

## Rapportage monitoring Kreekrug Infiltratie Systeem 2025



## Rapportage monitoring Kreekrug Infiltratie Systeem 2025

**Auteur(s)**

Pieter Pauw

## Rapportage monitoring Kreekrug Infiltratie Systeem 2025

<b>Opdrachtgever</b>	Provincie Zeeland
<b>Contactpersoon</b>	Vincent Klap
<b>Projectreferenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Kreekruginfiltratie, zoet en zout grondwater, onttrekking voor irrigatie

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	23-12-2025
<b>Projectnummer</b>	11206298-003
<b>Document ID</b>	11206298-003-BGS-0004
<b>Pagina's</b>	22
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	Definitief

### Auteur(s)

	Pieter Pauw	

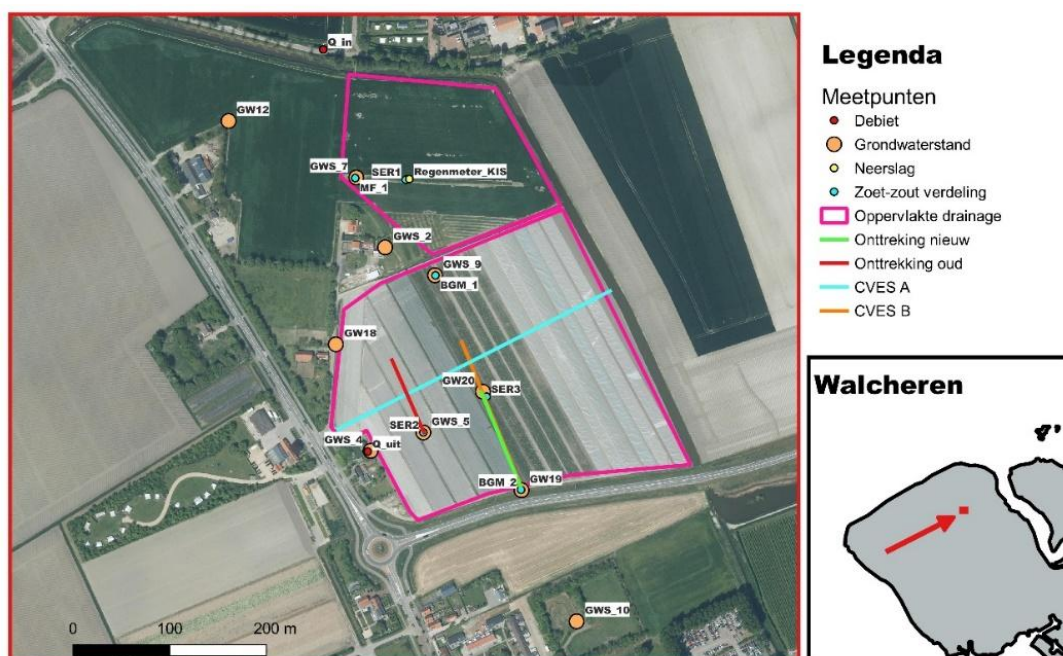
# Inhoud

	<b>Inhoud</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Resultaten monitoring 2025</b>	<b>7</b>
2.1	Grondwaterstanden, neerslag, infiltratie en onttrekking	7
2.2	Monitoring zoutgehalte grondwater	9
<b>3</b>	<b>Discussie</b>	<b>13</b>
3.1	Effecten van neerslag, verdamping, infiltratie en onttrekking op de dikte van de zoetwaterlens	13
3.2	Relatie grondwaterstand – dikte zoetwaterlens	13
<b>4</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Bronvermelding</b>	<b>17</b>
<b>A</b>	<b>Overzicht meetpunten</b>	<b>18</b>
<b>B</b>	<b>Grondwaterstanden 2023-2025</b>	<b>19</b>
<b>C</b>	<b>Analyse Gewasbeschermingsmiddelen (GBM)</b>	<b>20</b>
<b>D</b>	<b>Verdamping Vlissingen</b>	<b>21</b>

# 1 Introductie

Het Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS) bevindt zich ten oosten van de Oostkapelseweg 87 in Serooskerke (Figuur 1) en wordt sinds 2013 gebruikt om de zoetwaterlens onder de kreekrug te vergroten via peilgestuurde drainage en kunstmatige infiltratie. Tussen 2013 en 2021 was de monitoring van het KIS voornamelijk gericht op de ontwikkeling van de dikte van de lens. Eind 2022 is de monitoring uitgebreid om ook de invloed van de twee horizontale onttrekkingen te onderzoeken. Het algemene doel daarbij is om inzicht te krijgen in de relatie tussen neerslag, verdamping, onttrekking, infiltratie en de dynamiek van zoet en zout grondwater om daarmee te kunnen bepalen hoeveel zoet water er duurzaam kan worden geïnfilteerd en onttrokken. Figuur 1 en Tabel 1 geven een overzicht van het monitoringsnetwerk. Voor verdere details, inclusief de gegevens die zijn verzameld bij de aanleg (boringen, boorgatmetingen, etc.) wordt verwezen naar Deltares (2023).

Sinds 2023 rapporteert Deltares de jaarlijkse resultaten van de monitoring. Voorliggende rapportage richt zich op de resultaten van 1 januari – begin december 2025, en plaatst deze in perspectief met de resultaten die sinds de start van de monitoring zijn verzameld.



Figuur 1: Overzicht van de meetpunten. Zie ook Bijlage A.

Tabel 1: Overzicht van de in Figuur 1 getoonde meetpunten waarmee de effecten van het KIS worden gemonitord. 'GWS' en 'GW' refereren aan 'grondwaterstand'. 'SER' is het label voor het geo-elektrische monitoringssysteem, 'BGM' staat voor 'boorgatmeting' en 'MF' staat voor 'minifilter'.

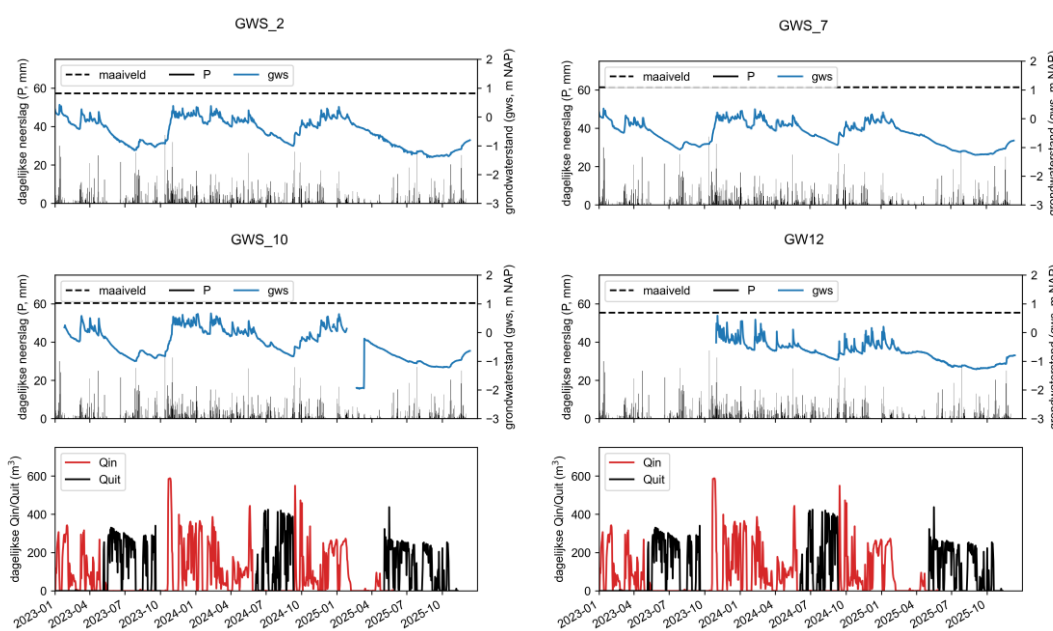
Doel monitoring	Meetpunten	Methode en leverancier	Monitoringsfrequentie
Grondwaterstanden	GWS_2 GWS_4 GWS_7 GWS_9 GWS_10 GWS_5 GW12 (POP3 Waterhouderij) GW18 (POP3 Waterhouderij) GW19 (POP3 Waterhouderij) GW20 (POP3 Waterhouderij)	Druksensoren (Imageau alleen GWS_5, overige Munisense)	1 uur
Zoet-zout verdeling dicht bij onttrekking	SER2 SER3	Geo-elektrisch (Imageau)	Dagelijks
Zoet-zout verdeling verder van onttrekking	SER1 MF_1 BGM_1 BGM_2	SER1: geo-elektrisch (Imageau) MF_1: peilbuisnest (bemonstering grondwater) BGM_1 en BGM_2: EM-inductie boorgatmeting in een diepe peilbuis	SER1: dagelijks MF_1, BGM_1 en BGM_2: jaarlijks
Infiltratiegebieden	Q_in	Mechanische watermeters (Elster). Telemetrie: Leiderdorp Instruments	Continu
Onttrekkingsgebieden	Q_uit	Mechanische watermeters (Honeywell) Telemetrie: Leiderdorp Instruments & Dolphin	Continu
Monitoren neerslag	Regenmeter_KIS	Weerstation (Sencrop, regenmeter is een 'double tipping bucket')	1 uur

