

Uniform inzicht in droogte met behulp van indices

MARJOLEIN VAN HUIJGEVOORT, ESTHER BRAKKEE, JANINE DE WIT, DION VAN DEIJL, GÉ VAN DEN EERTWEGH EN RUUD BARTHOLOMEUS

Tijdens een periode van droogte is inzicht in de toestand van het bodem-watersysteem cruciaal om maatregelen te treffen om schade als gevolg van droogte te beperken. In dit artikel laten we zien hoe met behulp van droogte-indices in combinatie met actuele meetgegevens de mate van droogte in verschillende compartimenten van het watersysteem uniform kan worden bepaald. Zo kunnen zowel de actuele droogtetoestand als de ruimtelijke verschillen tussen regio's inzichtelijk worden gemaakt. De resulterende droogte-indices zijn ook te zien in een internetportaal dat voor iedereen toegankelijk is (<https://droogteportaal.nl/>).

Artikel

Inleiding

Droogte komt voort uit een uitzonderlijk droge periode die afwijkt van een normale situatie en die zo lang duurt dat het normale hydrologische evenwicht verstoord raakt. Droogte manifesteert zich in verschillende compartimenten van de waterkringloop (Van Huijgevoort e.a. 2013). Vaak start een droogte met een meteorologische droogte, die ontstaat door weinig regenval, eventueel in combinatie met een hoge verdampingsvraag. Daarna volgt bodemvochtdroogte: door weinig neerslag of een hoog neerslagtekort, het verschil tussen neerslag en verdamping van water uit bodem en via vegetatie, droogt de bodem uit. De vegetatie kan dan droogtestress ondervinden, die deels kan worden gecompenseerd door capillaire nalevering uit het grondwater. Door capillaire nalevering en het neerslagtekort daalt de freatische grondwaterstand, en daarmee ten slotte de voeding van sloten, beken en grotere waterlopen. We spreken dan van een hydrologische droogte. In deze reeks van geschakelde compartimenten (neerslag, bodemvocht, grondwater en oppervlaktewater) duurt het steeds langer voordat de meteorologische droogte zich heeft voortgeplant. Daarnaast duurt het ook steeds langer voordat een compartiment weer is hersteld van een droogte, zeker als het freatisch grondwater diep beneden maaiveld zit. Om de verschillende kenmerken van elk type droogte in verschillende compartimenten van het watersysteem goed in kaart te brengen, is het belangrijk om alle hydrologische variabelen (neerslag, verdamping, bodemvocht en grondwater) mee te nemen. Binnen het onderzoek 'Droogte Zandgronden Nederland' (Van den Eertwegh e.a. 2021) hebben we gebruik gemaakt van gestandaardiseerde indices voor neerslag, het neerslagoverschot, freatische grondwaterstanden en stijghoogte, waardoor een ruimtelijke vergelijking van de droogtetoestand in een regio en verschillen tussen regio's mogelijk wordt. Naast deze indices hebben we ook de zogenaamde variabele drempelwaardemethode toegepast om droogte te classificeren. In dit artikel laten we zien hoe deze methodes inzicht

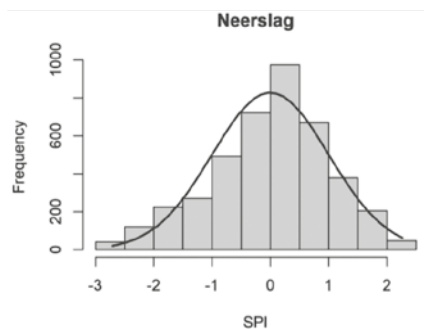
kunnen geven in de voortplanting van droogte, toegepast voor de jaren 2018 en 2019 in de zandgebieden van Nederland.

