

Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland

PERRY DE LOUW, JAN-PHILIP WITTE, GÉ VAN DEN EERTWEGH, RUUD BARTHOLOMEUS, JANNEKE POWWELS EN JOACHIM HUNINK

Artikel

Door de afgelopen droge jaren is vrijwel iedereen ervan doordrongen geraakt dat ons watersysteem niet op orde is. Het is teveel gericht op ontwateren en afvoeren en er wordt veel grondwater aan het systeem onttrokken. Daarmee is het ook niet bestand tegen extreme droogte. In dit artikel beschrijven we voor de zandgebieden van Nederland een aantal richtinggevend oplossingsrichtingen die als doel hebben droogteschade aan landbouw en vooral natuur te voorkomen. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van het watersysteem voor verschillende oplossingsrichtingen zijn uitersten gemodelleerd: het verhogen van de ontwateringsbasis tot in de haarvaten, het reduceren van alle grondwaterwinnings voor de drinkwatervoorziening en beregening in de landbouw, en het grootschalig vergroten van de grondwateraanvulling. De hydrologische gevolgen van deze oplossingsrichtingen zijn doorgerekend met het Landelijk Hydrologisch Model. Uit de modelanalyses blijkt dat oplossingen pas effectief zijn als ze omvangrijk, integraal en structureel worden doorgevoerd. Hydrologische bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur kunnen echter al een belangrijke bijdrage leveren aan het tegengaan van verdroging van natuur.

Inleiding

Zeer droge jaren zoals 2018 en 2019 kunnen grote gevolgen hebben voor het watersysteem en voor de daaraan verbonden functies, met name voor natuur en landbouw, als ook voor het watergebruik. Berekeningen en metingen laten zien dat de grondwaterstand zo'n 25 tot 100 cm lager was dan gemiddeld en de berekende actuele gewasverdamping 30 tot 50% lager dan de potentiële gewasverdamping (Van den Eertwegh e.a., 2021). Dit leidde tot lagere gewasopbrengsten in de landbouw. Omdat de waterbehoefte voor drinkwater en landbouw steeg, nam tegelijkertijd de onttrekking van grondwater toe, waardoor de hydrologische droogte werd versterkt. In 2018 en 2019 werd er ongeveer 2,5 keer zoveel grondwater onttrokken voor beregening dan gemiddeld (Stokkers e.a., 2022). In een enquête gaven natuurbeheerders aan dat de droogte in 2018 en 2019 matig tot grote schade had aangericht aan de natuur (Witte e.a., 2020a). Vooral beken, vennen en bronnen leden schade, evenals natuurtypen die kenmerkend zijn voor natte en vochtige, voedselarme standplaatsen.

In december 2021 werd het eindrapport van een driejarig onderzoek naar de extreme droogte van 2018 en 2019 op de hogere zandgronden van Nederland

(Van den Eertwegh e.a., 2021) gepresenteerd aan de demissionair minister van Infrastructuur en Waterstaat. Het rapport beschrijft de gevolgen van die droge jaren voor alle aspecten van het watersysteem, de analyse van tijdreeksen van grondwaterstanden, de effecten op de natuur, de schade aan landbouwgewassen en de economische gevolgen daarvan, de installatie van een bodemvochtmeetnet, de detectie van beregende percelen met behulp van satellietbeelden, een inventarisatie van beregening in de landbouw en een informatief dataportaal (www.droogteportaal.nl). Bovenal geeft het onderzoek oplossingsrichtingen om voortaan beter bestand te zijn tegen effecten van droge jaren. In dit artikel beschrijven we de hydrologische effectiviteit van die oplossingsrichtingen, zoals die is bepaald op basis van berekeningen met versie 3.4 van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM).

Verkennen van oplossingsrichtingen: een gevoeligheidsanalyse

Uit het droogteonderzoek (Van den Eertwegh e.a., 2021) blijkt dat de mogelijkheden om ad-hoc tijdens of net vóór een droogte effectief in te grijpen, beperkt zijn. Daarom zijn structurele aanpassingen van het watersysteem, het waterbeheer en het watergebruik nodig. In het huidige sterk op ontwatering ingerichte en beheerde watersysteem, dat vooral is ingericht op het voorkómen van wateroverlast en waaruit grote hoeveelheden grondwater wordt onttrokken, werkt een meteorologische droogte sterk door.

Het is al enige tijd duidelijk dat de intensieve ontwatering voor de landbouw sinds de Tweede Wereldoorlog en grondwateronttrekkingen voor drinkwater sinds de jaren 1960 de belangrijkste oorzaken zijn voor de structurele verdroging van de natuur (Witte e.a., 2020b). Vijfentwintig jaar geleden is indicatief becijferd dat de verdroging van de natuur sinds 1950 voor 60% is veroorzaakt door ontwatering van landbouwgrond, voor 30% door grondwaterwinningen en voor 10% door overige oorzaken zoals verstedelijking en toename van de gewasverdamping door gestegen gewasopbrengsten (Beugelink en Claessen, 1995). Het is dan ook logisch om voor een structureel herstel van het watersysteem terug te grijpen op deze oorzaken en hierin de oplossingsrichtingen te zoeken. Daarbij komt dat een meer natuurlijk watersysteem robuuster en minder kwetsbaar is voor extreme droogte. Vanuit het grondwatersysteem geredeneerd, kunnen de oplossingsrichtingen in drie hoofdgroepen worden verdeeld:

1. Grondwaterontwatering beperken: vasthouden;
2. Grondwateronttrekkingen beperken: minder eruit;
3. Grondwateraanvulling bevorderen: meer erin.

De effecten van de oplossingsrichtingen zijn verkend met het LHM (zie kader) waarbij de maatregelen extreem en uniform voor het gehele zandgebied zijn doorgevoerd, ongeacht de vraag of dat technisch en maatschappelijk haalbaar is. Het gaat dus nadrukkelijk om een verkenning van de gevoeligheid van het watersysteem voor verschillende typen maatregelen. De effecten van de berekeningen voor de oplossingsrichtingen zijn niet 1:1 met elkaar te vergelijken, omdat de mate van uitvoering, de locatie en de grootte van het gebied waar de maatregelen worden uitgevoerd van elkaar verschillen. Naar aanleiding van de resultaten kan wel worden overwogen bepaalde maatregelen in meer detail op

Landelijk Hydrologisch Model (LHM)

In het LHM zitten de belangrijkste hydrologische processen ingebouwd en daarmee kan het de doorwerking van ingrepen op de verschillende aspecten van het watersysteem globaal goed in beeld brengen. LHM is een gekoppeld modelinstrument waarbij de grondwaterstroming wordt gesimuleerd door MODFLOW. De oppervlaktewatermodule MOZART houdt een waterbalans bij van het oppervlaktewater op LSW-niveau (local surface water = substroomgebied) op basis waarvan oppervlaktewaterpeilen worden berekend en wordt bepaald of infiltratie van oppervlaktewater naar het grondwater of drainage van grondwater zal optreden. Het Distributiemodel berekent de waterverdeling en waterbeschikbaarheid in het hoofdwatersysteem. De processen in de onverzadigde zone en interactie met het grondwatersysteem worden door MetaSWAP gesimuleerd. De beregeningsgift wordt berekend op basis van de gesimuleerde vochtcondities in de wortelzone voor percelen die zijn aangesloten op een beregeningsput. De kartering van deze 'potentieel beregenbare percelen' stamt uit 2010 (Massop e.a., 2013). Momenteel (stand januari 2022) is een nieuwe versie van het LHM beschikbaar (versie 4.2) waarbij de potentieel beregenbare percelen zijn geactualiseerd aan de hand van de resultaten van het onderzoek naar de droogte op de hogere zandgronden. Meer informatie over de modelinvoer en modelconcepten van het LHM is beschikbaar op www.nhi.nu/nl/.