## 2 Resultaten monitoring 2025

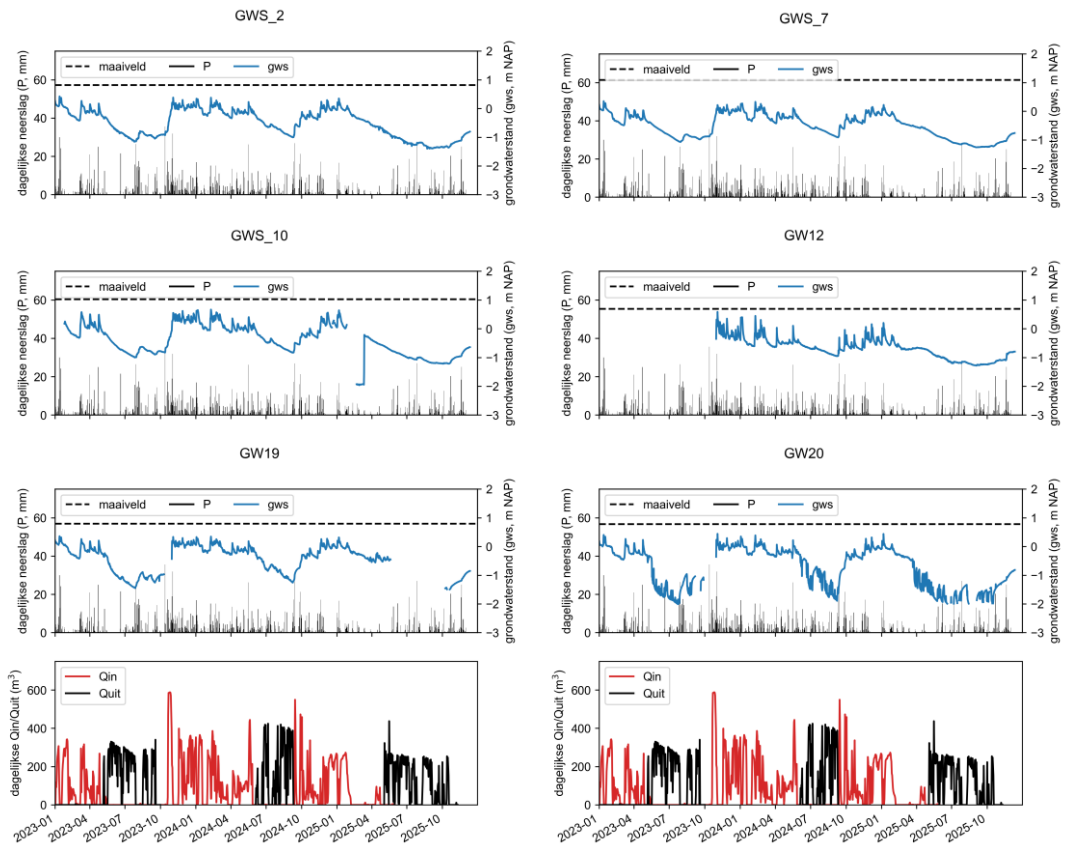
### 2.1 Grondwaterstanden, neerslag, infiltratie en onttrekking

In het voorjaar en in de zomer van 2025 zijn de sensoren bij respectievelijk GW19 en GW20 kapot gegaan. Deze sensoren zijn vervangen door nieuwere versies en functioneren momenteel (december 2025) weer naar behoren. Ook de neerslagmeter is in het najaar kapot gegaan en zal vanwege de lange levertijd pas in januari 2026 worden vervangen. In alle gevallen waren de gebreken gerelateerd aan elektronica (van fysieke schade was geen sprake).

De ontbrekende data van het neerslagstation Regenmeter\_KIS zijn opgevuld met data van nabijgelegen (<10 km) weerstations die ook aangesloten zijn op het Sencrop dataplatform. Hoe dit precies is gedaan is onbekend; hier wordt aangenomen dat de neerslagdata zoals weergegeven in zijn Figuur 2 en Figuur 3 representatief zijn voor de gevallen neerslag in het onderzoeksgebied. De grondwaterstanden van GW19 en GW20 zijn met machine learning technieken geïnterpoleerd (zie sectie 3) maar zijn in Figuur 3 niet-geïnterpoleerd weergegeven voor een visuele indruk van de hiaten. Het hiaat in de data van GWS\_10 begin 2025 is gerelateerd aan batterij-uitval. De achterliggende redenen voor de grote hiaten in 2023 in sommige meetseries zijn over het algemeen gerelateerd aan batterijuitval en de overdracht vanuit een gerelateerd onderzoeksproject, en zijn in onze rapportage van de monitoring van 2023 nader besproken (Deltares, 2023b).



Figuur 2: Grondwaterstand (gws), neerslag (P), onttrekking (Quit) en infiltratie (Qin) van de meetpunten GWS\_2, GWS\_7, GWS\_10, GW12. P, Quit en Qin zijn voor alle meetpunten gelijk. In Bijlage B zijn de grondwaterstanden voor 2023, 2024 en 2025 afzonderlijk weergegeven.



Figuur 3: Grondwaterstanden (gws), neerslag (P), onttrekking (Quit) en infiltratie (Qin) van de meetpunten GWS\_4, GWS\_5, GWS\_9, GW18, GW19, GW20. Een deel van het hiaat bij GW19 in de zomer van 2025 is gerelateerd aan droogvallen van de peilbuis.

Figuur 2 en Figuur 3 geven een overzicht van de neerslag (Regenmeter\_KIS), infiltratie, onttrekking en grondwaterstanden bij respectievelijk de meetpunten verder (GWS\_2, GWS\_7, GWS\_10, en GW\_12) en relatief dichtbij de onttrekkingen (GWS\_4, GWS\_5, GWS\_9, GW18, GW19, GW20)<sup>1</sup>. De grondwaterstanden vertonen net als in 2023 en 2024 een logische relatie met neerslag, infiltratie, onttrekking en verdamping<sup>2</sup>; over het algemeen valt de periode van relatief hoge grondwaterstanden (winterhalfjaar) samen met de periode waarin geïnfiltreerd wordt, wanneer oppervlaktewater door relatief veel neerslag en minder verdamping beschikbaar is voor infiltratie.

In Bijlage B zijn de grondwaterstanden voor 2023, 2024 en 2025 afzonderlijk weergegeven. Op basis van een vergelijking tussen 2025 enerzijds, en 2023 en 2024 anderzijds, kan het volgende worden gesteld:

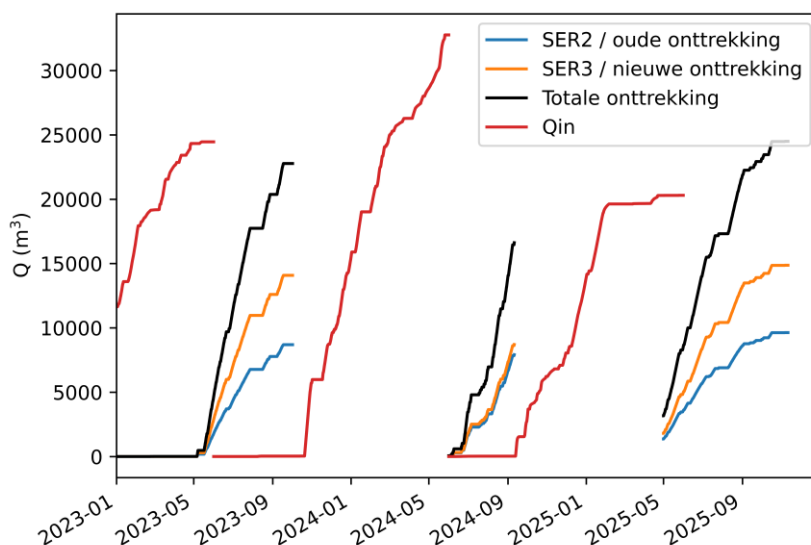
- De grondwaterstanden in 2025 zijn vanaf medio half maart op alle meetpunten nagenoeg altijd lager dan de grondwaterstanden in dezelfde periode in zowel 2023 als 2024.
- De daling van de grondwaterstanden vindt in 2025 veel eerder (medio half februari) plaats dan in 2023 en 2024. Dit is het gevolg van het uitblijven van infiltratie (amper meer na januari (Figuur 4)) en de beperkte neerslag.

<sup>1</sup> Zie Figuur 1 en Bijlage A voor de ligging van de meetpunten.

<sup>2</sup> Verdamping wordt niet gemeten nabij het KIS. KNMI data van weerstation Vlissingen zijn hier niet getoond maar terug te vinden in Bijlage D.

- De grondwaterstand stijgt medio half oktober weer als gevolg van de neerslag, vergelijkbaar met 2023. De stijging in 2025 is echter veel minder sterk dan die van 2023. Ook dit kan weer verklaard worden door de beperktere neerslag en geen infiltratie in de laatste maanden van 2025.
- De dalende trend van de grondwaterstanden in 2025 wordt alleen eind juli even onderbroken als gevolg van wat neerslag. De stijging is beperkt tot maximaal enkele decimeters op locaties verder van de onttrekkingen af, en iets meer nabij de onttrekkingen als gevolg van het tijdelijk stoppen van de onttrekking.

In Figuur 4 is te zien dat er in 2025 meer (in totaal ruim 24000 m<sup>3</sup>) is onttrokken dan in 2023 en 2024 (respectievelijk ruim 16000 m<sup>3</sup> en 22000 m<sup>3</sup>), terwijl er minder is geïnfiltreerd (~20000 m<sup>3</sup> in 2024/2025 vs. 24000 m<sup>3</sup> en 32000 m<sup>3</sup> in respectievelijk 2022/2023 en 2023/2024). De verdamping (zie Bijlage D) tussen 1 januari en 1 december bedroeg in 2025 727 mm, terwijl deze in 2023 en 2024 respectievelijk 698 en 641 mm bedroeg.

