



Waterwijzers Landbouw en Natuur

Kwantificering effecten waterbeheer en klimaat

Landbouw en natuur stellen specifieke eisen aan de waterhuishouding, vooral aan beschikbaar water in de wortelzone. Bestaande beoordelingssystemen houden echter geen rekening met de gevolgen van klimaatverandering voor respectievelijk landbouwopbrengsten en natuurdoelen. Daarom zijn er nu twee systemen in ontwikkeling die dat, zo goed mogelijk, wel doen: de Waterwijzer Landbouw en de Waterwijzer Natuur. Beide kunnen worden gebruikt voor het vaststellen van schade aan landbouw en natuur, maar ook voor het optimaliseren van de waterhuishouding.

In het landelijk gebied van Nederland komen verschillende functies voor, waarvan de landbouw en de natuur (inclusief bos) het grootste ruimtebeslag innemen. Deze twee functies stellen bepaalde eisen aan het waterbeheer, vooral aan de grondwaterstand, de fluctuaties daarin en het effect op vochtbeschikbaarheid in de wortelzone. Regionale waterbeheerders proberen het watersysteem zodanig in te richten, dat deze functies zo optimaal mogelijk worden bediend. Maar wat is optimaal, en wat is de derving van gewasopbrengsten of biodiversiteit wanneer de waterhuishouding afwijkt van die optimale situatie? Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn diverse methoden in omloop, die met elkaar gemeen hebben dat ze zijn gebaseerd op verouderde kennis, ontleend aan het klimaat van de vorige eeuw. Dat maakt ze ongeschikt voor het beoordelen van klimaatprojecties. Daarom is de laatste jaren gewerkt aan twee nieuwe systemen: de Waterwijzer Landbouw (WWL) en de Waterwijzer Natuur (WWN), zie waterwijzer.nl. Beide houden zoveel mogelijk rekening met processen in het terrestrisch systeem die door klimaatverandering of door veranderingen in het waterbeheer kunnen worden beïnvloed. Dankzij een gebruiksvriendelijke schil die om alle complexiteit heen is gebouwd, zijn ze toch eenvoudig te gebruiken. Het enige dat de gebruiker moet opgeven is een aantal grondwaterstandkarakteristieken, zoals de gemiddeld laagste grondwaterstand

(GLG), het gewas (WWL) en het beoogde vegetatiedoel (WWN).

Veranderingen in bodem, water en plant

Klimaatverandering heeft gevolgen voor zowel het bodemmilieu waarin planten wortelen, als de behoefte van planten aan water en voedingsstoffen. Die veranderingen verlopen via ingewikkelde terugkoppelingen die in figuur 1 schematisch en verre van volledig zijn weergegeven. Zowel voor landbouw als natuur gaat het in wezen om dezelfde processen waar beide waterwijzers rekening mee dienen te houden.

Om de gevolgen van klimatologische en/of waterhoudkundige veranderingen op het functioneren van planten te beoordelen, moeten de processen in de wisselwerking tussen bodem, water, plant en atmosfeer expliciet gemaakt worden. Toename van de hoeveelheid broeikasgassen (in de figuur weergegeven als CO₂) leidt via stijging van de temperatuur tot veranderingen in neerslag en gewasverdamping, wat gevolgen heeft voor bodemvocht, grondwater en oppervlaktewater. De hoeveelheid bodemvocht (en daarmee ook de zuurstofvoorziening naar de plantenwortels) wordt via wortelopname ook beïnvloed door de planten zelf. Die hoeveelheid kan via het beheer van het grondwater, maar vooral van het oppervlaktewater, deels worden gestuurd teneinde gunstige condities voor gewassen (WWL) of natuurlijke

Dr. Ir. R.P. (Ruud) Bartholomeus

KWR Watercycle Research Institute, Groninghaven 7, Postbus 1072, 3430 BB Nieuwegein en Wageningen University & Research, Bodemfysica en Landbeheer ruud.bartholomeus@kwrwater.nl

Dr. Ir. M.J.D. (Mirjam) Hack-ten Broeke

Wageningen Environmental Research, Wageningen UR

Dr. Ir. M. (Marius) Heinen

Wageningen Environmental Research, Wageningen UR

H.M. (Martin) Mulder MSc.

