

MEMO

Aan: VNSC, Werkgroep Droogte
Van: Paula Lambregts, Vincent Vuik (HKV)
Projectleiders: Eric van Zanten (RWS), Laurens Hermans (MOW Vlaanderen)
Datum: 24 april 2023
Projectnummer: PR4728.11
Onderwerp: Oppervlaktewatermodellering op basis van SIVAK-simulaties

1 Inleiding

Dit memo is een aanvulling op het deelrapport "Verziltiging Kanaal Gent-Terneuzen – Rapportage oppervlaktewatermodellering" (HKV, 2023).

1.1 Aanleiding

Het hoofdrapport is onderdeel van het verkennend onderzoek naar aanpak van de droogte-problematiek in het Kanaal Gent-Terneuzen (KGT). In dit onderzoek ligt de focus op de verziltiging, waterafvoer en peilbeheer op het KGT onder invloed van (lage) bovenafvoer en de uitwisseling van zoet en zout water bij het sluizencomplex bij Terneuzen, inclusief de Nieuwe Sluis Terneuzen (NST).

In het hierboven genoemde onderzoek is naar voren gekomen dat in perioden van droogte stremmingen van de schutsluizen nodig zijn om het peilbeheer op orde te houden. Schuttingen zorgen voor waterverliezen door het verschil tussen het kanaalpeil en de gemiddelde waterstand op de Westerschelde. In perioden van droogte is de bovenafvoer soms te laag om te compenseren voor deze waterverliezen, waardoor het kanaalpeil dreigt uit te zakken. Om het kanaalpeil te reguleren, moeten één of meerdere sluizen dan rond laagwater op de Westerschelde worden gestremd. Het stremmen van sluizen heeft niet alleen invloed op het kanaalpeil, maar ook op zoutindringing, omdat er bij schuttingen rond hoogwater relatief veel zout binnendringt.

In HKV (2023) zijn benodigde stremmingsduren berekend voor het beheersen van het kanaalpeil, maar de effecten op scheepvaart (wachtrijen, wachttijden) zijn niet inzichtelijk gemaakt. In een aanvullende onderzoek van Witteveen & Bos zijn scheepvaartbewegingen en de bijhorende wachttijden rondom het nieuwe sluizencomplex in beeld gebracht voor verschillende stremmingssituaties (Witteveen & Bos, 2023). Deze studie geeft een realistisch schutpatroon op basis van een geactualiseerde prognose van het scheepvaartaanbod na ingebruikname van de NST. Dit geactualiseerde schutpatroon is de aanleiding om de zoutgehaltenes op Kanaal Gent Terneuzen opnieuw door te rekenen.

1.2 Doelstelling

In dit memo wordt de verzilting van Kanaal Gent-Terneuzen opnieuw doorgerekend op basis van een realistische schutpatroon en scheepvaartaanbod bij verschillende stremmingsscenario's (Witteveen & Bos, 2023).

De te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

1. Hoe ziet de verzilting van het Kanaal Gent-Terneuzen eruit voor een realistisch schutpatroon en verkeersaanbod bij het nieuwe sluisencomplex in Terneuzen?
2. Hoe vaak komen de verschillende stremmingen voor bij de drie afvoerscenario's?
3. Welke wachttijden komen voor bij de drie afvoerscenario's?

1.3 Leeswijzer

Dit memo is een aanvulling op het deelrapport "Verzilting Kanaal Gent-Terneuzen – Rapportage oppervlaktewatermodellering" (HKV, 2023). Hierin staat de nodige voorkennis over het systeem Kanaal Gent-Terneuzen en de eerder uitgevoerde scenarioberekeningen. Om onnodige herhaling te voorkomen wordt regelmatig naar dit rapport verwezen voor meer detail en achtergrondinformatie.

In dit memo is aandacht voor de vernieuwde scenarioberekeningen die zijn uitgevoerd met invoer op basis van scheepvaartberekeningen van Witteveen & Bos. In hoofdstuk 0 worden de scheepvaartberekeningen beschreven die met SIVAK zijn uitgevoerd door Witteveen & Bos. Vervolgens wordt in hoofdstuk 0 uitgelegd hoe het oppervlaktewatermodel (gebruikt voor het berekenen van zoutconcentraties) gekoppeld is aan de scheepvaartberekeningen. In hoofdstuk 0 presenteren wij de resultaten hiervan en de verschillen met de oorspronkelijke scenarioberekeningen, om uiteindelijk alles samen te brengen in de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 0.