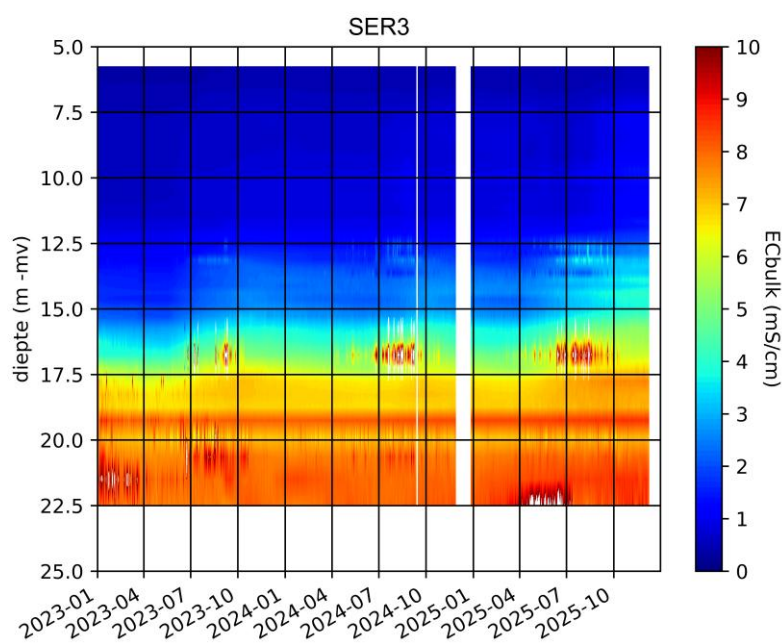
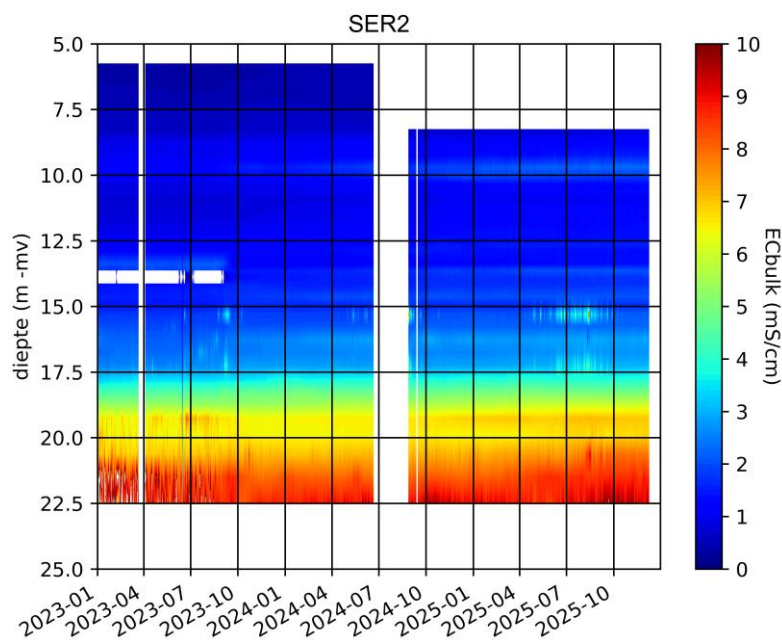


Figuur 4: Cumulatief verloop van de infiltratie (Qin) en onttrekkingen in 2023, 2024 en 2025.

## 2.2 Monitoring zoutgehalte grondwater

In Figuur 5 zijn de resultaten van de dagelijkse metingen van de *ECbulk*<sup>3</sup> op locaties SER2 en SER3 weergegeven over het gehele dieptebereik. De witte plekken duiden op hiaten in de data of een waarde die buiten een realistisch bereik valt. SER1 is hier buiten beschouwing gelaten omdat een aantal elektroden niet meer te gebruiken zijn, vermoedelijk vanwege corrosie.

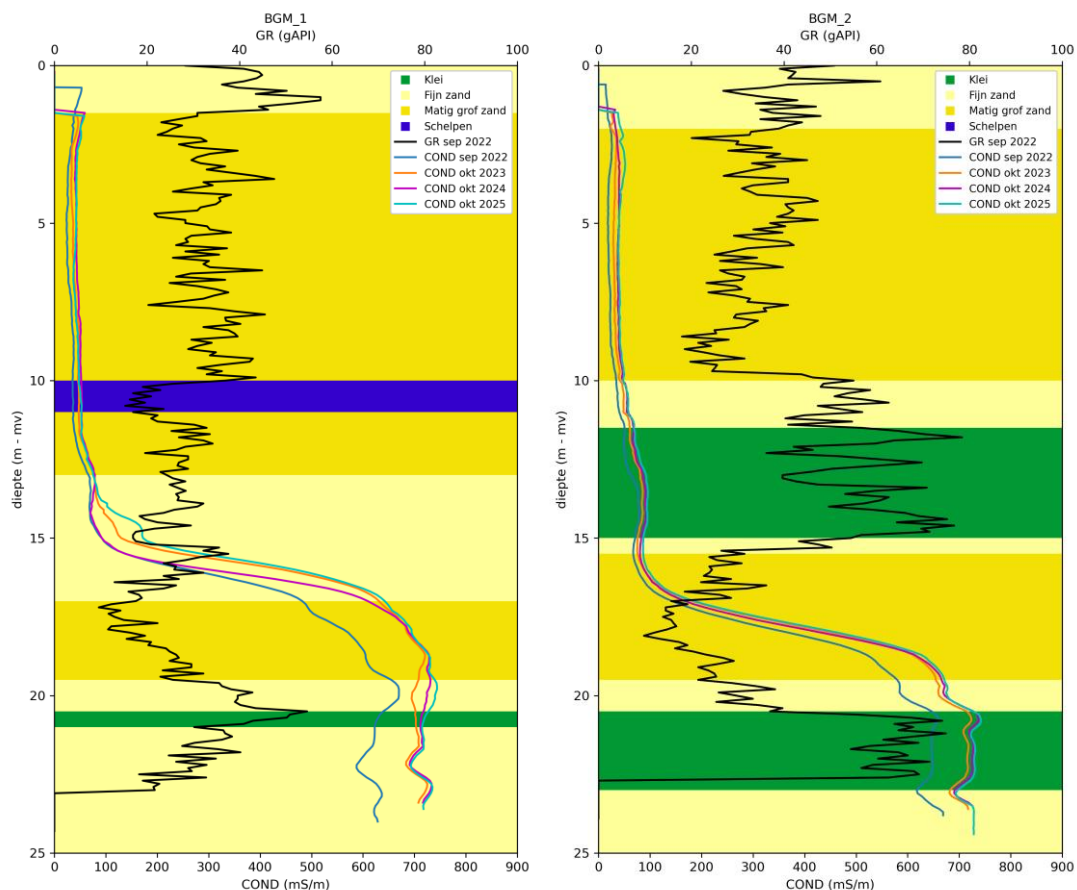
<sup>3</sup> Zie voor een motivatie voor het gebruik van de *ECbulk* als maat voor het (monitoren van) het zoutgehalte van het grondwater (Deltares, 2023).



Figuur 5: De monitoringsgegevens van SER2 (boven) en SER3 (onder).

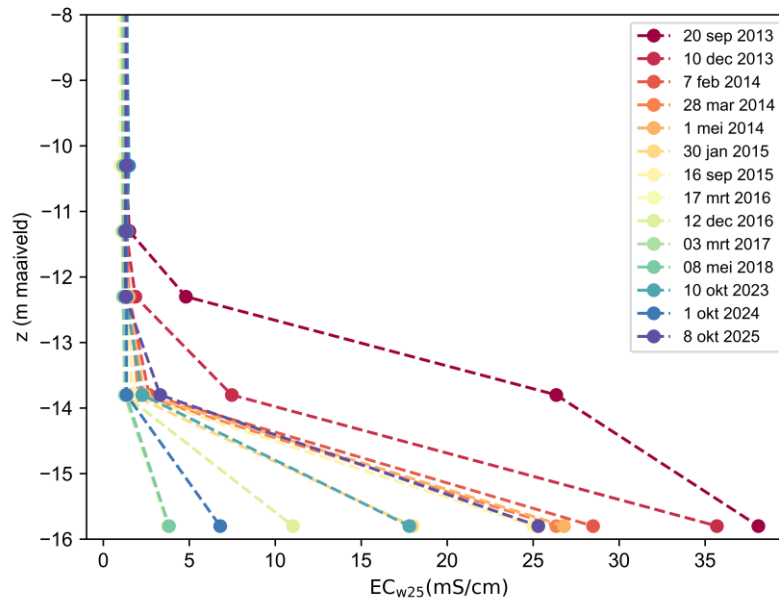
Net als in 2023 en 2024 is de grootste dynamiek in *ECbulk* waar te nemen bij SER3. Tussen 12.5 en 17.5 m -mv is de *ECbulk* in de zomer van 2025 hoger dan tijdens de zomers van 2023 en 2024. Dit duidt op doorgaande verzilting onder de onttrekking. Bij SER2 is een enigszins vergelijkbaar, maar veel gedemptere verziltingstrend zichtbaar rond 17.5 m -mv. Daarboven en -onder lijkt de *ECbulk* stabiel.

De resultaten van de boorgatmetingen (Figuur 6) laten zien dat er op locatie BGM\_1 verzilting heeft plaatsgevonden tussen 13 en 17 m -mv ten opzichte van 2024, terwijl er vergeleken met het jaar ervoor hier nog sprake was van verzoeting. Ook tussen ~19 en 21 m -mv zijn de *ECbulk* waarden toegenomen ten opzichte van zowel 2023 als 2024. Bij BGM\_2, dicht bij het eind van de nieuwe onttrekking, zijn amper verschillen te zien tussen 13 en 17 m -mv.

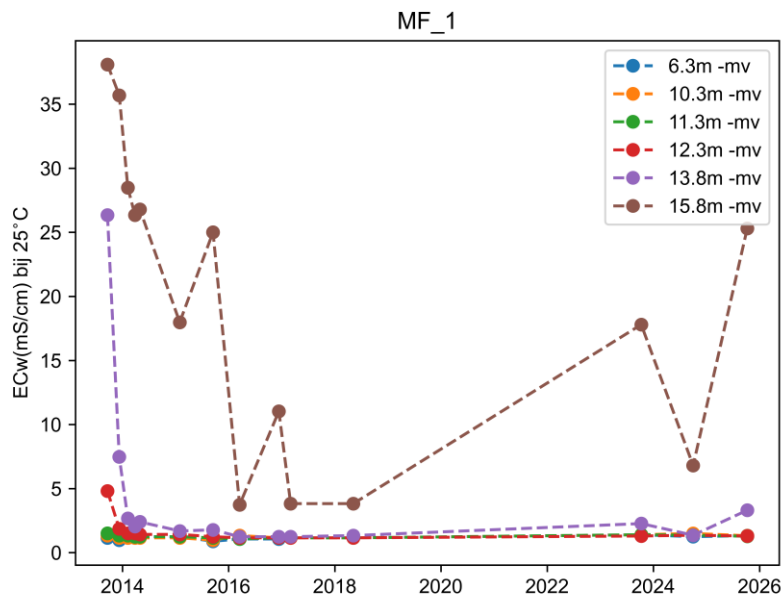


Figuur 6: Resultaten van de boorgatmetingen in BGM\_1 (links) en BGM\_2 (rechts), GR=gamma straling, COND=elektrische geleidbaarheid (ECbulk).

