



KU LEUVEN

~~~~~

**Impactanalyse  
klimaatverandering op de  
ruwwaterbeschikbaarheid van  
oppervlaktewater voor  
drinkwaterproductie**

~~~~~

Colofon

Verantwoordelijke uitgever

Carl Heyrman
AquaFlanders
Desguinlei 250, 2018 Antwerpen
info@aquaflanders.be
www.aquaflanders.be

Auteurs

Prof. dr. ir. Patrick Willems
ir. Simon Nollet
ir. Laurens Breugelmans

Taal

Nederlands

Depotnummer

D/2026/16408/01

ISBN-nummer

-

Wijze van citeren

Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., Ntegeka, V. (2010), 'Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium', Theoretical and Applied Climatology, 99, 273-86

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Klimaatscenario's	4
2.1	<i>Broeikasgasscenario's</i>	<i>5</i>
2.2	<i>Statistische neerschaling</i>	<i>12</i>
2.3	<i>Dertig klimaatscenario's</i>	<i>13</i>
3	Analyse van de ruwwaterbeschikbaarheid voor oppervlaktewater	14
3.1	<i>Albertkanaal en Netekanaal (Water-link)</i>	<i>19</i>
3.2	<i>Kluizen (De Watergroep)</i>	<i>32</i>
3.3	<i>De Gavers (De Watergroep)</i>	<i>37</i>
3.4	<i>Blankaart (De Watergroep)</i>	<i>45</i>
3.5	<i>Zillebeke en Dikkebus (De Watergroep)</i>	<i>53</i>
3.6	<i>Oostende (Farys)</i>	<i>56</i>
3.7	<i>Nieuwpoort (Aquaduin, De Watergroep, Farys)</i>	<i>61</i>
3.8	<i>Andere</i>	<i>68</i>
4	Conclusies	68
	Referenties	74

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de resultaten van een studieopdracht, uitgevoerd door KU Leuven in opdracht van AquaFlanders, met als doel een inschatting te maken van de impact van de toekomstige klimaatverandering op de ruwwaterbeschikbaarheid van oppervlaktewater voor de drinkwaterproductie in Vlaanderen. Meer specifiek bestond de opdracht erin om een consistente Vlaams-brede inschatting te maken van de impact die de toekomstige evolutie inzake klimaatverandering heeft op de ruwwaterbeschikbaarheid van oppervlaktewater ter hoogte van de voornaamste innamepunten van de Vlaamse drinkwaterbedrijven.

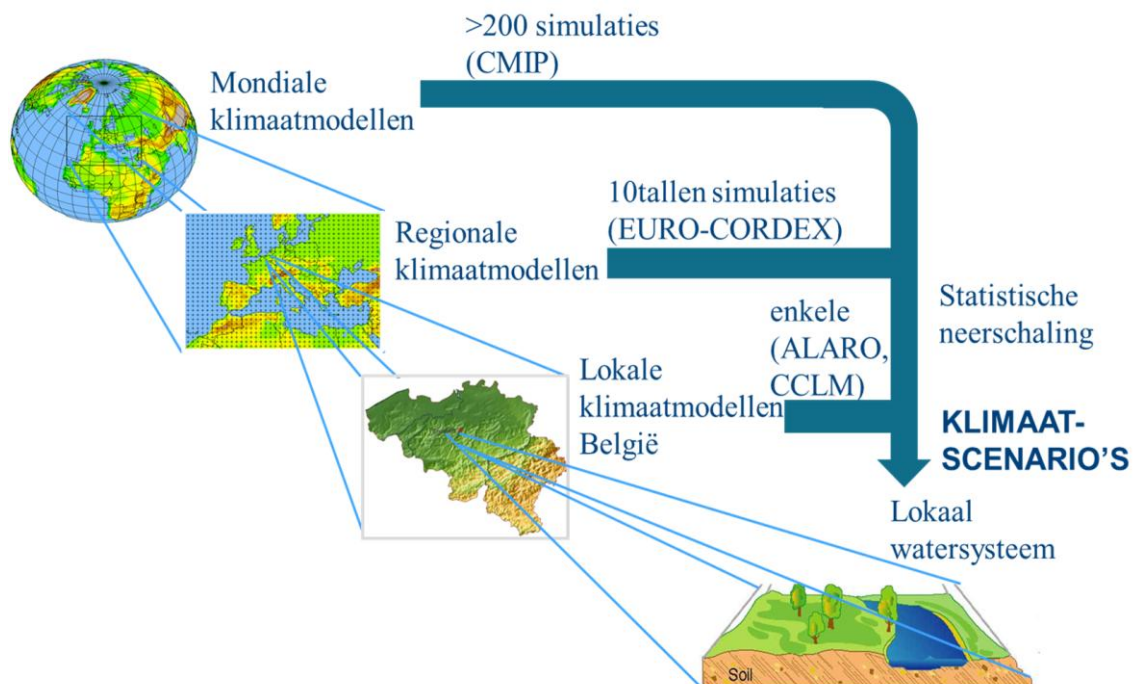
De studie analyseerde de resultaten van reeds bestaande studies en deed nieuwe berekeningen o.b.v. tijdreeks-simulaties in beschikbare hydrologische modellen, voor en na toepassing van klimaatscenario's en dit consistent voor alle betrokken gebieden. Via statistische analyses werd de impact ingeschat voor toekomsthorizonten 2050 en 2100. De impact wordt in het rapport weergegeven op basis van indicatoren, die per innameplaats werden afgesproken met de betrokken drinkwatermaatschappij en die representatief zijn voor het optreden van een ruwwatertekort.

2 Klimaatscenario's

Deze studie maakte gebruik van toekomstige klimaatprognoses voor Vlaanderen. Die klimaatscenario's worden hier eerst verder toegelicht.

KU Leuven heeft de afgelopen 15 jaar, i.s.m. het KMI, klimaatscenario's ontwikkeld en regelmatig geactualiseerd voor impactanalyse op hydrologische extremen (Brouwers et al., 2015; Lokers et al., 2018; VMM 2019). Deze klimaatscenario's zijn de standaard in Vlaanderen geworden. Ze worden o.a. door de Vlaamse waterbeheerders en -bedrijven (Vlaamse Milieumaatschappij, De Vlaamse Waterweg, Waterbouwkundig Laboratorium, Aquafin en andere Vlaamse rioolbeheerders, ...) gebruikt om de impact van de klimaatverandering op overstromingen en droogte in te schatten. In 2023 werden ze een laatste keer geactualiseerd (Mendoza Paz & Willems, 2023). Voor het Belgisch Klimaatcentrum (Belgian Climate Centre) gehuisvest bij het KMI, werden dezelfde scenario's in 2024 door KU Leuven ter beschikking gesteld voor gebruik over gans België (Willems, 2024). Dit gebeurde in het kader van het project CICADE.be van KMI en KU Leuven voor Belspo (Federaal Wetenschapsbeleid) (Van Schaeybroeck et al., 2021). De meest recente klimaatscenario's worden ook gebruikt binnen het Klimaatportaal Vlaanderen incl. de Impact-tool van de Vlaamse Milieumaatschappij.

De klimaatscenario's zijn gebaseerd op een groot ensemble van alle beschikbare simulaties met klimaatmodellen voor Vlaanderen, en dit conform de meest recente generatie van klimaatmodellen per type. Het gaat in het totaal om meer dan 200 simulaties met mondiale klimaatmodellen (Coupled Model Intercomparison Project CMIP), meer dan 30 simulaties met regionale klimaatmodellen (EURO-CORDEX project) en 3 hoge-resolutie klimaatmodellen (ruimtelijke resolutie van 3-4 km) die specifiek voor België werden gesimuleerd binnen het CORDEX.be onderzoeksproject door KMI, KU Leuven, UCL en ULg (Termonia et al., 2018). Via een techniek van statistische neerschaling werden door KU Leuven klimaatscenario's bekomen voor lokale impactanalyse (zie schematische weergave van de gevolgde aanpak in Figuur 1). Het groot aantal beschouwde klimaatmodellen liet toe om de onzekerheid op de hydrologische impact van de toekomstige klimaatverandering te kwantificeren.



Figuur 1: Op basis van een groot aantal beschikbare simulaties met mondiale, regionale en lokale klimaatmodellen werden na statistische neerschaling klimaatscenario's afgeleid voor impactanalyse op het lokale watersysteem.

Per klimaatmodel zijn er meerdere simulaties beschikbaar. Deze bestaan uit historische “controleruns” en toekomstige “scenarioruns” voor de standaard broeikasgasscenario's. De benaming “controlerun” verwijst naar de simulatie van historische klimaatcondities (voor een historische periode), die toelaat om het klimaatmodelresultaat te vergelijken met historische waarnemingen, dus om het model te valideren. De benaming “scenariorun” verwijst naar de simulatie van een bepaald scenario bij de toekomstige uitstoot van broeikasgassen. Ze worden ook “projectieruns” genoemd omdat ze horen bij een bepaalde toekomst“projectie” voor het klimaat. De naam “projectie” wordt bij voorkeur gebruikt i.p.v. “predictie” of “voorspelling” omdat men het toekomstig klimaat niet kan voorspellen; men gaat uit van een aantal mogelijke toekomsthypothesen of scenario's.

2.1 Broeikasgasscenario's

De beschouwde broeikasgasscenario's zijn de meest recente zoals ook gebruikt door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) voor haar meest recente 6^{de} Assessment Report (2023). Het gaat om de zogenaamde SSP/RCP-scenario's, dit is een combinatie van de Representative Concentration Pathways (RCP) scenario's zoals gebruikt voor het 5^{de} Assessment Report met nieuwe Shared Socioeconomic Pathways (SSP) scenario's.

De RCP-scenario's zijn scenario's voor de toekomstevolatie in de concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer. Ze zijn gedefinieerd op basis van een vastgelegde netto inkomende zonnestraling (stralingsforcering genoemd) voor het jaar 2100. Op basis van deze vastgelegde stralingsforcering heeft men verhaallijnen gemaakt voor de verschillende factoren die de emissie van broeikasgassen beïnvloeden (zoals demografische, socio-economische, technische en sociale ontwikkelingen). De stralingsforcering is de hoeveelheid extra energie beschikbaar gemaakt aan de top van de atmosfeer door verschillende factoren die het klimaat

beïnvloeden. Wanneer bijvoorbeeld de concentratie van broeikasgassen stijgt, dan zal een groter deel van de warmtestraling die door het aardoppervlak wordt uitgezonden in de atmosfeer worden geabsorbeerd. Dit deel van de warmtestraling bereikt dus niet meer de top van de atmosfeer waardoor de totale uitgezonden warmtestraling door het systeem aarde inclusief de atmosfeer gereduceerd wordt. Dit resulteert in een positieve stralingsforcering, relatief t.o.v. het klimaat dat er zou bestaan zonder de menselijke invloed in de uitstoot aan broeikasgassen, waardoor de aarde opwarmt.

De vier voornaamste RCP-scenario's worden als volgt beschreven:

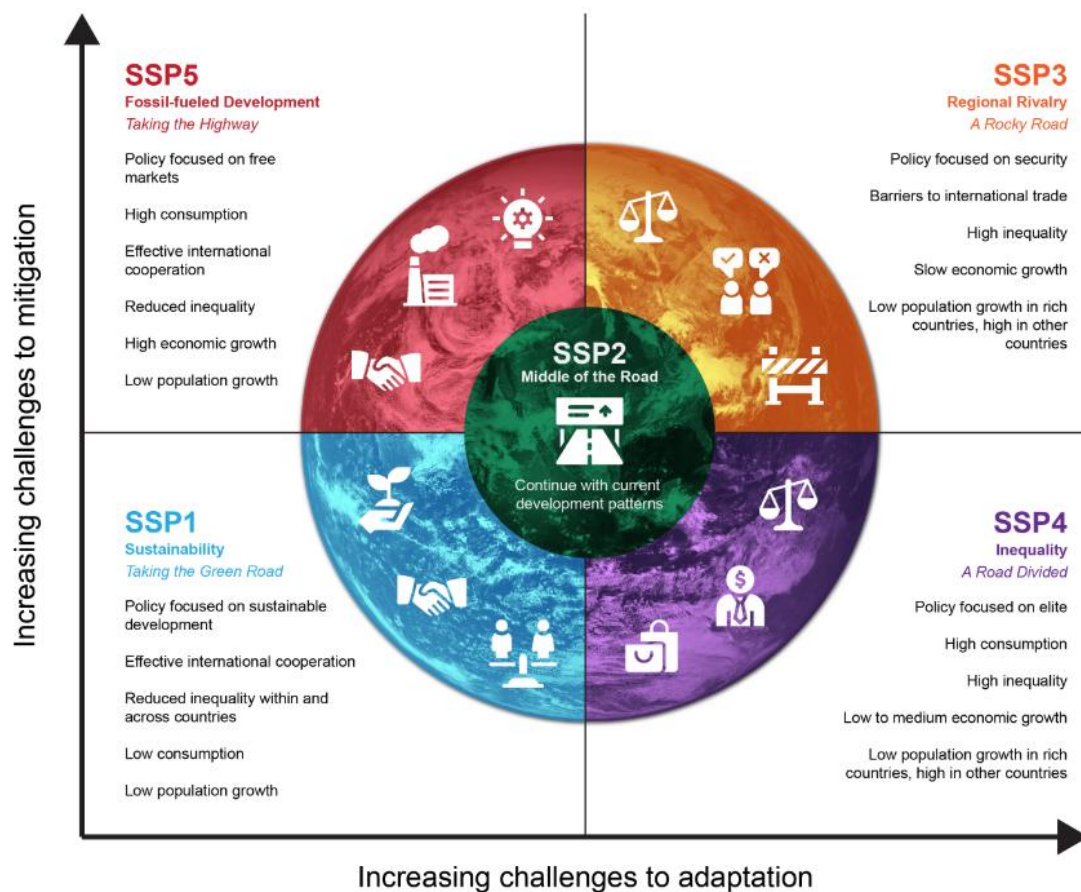
- RCP8.5: Dit scenario wordt gekenmerkt door groeiende broeikasgasemissies in de tijd resulterend in een stralingsforcering van 8.5 W/m^2 in 2100 (d.i. de toename t.o.v. het pre-industriële tijdperk). Het scenario is representatief voor scenario's in de literatuur die leiden tot hoge broeikasgasconcentraties. RCP8.5 is een hoog energie-intensief scenario met een hoge groei van de wereldbevolking tot ongeveer 12 miljard in 2100 en een lage technologische ontwikkeling.
- RCP6.0: Dit is een scenario waar de stralingsforcering vlak na 2100 stabiliseert tot 6.0 W/m^2 . Dit scenario wordt gekenmerkt door een reeks aan technologieën en strategieën om energieverbruik en broeikasgasemissies te beperken. Er is echter nauwelijks een vermindering van de broeikasgasemissie per eenheid energie. In het scenario wordt een midden-projectie voor groei in de wereldbevolking tot ongeveer 9 miljard in 2100 aangenomen.
- RCP4.5: Dit is een scenario waar de stralingsforcering vlak na 2100 stabiliseert tot 4.5 W/m^2 . Dit scenario wordt gekenmerkt door een grotere range aan technologieën en strategieën om broeikasgasemissies te beperken dan in RCP6.0. Er wordt net zoals in het RCP6.0 scenario een midden-projectie voor de wereldwijde bevolkingstoename tot ca. 9 miljard in 2100 verondersteld. Ten opzichte van het RCP6.0 scenario gaat het RCP4.5 scenario uit van een sterke vermindering van de broeikasgasemissie per eenheid energie, door het gebruik van bio-energie en koolstofopvang en –opslag.
- RCP2.6 (of RCP3-PD): Dit scenario is een 'zogenaamd 'piek-en-afname' scenario, waar de stralingsforcering eerst piekt tot waarden van 3.1 W/m^2 en daarna afneemt tot 2.6 W/m^2 in 2100. Om deze niveaus te bereiken zijn substantiële reducties in de emissies van broeikasgassen noodzakelijk. In het scenario wordt een midden-projectie voor bevolkingsgroei tot ongeveer 9 miljard in 2100 verondersteld. Kenmerkend voor RCP2.6 is dat emissies laag zijn door het gebruik van bio-energie en dat koolstofopvang en –opslag zal leiden tot negatieve emissies.

In het meest recente 6^{de} Assessment Report van het IPCC worden deze RCP-scenario's gecombineerd met scenario's voor de toekomstige socio-economische evoluties, de SSP-scenario's. Deze SSP-scenario's beschrijven toekomstevoluties in demografie, menselijke ontwikkeling, economie en levensstijl, beleid en instellingen, technologie, milieu en natuurlijke hulpbronnen (O'Neill et al., 2017). Meer specifiek worden volgende SSP-scenario's beschouwd:

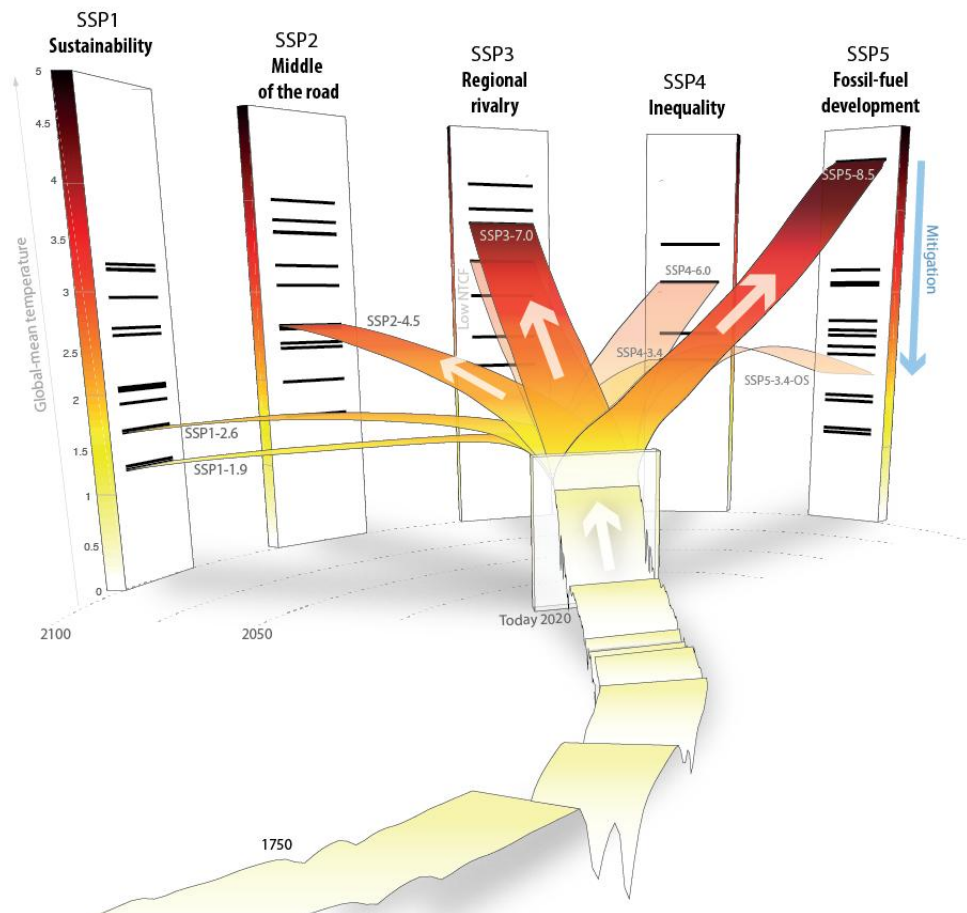
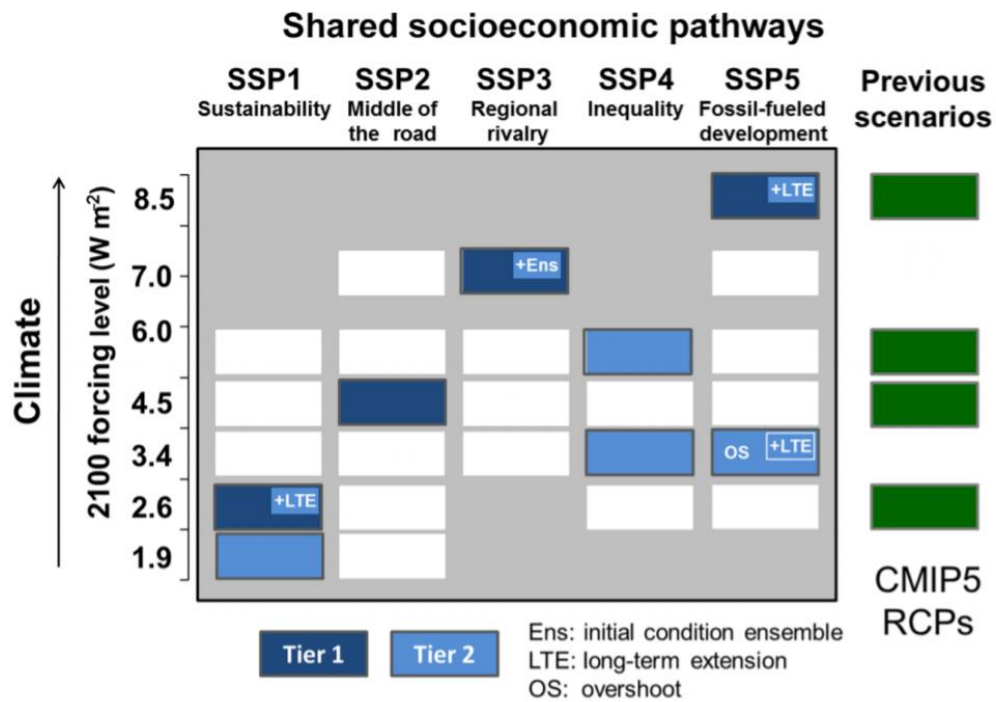
- SSP1: Positieve menselijke ontwikkeling met investeringen in onderwijs en gezondheid, economische groei, sterke instellingen en samenwerking. Er vindt een duurzame verschuiving plaats naar een duurzamere omgang met natuurlijke rijkdommen.

- SSP2: Voortzetting van historische patronen; wordt daarom beschouwd als het centrale pad.
- SSP3: Pessimistische menselijke ontwikkeling met een gebrek aan investeringen in onderwijs en gezondheid, een snelgroeiende bevolking en meer ongelijkheid. Regionale veiligheid is een prioriteit en de zorgen over klimaatverandering krijgen weinig aandacht.
- SSP4: Dezelfde pessimistische trends als SSP3. In plaats van regionale veiligheid bestaat er grote ongelijkheid binnen en tussen landen, wat betekent dat sommige delen van de samenleving zich sterk ontwikkelen en andere niet.
- SSP5: Dezelfde positieve menselijke ontwikkeling als SSP1, maar in plaats van een duurzame omgang met natuurlijke rijkdommen, ontwikkelt SSP5 een sterke en energie-intensieve economie op basis van fossiele brandstoffen. Innovatie staat hoog in het vaandel.

Elk van deze SSP-paden staat voor verschillende uitdagingen met betrekking tot aanpassing aan en mitigatie van klimaatverandering, zoals geïllustreerd in Figuur 2. SSP5 staat bijvoorbeeld voor grote uitdagingen op het gebied van mitigatie als gevolg van een sterke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, wat overeenkomt met hoge broeikasgasemissies, terwijl een sterke economie en hightech infrastructuur leidt tot geringe uitdagingen op het gebied van aanpassing aan de klimaatverandering. De SSP-paden zijn gebruikt als input in modellen om de uitstoot aan broeikasgassen en de bijhorende veranderingen in landgebruik in te schatten. Vermits deze veranderingen een effect hebben op de stralingsforcering, kunnen ze gerelateerd worden aan de RCP-paden. In Figuur 3 worden de RCP-SSP combinaties getoond zoals gebruikt in het 6^{de} IPCC Assessment Report. De RCP-scenario's werden er uitgebreid tot stralingsforceringsniveaus van 1,9, 3,4 en 7,0 W/m² om de hiaten in het bereik van de vier oorspronkelijke en hogervermelde RCP-scenario's op te vullen. Volgende acht SSP-RCP combinaties staan daarbij centraal: SSP1-2.6, SSP2-4.5 en SSP5-8.5. Deze kunnen gezien worden als voortzettingen van de RCP2.6, RCP4.5 en RCP8.5 scenario's zoals gebruikt voor het 5th IPCC Assessment Report, terwijl SSP3-7.0 t.o.v. dat rapport een nieuw scenario is met hoge broeikasgasemissies. Deze combinaties bestrijken een breed gamma aan onzekerheden in zowel de toekomstige broeikasgasuitstoot als de toekomstige socio-economische ontwikkelingen. Ze zijn in deze studie beschouwd voor alle op heden beschikbare klimaatmodelsimulaties, d.i. voor de zogenaamde CMIP6-klimaatmodelruns; zie verder.



Figuur 2: De vijf SSP-basisscenario's (bron figuur: <https://climatedata.ca/resource/understanding-shared-socio-economic-pathways-ssps/>).

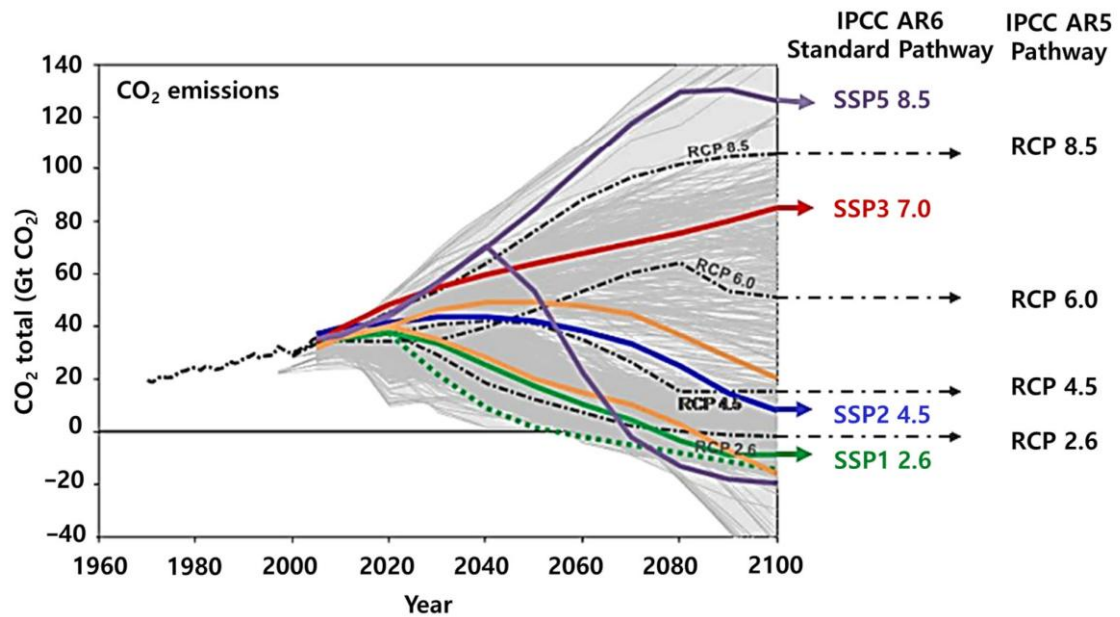


Figuur 3: SSP/RCP-scenariocombinaties beschouwd in het 6^{de} Assessment Report van het IPCC (onderfiguur: O'Neill et al., 2016; bovenfiguur: Meinshausen et al., 2020).

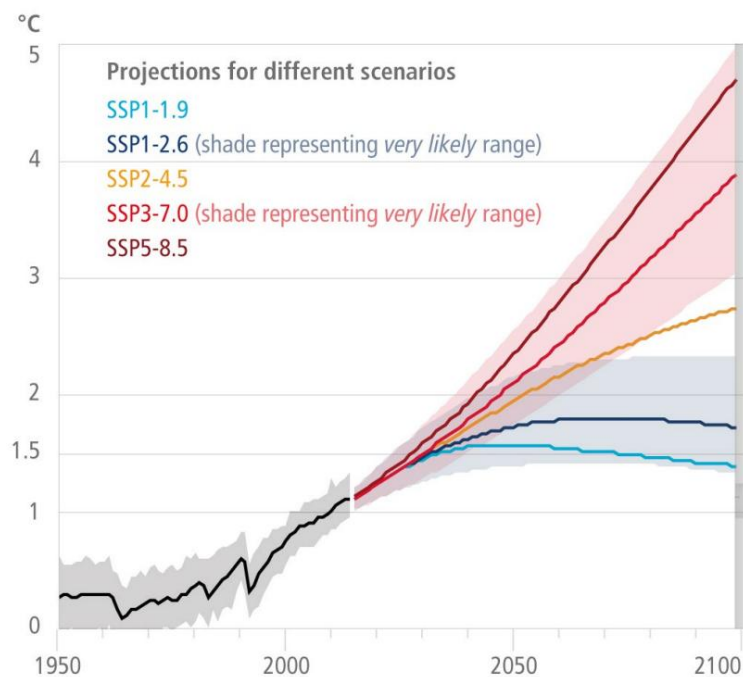
Figuur 4 geeft een beeld van de verschillen in mondiaal primair energieverbruik per brandstoftype in 2100, zoals verondersteld in de vijf SSP-basisscenario's. De mondiale totale CO₂-uitstoot en de mondiaal gemiddelde temperatuurstijging die overeenkomt met de SSP/RCP-hoofdscenario's wordt in Figuur 5 en Figuur 6 getoond t.o.v. historische evolutie.



Figuur 4: Bovenfiguur: Mondiaal primair energieverbruik per brandstoftype in 2100 in exajoule (EJ) voor de vijf SSP-basisscenario's volgens enkele modellen. Het huidige energieverbruik (vanaf 2010) wordt ter referentie weergegeven links in de figuur (bron figuur: Carbon Brief). Onderfiguren: Tijdsevolutie in dit mondiaal primair energieverbruik per brandstoftype voor SSP1 (linkeronderfiguur) en SSP5 (rechteronderfiguur) voor een voorbeeldmodel.



Figuur 5: Mondiale totale CO₂-emissie voor de SSP/RCP-basisscenario's (O'Neill et al., 2017; Riahi et al., 2017).

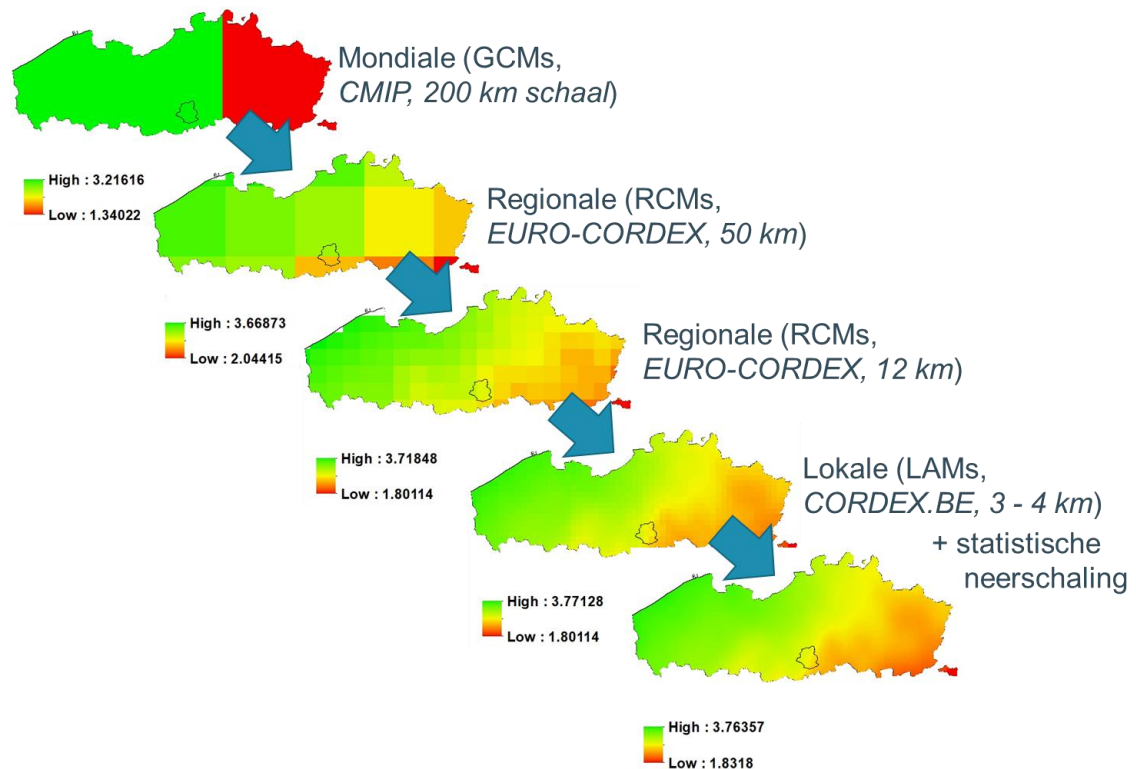


Figuur 6: Mondiaal gemiddelde temperatuurstijging voor de drie SSP/RCP-hoofdscenario's (IPCC, 6th Assessment Report).

Het IPCC kent geen waarschijnlijkheden toe aan de verschillende SSP/RCP-scenario's. Alle hogervermelde combinatiescenario's worden daarom beschouwd. De toekomstrealiteit zal zich, met hoge waarschijnlijkheid, binnen het bereik van deze scenario's situeren.

