



KWR 2026.033 | September 2026

Handleiding Waterwijzer Natuur

Versie 3.10

Colofon

Handleiding Waterwijzer Natuur

Versie 3.10

KWR 2026.033 | September 2026

Opdrachtnummers

405326 & 404300-179

Projectmanager

Edu Dorland

Auteurs

Henk Krajenbrink, Jelmer Nijp

Kwaliteitsborger

Ruud Bartholomeus

Samenwerkingspartners

Flip Witte Ecohydrologie, Wageningen Environmental Research, NMI-Agro, Hoefsloot Spatial Solutions

Financiers Waterwijzer Natuur

Collectief onderzoek drinkwaterbedrijven (Waterwijs), Stowa, Ministerie LNV, NHI, Provincie Utrecht, Provincie Noord-Brabant, Provincie Gelderland, Provincie Limburg, Planbureau voor de Leefomgeving, Stichting Climate Adaptation Services, Delta programma Zoetwater, Waterschap Vechtstromen, Waterschap Aa en Maas, KWR, WENR.

Dit rapport is openbaar

Keywords

Waterwijzer Natuur, ecohydrologie, natuur, klimaatverandering, voorspelling, modellen

Jaar van publicatie
2026

Meer informatie
Dr.ir. Henk Krajenbrink
T +31 30 606 9647
E henk.krajenbrink@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 2026 ©

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.

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond Waterwijzer Natuur	5
1.2	Doel van deze handleiding en leeswijzer	5
2	Samenvatting theorie achter WWN	7
2.1	Theorie WATERNOOD	7
2.2	Theorie PROBE	8
3	Toepassing van WWN en interpretatie resultaten	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Opmerkingen vooraf bij gebruik van WWN	18
3.3	Voorbeeldgebied: Sang en Goorkens	19
3.4	Toepassing WATERNOOD	21
3.5	Toepassing PROBE	24
4	Gebruikshandleiding	36
4.1	Benodigde invoer en opmaak	36
4.2	Startscherm	37
4.3	Tabblad ‘Project’	38
4.4	Initialisatie	39
4.5	Berekeningen uitvoeren (Run)	41
4.6	Visualisatie	46
5	Literatuurlijst	49
	Bijlagen	51
I	Overzicht ecotoopgroepen	52
II	WWN Batch processing – een (zeer) korte handleiding	54
III	Relatie tussen pH en indicatiewaarde <i>Rm</i>	56

1 Inleiding

1.1 Achtergrond Waterwijzer Natuur

Sinds de jaren negentig zijn verschillende ecohydrologische modellen ontwikkeld, die elk tot verschillende uitspraken leiden, en bovendien grotendeels gestoeld zijn op expertkennis. Rond 2015 is besloten tot de ontwikkeling van een gestandaardiseerde procedure waarmee, onderbouwd met wetenschappelijke kennis, zo objectief mogelijk ecohydrologische toetsing en effectvoorspelling kan worden uitgevoerd. Het resultaat daarvan is de Waterwijzer Natuur (WWN), waarmee kan worden bepaald wat de effecten zijn van waterbeheer, klimaatverandering en/of stikstofdepositie op terrestrische vegetatie. De tool bestaat uit twee onderdelen die zijn 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 het tweede onderdeel (PROBE) kan de kansrijkdom van vegetatietypen, of verandering daarin, worden voorspeld op basis van hydrologie en klimaat. De kansrijkdom van vegetatie wordt niet alleen bepaald door (veranderingen in) grondwaterstand, maar ook door (verandering in) neerslag- en droogtepatronen, intensiteit en kwaliteit van kwel, stikstofdepositie en bodemprocessen, die samen vocht- en voedingshuishouding, voedselrijkdom en zuurgraad beïnvloeden. Alhoewel de complexiteit van natuurlijke processen zich moeilijk laat doorgronden, wordt in PROBE gepoogd rekening te houden met interacties tussen processen. Dat betekent bijvoorbeeld dat effecten van waterbeheer ook doorwerken in zuurgraad en voedselrijkdom en zodoende de vegetatievoorspellingen beïnvloeden. Een diepere grondwaterstand leidt bijvoorbeeld tot verhoogde afbraak en daarmee verhoogde voedselrijkdom. Om deze reden worden (subjectieve) kennisregels vermeden en wordt waar mogelijk gebruik gemaakt van procesmodellen.

WWN is in verschillende fases ontwikkeld. In fase 1 is de eerste versie van het instrumentarium tot stand gekomen, inclusief de gebruiksvriendelijke schil en proces gebaseerde berekening van transpiratie- en zuurstofstress (Witte et al., 2018). In fase 2 is de berekening van de zuurgraad verbeterd (Witte et al., 2020). In fase 3 is de berekening van voedselrijkdom verder uitgebreid om rekening te houden met stikstofdepositie (Nijp et al., 2022). De theorie achter de onderdelen WATERNOOD en PROBE, die in voornoemde drie rapportages uitgebreid is beschreven, wordt samengevat in Hoofdstuk 2.

1.2 Doel van deze handleiding en leeswijzer

Gebruikers van WWN hebben regelmatig de wens geuit om meer uitleg te krijgen bij het toepassen van WWN en bij de interpretatie van de verkregen resultaten. Voorliggende handleiding fungeert als 'kenniskapstok' van WWN, waarin kennis en achtergrondinformatie over de totstandkoming van de resultaten is vastgelegd. Er wordt verwezen naar achterliggende literatuur waar dit nodig of verhelderend is. Daarnaast dient dit document om de ontwikkelhistorie van WWN en de voortschrijdende kennis van ecohydrologische voorspelling vast te leggen. Deze handleiding is zodoende een dynamisch document: bij updates van WWN of nieuwe functionaliteit zal een nieuwe versie van de handleiding worden uitgebracht.

De opbouw van de handleiding is als volgt:

- **Hoofdstuk 2** bevat een samenvatting van de theorie achter WWN, uitgesplitst in de toetsingsmodule WATERNOOD en de voorspellingsmodule PROBE;
- In **Hoofdstuk 3** worden de toepassing en interpretatie van WWN-resultaten inzichtelijk gemaakt aan de hand van het voorbeeldgebied Sang en Goorkens. Belangrijk aspect hierbij is navolgbaarheid: hoe komen de verschillende (tussen)resultaten tot stand, waar moet een gebruiker op letten bij het interpreteren van de kaarten, en wat zijn mogelijke verklaringen voor opvallende of afwijkende patronen hierin?
- **Hoofdstuk 4** bevat een bijgewerkte versie van de beknopte gebruikshandleiding met een uitleg van de verschillende instellingen en keuzes in de gebruikersschil;

- In **Bijlage II** wordt beschreven hoe op eenvoudige wijze meerdere scenario's automatisch kunnen worden doorgerekend. Hierbij wordt ook alle invoer automatisch bewerkt zodat het de juiste resolutie heeft en het modelgebied bestrijkt. Dit bespaart de gebruiker veel tijd.

De theorie, interpretatie en het daadwerkelijke gebruik van de software zijn geen op zichzelf staande onderdelen. Regelmatig zal de gebruiker bij het raadplegen van de knoppenhandleiding willen weten wat de achterliggende theorie van een bepaalde instelling is, en bij het lezen van de theorie of interpretatie is het handig om te weten hoe de beschreven keuzes in de gebruikersschil kunnen worden ingesteld. We hebben geprobeerd deze samenhang zo expliciet mogelijk te maken door op verschillende plekken te verwijzen naar relevante informatie of uitleg binnen de handleiding. De wens is om de handleiding in een volgende versie zoveel mogelijk 'interactief' te maken, waarbij de gebruiker via links direct kan doorklikken naar de juiste informatie of naar het stroomschema met het overzicht.

2 Samenvatting theorie achter WWN

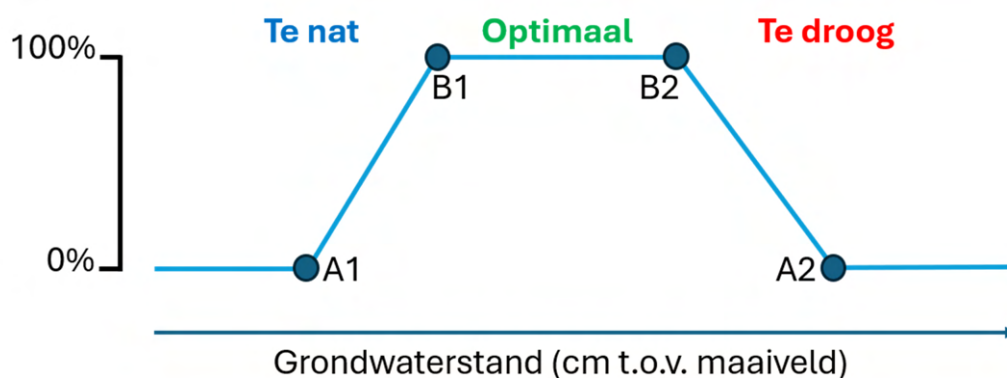
In de volgende paragrafen wordt de theorie achter de onderdelen WATERNOOD en PROBE beknopt beschreven. Veel van deze informatie is in meer detail beschreven in rapporten behorende bij de verschillende fase van ontwikkeling van WWN (Witte et al., 2018; Witte et al., 2020; Nijp et al., 2022). Voor meer achtergrondinformatie wordt de lezer doorverwezen naar deze publicaties, die beschikbaar zijn via de websites van de STOWA en KWR¹. In de tekst wordt bij specifieke onderdelen naar deze publicaties verwezen.

2.1 Theorie WATERNOOD

De module WATERNOOD, gebaseerd op de hydrologische randvoorwaarden natuur (Runhaar & Hennekens, 2015), toetst of de huidige waterhuishouding voldoet aan de vastgelegde vegetatiedoelen op basis van de volgende parameters (zie ook het kader op pagina 10):

- 1 GVG – Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (cm-maaiveld): het gemiddelde van de grondwaterstanden op 14 maart, 28 maart en 14 april over een periode van tenminste acht jaar;
- 2 GLG – Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (cm-maaiveld): het gemiddelde van de drie laagste tweewekelijkse grondwaterstanden per hydrologisch jaar over een periode van tenminste acht jaar;
- 3 DS – Droogtestress: gemiddeld aantal dagen per jaar (d) dat de zuigspanning in de bodem lager is dan -12.000 cm.

De toetsing van de doelrealisatie (uitgedrukt als percentage) van een vegetatiedoel wordt voor ieder van deze grootheden vastgesteld aan de hand van trapeziumvormige doelrealisatiefuncties met vier knikpunten (Figuur 2-1).



Figuur 2-1: Voorbeeld van een trapeziumvormige doelrealisatiefunctie met vier knikpunten voor een specifiek vegetatietype, waarvan kan worden afgelezen hoeveel procent van het natuurdoel wordt gehaald (y-as). De functies zijn afgeleid voor de grootheden GVG, GLG en droogtestress DS. Vermenigvuldiging van de afzonderlijke doelrealisaties leidt tot de totale doelrealisatie van het desbetreffende natuurdoel.

Vermenigvuldiging van de doelrealisaties voor GVG, GLG en DS resulteert in de totale doelrealisatie. Bij het berekenen van de totale doelrealisatie wordt rekening gehouden met heterogeniteit van de grootheid binnen de vegetatievlakken, bijvoorbeeld als gevolg van reliëf binnen het vegetatievlak. Meer uitleg hierover is te vinden in Witte et al. (2018). Tevens wordt per grootheid het doelgat berekend als de afstand van knikpunt B1 (te nat) of B2 (te droog) tot de werkelijke waarde van de grootheid in kwestie.

¹ <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/waterwijzer-natuur/>

Indertijd is ook een klimaatrobuuste variant van WATERNOOD ontwikkeld, genaamd WATERNOOD+. Hierin zijn de knikpunten van de doelrealisaties voor GVG en DS vervangen door respectievelijk de klimaatrobuuste maten zuurstofstress (of respiratiestress) *RS* en transpiratiestress *TS* (NB: deze maten worden ook in de module PROBE gebruikt (zie paragraaf 2.2.2)). Op deze wijze kan ook worden getoetst aan waterhuishouding onder toekomstige klimaatomstandigheden (volgens de KNMI'14 klimaatscenario's). Achtergrondinformatie over WATERNOOD+, waaronder een beschrijving hoe de bijstelling van knikpunten voor klimaatscenario's tot stand is gekomen, is te vinden in Witte et al. (2018), specifiek in Bijlage III van dat rapport. Beide varianten van WATERNOOD zijn in de WWN-gebruikersschil beschikbaar.

In PROBE kan ook een klimaatrobuuste toets van vegetatie worden uitgevoerd (zie paragraaf 2.2.6). Een belangrijk verschil met WATERNOOD+ is dat met PROBE behalve op hydrologische randvoorwaarden ook wordt getoetst op zuurgraad en voedselrijkdom, waarbij rekening gehouden wordt met effecten van klimaatverandering op de waterhuishouding en doorwerking daarvan op andere condities in de wortelzone. Daarentegen vindt het toetsen in PROBE plaats op een beperkt aantal vegetatietypen (ecotoopgroepen), wat vertaald kan worden naar andere typologieën, waaronder habitattypen (Bijlage VII in Witte et al., 2018), beheertypen (paragraaf 2.3.5 in Clevers & Nijp, 2023) of De (gereviseerde) Vegetatie van Nederland.

De knikpunten van de doelrealisatiefuncties zijn voor plantengemeenschappen (Vegetatie van Nederland (VVN95 - Schaminée et al., 1995), natuurdoeltypen en Natura 2000-habitattypen door Runhaar en Hennekens (2015) opgesteld op basis van literatuur, datasets, en bij afwezigheid of onvolledigheid van metingen, op expertkennis. Kritische GLG-waarden zijn afgeleid uit de minimaal vereiste en de maximaal toelaatbare droogtestress (DS), waarbij rekening wordt gehouden met de bodemtextuur en de meteorologische verschillen binnen Nederland. Bij een aantal vegetatietypen die zeer gevoelig zijn voor grondwaterstandsfluctuaties worden directe eisen gesteld aan de GLG op basis van empirische gegevens. Bij een actualisatie van WVN in 2022 zijn de knikpunten uitgebreid met de gereviseerde Vegetatie van Nederland (rVVN17 - Schaminée et al., 2017) en met de Staatsbosbeheer-typologie. Voor meer informatie over deze actualisatie, zie Nijp et al. (2022). Knikpunten voor plantengemeenschappen zijn afgeleid op verschillende hiërarchische niveaus van klasse tot subassociatie, inclusief voor rompgemeenschappen. Tot slot kan WATERNOOD vegetatiedoelen toetsen aan de al dan niet aanwezige kwelinvloed. Hiervoor dient de gebruiker vooral op te geven of een vegetatiedoel afhankelijk is van aanvoer van kwelwater en bij welke kwelintensiteit (mm/d) er sprake is van invloed op de vegetatie van kwel. Voor meer uitleg hierover, zie paragraaf 3.4.2 (kanttekening) en paragraaf 4.5.1 (handleiding).

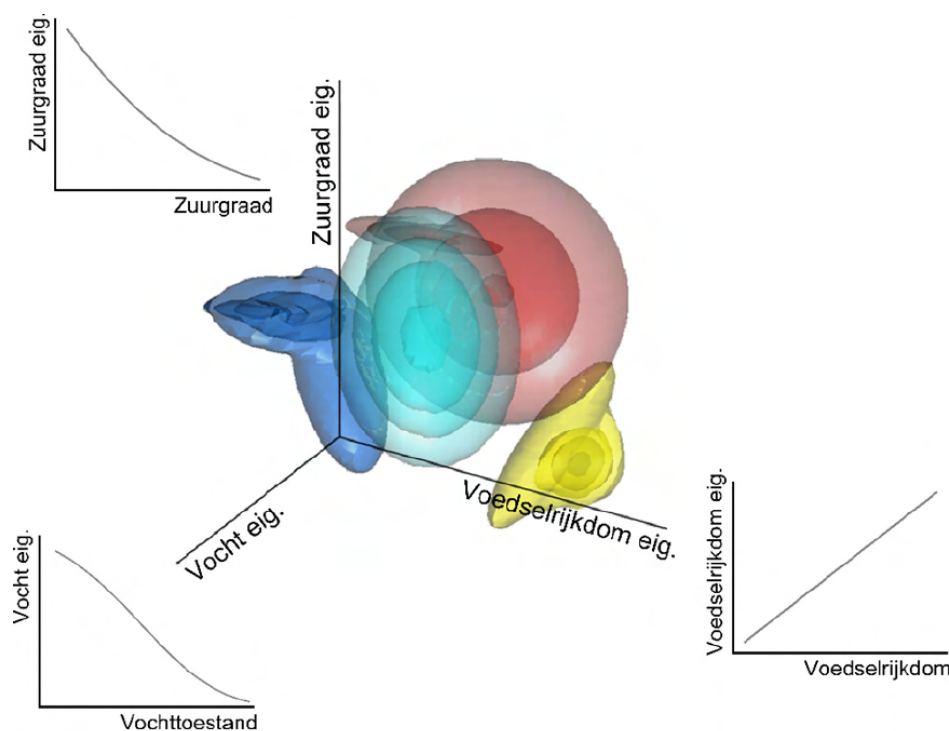
2.2 Theorie PROBE

De module PROBE (*PRObability-Based Ecological target model* - Witte et al., 2007; Witte et al., 2015) voorspelt vegetatie in afhankelijkheid van waterbeheer, klimaat, en/of stikstofdepositie. De kansrijkdom van vegetatietypen wordt voorspeld op basis van ecohydrologische processen die direct inwerken op plantengroei en competitie. De voorspelling gebeurt in drie stappen (zie ook Figuur 2-2 voor een grafische weergave):

- 1 Op basis van klimaat, waterbeheer, bodemtype en de uitkomsten van een grondwatermodel wordt bepaald hoe de standplaats van vegetatie verandert in termen van vocht, voedselrijkdom en zuurgraad. Bij het afleiden van deze zogenoemde standplaatsfactoren wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van actuele kennis over ecohydrologische processen in de wortelzone en gegevens over bodem en vegetatie. Deze worden gecombineerd in modellen waarin complexe interacties in het bodem-water-vegetatiesysteem worden gesimuleerd. Hierbij wordt tevens het effect van klimaatverandering op standplaatsfactoren expliciet meegenomen. Op deze manier ontstaat een gestandaardiseerd en objectief instrument dat generiek toegepast kan worden zonder subjectief expertoordeel. Expertoordeel in de vorm van kennisregels wordt zo veel mogelijk vermeden. De berekening van standplaatsfactoren wordt nader toegelicht in paragraaf 2.2.1;
- 2 Veranderingen in standplaatsfactoren worden omgezet in planteigenschappen voor de aanpassing aan specifieke standplaatsfactoren, in termen van indicatiewaarden van de vegetatie voor vochttoestand, zuurgraad

en voedselrijkdom. De berekening van indicatiewaarden uit standplaatsfactoren wordt kort beschreven in paragraaf 2.2.2;

- 3 De voorspelde indicatiewaarden worden gebruikt om de kansrijkdom van vegetatietypen te berekenen (zie paragraaf 2.2.3).



Figuur 2-2: Grafische weergave van de globale werking van de vegetatiemodule PROBE. In dit voorbeeld worden drie standplaatsfactoren – voor Vochttoestand, Voedselrijkdom en Zuurgraad – gebruikt om drie daarmee verband houdende planteigenschappen (eig.) af te leiden. Dat gebeurt aan de hand van empirisch bepaalde relaties: de drie grafieken in de figuur. Vervolgens wordt op basis van de planteigenschappen de kansrijkdom van vegetatietypen berekend. Dat gebeurt met dichtheidsfuncties (gekleurde vlakken) die zijn afgeleid uit een groot bestand met vegetatieopnamen.

2.2.1 Standplaatsfactoren en metarelaties

In WWN wordt de kansrijkdom van vegetatietypen afgeleid op basis van standplaatsfactoren voor vochttoestand, zuurgraad en voedselrijkdom in de wortelzone. Deze factoren worden zoveel mogelijk met ecohydrologische procesmodellen afgeleid. Buiten WWN om zijn duizenden simulaties met procesmodellen gedraaid voor verschillende combinaties van grootheden die de standplaatsfactoren beïnvloeden. Uit de resultaten van al deze simulaties zijn statistische verbanden tussen deze grootheden en standplaatsfactoren afgeleid, zogeheten metarelaties. De metarelaties worden binnen WWN gebruikt om (veranderingen in) standplaatsfactoren af te leiden uit de door de gebruiker aangeleverde hydrologische invoer (uitkomsten van een hydrologisch model). Het gebruik van vooraf afgeleide metarelaties heeft als groot voordeel dat de relatie tussen hydrologische grootheden en standplaatsfactoren niet bij iedere WWN-simulatie hoeft te worden berekend, wat de rekentijd van WWN zelf aanmerkelijk versnelt.

Vochttoestand

De vochttoestand in de wortelzone wordt beschreven met transpiratiestress (TS – ‘te droog’) en zuurstofstress (Respiratiestress; RS – ‘te nat’). In tegenstelling tot de grondwaterstand, die slechts indirect het vochtregime in de wortelzone beschrijft, wordt met transpiratie- en respiratiestress rekening gehouden met effecten van bodemeigenschappen en klimaat op de waterbeschikbaarheid in de wortelzone. Bij eenzelfde grondwaterstand houdt een bodem met kleiige toplaag meer water vast dan een zandige bodem, en bij frequentere maar kleine

regenbuien zal de bodem natter zijn dan als alle neerslag in één stevige bui valt. Dergelijke effecten worden niet beschreven door alleen de grondwaterstand. *RS* en *TS* zijn bepaald voor een referentiegewas (gesloten grasmat). Door aanpassingen van planten aan hun omgeving, zullen deze in werkelijkheid verschillen. Zo beschikken planten van natte standplaatsen (riet) over aerenchyma (celweefsel met luchtkanalen) om zuurstof naar de wortels te transporteren en zo respiratiestress te verminderen, terwijl planten van droge standplaatsen (struikheide) een waslaag hebben om waterverlies te beperken. Het gebruik van een referentiegewas maakt het mogelijk om *RS* en *TS* te interpreteren als standplaatsconditie, waaraan de werkelijke vegetatie is aangepast. Verschillen in stress tussen locaties worden dan namelijk veroorzaakt door verschillen in bodem- en klimaatomstandigheden.

Metarelaties om *TS* en *RS* te bepalen uit de uitkomsten van een grondwatermodel (in termen van GxGs – zie kader op pagina 10) zijn afgeleid uit duizenden simulaties van 30 jaar met het procesmodel SWAP (Heinen et al., 2024). Daarbij zijn hypothetische situaties doorgerekend waarbij is gevarieerd in kwelflux, slootafstanden, slootdiepte, oppervlaktewaterpeil, weerstand en maximale plasdiepte (Bartholomeus & Witte, 2013). Op basis van die simulaties is per combinatie van bodemfysische eenheid, klimaatscenario en -district een relatie gelegd tussen GLG, GHG, Gemiddelde grondwaterstand (GG), kwelflux als onafhankelijke variabelen en *RS* en *TS* als afhankelijke variabelen. Deze relaties tussen gedetailleerde standplaatscondities (*RS* en *TS*) en vereenvoudigde maar beter beschikbare informatie (uitvoer grondwatermodel) noemen we metarelaties.