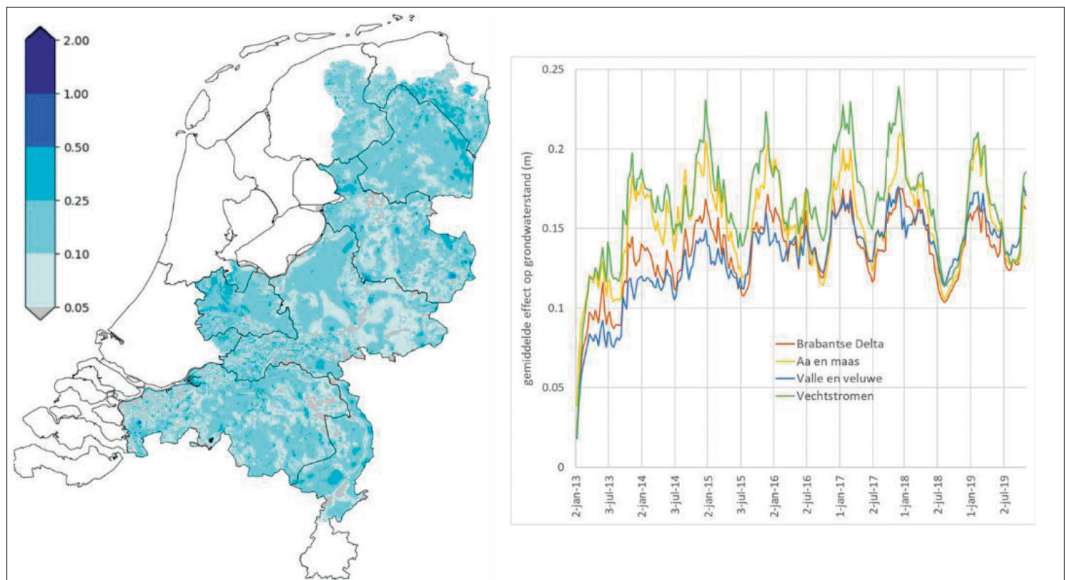
Het LHM heeft een grovere resolutie (modelcellen van 250x250 m², dus 6,25 ha) dan de meeste regionale grondwatermodellen (meestal modelcellen van 25x25 m²). Uiteraard heeft dit grove schaalniveau nadelen. Berekende effecten kunnen op lokaal schaalniveau met de werkelijkheid verschillen en er is geen onderscheid in effecten op een schaalniveau kleiner dan 6,25 ha (het oppervlak van een modelcel). Het ontwateringsproces (en relatie grondwater-oppervlaktewater) kan op dit grove schaalniveau minder goed worden gesimuleerd dan met de beschikbare regionale grondwatermodellen. Er komen namelijk vaak meerdere typen ontwatering (primair, secundair en tertiair) met verschillende ontwateringsdiepte in één modelcel voor, die in het LHM alle worden aangestuurd door één grondwaterstand. Dit heeft tot gevolg dat kleinere sloten met een hoger ontwateringsniveau (tertiair systeem) in het model vaak niet daineren omdat de gemiddelde grondwaterstand onder dat ontwateringsniveau staat. De grotere en diepere sloten en waterlopen nemen de ontwatering van het tertiair drainagesysteem dan over. Onderscheid in maatregelen tussen het primair, secundair en het tertiair systeem zijn daardoor niet goed te maken. Bovendien moet aan de uitkomsten van het Krijtlandschap in Zuid-Limburg, van de Brabantse Wal en van De Peel minder waarde worden toegekend, omdat in LHM-versie 3.4 de complexe geohydrologie van deze gebieden niet voldoende is meegenomen. Tegenover deze nadelen staat dat met het landelijk model de wateraanvoer vanuit grote rivieren en kanalen beter kan worden nagebootst dan met een regionaal model. Daarnaast geeft de regionale oppervlaktewatermodule MOZART een beter berekening van de dynamische grondwater-oppervlaktewater interactie dan de statische aanpak die in veel regionale modellen wordt gebruikt. Een ander voordeel is dat de LHM-resultaten van verschillende regio's direct met elkaar te vergelijken zijn.

een gebied af te stemmen en de effectiviteit verder te verkennen. In het onderzoek ligt de focus op de analyse van effecten van maatregelen op de droge jaren 2018 en 2019, waarbij de maatregelen op 1 januari 2013 in het model zijn doorgevoerd. De effecten zijn voor verschillende aspecten van het watersysteem in beeld gebracht, zoals de freatische grondwaterstand, stijghoogte, kwel, gebieds-afvoer, de actuele transpiratie van gewassen en de beregeningsbehoefte.

Oplossingsrichting 1: vasthouden - grondwaterontwatering beperken

Het zandgebied van Nederland is sterk ontwaterd en dit heeft structurele verdroging van zowel landbouw- als natuurgebieden tot gevolg gehad. Het zandgebied kent meer dan 150.000 km aan sloten, waterlopen en beken die overwegend zo gedimensioneerd zijn, dat ze de maatgevende afvoer kunnen verwerken. De grotere waterlopen en beken (ongeveer 15-20% van alle watergangen) horen bij het secundair en primair systeem en zijn over het algemeen in beheer van het waterschap. Deze zijn breder en dieper dan het haarvatensysteem (tertiair systeem) dat veelal in beheer van landbouwers is. Het waterschap kan eisen stellen aan breedte en diepte van deze kleinere watergangen, maar doet dit meestal niet. Wel vindt er vrijwel overal in het najaar een schouw plaats om te beoordelen of deze watergangen voldoende zijn geschoond.

Maatregelen in het oppervlaktewatersysteem zijn vooral gericht op de extensivering van het ontwateringsysteem met als doel de ontwatering af te remmen, waardoor langer grondwater wordt vastgehouden, en zo gemiddeld hogere grondwaterstanden worden gerealiseerd waardoor droogteschade aan landbouw en natuur wordt beperkt. Extensivering van het ontwateringsstelsel kan door het dempen en verondiepen van ontwateringsmiddelen, peilverhoging onder andere

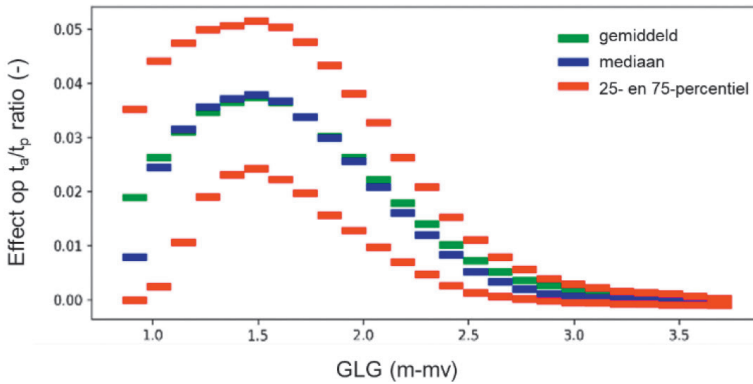


Afbeelding 1 Het berekende effect van een permanente verhoging van de ontwateringsbasis met 30 cm van het tertiair, secundair en primair ontwateringsstelsel op de freatische grondwaterstand voor de zomersituatie (LG3) in 2018 (links) en het berekende gemiddelde effect op de freatische grondwaterstand per waterschap in de tijd (rechts).

met stuwen, regelbare drainage (in plaats van conventionele drainage) of niet maaien/schonen. Aanpak van alleen watergangen in het haarvatensysteem heeft effect in de winterperiode bij een neerslagoverschot maar dit effect neemt sterk af gedurende het groeiseizoen. Dit komt doordat de haarvaten alleen draineren in situaties met hoge grondwaterstanden en drainage tijdens het groeiseizoen voornamelijk door de primaire en secundaire waterlopen plaatsvindt. Voor de verkenning van deze oplossingsrichting is dan ook gekozen om het ontwateringsniveau van alle ontwateringsmiddelen in zijn geheel te verhogen. Er is daarbij voor de modelberekeningen gekozen voor een verhoging van 30 cm.

Deze maatregel leidt tot een significante verhoging van de grondwaterstand (Afbeelding 1). Het effect is het grootst in de winter. De effectiviteit in de zomer is afhankelijk van de beschikbaarheid van voldoende water om het verhoogde peil te handhaven. In gebieden waar wateraanvoer mogelijk is, is dit makkelijker dan in de vrij-afwaterende gebieden. In deze wateraanvoergebieden is in de zomer gemiddeld nog ongeveer 50-60% van het effect van het winterhalfjaar aanwezig. Gemiddeld voor de waterschappen was het effect op de laagste grondwaterstanden (LG3, gemiddelde van 3 laagste grondwaterstanden die in een specifiek jaar op de 14^e en 28^e van iedere maand optreden) in 2018 ongeveer 12 tot 14 cm (Afbeelding 1). Het effect is duidelijk minder groot voor een droog jaar als 2018 dan voor een gemiddeld jaar, ongeveer 10 tot 25%. De effecten variëren tussen gebieden, waarbij een onderscheid in ontwaterde en niet-ontwaterde gebieden kan worden gemaakt. Hoe sterker een gebied is ontwaterd, des te sneller de grondwaterstand zal reageren op een maatregel in het ontwateringsstelsel, maar de grondwaterstand zal dan ook weer sneller dalen door de ontwatering. Voor de niet-ontwaterde gebieden met grote afstanden tot de dichtstbijzijnde ontwatering (ook wel trage gebieden) wordt het effect langzaam opgebouwd, maar de maatregel blijft dan ook langer effectief door de hogere drainageweerstand. Het maximale effect wordt voor de meeste gebieden pas bereikt 1,5 tot 2,5 jaar na invoering van de maatregel, maar voor trage gebieden is het maximale effect na zelfs 6,5 jaar nog niet bereikt (Afbeelding 1). Dit toont aan dat een structurele aanpak van de ontwatering veel effectiever is (30 tot 70%) dan een incidentele peilverhoging. Het effect op de grondwaterstand zal overigens nergens groter zijn dan de opgelegde verhoging van de ontwateringsbasis, in dit geval 30 cm. Wanneer sloten worden gedempt wordt een groter effect bereikt (niet in deze studie berekend), omdat de drainageweerstand dan toeneemt (volgens Kraijenhoff van de Leur (1958) is de opbolling van de grondwaterspiegel evenredig met het kwadraat van de slootafstand).

