

Toepassingsmogelijkheden van de Waterwijzer Natuur

Sharon Clevers, Jelmer Nijp, en Edu Dorland (KWR), Tom van Steijn en Martin de Haan (Brabant Water), Rob Ruijtenberg (Stowa), Flip Witte (Flip Witte Ecohydrologie), Yuki Fujita (NMI Agro), Gert Jan Reinds (WENR) en Peter Hoefsloot (Hoefsloot Spatial Solutions).

Samenvatting

De Nederlandse natuur staat onder druk door onder andere verdroging en stikstofdepositie. Daarom is een watertransitie nodig waarmee de natuur wordt beschermd. De Waterwijzer Natuur (WWN) is ontwikkeld om het natuurbehoud en -herstel te ondersteunen bij complexe ruimtelijke afwegingen. De WWN kan worden ingezet om te bepalen hoe veranderingen in waterbeheer, klimaatverandering en stikstofdepositie doorwerken op de natuur. In dit artikel beschrijven wij de werking, toepassingsmogelijkheden en ontwikkelingen van de WWN.

Inleiding

Nederland wordt geconfronteerd met grote maatschappelijke uitdagingen op het gebied van water, bodem en natuur. In een kamerbrief van november 2022 (I&W, 2022) heeft het kabinet aangegeven dat water en bodem voortaan sturend moeten zijn bij de besluitvorming over ruimtelijke ordening. Daarbij zijn structurende keuzes nodig, zoals het streven naar hoogwaardige natuur en ruimte voor natuurlijke systemen. De vele genoemde maatregelen in de kamerbrief richten zich onder ander op het verhogen van grondwaterpeilen en daarmee de biodiversiteit te versterken in zowel laagveengebieden als op de hoge zandgronden. Hierbij is het van belang te bepalen hoe gemaakte keuzes en ingrepen in het watersysteem doorwerken op toekomstige natuurpotenties. Gerelateerd hieraan bestaan er opgaven ten behoeve van de biodiversiteit in het Natura 2000 netwerk. Daarnaast hebben provincies vanuit het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) de opgave om gebiedsprogramma's op te stellen waarin is uitgewerkt hoe doelen rondom natuur, water, klimaat en stikstof gehaald gaan worden.

Ecohydrologische processen spelen een centrale rol in het behoud en herstel van de vegetatie in natuurgebieden. Onderzoek naar het effect van hydrologische maatregelen op de vegetatie, met name in combinatie met klimaatverandering en stikstofdepositie, is daarom essentieel. Om te kwantificeren hoe effecten van waterbeheer en klimaatverandering doorwerken op terrestrische natuur, is op initiatief van STOWA de Waterwijzer Natuur (WWN) ontwikkeld (Witte e.a., 2018). Sinds de eerste versie van de WWN in 2018 is uitgebracht, is het model doorontwikkeld.

Waarvoor kan je de WWN gebruiken?

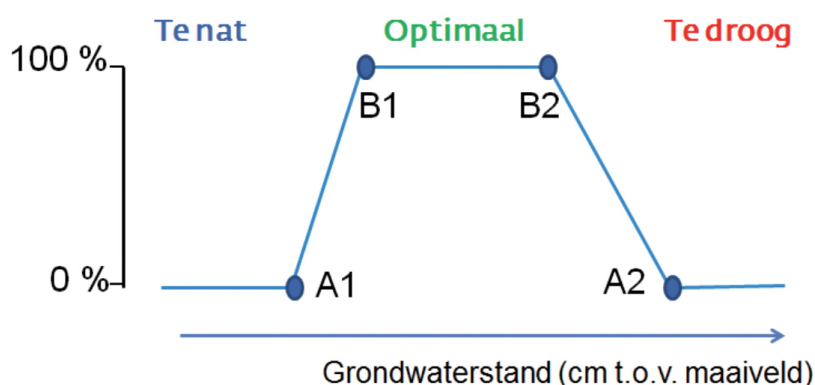
De WWN kan worden ingezet om de effecten van waterbeheer, klimaatverandering en/of stikstofdepositie op natuur te bepalen. Dit is mogelijk op zowel landelijk, regionaal, als gebiedsniveau bijvoorbeeld in het NPLG. De WWN wordt inmiddels gebruikt door onder andere overheidsinstanties, drinkwaterbedrijven, kennisinstututen, natuurorganisaties en adviesbureaus. Ook kan de WWN worden ingezet om inzicht te geven over instandhouding van habitattypen binnen Natura-2000 gebieden en over de duurzaamheid van (herstel)maatregelen. Met de WWN kan worden voorkomen dat geld aan de verkeerde maatregelen wordt besteed (Witte e.a., 2018; Nijp e.a., 2022). De effecten van ingrepen in de waterhuishouding en de invloed van grondwateronttrekkingen op de vegetatie kunnen met de WWN met scenarioberekeningen ruimtelijk in kaart gebracht worden. Daarnaast kunnen verkenningen gedaan worden naar de invloed van stikstofdepositie op de vegetatie in natuurgebieden, al dan niet in combinatie met verandering in klimaat of waterbeheer, wat aansluit bij de actuele stikstofproblematiek. Vanuit de verkenningen en wat haalbaar is kunnen uiteindelijk beheervergoedingen afgeleid worden.

In dit artikel lichten we de werking van de WWN toe. Daarnaast illustreren we hoe de WWN besluitvorming kan ondersteunen aan de hand van twee voorbeelden. Tot slot worden toekomstige ontwikkelingen van de WWN beschreven.