2 Scheepvaartberekeningen

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de scheepvaartberekeningen die zijn uitgevoerd door Witteveen & Bos. Deze berekeningen vormen de basis voor de update van de zoutgehalten die verwacht worden op het Kanaal Gent-Terneuzen. Voor meer detail over de scheepvaartberekeningen verwijzen wij naar de rapportage van Witteveen & Bos: *"Effect sluisstremmingen sluisencomplex Terneuzen"* (2023).

De scheepvaartberekeningen zijn uitgevoerd met een SIVAK-model, waarin het sluisencomplex bij Terneuzen inclusief de Nieuwe Sluis is nagebootst. Hiermee kan het afwikkelen van scheepvaart bij verschillende stremmingen gesimuleerd worden.

2.1 Scheepvaartaanbod

Het scheepvaartaanbod bepaalt het aantal schepen dat door je sluisencomplex bediend moet worden. Bij het uitvoeren van de scheepvaartberekeningen wordt rekening gehouden met toename van scheepvaartintensiteit in de toekomst. Op basis van een verbeterde prognose voor het scheepvaartaanbod, wordt verwacht dat het aantal schepen met 10% toeneemt ten opzichte van de situatie in 2021. Hierbij is het uitgangspunt dat de intensiteit van de volledige binnenvaartvloot en de zeevaartvloot toeneemt met 10%, waarbij deze toename bij de zeevaartvloot volledig voor de rekening van de grootste scheepvaartklasse komt. Op jaarbasis wordt dan gerekend met een scheepvaartintensiteit van circa 64.000 schepen.

De geactualiseerde prognose voor het scheepvaartaanbod bij het vernieuwde sluisencomplex is aanzienlijk lager dan aangehouden in de MER (Marin, 2015) en daarmee ook in het rapport over de oppervlaktewatermodellering (HKV, 2023). In beide studies is gebruik gemaakt van het "Global Economy" scenario voor 2030 (GE2030) voor het sluisencomplex Terneuzen met Nieuwe Sluis. Volgens dit GE2030-scenario komt de scheepvaartintensiteit uit op circa 86.000 schepen per jaar.

2.2 Stremmingsscenario's

Er zijn SIVAK-simulaties uitgevoerd met 46 verschillende stremmingsscenario's waarin wordt aangegeven hoe lang iedere sluis (Nieuwe Sluis, Westsluis, Oostsluis) wordt gestremd rondom laagwater. Daarbij zit het tijdstip van laagwater precies halverwege de duur van de stremming. Uit deze set stremmingsscenario's is een selectie gemaakt van de stremmingsscenario's die voldoen aan de operationele stremvolgorde, waarbij eerst de Nieuwe Sluis maximaal gestremd wordt, vervolgens de Oostsluis, en als laatste de Westsluis (Tabel 2-1). Deze selectie is meegenomen bij het opzetten van schutpatronen in paragraaf 3.3.

Tabel 2-1: Stremduur (uur per getijdencyclus) voor de geselecteerde stremmingsscenario's.

Stremmings-scenario	Oostsluis	Westsluis	Nieuwe Sluis
S00	0	0	0
S01	0	0	2
S02	0	0	4
S03	0	0	6
S04	0	0	8
S11	4	0	8
S12	6	0	8
S13	8	0	8
S34	8	4	8
S37	8	6	8
S40	8	8	8

2.3 Modelopzet

Voor ieder stremmingsscenario zijn de scheepsbewegingen bij het passeren van sluisencomplex Terneuzen doorgerekend gedurende 28 dagen, startend vanaf 26 juli 2021 en eindigend op 23 augustus 2021 (2 volledige doortij-springtij-doottij cycli). De resultaten van de simulatie geven informatie over het aantal schuttingen per week, de ontwikkeling van wachtrijen, het wel of niet halen van de PIN-Norm¹ en het gemiddelde schutwaterverlies.