Wageningen Environmental Research, Wageningen UR

Dr. Ir. J. (Hans) Kros

Wageningen Environmental Research, Wageningen UR

Ir. R.E. (Rob) Ruijtenberg

Bureau WeL – Water en Land, namens STOWA

Dr. J. (Han) Runhaar

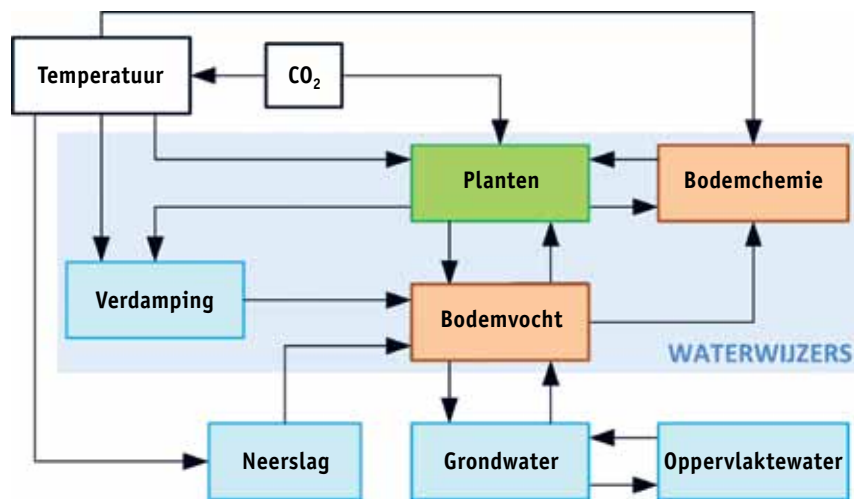
KWR Watercycle Research Institute

Prof. Dr. Ir. J.P.M. (Flip) Witte

KWR Watercycle Research Institute en Vrije Universiteit Amsterdam, Systemecologie

Foto Aat Barendregt.

Overstroming van de IJssel iets ten noorden van Ruine De Nijenbeek (Voorst).



Figuur 1 effecten van klimaatverandering op de vegetatie. Het domein van beide waterwijzers is met een lichtblauw blok aangegeven (Witte *et al.*, in voorbereiding).

Figure 1 effects of climate change on the vegetation. The blue area indicates the domain of Water Vision Agriculture and Nature (Witte *et al.*, in prep.).

vegetaties (WWN) te creëren. De hoeveelheid bodemvocht en de temperatuur zijn van invloed op bodemchemische processen, zoals de vertering van minerale bestanddelen en de afbraak van organische stof. Daarbij komen voedingsstoffen vrij en kan de bodemzuurgraad veranderen. Via deze indirecte processen hebben veranderingen in de vochtthuishouding gevolgen voor de bodemcondities waarin planten groeien. Ten slotte is de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer rechtstreeks van invloed op de plantengroei: naarmate de concentratie stijgt gaan planten harder groeien waarbij ze steeds zuiniger omgaan met water (Kruijt *et al.*, 2008). De verhoogde CO₂-concentratie in de atmosfeer heeft echter waarschijnlijk geen invloed op de soortensamenstelling van natuurlijke vegetaties (Poorter & Navas, 2003).

Waterwijzer Landbouw

De WWL moet een methode zijn die niet alleen betrouwbaarder en klimaatrobuuster is dan huidige systemen voor het berekenen van water-gerelateerde opbrengst-

depressies (HELP-tabellen, TCGB-tabellen, AGRICOM en WATERNOOD), maar die ook uniform, breed gedragen en praktisch is. Hiermee krijgen waterbeheerders en agrariërs een reproduceerbare inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen op landbouwkundige opbrengsten, in termen van droogte-, nat- en zoutschade. Deze directe schaden baseert de WWL op simulaties met het hydrologische model voor de onverzadigde zone SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant), gekoppeld met het gewasgroeimodel WOFOST (World Food Studies), Kroes *et al.* (2017); Van Dam *et al.* (2008). De WWL houdt ook rekening met indirecte effecten, zoals uitgestelde zaai- of oogsttijdstippen als gevolg van verminderde draagkracht van de bodem bij te natte omstandigheden, maar in dit artikel beperken we ons tot de directe effecten.

Procesmodellen

Het model SWAP is een veel gebruikte modelcode voor de berekening van het transport van water en opgeloste stoffen en voor de temperatuur in het bovenste deel van de bodem. Door de koppeling van SWAP met WOFOST wordt tevens de gewasgroei gesimuleerd. WOFOST berekent eerst de potentiële fotosynthese als functie van het CO₂-gehalte, de zonnestraling, de temperatuur en het bladoppervlak. De actuele fotosynthese wordt vervolgens berekend door een aftrek op de potentiële fotosynthese toe te passen voor een gebrek aan vocht of zuurstof en voor te hoge zoutconcentraties. De energie die door fotosynthese beschikbaar komt, wordt gebruikt voor zowel het onderhouden als de groei van het gewas. Afhankelijk van het ontwikkelingsstadium wordt de groei verdeeld over de verschillende onderdelen van het gewas: wortels, stengels, bladeren en opslagorganen. Tijdens de ontwikkeling van de WWL zijn modelverbeteringen in SWAP-WOFOST doorgevoerd die explicie-