Beschrijving werking Waterwijzer Natuur

De WWN bestaat uit twee onderdelen, die ondergebracht zijn in een gebruiksvriendelijke schil. Het eerste onderdeel, Waterlood (Runhaar & Hennekens, 2015), toetst of de huidige waterhuishouding in overeenstemming is met de ecologische vereisten van de vegetatie. Het tweede onderdeel, PROBE, is gebaseerd op modellen waarin processen en interacties tussen klimaat, water, voedingsstoffen en zuurgraad worden gesimuleerd. Dit heeft als voordeel dat PROBE klimaatrobuuste voorspellingen kan doen over de kans op voorkomen van vegetaties. Hierdoor is PROBE zeer geschikt voor toekomstverkenningen. Voor meer informatie en een gedetailleerdere beschrijving van de werking van de WWN verwijzen wij naar Witte e.a. (2018) en Nijp e.a. (2022).

Waterlood is geschikt voor toetsing van de huidige waterhuishouding aan bestaande vegetatiedoelen. De hydrologische invoer voor Waterlood dient vooraf met een grondwatermodel gesimuleerd te worden. Waterlood maakt gebruik van de Hydrologische Randvoorwaarden Natuur van Runhaar en Hennekens (2015). Deze randvoorwaarden beschrijven bij welke waterhuishouding bepaalde vegetatietypen kunnen voorkomen. Dit wordt beschreven door middel van trapeziumvormige functies (Figuur 1) met vier knikpunten (A1, B1, B2 en A2) per hydrologische variabele (Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en droogtestress DS volgens Jansen e.a. (2000)). Figuur 1 illustreert dat tussen een grondwaterstand van B1 en B2 het desbetreffende vegetatietype optimaal (100%) kan voorkomen, terwijl bij een grondwaterstand ondieper dan A1 of dieper dan A2 het vegetatietype niet (0%) voorkomt.



Figuur 1: Schematische weergave van de doelrealisatiefunctie in Waterlood. De doelrealisatie van een vegetatietype (y-as) wordt gedefinieerd met 4 knikpunten (x-as, bijvoorbeeld GVG) (Witte e.a., 2018)

De uitvoer van Waterlood is een kaart met voor elke gridcel een berekende doelrealisatie (uitgedrukt in %). Daarnaast wordt het doelgat berekend voor de hydrologische variabelen GVG, GLG en droogtestress DS. Het doelgat is het verschil tussen de werkelijke waarde en de vereiste waarde voor het behalen van de doelrealisatie voor het betreffende vegetatietype. Voorbeelden van deze uitvoer zijn weergegeven in de case studies in dit artikel.

In werkelijkheid bepaalt niet de grondwaterstand maar het bodemvocht in de wortelzone (samen met andere standplaatsseigenschappen) welke plantensoorten kunnen voorkomen op een bepaalde plek. De grondwaterstand is namelijk een indirecte maat voor het bodemvochtregime. Dat betekent dat de relatie tussen grondwaterstand en kansrijkdom van vegetatie door klimaatverandering verandert. Als gevolg daarvan kan Waterlood alleen in het huidige klimaat worden toegepast. Daarnaast houdt

Waternood geen rekening met voedselrijkdom en zuurgraad, wat twee andere standplaatsfactoren zijn die de soortensamenstelling van vegetatie bepalen.

Om ook met deze factoren rekening te houden is het model PROBE (PROBability-Based Ecological target model; Witte e.a. (2007)) ontwikkeld. Met PROBE kan worden bepaald hoe veranderingen in klimaat, waterbeheer en/of stikstofdepositie doorwerken op de natuur. In PROBE wordt gebruik gemaakt van een koppeling van een aantal modellen om hydrologische, bodemfysische en bodemchemische processen na te bootsen (Nijp e.a., 2022). Het voordeel van deze modelaanpak is dat rekening gehouden wordt met de doorwerking van veranderingen in klimaat, waterbeheer, en stikstofdepositie op de complexe interacties tussen water, voedselrijkdom en bodemchemie.

Het is wegens rekentijd niet haalbaar om deze modellen voor heel Nederland op hoge resolutie door te rekenen. Daarom zijn metarelaties ontwikkeld: statistische relaties met aan de ene kant versimpelde modeluitvoer van regionale grondwatermodellen en landelijk beschikbare ruimtelijke informatie, en aan de andere kant op procesmodellen gebaseerde standplaatscondities. Met deze relaties kan de uitvoer van een grondwatermodel (GLG, GHG, GVG, gezamenlijk GxG, en kwelflux) vertaald worden naar klimaatrobuuste variabelen die het bodemvochtregime in de wortelzone beschrijven (zuurstofstress en transpiratiestress (Bartholomeus e.a., 2008); voedselrijkdom (Fujita et al, 2013); bodem-pH (Bonten et al., 2016). Ten slotte wordt met een vertaling naar indicatiewaarden voor vocht, voedselrijkdom en zuurgraad, de (verandering in) de kansrijkdom van vegetatietypen bepaald. Dit kan zowel voor een scenario als



Figuur 2: Schematische weergave van de werking van het model PROBE.