Afhankelijk van het stremmingsscenario wordt er gedurende de simulatie consequent gestremd rondom laagwater. Het aankomstpatroon van de binnenvaart, zeevaart en overige schepen is gebaseerd op gemiddelde intensiteiten per scheepvaartklasse die zijn afgeleid uit scheepvaartregistraties rondom het sluisencomplex. Hier worden variaties over de dag en over de week in meegenomen. Het SIVAK-model is gekalibreerd voor de scheepvaartafwikkeling in de zomer van 2021.

Rondom de stremmingen kan er geschut worden met alle drie de kolken. Dit gebeurt op basis van een set beslisregels voor het toewijzen van de kolken:

- De Oostsluis wordt voor binnenvaart en recreatievaart gebruikt. Zeevaart wordt niet door deze sluis geschut.
- De Westsluis wordt gebruikt voor het schutten van zowel zeevaart als binnenvaart.
- De NST wordt gebruikt voor het schutten van zowel zeevaart als binnenvaart. In de NST zijn schepen met een diepgang van 12,5 m niet meer getij-gebonden (zoals in de Westsluis). De NST wordt gebruikt voor het tij-onafhankelijk schutten van zeeschepen met een grote diepgang.

Bij het schutten wordt het schutverlies bepaald op basis van een vast kanaalpeil (NAP+2,10 m/+4,45 mTAW) en een variabel waterpeil in de buitenhaven. Ook wordt de invloed van scheepsvolumes op schutverliezen meegenomen. Omdat de gemiddelde diepgang van inkomende schepen groter is dan die van uitgaande schepen, zorgt de scheepsbezetting voor netto waterverlies richting de Westerschelde.

¹ De PIN-Norm is de vastgestelde norm van het sluisencomplex en geeft het percentage binnenvaartschepen aan dat het sluisencomplex binnen 60 minuten heeft gepasseerd. Het vastgestelde minimum percentage in de norm is 64 %. (Witteveen & Bos, 2023)

3 Oppervlaktewatermodellering

Dit hoofdstuk beschrijft de oppervlaktewaterrmodellering waarmee de zoutgehalten op Kanaal Gent-Terneuzen zijn berekend. De afvoerscenario's en het oppervlaktewatermodel zijn hetzelfde als in het hoofdonderzoek (HKV, 2023) en worden hier daarom slechts kort omschreven. In de laatste paragraaf wordt uitgebreider ingegaan op het koppelen van de SIVAK resultaten aan het bestaande oppervlaktewatermodel.