ter rekening houden met de processen tussen bodem, water, plant en atmosfeer. Omdat deze processen algemeen geldig zijn mogen modeluitkomsten nu geëxtrapoleerd worden naar andere regio's en klimaatscenario's. Een van de verbeteringen is dat bij kwantificering van natschade nu een berekening van het effect van zuurstoftekort in de wortelzone op gewasontwikkeling (Bartholomeus *et al.*, 2008) is ingebouwd. Juist de combinatie van hoge temperatuur, die de zuurstofvraag van planten verhoogt, en intensieve neerslag, die de beschikbaarheid van zuurstof verlaagt, is schadelijk voor planten en zal in de toekomst vaker voorkomen. Daarom wordt zuurstofstress nu berekend in afhankelijkheid van planteigenschappen en plantfysiologische processen, gehalte luchtgevulde poriën, bodemtemperatuur, bodemfysische eigenschappen en microbiële activiteit. SWAP-WOFOST levert een directe, op processen gebaseerde, berekening op van de landbouwopbrengst. Bij het doorrekenen van klimaatscenario's wordt met behulp van SWAP-WOFOST rekening gehouden met de invloed van extreme weersomstandigheden, zoals hoge neerslagintensiteiten, langdurige droogte, stijging van CO₂-concentraties in de atmosfeer en sterk veranderende temperaturen. Ook wordt rekening gehouden met verschillende fotosynthesesystemen van gewassen. Deze informatie ontbrak in de oude beoordelingssystemen. Met de simulatiemodellen kan de gebruiker specifieke situaties (zowel in ruimte als in tijd) doorrekenen en bijvoorbeeld het effect van extreme weersomstandigheden op de gewasopbrengst gedetailleerd analyseren. Voorbeelden van zulke maatwerkberekeningen met SWAP-WOFOST zijn gegeven in Hack-ten Broeke *et al.* (2016).

WWL-tabel

Om maatwerkberekeningen met SWAP-WOFOST te

kunnen uitvoeren is specialistische kennis vereist. Bovendien geeft het model uitkomsten op perceelschaal en is het minder geschikt voor ruimtelijke analyses. Om bij de toepassing van WWL simulaties met SWAP-WOFOST te kunnen omzeilen zijn relaties tussen grondwaterkarakteristieken, bodemfysische eenheden (Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK₂₀₁₂), Wösten *et al.*, 2013) en opbrengsten afgeleid op basis van een groot aantal gedetailleerde SWAP-WOFOST-simulaties (Knotters *et al.*, 2017). Zo worden grondwaterstanden via deze metarelaties direct vertaald naar opbrengstderiving. De metarelaties, samengebracht in de WWL-tabel, geven zowel langjarig gemiddelde dervingspercentages voor verschillende gewassen, als resultaten voor een specifiek droog of nat jaar. Het gebruik van metarelaties is overigens eerder uitgevoerd: de HELP- en TCGB-tabellen zijn daar (eenvoudige) voorbeelden van.

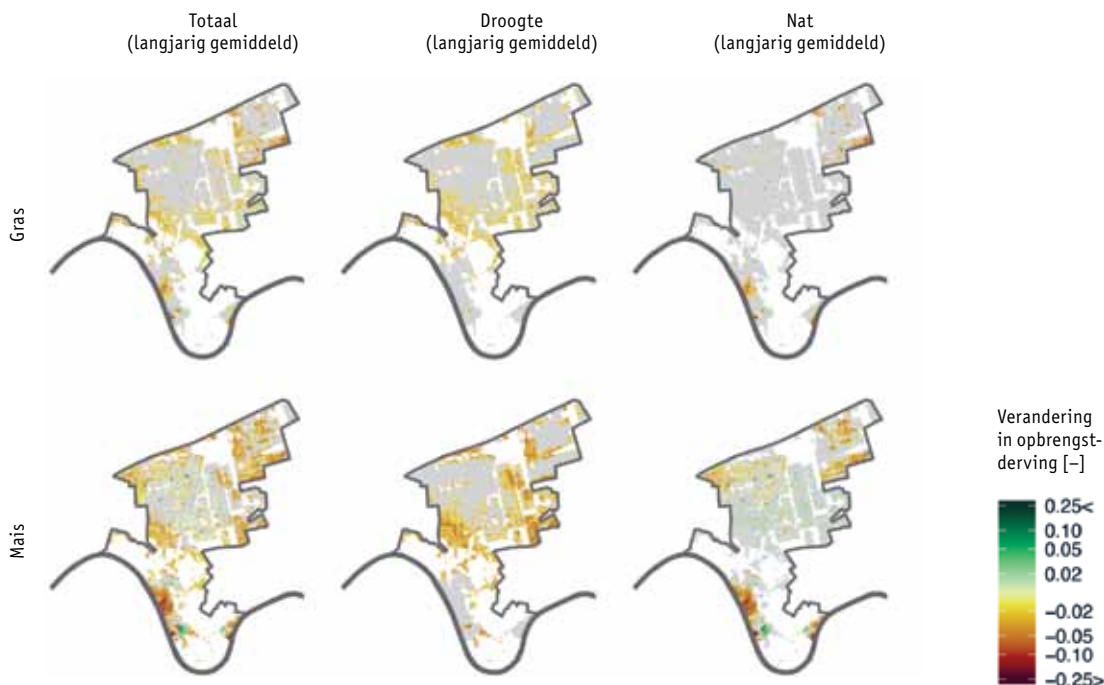
Voorbeeldtoepassing

Met WWL kan gekeken worden naar het effect van klimaatverandering op de berekende gewasopbrengst. Als voorbeeld is voor een gebied bij Stegeren (Overijssel) de situatie van het warme en droge klimaatscenario W_H (Van den Hurk *et al.*, 2014) vergeleken met die van het huidige klimaat (Heinen *et al.*, 2017). Hiervoor zijn, naast klimaatgegevens, grondwaterstandskarakteristieken – gemiddeld hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstand – van het nieuwe klimaat als invoer gebruikt. De uitkomsten, uitgedrukt in verschillen in opbrengstderiving tussen klimaatscenario W_H en het huidige klimaat, staan in figuur 2. Voor gras en maïs wordt meer droogteschade berekend, terwijl de natschade aan maïs op enkele plekken minder wordt.

