

Inzicht in risico's van extreme droogte op bebouwing in de gemeente Lingewaard

PYTRIK GRAAFSTRA, MAAIKE KLEIN OVERMEEN, KEES DE JONG

Droogte is de afgelopen jaren een veelbesproken onderwerp. Overheden zijn volop met deze problematiek aan de slag. Zo ook de gemeente Lingewaard, die na de droge zomer van 2018 meer dan 100 meldingen kreeg over scheurvorming in woningen. De grondwaterstanden in het gebied waren beduidend lager dan in een gemiddelde zomer, waardoor zettingen in de ondergrond op konden treden. Om een stap richting oplossingen te kunnen maken, is het van belang om meer inzicht te hebben in de processen die de scheurvorming veroorzaken, en hun ruimtelijke spreiding. Hiervoor bepaalden we met behulp van tijdreeksanalyse eerst de bijdrage van verschillende geohydrologische invloeden op de lage grondwaterstanden. Dit koppelden we vervolgens aan gebiedskennis om tot systeeminzicht te komen. Dat systeeminzicht geeft gevoel voor de belangrijke factoren in het grondwatersysteem, en geeft houvast bij het inschatten van de doelmatigheid van maatregelen.

Artikel

Droogte boven water

Droogte is de afgelopen jaren volop in het nieuws geweest. Waar het risico op bodemdaling en paalrot in laag-Nederland al breder bekend was, was er nu ook sprake van berichtgeving over scheurvorming in huizen in Hoog-Nederland en het rivierengebied.

Verzakking op zich is geen nieuw probleem. Wel nieuw is dat gemeenten de droogterisico's planmatig stap voor stap in beeld aan het brengen zijn. Daarbij is het van belang funderingskennis te koppelen aan stedelijke grondwaterkennis.

Zo ook in de gemeente Lingewaard, waar in de 2^e helft van 2018 meer dan 100 meldingen van inwoners van scheurvorming in bebouwing zijn ontvangen. Een link met lage grondwaterstanden was snel gelegd. Tijdens een bewonersavond werd de ernst van sommige schadegevallen duidelijk. Een middenwoning, gebouwd op een oude sloot, verzakt en dreigt onherstelbaar beschadigd te raken. Een oplossing vinden is lastig omdat de aanliggende panden niet zakken. Zo veel meldingen in zo'n korte tijd maakte dat de gemeente inzicht wilde in (de ruimtelijke spreiding van) de risico's van grondwateronderlast. En onder welke omstandigheden deze zich voor doen.

De voor de hand liggende oorzaak van de lage grondwaterstanden was natuurlijk de droge zomer in 2018. Maar was het puur het grote neerslagtekort dat de lage grondwaterstanden veroorzaakte? Of speelden grondwateronttrekkingen en de Waalstanden ook een rol?

De gemeente heeft dit inzicht nodig om te kunnen beoordelen of, en welke maatregelen doelmatig zijn. Wordt het probleem groter of kleiner in de toekomst? Kan de gemeente in samenwerking met het waterschap bijdragen door de freatische grondwaterstand lokaal op peil te houden via actief grondwaterpeilbeheer? Liggen meer regionale maatregelen voor de hand, gericht op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket? Of zijn perceeleigenaren vooral zelf aan zet met bouwkundige maatregelen?

Tijdreeksanalyse verbinden aan gebiedskennis

Antwoorden op deze vragen hebben we gekregen door tijdreeksanalyse voor meetlocaties te vertalen in een ruimtelijk beeld. Het vertalen van tijdreeksanalyse op meetpunten naar een vlakdekkend beeld wordt vaker gedaan, bijvoorbeeld door middel van ruimtelijke interpolatie van parameters. Hierbij wordt vaak gebruik gemaakt van digitaal beschikbare geo-informatie van hoge resolutie (van Loon en Zaadnoordijk, 2015, en Bierkens e.a., 2001). Juist in het stedelijk gebied zijn gebiedskenmerken vaak variabel over korte afstanden, en biedt digitaal beschikbare geo-informatie onvoldoende houvast om geostatistische methodes toe te passen. Een andere optie is dan het maken van een kwalitatieve interpretatie van de ruimtelijke samenhang, door het koppelen van gebiedskennis aan resultaten uit de tijdreeksanalyse (Graafstra e.a., 2017). Voor die tweede aanpak hebben we ook in deze analyse gekozen: de inzichten uit de tijdreeksanalyse zijn vertaald in systeeminzicht door deze te koppelen aan gebiedskennis. Zo zijn de resultaten vergeleken met de locaties van de gemelde scheurvorming, kaarten van oude stroomgeulen en historische topografische kaarten. Met behulp van Geotop is de dikte van de slechtdoorlatende toplaag van het gebied in kaart gebracht en met een geotechnische berekening is de gevoeligheid voor zettingen bepaald. Geotop is gecheckt met lokale boringen.

Door in de analyse de voordelen van een tijdreeksanalyse te koppelen aan gebiedskennis, kunnen we de resultaten ruimtelijk toetsen. Door kritisch te kijken naar de resultaten van de tijdreeksanalyse én andere gegevens als bodem, historische slootpatronen, neerslag en onttrekkingen kunnen we (ruimtelijke) patronen verklaren. Met dit systeeminzicht hebben we de resultaten doorvertaald naar risicogebieden voor grondwateronderlast.

Geohydrologische invloeden

De gemeente Lingewaard heeft een grondwatermeetnet. Op 36 locaties worden in totaal 62 filters in met name het stedelijk gebied hoogfrequent bemeten. Zowel de freatische grondwaterstanden in de deklaag als de grondwaterstanden in het 1^e watervoerende pakket worden gemonitord.