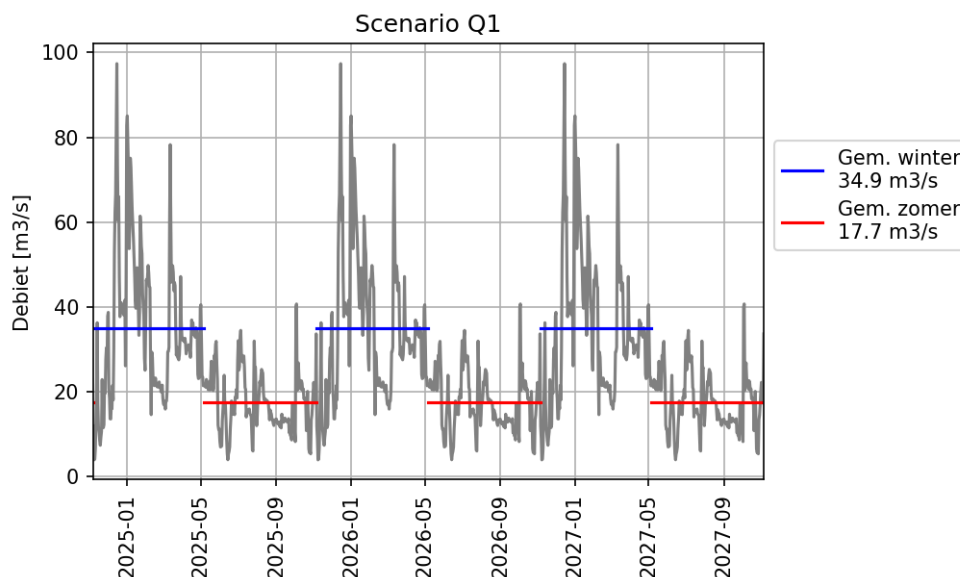
3.1 Afvoerscenario's

Bij het meenemen van de scheepvaartberekeningen uit SIVAK zijn dezelfde scenario's voor de bovenafvoer doorgerekend als in het hoofdrapport. Deze scenario's zijn samengesteld op basis van aangepaste meetreeksen uit de periode van 2010 tot 2021. Uit deze periode zijn zomers en winters geselecteerd die representatief zijn voor gemiddelde, droge en extreem droge zomers en winters. Ieder scenario heeft een lengte van 3 jaar (winter, zomer, winter, zomer, winter, zomer) en is in de tijd geplaatst in de fictieve periode van 6 november 2024 tot 6 november 2027. Hieronder volgt een korte omschrijving van de 3 afvoerscenario's. Voor meer detail, zie paragraaf 3.2 in het hoofdrapport (HKV, 2023).

Scenario Q1

Een gemiddeld scenario: een opeenvolging van 3 gemiddelde winters en 3 gemiddelde zomers.

- Gemiddelde winters: winter van 2017-2018, correctiefactor -4,5%.
- Gemiddelde zomers: zomer van 2021, correctiefactor -5,6%.



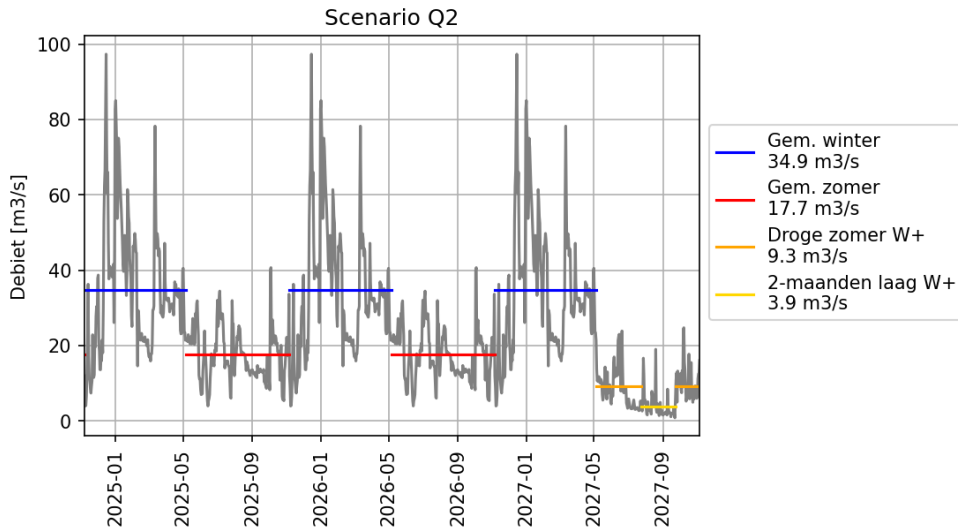
Figuur 3-1: Tijdreeks met totale bovenafvoer in scenario Q1.

Scenario Q2

Een scenario met een extreem droge zomer, inclusief klimaatverandering

- Drie gemiddelde winters met daartussen twee gemiddelde zomers, zoals in scenario Q1.
- Vervolgens een droge zomer met daarin '2 maanden laag': de zomer van 2019.

- De correctie van het debiet in de '2 maanden laag' periode: -45%.
- De correctie van de andere 4 maanden van de droge zomer moet de hele zomer uit laten komen op 7,5 m³/s. Hiervoor was een reductie van -45% nodig in de overige 4 maanden van 2019.