Definitie Grondwaterdynamiek (GxG)

Langjarige gegevens van grondwaterstanden worden veelal uitgedrukt in grondwaterdynamiek². Hieronder vallen de volgende parameters:

- Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG): gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) bij een meetfrequentie van tweemaal per maand (rond de 14^e en 28^e van een maand);
- Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG): gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden in een hydrologische jaar bij een meetfrequentie van tweemaal per maand rond de genoemde datums;
- Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG): gemiddelde van de grondwaterstanden op 14 maart, 28 maart en 14 april in een bepaald kalenderjaar;

De GHG, GVG en GLG worden tezamen vaak aangeduid als GxG. De parameters worden idealiter berekend over een periode van 30 jaar onder gegeven klimatologische en waterhuishoudkundige omstandigheden (Bartholomeus et al., 2008a; Ritzema et al., 2018). Voor het afleiden van metarelaties met procesmodellen is een rekenperiode van 30 jaar gehanteerd. Geregeld wordt echter een kortere periode van minimaal acht jaar gehanteerd. In een verkennende studie is het effect van simulatieperiode op de voorspelde GVG bepaald (Nijp et al., 2023). Hieruit blijkt dat het verschil tussen GVG-waarden berekend over de minimale periode van acht jaar en over 30 jaar kan oplopen tot circa 20 cm.

Zuurgraad

Met name in kwelsituaties is de aanvoer van grondwater van doorslaggevend belang voor zowel de vochtvoorziening als het op peil houden van de basenverzadiging aan het adsorptiecomplex. Daarom wordt in PROBE rekening gehouden met zowel de hoeveelheid kwel (jaargemiddelde kwelflux, in mm/d) als de kwaliteit ervan. De standplaatsfactor voor zuurgraad is de bodem-pH in de wortelzone. Metarelaties hiervoor zijn afgeleid uit de GLG, kwelintensiteit, kwelkwaliteit, begroeiingstype, klimaatscenario en -klimaatdistrict, en een scenario voor depositie van verzurende stoffen (Witte et al., 2020). De GLG en kwelintensiteit zijn vertaald naar 'ecologisch relevante kwel', dat wil zeggen toestromend grondwater naar de wortelzone (tot 20 cm beneden maaiveld) dat effect heeft op standplaatsfactoren en vegetatiesamenstelling. Informatie over de flux naar de wortelzone is

² <https://www.wur.nl/nl/onderzoek/producten-diensten/grondwaterdynamiek>

afgeleid uit de SWAP-berekeningen die ook zijn gebruikt voor het afleiden van de standplaatsfactoren voor vochttoestand (zie hierboven). De kwelkwaliteit, met andere woorden de kwaliteit van ondiep grondwater, is afkomstig van een landelijke kwaliteitskaart, gebaseerd op vele meetgegevens van ondiep grondwater (Nijp et al., 2019). De flux naar de wortelzone en de stofconcentraties zijn vervolgens gebruikt als invoer voor het bodemchemische procesmodel VSD+ (Bonten et al., 2016), waarmee de zuurgraad gesimuleerd wordt. In dit model worden bodemchemische processen zoals kationuitwisseling, mineralisatie en effecten van stikstofdepositie op de zuurgraad in de wortelzone procesmatig gesimuleerd.

Voedselrijkdom

Voedselrijkdom, ook wel gedefinieerd als de nutriëntenbeschikbaarheid tijdens het groeiseizoen en algemener te interpreteren als nutriëntenaanvoer, laat zich lastig beschrijven door generieke eenvoudig meetbare parameters (Schaffers & Šýkora, 2000). De standplaatsfactoren voor voedselrijkdom zijn stikstofmineralisatie (N_{min} ; kg N/ha/jaar) en fosformineralisatie (P_{min} ; kg P/ha/jaar). Deze grootheden worden beïnvloed door beschikbaarheid van vocht en nutriënten (C/N- en C/P-ratio's), die per bodemfysische eenheid geparametriseerd is. De voedselrijkdom betreft dus niet de potentiële nutriëntenvoorraad, maar het deel dat vrijkomt door mineralisatie.

In tegenstelling tot bij vochttoestand en zuurgraad, wordt voor het berekenen van de standplaatsfactoren van voedselrijkdom in de uitgangstoestand momenteel nog wel gebruik gemaakt van expertoordeel in de vorm van kennisregels uit de kansrijkdommodule van WATERNOOD (zie de Haan et al. (2010) voor meer informatie). Bij scenarioberekeningen wordt voor de berekening van veranderingen in voedselrijkdom wel gebruik gemaakt van metarelaties. Hiertoe is het procesmodel SWAP-Century toegepast (Fujita et al., 2013). Voedselrijkdom wordt dus beschreven met N_{min} en P_{min} , die geschat worden uit RS , TS , bodemfysische eenheid, klimaatscenario en klimaatdistrict.

2.2.2 Indicatiewaarden

De klimaatrobuuste standplaatsfactoren (paragraaf 2.2.1) die in de simulaties met procesmodellen zijn afgeleid, worden vertaald naar indicatiewaarden met empirische relaties. De reden hiervoor is dat onvoldoende metingen beschikbaar zijn van bodemvochtregiem, zuurgraad en voedselrijkdom (mineralisatie van stikstof en fosfor) voor alle plantengemeenschappen van Nederland om deze te gebruiken in voorspellingen. Bovendien zijn zuurstofstress en transpiratiestress niet direct meetbare eenheden, maar kunnen ze worden afgeleid uit modelsimulaties. Daarentegen zijn voor alle plantensoorten en plantengemeenschappen wél indicatiewaarden beschikbaar. De empirische relaties tussen standplaatsfactoren en indicatiewaarden zijn buiten WWN bepaald en worden hieronder besproken. De indicatiewaarden zijn vergelijkbaar met Ellenberg-indicatiewaarden, maar zijn aangepast aan het klimaat en de omstandigheden in Nederland.

Vochttoestand

De indicatiewaarde voor vocht (F_m - Witte et al., 2018) is bepaald met een empirische functie van de klimaatrobuuste standplaatsfactoren transpiratiestress (TS) en zuurstofstress (RS). Voor 185 locaties zijn aan de hand van langdurige grondwaterstandmetingen simulaties met het procesmodel SWAP uitgevoerd met bodemprofielen van de betreffende locaties, waaruit TS en RS zijn berekend (Bartholomeus et al., 2011). Voor deze locaties was het waterbeheer ongewijzigd gedurende lange tijd, zodat kan worden aangenomen dat vegetatiesamenstelling in evenwicht was met het hydrologische regiem. Uit de vegetatie is voor elke locatie vervolgens de indicatiewaarde F_m afgeleid. De afgeleide statistische relatie tussen RS , TS en F_m is sterk, wat aangeeft dat de simulaties in staat zijn om zowel het bodemvochtregiem als de relatie ervan met vegetatie-eigenschappen voor vochthuishouding goed te beschrijven.

Zuurgraad

De berekende zuurgraad wordt omgezet in de indicatiewaarde voor zuurgraad (R_m) aan de hand van een empirische relatie (Cirkel et al., 2014; zie ook Bijlage III). Deze empirische relatie is gebaseerd op een landelijke dataset van 91 meetlocaties in graslanden verspreid door heel Nederland onder sterk variërende condities (nat-

droog, zuur-basisch). Op deze locaties is de pH_{KCl} gemeten van de bovenste 0-5 cm en gerelateerd aan uit vegetatieopnamen afgeleide indicatiewaarde voor zuurgraad R_m (zonder weging van bedekking).

Voedselrijkdom

In PROBE is de indicatiewaarde voor voedselrijkdom (N_m) een empirische functie van stikstofmineralisatie (N_{min}) en fosformineralisatie (P_{min}) (Nijp et al., 2022). Vervolgens wordt hier de verrijking van N door stikstofdepositie bij opgeteld (kg N/ha/jr). Alhoewel bekend is dat kwelwater een grotere aanvoer van nutriënten kan veroorzaken dan stikstofdepositie (Aggenbach et al., 2020), wordt deze bron van voedingsstoffen momenteel (nog) niet meegenomen bij de bepaling van de voedselrijkdom in WWN.

In tegenstelling tot bij vochttoestand en zuurgraad, is de empirische relatie tussen gemeten stikstof- en fosformineralisatie en de uit vegetatiesamenstelling afgeleide indicatiewaarde N_m niet heel sterk (Nijp et al., 2022). Daarom wordt voor de voedselrijkdom in grotere mate gebruik gemaakt van kennisregels dan bij de andere standplaatsfactoren. De uitgangstoestand van voedselrijkdom in het huidige klimaat wordt eerst in een beperkt aantal voedselrijkdomklassen ingedeeld. Dit wordt gedaan aan de hand van de kennisregels uit de kansrijkdommodule van WATERNOOD op basis van bodemtype, grondwaterstand (GLG-klasse), zuurgraadklasse, en beheer (de Haan et al. (2010)). Op zijn beurt zijn deze kennisregels afkomstig uit het Natuurgericht Landevaluatiesysteem (NATLES-2), dat in 2003 is ontwikkeld (Runhaar et al., 2003, pagina 106-116). Vervolgens worden de voedselrijkdomklassen omgezet in de Runhaar-indicatiewaarde voor voedselrijkdom (N_m) van de vegetatie in de referentiesituatie (huidige klimaat en huidige hydrologie op basis van een conversietabel (van Ek et al., 2014)). In paragraaf 2.2.5 is aanvullende informatie opgenomen betreffende voedselrijkdom in WWN. Het streven is om deze kennisregels op termijn te vervangen met een procesmatig model.

2.2.3 Kansrijkdom

Er zijn verschillende classificaties beschikbaar om vegetatietypen in uit te drukken. Binnen PROBE wordt voor het voorspellen van de kansrijkdom (stap 3 in Figuur 2-2) gebruik gemaakt van de indeling in 33 ecotoopgroepen (Runhaar et al., 2004), een systematiek waarbij plantensoorten zijn ingedeeld in soortengroepen op basis van een gemeenschappelijke standplaatsvoorkeur. Hier is voor gekozen omdat (1) ecotoopgroepen goed aansluiten bij abiotische omstandigheden en (2) het aantal ecotoopgroepen acceptabel is voor het slechts beperkte aantal verklarende variabelen (Witte et al., 2018). Een lijst met alle ecotoopgroepen is opgenomen in Bijlage I van de handleiding. Een vertaling van plantensociologische associaties naar ecotoopgroepen is te vinden in Bijlage VI van Witte et al. (2018).

Ecotoopgroepen zijn onder te verdelen op basis van vegetatiestructuur: korte vegetatie, houtige vegetatie en aquatische vegetatie. De kansrijkdom van ecotoopgroepen wordt standaard per vegetatiestructuur berekend, waarbij de vegetatiestructuur wordt afgeleid uit de landgebruikskaart (LGN). Het uitgangspunt hierbij is dat korte vegetatie niet verandert in houtige vegetatie of andersom. Dit betekent ook dat op een bepaalde locatie niet van alle ecotoopgroepen de kansrijkdom wordt berekend. De gebruiker heeft wel de mogelijkheid WWN mee te geven enkel houtige of korte vegetatie door te rekenen, ook op plekken waar de huidige vegetatie anders is. Via deze opgelegde vegetatiestructuur kan maai- of kapbeheer worden gesimuleerd.

Voorafgaand aan het berekenen van de kansrijkdom van ecotoopgroepen wordt in PROBE eerst per rekencel bepaald of er korte of houtige vegetatie voorkomt (zie ook paragraaf 3.5.3). Dit wordt gebaseerd op de landgebruikskaart (LGN6). Vervolgens wordt de kansrijkdom van alle ecotoopgroepen per rekencel berekend op basis van de berekende relatie (Figuur 2-2) voor elke ecotoopgroep tussen kansrijkdom en indicatiewaarden voor vocht, voedselrijkdom, en zuurgraad (Witte et al., 2007). Dit resulteert in vlakdekkende kaarten van de kansrijkdom per ecotoopgroep. De som van de kansrijkdom van alle ecotoopgroepen tezamen is altijd 100%. Merk op dat deze werkwijze betekent dat in een rekencel waar volgens de landgebruikskaart houtige vegetatie voorkomt, de kansrijkdom van korte vegetatie altijd 0 is, en vice versa.

Met een vertaaltabel kan de kansrijkdom van ecotoopgroepen eveneens worden vertaald naar de kansrijkdom van beheertypen of van habitattypen. De systematiek van Natuurtypen, onderverdeeld in diverse Beheertypen, is afkomstig uit de Index Natuur en Landschap en wordt gebruikt als instrument voor sturing en subsidieverlening op

landelijk en regionaal niveau³. De beheertypen zijn grotendeels gebaseerd op abiotische randvoorwaarden, maar kennen soms een grote bandbreedte aan standplaatsfactoren binnen een type. Habitattypen zijn een Europese indeling van ecosystemen op het land of in het water met kenmerkende geografische, abiotische en biotische kenmerken⁴. Ze worden gehanteerd binnen de Europese Habitatrichtlijn en hebben daarmee een Europese juridische status voor Natura 2000-gebieden. Door de koppeling van ecotoopgroepen aan beheertypen (paragraaf 2.3.5 in Clevers & Nijp, 2023) of habitattypen (Bijlage VII in Witte et al., 2018) kunnen de resultaten uit PROBE ook worden gebruikt voor het toetsen van natuurdoelen.

2.2.4 Natuurwaarde

Aan alle ecotoopgroepen is op basis van onderzoek een natuurwaarde toegekend (Witte et al., 2018). De kaarten van kansrijkdom per ecotoopgroep worden geaggregeerd tot één samengestelde vlakdekkende kaart met per rekencel de natuurwaarde die de ecotoopgroepen tezamen vertegenwoordigen. Deze gewogen natuurwaarde (NW) wordt berekend door te wegen naar de kansrijkdom (P) per ecotoopgroep i :

$$NW_{pixel} = \sum_{i=1}^n P_i NW_i$$

Binnen WWN kan de natuurwaarde worden berekend met behulp van drie verschillende waarderingssystemen:

- 1 Het aantal Rode-Lijstsoorten (van der Meijden et al., 2000);
- 1 De methode-DEMNET (Runhaar et al., 1996; Witte, 1998);
- 2 De methode-Gelderland (Hertog & Rijken, 1992).

De **Rode Lijst** bevat soorten die zeldzaam zijn en een negatieve trend vertonen. Hoe zeldzamer een soort en hoe negatiever de vertoende trend, des te hoger de categorie waarin deze soort op de Rode Lijst terechtkomt. Het aantal Rode-Lijstsoorten dat in een natuurgebied voorkomt, wordt vaak gebruikt om aan te geven hoe waardevol het gebied is. De natuurwaarde wordt vervolgens berekend op basis van de hoeveelheid Rode-Lijstsoorten die gemiddeld in een ecotoopgroep voorkomen.

De **methode-DEMNET** is mede gebaseerd op de relatieve soortenrijkdom van en diversiteit aan ecosysteemttypen. Voor elk ecosysteemtype in een kilometerhok wordt de natuurwaarde vermenigvuldigd met de relatieve soortenrijkdom, om deze vervolgens per kilometerhok te sommeren. Soorten zijn toegekend aan ecosysteemttypen met behulp van weegfactoren. De natuurwaarde wordt berekend aan de hand van nationale en internationale zeldzaamheid van het ecosysteemtype (Witte & Strasser, 2010). Met ecosysteemttypen worden in feite de ecotoopgroepen bedoeld volgens het ecotopensysteem (Runhaar et al., 2004).

In de **methode-Gelderland** wordt de natuurwaarde V afgeleid uit een sommatie van het product van de abundantie a en de waardering g van alle soorten N in een opname:

$$V = \frac{\log 20}{\log \max(5, N)} \sum_{i=1, N} \left(\frac{7 + a_i}{8} \right) g_i$$

De abundantie a van een soort is afgeleid uit de landelijke database van vegetatieopnamen waarop ook het ecotopensysteem (Runhaar et al., 2004) is gebaseerd en wordt uitgedrukt op een schaal van 1 tot 9. De waarde van de soorten g is door Hertog en Rijken (1992) eenmalig afgeleid aan de hand van zes criteria: nationale zeldzaamheid, internationale zeldzaamheid, tendens, kwetsbaarheid in Gelderland, indigeniteit (mate van inheems zijn) en type vegetatie waarvoor de soort kenmerkend is. De termen vóór het sommatieteken en tussen grote haken zijn correctiefactoren voor respectievelijk de soortenrijkdom en de abundantie van de soorten in de opname.

De schalen van de drie natuurwaarderingssystemen verschillen onderling zeer sterk en zijn bovendien scheef verdeeld. Zodoende zijn de oorspronkelijke waarden getransformeerd naar een schaal van 0-100% voor de uiteindelijke berekening van de natuurwaarde binnen WWN (Witte et al., 2018), waarbij hogere waarden een

³ <https://www.bij12.nl/onderwerp/natuursubsidies/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>

⁴ <https://www.natura2000.nl/beschermde-natuur/habitattypen>

hogere natuurwaarde voorstellen. De verschillende methoden kunnen daardoor onderling worden vergeleken en met eenzelfde legenda worden weergegeven.

2.2.5 Scenarioberekeningen

In PROBE kunnen zowel referentieberekeningen als scenarioberekeningen worden uitgevoerd, met respectievelijk het huidige klimaat en KNMI-klimaatscenario's en eventuele verandering in stikstofdepositie. Om een scenario te kunnen doorrekenen, moet eerst een referentieberekening worden uitgevoerd. Vervolgens kunnen referentie en scenario met elkaar worden vergeleken. Het uitgangspunt van PROBE is om de standplaatsfactoren en eventuele wijzigingen hierin zoveel mogelijk op procesberekeningen te baseren. Vocht en zuurtoestand (pH) zijn volledig procesmatig voor zowel het huidige klimaat als voor de klimaatscenario's Voedselrijkdom is deels gebaseerd op kennisregels: de referentiesituatie wordt nog met kennisregels bepaald (de Haan et al., 2010). De reden hiervoor is dat voedselrijkdom met onvoldoende nauwkeurigheid berekend kan worden met enkel procesmodellen. Bovendien laat het concept 'voedselrijkdom' zich lastig vangen in één enkele variabele (zie paragraaf 2.2.2). De verandering in voedselrijkdom als gevolg van waterbeheer, klimaat en stikstofdepositie wordt wél op basis van procesmodellen gedaan. Voor een scenario wordt de voedselrijkdom dus als volgt berekend: $N_{REF,K} + \Delta N_{mod}$, waarbij ΔN_{mod} het verschil is in de gemodelleerde voedselrijkdom tussen de referentie en het scenario ($N_{REF,MOD} - N_{SCE,MOD}$).

2.2.6 Klimaatrobuust toetsen

PROBE kan ook worden gebruikt voor het toetsen van natuurdoelen. Het verschil met de module WATERNOOD (paragraaf 2.1; WATERNOOD is niet geschikt voor klimaatprojecties) is dat hierbij ook rekening wordt gehouden met veranderingen in de bodem als gevolg van veranderingen in hydrologie en klimaat, en hiermee zuurgraad en voedselrijkdom. In die zin is deze toets in PROBE de 'klimaatrobuuste' versie van WATERNOOD. Aan de hand van de aangeleverde kaart met natuurdoelen (beheertypen of habitattypen), die via een achterliggende tabel zijn gekoppeld aan ecotoopgroepen, wordt een vlakdekkende kaart met doelrealisatie vervaardigd. PROBE toetst niet enkel aan realisatie van het opgelegde natuurdoel, maar op basis van voorspelde kansrijkdom van alle (houtige of korte) ecotoopgroepen.

3 Toepassing van WWN en interpretatie resultaten

3.1 Inleiding

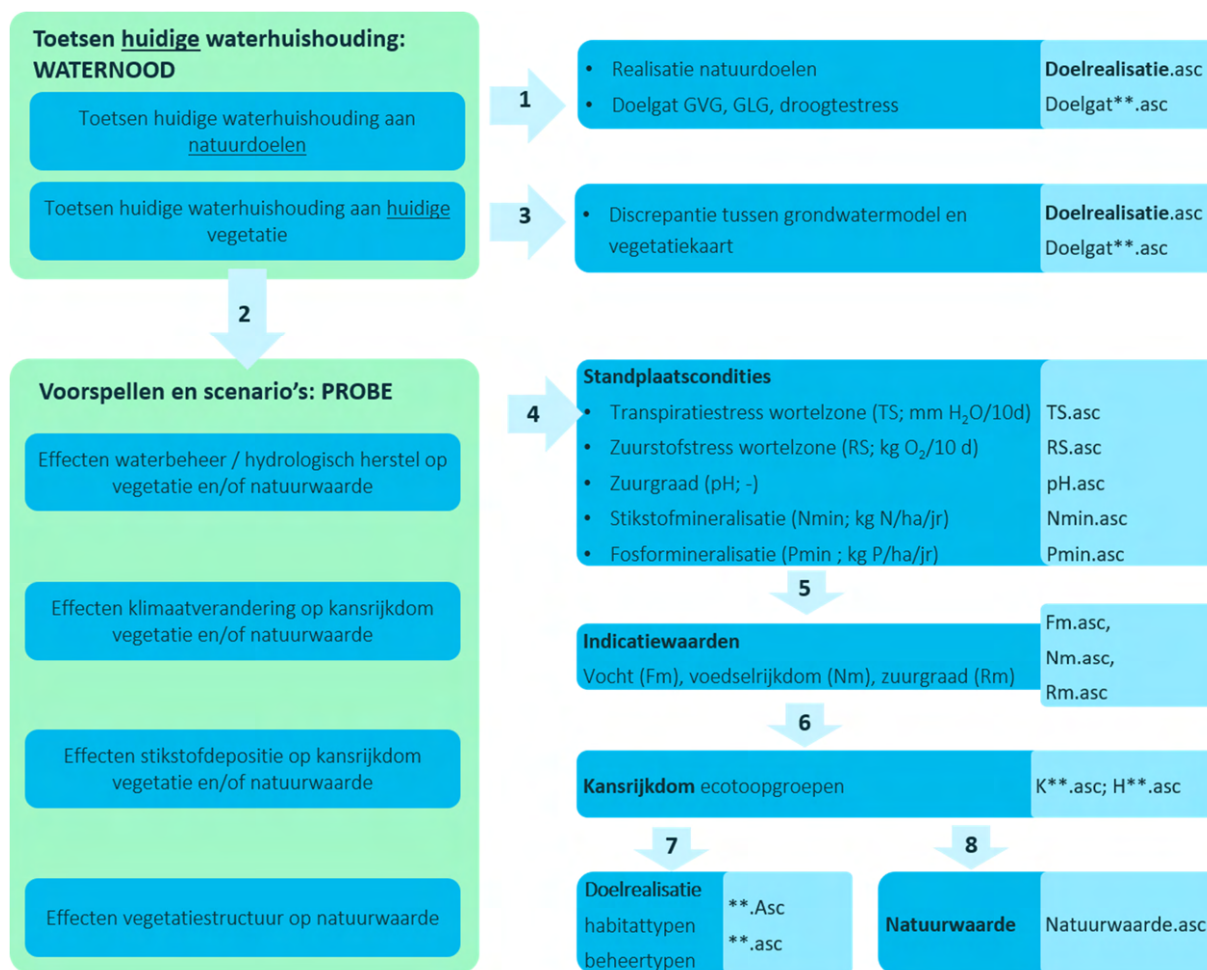
WWN is niet enkel een instrument om bijvoorbeeld effecten van hydrologie of klimaatverandering op vegetatie te bepalen. De waarde van het instrument zit ook in het verkrijgen van inzicht in onder andere:

- Het functioneren van het beschouwde gebied;
- De doorwerking van ingrepen via standplaatsfactoren op vegetatietypen en natuurwaarde;
- De betrouwbaarheid van het gebruikte grondwatermodel en/of de vegetatiekaart.

