



Ruud Bartholomeus, KWR Watercycle Research Institute

Bernard Voortman, KWR Watercycle Research Institute

Flip Witte, KWR Watercycle Research Institute / Vrije Universiteit Amsterdam

De toekomstige grondwateraanvulling

De dynamiek van vegetatie-eigenschappen speelt een cruciale rol in de grondwateraanvulling: de hoeveelheid neerslag die uiteindelijk doorsijpelt naar het grondwater. In verband met klimaatverandering is het van belang deze dynamiek te begrijpen, zodat op de te verwachten grondwateraanvulling kan worden geanticipeerd via bijvoorbeeld de inrichting en het beheer van terreinen en de bescherming van waterwingebieden. Ook voor hen die twijfelen aan klimaatverandering of menen dat ze de ontwikkelingen kunnen afwachten, is het van belang te weten hoe het klimaat, maar dan via natuurlijke variaties in weersgesteldheid, het grondwater beïnvloedt. Als voorbeeld van de cruciale rol van de vegetatie op de grondwateraanvulling beschouwen we in dit artikel de hogere zandgronden (duinen, dekzandruggen en stuwwallen). We laten zien dat door meer droogte in de zomer de grondwateraanvulling in deze gebieden kan toenemen doordat de bodembedekking afneemt. Wordt het nu droger of natter? De vegetatie zal de doorslag geven.

Zowel waarnemingen als modelvoorspellingen tonen aan dat het klimaat wereldwijd verandert. De temperatuurstijging, de afname van de neerslag in de zomer en de verhoogde potentiële verdamping beïnvloeden de waterbalans, de beschikbaarheid van zoet water, de gewasproductie en de soortensamenstelling en structuur van natuurlijke vegetaties. Neerslag en werkelijke (actuele) verdamping bepalen de grondwateraanvulling grotendeels of geheel (bij afwezigheid van oppervlakteafvoer). Daardoor beïnvloedt klimaatverandering tevens de beschikbaarheid van zoet water voor natuur en landbouw in lager gelegen kwelgebieden en ook de hoeveelheid drinkwater die 'van nature' kan worden gewonnen. Bovendien is grondwateraanvulling in de kustgebieden essentieel om de zoetwaterbel en de zoet-zoutgrens in stand te houden. De huidige kennis schiet echter tekort om de effecten van klimaatverandering op de toekomstige beschikbaarheid van zoet water te voorspellen.

De toekomstige grondwateraanvulling, de drijvende kracht achter het grondwatersysteem, kan alleen goed worden voorspeld als we begrijpen hoe vegetatie reageert op veranderingen in klimatologische omstandigheden én hoe de vegetatie de grondwateraanvulling beïnvloedt door

veranderingen in de werkelijke verdamping. Terwijl het vrijwel zeker is dat door de verandering van het klimaat de referentieverdamping (de potentiële verdamping van een referentiegrasland, zoals verstrekt door het KNMI) zal toenemen, bestaat over de toekomstige werkelijke verdamping nog grote onzekerheid. Het is juist deze werkelijke verdamping die uiteindelijk de grondwateraanvulling bepaalt.

Verdamping in hydrologische modellen

Voor ruimtelijke analyses van klimaat-effecten zijn regionale hydrologische modellen onontbeerlijk. Zo zal voor diverse gebiedsstudies ongetwijfeld gebruik moeten worden gemaakt van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) of, voor regionale modellen, van MODFLOW of andere software. In de huidige hydrologische modellen is de vegetatie geschematiseerd als een laag met vaste verdampingseigenschappen. Onvolkomenheden in de schematisering en parametrisering van deze groene laag worden door modelbouwers meestal vereffend door bijvoorbeeld een hydraulische weerstand in de ondergrond bij te stellen. Fouten worden daardoor niet opgemerkt. Dit kan ernstige gevolgen hebben voor de simulatie van klimaat-effecten. Uit een recente studie^{1,2)} bleek bijvoorbeeld dat het ene model onder het

droge scenario W+ een verhoging van de grondwateraanvulling berekende, terwijl een ander model voor hetzelfde gebied juist op een verlaging uitkwam.

