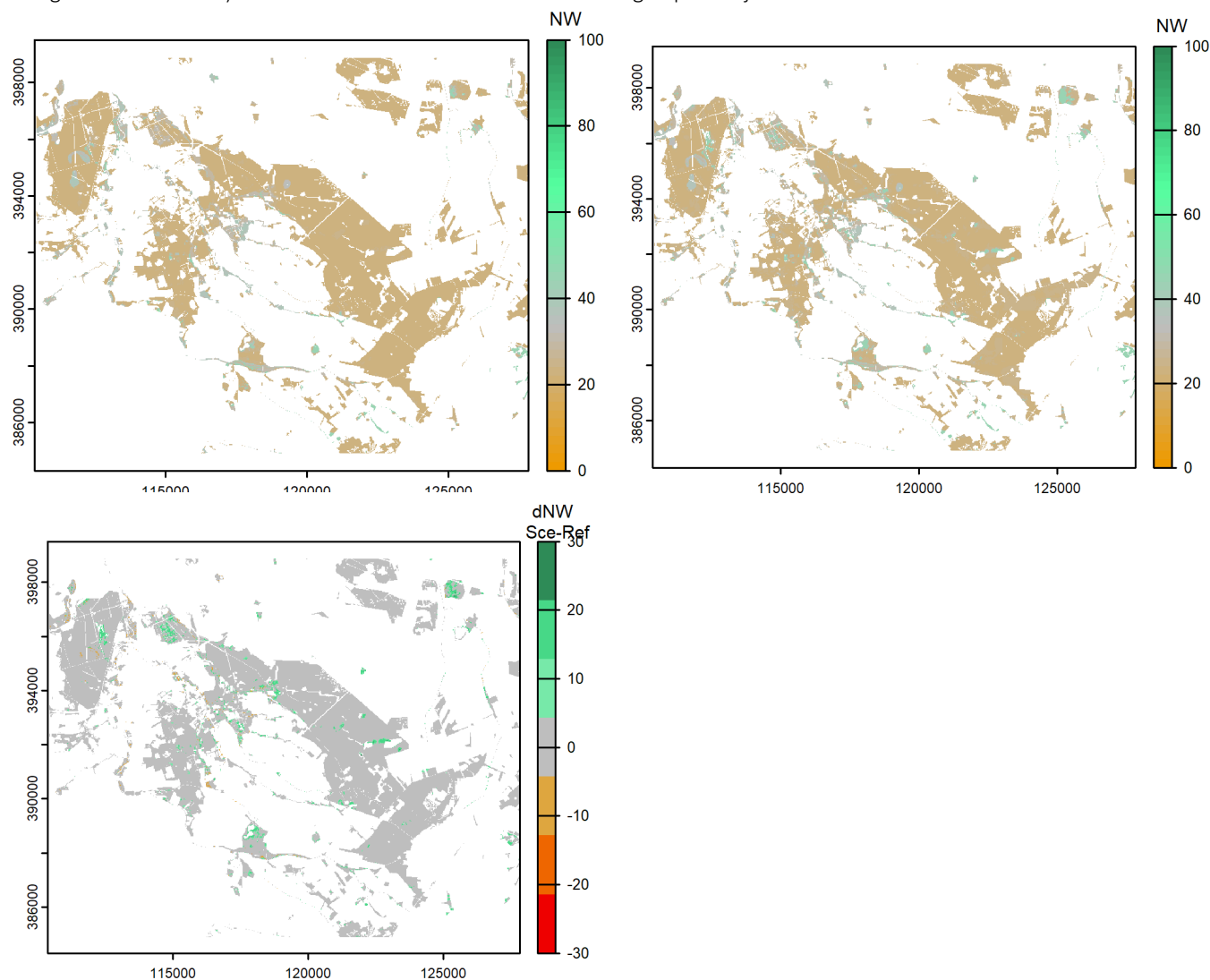


Figuur 3-9. Ecotoopgroepen en beheertypen in de referentiesituatie (linksboven en linksonder) en onder klimaatverandering (rechtsboven en rechtsonder) voor korte vegetaties.

3.2.3 Effect klimaatverandering op houtige vegetaties

Natuurwaarde

De invloed van klimaatverandering op de natuurwaarde van houtige vegetatie (Figuur 3-10) laat zien dat de natuurwaarde van de voorspelde houtige vegetaties aanzienlijk lager is dan van korte vegetaties. Ook voor deze typen leidt klimaatverandering tot een hogere natuurwaarde, alhoewel dit begrensd is tot een kleiner oppervlak en de toename in natuurwaarde is ook beperkter. Bij gelijk blijvende vegetatiestructuur (i.e. voortzetting huidige landgebruik en beheer) zal daardoor de natuurwaardeverandering beperkt zijn.

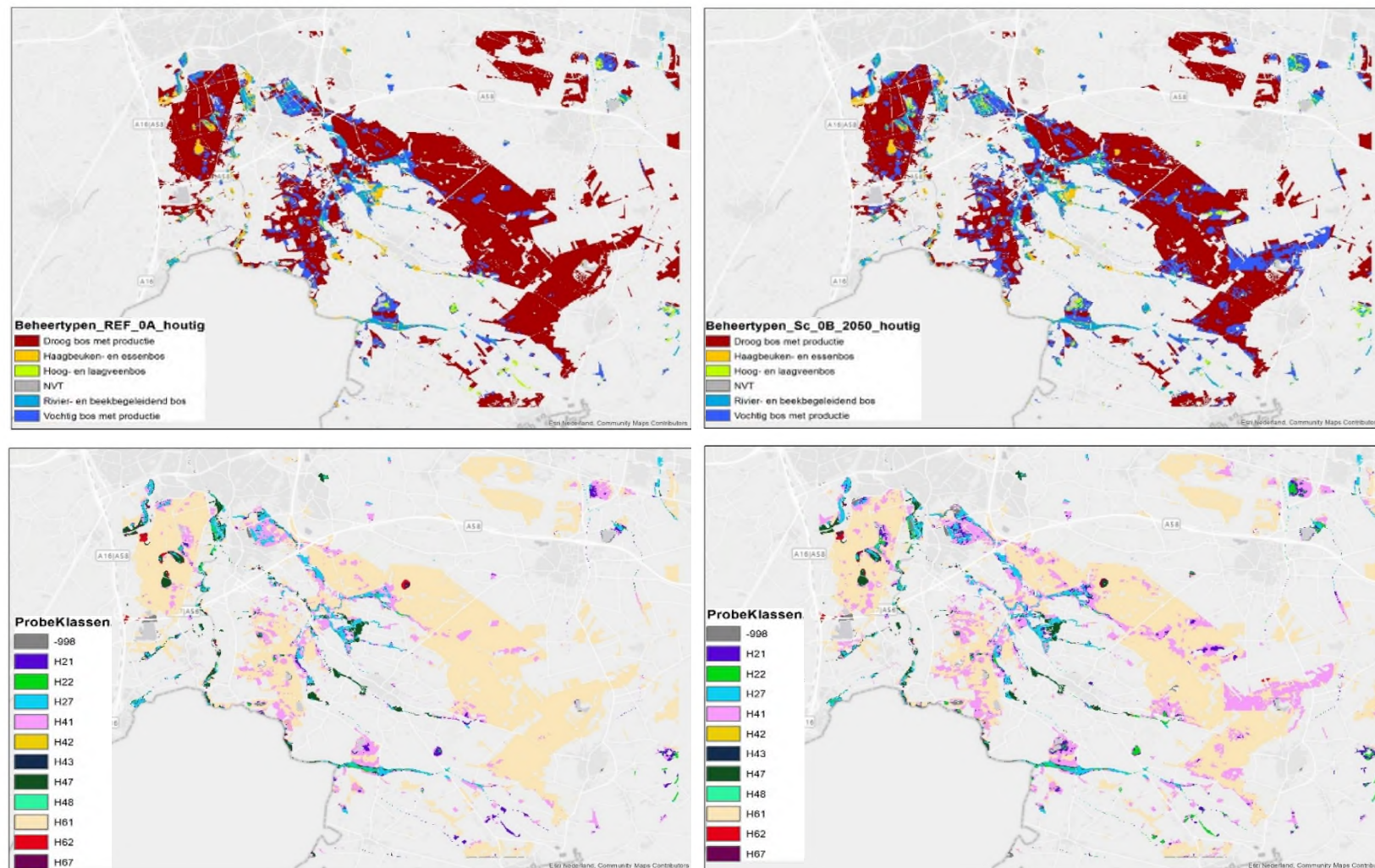


Figuur 3-10. Natuurwaarde (0 – 100) bij huidig klimaat (linksboven) en toekomstig klimaat (rechtsboven) voor huidige natuur; zichtjaar 2050, scenario 0B, en het berekende verschil (scenario – referentie) voor houtige vegetaties (onder).

Tabel 3-2 laat het met PROBE voorspelde oppervlak voor de houtige beheertypen zien. De procentuele verandering in de beheertypen als gevolg van klimaatverandering is ook toegevoegd. Te zien is dat er een potentiële toename is van N14.01 (Rivier- en beekbegeleidend bos), N14.02 (Hoog- en laagveenbos) en N16.04 (Vochtige heide) als gevolg van klimaatverandering. Daarnaast is er een potentiële afname van N14.03 (Haagbeuken- en essenbos) en N16.03 (Droog bos met productie) als gevolg van klimaatverandering. Als gevolg van klimaatverandering treedt een verschuiving op van H61 (droge, voedselarme en zure bossen) naar H41 (vochtige, voedselarme en zure bossen). Dit komt overeen met de bevindingen op basis van de beheertypen.

Tabel 3-2. Voorspeld effect van klimaatverandering op oppervlakten van beheertypen voor houtige vegetaties. De kolom Huidig geeft het oppervlakte weer bij huidig klimaat, de kolom WH2050 het oppervlak in 2050 bij KNMI scenario WH2050, zonder verandering in waterbeheer. De kolom Verandering geeft de relatieve verandering van het betreffende beheertype ten opzichte van de referentie weer ($\text{Sce} - \text{Ref} / \text{Ref} \cdot 100\%$). De oppervlakten weerspiegelen natuurpotenties op basis van abiotiek; factoren als dispersie en adequaat beheer zijn niet meegenomen. Beheertype NVT betekent dat er geen beheertype kan worden toegekend op basis van de combinatie van abiotische omstandigheden.

