
Hoe robuust is ons hydrologisch systeem (2)?

Hydrologische effecten van klimaatverandering en toenemende grondwateronttrekking als gevolg van extra beregening op het watersysteem in Oost-Nederland.

Jan van Bakel¹, Hendrik Staarink², Joachim Huinink³, Marco Arts⁴, Joris Schaap⁵, Bas Worm⁶

Hoe robuust is het hydrologisch systeem in het vrij afwaterende deel van Nederland? Kan het de gevolgen van een toename in grondwateronttrekkingen (door beregening) in combinatie met een grotere verdampingsvraag door klimaatverandering en technologische en economische ontwikkelingen in de landbouw opvangen of wordt een 'knikpunt' overschreden? In het eerste artikel is gekeken naar de structurele verandering van grondwaterstanden en stijghoogten berekend met NHI voor heel Nederland. Voor Oost-Nederland is een aparte analyse uitgevoerd waarbij ook is gekeken naar verandering van fluxen (kwel) en afvoeren. Aanvullend is gerekend met het agrohydrologisch model SWAP om gedetailleerd de effecten van toename van beregening op de grondwaterstanden en van mitigerende maatregelen te berekenen.

Inleiding

Het Deelprogramma Zoetwater van het Deltaprogramma richt zich op de vraag hoe de zoetwatervoorziening van Nederland voor de lange termijn duurzaam ingericht kan worden en op welk moment dan bepaalde maatregeltypen genomen moeten worden (de zoetwaterstrategie). De projectgroep Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON) heeft in aansluiting daarop een regionale strategie ontwikkeld en bijbehorend uitvoeringsprogramma dat momenteel omgezet wordt naar een concreet werkprogramma. De bestuurders van de verschillende regionale partijen hebben ter ondersteuning van dat werkprogramma een financieel regionaal bod uitgebracht waarin wordt aangegeven welke inzet ze de komende jaren willen leveren om de zoetwatervoorziening te verduurzamen. Beregenen is daarin opgenomen als een van de mogelijke maatregelen. Echter, beregening heeft effect op het hydrologisch systeem en kan zo - veelal indirect - weer leiden tot (onaanvaardbare) schade aan landbouw en natuur. De verkennende bereke-

1 De Bakelse Stroom (jan.van.bakel@hetnet.nl)
2 Aequator Groen & Ruimte (hstaarink@aequator.nl)
3 Deltares (Joachim.Huinink@deltares.nl)
4 Aequator Groen & Ruimte (marts@aequator.nl)
5 Badus Bodem en Water (badus@jorisschaap.nl)
6 Waterschap Vechtstromen (B.Worm@vechtstromen.nl)

ningen met het NHI die in het vorige artikel zijn behandeld indiceerden dat de effecten aanzienlijk kunnen zijn. Naar aanleiding daarvan is vanuit de projectgroep ZON de vraag gesteld: "Tot hoe ver kun je gaan met beregening uit het grondwater zonder dat het watersysteem een structurele daling ondergaat?" (een zogenaamd 'knikpunt'). Daaraan gerelateerde vragen waren: a) biedt efficiëntere beregening mitigatiemogelijkheden en b) zijn maatregelen denkbaar die de beregeningsbehoefte doen verminderen?

Provincie Overijssel heeft namens de projectgroep ZON aan een consortium, bestaande uit Aequator Groen & Ruimte, De Bakelse Stroom en Deltares, opdracht verstrekt via verkennende berekeningen een antwoord te geven op deze vragen (Staarink e.a., 2015). In dit artikel zijn de aanpak en de meest in het oog springende resultaten beschreven. Allereerst gaan we nader in op het begrip 'knikpunt'.

Definiëring van knikpunten

Een belangrijke, van de hoofdvraag af te leiden vraag is: is de verandering van het hydrologische systeem als gevolg van de verwachte klimaatverandering in combinatie met een toename van de beregening structureel van aard en, zo ja, is dit zodanig van aard dat dit leidt tot onaanvaardbare schade aan landbouw en natuur (een zogenaamd '**knikpunt**').

Uit de literatuur is de volgende beleidsmatige definitie van 'knikpunt' ontleend (Kwadijk e.a., 2008): *een moment waarop het beheer en beleid heroverwogen zal worden.*

Bij het operationaliseren gaat het om het vaststellen van de verandering in toestandsvariabelen en/of waterbalanstermen van een regionaal hydrologisch systeem, als gevolg van de combinatie van klimaatverandering en verandering in de omvang van de beregening uit grondwater. Een eis daarbij is dat de voor de knikpunten bepalend geachte toestandsvariabelen te berekenen moeten zijn. De variabelen uit de onderstaande tabel zijn in deze studie toegepast.