Droogtestress: transpiratiereductie

Planten hebben water nodig voor biochemische reacties en om celspanning in stand te houden. Het grootste deel van het water dat ze via hun wortels opnemen, verdwijnt echter via transpiratie (gewasverdamping) door de stomata (huidmondjes) naar de atmosfeer. Dit waterverlies door transpiratie gaat gepaard met opname van koolzuurgas (CO₂) door de plant en voorkomt tevens dat planten lijden aan hittestress. CO₂ is nodig voor fotosynthese en dus voor de productie van biomassa. Bij een tekort aan water sluiten planten de stomata, waardoor het waterverlies door transpiratie afneemt. Hierdoor wordt echter ook de opname van CO₂ belemmerd, zodat minder fotosynthese plaatsvindt en dus minder groei en biomassa vorming.

Of planten op een bepaalde plek kunnen overleven, wordt onder meer bepaald door de beschikbaarheid van water. Planten proberen altijd voldoende water op te nemen uit de bodem. Planten transpireren maximaal als er voldoende bodemvocht beschikbaar is. Als een tekort aan bodemvocht ontstaat, sluiten planten hun huidmondjes en neemt de transpiratie af. Als

de beschikbaarheid van water onvoldoende is om aan de vraag van de planten te voldoen, lijden planten aan droogtestress. Het verschil tussen potentiële en werkelijke transpiratie geeft aan hoeveel moeite een plant moet doen om water op te nemen. Hoe groter het verschil, des te hoger de droogtestress.

Klimaatverandering en droogte

De KNMI'06-klimaatscenario's voor 2050 (zie de tabel) sluiten aan bij de verwachte wereldwijde temperatuurstijging van tussen +1°C (de gematigde scenario's, G) en +2°C (de 'warme' scenario's, W). Naast deze temperatuurstijging is voor Nederland ook de overheersende windrichting van belang. De temperatuurstijging kan leiden tot een veranderende windrichting. De toevoeging '+' in de tabel geeft aan dat met name in de zomer de kans op wind uit het oosten toeneemt. Deze windrichting gaat gepaard met een grotere kans op droog en warm weer^{3),4)}. De W- en W+-scenario's worden inmiddels als meest waarschijnlijk aangeduid⁵⁾. In beide scenario's neemt de hoeveelheid neerslag die in de winter valt toe.

Meteorologische droogte, gedefinieerd als het potentiële neerslagtekort (potentiële verdamping minus neerslag)⁶⁾, zal volgens de KNMI'06-klimaatscenario's in de nabije toekomst steeds meer een probleem worden. Dat komt doordat langdurige perioden zonder neerslag in combinatie met een hogere potentiële verdamping vaker gaan voorkomen. Daarmee neemt ook de droogtestress van de vegetatie toe. Hoe deze veranderingen uiteindelijk doorwerken op de grondwateraanvulling en de grondwaterstand, hangt af van de werkelijke verdamping. Om deze te kunnen voorspellen, moeten we de invloed van klimaatverandering op droogtestress weten én de aanpassingen van de vegetatie hierop.

Droogtestress op hellingen indicatief

In een eerdere studie is aangetoond dat planten door een toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer efficiënter omgaan met water, waardoor het water-

variabele	scenario			
	G-scenario	G+	W	W+
<i>zomer (juni, juli, augustus)</i>				
gemiddelde temperatuur (°C)	+0.9	+1.4	+1.7	+2.8
gemiddelde neerslag (%)	+2.8	-9.5	+5.5	-19.0
aantal natte dagen (%)	-1.6	-9.6	-3.3	-19.3
neerslag op natte dag (%)	+4.6	+0.1	+9.1	+0.3
referentie verdamping (%)	+3.4	+7.6	+6.8	+15.2
<i>winter (december, januari, februari)</i>				
gemiddelde temperatuur (°C)	+0.9	+1.1	+1.8	+2.3
gemiddelde neerslag (%)	+3.6	+7.0	+7.3	+14.2
aantal natte dagen (%)	+0.1	+0.9	+0.2	+1.9
neerslag op natte dag (%)	+3.6	+6.0	+7.1	+12.1

Effecten van klimaatverandering op de temperatuur, neerslag en referentieverdamping in Nederland voor de vier KNMI'06-scenario's³⁾.

verlies door verdamping vermindert^{7),8)}. Hier willen we de aandacht vestigen op een andere belangrijke terugkoppeling van de vegetatie: het aandeel kale grond en niet-wortelende planten (mossen en korstmossen) zal toenemen als, volgens de verwachtingen, de zomers droger worden. Kale grond en (korst)mossen verdampen minder dan een bedekte bodem, waardoor, in combinatie met meer winterneerslag, de jaarlijkse grondwateraanvulling juist kan toenemen.