2.2 Statistische neerschaling

Omdat de beschikbare klimaatmodellen een nog te grote/grove ruimtelijke resolutie hebben dan wat nodig is om de lokale impact te berekenen per ruwwaterbevoorradsingsgebied is een verdere neerschaling van de klimaatmodelresultaten doorgevoerd op basis van een statistische neerschalingstechniek. Hierbij werd rekening gehouden met het verschil in ruimtelijke resolutie van de verschillende typen beschouwde klimaatmodellen, zoals hiervoor gespecificeerd; zie Figuur 7.



Figuur 7: Neerschaling van de verschillende typen klimaatmodellen voor een voorbeeld van klimaatmodelresultaat, dynamisch door het gebruik van regionale en lokale klimaatmodellen aangevuld met statistische neerschaling.

Er zijn een groot aantal technieken beschikbaar voor dergelijke statistische neerschaling. Voor een uitgebreide technische beschrijving van de methoden wordt verwezen naar de literatuur (vb. Willems et al., 2012b). De voor- en nadelen en de prestaties van de verschillende methoden werden in eerder onderzoek al uitgebreid bestudeerd (vb. Sunyer et al., 2015; Van Uytven & Willems, 2019; Mendoza Paz & Willems, 2023). Op basis van deze ervaringen werd de “kwantelperturbatiemethode” (Willems & Vrac, 2011; Ntegeka et al., 2014) als een internationale state-of-the-art methode naar voor geschoven en toegepast voor deze studie.

Naast de onzekerheid in de toekomstige uitstoot en concentratie aan broeikasgassen is er ook de onzekerheid op de klimateffecten zelf per SSP/RCP-scenario. De klimaatmodelresultaten zijn immers niet perfect nauwkeurig en kunnen verschillen van klimaatmodel(simulatie) tot klimaatmodel(simulatie). Om deze onzekerheid mee in rekening te brengen, werden alle publiek beschikbare klimaatmodelruns beschouwd.

2.3 Dertig klimaatscenario's

Zoals hiervoor beschreven zijn er meer dan 200 simulaties met mondiale klimaatmodellen beschikbaar voor België. Om te voorkomen dat een groot aantal scenario's moet worden doorgerekend om de hydrologische impact in te schatten in de hydrologische en waterbalans modellen, werd gewerkt met een gereduceerde set van klimaatscenario's die het volledige bereik aan klimaatveranderingssignalen voor alle beschikbare klimaatmodelruns bestrijken.

In andere impactstudies van klimaatscenario's in Vlaanderen en ook in het Klimaatportaal Vlaanderen wordt er gewerkt met het zogenaamde hoog-impact scenario, of in oudere versies met de hoge-, midden- en lage-impact klimaatscenario's. Ze komen overeen met de 5%-, 50%- en 95%-percentielwaarden o.b.v. de volledige set aan beschikbare klimaatmodelruns (Ntegeka et al., 2014; Tabari et al., 2014). Het hoog-impact klimaatscenario komt daarbij overeen met de bovengrens van het 95%-interval o.b.v. van alle klimaatmodelresultaten en kan worden geïnterpreteerd als het scenario waarbij de toekomst zich met hoge waarschijnlijkheid bevindt tussen het huidig klimaat en het hoog-impact klimaatscenario, afhankelijk van het tijdstip tussen nu en 2100. Omdat deze scenario's afzonderlijk per meteorologische variabele afgeleid worden, moeten er voor de hydrologische impactanalyse combinaties toegepast worden tussen de scenario's voor neerslag en potentiële evapotranspiratie (PET). Dit vraagt veronderstellingen (zie Ntegeka et al., 2014) die niet altijd nauwkeurig opgaan. Daarom werd er in deze studie voor geselecteerd om uit de volledige set van beschikbare klimaatmodelruns, 30 runs te selecteren die het volledige bereik aan klimaatveranderingssignalen voor zowel neerslag als PET bestrijken. Ze werden bovendien zodanig gekozen dat de SSP/RCP-hoofdscenario's allemaal en met een vergelijkbaar gewicht vertegenwoordigd zijn. Omdat voor elk van deze 30 klimaatmodelruns de neerslag- en PET-resultaten afkomstig zijn van hetzelfde klimaatmodel wordt de fysische consistentie tussen beide meteorologische variabelen bewaard.

Op elk van deze 30 klimaatmodelruns werd een statistische neerschaling o.b.v. de kwantielperturbatiemethode (zie §2.2) toegepast en werden de bijhorende klimaatveranderingssignalen afgeleid voor de verandering in neerslagintensiteit i.f.v. de terugkeerperiode, voor de verandering in de frequentie aan droge en natte dagen per maand van het jaar, en voor de verandering in PET-totaal per maand van het jaar. Deze klimaatveranderingssignalen werden daarna gebruikt om een tijdreeks van historische neerslag te Ukkel te perturberen aan deze signalen. Dit gebeurde via de methode beschreven in Ntegeka et al., 2014. Op die manier werden voor de historische tijdreeksen te Ukkel voor neerslag en PET, 30 aangepaste tijdreeksen bekomen.

Deze 30 aangepaste tijdreeksen werden gebruikt om de impact te bepalen op de ruwwaterbeschikbaarheid, samen met de onzekerheid. Er werd in deze studie gewerkt met neerslag- en PET-tijdreeksen met een tijdstap van 1 dag. Als historische referentieperiode voor Ukkel werd een periode van 30 jaar genomen. Een periode van 30 jaar is immers de minimale periode die typisch gebruikt wordt in impactanalyses van klimaatverandering, omdat ze voldoende lang is om de natuurlijke variabiliteit in meteorologische variaties voldoende in rekening te brengen. De perturbaties gebeurden voor twee toekomsthorizons: 2050 en 2100.

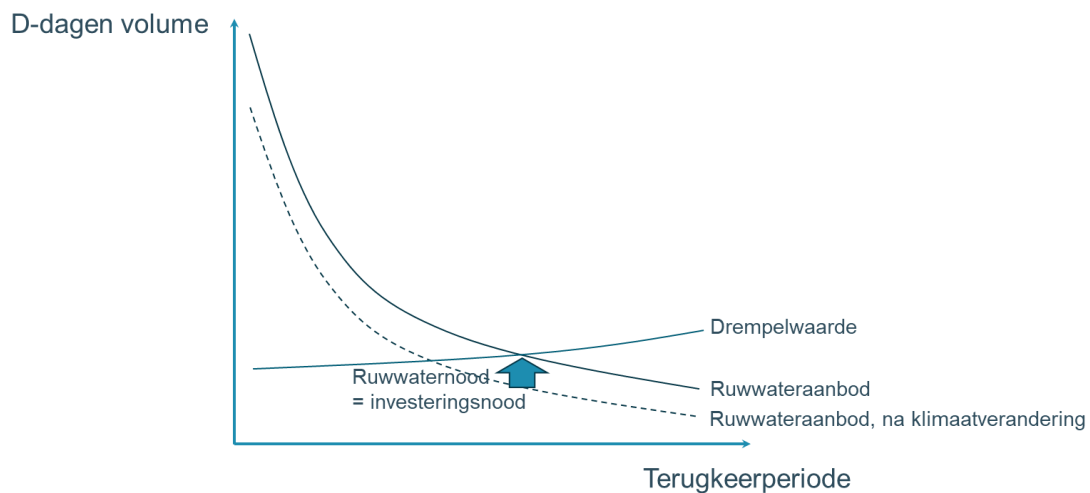
Dezelfde set van 30 klimaatscenario's werd ter beschikking gesteld aan het onderzoeksteam van prof. Marijke Huysmans voor de impactanalyse op de grondwaterbeschikbaarheid. De impactresultaten voor oppervlaktewater en grondwater zijn op die manier consistent.

3 Analyse van de ruwwaterbeschikbaarheid voor oppervlaktewater

Voor elk van de voornaamste innamelocaties van oppervlaktewater door de Vlaamse drinkwatermaatschappijen werd een raming gemaakt van de impact van de klimaatscenario's op de ruwwaterbeschikbaarheid. Hiertoe werden de historische en de aan de klimaatscenario's aangepaste tijdreeksen van neerslag en PET doorgerekend in de hydrologische modellen voor de betrokken stroomgebieden. De impact wordt hierna gerapporteerd o.b.v. indicatoren, bv. het D-dagen laagwaterdebiet of het waterpeil in het spaarbekken, die per innamelocatie werden afgesproken met de betrokken drinkwatermaatschappij en die representatief zijn voor het optreden van een ruwwatertekort.

Figuur 8 geeft een schematische beschrijving van de algemene methodiek die voor elke innamelocatie gevolgd werd om de bijkomende ruwwaternood na klimaatverandering te bepalen. Hierbij wordt de indicatorwaarde, bv. het beschikbare ruwwatervolume, geplot versus de terugkeerperiode en vergeleken met de ruwwaterbehoefte. Het ruwwatervolume kan het debiet in de waterloop zijn of het watervolume in het spaarbekken. Het debiet in de waterloop kan beschouwd worden als de externe ruwwaterbron waar de drinkwatermaatschappij van afhankelijk is, terwijl het volume in het spaarbekken bijkomend rekening houdt met de beschikbare buffercapaciteit bij de drinkwatermaatschappij. Wanneer het debiet in de waterloop als indicator wordt gebruikt, kan er ook onrechtstreeks rekening worden gehouden met deze buffercapaciteit door het debiet uit te middelen over een tijdschaal D. Bijvoorbeeld, indien het spaarbekken een leveringszekerheid heeft van D dagen, dan is het niet het gemiddeld debiet over een veel kortere periode dan D dagen dat bepalend is of er al dan niet een probleem van leveringszekerheid ontstaat (want zulk tekort kan gecompenseerd worden door de buffer), maar wel het D-dagen volume dat ingenomen kan worden. Wanneer het D-dagen volume (of het D-dagen gemiddeld debiet) dat ingenomen kan worden lager is dan de ruwwaterbehoefte is er een ruwwatertekort. De ruwwaterbehoefte is hierbij de hoeveelheid ruwwater die nodig is om aan de huidige productievolumes te voldoen. Ze kan constant zijn of ook een functie van de terugkeerperiode, bv. om rekening te houden met het hogere drinkwaterverbruik tijdens droge zomers. Deze ruwwaterbehoefte kan beschouwd worden als de grenswaarde of drempelwaarde op de indicatorwaarde voor het ruwwateraanbod beneden dewelke er een ruwwatertekort ontstaat. Indien het volume in het spaarbekken als indicator wordt gebruikt, dan hoeft deze indicator niet uitgemiddeld te worden over een tijdschaal D, maar wordt deze rechtstreeks vergeleken met een bepaalde grenswaarde om na te gaan wanneer er zich een ruwwatertekort voordoet. Deze grenswaarde komt overeen met het minimumpeil dat men hanteert voor het spaarbekken.

De terugkeerperiode waarmee een ruwwatertekort zich voordoet dient voldoende hoog te zijn. De conceptversie van strategische Vlaamse Waterzekerheidsdoelen geven een terugkeerperiode van 20 jaar voor het niet kunnen naleven van het Maasafvoeroverdrag en voor aanzienlijk onvoldoende beschikbaarheid van de ruwwatervoorraden voor de drinkwaterbevoorrading, en 1000 jaar voor drinkwatertekorten voor menselijke consumptie of voor hoogwaardige toepassingen. In deze studie werden de hydrologische en waterbalansmodellen voor de verschillende WPC's doorgerekend voor eenzelfde recente historische periode van 25 jaar: 2000-2024. De terugkeerperioden werden empirisch beschouwd, dus tot een terugkeerperiode van 25 jaar. Omdat deze 25 jaar in de buurt ligt van de 20 jaar die vermeld wordt in de conceptversie van strategische Vlaamse Waterzekerheidsdoelen, zullen de impactresultaten voor de verschillende WPC's hierna gerapporteerd worden tot terugkeerperioden van 25 jaar.



Figuur 8: Algemene methodiek om de ruwwaternood te bepalen

Voor elke WPC met oppervlaktewaterinname werden telkens de volgende deeltaken doorlopen:

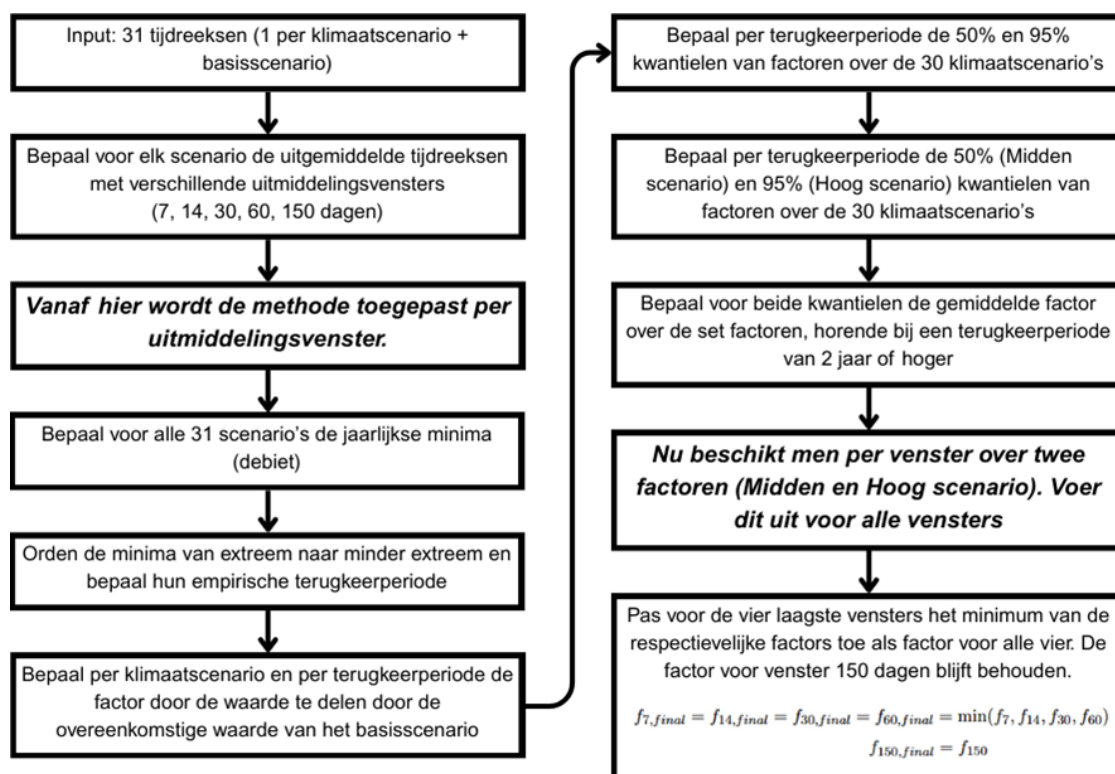
- De resultaten van de reeds bestaande studies (bv. van KU Leuven voor Water-link, van KU Leuven voor De Watergroep – WPC Kluizen, van het VITO voor WPC De Gavers) werden bij elkaar gebracht en geanalyseerd.
- Bestaande en reeds gevalideerde hydrologische- en waterbalansmodellen werden opgezocht en indien nodig geoperationaliseerd.
- Daarna werden met de hydrologische modellen continue tijdreeks-simulaties uitgevoerd, voor de historische referentieperiode 2000-2024 en voor de 30 klimaatscenario's bij toekomsthorizonten 2050 en 2100. Deze simulaties gebeurden met een tijdstap van een dag, dit om ter hoogte van elk van de oppervlaktewaterinname locaties een dagtijdreeks van debieten te bekomen.
- In de omgeving van elk van de oppervlaktewaterinname locaties werden de beschikbare historische debietmeetreeksen verzameld, dit ook als dagtijdreeksen.
- Uit de dagtijdreeksen werden per hydrologisch jaar (van begin oktober tot einde september) de indicatorwaarden afgeleid. Na empirische extreme-waarden-analyse werd bepaald hoe deze indicatorwaarden afhankelijk zijn van de terugkeerperiode.
- Door de indicatorwaarden te vergelijken met de grenswaarde werd in functie van de terugkeerperiode de ruwwaterbeschikbaarheid of het ruwwatertekort bepaald.
- In geval van een ruwwatertekort, stelt dit tekort de ruwwaternood voor. Deze ruwwaternood kan gelenigd worden door een extra buffervolume te voorzien en/of door voor alternatieve waterbronnen te zorgen, al dan niet via een bijkomende connectiviteit.

De onzekerheid op de impactresultaten wordt in dit rapport samengevat via de 5%- en 50%-percentielwaarden o.b.v. de 30 klimaatscenario's. Deze worden hierna respectievelijk de hoog-impact (Q05) en midden-impact (Q50) klimaatscenario's genoemd.

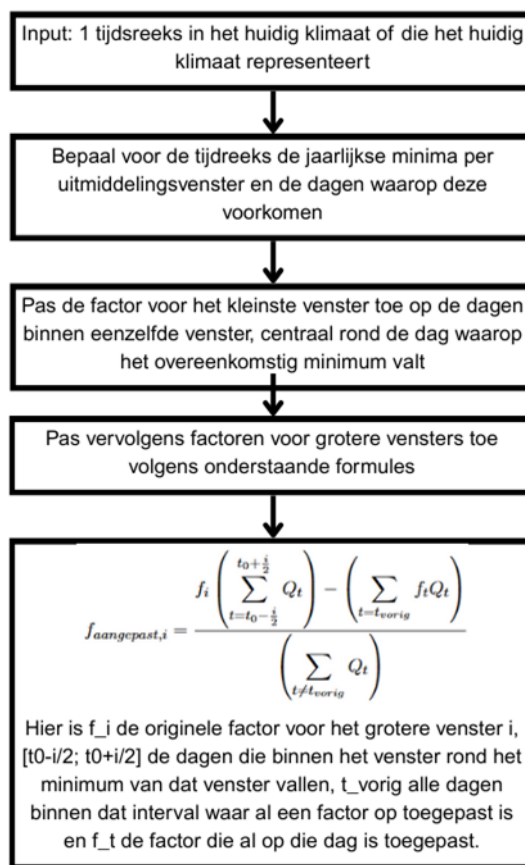
Voor de inname locaties die aan een bevaarbare waterloop zijn gelegen wordt een beroep gedaan op het waterbalansmodel dat door KU Leuven werd opgesteld voor De Vlaamse Waterweg (DVW). Dit model verdeelt de bevaarbare waterlopen onder in verschillende deelgebieden en houdt onder andere rekening met de scheepvaarttrafiek, vispassages, pompinstallaties, debietonttrekkingen door drinkwaterproductiecentra, industrie en via de watervangen, neerslag (afstroming), evaporatie, instroom via Frankrijk of Wallonië (Breugelmans et al., 2024).

De instroom vanuit de onbevaarbare waterlopen of vanuit Frankrijk en Wallonië werd in dit model niet toegevoegd aan de hand van een hydrologisch model, maar aan de hand van de beschikbare debietmetingen. Om de impact van klimaatverandering in te rekenen werden deze meetreeksen geperturbeerd voor het betreffende klimaatscenario. De perturbatie gebeurde door perturbatiefactoren toe te passen op de meetreeksen voor verschillende uitmiddelvingsvensters (7, 14, 30, 60 en 150 dagen). Per opwaartse rand werd een set van perturbatiefactoren bepaald die niet alleen werden toegepast op de meetreeksen van de opwaartse rand, maar ook op de beschikbare meetreeksen langs alle onbevaarbare waterlopen in het betreffende deelgebied.

Voor het bepalen van de perturbatiefactoren werd vertrokken van de 30 klimaatscenario's zoals beschreven in §2.3. Die scenario's bestaan uit geperturbeerde neerslag- en evapotranspiratietijdsreeksen te Ukkel. Die geperturbeerde tijdsreeksen werden ingevoerd in een bestaand hydrologisch model voor een deelstroomgebied dat in Vlaanderen het dichtst bij de opwaartse rand gelokaliseerd is. Dit leidde tot geperturbeerde debiettijdsreeksen per zone, op basis waarvan factoren bepaald werden die vervolgens werden toegepast op de debietmeetreeksen (Breugelmans et al., 2025). De precieze methode is samen met de verschillende stappen samengevat in Figuur 9 en Figuur 10. Vooreerst werden via de stappen in Figuur 9 per zone de perturbatiefactoren bepaald per tijdsvenster en voor zowel het midden-impact (Q50) als het hoog-impact (Q05) klimaatscenario vertrekkende van de 30 klimaatscenario's en een basisscenario. Dit zijn factoren die het relatieve verschil voorstellen tussen de waarden voor het huidig klimaat en deze voor het betreffende klimaatscenario. Ze werden afgeleid per kwantiel (5% en 50%), per klimaatscenario (Q50 en Q05) en per uitmiddelvingsvenster (7, 14, 30, 60 en 150 dagen). Daarna werden via de stappen in Figuur 10 deze factoren toegepast op de te perturberen tijdsreeksen, bv. de historische meetreeksen aan de opwaartse rand of de instroom vanuit de onbevaarbare waterloop.



Figuur 9: Methode om perturbatiefactoren te bepalen per tijdsvenster voor het midden- en hoog-impact klimaatscenario vertrekkende van 30 klimaatscenario's en een basisscenario.



Figuur 10: Methode om perturbatiefactoren toe te passen op een te perturberen tijdsreeks (bv. historische meetreeks aan de opwaartse rand).

Om te bepalen hoeveel extra buffercapaciteit of, debiet uit een alternatieve bron, gecreëerd of gehaald moet worden, werd gebruik gemaakt van het LOT: het Langst Opeenvolgend Tekort. Hierbij werd per jaar gekeken naar de dagen waarbij de indicatorwaarde, bv. het D-dagen gemiddeld waterloopdebiet, de grenswaarde onderschrijdt. De langste periode met opeenvolgende dagen van onderschrijding wordt het LOT genoemd. De ruwwatertekorten per jaar werden dan berekend als het tekort dat gedurende het LOT ontstaat. Om vanuit dit LOT tot een ruwwatertekort te komen, werden twee methoden toegepast:

- De eerste methode gaat uit van een situatie waarbij een dag met onderschrijding leidt tot een volledige innamestop. Hierdoor is het dagelijks ruwwatertekort dus de volledige gewenste dagelijkse productie. Dit is een conservatievere aanname aangezien in sommige gevallen wel nog een deel van het gewenste debiet kan onttrokken worden.
- De tweede methode veronderstelt dat de inname wordt verminderd tot de grenswaarde van de indicator wordt bereikt. Bij het waterloopdebiet als indicator is het ruwwatertekort dan het verschil tussen het reële debiet en het debiet dat als grenswaarde wordt gesteld, uiteraard met de gewenste dagelijkse productie als maximumwaarde.

Het LOT geeft een indicatie van het mogelijk ruwwatertekort tijdens een bepaald jaar, maar het werkelijk tekort kan groter zijn wanneer de LOT-periode voorafgegaan wordt door kortere periodes met een tekort waarvan de aanwezige buffer nog niet volledig is hersteld bij aanvang van de LOT-periode.

Het LOT werd in deze studie bepaald voor twee geselecteerde terugkeerperiodes: 5 en 25 jaar. De terugkeerperioden werden hierbij empirisch berekend op basis van de ruwwatertekorten van de 25 jaren in de gesimuleerde tijdreeks (2000-2024). Dit betekent dat het LOT met een terugkeerperiode van 25 jaar niet noodzakelijk overeenkomt met de langste LOT-periode in de 25 gesimuleerde jaren, maar wel met het LOT dat leidt tot het grootste volumetekort in die 25 jaar.

Naast de LOT-duur werd ook de totale jaarlijkse duur met een ruwwatertekort bepaald, d.i. niet enkel voor de langste periode van opeenvolgende dagen met een tekort maar voor alle dagen in het jaar met een tekort.

De ruwwaternood werd dan op twee manieren bepaald: als het nodige buffervolume om tot 25 jaar geen tekort meer te hebben, of als het debiet waarmee het drinkwaterproductiedebiet verminderd moet worden (dus gecompenseerd moet worden via alternatieve waterbronnen) om tot 25 jaar geen tekort meer te hebben.

Een belangrijke opmerking is dat impactberekeningen gebaseerd op modellen altijd onderhevig zijn aan onzekerheden. Alhoewel de modellen gekalibreerd en gevalideerd werden op basis van metingen, kunnen de impactresultaten toch nog belangrijke afwijkingen vertonen van de realiteit. Bovendien werden er enkel waterkwantiteitsmodellen gebruikt, geen waterkwaliteitsmodellen. Voor de waterproductiecentra (WPC's) waar de ruwwaterbeschikbaarheid niet enkel door de waterkwantiteit wordt bepaald, maar ook door de waterkwaliteit, moest er daarom gewerkt worden met proxy's voor een te slechte waterkwaliteit, dus proxy's op basis van de gemodelleerde waterkwantiteit (zie verder bij de betrokken WPC's). De hydrologische modellen en het waterbalansmodel gaan verder uit van een situatie die hoort bij het huidige landgebruik en het huidige waterbeheer, ook voor de simulaties met de klimaatscenario's, dit om uitsluitend naar de invloed van de klimaatverandering te kijken en abstractie te maken van de andere mogelijke toekomstevoluties inzake land- en waterbeheer. Ook de keuze van de referentieperiode voor het huidige klimaat (2000-2024) zal een invloed hebben op de resultaten. De absolute impactcijfers zijn dus onderhevig aan heel wat veronderstellingen en onzekerheden en dienen dus kritisch benaderd te worden.

3.1 Albertkanaal en Netekanaal (Water-link)

Ongeveer 40% van de totale oppervlaktewaterwinning voor drinkwaterproductie in Vlaanderen gebeurt door Water-link. Dit gebeurt langs het Albertkanaal te Broechem en het Netekanaal te Lier:

- Spaarbekken van Broechem (capaciteit van 6 miljoen m³, gevoed door Albertkanaal) en roductiecentrum te Oelegem (Ranst). De capaciteit van 6 miljoen m³ voor het spaarbekken komt overeen met ongeveer 31 dagen leveringszekerheid bij gemiddeld verbruik; tijdens droge periodes met hoog dagpiekverbruik is die periode korter.
- Spaarbekken Eekhoven (capaciteit van 2,4 miljoen m³, gevoed door Netekanaal dat wordt gevoed door het Albertkanaal) en productiecentrum te Notmeir-Walem (Rumst-Duffel). De capaciteit van 2,4 miljoen m³ voor het spaarbekken komt overeen met ongeveer 9 dagen leveringszekerheid bij gemiddeld verbruik, of korter bij hoog dagpiekverbruik.

Het water van het Albertkanaal wordt aangevoerd vanuit de Maas en is sterk afhankelijk van het Maasafvoercontract en het beheer door De Vlaamse Waterweg.

In periodes van onvoldoende aanvoer van water treedt het Maasafvoercontract in werking. Dit contract van 17 januari 1995 tussen Vlaanderen en Nederland legt vast welke fracties van het beschikbare debiet te Monsin voor Vlaams (Albertkanaal en Kempische kanalen) en Nederlands (Zuid-Willemsvaart en Julianakanaal) gebruik aangewend mogen worden. Het uitgangspunt hierbij is een gelijke verdeling tussen het Nederlandse en het Vlaamse gebruik en een gemeenschappelijke verantwoordelijkheid voor het debiet van de Gemeenschappelijke Maas. Het contract beschouwt volgende fasen:

- Aanlooffase: Maasdebiet tussen 100 m³/s en 60 m³/s. Maximaal Vlaams gebruik beperkt tot 25 m³/s.
- Alarmfase: Maasdebiet tussen 60 m³/s en 30 m³/s. Minimaal debiet van 10 m³/s dient gewaarborgd te worden over de stuw van Borgharen.
- Crisisfase: Maasdebiet < 30 m³/s. Vlaams en Nederlands gebruik bedragen maximaal 1/3de van het beschikbare Maasdebiet.

Het Maasdebiet stelt hierbij het beschikbare Maaswater voor, volgens de onverdeelde Maasafvoer in Luik.

De betrokken drinkwatermaatschappij Water-link gebruikt de grenswaarden 40 en 30 m³/s voor het Maasdebiet afwaarts van Luik te Monsin om de verschillende waterbeschikbaarheidsklassen 'Normaal', 'Voldoende', 'Nipt voldoende' en 'Onvoldoende' voor hun ruwwaterbeschikbaarheidsindicator in te delen. Bij een normale toestand is hiervan 6 m³/s beschikbaar voor de drinkwaterproductie. Wanneer er gedurende vijf opeenvolgende dagen minder kanaalwater beschikbaar is dan nodig voor de dagelijkse aanvulling van de ruwwatervoorraad en het Maasdebiet lager is dan 40 m³/s gaat Water-link over naar de waterbeschikbaarheidstoestand 'Nipt voldoende'. De grenswaarde werd na de droge periode van 2019 verhoogd van 30 naar 40 m³/s, wat meteen ook aangeeft dat de keuze van de drempelwaarden voor droogte/waterschaarste-indicatoren een voortschrijdend inzicht zijn. Hier gaan wij er van uit, mede op basis van de opgedane kennis bij de opmaak van het Vlaams reactief afwegingskader voor prioritair watergebruik tijdens waterschaarste (VRAG, 2021), dat innamebeperkingen voor Water-link pas aan de orde zijn wanneer het Maasdebiet de grenswaarde van 30 m³/s bereikt. Ervoor worden er andere waterbesparende maatregelen genomen door De Vlaamse Waterweg, zoals het plaatsen van mobiele pompen, de pleziervaart

stilleggen, gegroepeerd schutten opleggen, een diepgangbeperking instellen en de watervangen gedeeltelijk sluiten. Die grenswaarde van 30 m³/s is ook conform de laagste drempelwaarde in het Maasafvoercontract. In dit rapport wordt daarenboven gebruik gemaakt van een grenswaarde van 35 m³/s. Uit het verleden blijkt dat een overschrijding van het 7-dagen gemiddeld debiet te Monsin typisch leidt tot problemen langs het Albertkanaal aangezien volgens het Maasafvoercontract dan minder mag worden ingenomen dan het waterverbruik langs het Albertkanaal en de Kempische kanalen.

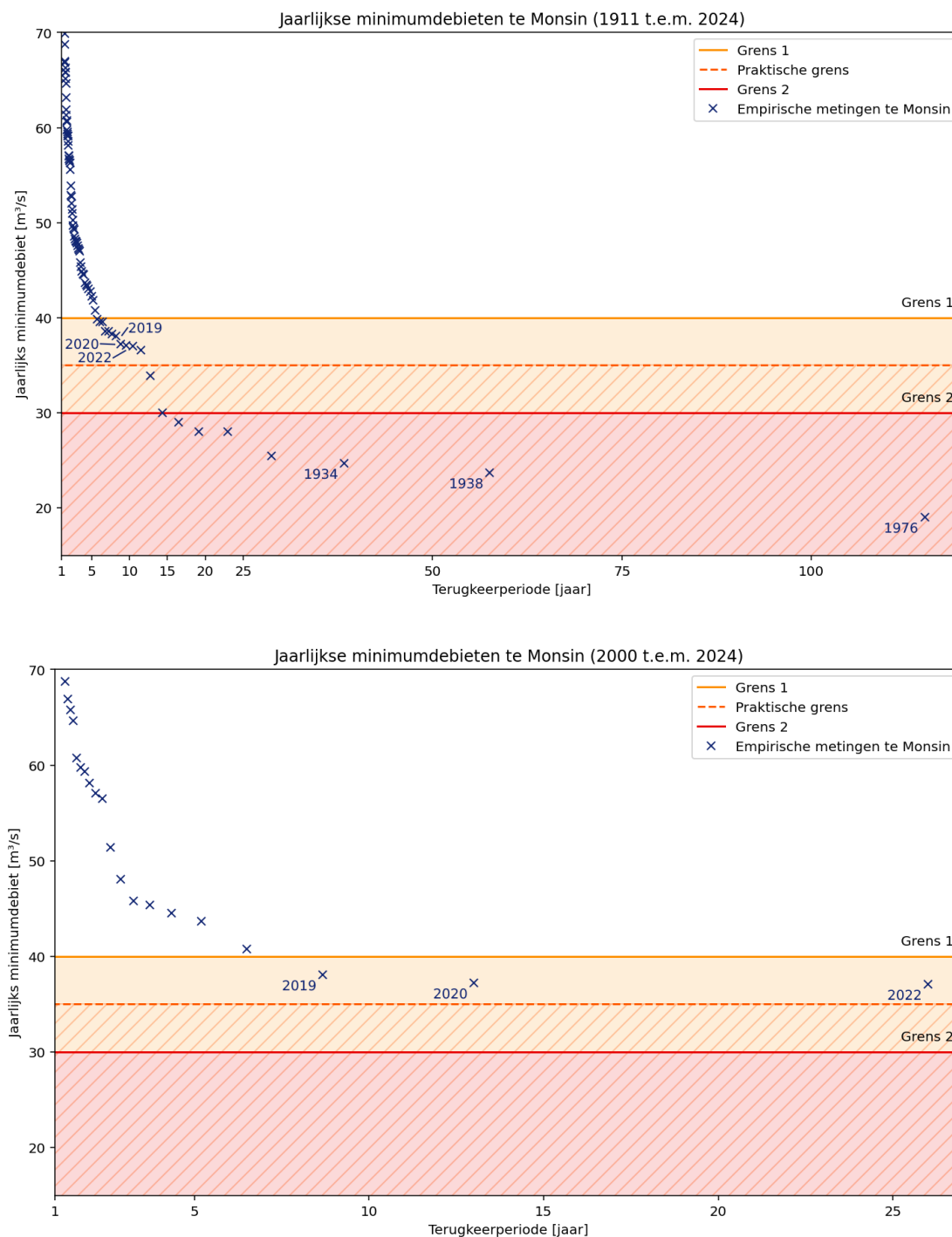
In september 2019 daalde het Maasdebiet gedurende de ganse maand onder de 50 m³/s. Het innamedebiet door Water-link werd toen verminderd van 5 m³/s naar 4 m³/s, in de periode van 23 september 2019 tot en met 2 oktober 2019. De ruwwaterbeschikbaarheid daalde toen onder de grenswaarde voor 'Nipt voldoende'. De impact ervan werd deels opgevangen door het aanspreken van de ruwwaterbuffers en deels door een verschuiving van de drinkwaterproductie naar andere drinkwaterbedrijven. Er werden geen leveringen aan andere drinkwaterbedrijven stopgezet, maar wel tijdelijk verminderd. Zo werd ongeveer 0,3 m³/s opgevangen door Farys door meer water af te nemen van Vivaqua (binnen de contractueel afgesproken debieten). In 2022 daalde het Maasdebiet in de tweede helft van augustus tot vergelijkbaar lage waarden, maar was er geen innamevermindering omwille van de vele andere maatregelen die werden toegepast door De Vlaamse Waterweg. Water-link nam wel gespreid in (dag/nacht) en de Vlaamse Waterweg pompte water terug aan de sluis van Wijnegem. De zoutinvasie in het Albertkanaal werd opgevolgd om te voorkomen dat de zoutinvasie van het brakke dokwater tot aan de watervang in Broechem reikte. Er werd zuinig geschut op de sluizen van Olen en Wijnegem met wachttijden tot 4u voor alle sectoren. Ook op het kanaal Bocholt-Herentals en het kanaal Dessel-Turnhout-Schoten was zuinig schutten voor de pleziervaart van toepassing. Buiten de watervangen van Water-link stonden de andere watervangen op het Albertkanaal voor 80% dicht. Ook in de andere droge zomers van 2018 en 2020 werden dergelijke maatregelen genomen, maar werd de situatie minder kritiek dan in september 2019 en augustus 2022.