Op basis van de resultaten van de bemonstering van de minifilters (Figuur 7) valt af te leiden dat ook ten noorden van de onttrekkingen verzilting ten opzichte van 2024 is opgetreden. Bij vergelijking van de metingen valt op te maken dat de resultaten van de bemonstering van 8 oktober 2025 het meest lijken op die van 16 september 2015. Figuur 7 bevestigt dit beeld. Ondanks de jaarlijkse infiltratie en het opzetten van de drainagepeilen is er dus ten opzichte van zo'n 10 jaar geleden netto geen verzoeting of verzilting zichtbaar. Binnen deze periode heeft de dikte van de zoetwaterbel wel gevarieerd.



Figuur 7: Resultaten van de bemonstering van de minifilters (MF\_1) als functie van de diepte ten opzichte van maaiveld. EC<sub>w</sub> is de elektrische geleidbaarheid van het water bij 25 °C. De resultaten van 30 januari 2015 en 10 oktober 2023 zijn dusdanig vergelijkbaar dat eerstgenoemde niet zichtbaar is in deze figuur.



Figuur 8: Resultaten van de bemonstering van de minifilters (MF\_1) als functie van de tijd.

## 3 Discussie

### 3.1 Effecten van neerslag, verdamping, infiltratie en onttrekking op de dikte van de zoetwaterlens

In de periode 1 januari – 1 december 2025 is er 527 mm aan cumulatieve neerslag geregistreerd. Dat is flink minder dan in dezelfde periode in 2023 (887 mm) en 2024 (830 mm). De som van de Makkink referentieverdamping (Hooghart & Lablans, 1988) bedroeg in 2025 in deze periode 726 mm. Dat is meer dan in 2023 (698 mm) en 2024 (641 mm). Logischerwijs zijn de grondwaterstanden lager dan voorgaande jaren. De gemiddelde grondwaterstand in 2025 in de periode 1 januari - 1 december is bij GWS\_5 en GWS\_20, relatief dicht bij de onttrekkingen, zo'n 70 cm lager dan in dezelfde periode in 2024. Verder van de onttrekkingen is dit verschil minder, maar nog steeds gemiddeld zo'n 50 cm. In 2024 was in dezelfde periode de grondwaterstand enkele decimeters hoger dan in 2023.

De lage grondwaterstanden hebben geleid tot verzilting, zowel dicht bij de onttrekkingen als verder daarbuiten zoals te zien is in Figuur 5 t/m Figuur 8. Ten opzichte van 2024 is ook op grotere afstand van de onttrekking verzilting zichtbaar is, terwijl daar in 2024 ten opzichte van 2023 juist nog sprake was van verzoeting. Onder de onttrekkingen blijft de verzilting doorgaan, en is prominenter bij de nieuwe onttrekking (SER3) dan bij de oude onttrekking (SER2). Dat kan vermoedelijk verklaard worden door een lager debiet van de oude onttrekking en (vooral) meer kleilagen die het opkegelen van zout grondwater vertragen of zelfs verhinderen.

Zonder verdere (model)analyse of langdurige monitoring is het lastig te bepalen wanneer een nieuw dynamisch evenwicht is bereikt (Deltares, 2018). Dit inzicht is wel nodig om te analyseren of de huidige infiltratie- en onttrekkingsdebieten en de (veranderende) hydrologische randvoorwaarden (zoals neerslag en verdamping) passen in een duurzaam gebruik van de zoetwaterlens onder de kreekrug.

### 3.2 Relatie grondwaterstand – dikte zoetwaterlens

In navolging op de analyse van de relatie tussen de grondwaterstand en de dikte van de zoetwaterlens in onze rapportage van 2024, is hier het cumulatieve verschil van de grondwaterstand met de gemiddelde grondwaterstand ( $\Psi$ )<sup>4</sup> nader geanalyseerd.  $\Psi$  is als volgt gedefinieerd:

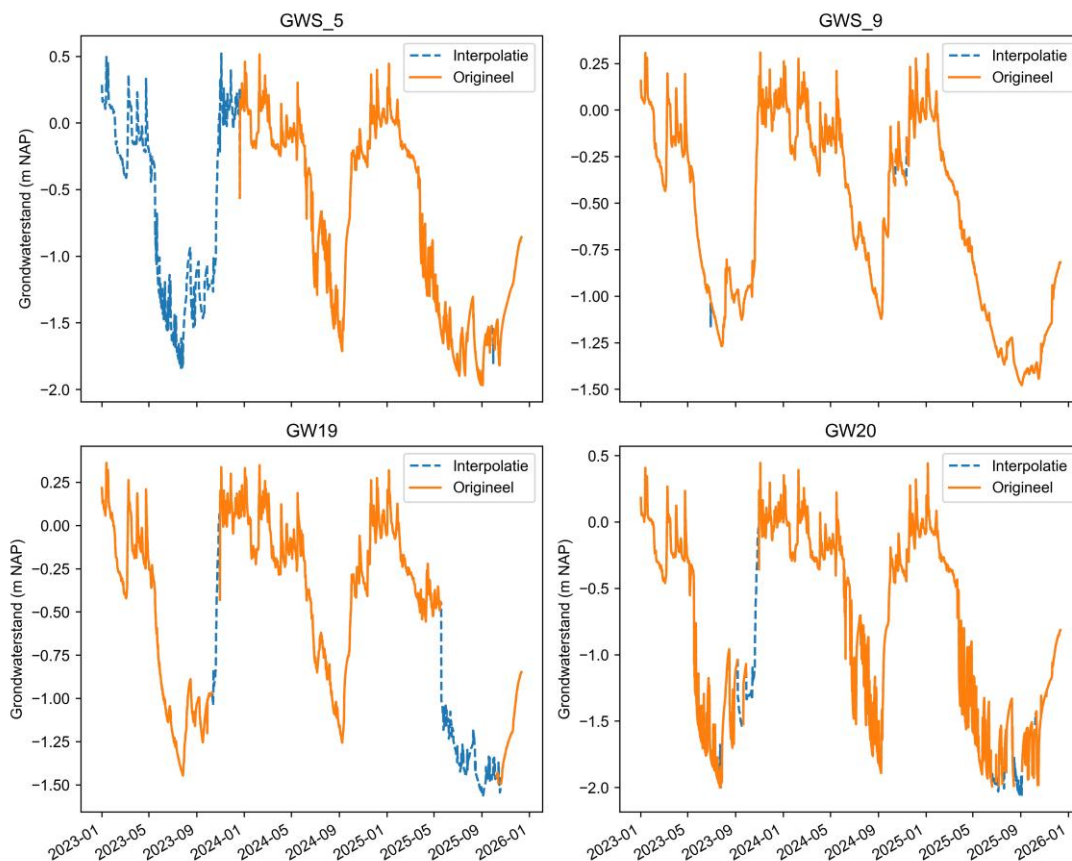
$$\Psi = \sum_{i=1}^N (\mu - h_i) \quad (1)$$

Hierbij is het  $h_i$  de grondwaterstand op dag  $i$  binnen een periode van  $N$  dagen, waarbij er wordt uitgegaan van een constante (hjaar-vrije) tijdserie.  $\mu$  is de gemiddelde grondwaterstand binnen de periode van  $N$  dagen, maar hiervoor kan ook een andere grondwaterstand worden gebruikt, zoals verderop zal worden beschreven.

---

<sup>4</sup> Het gebruik van het symbol  $\Psi$  (psi) is hier willekeurig gekozen, maar zou wellicht in de toekomst als 'practical salinity indicator' gebruikt kunnen worden.

Om  $\psi$  te analyseren, zijn allereerst zijn de grondwaterstanden bij GWS\_5 en GW20 geïnterpoleerd om hiaat-vrije tijdseries te genereren. Hiervoor is de Iterative Imputer functie van scikits-learn<sup>5</sup> gebruikt; een machine learning Python bibliotheek. Voor het interpoleren zijn ook GW19 en GWS\_9 gebruikt als referentie-informatie. Het resultaat van deze interpolaties is weergegeven in Figuur 9. In dit figuur zijn ook GWS\_5 en GW19 geïnterpoleerd in periodes van ontbrekende data of droogval van de sensor.



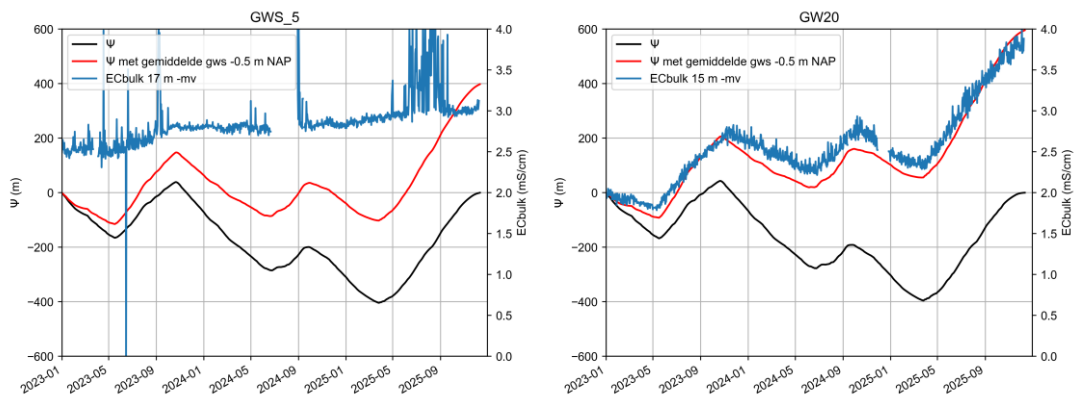
Figuur 9: Interpolatie van hiaten in de grondwaterstanden op locaties GWS\_5, GWS\_9, GW19 en GW20.