Om de effecten van verschillen in droogte op de vegetatie-eigenschappen te begrijpen, richten we ons op duinen en dijken met verschillende helling en expositie. Zuidhellingen zijn droger dan noordhellingen, omdat zuidhellingen meer zonnestraling ontvangen. Door verschillen in meteorologische condities, droogtestress en vegetatie-eigenschappen op tegengestelde hellingen te analyseren, krijgen we inzicht in de mogelijke effecten van klimaatverandering op de toekomstige grondwateraanvulling. In de duinen, zowel aan de kust als in het

binnenland op bijvoorbeeld de Hoge Veluwe, zien we verschillen in vegetatie-eigenschappen binnen korte afstanden waar zeer lokale verschillen in meteorologische condities bestaan (zie foto's). Dikwijls is goed te zien dat het aandeel kale grond op zuidhellingen hoger is dan op noordhellingen. Dit verschijnsel kan direct worden gerelateerd aan fysiologische processen: droogtestress beperkt immers de groei van planten. Bovendien blijkt uit vegetatie-opnamen^{9),10)} dat ook het percentage droogteminnende soorten hoger is op zuid- dan op noordhellingen en lager op siltige dan op zandige bodems. Zowel bodemeigenschappen als lokale verschillen in meteorologische condities hebben dus invloed op de eigenschappen van de vegetatie.

Uit berekeningen met een door ons aangepaste versie van het onverzadigde zone model SWAP¹¹⁾, waarin we rekening houden met het effect van zonnestraling en neerslag op een helling, blijkt dat de droogtestress op noordhellingen inderdaad

Bodembedekking op hellingen gericht op het noorden (links) en zuiden in een duingebied in Nederland.



lager is dan op zuidhellingen. Door klimaatverandering zal de droogtestress toenemen op zowel een horizontaal vlak, als op een noord- en zuidhelling (zie afbeelding 1A). We verwachten dat deze toename in droogtestress resulteert in een afname in de bodembedekking (zie afbeelding 1B). De afname in bedekking wordt volgens onze berekeningen vele malen groter op een zuid- dan op een noordhelling. Door de sterke afname in bodembedekking op een zuidhelling, neemt de grondwateraanvulling naar verwachting sterk toe. Op een noordhelling zal deze juist nagenoeg gelijk blijven (zie afbeelding 1C), zelfs onder het droogste scenario W+.

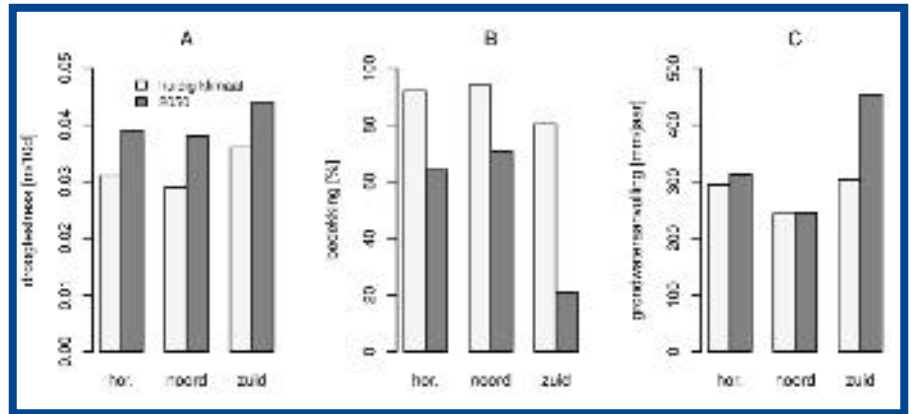
Deze resultaten geven een eerste indicatie van de effecten van klimaatverandering op de vegetatie en grondwateraanvulling: hoewel het klimaat droger lijkt te worden, neemt de grondwateraanvulling toe door de combinatie van veranderingen in vegetatie-eigenschappen en meer neerslag in de winter.

Volgende stappen

Om de effecten van klimaatverandering op de toekomstige grondwateraanvulling enigszins realistisch te voorspellen, moeten we rekening houden met verschillende processen. Zo neemt door de afname van de bodembedekking de temperatuur toe. Dit beïnvloedt de verdamping, maar kan ook zorgen voor hittestress bij planten. Zo zijn op zuidhellingen op droge zandgronden temperaturen gemeten van bijna 50°C¹². Bij hogere temperaturen neemt de afbraak van organische stof toe en het organische stofgehalte af. Hierdoor vermindert het vochtleverend vermogen van een bodem. Ook zijn uitgedroogde, kale bodems vaak (tijdelijk) waterafstotend. Infiltratie vindt dan plaats via preferente stroombanen, waardoor het water moeilijk beschikbaar is voor de planten en de ruimtelijke vegetatiepatronen kunnen veranderen (zie foto). Verder zal, zodra een bodem droger wordt en de bedekking afneemt, de wind steeds meer vat krijgen op de bodemdeeltjes en winderosie dus toenemen. Dit zal de bedekking versneld doen afnemen. Zolang een bodem vochtig genoeg en dus voldoende bedekt is, speelt winderosie maar een beperkte rol.