Het effect van de grondwaterstandsverhoging op de transpiratie beperkt zich hoofdzakelijk tot de gebieden met een grondwaterstand tussen ongeveer 1 en 2,5 m beneden maaiveld (Afbeelding 2). Transpiratiereductie speelt nauwelijks een rol bij ondiepere grondwaterstanden (GLG hoog genoeg) door voldoende capillaire nalevering vanaf de grondwaterspiegel. Voor diepere grondwaterstanden is capillaire nalevering aan de wortelzone überhaupt niet aan de orde. Een waterbalans op waterschapniveau voor waterschap De Dommel laat zien dat de beregeningsbehoefte door deze vergaande maatregel met slechts 7-8% afneemt



Afbeelding 2 Relatie tussen de diepte van de grondwaterstand (GLG) en het effect op de relatieve transpiratie T_a/T_p in 2018 als gevolg van een permanente verhoging van de ontwateringsbasis met 30 cm. Cijfers ontleend aan LHM-simulaties voor het hele zandgebied waarbij per GLG-klasse het gemiddelde, het 25-, 50- en 75-percentiel effect op T_a/T_p is bepaald.

voor een extreem droog jaar als 2018 (Tabel 1). Dit komt doordat de capillaire nalevering nauwelijks stijgt door de gerealiseerde verhoging van de grondwaterstand. Voor individuele percelen kan het effect natuurlijk groter zijn: in sommige gebieden stijgt de relatieve transpiratie T_a/T_p (= actuele transpiratie gedeeld door potentiële transpiratie) met 5 tot 15% (wat direct vertaald kan worden naar een 5-15% hogere droge-stofproductie van het gewas). Het effect op de gewasverdamping van deze maatregel is groter voor een extreem droog jaar als 2018 dan voor een gemiddeld jaar (Tabel 1).

Tabel 1 Waterbalanstermen (berekend met LHM) voor waterschap De Dommel als geheel in de referentiesituatie en verandering van de balans als gevolg van een permanente verhoging van de ontwateringsbasis van 30 cm van de tertiaire, secundaire en primaire waterlopen, gemiddeld over drie jaren (2015-2017) en voor het droge jaar 2018 (in mm/jaar)

Balansterm	REF 2015-17	Verandering 2015-17	REF 2018	Verandering 2018
Neerslag (in)	788	0,0	598	0,0
E-actueel (uit)	280	-2,9	219	-2,7
T-actueel (uit)	264	3,5	282	9,2
Gebiedseigen afvoer (uit)	153	-31	115	-27
Maaiveldafvoer (uit)	32	29	16	16
Drinkwater + industrie (uit)	49	0,0	49	0,0
GW-onttrekking beregening (uit)	10,0	-1,4	25	-1,8
Beregening (in)	7,7	-1,1	20	-1,4
TOTAAL IN	796	-1,1	618	-1,4
TOTAAL UIT	788	-2,8	706	-6,3
IN-OUT	7,7	1,7	-88	4,9

De eerste 1,5 tot 2,5 jaar na invoering van deze maatregel stijgt de grondwaterstand structureel totdat er weer een evenwicht is bereikt tussen het neerslagoverschot en de afvoer van grondwater. Vanaf dat moment wordt er geen

extra water meer vastgehouden, maar is er wel een verschuiving in de tijd opgetreden van de afvoer en in de manier hoe het grondwater wordt gedraineerd en afgevoerd. In de zomer vindt er minder afvoer plaats (met grotere kans op droogval) door de verhoogde ontwateringsbasis, terwijl in het winterhalfjaar meer grondwater wordt afgevoerd, waarbij de toename vooral zit in meer buis- en greppeldrainage en maaiveldafvoer (Tabel 1). De ondiepe en snelle afvoercomponenten nemen dus toe. De mate waarin wordt waarschijnlijk door het LHM overschat. In de modelberekeningen leidt iedere grondwaterstand boven maaiveld namelijk direct tot afvoer naar oppervlaktewater, terwijl in werkelijkheid maaiveldafvoer kan worden belemmerd door een ruw oppervlak en door berging in terreindepressies (Massop en Van der Gaast, 2009).

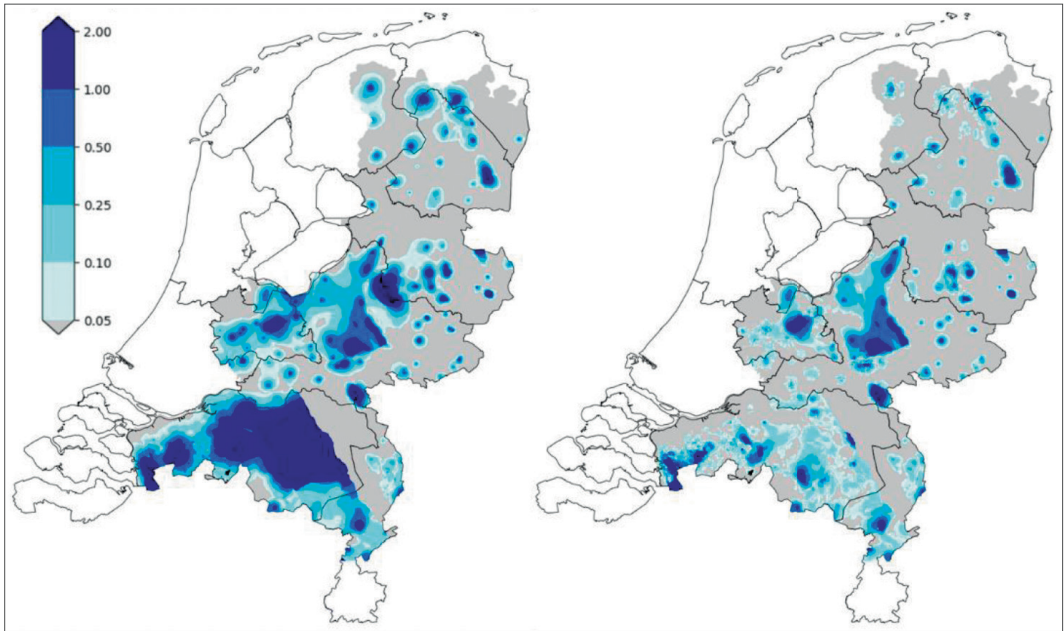
Oplossingsrichting 2: minder eruit - grondwateronttrekkingen beperken

In het zandgebied wordt er grondwater onttrokken voor drinkwater en industrie (permanente onttrekkingen) en voor de landbouw voor het beregenen van gewassen (tijdelijke onttrekkingen). De grotere winningen, hoofdzakelijk voor drinkwater, onttrekken hun grondwater uit de diepere watervoerende lagen, veelal dieper dan 50 m beneden maaiveld. Onttrekkingen voor beregening vinden meestal ondieper dan 30 m plaats.