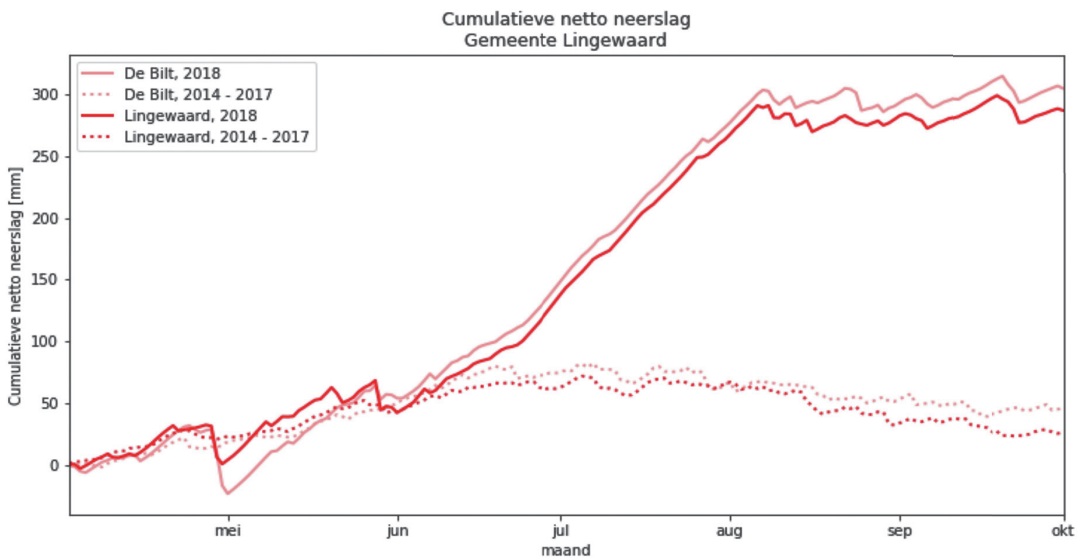
Bij de tijdreeksanalyse van de meetpunten is gekeken naar de volgende potentiële invloeden op de grondwaterstand:

- Neerslag en verdamping
- Grondwateronttrekkingen
- Waalstanden

Neerslag en verdamping

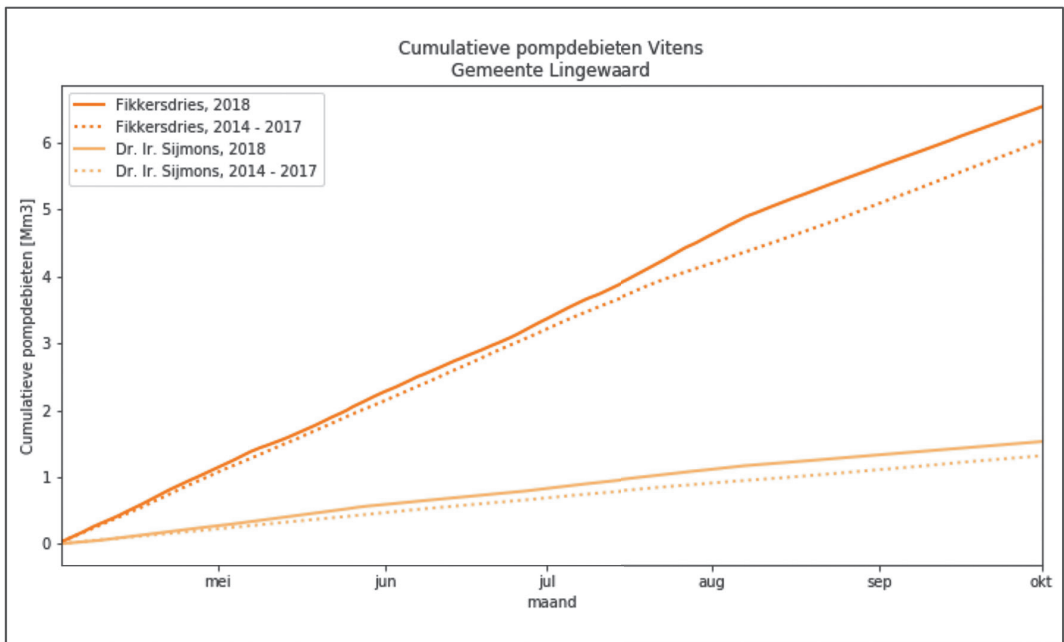
In de gemeente ligt geen neerslagstation. Om een beeld te krijgen over de neerslag in de gemeente is gebruik gemaakt van de neerslagstations Duiven, Herwen en Ubbergen. Samen met de verdampingreeks van KNMI hoofdstation Deelen is hiermee het netto neerslagtekort worden bepaald.

In afbeelding 1 is het neerslagtekort weergegeven voor gemeente Lingewaard in de droge zomer van 2018, en het meerjarig gemiddelde (jaren 2014-2017). Uit de afbeelding is zichtbaar dat het maximale netto neerslagtekort in 2018 met 299 mm ruim viermaal hoger ligt dan het gemiddelde van 72 mm in de voorgaande vier jaar. Ter vergelijking is ook het neerslagtekort in De Bilt weergegeven. In De Bilt valt het maximale netto neerslagtekort voor zowel het vierjarig gemiddelde (10 mm verschil) en 2018 (15 mm verschil) hoger uit dan die in gemeente Lingewaard.



Afbeelding 1 Netto neerslagtekort gemeente Lingewaard en De Bilt Grondwateronttrekkingen

In (de omgeving van) de gemeente Lingewaard zijn twee grondwateronttrekkingen aanwezig en meegenomen in de analyse: Vitens' drinkwaterwinningen Fikkersdries bij Driel en Ir. H. Sijmons nabij Arnhem. In afbeelding 2 is het cumulatief onttrokken debiet voor de twee drinkwaterwinningen weergegeven. Hierin is het pompdebiet van de droge zomer 2018 weergegeven, alsmede het meerjarig gemiddelde (periode 2014 - 2017). In 2018 is bij beide pompstations bijna 10% meer diep grondwater onttrokken dan gemiddelde over periode 2014-2017.