In het veranderende klimaat neemt de dynamiek in bodemvochtcondities toe, wat tot uiting komt in de grotere amplitude van de grondwaterstand. Als het water-

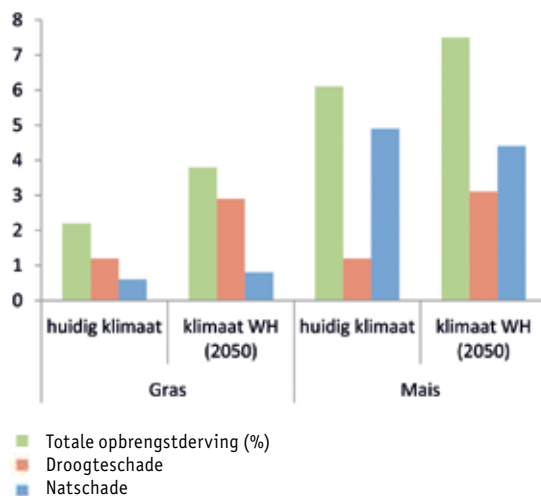
Figuur 2 verandering in opbrengstderving voor gras en mais in Stegeren bij klimaatscenario W_H (2050) vergeleken met het huidige klimaat. Linkerkolom: totaal schade; middelste kolom: droogteschade; rechterkolom: natschade. Groen geeft een verbetering (minder opbrengstderving), rood een verslechtering aan.

Figure 2 change in yield depression for grass and corn in Stegeren, the Netherlands, under climate scenario W_H (2050) relative to the current climate. Left column: total damage; center: drought damage; right: waterlogging damage. Green: improvement (less yield depression), red: deterioration.



Figuur 3 effecten van klimaatverandering op de gemiddelde opbrengstderving te Stegeren, voor zowel het huidige klimaat, als voor scenario W_H (zichtjaar 2050).

Figure 3 effect of climate change on the average yield depression in Stegeren, the Netherlands, for both the current and future climatic conditions (scenario W_H , 2050)



beheer daar niet op wordt aangepast, zullen gewassen last krijgen van zowel meer droge als natte extremen (Bartholomeus et al., 2011). Bij Stegeren worden deze toenames ook gevonden voor grasland, waar zowel de langjarige gemiddelde droogte- als natschade toenemen (figuur 3). Agrariërs en waterbeheerders zullen gewaschade willen voorkomen, bijvoorbeeld door te anticiperen met het waterbeheer op perceelsniveau of door structurele aanpassingen in het watersysteem door te voeren. Voor zowel het aanwijzen van de locaties waarvoor zulke maatregelen het meest nodig zijn, als voor het doorrekenen van het effect van maatregelen op de gewasopbrengst, kan WWL worden toegepast.

Waterwijzer Natuur

Anders dan de landbouw, wordt de natuur gekenmerkt door heterogeniteit. Het maaiveld is zelden vlak, de vegetatie is niet gepoot of uitgezaaid, maar bestaat uit een spontane samenstelling van vele soorten die met elkaar concurreren om licht, water en voedingsstoffen. Mest wordt er niet uitgereden, noch wordt er bekalkt (met uitzondering van eventuele herstelmaatregelen). De horizontale en verticale variatie in vocht, voedingsstoffen en zuurgraad kan dan ook aanzienlijk zijn. Het bepalen van effecten op het plantendek is al met al een stuk lastiger dan in de landbouw. Daarnaast zijn we wat natuur betreft niet zo zeer geïnteresseerd in de plantaardige productie, maar veel meer in de biodiversiteit.

Hybride oplossing

Om de invloed van de waterhuishouding op terrestrische vegetaties te beoordelen worden meestal habitatmodellen gebruikt, zoals DEMNAT, DURAVEG, WATERNOOD, MOVE en NICHE. De kennis over de relatie tussen waterhuishouding en vegetatie in deze modellen is overwegend gebaseerd op empirie: statistische correlaties en veldobservaties. Deze kennis is zeer waardevol, maar onvoldoende bruikbaar voor klimaatprojecties. Daarvoor zijn immers causale verbanden nodig. De grondwaterstand bijvoorbeeld heeft slechts een indirecte invloed op de hoeveelheid water en zuurstof in de wortelzone van planten.