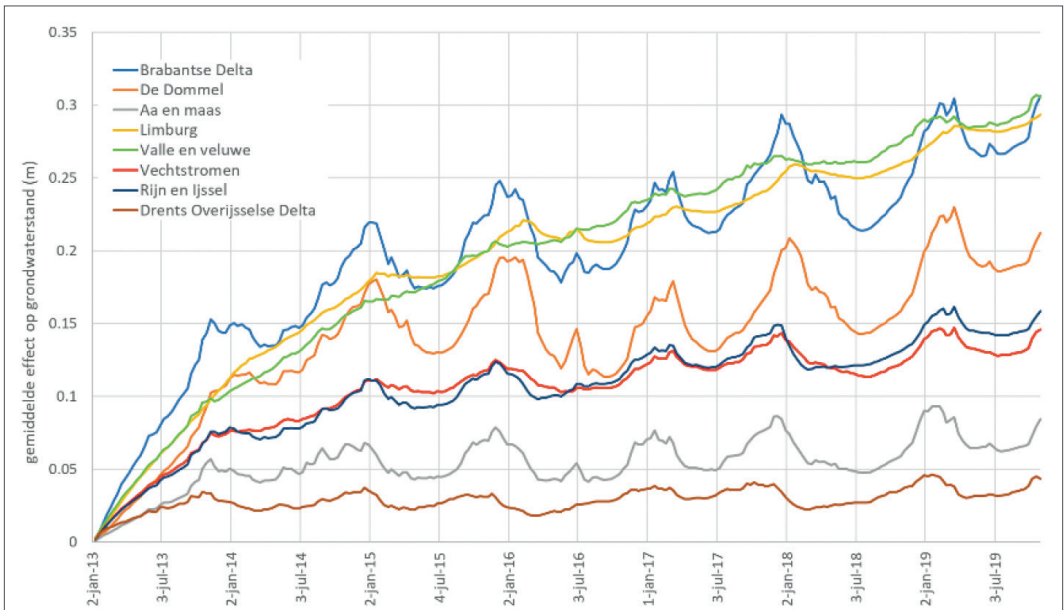
Met de oplossingsrichting 'minder eruit' wordt gezocht naar mogelijkheden om de druk op het grondwater te verminderen door minder te onttrekken of onttrekkingen te compenseren door extra aanvulling. Om dit te bereiken kan gedacht worden aan het optimaliseren van onttrekkingshoeveelheden van bestaande putten in ruimte en tijd op de landgebruiksfuncties die worden beïnvloed, het verplaatsen van winningen waar de druk op het grondwater groot is, het zoeken naar alternatieve bronnen en het compenseren van onttrekkingen door extra infiltratie. De haalbaarheid hiervan verdient nader onderzoek. Met beregeningsbeleid kunnen tijdelijke onttrekkingen worden beperkt, zowel in de ruimte als in de tijd. In deze studie is geen optimalisatie uitgevoerd van de onttrekkingen. Nogmaals: er is gerekend aan extreme hypothetische varianten waarbij onderdelen van de onttrekkingen uit het grondwater volledig worden stopgezet. De mate van verminderde onttrekking bepaalt natuurlijk wel de effectiviteit, mede met het oog op verwachte trends in de watervraag in de (nabije) toekomst.

Permanente onttrekkingen voor drinkwater stopzetten

Deze oplossingsrichting betreft maatregelen in de diepere watervoerende pakketten en wijkt daarom af van de oplossingsrichtingen 'vasthouden' en 'bevorderen grondwateraanvulling', welke in het ondiepe freatisch systeem worden genomen. Effecten van onttrekkingen strekken zich lateraal uit in het watervoerend pakket waaruit wordt onttrokken en vervolgens verticaal richting het freatische systeem. Dit is zichtbaar in Afbeelding 3, dat de stijging van zowel de stijghoogte in het watervoerend pakket als van de freatische grondwaterstand toont, zo'n 5,5 jaar na het stopzetten van alle drinkwaterwinningen. De hydraulische weerstand tussen het onttrokken watervoerende pakket en het freatisch systeem bepaalt tot hoever deze effecten zich lateraal uitstralen in het watervoerende pakket en hoe sterk de stijghoogte daalt. Wanneer een



Afbeelding 3 Het berekende effect op de stijphoogte (links) en de freatische grondwaterstand (rechts) voor de zomersituatie (LG3) in 2018, 5,5 jaar na volledig stopzetten van de drinkwaterwinning op 1 januari 2013.



Afbeelding 4 Stijging van de gemiddelde grondwaterstand per waterschap als gevolg van het volledig stopzetten van de drinkwaterwinning op 1 januari 2013.

onttrekkingskegel in evenwicht is met het grondwatersysteem en niet meer groeit, wordt iedere onttrokken druppel vanuit het freatisch systeem binnen de onttrekkingskegel aangevuld. Hoe groter de hydraulische weerstand, des te sterker de stijghoogte over een groter gebied moet dalen om de onttrekking vanuit het freatisch systeem aangevuld te krijgen. Dit is duidelijk zichtbaar voor de Centrale Slenk in Noord-Brabant. Voor het westelijk deel van de Brabantse Wal wordt opgemerkt dat hier schijnspiegels voorkomen waardoor effecten van drinkwateronttrekkingen zich anders manifesteren dan met het LHM gesimuleerd.

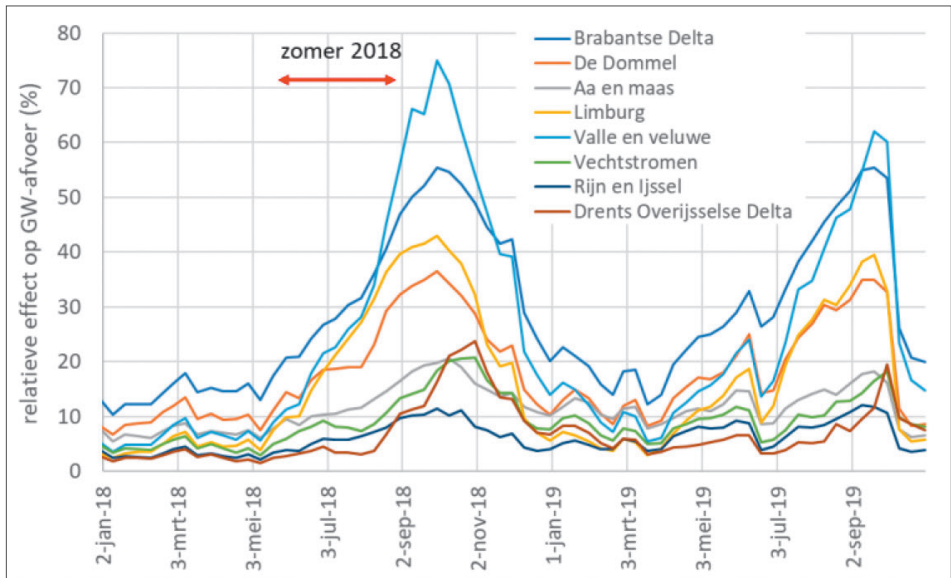
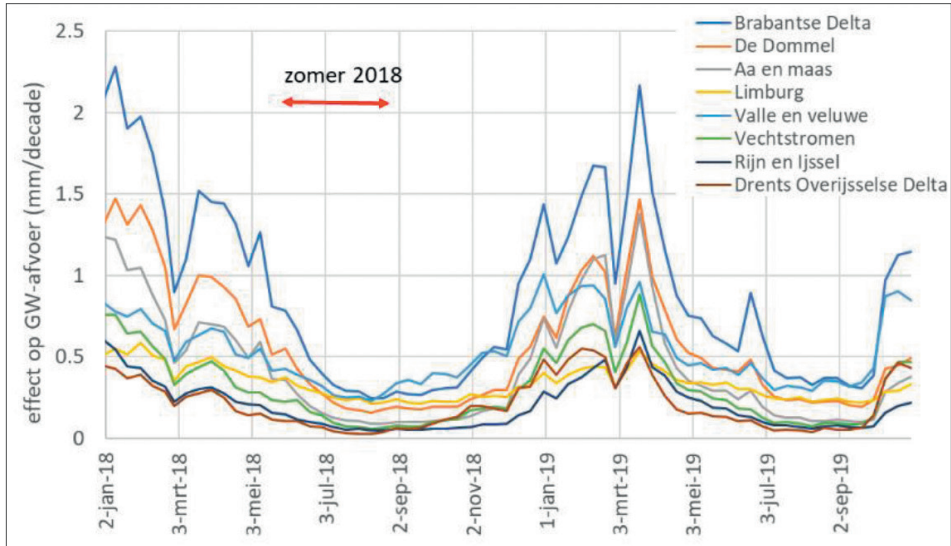
Door geen grondwater meer te onttrekken stijgt de stijghoogte en vrijwel direct begint ook de freatische grondwaterstand te stijgen (Afbeelding 3 en 4). Na 6,5 jaar zijn de effecten op de freatische grondwaterstand gemiddeld ongeveer 30 cm voor waterschappen Vallei en Veluwe, Limburg en Brabantse Delta, waar binnen elk beheergebied ruim 70 miljoen m³ grondwater voor drinkwaterproductie wordt onttrokken. Het effect is echter scheef verdeeld, met de meeste stijging dicht bij winningen, die vaak liggen in gebieden met een diepe grondwaterstand en weinig ontwatering. Na 6,5 jaar stijgt de grondwaterstand nog steeds in de meeste beheergebieden van de waterschappen (Afbeelding 4), wat betekent dat aanvulling, onttrekking en afvoer nog niet in evenwicht zijn. Dit geldt vooral voor gebieden zonder ontwateringsmiddelen, zoals stuwwallen en dekzandruggen. In een gebied met veel sloten is het effect minder groot, omdat effecten gedempt worden door de afvoer van grondwater. De ontwatering beperkt de stijging van grondwaterstanden en er is daardoor sneller evenwicht met het afvoerproces.