Door KU Leuven werden de voorbije jaren meerdere modelleringsstudies uitgevoerd m.b.t. de waterbeschikbaarheid langs het kanalsysteem van Albertkanaal en Kempische Kanalen. Voor De Vlaamse Waterweg werd een waterbalansmodel opgemaakt dat rekening houdt met de scheepvaarttrafik, schuttingen aan de sluizen, debietonttrekkingen door Water-link, industrie en via de watervangen (Breugelmans & Willems, 2024a; Breugelmans et al., 2024). Voor Port of Antwerp-Bruges werd dit uitgebreid met een waterbalansmodel voor het havengebied dat rekening houdt met de schuttingen in de zeesluizen en het steken en lozen via die zeesluizen (Breugelmans & Willems, 2021). Voor Water-link werd dit uitgebreid met een modellering van de zoutconcentraties langs het afwaarts gedeelte van het Albertkanaal (Bertels & Willems, 2021) en voor Port of Antwerp-Bruges met een modellering van de zoutconcentraties in de havendokken (Breugelmans & Willems, 2021) en de watertemperatuur (Breugelmans & Willems, 2024b).

Voor de opwaartse rand aan de Maas werd gebruik gemaakt van de debietmeetreeks te Monsin voor een historische referentieperiode.

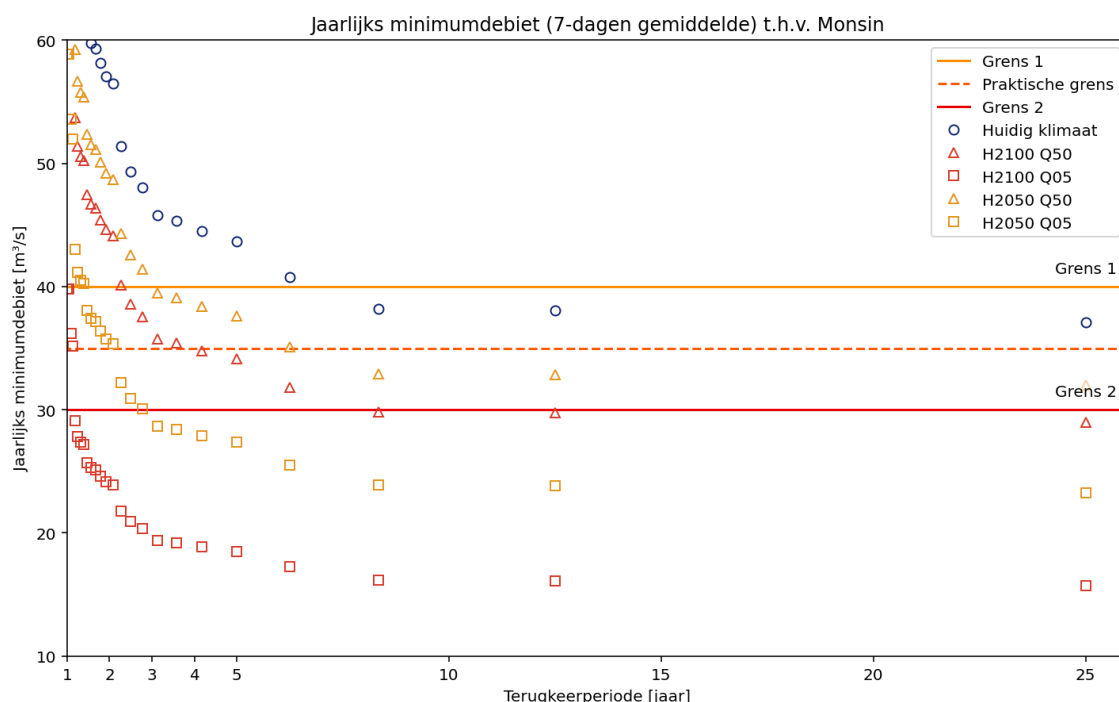
In Figuur 11 wordt op basis van de volledige tijdreeks van gemeten debieten (1911-2024) van de onverdeelde afvoer op de Maas te Monsin het resultaat getoond van de extreme-waarden-analyse op het jaarlijks 7-dagen gemiddeld laagwaterdebiet. De grenswaarden van 30, 35 en 40 m³/s worden overschreden met een terugkeerperiode van ca. 5 à 15 jaar indien naar de langst beschikbare meetperiode (1911-2024) wordt gekeken. Bij een analyse van de laatste 25 jaar (2000-2024) wordt de grenswaarde van 40 m³/s overschreden met een terugkeerperiode tussen de 5 en 10 jaar, terwijl er geen overschrijdingen optreden van de grenswaarden van 35 en 30

m³/s. De hogere overschrijdingsfrequentie voor de volledig beschikbare meetperiode is o.a. te wijten aan de zeer droge jaren in 1976 en de jaren '30 van de vorige eeuw. Mogelijk is er ook een invloed van de vermoedelijk lagere nauwkeurigheid voor de oudere debietmeetwaarden. In de laatste 25 jaar waren er overschrijdingen van de hogere grenswaarde van 40 m³/s tijdens de recente droge zomers van 2022, 2020 en 2019.



Figuur 11: Gemeten laagwaterdebiet van de onverdeelde afvoer van de Maas te Monsin, voor het 7-dagen gemiddeld debiet, en vergelijking met de grenswaarden van 30, 35 en 40 m³/s. Bovenfiguur voor volledige meetperiode (periode 1911 t.e.m. 2024) en onderfiguur voor de laatste 25 jaar (periode 2000 t.e.m. 2024).

Na toepassing van de klimaatscenario's worden de resultaten in Figuur 12 gevonden. Alle klimaatscenario's geven een aanzienlijke daling van de laagwaterdebieten en een sterk verhoogde voorkomingsfrequentie van overschrijding van de grenswaarden. Terwijl in het huidige klimaat de grenswaarde van 35 m³/s tot een terugkeerperiode van 25 jaar niet wordt overschreden, gebeurt dat bij het midden scenario voor toekomsthorizont 2050 (d.i. klimaatscenario H2050 Q50) gemiddeld eens om de 3 jaar. Voor de hoog-impact klimaatscenario's H2050 Q05 en H2100 Q05 daalt de terugkeerperiode van overschrijding van deze grenswaarde verder naar 1 à 2 jaar. Tot terugkeerperiodes van 25 jaar kunnen in deze grafiek de debiettekorten afgelezen worden, d.i. het verschil tussen het debiet en de grenswaarde.



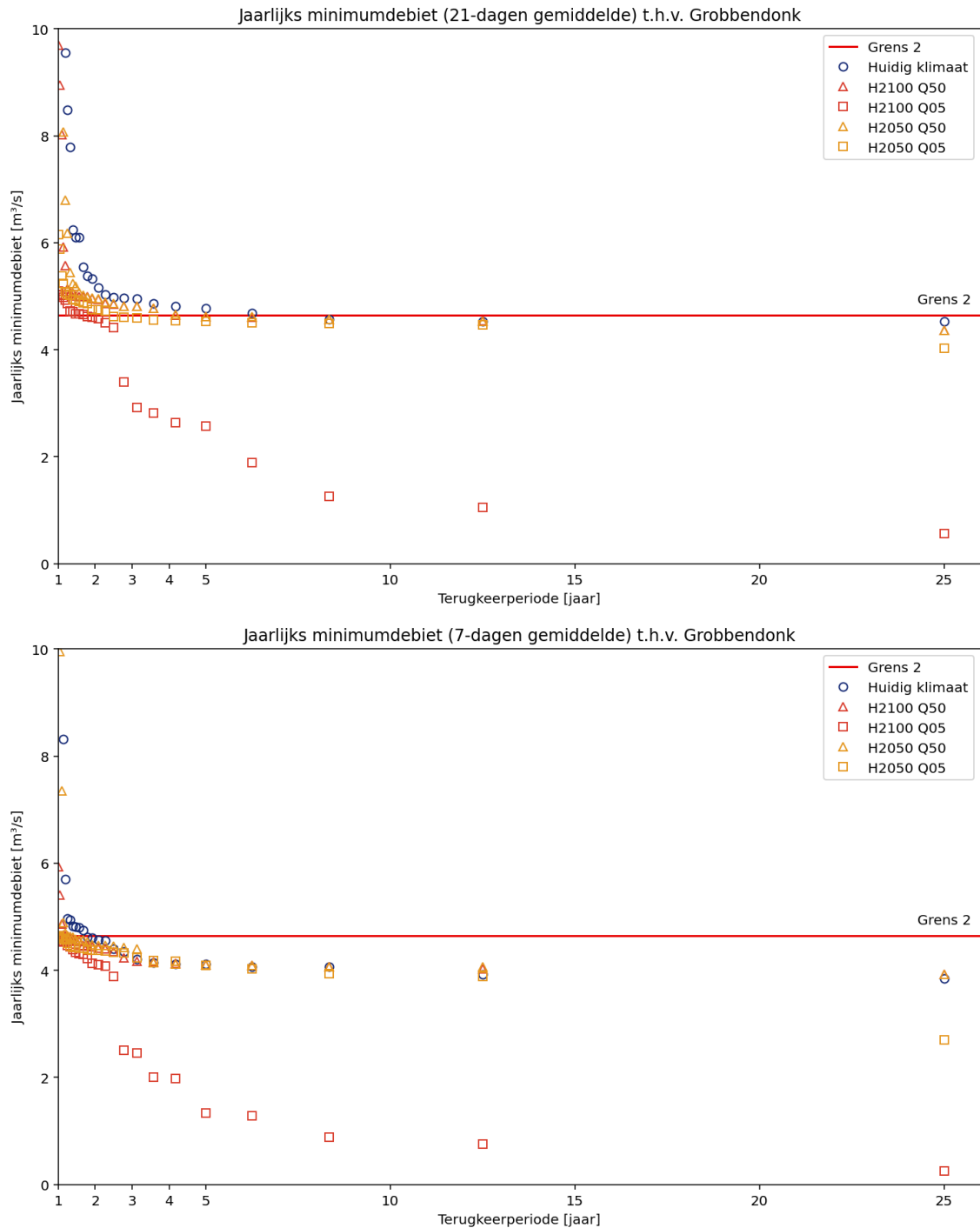
Figuur 12: Gemodelleerd laagwaterdebiet van de onverdeelde afvoer van de Maas te Monsin, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarden van 30, 35 en 40 m³/s.

De debiettekorten die in Figuur 12 worden getoond, kunnen beschouwd worden als de tekorten dat door de waterbeheerder (voor de Maas in dit geval) opwaarts gecompenseerd zou moeten worden via maatregelen om niet onder de drempelwaarde te gaan. Voor de drinkwatermaatschappij is de ruwwaternood eerder te berekenen als het tekort om aan het drinkwaterproductievolume te kunnen voldoen. Omdat het interessant is om te weten welk volumetekort er is voor zowel de waterbeheerder als de drinkwatermaatschappij (want beide zullen een deel van het probleem moeten helpen oplossen), werden beide berekeningen hier gemaakt. De ruwwaternood kan gecompenseerd worden door het buffervolume te verhogen en/of door alternatieve waterbronnen te zoeken. Voor dit laatste is het dan niet het volumetekort dat van belang is, maar het debiettekort in m³/s om niet te vaak onder de drempelwaarde te gaan. In de methode vooraan §3 werden beide soorten tekorten (buffervolumetekort en debiettekort) gecombineerd beschouwd door niet met het 7-dagen debiet te werken, maar het D-dagen debiet waarbij D de duur is dat men vanuit de spaarbekkens nog drinkwater kan produceren wanneer er niet meer ingenomen kan worden. Daarom wordt hierna voor het Albertkanaal naast het 7-dagen gemiddeld debiet ook het D-dagen gemiddeld debiet berekend in functie van de terugkeerperiode en vergeleken met het gemiddeld drinkwaterproductiedebiet. In het geval van Water-link is de

gemiddelde leveringszekerheid D via de spaarbekkens gelijk aan 21 dagen verondersteld. Voor het gemiddeld drinkwaterproductiedebiet werd 4,65 m³/s genomen omdat dit het gemiddeld drinkwaterproductievolume is zoals verondersteld in het waterbalansmodel dat KU Leuven ontwikkelt voor De Vlaamse Waterweg. In de recente periode 2020-2022 blijkt het gemiddeld drinkwaterproductievolume wel iets hoger te liggen: 4,95 m³/s.

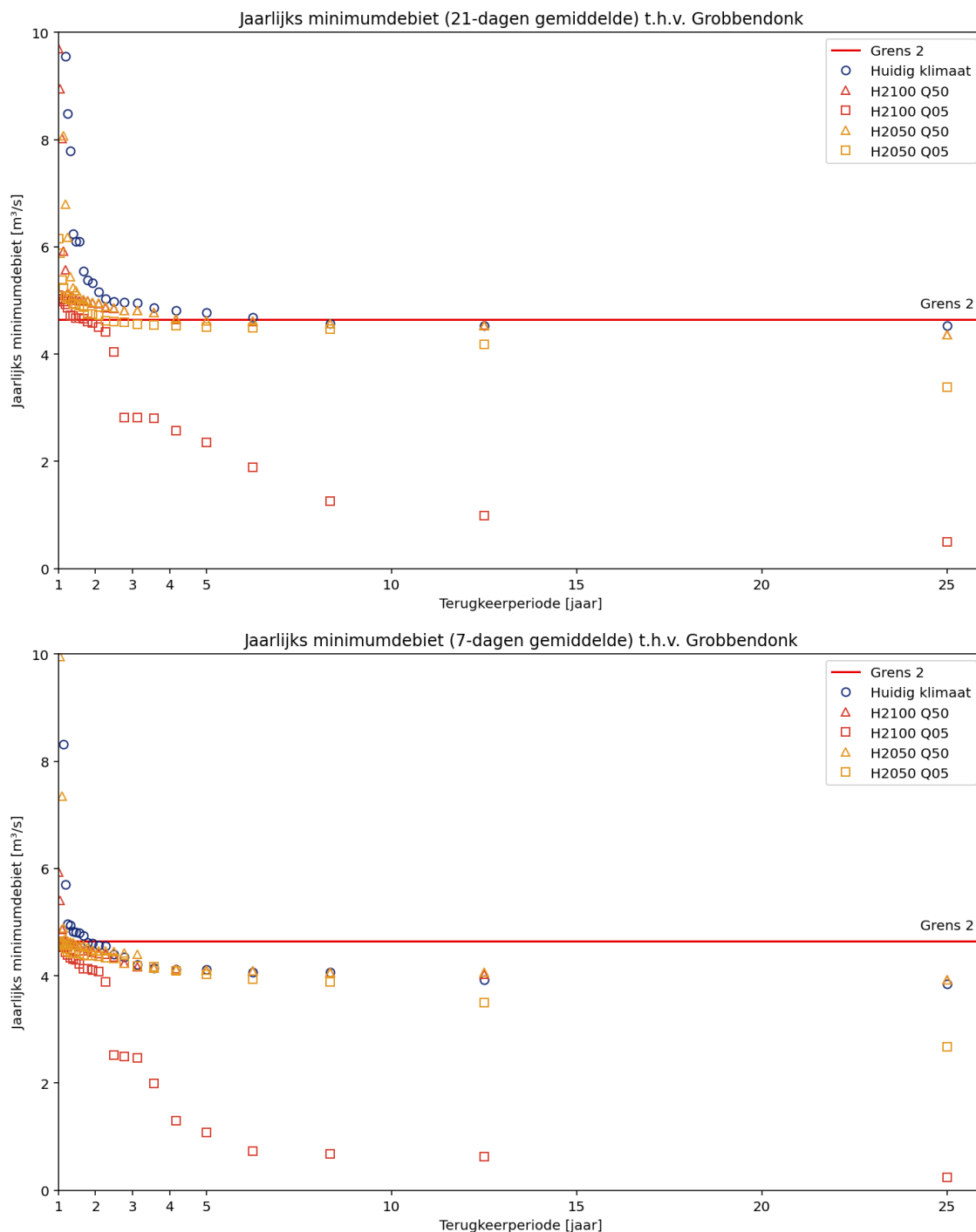
Voor de impactberekeningen op het Albertkanaal werd het kanalenbeheer in rekening gebracht. Dit gebeurde volgens het verondersteld huidig beheer en zoals gemodelleerd in het waterbalansmodel. Dit beheer houdt rekening met het Maasafvoercontract en de reactieve maatregelen (gegroepeerd schutten, stopzetting hydro-elektrische opwekking, water terugpompen aan de sluizen, watervangen voor 50% of 80% dicht, diepgangsbepalingen, ...) zoals voorzien in het VRAG. De drinkwaterproductie heeft hierbij de hoogste prioriteit.

De impactresultaten voor het Albertkanaal in Figuur 13 geven aan dat het aantal overschrijdingen van de grenswaarde bij een tijdschaal van 21 dagen veel kleiner is dan bij 7 dagen. Het is belangrijk op te merken dat het debiet te Grobbendonk geen natuurlijk afstromend debiet is, maar het resultaat van de verschillende beheersmaatregelen zoals hierboven reeds beschreven. In droge periodes zal het debiet te Grobbendonk daarom zakken tot ongeveer het niveau van het onttrekkingsdebiet van Water-link waarbij getracht wordt dat debiet zo lang mogelijk te leveren door onder meer het zuinig schutten en het activeren van de verschillende pompinstallaties. Bij een te lage opwaartse aanvoer zal ook de pompinstallatie te Wijnegem geactiveerd worden waardoor brak water vanuit het havenpand naar het Albertkanaal wordt gepompt, dat kan leiden tot ernstige problemen met de zoutinvasie zoals onderzocht door Breugelmans et al. (2024).



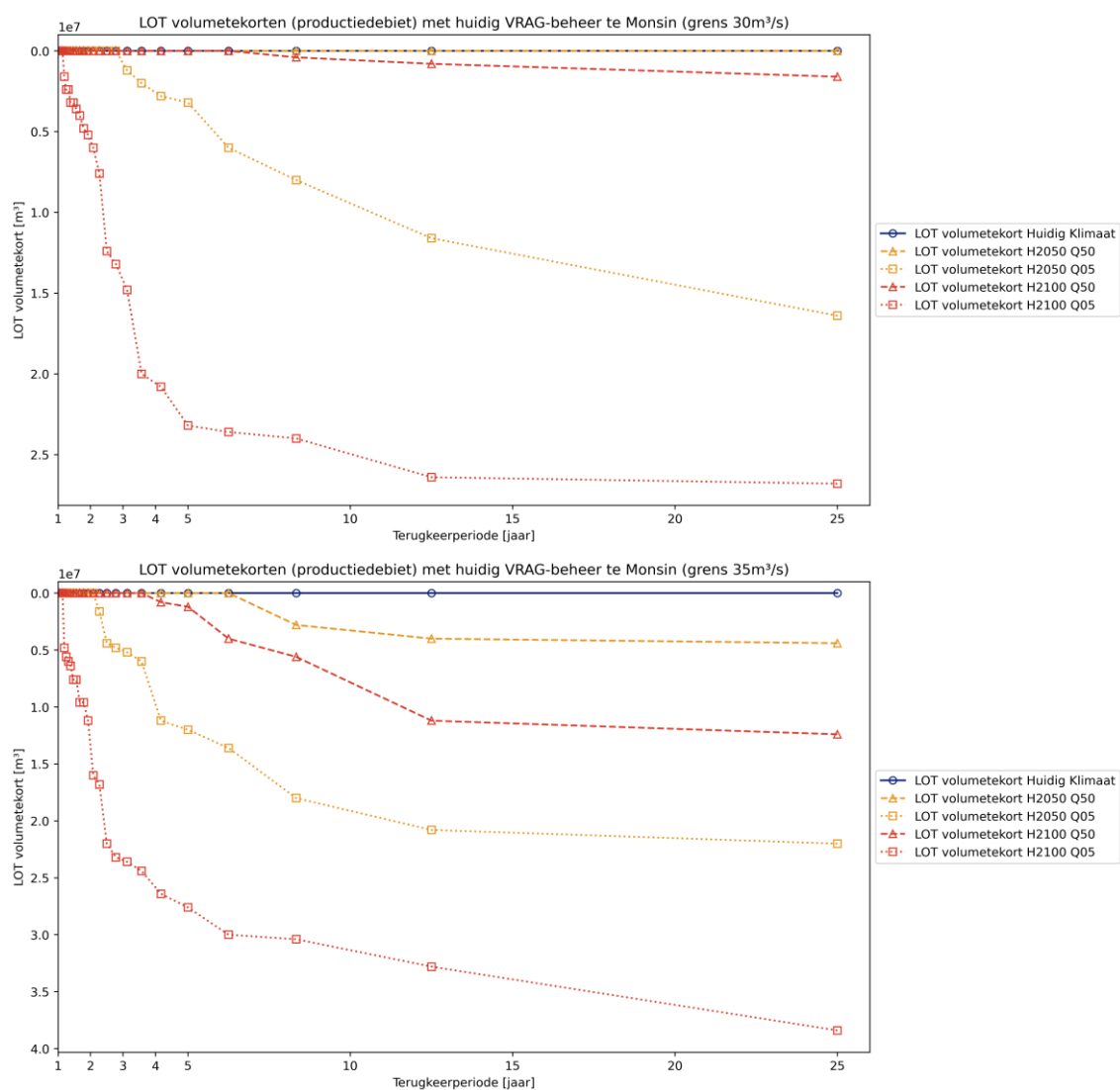
Figuur 13: Gemodelleerd laagwaterdebiet in het Albertkanaal te Grobbendonk, voor het 21- en 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarden van 4,65 m³/s. Resultaten voor het huidig VRAG-beheer.

Om de invloed van het VRAG-beheer na te gaan, werd er ook een simulatie gedaan met een aangepaste volgorde van de VRAG-maatregelen, namelijk waarbij de drinkwaterproductie de laagste prioriteit wordt gegeven i.p.v. de hoogste prioriteit. De resultaten voor het 21- en 7-dagen debiet te Grobbendonk worden getoond in Figuur 14.

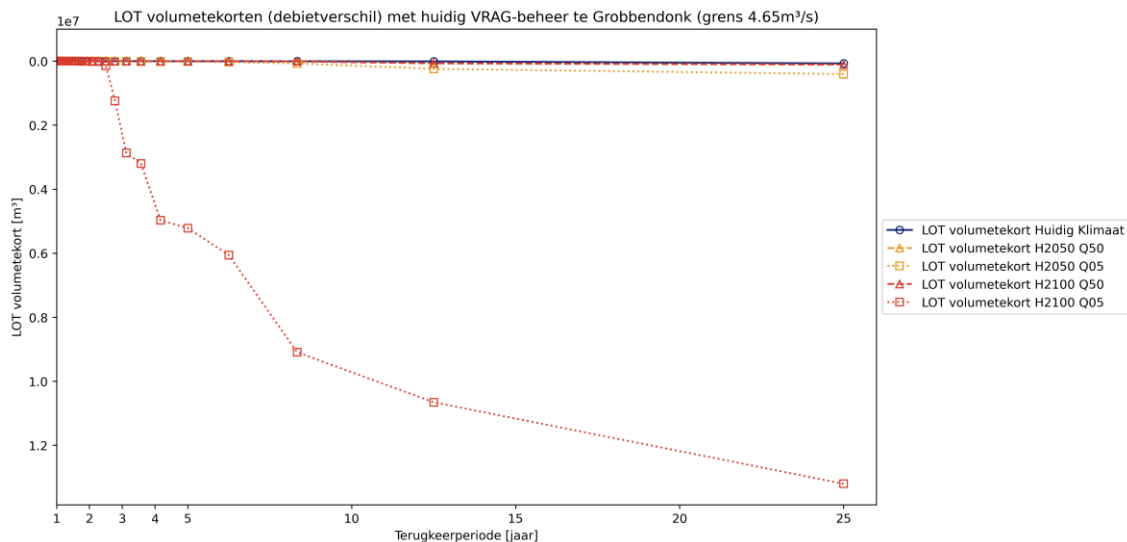


Figuur 14: Gemodelleerd laagwaterdebiet in het Albertkanaal te Grobbendonk, voor het 21- en 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarden van 4,65 m³/s. Resultaten voor het aangepast VRAG-beheer.

De overeenkomstige LOT-ruwwatertekorten worden getoond in Figuur 15 en Figuur 16 voor zowel het Maasdebiet als het debiet in het Albertkanaal.



Figuur 15: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor de onverdeelde afvoer van de Maas te Monsin, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarden van 30 en 35 m³/s voor het huidige VRAG-beheer.



Figuur 16: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor het 21-dagen debiet in het Albertkanaal te Grobbendonk o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarde van 4,65 m³/s voor het huidig VRAG-beheer.

In Tabel 1 en Tabel 2 wordt voor terugkeerperiodes van 5 en 25 jaar een overzicht gegeven van het ruwwatertekort samen met de duur van het tekort. De duur van het tekort wordt op twee manieren weergegeven: als het totaal aantal dagen met een ruwwatertekort gedurende het ganse jaar en als de LOT-duur. Het ruwwatertekort wordt gegeven als een volumetekort en als een debiettekort waarbij het debiettekort wordt berekend als het LOT-volumetekort gedeeld door de LOT-duur. In Tabel 2 neemt de totale duur en de LOT-duur bij T25 af na toepassing van bepaalde klimaatscenario's t.o.v. het huidig klimaat, terwijl het LOT-volumetekort toeneemt. Dit heeft te maken met de terugkeerperiode-berekening die empirisch is en voor alle impactindicatoren gebaseerd op het LOT-volumetekort. De impactresultaten van H2050 Q50 en H2100 Q50 zijn zeer gelijklopend omdat dezelfde droge jaren bepalend blijken voor de ruwwatertekorten. Dit heeft dus ook te maken met de empirische aanpak op basis van slechts 25 jaar.

Tabel 1: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 7-dagen Maasdebiet te Monsin o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarden van 30 en 35 m³/s voor het huidig VRAG-beheer.

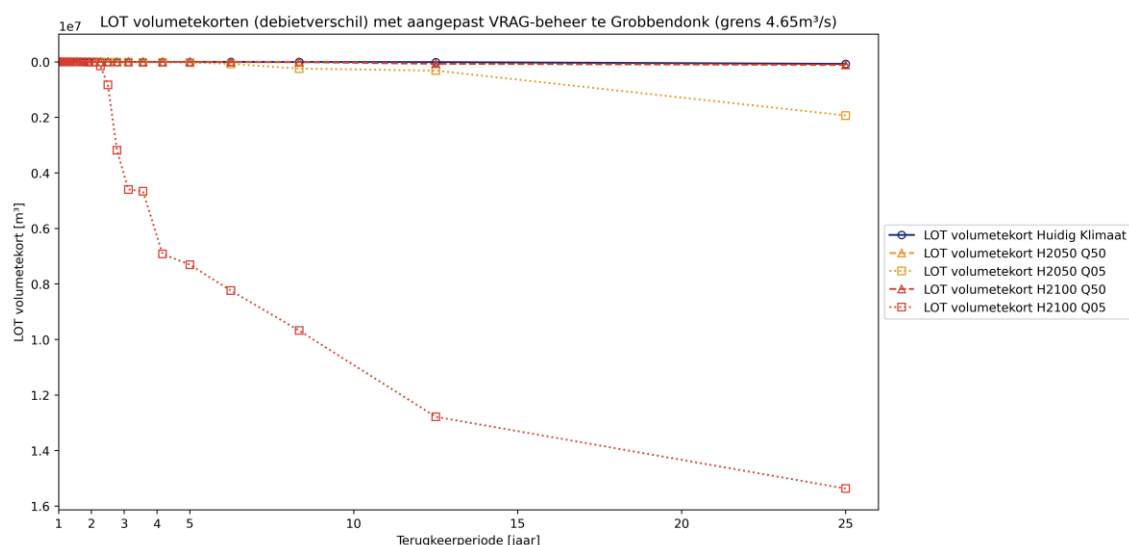
Monsin: Huidig VRAG; 30m ³ /s	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	0	17	0	61
T25 Totale duur [dagen]	0	0	46	5	89
T5 LOT-duur [dagen]	0	0	8	0	58
T25 LOT-duur [dagen]	0	0	41	4	67
T5 Volumetekort [mio m ³]	0	0	3,2	0	23,2
T25 Volumetekort [mio m ³]	0	0	16,4	1,6	26,8
T5 Debiettekort [m ³ /dag]	0	0	400 000	0	400 000
T25 Debiettekort [m ³ /dag]	0	0	400 000	400 000	400 000

Monsin: Huidig VRAG; 35m ³ /s	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	0	54	3	109
T25 Totale duur [dagen]	0	15	55	34	123
T5 LOT-duur [dagen]	0	0	30	3	69
T25 LOT-duur [dagen]	0	11	55	31	96
T5 Volumetekort [mio m ³]	0	0	12,0	1,2	27,6
T25 Volumetekort [mio m ³]	0	4,4	22,0	12,4	38,4
T5 Debiettekort [m ³ /dag]	0	0	400 000	400 000	400 000
T25 Debiettekort [m ³ /dag]	0	400 000	400 000	400 000	400 000

Tabel 2: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 21-dagen debiet in het Albertkanaal te Grobbendonk o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarde van 4,65 m³/s voor het huidig VRAG-beheer.

Grobbendonk: Huidig VRAG; 4,65m ³ /s	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	2	1	2	93
T25 Totale duur [dagen]	19	9	23	9	60
T5 LOT-duur [dagen]	0	2	1	2	62
T25 LOT-duur [dagen]	18	9	18	9	55
T5 Volumetekort [m ³]	0	3 060	15 771	3 023	5 215 586
T25 Volumetekort [m ³]	71 466	109 684	404 070	108 925	13 196 581
T5 Debiettekort [m ³ /dag]	0	1 530	15 771	1 512	84 122
T25 Debiettekort [m ³ /dag]	3 970	12 187	22 448	12 103	239 938

Hierna worden in Figuur 17 en Tabel 3 voor het Albertkanaal te Grobbendonk dezelfde typen resultaten gegeven maar na aangepaste toepassing van de VRAG-maatregelen.



Figuur 17: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor het 21-dagen debiet in het Albertkanaal te Grobbendonk o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, voor het aangepast VRAG-beheer.

Tabel 3: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 21-dagen debiet in het Albertkanaal te Grobbendonk o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, voor het aangepast VRAG-beheer.

Grobbendonk: Aangepast VRAG; 4,65m³/s	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	2	9	2	101
T25 Totale duur [dagen]	19	9	42	9	67
T5 LOT-duur [dagen]	0	2	8	2	70
T25 LOT-duur [dagen]	18	9	37	9	62
T5 Volumetekort [m³]	0	3 060	24 945	3 023	7 305 273
T25 Volumetekort [m³]	71 466	109 684	1 930 427	108 925	15 367 097
T5 Debiettekort [m³/dag]	0	1 530	3 118	1 512	104 361
T25 Debiettekort [m³/dag]	3 970	12 187	52 173	12 103	247 856

De resultaten in Tabel 1, Tabel 2 en Tabel 3 geven informatie over de ruwwaternood tot een terugkeerperiode van 25 jaar, enerzijds voor de Maas en anderzijds voor het Albertkanaal. Zoals hoger aangegeven dat die ruwwaternood gecompenseerd worden door het buffervolume te verhogen en/of door het drinkwaterproductiedebiet te verminderen en deze te compenseren via alternatieve waterbronnen. Voor dit laatste is het dan niet het volumetekort dat van belang is, maar het debiettekort in m³/dag of in m³/s.

