

---

## PUBLIEKE GEGEVENS GRONDWATER

---

### Context

Een van de pijlers van de begeleidingsopdracht van de Blue Deal werd gevormd door de impactmonitoring. Als een van de sporen daarbinnen werd een zogenaamde “systeemmonitoring” opgezet, die in staat moest stellen om op het niveau van Vlaanderen uitspraken te doen over het integrale watersysteem op niveau Vlaanderen. Binnen deze systeemmonitoring werden 4 deelaspecten van het watersysteem onderzocht, namelijk grondwater, stedelijk water, oppervlaktewater en waterverbruik. Dit document beschrijft de uitgewerkte analyses en resultaten van het luik ‘grondwater’.

Meer specifiek behandelt dit document de informatie die publiek beschikbaar is via de Blue Deal website. Voor meer achtergrondinformatie verwijzen we naar de contactpagina van de Blue Deal, waarlangs informatie opgevraagd kan worden: <https://bluedeal.integraalwaterbeleid.be/contact-vragen>

Deze nota beschrijft volgende onderdelen:

1. Kadering van de uitgevoerde analyses, inclusief een beschrijving van de analyses en resultaten
2. Overzicht van de beschikbare resultaten

## 1 Kadering uitgevoerde analyses

### 1.1 Beschrijving analyses

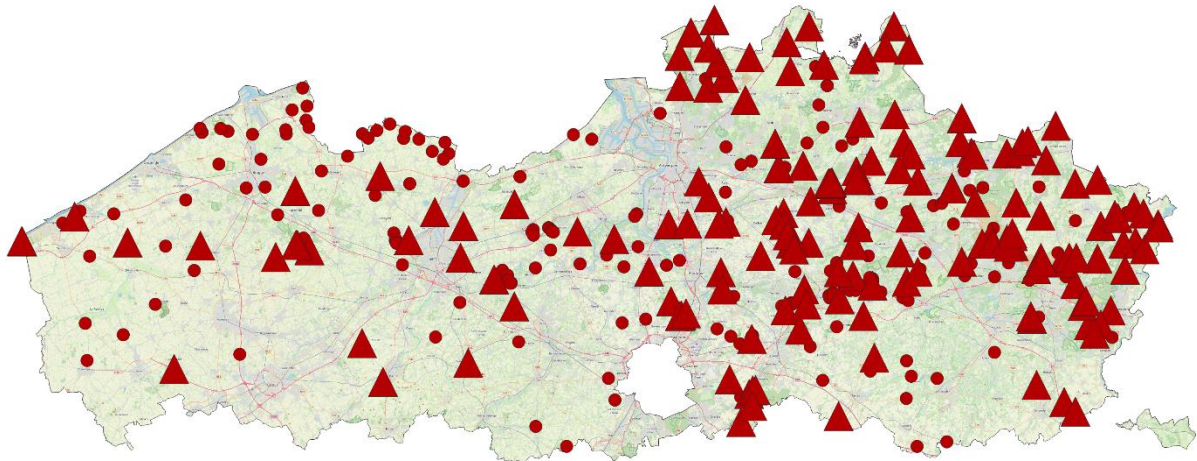
#### 1.1.1 Inleiding

Op de in Vlaanderen beschikbare freatische grondwatergegevens zijn twee analyses uitgevoerd. Enerzijds is er een analyse uitgevoerd om de langetermijntrends te bepalen. Op deze manier kan het bredere kader en de huidige grondwaterproblematiek geschetst worden. Anderzijds is er een kortetermijnanalyse uitgevoerd, waarbij de focus lag op gegevens van 2016 tot en met 2021. Deze analyse liet toe om te duiden of er in deze recente periode bovenop de langetermijntrends bijkomende verdroging of vernatting was die niet verklaard kon worden op basis van meteorologische gegevens. Indien er verdroging of vernatting is, dan is de implicatie dat hier een rechtstreeks menselijke impact aanwezig is.

In sectie 1.1.2 wordt op een hoog niveau de datasetselectie van beide analyses besproken. In secties 1.1.3 en 1.1.4 worden vervolgens beide analyses besproken. Tenslotte worden in sectie 1.1.5 de beperkingen en aannames geduid.

### 1.1.2 Datasetselectie

Voor grondwater is er een analyse uitgevoerd op een groot aantal grondwatermeetpunten. Hierbij is er vertrokken van de gegevens die in de databank van DOV beschikbaar zijn. Op deze gegevens zijn twee verschillende analyses uitgevoerd, namelijk een langetermijnanalyse om trends te bepalen en een kortetermijnanalyse om structurele verdroging te bepalen.