Hieruit blijkt dat de gebiedsafvoer dus sterk door onttrekkingen wordt beïnvloed. Bijna iedere druppel water die wordt onttrokken komt niet tot afvoer (behalve dan, op een andere locatie, via RWZI's), een veel beperkter aandeel komt uit de reductie van de transpiratie (<2.5%). Het effect van de maatregel op de absolute hoeveelheid afgevoerd oppervlaktewater is het grootst in de winterperiode, maar relatief gezien het grootst tijdens de droge perioden wanneer de afvoer het laagst is (Afbeelding 5). Voor de zomerperiode in 2018 leiden drinkwateronttrekkingen enkele weken tot een reductie van 40 tot 70% van de gemiddelde gebiedsafvoer op waterschapniveau (Afbeelding 5). Dit geldt voor de vier waterschappen met de grootste drinkwateronttrekkingen (Brabantse Delta, Vallei en Veluwe, Limburg en De Dommel). Voor stroomgebieden dicht bij de winning zijn de effecten groter, met in sommige situaties volledige droogval. De afvoer van veel beken in droge tijden bestaat overwegend uit RWZI-effluent (Beard e.a., 2019). Zo bedroeg het aandeel effluent in de beekafvoer in het beheergebied van waterschap De Dommel in de zomer van 2018 80-90% (De Dommel, 2020).

Het gemiddelde effect van de maatregel op de transpiratie is klein. Voor een droog jaar als 2018 neemt de transpiratie met 0,5 tot 2,5% toe in de vier genoemde waterschappen waar het meest onttrokken wordt. Lokaal kunnen de effecten groter zijn, vooral in gebieden dicht bij de winning met een grondwaterstand rond de 1,5 m onder maaiveld. In een droog jaar als 2018 is het effect

op transpiratie groter dan voor gemiddelde jaren en varieert tussen 5 en 13% van de hoeveelheid onttrokken grondwater. De beregeningsbehoefte neemt hierdoor gemiddeld af met 5%.

Het stoppen met onttrekken van grondwater leidt tot een toename van de kwel en het areaal aan kwelgebieden neemt gemiddeld met 5 tot 20% toe. Het gemiddelde effect op de kwel loopt in de zomerperiode van 2018 op tot 15-20% en in de waterschappen De Dommel, Limburg en Vallei en Veluwe en in de Brabantse Delta zelfs tot 35-45%.

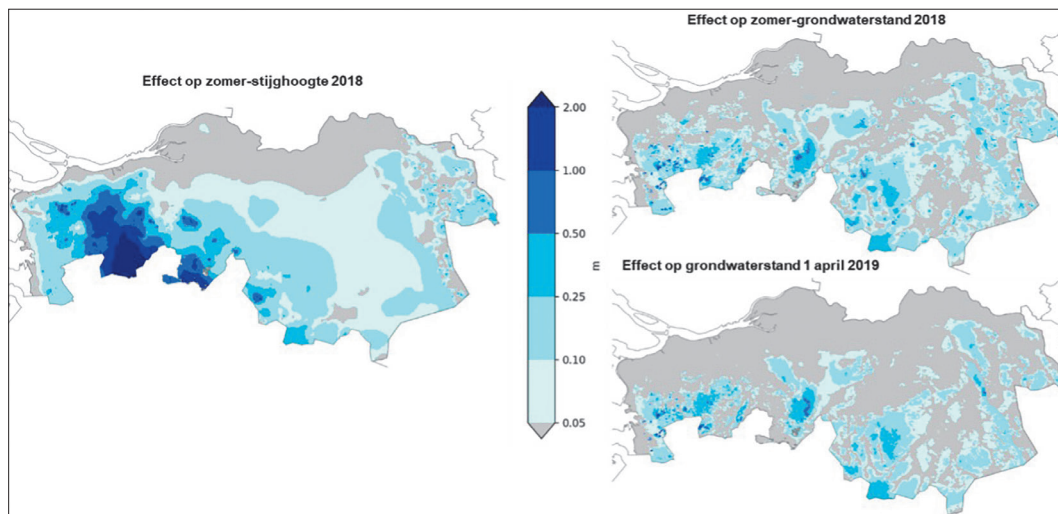


Afbeelding 5 Het berekende effect op de gebiedsafvoer (mm/decade) door het volledig stoppen van de drinkwaterwinning per 1 januari 2013, gemiddeld voor de verschillende waterschappen (boven) en als percentage van de grondwaterafvoer (onder).

Tijdelijke onttrekkingen voor beregening stopzetten

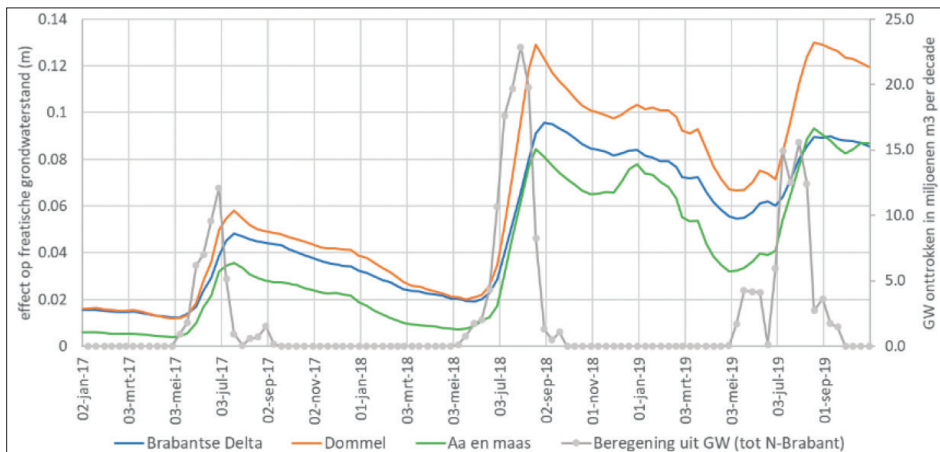
Tijdelijke grondwateronttrekkingen voor beregening verschillen sterk van jaar tot jaar, afhankelijk van het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen. Voor het extreem droge jaar 2018 werd in Nederland ruim 2,5 keer zoveel beregend uit grondwater dan gemiddeld in 2010-2017 (Van der Meer, 2020). Voor de bespreking van de effecten nemen we provincie Noord-Brabant als voorbeeld, de provincie waar het grootste aantal kuub uit grondwater wordt beregend. Op basis van opgaven van agrariërs aan de waterschappen zou 96 miljoen kuub grondwater voor beregening zijn gebruikt in 2018. Dit is vermoedelijk een onderschatting, omdat maar 77% van de agrariërs hun debieten hebben doorgegeven (Van den Eertwegh e.a., 2021). Het LHM komt voor Noord-Brabant uit op 132 miljoen kuub in 2018, 36 miljoen meer dan de onvolledige opgave. De analyse geeft de noodzaak aan om gegevens en informatie over het watergebruik in de landbouw goed en volledig op een rij te krijgen.

Het effect van het volledig stopzetten van beregening uit grondwater op de stijghoogte is het grootst in West-Brabant (Afbeelding 6). Niet omdat daar meer beregend wordt, maar omdat de hydraulische weerstand tussen het freatische systeem en het pakket waaruit wordt onttrokken hier het grootst is. Het effect op de stijghoogte vertaalt zich door naar het freatisch systeem met een stijging van de freatische grondwaterstand die over de gehele provincie redelijk uniform is (Afbeelding 6). Voor grote delen van de provincie stijgt de zomergrondwaterstand (LG3) tussen de 5 en 25 cm wanneer beregening uit grondwater volledig wordt beëindigd. De grootste stijging treedt op in de infiltratiegebieden en gebieden met weinig ontwateringsmiddelen. Dat komt doordat het effect van de maatregel daar niet wordt gedempt door meer afvoer van oppervlaktewater. De freatische grondwaterstand begint vrijwel direct te stijgen wanneer gestopt wordt met onttrekken (Afbeelding 7). Het effect op de freatische grondwaterstand is het grootst gedurende de beregeningsperiode en is maximaal aan



Afbeelding 6 Het berekende effect van het volledig stoppen van beregening uit grondwater in 2018 op de zomerstijghoogte en zomergrondwaterstand (LG3) van dat jaar en op de grondwaterstand van 1 april 2019.

het einde van de beregeningsperiode. Ondanks dat begin augustus 2018 de beregeningsperiode eindigde, zijn effecten nog zichtbaar bij de start van het groeiseizoen in 2019 (Afbeelding 6 en 7). Effecten op de grondwaterstand zijn dan nog voor zo'n 40 tot 60% aanwezig.