Om tot een terugkeerperiode van 25 jaar geen ruwwatertekort te hebben zou er voor het voor meest extreme H2100 Q05 klimaatscenario en onder de huidige prioritering van VRAG-maatregelen een bijkomend buffervolume van ca. 13 miljoen m³ nodig zijn of dient er een totaal debiet van ca. 240 000 m³/dag (= 2,8 m³/s) aan alternatieve waterbronnen gezocht te worden. Voor het huidig klimaat is dat bijna nihil en voor de andere scenario's geeft dat tussenresultaten. Voor het meest extreme H2100 Q05 klimaatscenario is de ruwwaternood wel veel groter dan voor de andere klimaatscenario's. Voor de andere klimaatscenario's valt de impact erg mee, maar we merken wel dat de ruwwatertekorten vanaf bepaalde laagwatercondities in de Maas plots sterk kunnen toenemen. Dat blijkt ook uit de resultaten van de gevoeligheidsanalyse waarbij de prioritering van de VRAG-maatregelen werd aangepast. Bij het H2050 Q05 klimaatscenario stijgt de buffernood dan van 0,4 naar 1,9 miljoen m³.

Naast de impact op de waterbeschikbaarheid is er tijdens extreme droogteperiodes afwaarts langs het Albertkanaal ook gevaar op zoutintrasie vanuit de Antwerpse haven, zeker wanneer door De Vlaamse Waterweg grote hoeveelheden water worden teruggepompt aan de sluizen om de schutverliezen te compenseren. Die verhoging van de zoutconcentraties in het pand tussen Olen en Wijnegem tijdens periodes van extreem lage debieten op de Maas kan de waterbeschikbaarheid nog verder doen dalen. Dit laatste werd eerder al onderzocht door KU Leuven in de onderzoeksopdrachten voor Water-link en Port of Antwerp-Bruges. Hieruit blijkt dat over een gemodelleerde periode van 30 jaar, na implementatie van maatregelen zoals diepgangbeperkingen door De Vlaamse Waterweg, er voor het midden-impact klimaatscenario 2100 tijdens 3 van de 30 jaar een zoutintrasie te verwachten is tot aan de innamelocatie te Broechem en tijdens 1 van de 30 jaar tot aan de innamelocatie te Viersel. Voor het hoog-impact klimaatscenario 2100 stijgt dat tot 11 van de 30 jaar voor Broechem en tot 8 van 30 jaar voor Viersel. Voor de klimaatscenario's 2050 gebeurt dit met de huidige voorziene maatregelen in geen van de 30 jaar. Zonder diepgangbeperkingen zou dit veel vaker gebeuren. Dit toont opnieuw het grote belang van de VRAG-maatregelen.

Naast het inrekenen van de invloed van de zoutintrasie zijn er ook nog enkele andere redenen waarom de impactresultaten uit deze vorige studies wat kunnen verschillen van de impactresultaten die in deze studie worden bekomen. Ondertussen werd het waterbalansmodel van de bevaarbare waterlopen en de implementatie van de VRAG-maatregelen verder verfijnd. Zo werd o.a. de formulering van het Maasafvoerovereenkomst, de noodremprocedure, het stilleggen van de watervangen en de pompwerking wat bijgesteld. De huidige modellering komt dus beter overeen met de realiteit. Verder zijn de klimaatscenario's nu gebaseerd op een gereduceerde set van 30 klimaatmodelruns. Hieronder wordt in Tabel 4 een voorbeeld van vergelijking getoond tussen modelresultaten in de vroegere studie voor Water-link in 2023 en deze studie, namelijk voor het aantal jaren waarin de pomp te Wijnegem wordt geactiveerd in het model (dit gebeurt vanaf bepaalde tekorten langs het Albertkanaal) voor de periode 2000-2020 die zowel in de vroegere studies als in deze studie werd gesimuleerd. Vooral bij het H2100 Q50 scenario (zonder diepgangbeperking) blijkt er een groot verschil.

Tabel 4: Vergelijking van het aantal jaren waarin de pomp te Wijnegem wordt geactiveerd in het model voor de gemeenschappelijke simulatieperiode 2000-2020, tussen de vroegere studie voor Water-link in 2023 en deze studie, voor het huidig VRAG-beheer.

VRAG-strategie met/zonder diepgangbeperkingen	Klimaatscenario	Vroegere studie voor Water-link (2023)	Deze studie
Met diepgangbeperkingen	H2050 Q50	0	0
	H2050 Q05	0	0
	H2100 Q50	1	0
	H2100 Q05	7	8
Zonder diepgangbeperkingen	H2050 Q50	0	0
	H2050 Q05	4	2
	H2100 Q50	5	0
	H2100 Q05	9	12

Naast deze verschillen is er ook een verschil in de manier waarop het ruwwatertekort werd bepaald. In de vroegere studie voor Water-link werd het ruwwatertekort bepaald als het volume dat niet onttrokken kon worden, hetzij omwille van de waterkwantiteit hetzij omwille van de te hoge zoutconcentraties, terwijl in deze studie het ruwwatertekort wordt gedefinieerd als het volumetekort o.b.v. het 21-dagen gemiddeld debiet in Grobbendonk. Beide studies geven wel een vergelijkbare tijdsdynamiek in de debieten en watertekorten, maar door verschillen in de modellering en methodologie/focus kunnen er aanzienlijke verschillen zijn in de absolute cijfers van de impactresultaten. Dit toont opnieuw de grote gevoeligheid en onzekerheid in de raming van de ruwwatertekorten. Bij de interpretatie van de impactresultaten houdt men daar best mee rekening.

3.2 Kluizen (De Watergroep)

Aan het WPC Kluizen te Evergem in het Meetjesland heeft De Watergroep twee spaarbekkens met een totale capaciteit van 10,9 miljoen m³ ruwwater. De maximale productiehoeveelheid is er momenteel 40 000 m³/dag. Hiervan wordt ca. 90% of 36 000 m³/dag uit oppervlaktewater gewonnen en de rest uit grondwater. Het waterwingebied bestaat uit 25 000 ha stroomgebieden van de onbevaarbare waterlopen en wateringën Burggravenstroom, Kale en Meirebeek, een deel van de watering Lovendegem-Zomergem en het stroomgebied van de Poekebeek (Bertels et al., 2021).

De spaarbekkens hebben ongeveer een leveringszekerheid van 230 dagen bij een normale productie (Bertels et al., 2021). Deze spaarbekkens worden typisch gevuld vanaf november – december tot april – mei. In de zomermaanden is er de meeste jaren onvoldoende water beschikbaar om de inname actief te houden.

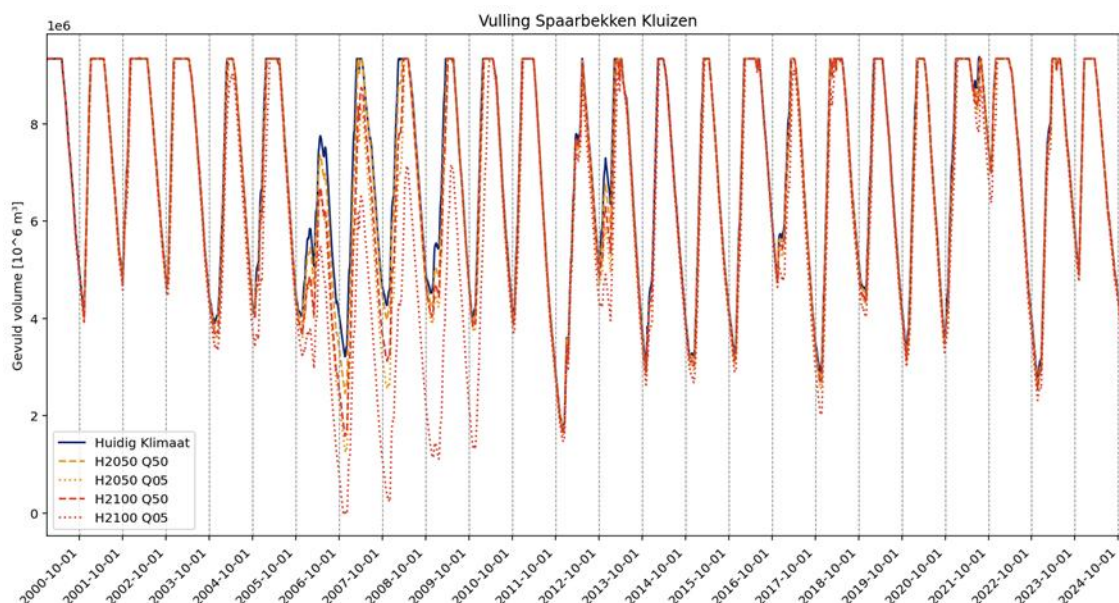
Hier ontstaat er een ruwwatertekort wanneer er tijdens de winter- en lentemaanden onvoldoende water ingenomen kan worden om de spaarbekkens voldoende te vullen zodat de daaropvolgende zomerperiode overbrugd kan worden. De analyse gebeurt hier daarom per hydrologisch jaar, d.i. vanaf 1 oktober t.e.m. 30 september. Het hydrologisch jaar van bijvoorbeeld 01/10/2024 t.e.m. 30/09/2025 wordt hier het hydrologisch jaar 2025 genoemd. De analyse gebeurt hier dus voor een tijdschaal van $D = 1$ jaar.

Om te bepalen of er voldoende water beschikbaar is voor drinkwaterproductie gedurende een hydrologisch jaar, is niet enkel het totale ingenomen volume belangrijk, maar ook het aanwezige volume in de spaarbekkens aan de start van het hydrologisch jaar. Om een zo volledig mogelijk beeld te schetsen, wordt naar verschillende factoren op hydrologische jaarbasis gekeken: De laagste vulling van de spaarbekkens, de vulling aan het einde van een hydrologisch jaar en de netto volumetoename in de spaarbekkens gedurende het hydrologisch jaar.

Vermits er hier geen debietmetingen beschikbaar zijn in de waterloop, is de impactanalyse volledig gebaseerd op een hydrologisch waterbalansmodel. Zulk model werd door het KU Leuven onderzoeksteam opgemaakt in het kader van een studie voor KWR en De Watergroep (De Niel & Willems, 2018; Bertels et al., 2021; De Meester & Willems, 2022). Ze bestaat uit een conceptueel waterbalansmodel, gecombineerd met hydrologische GR4J-modellen voor de neerslagafstroming van de deelstroomgebieden. Het model simuleert de periode van 1 oktober 2000 t.e.m. 30 september 2024. De benodigde input werd aangeleverd door De Watergroep. Hiaten in de aangeleverde tijdreeksen van drinkwaterproductiedebieten werden aangevuld op basis van de productiedebieten op dezelfde dag en maand van naburige jaren. De opgevulde tijdreeksen toont een gemiddelde totale drinkwaterproductie (oppervlaktewater en grondwater samen) van 34 146 m³/dag over de gehele gesimuleerde periode. Dit ligt lager dan de theoretische drinkwaterproductie van 40 000 m³/dag.

In Figuur 18 wordt het verloop van de totale vulling van de twee spaarbekkens samen gedurende de gesimuleerde periode getoond. Ook de vulling in de spaarbekkens na toepassing van de klimaatscenario's wordt er weergegeven. Hierbij is duidelijk zichtbaar dat een extremer scenario leidt tot lagere waterstanden in de spaarbekkens, vooral tijdens de droge periodes, die grotendeels samenvallen met de hydrologische zomers (april t.e.m. september). De spaarbekkens vallen nooit droog gedurende de gesimuleerde periode voor zowel het huidige klimaat als na toepassing van de klimaatscenario's, behalve in 2006 voor het meest extreme klimaatscenario. In dat jaar was er een verhoging van de drinkwaterproductie en tegelijkertijd een

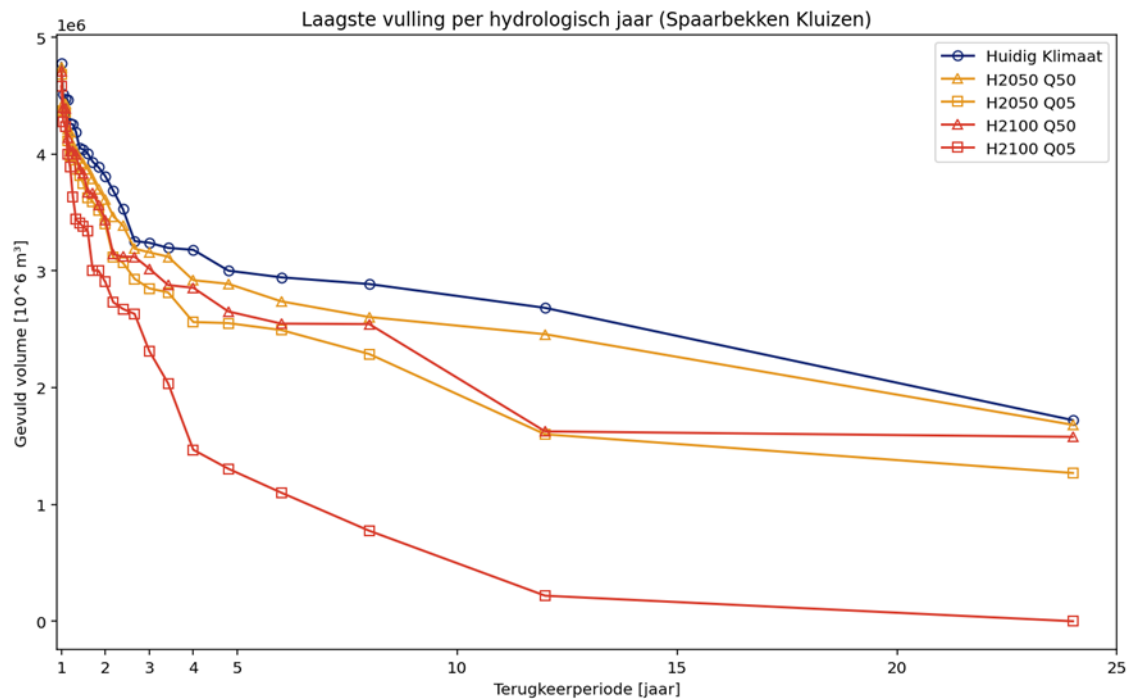
verminderde waterbeschikbaarheid in de Averijsvaart. Daardoor geraakten de spaarbekkens niet voldoende aangevuld.



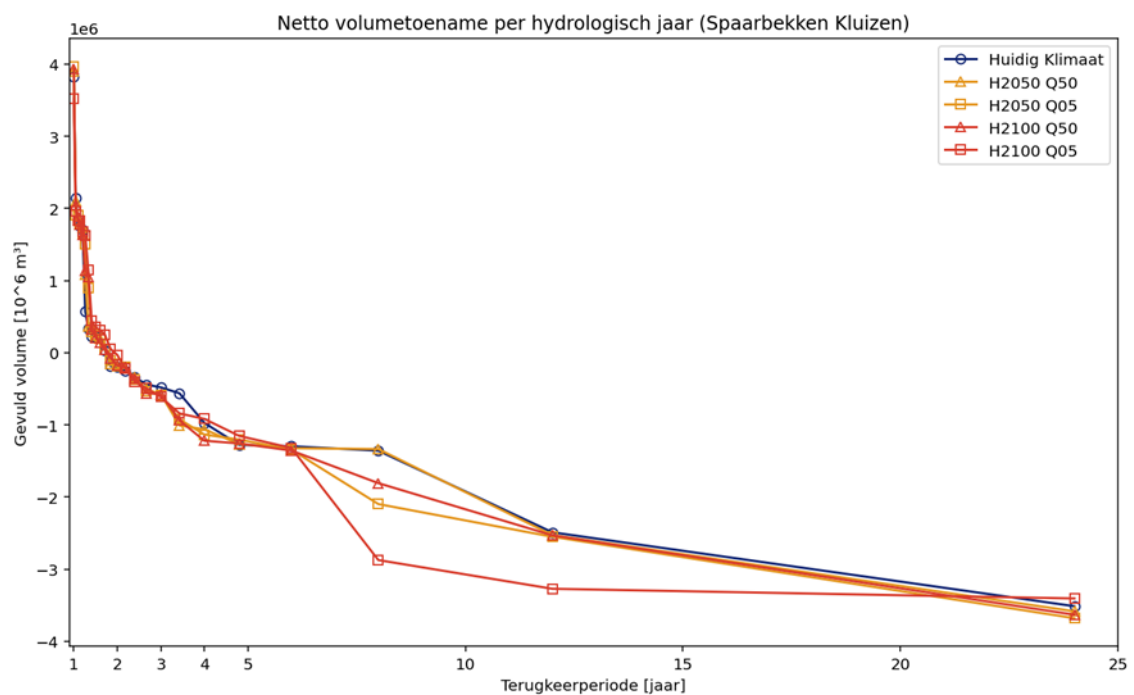
Figuur 18: Gemodelleerde totale vulling in de twee spaarbekken samen te Kluizen o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.

In Figuur 19 ziet men dat het jaarlijks minimum volume in de spaarbekkens afneemt bij de extremere scenario's. Het minimum volume toont ook aan dat de spaarbekkens gedurende de gesimuleerde periode nooit leegstand bereiken. Belangrijk om op te merken is dat dit sterk afhankelijk is van de situatie van het vorige jaar. Klimaatscenario H2100 Q05 toont aan dat een laag volume in de spaarbekkens wel mogelijk is. Indien dit wordt voorafgegaan door ook een droog jaar, is droogstand van de spaarbekkens mogelijk.

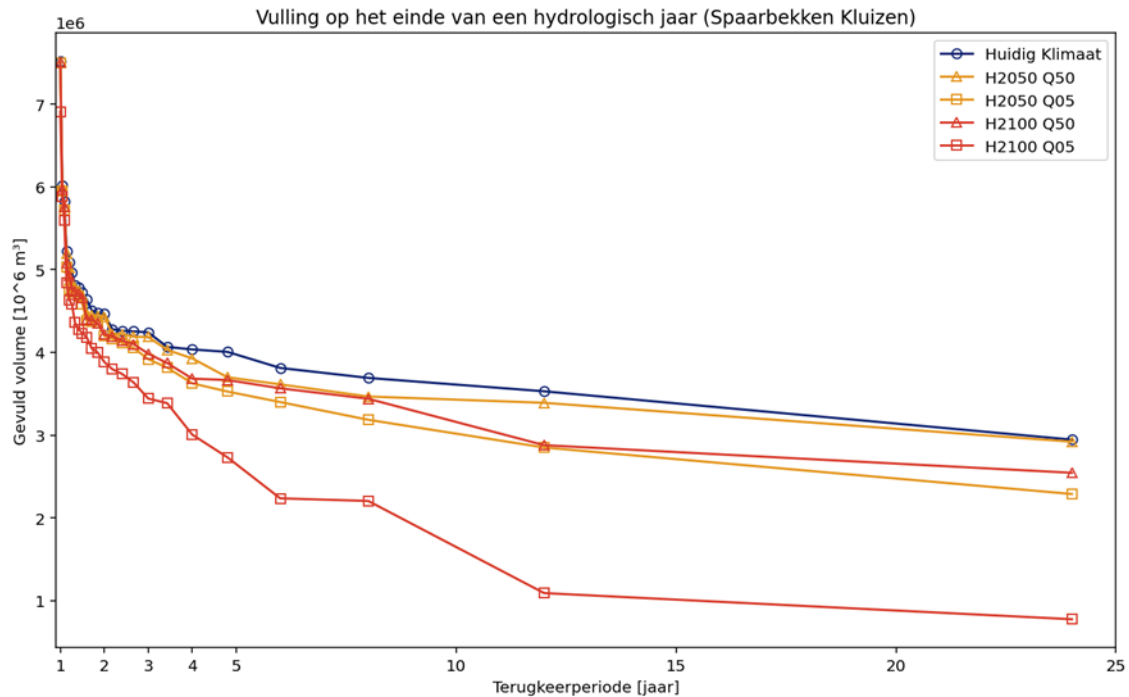
Figuur 20 toont het netto volumeverschil in de spaarbekkens gedurende het hydrologisch jaar. Een negatief volumeverschil duidt op een netto peildaling in de spaarbekkens gedurende het hydrologisch jaar. Dit doet zich voor bij de grotere terugkeerperiodes, met een grotere daling in volume bij de extremere klimaatscenario's. Opmerkelijk is dat het meest extreme klimaatscenario niet voor alle terugkeerperiodes de grootste daling geeft; soms geldt het omgekeerde. Dit wordt verklaard door de invloed van het voorbije jaar: een spaarbekken dat op het einde van het voorgaande jaar op het laagste peil stond, kan het meest aangevuld worden. Interessant is om dit naast Figuur 21 te leggen. Die figuur toont de volumes in de spaarbekkens aan het einde (en dus ook aan de start) van elk hydrologisch jaar. Voor het klimaatscenario H2100 Q05 geldt een kans van eens om de ca. 10 jaar waarbij het volume aan het eind van het hydrologisch jaar ongeveer 1,5 miljoen m³ bedraagt. Nu is er voor het huidig klimaat ook een kans van eens om de ca. 10 jaar dat de netto volumedaling in de spaarbekkens ongeveer 1,5 miljoen m³ bedraagt. Als deze jaren elkaar zouden opvolgen, ontstaat er dus een tekort. Voor toekomstige scenario's vergroot deze kans alleen maar.



Figuur 19: Gemodelleerde laagste vulling per hydrologisch jaar voor de twee spaarbekken samen te Kluizen o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.



Figuur 20: Gemodelleerde netto volumetoename per hydrologisch jaar voor de twee spaarbekken samen te Kluizen o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.



Figuur 21: Gemodelleerde vulling op het einde van het hydrologisch jaar voor de twee spaarbekken samen te Kluizen o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.

Tabel 5 geeft aan hoeveel bijkomende buffercapaciteit er nodig is in de spaarbekkens of hoeveel vermindering in productievolume er nodig is, bv. door die te vervangen door alternatieve waterbronnen om niet onder het minimumpeil te komen. Er werd een minimumpeil van 2 meter genomen voor het tweede spaarbekken en 0 meter voor het eerste spaarbekken, dus onder de veronderstelling dat spaarbekken 1 volledig gebruikt kan worden vermits de laatste meters dan overgepompt worden naar het tweede spaarbekken.

Tabel 5: Gemodelleerd watertekort per hydrologisch jaar voor Kluizen o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.

Kluizen	Huidig				
	klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
Volumetekort [m ³]	0	0	0	0	300 000
Debiettekort [m ³ /dag]	0	0	0	0	610

Deze impactresultaten blijken wel zeer gevoelig voor de gebruikte meteorologische meetreeksen en onzekerheden in het model. Bijvoorbeeld, wanneer er een factor 0,9 of 0,8 wordt toegepast op het debiet in de Averijvaart, dan nemen de volumetekorten zeer sterk toe; zie Tabel 6 en Tabel 7.

Tabel 6: Gemodelleerd watertekort per hydrologisch jaar voor Kluizen o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van een factor 0,9 op het debiet in de Averijvaart.

Kluizen	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
Volumetekort [m³]	0	0	0	0	3 000 000
Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	1 600

Tabel 7: Gemodelleerd watertekort per hydrologisch jaar voor Kluizen o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van een factor 0,8 op het debiet in de Averijvaart.

Kluizen	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
Volumetekort [m³]	0	250 000	3 600 000	2 000 000	8 800 000
Debiettekort [m³/dag]	0	310	1 300	1 100	2 400

In de vroegere studie van KU Leuven voor KWR en De Watergroep werd de vullingsgraad van de spaarbekkens over de jaren heen gesimuleerd voor een andere referentieperiode: 1961-1990. Er werd toen geconcludeerd dat bij een productievolume van 36 700 m³/dag voldoende vulling gegarandeerd kan worden gedurende 98% van de tijd (Bertels et al., 2021). Het verschil in meteorologische condities en beheer verklaart het verschil tussen de resultaten in deze studie versus die van Bertels et al. (2021). Bertels et al. (2021) vond dat bij een toename van het productievolume tot 50 000 m³/dag het percentage van de tijd met voldoende vulling daalt tot 90% en bij 70 000 m³/dag tot 79%. Onder het hoog-impact klimaatscenario 2100 dat toen werd doorerekend (vroegere versie van klimaatscenario's) daalt dit percentage van 79% bij 70 000 m³/dag tot ca. 60%.

Ter vergelijking: het tekort compenseren met extra grondwater aan 10 000 m³/dag komt overeen met 3,6 miljoen m³/jaar. Op dit ogenblik wordt op jaarbasis 10% geproduceerd uit grondwater. Dit komt neer op 4 000 m³/dag gedurende het volledige jaar of 10 000 m³/dag gedurende 146 dagen per jaar. Een andere optie is om een bijkomende innamemogelijkheid te voorzien, zoals doorerekend in de studie van KU Leuven voor KWR en De Watergroep, bv. via het permanent openen van de sifon tussen de waterlopen Poekebeek en de Oude Kale waardoor er een extra inname mogelijk wordt van oppervlaktewater uit de Poekebeek die helpt om bij een drogere winterperiode de spaarbekkens toch volledig te vullen. Omdat er heel veel inname vanuit de Poekebeek nodig is, bv. 75%, om een significante impact te hebben, is dit slechts een deel van de totale nodige oplossing. Op dit moment wordt een mogelijke extra inname uit het afleidingskanaal van de Leie onderzocht. Dit laat toe om de periode waarbij het spaarbekken gevuld kan worden, te verlengen, wat op jaarbasis voor een extra ingenomen volume van 1 miljoen m³ kan zorgen.

Een belangrijke opmerking bij deze resultaten is dat het model en de analyse hier louter gebaseerd zijn op waterkwantiteit en dus niet expliciet rekening houden met de waterkwaliteit.

3.3 De Gavers (De Watergroep)

In Harelbeke-Stasegem heeft De Watergroep met de Gavervijver een benaderend volume van 3 miljoen m³. Door beperkte peilmarges heeft de Gavervijver ondanks zijn volume slechts geringe bergingscapaciteit en functioneert het eerder als doorstroombekken dan als spaarbekken. De productiehoeveelheid van het WPC De Gavers bedraagt hier momenteel 37 000 m³/dag, maar wordt uitgebreid om de vergunde capaciteit van gemiddeld 50 000 m³/dag te kunnen onttrekken met een maximum van 55 000 m³/dag. Het oppervlaktewater dat ingenomen wordt is Bovenscheldewater dat aangevoerd wordt via het Kanaal Bossuit – Kortrijk aan 0,35 m³/s, toekomstig aan 0,58 m³/s, en wordt eerst voorgezuiverd alvorens het wordt ingelaten in de Gavervijver. De Gavervijver heeft een peilmarge van 30 cm, wat bij gebrek aan innamemogelijkheid slechts een beperkte leveringszekerheid van ongeveer een week geeft. Daarom werd voor deze WPC een D = 7 dagen toegepast.

Het debiet van de Bovenschelde ter hoogte van het Kanaal Bossuit – Kortrijk is hier bepalend voor de ruwwaterbeschikbaarheid. Tot enkele jaren geleden gebruikte De Watergroep drempelwaarden van 15, 10 en 5 m³/s voor de Schelde te Helkijn om de waterbeschikbaarheidsklassen 'Normaal', 'Voldoende', 'Nipt voldoende' en 'Onvoldoende' in te delen voor hun ruwwaterbeschikbaarheidsindicator (VRAG, 2021). Momenteel gebruikt men het 95-percentieldebiet op de Schelde te Helkijn als drempelwaarde om onderscheid te maken tussen de waterbeschikbaarheidsklassen 'Normaal' en 'Voldoende'. Om de klassen 'Nipt voldoende' en 'Onvoldoende' in te delen wordt nu het peil in het kanaal Bossuit-Kortrijk gebruikt; zie Tabel 8.

Tabel 8: Grenswaarden voor de ruwwaterbeschikbaarheid zoals in het verleden gebruikt door De Watergroep voor WPC De Gavers.

1	Normaal	Debiet op de Schelde te Helkijn > P95 voor de tijd van het jaar
2	Voldoende	Debiet op Schelde te Helkijn < P95 voor de tijd van het jaar
3	Nipt voldoende	Het streefpeil van 17,20 m TAW in het kanaal KBK kan niet meer aangehouden worden
4	Onvoldoende	Er wordt gevraagd aan De Watergroep om de inname uit het kanaal KBK te verminderen

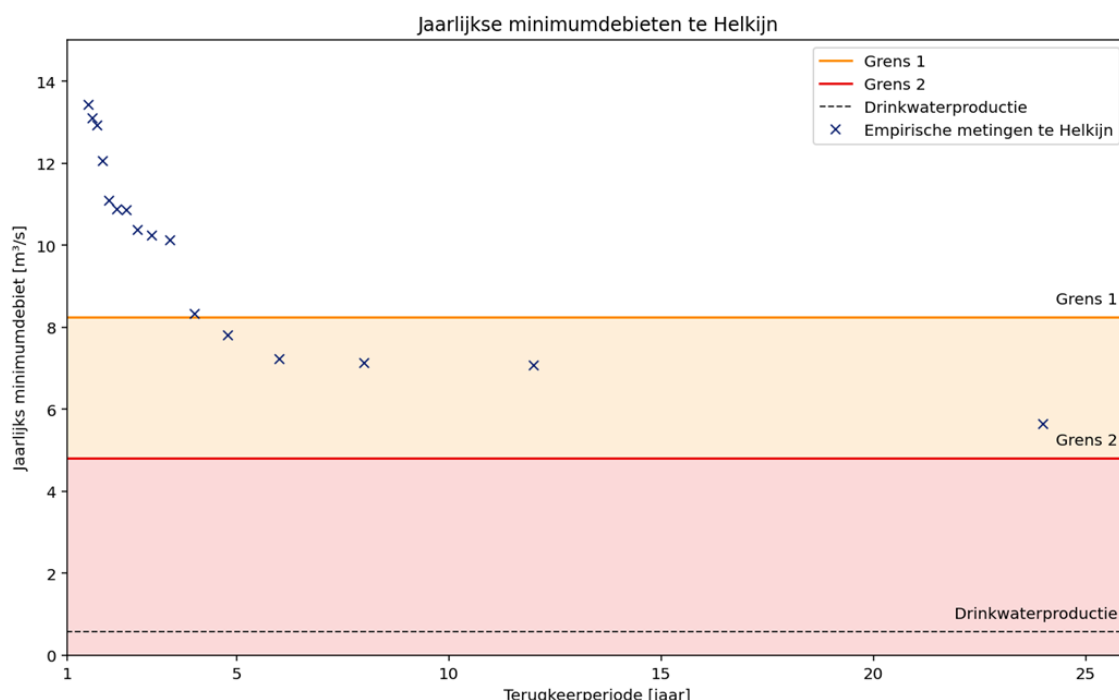
In het VRAG wordt een drempeldebiet gebruikt voor Bovenschelde en Leie samen van 15 m³/s, op basis van de minimumdebieten vereist van 4 à 5 m³/s voor het Kanaal Gent-Terneuzen, 2 m³/s voor het Kanaal Gent-Oostende, ca. 10 m³/s voor de Zeeschelde. Rekening houdend met de min of meer vergelijkbare debieten voor de Bovenschelde en de Leie geeft dit een drempeldebiet van 7 à 8 m³/s voor de Bovenschelde. Als minimaal ecologisch debiet wordt in het VRAG een waarde gebruikt van 11 m³/s. De grenswaarde is dus onzeker. In de toekomst zou de watervraag verder kunnen toenemen door het Seine-Schelde project, de opwaardering van het kanaal Bossuit-Kortrijk, en de nieuwe zeeluis van Terneuzen. Daarom werd in deze studie een bereik aan mogelijke grenswaarden gebruikt, met een hogere grens (Grens 1) van 8,25 m³/s en een lage grens (Grens 2) van 4,8 m³/s. Deze grenzen werden opgelegd aan het debiet op de Bovenschelde te Helkijn. In het kanaal Bossuit-Kortrijk zijn in het waterbalansmodel metingen beschikbaar op de verschillende panden. De debieten in Zwevegem werden geanalyseerd met een grens van 0,58 m³/s wat enkel het gevraagde waterproductiedebiet is vanuit het WPC.

Voor de ondergrens werd uitgegaan van een scenario waarbij de drinkwatersector de enige actor is die nog water inneemt vanuit de Bovenschelde. Dit betekent dat er enkel water moet zijn om de vispassages stroomafwaarts en de schuttingsverliezen van de Bovenschelde naar het Groot Pand te Gent te kunnen blijven voeden. In Helkijn is de ondergrens hoger aangezien het debiet

er voldoende hoog moet zijn voor drinkwaterproductie. Dit leidt tot een Grens 2 van 4,8 m³/s voor Helkijn. Grens 1 gaat uit van bijkomstige eisen. Zo moet water voor de kanalen leveren mogelijk blijven alsook captaties van stroomafwaartse actoren zoals industrie. Dit leidt tot de hogere grenswaarde van 8,25 m³/s voor Helkijn. Een nog hogere grens kan gesteld worden door rekening te houden met het ecologisch minimumdebiet (Boeckx, 2022). Dit ecologisch minimumdebiet bedraagt 11,4 m³/s voor Helkijn.

In alle gevallen wordt een inname van 0,58 m³/s voor drinkwater gehanteerd. Dit aangezien dit drinkwaterproductievolumen in de toekomst van toepassing zal zijn.