Beheertype	Naam	Oppervlakte (ha)			Verandering (%)
		Huidig (0A)	WH2050 (0B)	WH2050 - Huidig	
Houtig					
N14.01.00	Rivier- en beekbegeleidend bos	278.5	368.1	89.6	32
N14.02.00	Hoog- en laagveenbos	81.2	140.6	59.3	73
N14.03.00	Haagbeuken- en essenbos	188.1	159.8	-28.4	-15
N16.03.00	Droog bos met productie	4173.8	3492.5	-681.2	-16
N16.04.00	Vochtig bos met productie	658.5	1185.6	527.1	80
NVT	NVT	29.1	62.8	33.6	115

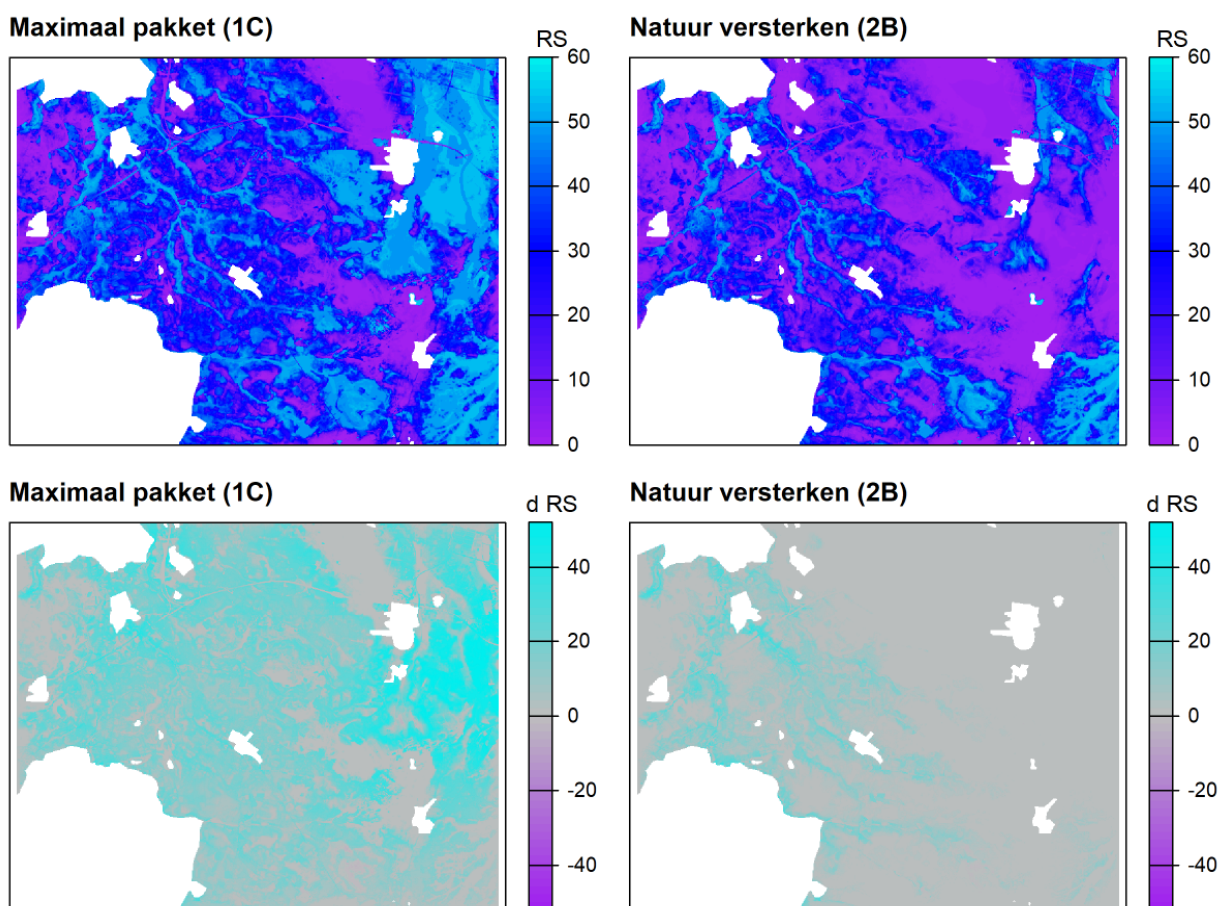


Figuur 3-11. Ecotoopgroepen en beheertypen in de referentiesituatie (links) en onder klimaatverandering WH2050 (rechts) voor houtige vegetaties.

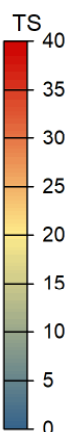
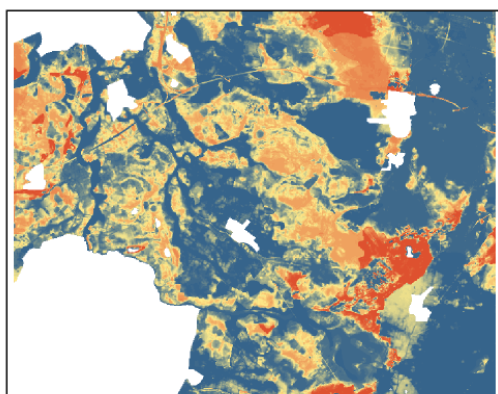
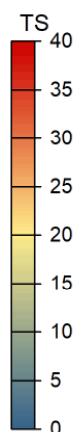
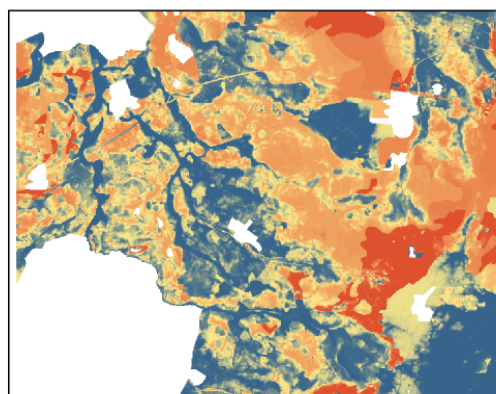
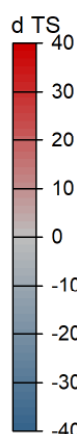
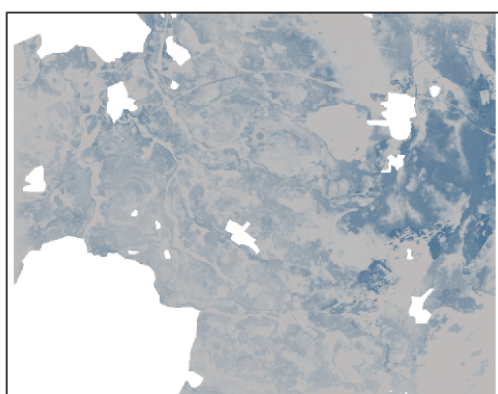
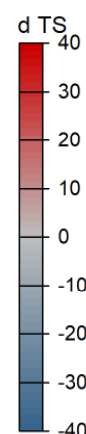
3.3 PROBE: Voorspellen effect van inrichtingsvarianten

3.3.1 Effect hydrologische maatregelen op standplaatscondities

Net als voor het effect van klimaatverandering is bepaald hoe de hydrologische inrichtingsvarianten uitwerken op standplaatscondities. Heel duidelijk komt naar voren dat de hogere grondwaterstand in beide varianten leidt tot een verandering van de vochtcondities in de wortelzone en hiermee op de standplaatsfactoren droogtestress (TS) en zuurstofstress (RS). Door de toekomstige inrichtingsvarianten zal de zuurstofstress in grote delen van het stroomgebied hoger zijn ten opzichte van een scenario met enkel klimaatverandering (Figuur 3-12). Daarentegen zal transpiratiestress afnemen als gevolg van de veranderingen in waterbeheer (Figuur 3-13). Het areaal en effect is bij variant 'Maximaal pakket' vele malen groter dan bij enkel 'Natuur Versterken'.