Aan de andere kant is de kennis nog niet zover gevorderd dat vegetatievoorspellingen geheel op procesbeschrijvingen gebaseerd kunnen worden. Daarom is gekozen voor een hybride oplossing, waarbij alleen proceskennis is ingebouwd waar deze voldoende betrouwbaar werd geacht. Dat hybride karakter blijkt onder meer uit de twee opties die de WWN biedt: toetsen van bestaande natuurdoelen met de WATERNOOD-systematiek, en

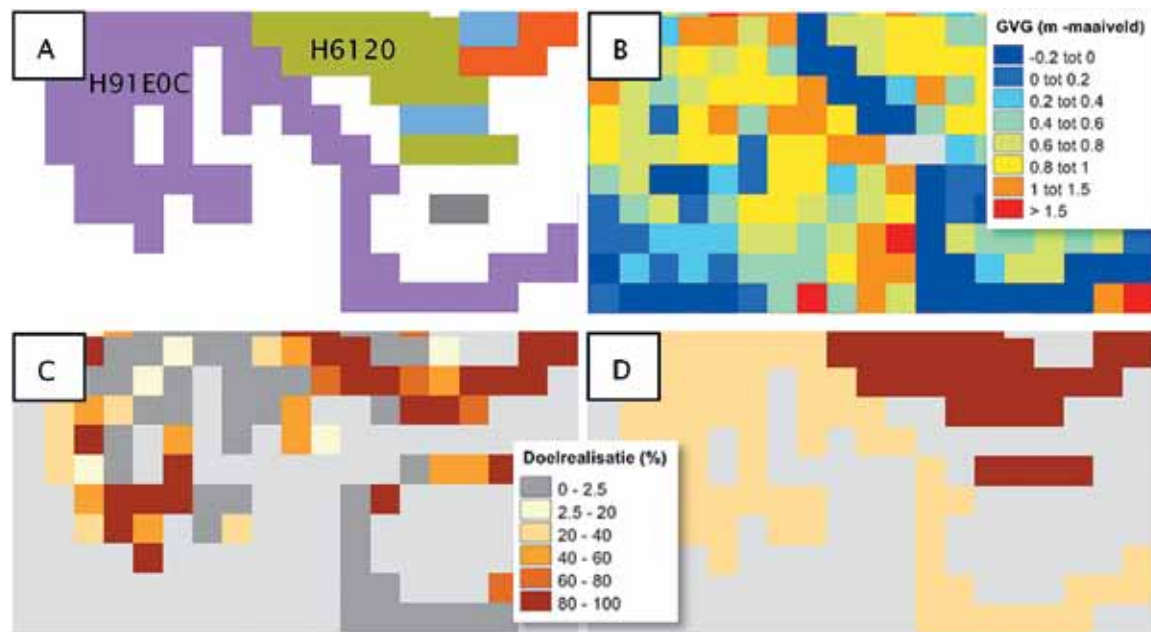
voorspellen van natuurpotenties met PROBE (Witte *et al.*, in voorbereiding).

WATERNOOD en PROBE

Voor het toetsen van natuurdoelen is ten eerste de WATERNOOD-systematiek ingebouwd, met de bekende trapeziumvormige functies die de zogenaamde doelrealisatie van vegetatietypen beschrijven in afhankelijkheid van de GLG, de GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) en de droogtestress (Runhaar & Hennekens, 2014). Hoewel niet bestemd voor klimaatprojecties, is deze kennis zo waardevol, dat deze toch in de WWN is opgenomen, maar er zijn wel drie nieuwe functionaliteiten aan toegevoegd. De eerste is dat de WWN het zogenaamde doelgat berekent: de grondwaterstandsverhoging of -verlaging die minimaal nodig is om een doelrealisatie van 100% te bereiken. Ten tweede berekent WWN de maximaal haalbare natuurdoelrealisatie binnen een kaartvlak, gegeven de variatie aan maaiveldhoogte (figuur 4). Op deze wijze wordt rekening gehouden met de heterogeniteit aan vochtcondities die ten gevolge van hoogteverschillen binnen kaartvlakken kunnen voorkomen. Ten derde wordt de gebruiker de mogelijkheid geboden te rekenen met twee klimaatrobuste maten die niet in de oude beoordelingsmethoden beschikbaar waren: transpiratiestress TS en zuurstofstress RS. Beide maten berekent de WWN voor het voorspellingsdeel dat door PROBE wordt gevoed (Witte *et al.*, 2015). Ze zijn speciaal ontwikkeld voor dit model en gebaseerd op simulaties met SWAP en op dezelfde kennis (Bartholomeus *et al.*, 2011) die enkele jaren later is toegepast in de WWL. Gebruikmakend van zowel expertkennis als een procesmodel (De Haan *et al.*, 2010; Fujita *et al.*, 2013) simuleert de WWN tevens wat de veranderingen in de voedselrijkdom en zuurgraad van de bodem zijn.