Bepalen van de droogte-indices

We hebben internationale kennis en methodes voor het bepalen van droogte indices toegepast voor de droogte van 2018 en 2019 in Nederland (McKee e.a. 1993, Hisdal e.a. 2004, Van Huijgevoort e.a. 2012, Bloomfield en Marchant 2013). De hoofdlijnen van de uitgangspunten van de methodes beschrijven we hier. Gestandaardiseerde indices zijn bepaald voor neerslag (Standardized Precipitation Index (SPI, McKee e.a. 1993)), neerslagtekort (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI, Vicente-Serrano e.a. 2010)), en grondwater (Standardized Groundwater Index (SGI, Bloomfield en Marchant 2013)). Alle indices zijn op dezelfde manier berekend voor de verschillende variabelen. Het neerslagtekort is bepaald als neerslag minus referentieverdamping volgens Makink, dus gelijk aan het potentieel neerslagoverschot volgens KNMI. De eerste stap voor het berekenen van een gestandaardiseerde index is het schatten van kansverdelingen voor neerslag, neerslagtekort en grondwaterstanden op basis van de data (maandelijks of dagelijks). In plaats van een kansverdeling kan ook gebruik gemaakt worden van de empirische frequentieverdeling indien voldoende data beschikbaar is. Voor het gebruik van de indices in het droogteportaal is gekozen voor een kansverdeling in plaats van de empirische frequentieverdeling om extrapolatie mogelijk te maken (Bloomfield en Marchant 2013). Op termijn kunnen dan ook voorspellingen van de indices toegevoegd worden in het portaal. De kansverdeling kan anders zijn voor de verschillende variabelen (neerslag, neerslagtekort of grondwaterstand). Er zijn drie verschillende verdelingen getest per variabele: de gammaverdeling, normale verdeling en lognormale verdeling. De kansverdeling wordt vervolgens gebruikt om de kansdichtheid te bepalen voor een bepaalde hydrologische gebeurtenis of anomalie. De kansdichtheidsfunctie is vervolgens omgezet naar een standaardnormale verdeling (afbeelding 1). Op basis van de normaal verdeelde anomalieën kan dan de kans op voorkomen, of herhalingstijd van droogte bepaald worden (tabel 1). De kans op voorkomen is in de wetenschappelijke literatuur onderverdeeld in arbitraire waarden om aan te geven hoe extreem een droogte is (McKee e.a. 1993). Deze onderverdeling geeft een snel overzicht van de situatie op elk meetpunt. Een waarde van -2 of minder betekent dat het voor die bepaalde locatie extreem droog is en dat de kans dat die situatie voorkomt in de tijdreeks 2,3% of minder is. Aan de andere kant geeft een waarde van 2 of meer juist een extreem natte situatie aan. Waarden tussen -1 en 1 zijn het meest waarschijnlijk en kunnen daarom als de normale situatie beschouwd worden. De indices kunnen bepaald worden voor verschillende geaccumuleerde perioden. In het geval van neerslag kan het bijvoorbeeld nodig zijn om de invloed van afzonderlijke droge dagen te middelen over een bepaalde tijdsperiode. In deze studie hebben we gekozen voor een periode van 90 dagen (3 maanden) voor de SPI en SPEI en een periode van 30 dagen (1 maand) voor de SGI. De waarde van de SPI op een bepaalde dag is dus gebaseerd op de neerslag in de voorgaande 90 dagen (SPI-3).

Het voordeel van deze gestandaardiseerde indices is dat een snelle vergelijking mogelijk is tussen meetlocaties of gebieden en tussen de verschillende hydrolo-

gische variabelen. Er zijn echter ook een aantal beperkingen. Voor het schatten van de kansverdeling wordt aangeraden om meetreeksen over ten minste een periode van 30 jaar te gebruiken (McKee e.a. 1993). In de meeste gevallen zijn alleen kortere meetreeksen beschikbaar, waardoor de schatting van de verdeling minder betrouwbaar is. In dit onderzoek is daarom gebruik gemaakt van verschillende modellen om de meetreeksen te verlengen als deze te kort waren of niet aanwezig. Voor het simuleren van bodemvocht en grondwater op een aantal specifieke locaties is de modelcode SWAP (Kroes e.a. 2017) gebruikt. Voor het verlengen van gemeten grondwaterreeksen naar een periode van 30 jaar is gebruik gemaakt van lineaire tijdreeksmodellen (Brakkee e.a. 2021). Dat betekent dat niet-lineaire processen op dit moment nog niet meegenomen worden in de modelsimulaties. Een andere beperking is dat niet altijd een standaardnormaalverdeling wordt gevonden met de geteste kansverdeling. Dit betreft vooral tijdreeksen van grondwaterstanden en stijghoogten. Het effect hiervan op de gevonden droogtegebeurtenissen is echter beperkt. De absolute waarde van de index, die aangeeft hoe extreem de droogte is, is minder betrouwbaar door het ontbreken van een standaardnormaalverdeling, maar de periode waarin droogte voorkomt blijft hetzelfde. In het internetportaal (<https://droogteportaal.nl/>) zijn tijdreeksen van de actuele metingen en de indices te zien voor neerslag (SPI), potentieel neerslagoverschot (SPEI) en grondwaterstanden (SGI). De gebruiker kan kiezen voor de indices gebaseerd op 1 maand of 3 maanden.