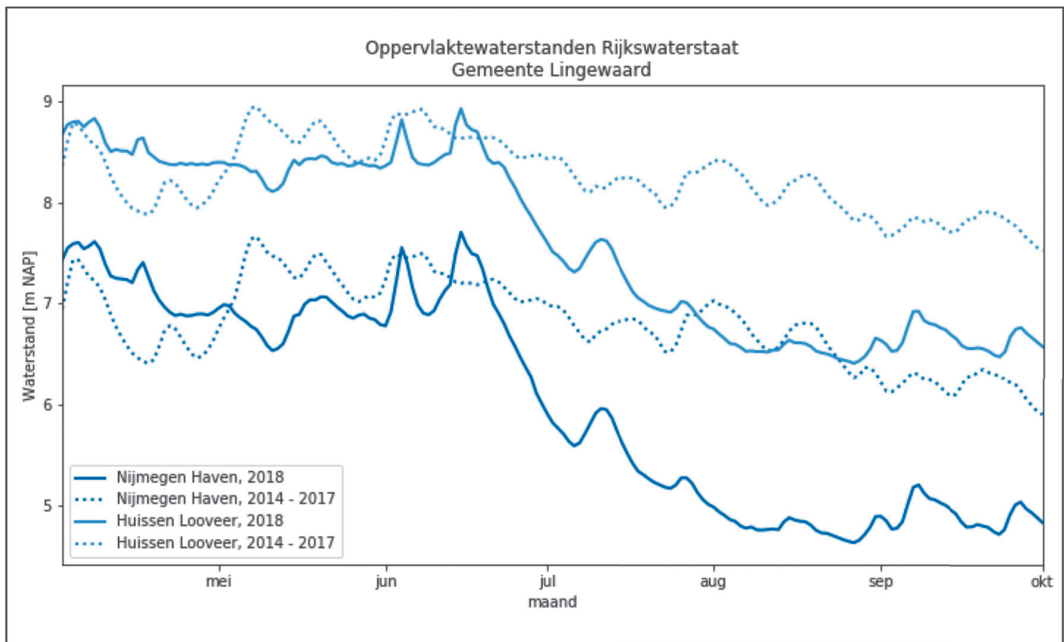
Afbeelding 2 Hoeveelheid onttrokken grondwater ten behoeve van drinkwaterwinning nabij gemeente Lingewaard (cumulatief)

Waalstanden

De Rijn splitst zich bij binnenkomst in Nederland in de Waal en Nederrijn. Gemeente Lingewaard bevindt zich als het ware in de oksel tussen beide rivieren. Rijkswaterstaat meet in beide aftakkingen van de Rijn de waterstand nabij gemeente Lingewaard; meetpunt Nijmegen Haven (in de Waal) en meetpunt Huissen Looveer (in de Nederrijn).

In afbeelding 3 zijn de rivierstanden van beide meetpunten weergegeven voor zomer 2018, alsmede voor (het gemiddelde in) de referentieperiode 2014-2017. Beide meetpunten laten een soortgelijk patroon zien, waarbij de dynamiek (maximale fluctuatie) onderling wel verschilt; meetpunt Nijmegen Haven laat een grotere fluctuatie zien dan meetpunt Huissen Looveer.

In de grafiek is te zien dat de rivierstanden voor beide meetpunten in juni 2018 sterk dalen. In de periode juli-oktober liggen de oppervlaktewaterpeilen gemiddeld respectievelijk 1,5 m (Nijmegen Haven) en 1,2 m (Huissen Looveer) lager dan in de referentieperiode. Omdat de correlatie tussen beide meetpunten zeer hoog is (99,7%), is bij de tijdreeksanalyse slechts één van de reeksen gebruikt: Huissen Looveer.



Afbeelding 3 Oppervlaktewaterstanden in de Waal (Nijmegen Haven) en de Nederrijn (Huissen Looveer), nabij gemeente Lingewaard

Methode

Tijdreeksmodellen

Na een beoordeling van de volledigheid van meetreeksen, is voor 55 grondwaterstandsm Meetpunten een tijdreeksmodel opgesteld in de python-package Pastas (Collenteur e.a., 2019). De overige meetpunten beschikten over een te korte meetreeks (6x) of viel iedere zomerperiode droog (1x) waardoor er onvoldoende vertrouwen was dat we het systeemgedrag goed kunnen benaderen met een tijdreeksmodel.

Voor de 55 meetpunten is er vervolgens een model gemaakt van de grondwaterstand over de gehele meetperiode. Als verklarende reeksen zijn bovengenoemde invloeden onttrekkingsreeksen van Vitens, neerslag- en verdampingsreeksen en de rivierwaterstanden van Rijkswaterstaat gebruikt.

In verschillende literatuur (o.a. van Geer, 2012) wordt bij tijdreeksanalyse een kanttekening geplaatst. Tijdreeksmodellen modelleren geen fysische processen maar zijn gebaseerd op statistische kenmerken van tijdreeksen en hun onderlinge relatie. Bij kortere reeksen is de kans daarmee aanwezig dat de afzonderlijke bijdrage van verschillende reeksen niet goed onderscheiden kan worden. Bijvoorbeeld omdat meerdere (verklarende) reeksen dezelfde variatie laten zien, of de meetreeks zelf te weinig variatie laat zien.

Voor dit onderzoek hebben we de periode 2014-2018 gemodelleerd. Dit is een relatief korte periode voor het opstellen van een tijdreeksmodel. Hierbij hebben we de correlatie van de verklarende reeksen eerst onderling getoetst

(afbeelding 4). Als gevolg daarvan is meetpunt Nijmegen Haven buiten beschouwing gelaten vanwege hoge correlatie (99,7%) met meetpunt Huissen Looveer.

	netto neerslag	onttrekking Fikkersdries	onttrekking Ir. H. Sijmons	rivierstand Huissen Looveer	rivierstand Nijmegen Haven
netto neerslag	1,000	0,258	0,074	0,064	0,067
onttrekking Fikkersdries	0,258	1,000	0,145	-0,182	-0,179
onttrekking Ir. H. Sijmons	0,074	0,145	1,000	0,061	0,074
rivierstand Huissen Looveer	0,064	-0,182	0,061	1,000	0,997
rivierstand Nijmegen Haven	0,067	-0,179	0,074	0,997	1,000

Afbeelding 4 Onderlinge correlaties tussen de verklarende reeksen

Hiermee bestaat het risico nog steeds dat de absolute bijdrage van de hydrologische invloeden op de grondwaterstand niet juist wordt bepaald. Tijdens de analyse waren we echter niet geïnteresseerd in de absolute bijdrage per invloed, maar lag de nadruk op het kwantificeren van de oorzaak van droogte in 2018, oftewel de bijdrage van de hydrologische invloeden op de verschillen tussen de referentieperiode en 2018. Als een meetreeks dus weinig variatie laat zien in de modelperiode, zal de absolute bijdrage wellicht onjuist worden ingeschat, maar heeft deze tevens beperkt bijgedragen aan de daling van grondwaterstanden in 2018. En dat is nou precies waarin we geïnteresseerd zijn.