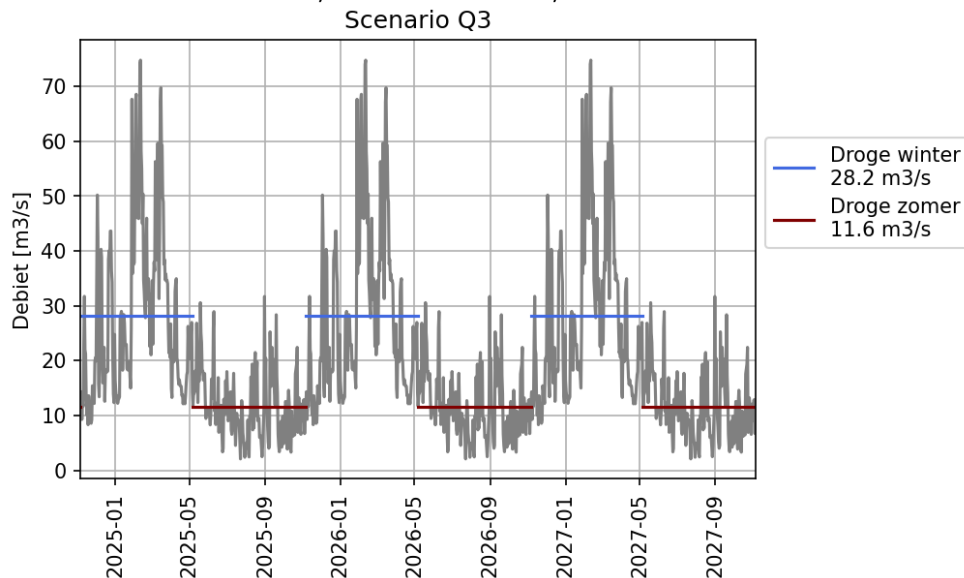


Figuur 3-2: Tijdreeks met totale bovenafvoer in scenario Q2.

Scenario Q3

Een scenario met een opeenvolging van 3 droge winters en 3 droge zomers, zonder klimaatverandering

- Droge winters: winter van 2018-2019, correctiefactor +4,8%.
- Droge zomers: zomer van 2017, correctiefactor +7,5%.



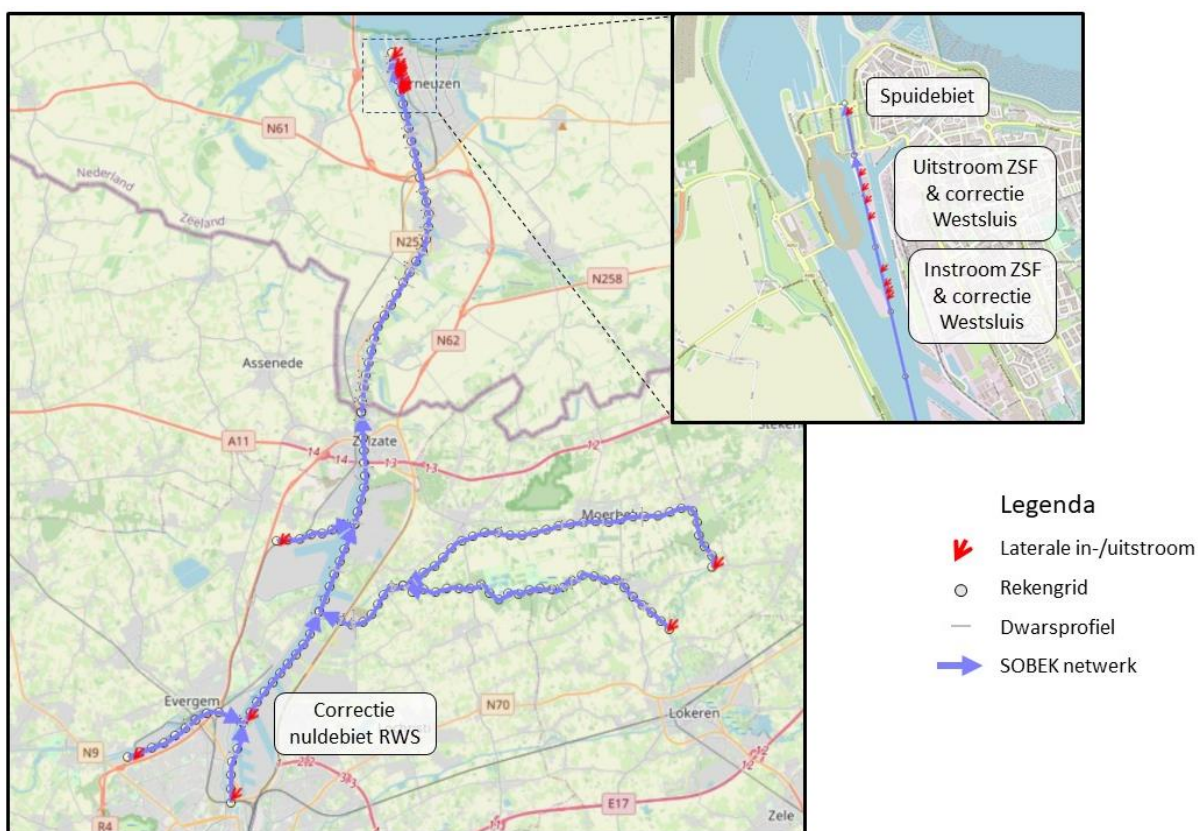
Figuur 3-3: Tijdreeks met totale bovenafvoer in scenario Q3.

