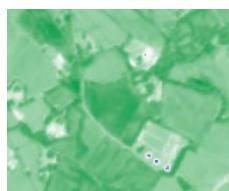




Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland

Het verhaal: analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen



Rapportage

Projectteam Droogte Zandgronden Nederland

Definitief – 2 november 2020

Colofon

Titel

Rapportage Droogte Zandgronden Nederland Fase 2 project, behorende bij:

Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland: het verhaal - analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen

Hiernaast zijn ook een management-samenvatting en samenvatting beschikbaar

Opdrachtgevers-financiers

Provincies Noord-Brabant (trekker), Gelderland, Limburg, Utrecht, Overijssel, Drenthe; Waterschappen WL, WAM, WDD, WBD, WVV, WRIJ, WVS, WDOD; TBO NM, SBB; MinLNV; bijdragen uit DHZ en Deltafonds

Projectteam Droogte Zandgronden Nederland

Gé van den Eertwegh (trekker), Ruud Bartholomeus, Perry de Louw, Flip Witte, Jos van Dam, Dion van Deijl, Peter Hoefsloot, Marjolein van Huijgevoort, Joachim Hunink, Ilja America, Janneke Pouwels en Janine de Wit

Kader

Dit rapport maakt deel uit van het project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 2) en is mede uitgevoerd in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater

Inhoudsopgave

1. Inzicht in de droogte van 2018 en 2019	4
1.1. Algemeen	5
1.2. Droogte en natuur	14
1.2.1 Resultaten enquête terreinbeheerders	15
1.2.2 Analyse uitkomsten LHM.....	16
1.2.3 Tussentijdse conclusies	20
2. Omgang met droogte	21
2.1. Wat kunnen we wanneer doen?	21
2.2. Ad-hoc-ingrepen tijdens droogte	21
2.3. Structurele ingrepen	22
2.3.1. Richtinggevende ingrepen ontwatering: vasthouden	23
2.3.2. Richtinggevende ingrepen afwatering: bergen en aanvoeren	30
2.3.3. Richtinggevende ingrepen grondwateronttrekkingen: minder eruit	32
2.4. Bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur	44
2.5. Slot.....	46
Literatuur	48
Bijlage(n).....	49

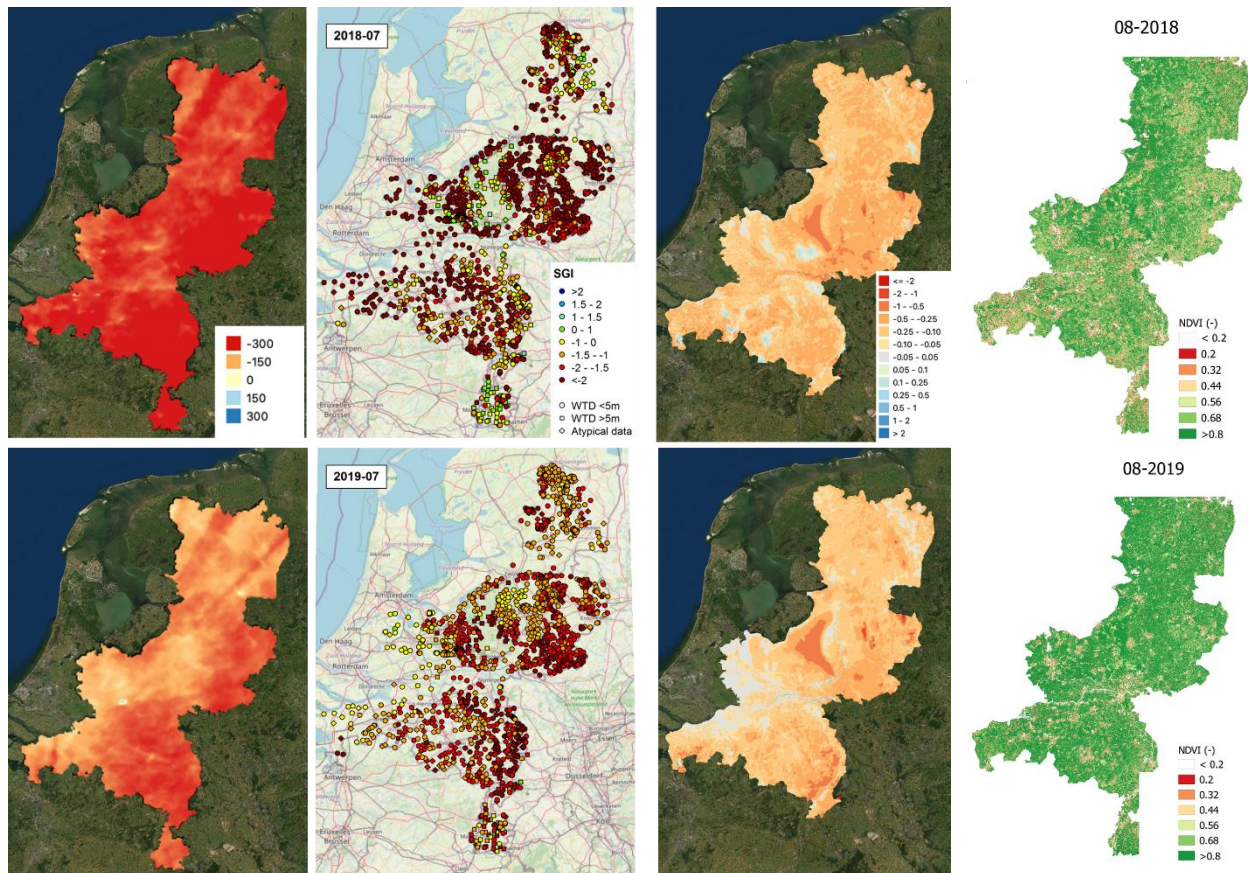
1. Inzicht in de droogte van 2018 en 2019

De droogte van 2018 was zichtbaar in alle componenten van het watersysteem. Het begon met een tekort aan neerslag, dit leidde vervolgens (in combinatie met een hoge verdamping) tot een droogte in bodemvocht, grondwater en beekafvoeren. Zo werkt meteorologische droogte geleidelijk door in verschillende compartimenten van het watersysteem.

Het jaar 2019 laat ruimtelijk een gevarieerder beeld zien. Dit patroon komt onder andere terug in de grondwaterdroogte; in het westelijke deel van het zandgebied is, zowel volgens puntmetingen als ruimtelijke hydrologische modellen, van grondwaterdroogte nauwelijks sprake. In het oosten van het zandgebied echter, is de grondwaterdroogte in 2019 wederom extreem (Figuur 1).

In dit hoofdstuk gaan we in op de duiding van zulke verschillen, waarbij we de doorwerking van de meteorologische droogte, zoals gegeven in Figuur 1, via bodemvochtdroogte, naar grondwaterdroogte en afvoerdroogte beschrijven. We maken in de analyse onderscheid naar hydrotypen (Figuur 2). Voor achtergrondinformatie over de toegepaste methodes, verwijzen we naar de rapportage van Fase 1.

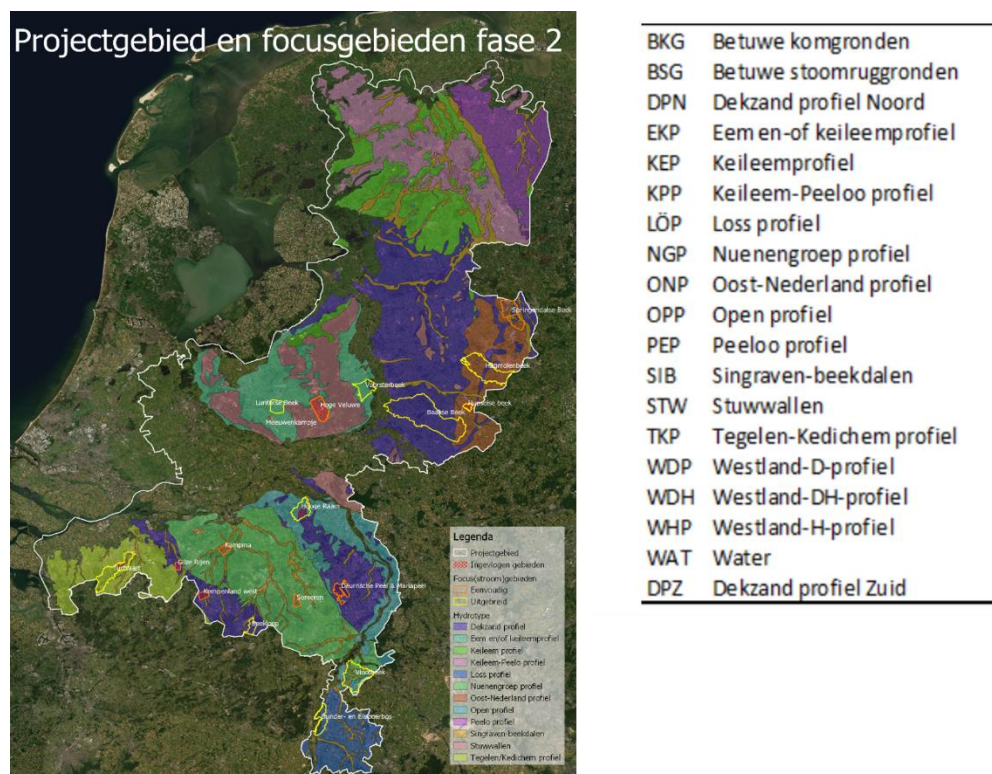
De effecten op natuur zijn in een aparte paragraaf opgenomen.



Figuur 1. Ruimtelijke gegevens voor meteorologische droogte (links, uit neerslag en referentiegewas-verdamping), grondwaterdroogte (midden links, SGI, metingen i.c.m. tijdreeksanalyse), verschil in laagste grondwaterstanden (midden rechts, LG3-GLG, gemodelleerd) en index voor de 'groenheid' van de vegetatie (rechts, NDVI augustus, composietbeeld, afgeleid uit satellietmetingen). Boven: 2018, onder 2019.

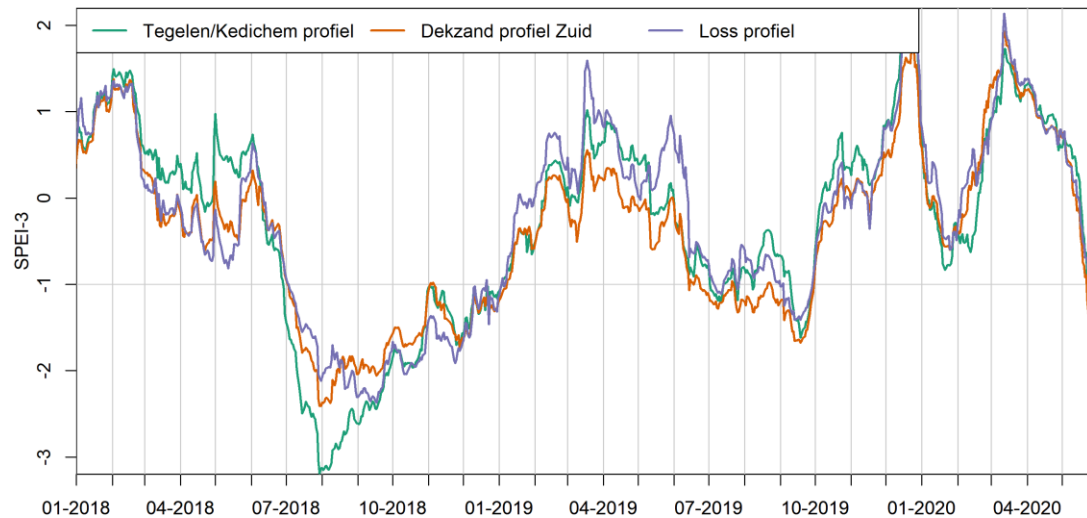
1.1. Algemeen

De meteorologische droogte aan het eind van 2018 was uniform extreem voor het hele zandgebied (Figuur 1). Het verloop van de meteorologische droogte in de tijd en ten opzichte van historische condities, is voor een drietal hydrotypen gegeven in Figuur 3. Hieruit volgt dat 2018 niet droog begon: in april 2018 was er nog sprake van een neerslagoverschot. Voor het hydrotype Tegelen-Kedichem (TKP) waren de meteorologische condities tot juni 2018 bijvoorbeeld nog natter dan normaal. Na juni 2018 nam de meteorologische droogte snel toe, met extreme droogte als gevolg. Het jaar 2019 laat ruimtelijk een gevarieerder beeld zien (Figuur 1). De meteorologische droogte was minder extreem dan in 2018, maar het tekort was in het oosten van het zandgebied aanzienlijk groter dan in het westelijke deel. In 2020 is de meteorologische droogte in mei 2020 al extreem, terwijl het in maart 2020 nog extreem natter was dan normaal.



Figuur 2. Indeling van het projectgebied in hydrotypen en codes van de hydrotypen (niet relevante weggelaten).

Meteorologische droogte



Figuur 3. Verloop van de meteorologische droogte in de tijd, voor een selectie van hydrotypen. Meteorologische droogte is aangeduid als de SPEI-3, waarbij -1 duidt op matige droogte en ≤ -2 op extreme droogte. Positieve waarden duiden op nattere condities dan normaal. SPEI-3 is uitgerekend op basis van KNMI-gegevens van neerslag en referentiegewas-verdamping volgens Makkink.

Bodemvochtdroogte - link tussen meteorologische droogte en grondwaterdroogte

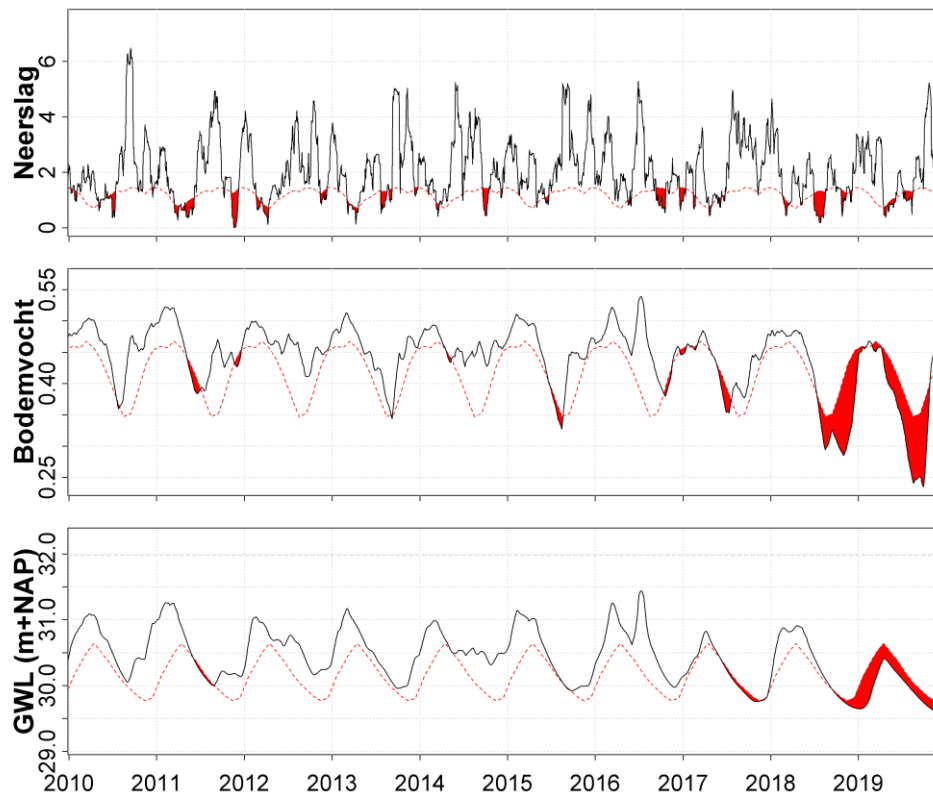
De vertraagde doorwerking van meteorologische droogte naar grondwaterdroogte is onder andere zichtbaar in tijdreeksen (Figuur 4 en Figuur 5). Zo is in de Deurnsche Peel een duidelijke vertraagde reactie zichtbaar in het bodemvocht en grondwater op het tekort aan neerslag. De droogte in neerslag was relatief kort in de zomer 2018 en herstelde in de winter. De bodemvochtdroogte laat het grootste tekort zien in het najaar van 2018, dan een kort herstel in de winter en nieuwe droogte in voorjaar en zomer 2019. De droge start van 2019 leidt tevens tot een extremere bodemvochtdroogte dan in 2018, ondanks dat de meteorologische droogte minder extreem was. Hieruit blijkt dat de uitgangssituatie van de toestand van het watersysteem waarmee een periode van meteorologische droogte wordt ingegaan, van belang is voor de impact die een meteorologische droogte heeft op het hydrologische systeem.

In het focusgebied de Lunterse Beek is een ander verloop van de droogte zichtbaar (Figuur 6). De droogte in de neerslag is vergelijkbaar, maar in dit gebied start de droogte in bodemvocht (en grondwater) eerder in 2018. Ook is zowel in het bodemvocht als het grondwater een herstel zichtbaar in de winter 2018-2019, waarna een nieuwe droogte start in de zomer van 2019. In dit gebied met ondiepere grondwaterstanden is dus een snellere reactie zichtbaar van het systeem op de droogte in neerslag.

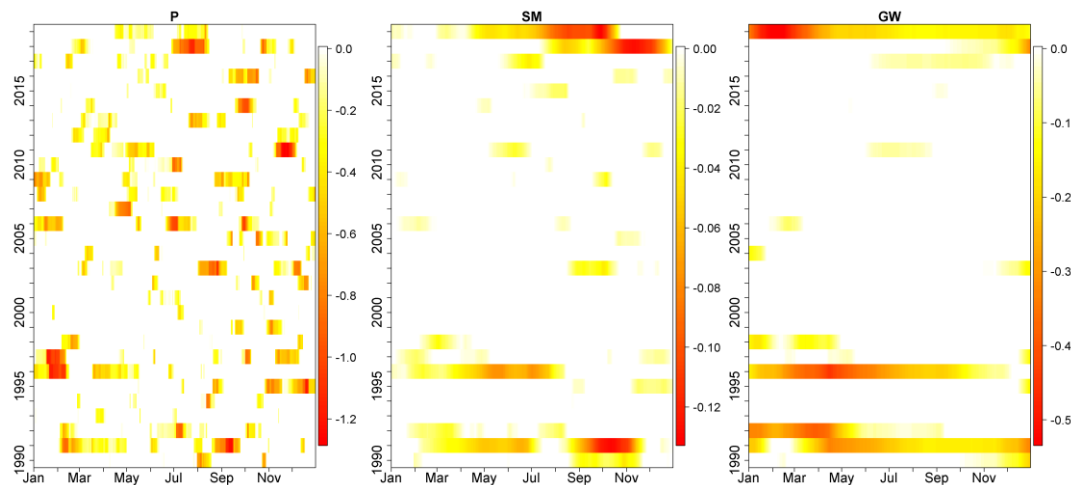
In beide gebieden is de droogte van 2018 duidelijk zichtbaar, maar daarnaast zijn ook andere hydrologische droogtegebeurtenissen terug te vinden (Figuur 5 en Figuur 6). In beide gebieden was het droog in 1995-96. Daarnaast is in de Deurnsche Peel een droogte te zien in 1991-1992 en komt in de Lunterse Beek de droogte van 2003 duidelijk naar voren.

Ook vlakdekkende modelsimulaties (zie www.droogteportaal.nl) geven aan dat de het vochttekort voor vegetatie, uitgedrukt als de relatieve transpiratie (relatieve transpiratie is de ratio tussen actuele en potentiële transpiratie), zowel in 2018 als 2019 aanzienlijk hoger is dan gemiddeld. In 2019 is het vochttekort met name hoog in het oostelijk en zuidoostelijk deel van het zandgebied. Opvallend is echter het hoge vochttekort in het noordelijk deel van het zandgebied. Ondanks een minder extreme meteorologische droogte dan in het oostelijke en

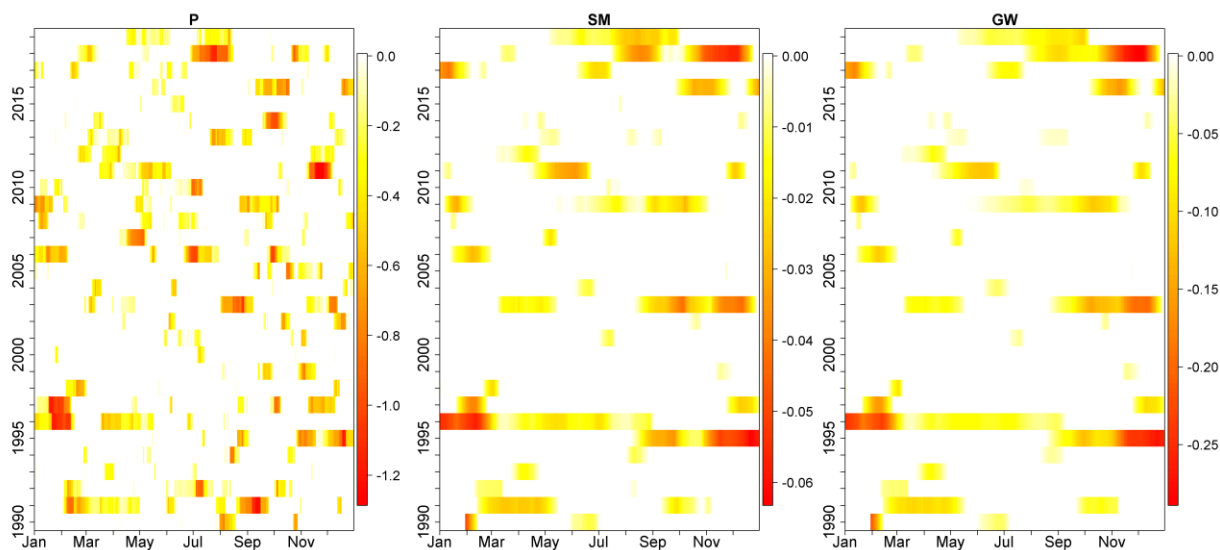
zuidoostelijke deel, is hier toch nog sprake van een groot vochttekort. Dit lijkt samen te vallen met de verspreiding van het Keileem-Peelo profiel.



Figuur 4. Droogte in neerslag (mm), bodemvocht (-), grondwaterstand (m) in het focusgebied Deurnsche Peel. De zwarte lijn is het langjarig gemiddelde, de rode stippellijn is de actuele waarde.



Figuur 5. Droogte in neerslag (P), bodemvocht (SM) en grondwater (GW) in de Deurnsche Peel. Schaal loopt van wit (geen droogte) via geel (matige droogte) naar rood (sterke droogte).



Figuur 6. Droogte in neerslag (P), bodemvocht (SM) en grondwater (GW) in het gebied van de Lunterse Beek.

Grondwaterdroogte

De tijdreeksen uit Figuur 4 en de heat maps in Figuur 5 voor de Deurnsche Peel laten zien dat de droogte in het grondwater pas begon in winter 2018-2019. De grondwaterstanden waren nog niet hersteld aan het eind van 2019. De relatief diepe grondwaterstanden in dit gebied reageren later en herstellen langzamer. Dit trage herstel geldt ook voor heel Noord- en Midden-Limburg; waar in het midden van Noord-Brabant de grondwaterdroogte duidelijk minder wordt in juli 2019, is er voor het oostelijk deel van Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg nog steeds sprake van extreme grondwaterdroogte (Figuur 1). De tijdreeks in Figuur 4 laat ook zien dat de grondwaterdroogte voor 2019 veel langer duurt dan in 2018. Ook dit is een beeld dat geldt voor dit deelgebied.

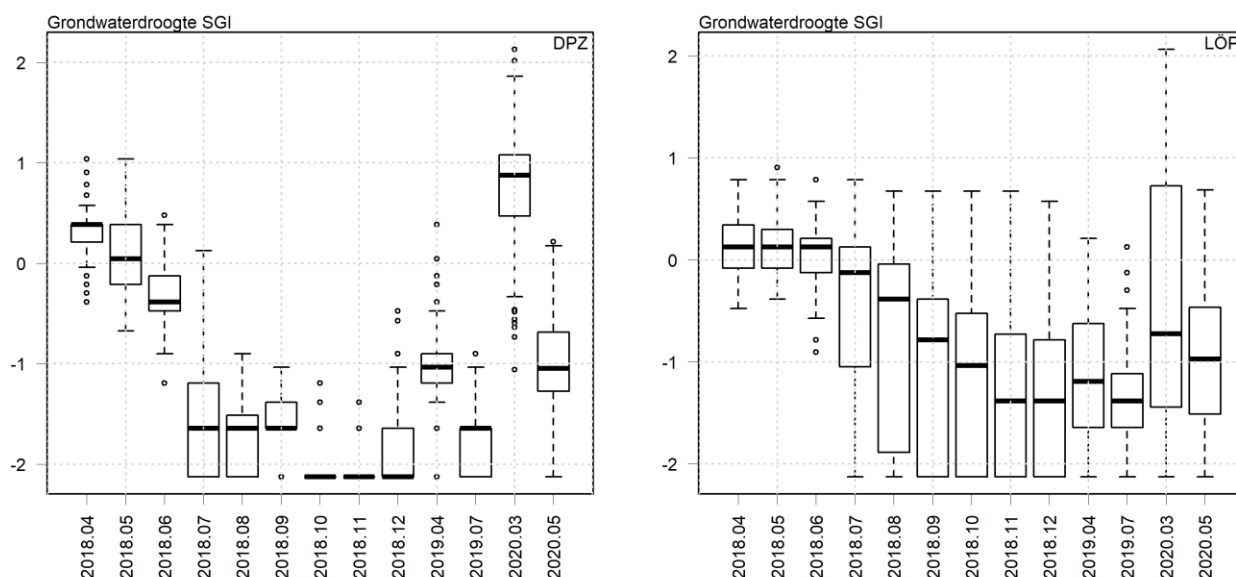
Voor alle hydrotypen, met uitzondering van het Löss profiel (LÖP) en de Stuwwallen (STW), geldt dat vanaf juli 2018 sprake is van een extreme grondwaterdroogte. Het Löss profiel en de Stuwwallen hebben een veel tragere reactie van de grondwaterstand op de meteorologische droogte; het zijn namelijk systemen met een dikkere onverzadigde zone en met name een hoge drainageweerstand. Ook grote spreidingslengte, die een maat is voor de regionale doorwerking van een hydrologische ingreep, is een verklaring voor de tragere respons; zowel de drainageweerstand als de spreidingslengte hangen af van de doorlatendheid en weerstand van de ondergrond. Uit zogenaamde boxplots (Figuur 7), waarvoor de mediaan is weergegeven in Tabel 1, volgt wel dat de spreiding in waarden voor grondwaterdroogte groot is voor deze hydrotypen; in delen van de hydrotypen is in juli 2018 nog geen grondwaterdroogte, terwijl deze op andere plekken al extreem is. Voor het Löss profiel geldt dat voor landbouw in juli 2018 nauwelijks grondwaterdroogte optreedt, terwijl de grondwaterafhankelijke natuur al te kampen heeft met extreme grondwaterdroogte, welke aanhoudt tot in 2019. De hydrotypen EKP en KEP met keileem vertonen een enigszins afwijkend beeld in het herstel van grondwaterdroogte in september 2018. Met name de Westland-hydrotypen vertonen al een herstel van de grondwaterdroogte in september 2018, terwijl voor de andere hydrotypen de extreme grondwaterdroogte nog voortduurt. Dit herstel is vooral waarneembaar in de peilbuizen bij grondwaterafhankelijke natuur. Voor deze hydrotypen volgt uit het LHM dat ook de zomerkwel in 2018 nog hoger was dan het langjarig gemiddelde. Nadere analyse naar de oorzaak van het verschil in herstel voor deze maand moet nog plaatsvinden. Overigens kunnen er binnen de afzonderlijke hydrotypen variaties optreden in de grondwaterdroogte, bijvoorbeeld vanwege ruimtelijke verschillen in maaiveldhoogte.