Toestandsvariabele	Knikpunt
	Grenswaarde voor structurele verandering
• Verandering in grondwaterstand	
○ ΔGHG (Landbouw)	5 cm verlaging
○ ΔGVG (Terrestrische Natuur)	1 cm verlaging
○ ΔGLG (Terrestrische Natuur)	5 cm verlaging
• ΔDroogval (Terrestrische Natuur)	3 mm/jaar vermindering in gebieden met kwel
• ΔDroogval (Aquatische natuur)	aantal decades zonder afvoer

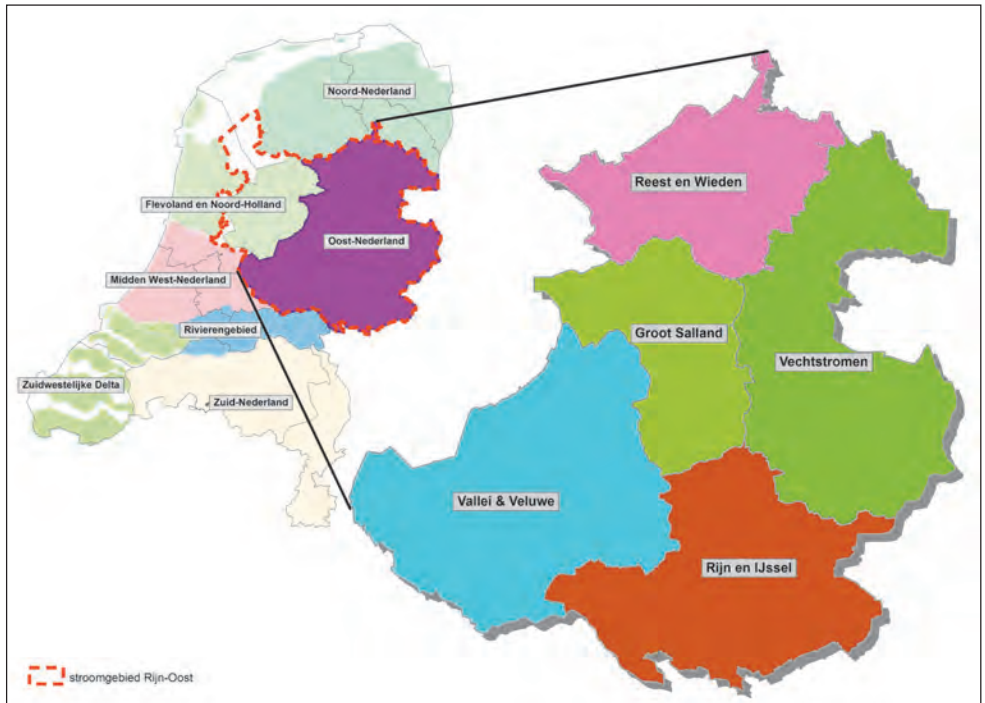
Tabel 1: Samenvatting toestandsvariabelen en definitie knikpunten

Voor de landbouw is bewust voor de GHG gekozen omdat deze karakteristiek voor het grondwaterstandsverloop een betere maat is voor de structurele verandering van de grondwaterstand dan de GLG. Voor de natuur is zowel de GVG en de GHG als ook de kwel van belang. In tweede instantie zijn voor de kwel minder strenge grenswaarden gehanteerd: 10 en 36 mm/jaar.

Een eenduidig knikpunt voor droogval als belangrijke toestandsvariabele voor aquatische natuur is niet gedefinieerd omdat daarover geen bruikbare literatuur beschikbaar was. Er is daarom voor gekozen om het aantal decades zonder afvoer als maat te nemen voor de verandering in droogval.

Materiaal en methoden

Het gebied waarop de Zoetwatervoorziening Oost-Nederland momenteel betrekking heeft is weergegeven in afbeelding 1.



Afbeelding 1: Projectgebied Oost-Nederland en inliggende waterschappen

De resultaten van de berekeningen met NHI zoals besproken in het eerste artikel zijn gebruikt om voor het projectgebied in 2050: a) de regionale effecten van klimaatverandering (W+, scenario WARM-2050) te vergelijken met de huidige situatie en b) de effecten te bepalen van een toename van de beregening door toename van de beregeningscapaciteit met 40% op reeds bij WARM2050 beregenbare arealen plus een verdubbeling van het beregenbare areaal. De effecten zijn bepaald voor de grondwaterstandkarakteristieken GHG, GVG en GLG, de kwel en de afvoeren in de zomerperiode (om daarmee te kunnen toetsen of een knikpunt is overschreden).