De interpolaties zijn niet nader onderzocht op nauwkeurigheid. Zeker in geval van grote hiaten, zoals bij GWS\_5 en GW19, moeten deze interpolaties daarom alleen als indicatie worden beschouwd. Dat geldt dus ook voor de analyse van  $\psi$  bij GWS\_5. Voor GW20 zijn de hiaten veel kleiner, en is  $\psi$  en de relatie met de dynamiek van de  $EC_{bulk}$  wel nader kwantitatief onderzocht.

Vervolgens zijn voor beide locaties de  $\psi$  -series berekend op twee manieren; 1) met de gemiddelde grondwaterstand gedurende de periode 1 januari 2023 – 1 december 2025, en 2) met een gemiddelde grondwaterstand van -0.5 m NAP (zie verderop). Deze series zijn tezamen met de  $EC_{bulk}$  waarden op 17 m -mv (SER2) en 15 m -mv (SER3) weergegeven in Figuur 10.

<sup>5</sup> <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.impute.IterativeImputer.html>

Voor beide  $\Psi$ -series bij de nieuwe onttrekking (SER3 en GW20) geldt dat de lokale minima en maxima bij benadering samen lijken te vallen met de lokale minima en maxima van de *ECbulk*, en daarmee dus de momenten waar respectievelijk verzoeting overgaat in verzilting en vice versa. De  $\Psi$ -serie op basis van de gemiddelde grondwaterstand (zwarte lijn in Figuur 10) over de gehele tijdserie laat echter (per definitie) geen opgaande trend zien. De *ECbulk* trend 'hoort' dus bij een hogere grondwaterstand. In de rapportage van 2024 is beschreven dat het omslagpunt van verzoeting en verzilting in 2024 ongeveer bij een grondwaterstand van -0.5 m NAP leek te liggen. Deze waarde is daarom gebruikt voor de tweede  $\Psi$ -serie (rode lijn in Figuur 10). In dit geval is er wel een stijgende trend in de  $\Psi$ -serie zichtbaar. Voor het jaar 2024, waarin de gemiddelde grondwaterstand ongeveer -0.5 m -NAP bedroeg, zou dit betekenen dat de *ECbulk* weer op de beginwaarde uit zou moeten komen. In Figuur 10 lijkt dit inderdaad bij benadering het geval te zijn. Dergelijke relaties zijn bij de nieuwe onttrekking over het algemeen binnen de gehele mengzone van zoet en zout grondwater aanwezig.



Figuur 10:  $\Psi$  tezamen met de *ECbulk* op respectievelijk 17 (SER2) en 15 (SER3) m -mv voor locaties GWS\_5 (links) en GW20 (rechts), voor de periode 1 januari 2023 – 1 december 2025.

Bij de oude onttrekking (SER2 en GWS\_5) is het, ondanks de onzekerheid in  $\Psi$ , waarschijnlijk dat er geen relatie is tussen de dynamiek van de *ECbulk* en  $\Psi$ . In Figuur 10 is de *ECbulk* op een diepte van -17 m NAP als voorbeeld genomen, maar ook op de andere dieptes is geen trend zichtbaar. Het is nog onduidelijk waar dit precies mee samenhangt, al lijkt een relatief hoge verticale weerstand (kleilagen) de meest voor de hand liggende verklaring. Dit zou aan de hand van modelonderzoek nader uitgezocht moeten worden.

## 4 Aanbevelingen

Op basis van voorliggende en vorige rapportages raden wij aan om aan de hand van model- en dataonderzoek het volgende verder te onderzoeken:

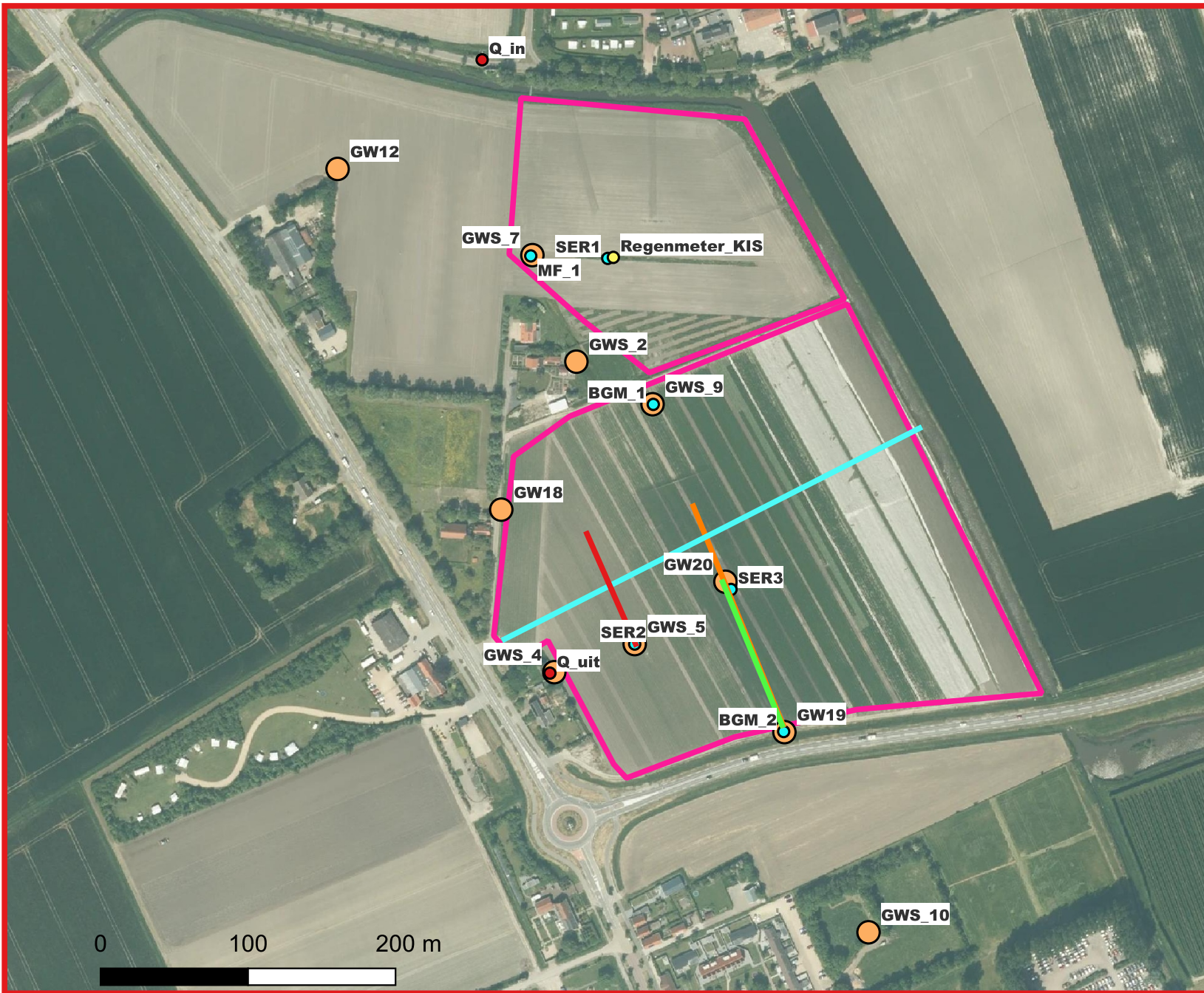
- Het vaststellen van een duurzaam gebruik van de onttrekkingen, en het bepalen van het bijbehorende debiet.
- Het onderzoeken van de invloed van slecht-doorlatende lagen in geulafzettingen onder de kreekruigen verzoeting en verzilting, inclusief (provincie-breed) geologisch systeembegrip van deze lagen.

Tenslotte verdient het aanbeveling een verklaring te geven voor de opvallend lage concentraties aan gewasbeschermingsmiddelen die in 2023 en 2024 zijn gemeten. Vanwege de lage afvoeren van de sloot bij de Kleine Putweg is in 2025 geen bemonstering van het oppervlaktewater verricht.

## 5 Bronvermelding

- Hooghart, J. C. & Lablans, W. N. (1988). *Van Penman naar Makkink: een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen. Technisch rapport TR-111.*
- Deltares (2018). *Evaluatie en verdiepend onderzoek naar grondwateronttrekkingsregels in de provincie Zeeland.*
- Deltares (2023). *11206298-002-BGS-0002-Uitbreiding monitoring en onderzoek Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS).*
- Deltares (2023b). *11206298-003-BGS-0001-Resultaten monitoring Kreekrug Infiltratie Systeem 2023.*