Naast de SGI waarde als maat voor de grondwaterdroogte is ook de absolute afwijking van de grondwaterstand

ten opzichte van de mediaan (periode 1990-2019) per maand bepaald. Dit geeft een beeld over wat een extreme droogte in grondwaterstand betekent qua absolute daling in de grondwaterstand, ofwel hoeveel cm is de grondwaterstand gedaald ten opzichte van normaal. Deze absolute afwijking is gemiddeld voor alle meetpunten binnen een bepaald hydrotype (Figuur 8). Hieruit volgt dat voor enkele hydrotypen deze absolute afwijking in maart 2019 nagenoeg nul is of de grondwaterstand hoger is dan de mediaan: Betuwe stroomruggronden, de Westlandprofielen, Betuwe komgronden, Keileem profiel, Peelo profiel, Keileem Peeloprofiel. Binnen deze hydrotypen is dus in maart 2019 geen sprake meer van grondwaterdroogte. Voor andere hydrotypen is de absolute afwijking weliswaar kleiner in maart 2019 dan eind 2018, maar bedraagt de afwijking nog tientallen centimeters: Open profiel, Dekzand profiel zuid. Er is dus sprake van enig herstel van de grondwaterdroogte, maar niet volledig.

Voor de Stuwwallen en het Löss profiel geldt dat de droogte van 2018 begin 2019 nog doorwerkt; van enig herstel van grondwaterdroogte is geen sprake. Figuur 8 maakt dit verder inzichtelijk. Deze curves laten zien dat in het Löss profiel grondwaterdroogte langzaam intreedt, maar ook lang na-ijlt. In mei 2020 is het systeem nog niet hersteld. Echter, de verschillen binnen het hydrotype zijn groot: de afwijkingen in de grondwaterstand ten opzichte van het langjarig gemiddelde loopt op tot zo'n 2 meter. Voor het dekzandprofiel zijn de maximale afwijkingen kleiner. Gemiddeld loopt de afwijking van de grondwaterstand voor dit profiel op tot zo'n 0.6m in 2018, is er enig herstel in de winter van 2019, maar neemt de afwijking weer toe in 2019. Begin 2020 zijn de grondwaterstanden binnen dit hele hydrotype hersteld. Figuur 8 toont eveneens dat de grootste afwijkingen van de grondwaterstanden ten opzichte van het langjarig gemiddelde in 2018 aan het eind van het jaar worden bereikt. In 2019 liggen de grootste afwijkingen al eerder in het jaar. De patronen die hier volgen uit peilbuisgegevens komen overeen met analyses met het LHM: de afwijking van de LG3 met GLG is in 2018 groter dan in 2019, met uitzondering van het Löss profiel en de Stuwwallen (zie figuur in de viewer op het droogteportaal: LHM LG3-GLG).

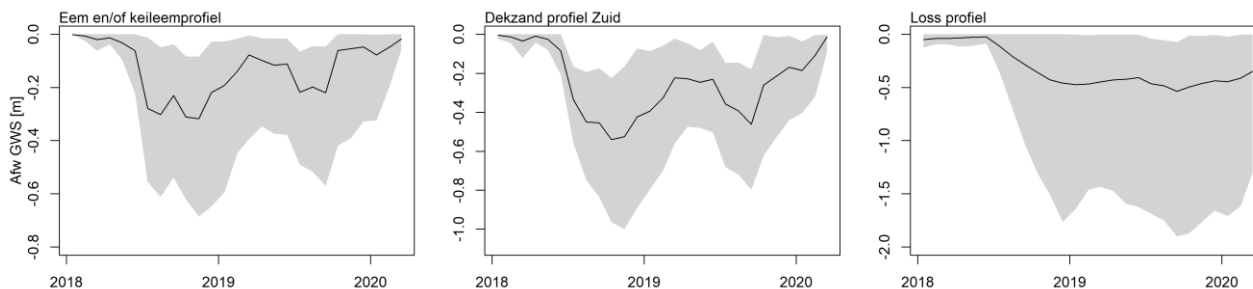
In maart 2020 is de grondwaterdroogte voor de meeste hydrotypen verdwenen. Echter, binnen de stuwwallen, het Löss profiel en Westland D profiel, is de spreiding groot: er zijn zowel meetpunten waarvoor de grondwaterdroogte nog extreem is, terwijl op andere punten de situatie juist natter is dan normaal. De variatie van de dikte van de onverzadigde zone en de drainageweerstad is dan ook groot in deze hydrotypen. Echter, ook voor de hydrotypen Betuwe Stroomruggronden en Westland D profiel is de spreiding nog groot, ondanks dat hier geen sprake is van een dikke onverzadigde zone. Een duidelijk verband met gebiedskenmerken of meteorologische droogte is nog niet gevonden.



Figuur 7. Voorbeelden van de ontwikkeling van grondwaterdroogte in de tijd voor de hydrotypen DPZ en LÖP. SGI is grondwaterdroogte (y-as), waarvoor op basis van de SGI voor de peilbuizen in elk hydrotype een boxplot is opgesteld. De donkere verticale lijn geeft de mediaan, de boven- en onderkant van de box geven respectievelijk het 25^{ste} en 75^{ste} percentiel. De stippellijnen geven de 10^{de} en 90^{ste} percentiel. De punten zijn uitschieters. De grootte van de boxen geeft dus ook inzicht in de spreiding van de SGI binnen een hydrotype. Uit de figuren volgt dat voor DPZ vanaf juli 2018 sprake is van ernstige tot extreme grondwaterdroogte, voor nagenoeg alle meetpunten binnen het hydrotype. In maart 2020 is in nagenoeg alle meetpunten binnen DPZ geen sprake meer van grondwaterdroogte. Voor LÖP geldt dat de grondwaterdroogte in een klein deel van de meetpunten in augustus 2018 al extreem was, maar dat de spreiding ook zeer groot is. Er zijn zelfs nog meetpunten waar van grondwaterdroogte nog geen sprake is. De spreiding in grondwaterdroogte in maart 2020 is groot en varieert van extreem droog tot extreem nat.

Tabel 1. Mediaan van de grondwaterdroogte SGI voor verschillende maanden (kolommen) en voor elk hydrotype, gebaseerd op de geanalyseerde peilbuizen waarop tijdreeksanalyse is uitgevoerd. Tevens is onderscheid gemaakt in alle locaties (links) en locaties in het LHM aangeduid als landbouw (midden) en grondwaterafhankelijke natuur (rechts).

totaal														landbouw														gw_natuur													
hydrotype	2018.4	2018.5	2018.6	2018.7	2018.8	2018.9	2018.10	2018.11	2018.12	2019.4	2019.7	2020.3	2020.5	2018.4	2018.5	2018.6	2018.7	2018.8	2018.9	2018.10	2018.11	2018.12	2019.4	2019.7	2020.3	2020.5	2018.4	2018.5	2018.6	2018.7	2018.8	2018.9	2018.10	2018.11	2018.12	2019.4	2019.7	2020.3	2020.5		
1 BKG	0.13	-0.21	-0.57	-2.13	-1.64	-1.38	-2.13	-2.13	-1.19	-0.67	-1.38	0.90	-1.49	0.13	-0.30	-0.90	-2.13	-2.13	-1.38	-2.13	-2.13	-1.19	-0.67	-1.64	0.95	-1.52	0.21	-0.21	-1.38	-2.13	-2.13	-1.19	-2.13	-2.13	-1.04	-1.64	0.67	-1.76			
2 BSG	0.21	-0.13	-0.21	-2.13	-1.64	-1.38	-2.13	-2.13	-1.64	-1.04	-1.64	0.82	-1.43	0.21	-0.13	-0.21	-2.13	-1.64	-1.38	-2.13	-1.38	-0.90	-1.38	0.92	-1.40	0.17	-0.43	-0.67	-2.13	-2.13	-1.38	-2.13	-1.89	-1.29	-1.64	0.55	-2.04				
3 DPN	0.21	-0.30	-0.67	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-0.78	-1.64	0.77	-1.30	0.21	-0.39	-0.67	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.64	-0.78	-1.64	0.79	-1.34	0.30	-0.13	-0.48	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.64	-0.67	-1.38	0.92	-1.24				
5 EKP	0.21	-0.04	-0.17	-2.13	-1.64	-1.19	-2.13	-2.13	-1.19	-0.57	-1.64	1.03	-1.49	0.21	-0.21	-0.67	-2.13	-2.13	-1.38	-2.13	-1.19	-0.57	-1.38	1.09	-1.56	0.21	-0.39	-0.04	-2.13	-1.64	-1.04	-2.13	-1.19	-0.67	-1.64	0.93	-2.03				
6 KEP	0.39	0.13	0.04	-1.38	-1.64	-1.64	-2.13	-2.13	-2.13	-0.48	-1.38	0.83	-0.88	0.39	0.43	0.08	-1.64	-2.13	-2.13	-2.13	-1.64	-0.30	-1.19	0.92	-1.12	0.30	0.04	-0.13	-1.64	-2.13	-1.64	-2.13	-2.13	-0.57	-1.64	0.64	-0.95				
7 KPP	0.39	0.48	0.13	-1.38	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-0.39	-1.38	0.98	-0.94	0.39	0.21	0.13	-1.64	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-0.21	-1.38	0.88	-1.13	0.43	0.43	-0.17	-1.51	-1.89	-2.13	-2.13	-1.64	-0.62	-1.38	1.01	-1.22				
8 LÖP	0.13	0.13	0.13	-0.13	-0.39	-0.78	-1.04	-1.38	-1.38	-1.19	-1.38	-0.72	-0.97	-0.08	0.00	0.08	-0.04	-0.57	-0.73	-1.04	-1.19	-1.89	-1.38	-1.42	-0.85	-0.78	0.39	0.21	-0.78	-2.13	-2.13	-2.13	-1.19	-0.67	-1.38	1.60	-1.17				
9 NGP	0.21	0.04	-0.48	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.19	-1.64	0.88	-1.17	0.30	0.04	-0.53	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.89	-0.90	-1.64	1.07	-1.17	0.30	-0.30	-1.04	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.19	-1.64	0.92	-1.42					
10 ONP	0.13	-0.57	-1.04	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.04	-1.64	0.65	-1.59	0.13	-0.48	-1.04	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.64	-0.90	-1.64	0.72	-1.59	0.30	-0.48	-1.04	-1.64	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.19	-1.64	0.55	-1.80					
11 OPP	0.30	0.13	-0.30	-1.38	-1.64	-1.38	-2.13	-2.13	-1.19	-2.13	0.47	-1.10	0.30	0.17	-0.13	-1.51	-1.64	-1.64	-2.13	-2.13	-1.64	-1.04	-2.13	0.74	-1.02	0.21	-0.04	-0.48	-1.64	-1.64	-1.38	-2.13	-2.13	-1.38	-2.13	0.38	-1.41				
12 PEP	0.00	0.39	0.00	-2.13	-2.13	-1.64	-2.13	-2.13	-1.04	0.13	-1.19	1.09	-1.71	0.04	0.21	-0.13	-2.13	-2.13	-1.64	-2.13	-1.04	0.04	-1.19	1.09	-1.70	0.21	-0.04	-0.48	-1.64	-1.64	-1.38	-2.13	-2.13	-1.38	-2.13	0.38	-1.41				
13 SIB	0.21	-0.04	-0.21	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.64	-0.48	-1.38	0.89	-1.41	0.21	0.04	-0.21	-1.64	-2.13	-2.13	-2.13	-1.64	-0.57	-1.38	0.92	-1.39	0.21	-0.21	-0.30	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.38	-0.48	-1.38	0.76	-1.46				
14 STW	0.30	0.13	0.04	-0.57	-1.04	-1.04	-1.64	-1.64	-1.64	-1.19	-1.64	0.08	-1.16	0.30	-0.08	-0.25	-1.51	-2.13	-1.51	-2.13	-1.64	-0.84	-1.38	0.78	-1.37	0.57	0.67	0.49	-1.00	-1.21	-0.97	-1.76	-1.51	-1.21	-1.29	0.60	-0.89				
15 TKP	0.78	0.39	-0.79	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.89	-0.04	-1.11	1.76	-1.53	0.90	0.90	-0.43	-2.13	-2.13	-2.13	-2.13	-1.89	-0.04	-1.04	1.80	-1.14	1.11	0.58	-0.90	-2.13	-1.89	-1.89	-2.13	-2.13	-1.58	-0.53	-1.29	1.65	-1.62			
17 WDP	0.30	-0.13	-0.90	-2.13	-2.13	-1.38	-2.13	-2.13	-1.19	-0.39	-1.04	1.39	-1.42	0.30	-0.17	-1.11	-2.13	-1.64	-1.64	-2.13	-1.11	-0.25	-0.39	1.41	-1.49	0.48	-0.13	-0.78	-2.13	-1.64	-1.04	-2.13	-2.13	-1.04	-0.48	-0.90	1.62	-1.74			
19 WDH	0.48	-0.13	-0.78	-2.13	-1.64	-1.04	-2.13	-2.13	-1.04	-0.48	-0.90	1.62	-1.74	0.48	-0.04	-0.90	-2.13	-1.64	-1.05	-2.13	-0.97	-0.43	-0.90	1.77	-1.57	0.09	-1.03	-0.76	-2.13	-1.51	-1.46	-2.13	-1.89	-0.80	-0.64	-1.51	1.12	-1.68			
21 WHP	0.39	-0.43	-1.58	-2.13	-1.42	-0.26	-2.13	-1.29	-0.21	-0.44	-0.79	1.60	-2.07	0.39	-0.04	-0.39	-1.64	-2.13	-2.13	-1.64	-0.90	-1.64	1.02	-1.09	0.39	-0.21	-0.48	-1.64	-2.13	-1.64	-2.13	-2.13	-1.64	-1.04	-2.13	0.76	-1.33				
24 DPZ	0.39	0.04	-0.39	-1.64	-1.64	-1.64	-2.13	-2.13	-2.13	-1.04	-1.64	0.88	-1.05	0.39	0.04	-0.39	-1.64	-2.13	-2.13	-1.64	-0.90	-1.64	1.02	-1.09	0.39	-0.21	-0.48	-1.64	-2.13	-1.64	-2.13	-2.13	-1.64	-1.04	-2.13	0.76	-1.33				



Figuur 8. Afwijking van de grondwaterstand per maand in de periode 2018 – 2020 ten opzichte van de mediaan van de grondwaterstand in die voor die maand in de periode 1990-2019, gebaseerd op simulaties met tijdreeksmodellen, voor een drietal hydrotypen. De zwarte lijn geeft het gemiddelde verschil van de afwijkingen voor alle peilbuizen in een hydrotype en de bandbreedte geeft de 10 en 90 percentielen.

De duur van de grondwaterdroogte is door de regionale verschillen in meteorologische droogte veel langer in 2019 voor het oostelijk deel van het zandgebied dan voor het westelijke deel. Ook is de (duur van de) grondwaterdroogte langer dan dat louter op basis van de meteorologische droogte verwacht mag worden. Niet alleen de doorwerking van droogte in het systeem, maar ook in de tijd is belangrijk. Het droge jaar 2018 ijlt na in 2019 en de historie heeft een grote invloed op de toestand van het bodem-watersysteem in 2019: de grondwaterdroogte in deze periode was minder extreem in Twente en de Achterhoek dan in 2018, maar in heel Limburg extremer in 2019 dan in 2018. Dit komt overeen met de modelresultaten van het LHM: de laagste grondwaterstanden zijn voor Midden-Limburg lager in 2019 dan in 2018, ondanks dat de meteorologische droogte in 2019 kleiner was. Voor de situatie in maart 2020, na een periode met veel neerslag, geldt dat de freatische grondwaterstand in gebieden met relatief diepe grondwaterstanden, lager zijn dan het langjarig gemiddelde voor deze datum. Dit geldt ook voor de diepe stijghoogten in met name Noord-Brabant, ten westen van de Peelrandbreuk. Ook de SGI voor maart 2020 laat voor de meetlocaties met relatief diepe grondwaterstanden nog een grondwaterdroogte zien.

De maximale waarde van de grondwaterdroogte was voor 2019 voor nagenoeg het hele zandgebied lager dan in 2018, ook in het oostelijke deel van het gebied, waar het neerslagtekort in 2019 groot was. Echter, de duur van de grondwaterdroogte is, met name in Limburg, in 2019 langer dan in 2018.

Afvoerdroogte

Meteorologische droogte werkt door via bodemvochtdroogte in grondwaterdroogte en vervolgens op droogte in beekafvoeren. Uit onze analyse blijkt dat de grondwaterdroogte in 2018 extremer was dan in 2019, met uitzondering van enkele traag reagerende systemen. Echter, hetzelfde beeld komt niet terug in de gesimuleerde afvoeren per hydrotype, gebruikmakend van LHM-berekeningen. Met uitzondering van de Betuwe Komgronden, Betuwe Stroomruggronden, Dekzand profiel Noord en de Westlandprofielen, geldt dat afvoeren in 2019 lager waren dan in 2018. Dit geeft aan dat de grondwaterdroogte wellicht minder ernstig was in 2019, maar de droogte van 2018 nog na-ijlt in de beekafvoeren. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de droogte van 2018 zich heeft voortgeplant van het freatische pakket naar de daaronder gelegen pakketten; echter dit dient nog nader geduid te worden.

Handeling en watergebruik

De droogte van 2018 en 2019 leidde dus tot diepe grondwaterstanden (Figuur 1), en lage vochtgehalten in de wortelzone (o.a. Figuur 4) en hiermee onvoldoende water om aan de transpiratievraag van gewassen te voldoen (die droogteportaal en viewer plotsimulaties): voor alle hydrotypen geldt dat de relatieve transpiratie lager was in

2018 dan het langjarig gemiddelde. De grootste reducties zijn berekend voor het Oost Nederland profiel, de Stuwwallen en het Löss profiel. Ondanks dat de grondwaterdroogte voor de Stuwwallen en het Löss profiel in 2019 extremer was dan in 2018 en langer duurde, is de transpiratiereductie minder groot. Dit is ook niet vreemd, aangezien het hier hydrotypen betreft met overwegend een dikke onverzadigde zone: de vegetatie is niet afhankelijk van het grondwater, maar van de neerslag en de verdampingsvraag.

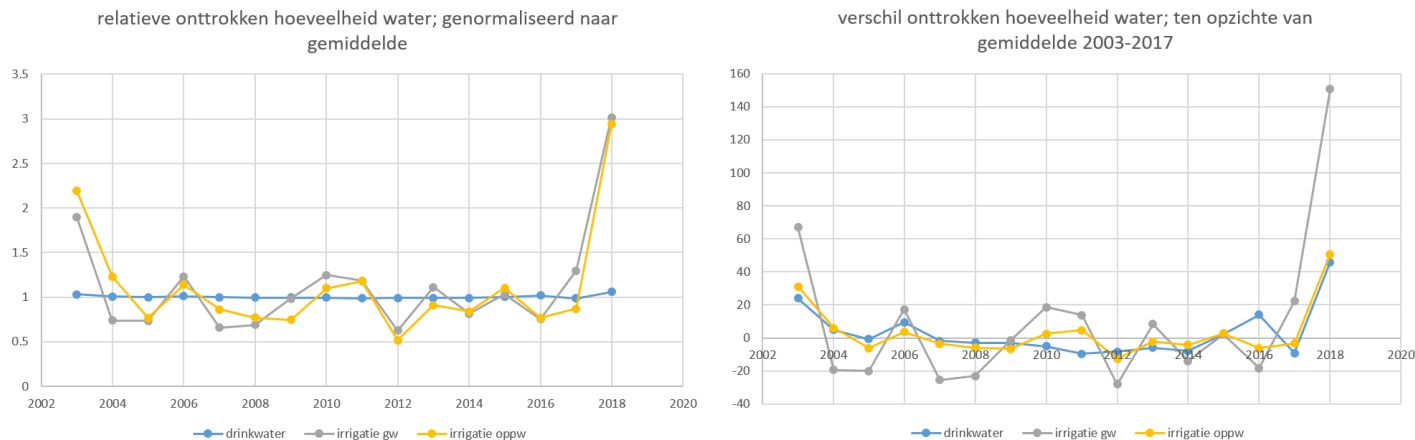
Het effect van de toegenomen transpiratiereductie in 2018 is zichtbaar in de NDVI, een index voor de bedekkingsgraad en groenheid van vegetatie (Figuur 1), en gewasopbrengsten en verhoogde beregeningsgift vanuit de landbouw (zie droogteportaal en Tabel 2). Voor heel Nederland heeft het CBS becijferd dat de irrigatie voor de landbouw, zowel vanuit oppervlaktewater als vanuit grondwater, in 2018 bijna een factor drie (ruim 260 procent) hoger was dan het gemiddelde van de jaren 2003-2017 (Figuur 9). Van der Meer (WEcR Nota 2020-030) komt uit op een factor ruim vier hoger. De toename van de onttrekking voor drinkwater daarentegen was 5,4 procent hoger. De totale onttrekking voor drinkwater in 2018 is hoger dan voor irrigatie in de landbouw, maar de onttrekking voor de landbouw is geconcentreerd in de zomermaanden. Echter, de absolute toename in 2018 ten opzichte van het langjarig gemiddelde is voor drinkwater zo'n 45 miljoen m³, maar voor de landbouw 200 miljoen m³. Hierdoor wordt het evenwicht, voor zover dat er al mocht zijn, tussen watervraag en wateraanbod sterk verstoord, waarbij het aandeel van de landbouw groter is dan van de drinkwaterwinning. Er is met name sprake van een toename in gebruik van de hoeveelheid grondwater; deze is absoluut gezien een factor drie hoger dan het gebruik van oppervlaktewater. Deze factor drie volgt ook uit de berekeningen met het LHM. De grootste hoeveelheid grondwater voor irrigatie wordt gebruikt in de dekzandprofielen, het open profiel en het Nuenengroep-profiel. Deze regio's komen ook duidelijk naar voren in de met Remote Sensing-gedetecteerde percelen die beregend zouden zijn. Opgemerkt moet worden dat de registraties van landbouwonttrekkingen lager zijn dan die uit het LHM. Ook zijn nieuwe beregeningslocaties niet in de analyse meegenomen.

Onderstaande tabel laat het oppervlak aan beregende percelen op basis van de Remote Sensing beelden per waterschap zien als ook de berekening uit grondwater op basis van registraties en LHM. Echter, hier moeten de percelen met ondiepe grondwaterstanden die sterk capillair naleveren en geen transpiratiereductie kennen nog worden uitgefilterd. De tabel laat zien dat voor de oostelijke waterschappen Vechtstromen en Rijn en IJssel een groter oppervlak aan beregende percelen wordt gevonden dan voor de Brabantse waterschappen Brabantse Delta en De Dommel. Op basis van Remote Sensing-beelden en geregistreerde hoeveelheden beregend uit grondwater, volgen beregeningsgiften van 200 tot 380 mm. Dit zijn te grote giften en vermoedelijk levert de detectie op basis van de Remote Sensing beelden een overschatting op. Hier komen we in Fase 3 op terug.

Tabel 2. Oppervlakte van beregende gebieden per waterschap volgens remote sensing analyse, registratie en LHM.

Waterschap	Waterschap	Waterschap	Landbouw	Remote Sensing	Remote Sensing	Registratie	LHM	Gift obv	Gift obv
	Opp projectgebied	Projectgebied	areaal	Beregend opp	Beregend opp	Beregend uit GW	Beregend uit GW	RS en Registratie	RS en LHM
	ha	%	%	ha	%	Mm ³	Mm ³	mm/jaar	mm/jaar
Aa en Maas	160950	100	59	19558	12	42,0	40,4	215	207
Brabantse Delta	170044	100	57	7529	4	26,6	36,3	353	482
De Dommel	151106	100	45	13757	9	27,4	40,6	199	295
Rivierenland	173275	87	61	13434	8				
De Stichtse Rijnlanden	76431	92	52	6874	9				
Vallei en Veluwe	245756	100	39	9899	4		15,0		152
Hunze en Aa's	180263	87	66	21684	12				
Noorderzijlvest	52763	37	64	6382	12				
Drents Overijsselse Delta	255063	100	63	39605	16		17,0		43
Rijn en IJssel	194888	100	64	13949	7		28,7		206
Vechtstromen	226081	100	63	18116	8		18,9		104
Wetterskip Fryslan	129187	37	69	18485	14				
Limburg	221044	100	52	12580	6	48,5	88,9	386	707

Exacte metingen van zowel gewasopbrengsten als beregeningsgiften zijn niet beschikbaar, waardoor vertrouwd moet worden op opgaves uit de praktijk, inschattingen met modelberekeningen en interpretatie van remote sensing-beelden. Metingen van beregeningshoeveelheden zijn dus onvolledig, hetgeen een accurate analyse verhindert. Dit is een ongewenste situatie, die opgelost dient te worden om het inzicht in het gebruik en het aanbod van water te vergroten en de betrouwbaarheid van maatregel-effect analyses te vergroten.