Figuur 4 voorbeeld-bepaling maximaal haalbare doelrealisatie (resolutie 25 m). **A:** Natuurdoelenkaart (gebruikersinvoer) met onder andere de eenheden 'vochtige alluviale bossen' (H91E0C, paars) en 'stroomdalgraslanden' (H6120, groen). **B:** GVG-kaart van in dit voorbeeld een kronkelwaardvlakte die een grote afwisseling van grondwaterstanden toont als afspiegeling van een grote variatie in maaiveldhoogte. **C:** doelrealisatie gegeven de GVG-waarden van kaart B. **D:** maximaal haalbare doelrealisatie. Deze stelt de WVN proefondervindelijk vast door de GVG met kleine stapjes te verhogen of te verlagen.

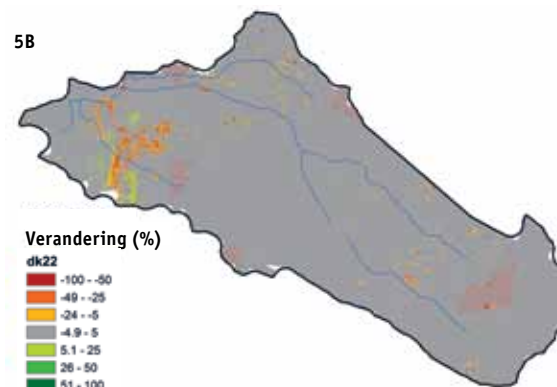
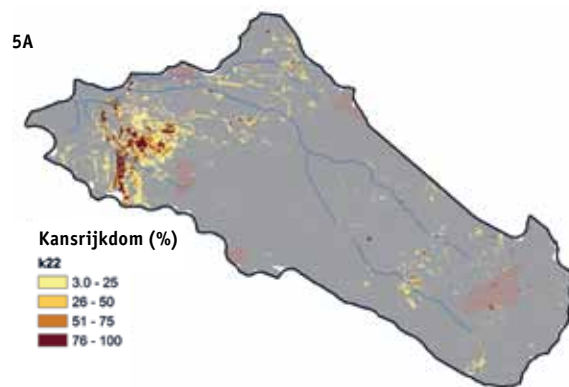
Figure 4 example of the determination of the maximum achievable nature target goal (resolution 25 m). **A:** Nature target map with among others 'moist alluvial forests' (H91E0C, purple) and 'grasslands of stream valleys' (H6120, green). **B:** map of the average groundwater level in spring (GVG) showing a very large variation in groundwater levels as a result of the large variation in soil surface. **C:** The target realization given the GVG values of map B. **D:** maximum achievable nature target. The Water Vision establishes this maximum experimentally by increasing and decreasing GVG with small steps.



Uit RS, TS, de voedselrijkdom en de zuurgraad wordt vervolgens de kansrijkdom van vegetatietypen berekend. Omdat de soortensamenstelling van plantengemeenschappen door klimaatverandering verandert en omdat het niet verantwoord is een groot aantal vegetatietypen te onderscheiden op basis van een beperkt aantal standplaatsfactoren, genereert de WVN uitkomsten voor een beperkt aantal typen, namelijk 31. De resultaten van de 31 typen worden door de WVN tevens gecombineerd tot één enkele kaart die hun gezamenlijke natuurwaarde weerspiegelt. De gebruiker heeft daarbij de keuze uit drie formele waarderingssystemen voor natuurwaarden (methode Gelderland, methode DEMNAT, aantal Rode Lijstsoorten). Indien gewenst kan de WVN gevuld worden met een andere selectie van vegetatietypen, waarvan de kansrijkdom via een automatische procedure (Witte et al., 2007) eenvoudig is te genereren.

Voorbeeldtoepassing

Ter illustratie geeft figuur 5A de kansrijkdom aan voor vegetatietype K22 in het stroomgebied van de Baakse Beek (280 km²). K22 staat voor: pioniervegetaties en graslanden van natte, voedselarme en zwak-zure bodems, denk aan soortenrijke blauwgraslandachtige vegetaties. Voor deze simulatie is aangenomen dat het hele gebied als natuurgebied wordt beheerd (de gebruiker kan dit opgeven). Figuur 5A geeft dan aan waar de potenties liggen voor de ontwikkeling van dit waardevolle type. Figuur 5B toont hoe K22 zich ontwikkelt als klimaatscenario W_H in 2050 werkelijkheid wordt: er zal vooral schade optreden, hoewel er ook locaties zijn waar de potenties licht toenemen. Analyse met de WVN toont aan dat de totale afname van de natuurwaarde ten gevolge van het W_H-scenario volledig kan worden gecompenseerd door overal in het stroomgebied de grondwa-



Figuur 5A gesimuleerde kansrijkdom van vegetatietype K22 in het stroomgebied van de Baakse Beek onder het huidige klimaat en **5B** verandering van die kansrijkdom in 2050 onder het W_H -scenario.