De enige invoer die de gebruiker dient aan te leveren voor WWN-PROBE is het grondwaterregime (GxG) en de jaargemiddelde kwelflux voor de huidige en de toekomstscenario's (Figuur 2). Deze invoer is afkomstig van een grondwatermodel. Deze standaarduitvoer van grondwatermodellen vormt doorgaans ook de basis in andere effectvoorspellingen (zoals de Waterwijzer Landbouw). Naast de hydrologische invoer dient de gebruiker het klimaatscenario en zichtjaar te selecteren, evenals een scenario voor stikstofdepositie. Verder wordt gebruik gemaakt van landelijk beschikbare kaartinformatie (o.a. bodemfysische eenheden, stikstofdepositie en landgebruik) die standaard met de WWN wordt meegeleverd. Indien voorhanden kunnen ook detailbodemkaarten of eigen bodeminformatie gebruikt worden. Momenteel werkt de WWN met een resolutie van 25x25 m.

De vegetatietypologie die in PROBE wordt gebruikt zijn ecotoopgroepen (Runhaar e.a., 2004). Het voordeel van het ecotoopgroepensysteem is dat deze goed aansluit op standplaatscondities. De indeling sluit echter minder goed aan bij die van landelijke (Natura 2000) habitattypen of provinciale (natuur)beheertypen. Daarom is een procedure ontwikkeld om ecotoopgroepen naar deze andere typologieën te kunnen vertalen (Witte e.a. (2022) en Witte e.a. (2018)).

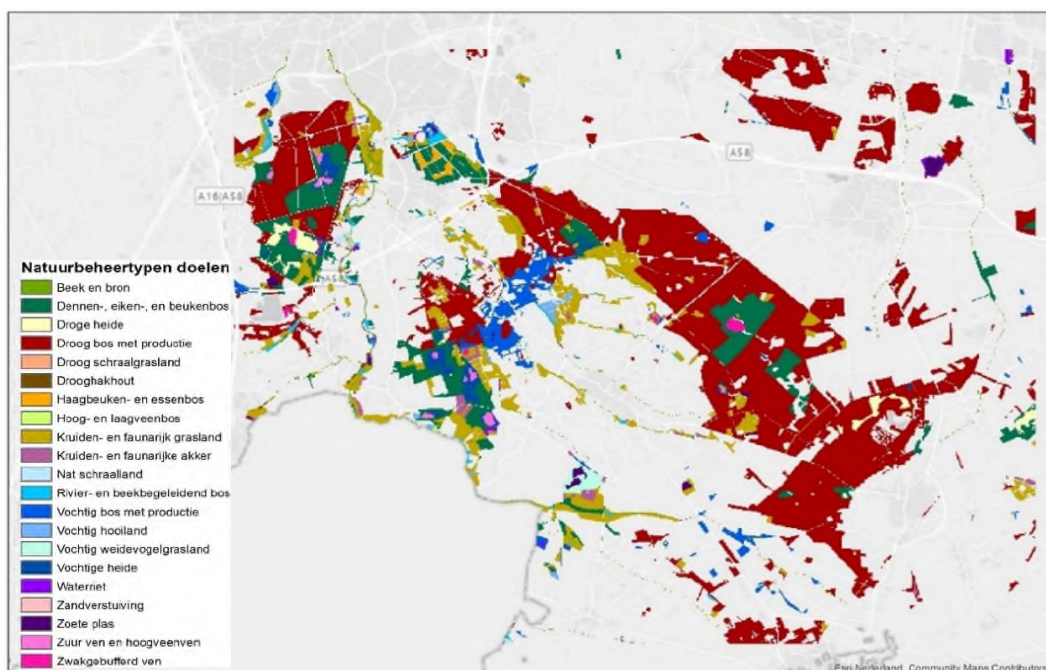
De uitvoer van PROBE levert ruimtelijke inzichten op over de effecten van scenario's op standplaatscondities en de kansrijkdom van vegetatietypen. De uitvoer bestaat onder andere uit kaarten die weergeven hoe standplaatscondities en de bijbehorende vegetatie er uit zouden zien bij een opgegeven combinatie van waterbeheer, klimaat, en stikstofdepositie. De voorspelde vegetatiekaart geeft voor elke rastercel in het modelgebied het voorspelde vegetatietype met de

hoogste kansrijkdom. Daarnaast worden kansrijkdomkaarten gegenereerd voor alle vegetatietypen. Deze kansrijkdom geeft de potentiële natuurpotentie weer op basis van abiotische omstandigheden, en houdt dus geen rekening met zaaddispersie, adequaat beheer, en ziekten en plagen. Verder wordt de botanische natuurwaarde berekend, waarbij de gebruiker kan kiezen uit drie waarderingssystemen (methode Gelderland (Hertog & Rijken, 1992), aantal rode lijstsoorten (Van der Meijden et al., 2000) en methode DEMNAT; zie Witte e.a. 1996 voor meer informatie) voor de voorspelde vegetatietypen op kaart weergegeven en samengevat in tabellen.