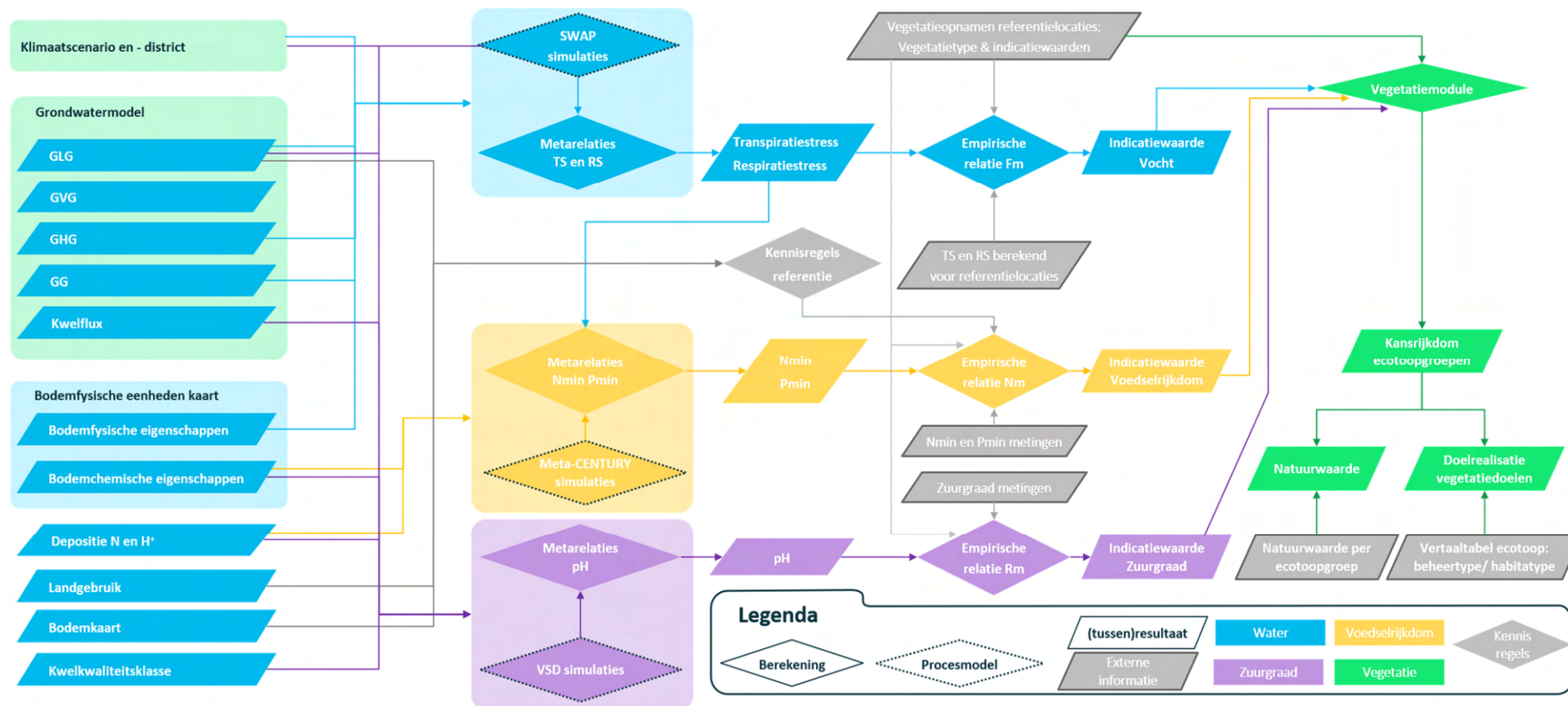
In dit hoofdstuk beschrijven we hoe de resultaten van WWN kunnen worden geïnterpreteerd. De herleidbaarheid en totstandkoming van resultaten, het doorgronden en kritisch beoordelen hiervan, en welke informatie hiervoor nodig is, staan daarbij centraal. Daar waar het extra inzicht geeft, illustreren we deze aanpak met voorbeelden. We doorlopen de modules WATERNOOD en PROBE aan de hand van het voorbeeldgebied Sang en Goorkens (zie paragraaf 3.3 voor korte beschrijving). De nadruk daarbij ligt op het voorspellen van de kans op het voorkomen van vegetatietypen met PROBE. In het stroomschema in Figuur 3-1 is weergegeven welke instrumenten kunnen worden ingezet voor verschillende doelen/vraagstukken. Daarnaast is op hoofdlijnen schematisch weergegeven welke uitvoer daarbij hoort.

Om de resultaten van PROBE te interpreteren is daarnaast een gedetailleerd stroomschema specifiek voor PROBE opgenomen (Figuur 3-2). Dit schema is bedoeld om te herleiden op basis van welke informatie (tussen)resultaten tot stand gekomen zijn en op welke onderdelen de gebruiker invloed heeft. Het schema wordt nader toegelicht in de volgende paragrafen. Waar nodig wordt verwezen naar achterliggende literatuur.

Het stapsgewijs doorlopen van het modelproces en het gericht bestuderen van de uitvoer van de verschillende stappen helpt de gebruiker bij de interpretatie van de resultaten, het toetsen van hypothesen en verwachtingen, en het verkrijgen van systeembegrip.



Figuur 3-1. Stroomdiagram van de processen en informatie bij het toepassen van Waterwijzer Natuur vanuit verschillende doelstellingen/ vragen (groen) en bijbehorende uitvoer van WWN (blauw) op hoofdlijnen. In de tekst wordt naar de verschillende genummerde pijlen verwezen.



Figuur 3-2. Van basisinformatie (links) naar voorspelling van standplaatscondities (midden) en vegetatie met PROBE (rechts): navolgbaarheid en samenhang tussen in- en uitvoer in de Waterwijzer Natuur. Aan de hand van de pijlen is per (tussen)resultaat te herleiden op basis van welke informatiebronnen deze tot stand gekomen zijn. Alle tussenresultaten zijn te vinden als uitvoer (kaarten) in de Waterwijzer Natuur (map 'output'). In de linkerkolom staat de ruimtelijke informatie. Elke standplaatsfactor heeft een eigen kleur. NB: voor voedselrijkdom wordt voor de referentie nog uitgegaan van kennisregels (de Haan et al., 2010) zoals uitgelegd in paragraaf 2.2 en 3.5. De WWN-gebruiker hoeft alleen de invoer in de lichtgroene vlakken linksboven aan te leveren. De rest wordt automatisch op de achtergrond verwerkt.

3.2 Opmerkingen vooraf bij gebruik van WWN

Voor zowel het toetsen met WATERNOOD als het voorspellen met PROBE gelden een aantal aandachtspunten die de gebruiker in gedachten moet houden bij het gebruik. Deze worden in deze sectie besproken.

3.2.1 Geen interpretatie op pixelniveau

WWN is geschikt om op gebiedsschaal te onderzoeken wat de effecten zijn van waterbeheer, klimaatverandering en/of stikstofdepositie op terrestrische vegetatie. Daarbij moet de aandacht uitgaan naar ruimtelijke patronen in (veranderingen in) doelgat, voorspelde vegetatietypen, etc. De ruimtelijke invoer (bodemkaart, landgebruik, kwelkwaliteit) is niet op voldoende detailniveau beschikbaar om op het niveau van één rekencel uitspraken te doen over ecohydrologische effecten voor pixelniveau, en kan bovendien op onderdelen verouderd zijn. Desgewenst kunnen de invoerkaarten in overleg met de WWN Helpdesk⁵ wel worden aangepast, bijvoorbeeld met nieuwere informatie. Niettemin blijft ons advies aan de gebruiker om de interpretatie van resultaten niet op pixelniveau te doen.

3.2.2 Een 'goed' grondwatermodel als vereiste

Zowel WATERNOOD als PROBE heeft resultaten uit een grondwatermodel nodig als hydrologische invoer. Voor een accurate en betrouwbare ecohydrologische toetsing en voorspelling is het gebruik van een betrouwbaar grondwatermodel essentieel. Indien de hydrologische invoer onnauwkeurig is, kunnen ook geen betrouwbare toetsing en voorspellingen worden gedaan ('*garbage in = garbage out*'). Waar 'goede' hydrologische invoer precies aan moet voldoen, is niet eenvoudig te beschrijven, maar men moet hierbij denken aan resultaten uit een gevalideerd grondwatermodel met een voldoende hoog detailniveau voor het beoogde doel. Voor lokale studies in een klein natuurgebied, waar lokale ondiepe storende laag zeer bepalen welke vegetatie voorkomt, is een hoger niveau vereist dan in studies op regionale schaal. Het is aan te raden om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de resolutie van WWN (25x25 m).

Tevens moet men beseffen dat ook een betrouwbaar, gevalideerd grondwatermodel niet alle hydrologische processen goed kan simuleren. We noemen hier een aantal bronnen van onzekerheid en onnauwkeurigheid:

- Wees waakzaam in gebieden waar schijnspiegels, oppervlakkige afvoer en plasvorming voorkomen. Indien in een gebied schijnspiegels voorkomen die niet goed zijn gemodelleerd, kan het gebeuren dat WWN aanzienlijk drogere vegetatie voorspelt dan er in werkelijkheid aanwezig is. Overigens zijn er op dit gebied wel volop ontwikkelingen gaande, bijvoorbeeld op het gebied van rekenen met schijnspiegels in MODFLOW 6;
- In grondwatermodellen wordt doorgaans een uniforme (freatische) bergingscoëfficiënt aangenomen, terwijl deze in werkelijkheid varieert, vooral in natte natuurgebieden;
- De peilbuizen waar een grondwatermodel op wordt gekalibreerd, staan vanwege de bereikbaarheid vaak niet in de natste delen van natuurgebieden. Dit zijn echter juist de habitats waar het bij een toetsing van natuurdoelen over gaat;
- Parametrisatie van de ondergrond: vaak is er onzekerheid over de precieze ligging en grootte van weerstandslagen, of treedt ruimtelijke middeling op van de doorlatendheid;
- Niet de juiste hydrologische processen zijn gesimuleerd (bijvoorbeeld geen simulatie van water op maaiveld);
- Niet alleen de resolutie van het grondwatermodel is van belang, maar (vooral) de resolutie en het detail waarop de ondergrond in kaart is gebracht. Als het detailniveau van deze informatie veel lager is dan die van het grondwatermodel, kunnen bepaalde hydrologische processen alsnog worden uitgemiddeld;
- Oppervlaktewater: in kleinschalige studies is de ligging en onderliggende verbinding van watergangen, peilen, bodemweerstand en bodemdiepte (mate van insnijding) van belang voor het bepalen van de hydrologische situatie. Deze informatie is lang niet altijd voorhanden.

⁵ helpdesk_wwn@kwrwater.nl

3.2.3 Simulatieperiode voor berekening grondwaterdynamiek

Een aandachtspunt bij het toepassen van WWN is dat gebruik wordt gemaakt van parameters voor grondwaterdynamiek (GLG, GHG en GVG – zie ook het kader op pagina 10). Volgens definitie, en ten behoeve van harmonisatie van datasets, worden deze parameters berekend over een klimaatperiode van 30 jaar (Bartholomeus et al., 2008b; Ritzema et al., 2012; Nijp et al., 2023). Strikt genomen wordt voor de referentiesituatie uitgegaan van een klimaat zoals dat in 1981-2010 heerste. In de praktijk wordt vaak gewerkt met de schaarse uitvoer van grondwatermodellen die beschikbaar zijn en wordt van deze periode afgeweken, bijvoorbeeld minimaal acht jaar. In een verkennende studie is het effect van simulatieperiode op de voorspelde GVG bepaald (Nijp et al., 2023). Hieruit blijkt dat zelfs als wordt vastgehouden aan een minimale periode van acht jaar, dit tot een belangrijke afwijking van ca 20 cm ten opzichte van een 30-jarige periode kan leiden. Voor grondwateronafhankelijke natuur in delen van de droge zandgronden is dat van weinig betekenis, maar voor natte natuurtypen is dit verschil doorslaggevend in het al dan niet kunnen gedijen (Nijp et al., 2023). Bij het starten van projecten is het dus wenselijk de 30-jarige periode te gebruiken en die te laten overeenkomen met de referentieperiode (1981-2010) of met zichtjaar 2050 (2036-2065) voor een scenarioberekening met toekomstig klimaat.

3.3 Voorbeeldgebied: Sang en Goorkens

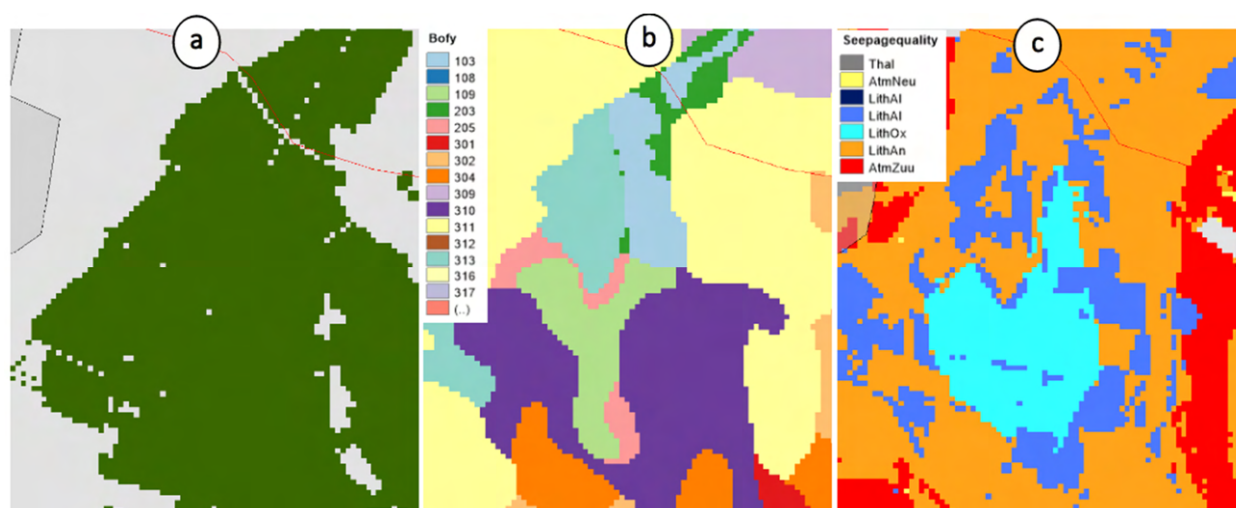
Sang en Goorkens is een natuurgebied in een beekdallandschap in het zuidoosten van Noord-Brabant, gelegen ten oosten van Mierlo (Figuur 3-3). De natte kern van het gebied bestaat uit elzenbroekbos, berken-elzenbroekbos, wilgenstruweel en blauwgrasland, met soorten als Grote ratelaar, Blauwe knoop, Gevlekte orchis, Veldrus, Ronde zonnedauw, Waterviolier, Holpijp, Dotterbloem en Duizendknoopfonteinkruid. Om hogere natuurwaarden te bereiken, is de hydrologie van het gebied recentelijk hersteld.

Bij het aanmaken van het project in WWN worden de standaard meegeleverde invoerkaarten, zoals de bodemfysische eenhedenkaart en de kwelqualiteitskaart (Figuur 3-4), bijgesneden tot het modelgebied. Daarnaast levert de gebruiker hydrologische invoerkaarten aan. In de natte kern van Sang en Goorkens staat het grondwater zeer dicht onder maaiveld (Figuur 3-5, links) en treedt kwel op (Figuur 3-5, rechts). Belangrijke beheertypen in dit natte deel zijn Vochtig hooiland (N10.02), Rivier- en beekbegeleidend bos (N14.01) en Hoogveen- en laagveenbos (N14.02) (Figuur 3-6).

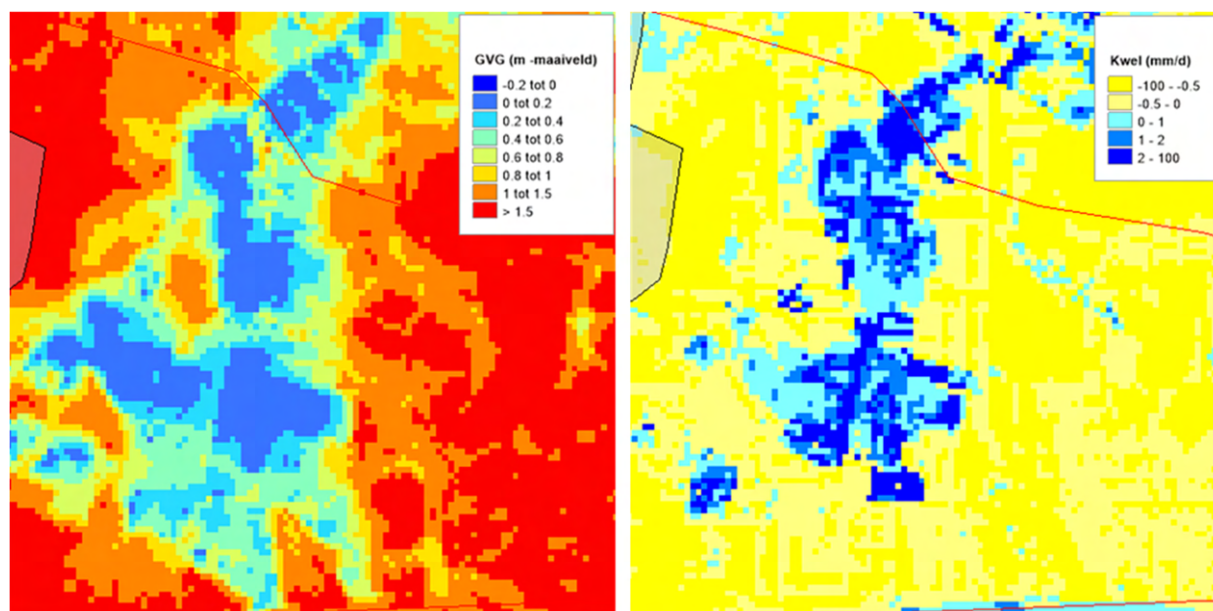
In het algemeen raden we aan om te verifiëren of de ruimtelijke verdeling van diepe en ondiepe grondwaterstanden overeenkomt met verwachtingen. Ook is het zinvol dit te vergelijken met bijvoorbeeld de hoogteligging (AHN.nl). Dit geeft ook al een beeld met wat verwacht mag worden van de ruimtelijke verspreiding van potenties van bijvoorbeeld natte of kwelafhankelijke natuur. Hoe scherper dergelijke ‘hypotheses’ worden geformuleerd, hoe concreter ze later aan de hand van modeluitvoer kunnen worden getoetst. Op deze manier verkrijgt men inzicht in het ecohydrologisch functioneren van het gebied. Een discrepantie tussen verwachting en modeluitkomst levert vaak zeer zinvolle inzichten op.



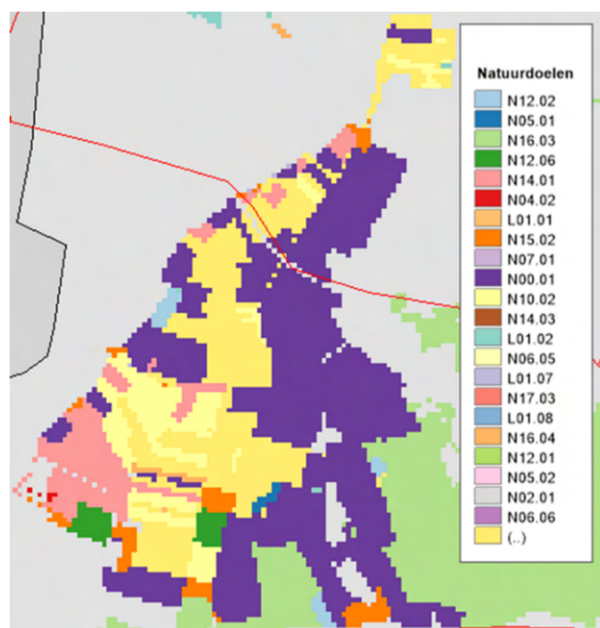
Figuur 3-3: Locatie van Sang en Goorkens. Rechts: maaiveldhoogte (AHN3). Blauw = laag, oranje = hoog.



Figuur 3-4: Drie statische invoerkaarten voor Sang en Goorkens en omgeving: (A) Ligging natuurgebieden; (B) Bodemfysische eenheden; (C) Kwelkwaliteitskaart.



Figuur 3-5: Twee hydrologische invoerkaarten voor Sang en Goorkens. Links: Gemiddelde Voorjaars-Grondwaterstand (GVG). Rechts: Kwelkaart (blauw = kwel, geel = wegzijging).



Figuur 3-6: Beheertypenkaart van Sang en Goorkens. (NB: de gele kleur aangeduid met '(...)' is gebruikt voor alle overige beheertypen. In dit voorbeeld betreft het hoofdzakelijk beheertype N14.02)

3.4 Toepassing WATERNOOD

De module WATERNOOD kan worden gebruikt om de huidige waterhuishouding van een gebied te toetsen aan:

- 1 Natuurdoelen, bijvoorbeeld zoals opgenomen in een ambitiekaart (pijl 1 in Figuur 3-1);
- 2 De huidige vegetatie (pijl 3 in Figuur 3-1).

In deze paragraaf passen we WATERNOOD toe op gebied Sang en Goorkens voor het tweede doeleinde, als voorbereiding op verdere berekeningen met PROBE (paragraaf 3.5). De berekeningsstappen voor het eerste doeleinde zijn vrijwel hetzelfde, dus dit voorbeeld kan ook hiervoor worden gevolgd. Een belangrijk verschil is dat de gebruiker als invoer voor de vegetatietypen een ambitiekaart inleest en niet een kaart met de huidige vegetatie.