Figure 5A opportunity for the development of vegetation type K22 (pioneer vegetation and grasslands on wet, nutrient-poor and weakly acid soils) in the Baakse Beek catchment (280 km²) under the current climate, and **5B** change in this opportunity under the dry and warm W_H scenario.

terstand met circa 10 cm te verhogen (Witte *et al.*, 2015). De rekenmodule van de WWN is ondergebracht in een gebruiksvriendelijke schil die uitkomsten genereert in de vorm van kaarten en tabellen. Dankzij het gebruik van metarelaties en een zuinige programmeertechniek bedraagt de rekentijd op een eenvoudige laptop voor een gebied als de Baakse Beek (effectief 450.000 rekencellen) minder dan een halve minuut (WATERNOOD) tot een paar minuten (PROBE). Toetsen met PROBE kan overigens ook, mits de te toetsen eenheden habitattypen zijn. De PROBE-toetsresultaten voor het huidige klimaat komen goed overeen met de uitkomsten van WATERNOOD (Witte *et al.*, in voorbereiding).

Discussie

Provincies, drinkwaterbedrijven en de Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) hebben al aangegeven dat ze de WWL zullen gaan gebruiken bij het vaststellen van veranderingen in gewasopbrengsten als gevolg van grondwaterwinning. De WWL kan ook worden benut voor het vergroten van landbouwopbrengsten via het waterbeheer. De WWN is bruikbaar voor dezelfde instanties, maar ook voor natuurorganisaties, om schade aan de natuur vast te stellen en te zoeken naar maatregelen

waarbij de natuur het beste gedijt. Dat is onder meer van belang voor de verplichting van Nederland om habitattypen binnen het Natura 2000-netwerk in een goede of verbeterde staat van instandhouding te houden of te brengen. Met de waterwijzers kan worden voorkomen dat geld ondoelmatig wordt uitgegeven, bijvoorbeeld door natuurdoelen te plannen op locaties die weinig potenties hebben onder een toekomstig klimaat, of door het waterbeheer via oude cultuurtechnische normen niet juist af te regelen. Bij voorkeur zouden beide instrumenten tegelijk moeten worden ingezet voor een integrale optimalisatie van de waterhuishouding in een gebied en voor een inrichting waarvan zowel landbouw als natuur profiteren.

Voor zowel de WWL als de WWN geldt dat proceskennis is geoperationaliseerd in gedetailleerde modellen die aan de praktijk zijn getoetst. De modeluitkomsten zijn via metarelaties eenvoudig en snel toe te passen op de uitkomsten van een grondwatermodel, zowel op landelijke als op regionale schaal. Deze metarelaties zijn afgeleid voor verschillende weerstations, klimaatscenario's en de 72 bodemfysische eenheden (BOFEK2012) van Nederland (Wösten *et al.*, 2013), maar met een meer gedetailleerde bodembeschrijving kunnen ze ook op

maat voor een specifiek gebied bepaald worden. De kwaliteit en geldigheid van bodemgegevens en grondwaterstandskarakteristieken voor een studiegebied bepalen in belangrijke mate de betrouwbaarheid van de uitkomsten van beide waterwijzers.

Met de waterwijzers hebben we zeker geen honderd procent zekerheid over de te verwachten effecten van klimaatverandering, maar ze benaderen die effecten, op basis van recent wetenschappelijk onderzoek, wel zo goed mogelijk. Daarmee is overigens niet gezegd dat er niet nog veel kan worden verbeterd. Voor de WWN moet als eerste de simulatie van de voedselrijkdom en de zuurgraad worden verbeterd. Daartoe is al een uitgebreide vergelijking uitgevoerd van verschillende modelconcepten, alsmede een inventarisatie van beschikbare veldmetingen (Kros et al., 2017).

Voor de metarelaties die ontwikkeld zijn voor de WWL-tabel, is gebruik gemaakt van GLG's en GHG's. Met deze GxG's gaat echter veel detailinformatie over het verloop

van de grondwaterstand verloren. Daarom is nader onderzoek nodig naar alternatieven om de grondwaterstandsdynamiek te karakteriseren.

Voordat ze worden vrijgegeven voor gebruik worden beide waterwijzers geëvalueerd in praktijktoepassingen van de gebruiker/afnemer. Indien mogelijk worden verbeteringen direct doorgevoerd. Daarnaast zijn beide methodes zo opgesteld dat nieuwe inzichten, proceskenis en verbeterwensen kunnen worden ingebouwd. De waterwijzers kunnen dan ook steeds voorzien worden van de laatste inzichten ten behoeve van een landelijk gebied, waarin zowel de landbouw als de natuur kunnen floreren.

Credits

De waterwijzers worden ontwikkeld door een consortium van onderzoekers en gefinancierd door meerdere eindgebruikers. Deze partijen zijn door STOWA bij elkaar gebracht.

Summary

WaterVision Agriculture and Nature

Ruud Bartholomeus, Mirjam Hack-ten Broeke, Marius Heinen, Martin Mulder, Hans Kros, Rob Ruijtenberg, Han Runhaar & Flip Witte

climate, crop yield, vegetation, water management.