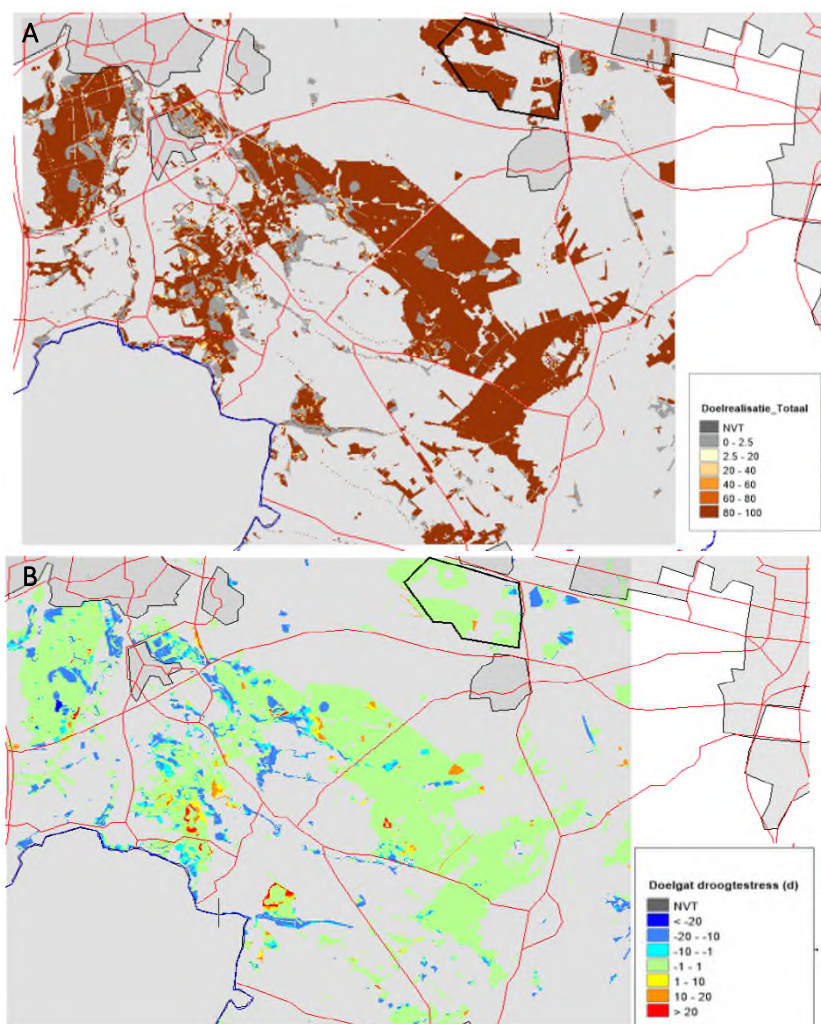
Case study: Toepassing WWN op de Chaamse Beken

De WWN is door verschillende organisaties ingezet bij studies op lokaal, regionaal en landelijk niveau. Een voorbeeld hiervan is de toepassing door KWR in het Brabantse stroomgebied van de Chaamse beken met als doel inzichtelijk te maken hoe veranderingen in waterhuishouding en klimaat doorwerken op natuur (Clevers & Nijp, 2023). Door Schoonderwoerd e.a. (2022) is aan de hand van het Brabant Model van Waterschap Brabantse Delta verkend hoe het stroomgebied klimaatbestendig kan worden ingericht. Met dit grondwatermodel is een aantal toekomstscenario's geanalyseerd. Deze scenario's zijn gebaseerd op twee inrichtingsvarianten: 'Maximaal vasthouden' en 'Natuur versterken'. Bij 'Maximaal vasthouden' wordt het natuurlijke watersysteem leidend door water vast te houden via grote aanpassingen (o.a. alle onttrekkingen uit, verwijderen detailontwatering). Dit scenario geeft het maximaal haalbare effect dat binnen het stroomgebied bereikt kan worden. Bij 'Natuur versterken' worden alleen maatregelen genomen in natuurgebieden, terwijl daarbuiten het watersysteem onveranderd blijft. In beide scenario's wordt rekening gehouden met klimaatverandering (KNMI'14 scenario WH).

Het Waterlood onderdeel van de WWN is ingezet om te toetsen of en waar natuurdoelen worden gehaald bij de huidige waterhuishouding (1996-2004). De ecotoopgroepen uit de resultaten zijn vertaald naar beheertypen om een vergelijking met de provinciale ambitiekaart (Figuur 3) mogelijk te maken. Het resultaat van de analyse is dat met de huidige waterhuishouding in grote delen van het gebied de natuurambities met meer dan 80% gerealiseerd kunnen worden (Figuur 4 A.). Op de locaties waar de doelrealisatie relatief laag is blijkt uit het doelgat (Figuur 4B) dat de berekende grondwaterstanden te diep zouden zijn voor de beoogde natuurbeheertypen. Deze mismatch kan zowel veroorzaakt worden door een werkelijk te diepe grondwaterstand voor de doelvegetatie of een verkeerd voorspelde GxG in het grondwatermodel (zie ook case studie Dommelbeemden).