*Figuur 1: overzicht van de gebruikte meetpunten voor de langetermijnanalyse (bollen + driehoeken) en kortetermijnanalyse (driehoeken)*

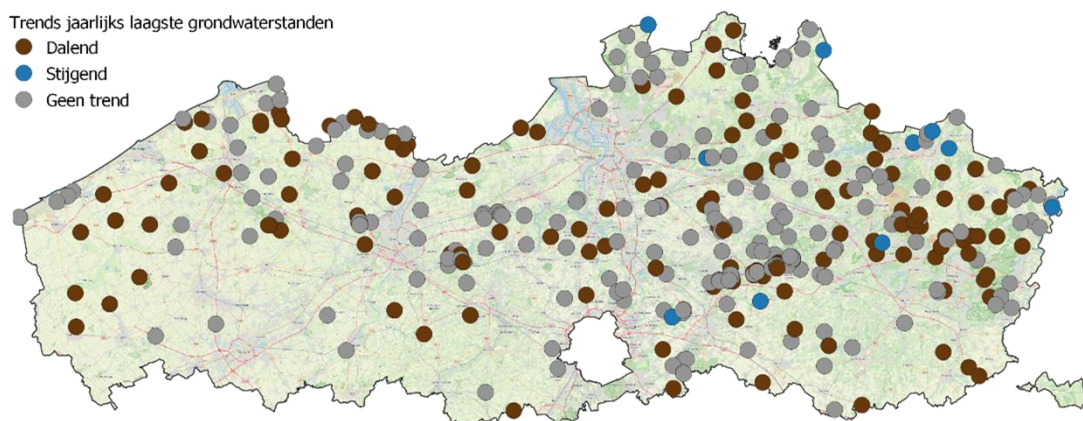
In totaal is er gebruik gemaakt van 406 freatische meetpunten verspreid over heel Vlaanderen. Op de kaart omvat dit alle rode bollen en driehoeken, waarbij deze laatste een subselectie van de 406 punten zijn. Voor alle punten zijn drie datacontroles gebeurd vooraleer de lange- of kortetermijnanalyses uitgevoerd zijn. De eerste was een eenvoudige controle op datakwaliteit, de tweede was een simpele versie van de Pastas-modellering, waarmee gecontroleerd werd of het wel degelijk om freatische punten ging waarbij het mogelijk was om een zinnige uitspraak te doen door middel van Pastas. Als derde controle werd maar één filter per put weerhouden, om op een zo efficiënt mogelijke wijze zoveel mogelijk te leren van de gegevens.

### 1.1.3 Langetermijnanalyse

Voor de langetermijnanalyse zijn de 406 punten geanalyseerd door middel van de Mann-Kendall trend test. Deze robuuste, non-parametrische test laat toe om voor datasets die niet aan de vereisten voor klassieke parametrische tests voldoen (zoals equidistantie tussen punten, normaliteit) toch de trends te analyseren. In het geval van grondwater zijn er namelijk vele meetpunten waarop niet continu gemonitord wordt, of waar door handmatige monitoring de tijdsintervallen tussen twee metingen variëren. Deze test kan hiermee omgaan. Deze test is uitgevoerd met significantieniveau 0.01. Hierbij wordt dus uitgegaan van een datagedreven, statistische significantie, waarbij de effectieve daling kan verschillen van meetpunt tot meetpunt. De Mann-Kendalltest is hierbij uitgevoerd op het gemiddeld laagste/hogste punt per jaar, dat bepaald is op basis van de drie laagste/hogste punten gedurende het hydrologische jaar (april – maart). Op deze manier ligt de berekening in lijn met de berekeningen van GLG en GHG.

Gezien de grote verschillen tussen meetpunten, is er voor gekozen om voor deze test per meetpunt alle beschikbare gegevens te gebruiken. Dit betekent dat voor sommige meetpunten 10 jaar aan gegevens gebruikt zijn, waar dit voor andere meetpunten 20 jaar of meer is. Dit maakt een exacte onderlinge vergelijking moeilijk, maar laat niettemin een zeer indicatieve kwalitatieve vergelijking toe.