Figuur 9. Relatieve onttrokken hoeveelheid water voor drinkwater en irrigatie uit grondwater en oppervlaktewater ten opzichte van het gemiddelde van de periode 2003-2017 (links) en het absolute verschil in de onttrokken hoeveelheid water (in miljoen m³) (rechts). Situatie voor Nederland. Bron: CBS.

De toenemende vraag naar water voor o.a. landbouw, maar de beperkte beschikbaarheid van bodemvocht en grondwater heeft vanzelfsprekend een versterkend effect op het tekort: watervraag en wateraanbod komen steeds verder uit elkaar te liggen. Als gevolg van gebruik van grond- en oppervlaktewater voor irrigatie, daalden grondwaterstanden en oppervlaktewaterpeilen verder, waardoor de beschikbaarheid van voldoende water voor natuur verder onder druk kwam te staan; meerdere functies kregen last van droogte. Dit resulteerde in 2018 in beregeningsverboden vanuit oppervlaktewater en alleen in een enkel geval ook vanuit grondwater. Daarnaast zijn stuwen opgezet, tot boven de gangbare beheermarges, en zijn diverse maatregelen genomen om ongewenste afvoer van water uit gebieden te voorkomen.

Uit de tot dusver uitgevoerde analyse volgt dat in 2018 meteorologische droogte in nagenoeg alle hydrotypen doorwerkte in extreme grondwaterdroogte en lage beekafvoeren. Causale verbanden tussen de ernst van de droogte en de inrichting, zoals slootdichtheid, en beheer van het watersysteem zijn nog maar in beperkte mate gevonden. Mogelijk is het aggregatieniveau van hydrotypen hier nog te grof voor. Echter, de meteorologische droogte was zo extreem, dat bij de huidige inrichting van het watersysteem sowieso sprake zou zijn geweest van een extreme droogte in het grondwater en de afvoeren. Meteorologische droogte heeft over de volle breedte van het systeem doorgewerkt door het systeem: van neerslag, tot bodemvocht, grondwater en afvoeren.

Er zijn geen duidelijke verschillen in handeling tussen regio's die ook verschillen in grondwaterdroogte veroorzaakten. Binnen het huidige watersysteem is het weer doorslaggevend en tijdens periodes van droogte is het alleen nog mogelijk om het gat tussen watervraag en wateraanbod niet verder te laten oplopen. Dat verschil is in 2018 en 2019 wel verder opgelopen, gezien de zeer grote toename van de watervraag; veel groter dan in 2003 met een eveneens groot tekort aan neerslag.

Belang van goede metingen

Droogte is per definitie relatief, altijd t.o.v. een referentieperiode. Daarom moet er rekening mee gehouden worden dat de hier getoonde droogte, mogelijk al gespiegeld wordt tegen een reeds verdroogde / verdrogende

situatie, namelijk de laatste 30 jaar. Ten opzichte van een niet verdroogde situatie, zou de droogte nog extremer uitpakken. Aangezien droogte per definitie een afwijking is van de normale situatie, is het belangrijk om voldoende informatie te hebben over deze normale situatie. Voor het bepalen van de referentie is een periode van 30 jaar gewenst, zodat een goed beeld gevormd kan worden van het klimaat. Voor het duiden van extremen is dit echter nog steeds een relatief korte periode en zouden zelfs nog langere reeksen nodig zijn. Ook wordt ervanuit gegaan dat er geen andere grote ingrepen gedaan worden die het hydrologische systeem beïnvloeden. In de praktijk blijkt echter dat betrouwbare langjarig meetreeksen voor een periode van 30 jaar voor grondwaterstanden en afvoeren nauwelijks beschikbaar zijn in Nederland. Met name betrouwbare metingen van afvoeren zijn zeer beperkt.

Daarnaast ontbreekt vaak de informatie over onttrekkingen of externe invloeden op het systeem. Een tweede probleem bij het verwerken van de metingen is de vertraging bij de verwerking. Hoewel veel organisaties overstappen op real-time monitoren van grondwaterstanden en afvoeren, zijn veel grondwaterstanden pas later beschikbaar binnen portalen als DINO-loket. Hierdoor is het moeilijk om een volledig beeld te krijgen van de actuele situatie. Voor zowel afvoeren als actuele grondwaterstanden zijn de metingen versnipperd over meerdere organisaties. Droogte treedt op over een grote ruimtelijke schaal, dus vraagt ook om inzicht in het hydrologische systeem op die grotere ruimtelijke schaal.

Om beter te anticiperen op veranderingen in bodemvocht (eerste indicator van droogte bij droog weer), grondwaterstanden en afvoeren, is een nationaal overzicht met actuele bodemvochtmetingen, grondwaterstanden en afvoeren nodig. Voor het opstellen van de referentiesituatie is het van belang om metingen op dezelfde locatie te handhaven, zodat langjarige reeksen ontstaan. Natuurlijk zijn veldmetingen lokaal van aard (behalve afvoeren uit stroomgebieden), maar ze geven mits goed uitgevoerd lokaal wel een correct beeld van de (actuele) toestand. Ook tijdreeksen met data van de onttrekkingen uit het grondwater zijn cruciaal om de droogte te duiden. Hierbij gaat het ook om de kleinere onttrekkingen waarvoor geen vergunning verplicht is en om de actuele onttrokken hoeveelheden (deze wijkt soms af van de hoeveelheid water waarvoor een vergunning is afgegeven). Om de effecten van droogte op vegetatie vast te stellen worden tijdreeksen van vegetatieopnamen op bepaalde locaties (zogenaamde 'permanente kwadraten', PQ's) in combinatie met metingen van standplaatscondities voor bodemvocht, zuurgraad en nutriënten geanalyseerd. Deze tijdreeksen zijn echter ook beperkt beschikbaar. Metingen worden niet ieder jaar uitgevoerd en zijn ook vertraagd beschikbaar.

Door de beperkte beschikbaarheid van metingen is het nodig om a) het aantal metingen/meetlocaties doelgericht effectief uit te breiden (gegeven ruimtelijke variatie in hydrologie) en b) meetreeksen zover mogelijk te verlengen met modellen voor de droogte analyse. Om deze modellen te kalibreren en valideren blijven metingen van de eerder genoemde variabelen van groot belang. Ook hierbij is een nationaal overzicht met actuele informatie cruciaal.

1.2. Droogte en natuur

Om de gevolgen van 2018 en 2019 op de natuur in beeld te brengen, worden drie sporen gevolgd:

1. Analyse van vegetatieopnamen uit het Landelijke Meetnet Flora (LMF). Dat is een bestand met duizenden PQ's, die sinds 1999 worden opgenomen, echter zonder aanvullende en/of verklarende metingen aan de standplaats.
2. Een systematische inventarisatie van gevolgen via een enquête onder deskundigen van terrein-beherende organisaties en provincies.
3. Een analyse, per natuurtipe, van simulaties met het Landelijk Hydrologische Model.

Van het eerste spoor (LMF data 2019) kunnen de resultaten nog niet worden gepresenteerd omdat daarvoor eerst de vegetatieopnamen uit 2019 binnen moeten komen (waarin het droogte-sigitaal van het jaar 2018 te zien moet zijn). Deze worden in de zomer van 2020 verwacht (naschrift: in augustus 2020 aangeleverd). Wel is de software

die nodig is voor de analyse reeds uitgebreid ten opzichte van de versie die is beschreven in de rapportage over Fase 1 (Van den Eertwegh et al., 2019). In de eindrapportage zal dit worden verantwoord.

1.2.1 Resultaten enquête terreinbeheerders

Over de resultaten van de enquête is apart gerapporteerd (Witte et al., 2020), zodat hier kan worden volstaan met een beknopte samenvatting.

Het samenvattende oordeel van de respondenten is opgenomen in Tabel 3, met onderscheid naar de schade door de twee droge jaren 2018 en 2019 en de kans op herstel in de komende vijf jaar, uitgaande van een normale weersgesteldheid.

Tabel 3. Samenvatting effecten droge jaren 2018 en 2019 op natuurtypen. N.B.: de schadeklasse 'klein' duidt in enkele gevallen ook op een kleine winst.

	Vegetatie	Fauna
N03.01 Beek en bron	→	↓
N05.01 Moeras	→	→
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	↓	→
N06.02 Trilveen	↓	→
N06.03 Hoogveen	↓	↓
N06.04 Vochtige heide	→	↓
N06.05 Zwakgebufferd ven	→	↓
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	→	↓
N07.01 Droge heide	→	→
N07.02 Zandverstuiving	↑	→
N10.01 Nat schraalland	→	→
N10.02 Vochtig hooiland	→	→
N11.01 Droog schraalland	↑	↑
N12.02 Kruiden- en faunrijk grasland	↑	↑
N12.03 Glanshaverhooiland	↑	↑
N12.05 Kruiden- en faunrijke akker	↑	↑
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	↑	→
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	→	↑
N14.02 Hoog- en laagveenbos	↓	→
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	→	↑
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	↓	↑
N16.03 Droog bos met productie	→	↑
N16.04 Vochtig bos met productie	→	→
N17.01 Vochtig hakhout en middenbos	→	→
N17.03 Park- en stinzenbos	↑	↑

Legenda

Schade

	klein	matig	groot
Herstel klein	↓	↓	↓
Herstel matig	→	→	→
Herstel groot	↑	↑	↑

De belangrijkste conclusies uit de enquête zijn:

1. Grote schade aan vegetatie en fauna van N03.01 Beek en bron. De schade aan de fauna zal zich volgens de meeste respondenten niet binnen 5 jaar herstellen.
2. De droge jaren hebben overwegend grote schade aangericht aan de vegetatie en de fauna van natuurtypen die kenmerkend zijn voor natte en vochtige voedselarme standplaatsen die voor hun watervoorziening vrijwel of geheel afhankelijk zijn van neerslagwater: N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur Ven of Hoogveen-ven en N14.02 Hoog- en Laagveenbos. Deze schade zal zich volgens de meeste respondenten niet binnen vijf jaar herstellen.
3. Matige schade tot grote schade trad op aan natte typen die mede gevoed worden grond- en/of oppervlaktewater: N06.01 Veenmosrietland en moerasheide, N05.01 Moeras, N06.02 Trilveen, N10.01 Nat schraalland, N10.02 Vochtig hooiland. Enkele typen (met name N06.02 en N10.0) zijn in hun

voorkomen op de hogere zandgronden vrijwel of geheel gebonden aan de toestrooming van schoon kwelwater, die blijkbaar onvoldoende was.

4. Overwegend matige schade aan bossen, met een matig tot grote kans op herstel: N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos, N14.03 Haagbeuken- en essenbos, N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos, N16.03 Droog bos met productie, N16.04 Vochtig bos met productie, N17.01 Vochtig hakhout en middenbos, N17.03 Park- en stinzenbos. Schade aan houtopstanden van Fijnspar, Larix, Beuk en Eik en aan Rododendron. Door de droogte en de hitte hebben parasieten als Letterzetter en Eikenprocessierups kunnen toeslaan. De afname van boomexoten en de toename van dood hout wordt door sommigen gezien als winst voor de biodiversiteit.
5. Grote schade aan de vegetatie van No7.01 Droge heide door het afsterven van Struikhei en matige schade aan vegetatie en fauna van No7.02 Zandverstuiving.
6. Matige schade tot kleine schade en zelfs winst zijn van toepassing op schrale gras- en hooilandvegetaties: N11.01 Droog schraalland, N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland, N12.03 Glanshaverhooiland, N12.05 Kruiden- en faunarijke akker, met bij eventuele schade telkens grote kans op herstel. Als belangrijke reden voor een gunstige ontwikkeling wordt genoemd dat gras, met name Gestreepte witbol, door de droogte is afgestorven waardoor open plekken ontstonden voor de vestiging van kruiden.
7. Er zijn twee structurele oorzaken die de nadelige gevolgen van 2018 en 2019 hebben versterkt:
 - a. De droge jaren komen bovenop de sluipende verdroging van het omringende landschap door ontwatering, drinkwaterwinning en beregening.
 - b. Door de droogte worden de ecologische gevolgen van de atmosferische depositie versterkt: droogte en verzuring zijn een giftige mix.

1.2.2 Analyse uitkomsten LHM

Om te onderzoeken hoe de waterhuishouding in verschillende delen van het projectgebied en in verschillende soorten natuur in de twee droge jaren heeft afgeweken van de normale situatie, zijn tabellen gemaakt waarin de met het LHM gesimuleerde hydrologische grootheden zijn weergegeven per combinatie van natuurstype en hydrotype. In Figuur 2 is de ligging van de hydrotypen weergegevens en zijn de typen van een code voorzien waarvan in de volgende tabellen gebruik wordt gemaakt.

Oppervlakten

De oppervlakten van de voor het projectgebied relevante natuurstypen per hydrotype zijn opgenomen in Tabel 4. Oppervlakten van ten hoogste 3 rekencellen (18.75 ha) zijn buiten beschouwing gelaten omdat dat aantal onvoldoende representatief is voor uitspraken op het niveau van hydrotypen. Tevens is in Tabel 4 aangegeven of het natuurstype grondwaterafhankelijk is, en of het afhankelijk is van de toestroom van kwelwater. Op die wijze zijn de rijen van de tabel ook gesorteerd: eerst naar kwelafhankelijkheid (ja/nee), dan naar grondwaterafhankelijkheid (ja/soms/nee), en dan pas naar de code van het natuurstype.

In de hierna gepresenteerde tabellen getoonde gemiddelde waarden per natuurstype zijn telkens gewogen naar de oppervlakten van die typen binnen de hydrotypen, dus naar de resultaten van Tabel 4.

Tabel 4. Oppervlakte (in # 250 m cellen) per combinatie van hydrotype en natuurstype. Oppervlakte < 4 weggelaten, alsmede niet relevante hydrotypen en natuurstypen. Typen gesorteerd naar grondwaterafhankelijkheid (gw-afh) en kwelafhankelijkheid (kwel-afh).

	gw-afh	kwel-afh	totaal	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N03.01 Beek en bron	ja	ja	685	45	55	58	19	26	29		45	19	19	4	191	10	15	32	89	4		19
N06.02 Trilveen	ja	ja	74				14												5	51		4
N06.05 Zwakgebufferd ven	ja	ja	178					11	7		89	8	18	8	15		16					6
N10.01 Nat schraalland	ja	ja	592	40		62	61	17	41		43	24	15		112	23	13		29	87		10
N10.02 Vochtig hooiland	ja	ja	1456	31	25	117	63	55	128		107	33	20	28	330	27	23	13	209	175	8	43
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	ja	ja	968	41	142	121	28		4	30	155	79	28		188	13	23	26	44		14	22
N05.01 Moeras	ja	nee	1409	30	70	28	17	39	103		34	8	6	86	136	6	13	33	304	320	52	32
N05.02 Gemaaid rietland	ja	nee	287						17					11	6		5	5	29	208		6
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	ja	nee	289			7									4				30	242		
N06.03 Hoogveen	ja	nee	597			117		31	281		9	48	4	62								45
N06.04 Vochtige heide	ja	nee	2252			165	75	542	350		428	112	44	95	64	46	72		4			255
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	ja	nee	316			11	9	106	47		52	7	8	5	5	6	13					47
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	ja	nee	897	45	14			14	54		33				141		14	12	382	113		
N14.02 Hoog- en laagveenbos	ja	nee	1439	14	12	74	26	48	113		172	77	70	26	112	10	12	12	71	497		83
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	ja	nee	1450	91	74	98	58	7	14	234	235	26	66	24	131	8	20	61	241	17	7	14
N05.02 Gemaaid rietland	ja	nee	287						17					11	6		5	5	29	208		6
N16.04 Vochtig bos met productie	ja	nee	1916	161	58	239	35	10	11	5	415	77	57		148	11	133	44	205	23	5	264
N12.02 Kruiden- en faunairijk grasland	soms	nee	9845	252	903	613	339	698	615	279	787	327	318	274	1708	324	400	186	692	530	75	290
N12.03 Glanshaverhooiland	soms	nee	275	7	172	5				4	5			7	4			39	17			
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	soms	nee	653	9	14	70	29	46	35	34	67	46	29	43	99	62	19	18				33
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	soms	nee	15021	78	100	1227	907	2068	787	356	1446	629	1123	219	629	4136	567	6	10	25		704
N17.03 Park- en stinzenbos	soms	nee	440	15	18	78	91	29	16		18	6			19	82	15	33	16			4
N07.01 Droge heide	nee	nee	5262			229	347	645	236	20	550	47	225	5	66	2518	117					257
N07.02 Zandverstuiving	nee	nee	647			10	53	105	5		121		13			322	11					7
N11.01 Droog schraalland	nee	nee	620		40	46	16	33	33	41	35	4	66	23	92	138	7	21	4			13
N16.03 Droog bos met productie	nee	nee	25369	99	74	3166	1390	2103	1906	83	3069	800	1041	271	669	6848	1445	11	53	40		2301

Bodemvochtdroogte

De droogte zoals die door planten wordt ervaren doordat ze onvoldoende vocht hebben voor potentiële transpiratie, is alleen geanalyseerd voor natuurstypen die altijd of soms onafhankelijk zijn van freatisch grondwater. De anomalie in bodemvochtdroogte van 2018 en 2019 is weergegeven in respectievelijk Tabel 5 en Tabel 6. Hoe roder de kleur, des te groter de transpiratiereductie T_a/T_p (actuele transpiratie gedeeld door potentiële transpiratie) in het droge jaar afweek van de gemiddelde transpiratiereductie in de afgelopen 30 jaar.

Tabel 5. Bodemdroogte 2018 (%), uitgedrukt als verschil in transpiratiereductie ten opzichte van een gemiddeld jaar.

Ta/Tp(2018)-Ta/Tp(1988-2017)	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N12.02 Kruiden- en faunairijk grasland	-12	-11	-15	-11	-10	-11	-9	-21	-14	-20	-16	-9	-7	-20	-14	-12	-9	-5	-9	-14
N12.03 Glanshaverhooiland	-16	-14	-17	-16				-17	-12		-7		-10			-17	-12			
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	-24	-23	-22	-28	-24	-22	-22	-20	-24	-27	-24	-26	-21	-26	-24	-19				-26
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	-21	-15	-23	-21	-21	-20	-18	-23	-19	-24	-23	-9	-15	-25	-22	-10	-10	-9		-21
N17.03 Park- en stinzenbos	-18	-14	-10	-18	-18	-17	-8		-24	-19			-15	-26	-26	-10	-7			-15
N07.01 Droge heide	-22			-25	-22	-20	-21	-29	-24	-30	-25	-24	-20	-22	-25					-23
N07.02 Zandverstuiving	-22			-24	-22	-21	-17		-26		-28			-21	-21					-28
N11.01 Droog schraalland	-20		-21	-13	-22	-20	-18	-23	-23	-16	-22	-25	-17	-20	-23	-17	-22			-26
N16.03 Droog bos met productie	-23	-16	-21	-22	-22	-21	-22	-25	-23	-23	-21	-10	-18	-26	-24	-11	-8	-11		-24

Tabel 6. Bodemdroogte 2019 (%), uitgedrukt als verschil in transpiratiereductie ten opzichte van een gemiddeld jaar.

Ta/Tp(2019)-Ta/Tp(1988-2017)	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N12.02 Kruiden- en faunairijk grasland	-7	-3	-9	-7	-3	-12	-9	-10	-10	-16	-15	-5	-4	-14	-6	-3	-2	-2	-4	-11
N12.03 Glanshaverhooiland	-7	-1	-7	-10				-9	-9		-6		-6			-6	-3			
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	-15	-4	-9	-18	-9	-19	-19	-10	-17	-18	-18	-19	-13	-13	-9	-1				-19
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	-17	-7	-19	-16	-12	-21	-18	-11	-16	-18	-22	-6	-11	-17	-14	-4	-7	-6		-19
N17.03 Park- en stinzenbos	-11	-8	-5	-11	-9	-16	-6		-16	-13			-9	-19	-9	-1	-1			-19
N07.01 Droge heide	-17			-22	-9	-22	-24	-14	-24	-27	-24	-19	-18	-13	-17					-20
N07.02 Zandverstuiving	-16			-28	-8	-30	-15		-24		-26			-8	-17					-21
N11.01 Droog schraalland	-16		-15	-11	-10	-23	-21	-11	-20	-14	-26	-26	-16	-11	-9	-10	-6			-20
N16.03 Droog bos met productie	-18	-9	-14	-18	-14	-20	-22	-8	-20	-18	-22	-8	-14	-18	-14	-3	-2	-10		-18

Tabel 7. Verschil in bodemdroogte tussen 2019 en 2018. 2019 was een natter jaar, behalve in KEP en KPP en in sommige natuurtypen binnen een hydrotype.

	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland	4.2	8	6	4	7	-1	0	11	4	4	1	4	3	6	8	9	7	3	5	3
N12.03 Glanshaverhooiland	9.6	13	10	6				8	3		1	4	4			11	9			
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	9.0	19	13	10	15	3	3	10	7	9	6	7	8	13	15	18				7
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	4.6	8	4	5	9	-1	0	12	3	6	1	3	4	8	8	6	3	3		2
N17.03 Park- en stinzenbos	7.1	6	5	7	9	1	2		8	6			6	7	17	9	6			-4
N07.01 Droge heide	5.4				3	13	-2	15	0	3	1	5	2	9	8					3
N07.02 Zandverstuiving	6.7				-4	14	-9	2	2		2			13	4					7
N11.01 Droog schraalland	3.9		6	2	12	-3	-3	12	3	2	-4	-1	1	9	14	7	16			6
N16.03 Droog bos met productie	5.0	7	7	4	8	1	0	17	3	5	-1	2	4	8	10	8	6	1		6

Vergelijking (Tabel 7) van beide tabellen toont aan dat 2018 over het algemeen een stuk droger was dan 2019. In 2019 sloeg de droogte vooral toe in het oosten des lands, wat verklaart dat in de oostelijk gelegen hydrotypen de droogte juist groter was (*KEP Keileemprofiel* en *KPP Keileem-Peeloo profiel*) of vrijwel hetzelfde (*SIB Singraven-beekdalen*, *PEP Peeloo profiel*) als in 2018.

Grondwaterdroogte

Meteorologische droogte leidt uiteindelijk tot het dieper wegzakken van de grondwaterstand, met name in de zomer. Voor het beoordelen van de grondwaterdroogte is de anomalie van de laagste grondwaterstand in 2018 en in 2019 berekend: de afwijking van de laagste grondwaterstand in beide jaren (berekend als LG₃: het gemiddelde van de drie laagste dagwaarden) met de gemiddeld laagste stand in de afgelopen 30 jaar, de GLG. Het resultaat voor 2018 en 2019 is opgenomen in respectievelijk Tabel 8 en Tabel 9, terwijl Tabel 10 het verschil in de anomalie tussen beide jaren laat zien. Alleen typen die altijd of in sommige gevallen afhankelijk zijn van een hoge grondwaterstand, zijn in de tabellen opgenomen.

Voor de grondwaterdroogte geldt dat die in veel mindere mate in de tijd verbonden is met de meteorologische droogte (ook veel rode cellen in Tabel 10): de grondwaterdroogte ijlt na op de bodemdroogte. De na-ijling is vooral groot in traag reagerende hydrotypen, zoals *LÖP Löss profiel*, *STW Stuwwallen*, *NGP Nuenengroep profiel* en *DPZ Dekzand profiel Zuid*. Vooral in natuurtipe *N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos* zakte de grondwaterstand in 2019 nog verder weg dan in 2018. In hydrotypen met een beheerst peil daarentegen (zoals *BKG Betuwe komgronden*, *BSG Betuwe stroomruggronden*, *DPN Dekzand profiel Noord*) was de laagste grondwaterstand enigszins hersteld.

Tabel 8. Grondwaterdroogte 2018 (cm), uitgedrukt als verschil in de LG₃ van 2018 en de GLG.

LG3(2018)-GLG	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N03.01 Beek en bron	-20	-15	-24	-31	-20	-24	-25		-16	-23	-35	-17	-17	-34	-19	-15	-15	-19		-18
N06.02 Trilveen	-17				-18												-19	-17		-9
N06.05 Zwakgebufferd ven	-18					-23	-32		-18	-27	-14	-17	-10		-16					-17
N10.01 Nat schraalland	-20	-8		-33	-22	-19	-17		-19	-37	-17	-15	-28	-30			-18	-14		-22
N10.02 Vochtig hooiland	-21	-15	-21	-30	-20	-18	-20		-22	-40	-18	-14	-18	-27	-20	-16	-24	-19	-12	-19
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	-28	-31	-29	-36	-24		-18	-50	-26	-35	-18		-25	-16	-32	-17	-20		-2	-20
N05.01 Moeras	-18	-22	-26	-27	-17	-22	-17		-15	-30	-13	-16	-21	-6	-21	-16	-22	-13	-7	-14
N05.02 Gemaaid rietland	-16							-12				-10	-10		-41	-14	-20	-16		-8
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	-18			-11								-10					-19	-18		
N06.03 Hoogveen	-23			-19		-26	-24		-29	-32	-13	-20								-18
N06.04 Vochtige heide	-27			-36	-33	-29	-25		-27	-34	-31	-18	-23	-26	-25		-16			-21
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	-25			-41	-47	-28	-27		-21	-27	-15	-19	-17	-50	-22					-14
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	-21	-24	-17			-23	-17		-26			-23		-33		-5	-20	-20		
N14.02 Hoog- en laagveenbos	-21	-15	-19	-32	-22	-22	-20		-25	-31	-18	-11	-23	-22	-33	-9	-21	-15		-26
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	-25	-22	-26	-36	-23	-19	-29	-15	-31	-29	-23	-21	-35	-13	-42	-19	-21	-17	-12	-24
N05.02 Gemaaid rietland	-16							-12				-10	-10		-41	-14	-20	-16		-8
N16.04 Vochtig bos met productie	-25	-22	-28	-36	-22	-22	-22	-48	-25	-31	-18	-20	-23	-24	-19	-24	-25	-13	-20	
N12.02 Kruiden- en faunarij grasland	-24	-20	-25	-29	-22	-23	-23	-45	-24	-34	-52	-21	-20	-19	-26	-17	-21	-15	-23	-22
N12.03 Glanshaverhooiland	-28	-18	-31	-24				-115	-16		-14	-12				-20	-21			
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	-30	-31	-31	-35	-20	-27	-27	-88	-22	-46	-14	-25	-24	-22	-29	-24				-19
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	-29	-25	-18	-33	-27	-27	-26	-83	-21	-36	-18	-21	-26	-34	-15	-11	-19	-15		-22
N17.03 Park- en stinzenbos	-22	-26	-27	-29	-20	-20	-20		-14	-26				-18	-24	-15	-21	-21		-10

Tabel 9. Grondwaterdroogte 2019 (cm), uitgedrukt als verschil in de LG₃ van 2019 en de GLG.