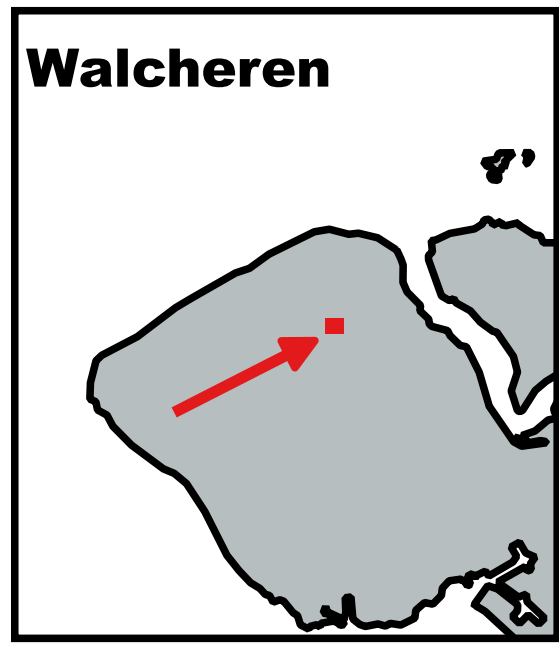
# A Overzicht meetpunten



# Legenda

## Meetpunten

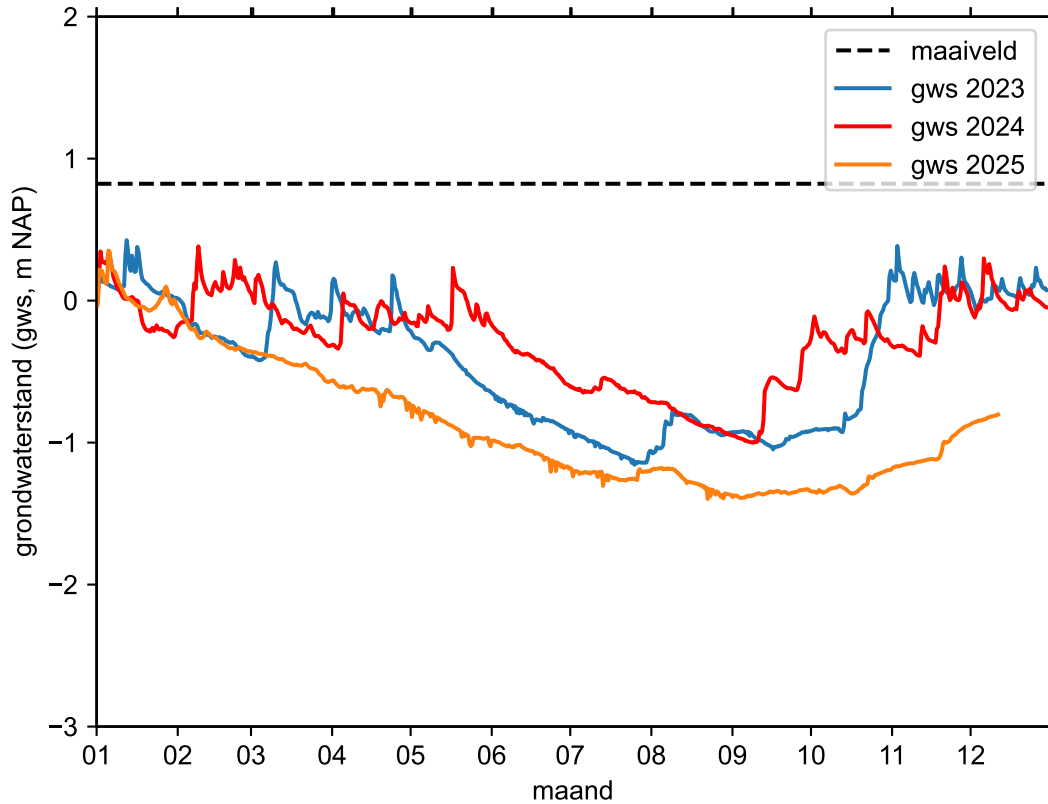
- Debiet
- Grondwaterstand
- Neerslag
- Zoet-zout verdeling
- Oppervlakte drainage
- Onttrekking nieuw
- Onttrekking oud
- CVES A
- CVES B