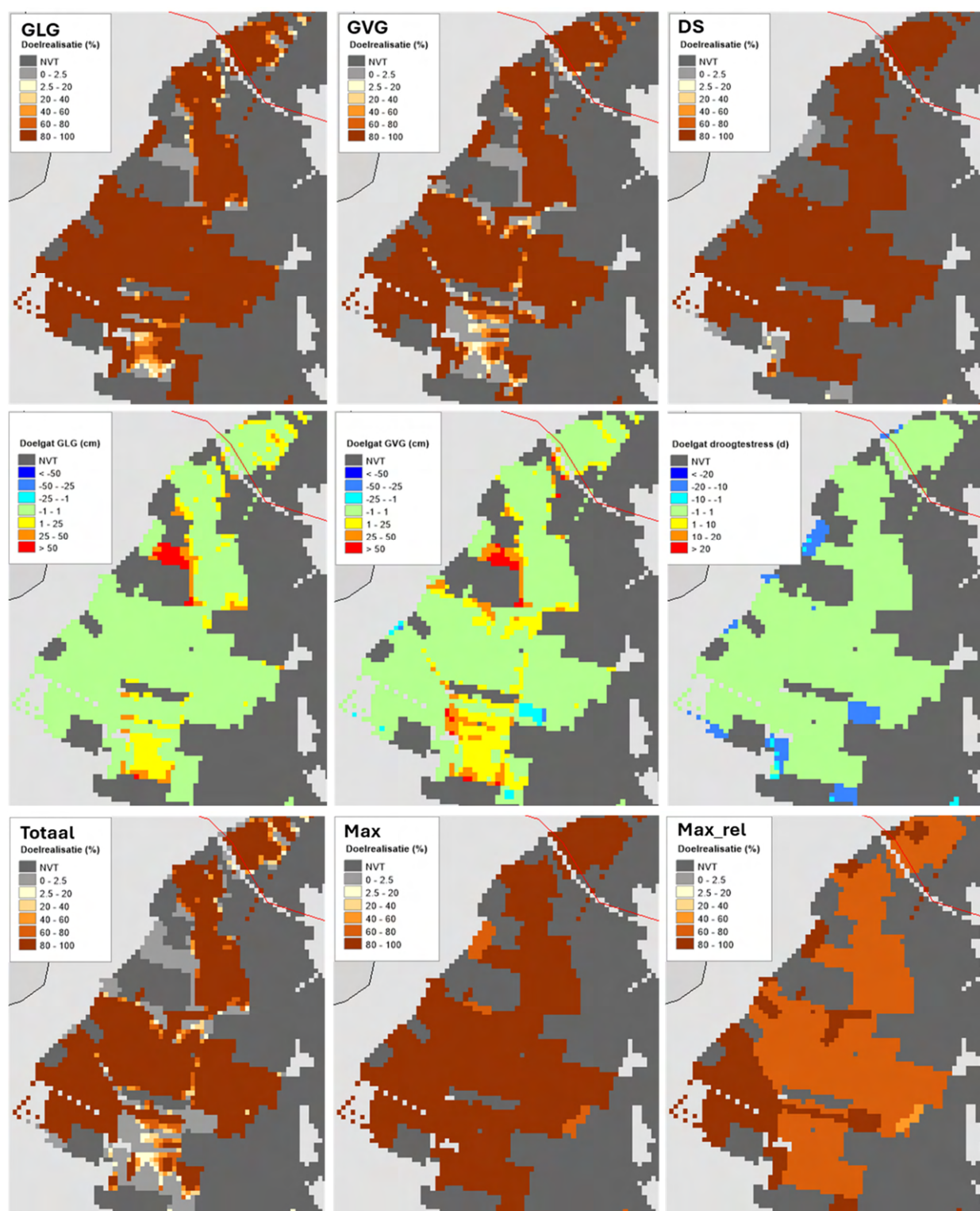
3.4.1 Resultaten en interpretatie

Met WATERNOOD is getoetst of de kaart met beheertypen van Sang en Goorkens (Figuur 3-6) overeenkomt met de gesimuleerde grondwaterstanden (zie o.a. Figuur 3-5, links). De aanname hierbij is dat de beheertypen op de kaart aangeven waar de beheertypen op dit moment daadwerkelijk voorkomen. Op basis van de resultaten (Figuur 3-7) kunnen we aannemen dat de door het hydrologische model gesimuleerde grondwaterstanden over het algemeen goed 'passen' bij de beheertypen. Op enkele locaties gaat het echter mis: zo lijkt de GVG (en zelfs de GLG) te laag in enkele percelen in het noordwesten en in het zuiden van het gebied, of er ligt het verkeerde beheertype. Als we inzoomen op het noordwesten, zien we dat daar beheertype N14.02 (Hoogveen- en laagveenbos) op de kaart staat, terwijl de GVG daar plaatselijk tot 1 m-mv ligt. Dit levert een doelgat voor de GVG van ongeveer 70 cm op. Interessant om te zien is dat er ook een locatie in het zuidoosten is waar de GVG te hoog ligt. Het gaat om een bosperceel (N15.02, Dennen-, eiken- en beukenbos) waar de GVG 10-20 cm te hoog ligt. Tot slot valt een perceel in het noordwesten op, met beheertype N12.02 (Kruiden- en faunarij grasland), met een doelgat droogtestress DS van -10 dagen. Voor dergelijke discrepanties is het belangrijk om uit te zoeken of het beheertype op de kaart klopt, of de gesimuleerde grondwaterstanden correct zijn, of dat hier misschien een verkeerd beheertype wordt nagestreefd.

De totale doelrealisatie (Figuur 3-7, linksonder) wordt berekend door de doelrealisatie van GVG, GLG en DS te vermenigvuldigen. Deze kaart is bruikbaar bij de interpretatie van de resultaten met PROBE (paragraaf 3.5): alle rekencellen waar 100% doelrealisatie (ruimschoots) niet wordt gehaald, kunnen bij de beoordeling van PROBE-resultaten beter buiten beschouwing worden gelaten, omdat daar de berekende grondwaterstanden waarschijnlijk te veel afwijken van de werkelijkheid.

Als gevolg van maaiveldvariatie en daarmee samenhangende variatie in grondwaterstand, is de totale doelrealisatie niet hetzelfde voor alle rekencellen die behoren tot hetzelfde natuurdoel (beheertype, habitatype of ander natuurdoeltype dat is gebruikt). In het voorbeeld van Sang en Goorkens is voor beheertype N14.02 te zien dat de totale doelrealisatie in veel rekencellen 100% is, maar dat er ook gebiedsdelen met N14.02 zijn waar de doelrealisatie 0% is (zie onder ander het hierboven genoemde voorbeeld uit het noordwesten van het natuurgebied). Om een idee te krijgen van wat per natuurdoel de haalbare doelrealisatie is, bevat WATERNOOD een routine om voor het hele natuurdoel de maximaal haalbare totale doelrealisatie te berekenen (Figuur 3-7, midden onder). Meer achtergrond over de methode is te vinden in paragraaf 2.2.3 van Witte et al. (2018). De relatieve totale doelrealisatie is de gemiddelde totale doelrealisatie per beheertype, geschaald naar de maximaal haalbare totale doelrealisatie van dat type (Figuur 3-7, rechtsonder). In het geval van N14.02 is de gemiddelde totale doelrealisatie 69% en de maximale doelrealisatie 90%. De relatieve totale doelrealisatie wordt dan $100 * 69/90 = 77\%$.

⚠ LET OP: de maximaal haalbare doelrealisatie kan in geval van kleine vegetatievlakken worden gebruikt om te onderzoeken of grondwaterstandsverhoging (of -verlaging) in rekencellen met een lage doelrealisatie ertoe kan leiden dat het opgelegde natuurdoel op deze locatie wel past. Een grovere indeling, zoals in geval van habitatypen en zeker beheertypen, is hiervoor veel minder geschikt, doordat bij het berekenen van een maximaal haalbare doelrealisatie eigenlijk te veel rekencellen worden gebruikt in de berekening. In Sang en Goorkens komt bijvoorbeeld het beheertype N14.02 in meerdere delen van het gebied voor, op enige afstand van elkaar. Voor de berekening worden deze verschillende percelen echter allemaal op een hoop gegooid. De kaarten met de maximaal haalbare (Figuur 3-7, midden onder) en geschaalde totale doelrealisatie (Figuur 3-7, rechtsonder) zijn zodoende wat verwarrend en kunnen beter niet worden gebruikt.



Figuur 3-7: Met WATERNOOD berekende doelrealisatie (boven) en doelgat (midden) voor de GLG, GVG en DS. Onderste rij: totale doelrealisatie (linksonder), de maximaal haalbare doelrealisatie (midden onder) en de relatieve totale doelrealisatie (rechtsonder) van beheertypen onder het huidige klimaat in Sang en Goorkens. NVT = geen doelrealisatiefunctie van het beheertype aanwezig.

3.4.2 Kanttekeningen

Vanwege de eenvoud in het gebruik wordt WATERNOOD in de praktijk ook vaak gebruikt om ‘te voorspellen’ hoe bijvoorbeeld hydrologisch herstel doorwerkt op het behalen van natuurambities in de toekomst. Hier zijn een aantal belangrijke kanttekeningen bij te plaatsen. De belangrijkste is dat WATERNOOD in feite alleen kan worden toegepast bij de huidige waterhuishouding onder de huidige klimaatomstandigheden. Het instrument houdt namelijk geen rekening met (bodemchemische) veranderingen in de bodem die optreden ten gevolge van grondwaterstandsveranderingen als gevolg van beheermaatregelen of klimaatverandering. Er wordt geen rekening gehouden met interacties tussen water, zuurgraad en voedselrijkdom. We zijn ons ervan bewust dat de huidige versie van WWN wel de mogelijkheid geeft om met WATERNOOD een klimaatscenario door te rekenen (zie paragraaf 4.5.1), maar raden het gebruik van deze optie sterk af. Als de gebruiker er toch voor kiest om een klimaatscenario door te rekenen, moeten de resultaten van de simulaties in ieder geval zeer kritisch worden bekeken.

Een andere kanttekening is dat de processen rondom kwel zeer vereenvoudigd zijn opgenomen en bovendien een substantiële input van de gebruiker vraagt. Allereerst dient men per vegetatietype dat voorkomt in het modelgebied te definiëren of het kwelafhankelijk is of niet. Dit moet met een 0 (niet kwelafhankelijk; standaard ingesteld) of 1 (wel kwelafhankelijk) worden aangegeven in de achterliggende tabel (paragraaf 4.5.1). Dit vereist van de gebruiker een goede kennis van de voorkomende vegetatietypen in het gebied en van de kwelafhankelijkheid van al deze typen. Een dergelijke beoordeling is in zekere mate subjectief. Daarnaast is de invloed van kwel in WATERNOOD enkel een drempel (paragraaf 4.5.1), die voor alle vegetatietypen hetzelfde en eveneens subjectief is. Bovendien worden de kwaliteitsaspecten van kwel niet meegenomen.

De module PROBE houdt wel rekening met de hierboven genoemde zaken en is zodoende het gekijkte instrument voor voorspellende berekeningen. WATERNOOD kan wel goed worden gebruikt voorafgaand aan berekeningen met PROBE om snel te controleren of er discrepanties bestaan tussen de vegetatiekaart, de uitkomsten van het grondwatermodel en, in geval van een doelgat droogtestress, de bodemkaart (pijl 2 in Figuur 3-1). Na deze analyse kan men de resultaten van PROBE beter op waarde schatten.

3.5 Toepassing PROBE

De module PROBE voorspelt vegetatiepatronen in afhankelijkheid van waterbeheer en klimaat. PROBE kan worden gebruikt voor verschillende onderzoeksvragen (onderstaande lijst is niet uitputtend):

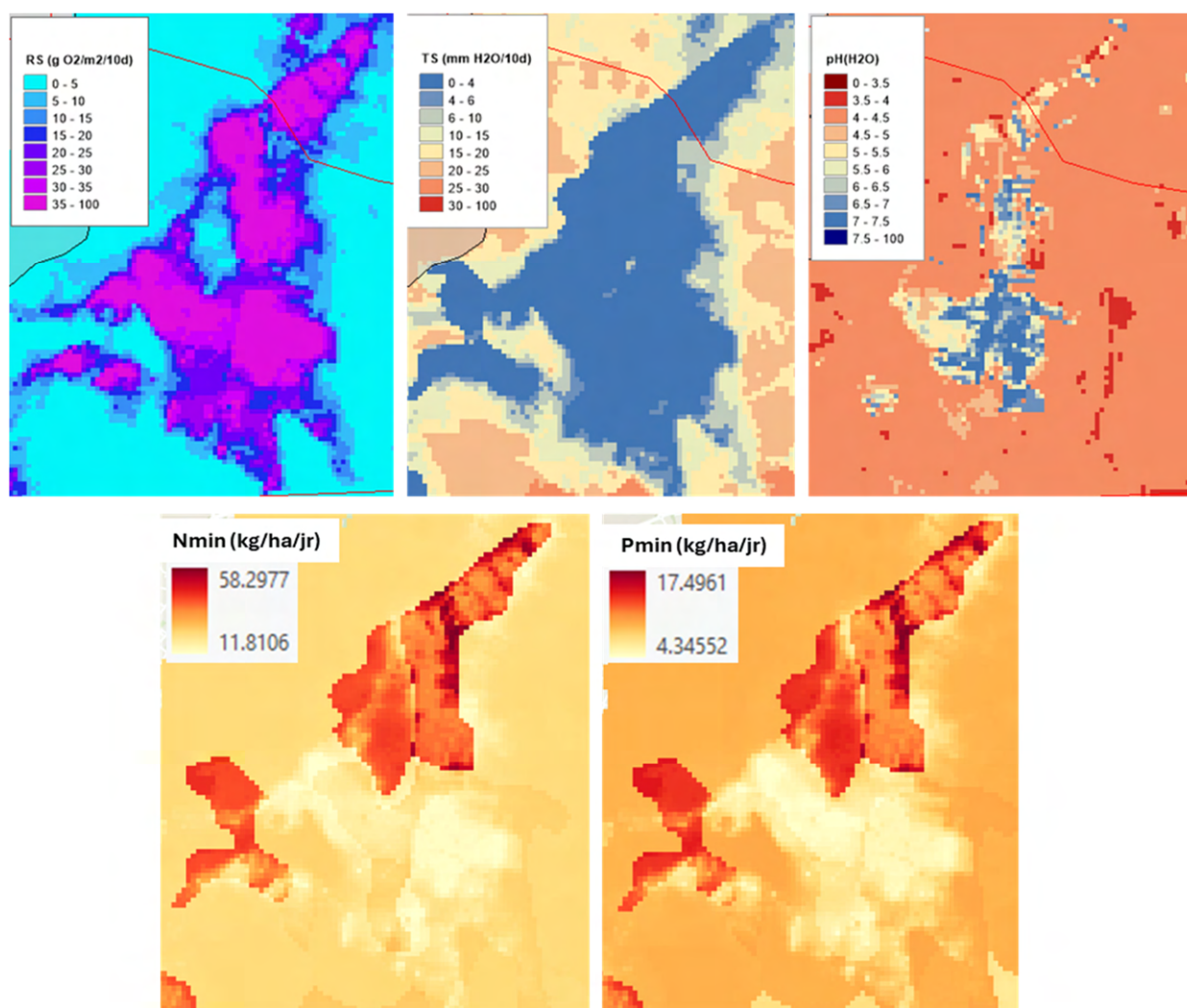
- Wat zijn de effecten van waterbeheer of hydrologisch herstel op vegetatie of natuurwaarde?
- Wat is het effect van klimaatverandering op vegetatie of natuurwaarde?
- Wat is het effect van (verandering in) stikstofdepositie op vegetatie of natuurwaarde?
- Wat is het effect van veranderingen in vegetatiestructuur op natuurwaarde?
- Wat is de doelrealisatie van natuurdoelen onder huidige of toekomstige waterhuishouding en klimaat?

In onderstaande paragrafen worden de verschillende rekenstappen in PROBE uitgelegd aan de hand van kaartmateriaal van de tussenresultaten.

3.5.1 Van grondwatermodel naar standplaatsfactoren

De modelinvoer (Figuur 3-4 en Figuur 3-5) bij huidig klimaat, huidige waterhuishouding en een depositiefactor van 1 (huidige depositie) wordt aan de hand van vooraf opgestelde metarelaties (Figuur 3-2; zie ook pijl 4 in Figuur 3-1 en paragraaf 2.2.1) omgezet naar vlakdekkende kaarten van respiratiestress, transpiratiestress en zuurgraad (Figuur 3-8, bovenste rij). De kaarten voor *RS* en *TS* lijken sterk op de kaart met grondwaterstanden, maar het ruimtelijk patroon verschilt iets. Dit komt doordat deze standplaatsfactoren ook afhankelijk zijn van het bodemtype en het bodemvochtregime. In het centrale, lagere en nattere deel van Sang en Goorkens, waar ook kwel voorkomt, is er minder transpiratiestress en een hogere respiratiestress. Verder is te zien dat het patroon in de kaart voor pH sterke overeenkomsten vertoont met de kwelkaart (Figuur 3-5, rechts) en de kwelkwaliteitskaart (Figuur 3-4, rechts). Men mag verwachten dat de zuurgraad hoog is waar kwel optreedt, en dit is in het centrale deel van Sang

en Goorkens ook duidelijk te zien. De kaarten voor stikstof- en fosformineralisatie (Figuur 3-8, onderste rij) zijn in de referentiesituatie niet gebaseerd op metarelaties maar op kennisregels. In deze kaarten is het effect van bodemtype (en vochttoestand) te zien: de zuurdere en drogere zandgronden rondom het natuurgebied hebben lagere mineralisatiesnelheden. Tegelijkertijd hebben de natste delen van het gebied ook weer een lage mineralisatiesnelheid. Ruimtelijke variatie binnen natte bodems is te verklaren door verschil in bodemtype en gehalten in N, P en C, waarbij de functies voor mineralisatiesnelheid niet lineair zijn maar een zeker optimum hebben. De kaarten van standplaatsfactoren zijn ook in de WWN-kaartviewer te bekijken, met uitzondering van *Pmin*. Deze kaart is wel te vinden in de map met uitvoerkaarten voor de referentiesituatie (*Pmin.asc*) en is in te lezen in een GIS-programma naar keuze.



Figuur 3-8: Gesimuleerde standplaatsfactoren voor Sang en Goorkens in de referentiesituatie (klimaat en hydrologie voor 1981-2010, depositiefactor = 1). RS = respiratiestress (hogere waarden = groter tekort aan zuurstof), TS = transpiratiestress (hogere waarden = hoger vochttekort), pH = zuurgraad (pH-H₂O), Nmin = stikstofmineralisatie, Pmin = fosformineralisatie.

3.5.2 Van standplaatsfactoren naar indicatiewaarden

De standplaatsfactoren worden met behulp van empirische functies vertaald naar indicatiewaarden voor vocht (*Fm*) en zuurgraad (*Rm*). De indicatiewaarde voor vocht is afhankelijk van transpiratiestress en respiratiestress (Figuur 3-1, pijl 5; Figuur 3-2). In Sang en Goorkens (Figuur 3-9, links) is te zien dat de hoge en droge delen hoge waarden voor *Fm* (droog) hebben en de laaggelegen locaties een lage *Fm* (vochtig). Daarnaast vinden we in de laaggelegen delen over het algemeen hoge waarden voor *Rm* (Figuur 3-9, midden), wat wijst op de aanvoer van

basenrijke kwel (hoge pH). In de lagere delen van het gebied komen plekken voor waar de zuurindicaties lager (zuurder) uitvalt, hetgeen wijst op locaties met lagere pH en lagere kwelaanvoer.

Aandachtspunt: Voorspelling zuurgraad in (zeer) natte (kwel)situaties soms onbetrouwbaar

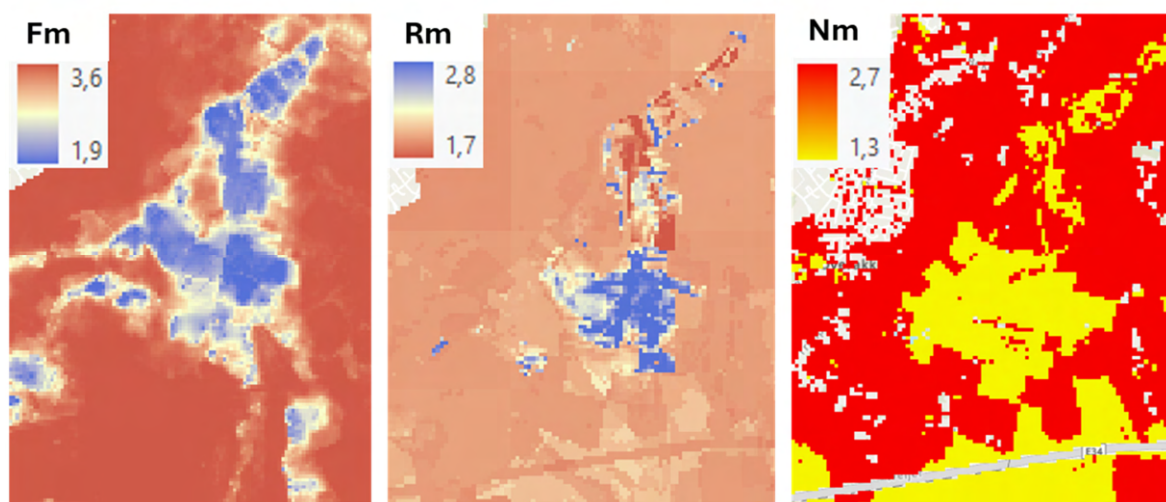
In de huidige WWN-versie zijn resultaten gerapporteerd waarbij de voorspelling van de zuurgraad in natte, met name kwelafhankelijke gebieden, in combinatie met specifieke scenario's (waterhuishouding of stikstofdepositie) afwijkt van wat mag worden verwacht. Het is belangrijk om, net als bij ieder model, maar zeker in dit geval, goed de modeluitvoer te inspecteren: zijn de ruimtelijke patronen en gesimuleerde pH-waarden plausibel?

De indicatiewaarde voor voedselrijkdom Nm wordt vooralsnog niet bepaald op basis van empirische relaties maar op basis van kennisregels uit WATERNOOD gebaseerd op de referentiesituatie. Zodoende lijken de patronen op het eerste gezicht omgekeerd ten opzichte van N_{min} en P_{min} (Figuur 3-8, onderste rij): op de hoge droge zandgronden is Nm hoog, op lage natte locaties laag. Dit beeld wordt veroorzaakt doordat in de op kennisregels gebaseerde Nm het landgebruik ook wordt meegenomen (zie paragraaf 2.2.2). De gronden rondom de natuur in Sang en Goorkens zijn in landbouwkundig gebruik en hebben daardoor via de kennisregels een relatief hoge voedselrijkdom en dus hoge waarde voor Nm .

Aandachtspunt: Landgebruik, omvorming van landbouw naar natuur en voedselrijkdom

Wees u ervan bewust dat de landgebruikskaat doorwerkt op de voedselrijkdom. Dit speelt bijvoorbeeld een rol bij het voorspellen van (toekomstige) natuurpotenties op huidige landbouwbodems, waarbij het agrarisch landgebruik leidt tot voorspelling van voedselrijke ecotoopgroepen. Enerzijds komt dit overeen met wat mag worden verwacht, anderzijds zullen in de praktijk maatregelen genomen worden waarbij bijvoorbeeld de voedselrijke toplaag wordt afgegraven. Naast deze (lokale) natuurherstelmaatregelen zal ook de grondwaterstand ondieper worden. Dergelijke herstelmaatregelen worden niet automatisch verdisconteerd bij toepassing van WWN. Vooral bij toekomstverkenningen waarbij het hele modeldomein wordt doorgerekend op natuurpotenties, of scenario's waarbij omvorming van landbouw naar natuur plaatsvindt, speelt dit een rol.

De kaarten met indicatiewaarden zijn niet in te zien via de WWN-kaartviewer, maar zijn wel als ASCII in te lezen in een GIS-programma.

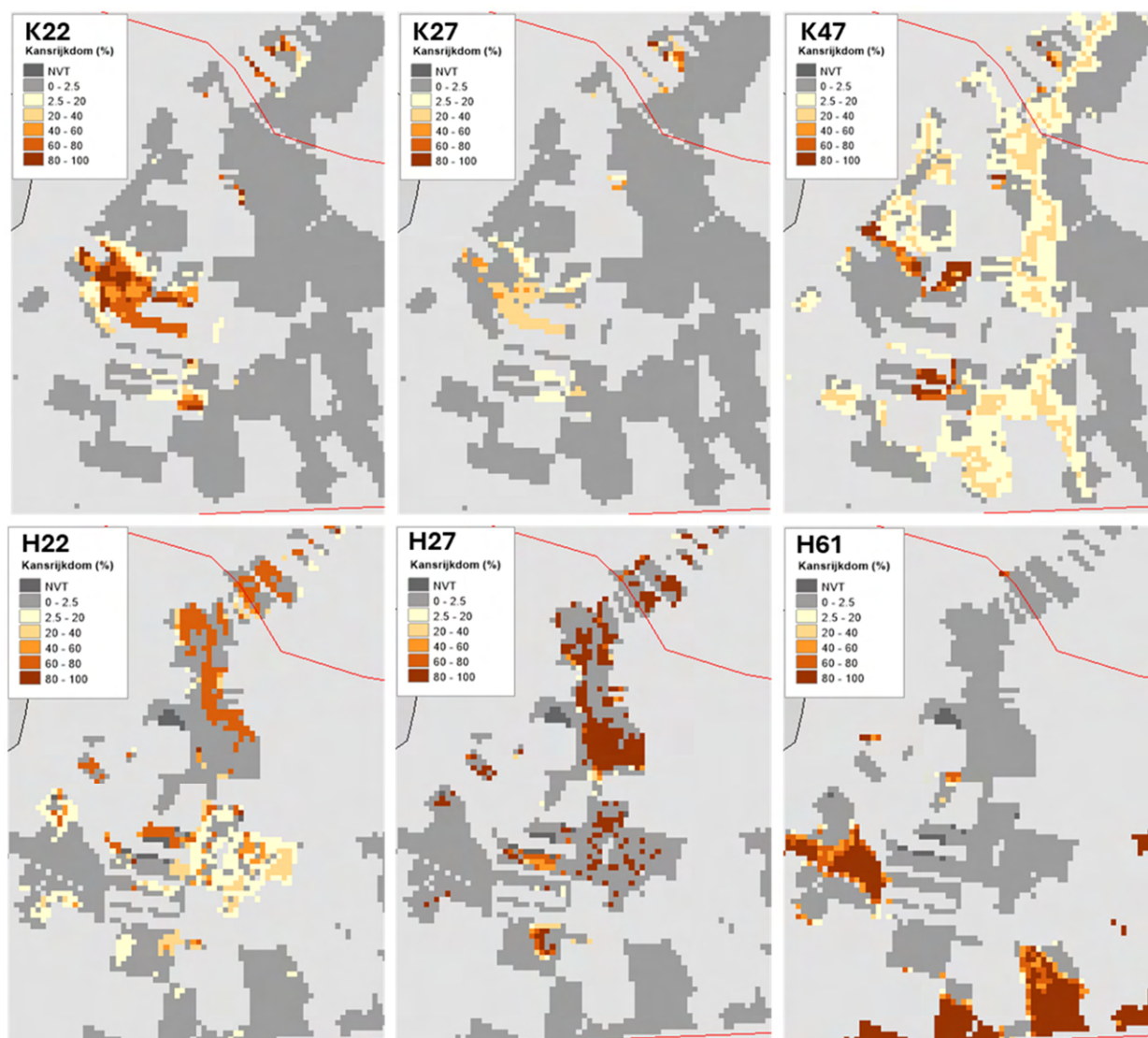


Figuur 3-9: Gesimuleerde indicatiewaarden voor Sang en Goorkens in de referentiesituatie (klimaat en hydrologie voor 1981-2010, depositiefactor = 1). Fm = vochttoestand (1 = nat, 4 = droog), Rm = zuurgraad (1 = zuur, 3 = basisch), Nm = voedselrijkdom (1 = arm, 3 = rijk).