De analyse toont dat er sprake is van veel meer punten met een significante dalende trend dan een significante stijgende trend: 38% vs. 3%. Dit impliceert dat verschillende factoren, zoals klimaatverandering en menselijk handelen, op lange termijn een invloed hebben. Voor 59% van de punten is geen trend waarneembaar, maar het sterk aantal punten met een dalende trend impliceert toch dat Vlaanderen verdroogt. Dit is ook zichtbaar op de kaart (Figuur 2): er zijn geen regio's met een zichtbaar positieve of negatieve trend te onderscheiden. De punten met een stijgende trend zijn sterk verspreid. Deze bevinden zich wel enkel in het oosten van het land, maar gezien er daar meer meetpunten zijn, vallen daar moeilijk conclusies uit te trekken. Zowel voor meetnet 9 als voor meetnet 1 zijn er punten die stijging vertonen. De dalende trend is daarentegen overal zichtbaar, maar in de buurt van elk punt met een dalende trend is er ook wel een zonder trend te vinden. Verdroging is dus wijdverspreid, maar de specifieke trends per meetpunten hangen af van de omgeving en karakteristieken van het meetpunt.



*Figuur 2: Geografisch overzicht van de langetermijnanalyse van de laagste grondwaterstanden.*

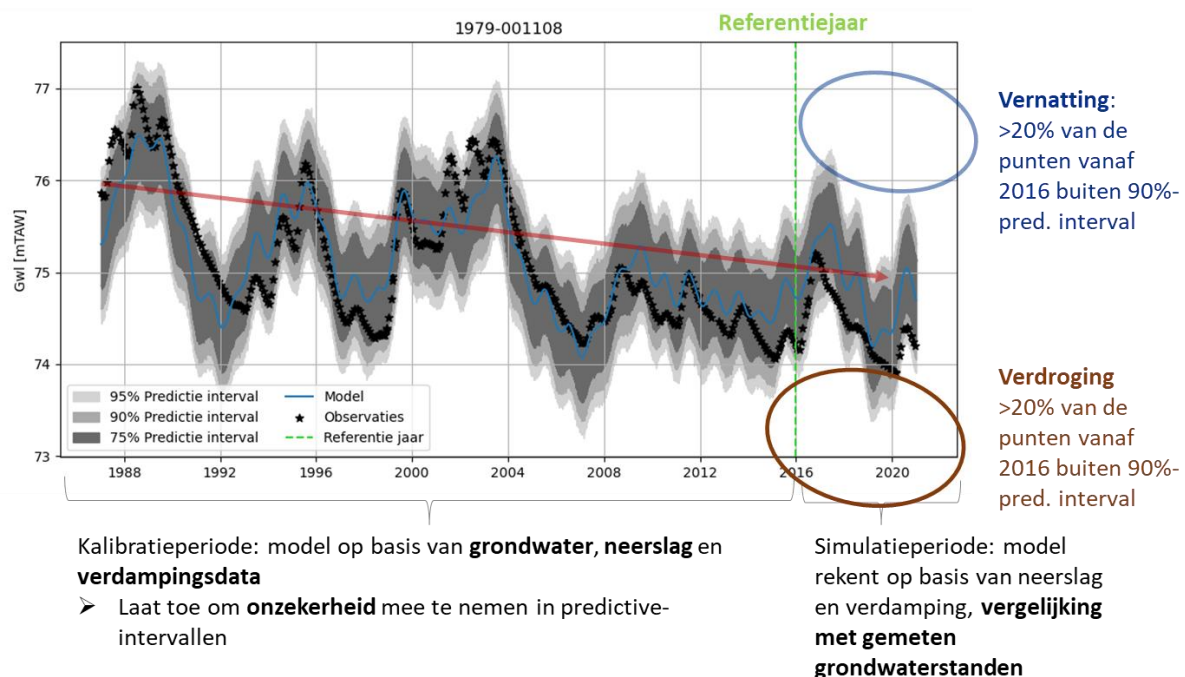
De algemene verdroging in Vlaanderen is dus duidelijk. Dat die verdroging onder meer door klimaatverandering veroorzaakt wordt, kan niet in twijfel getrokken worden. De vraag die we in de systeemmonitoring echter willen stellen is of deze langetermijntrends enkel door klimaatverandering en dus meteorologische condities veroorzaakt worden, of dat er ook een invloed is van structurele veranderingen in het watersysteem, zoals drainage. Om dit te kunnen onderzoeken, wordt de kortetermijnanalyse gebruikt, die in wat volgt toegelicht staat.

#### 1.1.4 Kortetermijnanalyse

De kortetermijnanalyse dient om structurele verdroging te onderzoeken. Hiervoor werd een subselectie gebruikt van de 406 punten die reeds voor de langetermijnanalyse gebruikt werden: voor de kortetermijnanalyse werden maar 186 gebruikt doordat er strengere data-vereisten waren.