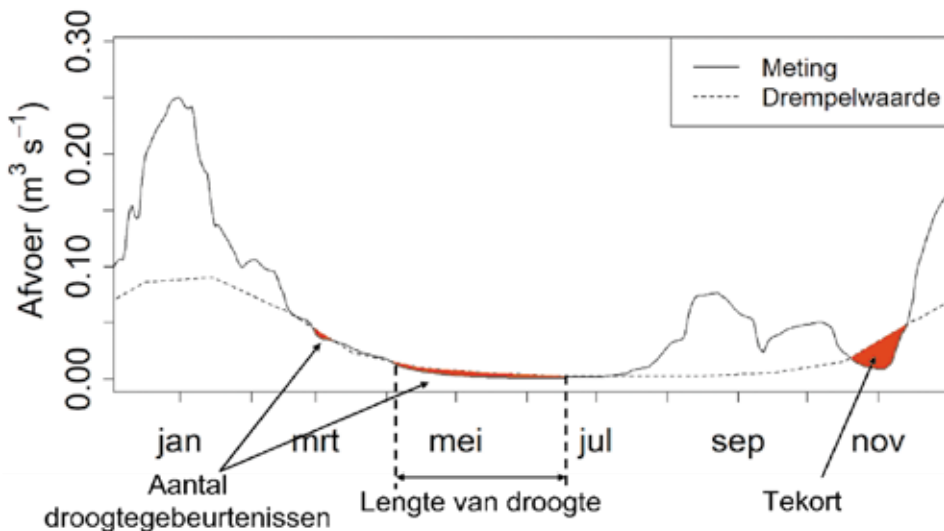


Afbeelding 1 Voorbeeld van de verdeling van SPI-waarden gebaseerd op neerslagdata gefit met een Gammaverdeling en omgezet naar de standaardnormale verdeling.

Tabel 1 Classificatie van droogte gebaseerd op de waarde van de gestandaardiseerde index en bijbehorende waarschijnlijkheden en herhalings tijden (Lloyd-Hughes en Saunders 2002)

Waarde index	Categorie	Waarschijnlijkheid (%)	Herhalings tijd
2 of meer	Extreem nat	2,3	1/44
1,5 tot 1,99	Zeernat	4,4	1/22
1,0 tot 1,49	Matig nat	9,2	1/11
0 tot 0,99	Enigszins nat	34,1	1/3
0 tot -0,99	Enigszins droog	34,1	1/3
-1,0 tot -1,49	Matig droog	9,2	1/11
-1,5 tot -1,99	Zeerdroog	4,4	1/22
-2 of minder	Extreem droog	2,3	1/44

Naast de gestandaardiseerde indices kan droogte ook afgeleid worden op basis van anomalieën in de tijdreeks van een hydrologische variabele. Hiervoor is de variabele drempelwaarde-methode (afbeelding 2) gebruikt (Yevjevich 1967, Hisdal e.a. 2004, Van Huijgevoort e.a. 2012, Van Loon e.a. 2012). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat alle waarden in de meetreeks onder een bepaalde drempelwaarde aangeven dat droogte voorkomt. In deze studie is het 20ste percentiel gebruikt als drempelwaarde; er wordt dus aangenomen dat over de hele tijdreeks droogte 20% van de tijd optreedt. Dit voorkomen van droogte vindt plaats in afzonderlijke gebeurtenissen, waarvoor per gebeurtenis de duur en het tekort bepaald kunnen worden (afbeelding 2). De drempelwaarde is berekend uit 30-jarige tijdreeksen op maandbasis, zodat rekening gehouden wordt met de seizoensinvloed. Door rekening te houden met normale variabiliteit in de seizoenen kan deze methode in ieder seizoen droogte identificeren. Een relatief lage grondwaterstand in de winter kan zo dus ook als droogte worden aangeduid, ondanks dat de absolute grondwaterstand hoger kan (en meestal zal) zijn dan die in de zomer. Voor elke droogte kunnen vervolgens verschillende karakteristieken berekend worden, zoals het aantal droogtegebeurtenissen, de lengte, het totale tekort en de intensiteit. Om de verschillende typen droogte mee te nemen is de variabele drempelwaarde-methode toegepast op neerslag, bodemvocht en grondwaterdata. Ook voor deze methode geldt dat de resultaten afhankelijk zijn van de lengte van de beschikbare meetreeksen. Voor het beste resultaat is een zo lang mogelijke reeks belangrijk, bij voorkeur 30 jaar of meer (Link e.a. 2020, Verhagen en Avis 2021).

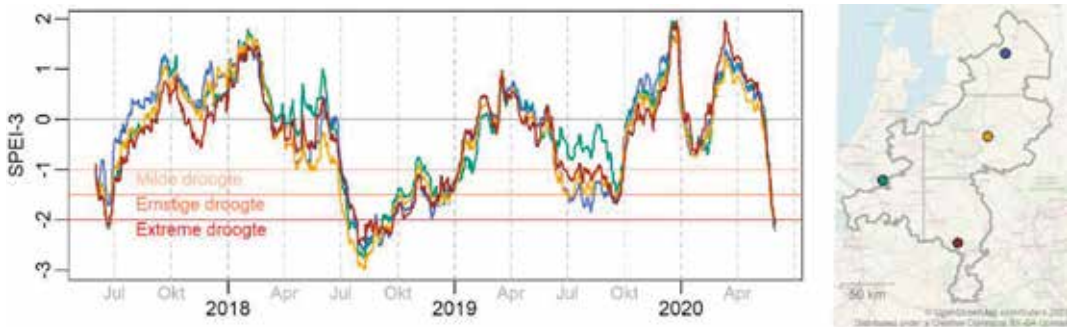


Afbeelding 2 Variabele drempelwaarde-methode en droogtekaracteristieken voor de afvoer van de Hupselse Beek.