Both agricultural crop yields and the natural vegetation composition depend largely on the soil moisture conditions in the root zone. With ongoing climate change, more prolonged dry periods alternate with more intensive rainfall events, which changes soil moisture dynamics. Water Vision Agriculture and Water Vision Nature are being developed to provide farmers, nature

managers and water management authorities with opportunities to spatially quantify the effects of changes in climatic conditions and water management on both current and future crop yields and nature targets. Water Vision Agriculture distinguishes three different causes of crop yield reduction: drought, saline conditions or too wet conditions causing oxygen shortage in the root zone. It is based on the process-based hydrological simulation model SWAP and the crop growth model WOFOST, from which an easily applicable meta-model has been derived. Water Vision Nature uses climate robust relationships between habitat factors and plant characteristics, to predict the change of successful development of vegetation types and their corresponding

conservation value. Additionally, it simulates which nature targets can be achieved by adaptive water management. Combined application of Water Vision Agriculture

and Water Vision Nature will provide insights in possibilities for optimal water management in a region, profitable for both agriculture and nature.

Literatuur

- Bartholomeus, R.P., J.-P.M. Witte, P.M. van Bodegom, J.C. van Dam & R. Aerts, 2011.** Climate change threatens endangered plant species by stronger and interacting water-related stresses. *J Geophys Res*, 116(G4): G04023.
- Bartholomeus, R.P., J.-P.M. Witte, P.M. van Bodegom, J.C. van Dam & R. Aerts, 2008.** Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: substituting the Feddes-function by a process-based model. *J Hydrol*, 360: 147-165.
- Dam, J.C. van, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks & J.G. Kroes, 2008.** Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone Journal*, 7(2): 640-653.
- Fujita, Y., P.M. van Bodegom & J.-P.M. Witte, 2013.** Relationships between Nutrient-Related Plant Traits and Combinations of Soil N and P Fertility Measures. *PLoS ONE*, 8(12): e83735.
- Haan, M. de, H. Runhaar & G Cirkel, 2010.** Waternood Kansrijkdom-module; Pilotstudie in Noord-Nederland en toepassing voor vervaardiging waterkansenskaarten voor natuur. Nieuwegein, KWR 2010.106.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., J.G. Kroes, R.P. Bartholomeus, J.C. van Dam, A.J.W. de Wit, I. Supit, D.J.J. Walvoort, P.J.T. van Bakel & R. Ruijtenberg, 2016.** Quantification of the impact of hydrology on agricultural production as a result of too dry, too wet or too saline conditions. *SOIL*, 2(3): 391-402.
- Heinen, M., H.M. Mulder, D.J.J. Walvoort, R.P Bartholomeus, S.F. Stofberg & M.J.D Hack-ten Broeke, 2017.** Praktijktoets Waterwijzer Landbouw in pilotgebieden de Raam en Vecht, Wageningen Environmental Research.
- Hurk, B. van den, P. Siegmund & A.K. Tank, 2014.** KNMI'14: Climate Change Scenarios for the 21st Century -a Netherlands Perspective. KNMI.
- Knotters, M., R. Bartholomeus, M. Hack-ten Broeke, R. Hendriks, G. Holshof, I. Hoving, J. Kroes, M. Mulder & D. Walvoort, 2017.** Waterwijzer landbouw fase 3: naar een operationeel systeem voor gras en maïs. 9057737493, STOWA.
- Kroes, J.G., J.C. van Dam, R.P. Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit & P.E.V. van Walsum, 2017.** SWAP version 4, Theory description and user manual. Report 2780, Wageningen, Wageningen Environmental Research.
- Kros, J., J. Mol, W. de Vries, Y. Fujita & J.-P.M. Witte, 2017.** Comparison of model concepts for nutrient availability and soil acidity in terrestrial ecosystem. Nieuwegein KWR2017.053, KWR & WENR.
- Kruijt, B., J.-P.M. Witte, C.M.J. Jacobs & T. Kroon, 2008.** Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: A practical approach for the Netherlands. *J Hydrol*, 349(3-4): 257-267.
- Poorter, H. & M.L. Navas, 2003.** Plant growth and competition at elevated CO₂: on winners, losers and functional groups. *New Phytol*, 157(2): 175-198.
- Runhaar, J. & S. Hennekens, 2014.** Hydrologische Randvoorwaarden Natuur; Versie 3, Amersfoort, STOWA, WUR, KWR.
- Witte, J.P.M., R.P. Bartholomeus, Y. Fujita, J. Runhaar, P. Hoefsloot, J. Mol, J. Kros & W. de Vries, in voorbereiding.** De Waterwijzer Natuur. Handleiding en inhoudelijke verantwoording. Amersfoort, STOWA.
- Witte, J.-P.M., R.P. Bartholomeus, P.M. van Bodegom, D.G. Cirkel, R. van Ek, Y. Fujita, G.M. Janssen, T.J. Spek & H. Runhaar, 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.
- Witte, J.P.M., R.B. Wójcik, P.J.J.F. Torfs, M.W.H. de Haan & S. Hennekens, 2007.** Bayesian classification of vegetation types with Gaussian mixture density fitting to indicator values. *J Veg Sci*, 18: 605-612.
- Wösten, H., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers & A. Bolman, 2013.** BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen Alterra-rapport 2387, Alterra.