Om de grondwaterstanden te analyseren, werd met Pastas gewerkt. Pastas is een Python-toolbox die dient om grondwatertijdreeksen te analyseren en te modelleren (Collenteur R. A., 2019).

Technische achtergrondinformatie staat verderop in deze documentatie. Het voordeel van deze model-aanpak is dat ze 1) semi-automatisch toepasbaar is op een groot aantal grondwatermeetpunten, 2) rekening houdt met de weersomstandigheden en 3) in principe complementair is met de terreinmaatregelmonitoring. Zoals eerder aangehaald, is het doel van de kortetermijnanalyse om langetermijntrends (op Figuur 3 aangeduid in het donkerrood) te onderscheiden van structurele vernatting of verdroging. Hiertoe wordt een model gekalibreerd op basis van de beschikbare grondwater-, neerslag- en verdampingsgegevens. Deze kalibratie maakt gebruik van alle beschikbare gegevens tot een bepaald referentiejaar, mits aan voldoende kwaliteitsvoorwaarden voldaan wordt. Als referentiejaar is voor deze analyse 2016 gekozen (op de figuur aangeduid door middel van de verticale groene lijn). Bij de opmaak van het model wordt ook de onzekerheid bepaald, die door de predictie-intervallen weergegeven wordt (grijze banden op de figuur).



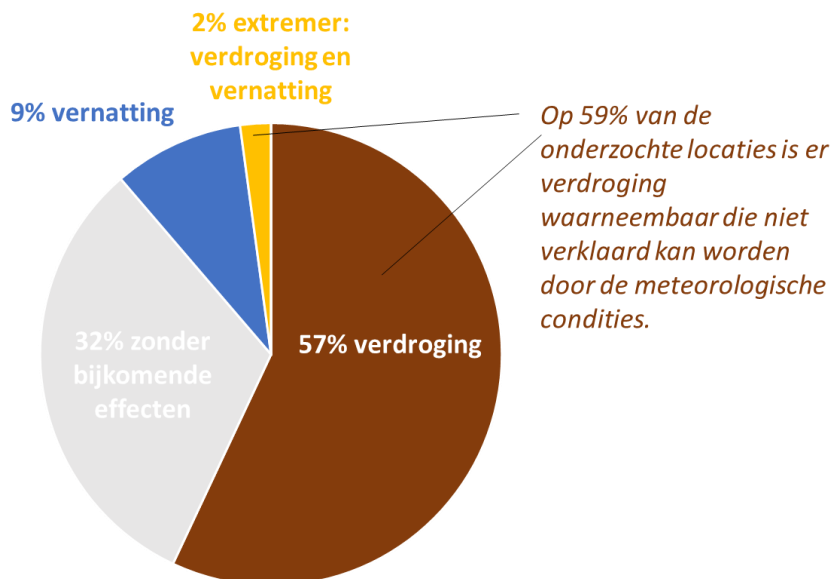
Figuur 3: Samenvatting werkwijze modelmatige aanpak

Vanaf het begin van het referentiejaar spreken we van de simulatieperiode. Hier simuleren we grondwaterstanden op basis van gegeven neerslag en verdamping. Deze gesimuleerde grondwaterstanden kunnen vervolgens vergeleken worden met de gemeten grondwaterstanden. Hiervoor maken we gebruik van het 90%-predictie-interval. Indien meer dan 20% van de punten in de simulatieperiode hoger is dan de bovenkant van het predictie-interval, spreken we van structurele vernatting. Indien meer dan 20% van de punten in de simulatieperiode lager is dan de onderkant van het predictie-interval, spreken we van structurele verdroging. Merk hierbij op dat deze grenzen scherper zijn dan wat mathematisch nodig is. Bij het 90%-predictie-interval valt maximaal 10% van de gesimuleerde punten buiten het interval: 5% langs de onderkant, 5% langs de bovenkant. Door een grens van 5% aan beide kanten te nemen, zouden 'abnormale' punten dus al opgepikt worden. Door hier 20% te gebruiken, wordt dus nog extra marge ingebouwd. De situaties die zich hierbij kunnen voordoen, zijn:

- Verdroging: sinds 2016 heeft meer dan 20% van de meetpunten een lagere stand dan de ondergrens van het 90%-predictie-interval;

- Vernatting: sinds 2016 heeft meer dan 20% van de meetpunten heeft een hogere stand dan de bovengrens van het 90%-predictie-interval;
- Extremer: sinds 2016 heeft meer dan 20% van de meetpunten een lagere stand dan de ondergrens van het 90%-predictie-interval én heeft meer dan 20% van de meetpunten heeft een hogere stand dan de bovengrens van het 90%-predictie-interval. Dit is situatie waarbij het meetpunt zeer extreem reageert op wisselende omgevingsfactoren, dit komt echter maar zelden voor;
- Geen bijkomende effecten: bovenop de langetermijntrend is er geen extra verdroging of vernatting waar te nemen op modelbasis.