In Figuur 22 wordt op basis van het gemeten debiet op de Bovenschelde te Helkijn en te Gavere het laagste 7-dagen gemiddeld debiet per jaar getoond i.f.v. de terugkeerperiode en vergeleken met het bereik aan mogelijke grenswaarden zoals hiervoor beschreven. De debietmeetlocatie te Helkijn bevindt zich opwaarts van het Kanaal Bossuit – Kortrijk. De metingen te Helkijn zijn beschikbaar voor de periode 2002-2024.



Figuur 22: Gemeten laagwaterdebiet in de Bovenschelde te Helkijn, voor het 7-dagen gemiddeld debiet, en vergelijking met de grenswaarden van 8,25 en 4,8 m³/s. Figuren voor meetperiode 2002 t.e.m. 2024.

Grens 1 wordt in Figuur 22 met een terugkeerperiode van ca. 5 jaar onderschreden wat wijst op een ondermaatse watertoevoer naar de stroomafwaartse kanalen gedurende 7 of meer dagen. Grens 2 wordt gemiddeld eens om de 20 à 30 jaar onderschreden, wat wijst op een volledige stop van watertoevoer naar de kanalen en een ernstig risico voor de ecologische gezondheid van het watersysteem. Indien echter gekeken wordt naar het ecologisch minimumdebiet volgens Boeckx (2022) van 11,4 m³/s dan verschuift de overschrijdingsfrequentie naar eens om de ca. 2 jaar.

Een eerder masterproefonderzoek van Mulleman (2010) maakte gebruik van de grenswaarden van 5 en 5,65 m³/s. Dit was gebaseerd op het waterverbruik langs de Bovenschelde, dat geraamd werd op 4,2 m³/s, aangevuld met de totale watervraag van 0,8 m³/s voor het Kanaal Bossuit – Kortrijk volgens een drinkwaterproductie van 30 000 m³/dag. In de toekomst zou dit laatste

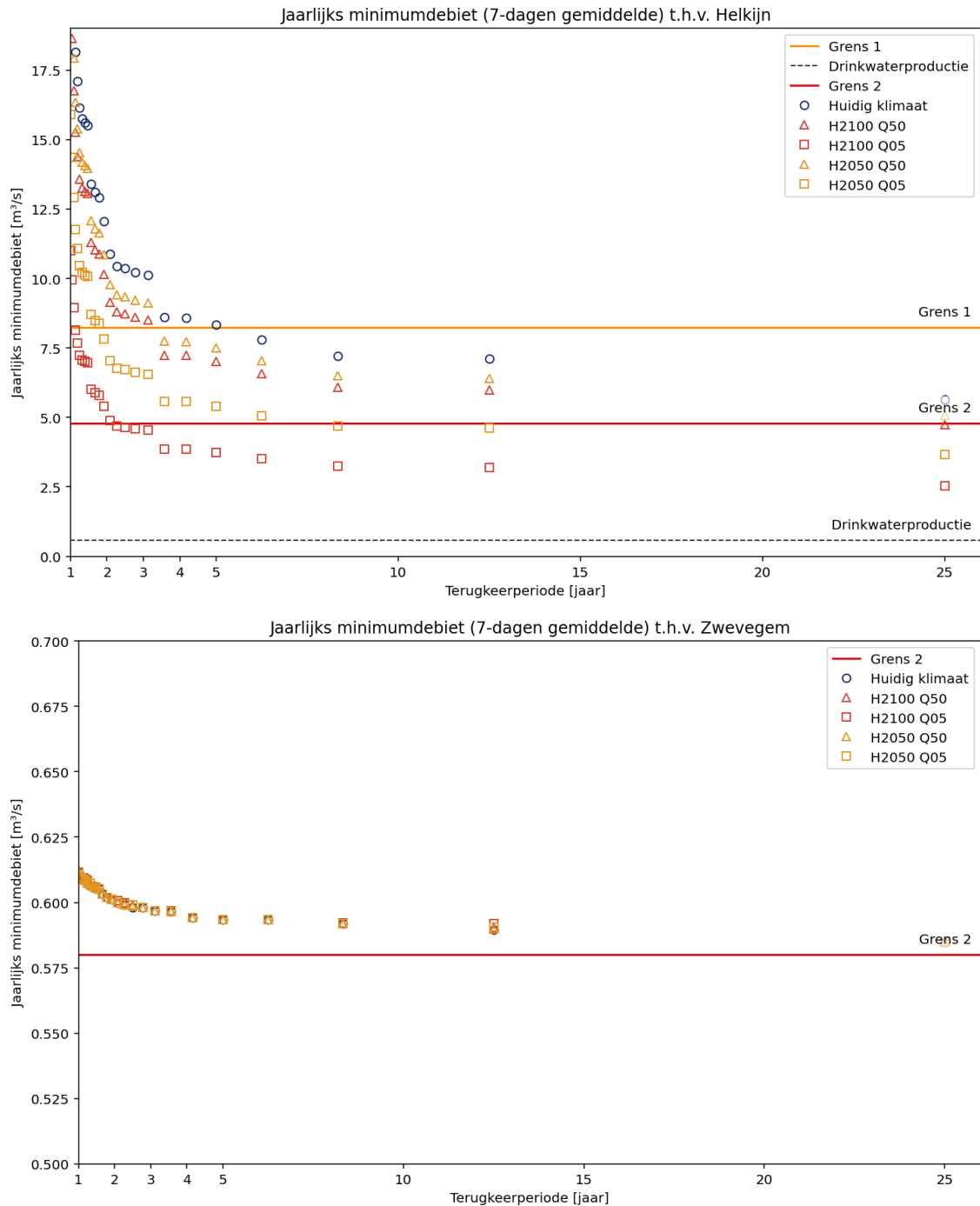
verbruik verder kunnen stijgen tot 1,45 m³/s door een hogere drinkwaterproductie van 50 000 m³/dag, wat de drempelwaarde deed toenemen tot 5,65 m³/s. De extreme-waarden-verdelingen in Figuur 22 geeft aan dat deze drempelwaarden overschreden wordt met een terugkeerperiode van 10 à 25 jaar.

Bij deze analyse moet wel de bedenking worden gemaakt dat de VRAG-maatregelen worden toegepast om de waterbeschikbaarheid maximaal te blijven garanderen en dat de drinkwatervoorziening hierbij de hoogste prioriteit krijgt. Er zullen dus eerst waterbesparende maatregelen opgelegd worden voor de scheepvaart, landbouw en industrie vooraleer dit gebeurt voor de drinkwaterproductie. Gezien het laagwaterdebiet in de Bovenschelde te Helkijn nooit lager gaat (of slechts bij een extreem hoge terugkeerperiode) dan het innamedebiet van het WPC De Gavers van 0,58 m³/s, is er voor het WPC De Gavers theoretisch nooit een ruwwatertekort te verwachten. In de praktijk moet er echter toch ook rekening gehouden worden met de andere watergebruikers en de ecologisch minimale debieten.

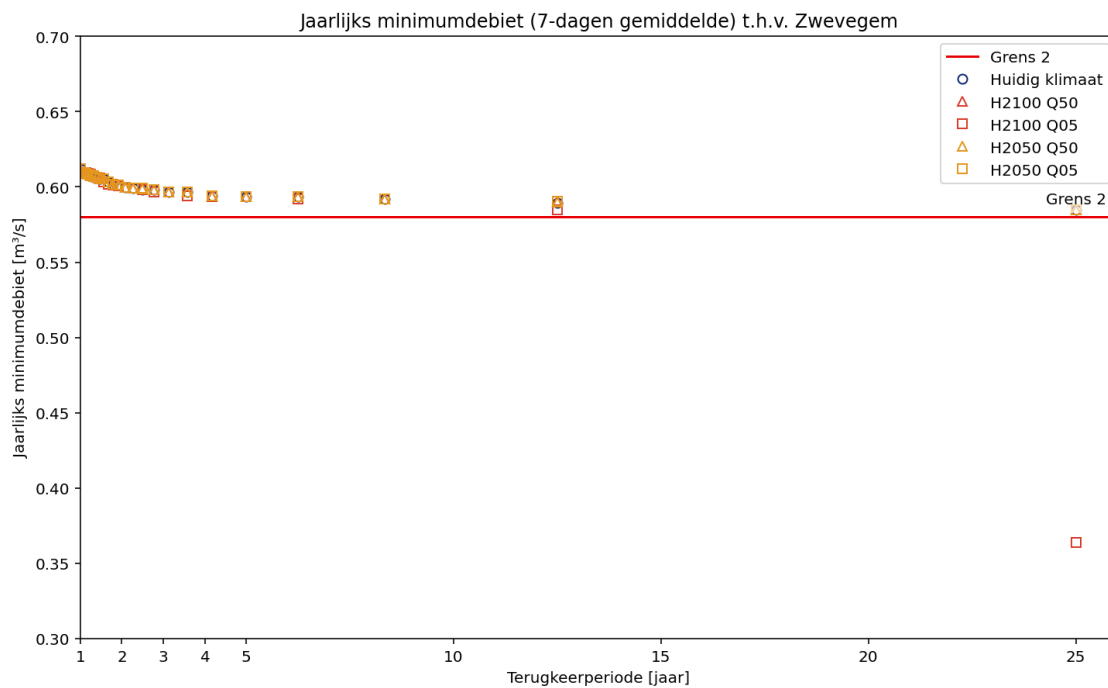
De droogterapporten van de droge zomers van 2018-2020 en 2022 bevestigen dat er voor het WPC De Gavers geen beperkingen waren van de drinkwaterproductie ondanks de lage debieten in de Bovenschelde.

De impact van de klimaatscenario's werd berekend via het waterbalansmodel dat KU Leuven voor De Vlaamse Waterweg ontwikkelt (Breugelmans et al., 2024). In een eerdere studie van het VITO (Dams et al., 2016) rond de waterbeschikbaarheid voor het WPC De Gavers, werd er een Infoworks RS model ontwikkeld voor het Kanaal Bossuit-Kortrijk en een deel van de Bovenschelde. Het waterbalansmodel van KU Leuven is recenter en houdt rekening met het VRAG-beheer. In dat model zijn de Bovenschelde en het Kanaal Bossuit – Kortrijk vervat.

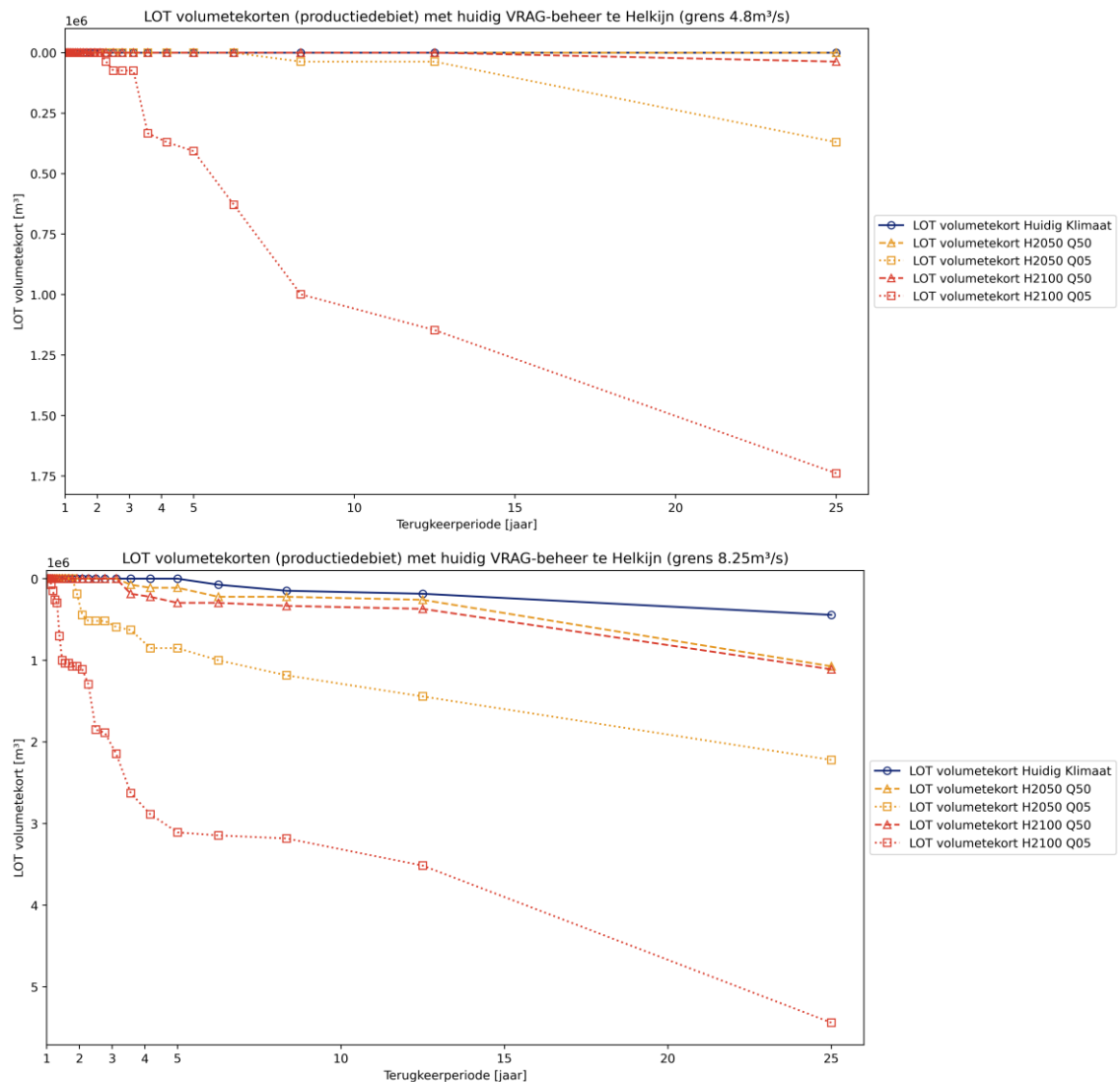
Figuur 23, Figuur 24 en Figuur 25 visualiseren o.b.v. dat model de impactresultaten van de klimaatscenario's voor zowel het laagwaterdebiet in de Bovenschelde te Helkijn als in het Kanaal Bossuit – Kortrijk te Zwevegem.



Figuur 23: Gemodelleerd laagwaterdebiet in de Bovenschelde te Helkijn en in het Kanaal Bossuit – Kortrijk te Zwevegem, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarden van 8,25 en 4,8 m^3/s voor Helkijn en 0,58 m^3/s voor Zwevegem. Resultaten voor het huidig VRAG-beheer.



Figuur 24: Gemodelleerd laagwaterdebiet in het Kanaal Bossuit – Kortrijk te Zwevegem, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarde van 0,58 m³/s. Resultaten voor het aangepast VRAG-beheer.



Figuur 25: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor de Bovenschelde te Helkijn, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarden van 4,8 en 8,25 m³/s voor het huidig VRAG-beheer.

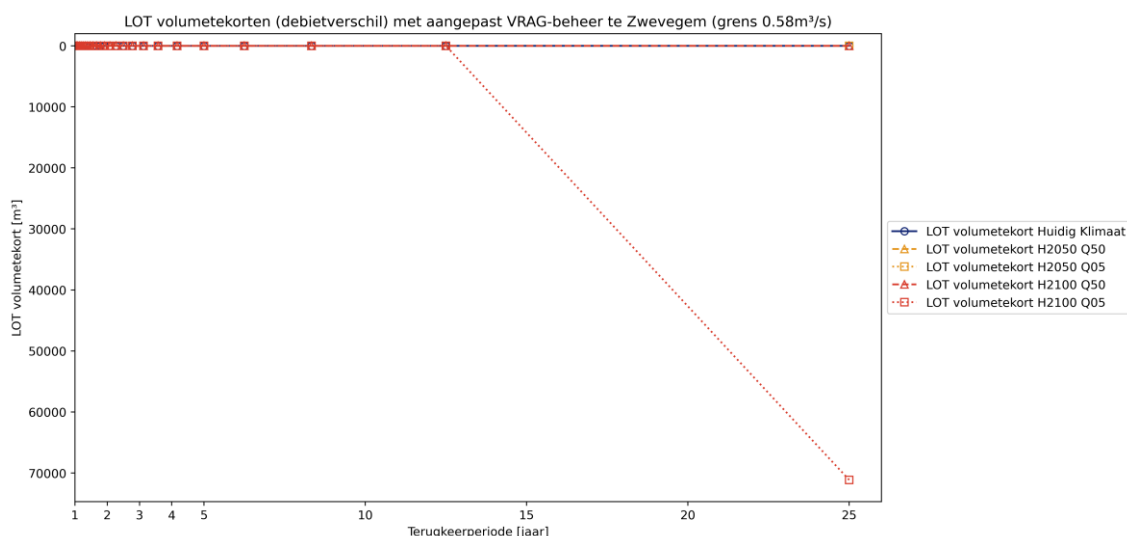
De 7-dagen gemiddelde debieten te Zwevegem gaan nooit onder de limiet van 0,58 m³/s. Voor de dagelijkse debieten gebeurt dit wel, maar niet bij de gebruikte tijdschaal van $D = 7$ dagen. In Tabel 9 zijn daarom enkel voor de Bovenschelde te Helkijn de volume- en debiettekorten weergegeven voor de twee grenswaarden (4,8 en 8,25 m³/s). Dit is de ruwwaternood voor de waterbeheerder. Voor de drinkwatermaatschappij is er geen ruwwaternood.

Tabel 9: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 7-dagen debiet in de Bovenschelde te Helkijn o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarden van 4,8 en 8,25 m³/s voor het huidige VRAG-beheer.

Helkijn: Huidig VRAG; 4,8 m³/s	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	32
T25 Totale duur [dagen]	0	0	16	1	50
T5 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	11
T25 LOT-duur [dagen]	0	0	10	1	47
T5 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	407000
T25 Volumetekort [m³]	0	0	370000	37000	1739000
T5 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	37 000
T25 Debiettekort [m³/dag]	0	0	37 000	37 000	37 000

Helkijn: Huidig VRAG; 8,25 m³/s	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	5	43	8	133
T25 Totale duur [dagen]	24	40	91	52	147
T5 LOT-duur [dagen]	0	3	23	8	84
T25 LOT-duur [dagen]	12	29	60	30	147
T5 Volumetekort [m³]	0	111 000	851 000	296 000	3 108 000
T25 Volumetekort [m³]	444 000	1 073 000	2 220 000	1 110 000	5 439 000
T5 Debiettekort [m³/dag]	0	37 000	37 000	37 000	37 000
T25 Debiettekort [m³/dag]	37 000	37 000	37 000	37 000	37 000

Wanneer de prioritering van de VRAG-maatregelen wordt aangepast en de drinkwatervoorziening de laagste prioriteit wordt gegeven, dan wordt er voor het Kanaal Bossuit – Kortrijk te Zwevegem wel een volumetekort gevonden maar enkel voor het meest extreme klimaatscenario; zie Figuur 26 en Tabel 10. Dit volumetekort bedraagt ca. 70 000 m³. Dit stelt geen probleem vermits het WPC in de Gavervijver een buffervolume heeft van ca. 200 000 m³. De Gavervijver heeft een totaal volume van ca. 3 miljoen m³, maar de peildaling mag niet meer bedragen dan 30 cm. Dit komt overeen met een buffervolume van ca. 200 000 m³, wat ongeveer overeenkomt met een leveringszekerheid van afgerond een week. De tijdschaal van D = 7 dagen die beschouwd werd voor het debiet in de Bovenschelde en het Kanaal Bossuit – Kortrijk is dus representatief.



Figuur 26: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor het Kanaal Bossuit – Kortrijk te Zwevegem, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarden van 0,58 m³/s voor het aangepast VRAG-beheer.

Tabel 10: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 7-dagen debiet in het Kanaal Bossuit – Kortrijk te Zwevegem o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarde van 0,58 m³/s voor het aangepast VRAG-beheer.

Zwevegem: Aangepast VRAG; 0,58 m³/s	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	11
T5 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	9
T5 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	0
T25 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	71 137
T5 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	0
T25 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	7 904

Voorgaande analyse houdt wel geen rekening met het project Seine-Schelde dat de aanleg van een nieuw kanaal tussen Cambrai en Compiègne impliceert. Er zal dan water opgepompt worden in de richting van het kruinpad, waardoor de Bovenschelde minder water zal ontvangen.

3.4 Blankaart (De Watergroep)

In Woumen-Diksmuide heeft De Watergroep het spaarbekken van De Blankaart met een totaal netto buffervolume van 2,4 miljoen m³ water. De maximale productiehoeveelheid bedraagt er 40 000 m³/dag. Er wordt oppervlaktewater ingenomen vanuit de Ijzer (ongeveer 3/4^{de}) en de omliggende waterlopen zoals de Stenensluisvaart (ongeveer 1/4^{de}) en dat mede via de Blankaartvijver. Het netto buffervolume van 2,4 miljoen m³ voor het spaarbekken komt overeen met ongeveer 160 dagen leveringszekerheid bij een verlaagde zomerproductie van 15 000 m³/dag. Naast de waterkwantiteit is er ook bij dit WPC een grote problematiek van waterkwaliteit. Tijdens droge zomermaanden en/of andere perioden van het jaar worden er aan de inname locaties hoge concentraties aan micropolluenten zoals pesticiden, voornamelijk bentazon, metaldehyde, clopyralid en chlormequat, nitraat en fosfaat gevonden. Metaldehyde en nitraat worden in hoge concentraties aangetroffen, maar voornamelijk buiten de zomermaanden. Hoge concentraties aan nitraat en het slakkenbestrijdingsmiddel metaldehyde vinden respectievelijk vooral in de winter- en herfstperiode plaats. Ook de zoutconcentratie en geleidbaarheid stijgen vrij snel bij lage afvoer, zeker wanneer aan het sluisencomplex Ganzepoot omgekeerd spui-beheer wordt toegepast in functie van de glasaalmigratie. Omgekeerd daalt de geleidbaarheid in het oppervlaktewater opnieuw vrij snel na neerslag en doorstroming. Omwille van de slechte waterkwaliteit kon er de afgelopen droge zomers geen ruwwater ingenomen worden tijdens die droogteperiodes. Dit betekent dat er op dit ogenblik al een ruwwaternood bestaat en dit gedurende de zomermaanden voor de totale gewenste productiehoeveelheid van 40 000 m³/dag.

In 2017 moest De Watergroep door de lage peilen in De Blankaart alternatieven aanspreken om de drinkwatervoorziening te garanderen. Het oppompen van grondwater en de aankoop van water van andere drinkwatermaatschappijen werd verhoogd. Hierdoor werd de vergunning om op te pompen uit de Carboonkalk overschreden. In mei 2017 werd beslist, om tekorten te vermijden, om opnieuw water in te nemen uit de Ijzer, ondanks de slechtere waterkwaliteit (o.m. verhoogde chlorideconcentraties).

Ook tijdens de droge zomer van 2019 waren er problemen. Het droogterapport voor dat jaar geeft aan dat van midden april tot midden juni 2019 de geleidbaarheid in de Ijzer boven een EC-waarde van 1000 µS/cm uitsteeg, waardoor er geen inname mogelijk was vanuit de Ijzer naar het spaarbekken van De Blankaart. Ook vanuit de Blankaartvijver was inname onmogelijk door het lage waterpeil daar. Hierdoor daalde het waterpeil in het spaarbekken tot 3,5 m op 11 juni 2019 ondanks de halvering van de productie in WPC De Blankaart gedurende deze periode zonder inname. Dit had als gevolg dat er nog redelijk laat op het seizoen een grote hoeveelheid water uit de Ijzer gepompt werd om het spaarbekken terug op peil te kunnen krijgen. Dit werd gestopt op 5 juli 2019 op vraag van de gouverneur omdat het waterpeil in de Ijzer te ver gezakt was. Pas begin november kon het spaarbekken terug gevuld worden met als gevolg dat bijna de helft van het jaar WPC De Blankaart aan verminderde productiecapaciteit heeft gedraaid net zoals in 2018.

In 2020 werd begin april, na een sterke stijging van de geleidbaarheid op de Ijzer, het omgekeerd spui-beheer in Nieuwpoort stopgezet door De Vlaamse Waterweg. Begin mei diende de inname naar het spaarbekken stopgezet te worden en de productie sterk verlaagd. Vanaf het begin van juni werd de productie beperkt tot slechts 25% van het maximale productievolume. Midden juni werden in de Ijzer EC-waarden boven de 5000 µS/cm bereikt. Tijdens het begin van juli werd uitzonderlijk nog water ingenomen uit de Ijzer om de daling van het peil in het spaarbekken tegen te gaan; hierbij konden er echter geen grote hoeveelheden water ingenomen worden door het extreem hoge zoutgehalte. Pas eind oktober werd het spaarbekken terug gevuld en de productie hernomen op het normale regime. Gedurende bijna de helft van het jaar was er in 2020 voor WPC

De Blankaart een sterk verminderd productiedebiet. Dit werd ook in dit jaar opnieuw gecompenseerd door een verhoging van het oppompen van water uit de Carboonkalk.

Voor de droge zomer van 2022 geeft het droogterapport aan dat in het afstroomgebied van De Blankaart in de loop van maart al sterk dalende debieten werden opgemeten omwille van het uitblijven van neerslag. Bovendien zorgde de start van het omgekeerde spuibeheer voor een bijkomende bedreiging van de ruwwaterbeschikbaarheid. Begin april werd de inname naar het spaarbekken stilgelegd waardoor het peil in het spaarbekken sterk is beginnen dalen. Begin mei werd ook de productie sterk verlaagd omdat de buffer in het spaarbekken niet voldoende groot was om de droge perioden te overbruggen aan het maximale productiedebiet. Begin juni werd het spaarbekken deels terug opgevuld na een korte neerslagperiode in het gebied, maar de productie bleef op een verlaagd zomerniveau om de aanwezige buffer zoveel mogelijk te sparen. Vanaf augustus werd de productie in het spaarbekken nog verder verlaagd tot een zeer laag niveau om de buffer aanwezig in het spaarbekken verder te sparen. Het verlies aan productie werd opgevangen door een maximale aankoop bij andere drinkwaterbedrijven en het tijdelijk verhoogd oppompen van water uit de Carboonkalk in het zuiden van West-Vlaanderen en het noordwesten van Henegouwen. Deze onttrekking was toegelaten binnen de voorwaarden van de vergunning, maar moet zoveel mogelijk beperkt worden gezien de kwetsbaarheid van deze waterlaag. Het duurzaam beheer van deze strategische grondwatervoorraad wordt afgestemd in het overleg tussen Vlaanderen, Wallonië en Frankrijk (overleg i.k.v. de Transhennuyère-overeenkomst en binnen de Internationale Scheldec commissie).

Voor De Blankaart kan er ook tijdens de wintermaanden een innamestop zijn omwille van een te slechte waterkwaliteit of omwille van overstromingen (soms overstroomt het ringkanaal en het innamekanaal). Zo bleek dat in december 2019 de inname naar het spaarbekken van De Blankaart werd stopgezet vanwege het te hoge nitraatgehalte. Hetzelfde gebeurde in het najaar van 2020 en 2022.

Tabel 11 toont de grenswaarden die in het verleden door De Watergroep werden gebruikt om onderscheid te maken tussen de waterbeschikbaarheidsklassen 'Normaal', 'Voldoende', 'Nipt voldoende' en 'Onvoldoende' voor het WPC De Blankaart. Op dit moment wordt het ruwwaterbeschikbaarheidsniveau bepaald op basis van het waterpeil in het spaarbekken.

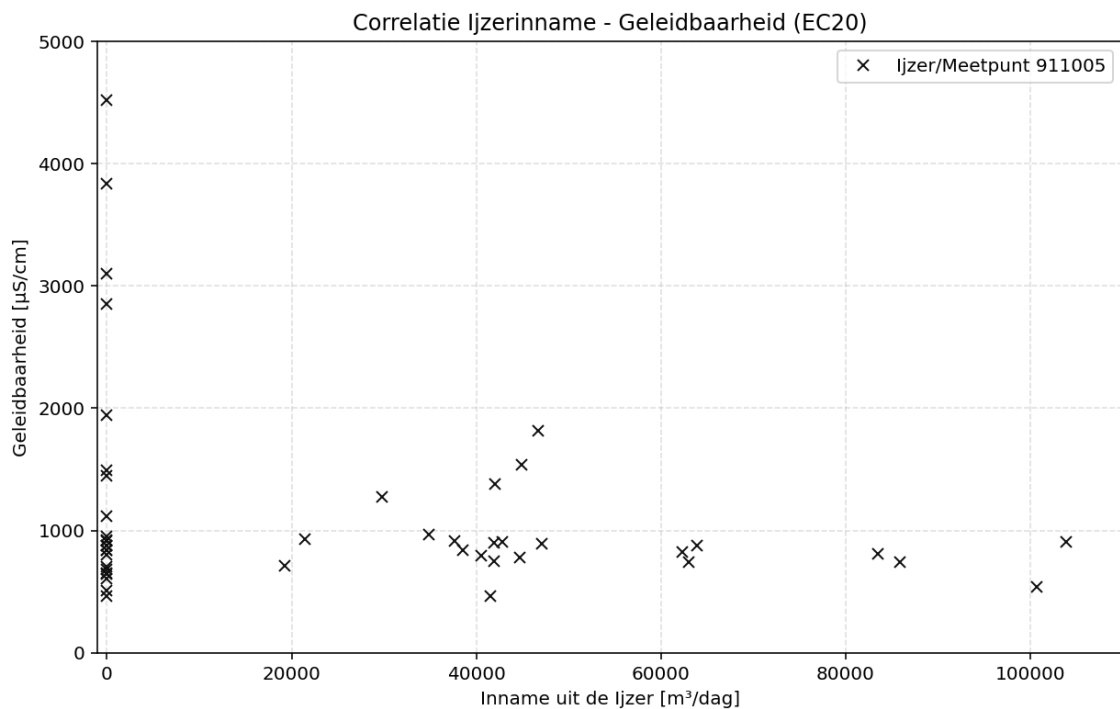
Tabel 11: Grenswaarden voor de ruwwaterbeschikbaarheid zoals in het verleden gebruikt door De Watergroep voor WPC De Blankaart.