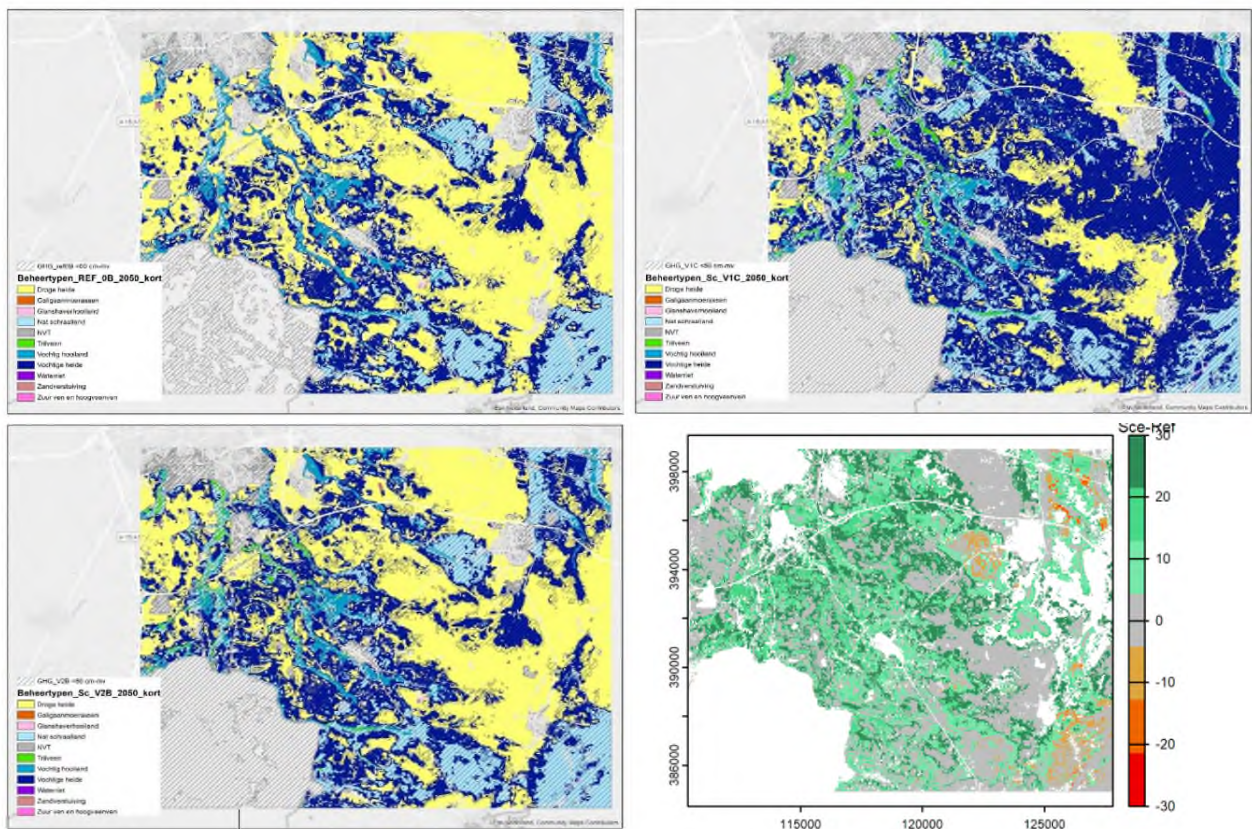
Figuur 3. Provinciale ambitiekaart met ligging van beheertypen in het Chaamse Beken stroomgebied



Figuur 4 Totale doelrealisatie in het Chaamse Beken stroomgebied en doelgat voor droogtestress

Door gebruik te maken van het PROBE model in de WVN zijn ook toekomstscenario's verkend voor het KNMI'14 WH scenario met zichtjaar 2050 in combinatie met inrichtingsvarianten. Voor zowel de inrichtingsvariant 'Maximaal vasthouden' als 'Natuur versterken' werd met het grondwatermodel een vernatting van het gebied voorspeld (Schoonderwoerd e.a., 2022). Hierbij is de vegetatiestructuur (korte vegetatie of bossen en struwelen) in de scenario's opgelegd, waardoor de voorspelde vegetatietypen binnen de gekozen structuur vallen. De gevolgen voor de vegetatie in het gebied zijn weergegeven in Figuur 5 voor korte vegetaties. Met name voor inrichtingsvariant 'Maximaal vasthouden' zijn de verschillen in areaal van de vegetatietypen goed zichtbaar. Als gevolg van ingrijpende aanpassingen in het watersysteem in scenario 'Maximaal vasthouden' die leiden tot nattere standplaatscondities en toename van kwelintensiteit in beekdalen, nemen de potenties van beheertypen 'vochtige heide' (N06.04) en 'trilveen' (N06.02) aanzienlijk toe.

Deze case studie illustreert hoe de WVN ingezet kan worden om ruimtelijk te verkennen waar als gevolg van klimaatverandering en waterbeheer hotspots voor biodiversiteit verschijnen en verdwijnen. Deze ruimtelijke informatie kan verder worden verwerkt in bijvoorbeeld areaal per beheertype of totale natuurwaarde. Met deze informatie kan een gedegen objectieve en op kennis gebaseerde afweging gemaakt worden tussen verschillende toekomstige inrichtingen van het landelijk gebied.



Figuur 05 Beheertypen met de hoogste kansrijkdom in de referentiesituatie met klimaatverandering (linksboven), onder klimaatverandering met 'Maximaal vasthouden' 1C (rechtsboven) en 'Natuur versterken' 2B (linksonder) voor korte vegetatie. De verandering in natuurwaarde onder klimaatverandering met 'Maximaal vasthouden' 1C is weergegeven in de figuur rechtsonder.