Meteorologische droogte

Meteorologisch gezien waren de groeiseizoenen van 2018 en 2019 droog tot extreem droog, dus met herhalingstijden van 20 tot 30 jaar (afbeelding 3; zie ook Daniels e.a. 2021). Vooral in de zomer van 2018 was de meteorologische

droogte vrijwel uniform extreem voor het gehele zandgebied van Nederland. Het verloop van de meteorologische droogte in de tijd is voor vier deelgebieden binnen de zandgronden berekend met de SPEI-3 (afbeelding 3). Hieruit volgt dat 2018 niet droog begon: in april 2018 was er sprake van een normale situatie. Voor het hele zandgebied waren de meteorologische condities tot juni 2018 normaal. In juni 2018 nam de meteorologische droogte toe, tot extreme droogte in augustus 2018. Daarna volgde in de winter van 2018-2019 een herstelperiode, waarin de SPEI-3 weer op een normale waarde uitkwam in het voorjaar van 2019. Vervolgens liet de droogte een ruimtelijk gevarieerder beeld zien. In alle gebieden was de meteorologische droogte minder extreem dan in 2018, maar in het oosten van het zandgebied was de droogte in het neerslagoverschot in 2019 duidelijk extremer dan in het westelijke deel. Door deze opeenvolgende droogtes in het oostelijk deel van het zandgebied was de impact van de droogte daar groter dan in het westelijk deel. In de herfst en winter 2019-2020 viel weer meer neerslag, waardoor de meteorologische droogte werd opgeheven en de situatie normaal tot natter dan normaal werd in het hele zandgebied. In het voorjaar van 2020 was echter weer sprake van een daling in de neerslag en toename van de verdampingsvraag over het hele zandgebied.

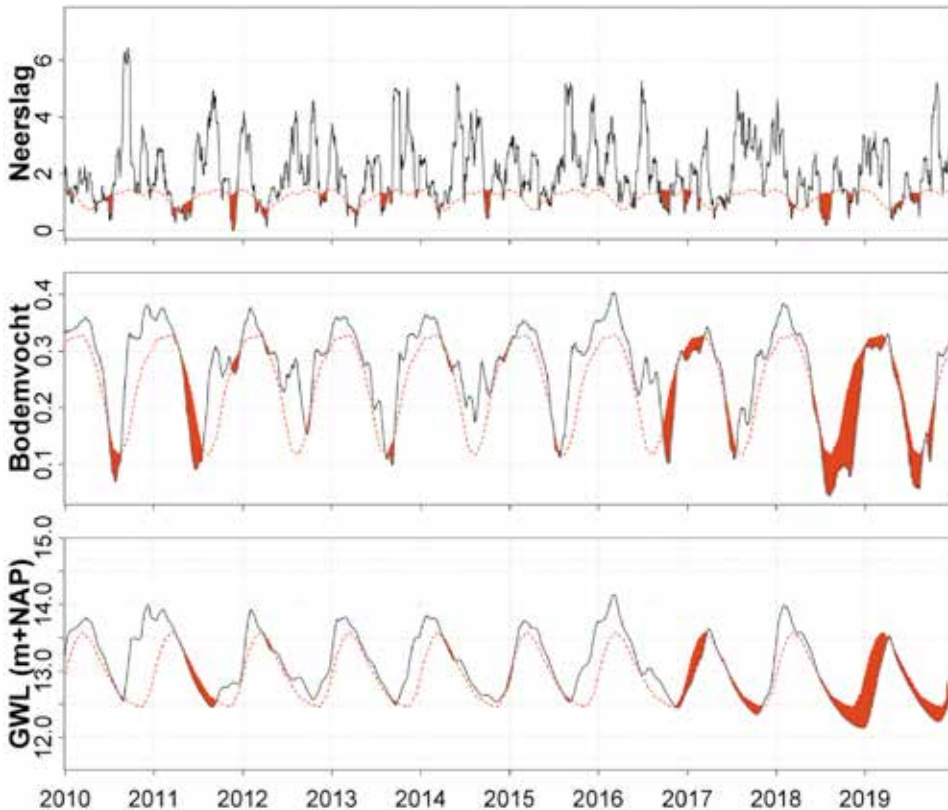


Afbeelding 3 Verloop van de meteorologische droogte in de tijd, voor vier deelgebieden in het zandgebied van Nederland (afbeelding ontleend aan Brakkee e.a. 2021). Meteorologische droogte is aangeduid met SPEI-3 uitgerekend op basis van KNMI-gegevens van neerslag en referentieverdamping volgens Makkink.