Afbeelding 7 De gesimuleerde hoeveelheid beregening uit grondwater in Noord-Brabant en het gemiddelde effect op de grondwaterstand (stijging) per Brabantse waterschap wanneer wordt gestopt met beregenen uit grondwater.

De afname van de transpiratie is groot voor de percelen waar de beregening stopt. Het doel van beregening is immers om droogteschade aan gewassen te voorkomen. Daarentegen neemt voor de niet-beregende percelen de transpiratie licht toe omdat de freatische grondwaterstand stijgt door het stoppen met onttrekken.

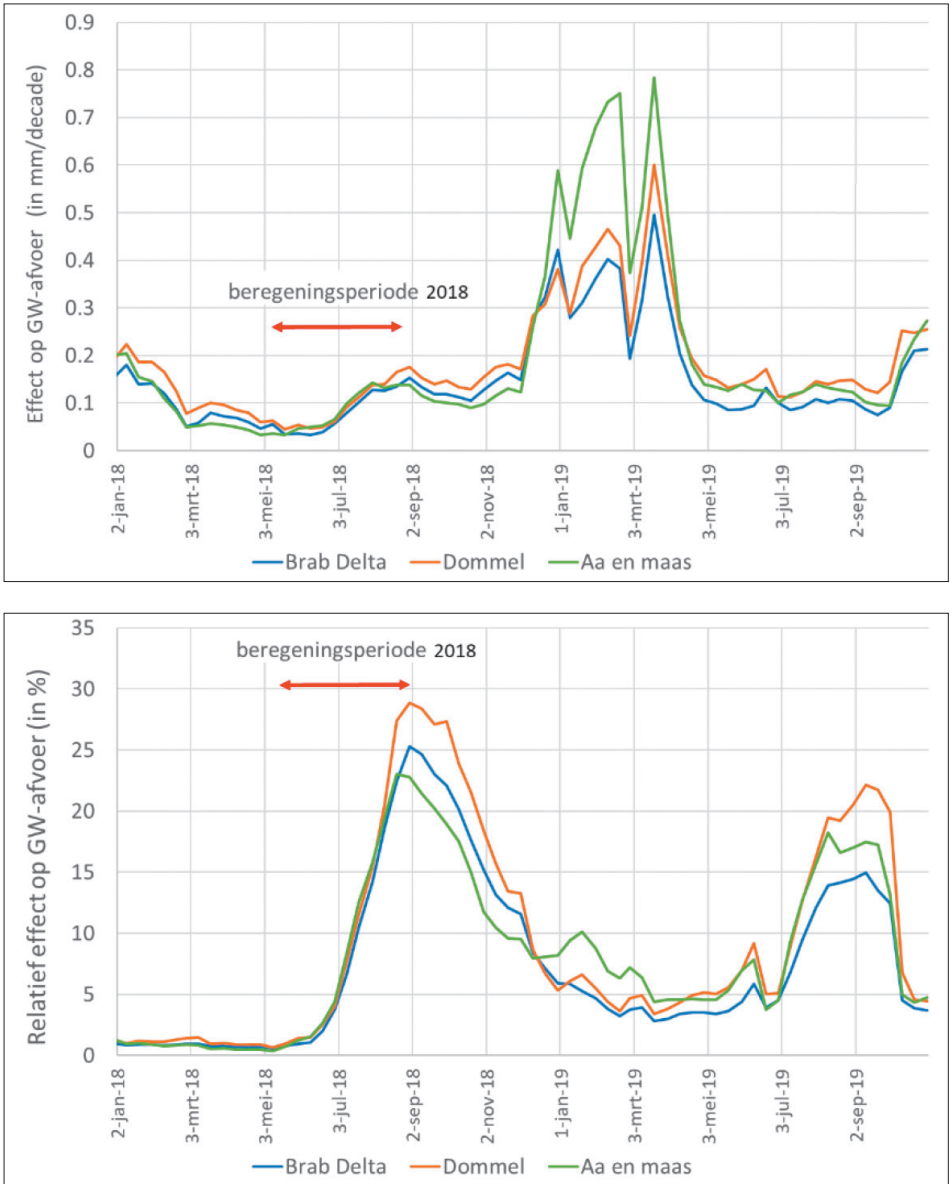
Uiteindelijk moet de totale onttrokken hoeveelheid grondwater worden aangevuld vanuit het freatisch systeem: met name verminderde afvoer van oppervlaktewater en in geringe mate transpiratiereductie van niet beregende percelen. Het grootste absolute effect van de maatregel op de grondwaterafvoer vindt plaats in de winterperiode als het grondwatersysteem weer gevuld is en afvoer grootschalig op gang komt (Afbeelding 8). De gebiedsafvoer stijgt echter procentueel het sterkst gedurende de beregeningsperiode en is maximaal aan het einde daarvan, gemiddeld 25% voor de Brabantse waterschappen. Dan is er weinig afvoer zodat toename daarvan de stroomsnelheid, waterkwaliteit en het aquatisch leven in beken positief kan beïnvloeden.

Voor kwel geldt hetzelfde: effecten zijn maximaal aan het einde van de beregeningsperiode en ijlen na tot in het volgende groeiseizoen voor een extreem droog jaar als 2018. De zomerkwel (juni t/m augustus) stijgt door het volledig stoppen van beregening gemiddeld 20-23%.

Oplossingsrichting 3: meer erin - grondwateraanvulling bevorderen

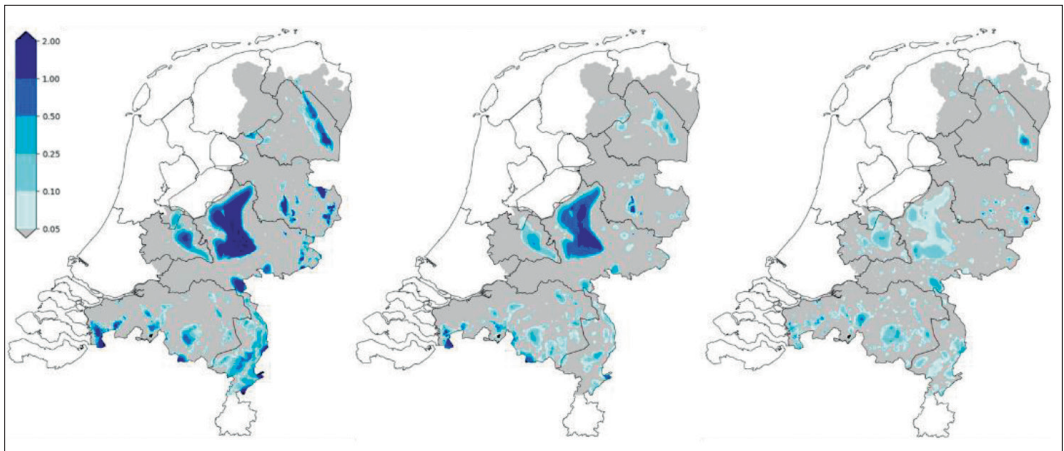
Het vergroten van de grondwateraanvulling kan door (1) een verandering van landgebruik naar gewassen of vegetatie die minder verdampen (bijvoorbeeld vervangen van naaldbomen door loofbomen of heide), (2) reduceren van maai-veldafvoer door landbewerking en opheffen van (ondergrond)verdichting, (3)

afkoppelen van regenwater van het riool in het bebouwd gebied en (4) kunstmatige infiltratie van extra water (met bronnen als rivierwater, RWZI-effluent, beekwater in winter). De haalbaarheid hiervan was geen onderdeel van dit onderzoek. Zo is bijvoorbeeld geen onderzoek gedaan naar aspecten van waterkwaliteit, ook niet naar 'vergrijzing' van grondwater.



Afbeelding 8 Het berekende effect van het stoppen van berekening uit grondwater voor drie Brabantse waterschappen op de gebiedsafvoer in absolute getallen (boven) en het relatieve effect (onder).