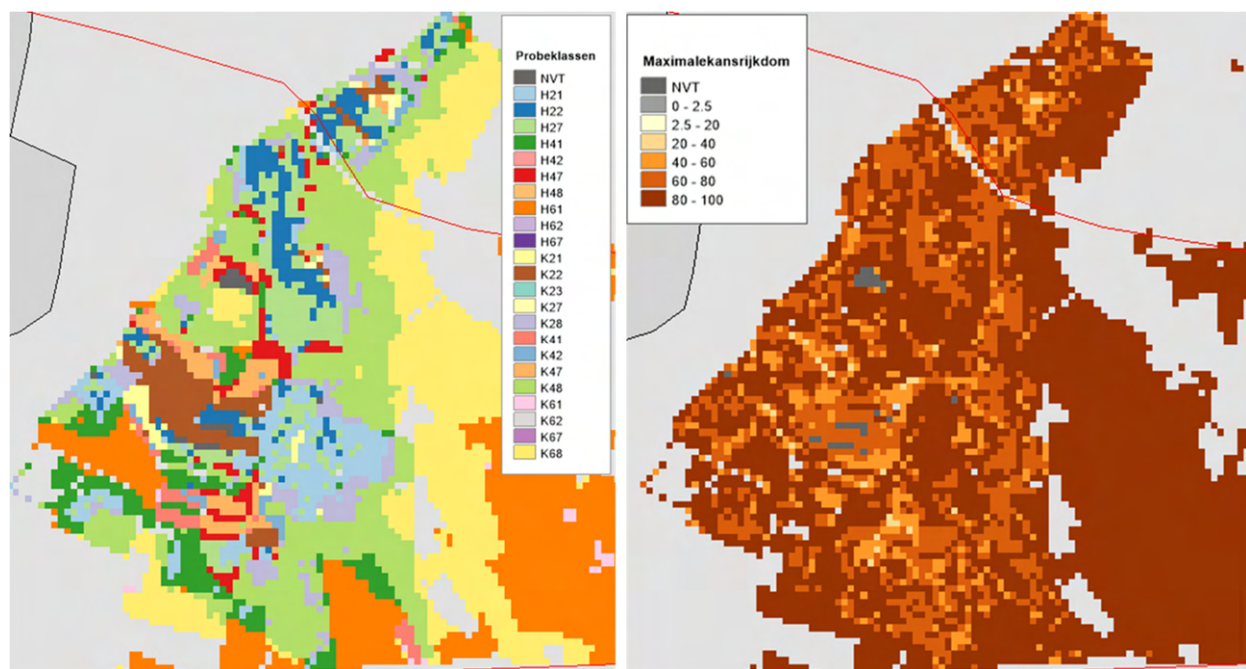
3.5.3 Van indicatiewaarden naar kansrijkdom

Op basis van de berekende indicatiewaarden wordt de kansrijkdom voor alle 33 ecotoopgroepen berekend met de vegetatiemodule (paragraaf 2.2.3; pijl 6 in Figuur 3-1). Dat levert vlakdekkende kaarten op per ecotoopgroep. Deze kaarten zijn zowel in de WWN-kaartviewer als in de map met uitvoerbestanden terug te vinden. Gezien de vochttoestand en zuurgraad in de kern van het gebied Sang en Goorkens, is te verwachten dat de kansrijkdom van vegetaties gebonden aan nattere en meer basische standplaatsen hier hoog is. Inderdaad blijkt de kansrijkdom van K22, waaronder ook blauwgraslanden vallen, hoog is, met name in het zuidwesten van het gebied (Figuur 3-10). Op de aangrenzende locaties die iets droger zijn, is de kansrijkdom van K47, waarbinnen glanshaverhooilanden vallen, weer hoger. In het natte oostelijke deel is de kansrijkdom van laagveenbossen (H22) en elzenbroekbos (H27) hoog. Aan de droge, meer zure randen en in de verdere omgeving worden droge bossen voorspeld (H61). Merk op dat de H- en K-ecotoopgroepen voor verschillende locaties in het beschouwde gebied worden voorspeld en nooit overlappen. Dit komt doordat het potentiële voorkomen van ecotoopgroepen wordt gestuurd door de landgebruikkaart (LGN). Ecotoopgroepen met een H behoren bij de houtige vegetaties en worden in de standaard instellingen in PROBE niet voorspeld voor locaties die in de LGN als korte vegetatie (bijvoorbeeld grasland) zijn aangemerkt. Andersom worden ecotoopgroepen met een K ('korte' vegetatie) standaard niet voorspeld voor locaties die in de LGN als bos zijn aangemerkt. De gebruiker kan er in de rekeninstellingen van PROBE echter voor kiezen om alleen korte of houtige vegetaties te voorspellen voor alle rekencellen, om bijvoorbeeld de potenties van beheersmaatregelen te onderzoeken, bijvoorbeeld kap (zie ook paragraaf 4.5.2).

De afzonderlijke kansrijkdomkaarten worden gecombineerd in één voorspelde vegetatiekaart (Figuur 3-11, links), die voor iedere rekencel de ecotoopgroep met de hoogste kansrijkdom weergeeft. De totale kansrijkdom van alle ecotoopgroepen samen is altijd 100%. Het kan voorkomen dat op een locatie meerdere ecotoopgroepen een vergelijkbare kans hebben. Daarom wordt ook een kaart met de maximale kansrijkdom per rekencel vervaardigd (Figuur 3-11, rechts). De gangbare aanname in de plantensociologie is dat het vegetatietype dat domineert, gaat overheersen als gevolg van positieve terugkoppelingen.



Figuur 3-10: Met PROBE berekende kansrijkdom van zes van de 33 gemodelleerde ecotoopgroepen in Sang en Goorkens (huidige klimaat). NVT = voorspelling buiten bereik van vegetatiemodule.

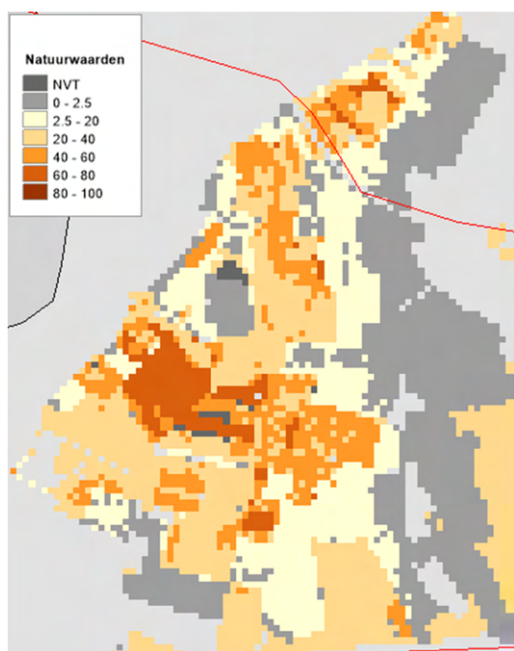


Figuur 3-11: Met PROBE berekende vegetatiekaart van Sang en Goorkens (links), waarbij iedere rekencel is geclassificeerd naar het type met de hoogste kansrijkdom. Die maximale kansrijkdom is rechts weergegeven.

3.5.4 Van kansrijkdom naar natuurwaarde

De verschillende ecotoopgroepen hebben elk een natuurwaarde. De voorspelde vegetatiekaart wordt op basis van de gekozen natuurwaarderingmethode (zie paragraaf 2.2.4) omgezet in een vlakdekkende kaart met natuurwaarde (Figuur 3-12). Deze kaart geeft snel een beeld van de locaties waar de hoogste natuurwaarde ligt, of (in geval van een scenarioberekening) waar de grootste veranderingen optreden. Daarnaast wordt een tabel geproduceerd ('Oppervlakten.csv') die per ecotoopgroep de geschaalde natuurwaarde, het aantal voorspelde pixels en het product hiervan bevat. Deze tabel is te openen via de WVN-kaartviewer. Voor de interpretatie van natuurwaarde is geen ecologische of hydrologische kennis vereist, wat het een handig communicatiemiddel maakt. Bedenk wel dat natuurwaardering in zekere mate indicatief is en bovendien kan veranderen in de tijd. Bovendien zijn de natuurwaarden per ecotoopgroep vooraf geschaald, zodat de verschillende natuurwaarderingmethoden binnen WVN onderling vergeleken kunnen worden. Het is daarom belangrijk om niet te veel in te gaan op de precieze getallen en voor de interpretatie van de kaart de kaarten per ecotoopgroep te gebruiken.

Tevens moet men zich realiseren dat PROBE de kansrijkdom en de daaruit afgeleide natuurwaarde enkel baseert op standplaatsfactoren. Andere bepalende factoren die vestiging van vegetatie mogelijk maken, zoals optimaal maaibeheer en de aanwezigheid van dispersiebronnen (zaadbanken), en factoren die vestiging of floreren juist belemmeren, zoals plagen, ziektes of verstoringen, worden niet meegenomen. In feite berekent PROBE de natuurpotenties, die door voornoemde zaken in werkelijkheid anders (doorgaans lager) zullen zijn.



Figuur 3-12: Geschaalde natuurwaarde in Sang en Goorkens volgens de methode-Gelderland (huidige klimaat). NVT = geen uitkomst, omdat voorspeld is buiten het bereik van de vegetatiemodule.

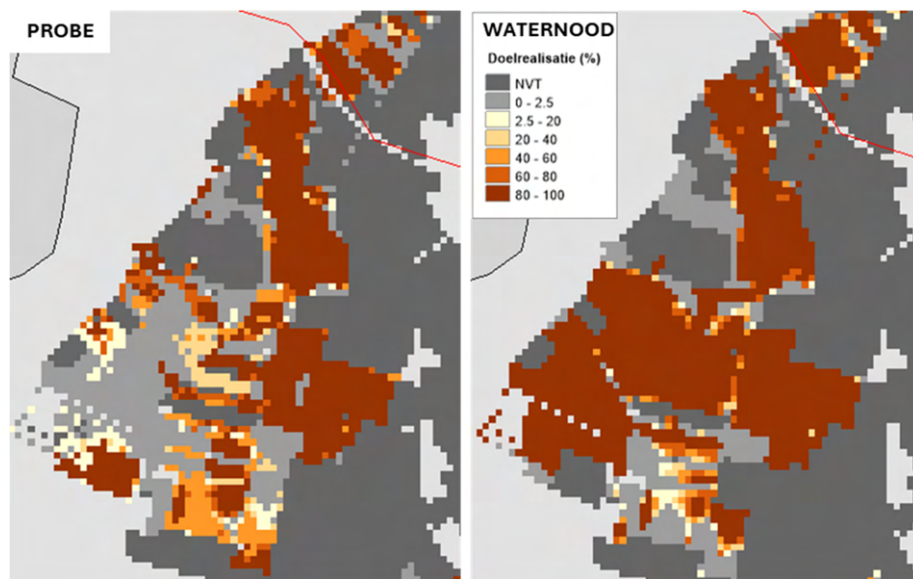
3.5.5 Klimaatrobuust toetsen

PROBE kan ook worden gebruikt voor het toetsen van natuurdoelen (paragraaf 2.2.6). Aan de hand van de aangeleverde kaart met natuurdoelen (beheertypen of habitattypen), wordt een vlakdekkende kaart met doelrealisatie vervaardigd (pijl 7 in Figuur 3-1). Besef dat deze kaart niet een-op-een te vergelijken is met de kaart met totale doelrealisatie uit WATERNOOD (Figuur 3-13). WATERNOOD houdt geen rekening met het feit dat op een locatie meerdere natuurdoeltypen mogelijk kunnen zijn en beoordeelt enkel de (huidige) waterhuishouding. PROBE berekent de kansrijkdom van alle typen die mogelijk zijn en houdt daarbij ook rekening met de voedselrijkdom en zuurgraad van de bodem. De verwachting is daarom dat de doelrealisatie op basis van PROBE systematisch lager uitvalt dan die op basis van WATERNOOD. Uit de vergelijking in Figuur 3-13 blijkt dit inderdaad zo te zijn voor de meeste locaties (zie ook Witte et al., 2018, voor een gedetailleerde vergelijking tussen beide methoden). Het valt op dat met name in het zuidwesten van het gebied Sang en Goorkens een sterke discrepantie optreedt. Dit betekent dat de voorspelde vegetatietypen met de hoogste kansrijkdom slecht of niet overeenkomen met het beheertype dat hier nu voorkomt. In het geval van Sang en Goorkens gaat het bijvoorbeeld om een gebied waar ecotoopgroep H61 wordt voorspeld, een groep met droge bossen op zure bodems. Dit komt niet overeen met het aanwezige beheertype N14.01 (Rivier- en beekbegeleidend bos). Dergelijke verschillen kunnen duiden op een *mismatch* tussen abiotische omstandigheden en aanwezige vegetatie. Een dergelijke *mismatch* kan waardevol zijn om nader te onderzoeken.

De meeste gebruikers zullen ontdekken dat wanneer zij PROBE draaien, de doelrealisatiekaart niet zal verschijnen. Dit kan twee oorzaken hebben:

- Er is geen kaart met vegetatietypen gekoppeld, aangezien niet eerst WATERNOOD is gedraaid (in de software is dit wel noodzakelijk – zie de laatste opmerking in paragraaf 4.5.2). Oplossing: draai eerst de module WATERNOOD, waarbij deze kaart moet worden gekoppeld;
- De kaart met vegetatietypen bestaat uit beheertypen en niet uit habitattypen. De software kan vervolgens de beheertypen niet koppelen aan ecotoopgroepen, aangezien de achterliggende koppeltabel nog niet de juiste opmaak heeft. Neem hiervoor contact op met de Helpdesk van WWN⁶, zij kunnen u de juiste tabel aanleveren. In een volgende versie van WWN zal dit probleem worden verholpen.

⁶ helpdesk_wwn@kwrwater.nl

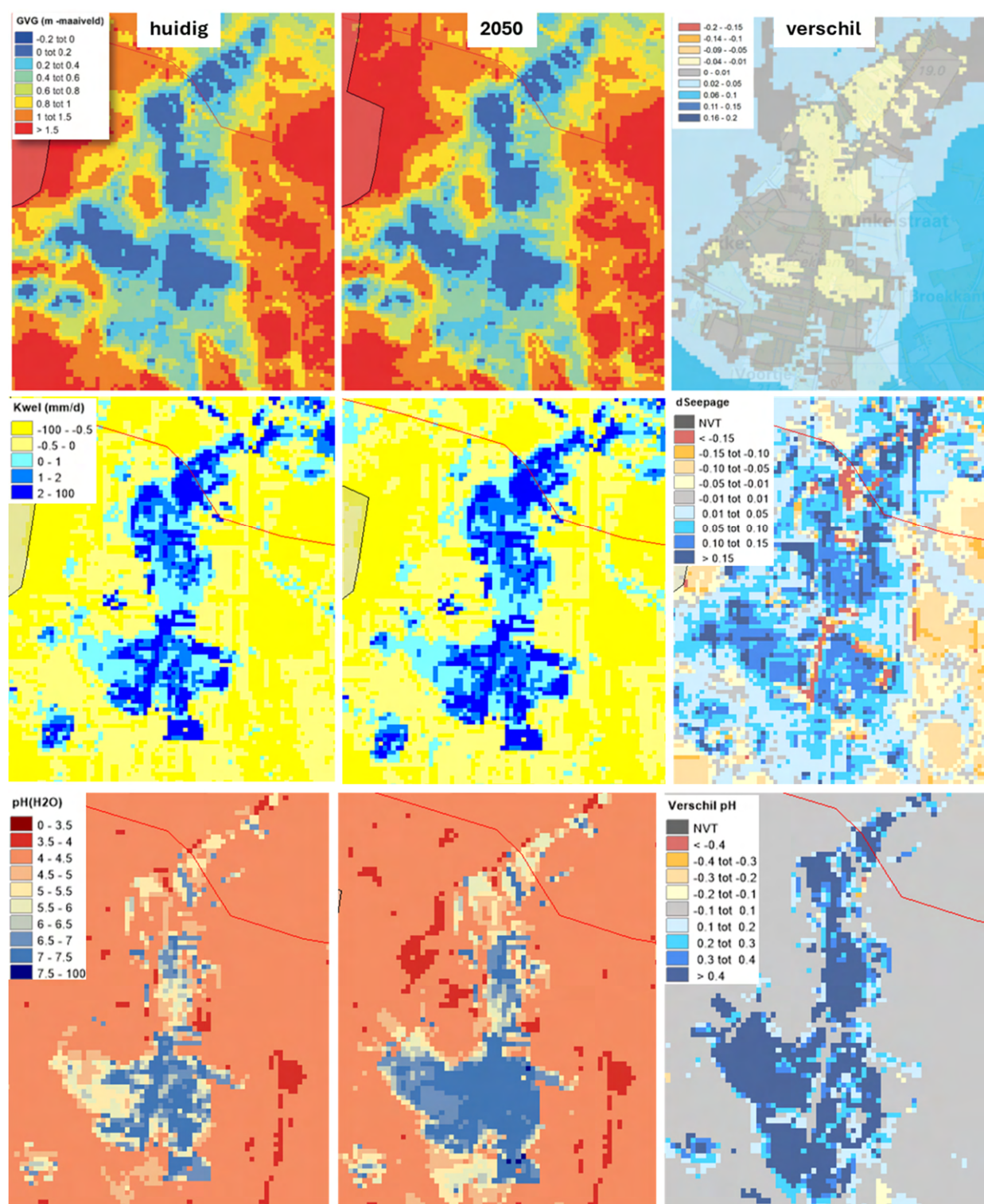


Figuur 3-13: Doelrealisatie op basis van PROBE (links) en WATERNOOD (rechts).

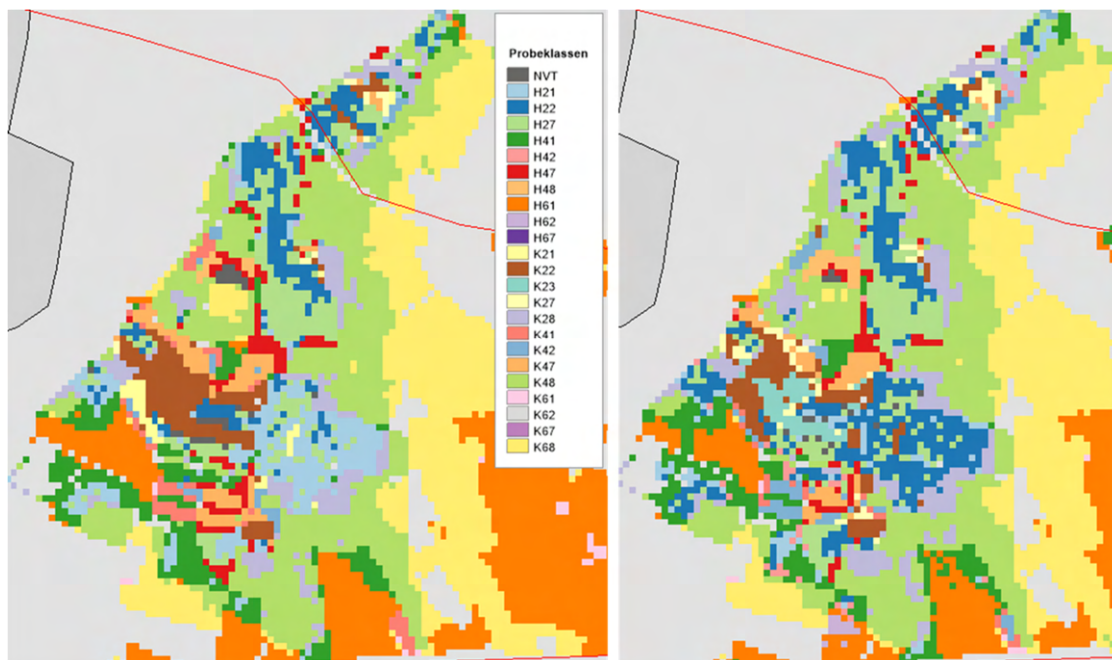
3.5.6 Verschilberekeningen

Een krachtig aspect van PROBE is de mogelijkheid om scenario's door te rekenen en die te vergelijken met de referentiesituatie. Dit kunnen zowel voorspellingen zijn van vegetatie in een toekomstig klimaat of bij veranderde stikstofdepositie, als voorspellingen van veranderingen in de vegetatie als gevolg van hydrologische ingrepen. De gebruiker kan op deze manier onderzoeken of de vegetatie in het gebied zal veranderen als gevolg van bijvoorbeeld hydrologische maatregelen of klimaatverandering. De verandering in kansrijkdom kan worden geduid aan de hand van verschillen in standplaatsfactoren. We gebruiken als voorbeeld hieronder een voorspellingsberekening in zichtjaar 2050 (klimaatscenario WH).

Als gevolg van klimaatverandering daalt de GVG heel licht in de natste delen van Sang en Goorkens, maar neemt de kwel toe (Figuur 3-14, boven en midden). Als gevolg van de toegenomen kwel neemt de bodem-pH in grote delen van het gebied toe (Figuur 3-14, onder). De kans is aanwezig dat dit gevolgen heeft voor de vegetatie in het gebied, met name in de natte delen. Als we kijken naar de voorspelde vegetatiekaart, dan valt inderdaad op dat met name in het middelste deel van het gebied plaatselijk andere vegetatie wordt voorspeld (Figuur 3-15). Zo lijkt het oppervlak aan blauwgraslanden, vallend onder ecotoopgroep K22, aanmerkelijk af te nemen. Deels komt hier K23 voor in de plaats, een ecotoopgroep van graslanden op meer basische bodems.