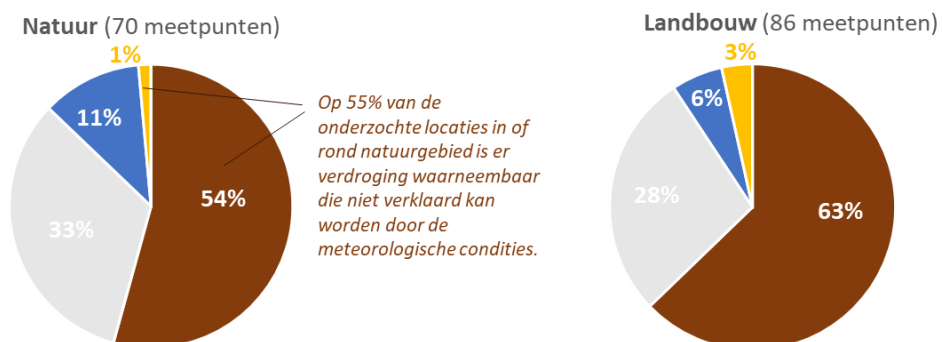
Welke van de voorgaande 4 situaties zien we dan voor de 186 locaties in Vlaanderen? Op 32% van de locaties zijn er geen bijkomende effecten, op 9% is er vernatting, op 2% vindt er zowel verdroging als vernatting plaats en op 57% structurele verdroging sinds 2016. In totaal is er dus op 59% van de locaties verdroging boven de langetermijntrend, of dus verdroging die niet enkel verklaard kan worden door de meteorologische condities.



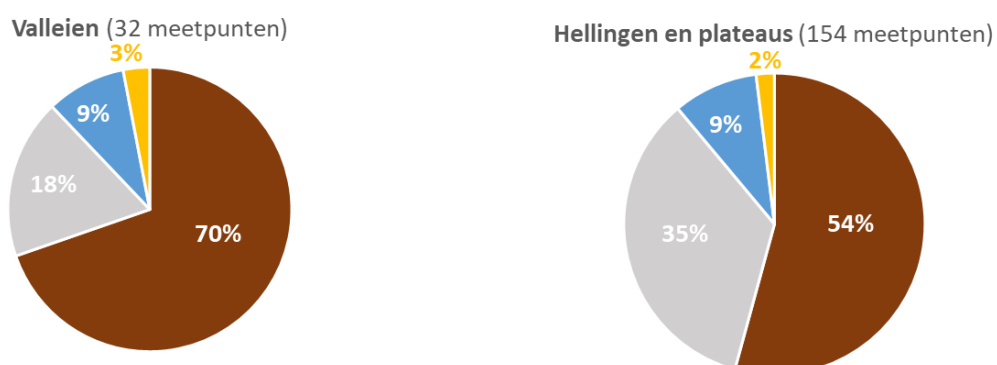
*Figuur 4: Resultaten kortetermijnanalyse droogte voor Vlaanderen.*

De voorbije grafiek kan ook uitgesplitst worden naar landbouw t.o.v. natuur en naar valleien t.o.v. hellingen en plateaus. Dan zien we dan zowel natuur als landbouw sterk bijkomend verdrogen (wat logisch is gezien het globale overzicht), maar dat landbouw wel sterker bijkomend verdroogt dan natuur. Hetzelfde zien we voor valleien t.o.v. hellingen en plateaus: in valleien is er meer structurele verdroging.