Doorwerking meteorologische droogte via bodemvocht naar het grondwater

Grondwaterstanden reageren veelal niet direct op veranderingen in neerslag of het neerslagoverschot, waardoor droogte in het grondwater later start dan meteorologische droogte. Ofwel: droogte in het weer werkt vertraagd door in het grondwater. Dit geldt in mindere mate of niet voor situaties met (zeer) ondiepe grondwaterstanden. De snelheid van de reactie hangt namelijk af van het lokale bodem- en watersysteem en de fysische eigenschappen van het wattervoerend pakket. De vertraagde doorwerking van meteorologische droogte naar grondwaterdroogte is onder andere zichtbaar in tijdreeksen van gemeten grondwaterstanden en met SWAP gesimuleerde bodemvochttekorten. Zo is in het stroomgebied van de Baakse Beek voor peilbuis 34CP0053001 zichtbaar dat droogte in bodemvocht en grondwater later start dan in neerslag (afbeelding 4, afbeelding 5). De neerslag liet een relatief korte droogte zien in de zomer van 2018, die herstelde in de winter. De bodemvochtdroogte laat het grootste tekort

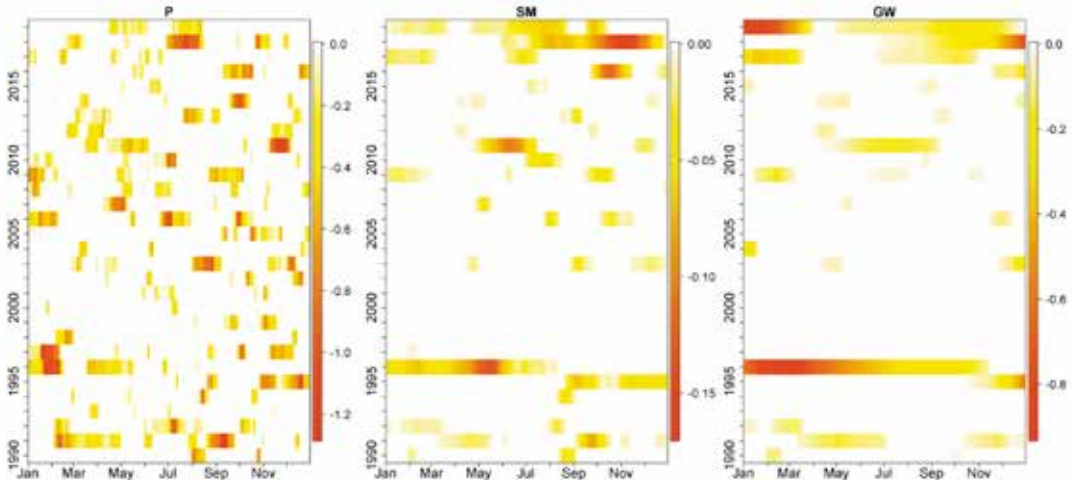
pas zien in het najaar van 2018, gevolgd door een kort herstel in het voorjaar 2019 en nieuwe droogte in de zomer 2019. Het relatief kleine tekort in neerslag in 2019 leidde tot een groot tekort in bodemvocht. Hieruit blijkt dat de uitgangssituatie van het watersysteem waarmee een periode van meteorologische droogte wordt ingegaan van belang is voor de impact die een meteorologische droogte heeft op het hydrologische systeem. De droogte in het grondwater in dit gebied begon pas in najaar 2018 en de grondwaterstand was nog steeds niet hersteld aan het eind van 2019. De relatief lage grondwaterstand in dit gebied reageert later en herstelt langzamer dan de droogte in bodemvocht. In het stroomgebied van de Lunterse Beek is bij peilbuis 32GL0092 een ander verloop van de droogte zichtbaar (afbeelding 6). De droogte in de neerslag is vergelijkbaar met die van de Baakse Beek, maar in dit gebied starten 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 reageert het systeem sneller op de meteorologische droogte, door ondiepere grondwaterstanden en een dunnere onverzadigde zone dan in het gebied van de Baakse Beek. Bij ondiepere grondwa-



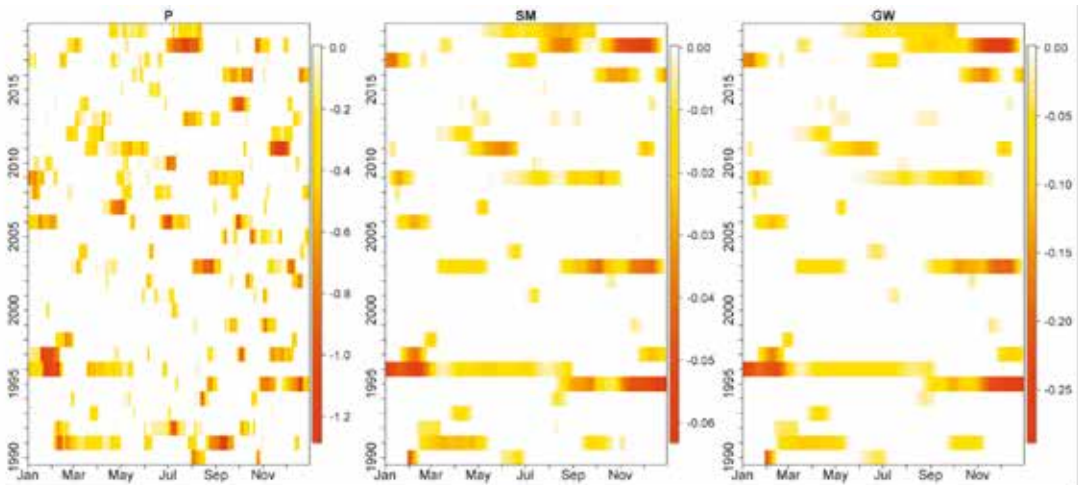
Afbeelding 4 Droogte volgens de variabele drempelwaarde-methode in neerslag (mm), bodemvocht (-) en grondwaterstand (m+NAP) in het stroomgebied van de Baakse Beek. De zwarte lijn is de actuele waarde gemiddeld over de afgelopen 30 dagen, de rode stippellijn is het 20ste percentiel. De rode vlakken geven droogte aan. Simulaties met een SWAP-model dat werd geijkt op gemeten grondwaterstanden in peilbuis met code 34CP0053001.