Middels drie modelscenario's zijn de effecten van extra grondwateraanvulling geïllustreerd: (1) kunstmatige infiltratie van 100 mm per winterhalfjaar in gebieden met een grondwaterstand dieper dan 2,5 m, (2) omvorming van naaldbos naar heide (150 tot 250 mm extra grondwateraanvulling per jaar, Dolman e.a., 2000) en (3) afkoppelen bebouwd gebied met een extra infiltratie van 100 mm per jaar. De effecten op de grondwaterstand kunnen lokaal, daar waar de maatregel wordt doorgevoerd, erg groot zijn (Afbeelding 9). Zowel de extra infiltratie als omvorming van naaldbos vinden voornamelijk plaats in de trage gebieden met afwezigheid van ontwatering. De extra grondwateraanvulling leidt dan tot een stijging van de grondwaterstand van enkele meters en blijven 6,5 jaar na start van de maatregel nog steeds stijgen. Een groot voordeel van deze traag reagerende gebieden is dat ze kunnen fungeren als belangrijke waterbuffer, want het geïnfiltreerde water wordt er relatief lang vastgehouden door de afwezigheid van ontwatering. Het opgeslagen water kan eventueel worden aangesproken in de zomerperiode voor drinkwater, beregening of dienen als bron van extra kwel en gebiedseigen water ten behoeve van natuur. Extra grondwateraanvulling leidt naast een vergroting van de grondwatervoorraad tot extra afvoer en kwel aan de flanken van de hoger gelegen gebieden. Effecten op de extra gewasverdamping zijn er nauwelijks omdat grondwaterstanden veelal te diep liggen om via capillaire opstijging de wortels te bereiken.



Afbeelding 9 Het berekende effect op de freatische grondwaterstand (LG3) voor 2018 als gevolg van (1) kunstmatige infiltratie van 100 mm per jaar, (2) omvorming naaldbos naar heide en (3) afkoppelen van bebouwd gebied met extra infiltratie van 100 mm per jaar.

Voor tijdelijke opslag van water door kunstmatige infiltratie van water zijn de trage gebieden met diepe grondwaterstanden (2,5 tot 70 m beneden maai-veld) erg geschikt. Hoe dieper de grondwaterstand, des te meer ruimte er is om grondwater op te slaan in de ondergrond. De Louw e.a. (2020) berekenden voor de Veluwe met het LHM het effect op de grondwatervoorraad en afvoer van sprengen als gevolg van éénmalige infiltratie in de winter van 330 miljoen m³ met een infiltratiesnelheid van 100 mm per dag. Dit idee staat bekend als de 'Nationale Gieter' of 'Wateraccu'. De grondwaterstand stijgt ter hoogte van de infiltratie met maximaal 10 m en 5 jaar na infiltratie was 55% van het geïn-

filtreerde water nog onder de Veluwe aanwezig. Daarnaast nam de afvoer van sprengen en bronbeken behoorlijk toe. Dit toont aan dat de zogenaamde trage gebieden met diepe grondwaterstanden en afwezigheid van ontwatering in principe geschikt zijn om extra water tijdelijk op te slaan, al bestaat er discussie over de wenselijkheid van deze maatregel uit het oogpunt van ecologie en grondwaterkwaliteit (Van Dam, 2020).

Discussie

Naar een klimaatbestendig en robuust ingericht watersysteem

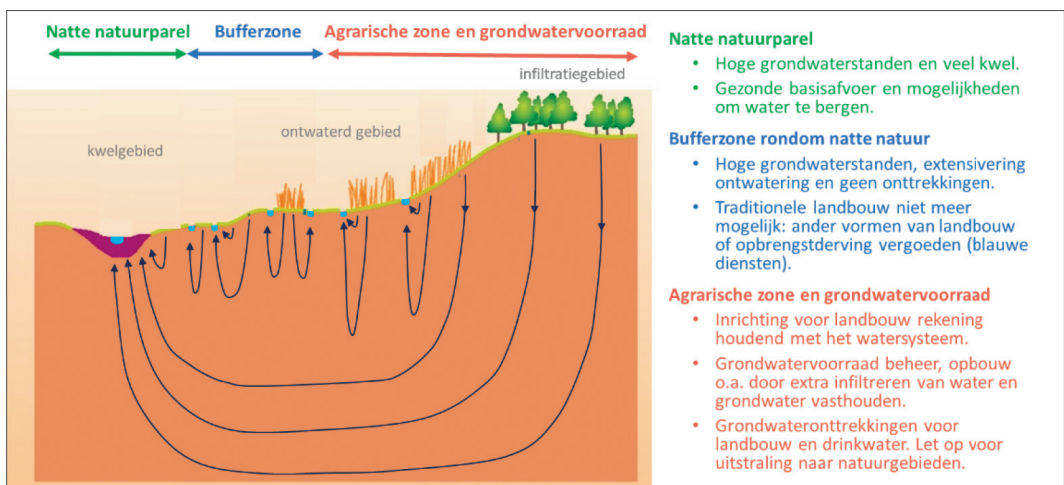
Een klimaatbestendig en robuust ingericht watersysteem is beter in staat om extremen op te vangen, zowel tijdens droogte als tijdens extreme natte periodes, en kent gemiddeld hogere grondwaterstanden in het groeiseizoen, hogere beekafvoeren in de zomer en meer kwel in natuurgebieden. Wat de modelberekeningen bovenal laten zien, is dat er structureel, omvangrijk en grootschalig moet worden ingegrepen om de grondwaterstand, kwel en beekafvoer significant positief te beïnvloeden. Het toepassen van één oplossingsrichting is dan ook niet genoeg, er zal een combinatie van verschillende oplossingsrichtingen nodig zijn: én én, niet of of. Zo zijn de effecten op de grondwaterstand van bijvoorbeeld het vergroten van de grondwateraanvulling of beperken van onttrekking gecombineerd met maatregelen in het ontwateringsysteem groter. Vermindering van ontwatering is effectief als het gehele ontwateringsysteem van een gebied aangepakt wordt, van de beken, tot de waterschap-waterlopen, tot en met de haarvaten van het watersysteem. Wanneer dit niet wordt gedaan, nemen de niet-verhoogde waterlopen de drainage van grondwater over en is het netto-effect een stuk kleiner, of wordt deze teniet gedaan binnen een korte tijdperiode. Het is dus van belang in gedefinieerde gebieden maatregelen in samenhang en in voldoende mate door te voeren om een significant effect te realiseren. Overal een beetje doen zet geen zoden aan de dijk.

Van het huidige, sterk op ontwatering en afwatering ingerichte en beheerde watersysteem naar een toekomstig klimaatbestendig watersysteem gaan, vergt dus een transitie met aangepaste inrichting van het watersysteem, het platte land en het land- en watergebruik. Als freatische grondwaterstanden omhoog gaan door minder ontwatering en kleinere onttrekkingen, zal niet elk landgebruik en niet elk gewas nog op elke plek mogelijk zijn. Het ligt voor de hand de noodzakelijke watertransitie te combineren met transitie inzake ruimtelijke inrichting, het stikstofdossier, energie, emissie van broeikasgassen en landbouw. Water sturend laten zijn bij ruimtelijke ordening past in een transitie naar een natuurlijker watersysteem dat beter bestand is tegen droogte. Uiteraard dient voldoende aandacht te zijn voor het optreden van extra wateroverlast als gevolg van de ingrepen. Het zou het mooiste zijn als zowel droogte en verdroging als wateroverlast tegelijk kunnen worden aangepakt. Deze optimale situatie zal niet altijd en overal kunnen worden gerealiseerd en daarom zullen er vaak keuzes tussen gebruiksfuncties moeten worden gemaakt, met name tussen landbouw, natuur en drinkwaterwinning. Ook binnen de landbouw kunnen keuzes gemaakt worden, bijvoorbeeld ten aanzien van te telen gewassen die minder verdampen of juist beter bestand zijn tegen natte omstandigheden, natschade accepteren in gebieden met hoge grondwaterstanden, en het watersysteem stu-

rend laten zijn bij de keuze van gewassen. Als we als voorbeeld de 10% laagste gronden extensief of anders gaan gebruiken, dan ontstaat er direct ook meer ruimte voor het watersysteem.

Bufferzones rondom natuurgebieden

Maatregelen worden pas effectief als ze voor een gebied structureel, omvangrijk en integraal worden doorgevoerd. Het is echter in de praktijk niet haalbaar dit overal te doen. De sterke verwevenheid in het landschap van landbouw, natuur en drinkwaterbedrijven met veelal tegengestelde hydrologische eisen maakt het doorvoeren van grootschalige en structurele maatregelen extra moeilijk. Een overweging kan zijn om als eerste stap natte bufferzones of overgangsgebieden rond bestaande natte natuur in te richten waarin flinke vernatting plaatsvindt (Afbeelding 10). In de studie zijn hieraan verkennende berekeningen gedaan. Het hiermee beoogde hydrologische herstel van natuurgebieden en beeksystemen gaan hand in hand met de transitie naar een klimaatbestendig watersysteem en geeft een duidelijk doel en richting om de herinrichting van het landschap en watersysteem vorm te geven. De dwingende wettelijke verplichtingen richting Europa voor herstel van de Natura 2000-gebieden en KRW-lichamen helpen daarbij. In deze hydrologische bufferzones stijgt de grondwaterstand door extensivering van ontwatering en verbod op grondwateronttrekkingen waardoor aangrenzende natuur natter wordt, kwelstromen versterken en beekafvoeren toenemen. Door de sterke vernatting in deze bufferzones zal traditionele landbouw niet meer mogelijk zijn en moet er naar vormen van extensieve landbouw of blauwe diensten worden gezocht. In het gebied buiten de hydrologische bufferzones kunnen de hydrologische condities worden afgestemd op de landbouw en kan er grondwatervoorraadbeheer plaatsvinden door kunstmatige infiltratie van overtollig winterwater. Langer grondwater vasthouden in plaats van versneld afvoeren door aanpassingen in de ontwatering zal ook in deze zone nodig zijn voor de transitie naar een klimaatbestendig watersysteem. Grondwateronttrekkingen voor drinkwater,



Afbeelding 10 Het indelen van het landschap in zones kan een goede aanpak zijn om te komen tot een klimaatbestendig watersysteem waarbij het water sturend is.

industrie en landbouw kunnen, rekening houdend met de draagkracht van het grondwatersysteem, in deze zone plaatsvinden waarbij uitstraling naar natte natuurgebieden zoveel mogelijk moet worden voorkomen.