LG3(2019)-GLG	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N03.01 Beek en bron	-13	-7	-15	-24	-13	-15	-18		-15	-19	-35	-9	-12	-41	-10	-5	-4	-13		-16
N06.02 Trilveen	-11				-13												-14	-11		-7
N06.05 Zwakgebufferd ven	-17					-17	-20		-17	-20	-24	-6	-3		-21					-23
N10.01 Nat schraalland	-17	-5		-28	-16	-20	-19		-15	-35	-27	-12	-35	-13			-8	-10		-18
N10.02 Vochtig hooiland	-17	-7	-13	-23	-13	-18	-19		-19	-42	-26	-9	-15	-31	-13	-5	-14	-16	-12	-18
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	-20	-13	-6	-27	-15		-16	-58	-24	-33	-27	-22	-17	-14	-4	-1			2	-18
N05.01 Moeras	-12	-15	-13	-19	-8	-11	-12		-12	-26	-16	-8	-15	-4	-19	-5	-15	-8	-4	-10
N05.02 Gemaaid rietland	-11							-8				-3	-10		-23	-2	-13	-12	-2	
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	-13			-7								-11					-12	-13		
N06.03 Hoogveen	-16			-8		-19	-17		-36	-28	-16	-18								-10
N06.04 Vochtige heide	-22			-27	-34	-22	-20		-25	-27	-32	-17	-17	-24	-18		-19			-16
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	-21			-32	-54	-20	-21		-21	-22	-21	5	-13	-64	-20					-10
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	-15	-14	-11			-23	-12		-20			-17		-24		-1	-14	-15		
N14.02 Hoog- en laagveenbos	-18	-8	-24	-24	-13	-17	-17		-26	-30	-29	-11	-19	-31	-15	1	-9	-11		-32
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	-19	-11	-16	-26	-14	-16	-22	-22	-29	-31	-26	-13	-33	-13	-18	-6	-4	-3	-6	-29
N05.02 Gemaaid rietland	-11							-8				-3	-10		-23	-2	-13	-12	-2	
N16.04 Vochtig bos met productie	-18	-9	-13	-27	-17	-15	-8	-37	-21	-32	-20	-16	-25	-22	-4	-7	-17	-8	-4	-17
N12.02 Kruiden- en faunarij grasland	-20	-9	-8	-22	-16	-19	-21	-54	-23	-33	-59	-12	-17	-30	-18	-4	-12	-10	-21	-23
N12.03 Glanshaverhooiland	-12	-9	-11	-17				-123	-23		-17	-14				-3	-13			
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	-29	-13	-18	-34	-21	-19	-20	-100	-26	-47	-23	-14	-19	-28	-22	-12				-26
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	-31	-14	-18	-26	-31	-23	-21	-91	-23	-34	-26	-11	-24	-43	-20	-2	-12	-11		-24
N17.03 Park- en stinzenbos	-19	-15	-11	-20	-18	-13	-10		-16	-19				-13	-34	-17	-7	-8		-13

Tabel 5. Verschil in grondwaterdroogte tussen 2019 en 2018. De laagste standen waren in 2019 minder diep dan in 2018, behalve in trage systemen als LÖP, NGP, ONP, OPP en STW en in sommige natuurtypen binnen een hydrotype.

	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N03.01 Beek en bron	6.4	8	9	7	7	9	7		1	4	0	8	5	-7	9	10	11	6		2
N06.02 Trilveen	5.5				5												5	6		2
N06.05 Zwakgebufferd ven	1.1					6	12		1	7	-10	11	7		-5					-6
N10.01 Nat schraalland	3.2	3		5	6	-1	-2		4	2	-10	3	-7	17			10	4		4
N10.02 Vochtig hooiland	4.1	8	8	7	7	0	1		3	-2	-8	5	3	-4	7	11	10	3	0	1
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	7.9	18	23	9	9		2	-8	2	2	-9		3	-1	18	13	19		4	2
N05.01 Moeras	6.4	7	13	8	9	11	5		3	4	-3		8	6	2	2	11	7	5	3
N05.02 Gemaaid rietland	4.8						4						7	0		18	12	7	4	6
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	5.1			4									-1				7	5		
N06.03 Hoogveen	6.8			11		7	7		-7	4	-3	2								8
N06.04 Vochtige heide	4.8			9	-1	7	5		2	7	-1	1	6	2	7		-3			5
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	4.5			9	-7	8	6		0	5	-6	24	4	-14	2					4
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	5.9	10	6			0	5		6				6		9	4	6	5		
N14.02 Hoog- en laagveenbos	2.5	7	-5	8	9	5	3		-1	1	-11	0	4	-9	18	10	12	4		-6
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	5.6	11	10	10	9	3	7	-7	2	-2	-3	8	2	0	24	13	17	14	6	-5
N05.02 Gemaaid rietland	4.8						4						7	0		18	12	7	4	6
N16.04 Vochtig bos met productie	6.8	13	15	9	5	7	14	11	4	-1	-2		4	-2	2	15	17	8	5	3
N12.02 Kruiden- en faunarij grasland	4.5	11	17	7	6	4	2	-9	1	1	-7	9	3	-11	8	13	9	5	2	-1
N12.03 Glanshaverhooiland	16.3	9	20	7				-8	-7		-3	-2				17	8			
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	1.1	18	13	1	-1	8	7	-12	-4	-1	-9	11	5	-6	7	12				-7
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	-2.2	11	0	7	-4	4	5	-8	-2	2	-8	10	2	-9	-5	9	7	4		-2
N17.03 Park- en stinzenbos	3.7	11	16	9	2	7	10		-2	7			5	-10	-2	14	13			-3

Zomerkwel-droogte

Voor natuurtypen die afhankelijk zijn van de aanvoer van basenrijk kwelwater, is de anomalie in de zomerkwel berekend. Op natuurtipe *No3.01 Beek en bron* na, was in 2018 de kwelintensiteit doorgaans hoger dan gemiddeld (Tabel 11), maar in 2019 juist lager (Tabel 12, Tabel 13). Blijkbaar was de stijghoogte onder het freatische pakket pas in 2019 zover uitgezakt, dat dit tot uitdrukking kwam in een lagere kwelintensiteit naar de geselecteerde natuurtypen: diepere stijghoogten ijlen langer na dan freatische grondwaterstanden.

Tabel 6. Zomerkweldroogte 2018 (mm/d), uitgedrukt als verschil in kwelintensiteit ten opzichte van een gemiddeld jaar. In veel kwelafhankelijke natuurtypen steeg de intensiteit van de kwel naar het topsysteem, waarschijnlijk ten gevolge van de daling van de grondwaterstand in het kwelgebied. Dit geldt niet voor alle locaties, vooral niet voor No3.01. NB: of de vergrote kwelintensiteit de wortelzone heeft bereikt is vervolgens de vraag.

Zomerkwel(2018)-Zomerkwel(1988-2017)	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N03.01 Beek en bron	-0.07	-0.14	-0.16	-0.17	-0.17	0.05	0.02		-0.01	-0.04	-0.06	-0.28	-0.10	0.04	0.05	-0.02	-0.03	0.19		-0.03
N06.02 Trilveen	0.03				0.07												0.15	0.01		-0.02
N06.05 Zwakgebufferd ven	0.07					0.08	0.06		0.05	0.13	0.06	0.18	0.06		0.13					0.02
N10.01 Nat schraalland	0.11	0.07		0.23	0.16	0.11	0.25		0.18	0.03	0.04		0.06	0.03	-0.07		-0.01	0.06		0.26
N10.02 Vochtig hooiland	0.14	0.15	0.00	0.16	0.13	0.34	0.15		0.22	0.05	0.07	0.05	0.19	-0.02	0.08	0.01	0.12	0.06	0.00	0.05
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	0.01	-0.11	-0.18	-0.01	-0.17		0.15	0.02	0.16	0.05	0.08		0.06	-0.08	0.17	-0.06	0.03		0.00	0.12

Tabel 12. Zomerkweldroogte 2019 (mm/d), uitgedrukt als verschil in kwelintensiteit ten opzichte van een gemiddeld jaar. In veel kwelafhankelijke natuurtypen daalde de kwel, waarschijnlijk ten gevolge van de daling van de stijghoogte in het watervoerend pakket onder het freatische pakket. Dit geldt niet voor alle locaties, vooral niet voor No3.01.

Zomerkwel(2019)-Zomerkwel(1988-2017)	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N03.01 Beek en bron	-0.16	-0.18	-0.23	-0.23	-0.18	0.01	-0.06		-0.13	-0.15	-0.20	-0.56	-0.25	0.00	-0.09	0.01	-0.01	0.12		-0.17
N06.02 Trilveen	0.03				0.06												0.11	0.02		-0.03
N06.05 Zwakgebufferd ven	-0.10					-0.05	0.06		-0.15	0.04	-0.29	0.11	0.02		-0.04					-0.07
N10.01 Nat schraalland	-0.10	-0.18		0.02	-0.05	-0.12	-0.18		-0.07	-0.01	-0.26		-0.27	-0.06	-0.08		-0.02	0.04		-0.02
N10.02 Vochtig hooiland	-0.01	-0.02	-0.12	0.05	-0.11	0.08	-0.02		-0.03	0.00	-0.27	-0.10	0.01	-0.15	-0.13	0.01	0.06	0.04	0.00	-0.21
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	-0.11	-0.14	-0.18	-0.08	-0.23		-0.19	-0.04	-0.06	-0.02	-0.26		-0.17	-0.26	-0.04	-0.05	-0.04		0.00	-0.14

Tabel 73. Verschil om zomerkweldroogte tussen 2018 en 2019 (mm/d). De gevolgen van de droogte werken nu pas echt door op de kwel uit het diepere watervoerende pakket: het systeem ijlt na.

	Gem	BKG	BSG	DPN	EKP	KEP	KPP	LÖP	NGP	ONP	OPP	PEP	SIB	STW	TKP	WDP	WDH	WHP	WAT	DPZ
N03.01 Beek en bron	-0.08	-0.04	-0.07	-0.06	-0.01	-0.04	-0.08		-0.12	-0.11	-0.14	-0.27	-0.15	-0.04	-0.14	0.04	0.02	-0.08		-0.13
N06.02 Trilveen	0.01				0.00												-0.03	0.02		-0.01
N06.05 Zwakgebufferd ven	-0.17					-0.13	0.00		-0.20	-0.09	-0.35	-0.07	-0.04		-0.17					-0.09
N10.01 Nat schraalland	-0.20	-0.25		-0.21	-0.21	-0.23	-0.43		-0.25	-0.04	-0.31		-0.32	-0.09	-0.02		-0.02	-0.02		-0.29
N10.02 Vochtig hooiland	-0.15	-0.17	-0.12	-0.11	-0.24	-0.26	-0.17		-0.25	-0.05	-0.34	-0.15	-0.19	-0.14	-0.20	0.00	-0.06	-0.02	0.00	-0.26
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	-0.13	-0.03	0.00	-0.07	-0.06		-0.33	-0.06	-0.22	-0.07	-0.35		-0.24	-0.18	-0.21	0.01	-0.07		0.00	-0.26

1.2.3 Tussentijdse conclusies

Op het oosten van Nederland na was de meteorologische droogte in 2019 minder intensief dan in 2018, waardoor de grondwaterstand minder ver wegzakte en op hogere zandgronden het vochttekort minder sterk opliep. Maar 2019 was nog steeds een heel droog jaar, een jaar ook waarin de kwel naar kwelafhankelijke natuurtypen begon terug te lopen.

Volgens geraadpleegde deskundigen heeft de natuur flink te lijden gehad van de opeenvolgende droge jaren. Vooral de biodiversiteit van beken, vennen, hoogvenen, trilvenen en schraallanden werd aangetast, maar ook droge heide en productiebossen kregen klappen. Een deel van de schade zal niet binnen 5 jaar zijn hersteld, is een veelgehoorde opvatting.

Nadere analyse zal moeten uitwijzen in hoeverre het deskundigenoordeel strookt met de metingen. In fase 3 van het onderzoek zal een deel van deze analyse worden uitgevoerd aan de hand van vegetatieopnamen uit het Landelijk Meetnet Flora (LMF) uit 2019 en aanvullende veldwaarnemingen uit 2020 aan PQ's in combinatie met opnames van grondwaterstanden in nabije peilbuizen.

2. Omgang met droogte

2.1. Wat kunnen we wanneer doen?

Droog weer zie je niet lang van te voren aankomen, want betrouwbare meteovoorspellingen gaan vaak niet verder dan 10 dagen vooruit. Daarmee is op korte termijn voorafgaand aan of tijdens droog weer effectief reageren op een actuele of verwachte droogte niet goed mogelijk. Calamiteitenorganisaties worden vaak opgetuigd als droogte reeds in zicht is, op een moment dat er al een tijdlang droog weer heerst. Daarbij komt dat de actuele situatie van bodemvocht, grondwater en oppervlaktewater (samengevat als het bodem-watersysteem) het gevolg is van de historische omstandigheden (afgelopen dagen tot maanden, soms zelfs jaren). Het direct positief beïnvloeden van dit bodem-watersysteem als het al een tijdlang droog is, is daarom beperkt mogelijk. Als een droogte zich eenmaal manifesteert, is het vaak te laat om effectieve maatregelen te nemen.

Om droogteschade te voorkomen, zijn daarom tijdige ingrepen en structurele veranderingen in inrichting en beheer van het bodem-watersysteem nodig. Preventieve in plaats van curatieve ingrepen maken dat we beter bestand worden tegen droogte en de negatieve gevolgen ervan kunnen beperken, dan wel vroegtijdig kunnen accepteren.

2.2. Ad-hoc-ingrepen tijdens droogte

Hoewel structurele ingrepen de voorkeur verdienen, zijn er enkele ad-hoc-ingrepen die snel effect hebben op het bodem-watersysteem. Met ad-hoc-ingrepen bedoelen we hier ad-hoc in de tijd gezien en tijdelijk, namelijk vlak voor of tijdens een droge periode. Deze zijn:

- Beregemen van landbouwgewassen waardoor direct het bodemvocht in de wortelzone wordt aangevuld en transpiratiereductie (vochttekort) kan worden opgeheven. Afhankelijk van de gift en frequentie wordt de gewasopbrengst verhoogd. Beregening is geconcentreerd in het groeiseizoen en fluctueert van jaar tot jaar.
- Onttrekken van oppervlaktewater voor deze beregening heeft direct een gevolg voor de afvoer van de beek of waterloop en alles wat stroomafwaarts ligt. Wateraanvoer vanuit rivieren en kanalen kan voor aanvulling zorgen. Waterschappen sturen op kritische afvoeren voor met name waterlopen en beken met een natuurfunctie door onttrekkingsverboden af te kondigen. Vroegtijdige droogval van watergangen wordt zo voorkomen.
- Onttrekken van grondwater voor deze beregening heeft direct een effect op de stijghoogte in het watervoerend pakket waaruit onttrokken wordt. Omdat de berging in watervoerende pakketten minimaal is (bergingscoëfficiënt is ongeveer 10^{-5} tot 10^{-4}), dient bijna elke druppel die onttrokken wordt direct uit het ondiepe freatische systeem te worden aangevuld.
- Bereiding van drinkwater: onttrekken van grondwater voor drinkwater heeft eenzelfde direct effect als beschreven bij grondwateronttrekkingen voor beregening. Veranderingen van de onttrekkingen voor drinkwater door bijvoorbeeld een hogere vraag tijdens een droge periode, juist besparing of verandering verdeling van debieten over winningen, hebben een direct effect op het watersysteem. Hiermee kan dus ad-hoc worden gestuurd om bepaalde kwetsbare gebieden te ontlasten. Punt blijft dat de drinkwatervraag tijdens droge perioden hoger is dan normaal.
- Wateraanvoer van buiten (gebiedsvreemd water) brengt direct water in de watergangen, gaat droogval tegen en heeft daarmee effect op de watervoerendheid (waterpeil, debiet, stroomsnelheid) in watergangen. Het kan belangrijk zijn om dit op peil te houden of om extra water beschikbaar te maken voor beregening uit het oppervlaktewater. Mogelijk aandachtspunt bij wateraanvoer is de chemische samenstelling van dat water. Wateraanvoer in droge tijden heeft echter beperkt effect op het grondwatersysteem en vrijwel niet op het bodemvocht, tenzij dit water actief aan het systeem via beregening, bodeminfiltratie (in infiltratie-bassins) of infiltratiedrains wordt toegevoegd. De

beschikbaarheid van water is echter een belangrijke voorwaarde. De debieten (m³/s) van wateraanvoer in Hoog-Nederland zijn vaak onvoldoende om de gewassen en vegetatie van voldoende water te voorzien. Als er langdurig water van buiten aangevoerd wordt dat niet benedenstrooms weer wordt afgevoerd, dan kan er aanvulling van grondwater plaatsvinden.

- Onttrekken van grondwater voor behoud watervoerendheid in waterlopen en beken voor het redden van zeldzame vissen en macrofauna is een ingreep die direct helpt maar alleen indien noodgevallen wordt toegepast. Het heeft echter ook een direct effect op het bodem- en grondwatersysteem zoals hierboven beschreven.
- Bergen en vasthouden wat ten tijde van droogte nog te bergen en vast te houden valt. Tijdens een droogte kunnen buien voorkomen van lokale aard met kleine en grote intensiteit. Het vasthouden van dat water op en in percelen en het bergen van eventuele afvoer in het open water is goed om lokale watervoorraden aan te vullen. Bergen en vasthouden van water buiten droge perioden zien we als structurele maatregel.

Maatregelen als hierboven stralen uit naar hun omgeving. Door bijvoorbeeld onttrekkingen van grondwater daalt direct de freatische grondwaterstand, neemt de kwel af en daalt de afvoer van beken. Als gevolg van dalende grondwaterstanden, kan de biodiversiteit in natte natuurgebieden worden aangetast, maar ook kan de capillaire opstijging vanuit het grondwater naar de wortelzone afnemen en daarmee de transpiratiereductie, en dus de gewasschade, toenemen op percelen waar niet wordt beregend. Waterschappen kunnen sturen met beregeningsverboden, maar dit wordt voor grondwateronttrekkingen nauwelijks gedaan. Drinkwaterbedrijven hebben een leveringsplicht die ertoe kan leiden dat de natuur het onderspit delft in de strijd om het beschikbare grondwater (voorbeeld: Verloren Beek in 2018).

2.3. Structurele ingrepen

Zoals uit het voorgaande blijkt, zijn de mogelijkheden beperkt om tijdens een droogte effectieve maatregelen te nemen die voordelig uitpakken voor alle partijen. Structurele ingrepen zijn daarom nodig. Met het huidige watersysteem werkt een meteorologische droogte zoals 2018 sterker door, met grotere gevolgen voor de landbouw en natuur dan met een watersysteem waar meer water wordt vastgehouden en waar minder water wordt verbruikt. Dan is het watersysteem meer in balans. Dit zou een klimaat-robust watersysteem kunnen worden genoemd, waarbij de primaire inzet is om effecten van droogte te minimaliseren. Bestrijding van de structurele verdroging van natuurgebieden in het zandgebied gaat hand in hand met het mitigeren van effecten van extreme droogte zoals 2018. Daarbij 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 kunnen worden aangepakt. Deze optimale situatie zal niet altijd en overal kunnen worden gerealiseerd en daarom zullen er keuzes tussen functies moeten worden gemaakt, met name tussen landbouw en natuur. In dit hoofdstuk wordt bij de verschillende maatregelen alleen het effect op de droogte besproken.

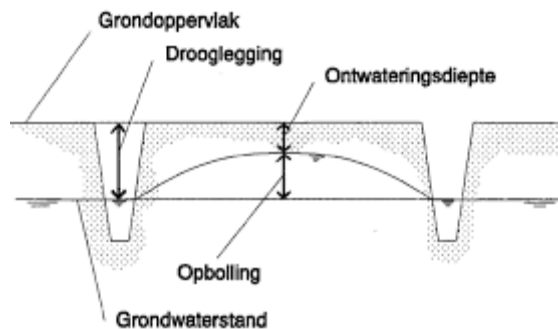
Op basis van in welk deel van het watersysteem wordt ingegrepen, worden de structurele ingrepen in vier hoofdgroepen verdeeld:

- A. Richtinggevende ingrepen ontwatering: vasthouden
- B. Richtinggevende ingrepen afwatering: bergen en aanvoeren
- C. Richtinggevende ingrepen grondwateronttrekkingen: minder eruit
- D. Richtinggevende ingrepen bevorderen grondwateraanvulling: meer erin

Per hoofdgroep worden de verschillende typen ingrepen besproken met hun effect op het bodem-watersysteem, de landbouw en natuur. Daarnaast maken we onderscheid in ingrepen ten aanzien van inrichting en beheer. Voor zover de effecten van maatregelen berekend zijn met het LHM, dan zijn de maatregelen van kracht geworden in de rekenperiode vanaf 2013.

2.3.1. Richtinggevende ingrepen ontwatering: vasthouden

Het hoge zandgebied van Nederland is sterk ontwaterd en dit heeft verdroging van zowel landbouw- als natuurgebieden tot gevolg gehad. Het zandgebied kent meer dan 40.000 km aan sloten, waterlopen en beken die overwegend zo gedimensioneerd zijn dat ze de maatgevende afvoer (hoge afvoer die gemiddeld 1 keer per jaar wordt overschreden) kunnen verwerken zonder noemenswaardige overlast voor de landbouw (en bebouwing) (Figuur 10).



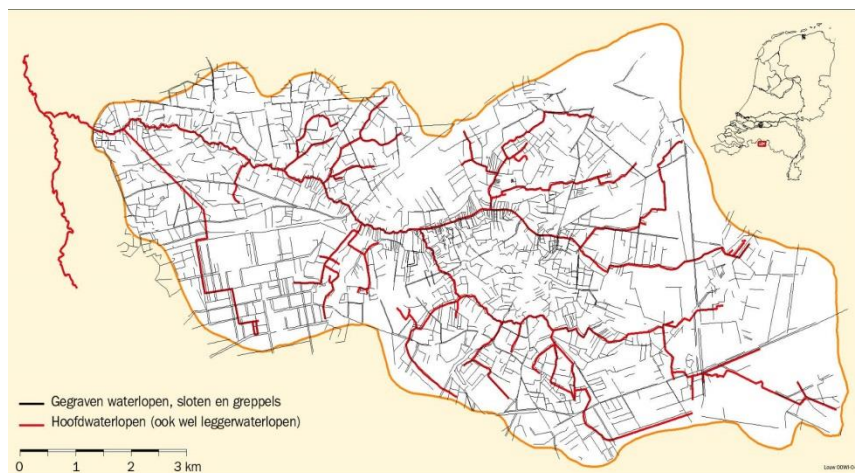
Figuur 10. Verband tussen drooglegging en ontwateringsdiepte. Watergangen zijn overwegend zo gedimensioneerd, dat de grondwaterstand slechts één keer per jaar binnen de ontwatersdiepte van het gewas komt. Daarvoor is een bepaalde drooglegging nodig waarbij de maatgevende afvoer kan worden verwerkt.

Maatregelen in het oppervlaktewatersysteem zijn daarom vooral gericht op de extensivering van het ontwateringsstelsel met als doel de ontwatering af te remmen waardoor langer grondwater wordt vastgehouden en zo gemiddeld hogere grondwaterstanden te creëren waardoor droogteschade voor landbouw en natuur wordt beperkt. Extensivering van het ontwateringstelsel kan door het dempen en verondiepen van ontwateringsmiddelen en peilverhoging o.a. met stuwen, regelbare drainage, niet maaïen of obstakels aanbrengen zoals bomen. Er zijn verschillende typen ingrepen in het oppervlaktewater denkbaar die verschillen in effectiviteit, betrokken actoren bij uitvoering, ruimtelijk schaal en timing. Hieronder worden de belangrijkste behandeld.

1. Vasthouden in de haarvaten

Een schatting leert dat ongeveer 15-20% van de ontwatering in handen is van het waterschap. Dit zijn de waterlopen en beken die op de legger staan en ook wel leggerwaterlopen of het primair en secundair ontwateringstelsel worden genoemd. Dit zijn over het algemeen de breedste en diepste watergangen in de lagere delen van het landschap die de uiteinden van het ontwateringstelsel vormen. Het overige deel van de ontwatering zijn de kavelsloten die landbouwpercelen en wegen ontwateren. Dit stelsel aan sloten, greppels en ook drainagebuizen worden de haarvaten van het ontwateringsstelsel genoemd en vaker ook worden aangeduid als het tertiair systeem. Figuur 11 toont het primair, secundair en tertiair stelsel voor het Merkske stroomgebied. Het waterschap heeft indirect zeggenschap en regie over een deel van deze watergangen via een eventuele schouwplicht.

Met vasthouden van water in de haarvaten wordt bedoeld dat de ontwatering van percelen door maatregelen in het haarvatenstelsel wordt belemmerd, waardoor grondwater wordt vastgehouden. Dit kan gerealiseerd worden door verschillende maatregelen. Het bedienen van boerenstuwjes (LOP, SAWAX, ...) zodat de stuwpeilen hoger worden leidt tot vasthouden van water en meer berging in de (kleine) watergangen. Met regelbare drainage kan water vastgehouden worden door de drainage te remmen en te beperken. Om dit te bereiken moet er met het systeem bewust geregeld en gestuurd worden op water vasthouden. Slootbodempverhoging of het dempen van sloten is het meest effectief, want dit beperkt direct de ontwatering van aangesloten land.