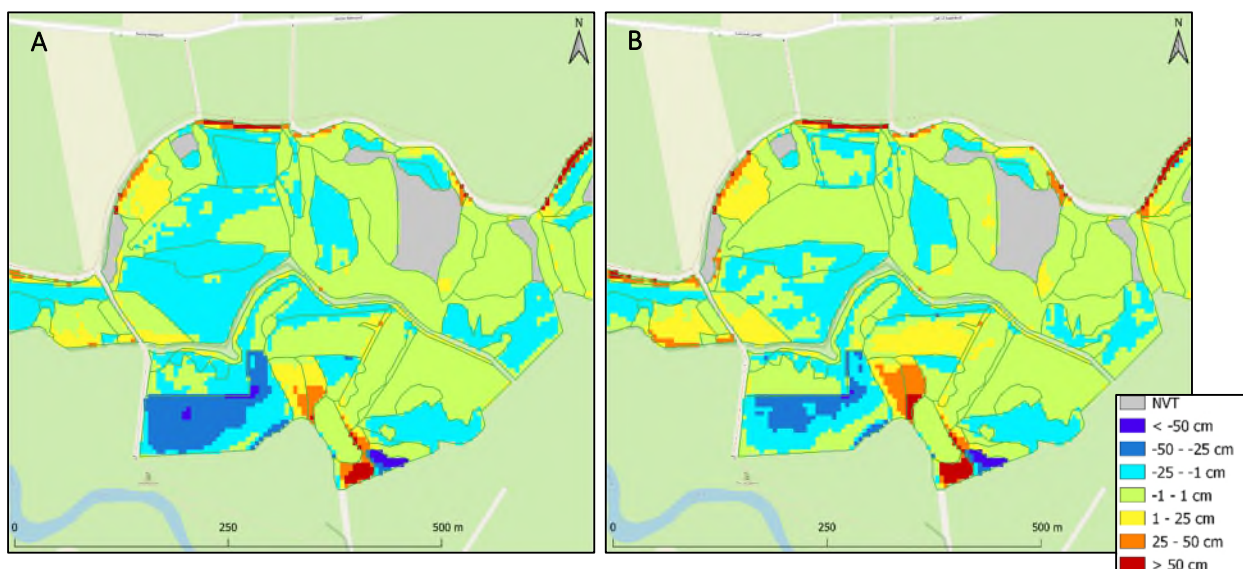
Case Study Dommelbeemden: validatie met WWN leidt tot aanpassing grondwatermodel

Brabant Water heeft de WWN toegepast in een modelstudie van het Brabantse natuurgebied de Dommelbeemden. Deze toepassing richt zich op een vergelijking van de voorspelde vegetatietypen, op basis van een hydrologische modellering én de toepassing van WWN, en de waargenomen vegetatietypen volgens een gedetailleerde vegetatiekartering (Ecologica, 2014). Vanwege het hoge detailniveau van de kartering geven de indicatiewaarden van de vegetatie een bruikbaar vlakdekkend beeld van de werkelijke vochttoestand. Aan de hand van een vergelijking tussen de uitvoer van het grondwatermodel en de ecologische vereisten van vegetatie kan de uitvoer van het grondwatermodel worden getoetst: komt de voorspelling van WWN overeen met de waargenomen vegetatietypen? En waar dit niet het geval is, welke aanwijzingen geeft dit voor verbetering van het hydrologisch model?

Schaalgrootte speelt een bepalende rol in de vergelijking tussen een model en de werkelijkheid, in dit geval de waargenomen vegetatie in de Dommelbeemden. Het opgestelde grondwatermodel is gebaseerd op een uitsnede van het Brabantmodel (Verhagen et al., 2018), waarin informatie over de laagopbouw en het regionale stijghoogtepatroon zijn geschematiseerd op een resolutie van 100 m. Door nauwkeurige kaarten van het oppervlaktewatersysteem en het maaiveld in te voegen is het grondwatermodel verfijnd tot een resolutie van 5 m. De WWN werkt standaard op een resolutie van 25 m, de resolutie waarop landsdekkende kaarten van een aantal invoervariabelen (o.a. landgebruik, kwelkwaliteit) beschikbaar zijn. In overleg met de ontwikkelaars van WWN is deze uitvoerresolutie ook verfijnd naar 5 m om aan te sluiten bij de resolutie van het grondwatermodel. Voor de

kwelkwaliteit als invoervariabele is grondwatertype 4 opgelegd (“lithoclien alkalien”), omdat dit type het best bij de lokale situatie past.

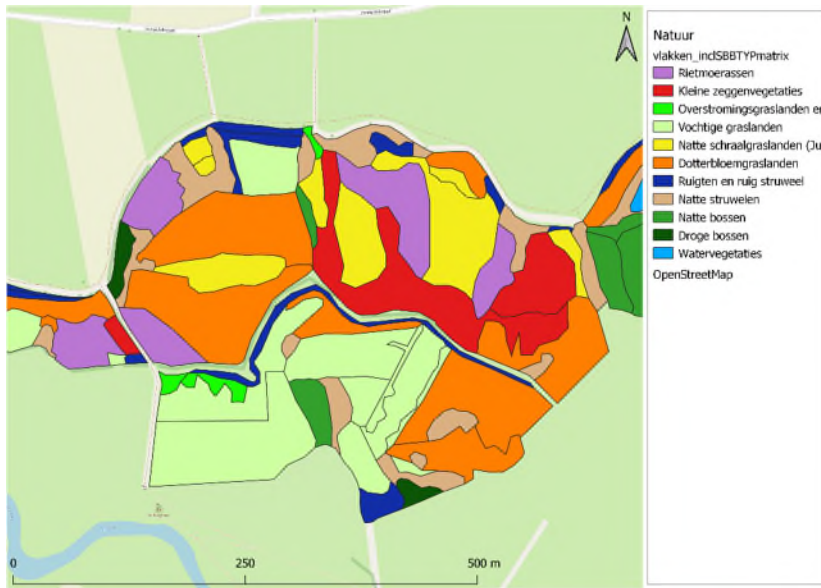
De Dommelbeemden bestaan uit een laagte die in het pleistocene dekzand is uitgesneden door de vrij stromende voorloper van de huidige Dommel. Nadat een bocht in de beek was afgesneden is de laagte met een dik veenpakket opgevuld, afgewisseld door klei-, en zandlaagjes. Door de relatief lage ligging bestaat er een sterke opwaartse grondwaterdruk vanuit het middeldiepe watervoerende pakket. Hierdoor is er sprake van kwel aan maaiveld. Met een eerste versie van het grondwatermodel werden te hoge grondwaterstanden berekend, zichtbaar in het doelgat van de huidige vegetatietypen volgens WVN Waterlood (Figuur 7A). Hieruit bleek dat de invloed van de Dommel werd onderschat omdat de weerstand van de Holocene afzettingen in het huidige beekdal kleiner is dan eerst aangenomen. In de laagte was juist onvoldoende ondiepe weerstand aanwezig. Het model is aangepast door de drainageweerstand van de Dommel te verlagen en door een lokale kartering van de veendikte (Garritsen, 1988) op te nemen in de schematisatie, waarmee de weerstand van de bovenste modellaag is verhoogd. Dit resulteert in een merkbare verbetering van de doelrealisatie van de huidige vegetatietypen volgens Waterlood (Figuur 7B).