Uiteraard is locatie-specifiek onderzoek nodig naar de effectiviteit van bufferzones. Dit is niet binnen dit onderzoek is uitgevoerd. Wel laten verkennende LHM-berekeningen (niet in dit artikel getoond, zie Van den Eertwegh e.a., 2021) zien dat hydrologische bufferzones effectief kunnen zijn voor hydrologische herstel van de grondwaterafhankelijke natuur. Wanneer bijvoorbeeld de verhoging van de ontwateringsbasis met 30 cm alleen in een bufferzone van 500 meter en het natuurgebied wordt doorgevoerd, dan wordt al 60 tot 75% van het effect op de grondwaterstand gerealiseerd dat kan worden bereikt bij het overal in de zandgebieden doorvoeren van deze maatregel (zie Van den Eertwegh e.a., 2021). Bij het bepalen van de grootte van de bufferzones is het logisch om dit op basis van de spreidingslengte (maat voor hoe ver het effect van een maatregel uitstraalt) te doen; afhankelijk van de maatregel de freatische spreidingslengte of die van een dieper watervoerend pakket. Het stoppen van grondwateronttrekkingen in de nabijheid van natuurgebieden heeft veel effect. De invloed van drinkwaterwinningen en beregening reiken echter verder dan het effect van een reductie in ontwatering, en een bufferzone voor grondwateronttrekking moet daarom ook groter zijn dan die voor ontwatering. Voor de winningen die in de bufferzones zijn gesitueerd kan worden verkend of reductie of verplaatsing een optie is, rekening houdend met beschermbaarheid van de grondwaterkwaliteit voor drinkwaterproductie.

Ten slotte kunnen door het inzetten van bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur verschillende opgaves worden gecombineerd en knelpunten (watersysteem, stikstof en vermessing) integraal opgepakt worden.

Conclusies

Structureel herstel van het watersysteem van het Nederlandse zandgebied is noodzakelijk om het beter bestand te maken tegen droogte. Vanuit het grondwatersysteem geredeneerd, zijn er drie oplossingsrichtingen: (1) grondwaterontwatering beperken (vasthouden), (2) grondwateronttrekkingen beperken (minder eruit) en (3) grondwateraanvulling bevorderen (meer erin). De oplossingsrichtingen beogen hogere grondwaterstanden in het groeiseizoen, hogere beekafvoeren in de zomer en meer kwel richting grondwaterafhankelijke natuur. Modelberekeningen met het Landelijk Hydrologisch Model laten zien dat oplossingen pas effectief zijn als ze omvangrijk, integraal en structureel worden doorgevoerd. Hydrologische bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur kunnen echter al een belangrijke bijdrage leveren aan het tegengaan van verdroging van natuur.

Literatuur

Beard, J.E., M.F. Bierkens en R.P. Bartholomeus (2019). Following the water: Characterising de facto wastewater reuse in agriculture in the Netherlands; Sustainability, vol 11, no 21, pag 5936.

Beugelink, G.P. en F.A.M. Claessen (1995). Operationalisatie van de 25%-doelstelling verdroging: maatregelen, kosten en effecten. RIVM/Riza.

De Dommel (2020). De watertransitie. Een duurzaam en toekomstbestendig watersysteem dat goed is voor inwoners, bedrijven, landbouw en natuur. Visiedocument met uitwerking bestuursprogramma 'Bruggen bouwen met water voor nu en later', Mei 2020.

De Louw, P.G.B., J. Peters, V. Kaandorp & A. Oost (2020). Verkennend rekenen aan grootschalige infiltratie op de Veluwe. H2O – juni 2020.

Dolman, H., Moors, E., Elbers, J. Snijders, W., Hamaker, P. (2000). Het waterverbruik van bossen in Nederland. Uitgave van Alterra, Wageningen.

Kraijenhoff van de Leur, D. (1958) A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir coefficient; in: De Ingenieur, vol 70, pag 87-94.

Massop, H.T.L., C. Schuiling en A.A. Veldhuizen (2013) Potentiele beregeningskaart 2012: update landelijke potentiele beregeningskaart voor het NHI op basis van landbouwmetingen 2010. Alterra, Wageningen-UR.

Massop, H.T.L. en J.W.J. Van der Gaast (2009) Historical water management in the river basin of the Baaksche Beek and the adaptations to the water system as a result of change in land use; in: Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, vol 34, no 3, pag 192-199.

Stokkers, R., J. Jager en M. Van Asseldonk (2022) Berekening in akkerbouw-, groente- en voedergewassen in diverse regio's van Nederland in de periode 2010-2019. Wageningen Economic Research.

Van Asseldonk, M., R. Stokkers, J. Jager en R. Van der Meer (2021) Economische schade landbouw als gevolg van droogte in 2018 en 2019. WUR, Wageningen Economic Research.

Van Dam, H. (2020) Infiltratie Veluwe: oud water in nieuwe zakken?; in: H2O, vol 7 april 2020, pag.

Van den Eertwegh, G.A.P.H., P.G.B. De Louw, J.P.M. Witte, M. Van Huijgevoort, R. Bartholomeus, D. Van Deijl, J.C. Van Dam., J. Hunink, I. America, J. Pouwels, P. Hoefsloot en J. De Wit (2021) Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Het verhaal: analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen. Eindrapport Projectteam Droogte Zandgronden Nederland. KnowH2O, KWR, Deltares, WUR, HSS, FWE 178.

Van der Meer, R.W. (2020) Watergebruik in de land- en tuinbouw 2017 en 2018. Wageningen Economic Research 22.

Witte, J.P.M. (2021) Gevolgen van de droogte van 2018 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland, afgeleid van het Landelijk Meetnet Flora. FWE 44.

Witte, J.P.M., D. Van Deijl en G.A.P.H. Van den Eertwegh (2020a) Gevolgen voor de natuur van de droge jaren 2018 en 2019; resultaten van een enquête onder deskundigen. Deelrapport van het project: Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. FWE & KnowH2O 53.

Witte, J.P.M., R. Van Ek, J. Runhaar en G.A.P.H. Van den Eertwegh (2020b) Verdroging van de Nederlandse natuur: bijna een halve eeuw goed onderzoek en falende politiek; in: Stromingen, vol 26, no 2, pag 65-79.

Summary More drought resistant: solutions for a hydrological well-functioning groundwater system in the sandy areas of the Netherlands

Due to the past dry years, almost everyone has become aware that our water system is not in order. It is too focused on lowering groundwater tables and getting rid of surface water quickly. In this article we describe a number of measures for the higher sandy soils that aim to prevent drought damage to agriculture and especially nature. These measures include increasing the drainage base, restriction in groundwater extraction for drinking water supply and irrigation and increasing groundwater recharge. The hydrological consequences of these measures have been calculated using the National Hydrological Model. Measures are only effective if they are implemented integrally and structurally. A large effect however could already be achieved in buffer zones around wet nature reserves that can be created for this purpose.

Auteurs

PERRY G.B. DE LOUW
Deltares & WUR/ Geohydroloog
Perry.delouw@deltares.nl

JAN-PHILIP WITTE
FWE / ecohydroloog
flip.witte@ecohydrologie.nl

GÉ A.P.H. VAN DEN EERTWEGH
KnowH2O / hydroloog
eertwegh@knowh2o.nl

RUUD P. BARTHOLOMEUS
KWR & WUR/ hydroloog
ruud.bartholomeus@kwrwater.nl

JANNEKE POWWELS
Deltares / Geohydroloog
janneke.pouwels@deltares.nl

JOACHIM C. HUNINK
Deltares / Geohydroloog
joachim.hunink@deltares.nl