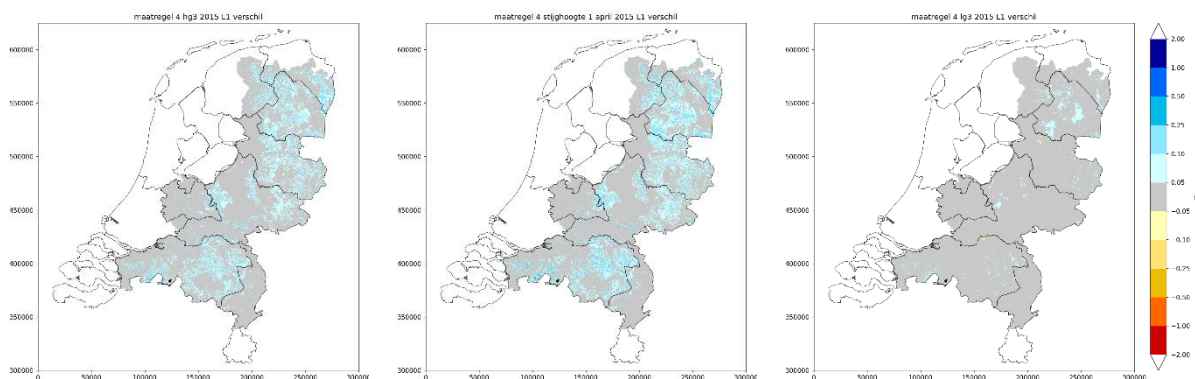


Figuur 11. De leggerwaterlopen ook wel primaire en secundair systeem aangegeven in rood en het tertiair systeem ook wel het haarvaten systeem in zwart, voor het stroomgebied van 't Merkske (West-Brabant).

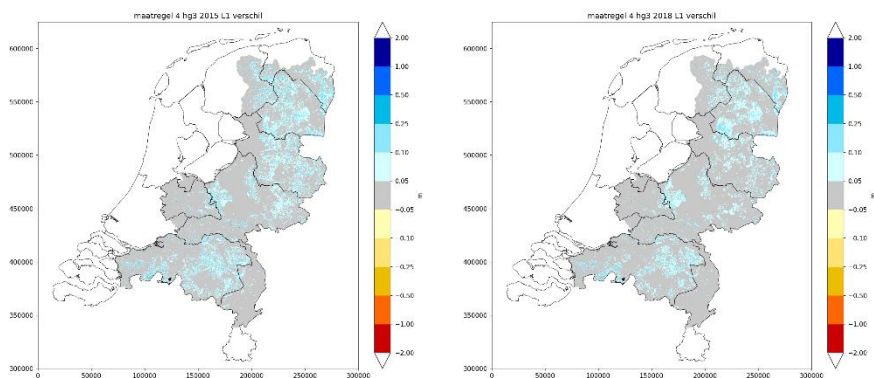
Deze maatregel grijpt direct aan op de grondwaterstand, die stijgt door de verhoging van de ontwateringsbasis en vergroting van de slootafstand. Doordat de ontwateringsbasis hoger komt te liggen wordt er minder en minder lang grondwater afgevoerd en vindt er waterconservering plaats. Het effect is het grootst aan het einde van de periode met een positief neerslagoverschot (meestal in maart van elk jaar). Daarna neemt het effect af omdat het vastgehouden grondwater vertraagd door het secundaire en primaire ontwateringstelsel op grotere afstand wordt afgevoerd (Figuur 12). In de zomerperiode is het effect daardoor op de grondwaterstand (LG3) grotendeels verdwenen en is al het geconserveerde grondwater afgevoerd. Het effect op de zomergrondwaterstand is iets kleiner voor droge jaren als 2018 en 2019 dan voor gemiddelde of natte jaren (Figuur 13). Als er in de zomer neerslag valt, bijv. in de vorm van onweersbuien, en als het lukt om dit regenwater lokaal vast te houden (NB oppervlakkige afvoer), dan kan er aanvulling van grondwater optreden.

Voor de landbouw heeft de maatregel vooral effect in het vroege voorjaar, het begin van groeiseizoen. Door de grondwaterstandstijging treedt er een transpiratiereductie op en deze is groter voor droge jaren als 2018 en 2019 dan voor gemiddelde of natte jaren. Een verhoging van de grondwaterstand kan leiden tot natschade voor de landbouw.

De maatregel heeft nauwelijks effect op de zomerkwel. De gebiedseigen afvoer neemt in de wintermaanden iets af, ook piekbuien zullen enigszins vertraagd tot afvoer komen tenzij grondwaterstanden tot aan maaiveld stijgen. In de zomer is er nauwelijks effect op de gebiedseigen afvoer meer omdat bijna de totale in de winter en voorjaar vastgehouden waterhoeveelheid in de zomer is afgevoerd.



Figuur 12. Het berekende effect van een slootbodemplasverhoging van het tertiair ontwateringsstelsel van 30 cm op de HG₃, grondwaterstand op 1 april en de LG₃ (jaar 2015).



Figuur 13. Het berekende effect van een slootbodemplasverhoging van het tertiair ontwateringsstelsel van 30 cm op de HG₃ voor 2015 en 2018.

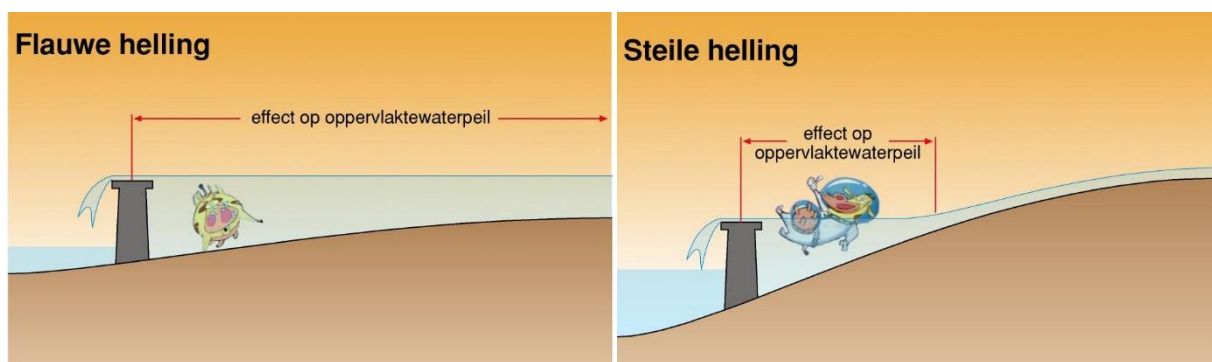
2. Peilbeheer en verondieping leggerwaterlopen

De grotere waterlopen en beken horen bij het secundair en primair stelsel en zijn over het algemeen in beheer van het waterschap en worden dan aangeduid als leggerwaterlopen. Deze waterlopen en beken zijn breder en dieper dan het haarvatensysteem en hebben een zeer belangrijke functie bij de ontwatering (drainage) en afwatering (transportleiding) van een gebied. Ongeveer 15-20% van alle watergangen in een gebied is in beheer van het waterschap, de overige 80-85% is in particulier beheer, veelal landbouwers.

Veel leggerwaterlopen zijn gedimensioneerd om maatgevende afvoeren te kunnen verwerken en er is voor het kwijt kunnen van het volume water vooral in de diepte naar ruimte gezocht. Een diepere waterloop ontwaterd meer. Met aanpassing van het doorstroomprofiel, waarbij gekozen wordt voor een veel ondiepere maar bredere waterloop (bijv. met een accoladeprofiel), blijft de afwateringsfunctie gehandhaafd maar wordt de ontwateringsfunctie verminderd. Daarnaast is er voor gestuwde waterlopen de mogelijkheid om te sturen met het stuwpeil. Voor grofweg 15 à 20% van de leggerwaterlopen (dit verschilt sterk per waterschap) kan het peil gestuurd worden door middel van een stuw. In een stuwvak kan op deze manier enige m³'s water geborgen worden. Vaak worden een zomerpeil en winterpeil gehandhaafd, waarbij het winterpeil vaak lager ligt dan het zomerpeil. Het winterpeil kan meestal wel gehandhaafd worden, maar gedurende de zomerperiode en zeker

tijdens extreem droge perioden is er in de gebieden zonder aanvoer vaak niet voldoende toestroom van grondwater om het zomerpeil te handhaven en stagnerend water te voorkomen.

Het verondiepen van de slootbodembodem en peilverhoging leiden tot een significante verhoging van de grondwaterstand, zowel in de winter als in de zomer. Hoe groot het effect in zomer is, hangt sterk af of het verhoogde peil in de zomer gehandhaafd kan blijven. Dit is gemakkelijker in wateraanvoergebieden. Bij verondieping van de waterloop of beek ligt de ontwateringsbasis in droge tijden vast en is dan hoger dan nu, onafhankelijk van voldoende afvoer. Bij gestuwde waterlopen moet ook rekening worden gehouden met de stuwkromme, die mede een functie is van de bodemhoogte van de waterloop richting bovenstrooms. Dit houdt in dat bij de stuw de peilverhoging maximaal is en deze (groveweg) lineair afneemt met het verhang van de waterloop. Hoe steiler, des te kleiner het gebied is dat beïnvloed wordt en des te kleiner het effect is op de grondwaterstand (Figuur 13).

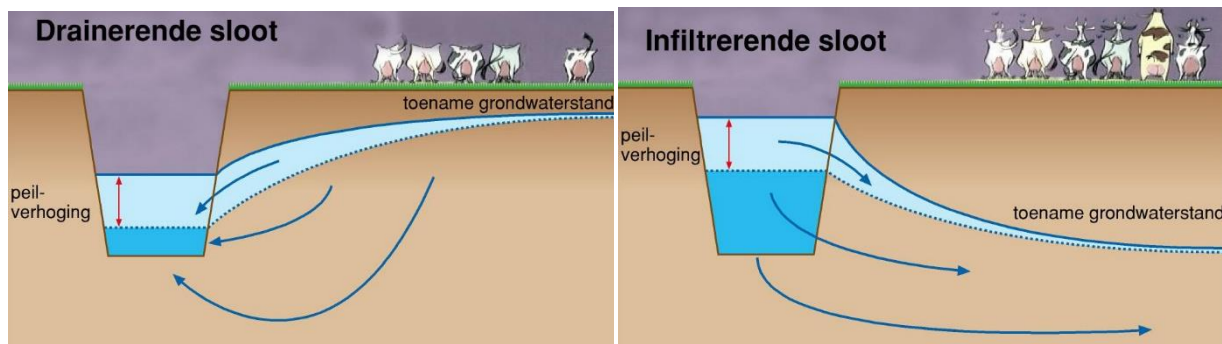


Figuur 14. Het effect van een stuw op het oppervlaktewaterpeil bij een steil (links) en flauw verhang.

De hoofdwatergangen vormen de basis van het ontwateringssysteem met regionaal gezien het minimale niveau tot waar grondwater nog afgevoerd kan worden. De beken liggen relatief het laagst in het landschap en zullen als laatste nog grondwater afvoeren (basisafvoer). Het in zijn totaal verhogen van de ontwateringsbasis van het secundair en primair stelsel leidt daarom naast de winter, ook tot een significante stijging van de grondwaterstand in de zomer. Het tijdelijk strijken van de stuwen in februari of maart om landbewerkingen en bemesting in het voorjaar beter mogelijk te maken, verlaagt de grondwaterstand in het voorjaar en zomer omdat een groot deel van het vastgehouden winterwater op dat moment wordt afgevoerd. Het is dan steeds de vraag of er voldoende neerslag valt ná het tijdelijk strijken van stuwen en/of na de afvoer van perceelwater via regelbare drainage.

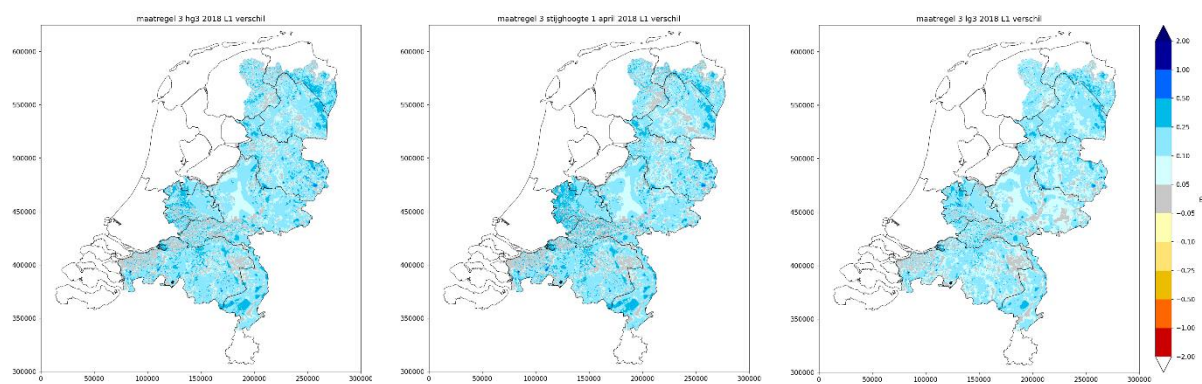
Het grootste effect van een peilverhoging is de belemmering van de drainage van het grondwater. Als het peil hoger ligt dan de grondwaterstand treedt er infiltratie van het oppervlaktewater naar het grondwater op waardoor de grondwaterstand kan stijgen (Figuur 15). Echter, de effecten van infiltratie zijn minimaal waarbij slechts een klein deel van een perceel wordt beïnvloed door het opzetten van het peil.

De effecten worden daarnaast beïnvloed door de helling van het landschap. Ten eerste beïnvloed een stuw een minder groot gebied bij een sterker verhang. Ten tweede werken effecten minder sterk door in het grondwater bij een grotere gradiënt van de grondwaterstand.



Figuur 15. Het effect van een peilverhoging op de grondwaterstand bij een drainerende (links) en infiltrerende (rechts) waterloop.

Figuur 16 laat het effect op de grondwaterstand zien van een permanente peilverhoging van 30 cm van het secundair en primair ontwateringsstelsel. Het effect op de HG3 (winter) en op 1 april is vergelijkbaar, in de zomer neemt het effect iets af maar is voor een groot gebied is de verhoging nog 10 tot 20 cm.

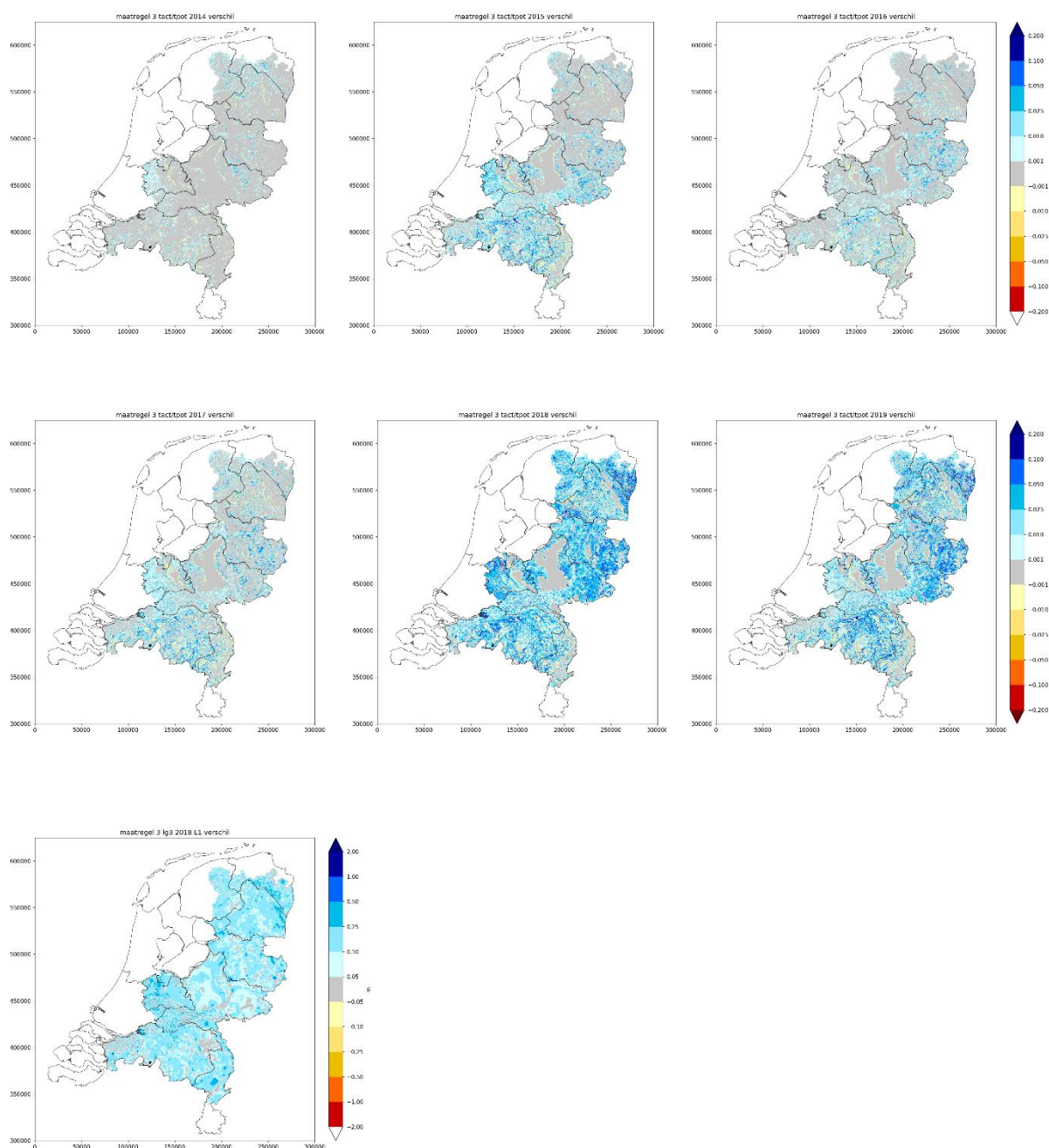


Figuur 16. Het berekende effect van een permanente peilverhoging van 30 cm van het secundair en primair ontwateringsstelsel (komt ongeveer overeen met de leggerwaterlopen) op de HG3, grondwaterstand op 1 april en de LG3 (jaar 2018).

De berekeningen laten verder zien dat het effect in de eerste zomer na uitvoering van de maatregel nog niet maximaal is en het nog 1 of 2 winters duurt voor het maximale effect is bereikt. Voor de trage gebieden zonder secundaire en primaire watergangen zoals De Veluwe en Loonse en Drunense Duinen is na 7 jaar het effect nog steeds aan het groeien. Wanneer een peilverhoging niet permanent is, omdat het stuwpeil niet wordt of kan worden gehandhaafd of, zal het effect in de zomer dus altijd minder zijn.

Het bijna gebiedsdekkend diffuus effect van deze maatregel kan alleen worden gerealiseerd als de ontwateringsbasis van het gehele ontwateringsstelsel wordt verhoogd door permanente peilverhoging via stuwen (er dient voldoende afvoer te zijn voor handhaving peil) of slootbodempverhoging. Anders nemen andere waterlopen de drainagefunctie over en zullen effecten minder groot zijn.

De grondwaterstandsverhoging leidt tot een toename van de werkelijke transpiratie (Figuur 17) en dus tot een toename van de gewasopbrengst, omdat er dan meer grondwater via capillaire opstijging de wortelzone kan bereiken. De toename van de werkelijke transpiratie als gevolg van deze maatregel is groter naarmate het jaar droger is en er dus op grote schaal droogtestress optreedt. In een meer gemiddeld jaar wat betreft het cumulatieve neerslagtekort, bijvoorbeeld 2014 en 2016, was er nauwelijks sprake van transpiratiereductie (i.c. werkelijke transpiratie vrijwel gelijk aan potentiële transpiratie).



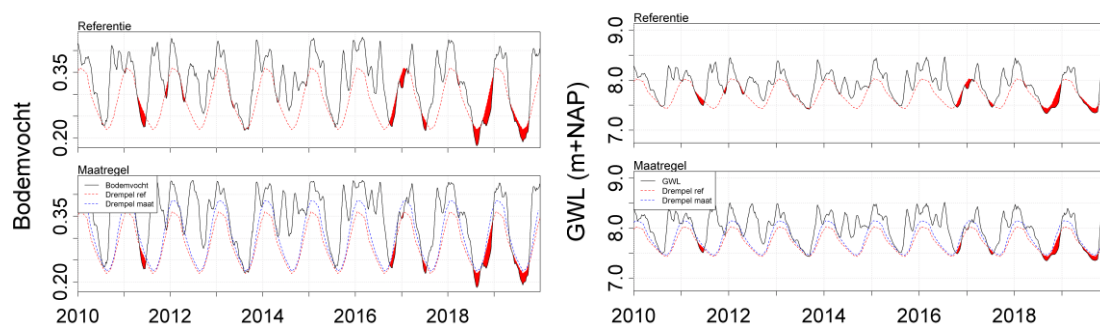
Figuur 17. De afname van transpiratiereductie als gevolg van een permanente peilverhoging van 30 cm van de secundaire en primaire waterlopen voor verschillende jaren met tussen haakjes het doorlopend neerslagtekort (De Bilt): 2014 (99 mm), 2015 (210 mm), 2016 (98 mm), 2017 (164 mm), 2018 (358 mm), 2019 (218 mm).

De grondwaterstandstijging geeft een directe toename te zien van de stijghoogte in de onderliggende watervoerende pakketten. Hoe meer weerstand (door aanwezigheid kleilagen) tussen het freatisch watersysteem en het watervoerend pakket, hoe minder groot de absolute effecten naar de diepte zijn, maar hoe groter het gebied is waar de effecten optreden. Deze stijghoogte is de drijvende kracht achter kwel en op locaties waar de freatische grondwaterstand minder stijgt (bijvoorbeeld in beekdalen met hoge grondwaterstanden) dan de

stijghoogte, treedt een toename van de kwelflux op. Het verschilt per gebied en per jaar of er netto meer of minder kwel optreedt. Voor een droog jaar als 2018 geldt voor meer gebieden een netto toename van de kwel dan voor gemiddelde jaren.

Het effect op de gebiedseigen afvoer, i.c. het grondwater dat in een stroomgebied wordt gedraineerd en afgevoerd, is verschillend voor de zomer en de winter. In de eerste winter na uitvoering van de maatregel neemt de winterafvoer af want het grondwater wordt immers vastgehouden. In de opvolgende zomer neemt de afvoer nog meer af omdat er nog meer grondwater wordt vastgehouden. De grondwatervoorraad wordt opgebouwd. In de daaropvolgende winters wordt er juist ieder jaar weer iets meer grondwater afgevoerd, terwijl gedurende de zomermaanden er ieder jaar minder wordt afgevoerd ofwel meer grondwater wordt vastgehouden. In het begin wordt er op jaarbasis netto meer grondwater vastgehouden. Maar wanneer het effect op de grondwaterstand niet verder meer toeneemt, ontstaat er een evenwichtssituatie waarbij het neerslagoverschot weer in zijn geheel wordt afgevoerd (exclusief onttrekkingen). Echter, er is dan wel een verschuiving gedurende het jaar opgetreden met meer afvoer in de winter en minder in de zomer, en dit manifesteert zich bij gemiddeld hogere grondwaterstanden. De hogere grondwaterstanden leiden tot iets meer transpiratie waardoor het neerslagoverschot dat afgevoerd moet worden minder wordt. Maar dit gaat om geringe hoeveelheden.

Uit de lokale berekeningen voor de focusgebieden blijkt dat de effecten van maatregelen sterk afhankelijk zijn van de gebiedskenmerken. In sommige focusgebieden kunnen de maatregelen maandenlang effect hebben, terwijl in andere de effecten al na een paar weken verdwenen zijn. Voor het verhogen van het peil in het oppervlaktewater geldt uiteraard dat dit alleen effect heeft als er nog voldoende water beschikbaar is om vast te houden, waar in de simulaties vanuit wordt gegaan. Het effect van de verhoging van de stuwpeilen op de grondwaterstanden in de focusgebieden is relatief klein, zeker in gebieden met relatief diepe grondwaterstanden. In gebieden met ondiepere grondwaterstanden, zoals de Lunterse Beek, is een effect te zien op (de tekorten in) bodemvocht en grondwater (Figuur 18) na een structurele verhoging gedurende 30 jaar. Het verschil is met name zichtbaar in de verschillen tussen de drempelwaarde (20^{ste} percentiel) voor de referentiesituatie en de situatie met maatregel. De peilverhoging leidt tot een kleine afname in de tekorten, maar droogte treedt nog steeds op. Grondwaterstanden en het bodemvocht worden vooral in de winter hoger. Hierdoor is ook geen afname van de droogtestress in de vegetatie zichtbaar, en neemt de zuurstofstress in winter enigszins toe. *Dit bevestigt dat het effect van de maatregel van stuwpeilverhoging alleen dan kan worden gerealiseerd, als de ontwateringsbasis van het gehele ontwateringsstelsel wordt verhoogd door permanente peilverhoging via stuwen of slootboderverhoging.* Op perceelschaal is het effect van de peilverhoging minder zichtbaar.



Figuur 18. Effect van een structurele stuwpeilverhoging (+30 cm voor het gehele jaar) op bodemvocht (links) en grondwaterstand (rechts) in het stroomgebied van de Lunterse Beek. Verhoging van alleen stuwpeilen is onvoldoende om de droogte te reduceren.

3. Reductie ontwatering in beekdalen

De beken vormen het uiteinde van een stroomgebied waar het water zich verzamelt en het stroomgebied verlaat. Het zijn de laagste delen van een stroomgebied die de basis vormen van het ontwateringsstelsel. Met het

verhogen van de beekbodem of het beekpeil in het beekdal wordt deze minimale ontwateringsbasis verhoogd, waardoor met name in de droge tijden van het jaar grondwater wordt vastgehouden. Immers, bij het voortschrijden van de zomerperiode, wanneer het grondwatersysteem langzaam leegloopt, is het beekdal het laatste en laagste deel van het gebied dat nog grondwater draineert. Het is effectief deze afvoerroute van grondwater te belemmeren, want de laagste delen en de diepste wateren in een stroomgebied zullen altijd het gebied blijven draineren, m.n. de basisafvoer.