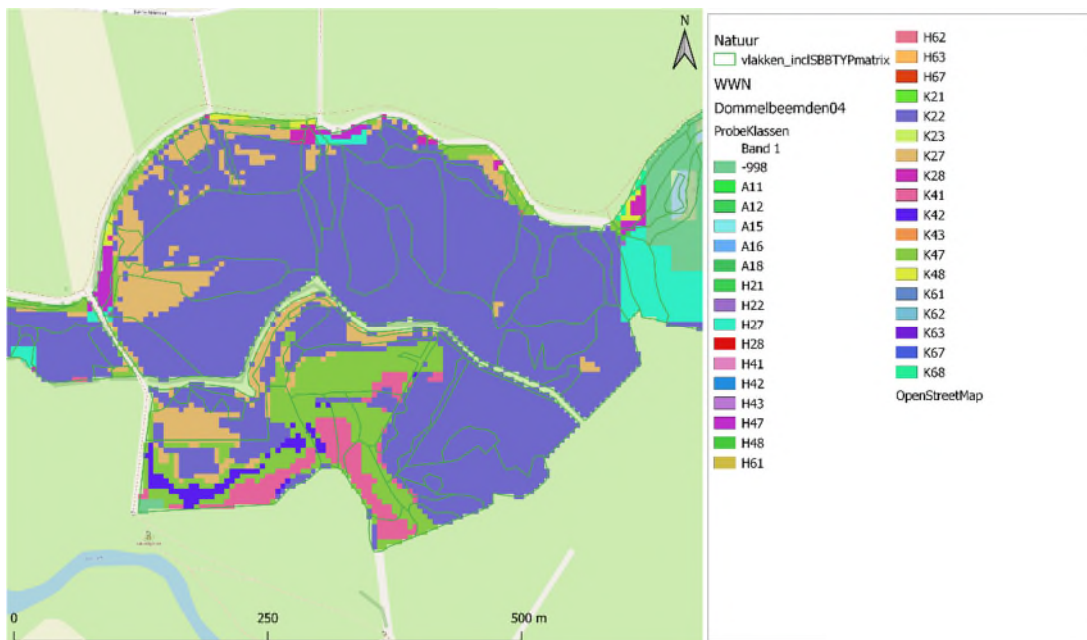
Figuur 7 Doelgat GVG bij toepassing Waterlood op basismodel (A) en verbeterd detailmodel (B). Positieve waarden (rode tinten) geven weer dat de grondwaterstand dieper is dan de eisen van de vegetatie.

Volgens de vegetatiekartering uit 2013 (Figuur 8) bestaat een groot deel van het gebied uit dotterbloemgraslanden, natte schraallanden, rietmoeras en kleine zeggevegetaties. De WVN (PROBE) voorspelt op basis van het verbeterde grondwatermodel de hoogste kansrijkdom voor ecotoopgroep K22 voor een groot deel van het gebied (Figuur 9). Deze ecotoopgroep omvat kruidachtige vegetaties op natte en voedselarme, zwak zure bodems. Gezien de lokale aanvoer van baserijk kwelwater vanuit het middeldiepe pakket past dit bij de verwachting. Aan de rand van de laagte worden iets voedselrijkere omstandigheden voorspeld (K27; graslanden en ruigten op natte, matig voedselrijke bodem), waar volgens de kartering onder meer natte struwelen aanwezig zijn. De voorspelde vegetatie met PROBE komt daarmee op grote lijnen goed overeen met de vegetatiekaart.

Ondanks deze goede overeenkomst zijn er aan de hand van de vergelijking verdere verbeterpunten naar voren gekomen, die worden meegenomen in de verdere ontwikkeling van het model. Deze case studie illustreert hoe de WVN (Waterlood en PROBE) kan worden gebruikt om grondwatermodellen te verbeteren aan de hand van een actuele vegetatiekaart.



Figuur 8 Vegetatiekartering Dommelbeemden 2013, weergave van geaggregeerde eenheden



Figuur 9 Voorspelde ecotoopgroepen (hoogste score) volgens PROBE op basis van het verbeterde grondwatermodel.