Voorts zijn de NHI-resultaten gebruikt om voor 6 specifieke locaties waarvoor in het kader van het project 'Landbouw op Peil' (www.landbouwoppeil.nl) de huidige toestand is gemodelleerd met SWAP -en die ook in de huidige situatie worden beregend-aanvullende berekeningen uit te voeren. Daarbij is de volgende methode gebruikt om

de regionale veranderingen in 2050 die met NHI zijn berekend te kunnen gebruiken als input voor SWAP:

1. Het projectgebied is ingedeeld in 36 unieke combinaties (UC's) van landgebruik (2), hydrotype (Van Bakel e.a., 2007) (6) en grondwaterstandsdiepte (3).
2. Per UC wordt de met NHI berekende gemiddelde verandering van de onderrandflux (flux over eerste scheidende laag) bepaald door verschil van WARM2050 en de huidige situatie.
3. De verandering van onderrandflux van de UC's die horen bij de 6 SWAP-modellen wordt opgeteld bij de onderrandflux van SWAP zoals bekend voor de huidige situatie.

Ook is een verlenging van het groeiseizoen in 2050 in SWAP opgelegd door te 'sleutelen' aan het verloop van de Leaf Area Index (LAI). Uit een eerder onderzoek (Van Bakel, 2012) is afgeleid dat verlenging van het groeiseizoen vooral bij grasland kan leiden tot gemiddeld 30 mm per jaar meer verdamping.

Met deze SWAP-modellen is vervolgens berekend wat de effecten zijn van de volgende mitigerende maatregelen om de berekening te verminderen:

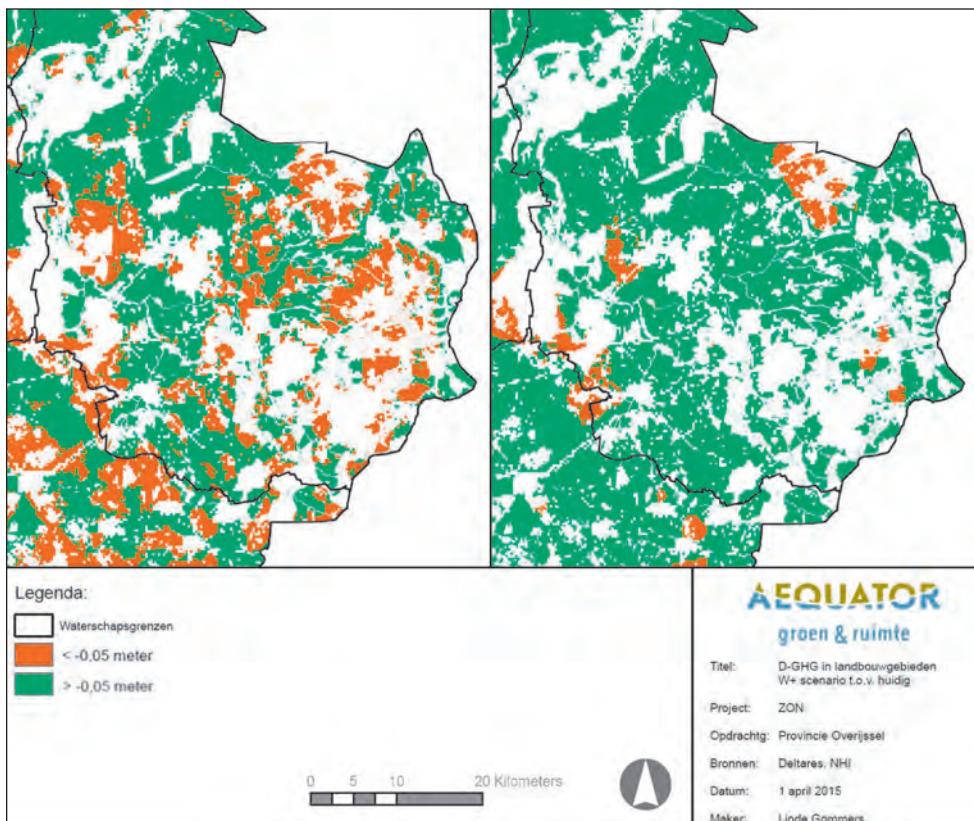
- verhogen van het organisch stofgehalte van de wortelzone met 3% (dit is een in de praktijk zeer ambitieuze verhoging). De waterretentiecurve van de wortelzone is aangepast aan de hand van de vuistregel: 4 mm hoger vochtleverend vermogen bij 1% toename van het organisch stofgehalte;
- onbeperkte wateraanvoer voor subinfiltratie;
- peilgestuurd draineren zonder wateraanvoer.

Ook is met SWAP berekend wat het maximale effect is van berekening op de grondwaterstand door de gesimuleerde berekening als extra neerwaartse onderrandflux op te leggen. Laatstgenoemde berekening is iteratief uitgevoerd omdat het opleggen van de extra onderrandflux resulteert in een daling van de grondwaterstand gedurende het groeiseizoen en daardoor weer kan leiden tot meer berekening. De aldus berekende extra berekening is een indicatie voor het potentieel zelfversterkend effect van berekening uit grondwater.