Een belangrijke verbetering van de huidige hydrologische modellen ligt in het

Referentiebeeld van grondwateronafhankelijke zandgronden onder een droger klimaat? (foto L.B. Sparrius).



Afb. 1: Gesimuleerde droogtestress (A), voorspelde bodembedekking (B) en gesimuleerde grondwateraanvulling (C) voor een horizontaal vlak en voor een noord- en zuidhelling van 15°C. Resultaten zijn gegeven voor zowel het huidige als het toekomstige (2050) klimaat (scenario W+).

goed beschrijven van zowel transpiratie, evaporatie als interceptieverdamping onder invloed van klimaatverandering. Zo is transpiratie afhankelijk van de CO₂-concentratie in de atmosfeer en heeft de neerslagintensiteit invloed op de interceptieverdamping. Ook moet de interceptiecapaciteit van mossen en korstmossen worden bepaald. Transpiratie, evaporatie en interceptieverdamping moeten afzonderlijk worden berekend in plaats van het beschouwen van uitsluitend de totale evapotranspiratie.

Kennis van zulke processen is essentieel in de analyse van de effecten van klimaatverandering op de toekomstige grondwateraanvulling. De komende jaren willen we een model voor grondwateronafhankelijke vegetaties ontwikkelen waarin we rekening houden met het samenspel van processen in het bodem-plant-atmosfeersysteem, inclusief terugkoppelingsmechanismen van de vegetatie. Aan de hand van een dergelijk model hopen we uiteindelijk praktische toepasbare correctiefactoren voor de grondwateraanvulling te kunnen afleiden.

Het uiteindelijke doel van dit meerjarige project, dat wordt gefinancierd met subsidie van het programma Kennis voor Klimaat, het gezamenlijke onderzoek van de waterbedrijven en het eigen fundamentele onderzoeksprogramma van KWR, is een klimaatbestendige verdampingsmodule voor hydrologische modellen. Pas met een

dergelijke module kan de waterhuishouding van Nederland in een toekomstig klimaat goed worden gesimuleerd en kunnen adaptatiemaatregelen zinvol worden doorgerekend.

LITERATUUR

- 1) Witte J., J. Runhaar en R. van Ek (2009). Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland. KWR.
- 2) Witte J., J. Runhaar, R. van Ek en D.-J. van der Hoek (2009). Eerste landelijke schets van de ecohydrologische effecten van een warmer en grilliger klimaat. H₂O nr. 16/17, pag. 37-40.
- 3) Van den Hurk B., A. Klein Tankink, G. Lenderink, A. van Ulden, G. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger en S. Drijfhout (2006). KNMI Climate change scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI.
- 4) Droogers P. (2009). Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer. Definitiestudie. STOWA.
- 5) KNMI (2009). Klimaatschetsboek Nederland; het huidige en toekomstige klimaat.
- 6) Peters E. (2004). De droogte van 2003 in Nederland. Stromingen nr. 3, pag. 5-19.
- 7) Kruijt B., J. Witte, C. Jacobs en T. Kroon (2008). Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: A practical approach for the Netherlands. Journal of Hydrology nr. 3-4, pag. 257-267.
- 8) Witte J., B. Kruijt, T. Kroon en C. Maas (2006). Verdamping planten daalt door toename atmosferische kooldioxyde. H₂O nr. 5, pag. 29-31.
- 9) Jansen P. en J. Runhaar (2005). Toetsing van het verband tussen het aandeel xerofyten en de droogtestress onder verschillende omstandigheden. Alterra.
- 10) Jansen P., J. Runhaar, J. Witte en J. van Dam (2000). Vochtindicatie van grasvegetaties in relatie tot de vochttoestand van de bodem. Alterra.
- 11) Van Dam J., P. Groenendijk, R. Hendriks en J. Kroes (2008). Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone Journal nr. 2, pag. 640-653.
- 12) De Blois P., J. van Boxel en J. Fanta (1991). Microklimaat en successie: ruimtelijke variabiliteit. Nederlands Bosbouw Tijdschrift pag. 269-276.