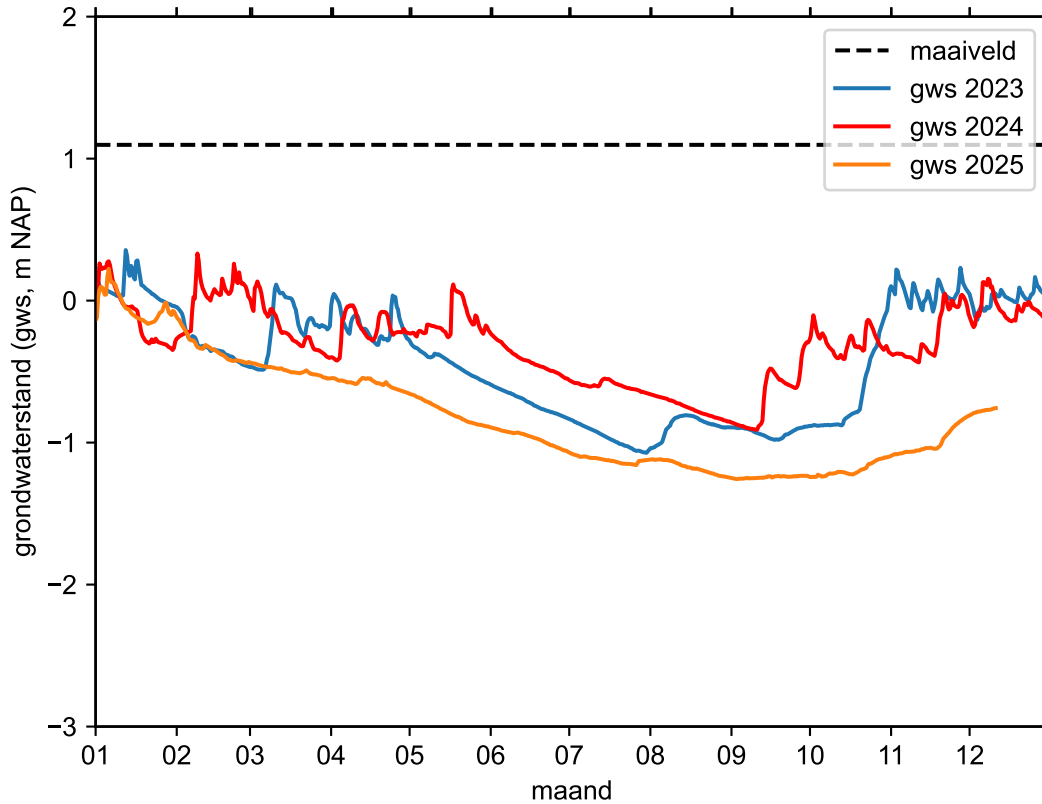
# Walcheren

## B Grondwaterstanden 2023-2025

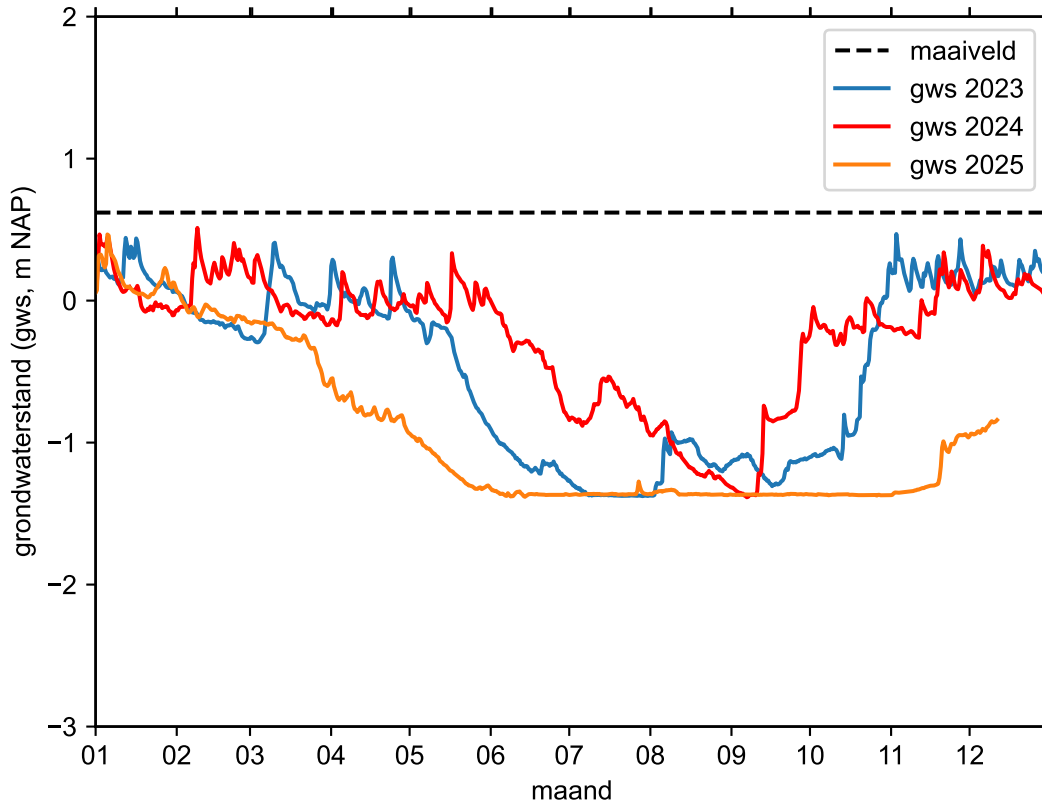
# GWS\_2



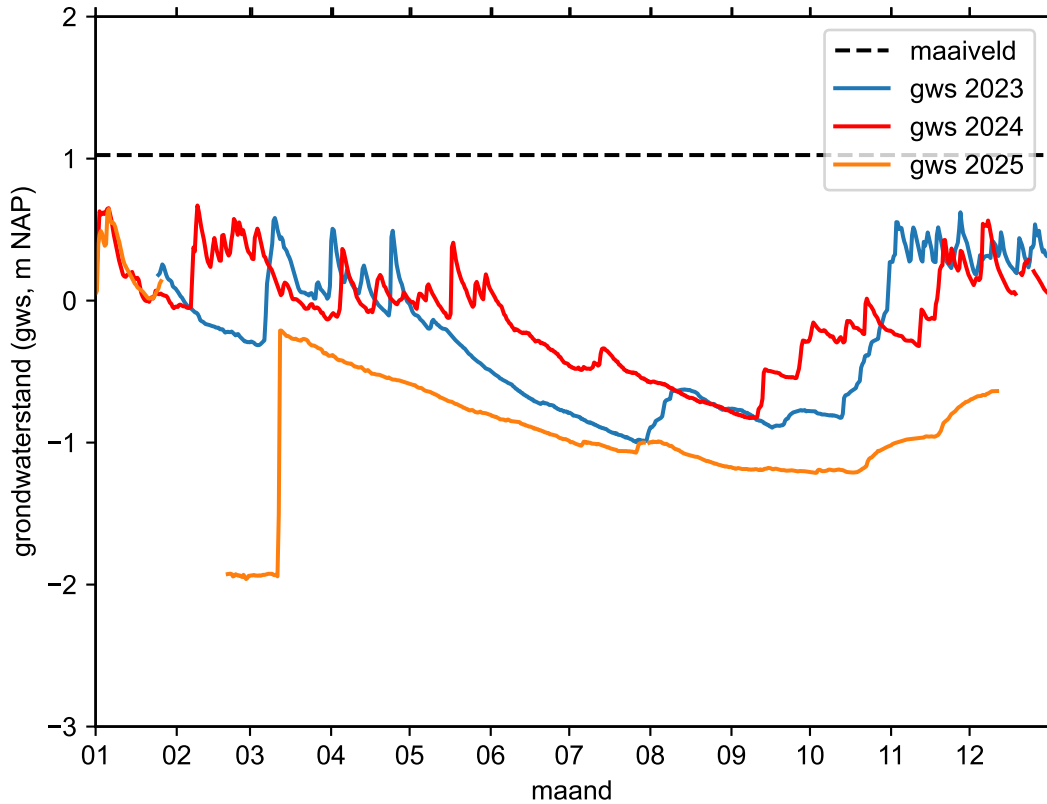
# GWS\_7



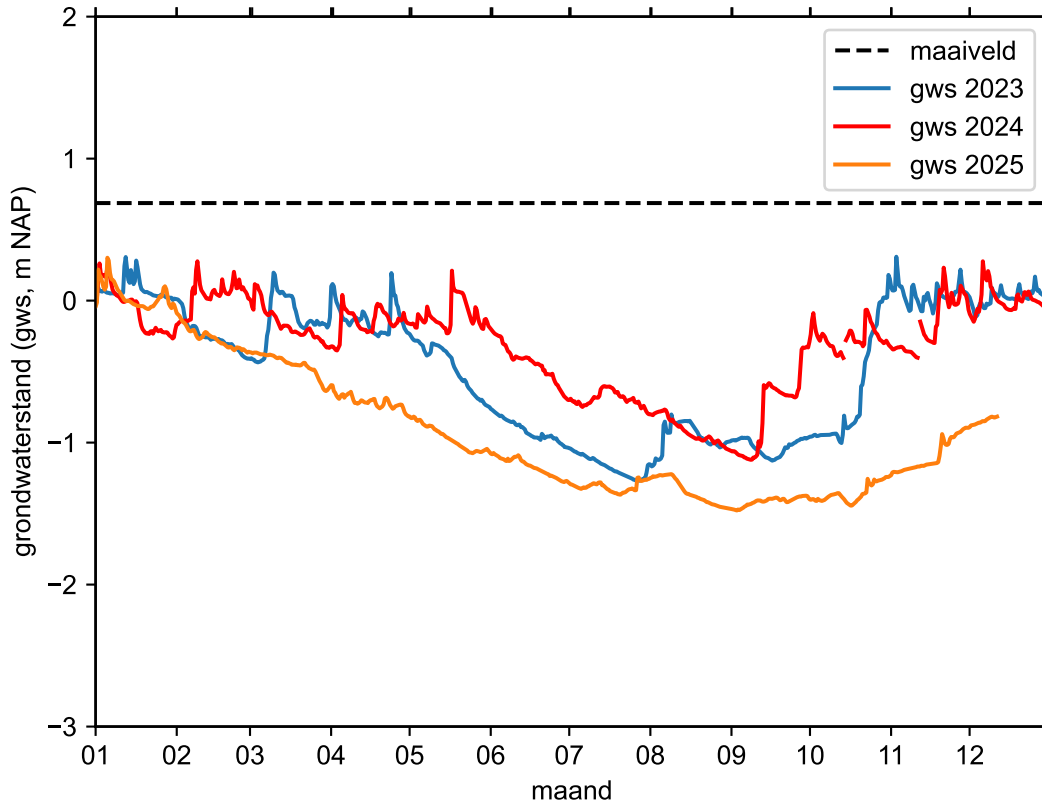
# GWS\_4



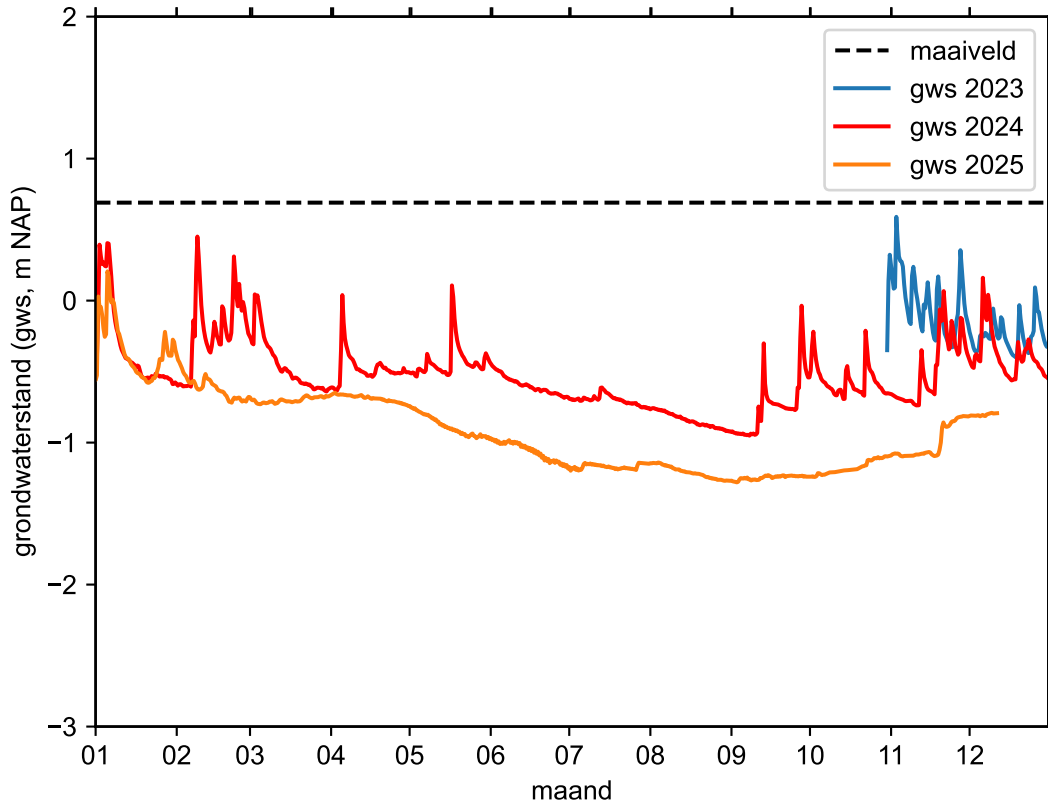
# GWS\_10



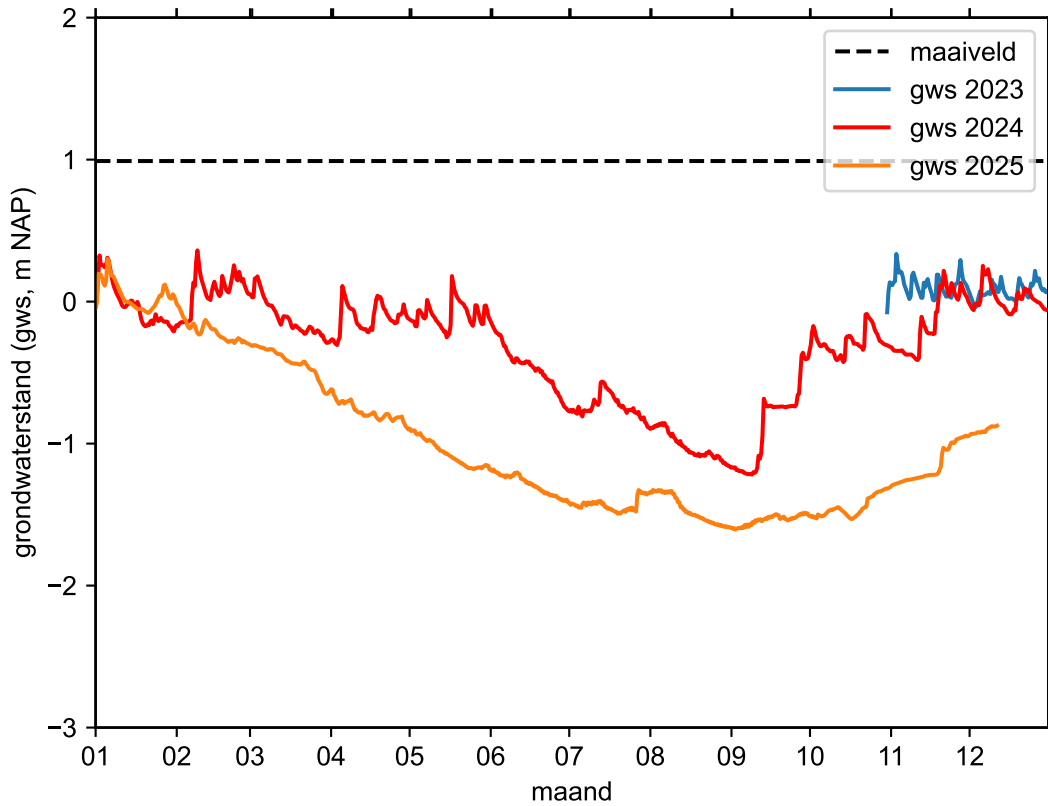
# GWS\_9



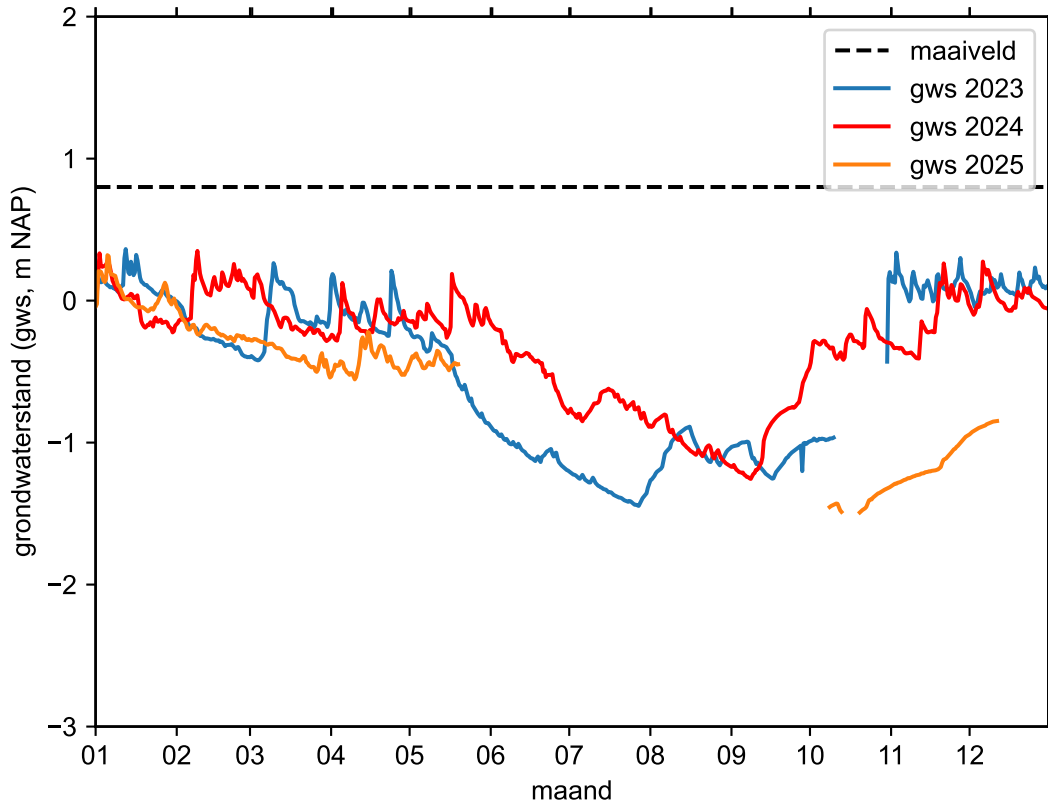