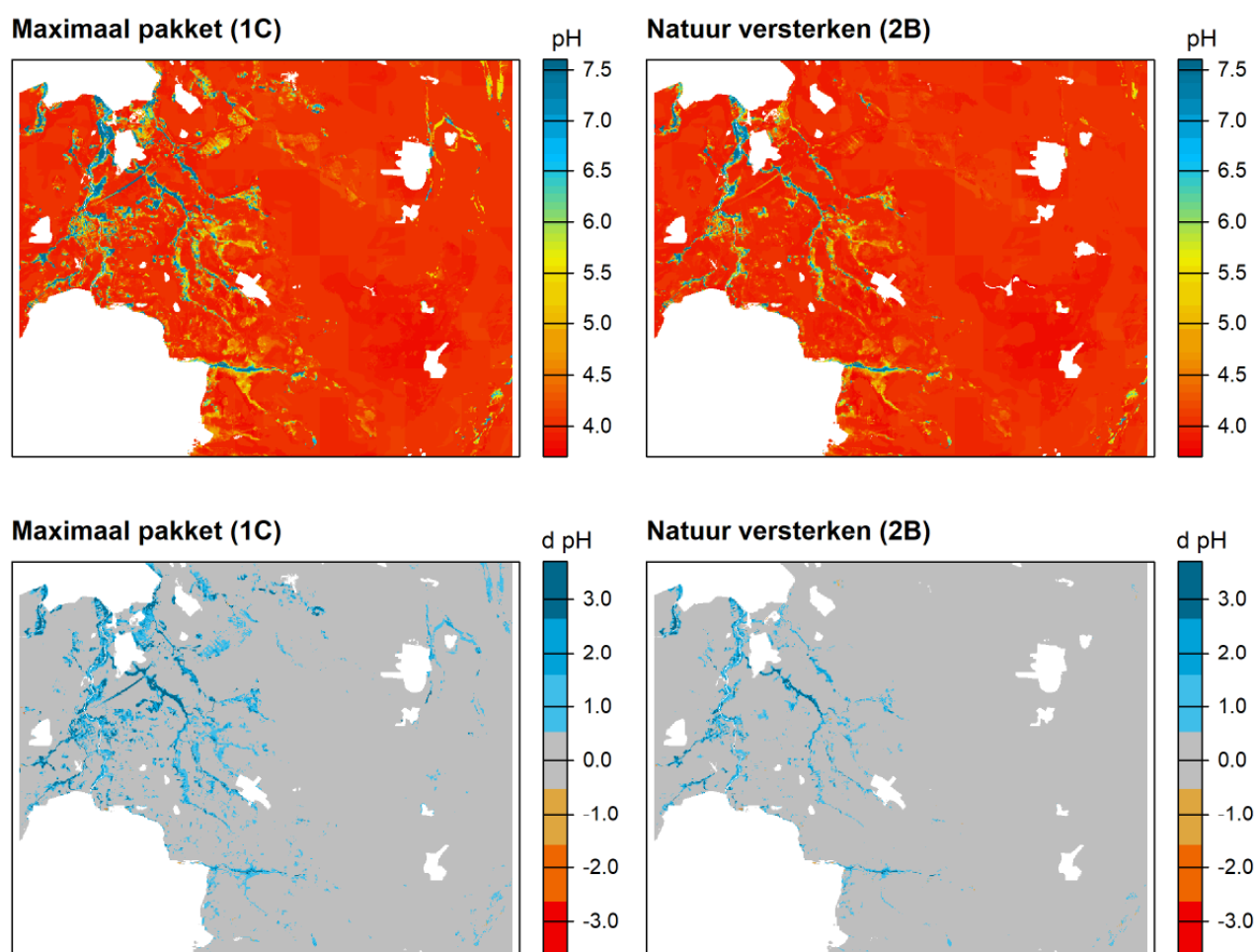


Figuur 3-12. Met PROBE gesimuleerde zuurstofstress (bovenste rij) en verandering ervan ten opzichte van het scenario met klimaatverandering (onderste rij) bij de verschillende inrichtingsvarianten. Respiratiestress is uitgedrukt als het maximale jaarlijkse zuurstoftekort ($\text{g O}_2 \text{ m}^{-2}$) per 10 dagen in de wortelzone voor een referentiegras, gemiddeld over een periode van 30 jaar.

Maximaal pakket (1C)**Natuur versterken (2B)****Maximaal pakket (1C)****Natuur versterken (2B)**

Figuur 3-13. Met PROBE gesimuleerde transpiratiestress (bovenste rij) en verandering ervan ten opzichte van het scenario met enkel klimaatverandering (onderste rij) bij de twee inrichtingsvarianten. Transpiratiestress is uitgedrukt als de maximale jaarlijkse transpiratiereductie (verschil actuele en potentiële transpiratie voor een referentiegras) gedurende 10 dagen, gemiddeld over een periode van 30 jaar (mm water).

Figuur 3-14 laat het effect van de beheermaatregelen onder toekomstig klimaat op de zuurgraad zien. Hieruit komt naar voren dat zowel bij variant 'Maximaal pakket' (1C) als 'Natuur versterken' (2B) een behoorlijke toename in pH (afname in zuurgraad) optreedt. Deze verandering kan oplopen tot een toename van 3 pH eenheden in beekdalen. Op de hogere zandgronden is de verandering in pH daarentegen verwaarloosbaar. Vergelijken we de pH figuren met de veranderingen in kwel (Figuur 2-8), dan komt naar voren dat de verandering in zuurgraad toe te schrijven is aan een kweltoename in deze gebieden. Bij variant 'Maximaal pakket' is zowel het areaal waarin de pH toeneemt als de pH verandering groter dan bij 'Natuur versterken'. Te verwachten is dat de kansrijkdom van basenminnende vegetaties zal toenemen, met name bij maximaal pakket.



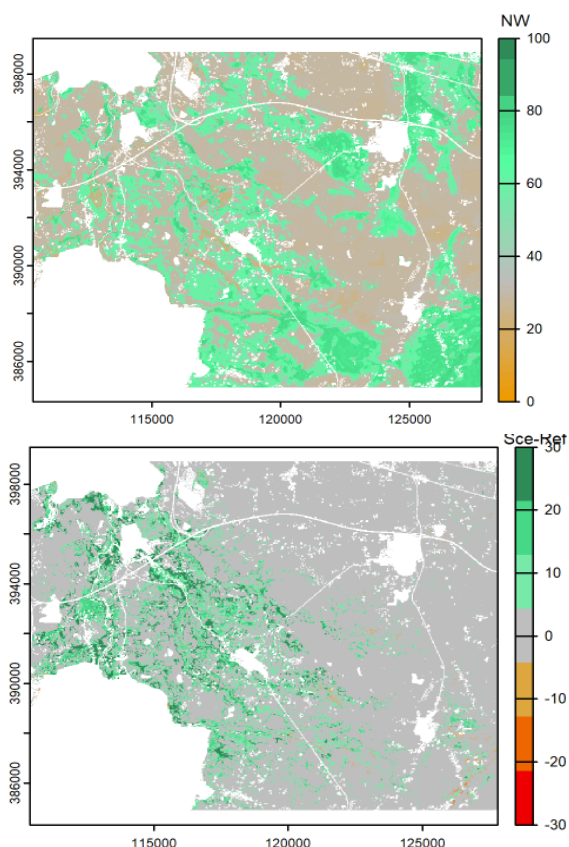
Figuur 3-14. Zuurgraad (pH) in de wortelzone bij de twee inrichtingsvarianten (bovenste rij) en verschil ten opzichte van referentie met klimaatverandering (KNMI WH2050).

3.3.2 Effect hydrologische maatregelen op korte vegetaties

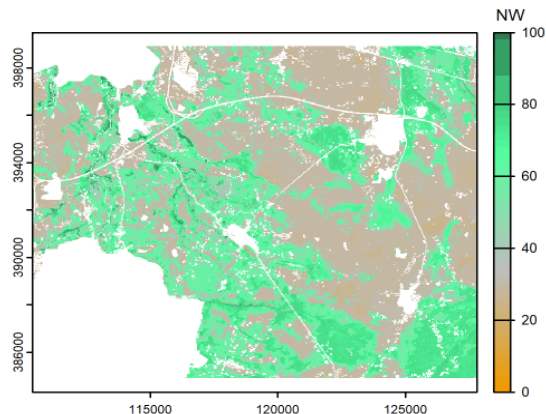
Verandering natuurwaarde

In beide beheermaatregel varianten treedt een duidelijke toename van natuurwaarde op (Figuur 3-15 en Figuur 3-16). Deze is groter bij variant 'Maximaal vasthouden' (V1C). Opmerkelijk is dat bij deze variant ook een daling van natuurwaarde optreedt in deelgebieden in het (zuid)oosten. Dit wordt veroorzaakt door de forse vernatting; WVN voorspelt zelfs aquatische vegetaties, met varianten waarvan de natuurwaarde lager uitpakt dan die van korte vegetaties.

WH2050



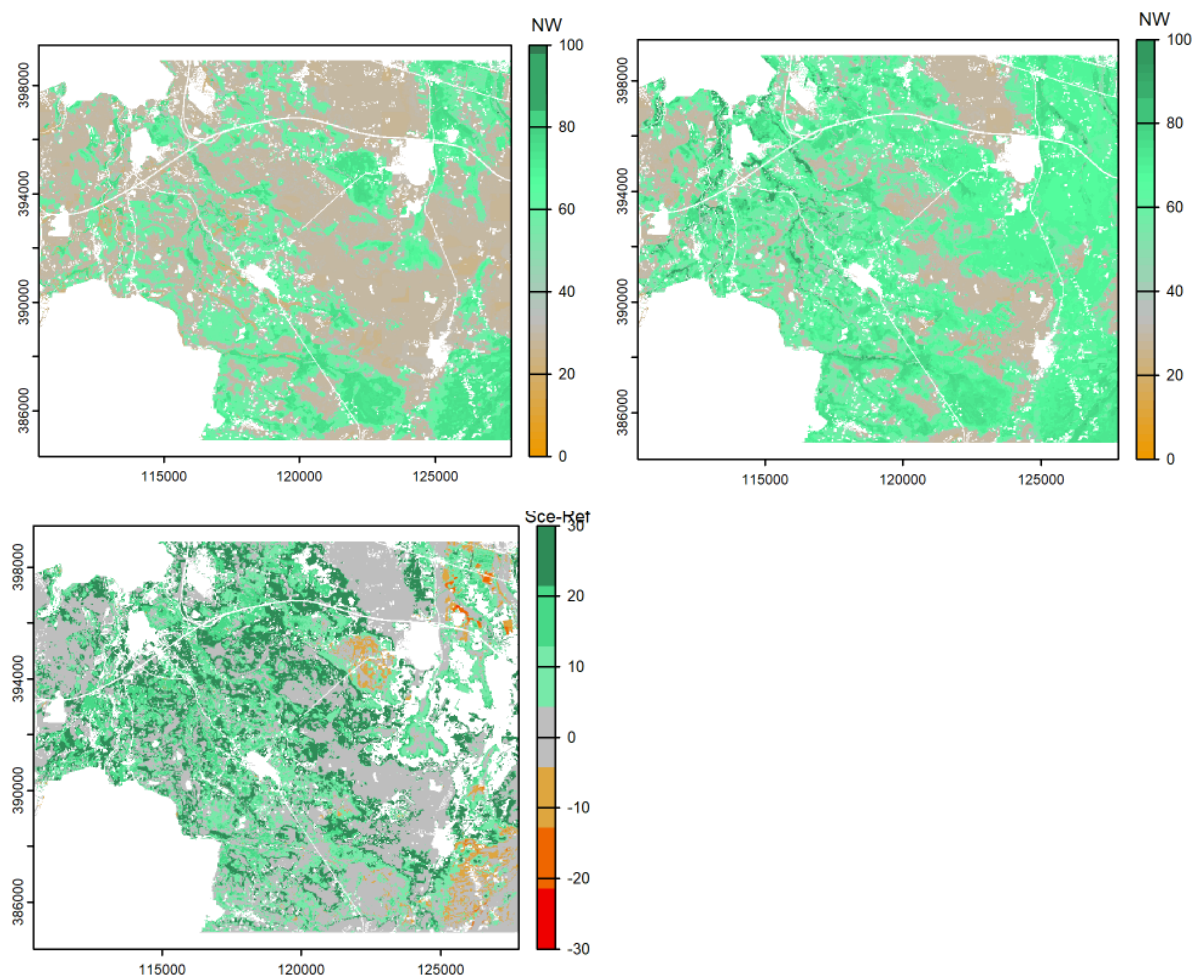
WH2050, variant 2B



Figuur 3-15 Invloed van beheermaatregel V2B op de natuurwaarde van korte vegetatie. Linksboven is de referentiesituatie onder klimaatverandering, rechtsboven onder klimaatverandering met beheermaatregel V2B. Rechtsonder is het verschil in natuurwaarde.