Resultaten

Knikpunt landbouw

Het optreden van het knikpunt GHG voor de landbouw (> 5 cm verlaging in landbouwgebied) als gevolg van klimaatverandering en als gevolg van een verdubbeling van de berekening uit grondwater is weergegeven in afbeelding 2. Hierbij is, evenals in de volgende 3 figuren, maar een deel van het projectgebied weergegeven, in verband met de leesbaarheid. In Staarink e.a. (2015) zijn de beelden van het gehele projectgebied weergegeven.

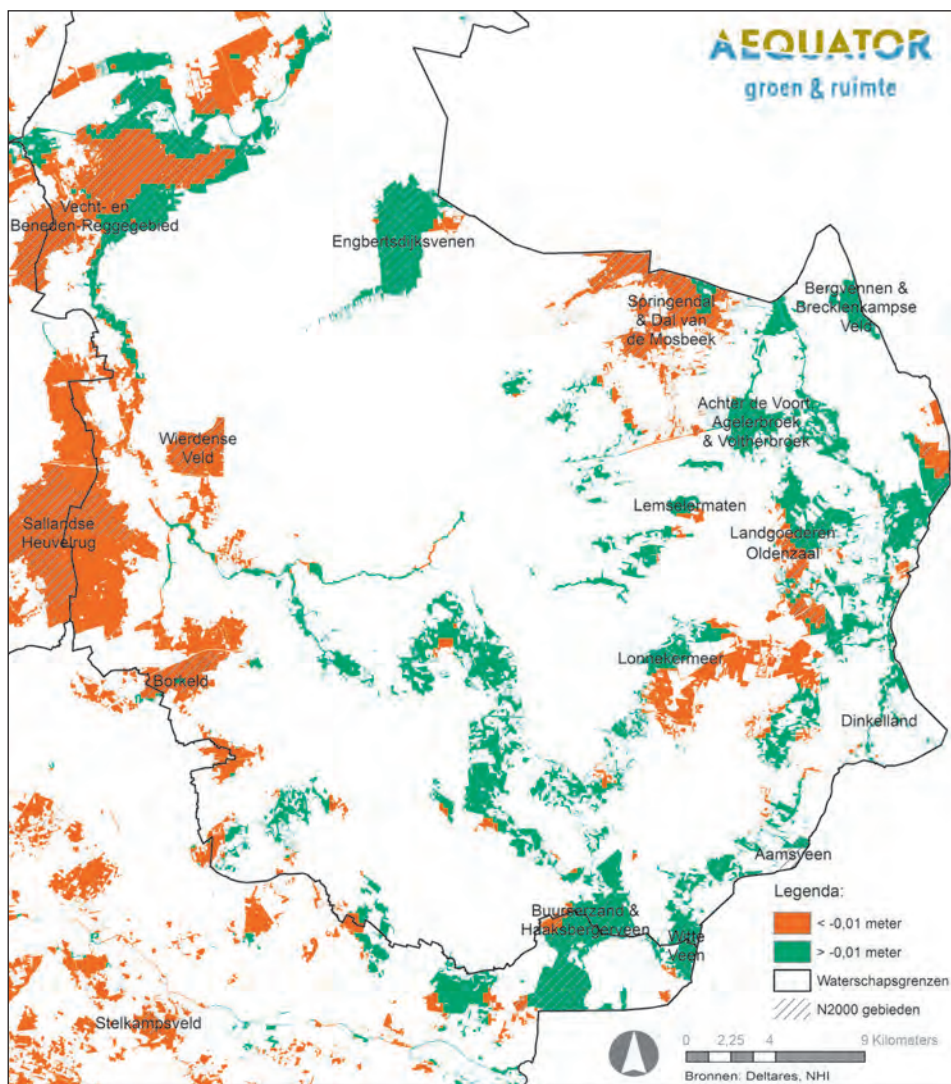


Afbeelding 2: Het wel of niet overschrijden van het knikpunt GHG (5 cm) in het landbouwgebied (groen is niet overschreden). Links: als gevolg van alleen klimaatverandering. Rechts: verdubbeling beregend areaal

De overschrijding door klimaatverandering (linkerdeel van de figuur) treedt vooral op in droge gebieden en heeft daar naar verwachting weinig effect op de landbouw, omdat daar veel hangwaterprofielen voorkomen. De grondwaterstand is hier toch al laag en er vindt geen capillaire opstijging naar de wortelzone plaats. Het toenameberegeningseffect (rechterdeel van de figuur) is veel beperkter dan het klimaateffect.