# GW12



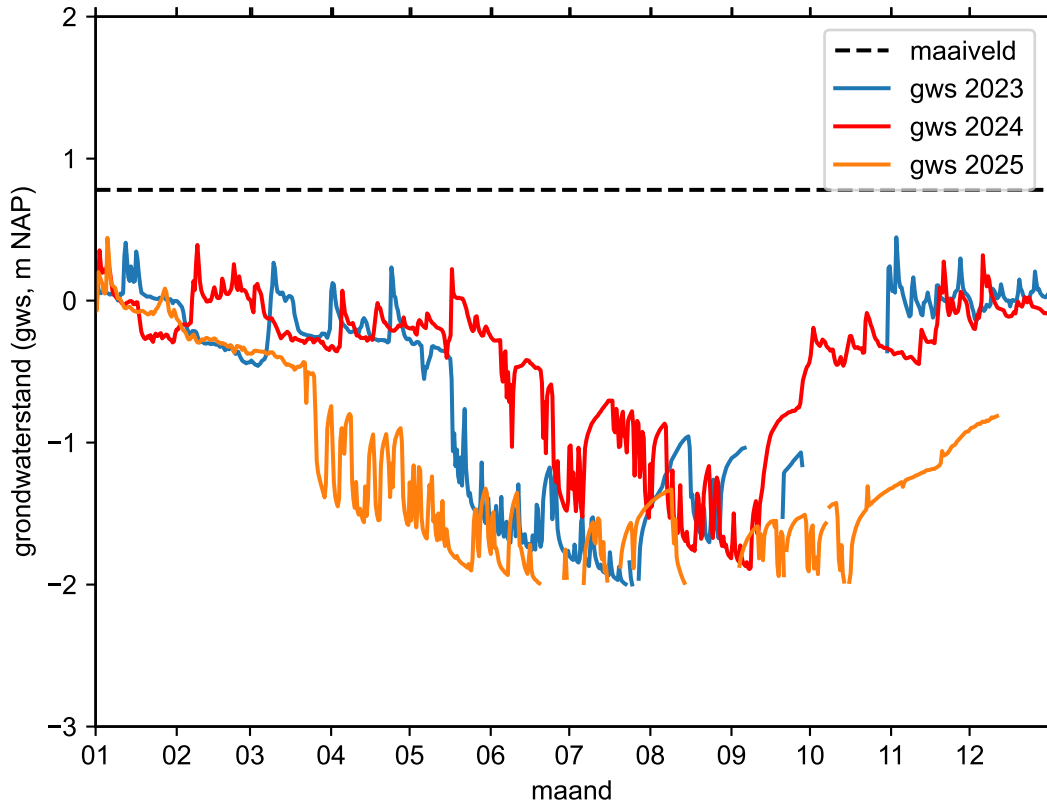
# GW18



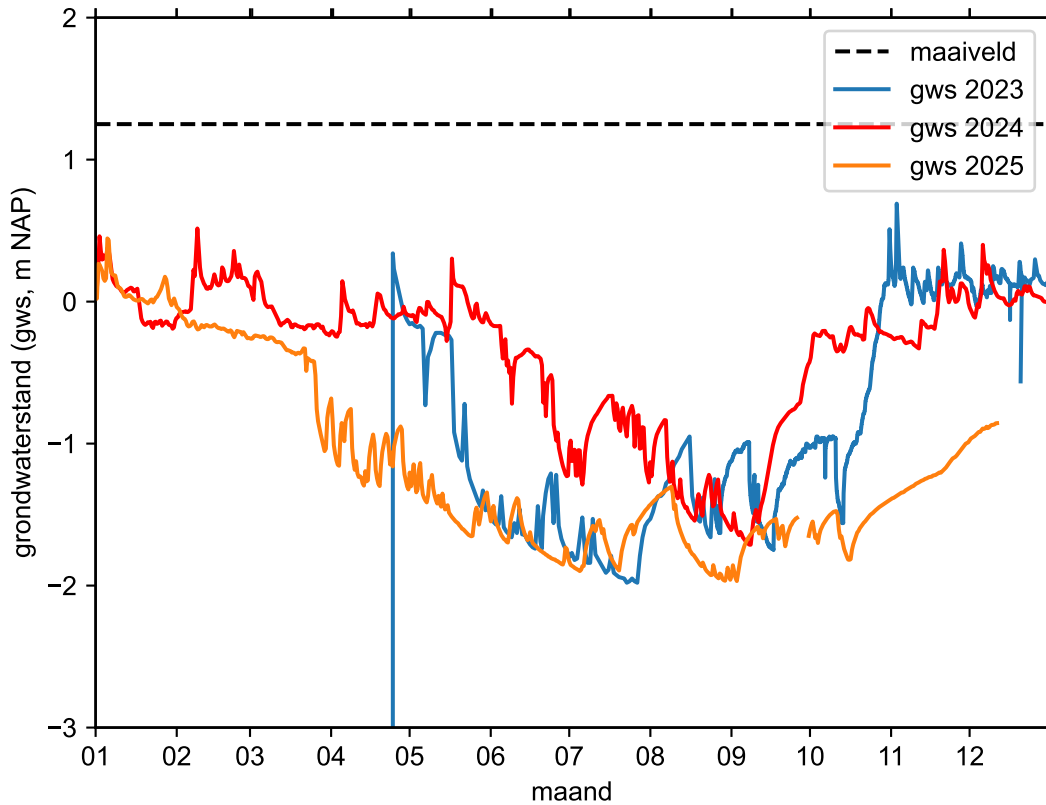
# GW19



# GW20



# GWS\_5

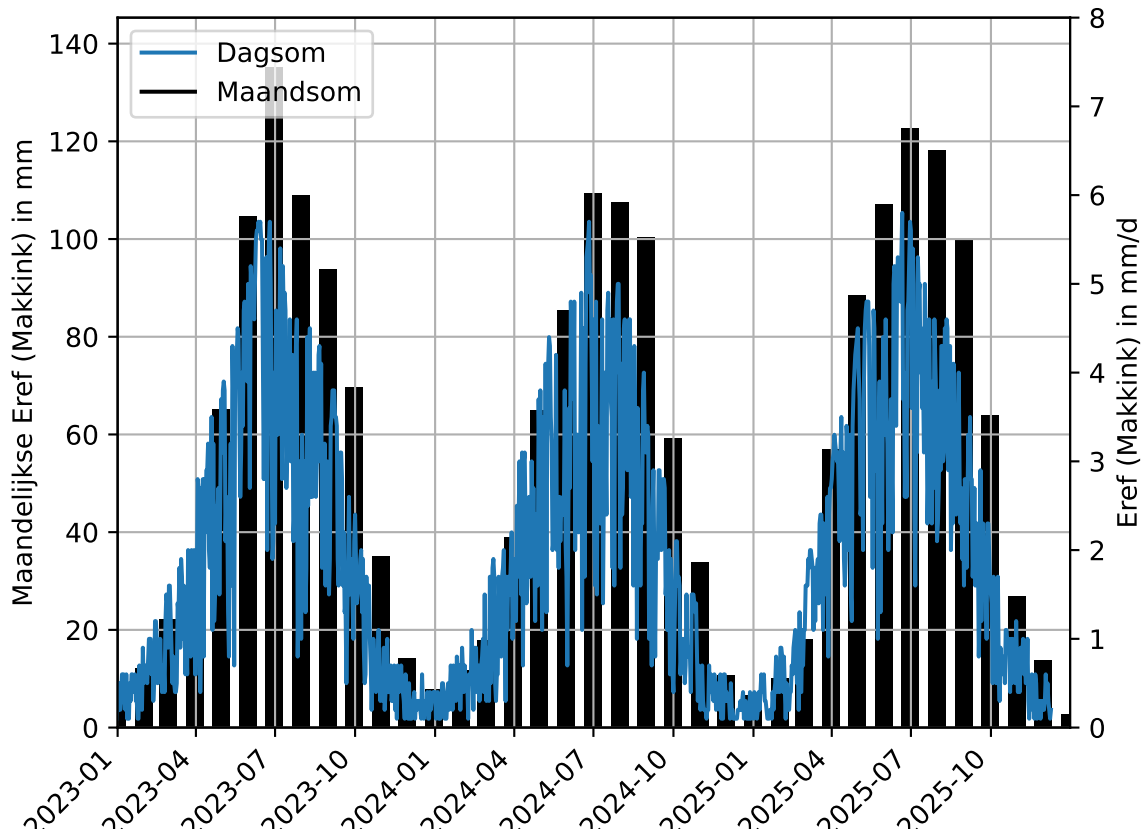


## C Analyse Gewasbeschermingsmiddelen (GBM)

In 2025 heeft vanwege de lage afvoer bij de stuw van de Kleine Putweg geen bemonstering van het grondwater plaatsgevonden.

# D Verdamping Vlissingen

# Vlissingen



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)