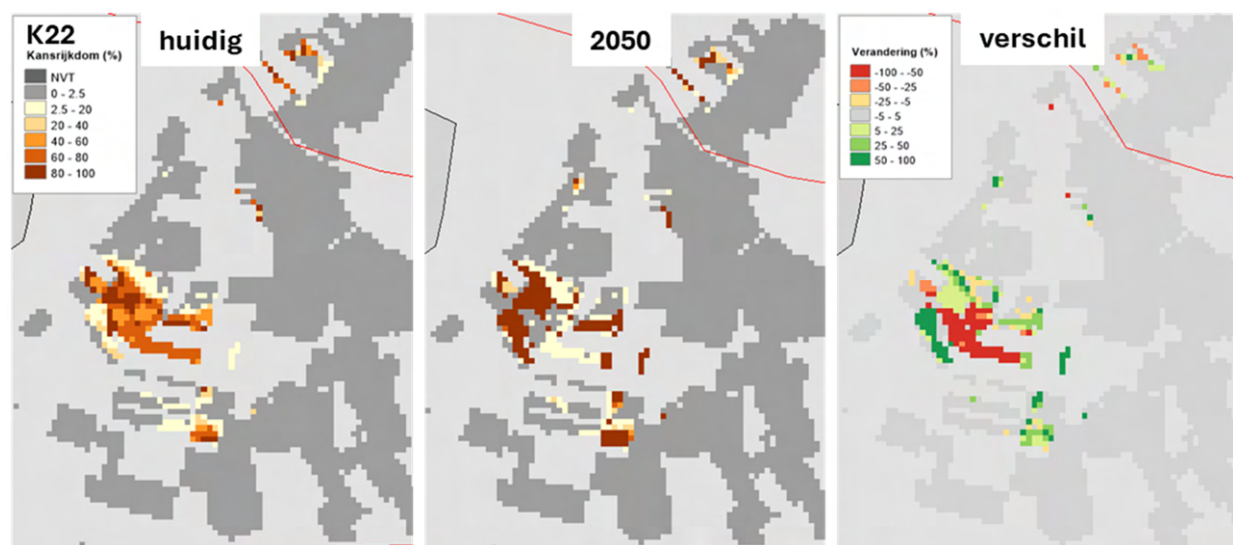


Figuur 3-14: Verschilkaarten van de GVG (boven), kwelflux (midden) en zuurgraad (onder) tussen de referentiesituatie (huidige klimaat) en het klimaatscenario WH (zichtjaar 2050).

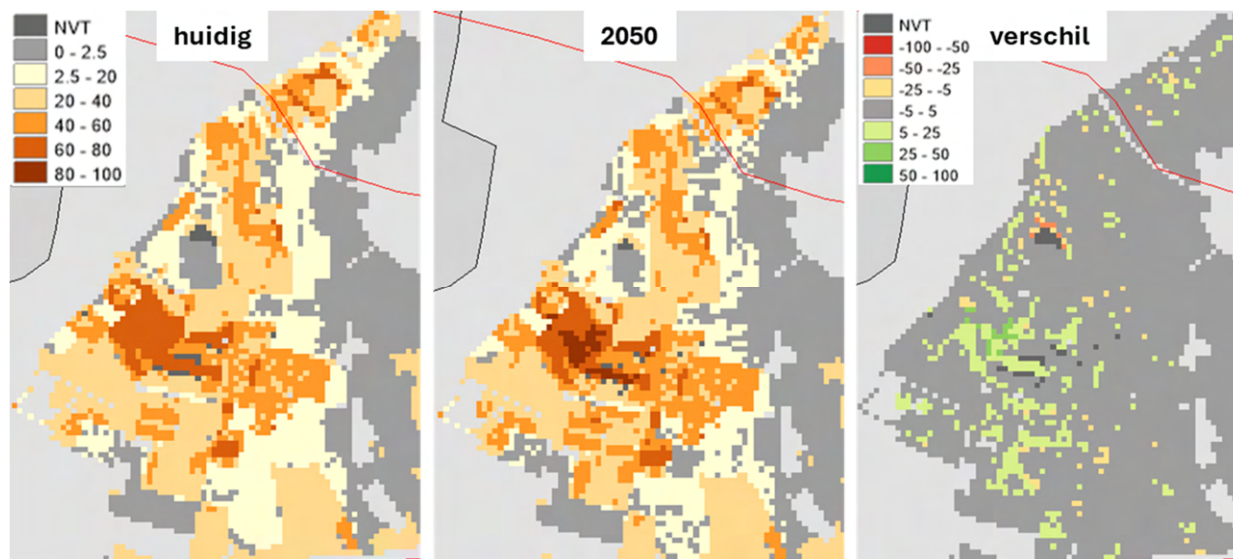


Figuur 3-15: Voorspelde vegetatiekaart in de referentiesituatie (huidige klimaat) en onder klimaatscenario WH (zichtjaar 2050).

In de kaartviewer zijn ook verschilkaarten van de afzonderlijke ecotoopgroepen te bekijken. Het blijkt dat het patroon van de kansrijkdom van K22 als gevolg van klimaatverandering zal veranderen (Figuur 3-16). Er is een sterke afname te zien in het centrale deel van het oppervlak waar in de referentiesituatie blauwgrasland wordt voorspeld. Dit blijkt ook het deel van het gebied waar K22 in een toekomstig klimaat plaatsmaakt voor K23 als meest kansrijke ecotoopgroep (Figuur 3-15). Er zijn echter ook plekken aan de randen van de oorspronkelijke voorspelde verspreiding waar de kansrijkdom van K22 toeneemt. De veranderingen in de voorspelde meest kansrijke vegetatie leidt ook tot een verandering in de kaart van de natuurwaarde: als gevolg van klimaatverandering en de daarmee samenhangende veranderingen in vegetatie neemt de natuurwaarde in Sang en Goorkens over het algemeen licht toe (Figuur 3-17).



Figuur 3-16: Met PROBE berekende kansrijkdom van ecotoopgroep K22 (omvat o.a. blauwgraslanden) in Sang en Goorkens in de referentiesituatie (links), onder klimaatscenario WH (midden), en het verschil in kansrijkdom tussen WH en de referentie (rechts). Rood = afname, groen = toename kansrijkdom.



Figuur 3-17: Geschaalde natuurwaarde in Sang en Goorkens volgens de methode-Gelderland; links = referentiesituatie (huidige klimaat), midden = klimaatscenario WH, rechts = verschil in natuurwaarde tussen WH en de referentie.

Voor nadere analyse en een overzicht van alle ecotoopgroepen in het gebied, kan de gebruiker ook een kruistabel bekijken die met de verschilberekeningen wordt geproduceerd. Dit CSV-bestand, 'P_kruistabel.csv' (Figuur 3-18), is te openen in de WWN-kaartviewer, maar is ook te vinden via 'output\difference' binnen de map waar het project is opgeslagen. In het onderdeel 'Area (# cells)' (kolom B t/m F) is te zien hoe het oppervlak per ecotoopgroep is veranderd in het scenario ten opzichte van de referentiesituatie. We lichten H22 (hieronder vallen laagveenbossen) eruit als voorbeeld. In de tabel is af te lezen dat in de referentiesituatie in 329 cellen H22 de hoogste kansrijkdom had (kolom B, 'Before'). In het doorgeresende scenario zijn hier 17 cellen van afgevallen (kolom C, 'Loss'). Daar tegenover staat dat in 296 nieuwe cellen H22 de hoogste kansrijkdom heeft (kolom D, 'Gain'). Netto betekent dit dat het aantal cellen met H22 bijna is verdubbeld tot 607 cellen (kolom E, 'After'), een toename van 85% (kolom F). Met behulp van de resolutie van WWN ($25 \times 25 = 625 \text{ m}^2$) kan de gebruiker een idee krijgen van de toe- of afname in areaal per ecotoopgroep.

⚠ LET OP: De kolom 'Gain' geeft de bruto toename aan. Het getal is altijd hoger dan of minimaal gelijk aan de netto toename.

In het onderdeel 'Transformation (%)' (vanaf kolom G) is te zien wat de procentuele veranderingen zijn van de ene ecotoopgroep in de andere. De som van iedere kolom is in principe 100%. In het voorbeeld van H22 is uit rij 9 het volgende af te lezen:

- 95% van de cellen die in de referentie als H22 waren geclassificeerd, zijn dit in het scenario nog steeds. Dit percentage is voor de duidelijkheid nogmaals weergegeven aan de rechterkant van de tabel in kolom AO;
- 5% van de cellen is veranderd van H22 in H21;
- 1% van de cellen is veranderd van H22 in H27.

De tabel kan ook andersom (per kolom) worden bestudeerd, om een idee te krijgen wat de ecotoopgroep was van de cellen die in het scenario vallen onder de ecotoopgroep aan de kop van de kolom. In geval van H22 valt op te maken dat een deel van de cellen met H22 aanvankelijk was geclassificeerd als H21, H41 of H42.

⚠ LET OP: De percentages in de kolommen kunnen niet met elkaar worden vergeleken, aangezien ze zijn berekend op basis van verschillende absolute aantallen (sommen van de kolom heeft geen zin).

Als gevolg van afronding in het rekenproces en andere modelartefacten kan het zijn dat het aantal cellen en/of de percentages een kleine foutenmarge heeft. Zo valt bijvoorbeeld op dat de som van H22 101% is. Dit geeft aan dat de getallen in de kruistabel niet op te hoog detailniveau moeten worden geïnterpreteerd, maar meer de grote lijnen en patronen van veranderingen tussen scenario en referentie aangeven.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Area (# cells)					Transformation(%)								
2		Before	Loss	Gain	After	%	A11	A12	A15	A16	A18	H21	H22	H27
3	A11	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
4	A12	0	0	2	2	>999	0	0	0	0	0	0	0	0
5	A15	0	0	0	0	>999	0	0	0	0	0	0	0	0
6	A16	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
7	A18	0	0	0	0	160	0	0	0	0	80	0	0	0
8	H21	439	219	131	351	-20	0	0	0	0	0	50	48	1
9	H22	329	17	296	607	85	0	0	0	0	0	5	95	1
10	H27	424	19	154	559	32	0	0	0	0	0	3	0	96
11	H28	0	0	0	0	>999	0	0	0	0	0	0	0	0
12	H41	2260	427	1163	2995	33	0	0	0	0	0	4	3	0
13	H42	45	12	162	196	332	0	0	0	0	0	2	14	2
14	H43	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
15	H47	304	95	15	224	-26	0	0	0	0	0	0	0	27
16	H48	15	0	12	27	83	0	0	0	0	0	0	0	0
17	H61	13122	2178	254	11198	-15	0	0	0	0	0	0	0	0
18	H62	833	64	969	1738	109	0	0	0	0	0	0	0	0

Figuur 3-18: Uitsnede van het bestand 'P_kruistabel.csv', waarin kan worden onderzocht welke verschillen per ecotoopgroep zijn opgetreden tussen de referentiesituatie en het scenario.

4 Gebruikshandleiding

Dit hoofdstuk is een soort ‘knoppenhandleiding’ die de gebruiker stap voor stap door de verschillende opties van de gebruikersschil van WWN leidt. Voor achtergrond en duiding wordt verwezen naar de bijbehorende onderdelen in Hoofdstuk 2 (theorie) en 3 (toepassing en interpretatie). Als voorbeeld is het gebied rond de Overijsselse Vecht genomen, dat met de installatie van WWN is meegeleverd.

4.1 Benodigde invoer en opmaak

Om berekeningen met WWN te kunnen uitvoeren, dient de gebruiker een aantal kaarten zelf aan te leveren in het juiste formaat. WWN accepteert alleen kaarten in een resolutie van 25x25 m. In vrijwel alle gevallen dienen dit ASCII-rasterbestanden te zijn (.asc), hoewel hydrologische invoer (GxG en kwel) ook IDF-bestanden kunnen zijn (een format van iMOD). De benodigde invoerkaarten kunnen sinds kort ook (voor meerdere scenario's) eenvoudig en automatisch worden uitgesneden tot het modelgebied en naar de juiste resolutie worden aangepast, wat veel voorwerk bespaart. Daarnaast kunnen andere bestandsformaten ingelezen worden (bijvoorbeeld GeoTif). Zie **Bijlage II** voor meer informatie over deze *batch processing tool* waarmee WWN met behulp van een Excel-bestand en een script kan worden aangestuurd buiten de gebruikersschil om.

De oorsprong van het raster (*xllcorner* en *yllcorner*) dient een veelvoud van 25 te bedragen. Een voorbeeld van een correcte header van een ASCII-bestand is bijvoorbeeld:

<code>ncols</code>	<code>1512</code>
<code>nrows</code>	<code>1044</code>
<code>xllcorner</code>	<code>205900</code>
<code>yllcorner</code>	<code>436200</code>
<code>cellsize</code>	<code>25</code>
<code>NODATA_value</code>	<code>-9999</code>

Een verkeerde oorsprong is bijvoorbeeld *xllcorner* = 205913.

Voor de initialisatie (paragraaf 4.4) moet de gebruiker twee kaarten aanleveren:

- 1 Een met de ligging van het te modelleren gebied (bijvoorbeeld: *NODATA_value* = 0, modelgebied = 1 of iedere waarde anders dan *NODATA_value*).
TIP: hiervoor kan ook een van een van de hydrologische kaarten worden gebruikt (zie punt 4 en 5), als deze kaarten overeenkomen met het door te rekenen gebied;
- 2 Een kaart met de ligging van natuurgebieden. Standaard wordt met WWN de kaart van Subsiestelsel Natuur en Landschap (SNL) uit 2013 meegeleverd (*nbp2013_25.asc*), die basisinformatie bevat voor de natuurbeheerplannen van de Provincies, relevant in relatie tot de SNL-subsidieverstrekking. U kunt hier echter ook zelf een kaart koppelen, bijvoorbeeld een kaart met beheertypen of een ambitiekaart.

Daarnaast heeft WWN ook ruimtelijke informatie nodig over grondgebruik (LGN), bodemsoort, bodemfysische eenheden (BOFEK), klimaatdistricten, kwelkwaliteit en stikstofdepositie. Deze landelijke kaarten worden standaard ingeladen.

Om berekeningen uit te voeren (Run – paragraaf 4.5) zijn een aantal andere kaarten nodig:

- 3 Kaart met natuurdoelen (beheertypen, natuurdoeltypen, habitattypen, plantengemeenschappen, etc.). In deze kaart zijn de polygonen van de kaartvlakken met cijfers aangegeven. WWN heeft vervolgens een legenda nodig die de nummers in de kaart koppelt aan de vegetatietypen. Dit moet een csv-bestand zijn (scheidingstekens een

komma of een puntkomma). Voorbeeld:

ID, Code

1, 42AA01

2, 12AA01

3, 11AA02

- 4 Grondwaterdynamiek (GxG – zie ook het kader op pagina 10). Het gaat om kaarten met de Gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), Gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG), Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), en Gemiddelde Grondwaterstand (GG). Hiervoor worden doorgaans resultaten van een grondwatermodel gebruikt. De gegevens dienen in meter beneden maaiveld (m-mv) te worden aangeleverd;
- 5 Kwelflux, in mm/dag. Positieve waarden zijn kwel, negatieve waarden zijn wegzijging.

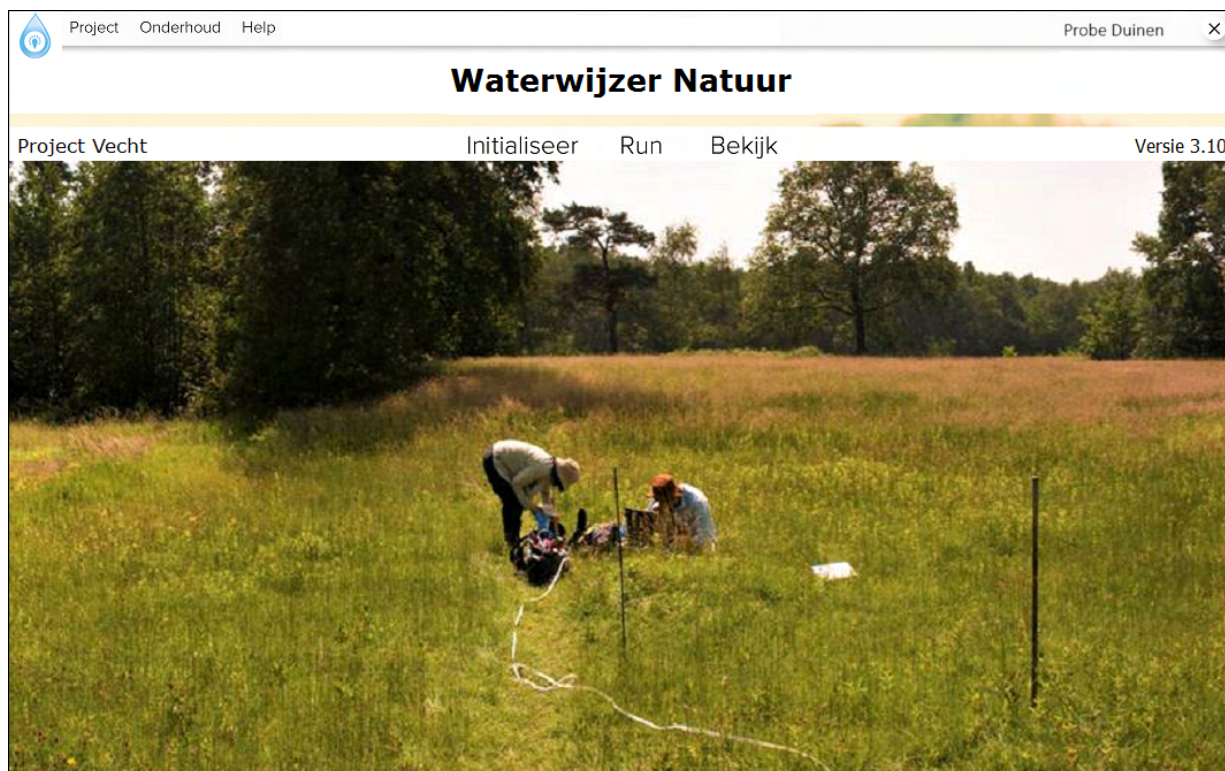
'Quick start'

Onderstaande workflow kunt u doorlopen aan de hand van een voorbeeld dat is meegeleverd met de installatie. Zo kunt u WWN verkennen zonder te beschikken over eigen invoer. De benodigde bestanden zijn te vinden in de WWN map ...\\user\\Vecht\\Gebied .

4.2 Startscherm

Na installatie start u WWN via de *WaterWijzerNatuur.exe*. Op het startscherm staan drie opties:

- 6 **Initialiseer**. Deze optie moet u doorlopen voordat u voor een nieuw gebied modelberekeningen kunt doen. Hierin worden een aantal geografische bestanden voor het modelgebied geselecteerd. Zie verder paragraaf 4.4.
- 7 **Run**. Hierin worden de berekeningen uitgevoerd. Zie verder paragraaf 4.5.
- 8 **Bekijk**. Hier kunt u na de initialisatie de invoerbestanden controleren en na de modelberekeningen de resultaten in de vorm van kaarten en tabellen bekijken. Zie paragraaf 4.6.



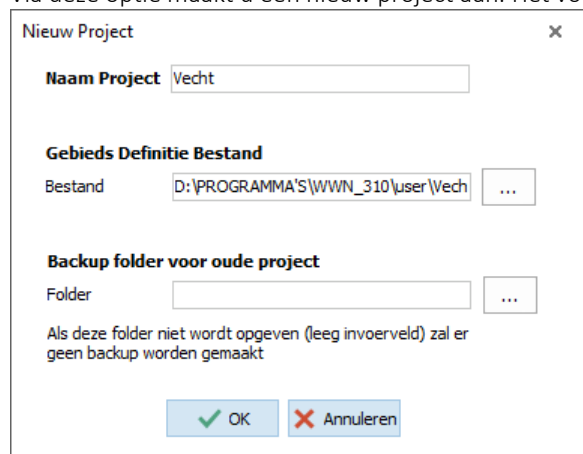
Naast deze drie opties vindt u linksboven in het startscherm nog drie tabbladen:

- 9 **Project.** Hier kunt u nieuwe projecten starten en bestaande projecten laden en opslaan. Dit onderdeel wordt nader uitgelegd in paragraaf 4.3.
- 10 **Onderhoud.** U vindt hier drie opties:
- Open de Waterwijzer Natuur folder in Windows Explorer:** klik hierop om door de map te bladeren waarin WWN is geïnstalleerd. Hier zijn bijvoorbeeld meegeleverde geografische kaarten en logbestanden te vinden.
 - Zet Waterwijzer Natuur taal:** hier kunt u desgewenst de taal van de gebruikersschil op Engels instellen.
 - Beheermodus:** deze optie is alleen toegankelijk voor de systeembeheerder.

4.3 Tabblad 'Project'

Nieuw project

Via deze optie maakt u een nieuw project aan. Het volgende schermje verschijnt:



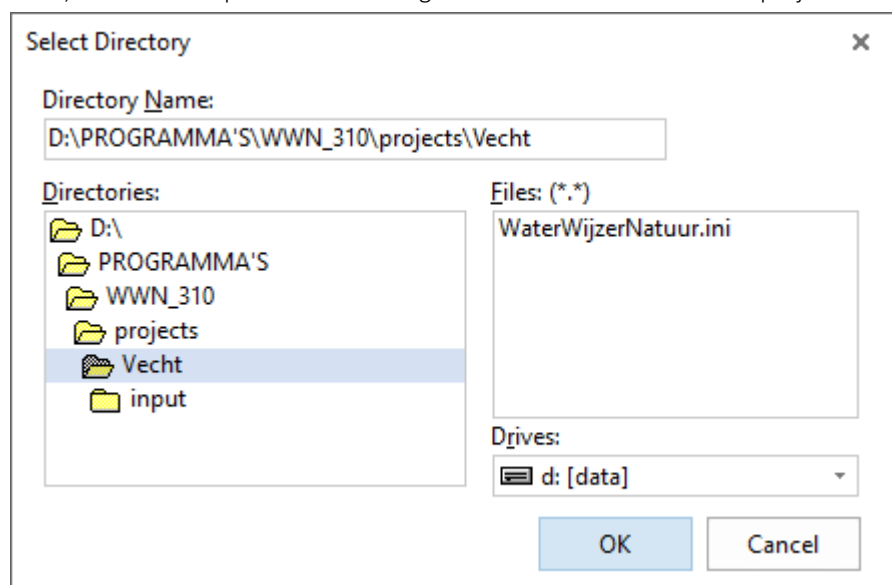
The 'Nieuw Project' dialog box contains the following fields and controls:

- Naam Project:** A text input field with the value 'Vecht'.
- Gebieds Definitie Bestand:** A section header.
- Bestand:** A text input field with the value 'D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Vech' and a browse button '...'.
- Backup folder voor oude project:** A section header.
- Folder:** A text input field and a browse button '...'.
- Als deze folder niet wordt opgegeven (leeg invoerveld) zal er geen backup worden gemaakt**
- Buttons:** 'OK' (green checkmark) and 'Annuleren' (red X).

Vul de projectnaam in bij 'Naam Project'. Navigeer bij 'Gebieds Definitie Bestand' naar een kaart die de ligging van uw modelgebied aangeeft (zie paragraaf 4.1 voor technische uitleg). Onder 'Backup folder voor oude project' kiest u de locatie op uw computer waar WWN het project moet opslaan dat momenteel geladen is. Laat u dit leeg, dan wordt er geen back-up gemaakt. Nadat u op 'OK' hebt geklikt, begint direct de initialisatie van het project (zie paragraaf 4.4).