Na beoordeling van de tijdreeksmodellen zijn er nog twee afgefallen, omdat deze niet betrouwbaar genoeg waren met een verklaarde variantie van respectievelijk 52% en 54%. De gemiddelde verklaarde variantie van de overige 53 modellen is 89%. Er is een visuele controle uitgevoerd om te verifiëren dat de grondwaterstanden in met name de droge periodes goed benaderd worden. Onze ervaring is namelijk dat in tijdreeksmodellen extremen (waar het juist vaak om draait) niet altijd even betrouwbaar eruit springen.

Representatief lage grondwaterstanden

Om uitspraken te doen over een droge situatie, is de representatief lage grondwaterstand (RLG) bepaald. Per peilbuis is daarvoor het 10^e percentiel bepaald

over de periode 2015 tot en met 2017, en voor 2018. Een vergelijking van deze twee waarden geeft inzicht in het uitzakken van de grondwaterstand in de extreem droge zomer van 2018 ten opzichte van de vaker voorkomende de representatief lage grondwaterstand (RLG 2014-2017). Omdat er bij een aantal peilbuizen sprake is van datagaten binnen de meetreeks, is ervoor gekozen om de representatief lage grondwaterstand voor zowel 2014-2017 als 2018 te berekenen op basis van het tijdreeksmodel.

Duur droogte

Bij (aanhoudende) droogte kan de kleilaag inkrimpen, waardoor maaiveldzetting optreedt. In onderzoek van de Lange e.a. (2009) is aangetoond dat zodra de kleilaag weer nat wordt na een droge periode, de klei weer opzwellt maar niet volledig herstelt. Dit geeft aan dat niet alleen het droogvallen van een kleilaag van belang is, maar zeker ook de mate waarin extreem lage grondwaterstanden in een droge zomer ineens aaneengesloten voorkomen. De analyse laat het maximaal aantal opeenvolgende dagen in 2018 zien waarin de gesimuleerde grondwaterstand lager is dan de 5% laagste modelwaarden uit de referentieperiode 2014 tot en met 2017.

De geohydrologische invloeden uiteen gegaan

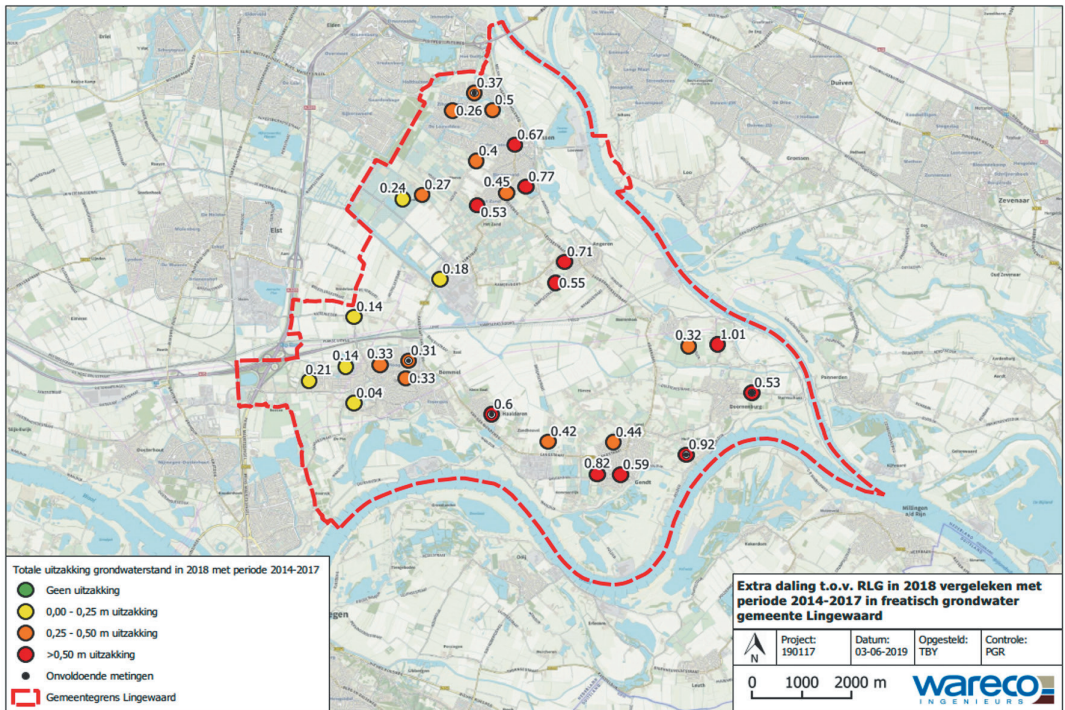
De grootte van de bijdrage van de verschillende invloeden op de lage grondwaterstanden uit 2018 hebben we in kaart gebracht. Daarbij is gekeken hoeveel dagen korter de droogte in het grondwater zou hebben geduurd, als het gemiddelde van respectievelijk de netto neerslag, grondwateronttrekkingen en rivierwaterstanden uit de referentieperiode zou hebben plaatsgevonden. De referentieperiode hebben we vergeleken met de situatie uit 2018. De resultaten worden weergegeven in een taartdiagram, waarbij de invloed van de verdamping en neerslag, oppervlaktewaterstanden en grondwateronttrekkingen zijn getoond.