WH2050

WH2050, variant 1C



Figuur 3-16. Invloed van beheermaatregel V1C op de natuurwaarde van korte vegetatie. Linksboven is de referentie situatie onder klimaatverandering, rechtsboven onder klimaatverandering met beheermaatregel 1C. Rechtsonder is het verschil in natuurwaarde.

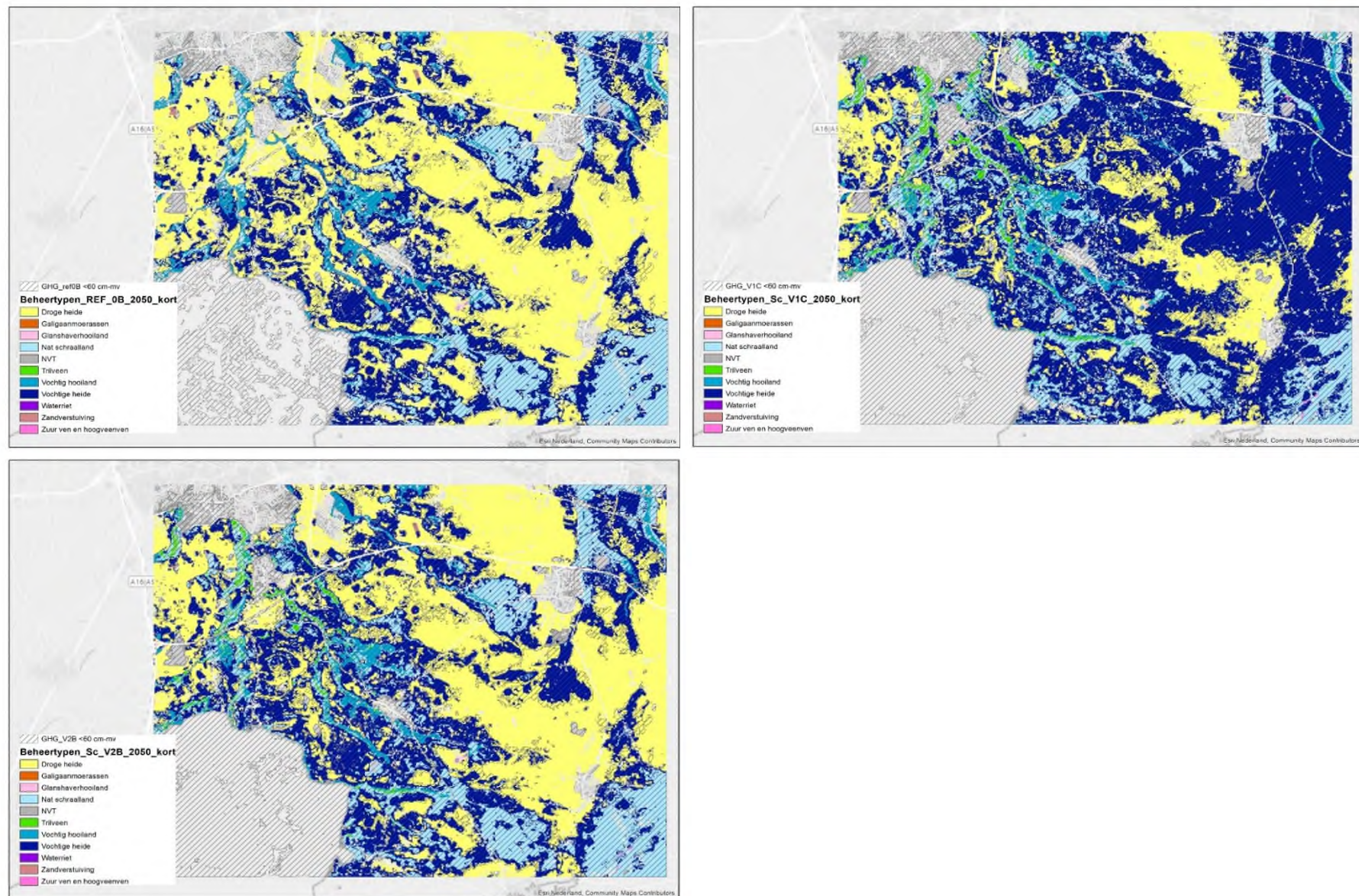
Verschuivingen in vegetatietypen

Als gevolg van de beheermaatregelen in scenario V1C treden behoorlijke verschuivingen in beheertypen op (Tabel 3-3, Figuur 3-18, Figuur 3-19) Het areaal van N06.04 (vochtige heide) verdubbelt en ook N06.02 (trilveen) neemt enorm toe. De potentie voor trilveen zal zich met name in beekdalen voordoen.

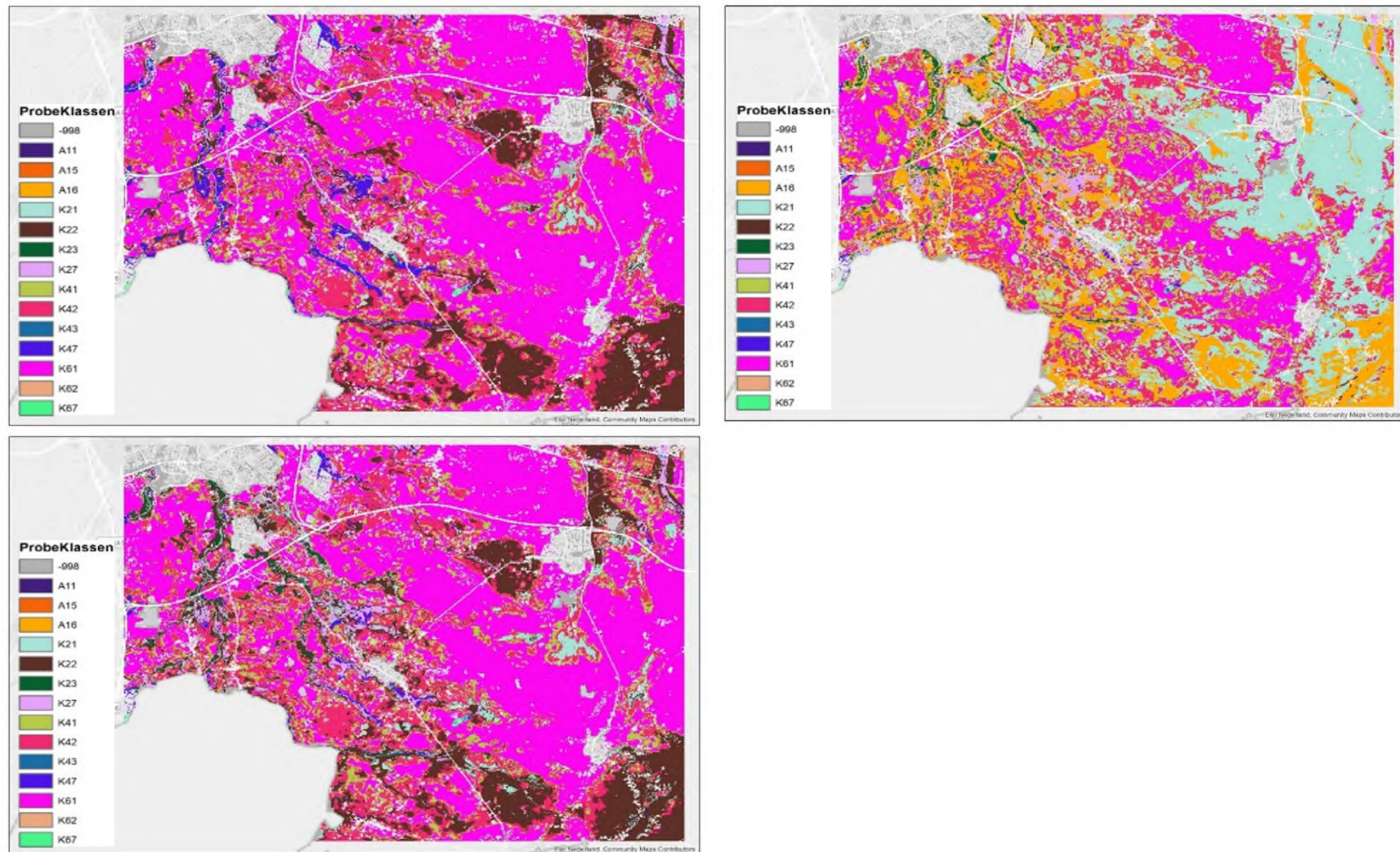
Een vergelijkbare trend treedt ook op bij inrichtingsvariant V2B, alhoewel procentueel gezien in mindere mate. Het areaal van beheertype droge heide neemt in beide scenario's af, net als waterriet. De ecotoopgroepkaarten laten vergelijkbare ruimtelijke patronen zien. Een groot deel van de veranderingen treedt overigens op in delen van het modeldomein die buiten het stroomgebied van de Chaamse Beken vallen (langs oostelijke rand).