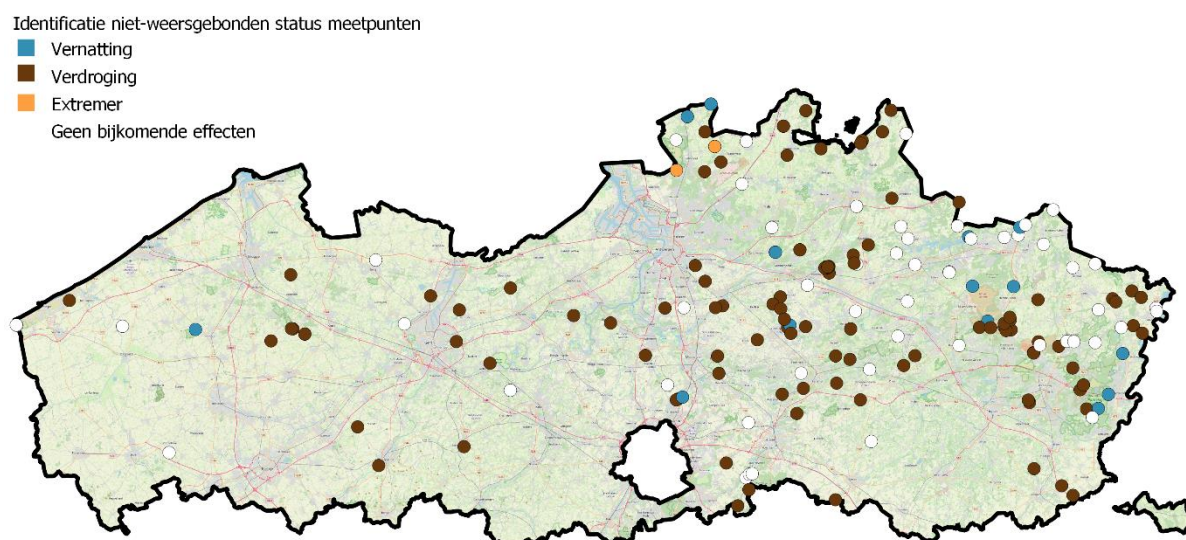


Figuur 5: Kortetermijnanalyse voor respectievelijk natuur en landbouw



Figuur 6: Kortetermijnanalyse voor respectievelijk valleien en hellingen en plateaus

Als we deze resultaten geografisch gaan bekijken (zie Figuur 7), is het moeilijk om algemene conclusies te trekken door het gebrek aan meetpunten in het westen van Vlaanderen. Niettemin is het duidelijk dat structurele verdroging overal plaatsvindt. Daarnaast wordt elk meetpunt sterk beïnvloed door de zeer lokale omstandigheden.



Figuur 7: Geografische weergave resultaten kortetermijnanalyse grondwater

### 1.1.5 Beperkingen en aannames

Er zijn verschillende beperkingen en aannames bij bovenstaande analyses die aangegeven dienen te worden. Op vlak van doelgerichtheid moeten we:

- Er rekening mee houden dat structurele verdroging of vernatting beschouwd worden in verhouding tot het verwachte gedrag en niet absoluut bepaald kunnen worden;
- De link met lokaal genomen maatregelen enkel maar te leggen valt als een meetpunt zich vlakbij een genomen terreinmaatregel bevindt<sup>1</sup>;
- De huidige aanpak (nog) niet toelaat om cijfermatig uit te drukken hoeveel verandering er is door klimaatverandering en wat extra bijdrage aan veranderingen is bovenop het effect van klimaatverandering.

Op vlak van analyse moeten we er rekening mee houden dat

- Enkel veranderingen die zich voordoen na 2016 gedetecteerd kunnen doen;
- De keuze van referentiejaar bijgevolgd bepalend is, zo zitten de recente droge zomers nu vooral in de simulatie periode;
- We echter rekening houden met meteorologie in de kalibratie, waardoor het effect van afwijkende weersomstandigheden klein zou moeten zijn.

Daarnaast is het belangrijk om mee te geven dat de meetpunten niet gebiedsdekkend zijn. Op Figuur 2 is te zien dat de langetermijnanalyse enigszins beperkt is in zuid-west-Vlaanderen, terwijl Figuur 7 toont dat de analyses van de kortetermijnanalyse grotendeels beperkt zijn tot Antwerpen en Limburg.