Resultaat van de tijdreeksanalyse

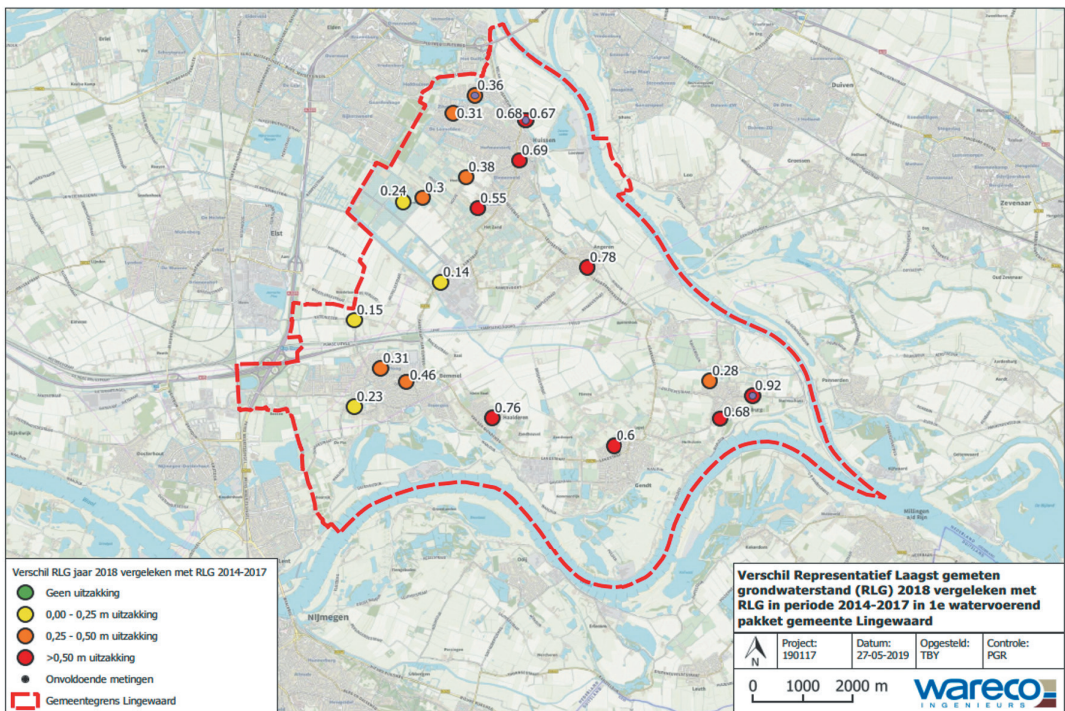
Structureel lage grondwaterstanden

Uit de analyse blijkt dat de uitzakking van de lage grondwaterstanden in 2018 ten opzichte van 2014-2017 in de gebieden rond de Waal het grootst is (afbeelding 5 en 6). Dat ligt in de lijn der verwachting, als de grondwaterstanden onder invloed staan van het oppervlaktewater. De grondwaterstand in de zomer van 2018 is 0,3 m tot 0,5 m lager dan de zomers daarvoor. Vlak bij de Waal kan dit verschil oplopen naar 0,8 m tot 1,0 m. In het westelijk deel en meer landinwaarts is de uitzakking kleiner dan 0,3 m. Hoewel het algemene beeld de suggestie geeft dat er sprake is van een grote invloed van de oppervlaktewaterstanden, zien we dat niet overal terug; in Bemmelen is de verlaging bijvoorbeeld juist gering, terwijl een andere verklaring ook niet direct voor de hand ligt.

De hoogte van het grondwater in de zomer van 2018 is vergeleken met de hoogte van de zettingsgevoelige bodemlagen in het gebied. Hieruit blijkt dat op de meeste plekken in het gebied de grondwaterstand lager is dan de bovenkant van de kleilaag, waardoor deze in droge periodes uitdroogt en zal krimpen. De peilbuizen in het freatisch grondwater en eerste watervoerend pakket laten een gelijksoortig beeld zien.



Abfbeelding 5 Extra daling representatief laagste freatische grondwaterstand 2018 t.o.v. 2014-2017



Abfbeelding 6 Extra daling representatief laagste grondwaterstand in 1e watervoerende pakket 2018 t.o.v. 2014-2017

Duur droogte

De kans op zettingen als gevolg van de krimp van klei treedt vooral op als de grondwaterstand tijdens (aanhoudende) droogte lager is dan wat er in het verleden is opgetreden. De grondwaterstand was in 2018 voor een lange periode lager dan de 5% laagste grondwaterstand uit de referentieperiode. Het totaal aantal dagen waarbij dit het geval was, ligt overwegend tussen de 140 en 180 dagen met een gemiddelde van 155 dagen. In de referentieperiode is dat gemiddeld 18 dagen.

Inzicht per peilbuis: bijdrage van invloeden

In de zomer van 2018 viel minder neerslag en was de potentiële verdamping hoger dan gemiddeld. Daarnaast waren de rivierwaterstanden lager, en werd er meer grondwater onttrokken dan in de referentieperiode.

Om de afzonderlijke bijdrage van de invloeden te bepalen op de lage grondwaterstanden in 2018, zijn een aantal scenario's doorgerekend: voor de 3 hydrologische invloeden netto neerslag, onttrekkingen en oppervlaktewaterpeil is in 2018 de meetreeks aangepast naar het gemiddelde (op dagbasis) van de referentieperiode. Vervolgens is als laatste scenario een bepaling gedaan van de duur van de droogte als alle invloeden de gemiddelde dynamiek van de voorgaande jaren volgen. De onttrekkingsreeksen van Vitens zijn hierbij als één scenario opgenomen, hoewel de reeksen wel afzonderlijk in het model zijn opgenomen.