terstanden is, afhankelijk van het bodemtype, capillaire opstijging van het water mogelijk naar de wortelzone van planten. Hierdoor zal de grondwaterstand sneller dalen dan wanneer er geen capillaire opstijging optreedt.

In beide gebieden is de droogte van 2018 duidelijk zichtbaar, maar daarnaast zijn ook andere hydrologische droogtegebeurtenissen terug te vinden (afbeelding 5, afbeelding 6). In beide gebieden was het droog in 1995-1996. Daarnaast komt in het stroomgebied van de Lunterse Beek de droogte van 2003 duidelijk naar voren.



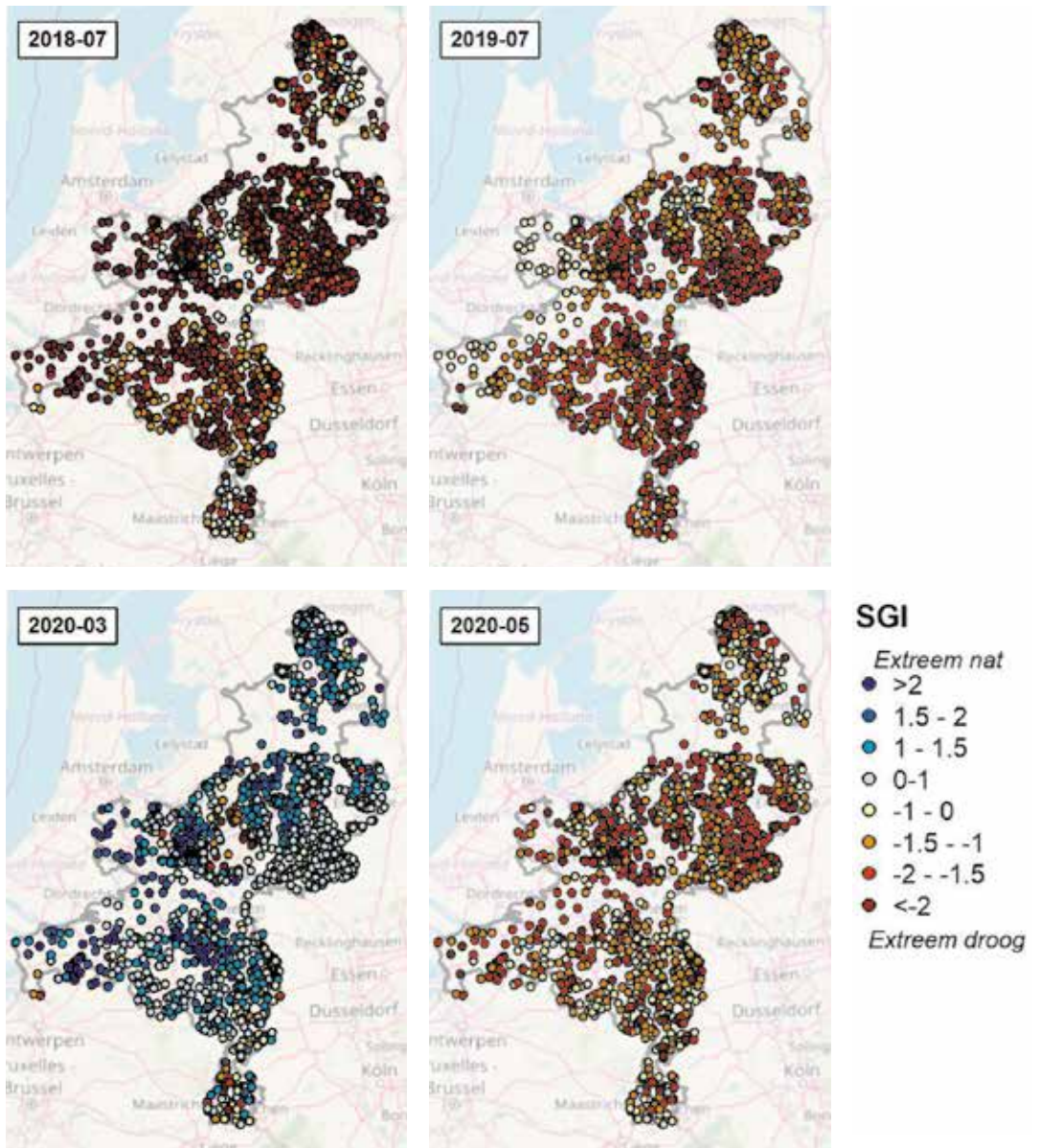
Afbeelding 5 Droogte volgens de variabele drempelwaarde-methode in neerslag (P, mm), bodemvocht (SM, -) en grondwater (GW, m) in het stroomgebied van de Baakse Beek. Schaal loopt van wit (geen tekort) via geel naar rood (maximale tekort in tijdreeks). De waarden zijn gebaseerd op de anomalie ten opzichte van de drempelwaarde. Simulaties met een SWAP-model dat werd geijkt op gemeten grondwaterstanden in peilbuis met code 34CP0053001.