Knikpunten terrestrische natuur

Het overschrijden van het knikpunt GVG als gevolg van de toename van de beregening ten opzichte van de situatie bij klimaatverandering voor de terrestrische natuur (> 1 cm verlaging in Natura2000-gebieden) is, voor van de leesbaarheid, voor een beperkt deel van het studiegebied weergegeven in afbeelding 3.

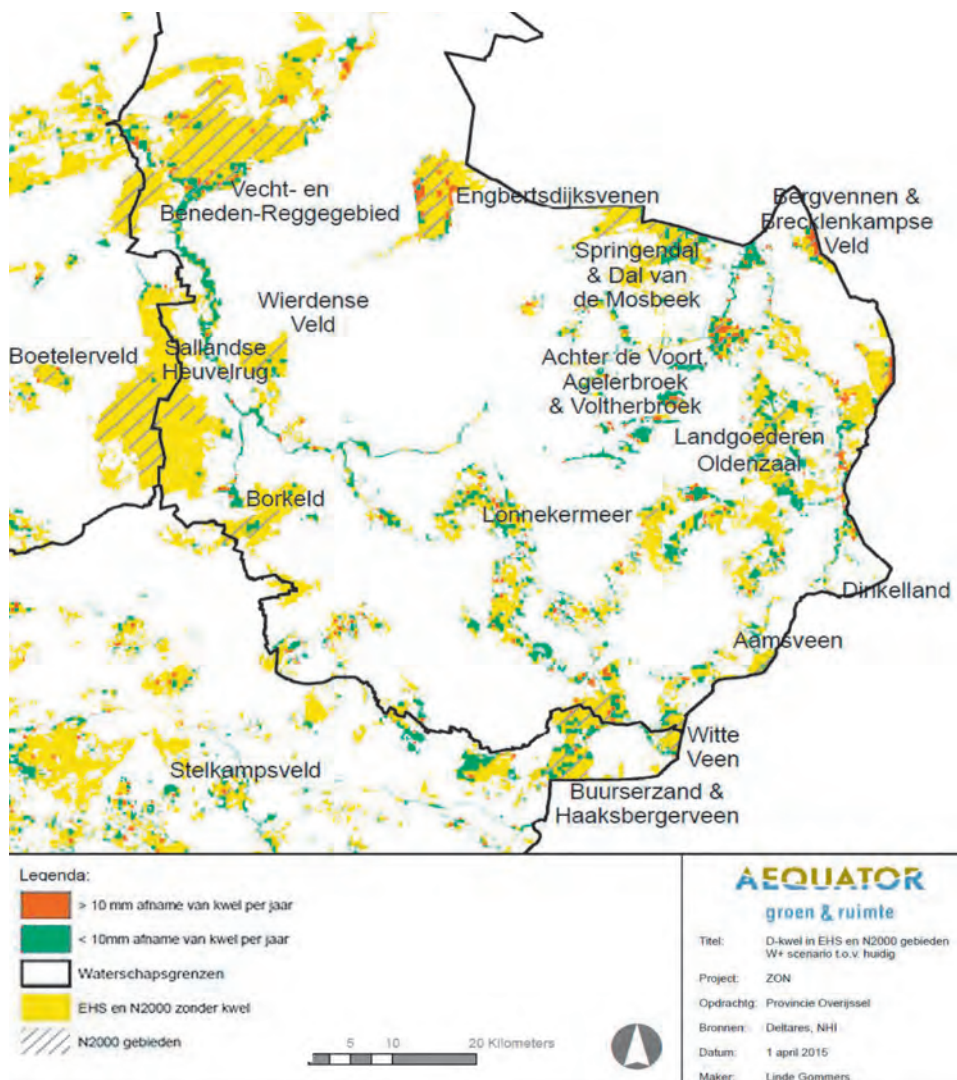


Afbeelding 3: Het wel of niet overschrijden van het knikpunt GVG (1 cm) in natuurgebieden (groen is niet overschreden) als gevolg van toename van beregening

In vrijwel alle natuurgebieden kleuren één of meer pixels rood. Het effect van toename beregening is overigens duidelijk minder dan het effect van klimaatverandering.

Het overschrijden van het knikpunt GLG (5 cm) vertoont een soortgelijk beeld (figuren niet opgenomen). Zowel het klimaat als de toename van beregening heeft een ongeveer 5 maal zo grote uitwerking op de GLG dan op de GVG.

Voor het overschrijden van de knikpunten kwel voor terrestrische natuur (> 3, >10 en >36 mm/jaar afname) in natuurgebieden waar daadwerkelijk sprake is van actuele kwelsituaties is in afbeelding 4 het resultaat voor 10 mm/jaar voor een deel van het projectgebied gegeven.