Tabel 3-3 Voorspelde oppervlakten van beheertypen bij verschillende scenario's van hydrologische maatregelen in de toekomst (KNMI scenario W_h, zichtjaar 2050) voor korte vegetaties. De kolom Ref geeft de oppervlakte weer in de toekomst met klimaatverandering, maar zonder hydrologisch herstel. De kolommen met Δ geven de relatieve verandering van het betreffende beheertype ten opzichte van de referentie weer $(Sce - Ref)/Ref \cdot 100\%$. De oppervlakten weerspiegelen natuurpotenties op basis van abiotiek; factoren als dispersie en adequaat beheer zijn niet meegenomen. Beheertype NVT betekent dat er geen beheertype kan worden toegekend op basis van de combinatie van abiotische omstandigheden.

Beheertype	Naam	Ref (ha)	Natuur versterken (2B)			Maximaal vasthouden (1C)		
			Sce (ha)	Sce - Ref (ha)	Δ (%)	Sce (ha)	Sce - Ref (ha)	Δ (%)
Korte vegetaties								
N05.01.03	Waterriet	0	0	0	0	0	0	0
N05.01.11	Galigaanmoerassen	0	0.7	0.7	> 999	9.3	9.3	> 999
N06.02.00	Trilveen	5.4	175.6	170.2	3166	301.2	295.9	5505
N06.04.00	Vochtige heide	5177.5	5959.4	781.9	15	10377.2	5199.8	100
N06.05.00	Zwakgebufferd ven	0	0	0	0	0	0	0
N06.06.00	Zuur ven en hoogveenven	3.1	5.2	2.1	68	15.9	12.8	410
N07.01.00	Droge heide	9833.8	8645.9	-1187.9	-12	4012.2	-5821.6	-59
N07.02.00	Zandverstuiving	18.2	11	-7.2	-40	1.9	-16.2	-89
N10.01.00	Nat schraalland	2475.1	2876.7	401.6	16	3088.7	613.6	25
N10.02.00	Vochtig hooiland	789.5	624.8	-164.7	-21	470.9	-318.6	-40
N11.01.00	Droog schraalgrasland	0	0	0	0	0	0	0
N12.03.00	Glanshaverhooiland	48.8	22.2	-26.6	-54	12.4	-36.4	-75
N13.01.00	Vochtig Weidevogelgrasland	0	0	0	0	0	0	0
NVT	NVT	485.1	514.9	29.8	6	546.6	61.5	13



Figuur 3-17 Beheertypen in de referentie situatie met klimaatverandering (linksboven), onder klimaatverandering met beheermaatregel V1C (rechtsboven) en V2B (linksonder) voor korte vegetatie.



Figuur 3-18 Ecotoopgroepen in de referentiesituatie met klimaatverandering (linksboven), onder klimaatverandering met beheermaatregel V1C (rechtsboven) en V2B (linksonder) voor korte vegetatie.

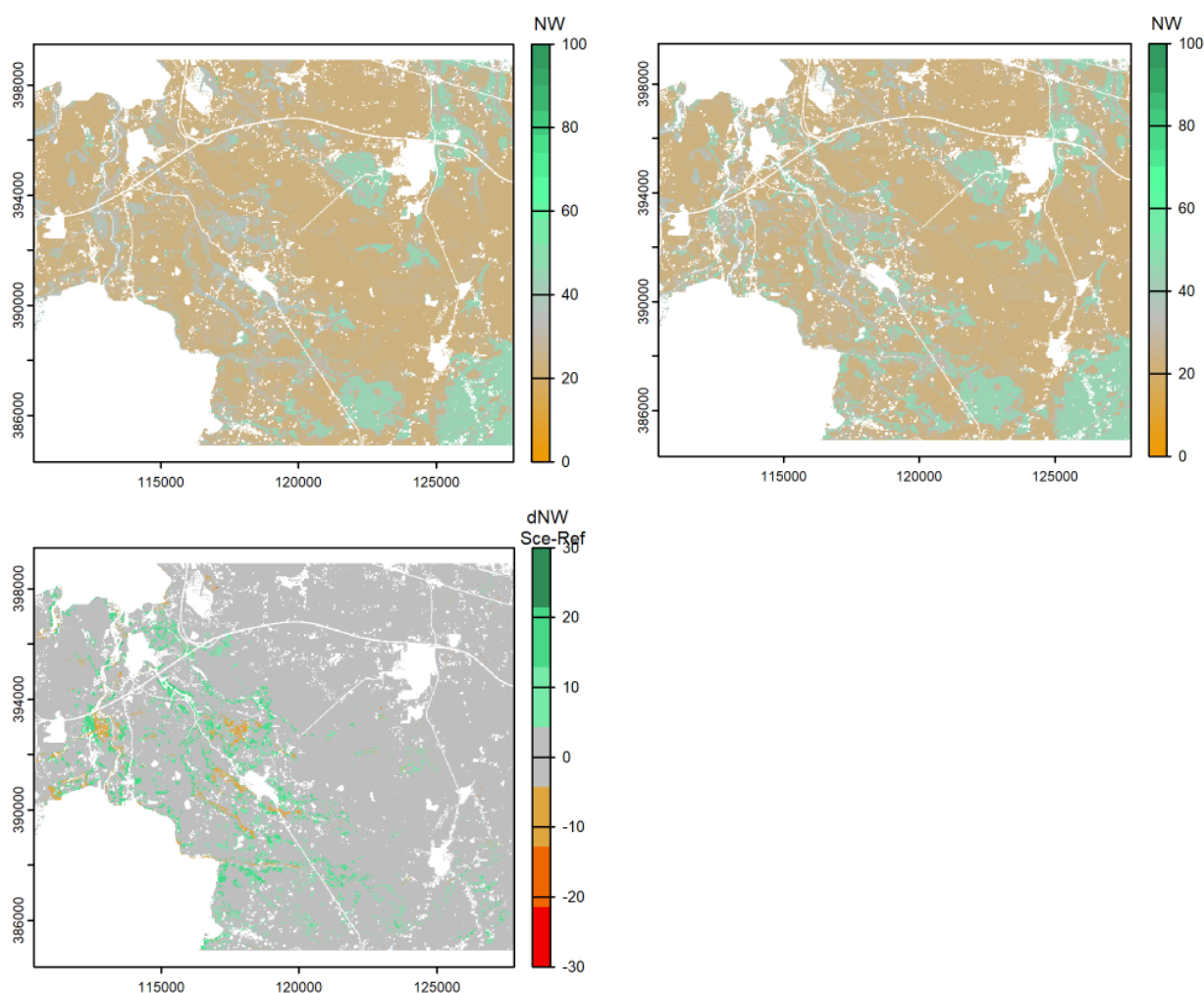
3.3.3 Effect hydrologische maatregelen op houtige vegetatie

Verandering natuurwaarde

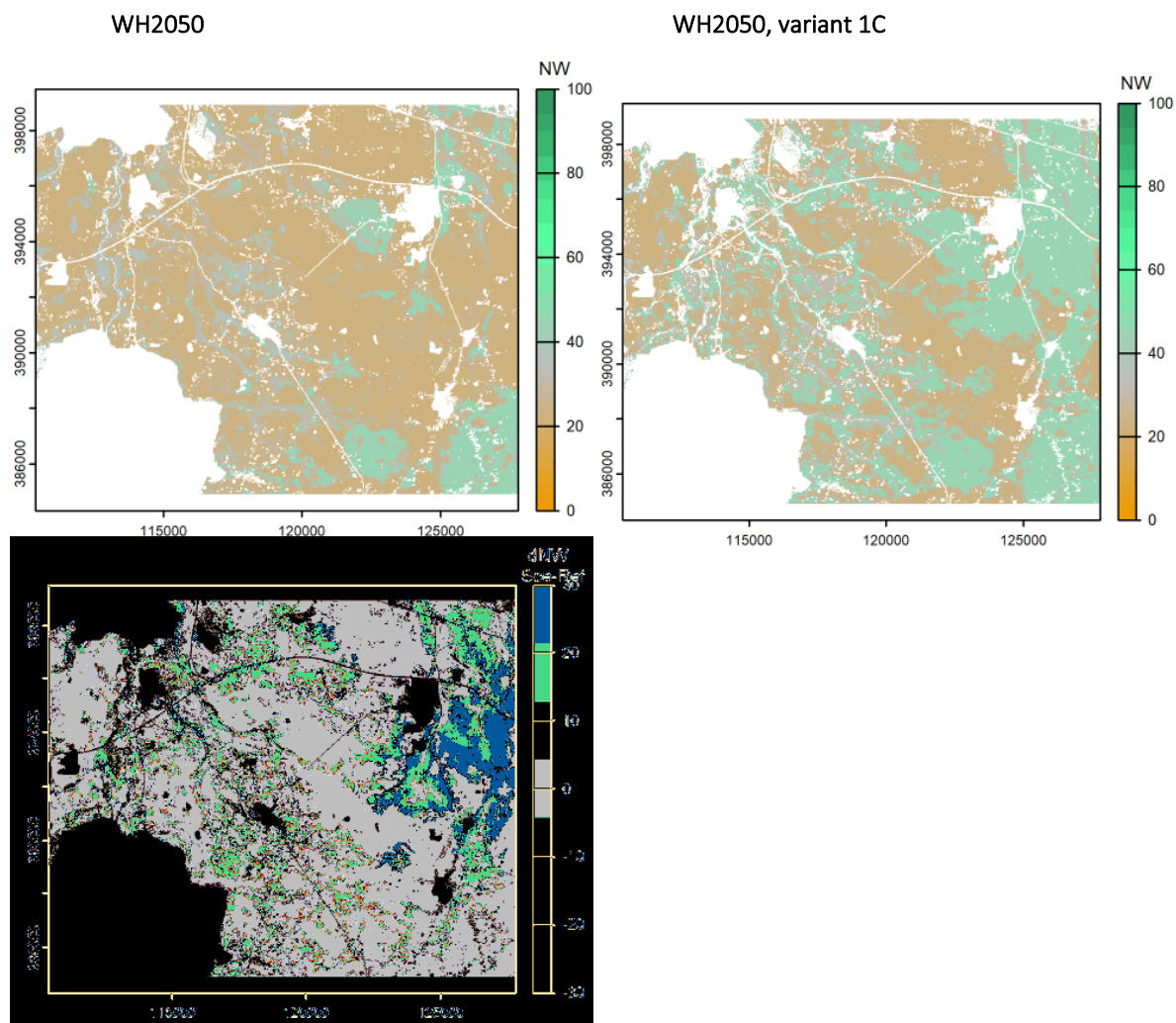
Bij beheermaatregel 2B is de verandering van natuurwaarde voor houtige vegetaties minimaal (Figuur 3-19). Lokaal treedt een stijging op en zeer lokaal een daling in natuurwaarde. Bij variant 1C (Figuur 3-20) is een grote toename in natuurwaarde zichtbaar, met name aan de oostelijke zijde (buiten het Chaamse beken stroomgebied). Zoals uit de verdere analyse zal blijken, wordt dit met name veroorzaakt door de flinke vernatting, waardoor bossen van droge standplaatsen plaatsmaken voor die van natte standplaatsen.