Afbeelding 6 Droogte volgens de variabele drempelwaarde-methode in neerslag (P, mm), bodemvocht (SM, -) en grondwater (GW, m) in het stroomgebied van de Lunterse Beek. De waarden zijn gebaseerd op de anomalie ten opzichte van de drempelwaarde. Simulaties met een SWAP-model dat werd geijkt op gemeten grondwaterstanden in peilbuis met code 32GL0092.

Ruimtelijke spreiding in grondwaterdroogte

Voor tijdreeksen van freatische grondwaterstanden en stijghoogten (gemodelleerd met lineaire tijdreeksmodellen) is de SGI-1 bepaald ter indicatie van grondwaterdroogte. Voor het hele zandgebied, met uitzondering van Zuid-Limburg en de stuwwallen, geldt dat vanaf juli 2018 sprake is van extreme grondwaterdroogte. Hierbij werden de diepste standen van de afgelopen 30 jaar bereikt (afbeelding 7). De gebieden in Zuid-Limburg en de stuwwallen laten een tragere reactie



Base map © OpenStreetMap contributors 2021. Distributed under a Creative Commons BY-SA License

Afbeelding 7 Ontwikkeling van de grondwaterdroogte zoals bepaald aan de hand van de berekende SGI-1 index voor de zandgronden van Nederland in 2018 tot 2020.

van de grondwaterstand op de meteorologische droogte zien. Het zijn namelijk systemen met een dikkere onverzadigde zone en een hoge drainageweerstand. De voortplanting van meteorologische droogte naar hydrologische droogte verloopt hier langzamer dan in systemen met dunnere onverzadigde zones. In 2019 zijn extremere waarden voor de grondwaterdroogte zichtbaar in het oostelijk deel van het zandgebied dan in het westelijk deel. Deze verschillen worden veroorzaakt door variatie in de meteorologische droogte, die in 2019 ernstiger was in het oosten (zie afbeelding 3). De duur van de grondwaterdroogte in het oosten is langer dan louter op basis van de meteorologische droogte (van 2018 en 2019) verwacht mag worden. Dit betekent dat de grondwaterdroogte niet alleen door recente meteorologische condities wordt bepaald, maar ook door de uitgangssituatie van de grondwaterstand, bepaald door voorgaande maanden. Het droge jaar 2018 ijlt na in 2019 en deze historie heeft een grote invloed op de toestand van het bodem-watersysteem in 2019. In Twente en de Achterhoek was de grondwaterdroogte in deze periode minder extreem dan in 2018. In Limburg waren de laagste grondwaterstanden echter lager in 2019 dan in 2018, ondanks dat de meteorologische droogte in 2019 kleiner was dan in 2018. In maart 2020 waren de freatische grondwaterstanden in hoger gelegen gebieden nog altijd lager dan het langjarig gemiddelde voor deze datum, ondanks een periode met veel neerslag. De SGI-1 waarden voor maart 2020 laten voor de meetlocaties in gebieden met dikke onverzadigde zones nog steeds grondwaterdroogte zien. In mei 2020 is er alweer sprake van een beginnende droogte in een groot deel van het gebied. In deze periode lopen oorzaken van de droogte door elkaar: gebieden met relatief lage grondwaterstanden waren nog niet hersteld, terwijl andere gebieden opnieuw last hebben gekregen van neerslagdroogte in deze periode.

Conclusies

Een goede omgang met droogte in Nederland is mede afhankelijk van een goed en eenduidig beeld van de droogtesituatie. De combinatie van actuele veldmetingen, hydrologische modellen en droogte-indices, zoals toegepast in het project Droogte in Zandgebieden van Nederland (Brakkee e.a. 2021, Van den Eertwegh e.a. 2021), geeft een zo volledig mogelijk beeld om i) de toestand van het bodem-watersysteem continu weer te geven, ii) deze eenduidig te interpreteren, en iii) eerder en beter te anticiperen op nabij-toekomstig weer. Door actuele metingen en droogte indices te ontsluiten worden verschillen binnen en tussen regio's continu inzichtelijk gemaakt. Deze informatie is beschikbaar gemaakt op <https://droogteportaal.nl/>. Betrokken actoren en belanghebbenden krijgen via dit portaal een uniform beeld van de toestand van neerslag, potentieel neerslagoverschot en het bodem-watersysteem. Op basis daarvan is het mogelijk afgestemde en vergelijkbare maatregelen te treffen om schade als gevolg van droogte te beperken, voor zover kan tijdens een droge periode. Het droogteportaal is tot stand gekomen binnen het project Droogte in de Zandgronden van Nederland en wordt ondersteund door het Interprovinciaal Overleg (IPO) en de Unie van Waterschappen (UvW).