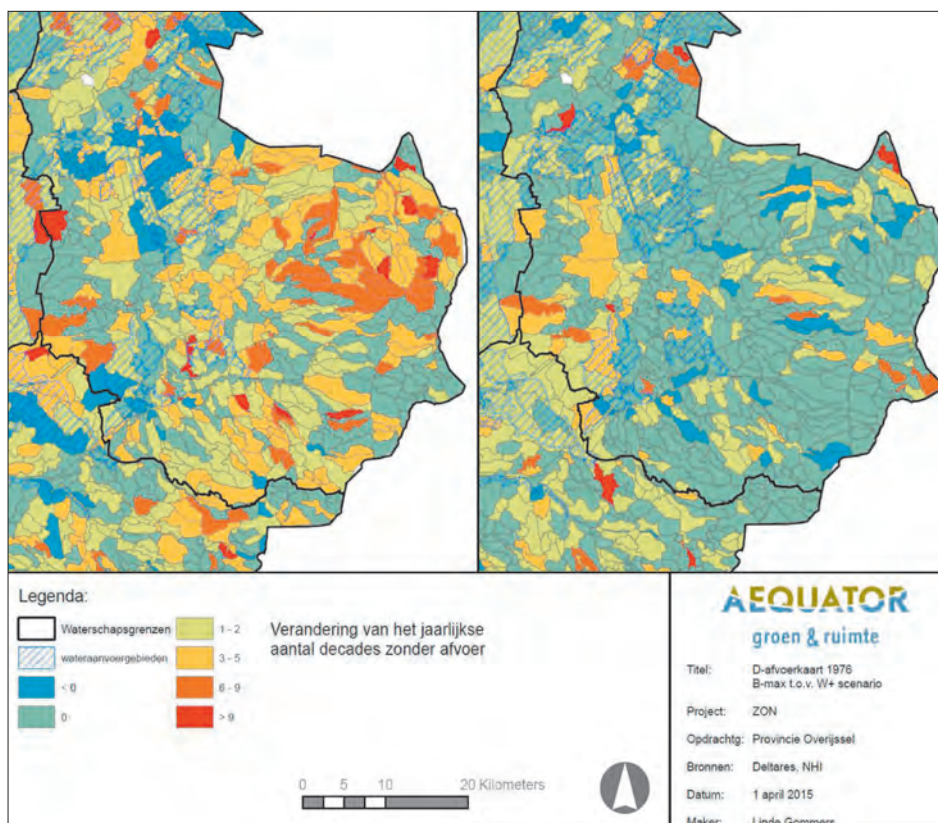


Afbeelding 4: Het wel of niet overschrijden van het knikpunt kwel (10 mm/jaar) in een deel van het projectgebied (groen is niet overschreden)

De betreffende delen van natuurgebieden kleuren overwegend groen maar er zijn vrijwel altijd wel enige gridcellen waar het knikpunt wel wordt overschreden. Het klimaateffect is in grote lijnen voor dit knikpunt vergelijkbaar met het toename-beregeningseffect.

Aquatische natuur

De verandering van het aantal decades zonder afvoer in 1976 voor een deel van het projectgebied is weergegeven in afbeelding 5.



Afbeelding 5: Verandering van het aantal afvoerloze decades in 1976 als gevolg van klimaatverandering (links) en toename beregening (rechts)

Vooraf door klimaatverandering treedt een forse toename op van het aantal decades zonder afvoer: een potentieel groot probleem voor de aan stromende milieus gebonden natuurwaarden. Het toename-beregeningseffect is beperkt omdat in dit gebied relatief weinig wordt beregend en dus ook de toename beperkt is.

Verandering in beregeningshoeveelheden

Voor de 6 geselecteerde locaties is de veeljarig gemiddelde beregening bij het huidige klimaat, bij klimaatverandering (W+), bij klimaatverandering met toename van de beregening (W+/Bmax) en 'worst case' scenario weergegeven in onderstaande tabel.

Locatie	Hydrotype	Grondwater-situatie		W+	W+/Bmax	'worst case'
1	Oost-NL	Droog	110	179	181	193
2	Dekzand	Intermediair	66	138	139	145
3	Keileem	Intermediair	50	108	108	127
4	Dekzand	Intermediair	37	92	99	131
5	Dekzand	Nat	14	53	57	63
6	Keileem-Peeloo	Intermediair	68	100	102	102

Tabel 2: Gemiddelde beregening (mm/jaar) voor de verschillende scenario's

Klimaatverandering leidt tot een aanzienlijke toename van de beregening, terwijl de toename van beregening in de omgeving nauwelijks leidt tot meer beregening op reeds beregende percelen ($W+/B_{max}$ ten opzichte van $W+$). In de laatste kolom is de beregening weergegeven als de grondwateronttrekkingen voor beregening alleen uit eigen grondwater zouden plaats vinden (dus geen toestroming van grondwater vanuit de omgeving).