WH2050

WH2050, variant 2B



Figuur 3-19 Invloed van beheermaatregel 2B op de natuurwaarde van houtige vegetatie. Linksboven is de referentie situatie onder klimaatverandering, rechtsboven onder klimaatverandering met beheermaatregel 2B. Linksonder is het verschil in natuurwaarde.



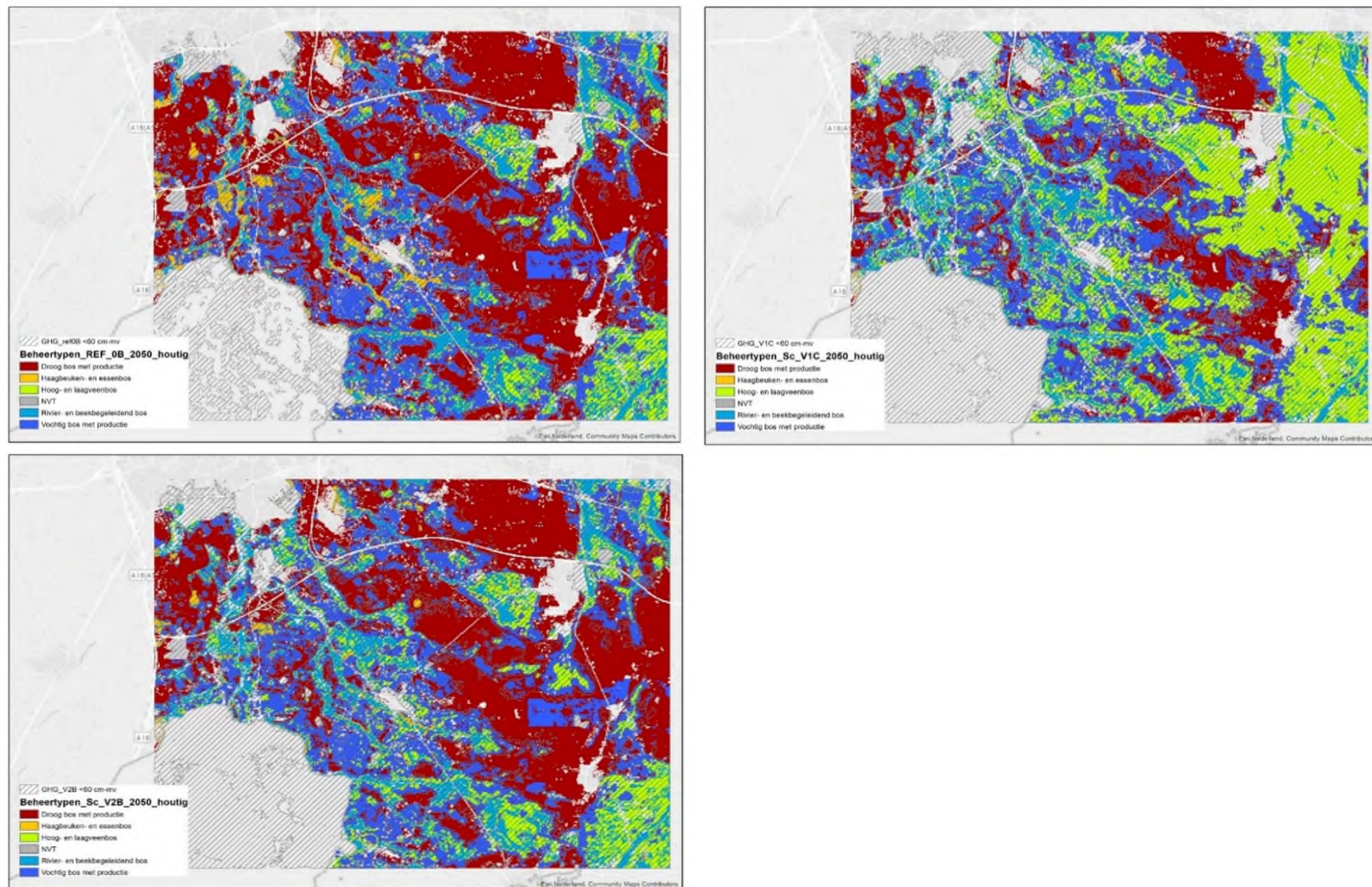
Figuur 3-20 Invloed van beheermaatregel 1C op de natuurwaarde van houtige vegetatie. Linksboven is de referentie situatie onder klimaatverandering, rechtsboven onder klimaatverandering met beheermaatregel 2B. Linksonder is het verschil in natuurwaarde.

Verschuivingen in vegetatietypen

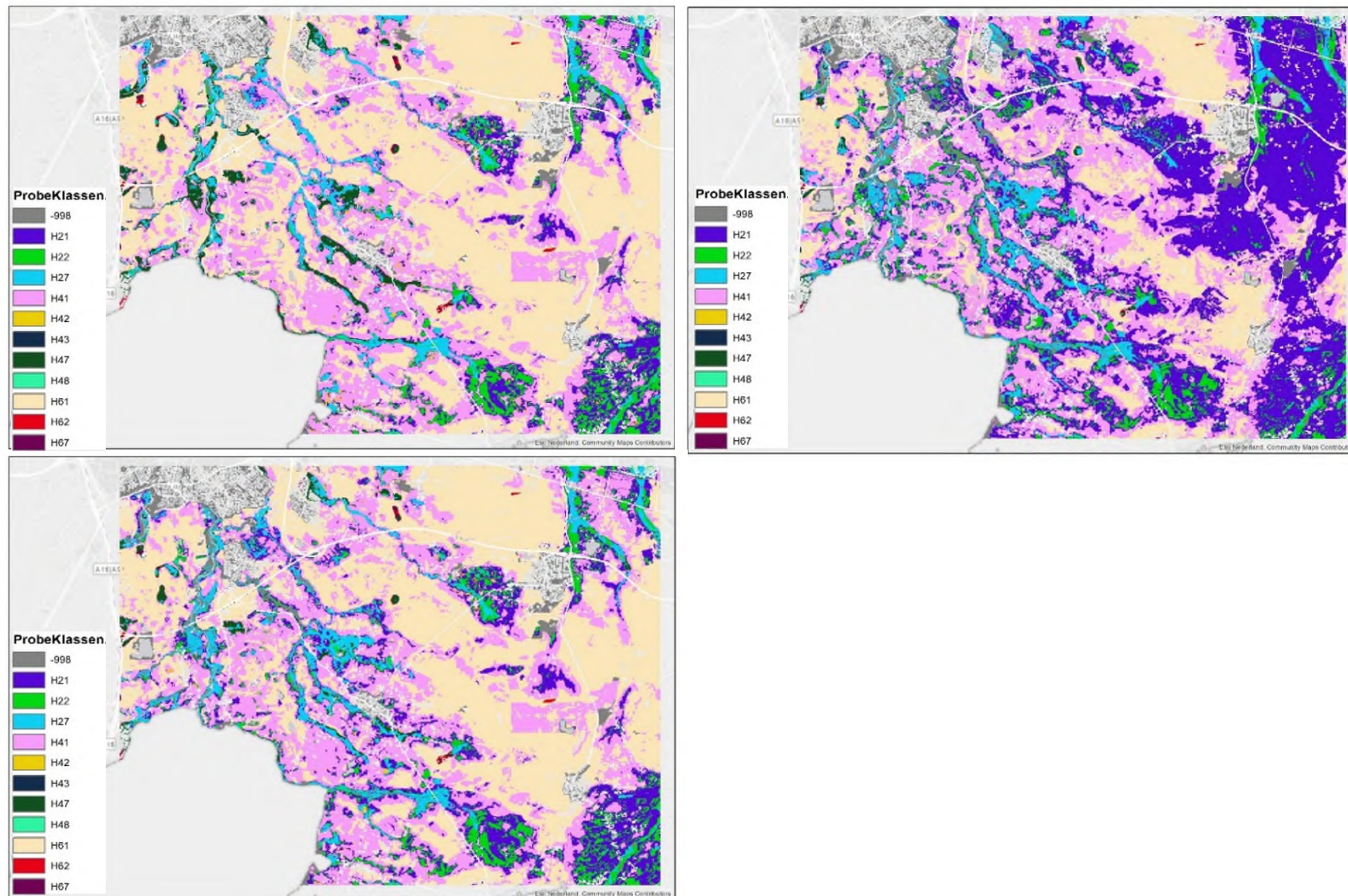
Uit de PROBE simulaties komt naar voren dat het oppervlak N14.03 (haagbeuken- en essenbos) en N16.03 (droog bos met productie) bij beide inrichtingsvarianten afnemen (Tabel 3-4, Figuur 3-21 en Figuur 3-22). Voor houtige vegetaties verschuift droog bos met productie naar hoog- en laagveenbos (N14.02) en beekbegeleidende bossen (N14.01). Uit de kruistabel komt naar voren dat een verschuiving optreedt naar met name beekbegeleidende bossen en in mindere mate hoog- en laagveenbos. Als gevolg van de beheermaatregelen in scenario V2B nemen dezelfde beheertypen toe en af maar in veel mindere mate. De ecotoopgroepkaarten laten hetzelfde patroon zien.