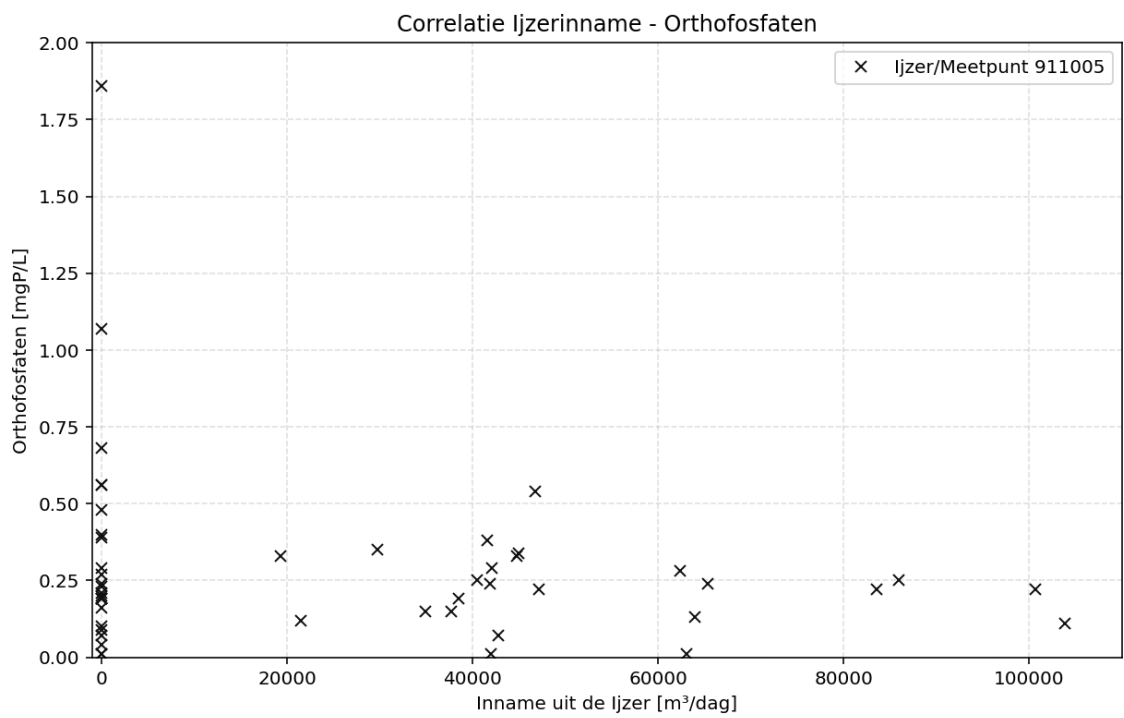
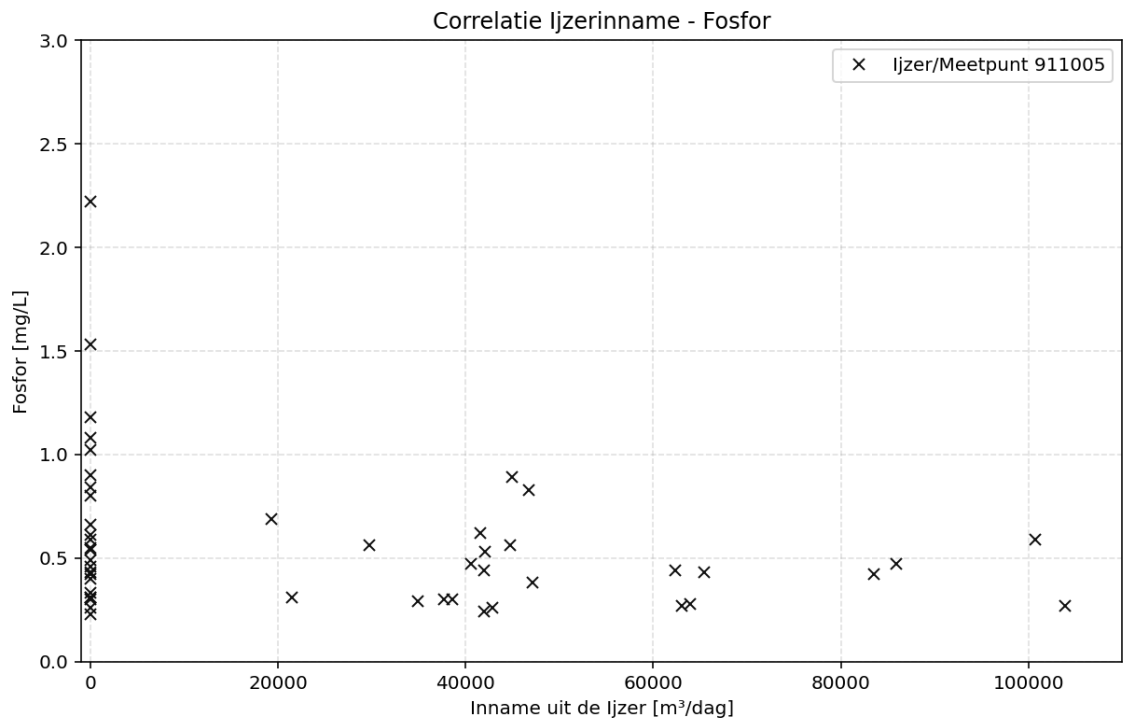
1	Normaal	WPC De Blankaart produceert aan normale capaciteit
2	Voldoende	WPC De Blankaart produceert aan verminderde capaciteit (< 32000m ³ /dag)
3	Nipt voldoende	WPC De Blankaart produceert aan sterk verminderde capaciteit (< 17000m ³ /dag)
4	Onvoldoende	WPC De Blankaart produceert onvoldoende (< 10000m ³ /dag)

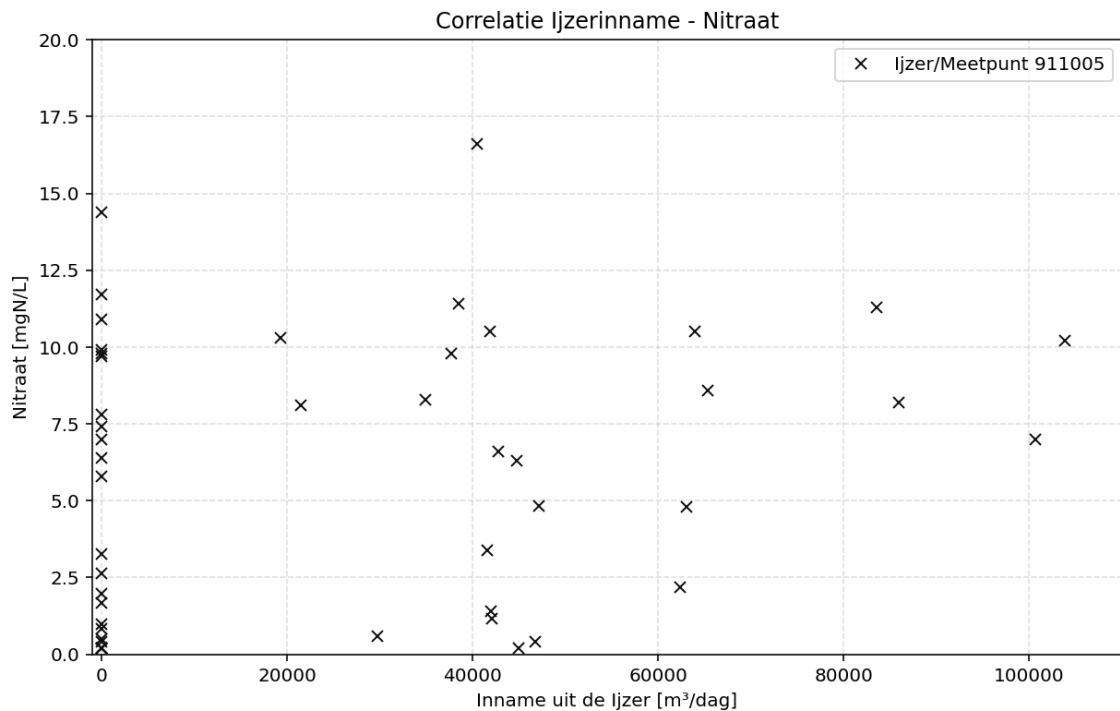
In een eerdere studie van het VITO (Dams et al., 2015) rond de waterbeschikbaarheid voor het WPC De Blankaart werden er voor de waterkwaliteit grenswaarden genomen van 1 µg/l voor de Bentazon-concentratie en 50 mg/l voor de nitraatconcentratie.

Omdat er geen waterkwaliteitsmodel ter beschikking was voor deze studie, werd onderzocht of een grenswaarde op het laagwaterdebiet eventueel ook als een indicator beschouwd kan worden

voor een te slechte waterkwaliteit. Hiertoe werd de waterkwaliteit geanalyseerd voor het meetpunt 119005, dat wordt beheerd door de VMM. De periodes waarin zowel waterkwaliteitsdata van de IJzer als innamegegevens van het WPC De Blankaart beschikbaar zijn, betreft 2020, 2021, 2022 en 2023. Er werd enerzijds gezocht naar grenswaarden voor de waterkwaliteitsdata boven dewelke er niet meer ingenomen wordt (voorbeelden in Figuur 27) en anderzijds of dat eventueel samenvalt met periodes waarin het laagwaterdebiet op de IJzer een bepaalde grenswaarde onderschrijft. Op basis van deze metingen konden enkele grenzen met enige waarschijnlijkheid vastgesteld worden. Het betreft grenzen voor de concentratie aan indicatoren, waarboven niet meer wordt ingenomen. Zo tonen de data voor geleidbaarheid in Figuur 27 dat er niet meer wordt ingenomen wanneer de geleidbaarheid hoger wordt dan 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De meeste resultaten werden echter met onvoldoende zekerheid ondersteund door de data en zijn dus niet gebruikt.





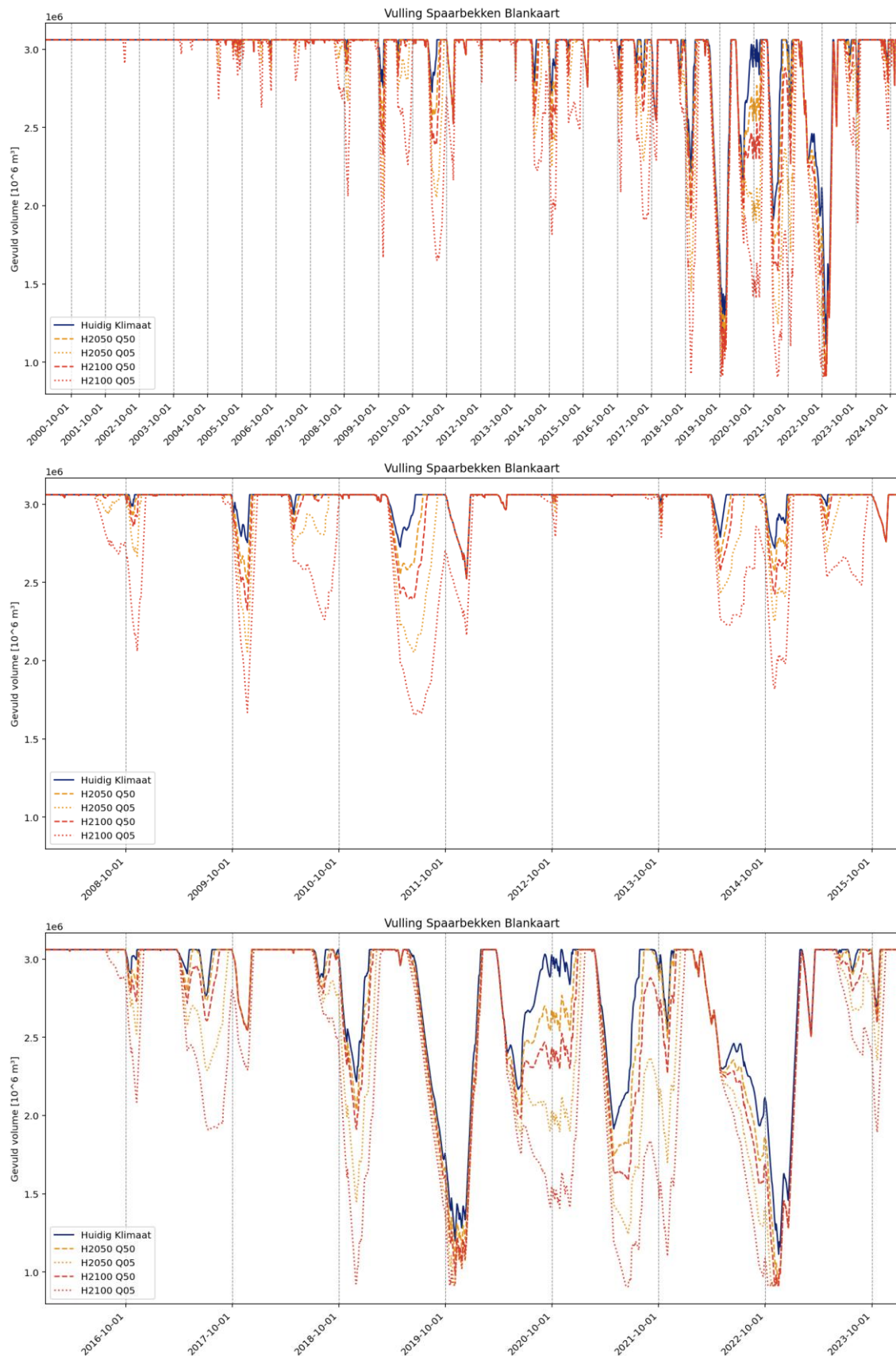


Figuur 27: Correlatie tussen waterkwaliteitsindicatoren (geleidbaarheid, fosfor, orthofosfaten en nitraten) op de Ijzer t.h.v. VMM meetpunt 119005 en de innamedebieten vanuit de Ijzer naar WPC De Blankaart.

De impact van de klimaatscenario's werd berekend via het waterbalansmodel dat KU Leuven voor De Vlaamse Waterweg ontwikkelt (Breugelmans et al., 2024). In de eerdere studie van het VITO (Dams et al., 2015) rond de waterbeschikbaarheid voor het WPC De Blankaart werd er een Infoworks RS model ontwikkeld voor de Ijzer en voornaamste zijrivieren van Roesbrugge-Haringe tot Diksmuide. Het waterbalansmodel van KU Leuven is recenter en houdt rekening met het VRAG-beheer. Dit model bevat ook de Ijzer en de hoofdwaterlopen in het gebied van de Blankaart.

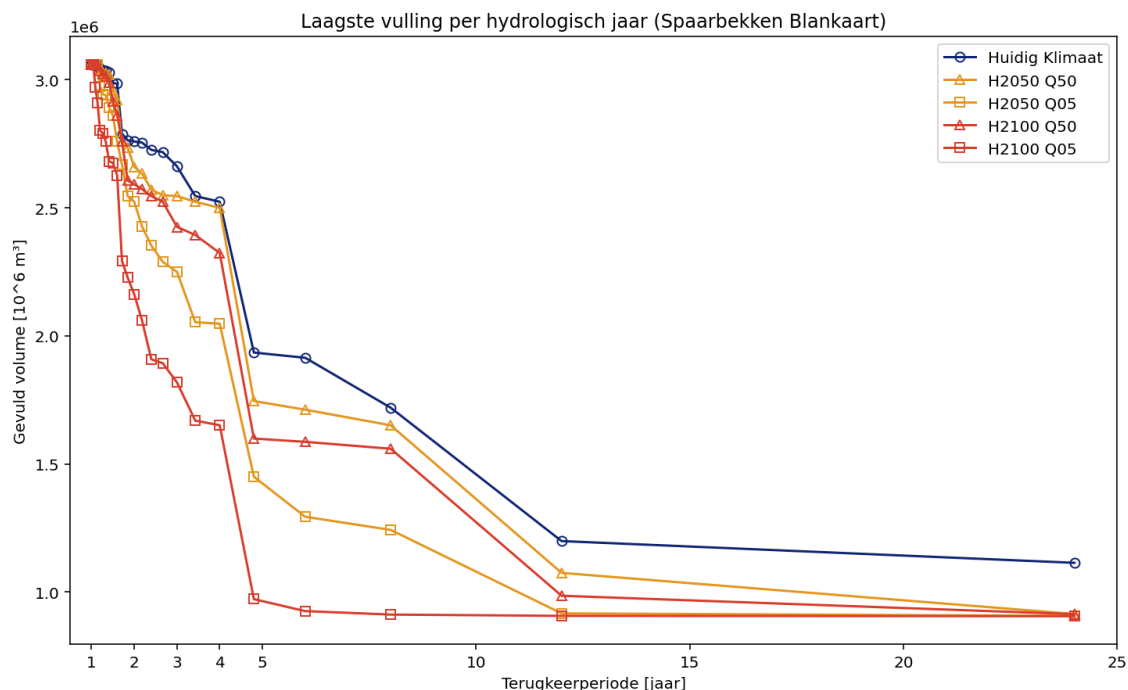
Analoog aan Kluizen zijn de analyses hier op basis van het gevulde volume van het spaarbekken uitgevoerd. Er werd met hydrologische jaren (1 oktober t.e.m. 31 september) gewerkt om de seizoensale trend op te vangen in een jaarlijkse analyse ($D = 1$ jaar). Als grenswaarde voor het ruwwatertekort werd een waterpeil van 1,5 meter in het spaarbekken gebruikt.

De impactresultaten in Figuur 28 tonen aanzienlijke dalingen in de vulling van het spaarbekken voor de recente droge jaren.

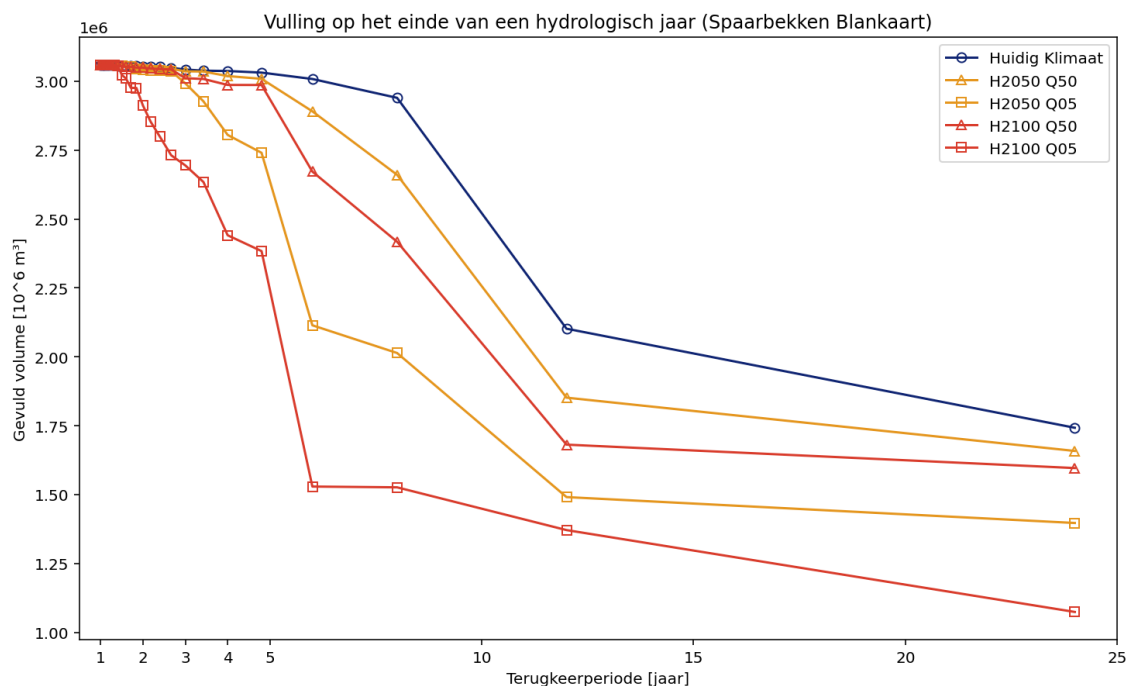


Figuur 28: Gemodelleerde totale vulling van het spaarbekken van De Blankaart o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.

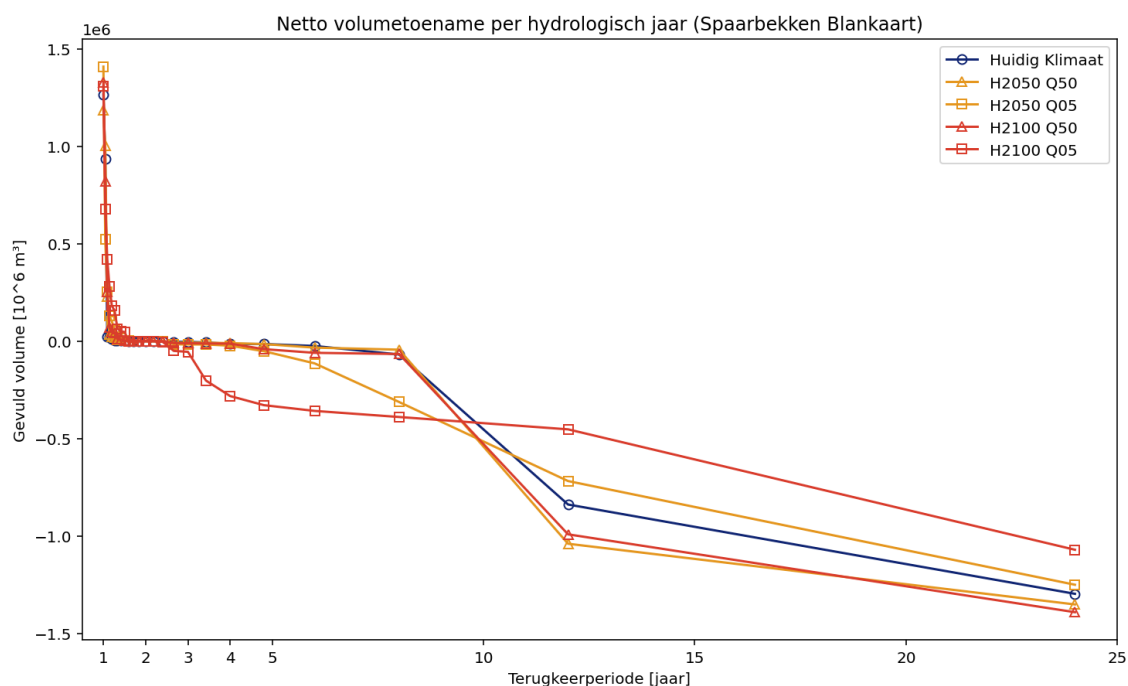
Figuur 29 toont dat de laagste vulling per hydrologisch jaar sterk daalt na toepassing van de klimaatscenario's. Deze laagste vulling is sterk afhankelijk van de situatie van het vorige jaar; zie de vulling op het einde van het hydrologisch jaar in Figuur 30 en de netto volumetoename per hydrologisch jaar in Figuur 31.



Figuur 29: Gemodelleerde laagste vulling per hydrologisch jaar voor het spaarbekken van De Blankaart o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.



Figuur 30: Gemodelleerde vulling op het einde van het hydrologisch jaar voor het spaarbekken van De Blankaart o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.



Figuur 31: Gemodelleerde netto volumetoename per hydrologisch jaar voor het spaarbekken van De Blankaart o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.

Tabel 12 geeft per klimaatscenario de bijkomende buffercapaciteit of het verminderd productiedebiet dat nodig is om voor de gesimuleerde periode 2000-2024 in het spaarbekken geen peildalingen onder de 1,5 meter te krijgen.

Door de relatief opwaartse ligging van de innamelocatie langs de IJzer is er geen significante invloed van een aangepast VRAG-beheer.

Tabel 12: Gemodelleerd watertekort per hydrologisch jaar voor het spaarbekken van De Blankaart o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.

Blankaart	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
Volumetekort [m³]	0	77 000	532 000	248 000	855 000
Debiettekort [m³/dag]	0	300	2 000	900	3 200

Ter vergelijking vermeldt de studie van het VITO als conclusie “Uitgaande van een minimum debiet in de IJzer van 0,58 m³/s zou een bufferreservoir van ongeveer 5 miljoen m³ nodig zijn om voor een situatie zoals deze in de zomer van 2011 dagelijks 40 000 m³ per dag te kunnen produceren. Uitgaande van het geanalyseerde klimaatscenario met 30% minder water tijdens de zomer is het minimale buffervolume 6,5 miljoen m³. Volgens deze analyse is dus ruwweg een verdubbeling van het huidige spaarbekken noodzakelijk om de gewenste drinkwaterproductie te kunnen realiseren, waarbij er nog geen rekening werd gehouden met de waterkwaliteit.” Deze cijfers geven een hogere ruwwaternood dan wat er in deze studie wordt gevonden.

Zoals bij alle scenario-analyses in deze studie is het belangrijk om bewust te zijn van de onzekerheden betrokken bij de modellering. De impactanalyse is bovendien gebaseerd op de historische waarnemingsreeksen voor de periode 2000-2024, waarin een bepaalde opeenvolging van droge en natte jaren in vervat is. Indien door toeval meer opeenvolgende jaren extreem droog zouden zijn of enkele opeenvolgende jaren extremer droog, dan kunnen de gemodelleerde watertekorten veel groter zijn. De impactmodellering hield bovendien niet rechtstreeks rekening met de invloed van de waterkwaliteit.

3.5 Zillebeke en Dikkebus (De Watergroep)

Naast de hiervoor vermelde WPC's met oppervlaktewaterwinningen heeft De Watergroep ook nog volgende kleinere bekkens in het Ijzerbekken:

- Zillebeke – Ieper: Zillebekevijver en Verdrongen Weide, 420 000 m³, 4000 m³/dag, gevoed door de Bollaertbeek, Pollepelbeek en zijbeken
- Dikkebus – Ieper: Dikkebusvijver, 4000 m³/dag, voeding door Dikkebusbeek met belangrijke zijbeken Willebeek en Kleine Kemmelbeek

Deze bekkens zijn vijvers, maar worden in tegenstelling tot De Gavers wel als buffer gebruikt. De peilschommelingen zijn daardoor veel groter. Het ingenomen water wordt in Zillebeke en in een naburige vijver ondergebracht, alvorens naar het WPC gebracht te worden voor drinkwaterproductie. De verblijftijd van het water in de vijver draagt bij tot het zuiveringsproces.

Tabel 13 en Tabel 14 tonen de grenswaarden die in het verleden door De Watergroep werden gebruikt om onderscheid te maken tussen de waterbeschikbaarheidsklassen 'Normaal', 'Voldoende', 'Nipt voldoende' en 'Onvoldoende' voor de WPC's Dikkebus en Zillebeke. Momenteel wordt het beschikbaar buffervolume in de vijvers gebruikt als waterbeschikbaarheidsindicator (zie ook Figuur 33).

Tabel 13: Grenswaarden voor de ruwwaterbeschikbaarheid zoals in het verleden gebruikt door De Watergroep voor WPC Dikkebus.

1	Normaal	Dikkebusvijver kan op streefpeil gehouden worden (=27mTAW)
2	Voldoende	Dikkebusvijver kan niet langer op streefpeil gehouden worden
3	Nipt voldoende	WPC Dikkebus produceert aan verminderde capaciteit
4	Onvoldoende	WPC Dikkebus produceert niet meer

Tabel 14: Grenswaarden voor de ruwwaterbeschikbaarheid zoals in het verleden gebruikt door De Watergroep voor WPC Zillebeke.

1	Normaal	Zillebekevijver kan op streefpeil gehouden worden (=26,8mTAW ± 30cm)
2	Voldoende	Zillebekevijver kan niet langer op streefpeil gehouden worden ¹
3	Nipt voldoende	WPC Zillebeke produceert aan verminderde capaciteit
4	Onvoldoende	WPC Zillebeke produceert niet meer

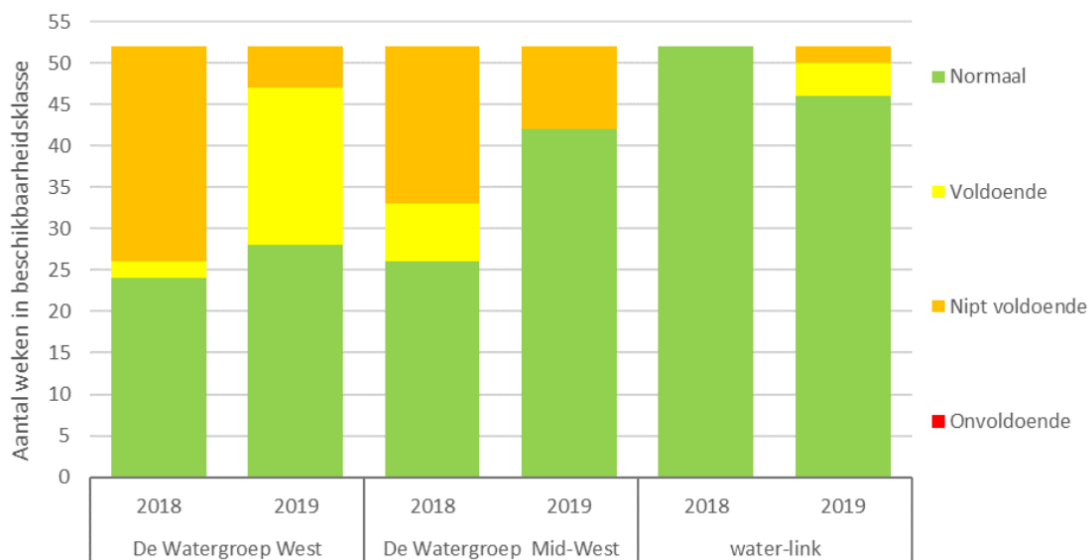
Tijdens de zomerperiode is er regelmatig een innamestop voor de WPC's Zillebeke en Dikkebus omwille van een te slechte waterkwaliteit, soms ook in de winter. De nitraatconcentraties zijn soms te hoog op de Bollaertbeek, maar door denitrificatie in de vijver moet de inname hiervoor niet altijd stopgezet worden. Tijdens de innamestops in de zomer blijft de productie wel doorgaan, weliswaar aan een verminderde productiecapaciteit.

¹ Indien te wijten aan onbeschikbaarheid van volume in verdrongen weide (en niet aan technische mankementen aan de pomp tussen verdrongen weide en Zillebekevijver)

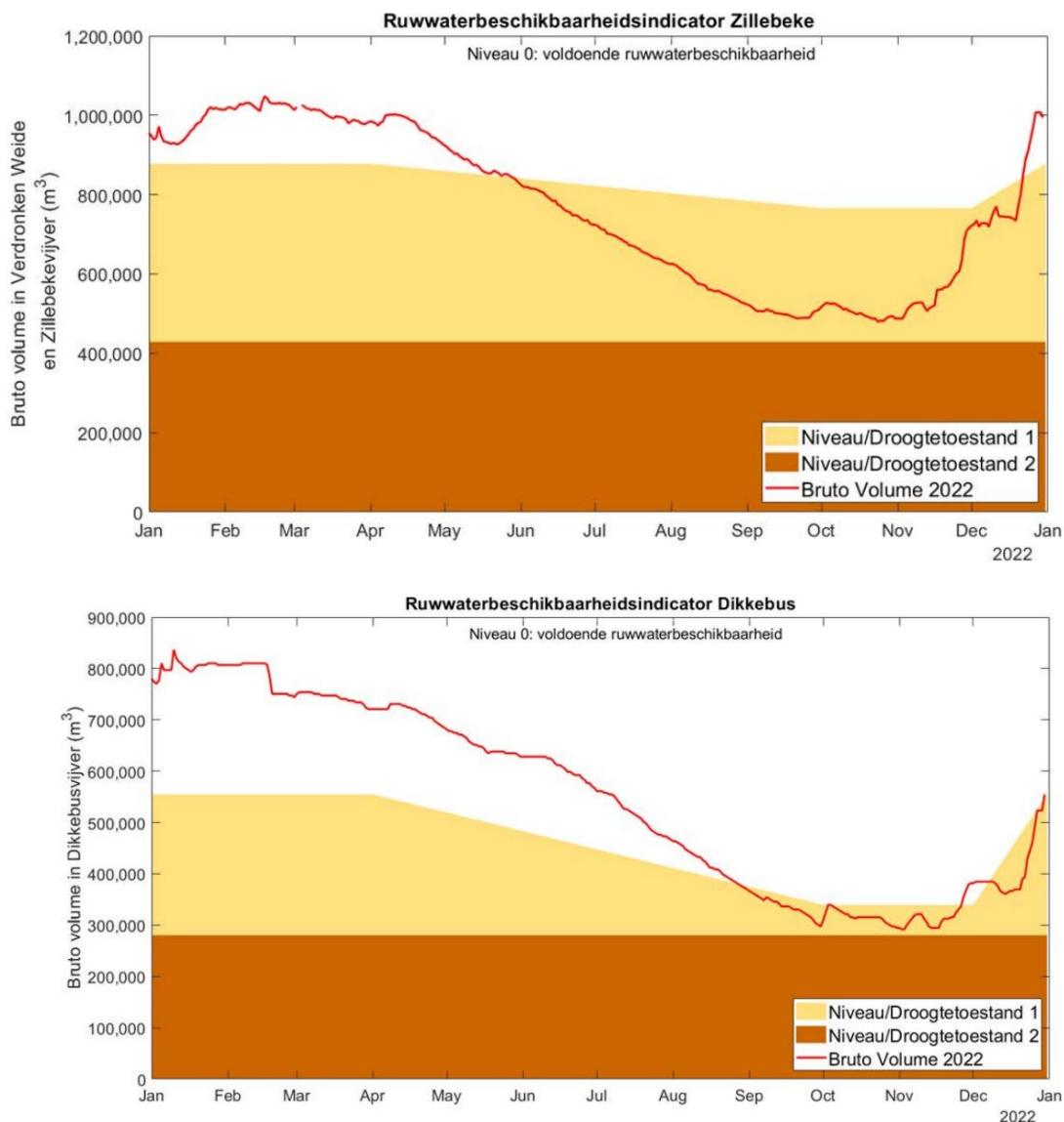
Zo kwam in 2017 het niveau in de vijvers door de innamestop te laag te staan waardoor het productiedebiet eind juni gehalveerd werd en – zoals voor De Blankaart – moest ingezet worden op extra leveringen en extra oppompen uit grondwater.

De droogterapporten van 2019, 2020 en 2022 geven aan dat de inname werd stopgezet vanwege het te hoge nitraatgehalte. Figuur 32 geeft voor 2018 en 2019 het aantal weken aan dat de grenswaarden voor ruwwaterbeschikbaarheid werden bereikt voor de zones West en Mid-West van De Watergroep en voor Water-link. Het droogterapport voor 2020 toont dat het WPC Zillebeke tussen de 45 en 50 weken buiten dienst was. Het WPC Dikkebus was een 5-tal weken buiten dienst en kende gedurende een 30-tal weken een toestand van 'niet-voldoende'.

Tijdens de droge zomer van 2022 was er vanaf midden juni geen of weinig aanvoer meer van het afstroomgebied naar de Verdrongen Weide en de Zillebekevijver. Hierdoor was het volume in de Zillebekevijver en de Verdrongen Weide laag (Figuur 33) en werd het productieregime van het WPC Zillebeke verminderd. De debieten in de voedende waterlopen stegen pas voldoende na de neerslag gedurende de tweede helft van december. Ook bij het WPC Dikkebus daalde toen de ruwwaterbeschikbaarheid. Dat gebeurde iets later: de aanvoer van het afstroomgebied werd eind augustus zeer beperkt waardoor het peil in de Dikkebusvijver zakte onder het normaalpeil (Figuur 33) en er een verminderd productieregime werd ingesteld. Dankzij de neerslag in september verhoogde de waterbeschikbaarheid in de voedende waterlopen en werd de Dikkebusvijver geleidelijk bijgevuld. De productie was wel nog steeds verlaagd om de buffer te sparen. Omwille van de droge maand oktober waren de debieten in de voedende waterlopen opnieuw zo goed als weggefallen waardoor de buffercapaciteit van de vijver weer sterk werd verlaagd. Na de neerslag gedurende de tweede helft van december waren de debieten weer voldoende gestegen.



Figuur 32: Aantal weken dat de grenswaarden voor de ruwwaterbeschikbaarheid in 2018 en 2019 werden bereikt, zoals gebruikt door De Watergroep voor de zones West en Mid-West, en door Water-link. De WPC's De Blankaart, Zillebeke en Dikkebus situeren zich in de zone West.



Figuur 33: Toestand van de ruwwaterbeschikbaarheid voor de WPC's Zillebeke en Dikkebus tijdens de droge zomer van 2022.

Om de ruwwaternood in te schatten na klimaatscenario's werd dezelfde aanpak toegepast zoals hiervoor beschreven voor WPC De Blankaart. De resultaten van de ruwwaternood tot een terugkeerperiode van 25 jaar zijn opgelijst in Tabel 15.