Beekbodemverhoging of, als dit niet mogelijk is, beekpeilverhoging zijn effectieve maatregelen om deze ontwateringsbasis te verhogen. Het beekdal zal hierdoor significant vernatten, wat positief is voor aanwezige grondwaterafhankelijke natuur en droge landbouwpercelen. Wanneer de landbouwfunctie in de lage delen van het beekdal aanwezig is, wordt het uitvoeren van deze maatregel een stuk lastiger, omdat vernatting dan meestal niet gewenst is. Door het geringe verhang van de beek werkt een peilverhoging of slootbodemverhoging over een grote afstand stroomopwaarts door (Figuur 14). Het laten hermeanderen van rechtgetrokken beken helpt ook bij het creëren van een hogere ontwateringsbasis.

Per hoofdgroep worden de verschillende typen ingrepen besproken met hun effect op het bodem-watersysteem, de landbouw en natuur. Daarnaast maken we onderscheid in ingrepen ten aanzien van inrichting en beheer.

2.3.2. Richtinggevende ingrepen afwatering: bergen en aanvoeren

Het afwateringsstelsel is grotendeels gelijk aan het ontwateringstelsel, ofwel het huidige oppervlaktewaterstelsel vervult beide functies. Ontwatering is bedoeld om grondwaterstanden voldoende laag te houden voor functies als landbouw, infrastructuur en bebouwing. Afwatering heeft de functie de afvoer van water uit een gebied of het transporteren van water van het ene gebied naar het andere, inclusief wateraanvoer. De dubbelfunctie is meteen ook een belangrijke oorzaak dat de ontwatering te sterk is doorgeslagen waardoor er te snel en te veel water wordt afgevoerd. Veel waterlopen zijn gedimensioneerd om maatgevende afvoeren te kunnen afvoeren waarbij de ruimte in de diepte is gezocht, met als gevolg een te diepe ontwatering. Aanpak van ontwatering dient daarom hand in hand te gaan met aanpak afwatering.

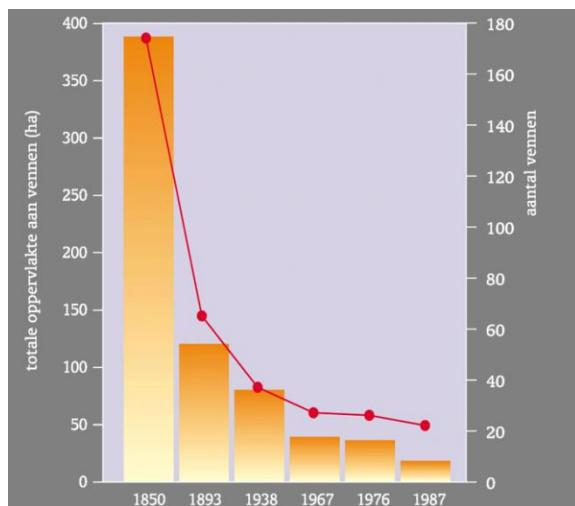
1. Bergen van oppervlaktewater in waterlopen, retentiegebieden en (oude) vennen

In vergelijking met het totale oppervlak is het oppervlak aan beken, waterlopen en sloten klein en zijn de mogelijkheden om water te bergen voor gebruik in droge tijden erg beperkt. De hoeveelheid m³'s water die maximaal geborgen kan worden in het open-water-systeem is beperkt, vergeleken met de m³'s die in het achterliggende stroomgebied vastgehouden kunnen worden. Misschien nog wel belangrijker is het feit dat oppervlaktewater gemakkelijk en relatief snel wegstroomt, zeker in vergelijking tot grondwaterstroming, die weerstand ondervindt van de ondergrond. Met stuwtjes wordt de afvoer enigszins afgeremd maar het is een illusie dat hiermee veel water kan worden geborgen. Immers, als er afvoer op een waterloop zit, dan vult de waterloop zich met water waarna het alsnog met dezelfde snelheid het gebied verlaat. De berging zit hem dan alleen in het volume dat zich achter de stuw kan vullen. De afvoer kan nog enigszins worden afgeremd door een waterloop niet of minder te maaien en ook hermeandering leidt tot een iets tragere afvoer. Echter, zoals met stuwtjes wordt hiermee nauwelijks water geborgen en zijn ze vooral bedoeld voor hogere peilen en daarmee hogere grondwaterstanden, bijvoorbeeld vanuit ecologisch oogpunt. Berging van overtollig water in waterlopen kan wel een belangrijke functie hebben om piekafvoer te reduceren. Ruimte zoeken in de breedte via accoladeprofielen biedt daarmee de sterke voorkeur om de ontwatering zoveel mogelijk te beperken.

Water bergen in overloopgebieden, in bebouwd gebied of andere type retentiegebieden biedt lokaal meer soelaas omdat meer volume beschikbaar is en de afvoer op natuurlijke wijze wordt geremd. Natuurgebieden kunnen daarbij een belangrijke functie vervullen door het water vast te houden, zoals in het bodem-watersysteem in beekdalen, vennen, of hoogveengebieden. Door het water vast te houden waar het valt wordt de afvoer van water uit een gebied geremd en blijven de natuurgebieden langer nat. Te denken valt ook aan het aanwijzen van (extensieve) landbouwpercelen als retentiegebied (bijv. natuur-inclusief) waar gedurende natte perioden water

wordt geborgen om wateroverlast benedenstrooms te voorkomen of reduceren.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze retentiegebieden (zowel in bebouwd, landbouw als natuurgebied) hoofdzakelijk een functie hebben om wateroverlast te voorkomen (bergen van piekafvoeren). Als ze bovenstrooms in het stroomgebied een functie kunnen vervullen als gebied voor grondwateraanvulling (zie richtinggevende maatregelen D), dan is dat gunstig voor de waterhuishouding. Voorbeelden hiervan zijn landbouwpercelen als retentiegebied of gebieden waar herstel van oude vennen heeft plaatsgevonden. Sinds 1850 is het aantal vennen in het zandgebied gedecimeerd (Figuur 19). Deze vennen hadden naast een natuurfunctie een belangrijke retentiefunctie en voeding van het grondwatersysteem via vertraagde infiltratie.

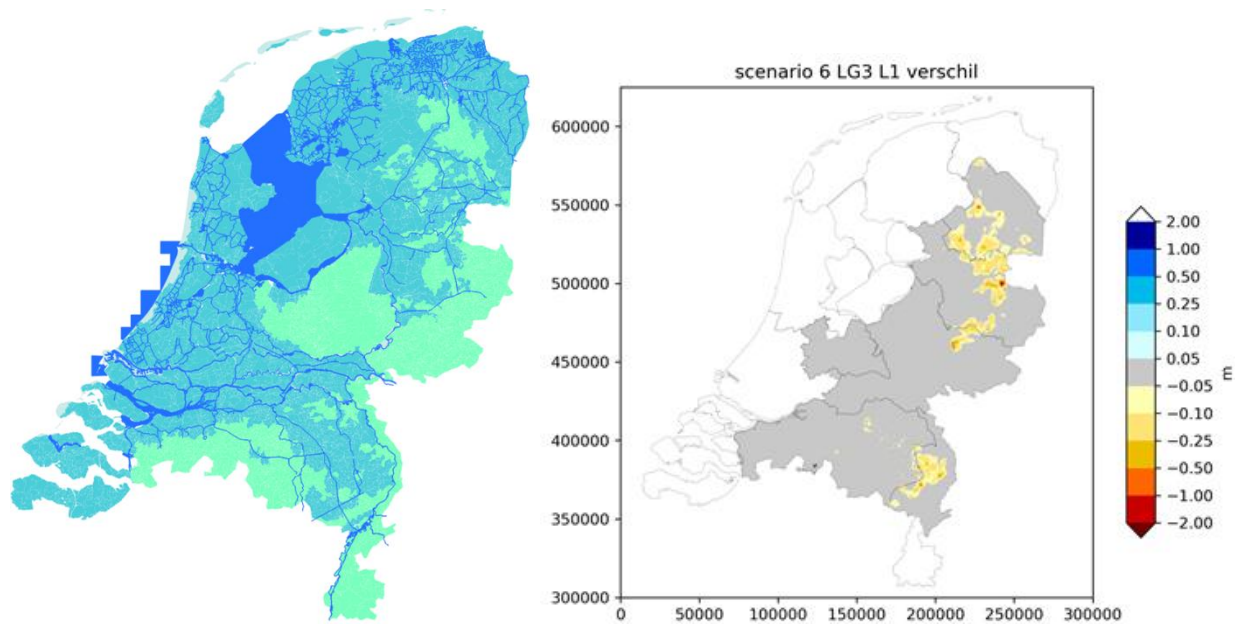


Figuur 19. Afname van het aantal vennen (Y-as rechts) en van de totale oppervlakte aan vennen (Y-as links) sinds 1850 tot en met 1987 voor het stroomgebied van het Merkske (Bron: De Louw en Stuurman, 2000).

2. Wateraanvoer oppervlaktewater

In bepaalde delen van het zandgebied is wateraanvoer mogelijk vanuit de rivieren Maas en Rijn via aanwezige kanalen (Figuur 21). Dit aan het watersysteem toegevoegde water wordt gebruikt voor het stromend en watervoerend houden van beeksystemen, voor de beregening van landbouwpercelen (als er geen verbod is ingesteld) en het handhaven van het oppervlaktewaterpeil voor bijvoorbeeld gebieden rondom hoogveengebieden zoals de Peel. Een deel van het water infiltreert in de bodem en zorgt voor een stijging van de grondwaterstand. Figuur 20 laat het effect zien op de LG3 wanneer gestopt wordt met wateraanvoer. Slechts voor een gering gebied is dit effect groter dan 5 cm. Dit is mede te verklaren door het feit dat infiltratie vanuit waterlopen richting het perceel langzaam verloopt (Figuur 15). Kortom, de wateraanvoer ondersteunt via infiltratie het grondwatersysteem nauwelijks of beperkt.

Echter, meer water vanuit de rivieren aan het systeem toevoegen kan meer effectief zijn wanneer het netwerk aan wateraanvoer-waterlopen ook aansluit op haarvaten. Mogelijk zullen hier en daar pompen nodig zijn om het water zo hoog mogelijk in het systeem in krijgen. Hier kan het worden gebruikt voor beregening of kan het de grondwatervoorraad aanvullen. Elke kuub die op deze manier voor beregening wordt gebruikt, komt niet ten laste van het watersysteem en elke kuub die de bodem insijpelt vult de grondwatervoorraad aan. Dit laatste met voorkeur in de gebieden met diepe grondwaterstanden (zie richtinggevende maatregelen D).



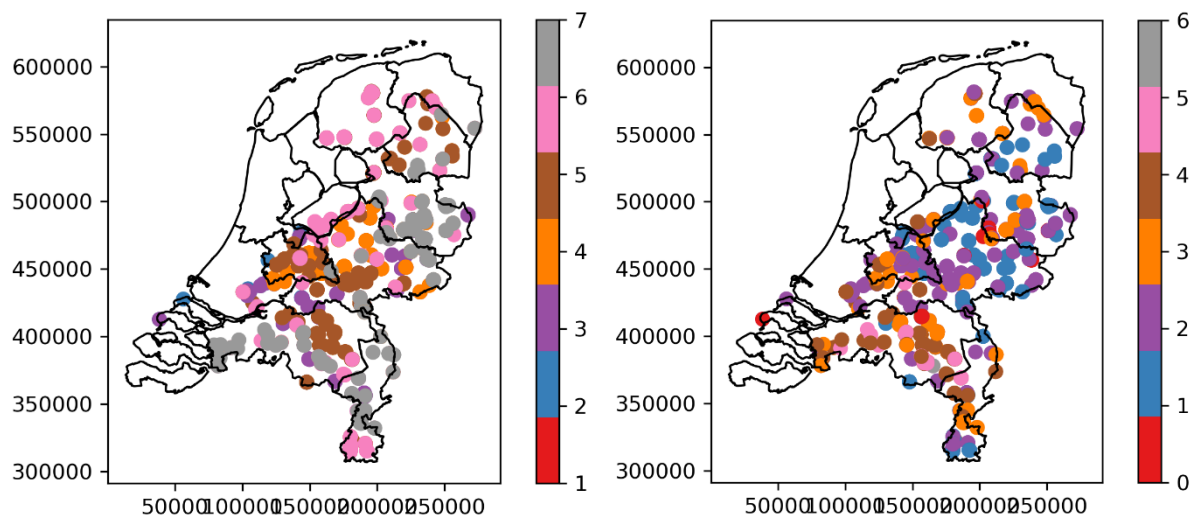
Figuur 21. De wateraanvoergebied zoals die bekend in het LHM (links) en het effect van het stoppen van wateraanvoer op de LG₃ (resultaat uit fase 1).

2.3.3. Richtinggevende ingrepen grondwateronttrekkingen: minder eruit

Onttrekkingen hebben een direct effect op de waterbalans van een gebied; er wordt immers grondwater onttrokken uit het grondwatersysteem. In het zandgebied wordt er met name grondwater onttrokken voor drinkwater, industrie en voor de landbouw voor het beregenen van gewassen. Het tijdelijk of permanent aanpassen van het onttrekkingsdebiet, het verplaatsen van winningen, het compenseren van de effecten van onttrekkingen door extra infiltratie en beregeningsbeleid zijn allemaal mogelijkheden om het grond- en oppervlaktewatersysteem te beïnvloeden en daarmee effecten van droogte te verminderen.

1. Onttrekkingen grondwater voor proces-en drinkwater

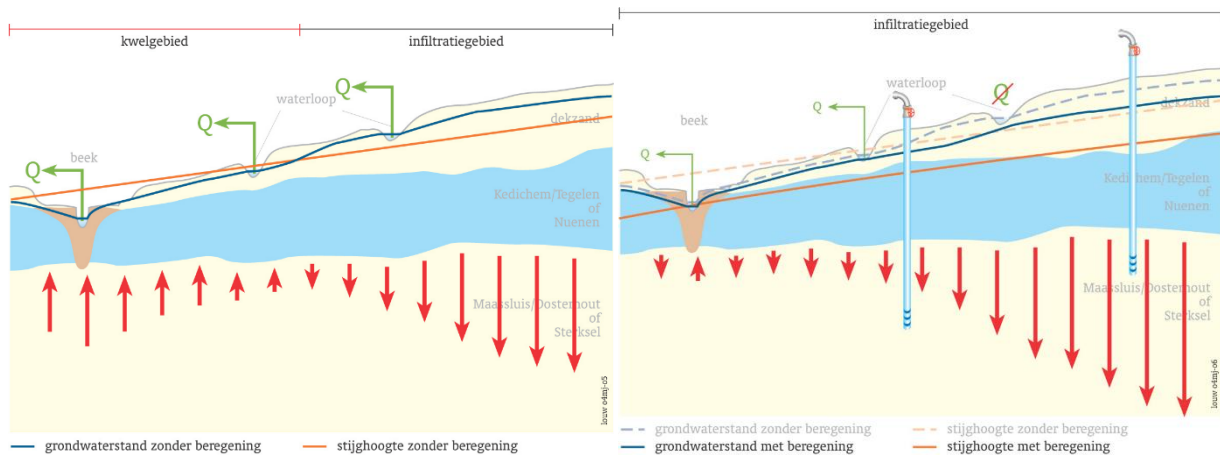
De grotere winningen, hoofdzakelijk voor drinkwater, onttrekken hun grondwater uit de diepere watervoerende lagen, veelal dieper dan 50 m-maaiveld. Figuur 22 toont de locaties van diepe winningen < 50 m-maaiveld uit diverse watervoerende pakketten waaruit drinkwater wordt onttrokken. Tevens is de LHM-modellaag weergegeven waar uit wordt onttrokken (LHM kent 7 modellagen). De LHM-lagen zijn tot een watervoerend pakket samengevoegd wanneer de hydraulische weerstand tussen de lagen groter is dan 200 dagen.



Figuur 22. De LHM modellaag (links) en het watervoerend pakket waaruit grondwater onttrokken wordt voor bereiding van drinkwater (rechts). Legenda geeft aantal modellagen in LHM weer.

De ingrepen werken anders dan ingrepen in het ondiepe freatische systeem. Effecten strekken zich lateraal uit in het watervoerend pakket waaruit wordt onttrokken en vervolgens verticaal richting het ondiepe systeem. Het hangt af van de hydraulische weerstand tussen de onttrekking en het freatisch systeem hoe groot de effecten op de stijghoogte in het watervoerend pakket zijn waaruit onttrokken wordt en hoe snel deze effecten compleet uitwerken. Bij een grote weerstand (bijvoorbeeld 5.000 dagen) daalt de stijghoogte voor een groter gebied (lateraal) dan bij een lagere weerstand. Dit wordt als volgt verklaard. Het is belangrijk te beseffen dat er nauwelijks berging mogelijk is in een verzadigd zandpakket, immers alle poriën zijn al gevuld met water. Dit betekent dat elke druppel die uit het watervoerend pakket wordt onttrokken, niet uit de berging kan komen en dus direct moet worden aangevuld vanuit het freatisch systeem (onttrekkingen vanuit het freatische systeem gaan logischerwijze natuurlijk ook direct ten koste van datzelfde systeem). Dit leidt instantaan tot de start van een daling van de freatische grondwaterstand (freatische berging) en afname van de drainage door sloten en beken (of toename van de oppervlaktewaterinfiltratie) zoals in Figuur 23 is te zien. De som van beide, de afname van de freatische berging (die zich uit in grondwaterstandsverlaging) en afname van de afvoer (of toename van oppervlaktewaterinfiltratie), is gelijk aan de hoeveelheid onttrokken grondwater. In een gebied met veel ontwaterende sloten zal het effect op de grondwaterstand minder groot zijn dan voor een gebied zonder sloten. Voor de trage gebieden zonder sloten, kan na de start van een winning nog lange tijd de grondwaterstand dalen omdat het water grotendeels uit de berging moet komen.

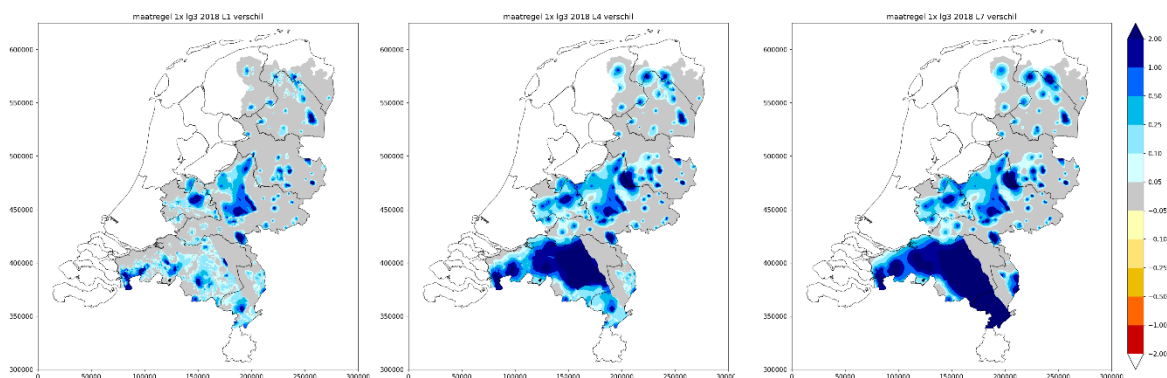
De daling van de stijghoogte heeft naast een daling van de grondwaterstand en afvoer ook effect op de kwel- en infiltratiesituatie. Met infiltratie wordt bedoeld de stroming van ondiep freatisch grondwater naar het onderliggende watervoerende pakket en kwel is de omgekeerde opwaartse stroming. Het areaal aan infiltratiegebieden wordt groter, evenals de bijbehorende infiltratiefluxen. In de kwelgebieden neemt juist de kwelflux af en ook neemt het areaal aan kwelgebieden af (Figuur 23). NB: we reken(d)en steeds dynamisch, dus niet-stationair.



Figuur 23. Schematische weergave van een infiltratiegebied en kwelgebied met grondwaterstand en stijghoogte verloop en de afvoer van sloten en beken voor een situatie zonder (links) en met grondwateronttrekking (rechts).

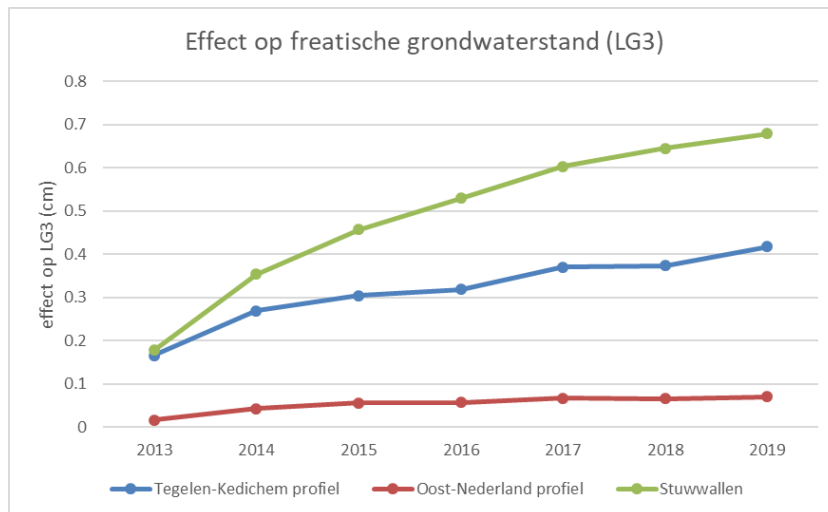
Modelberekeningen laten deze processen duidelijk zien. Figuur 24 toont het effect op de grondwaterstand en stijghoogte voor 2018 als gevolg van het stopzetten van de drinkwaterwinningen, dat is 6,5 jaar nadat de onttrekkingen zijn gestopt (modelberekening met maatregel start in 2013). Het effect op de stijghoogte in de diepere watervoerende pakketten is groter dan op de grondwaterstand omdat daar de ingreep is (winning onttrekt grondwater uit het watervoerende pakket) en het effect vertaalt zich door naar het ondiepe freatische systeem. In de figuur is duidelijk te zien dat voor geheel West-Brabant en de Centrale Slenk de stijghoogte flink wordt beïnvloed. Deze invloed wordt voornamelijk veroorzaakt door de relatief grote weerstand tussen het pakket waaruit onttrokken wordt en het freatische pakket waar de extra infiltratie als gevolg van de winning moet plaatsvinden.

Het compleet stopzetten van de drinkwaterwinningen is een (te) extreem scenario. Door de watervraag te verminderen kunnen deze winningen wel verkleind worden. *De watervraag kan verminderd worden door waterbesparing en hergebruik van water binnen huishoudens en de industrie en wel jaarrond, dus ook in de maanden waarin het geen droog weer is.* De mate van besparing en hergebruik bepaalt natuurlijk de effectiviteit, mede met het oog op verwachte trends in de watervraag in de (nabije) toekomst.



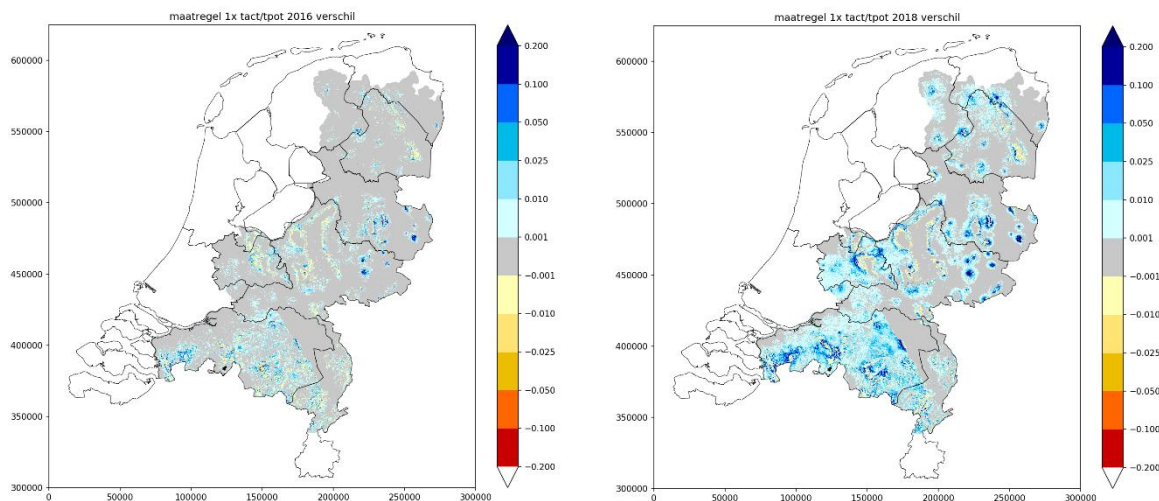
Figuur 24. Het effect in zomer 2018 op de grondwaterstand en stijghoogte, 6,5 jaar na het modelmatig stopzetten van de drinkwaterwinningen. Het linkerplaatje laat het effect op de freatische grondwaterstand zien (L1), het plaatje in het midden en rechts het effect op de stijghoogte in verschillende lagen, respectievelijk L4 en L7. De onttrekkingen vinden bijna allemaal plaats in modellaag 4 t/m 7 (Figuur 22).

De berekeningen laten ook zien dat het effect na 6,5 jaar nog niet maximaal is en dat dat verschilt per hydrotype (Figuur 25). Voor het hydrotype 'Stuwwallen' dat voornamelijk de Veluwe en Utrechtse Heuvelrug beslaat, blijft het effect op LG3 ook nog na 7.5 jaar gestaag toenemen. Deze zogenaamde trage gebieden reageren traag door de afwezigheid van een ontwateringssysteem.