Tabel 3-4 Voorspelde oppervlakten van beheertypen bij verschillende scenario's van hydrologische maatregelen in de toekomst (KNMI scenario W_h, zichtjaar 2050) voor houtige vegetaties. De kolom Ref geeft het oppervlakte weer in de toekomst met klimaatverandering, maar zonder hydrologisch herstel. De kolommen met Δ geven de relatieve verandering van het betreffende beheertype ten opzichte van de referentie weer $(Sce - Ref)/Ref \cdot 100\%$. De oppervlakten weerspiegelen natuurpotenties op basis van abiotiek; factoren als dispersie en adequaat beheer zijn niet meegenomen. Beheertype NVT betekent dat er geen beheertype kan worden toegekend op basis van de combinatie van abiotische omstandigheden.

Beheertyp e	Naam	Ref (ha)	Natuur versterken (2B)			Maximaal vasthouden (1C)		
			Sce (ha)	Sce - Ref (ha)	Δ (%)	Sce (ha)	Sce - Ref (ha)	Δ (%)
Houtige vegetaties								
N14.01.00	Rivier- en beekbegeleidend bos	1731.6	2042.6	311.1	18	2168.9	437.4	25
N14.02.00	Hoog- en laagveenbos	1356.2	2104.2	748	55	6118.4	4762.2	351
N14.03.00	Haagbeuken- en essenbos	667.9	283.8	-384.1	-58	83.2	-584.7	-88
N16.03.00	Droog bos met productie	9034.9	7887.6	-1147.4	-13	3613.1	-5421.9	-60
N16.04.00	Vochtig bos met productie	5459.6	5748.4	288.8	5	5873.6	414	8
NVT	NVT	586.4	770	183.6	31	979.4	393	67



Figuur 3-21. Beheertypen in de referentie situatie met klimaatverandering (linksboven), bij klimaatverandering met variant 'Maximaal vasthouden' V1C (rechtsboven) en 'Natuur versterken' V2B (linksonder) voor houtige vegetatie.



Figuur 3-22 Ecotoopgroepen in de referentiesituatie met klimaatverandering (linksboven), onder klimaatverandering met beheermaatregel V1C (rechtsboven) en V2B (linksonder) voor houtige vegetatie.

4 Discussie

In dit rapport is de werking van de WWN geïllustreerd en zowel de potenties van de tool als de beperkingen inzichtelijk gemaakt. Hiervoor is de WWN toegepast op de casestudy Chaamse

Uit de analyse komt naar voren dat zowel de inrichtingsvariant ‘Maximaal vasthouden’ als ‘Natuur versterken’ een positief tot zeer positief effect kunnen hebben op de natuurwaarden in het stroomgebied van de Chaamse beken. Door de vernatting nemen potenties van vegetaties gebonden aan natte(re) standplaatsen enorm (bijvoorbeeld een verdubbeling in het areaal Vochtige heide) toe. Doordat de hydrologische maatregelen leiden tot een toename van de kwelflux, zal aanvoer van voedselarm, gebufferd grondwater naar de wortelzone ook toenemen. Dit beeld wordt bevestigd door de gesimuleerde zuurgraad in de wortelzone. De nattere standplaatsen met grotere zuurbuffering leiden tot een voorspelde toename van onder andere het areaal trilveen (met name in beekdalen) en vochtige heide. In Nederland wordt het voorkomen van trilveen voornamelijk geassocieerd met laagveenmoerassen als de Wieden en Weerribben. Oorspronkelijk kwam het echter ook veel voor in beekdalen met toestroom van basenrijk grondwater en in lage-zones, de overgang van hoogveenkern naar de minerale omliggende gronden (BIJ12, 2023). De voorspelde grote potentiële toename van trilveen komt wel met een aantal kanttekeningen.

Ten eerste betreft de potentiële toename van beheertype trilveen waarschijnlijk een overschatting doordat een lithoclien grondwatertype is toegekend terwijl het vaak lokale(re) kwel zal betreffen die met name afkomstig zal zijn uit reeds grotendeels uitgeloopte afzettingen. Ondanks de onduidelijkheid van de precieze herkomst en kwaliteit van kwelwater zal een grotere grondwaterinvloed leiden tot een meer gebufferde standplaats en een hogere pH. Alhoewel het misschien geen toename in trilveen betreft, zal door deze verandering de kansrijkdom van kwelafhankelijke natuur doen toenemen. Omdat deze vegetaties een hoge natuurwaarde hebben, zal ook de ook de natuurwaarde in het gebied toenemen.

Ten tweede is trilveenvegetatie gebonden aan een slappe, venige bodem (vandaar de naam trilveen). In de huidige WWN wordt de bodem constant verondersteld en verandert niet mee als functie van klimaat en waterbeheer. In werkelijkheid zal, met name in veenbodems en moerige gronden, de afbraak van organisch stof veranderen bij een ander klimaat en/of waterbeheer, en daarmee ook de bodemstructuur. Ook de bodemeigenschappen dienen op orde te zijn, maar deze veranderen niet mee. Hierdoor zal het werkelijk gerealiseerde oppervlak voor trilveen lager uitvallen, naast het feit dat uitgegaan wordt van optimale zaaddispersie en natuurbeheer (maaien, etc.).

Verder is het belangrijk op te merken dat de waterhuishouding van met name grondwaterafhankelijke natuur erg nauw luistert. Een kleine verandering in grondwaterstand (paar cm) kan dan al een grote verandering in vegetatie teweeg brengen. Dit vraagt veel van grondwatermodellen. Een kleine mismatch tussen simulatie en werkelijkheid kan daarmee tot verkeerde voorspellingen leiden. Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van de modeluitkomsten van Deltares (Schoonderwoerd et al, 2022). Hiermee wordt ervanuit gegaan dat dit model accurate grondwaterstanden berekent. Een oplossing zou zijn om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren, bijvoorbeeld door te bepalen hoe de kansrijkdom van vegetatie (ruimtelijk) verandert als gevolg van een opgelegde verandering in GxG. Andersom geredeneerd, zou ook kunnen worden bepaald welke modelnauwkeurigheid acceptabel is en leidt tot een verwaarloosbare verandering in kansrijkdom van vegetatie. De benodigde modelnauwkeurigheid hangt samen met de hydrologische uitgangssituatie en overige locatie-specifieke eigenschappen zoals bodemtype, stikstofdepositie, en kweltype. Gezamenlijk met Waternoodanalyses die een mismatch tussen ecologische vereisten van vegetatie en hydrologische modellen weergeven, kan op deze manier ruimtelijk inzichtelijk worden gemaakt in welke delen van het gebied grondwatermodellen nauwkeuriger moeten zijn.

De nauwkeurigheid en het detailniveau van de ondergrond, en toegepaste modelconcepten in het gebruikte grondwatermodel sturen in belangrijke mate de kansrijkdom van vegetatie. Vooral aannames en modelconcepten rondom plasvorming (water boven maaiveld wordt afgevoerd) en de hydrogeologische schematisatie (ontbreken van slechtdoorlatende lagen en ontstaan van schijnspiegels) zijn daarbij aandachtspunten. Opvallend is dat er een flink doelgat is voor plekken met beheertype Zwakgebufferde vennen als ambitie. Deze komen voor bij schijnspiegelsystemen. Dit kan er dus op duiden dat het grondwatermodel voor deze locaties minder geschikt is. Anderzijds geeft de ambitiekaart geen beeld van de actuele vegetatie. Om te toetsen of het grondwatermodel op orde is, zou met Waternood aan een actuele vegetatiekaart kunnen worden getoetst, of een vergelijking van voorspelde grondwaterstand met meetreeksen moeten worden gemaakt. Als gevolg van de onzekerheid in hydrologische invoer zijn voor deze gebieden de voorspelde veranderingen in vegetatie minder betrouwbaar.

Een andere onzekerheid wordt in de methodiek geïntroduceerd door de doorvertaling van ecotoopgroepen naar beheertypen. Bij deze vertaling gaat informatie verloren, aangezien ecotoopgroepen specifiek verbonden zijn aan standplaatscondities. Daarnaast kan een ecotoopgroep aan meerdere beheertypen worden toegekend. Hiermee worden de resultaten dus meer gegeneraliseerd. Van belang is dat de resulterende beheertypenkaart de hoogst haalbare ambities weergeeft voor het betreffende scenario. Nog belangrijker is echter dat, zoals de naam al aangeeft, de beheertypen op de ambitiekaart primair gedifferentieerd worden op basis van beheer. Abiotiek speelt hierbij ook een rol, maar is vaak van secundair belang. Dit is een probleem, want alleen als abiotische randvoorwaarden op orde zijn kan met beheer gestuurd worden op welke beheertypen kans hebben. De beheertypen-typologie in de ambitiekaart sluit daarom slecht aan bij het bepalen van effecten van waterbeheer en klimaat op natuurbelangen. Omdat het huidige beleid echter wel met deze informatie wordt gevoed, hebben we deze vertaling - met de nodige mitsen en maren - toch uitgevoerd.