Tabel 15: Gemodelleerd watertekort per hydrologisch jaar voor de spaarbekkens van de WPC's Zillebeke en Dikkebus samen, o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's.

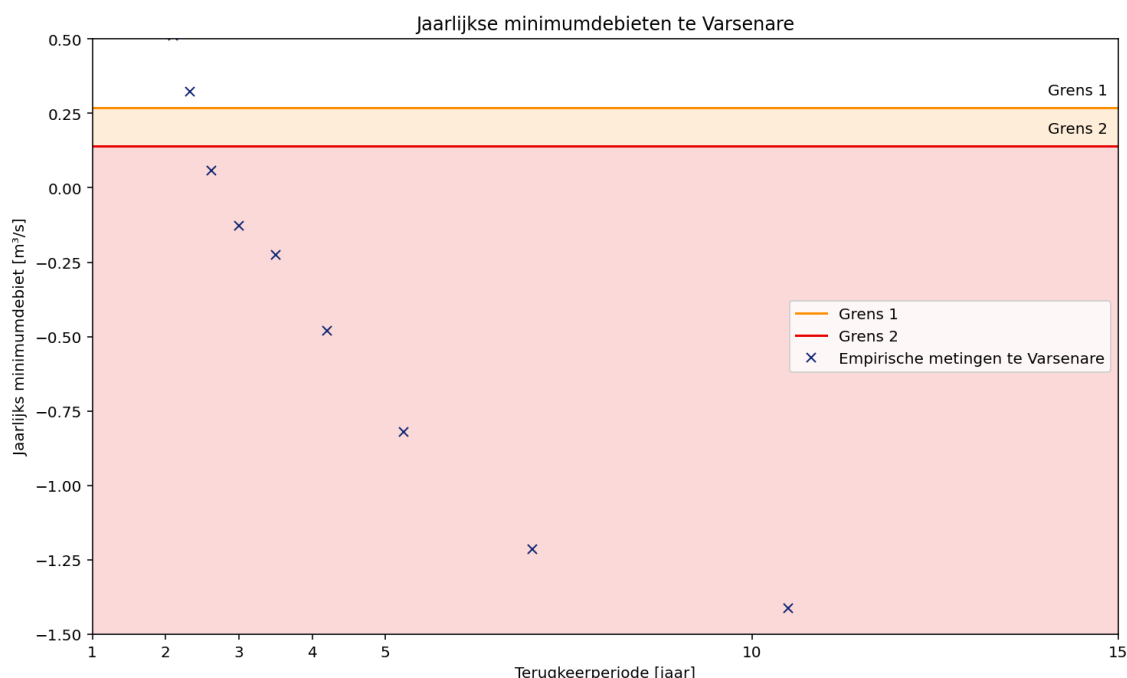
Zillebeke & Dikkebus	Huidig	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
	klimaat				
Volumetekort [m³]	0	27 000	186 000	87 000	300 000
Debiettekort [m³/dag]	0	100	700	300	1 100

Deze volumes zijn veel beperkter dan van de andere bestudeerde WPC's, maar werden voor de volledigheid bij de totale ruwwaternood gevoegd. Het aangepast VRAG-beheer heeft er geen significante invloed op.

3.6 Oostende (Farys)

Farys heeft sinds maart 2020 een waterproductiecentrum in Oostende langs het Kanaal Brugge – Oostende, waar brak kanaalwater wordt gebruikt als ruwwater.

Het 7-dagen laagwaterdebiet in het kanaal werd gebruikt als indicator en het theoretisch productievolume als grenswaarde. Voorlopig werd een theoretisch productievolume van 12 000 m³/dag (0.14 m³/s) beschouwd. De grens van 0,27 m³/s houdt ook rekening met het productiedebiet van het WPC aan de Ganzepoot, Nieuwpoort (0,13 m³/s). Dit debiet wordt ingenomen vanuit het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale (KNP) dat gevoed wordt door het Kanaal Gent-Oostende (KGO) waaruit ook het WPC in Oostende onttrekt.

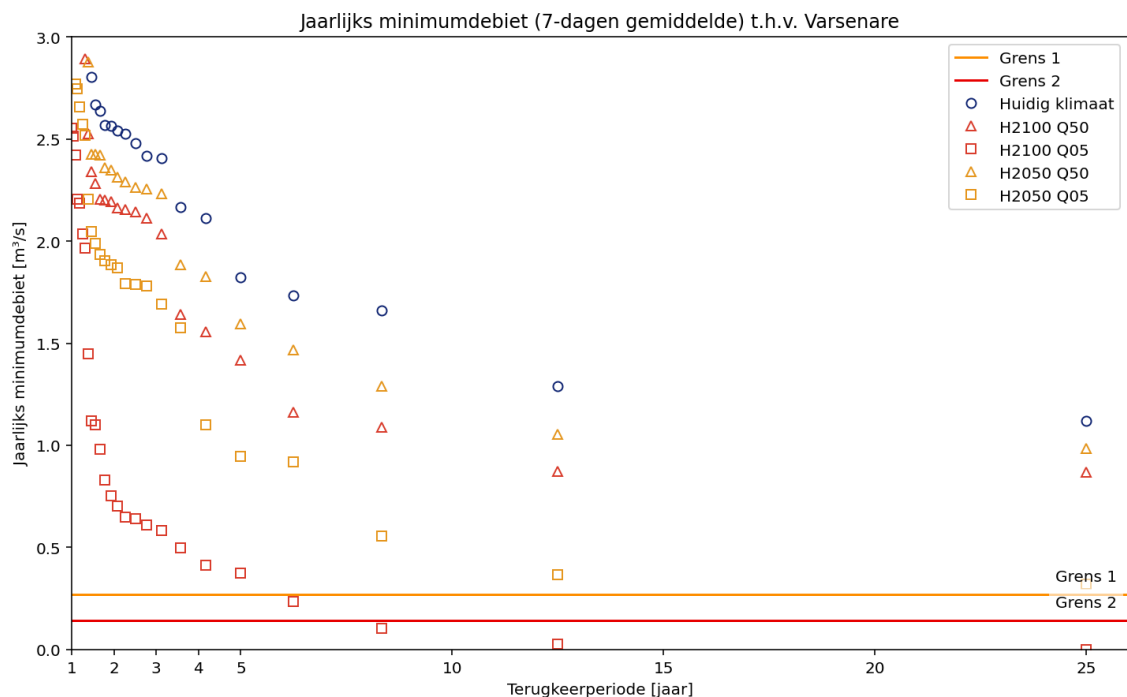


Figuur 34: Gemeten laagwaterdebiet in het Kanaal Gent-Oostende te Varsenare, voor het 7-dagen gemiddeld debiet, en vergelijking met de grenswaarden van 0,14 en 0,27 m³/s. Figuren voor meetperiode 2000 t.e.m. 2020.

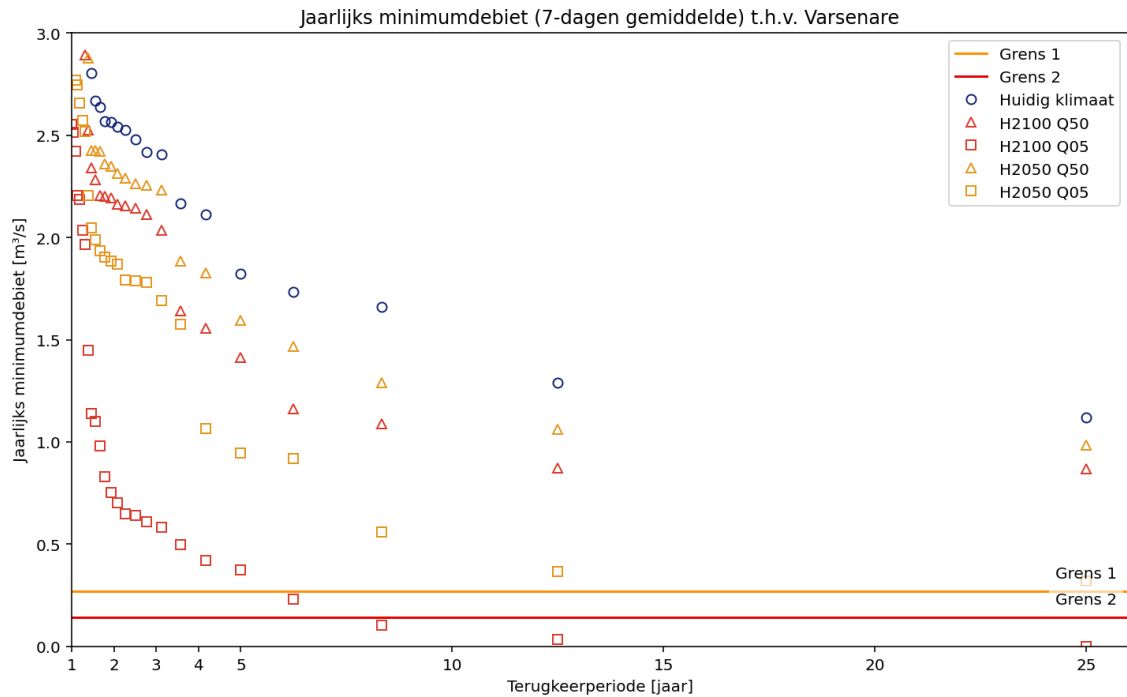
Het waterbalansmodel dat KU Leuven ontwikkelt voor De Vlaamse Waterweg (Breugelmans et al., 2024) bevat ook het Kanaal Brugge – Oostende en houdt rekening met alle wateronttrekkingen en het beheer dat De Vlaamse Waterweg conform VRAG tijdens droogteperioden toepast. Dit model werd daarom opnieuw gebruikt om de impact van de klimaatscenario's te analyseren. Het model vertoont in het kustgebied wel een grotere onzekerheid, onder meer ten gevolge van de interacties met de verschillende poldergebieden waarover niet veel kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn. Aangezien het meetpunt te Varsenare zich in het midden van het pand bevindt, doen er zich geregeld negatieve debieten voor. Het model baseert het debiet te Varsenare echter op het stroomopwaarts inkomende debiet vanuit het Groot Pand waardoor negatieve debieten met een lagere frequentie zullen voorkomen.

Dit verklaart het verschil tussen de extreme-waarde-verdeling van de metingen en de modelresultaten.

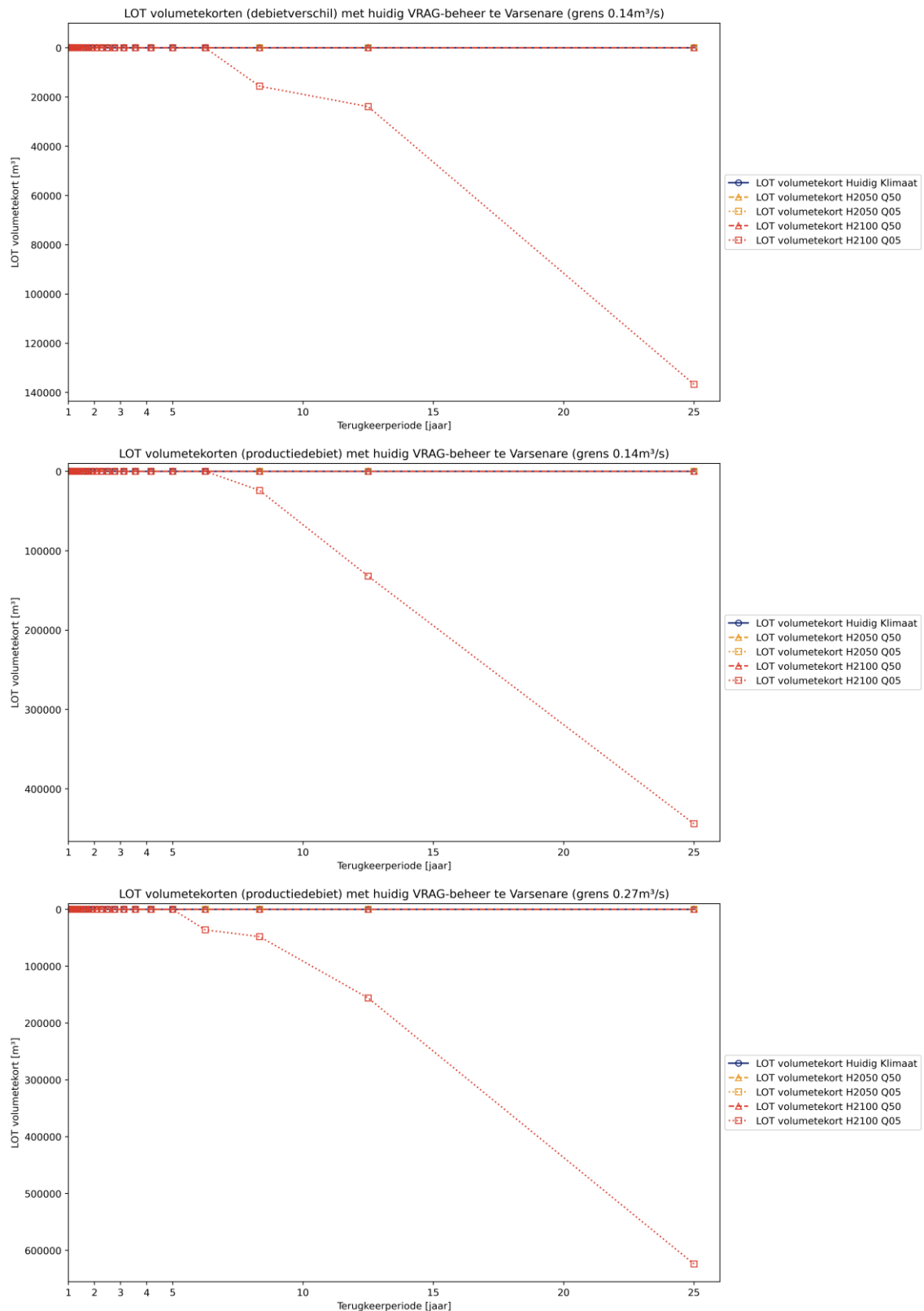
De impactresultaten in Figuur 35 tonen een rooskleuriger beeld deze hiervoor o.b.v. de historische meetreeks (Figuur 34), omdat het model rekening houdt met de verschillende maatregelen die De Vlaamse Waterweg volgens het VRAG zal nemen tijdens extreme droogteperiodes. De drempelwaarden worden hier enkel onderschreden bij het hoog-impactklimaatscenario 2100 vanaf een terugkeerperiode van ca. 5 jaar. De verwachte impact is hier dus beperkt. Het model heeft omwille van de onzekere interacties met het polderbeheer wel een grotere onzekerheid in dit gebied. Een ander aandachtspunt is de invloed op de zoutconcentraties die niet in rekening werd gebracht.



Figuur 35: Gemodelleerd laagwaterdebiet in de het Kanaal Gent-Oostende te Varsenare, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarden van 0,14 en 0,27 m^3/s . Resultaten voor het huidig VRAG-beheer.



Figuur 36: Gemodelleerd laagwaterdebiet in de het Kanaal Gent-Oostende te Varsenare, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarden van 0,14 en 0,27 m^3/s . Resultaten voor het aangepast VRAG-beheer.



Figuur 37: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor het Kanaal Gent-Oostende te Varsenare, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarden van 0,14 en 0,27 m³/s voor het huidig VRAG-beheer.

Tabel 16: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 7-dagen debiet in het Kanaal Gent – Oostende te Varsenare o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarden van 0,14 en 0,27 m³/s voor het huidig VRAG-beheer.

Varsenare: Huidig VRAG; 0,14 m³/s; debietverschil	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	41
T5 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	37
T5 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	0
T25 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	136 687
T5 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	0
T25 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	3 694

Varsenare: Huidig VRAG; 0,14 m³/s; productiedebiet	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	41
T5 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	37
T5 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	0
T25 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	444 000
T5 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	0
T25 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	12 000

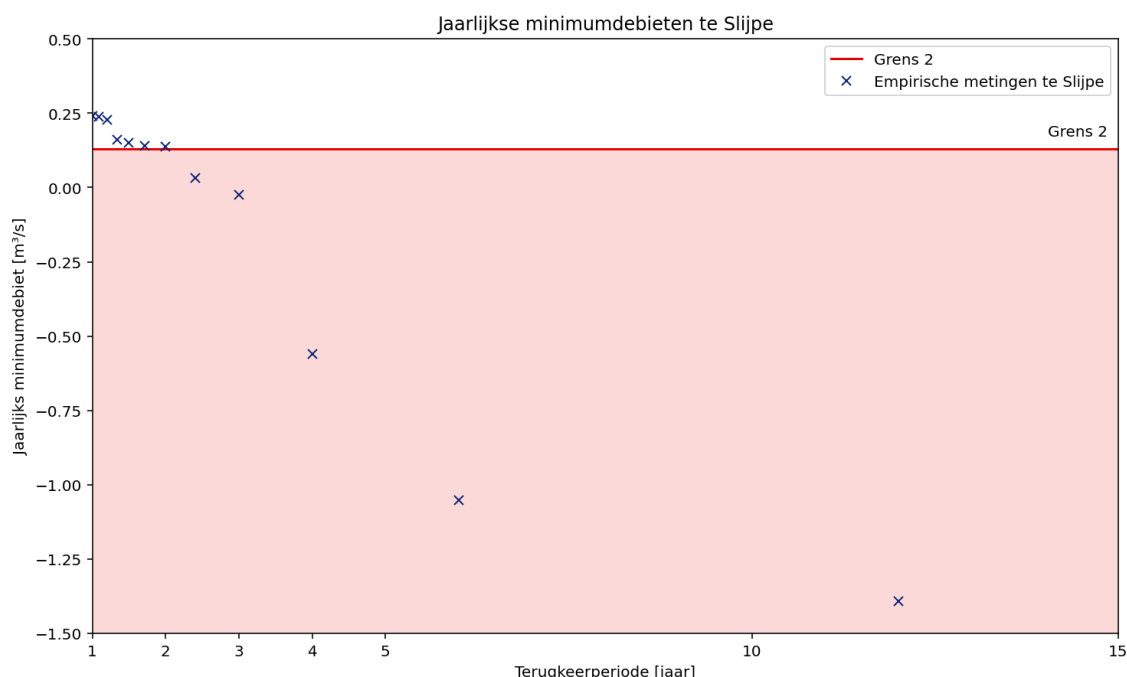
Varsenare: Huidig VRAG; 0,27 m³/s; productiedebiet	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 Totale duur [dagen]	0	0	0	0	52
T5 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	0
T25 LOT-duur [dagen]	0	0	0	0	52
T5 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	0
T25 Volumetekort [m³]	0	0	0	0	624 000
T5 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	0
T25 Debiettekort [m³/dag]	0	0	0	0	12 000

Na aangepast VRAG-beheer zijn er geen significante verschillen t.o.v. de resultaten bij het huidig VRAG-beheer.

3.7 Nieuwpoort (Aquaduin, De Watergroep, Farys)

In Nieuwpoort zal een pilootinstallatie vanaf 2025 zowel zoet, brak als zout water zuiveren tot drinkwater voor een totaal gepland productievolume van 4 à 5 miljoen m³/jaar. De installatie wordt geplaatst aan het sluiscomplex De Ganzepoot en zal water innemen vanuit het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale en de Havengeul.

Als indicatorwaarde werd het 7-dagen gemiddeld debiet in het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale gebruikt en als grenswaarde het theoretisch productievolume. Voor het productievolume wordt uitgegaan van 4 miljoen m³/jaar wat leidt tot een grens van 0,13 m³/s. Volgens de meetreeks te Slijpe tussen 2012 en 2022 wordt dit productievolume onderschreden met een terugkeerperiode van ca. 2 jaar (Figuur 38).

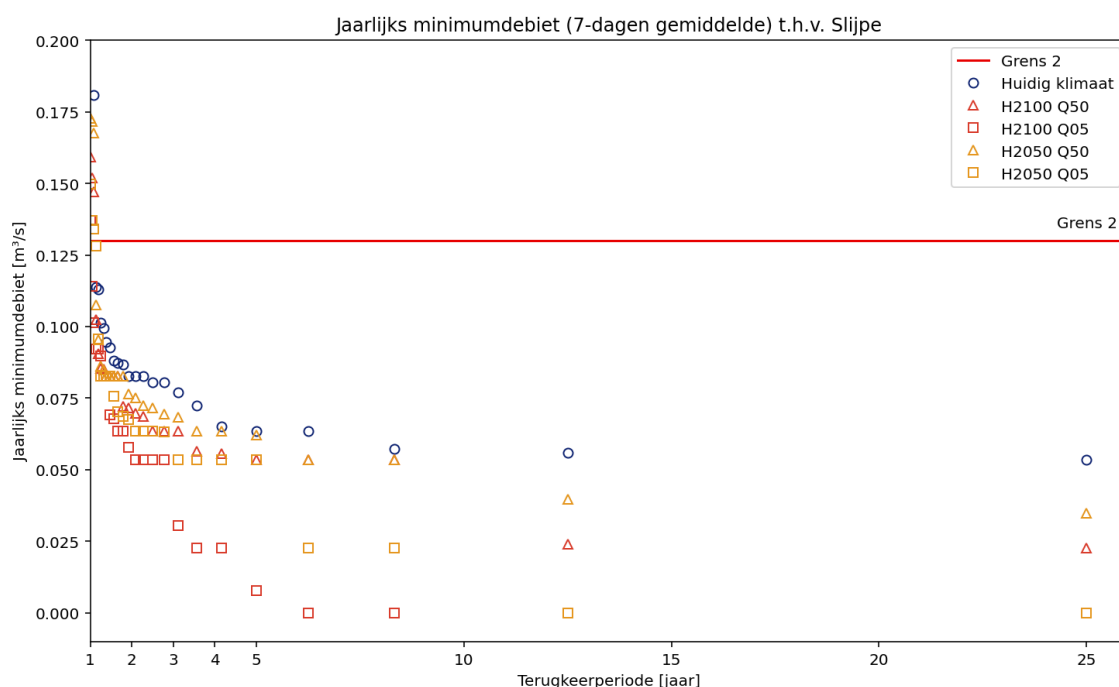


Figuur 38: Gemeten laagwaterdebiet in het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale te Slijpe, voor het 7-dagen gemiddeld debiet, en vergelijking met de grenswaarde van 0,13 m³/s. Figuren voor meetperiode 2012 t.e.m. 2022.

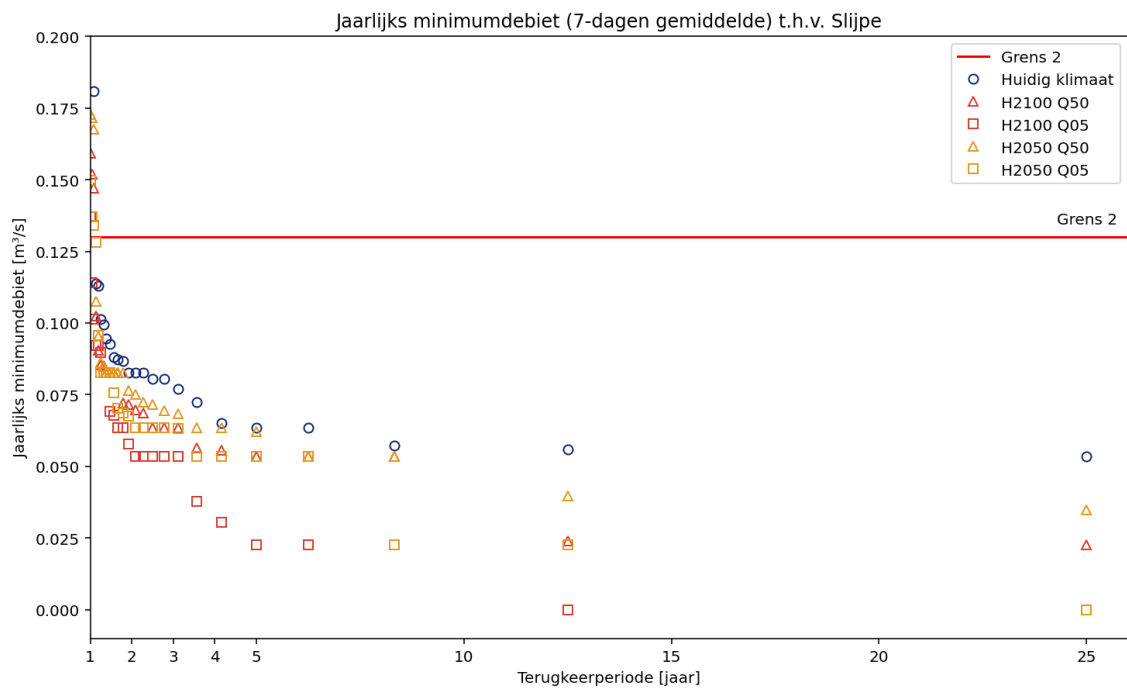
Het waterbalansmodel dat KU Leuven ontwikkelt voor De Vlaamse Waterweg (Breugelmans et al., 2024) werd toegepast om de impact van de klimaatscenario's door te rekenen. Dit model bevat ook het Kanaal Nieuwpoort – Plassendale en houdt rekening met alle wateronttrekkingen en het beheer dat De Vlaamse Waterweg tijdens droogteperioden toepast conform het VRAG. Gezien het hier om een pilootproject gaat is de drinkwateronttrekking niet aan het model toegevoegd. Het debiet te Slijpe wordt in het model dan ook volledig gebruikt voor de scheepvaart, voeding naar de IJzer en de aangrenzende poldergebieden. Analooq aan het meetpunt te Varsenare, geldt ook hier een grotere onzekerheid op de debietresultaten van het model. Dit is het gevolg van de modelering waarbij het debiet te Slijpe in het model wordt gelinkt aan het uitstromend debiet aan de afwaartse rand van het kanaal Plassendale-Nieuwpoort. Verder is er de onzekere invloed van het kustpolderbeheer. De verschillen tussen de extreme-

waarde-verdeling van de metingen en de modelresultaten zijn anderzijds ook deels het gevolg van de invloed van de gemodelleerde VRAG-maatregelen tijdens droogteperiodes.

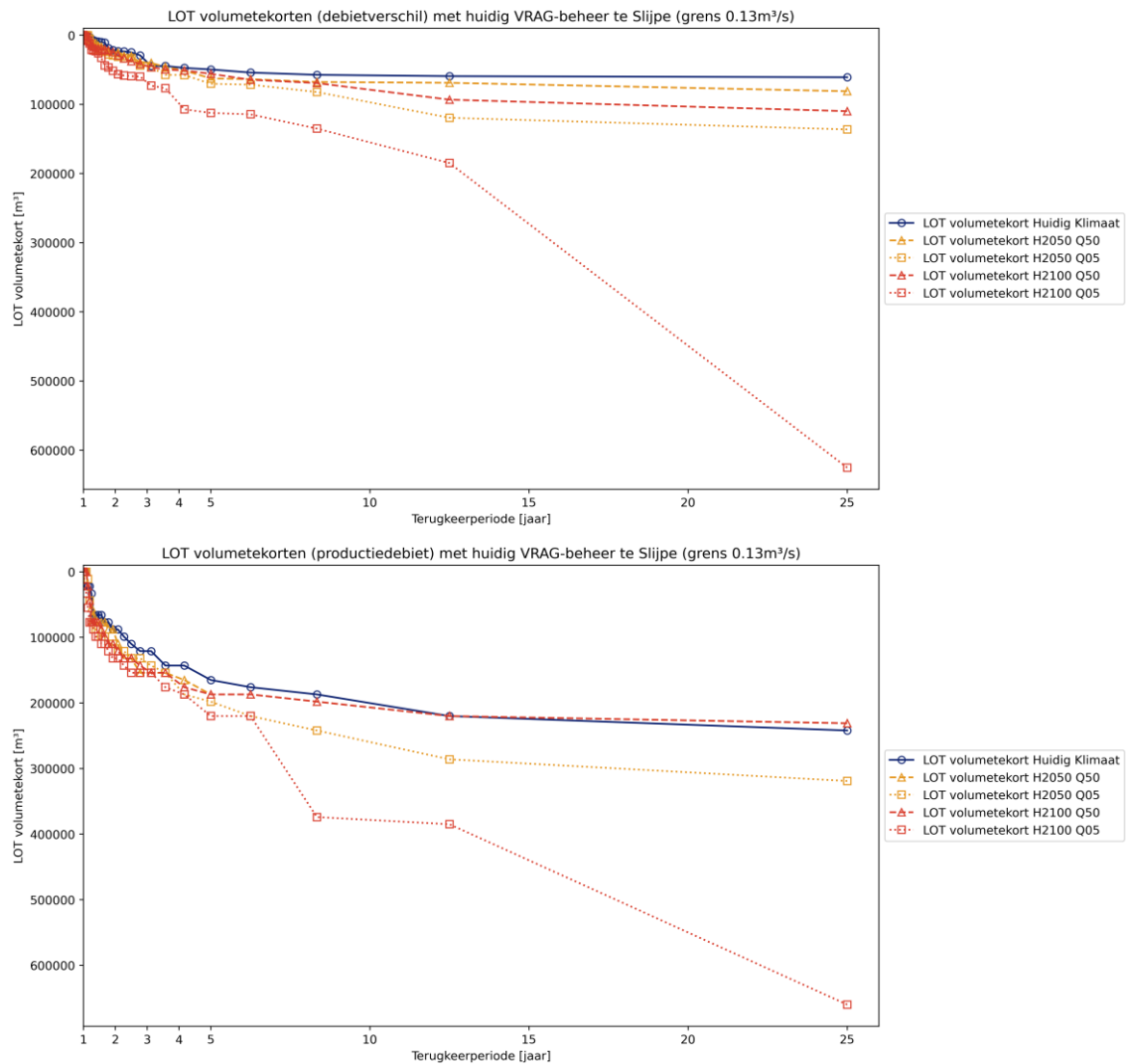
De impactresultaten in Figuur 39 tonen, zelfs na toepassing van de VRAG-maatregelen, voor zowel het huidige klimaat als voor alle klimaatscenario's watertekorten via het kanaal en dit quasi jaarlijks. Voor het huidige klimaat bedraagt dit tekort ongeveer de helft van het verondersteld productievolume. Na toepassing van de klimaatscenario's stijgt dit tekort, tot /ongeveer het ganse productievolume voor het meest extreme hoog-impact klimaatscenario 2100 en een terugkeerperiode groter dan 10 jaar. Dit tekort zal men dus moeten opvangen door ruwwater uit de Haveingeul te halen en/of door alternatieve waterbronnen te voorzien. De resultaten van de doorgerkende klimaatscenario's tonen dat in verscheidene gevallen de aanvoer vanuit het Kanaal Gent-Oostende tijdelijk stilvalt. Hierdoor zal een bijkomende drinkwatervraag rechtstreeks leiden tot een verminderde wateraanvoer naar andere actoren, wat dus een belangrijke impact kan hebben.



Figuur 39: Gemodelleerd laagwaterdebiet in de het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale te Slijpe, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarde van 0,13 m³/s. Resultaten voor het huidige VRAG-beheer.



Figuur 40: Gemodelleerd laagwaterdebiet in de het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale te Slijpe, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, en vergelijking met de grenswaarde van 0,13 m³/s. Resultaten voor het aangepast VRAG-beheer.



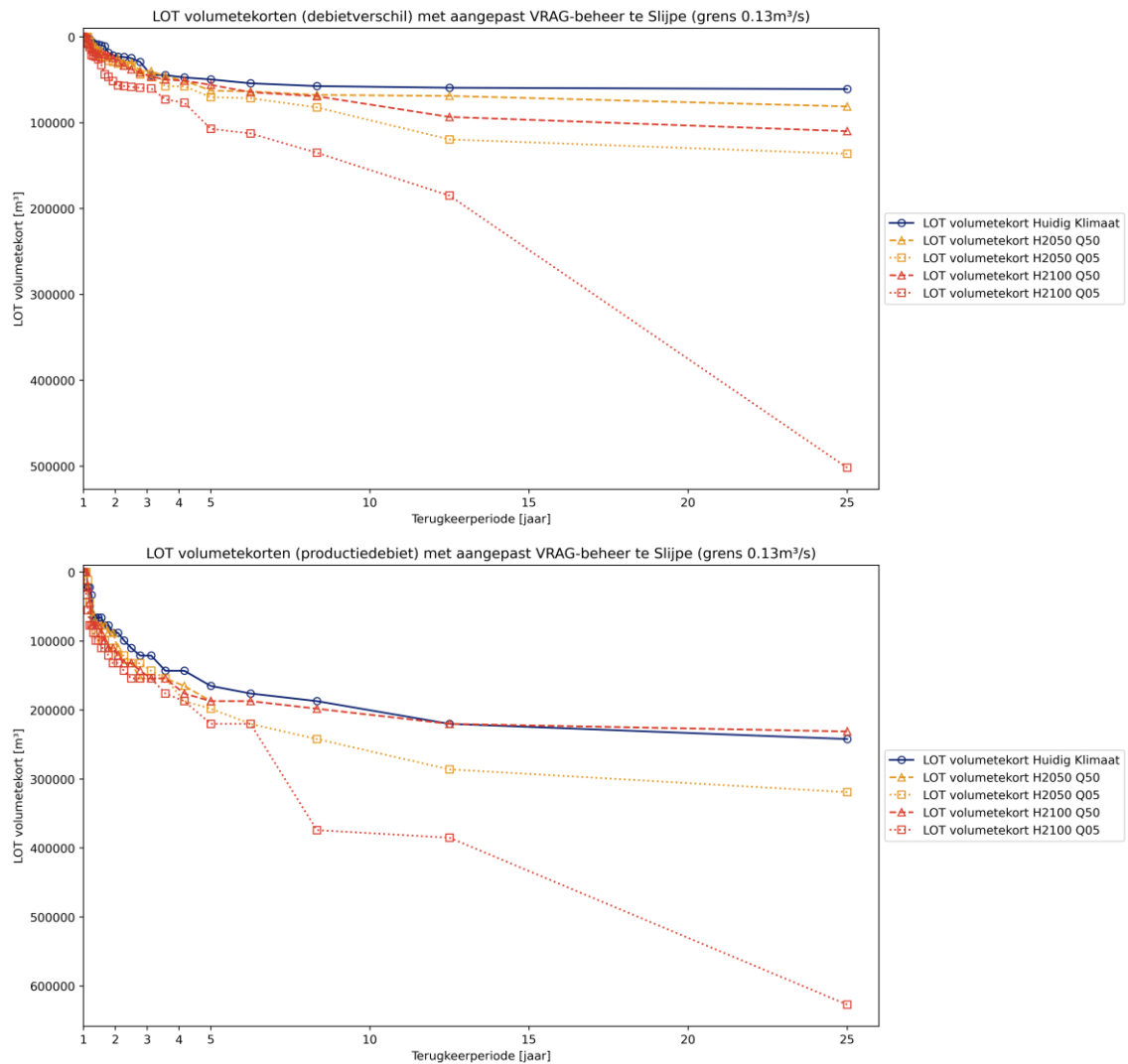
Figuur 41: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale te Slijpe, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarde van 0,13 m³/s voor het huidige VRAG-beheer.