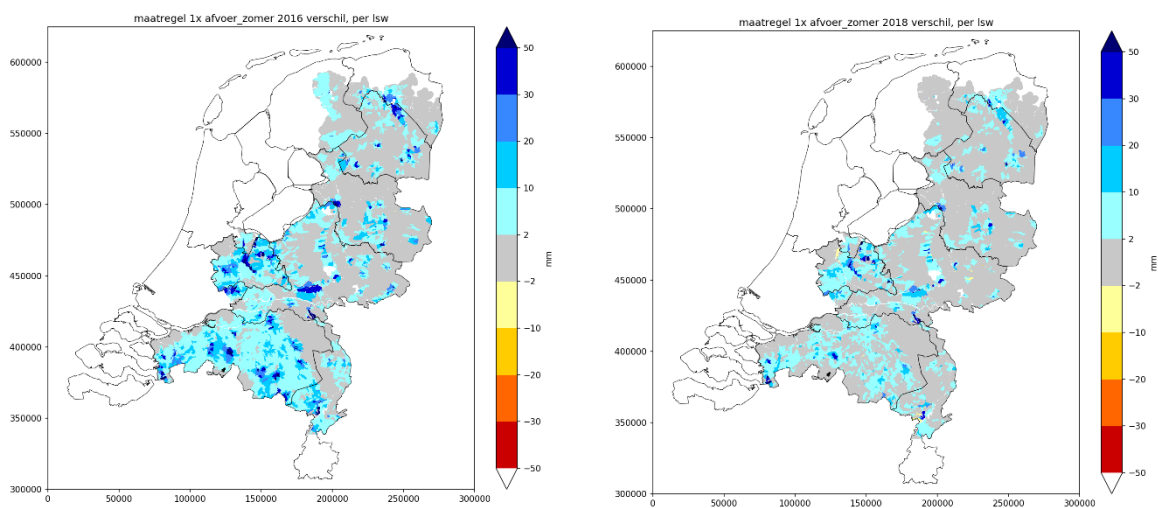


Figuur 25. Het verloop van het effect op de LG3 als gevolg van het stopzetten van de winningen op 1 januari 2013 voor drie verschillende hydrotypes.

De stijging van de grondwaterstand leidt tot een afname van transpiratiereductie (Figuur 26) en een toename van de gebiedseigen oppervlaktewater afvoer (Figuur 27). Het effect op de transpiratiereductie is veel groter voor een droog jaar als 2018 omdat de transpiratiereductie ook veel groter is en er meer winst te halen valt.



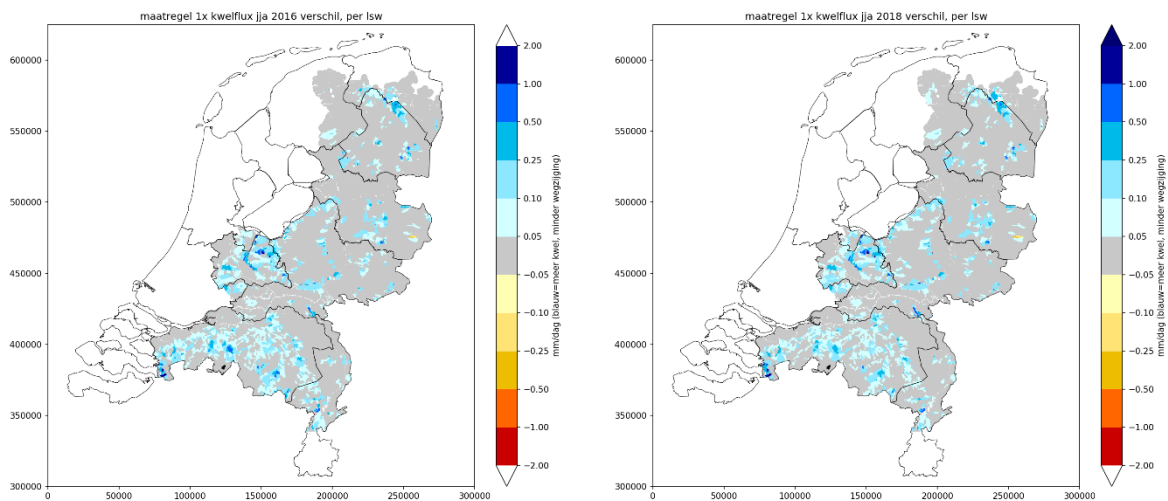
Figuur 26. Het effect op de Ta/Tp ratio voor het jaar 2016 en 2018 als gevolg van het stopzetten van de drinkwaterwinningen in 2013.



Figuur 27. Het effect op de gebiedseigen zomerafvoer voor het jaar 2016 en 2018 als gevolg van het stopzetten van de drinkwaterwinningen in 2013.

Het effect op de afvoer is juist weer groter voor een natter jaar zoals 2016. Echter, relatief is het effect voor een droog jaar als 2018 groot. Voor het beïnvloedingsgebied van de winning neemt de zomerafvoer toe met 25% tot meer dan 100% wanneer de winningen worden uitgezet.

Ook de kwel neemt significant toe bij het stopzetten van de winningen (Figuur 28). Voor stroomgebieden rondom de winningen neemt deze toe tussen de 25 en 100%. Op waterschapschaal treedt er in totaal tussen de 5 en 30% meer kwel op.



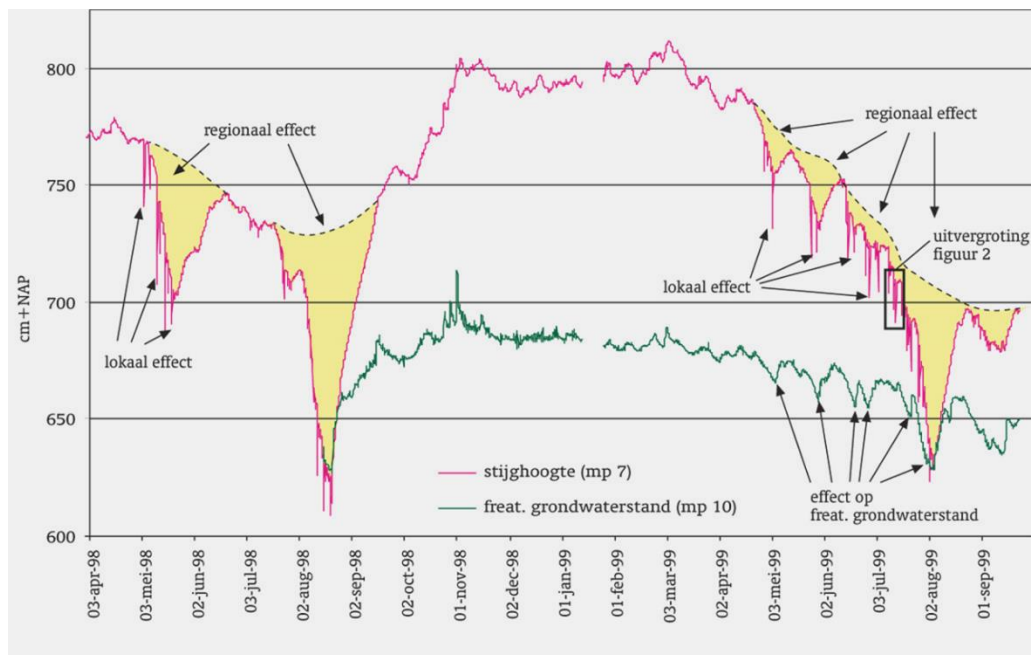
Figuur 28. Het effect op de kwelflux gemiddeld per LSW (in mm/d) voor het jaar 2016 en 2018 (jaarrond) als gevolg van het stopzetten van de drinkwaterwinningen in 2013.

2. Onttrekkingen grondwater voor beregening

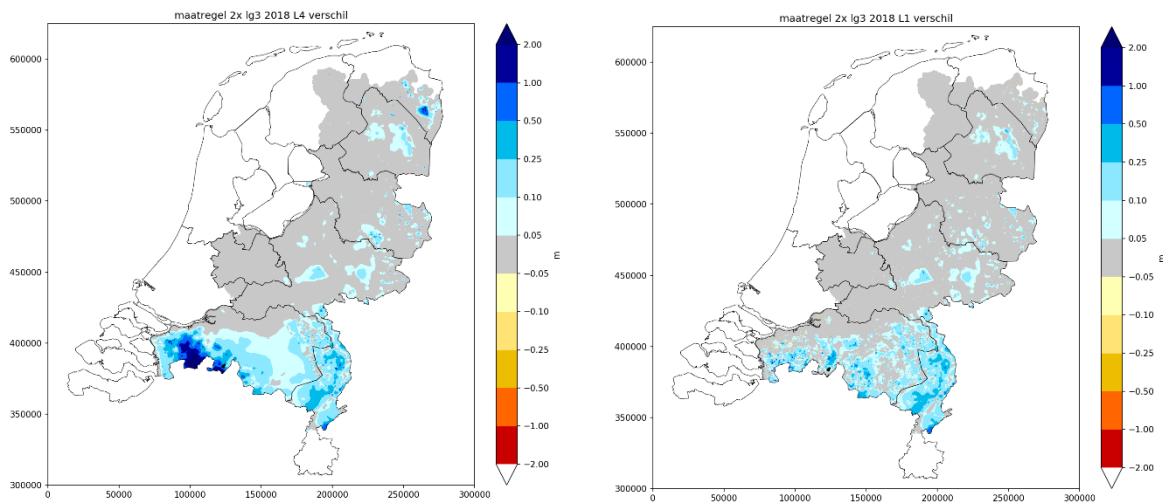
Gedurende droge periodes tijdens het groeiseizoen wordt er grondwater onttrokken voor de beregening van gewassen. De onttrekkingen vinden meestal ondieper plaats dan de onttrekkingen voor drinkwater overwegend nog in de watervoerende pakketten dieper dan 30 m. Een belangrijk ander verschil is dat het onttrekken van grondwater voor beregening een tijdelijk karakter heeft en hoeveelheden per jaar sterk afhankelijk zijn van het jaarlijks neerslagtekort, terwijl drinkwaterwinningen een meer permanent karakter hebben. Zo lieten de registraties van de waterschappen zien dat er in 2018 meer dan tweemaal zoveel is onttrokken voor beregening dan gemiddeld. Deze onttrekkingen vinden met name plaats in de zomermaanden. Volgens Van der Meer (WECR Nota 2020-030) is in 2018 ruim viermaal meer grondwater onttrokken voor beregening dan gemiddeld in de periode 2003 t/m 2017. Volgens CBS is in 2018 ruim driemaal meer grondwater onttrokken voor beregening dan gemiddeld in de periode 2003 t/m 2017. NB: de hier vanuit drie bronnen aangehaalde getallen lopen dus uiteen.

Net als de onttrekkingen voor drinkwater, zijn effecten van onttrekkingen voor beregening op het totale watersysteem direct merkbaar. Het wel of niet toestaan van beregening voor bepaalde gebieden is dan ook een ingreep die direct effect sorteert, in tegenstelling tot maatregelen in het oppervlaktewatersysteem. Iedere druppel die uit de ondergrond wordt onttrokken, wordt direct vanuit het freatisch systeem aangevuld. Zoals besproken bij de drinkwaterwinningen, daalt hierdoor de grondwaterstand (water komt uit de freatische berging), neemt hierdoor de kwel vanuit het watervoerend pakket naar het freatische pakket af en neemt ook de gebiedseigen afvoer af.

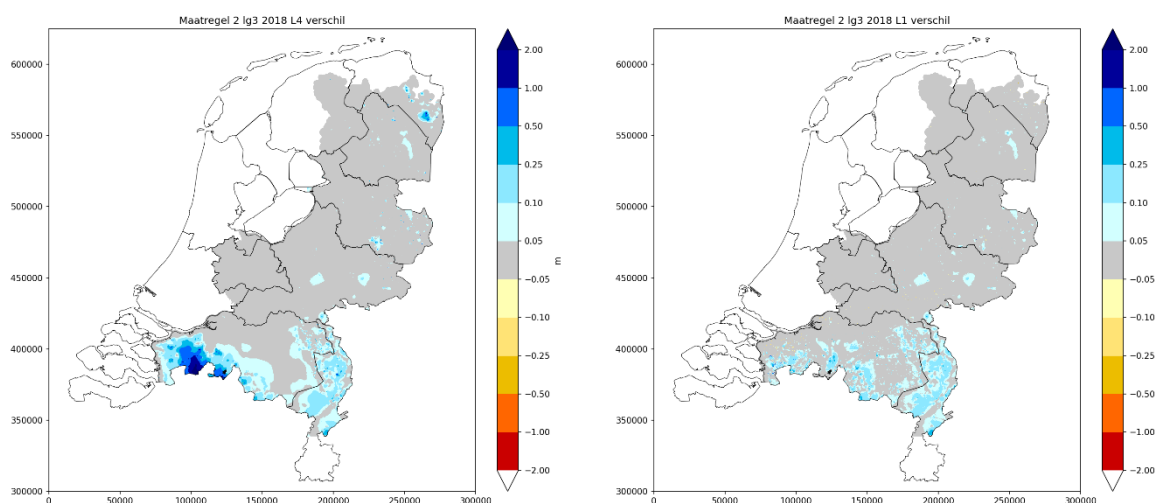
Metingen in het beekdal van de Strijbeekse Beek (West-Brabant) laten deze processen duidelijk zien (Figuur 29). In de stijghoogte zijn sterke dalingen te zien voor de perioden dat er beregend wordt en wanneer gestopt wordt met onttrekken, herstelt de stijghoogte weer. Zo zijn voor 1998 twee duidelijke beregeningsperioden zichtbaar en voor 1999 ongeveer vijf. West-Brabant kent een vrij sterke weerstand-biedende laag tussen het dunne dekzandpakket en de onderliggende watervoerende pakketten. Hierdoor wordt voor een groot deel van West-Brabant de stijghoogte 0,25 tot 1,5 m verlaagd gedurende de beregeningsperioden en dit heeft een regionaal effect als gevolg van alle onttrekkingen in West-Brabant. De modelberekeningen laten dit regionale effect ook zien (Figuur 30). In de metingen is ook het lokale effect op de stijghoogte te zien van beregening uit de beregeningsput in het beekdal. Wanneer wordt ingezoomd blijkt dat er meestal vanaf 6 uur in de ochtend tot 12 uur in de middag wordt beregend. De som van dit soort individuele onttrekkingen leidt tot het regionale effect. En juist dit regionale effect vertaalt zich door naar een daling van de grondwaterstand gedurende de beregeningsperiode. De stijghoogte in het beekdal daalt zo sterk dat het stijghoogteverschil, dat de drijvende kracht is achter de kwelflux in het beekdal en in de winter ongeveer 1,1 m bedraagt, sterk afneemt en daarmee ook de kwel in het beekdal. Voor de perioden met het grootste beregeningseffect verdwijnt de kwel zelfs voor een periode van enkele weken. Hoe belangrijk dit voor de grondwaterafhankelijke vegetatie is, is niet bekend.



Figuur 29. Het gemeten verloop van de stijghoogte en grondwaterstand in het beekdal van de Strijbeekse Beek met maaiveld op ongeveer 7 m+NAP (boven) (Bron: De Louw en Stuurman, 2000).



Figuur 30. Het effect op de stijghoogte (links) en grondwaterstand (rechts) in de zomer als gevolg van het stopzetten van de berekening uit grondwater. In Noord-Brabant en Limburg wordt meer berekend dan elders in het land (LHM-invoer).



Figuur 31. Het effect op de stijghoogte (links) en grondwaterstand (rechts) in de zomer als gevolg van het reduceren van de berekening met 50% in het model.

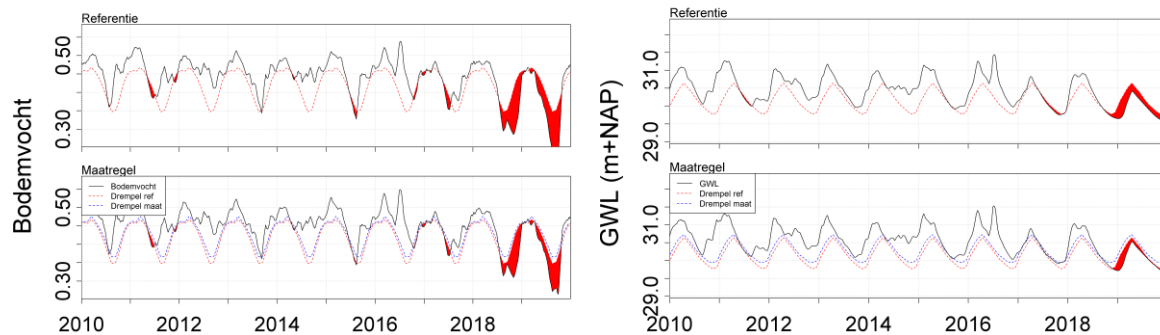
Figuur 31 laat het effect op de stijghoogte en grondwaterstand zien wanneer de berekening met 50% wordt gereduceerd. In fase 1 van dit onderzoek is geconstateerd dat voor waterschap Limburg de berekende hoeveelheid berekening uit grondwater bijna tweemaal zo hoog is dan er is geregistreerd. Figuur 31 laat dan ook de effecten zien die beter passen bij deze registratie. Een vergelijking tussen 100% of 50% reductie leert dat dit voor alle effecten op het watersysteem geldt, zoals Ta/Tp, afvoer en kwel.

Het effect op Ta/Tp is uiteraard groot voor de percelen die berekend worden: de gewasverdamping neemt sterk af wanneer gestopt wordt met beregning. Echter, voor de omringende percelen die niet worden beregend, neemt de gewasverdamping iets toe via de toegenomen capillaire nalevering door de grondwaterstandstijging. Echter, in veel mindere mate dan de gewasverdamping voor het beregende perceel afneemt, maar het is belangrijk te beseffen dat een landbouwer nadelig kan worden beïnvloed wanneer de buurman beregent uit grondwater.

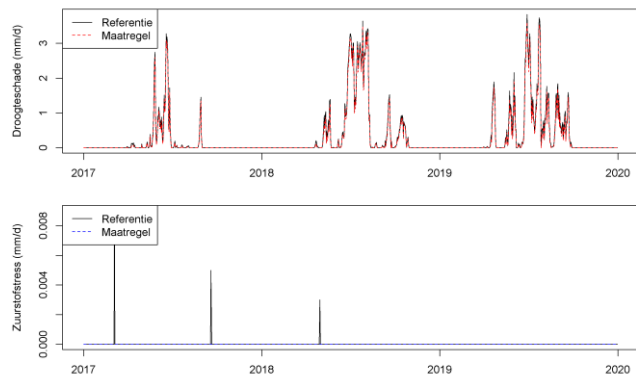
De gebiedseigen zomerafvoer (gemiddelde over de maanden juni, juli en augustus) neemt door het stopzetten van de beregning ongeveer tussen de 5 en 20% toe. Dit is minder dan het effect van de drinkwaterwinningen, maar het gebied waar de afvoer afneemt is wel groter. Beregning uit grondwater heeft namelijk een meer diffuus effect dan de drinkwaterwinningen, naarmate beregning over een groter deel van het landbouwgebied verspreid plaatsvindt. Gedurende de kortere perioden dat er daadwerkelijk wordt beregend, kan het effect op de gebiedseigen afvoer veel groter zijn. Op de schaal van een waterschap treedt er in het totaal tussen de 5 en 20% minder kwel op.

Het stopzetten van onttrekkingen uit het grondwater is op lokale schaal gesimuleerd als een afname in de wegzijging naar de diepere pakketten, omdat de stijghoogte toeneemt. Op de lokale schaal geldt ook dat het effect afhankelijk is van de gebiedskenmerken. Over het algemeen geldt dat het verkleinen van de wegzijging door het stopzetten van grondwateronttrekkingen de intensiteit van de grondwaterdroogte verkleint. Het effect op de bodemvochtdroogte was echter beperkt door de diepe grondwaterstanden in de meeste focusgebieden. Daarnaast geldt dat hoe eerder in het seizoen de wegzijging wordt verkleind, des te meer invloed op de grondwaterdroogte er is. Als voorbeeld laten we hier het effect van het structureel verminderen van wegzijging zien voor de Deurnsche Peel op de tekorten in bodemvocht en grondwater (Figuur 32). In de Deurnsche Peel zien we dat met het structureel verkleinen van de wegzijging de droogte in het grondwater in 2018 niet helemaal

voorkomen had kunnen worden, maar het tekort is wel aanzienlijk kleiner (Figuur 32). Ook het tekort in het bodemvocht is afgenomen, maar minder duidelijk dan voor de grondwaterdroogte. De toename in bodemvocht zorgt voor een minimale vermindering van de droogteschade in de vegetatie (Figuur 33).

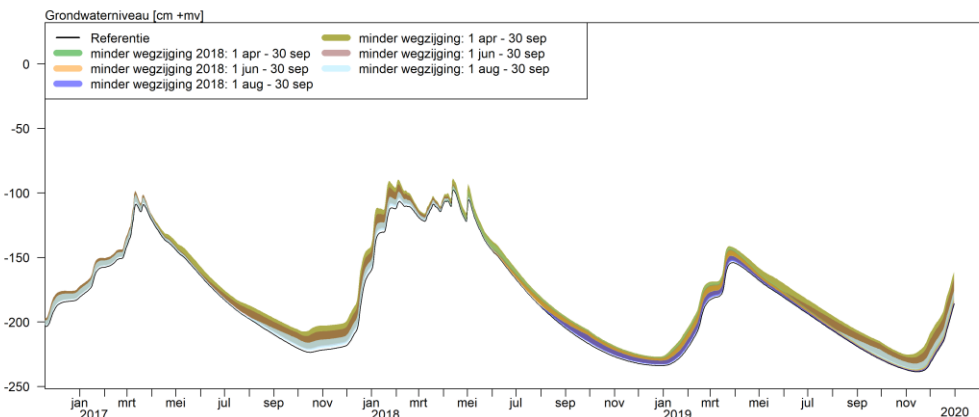


Figuur 32. Effect van het structureel verkleinen van de wegzijging door stopzetting van grondwateronttrekkingen op bodemvocht (links) en grondwater (rechts) in de Deurnsche Peel (standplaats natuur). Referentie (boven): tijdlijn (zwarte lijn met rode vlakken ter indicatie van droogte) en langjarig gemiddeld verloop (rode stippellijn). Maatregel (beneden): tijdlijn met effect maatregel (zwarte lijn met rode vlakken ter indicatie van droogte), langjarig gemiddeld verloop zonder (rode stippellijn) en langjarig gemiddeld verloop met maatregel (blauwe stippellijn).



Figuur 33. Effect van het structureel verkleinen van de wegzijging op de droogteschade en zuurstofstress voor de vegetatie in de Deurnsche Peel (standplaats natuur). Het effect van de maatregel minimaal (zeer gering).

Daarnaast is berekend wat de verschillen zijn voor de grondwaterstand tussen ad-hoc- en structurele maatregelen (Figuur 34). Het verminderen van de wegzijging tijdens de droogte vermindert het tekort in de grondwaterdroogte (Figuur 34) in dezelfde mate als de structurele vermindering wanneer dit in april gebeurt. Wanneer later ingegrepen wordt, is minder effect zichtbaar dan bij de structurele maatregel. Daarnaast is het effect van de ad-hoc-maatregel alleen nog zichtbaar in de winter 2018-19 en verdwijnt dit in het voorjaar van 2019. Het na-ijleffect van het stopzetten van de wegzijging en de verschillen tussen ad-hoc- en structurele maatregelen zijn erg afhankelijk van de gebiedskenmerken. In gebieden met een ondiepere grondwaterstand en veel interactie met het oppervlaktewater is vrijwel geen sprake van na-ijling in de volgende winter bijvoorbeeld, omdat hier het systeem 's winters relatief snel wordt aangevuld (met weinig mm neerslagoverschot) en de grondwaterstand in de winter 'afgetopt' wordt door de ontwatering drainage via het oppervlaktewater.



Figuur 34. Effect van het verkleinen van de wegzijging op grondwater op verschillende momenten (vanaf april, juni, augustus 2018 of structureel) in de Deurnsche Peel.

2.3.4. Richtinggevende ingrepen bevorderen grondwateraanvulling: meer erin

Het vergroten van de grondwateraanvulling leidt tot de toevoeging van extra water aan het bodem- en grondwatersysteem. Dit kan door (1) een verandering van landgebruik naar gewassen of vegetatie die minder verdampen, (2) reduceren van maaiveldafvoer door landbewerking en opheffen van (ondergrond-) verdichting, (3) afkoppelen van bebouwd gebied en (4) actieve infiltratie van extra water. Deze maatregelen grijpen allen direct aan op het ondiepe freatisch systeem en vervolgens op het oppervlaktewater en diepere grondwatersysteem.

1. Verandering van landgebruik

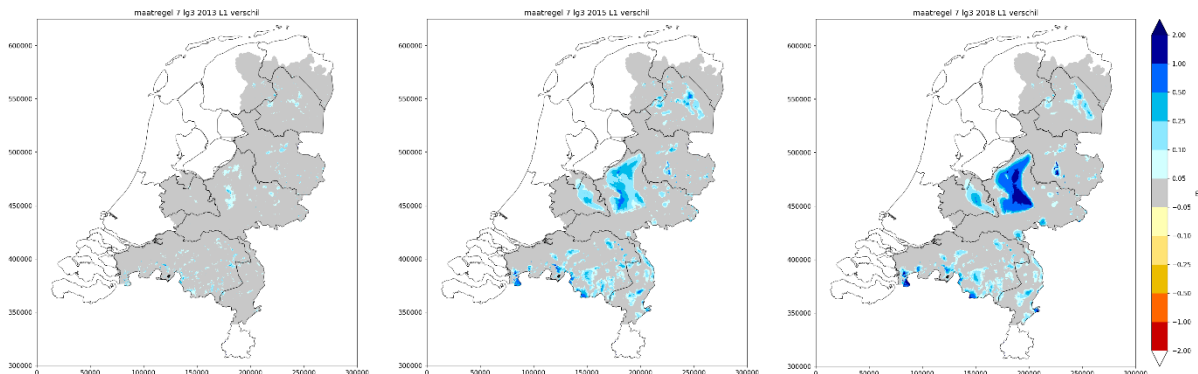
De mate van transpiratie en interceptieverdamping (verdamping van water dat op de bladeren blijft liggen) verschilt per begroeiingstype. Daarnaast zijn er grote verschillen door het jaar heen, afhankelijk van het groeistadium van de vegetatie en het gewas. Een akker verdampt op jaarbasis doorgaans minder dan een grasmat en donker naaldbos staat bekend als een groot waterverbruiker. De aanplant van naaldbos ter vervanging van heide op de Veluwe is een duidelijk voorbeeld van hoe verandering van landgebruik drastisch heeft bijgedragen aan de vermindering van de grondwateraanvulling en daarmee de verlaging van de grondwaterstand en afname van afvoeren van sprengen en bronbeken en kwel op de flanken van de Veluwe. Echter, een belangrijk gegeven is ook de alsmaar toegenomen gewasopbrengst in de landbouw dat een bijna lineair verband houdt met de verdamping. Witte et al. (2019) berekenden een daling van de grondwaterstand van 0,15 tot 0,3 m over de periode 1950-2010 voor de provincie N-Brabant als gevolg van de toename van de gewasopbrengst en veranderingen in landgebruik.