Tot slot zijn er tijdens de methodiek een aantal keuzes gemaakt die de resultaten beïnvloeden. Zo is de invloed van klimaat afhankelijk van het gekozen klimaatscenario. Tijdens dit onderzoek is gebruik gemaakt van KNMI '14 W_H scenario met zichtjaar 2050. Op basis van de uitkomsten van het grondwatermodel zou door klimaatverandering de grondwaterstand ondieper worden. Dit kan worden verklaard door toekomstige nattere winters bij klimaatscenario W_H (KNMI, 2014). Een ander klimaatscenario betreft andere toekomstige klimaatcondities, waardoor de vernatting zoals weergegeven in de resultaten wellicht in mindere mate voorkomt. Het W_H scenario is het meest extreme van de vier KNMI'14 scenario's, maar is wellicht een plausibel scenario in de nieuwe inzichten van de effecten van klimaatverandering. Het is daarom nuttig de analyse te herhalen voor de nieuwe KNMI-klimaatscenario's die in oktober 2023 worden gepubliceerd (KNMI, 2023). Daarnaast is de invloed van een verandering in stikstofdepositie niet meegenomen in dit onderzoek. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen wat de invloed van een mogelijk afname in stikstofdepositie voor invloed heeft op het behalen van de natuurdoelen.

5 Conclusies

Deze studie laat zien hoe de Waterwijzer Natuur (WWN) kan worden ingezet bij toekomstverkenningen voor een stroomgebied, om te bepalen hoe bijvoorbeeld klimaatverandering of een verandering in waterhuishouding doorwerkt op natuurbelangen. Met het onderdeel Waternood van de WWN is het daarnaast mogelijk om te toetsen in welke mate en waar de huidige waterhuishouding in overeenstemming is met ecologische vereisten van de gestelde natuurdoelen. Aan de hand van de simulaties met het onderdeel PROBE van de WWN is geïllustreerd hoe dit instrument kan worden ingezet om kwantitatieve handvatten te geven en ruimtelijk inzichtelijk te maken hoe vegetatie in het stroomgebied in potentie verandert als gevolg van klimaatverandering en keuzes in toekomstig waterbeheer en -beleid. De nieuw ontwikkelde vertaling van ecotoopgroepen naar beheertypen biedt daarnaast een betere aansluiting bij beleid en besluitvorming. Met de huidige WWN versie (versie 3) kan aanvullend worden bepaald wat de invloed van een veranderende stikstofdepositie is op de natuur. Dit is echter buiten beschouwing gelaten in de toepassing op de casus Chaamse Beken.

Toetsing huidige waterhuishouding aan natuurambities (Waternood)

Uit de Waternoodanalyses komt naar voren dat voor grote delen van het gebied de natuurambities met meer dan 80% gerealiseerd kunnen worden. Op deze locaties voldoet de huidige waterhuishouding om de vegetatiedoelen te realiseren. Gezien het lage ambitieniveau (droog productiebos), dat nauwelijks eisen aan waterhuishouding stelt, is dat niet verwonderlijk. Er zijn echter enkele locaties waar de waterhuishouding te droog zou zijn voor de doelbeheertypen. Het gaat hierbij om vochtige heide (N06.04), zwak gebufferde vennen (N06.05) en zure vennen en hoogveenvennen (N06.06). Voor deze locaties, die afhankelijk (kunnen) zijn van schijnspiegels, is het de vraag of de mismatch wordt veroorzaakt door een beperkte prestatie van het grondwatermodel of dat grondwaterstanden werkelijk te diep zijn voor de gestelde natuurambities. Validatie op basis van gemeten grondwaterreeksen of actuele vegetatiekaart zou hier uitsluitsel over kunnen geven.

Toekomstverkenning: Effect klimaatverandering op natuur (PROBE)

Met de PROBE analyses is een beeld gevormd van het effect van klimaatverandering en de twee toekomstscenario's met veranderingen in waterhuishouding op vegetatie in het stroomgebied van de Chaamse Beken. In de scenario's wordt door klimaatverandering de GHG in praktisch het hele modeldomein ondieper. De GLG wordt ondieper in het oostelijke deel maar wordt dieper in het westen. Als gevolg van deze vochtigere omstandigheden nemen de potenties voor aan natte standplaatsen gebonden beheertypen volgens PROBE toe door klimaatverandering. Vochtige heide en glanshaverhooiland veranderen in nat schraalland en vochtig hooiland. Ook droge bossen verschuiven naar nattere varianten. Als gevolg van klimaatverandering zou deze verschuiving leiden tot een hogere natuurwaarde in het gebied. Kanttekening hierbij is dat dit afhankelijk is van het gekozen klimaatscenario.

Toekomstverkenning: Effect hydrologische herinrichting op natuur (PROBE)

Voor zowel de inrichtingsvariant 'Maximaal vasthouden' (1C) als 'Natuur versterken' (2B) wordt een vernatting van het gebied voorspeld. Als gevolg van de grote aanpassingen in het watersysteem in scenario 1C neemt voor korte vegetaties de potentie van vochtige heide en trilveen aanzienlijk toe in het gebied. Dit gaat ten koste van het areaal droge heide en waterriet, die afnemen. Voor houtige vegetaties verschuift Droog bos naar Hoog- en laagveenbos en Beekbegeleidende bossen. Ook wordt een potentiële afname van Haagbeuken- en essenbos voorspeld. De verschuiving naar nattere natuurtypen gaat gepaard met een toename van natuurwaarde. Bij deze variant treedt dezelfde verandering op als bij variant V1C, alleen in mindere mate.

Inzet WWN bij gebiedsprocessen

In dit onderzoek is aan de hand van een casestudie gedemonstreerd hoe de Waterwijzer Natuur kan worden ingezet om te verkennen welke effecten veranderingen in toekomstig waterbeheer en klimaat doorwerken op natuur. Dezelfde methodiek kan worden toegepast voor andere natuurgebieden bij gebiedsprocessen en in het kader van bijvoorbeeld 'Bodem en Water sturend', 'Functie volgt peil', en om de watertransitie vorm te geven. Dergelijke analyses kunnen worden uitgevoerd als de uitvoer van een betrouwbaar grondwatermodel (GxG en kwelflux) beschikbaar is voor de gewenste scenario's. Met de Waterwijzer Natuur kunnen scenario's worden vergeleken om kwantitatief en ruimtelijk inzichtelijk te maken welke veranderingen in waterbeheer het meest kansrijk zijn om natuurdoelen te behalen. De opgestelde vertaling van ecotoopgroepen naar beheertypen biedt daarbij een verbeterde aansluiting met beleid, zoals provinciale ambitiekaarten.

6 Literatuur

- Bartholomeus, R.P., Witte, J.-P.M., van Bodegom, P.M., van Dam, J.C. & Aerts, R. (2008) Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes-function by a process-based model. *Journal of Hydrology*, 360, 147-165.
- Bartholomeus, R.P., Witte, J.-P.M., van Bodegom, P.M., van Dam, J.C., Aerts, R. (2011). Climate change threatens endangered plant species by stronger and interacting water-related stresses. *J Geophys Res*, 116, G4, G04023. DOI: 10.1029/2011jg001693.
- BIJ12 (2023) N06.02 Trilveen. Available at: (accessed 14 april 2023 2023).
- Bonten, L. T., Reinds, G.J., Posch, M. (2016) A model to calculate effects of atmospheric deposition on soil acidification, eutrophication and carbon sequestration. *Environmental modelling & software* 79: 75-84.
- Fujita, Y., van Bodegom, P.M., Venterink, H.O., Runhaar, H., Witte, J.-P.M. (2013) Towards a proper integration of hydrology in predicting soil nitrogen mineralization rates along natural moisture gradients. *Soil Biology and Biochemistry* 58(0): 302-312.
- Jansen, P.C., Runhaar, J., Witte, J.P.M. & Van Dam, J.C. (2000) Vochtindicatie van grasvegetaties in relatie tot de vochttoestand van de bodem. Alterra, Wageningen.
- KNMI (2015) KNMI '14 Klimaatscenario's voor Nederland, De Bilt.
- KNMI (2023). [KNMI - Op weg naar nieuwe KNMI-klimaatscenario's](https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/op-weg-naar-nieuwe-knmi-klimaatscenario-s). Website: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/op-weg-naar-nieuwe-knmi-klimaatscenario-s> [geraadpleegd op 4-7-2023]
- Kroes, J. G. and Van Dam, J. C. (2003) Reference Manual SWAP version 3.0.3. Wageningen, Alterra, Green World Research.
- KWR (2022) Website: <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/waterwijzer-natuur/>. [geraadpleegd op 14-12-2022]
- Nijp, J.J., de Wit, J., Clevers, S., Dorland, E., Reinds, G.-J., Kros, H., Fuijta, Y., Hoefsloot, P., Witte, J.-P.M. (2022) Waterwijzer Natuur Fase 3 - Klimaatrobuuste modellering van effecten van zuur- en stikstofdepositie op natuur. KWR, WENR, NMI , FWE.
- Runhaar, J., van Landuyt, W., Groen, C.L.G., Weeda, E.J. & Verloove, F. (2004) Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria*, 30, 12-26.
- Runhaar, H., Hennekens, S.M. (2015) Hydrologische randvoorwaarden natuur : gebruikershandleiding (waterloodapplicatie versie 3). Amersfoort : Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Rapport / STOWA 2015-22) – 58
- Schoonderwoerd, E., Hendriks, D., Jeuken, A., Roelofsen, F., Peerdeman, K., Vink K. (2022). KLIMAP casestudy Chaamse Beken. Deltares, Concept rapport
- Witte, J.P.M., Wójcik, R.B., Torfs, P.J.J.F., De Haan, M.W.H. & Hennekens, S. (2007) Bayesian classification of vegetation types with Gaussian mixture density fitting to indicator values. *J. Veg. Sci.*, 18, 605-612
- 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.
- Witte, J.-P.M., Bartholomeus, R.P., van Bodegom, P.M., Cirkel, D.G., van Ek, R., Fujita, Y., Janssen, G.M., Spek T.J., Runhaar, H. (2015) A probabilistic eco-hydrological model to predict the effects of climate change on natural vegetation at a regional scale; in: *Landscape Ecology*, vol 30, no 5, pag 835-854.
- Witte, J-P, Wamelink, W., Roelofsen, H., Jalink, M. (2022) De doelrealisatie van natuurbeheertypen uit de Waterwijzer Natuur. FWE, WEnR, KWR.