Tabel 17: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 7-dagen debiet in het Kanaal Nieuwpoort – Plassendale te Slijpe o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarde van 0,13 m³/s voor het huidig VRAG-beheer.

Slijpe: Huidig VRAG; 0,13 m³/s; debietverschil	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	27	29	25	53	77
T25 Totale duur [dagen]	29	28	53	51	88
T5 LOT-duur [dagen]	17	21	14	17	17
T25 LOT-duur [dagen]	22	18	20	20	60
T5 Volumetekort [m³]	49 588	62 558	70 224	55 859	112 441
T25 Volumetekort [m³]	60 845	81 057	136 270	109 885	625 237
T5 Debiettekort [m³/dag]	2 917	2 979	5 016	3 286	6 614
T25 Debiettekort [m³/dag]	2 766	4 503	6 814	5 494	10 421

Slijpe: Huidig VRAG; 0,13 m³/s; productiedebiet	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	23	38	27	53	46
T25 Totale duur [dagen]	29	29	78	42	88
T5 LOT-duur [dagen]	15	17	18	17	20
T25 LOT-duur [dagen]	22	21	29	21	60
T5 Volumetekort [m³]	165 000	187 000	198 000	187 000	220 000
T25 Volumetekort [m³]	242 000	231 000	319 000	231 000	660 000
T5 Debiettekort [m³/dag]	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000
T25 Debiettekort [m³/dag]	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000

Na toepassing van het aangepast VRAG-beheer blijven de tekorten vergelijkbaar (Figuur 42, Tabel 18).



Figuur 42: Gemodelleerd LOT-volumetekort voor het Kanaal Nieuwpoort-Plassendale te Slijpe, voor het 7-dagen gemiddeld debiet o.b.v. de periode 2000-2024, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarde van 0,13 m³/s voor het aangepast VRAG-beheer.

Tabel 18: Gemodelleerd watertekort en duur voor het 7-dagen debiet in het Kanaal Nieuwpoort – Plassendale te Slijpe o.b.v. de periode 2000-2024, voor terugkeerperioden van 5 en 25 jaar, voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's, na toepassing van de grenswaarde van 0,13 m³/s voor het aangepast VRAG-beheer.

Slijpe: Aangepast VRAG; 0,13 m³/s; debietverschil	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	27	29	25	43	57
T25 Totale duur [dagen]	29	28	53	51	85
T5 LOT-duur [dagen]	17	21	14	17	35
T25 LOT-duur [dagen]	22	18	20	20	57
T5 Volumetekort [m³]	49 588	62 558	70 224	55 859	107 177
T25 Volumetekort [m³]	60 845	81 057	136 270	109 885	501 782
T5 Debiettekort [m³/dag]	2 917	2 979	5 016	3 286	3 062
T25 Debiettekort [m³/dag]	2 766	4 503	6 814	5 494	8 803

Slijpe: Aangepast; 0,13 m³/s; productiedebiet	Huidig klimaat	H2050 Q50	H2050 Q05	H2100 Q50	H2100 Q05
T5 Totale duur [dagen]	23	35	27	43	46
T25 Totale duur [dagen]	29	29	65	42	85
T5 LOT-duur [dagen]	15	17	18	17	20
T25 LOT-duur [dagen]	22	21	29	21	57
T5 Volumetekort [m³]	165 000	187 000	198 000	187 000	220 000
T25 Volumetekort [m³]	242 000	231 000	319 000	231 000	627 000
T5 Debiettekort [m³/dag]	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000
T25 Debiettekort [m³/dag]	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000

3.8 Andere

Verder gebruikt ook Pidpa in beperkte mate oppervlaktewater, dat zij onttrekken uit het Albertkanaal (max. 5000 m³/dag na zuivering, jaarlijks ca. 700 000 m³) en in Grobbendonk laten infiltreren, dit om de winning in evenwicht te brengen met de grondwateraanvulling.

Naast oppervlaktewater en grondwater wordt er in Vlaanderen ook drinkwater geproduceerd uit RWZI-effluentwater, door Aquaduin. Zij gebruiken gezuiverd effluent (ca. 3 Mm³/jaar) dat in het winningsgebied infiltreert en als grondwater opgepompt wordt voor drinkwaterproductie.

Daarnaast is er naast de eigen productie ook nog aanvoer en uitvoer van drinkwater vanuit/naar de naburige landen en gewesten (Nederland, Frankrijk, Wallonië, Brussel).

De impact van de klimaatverandering op de toekomstige ruwwaternood voor deze andere drinkwaterproductiehoeveelheden werd in deze studie niet beschouwd. De hoeveelheden zijn evenwel beperkt zodat dit geen grote invloed heeft op de grootteorde raming van de totale toekomstige ruwwaternood in Vlaanderen.

4 Conclusies

De analyse in deze studie geeft aan dat de toekomstige klimaatverandering door de toenemende droogte in de zomer voor een verhoging van de ruwwaternood zal zorgen langs het oppervlaktewater. Vooral bij het meest extreme H2100 Q05 klimaatscenario wordt er een sterke toename in de ruwwatertekorten gevonden.

Tabel 19 en Tabel 20 geven een samenvattend overzicht van de huidige buffercapaciteit en productiecapaciteit en de bijkomende ruwwaternood die in deze studie in grootteorde werd ingeschat tot een terugkeerperiode van 25 jaar (dus conform het voorstel van strategische waterzekerheidsdoelen voor Vlaanderen), voor het huidig klimaat en de vier beschouwde klimaatscenario's. De bijkomende ruwwaternood kan hierbij voor een deel voorzien worden als bijkomende buffering en/of voor een deel als bijkomende productiecapaciteit of via alternatieve waterbronnen.

Tabel 19: Samenvattend overzicht van de huidige en bijkomend nodige buffercapaciteit (voor het huidige klimaat en na klimaatscenario's) indien de volledige ruwwaternood als bijkomende buffering voorzien zou worden. De waarden tussen haakjes zijn deze na aanpassing van de prioritering in de VRAG-maatregelen, of voor Kluizen bij de gevoeligheidsanalyse op het debiet in de Averijvaart, of voor Nieuwpoort indien er geen zeewaterontzilting beschouwd zou worden. De huidige gemiddelde leverings-zekerheidsduur en de D-waarde gebruikt in deze studie staan ook aangeduid.

WPC	Huidige buffer-capaciteit [miljoen m ³]	Bijkomende buffernood huidig klimaat [miljoen m ³]	Bijkomende buffernood H2100 Q05 scenario [miljoen m ³]	Huidige gemiddelde leverings-zekerheids-duur [dagen]	D in deze studie
Albertkanaal en Netekanaal	8,4	Ca. 0 (0,1)	13 (15)	21	21 dagen
Kluizen	10,9	0	0,3 (9)	273	1 jaar
De Gavers	0,2	0	0 (0,07)	7	7 dagen
De Blankaart	2,4	0	0,9	60	1 jaar
Zillebeke en Dikkebus	0,42	0	0,3	42	1 jaar
Oostende	0	0	0,6	-	7 dagen
Nieuwpoort	0	0 (0,1)	0 (0,6)	-	7 dagen
TOTAAL	22,3	Ca. 0 (0,2)	15 (27)		

WPC	Bijkomende buffernood huidig klimaat [miljoen m ³]	Bijkomende buffernood H2050 Q50 scenario [miljoen m ³]	Bijkomende buffernood H2100 Q50 scenario [miljoen m ³]	Bijkomende buffernood H2050 Q05 scenario [miljoen m ³]	Bijkomende buffernood H2100 Q05 scenario [miljoen m ³]
Albertkanaal en Netekanaal	Ca. 0 (0,1)	0,1	0,1	0,4 (1,9)	13 (15)
Kluizen	0	0 (0,3)	0 (2)	0 (4)	0,3 (9)
De Gavers	0	0	0	0	0 (0,07)
De Blankaart	0	0,1	0,25	0,5	0,9
Zillebeke en Dikkebus	0	0,03	0,1	0,2	0,3
Oostende	0	0	0	0	0,6
Nieuwpoort	0 (0,1)	0 (0,1)	0 (0,1)	0 (0,1)	0 (0,6)
TOTAAL	Ca. 0 (0,2)	0,2 (1)	0,5 (3)	1 (7)	15 (27)

Tabel 20: Samenvattend overzicht van de huidige productiecapaciteit en bijkomend nodige productiecapaciteit of alternatieve ruwwaterbronnen (voor het huidig klimaat en na klimaatscenario's) indien de volledige ruwwaternood als bijkomende productiecapaciteit of alternatieve ruwwaterbronnen voorzien zou worden. De waarden tussen haakjes zijn deze na aanpassing van de prioritering in de VRAG-maatregelen, of voor Kluizen bij de gevoeligheidsanalyse op het debiet in de Averijvaart, of voor Nieuwpoort indien er geen zeewaterontziltling beschouwd zou worden.

WPC	Huidige productie-capaciteit [m³/dag]	Huidige productie-capaciteit [m³/s]	Bijkomende ruwwaternood huidig klimaat [m³/s]	Bijkomende ruwwaternood H2100 Q05 scenario [m³/s]
Albertkanaal en Netekanaal	427 680	4,95	0,05	2,8
Kluizen	40 000	0,46	0	0,01 (0,03)
De Gavers	32 000 (toekomstig: 55 000)	0,37 (toekomstig: 0,64)	0	0,09
De Blankaart	40 000 (winter) 15 000 (zomer)	0,46	0	0,04
Zillebeke en Dikkebus	10 000	0,12	0	0,01
Oostende	12 000	0,14	0	0,14
Nieuwpoort	11 000	0,13	0 (0,03)	0 (0,13)
TOTAAL		6,6	0,05 (0,2)	3,1 (3,2)

WPC	Bijkomende ruwwaternood huidig klimaat [m³/s]	Bijkomende ruwwaternood H2050 Q50 scenario [m³/s]	Bijkomende ruwwaternood H2100 Q50 scenario [m³/s]	Bijkomende ruwwaternood H2050 Q05 scenario [m³/s]	Bijkomende ruwwaternood H2100 Q05 scenario [m³/s]
Albertkanaal en Netekanaal	0,05	0,05 (0,14)	0,14	0,26 (0,6)	2,8
Kluizen	0	0	0 (0,01)	0 (0,02)	0,01 (0,03)
De Gavers	0	0	0	0	0,09
De Blankaart	0	Ca. 0	0,01	0,02	0,04
Zillebeke en Dikkebus	0	Ca. 0	Ca. 0	0,01	0,01
Oostende	0	0	0	0	0,14
Nieuwpoort	0 (0,03)	0 (0,05)	0 (0,06)	0 (0,08)	0 (0,13)
TOTAAL	0,05 (0,08)	0,05 (0,1)	0,15 (0,2)	0,3 (0,7)	3,1 (3,2)

Voor het huidig klimaat is er tot een terugkeerperiode van 25 jaar quasi geen ruwwaternood. Na toepassing van de klimaatscenario's ontstaat er wel een ruwwaternood. Ze wordt geraamd op 1 miljoen m³ voor het hoog-impact klimaatscenario tegen 2050 en stijgt daarna sterk tot 15 miljoen m³ tegen 2100. Indien de drinkwatervoorziening een lagere prioriteit zou krijgen in het VRAG-beheer stijgen deze volumetekorten tot 3 miljoen m³ tegen 2050 en 27 miljoen m³ tegen 2100. Ter vergelijking: de huidige totale buffercapaciteit bedraagt 22,3 miljoen m³. Een groot deel van deze ruwwaternood is gesitueerd langs het Albertkanaal en het Netekanaal.

Deze ruwwaternood kan voorzien worden als een bijkomende capaciteit voor de spaarbekkens (volumetekort), of ze kan voorzien worden als een bijkomende productiecapaciteit of via alternatieve waterbronnen (debiettekort). Uitgedrukt als een debiettekort bedraagt de totale ruwwaternood 0,3 à 0,7 m³/s voor het hoog-impact klimaatscenario tegen 2050, stijgend naar 3,2 m³/s tegen 2100. Ter vergelijking: de totale huidige productiecapaciteit bedraagt 6,6 m³/s. De bijkomende productiecapaciteit via alternatieve waterbronnen dient uiteraard niet permanent voorzien te worden, maar enkel tijdens de waterschaarsteperioden. De impactresultaten voor de totale duur en de POT-duur met ruwwatertekorten, zoals hoger getabelleerd per WPC met oppervlaktewateronttrekkingen, geven een indicatie van de duur van deze perioden.

Bij deze ramingen van de ruwwaternood voor het oppervlaktewater dient de ruwwaternood vanuit het grondwater (parallele studie o.l.v. prof. Marijke Huysmans) nog bijgeteld te worden om de totale ruwwaternood te kennen.

Vermits de toekomstige klimaatverandering erg onzeker is, werd in deze studie gewerkt met scenario's. Naast het huidig klimaat werd voor de klimaatverandering met 30 klimaatscenario's gerekend. De toekomstige werkelijkheid is niet gekend, maar er wordt – op basis van de huidige kennis en inzichten – verwacht dat de werkelijkheid tussen nu en de beschouwde toekomstjaren (2050 en 2100) zich met hoge waarschijnlijkheid zal situeren tussen de huidige condities en de hoog-impact resultaten. Er is een kleine kans dat de werkelijke impact van de klimaatverandering tot het einde van de eeuw nog groter zal zijn dan het hoog-impact klimaatscenario, maar met hoge waarschijnlijkheid zal ze kleiner zijn. Dit betekent dus dat de ruwwaternood zoals berekend voor het hoog-impact klimaatscenario 2100 niet noodzakelijk tegen het einde van de eeuw voorzien moet worden maar pas decennia later. Opvolging van de snelheid waarmee de klimaatverandering zich doorzet zal aangeven hoe snel de bijkomende inspanningen geleverd moeten worden. De ramingen in deze studie geven wel een eerste indicatie die men in rekening kan brengen om tot een lange-termijn duurzame en *no regret* strategie te komen. Zoals hiervoor al aangegeven gaat het om ruwe ramingen vermits er heel wat veronderstellingen werden gemaakt in de modellering. Conform het huidige voorstel van strategische Vlaamse waterzekerheidsdoelen zijn ze sterk gebaseerd op het uitgangspunt dat slechts tot een terugkeerperiode van 25 jaar de ruwwatervoorraden voldoende gegarandeerd moeten worden. Indien deze terugkeerperiode hoger gekozen zou worden, zouden de impactresultaten voor de ruwwaternood heel wat hoger liggen. Ook de keuze van de periode 2000-2024 als referentieperiode en de aanname dat de meteorologische condities in deze periode van de laatste 25 jaar representatief is voor de langere termijn natuurlijke variaties, heeft een invloed op de resultaten. Vooral voor Kluizen blijken de impactresultaten zeer gevoelig voor de gekozen meteorologische reeksen; zie §3.2. Bovendien werden er in deze studie enkel waterkwantiteitsmodellen gebruikt en werd er niet rechtstreeks rekening gehouden met de invloed van de waterkwaliteit.

De ruwwaternood zal in de praktijk gelenigd moeten worden door een combinatie van oplossingen. Er wordt aanbevolen om deze te baseren op een kosten-baten afweging bij de mogelijke (combinaties) van oplossingen. Dergelijke analyse is geen onderdeel van de huidige opdracht. Wel wordt hierna, op basis van de analyses in deze en voorgaande studie, een grootteorde idee gegeven van de volumes bij een aantal van de mogelijke oplossingen, wat rechtstreekse input geeft voor dergelijke kosten-baten afweging:

- Aanleg extra spaarbekkens langs de grote oppervlaktewaterassen (rivieren en kanalen) waar in de niet-droge maanden voldoende water beschikbaar is. Dit kan bijvoorbeeld langs het Albertkanaal, waar het waterbalansmodel en de tijdreeksanalyse aangeven dat er op jaarbasis 300 miljoen m³ extra onttrokken zou kunnen worden tijdens niet droge periodes, zonder het Maasafvoeroverdrag te hypothekeren. In het totaal loopt er op jaarbasis in Vlaanderen 6400 miljoen m³ oppervlaktewater uit Vlaanderen, de Maas niet meegerekend, waarvan bij benadering minimaal 1500 miljoen m³/jaar nodig is om aan de ecologisch minimale debieten te voldoen, voor de uitgaande scheepvaart en om aan de internationale verdragen met Nederland te voldoen. Er is dus voldoende potentieel om tijdens de niet-droge periodes water op te slaan. Dergelijke aanleg van spaarbekkens is in Vlaanderen wel niet zo evident gezien de grote inname van open ruimte die ermee gepaard gaat.
- Gebruik van RWZI-afvalwater, waarbij 0,7 miljoen m³/dag of 8 m³/s het totaal maximaal debiet is dat permanent beschikbaar is. In de praktijk is de beschikbare hoeveelheid RWZI-effluentwater veel minder dan 0,7 miljoen m³/dag omdat het hergebruik van effluentwater langs ecologisch kwetsbare waterlopen voor belangrijke ecologische impact kan zorgen. Bovendien wordt het RWZI-effluentwater ook meer en meer voor andere toepassingen hergebruikt, bv. in de landbouw.
- Gebruik van hemelwater, waarvan afgerond 200 miljoen m³/jaar of 6 m³/s in het totaal in Vlaanderen beschikbaar is. Door het decentrale karakter van dergelijke opslag en bijhorende zuivering is opslag van slechts een fractie daarvan praktisch realiseerbaar. Bovendien gaat er in Vlaanderen meer en meer aandacht naar opslag van regenwater in hemelwaterputten voor huishoudelijk gebruik en naar infiltratie om grondwaterreserves voldoende op peil te houden.
- Gebruik van industrieel effluentwater. Hiervan is in totaal 720 miljoen m³/jaar of 23 m³/s beschikbaar. Vermits het huidige drinkwaterverbruik van deze bedrijven 90 miljoen m³/jaar of 3 m³/s bedraagt, zou bijkomend hergebruik een belangrijk voordeel opleveren. Ook zou een deel van het industrieel effluentwater benut kunnen worden voor bijkomende drinkwaterproductie naast het toenemend hergebruik in de industrie en het ter beschikking stellen aan derden, bv. de landbouw of stadsdiensten. Het grote voordeel van dit effluentwater is dat het – in tegenstelling met hemelwater – min of meer permanent beschikbaar is, ook tijdens droogteperiodes.
- Installatie van bijkomende brakwaterinstallaties, bv. in de Haven van Antwerpen of langs de kust, eventueel zelfs ontziltingsinstallaties voor zoutwater. Voor de brakwaterinstallaties dient dan wel nog onderzocht te worden hoeveel permanent water maximaal gecapteerd kan worden en of de impact van de teruglozing met reststromen aanvaardbaar is. Er wordt verwacht dat ze slechts een fractie van de totale ruwwaternood zullen kunnen leveren. Zoutwater is er anderzijds voldoende beschikbaar maar de ontzilting ervan heeft een grote kostprijs, vraagt veel energie, en opnieuw is er de problematiek van teruglozing met zeer geconcentreerde reststromen. Anderzijds moet men naast de waterkwantiteitsnood ook

rekening houden met de toenemende zoutintrusie langs de kustpolders en het Albertkanaal/Netekanaal.

- Artificiële infiltratie van oppervlaktewater tijdens niet droge periodes in diepe, gespannen grondwaterlichamen via de ASR-techniek (Aquifer Storage and Recharge), zodat bijkomend diep grondwater beschikbaar komt voor gebruik tijdens droge periodes. Er is voldoende oppervlaktewater beschikbaar daarvoor (zie hiervoor) maar het is onduidelijk hoeveel bijkomende opslag er op deze manier praktisch gerealiseerd kan worden. Dit vraagt verder onderzoek.

In deze studie werd uitgegaan van een ongewijzigd drinkwaterverbruik. De klimaatverandering zal echter ook een impact hebben op het drinkwaterverbruik, zowel op het totale verbruik als het piekverbruik. Daarnaast is er de toekomstige bevolkingsgroei die voor een extra toename in de drinkwatervraag kan zorgen. Anderzijds zijn er technologische evoluties en toenemende aandacht voor hergebruik van water, die ervoor kunnen zorgen dat de drinkwatervraag zal dalen. Alhoewel deze inschatting zeer onzeker is en verwacht wordt dat deze impact een grootteorde kleiner zal zijn dan de impact op het verminderd ruwwateraanbod, wordt deze invloed best ook in rekening gebracht.

Referenties

Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., Ntegeka, V. (2010), 'Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium', Theoretical and Applied Climatology, 99, 273-86

Bertels, D., Willems, P. (2019). 'Waterbeschikbaarheidsanalyse WPC Kluizen', aanvullingen op tussentijds verslag van december 2018, voor De Watergroep & KWR, februari 2019

Bertels, D., Willems, P. (2019), 'Waterbeschikbaarheidsanalyse WPC Kluizen - Scenarioanalyse voor renovatie spaarbekken 1', juni 2019

Bertels, D., Willems, P. (2021), 'Modellering van zoutindringing op het Albertkanaal', KU Leuven voor Water-link, juni 2021, 82 p.

Bertels, D., Willems, P. (2023), 'Integrated conceptual water system modelling for current and future water availability analysis', KU Leuven – Faculty of Engineering Science, Leuven

Bertels, D., De Meester, J., De Niel, J., Wolfs, V., Willems, P. (2021). 'Waterbeschikbaarheidsanalyse WPC Kluizen', Onderzoeksrapport van KU Leuven – Afdeling Hydraulica en Geotechniek, voor KWR en De Watergroep, november 2020, 160 p.; Managementsamenvatting BTO-bedrijfstakonderzoek BTO 2021.021, mei 2021, 22 p.

Boeckx, L. (2022). Operationalisering droogte-indicatoren waterkwantiteit waterwegen VRAG_UPDATE 2022. Versie 4.0. WL Memo's, 21_009_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Breugelmans, L., Willems, P. (2021), 'Waterbalans- en zoutconcentratie model Port of Antwerp', KU Leuven voor Port of Antwerp, juni 2021, 83 p.

Breugelmans, L., Willems, P. (2024a), 'Ondersteuningsopdracht Waterbeschikbaarheid op de Vlaamse waterwegen - Nota debieten Maas – Albertkanaal – Kempische kanalen', KU Leuven voor De Vlaamse Waterweg & Vlaamse Milieumaatschappij, april 2024.

Breugelmans, L., Willems, P. (2024b), 'Watertemperatuurmodule en impactanalyse voor Haven van Antwerpen', KU Leuven voor Port of Antwerp – Bruges, juni 2024, 81 p.

Breugelmans, L., Nollet, S., Willems, P. (2025), 'Ondersteuningsopdracht waterbeheer – waterbalansmodellering, Deelrapport 3: Scenarioanalyse', KU Leuven voor De Vlaamse Waterweg.

Bertels, D., Breugelmans, L., Willems, P. (2023), 'Modellering van zoutindringing op het Albertkanaal - Validatie en scenarioanalyse voorjaar 2023', KU Leuven voor Water-link, mei 2023, 61 p.

Breugelmans, L., Bertels, D., Willems, P. (2023), 'Water- en zoutbalans voor het kanaal Gent – Terneuzen: Opbouw en scenario-analyse', KU Leuven voor North Sea Port, april 2023, 67 p.

Breugelmans, L., Bertels, D., Willems, P. (2024), 'Ondersteuningsopdracht Waterbeschikbaarheid op de Vlaamse waterwegen - Deelrapport 1: Opbouw en validatie van het waterbalansmodel', KU Leuven voor De Vlaamse Waterweg, januari 2024, 200 p.

Brouwers, J., Peeters, B., Van Steertegem, M., van Lipzig, N., Wouters, H., Beullens, J., Demuzere, M., Willems, P., De Ridder, K., Maiheu, B., De Troch, R., Termonia, P., Vansteenkiste, Th., Craninx, M., Maetens, W., Defloor, W., Cauwenberghs, K. (2015), 'MIRA Klimaatrapport 2015 – Over waargenomen en nog verwachte klimaatveranderingen', Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI, Aalst, september 2015, 147 p.

Bultot, F., Coppens, A., Dupriez, G.L. (1983), 'Estimation de l'évapotranspiration potentielle en Belgique (Procédure révisée)', Royal Meteorological Institute of Belgium (IRM-KMI), Serie A Nr 112, 28 p.

CIW (2018), 'Evaluatierapport droogte 2017: Aanhoudende droogte zomer 2016 – zomer 2017', Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid

CIW (2019), 'Evaluatierapport waterschaarste en droogte 2018', Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid

CIW (2020), 'Evaluatierapport waterschaarste en droogte 2019', Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, maart 2020

CIW (2021), 'Evaluatierapport waterschaarste en droogte 2020', Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid

CIW (2023), 'Evaluatierapport waterschaarste en droogte 2022', Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid

Dams, J., Desmet, N., Bronders, J. (2015), 'Waterbeschikbaarheid voor het WPC De Blankaart', VITO voor De Watergroep, december 2015

Dams, J., Desmet, N., Bronders, J. (2016), 'Waterbeschikbaarheid WPC De Gavers: deel Waterkwantiteit', VITO voor De Watergroep, december 2016

De Meester, J., Willems, P. (2021), 'RWZI-bijdrage tot de laagwaterdebieten en ecologisch minimale debieten langs de onbevaarbare waterlopen in Vlaanderen', KU Leuven voor Aquafin, november 2021

De Meester, J., Willems, P. (2024), 'Data-based Modelling of Surface Water Availability along Rivers in Flanders', KU Leuven – Faculty of Engineering Science, Leuven

De Meester, J., Willems, P. (2022). 'Bepaling bijdrage overstorten in onttrekkingsgebied WPC Kluizen', Onderzoeksrapport van KU Leuven – Afdeling Hydraulica en Geotechniek, voor KWR en De Watergroep, november 2022, 75 p. incl. Managementsamenvatting "Nieuw ontwikkelde methodologie schat op basis van conceptuele modellen in welke bijdrage overstorten en permanente lozingen hebben in onttrekkingsgebied WPC Kluizen", BTO-bedrijfstakingonderzoek BTO 2022.048, november 2022

De Niel, J., Willems, P. (2018), 'Variability of river flow extremes in Flanders: impact of atmospheric and catchment drivers', KU Leuven – Faculty of Engineering Science, Leuven

De Niel, J., Wolfs, V., Willems, P. (2018). "Waterbeschikbaarheidsstudie WPC Kluizen", tussentijds verslag voor De Watergroep & KWR, december 2018, 112 p.

Lokers, R., Coninx, I., Willems, P., de Groot, H., Staritsky, I. (2018), 'Klimaatportaal Vlaanderen - Kompas voor een klimaatbestendig en weerbaar Vlaanderen', voor Vlaamse Milieumaatschappij - Dienst Hoogwaterbeheer en Dienst Milieurapportering, AOW&MIRA/2018/02, Wageningen Environmental Research & KU Leuven, 93 p.; ISBN 9789491385650

Meinshausen et al. (2020). 'The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500', *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571–3605

Mendoza Paz, S., Willems, P. (2023), 'Statistical downscaling for climate change impact analysis on hydrological extremes', KU Leuven – Faculty of Engineering Science, Leuven

Moustakas, S., Willems, P. (2023), 'Investigation of computationally efficient methodologies for spatially distributed hydrological modelling', KU Leuven – Faculty of Engineering Science, Leuven

Moustakas, S., Willems, P. (2024), 'Simplified spatially distributed, coupled soil moisture–groundwater model, evaluated for Flanders (Belgium)', *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, 102006

Mulleman, B., (2010), 'Impact van de klimaatverandering op watertekorten voor drinkwaterproductie in Vlaanderen', Masterproef KU Leuven – Afdeling Hydraulica (promotor prof. P.Willems) in samenwerking met VMW

Ntegeka, V., Baguis, P., Roulin, E., Willems, P. (2014), 'Developing tailored climate change scenarios for hydrological impact assessments', *Journal of Hydrology*, 508C, 307-321

O'Neill, B.C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K., Sanderson, B.M. (2016), 'The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6', *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W. (2017), 'The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century', *Global Environmental Change*, 42, 169-180

Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., et al. (2017), 'The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use and greenhouse gas emissions implications: An overview', *Global Environmental Change*, 42, 153–168

Sunyer, M.A., Hundecha, Y., Lawrence, D., Madsen, H., Willems, P., Martinkova, M., Vermoor, K., Bürger, G., Hanel, M., Kriaučiūnienė, J., Loukas, A., Osuch, M., Yücel, I. (2015), 'Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of extreme precipitation in Europe', *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 1827-1847

Tabari, H., Taye, M.T., Willems, P. (2014), 'Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen – Technische Appendix 2: Nieuwe modelprojecties voor Ukkel op basis van globale klimaatmodellen (CMIP5)', studie uitgevoerd in opdracht van de Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij en MIRA, KU Leuven, november 2014, 104 p.

Termonia, P., Van Schaeybroeck, B., De Cruz, L., De Troch, R., Caluwaerts, S., Giot, O., Hamdi, R., Vannitsem, S., Willems, P., Tabari, H., Van Uytven, E., Hosseinzadehtalaei, P., Van Lipzig, N., van Ypersele, J-P., Marbaix, Ph., Villanueva-Birriel, C., Fettweis, X., De Ridder, K., Gobin, A., Lauwaet, D., Stavrakou, T., Bauwens, M., Müller, J-F., Luyten, P., Pottiaux, E. (2018), 'The CORDEX.be initiative as a foundation for climate services in Belgium', *Climate Services*, 11, 49-61

Tran, Q.Q., Willems, P., Huysmans, M. (2019), 'Development of an integrated modelling approach for improved groundwater and low flow simulation', KU Leuven – Faculty of Engineering Science, Leuven

Van Schaeybroeck, B., Mendoza Paz, S., Willems, P. (2021), 'CICADA.be: Coherent Integration of climate projections into Climate ADaptation plAnning tools for Belgium', Final Report by RMI & KU Leuven for Belgian Science Policy Office, Brussels, BRAIN-be programme

Van Uytven, E., Willems, P. (2019), 'Evaluation of statistical downscaling methods for climate change impact analysis on hydrological extremes', KU Leuven – Faculty of Engineering Science, Leuven

VMM (2019), 'Ruimtelijk variabele klimaatscenario's voor Vlaanderen', GIS-lagen als input voor Klimaatportaal Vlaanderen, door KU Leuven voor Vlaamse Milieumaatschappij.

VRAG (2021). 'Uitwerking van een reactief afwegingskader voor prioritair watergebruik tijdens waterschaarste', Studie van KU Leuven o.l.v. P.Willems, i.s.m. Sumaqua, KPMG, Bodemkundige Dienst van België en Universiteit Antwerpen voor Vlaamse Milieumaatschappij, de Vlaamse Waterweg, het Departement Mobiliteit en Openbare Werken, het Departement Omgeving, het Departement Landbouw en Visserij, het Departement Economie, Wetenschap en Innovatie, en het Agentschap Natuur & Bos, Eindrapport, april 2021, 558 p.

Willems, P. (2009), 'A time series tool to support the multi-criteria performance evaluation of rainfall-runoff models', *Environmental Modelling & Software*, 24(3), 311-321

Willems P., Vrac M. (2011), 'Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change', *Journal of Hydrology*, 402, 193-205

Willems, P., Arnbjerg-Nielsen, K., Olsson, J., Nguyen, V.T.V. (2012a), 'Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: methods and shortcomings', *Atmospheric Research*, 103, 106-118.

Willems, P., Olsson, J., Arnbjerg-Nielsen, K., Beecham, S., Pathirana, A., Bülow Gregersen, I., Madsen, H., Nguyen, V-T-V. (2012b) 'Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage', IWA Publishing, 252p., Paperback Print ISBN 9781780401256; Ebook ISBN 9781780401263

AFDELING HYDRAULICA EN GEOTECHNIEK
Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448
3001 HEVERLEE (LEUVEN), BELGIË
tel. + 32 16 32 16 58
Patrick.Willems@kuleuven.be
bwk.kuleuven.be/hydr