Korte beschrijving lopende en toekomstige ontwikkelingen

De ontwikkeling van de WWN staat niet stil. Beoogd wordt om nieuwe en bestaande kennis in te bouwen en te operationaliseren voor de gebruiker, om zodoende de voorspellingen continue te verbeteren. Een verbetering die momenteel wordt onderzocht, betreft het toevoegen van een dynamische bodem-module waarmee de WWN nauwkeurigere voorspellingen oplevert in laagveengebieden. In de huidige versie van de WWN is, net als voor de meeste modellen, de bodem een constante, waarbij bodemfysische eigenschappen door de tijd gelijk blijven. Bij veenbodems in natuurgebieden worden bodemeigenschappen echter sterk beïnvloed door klimaat en waterbeheer. Drainage en een droger klimaat versterken doorgaans de afbraak van organisch materiaal en leiden tot een minder poreuze en minder doorlatende veenbodem. Daarentegen leidt vernatting van venen tot vorming van nieuw veen (en CO₂ vastlegging), en een meer poreuze en doorlatende bodem. Deze veranderingen werken door op standplaatscondities en beïnvloeden daarmee de kansrijkdom van de natuur.

Dankwoord

De WWN is mede mogelijk gemaakt door Provincie Gelderland, Provincie Noord-Brabant, Provincie Limburg, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Vechtstromen, Brabant Water, Vitens, het gezamenlijk onderzoeksprogramma van de drinkwaterbedrijven, Deltaprogramma Zoetwater/ministerie Infrastructuur en Waterstaat, KWR Water B.V., WENR en STOWA.

Meer weten over de WWN en zelf aan de slag?

<https://www.stowa.nl/nieuws/waterwijzer-natuur>

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

<https://waterwijzer.nl/>

Referenties

- Bartholomeus, R.P., Witte, J.-P.M., van Bodegom, P.M., van Dam, J.C. & Aerts, R. 2008 Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes-function by a process-based model. *Journal of Hydrology* 360, 147-165.
- 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.
- Clevers, S.H.P., Nijp, J.J. Klimaatadaptatie in de praktijk: Een toepassing van de Waterwijzer Natuur op stroomgebied Chaamse Beken. KWR 2023.024
- Ecologica (2014) Vegetatiekartering Dommelbeemden 2013. Staatsbosbeheer projectnummer 0894
- Fujita, Y., van Bodegom, P.M., Venterink, H.O., Runhaar, H., Witte, J.-P.M. (2013) Towards a proper integration of hydrology in predicting soil nitrogen mineralization rates along natural moisture gradients. *Soil Biology and Biochemistry* 58(0): 302-312.
- Garritsen, A.C. (1988). Stromingsstelsels en waterkwaliteit in de Dommelbeemden. N.M.F. Noord-Brabant. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, I&W (2022). Kamerbrief Water en Bodem sturend. Den Haag.
- Hertog, A.J. & Rijken, M. (1992) Geautomatiseerde bepaling van natuurbehoudswaarde in vegetatie-opnamen. Provincie Gelderland, Arnhem.
- Jansen, P.C., Runhaar, J., Witte, J.P.M. & Van Dam, J.C. (2000) Vochtindicatie van grasvegetaties in relatie tot de vochttoestand van de bodem. Alterra, Wageningen.
- KNMI (2015) KNMI '14 Klimaatscenario's voor Nederland, De Bilt.
- Kroes, J. G. and Van Dam, J. C. (2003) Reference Manual SWAP version 3.0.3. Wageningen, Alterra, Green World Research.
- Nijp, J.J., M. de Haan en J.P.M. Witte (2019) Effecten van klimaatverandering op terrestrische natuur in Nederland - Een landelijke toepassing van Waterwijzer Natuur in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater (KWR rapport 2019.050). KWR Water Research Institute.
- Nijp, J.J., de Wit, J., Clevers, S., Dorland, E., Reinds, G.-J., Kros, H., Fuijta, Y., Hoefsloot, P., Witte, J.-P.M. (2022) Waterwijzer Natuur Fase 3 - Klimaatrobuuste modellering van effecten van zuur- en stikstofdepositie op natuur. KWR, WENR, NMI, FWE.
- Runhaar, J., van Landuyt, W., Groen, C.L.G., Weeda, E.J. & Verloove, F. (2004) Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria*, 30, 12-26.
- Runhaar, H., Hennekens, S.M. (2015) Hydrologische randvoorwaarden natuur : gebruikershandleiding (water noodapplicatie versie 3). Amersfoort : Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Rapport / STOWA 2015-22) – 58
- Verhagen, F., Steijn, T. v., Wal, B. v., Swierstra, W., & Vermue, H. (2018). Update hydrologische gereedschapskist Noord-Brabant.
- Witte, J. (1996) De waarde van natuur. Zeldzaamheid en de botanische waardering van gebieden. *Landschap, jrg*, 13, 7995.
- Witte, J.P.M., Wójcik, R.B., Torfs, P.J.J.F., De Haan, M.W.H. & Hennekens, S. (2007) Bayesian classification of vegetation types with Gaussian mixture density fitting to indicator values. *J. Veg. Sci.*, 18, 605-612
- Witte, J., Runhaar, J., Bartholomeus, R., Fujita, Y., Hoefsloot, P., Kros, J., Mol, J. & de Vries, W. (2018) De waterwijzer natuur: Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur. Report of STOWA. Amersfoort, The Netherlands.