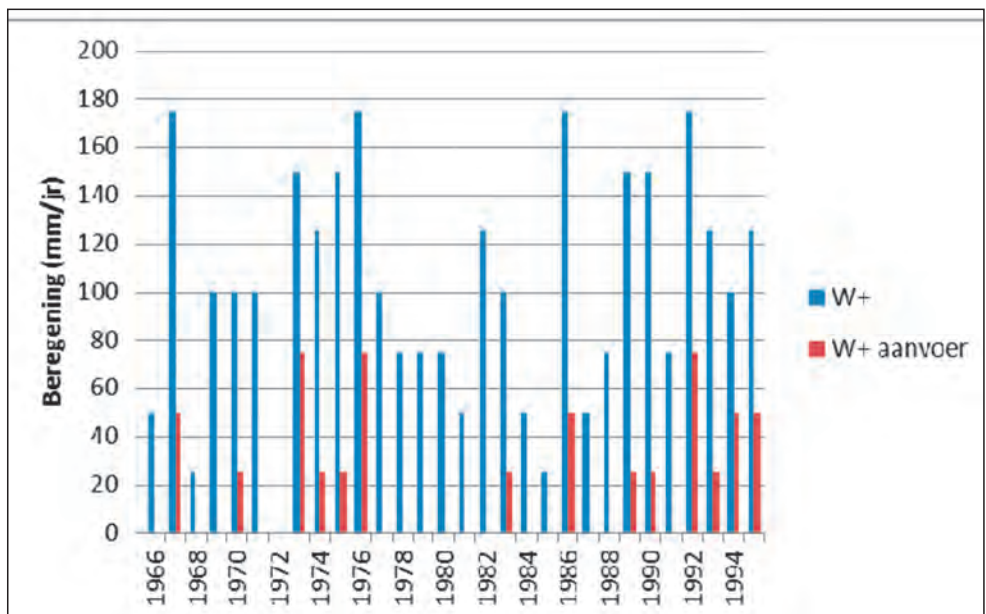
Mitigerende Maatregelen

Verhogen organisch stofgehalte van de wortelzone

Door verhoging van het organisch stofgehalte in de wortelzone met 3% neemt de met SWAP berekende beregeningsvraag bij $W+$ ongeveer af met 14%.

Wateraanvoer

Door onbeperkte wateraanvoer voor subinfiltratie neemt de beregeningsvraag af met gemiddeld 80%. In onderstaande afbeelding is voor locatie 6 de beregeningsvraag zonder en met wateraanvoer weergegeven.



Afbeelding 5: De beregeningsvraag bij locatie 6, met en zonder wateraanvoer

Peilgestuurde drainage

Door aanleg van peilgestuurde drainage, in combinatie met verhoging van de drainagebasis op 1 april met 30 of 40 cm, neemt de beregeningsvraag af met gemiddeld één beregeningsbeurt tijdens jaren dat er beregend wordt.

Discussie

Het KNMI heeft inmiddels de KNMI '14-scenario's gepubliceerd (KNMI, 2014). Daarbij is het klimaatscenario W+ vervangen door W_H . Het belangrijkste verschil met W+ zijn de effecten van een veranderde luchtstroming wat minder zwaar is ingeschat waardoor het veeljarig gemiddelde neerslagtekort van het zomerhalfjaar minder toeneemt in vergelijking met W+: 30% in plaats van 40% ten opzichte van het huidige klimaat. Het neerslagoverschot in de winter neemt daarentegen iets meer toe: van 15% naar 17% ten opzichte van het huidige klimaat. De conclusie is dat door het rekenen met het klimaatscenario W+ de mogelijke gevolgen van klimaatverandering weliswaar enigszins worden overschat, maar dat dit geen afbreuk doet aan de hier onder beschreven conclusies.

Aan een modelmatige koppeling op afstand zoals die in deze verkenning is toegepast zitten de nodige haken en ogen:

- de hydrologische parameters in het NHI-model zijn niet gelijk aan de parameters in de SWAP-modellen;
- elk SWAP-model is de facto een puntmodel met specifieke hydrologische kenmerken die niet gelijk zijn aan de per UC over meerdere grids gemiddelde kenmerken van het NHI-model;
- de verandering in onderrandflux als gevolg van klimaat en beregening is sterk dynamisch van karakter. Ter wille van de logistiek zijn de veranderingen in onderrandflux in de tijd opgeschaald naar zomerhalfjaar- en winterhalfjaargemiddelde verandering en naar gemiddelde effecten per UC.