## 2 Beschikbare resultaten

Alle relevante informatie is beschikbaar in de vorm van 3 .csv-bestanden, namelijk:

- stats\_trend\_alpha01.csv, waarvan de gegevens weergegeven zijn in Tabel 1;
- overzicht\_pastas\_perf\_Vlaanderen\_2016.csv, waarvan de gegevens weergegeven zijn in Tabel 2;
- result\_p90\_Vlaanderen\_2016.csv, waarvan de gegevens weergegeven zijn in Tabel 3

Tabel 1: Gegevens opgeslagen in het bestand 'stats\_trend\_alpha01.csv'

Attribuut	Eenheid	Beschrijving
permkey_short	/	De cijfercode van de filter
permkey_full	/	Link naar de filterfiche
x	m	X-coördinaat van de filter (Lambert72)
y	m	Y-coördinaat van de filter (Lambert72)

---

<sup>1</sup> Lokale monitoring is hierbij relevant, hiervoor verwijzen we naar de Praktijkgids Monitoring (Staes, Ooms, Van de Velde, & Wolfs, 2023)

LG_trend/HG_trend	/	De kwalitatieve resultaten van de trend test voor respectievelijk de laagste en hoogste grondwaterstanden
LG_h, HG_h	/	Indicator of de H0-hypothese al dan niet verworpen moet worden voor respectievelijk de laagste en hoogste grondwaterstanden
LG_p, LG_p	/	De p-waarde voor respectievelijk de laagste en hoogste grondwaterstanden
LG_score, HG_score	/	De Mann-Kendallscore voor respectievelijk de laagste en de hoogste grondwaterstanden;
LG_variance/HG_variance	/	De variantie op de score voor respectievelijk de laagste en de hoogste grondwaterstanden
LG_slope, HG_slope	/	De helling berekend met de aan Mann-Kendall gerelateerde Theil-Sen slope estimator voor respectievelijk de laagste en hoogste grondwaterstanden

Tabel 2: Gegevens opgeslagen in het bestand 'overzicht\_pastas\_perf\_Vlaanderen\_2016.csv'

Attribuut	Eenheid	Beschrijving
permkey_short	/	De cijfercode van de filter
Permkey_fullbasis_	/	Link naar de filterfiche
gw_id	/	gw_id zoals deze ingeladen is
filternummer	/	Filternummer zoals deze ingeladen is
x	m	X-coördinaat van de filter (Lambert72)
y	m	Y-coördinaat van de filter (Lambert72)
NumberofObs	/	Aantal observaties beschikbaar voor deze filter
Last_valid_date	/	Laatste beschikbare meting



gemiddelde diepte	m	Gemiddelde diepte (TAW) van de grondwatermetingen
Mediaan verschil tussen metingen	dagen	De mediaan van het aantal dagen tussen twee opeenvolgende metingen
Weerhouden	/	Indicator die aangeeft of deze filter na een check op datakwaliteit
Reden	/	Indien niet weerhouden, de reden
evp	%	Het percentage variantie dat door neerslag en verdamping verklaard kan worden bij de basis-Pastasanalyse. Dit wordt beschouwd als indicator voor het freatische gedrag van het grondwater
Trend	cm/jaar	De trend die door het eenvoudige Pastas-model gesimuleerd wordt, dit is een check voor het freatisch gedrag van het grondwater
Pastas_weerhouden	/	Indicator die aangeeft of de filter op basis van de Pastas-analyse weerhouden is
diagn_ok	/	Indicator die aangeeft of er sprake is van geen trend (True) of wel een trend
response_max	dagen	De tijd waarop 99% van de reactie op een impuls plaats gevonden heeft
Rfuncbasis_	/	De gebruikte response functie bij de eenvoudige Pastas-analyse, standaard de gamma-functie
finaal_weerhouden	/	Indicator die aangeeft of filter finaal weerhouden is doordat deze filter de eerste van een put is
r2	/	De $R^2$ -waarde van de modelfit van de kortetermijnanalyse
rmse	m	De RMSE-waarde van de modelfit van de kortetermijnanalyse

EVP	%	Het percentage variantie dat door neerslag en verdamping verklaard kan worden bij de kortetermijnanalyse
recharge	/	Het geselecteerde rechargemodel bij de modelfit van de kortetermijnanalyse, waarbij in de huidige implementatie enkel het lineaire rechargemodel geïmplementeerd is
rfunctanalyse_	/	Het geselecteerde responsmodel in de modelfit van de kortetermijnanalyse, i.e. de gamma of exponentiële functie in de huidige implementatie
noise	/	Het geselecteerde noisemodel in de kortetermijnanalyse

Tabel 3: Gegevens opgeslagen in het bestand 'result\_p90\_Vlaanderen\_2016.csv'