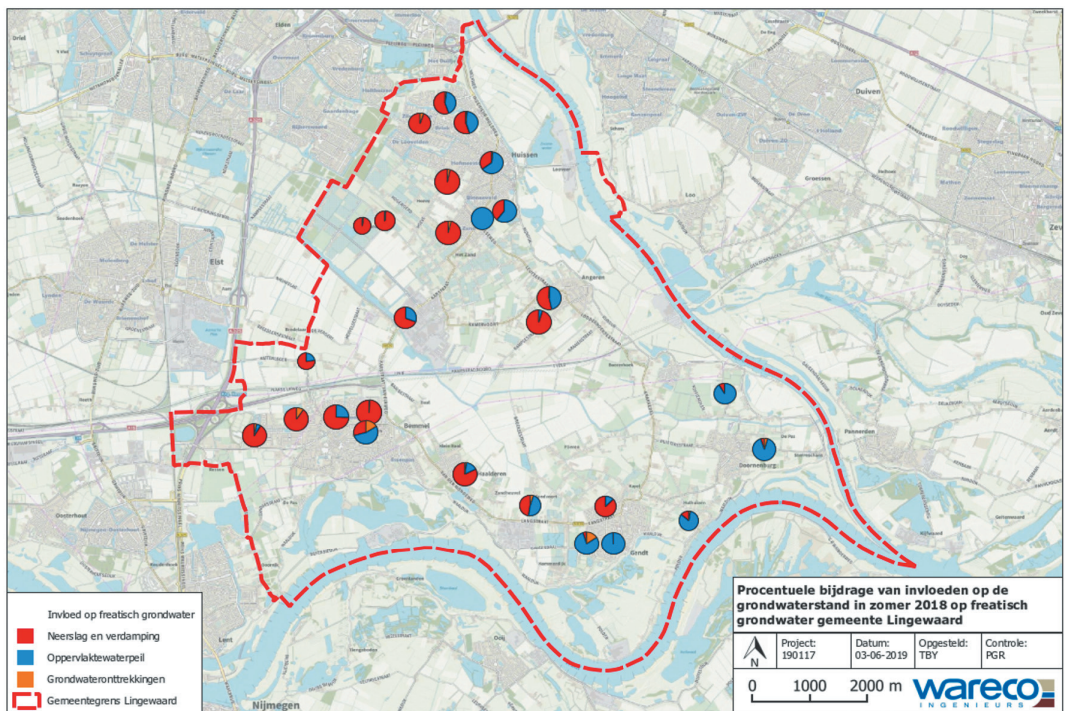


Afbeelding 7 Voorbeeld van de resultaten van de scenarioberekeningen voor twee peilbuizen, met hierbij de gesimuleerde grondwaterstand per scenario (links), en de relatieve bijdrage aan het aantal droge dagen in 2018, per invloed (rechts)

Ter illustratie zijn de resultaten van twee geanalyseerde meetpunten getoond in afbeelding 7. Hierbij komt naar voren dat bij meetpunt B40B0379-001 vooral de netto neerslag bijdraagt aan de lage grondwaterstanden in 2018. Bij meetpunt B40D2293-001 is dit een mix van alle drie de invloeden. Het betreft hier een relatieve bijdrage van de verschillende invloeden op het aantal droge dagen.

Ruimtelijk patroon: bijdrage van invloeden

De cirkeldiagrammen zijn vervolgens ruimtelijk weergegeven op kaart (bijdrage invloeden, freatisch, afbeelding 8). Hierbij zijn de cirkeldiagrammen geschaald op basis van het totale aantal dagen reductie van de droge periode. De invloed van netto neerslag of grondwateraanvulling is het grootst en ook het meest gelijkmatig verspreid over de gemeente met gemiddeld 85 dagen. De rivierpeilen beïnvloeden vooral peilbuizen nabij de rivier. Er zijn echter ook andere peilbuizen die een grote beïnvloeding door de rivierpeilen laten zien, zelfs terwijl nabijgelegen peilbuizen dit niet of nauwelijks tonen. De bijdrage van grondwateronttrekking is vooral terug te vinden in drie freatische peilbuizen langs het traject Bommel – Gendt. Het effect van grondwateronttrekking is beperkt ten opzichte van andere invloeden. Dit is te verwachten, gezien de grondwateronttrekkingen in diepere lagen plaatsvinden.



Afbeelding 8 Procentuele bijdrage van neerslag/verdamping, oppervlaktewater en grondwateronttrekkingen op de grondwaterstand

Gebiedskennis

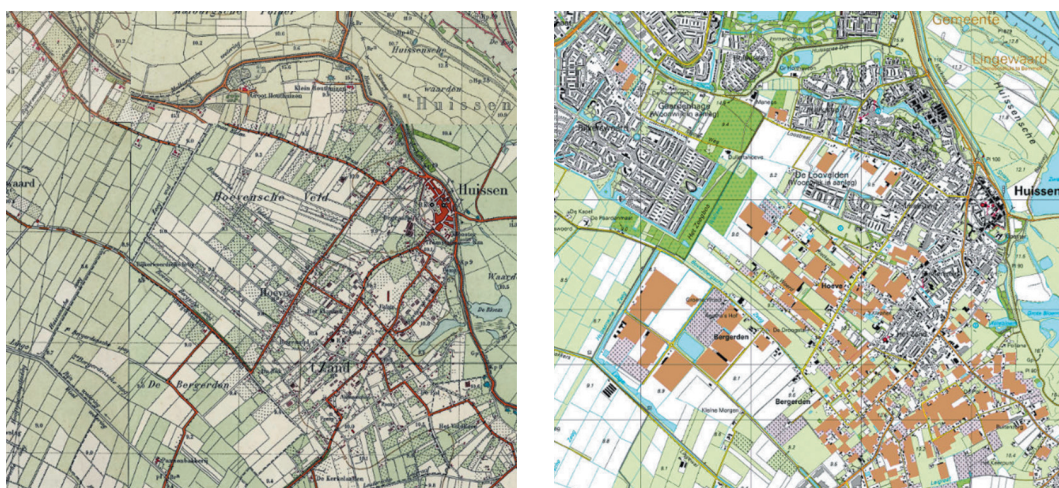
De risico's voor grondwateronderlast worden natuurlijk deels bepaald door de grondwaterstanden in het gebied, maar enkel een lage grondwaterstand

betekent niet dat er automatisch sprake is van grondwateronderlast. De aanwezigheid van zettingsgevoelige lagen is essentieel bij het bepalen van risicogebieden. Gelijkmatische zetting is niet per definitie een probleem. Scheurvorming in bebouwing treedt namelijk vooral op bij ongelijkmatische zetting. Dit is deels afhankelijk van het type bebouwing, en bijvoorbeeld of er gedeeltelijke onderkeldering of aanbouw heeft plaatsgevonden, en kan daarmee ook per woning verschillen. Deze risico's verschillen per gebouw, en zijn voor het aanduiden van risicogebieden buiten beschouwing gelaten. Anderzijds is dat risico op ongelijkmatische zetting afhankelijk van de heterogeniteit van de bodem. Om die te vertalen in vlakdekkende risico's is gekeken naar de volgende aspecten:

- Variatie in weerstand en laagdikte van de deklaag
Heterogeniteit in de deklaag, zoals doorsnijdingen van kleilagen rond funderingen en wegcunetten, vergroot de kans op ongelijkmatische zettingen.
- Aanwezigheid oude stroomgeulen
Afzettingen van oude stroomgeulen bestaan uit het volledige scala van klei en fijn zand tot grindafzettingen. Dit zorgt dus ook voor een heterogeniteit in de ondergrond.
- Dichtheid historisch slotenpatroon
De kernen van bijvoorbeeld Bommel, Huissen en Gendt zijn in de tweede helft van de vorige eeuw en begin deze eeuw uitgebreid. Dit heeft deels plaatsgevonden op gebieden waar voorheen landbouw plaatsvond, die ontwaterd werden door middel van sloten. Veel van die sloten zijn gedempt, met ander materiaal dan het omliggende gebied. Ook hierdoor wordt heterogeniteit in de bodem vergroot. Hogere dichtheid in het slotenpatroon zorgt derhalve voor een hoger risico.

Historisch slotenpatroon

In de afgelopen eeuw zijn er flinke ontwikkelingen in de gemeente geweest. Waar voorheen landbouw het beeld bepaalde, is in de loop der tijd het stedelijk gebied flink uitgebreid (afbeelding 9). De slootjes die in het oude beeld aan-



Afbeelding 9 Het historisch slotenpatroon bij Huissen, jaren '50 (links) en rond de eeuwwisseling (rechts) (topotijdreis.nl)

wezig waren, zijn daarbij vaak gedempt, met voorhanden materiaal wat zich anders gedraagt dan de omliggende ondergrond. Op plekken waar deze oude slootjes gedempt zijn, is daarmee een verhoogde kans tot onregelmatige zetting. Ruimtelijk zijn duidelijke verschillen in de perceelsbreedtes – en daarmee, de slootdichtheid – waar te nemen. Daarnaast zijn de plekken met hoge slootdichtheid vaak juist de zettingsgevoelige gebieden: slecht doorlatende gronden waar extra behoefte was aan ontwaterende middelen.

Stysteeminzicht en doorvertaling naar risicogebieden

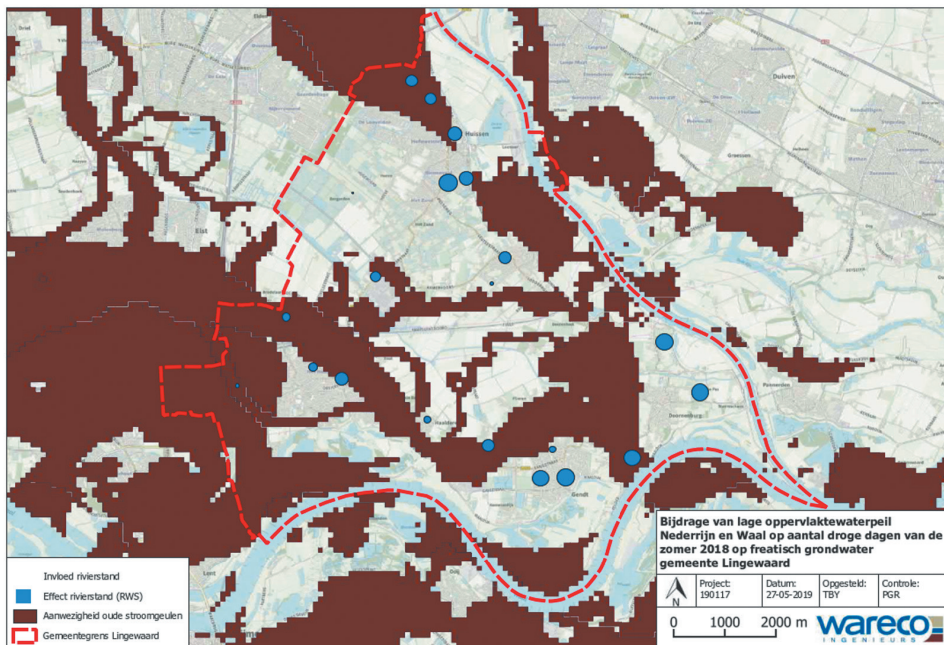
Vanuit de tijdreeksanalyse kregen we een aantal zaken niet duidelijk verklaard:

- Waarom is in de 3 freatische peilbuizen langs het traject Bemmel – Gendt duidelijk invloed van de grondwateronttrekking, en bij andere niet?
- Er lijkt over het algemeen een relatie te bestaan tussen de afstand tot de rivier en de invloed van rivierwaterstanden op de grondwaterstand. Waarom zien we hier toch duidelijke afwijkingen in?

De invloed van oude stroomgeulen op het stromingsbeeld

Beide kunnen verklaard worden door de aanwezigheid van oude stroomgeulen in het gebied: de Formatie van Echteld bestaat overwegend uit klei, maar deels ook zand (zeer fijn tot uiterst grof, soms grindhoudend).