Literatuur

Bloomfield, J. en B. Marchant (2013) Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach; *Hydrology and Earth System Sciences* 17 4769-4787.

Brakkee, E., M.H.J. Van Huijgevoort en R.P. Bartholomeus, (2021) Spatiotemporal development of the 2018–2019 groundwater drought in the Netherlands: a data-based approach; *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 2021 1-26.

Daniels, E., J. Beersma en G. Van der Schrier (2021) Droogte in Nederland aan de hand van de indices SPI en SPEI; *Meteorologica* 30(2) 4-7.

Hisdal, H., L.M. Tallaksen, B. Clausen, E. Peters, en A. Gustard (2004). Hydrological Drought Characteristics; *Hydrological Drought Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater Tallaksen, L.M. and H.A.J. Van Lanen Elsevier Science B. V. Developments in Water Science* 139-198

Kroes, J.G., J.C. Van Dam, R.P. Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit, en P.E.V. Van Walsum (2017) SWAP version 4, Theory description and user manual; Wageningen Environmental Research Wageningen

Link, R., T.B. Wild, A.C. Snyder, M.I. Hejazi, en C.R. Vernon (2020) 100 years of data is not enough to establish reliable drought thresholds; *Journal of Hydrology X* 7 100052.

Lloyd-Hughes, B. en M.A. Saunders (2002) A drought climatology for Europe; *International journal of climatology* 22(13) 1571-1592.

McKee, T.B., N.J. Doesken en J. Kleist (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales; Eight Conference on Applied Climatology Anaheim, California.

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

Van Huijgevoort, M.H.J., P. Hazenberg, H.A.J. Van Lanen, A.J. Teuling, D.B. Clark, S. Folwell, S.N. Gosling, N. Hanasaki, J. Heinke, S. Koirala, T. Stacke, F. Voss, J. Sheffield, en R. Uijlenhoet (2013) Global Multimodel Analysis of Drought in Runoff for the Second Half of the Twentieth Century; *Journal of Hydrometeorology* 14(5) 1535-1552.

Van Huijgevoort, M.H.J., P. Hazenberg, H.A.J. Van Lanen en R. Uijlenhoet (2012) A generic method for hydrological drought identification across different climate regions; *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16(8) 2437-2451.

Van Loon, A.F., M.H.J. Van Huijgevoort en H.A.J. Van Lanen (2012) Evaluation of drought propagation in an ensemble mean of large-scale hydrological models; *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16(11) 4057-4078.

Verhagen, F. en L. Avis (2021) Lessen uit lange grondwaterreeksen; *Stromingen* 27(2).

Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería en J.I. López-Moreno (2010) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; *Journal of Climate* 23(7) 1696-1718.

Yevjevich, V.M. (1967) Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, An; *Hydrology papers (Colorado State University)*; no. 23.

Summary Uniform representation of drought with standardized drought indices

For a complete representation of a drought event, it is important to take the different types of drought, meteorological and hydrological, into account. Drought propagates through the hydrological cycle from meteorological to agricultural (soil moisture) to hydrological drought (groundwater and discharge). There are different methods to quantify and classify drought. In this paper we used standardized drought indices and the variable threshold level method to identify drought in precipitation, precipitation excess, soil moisture, and groundwater in the Pleistocene Uplands of The Netherlands. By combining up-to-date measurements and a uniform representation of the drought types, differences between regions can be shown. This information is provided in a web viewer, <https://droogteportaal.nl/>. Water managers and stakeholders can use the provided, uniformly determined, information of the drought indices to make decisions about adaptation measures to possibly mitigate drought impacts.

Auteurs

MARJOLEIN VAN HUIJGEVOORT
KWR Water Research Institute
Marjolein.van.huijgevoort@kwrwater.nl

ESTHER BRAKKEE
KWR Water Research Institute
Esther.brakkee@kwrwater.nl

JANINE DE WIT
KWR Water Research Institute & Wageningen University and Research,
Soil physics and land management
Janine.de.wit@kwrwater.nl

DION VAN DEIJL
KnowH₂O
deijl@knowh2o.nl

GÉ VAN DEN EERTWEGH
KnowH₂O
eertwegh@knowh2o.nl

RUUD BARTHOLOMEUS
KWR Water Research Institute & Wageningen University and Research,
Soil physics and land management
Ruud.bartholomeus@kwrwater.nl