Bewaar project

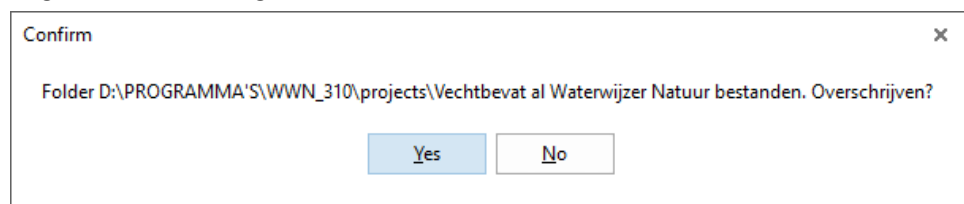
Om een nieuw project voor het eerst op te slaan, of om nieuwe modelresultaten van het geopende project op te slaan, kiest u deze optie. Blader vervolgens naar de locatie waar u het project wilt opslaan:



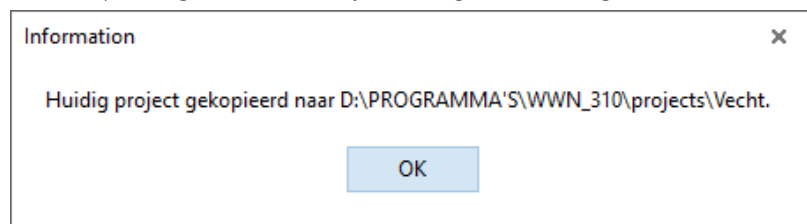
The 'Select Directory' dialog box contains the following elements:

- Directory Name:** A text input field with the value 'D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\projects\Vecht'.
- Directories:** A list box showing the directory structure: D:\, PROGRAMMA'S, WWN_310, projects, Vecht (selected), and input.
- Files: (*.*)** A list box showing the file 'WaterWijzerNatuur.ini'.
- Drives:** A dropdown menu showing 'd: [data]'.
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel'.

Door naar een map te bladeren en bij 'Directory Name' een nieuwe mapnaam in te tikken, wordt de nieuwe map automatisch aangemaakt. Klik 'OK'. Bevat de gekozen map al een eerdere versie van het project, dan verschijnt de volgende waarschuwing:

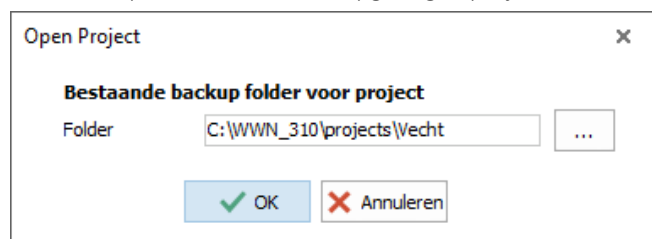


Als het opslaan gelukt is, verschijnt de volgende melding:



Open project

Kies deze optie om een eerder opgeslagen project te laden. Het volgende schermje verschijnt:



Blader hier naar het project dat u wilt openen, of tik het in de regel naast 'Folder'. Door een eerder opgeslagen project in te laden wordt het project dat momenteel is geladen verwijderd, tenzij u dat van tevoren opslaat via 'Bewaar project' (zie boven). U krijgt hierover eerst een waarschuwing.

4.4 Initialisatie

Om WWN te kunnen draaien, zijn ruimtelijke invoergegevens nodig. Dit moeten in vrijwel alle gevallen ASCII-bestanden zijn met een resolutie van 25x25 m zijn (zie paragraaf 4.1). Tijdens de initialisatie laadt u de juiste invoergegevens in. Nadat u een nieuw project hebt aangemaakt, of nadat u op 'Initialiseer' hebt geklikt, verschijnt onderstaand scherm.

Initialisatie van Probe en Waternood

Naam voor project
 Vecht Initialisatie aan een vegetatiekaart of remote sensing beelden

Bestand voor modelgebied
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\user\Doorn\Gebied\modelgebied_Doorn4.asc ...

☐ Rekenen met landelijk hydrologische schatting GHG en GLG?

Natuurgebieden
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\Netherlands\rasters\nbp2013_25.asc ...

Invoerbestanden (alleen te wijzigen in overleg)

Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN)
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\Netherlands\rasters\lgn6.asc ...

Bodemkaart
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\Netherlands\rasters\bodem25.asc ...

Bodem Fysische Eenheden
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\Netherlands\rasters\bofek2012v2new.asc ...

Klimaat Districten
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\Netherlands\rasters\5districten25m.asc ...

Kwelkwaliteitskaart
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\Netherlands\rasters\kwelkaart_INT1U.asc ...

Depositie NH3-N en NOx-N
 D:\PROGRAMMA\S\WWN_310\Netherlands\rasters\depo_n_201925.asc ...

Extraheer

Als gebruiker moet u in de initialisatie twee kaarten zelf aanleveren:

- 1 Een kaart van het modelgebied. Deze kaart is in principe al gekoppeld bij het aanmaken van een nieuw project (zie paragraaf 4.3), maar kan hier nog worden gewijzigd;
- 2 Een kaart met de ligging van natuurgebieden.

Tevens maakt WWN gebruik van ruimtelijke informatie die standaard worden meegeleverd:

- Landgebruik op basis van de kaart Landelijk Grondgebruik Nederland voor de periode 2007-2008 (LGN6)⁷. Deze kaart heeft een resolutie van 25x25 m en een onderverdeling in 39 landgebruiksklassen;
- Bodemkaart van Nederland⁸, schaal 1:50.000;
- Bodemfysische schematisatie van Nederland (BOFEK2012) (Wösten et al., 2012);
- Indeling van Nederland in vijf klimaatdistricten (Bijlage IV in Witte et al., 2018);
- Kwelkwaliteitskaart met informatie over de kwaliteit van het grondwater dat richting de wortelzone wordt aangevoerd (Nijp et al., 2019);
- Kaart van de atmosferische stikstofdepositie, afgeleid uit de Grootschalige Depositiekaart Nederland (GDN) van het RIVM⁹ voor het jaar 2019;

Deze landelijke kaarten worden standaard ingeladen en bijgesneden tot het modeldomein, en kunnen niet door de gebruiker zelf worden opgegeven. Wilt u hier andere kaarten voor gebruiken, neem dan contact op met de Helpdesk van WWN¹⁰.

⁷ <https://lgn.nl/>

⁸ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek/producten-diensten/bodemkaart-van-nederland>

⁹ <https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten>

¹⁰ helpdesk_wwn@kwrwater.nl

Desgewenst kunt u de naam van het project nog aanpassen. De optie ‘Initialisatie aan een vegetatiekaart of remote sensing beelden’ is niet standaard beschikbaar; neem voor meer info contact op met de Helpdesk van WWN.

Om de initialisatie af te ronden, klikt u op ‘Extraheer’. De invoerkaarten worden nu uitgesneden tot het formaat van de kaart van het modelgebied. Bij het uitsnijden wordt gecontroleerd of het opgegeven modelgebied binnen Nederland valt en of de bestanden voldoen aan de eisen (zie paragraaf 4.1). Indien hiervan afgeweken wordt, kunt u gebruik maken van de WWN batch-aansturing (Bijlage II) om de uitlijning en resolutie aan te passen. De bolletjes rechts van de bestandsnaam kleuren groen als het uitsnijden gelukt is. Ook verschijnt onder in het scherm informatie over het proces van en uitsnijden en eventuele foutmeldingen (zie onder). Het wordt sterk aangeraden de invoerbestanden te bekijken door in het hoofdscherm op ‘Bekijk’ te klikken (paragraaf 4.6), om zo de modelinvoer te verifiëren.

Extraheer	
ASCII Grid	Ok
Pixel Grootte	25
Extent	0 300000 280000 625000 = Ok
Pixel uitlijning met LGN	Uitlijning = Ok

4.5 Berekeningen uitvoeren (Run)

Nadat de initialisatie succesvol is afgerond, start u de modelberekeningen via de knop ‘Run’. Onderstaand scherm met drie opties verschijnt:

Selecteer type berekening

Welk type berekening wilt u uitvoeren? Maak een selectie.

☒ Toetsen **Waterlood**
☐ Klimaatrobuust toetsen **Waterlood+**
☐ Voorspellen **Probe**

U kunt hier kiezen om natuurdoelen te toetsen aan hydrologische gegevens (onderdeel WATERNOOD) en om natuurdoelen te voorspellen op basis van veranderingen in hydrologie, voedselrijkdom en zuurgraad van de bodem (onderdeel PROBE). In onderstaande paragrafen wordt enkel beschreven welke handelingen u moet uitvoeren en welke gegevens u moet aanleveren om de berekeningen te kunnen doen. Achtergrondinformatie over de theorie achter WATERNOOD en PROBE vindt u in Hoofdstuk 2.

4.5.1 Natuurdoelen toetsen (WATERNOOD)

Als u kiest voor ‘Toetsen’ en dan op ‘OK’ klikt, verschijnt onderstaand invoerscherm voor de module WATERNOOD:

Bij 'Type berekening' geeft u aan of het een berekening van de referentiesituatie of een scenarioberekening is. In een referentiesituatie wordt standaard uitgegaan van het huidige klimaat en zichtjaar (1995). Een scenarioberekening kan pas worden uitgevoerd nadat eerst de referentie is berekend. Bij een scenarioberekening kunt u ervoor kiezen om bij 'KNMI klimaatscenario' een ander klimaatscenario te kiezen. Wilt u echter een scenario onder het huidige klimaat berekenen, bijvoorbeeld een hydrologisch scenario, dan kunt u het klimaatscenario terugzetten naar 'Referentie'. In de huidige versie van WWN zijn voornamelijk de KNMI klimaatscenario's uit 2014 te kiezen met de zichtjaren 1995 en 2050.

⚠ LET OP: WATERNOOD kan alleen worden ingezet om te bepalen wat de doelrealisatie is bij de huidige waterhuishouding. WATERNOOD kan niet worden ingezet om te bepalen wat bijvoorbeeld het effect van hydrologische herstelmaatregelen of klimaatverandering op natuurpotenties is. Zie paragraaf 3.4.2 voor meer informatie hieromtrent. Het gebruik van klimaatscenario's in WATERNOOD-berekeningen, ondanks de mogelijkheid hiertoe in de gebruikersschil, wordt zodoende sterk afgeraden.

Bij ‘drempelwaarde kwelinvloed’ stelt u een drempel in waarboven kwelinvloed mag worden aangenomen (mm/d). Dit stelt WATERNOOD in staat om te toetsen op doelrealisatie voor kwel. Hiertoe dient u als gebruiker wel zelf aan te geven of natuurdoelen gevoelig zijn voor kwel. Open hiervoor in de WWN-kaartviewer de tabel ‘KnikpuntenWaternood.csv’. Een uitsnede van de tabel is hieronder weergegeven:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	TYPE	OMSCHRIJF	GVG_A1	GVG_B1	GVG_B2	GVG_A2	GLG_A1	GLG_B1	GLG_B2	GLG_A2	DSTRESS_1	DSTRESS_2	DSTRESS_3	DSTRESS_4	KWELAFH	OVERSTRA	ORIGIN
1898	N06.02	'Trilveen'	-15	-10	3	10	-999	-999	20	45	0	0	0	0	0	0	0 WATERNOOD
1899	N06.03	'Hoogveen'	-150	-105	10	20	-999	-999	40	60	0	0	0	0	0	0	0 WATERNOOD
1900	N06.04	'Vochtige heide'	-20	-10	35	50	0	0	0	0	-999	-999	28	35	0	0	0 WATERNOOD
1901	N06.05	'Zwakgebufferd ven'	-999	-999	25	40	-999	-999	40	80	0	0	0	0	0	0	0 WATERNOOD
1902	N06.06	'Zuur ven of hoogveenven'	-999	-999	25	40	-999	-999	30	60	0	0	0	0	0	0	0 WATERNOOD
1903	N07.01	'Droge heide'	40	60	999	999	0	0	0	0	10	20	999	999	0	0	0 WATERNOOD
1904	N07.02	'Zandverstuiving'	70	90	999	999	0	0	0	0	25	45	999	999	0	0	0 WATERNOOD
1905	N09.01	'Schor of kwelder'	-25	-13	38	50	0	0	0	0	-999	-999	5	20	0	0	0 WATERNOOD
1906	N10.01	'Nat schraalland'	-20	-10	38	50	0	0	0	0	-999	-999	28	35	0	0	0 WATERNOOD
1907	N10.02	'Vochtig hooiland'	-25	-13	45	60	0	0	0	0	-999	-999	38	45	0	0	0 WATERNOOD
1908	N11.01	'Droog schraalland'	-10	10	999	999	0	0	0	0	0	9	999	999	0	0	0 WATERNOOD
1909	N12.01	'Bloemdijk'	-20	-3	999	999	0	0	0	0	0	9	38	45	0	0	0 WATERNOOD
1910	N12.02	'Kruiden- en faunarijck grasland'	-20	-3	999	999	0	0	0	0	2	10	38	45	0	0	0 WATERNOOD
1911	N12.03	'Glanshaverhooiland'	15	25	999	999	0	0	0	0	0	9	38	45	0	0	0 WATERNOOD

Deze tabel bevat onder andere de knikpunten (A1, B1, B2, A2) die voor de GVG, GLG en DS beschikbaar zijn (zie paragraaf 2.1). Vul in kolom O ('KWELAFH') een 1 in voor alle (sub)associaties die kwelafhankelijk zijn.

Bij 'Bestand Vegetatietypen' koppelt u een kaart met de ligging van vegetatietypen waaraan WATERNOOD zal toetsen. Dit kunnen zowel habitattypen als beheertypen zijn (zie paragraaf 4.1). Het tekstbestand met de legenda geeft u in bij 'Legenda Vegetatietypen'.

Tot slot definieert u de hydrologische invoerbestanden (de uitvoer van een grondwatermodel in de vorm van GxG en kwel) via de knop 'Specificeer hydrologische invoer' (zie paragraaf 4.1). Het volgende scherm verschijnt:

Invoer Hydrologie

Scenario

Gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Wacht\Huidig\GHG.asc

Gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Wacht\Huidig\GLG.asc

Gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Wacht\Huidig\GVG.asc

Gemiddelde Grondwaterstand (GG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Wacht\Huidig\GG.asc

Kwel bestand
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Wacht\Huidig\Seepage.asc

Bereken Scenario GG

Controleer en extraheer hydrologische bestanden

Voor gegevens over de grondwaterdynamiek (GxG) dient u minimaal een kaart voor de GHG, GLG en GVG aan te leveren (zie ook het kader op pagina 10). Idealiter is ook de GG beschikbaar als uitvoer van grondwatermodellen. Als dat niet het geval is, kan deze ook worden berekend met de knop 'Bereken Scenario GG'. Bij die optie berekent WWN de GG door het gemiddelde te nemen tussen de GHG en de GLG. Er verschijnt een extra schermje waar u moet aangeven waar de te berekenen GG-kaart moet worden opgeslagen en onder welke naam. Vervolgens wordt deze kaart automatisch ingevuld bij 'Gemiddelde Grondwaterstand (GG)'. Tot slot laadt u een kaart met informatie over kwel en wegzijging. Door te klikken op 'Controleer en extraheer hydrologische bestanden' worden de kaarten uitgesneden tot de omvang van het modelgebied. Indien de kaarten niet overlappen, verschijnt de melding dat één of meer invoerbestanden buiten het modelgebied vallen, met het verzoek om dit te corrigeren. Het wordt sterk aangeraden om via 'Bekijk' in het startscherm te controleren of de hydrologische invoer correct is (GxG in m-mv, met natte locaties blauw en droge locaties rood; kwel/wegzijging in mm/d; kwel = positief).

Klik vervolgens op 'Run Waternood' om de modelberekeningen te starten. Er verschijnt een melding als de berekeningen succesvol zijn afgerond. Vervolgens kunt u desgewenst nog een scenarioberekening uitvoeren. De resultaten van de berekeningen kunt u inzien via 'Bekijk' (paragraaf 4.6).

De optie ‘Klimaatrobuust toetsen’ (WATERNOOD+) leidt naar een alternatieve, klimaatrobuuste versie van WATERNOOD. Uitleg hierover vindt u in paragraaf 2.1 (beknopt) en in Witte et al. (2018). Het invoerscherm en de benodigde invoergegevens zijn vergelijkbaar met WATERNOOD.

4.5.2 Voorspellen vegetatie (PROBE)

Als u onder ‘Run’ kiest voor ‘Voorspellen’, start u de module PROBE. Onderstaand scherm verschijnt:

Bij ‘Type berekening’ geeft u aan of het een berekening van de referentiesituatie of een scenarioberekening is. In een referentiesituatie wordt standaard uitgegaan van het huidige klimaat en zichtjaar (1995). Een scenarioberekening kan pas worden uitgevoerd nadat eerst de referentie is berekend. Bij een scenarioberekening kunt u ervoor kiezen om bij ‘KNMI klimaatscenario’ een ander klimaatscenario te kiezen. Wilt u echter een scenario onder het huidige klimaat berekenen, bijvoorbeeld een hydrologisch scenario, dan kunt u het klimaatscenario terugzetten naar ‘Referentie’. In de huidige versie van WWN zijn vooralsnog de KNMI klimaatscenario’s uit 2014 te kiezen met de zichtjaren 1995 en 2050. Uitbreiding met nieuwe klimaatscenario’s en meer zichtjaren wordt in de volgende versie voorzien.



LET OP: zodra u opnieuw een referentieberekening doet, worden alle resultaten van PROBE verwijderd, inclusief reeds uitgevoerde scenarioberekeningen, om zodoende verwarring te voorkomen.

Bij ‘Vegetatiestructuur’ kiest u of de kansrijkdom wordt berekend voor korte vegetaties, houtige vegetaties, of de vegetatiestructuur volgens de landgebruikskaart. Bij ‘Natuurwaarderingmethode’ kunt u kiezen uit drie

verschillende methodes om natuurwaardering per ecotoopgroep te bepalen: Aantal rode-lijstsoorten, Methode Gelderland, of Methode DEMNAT (meer uitleg over natuurwaardering kunt u vinden in paragraaf 2.2.4 en 3.5.4).

Bij 'Depositiefactor' kunt u bij scenarioberekeningen aangeven in hoeverre de stikstofdepositie in het scenario afwijkt ten opzichte van de referentiesituatie.

Hydrologische invoerbestanden (GxG en kwel) worden gekoppeld via de knop 'Specificeer hydrologische invoer'. Dit is alleen noodzakelijk indien u de module 'Toetsen (WATERNOOD)' niet heeft gedraaid. Na een klik op de knop verschijnt het volgende scherm:

Invoer Hydrologie

Scenario

Bereken Scenario GG

Gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Vecht\Huidig\GHG.asc

Gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Vecht\Huidig\GLG.asc

Gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Vecht\Huidig\GVG.asc

Gemiddelde Grondwaterstand (GG)
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Vecht\Huidig\GG.asc

Kwel bestand
D:\PROGRAMMA'S\WWN_310\user\Vecht\Huidig\Seepage.asc

Controleer en extraheer hydrologische bestanden

Voor gegevens over de grondwaterdynamiek (GxG - zie ook het kader op pagina 10) dient u minimaal een kaart voor de GHG, GLG en GVG aan te leveren. Idealiter is er ook de GG beschikbaar, maar dit kan ook worden berekend via de knop 'Bereken Scenario GG'. Bij die optie berekent WWN de GG door het gemiddelde te nemen tussen de GHG en de GLG. Er verschijnt een extra schermje waar u moet aangeven waar de te berekenen GG-kaart moet worden opgeslagen en onder welke naam. Vervolgens wordt deze kaart automatisch ingevuld bij 'Gemiddelde Grondwaterstand (GG)'. Tot slot koppelt u een kaart met informatie over kwel en wegzijging. Door te klikken op 'Controleer en extraheer hydrologische bestanden' worden de kaarten uitgesneden tot de omvang van het modelgebied. Indien de kaarten niet overlappen, verschijnt er een foutmelding. Het wordt sterk aangeraden om via 'Bekijk' in het startscherm te controleren of de hydrologische invoer correct is (GxG in m-mv, met natte locaties blauw en droge locaties rood; kwel/wegzijging in mm/d; kwel = positief).

De knop 'Vegetatietypologie', waarmee geschakeld kan worden tussen bijvoorbeeld voorspelling van Habitattypen, Beheertypen, of ecotoopgroepen, is in de huidige WWN-versie niet beschikbaar. Neem hiervoor contact op met de WWN Helpdesk¹¹.

Door op 'Run Probe' te klikken start u de modelberekeningen. De bolletjes linksonder in het scherm kleuren groen wanneer de deelprogramma's voltooid zijn (en rood als een van de onderdelen vastloopt). De berekeningsresultaten kunt u inzien via 'Bekijk' in het hoofdscherm (zie paragraaf 4.6).

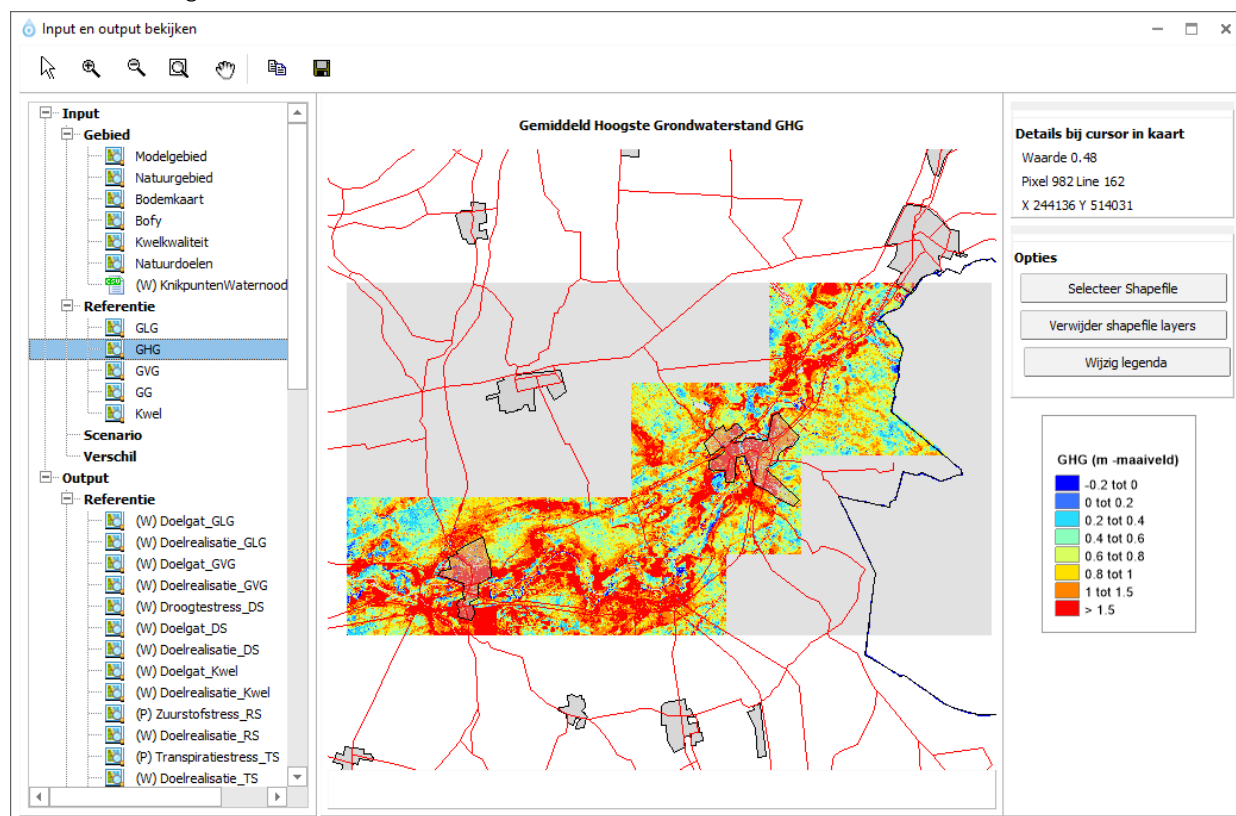
⚠ LET OP: hoewel het in principe mogelijk is om de voorspellingsmodule PROBE te draaien zonder eerst de toetsingsmodule WATERNOOD te hebben gedraaid, leidt dit ertoe dat niet alle PROBE-resultaten worden gegenereerd. Voor het berekenen van de doelrealisatie moet PROBE namelijk toetsen aan natuurdoeltypen, waarvoor een invoerkaart inclusief legenda nodig is (voor meer uitleg, zie paragraaf 4.1). Deze invoerkaart kan in de huidige versie van WWN enkel worden opgegeven in de module WATERNOOD. Wanneer u eerst WATERNOOD draait en vervolgens PROBE, wordt de kaart met natuurdoeltypen gekoppeld en kan PROBE volledig worden doorerekend.