Attribuut	Eenheid	Beschrijving
permkey_short	/	De cijfercode van de filter
permkey_fullbasis_	/	Link naar de filterfiche
gw_id	/	gw_id zoals deze ingeladen is
filternummer	/	Filternummer zoals deze ingeladen is
x	m	X-coördinaat van de filter (Lambert72)
y	m	Y-coördinaat van de filter (Lambert72)
NumberOfObs	/	Aantal observaties beschikbaar voor deze filter
Last_valid_date	/	Laatste beschikbare meting
gemiddelde diepte	m	Gemiddelde diepte (TAW) van de grondwatermetingen
Mediaan verschil tussen metingen	dagen	De mediaan van het aantal dagen tussen twee opeenvolgende metingen

Weerhouden	/	Indicator die aangeeft of deze filter na een check op datakwaliteit
Reden	/	Indien niet weerhouden, de reden
evp	%	Het percentage variantie dat door neerslag en verdamping verklaard kan worden bij de basis-Pastasanalyse. Dit wordt beschouwd als indicator voor het freatische gedrag van het grondwater
Trend	cm/jaar	De trend die door het eenvoudige Pastas-model gesimuleerd wordt, dit is een check voor het freatisch gedrag van het grondwater
Pastas_weerhouden	/	Indicator die aangeeft of de filter op basis van de Pastas-analyse weerhouden is
diag_ok	/	Indicator die aangeeft of er sprake is van geen trend (True) of wel een trend
response_max	dagen	De tijd waarop 99% van de reactie op een impuls plaats gevonden heeft
rfunc	/	De gebruikte response functie bij de eenvoudige Pastas-analyse, standaard de gamma-functie
finaal_weerhouden	/	Indicator die aangeeft of filter finaal weerhouden is doordat deze filter de eerste van een put is
ind_wetter	/	Aandeel van observaties dat vanaf 2016 hoger is dan de bovengrens van het predictie-interval
Ind_drier	/	Aandeel van observaties dat vanaf 2016 lager is dan de ondergrens van het predictie-interval
ind_drymonths_wetter	/	Aandeel van observaties dat vanaf 2016 in de droge maanden hoger is dan de

		bovengrens van het predictie-interval
ind_wetmonths_wetter	/	Aandeel van observaties dat vanaf 2016 in de natte maanden hoger is dan de bovengrens van het predictie-interval
ind_drymonths_drier	/	Aandeel van observaties dat vanaf 2016 in de droge maanden lager is dan de ondergrens van het predictie-interval
ind_wetmonths_drier	/	Aandeel van observaties dat vanaf 2016 in de natte maanden lager is dan de ondergrens van het predictie-interval

Deze bestanden kunnen gemakkelijk in een GIS-interface geploteerd worden doordat de x- en y-coördinaten in deze .csv-bestanden opgenomen zijn, waarna verschillende analyses uitgevoerd kunnen worden. De kaarten getoond in Sectie 1 kunnen hier wel niet exact mee gereproduceerd worden. Doordat voor de finale code enkel publieke gegevens gebruikt zijn en niet voor elke filter meteorologische gegevens beschikbaar waren, is de dataset die gebruikt is om bovenstaande bestanden te maken licht verschillend van de initiële dataset. De algemene tendensen blijven echter wel dezelfde, en mits meer gegevens beschikbaar zijn laat de code nu toe om de analyse vlot uit te breiden.

Om deze bestanden vlot te kunnen weergeven, is de stijl zoals gebruikt voor het maken van de kaarten getoond in Secties 1.1.3 en 1.1.4 ook opgeslagen. Door de volgende bestanden kunnen de kaarten van de korte- en langetermijnanalyse vlot gereproduceerd worden:

- Langetermijnanalyse.qml: dit bestand laat toe om de weergave van Figuur 2 te reproduceren, mits het aan het bestand 'stats\_trend\_alpha01.csv' gekoppeld wordt.
- Kortetermijnanalyse.qml: dit bestand laat toe om de weergave van Figuur 7 te reproduceren, mits het aan het bestand 'result\_p90\_Vlaanderen\_2016.csv' gekoppeld wordt.

### 3 Referenties

- Brakenhoff, D. A. (2022). Application of Time Series Analysis to Estimate Drawdown From Multiple Well Fields. *Frontiers in earth science*, 10, 907609.
- Collenteur, R. A. (2019). Pastas: open source software for the analysis of groundwater time series. *Groundwater*, 57(6), 877-885.

Collenteur, R. A. (2021). Estimation of groundwater recharge from groundwater levels using nonlinear transfer function noise models and comparison to lysimeter data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2931-2949.

Staes, J., Ooms, M., Van de Velde, J., & Wolfs, V. (2023). *Praktijkgids Monitoring – Blue Deal in opdracht van Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW)*.