Figuur 35 laat zien wat het effect is van de verandering van naaldbos naar heide, dat veel minder verdampt. Uiteraard zijn er alleen effecten te zien voor de gebieden waar nu naaldbos staat. Effecten van de toename van de grondwateraanvulling zijn het grootste in de zogenaamde trage gebieden zonder noemenswaardige ontwateringsmiddelen. De grondwaterstand blijft stijgen totdat er weer een evenwicht wordt bereikt tussen de grondwateraanvulling, grondwaterstand (opbolling tussen drainagemiddelen) en afvoer van het neerslagoverschot. Hier geldt bij benadering (Hooghoudt), dat de opbolling die nodig is om het neerslagoverschot af te voeren, kwadratisch toeneemt met de afstand tot de drainagemiddelen.

Bovendien is bij benadering de snelheid waarmee de grondwaterstand reageert op externe invloeden omgekeerd evenredig met deze drainageafstand-in-het-kwadraat en recht-evenredig met het doorlaatvermogen (Kraijenhoff van de Leur, 1958). Dit verklaart waardoor de effecten groter zijn voor gebieden met een grote drainageafstand en het voor die gebieden langer duurt voordat er evenwicht is bereikt. In Figuur 35 is te zien dat de effecten voor de

Veluwe (met als 'drainagemiddelen' de Gelderse Vallei, Flevopolders, het IJsseldal en de Betuwe) het grootst zijn; na 7,5 jaar is hier nog steeds geen evenwicht bereikt.

Als gevolg van een hogere grondwaterstand neemt de gebiedseigen afvoer toe. Als de (nieuwe) evenwichtssituatie is bereikt en grondwaterstanden stoppen met stijgen, dan zal uiteindelijk de (nieuwe) gebiedseigen afvoer gelijk zijn aan het (nieuwe) neerslagoverschot minus de wegwijzing naar het diepere grondwater. Een verhoging van de grondwaterstand leidt ook tot een verhoging van de stijghoogte in de diepere watervoerende pakketten en wanneer kwelgebieden in de invloedsfeer liggen ook tot een toename van de kwelflux naar watersystemen in de omgeving.



Figuur 35. Effect op de freatische grondwaterstand (LG3) voor 2013, 2015 en 2018 als gevolg van verandering van naaldbos naar heide vanaf begin 2013.

De berekeningen zijn alleen uitgevoerd voor omvorming van naaldbos naar heide maar elke verandering zal zijn effect hebben, afhankelijk van hoeveel de begroeiing verdampt. Uiteraard hoe groter het oppervlak waar de extra grondwateraanvulling optreedt, hoe de groter de effecten. Verandering van naaldbos naar loofbos is een maatregel die steeds vaker wordt toegepast of toegepast gaat worden. Voor de landbouwgebieden kan gedacht worden aan gewassen die droogteresistent zijn en minder water verdampen. Dit werkt op twee vlakken positief, namelijk er hoeft minder beregend te worden waardoor het watersysteem minder wordt belast en er treedt meer grondwateraanvulling op.

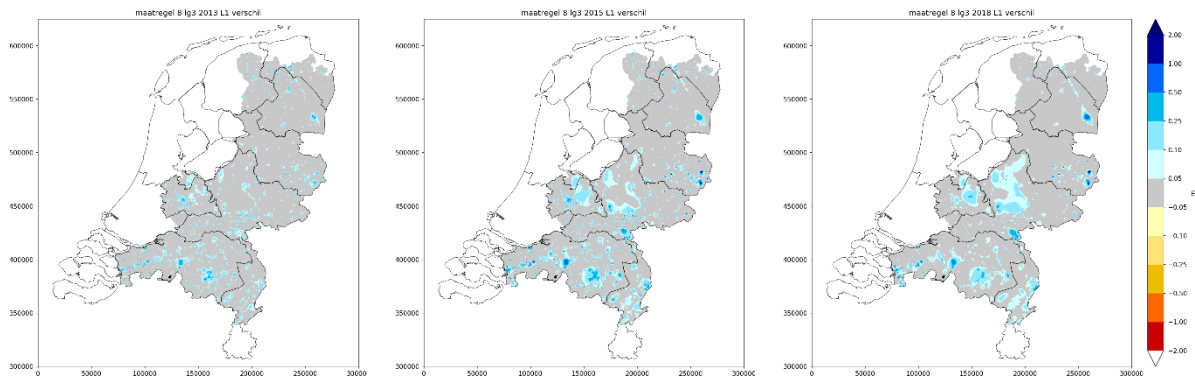
2. Maaiveldafvoer beperken

In sommige gebieden treedt tijdens natte perioden in de winter of intensieve buien in de zomer maaiveldafvoer op. Maaiveldafvoer is groot in de hellende gebieden van Zuid-Limburg en de stuwwallen van Oost-Twente. Alles wat als maaiveldafvoer het perceel verlaat, komt niet ten goede aan het bodem- en grondwater en het beperken ervan leidt tot een vergroting van de grondwateraanvulling. Maaiveldafvoer kan worden beperkt door het creëren van microreliëf of het bevorderen van de infiltratiecapaciteit via landbewerking (bijv. woelen, 'Vertidrain' toepassen, gewassen in winter i.p.v. braakligging van land). In Zuid-Limburg worden boeren gestimuleerd om op deze manier de grondwateraanvulling te bevorderen.

3. Afkoppelen bebouwd gebied

Een groot deel van het bebouwd gebied bestaat uit gebouwen en bestrating waar het regenwater wordt opgevangen en naar het riool wordt geloosd. Dit water komt niet ten goede aan het bodem- en grondwatersysteem. Steeds meer gemeenten proberen te voorkomen dat dit water zo maar naar de rioolzuivering wordt geloosd. Ook particulieren kunnen helpen de grondwateraanvulling te bevorderen door meer groen in de tuinen (tegels er uit) en het hemelwaterafvoer in de tuin te laten infiltreren.

Figuur 36 laat het effect op de grondwaterstand (LG₃) zien wanneer voor het bebouwd gebied gemiddeld 100 mm/jaar extra wordt geïnfiltreerd. De effecten beperken zich meestal tot het bebouwd gebied en een smalle zone eromheen, behalve voor de trage gebieden zonder ontwateringsmiddelen. Hier kunnen effecten na jaren nog opbouwen voor een groter uitstralingsgebied. De effecten zijn verder vergelijkbaar als besproken bij verandering van landgebruik.

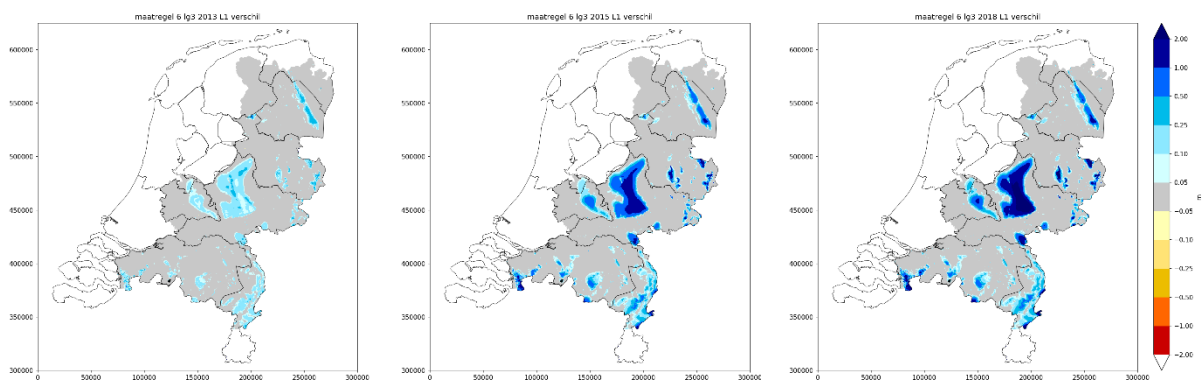


Figuur 36. Effect op de freatische grondwaterstand (LG₃) voor 2013, 2015 en 2018 als gevolg van afkoppelen van bebouwd gebied met een extra infiltratie van 100 mm/jaar.

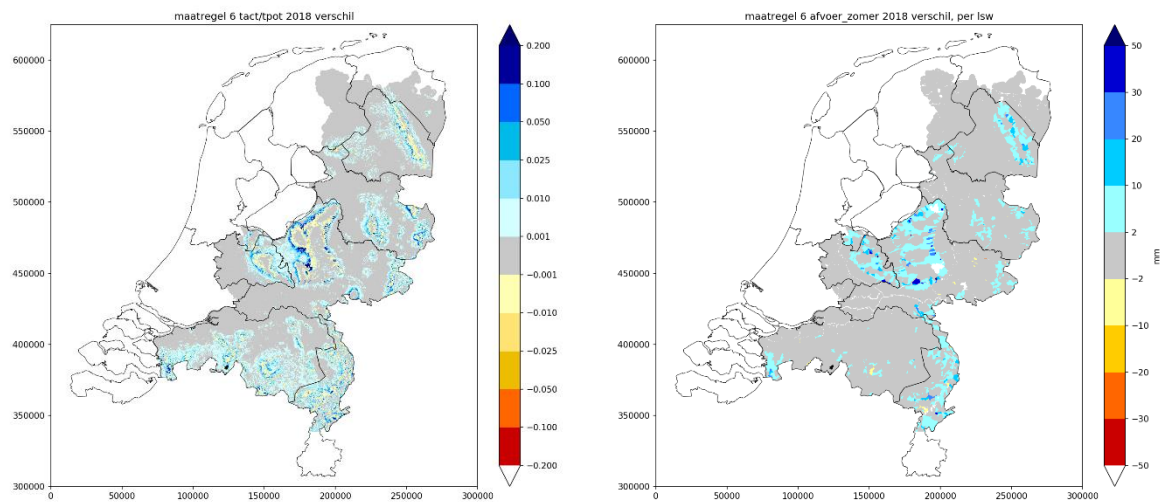
4. Ondergronds opslaan van water

In de winter wordt het neerslagoverschot via het afwateringsstelsel afgevoerd naar de rivieren en belandt uiteindelijk in de Noordzee. Via de rivieren Maas en Rijn komt op jaarbasis ruim tweemaal zoveel zoet water Nederland binnen dan er aan neerslag valt (jaarsom) en ook dit water verdwijnt grotendeels ongebruikt in de zee. Het IJsselmeer is het grootste zoetwaterbekken van Nederland waar rivierwater wordt geborgen. Echter, de capaciteit van dit meer wordt al maximaal gebruikt. De ondergrond biedt ruimte om een deel van dit extra water op te slaan. De relatief hoger gelegen gebieden met diepe grondwaterstanden (> 2,5 m-mv) zijn hiervoor geschikt. Dit zijn overigens ook de trage gebieden waar ontwateringsmiddelen ontbreken en waar grondwater relatief lang kan worden vastgehouden. Het opgeslagen water komt ten goede aan de grondwatervoorraad, de afvoer van beken, de kwel naar natuurgebieden en kan indien nodig worden gebruikt voor de landbouw (beregening) gedurende het groeiseizoen, als compensatie voor effecten van onttrekkingen of ter aanvulling van het grondwatersysteem. De huidige infrastructuur is nog niet geschikt om grote hoeveelheden rivierwater af te tappen en op de hoger gelegen gebieden te laten infiltreren, maar de bestaande kanalen en rivieren kunnen hier de basis voor vormen. Percelen kunnen geschikt worden gemaakt om het water via het maaiveld te laten infiltreren. Daarnaast kan het grondwater actief aangevuld worden op percelen door gebruik te maken van sub-irrigatie, waarbij water aangevoerd wordt via een regelbaar drainage systeem (bijv. KAD). Belangrijk aandachtspunt ten slot is de (chemische) samenstelling van het rivierwater.

Figuur 37 laat het effect zien op de grondwaterstand (LG₃) van extra grondwateraanvulling van 100 mm per winterhalfjaar voor gebieden met een grondwaterstand dieper dan 2,5 m. Voor de meeste gebieden blijft de grondwaterstand na 7,5 jaar nog steeds groeien. Door de afwezigheid van ontwateringsmiddelen blijft het geborgen grondwater lang in het systeem. Door de almaar toenemende grondwatervoorraad gaan aangrenzende gebieden meer grondwater afvoeren via sloten, bronbeekjes of sprengen, zoals op de Veluwe (Figuur 37). Ook kwel in aangrenzende kwelgebieden neemt toe door deze maatregelen. Effecten op de transpiratie voor de gebieden waar wordt geïnfiltreerd zijn verwaarloosbaar. Immers, de grondwaterstand stijgt maar blijft nog steeds te diep om via capillaire opstijging de wortelzone te bereiken. Daar is deze maatregel ook niet voor bedoeld. Er is enig positief effect te zien in de omringende gebieden (Figuur 38).



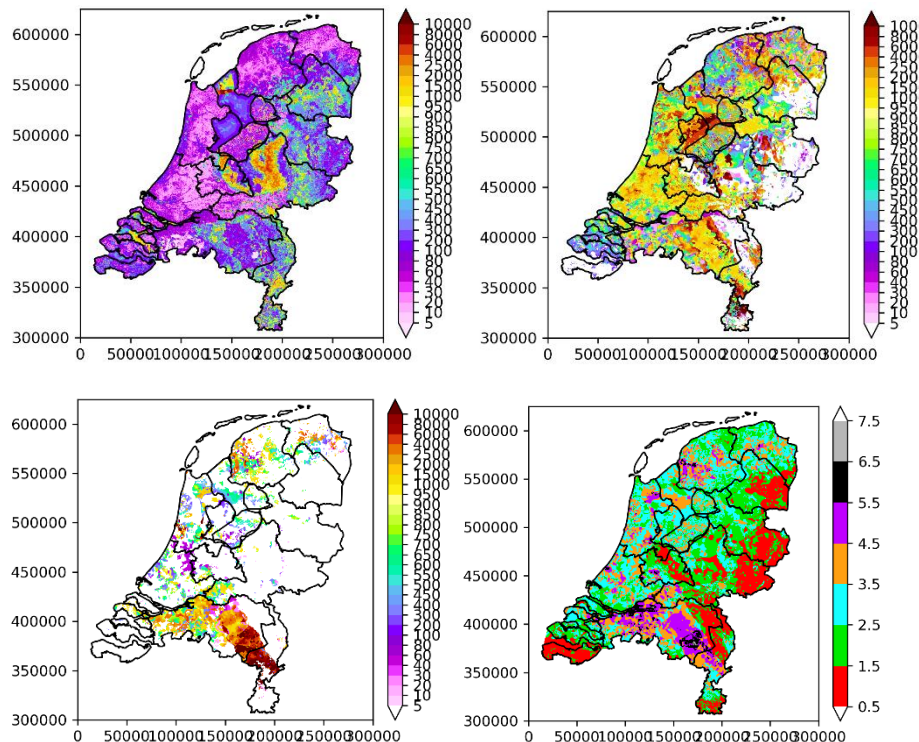
Figuur 37. Effect op de freatische grondwaterstand (LG3) voor 2013, 2015 en 2018 als gevolg van extra infiltratie gedurende de winter van 100 mm/jaar voor gebieden met een GHG dieper dan 2,5 m.



Figuur 38. Effect op Ta/Tp (2018; links) en de zomerafvoer (2018; rechts) als gevolg van extra infiltratie gedurende de winter van 100 mm/jaar voor gebieden met een GHG dieper dan 2,5 m.

2.4. Bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur

Grondwaterafhankelijke natuur is gebaat bij hoge grondwaterstanden en vaak bij de aanwezigheid van kwel. Het is daarom zinvol om speciale aandacht te schenken aan de effectiviteit van bufferzones rondom grondwaterafhankelijk natuur waar hydrologische maatregelen worden uitgevoerd. Immers, effecten zijn het grootst op de locatie waar ze worden uitgevoerd en nemen af met afstand van deze locatie. De spreidingslengte is een maat voor de uitstraling van effecten (Figuur 39). Over een afstand van éénmaal de spreidingslengte is van het hydrologisch effect nog 36% over ($1/e$), bij driemaal de spreidingslengte is effect kleiner dan 5% ($1/e^3$).



Figuur 39. De spreidingslengte in meter van (1) het freatisch pakket ofwel eerste watervoerend pakket (linksboven), (2) het tweede watervoerend pakket (rechtsboven), (3) het derde watervoerend pakket (linksonder) en het aantal aanwezige watervoerende pakketten (rechtsonder).

Voor ingrepen die direct ingrijpen op het freatisch grondwatersysteem, zoals oppervlaktewatermaatregelen en verandering in de grondwateraanvulling, is de freatische spreidingslengte van belang (Figuur 39). Bij de freatische spreidingslengte speelt naast het doorlaatvermogen van het pakket ook de slootafstand een belangrijke rol; hoe groter de slootafstand, hoe groter de spreidingslengte. Voor ingrepen in de onderliggende watervoerende pakketten zoals grondwateronttrekkingen, is de spreidingslengte van het watervoerende pakket waaruit wordt onttrokken van belang (Figuur 39). In Figuur 39 is te zien dat de trage gebieden met een grote 'slootafstand', zoals de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug, een grote freatische spreidingslengte (> 1000 m) hebben en sterk ontwaterde gebieden met een dun freatisch pakket, zoals het hydrotype "Kedichem/Tegelen profiel" in West-Brabant een kleine (< 100 m). Over het algemeen is de spreidingslengte van de diepere watervoerende pakketten veel groter dan die van het freatisch pakket.

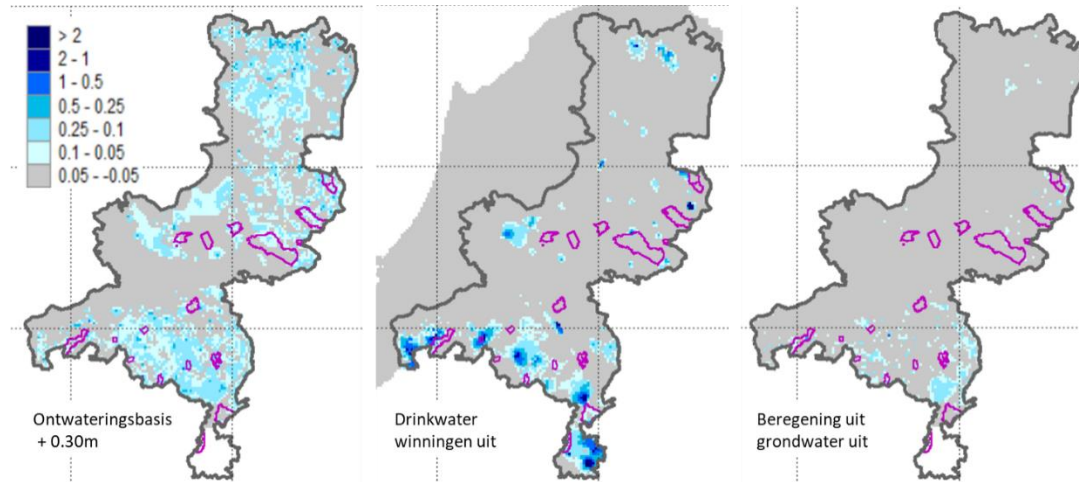
Bij het bepalen van de grootte van de bufferzone rondom grondwaterafhankelijke natuur is het logisch om dit op basis van de spreidingslengte te doen, en afhankelijk van de maatregel dient de freatische of dieper watervoerende pakket spreidingslengte te worden gebruikt.

Met het LHM zijn enkele verkennende berekeningen gedaan voor drie type ingrepen in een bufferzone van 500 m rondom grondwaterafhankelijke natuur (inclusief natuurgebied zelf): (1) peilopzet van 30 cm van het gehele ontwateringssysteem, (2) geen drinkwaterwinningen, (3) geen beregening uit grondwater. De effecten worden hieronder kort besproken.

1. Verhoging ontwateringsbasis in bufferzones rondom natte natuur

Het verhogen van de ontwateringsbasis in bufferzones van 500 m rondom natuur (of beter, deze afstand per natuurgebied afhankelijk maken van de spreidingslengte) is een effectieve manier om grondwaterstanden in

natuurgebieden te verhogen (Figuur 40, links). De effectiviteit van deze ingreep in de bufferzone is ongeveer 60 tot 75% van het effect wanneer de ingreep in het totale gebied wordt uitgevoerd. Door de hogere grondwaterstanden neemt zowel de zomerafvoer als de zomerkwel iets af.



Figuur 40. Berekend effect op de LG3 (2018) als gevolg van drie (links, midden, rechts) verschillende maatregelen in een bufferzone van 500 m rondom natuurgebieden.

2. Drinkwaterwinningen in bufferzones rondom natte natuur stoppen

Ruim 30% van het onttrokken volume aan grondwater voor drinkwater in het projectgebied wordt onttrokken in de bufferzones rondom grondwaterafhankelijke natuur. Het stopzetten van deze winningen heeft dan ook een groot effect zoals in Figuur 40 (midden) is te zien, en dan met name in Noord-Brabant en Limburg. In het beïnvloedingsgebied van de winning neemt de kwel in de natte natuurgebieden ook significant toe met waardes tot 1 mm/dag. Een en ander hangt natuurlijk af van de hydraulische weerstand tussen watervoerend pakket en bovenliggende lagen.

3. Beregening uit grondwater in bufferzones rondom natte natuur stoppen

De effecten van het stoppen van beregening uit grondwater in de bufferzones rondom natte natuur leiden niet op ruime schaal tot grote effecten op de LG3. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat slechts een klein deel van de onttrekkingen voor beregening plaatsvindt in bufferzones; landbouwgebieden rond natte natuurgebieden zijn immers al via een hoge grondwaterstand minder droogtegevoelig. Lokale effecten van het stoppen van onttrekkingen zijn er wel. Afhankelijk van de hoeveelheid onttrokken water voor beregening kan lokaal de grondwaterstand 10 tot 30 cm stijgen als gevolg van het stoppen van onttrekkingen. Ook kwel wordt lokaal sterk beïnvloed door beregening met toename van kwelfluxen van 0,5 tot 1,0 mm/d als onttrekkingen stoppen. Het is dus zinvol om beregening in bufferzones niet toe te staan.

2.5. Slot

Het effect van verschillende maatregelen zal in een volgende versie van deze rapportage (Fase 3) in tabelvorm worden weergegeven voor verschillende landgebruiksfuncties. Ook zal worden geprobeerd te kwantificeren van welke gebiedseigenschappen het succes van een maatregel afhangt. Tot slot zullen we de effecten voor natuurgebieden op kaart weergegeven. Teun Spek (Gld) heeft hiervoor een fraaie vormgeving bedacht die we hier voor de Kampina en omgeving weergeven voor de maatregel 'beregening stoppen' en de LG3 (Figuur 41).

Legenda

• Beregeningslocaties_Brabant

drinkwater02

m3

93000 - 2765000

2765001 - 6163000

6163001 - 11100000

11100001 - 25198000

25198001 - 64513000

N2000_zandlandschap

Beheertype kaart Nederland 2020

sc2_verl

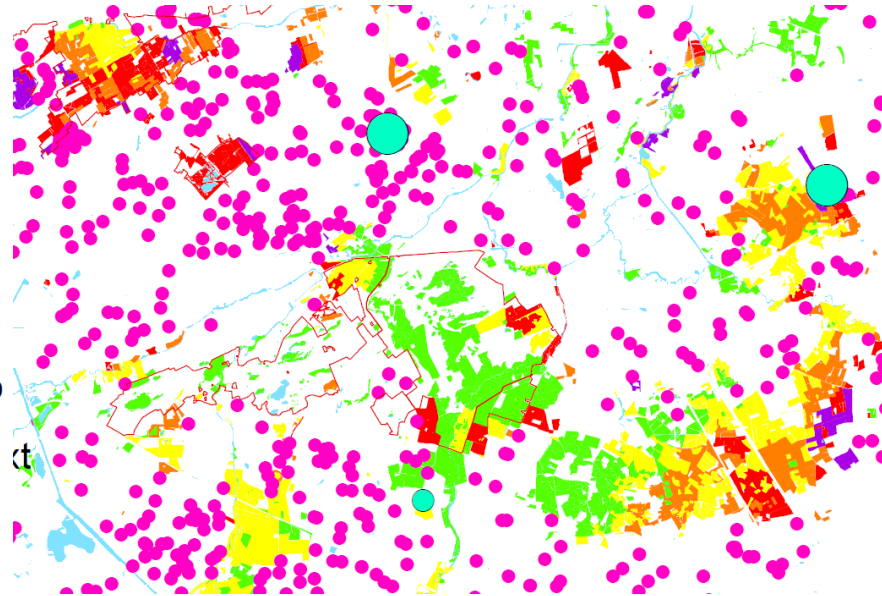
<Null>

2 - 5 cm

5 - 10 cm

10 - 30 cm

30 - 60 cm



Figuur 41. Effect op de LG3 in 2018 (alleen natuurgebieden) als er geen berekening had plaatsgevonden.

Literatuur

- Van den Eertwegh, G.A.P.H., R. Bartholomeus, P. de Louw, J.P.M. Witte, J.C. van Dam, D. Van Deijl, P. Hoefsloot, M. van Huijgevoort, J. de Wit, C. Clevers, & J. Hunink, 2019. *Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Rapportage Fase 1: ontwikkeling van uniforme werkwijze voor analyse van droogte en tussentijdse bevindingen*. KnowH2o, KWR, WUR, HSS, FWE.
- Van der Meer, R.W. (2020) Watergebruik in de land- en tuinbouw 2017 en 2018. Wageningen Economic Research. Nota 2020-030.
- Witte, J.P.M., D. van Deijl, & G.A.P.H. van den Eertwegh, 2020. *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.

Bijlage(n)

www.droogteportaal.nl

naam = DroogteZandgronden

wachtwoord = w@terrijk1

'Werk in uitvoering portaal voor Fase 2':

<http://80.69.76.141/tool/fase-2>

naam = DroogteZandgronden

wachtwoord = w@terrijk1



© KnowH2O – KWR – Deltares – FWE – WUR SLM – HSS (2020)