Omdat dit oude stroomgeulen zijn, kunnen ze nog in meerdere of mindere mate in verband staan met het oppervlaktewater, en daarmee het grondwater in het gebied versneld draineren als het rivierpeil in de zomer daalt. De aanwezigheid van afzettingen van de Formatie van Echteld en de bijdrage van opper-



Afbeelding 10 De bijdrage van de oppervlaktewaterpeilen op de droge periode uit 2018, en de globale ligging van oude stroomgeulen (Regis)

vlaftewaterpeilen op de grondwaterstanden in het freatisch pakket zijn weergegeven in afbeelding 10. Hierbij wordt opgemerkt, dat in deze verspreiding geen onderscheid wordt gemaakt in de klei- en zandafzettingen uit deze formatie.

De bijdrage van grondwateronttrekking is vooral terug te vinden in drie freatische peilbuizen (B40D2298-001, B40D2291-001, B40C3534-001) langs het traject Bemmel – Gendt. Die liggen in een oude stroomgeul die vermoedelijk een goede verbinding heeft met het pakket waarin verder westelijk drinkwater wordt onttrokken.

Conclusie

Door in de analyse de voordelen van een tijdreeksanalyse te koppelen aan systeemkennis, hebben we de resultaten van de tijdreeksanalyse ruimtelijk kunnen toetsen aan de praktijk. Door kritisch te kijken naar de resultaten van de tijdreeksanalyse én andere gegevens als bodem, historische slootpatronen, neerslag en onttrekkingen kunnen we (ruimtelijke) patronen verklaren. Dit is een waardevolle bijdrage in de lokale systeemkennis. Met systeeminzicht daarbij hebben we de resultaten doorvertaald naar risicogebieden voor grondwateronderlast. Oude stroomgeulen en historische slootpatronen blijken goede aanwijzingen te geven voor de ligging van de risicogebieden voor grondwateronderlast.

In dit onderzoek is inzicht verkregen in de risico's van droogte op bebouwing. Er zijn grote hoeveelheden data uit onder andere het grondwatermeetnet op een efficiënte manier geanalyseerd. Het resulteert in inzicht in de reikwijdte van externe invloeden op de grondwaterstand: de Waal, onttrekkingen en neerslag. Zowel hoe(veel) de grondwaterstand in tijdens van droogte uitzakt, als de ruimtelijke spreiding ervan.

Gebiedskennis en systeembegrip zijn cruciaal voor de interpretatie van metingen en analyse. Systeeminzicht geeft gevoel voor de belangrijke factoren in het (grondwater)systeem, en welke invloeden en gebiedsparameters goed in beeld gebracht moeten worden. Denk daarbij aan het inschatten van de doelmatigheid van maatregelen, maar ook aan prioritering van inspanningen voor datainzameling en modelkalibratie bij grondwatermodellen: welke verbeteringen in het model maken het meeste uit voor de beoogde modeltoepassing?

Vervolgstappen

Systeemkennis is goed. Het doorvertalen naar concrete maatregelen voor risicodialoog in de klimaatstresstest is mogelijk nog belangrijker voor de gemeente en de inwoners van de gemeente Lingewaard. De gemeente zet de verzamelde kennis in om in de risicodialoog wel afgewogen keuzes te kunnen maken in maatregelen en prioritering van maatregelen. Welke maatregelen tegen grondwateronderlast zijn er te nemen op openbaar en particulier terrein? Wanneer is welke maatregel doelmatig? Wat zijn de voor- en nadelen van de maatregelen?

Literatuur

- Van Geer, F.** (2012) Tijdreeksanalyse: Introductie en aandachtspunten; Stromingen 18, nummer 2 (<https://edepot.wur.nl/315307>).
- Collenteur, R.A., M. Bakker, R. Caljé, S.A. Klop, F. Schaars** (2019) Pastas: Open Source Software for the Analysis of Groundwater Time Series, Groundwater, Volume57, Issue6 (<https://ngwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gwat.12925>).
- Van Loon, A., J.W. Zaadnoordijk** (2015) Vlakdekkende tijdreeksanalyse: Een data-gedreven methode voor het projecteren van grondwaterstandreeksen; Stromingen 23 nummer 3.
- Bierkens, M.F.P., M. Knotters, T. Hoogland** (2001) Space-time modeling of water table depth using a regionalized time series model and the Kalman filter; Water Resources Research, Vol. 37, No. 5, May 2001.
- Graafstra, P., F. Smits, T. Janse** (2017) Incorporating insights from Time Series Analysis in groundwater modelling for the urban area of the city of Amsterdam, Proceedings Modflow & More 2017.
- De Lange, G., W.H.J. van der Velden, J. Kopinga, R. Hanssen, P. Marinkovic, J.T. Buma, N. Goorden, M.A.J. Bakker** (2009) Onderzoek naar zettingen in de gemeente Zevenaar. Deltares

Summary Using insights in the local hydrogeological system of Lingewaard to better understand the risks of drought on its built up area

Drought has been a hot topic in recent years; both literally and figuratively. The municipality of Lingewaard is one of the Dutch governmental bodies faced with the consequences of drought. After the 2018 drought, it received over a 100 reports of cracks in houses. Groundwater levels in the area were substantially lower than in an average summer, allowing subsidence to occur. In order to take a step towards possible solutions, it is vital to gain insight in the dominant processes causing the cracking, and the spatial variation in their occurrence. By using time series analysis, the contribution of several possible hydrogeological influences on the low groundwater levels were determined. This was then linked to area-specific information, leading to insight in the local hydrogeological system. Two relevant processes were the presence of old rivers of the Waal river and filled in ditches. The old riverbeds consisting of coarser sediments run underneath the area, draining the area when water levels in the Waal are lowered in periods of drought. Old agricultural ditches were infilled over the past century as the urban area of towns like Huissen expanded. Because the infill differs from the surrounding subsoil, differences in subsidence are more likely to occur. Insights such as these aid our ability to assess the suitability of measures in terms of effectiveness and efficiency.

Auteurs

PYTRIK GRAAFSTRA
Wareco Ingenieurs, Amstelveen
p.graafstra@wareco.nl

MAAIKE KLEIN OVERMEEN
Wareco Ingenieurs, Holten
m.kleinovermeen@wareco.nl

KEES DE JONG
Gemeente Lingewaard
k.deJong@lingewaard.nl