¹¹ Helpdesk_WWN@kwrwater.nl

4.6 Visualisatie

WWN is voorzien van een eenvoudige GIS-viewer, die is bedoeld om invoerbestanden en resultaten van berekeningen snel in te zien en te verifiëren. Alle geproduceerde kaarten worden tevens als ASCII-bestanden opgeslagen in de mappen 'input' en 'output' binnen de WWN-map, zodat u ze desgewenst zelf in uw favoriete GIS-applicatie kunt visualiseren.

Door in het hoofdscherm op 'Bekijk' te klikken, komt u in de GIS-viewer waarin u de invoer en resultaten van de modelberekeningen kunt zien:



In het linker paneel kunt u de verschillende kaarten en ook enkele tabellen aanklikken om te bekijken. Onder 'Input' vindt u de invoergegevens zoals die tijdens de initialisatie en voorafgaand aan de rekenmodules zijn opgegeven. Indien u met WATERNOOD en/of PROBE verschillende hydrologische scenario's hebt gedraaid, zijn ook verschilkaarten tussen referentie en scenario in te zien.

Onder 'Output' vindt u alle resultaten van de modelberekeningen. Resultaten van de toetsingsmodule WATERNOOD zijn aangeduid met '(W)', resultaten van de voorspellingsmodule zijn aangeduid met '(P)'. Tabel 4-1 geeft een korte beschrijving van de resultaatkaarten, de module waaruit de kaart voortkomt en een verwijzing naar het onderdeel in Hoofdstuk 3 waar de kaart nader wordt toegelicht en geïnterpreteerd.

Wanneer u met de cursor over de kaart beweegt, kunt de celwaarde van de actieve kaart aflezen aan de rechterkant van het scherm onder 'Details bij cursor in kaart'. Als u op een punt in de kaart klikt, verschijnt er een pop-up met informatie over de invoergegevens op die locatie. Aan de rechterkant van het scherm wordt automatisch de legenda getoond van de actieve kaart, die u handmatig kunt verplaatsen. Desgewenst kunt u de opmaak en indeling van de legenda aanpassen via de knop 'Wijzig legenda'. Met de knoppen 'Selecteer Shapefile' en 'Verwijderen shapefile-layers' kunt u eventueel wijzigingen aanbrengen in de achtergrondkaarten. We raden echter af om hierin veranderingen aan te brengen; andere GIS-software heeft hiervoor meer en betere mogelijkheden. De GIS-viewer is hoofdzakelijk bedoeld om invoer en resultaten snel te bekijken.

Tabel 4-1: Beschrijving van de gegenereerde uitvoer van de modelberekeningen van WWN.

Kaart	Module	Beschrijving
Doelgat_GLG	W	De verhoging of verlaging (cm) van de GLG die minimaal nodig is om precies op 100% doelrealisatie van de GLG te komen
Doelrealisatie_GLG	W, W+	Doelrealisatie GLG (%)
Doelgat_GVG	W	De verhoging of verlaging (cm) van de GLG die minimaal nodig is om precies op 100% doelrealisatie van de GLG te komen
Doelrealisatie_GVG	W	Doelrealisatie GVG (%)
Droogtestress_DS	W	Droogtestress, uitgedrukt in het aantal dagen per jaar dat een zuigspanning van 120 m in de wortelzone wordt overschreven
Doelgat_DS	W	Het aantal dagen dat DS moet worden verhoogd of verlaagd om op 100% doelrealisatie van DS te komen.
Doelrealisatie_DS	W	Doelrealisatie droogtestress (%)
Doelgat_Kwel	W	De verhoging of verlaging van de kwelintensiteit (mm/d) die minimaal nodig is om precies op 100% doelrealisatie van kwel te komen
Doelrealisatie_Kwel	W, W+	Doelrealisatie kwel (%)
Zuurstofstress_RS	W+, P	Zuurstofstress in de wortelzone (RS, respiratiestress) (g O ₂ /m ² /10d)
Doelrealisatie_RS	W+	Doelrealisatie zuurstofstress (%)
Transpiratiestress_TS	W+, P	Transpiratiestress in de wortelzone (TS) (mm H ₂ O/10d)
Doelrealisatie_TS	W+	Doelrealisatie Transpiratiestress (%)
Doelrealisatie_Totaal	W, W+	Totale doelrealisatie (%), verkregen door alle afzonderlijke doelrealisaties te vermenigvuldigen. WATERNOOD: GLG, GVG, DS en kwel; WATERNOOD+: GLG, RS, TS en kwel
Doelrealisatie_MaximaalHaalbaar	W	Maximaal haalbare totale doelrealisatie (%) per vegetatievlak, gegeven de heterogeniteit in maaiveldhoogte die binnen de kaartvlakken van natuurdoelen voorkomt
Doelrealisatie_Geschaald	W	Relatieve totale doelrealisatie (%), waarin de totale doelrealisatie (Doelrealisatie_Totaal) is geschaald naar de maximaal haalbare totale doelrealisatie (Doelrealisatie_MaximaalHaalbaar) (waarden >100% afgerond naar 100)
Doelrealisatie_Probe	P	Totale kansrijkdom/doelrealisatie op basis van de kansrijkdomkaarten (%)
PH	P	Zuurgraad (pH(H ₂ O))

Nmin	P	Jaarlijks gemineraliseerde stikstof in de wortelzone (kg N/ha/jr)
Kansrijkdom XXX	P	Voorspelde kansrijkdom (%) voor het betreffende vegetatietype
ProbeKlassen	P	Voorspelde vegetatiekaart, waarbij iedere rekencel is geclassificeerd naar het vegetatietype dat de hoogste kansrijkdom heeft (waarde is te vinden in kaart MaximaleKansrijkdom)
MaximaleKansrijkdom	P	De hoogste kansrijkdom (%) per rekencel van alle gemodelleerde vegetatietypen
Natuurwaarden	P	De natuurwaarde die alle vegetatietypen tezamen vertegenwoordigen (0-100)
Oppervlakten	P	Tabel (csv) met de oppervlakte van ieder vegetatietype, uitgedrukt in aantal rastercellen, en de gesommeerde natuurwaarde van ieder type
VeranderingNatuurwaarden	P	Verandering in natuurwaarde (%) van alle vegetatietypen tezamen tussen de referentie en het berekende scenario
Verandering XXX	P	Verschil in kansrijkdom (%) tussen de referentie en het berekende scenario.
dPH	P	Verandering in pH(H ₂ O) tussen de referentie en het berekende scenario
dNmin	P	Verandering in jaarlijks gemineraliseerde stikstof in de wortelzone (Nmin – kg N/ha/jr) tussen de referentie en het berekende scenario
Kruistabel	P	Kruistabel (csv) van de verandering van vegetatietypen tussen de referentie en het berekende scenario, uitgedrukt in zowel het aantal cellen als het percentage

5 Literatuurlijst

- Aggenbach, C. J. S., Clevers, S. H. P., de Wit, J. A., & Krajenbrink, H. J. (2020). *Evaluatie van effecten begrazing van damherten op duingraslanden in de Luchterduinen* (KWR 2020.042). KWR, Nieuwegein.
- Bartholomeus, R. P., & Witte, J. P. M. (2013). *Ecohydrological Stress – Groundwater To Stress Transfer. Theory and manual version 2.0* (KWR 2013.088). KWR, Nieuwegein.
<https://library.kwrwater.nl/publication/97023/ecohydrological-stress-groundwater-to-stress-transfer/>
- Bartholomeus, R. P., Witte, J. P. M., van Bodegom, P. M., & Aerts, R. (2008a). The need of data harmonization to derive robust empirical relationships between soil conditions and vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 19(6), 799-808. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-51249102830&partnerID=40&md5=188e4933abba74389019fabfbce21352>
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/46838071>
- Bartholomeus, R. P., Witte, J. P. M., van Bodegom, P. M., van Dam, J. C., & Aerts, R. (2008b). Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes-function by a process-based model. *Journal of Hydrology*, 360(1-4), 147-165. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.029>
- 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. *Journal of Geophysical Research*, 116. <https://doi.org/10.1029/2011jg001693>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.01.009>
- Cirkel, D. G., Witte, J. P. M., van Bodegom, P. M., Nijp, J. J., & van der Zee, S. E. A. T. M. (2014). The influence of spatiotemporal variability and adaptations to hypoxia on empirical relationships between soil acidity and vegetation. *Ecohydrology*, 7(1), 21-32. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84892481402&partnerID=40&md5=96ac2e9ca8c20deaea3ba9ed36b80b13>
- Clevers, S. H. P., & Nijp, J. J. (2023). *Klimap - Klimaatadaptatie in de praktijk, Een toepassing van de Waterwijzer Natuur op stroomgebied Chaamse Beken (OPENBAAR)* (KWR 2023.024). KWR, Nieuwegein.
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/Open/70628104>
- de Haan, M. W. A., Runhaar, J., & Cirkel, D. G. (2010). *Waterlood Kansrijkdommodule; Pilotstudie in Noord-Nederland en toepassing voor vervaardiging waterkansenkaarten voor natuur* (KWR 2010.106). KWR, Nieuwegein.
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202011/STOWA%202011-17.pdf>
- Fujita, Y., van Bodegom, P. M., Olde Venterink, H., 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, 302-312. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.12.013>
- Heinen, M., Mulder, M., van Dam, J., Bartholomeus, R., de Jong van Lier, Q., de Wit, J., de Wit, A., & Hack-ten Broeke, M. J. D. (2024). SWAP 50 years: Advances in modelling soil-water-atmosphere-plant interactions. *Agricultural Water Management*, 298, 108883. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108883>
- Hertog, A. J., & Rijken, M. (1992). *Geautomatiseerde bepaling van natuurbehoudswaarde in vegetatieopnamen*. Provincie Gelderland, Arnhem.
- Nijp, J. J., Bartholomeus, R. P., de Wit, J. A., Clevers, S. H. P., Dorland, E., Reinds, G. J., Kros, H., Fujita, Y., Hoefsloot, P., & Witte, J. P. M. (2022). *Waterwijzer Natuur - Fase 3: Klimaatrobuuste modellering van effecten van zuur- en stikstofdepositie op natuur* (STOWA 2022-08).
<https://library.kwrwater.nl/publication/86900/waterwijzer-natuur-fase-3-klimaatrobuuste-modellering-van-effecten-van-zuur-en-stikstofdepositie-op-natuur/>
- Nijp, J. J., de Wit, J. A., & Witte, J. P. M. (2023). *Karakterisering van het grondwaterregime voor ecohydrologische toepassingen – een verkenning* (BTO 2023.058). KWR, Nieuwegein.
<https://library.kwrwater.nl/publication/70851869/karakterisering-van-het-grondwaterregime-voor-ecohydrologische-toepassingen-een-verkenning/>
- Nijp, J. J., Kros, J., Walvoort, D. J. J., & Witte, J. P. M. (2019). *Nationale kwelkwaliteitskaart voor de Waterwijzer Natuur* (WR 2019.003). KWR, Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/60148876>

- Ritzema, H., Heuvelink, G., Heinen, M., Bogaart, P. W., van der Bolt, F. J. E., Hack-ten Broeke, M. J. D., Hoogland, T., Knotters, M., Massop, H., & Vroon, H. (2018). Review of the methodologies used to derive groundwater characteristics for a specific area in The Netherlands. *Geoderma regional*, 14, e00182.
- Ritzema, H. P., Heuvelink, G. B. M., Heinen, M., Bogaart, P. W., van der Bolt, F. J. E., Hack-ten Broeke, M. J. D., Hoogland, T., Knotters, M., Massop, H. T. L., & Vroon, H. R. J. (2012). *Meten en interpreteren van grondwaterstanden. Analyse van methodieken en nauwkeurigheid* (2345). Alterra, Wageningen.
- Runhaar, H., Witte, J. P. M., & van der Linden, M. (1996). Waterbeheer en Natuur. Effectenvoorspelling met het landelijke model DEMNAT. *Landschap*, 13, 65-77.
- Runhaar, J., & Hennekens, S. (2015). *Hydrologische randvoorwaarden natuur: gebruikershandleiding (Waternoodapplicatie versie 3)* (STOWA 2015-22). STOWA, KWR.
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-22.pdf>
- Runhaar, J., Kuijpers, H., Boogaard, H. L., Schouwenberg, E. P. A. G., & Jansen, P. C. (2003). *Natuurgericht Landevaluatiesysteem (NATLES) versie 2* (550). Alterra, Wageningen.
- 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(1), 12-26.
- Schaffers, A. P., & Šýkora, K. V. (2000). Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements. *Journal of Vegetation Science*, 11(2), 225-244.
<https://doi.org/10.2307/3236802>
- Schaminée, J. H. J., Haveman, R., Hommel, P. W. F. M., Janssen, J. A. M., de Ronde, I., Schipper, P. C., Weeda, E. J., van Dort, K. W., & Bal, D. (2017). *Revisie vegetatie van Nederland*. Westerlaan.
- Schaminée, J. H. J., Stortelder, A. H. F., & Westhoff, V. (1995). *De Vegetatie van Nederland; deel 1: Inleiding tot de plantensociologie - grondslagen, methoden en toepassingen*. Opulus Press.
- van der Meijden, R., Odé, B., Groen, C. L. G., Witte, J. P. M., & Bal, D. (2000). Bedreigde en kwetsbare vaatplanten in Nederland. Basisrapport met voorstel voor de Rode Lijst. *Gorteria*, 26, 85-208.
- van Ek, R., Witte, J. P. M., Mol-Dijkstra, J. P., de Vries, W., Wamelink, G. W. W., Hunink, J., van der Linden, W., Runhaar, J., Bonten, L., Bartholomeus, R., Mulder, H. M., & Fujita, Y. (2014). *Ontwikkeling van een gemeenschappelijke effect module voor terrestrische natuur* (STOWA 2014-22). STOWA, Amersfoort.
- Witte, J.-P. M., Bartholomeus, R. P., van Bodegom, P. M., Cirkel, D. G., van Ek, R., Fujita, Y., Janssen, G. M. C. 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. *Landscape Ecology*, 30, 835-854.
<https://doi.org/10.1007/s10980-014-0086-z>
- Witte, J. P. M. (1998). *National Water Management and the Value of Nature* [Landbouwniversiteit Wageningen]. Wageningen.
- Witte, J. P. M., Fujita, Y., Hoefsloot, P., Kros, J., Mol, J., & de Vries, W. (2018). *De Waterwijzer Natuur. Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur* (STOWA 2018-44). STOWA
- Witte, J. P. M., Nijp, J. J., Bartholomeus, R. P., de Wit, J. A., Kros, H., Reinds, G. J., & de Vries, W. (2020). *Modellering van de effecten van klimaat en waterbeheer op de bodem-pH met de Waterwijzer Natuur. Fase 2*. STOWA - KWR Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/86403/modellering-van-de-effecten-van-klimaat-en-waterbeheer-op-de-bodemph-met-de-waterwijzer-natuur/>
- Witte, J. P. M., & Strasser, J. T. (2010). *Geautomatiseerde waardering van vegetatieopnamen en vegetatietypen* (BTO 2010.035(s)). KWR, Nieuwegein.
- 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. *Journal of Vegetation Science*, 18(4), 605-612. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02574.x>
- Wösten, J. H. M., de Vries, F., Hoogland, T., Massop, H., Veldhuizen, A., Vroon, H. R. J., Wesseling, J., Heijkers, J., & Bolman, A. (2012). *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland* (2387). Alterra, Wageningen.

Bijlagen

I Overzicht ecotoopgroepen

Onderstaande tabel bevat de beschrijving van de 33 ecotoopgroepen (bewerkt naar Runhaar et al., 2004) die in de Waterwijzer Natuur (PROBE) wordt gehanteerd. De letters in de code 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). 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 (dijkhellingen, glanshaverhooilanden)
K48	Pioniersvegetaties en graslanden op vochtige, zeer voedselrijke bodems (akkers, bermen, fabrieksterreinen)
K61	Pioniersvegetaties en graslanden op droge, voedselarme, zure bodems (droge heiden)
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)

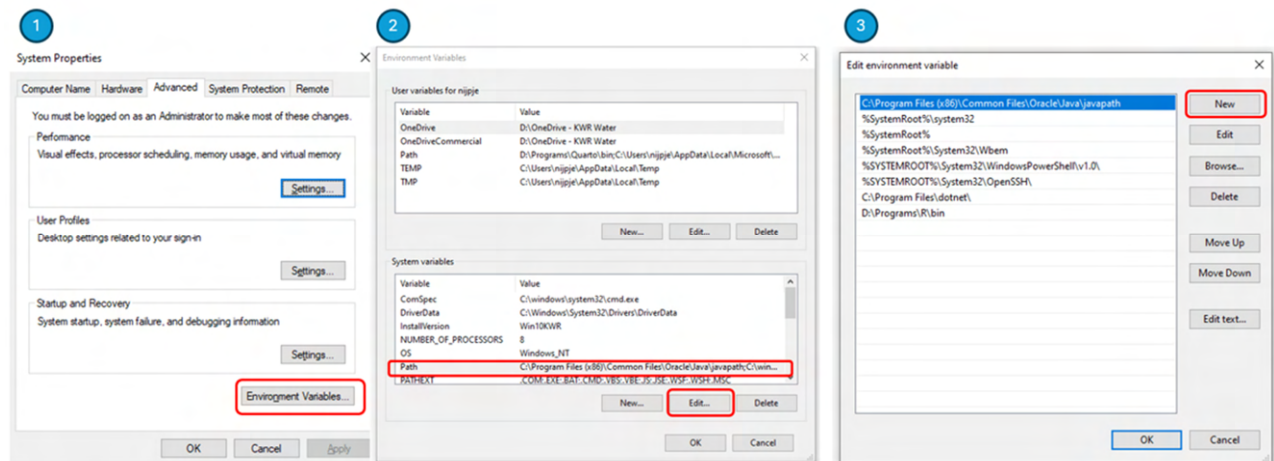
Code	Omschrijving
K67	Pioniersvegetaties, graslanden en ruigten op droge, matig voedselrijke bodems (<i>ondergroei in graanakkers, ruderaal vegetatie in droge duinen</i>)
K68	Pioniersvegetaties, graslanden en ruigten op droge, zeer voedselrijke bodems (<i>ondergroei in zwaar bemeste akkers, ruderaal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

II WWN Batch processing – een (zeer) korte handleiding

Deze bijlage beschrijft stapsgewijs hoe WWN kan worden ingezet om geautomatiseerd meerdere scenario's door te rekenen. Meer dan 250 scenario's kunnen in een Excel bestand worden gedefinieerd, die vervolgens automatisch worden aangeroepen via een apart programma (batchrunWWN.bat). De benodigde bestanden kunt u opvragen bij de WWN Helpdesk via helpdesk_wwn@kwrwater.nl.

Stap	Omschrijving
1	Installeer de R software als deze nog niet geïnstalleerd is: https://posit.co/download/rstudio-desktop/
2	Voeg R toe als systeemvariabele (PATH). Zoek hiervoor in Windows naar 'Advanced system settings', in het Nederlands op 'geavanceerde systeeminstellingen'. Klik in tabblad 'Advanced' op 'Environmental Variables' (Stap 1 in figuur volgende bladzijde). Selecteer bij system variables 'Path', en klik op Edit (Stap 2). Voeg vervolgens een nieuw pad toe: de map waarin R geïnstalleerd is. In het onderstaande voorbeeld (volgende pagina) is dat <i>D:\Programs\R\bin</i> (Stap 3). Eventueel kan getest worden of deze actie geslaagd is. Open daarvoor een Command Prompt (zoek op cmd), en voer daar de tekst ' R --version ' in. Als het pad goed is toegevoegd verschijnt hier een beschrijving van de R versie (Bijvoorbeeld 'Pile of Leaves').
3	Pak het ZIP-bestand uit in een map. Behoud te allen tijde de mappenstructuur en naamgeving van de bestanden.
4	De instellingen van de scenario's, directories, modeldomein, kunnen worden opgegeven met het Excelbestand ' <i>Input_WWN_scenarios_v03.xlsx</i> ' in de hoofdmap 'WWN_Batch_v0.3'. Volg de aanwijzingen in het Excelbestand. In dit bestand kan gekozen worden of alleen Watnood (toetsen huidige hydrologie voor referentiescenario), PROBE (voorspellen vegetatie bij veranderend waterbeheer, klimaat, en/of stikstofdepositie, of beide). <u>PAS ALLEEN DE GROENE VELDEN AAN EN VOEG GEEN RIJEN/KOLOMMEN TOE, EN VERWIJDER DEZE OOK NIET.</u> Indien dat wel gedaan wordt, doet het R-programma het niet meer. Voor de scenario's wordt uitgegaan dat hydrologische invoer geleverd wordt in één hoofdmap, waarin per map scenario's staan waarin GxG en kwelflux bestanden opgeslagen staan. Deze bestanden dienen GG, GLG, GHG, GVG in de bestandsnaam te hebben (en geen scenarionaam waar deze in terugkomen, bijvoorbeeld waar twee G's achter elkaar voorkomen). In de WWN-schil werden onderstaande voorwaarden gesteld aan de invoerbestanden (modeldomein en hydrologische invoer): (1) Projectie Amersfoort RD Nieuw (EPSG:28992) (2) Resolutie van 25 meter (3) Coördinaten uitgelijnd in een veelvoud van 25 meter (4) Bestandsformaat van invoer is .asc. Het modeldomein kan ook als shapefile aangeleverd worden (.shp). In de batch tool dient alleen nog te worden voldaan aan voorwaarde 1; de meeste gangbare bestandstypen van rasterbestanden (o.a. ASCII, GeoTIFF, NetCDF) kunnen worden gebruikt als invoer. Bij een groot modeldomein en/of beperkte rekencapaciteit kan het zijn dat aanpassen van

	resolutie tot instabiliteit van het besturingssysteem leidt. Sluit in dat geval andere software die veel werkgeheugen vraagt (zie daarvoor Task manager met CTRL+ALT+DELETE). Mocht het probleem zich blijven voordoen dan is het raadzaam de resolutie met andere GIS-software voor te bereiden.
5	WWN kan vervolgens in batch gedraaid worden door te dubbelklikken op <i>batchrunWWN.bat</i>. Om eventuele problemen te voorkomen is het aan te bevelen de benodigde bestanden niet in andere software te openen (dus niet Waterwijzer Natuur open, invoer niet ingeladen in GIS-software, Excelsheet niet geopend). Let op: de modelresultaten worden automatisch gegenereerd, maar moeten altijd worden gecontroleerd op plausibiliteit.
6	Meer details staan in het Excelbestand beschreven. Lees deze goed!



III Relatie tussen pH en indicatiewaarde R_m

In onderstaande figuur is de relatie tussen zuurgraad (pH_{KCl}) en indicatiewaarde voor zuurgraad (R_m) weergegeven. Deze wordt gebruikt om berekende zuurgraad om te zetten naar indicatiewaarde. De oorspronkelijke relatie is een gesegmenteerde regressie en afkomstig uit Cirkel et al. (2014); deze is in WWN vervangen met een natuurlijk logaritme zoals in onderstaand figuur is weergegeven en overgenomen uit Witte et al. (2020). De relaties hebben een vergelijkbare verklaarde variantie (R^2 is 0,69 vs. 0,67).

FIGUUR 7 RELATIE TUSSEN IN HET VELD GEMETEN pH_{KCl} (0-5 CM DIEPTE) EN DE VAN VEGETATIEOPNAMEN BIJ DIE METING AFGELEIDE ZUURINDICATIE R_m : (GEGEVENS: CIRKEL ET AL., 2014)