De definiëring van knikpunten en de bijbehorende criteria is geen uitgemaakte zaak en is voor een deel arbitrair. Aan de andere kant: aanpassing van de criteria leiden tot relatief geringe verschuivingen in arealen.

Conclusies

Het klimaatscenario W+ heeft aanzienlijk gevolgen voor de hydrologie. De verdampingsvraag neemt toe maar ook het groeiseizoen wordt langer. Daardoor neemt ook de beregeningsvraag op nu reeds beregenbare percelen aanzienlijk toe (meer dan 50%). Daardoor worden in grote delen van het gebied de in deze studie geformuleerde knikpunten voor zowel de landbouw als de terrestrische natuur overschreden. Het effect van toename van de beregening door areaaluitbreiding (verdubbeling) en uitbreiding van de beregeningscapaciteit (40%) op de knikpunten is gemiddeld genomen duidelijk minder en vertoont veel meer regionale variatie.

Als gevolg van de klimaatverandering, en in mindere mate door een toename van de beregening, neemt in de waterlopen het aantal decades zonder afvoer vooral in droge jaren in grote delen van het onderzoeksgebied aanzienlijk toe (meer dan 5 decades in droge jaren). Indicatieve, stromingsminnende soorten van met name beeksystemen komen hiermee onder grote druk of zullen verdwijnen.

Het zelfversterkend effect van beregening uit grondwater doordat de buren ook gaan

beregenen is in Oost-Nederland beperkt: voor de 6 LOP-locaties gemiddeld 3 mm per jaar meer beregening ($W+/B_{max}$ ten opzichte van $W+$). Bij het 'worst-case' scenario, waarbij al het beregeningswater uit het lokale grondwater wordt onttrokken, neemt de extra beregeningsbehoefte wel behoorlijk toe, variërend van 2 tot 39 mm/jr. Het potentieel zelfversterkend effect van beregening is sterk afhankelijk van de uitgangssituatie.

De toename van de beregening kan met mitigerende maatregelen worden slechts ten dele worden beperkt.

- het verhogen van het organische stofgehalte heeft een behoorlijk effect op de afname van de beregeningsvraag. In een optimistisch scenario waarin het organisch stofgehalte met 3% wordt verhoogd, leidt dit tot een vergroting van het vochtleverend vermogen van 12 mm, en een vermindering van de beregeningsvraag van ongeveer één beregeningsbeurt (25 mm) in het $W+$ -klimaatsscenario;
- water aanvoeren voor infiltratie via drains kan leiden tot een forse verlaging van de beregeningsvraag (gemiddelde reductie van 80%). Daarmee is niet gezegd dat het een goed alternatief is voor beregening. Uit andere studies (onder andere Van Bakel e. a., 2008) kan worden afgeleid dat de efficiency ervan (quotient van toename gewasverdamping en wateraanvoer) veel lager is dan van beregening;
- peilgestuurde drainage zonder wateraanvoer leidt tot een afname van de beregeningsvraag van ongeveer één beregeningsbeurt.

Uit deze studie blijkt dat beregening weliswaar een effectieve 'zoetwater-maatregel' is voor de functie landbouw, maar de studie geeft tevens aan dat de effecten op andere functies aanzienlijk kunnen zijn (afhankelijk van de mate van klimaatverandering, toename beregening en toename arealen waarop beregend wordt). Een geringe toename van giften of geringe uitbreiding van het beregeningsareaal is overkomelijk, maar bij een forse toename zal toch echt meer ingezet moeten gaan worden op de in dit artikel aangehaalde mitigerende maatregelen en/of nu nog niet beschouwde maatregelen en innovaties.

Literatuur

Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop en A. J. van Kekem (2007) Locatiekeuze ten behoeve van het onderzoek naar bemestingsvrije perceelsranden. Hydrologische en bodemkundige karakterisering van de proeflocaties. Effectiveness of buffer strips publication series 4/Alterra-rapport 1457.

Bakel, P.J.T., E.M.P.M. van Boekel en I.G.A.M. Noij (2008) Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Alterra-rapport 1647.

Bakel, P.J.T. van (2012) Effecten van klimaatverandering op de potentiële en actuele verdamping van de landbouw in oostelijk en zuidelijk Nederland in 2050. Een prognose op basis van literatuur en expertise. www.debakelcestroom.nl/kennisbank.

KNMI (2014) KNMI '14 klimaatscenario's voor Nederland.

Kwadijk, J., A. Jeuken en H. van Waveren (2008) De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland. Verkenning van knikpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem.

Staarink, H., J. Schaap, M. Arts, J. van Bakel en J. Huinink (2015). Verkenning van de effecten van toenemende beregening uit grondwater als gevolg van klimaatverandering en uitbreiding beregeningsareaal en mogelijke compenserende maatregelen in Oost-Nederland. Aequator Groen en Ruimte.