3.2 Oppervlaktewatermodel

Het oppervlaktewatermodel bestaat uit een 1D SOBEK3-model gekoppeld aan de Zeesluisformulering (Vreeken en Weiler, 2021), afgekort ZSF. Met het SOBEK-model is de hydrodynamica en de

verspreiding van het zout door het kanaal uitgerekend, en met de Zeesluisformulering de zoutlast vanuit het sluizencomplex die als benedenstroomse randvoorwaarde wordt opgelegd.

In het SOBEK-model (Figuur 3-4) zijn zowel het hoofdkanaal als de zijtakken (Moervaart, Zuidlede, en Averijevaart) opgenomen. Op de bovenstroomse rand van elke tak is een debietrandvoorwaarde opgelegd die is afgeleid uit meetgegevens. De som van deze debietreeksen is gelijk aan de totale bovenafvoer die in paragraaf 3.1 per scenario is weergegeven. Ook bij de benedenstroomse rand bij het sluizencomplex geldt een debietrandvoorwaarde. Het uitstromende debiet is de som van de schutverliezen zoals berekend met de ZSF, en de spuidebieten die zijn afgeleid op basis van een waterbalans voor het gehele watersysteem. Dit betekent dat het kanaalpeil kan variëren, afhankelijk van de verschillen tussen de inkomende bovenstroomse debieten en de uitstromende benedenstroomse debieten.



Figuur 3-4: Overzicht SOBEK3-model met rekenpunten, dwarsprofielen en locaties met laterale in- of uitstroom.

De Zeesluisformulering (ZSF) is niet alleen toegepast voor het bepalen van de schutverliezen, maar voornamelijk voor het specificeren van de zoutuitwisseling tussen het zoute water aan de Westerscheldezijde en het brakke water aan de kanaalzijde. Op basis van de zoutgehalten en de waterstanden aan weerszijden van iedere sluis zijn de uitwisselingsdebieten en de bijhorende zoutconcentratie bepaald. Deze combinatie van debiet en zoutconcentratie is opgelegd op de rand van het SOBEK-model als daggemiddelde zoutlast. De uitstromende uitwisselingsdebieten zijn bij de benedenstroomse rand onttrokken.

De berekeningen met de ZSF kunnen op twee verschillende manieren uitgevoerd worden: cyclusgemiddeld of fasegewijs. Bij een cyclusgemiddelde berekening wordt gerekend op basis van een

schutfrequentie en wordt uitgegaan van een evenwichtssituatie aan het einde van elke schutcyclus. Bij een fasegewijze aanpak wordt iedere schutting individueel doorgerekend met de optie om exacte nivelleertijden en deuropentijden mee te geven. Hier wordt niet uitgegaan van een evenwichtssituatie aan het einde van de schutting. Bij de oorspronkelijke scenarioberekeningen is de ZSF cyclusgemiddeld en met een constante cyclusduur (regelmatige schuttingen) toegepast, omdat er geen tijdstippen van schuttingen beschikbaar waren voor het toekomstscenario. Deze cyclusgemiddelde aanpak resulteerde in een overschatting van de zoutlast ten opzichte van de meer realistische fasegewijze aanpak, waarvoor gecorrigeerd moest worden met een kalibratiecoëfficiënt op de deuropentijden. Omdat er in de SIVAK-simulaties in de tijd variërende schutpatronen gegeneerd zijn, is het nu wel mogelijk om de scenario's fasegewijs door te rekenen. Dit betekent dat er geen kalibratiecoëfficiënt op de deuropentijden nodig is.

Om verzilting tegen te gaan, is er een zoutwaterput aangelegd bij de Westsluis. Het spuien van water gebeurt bij de Westsluis met riolen die verbonden zijn met deze zoutwaterput. Het effect van de aanwezigheid van de zoutwaterput bij de Westsluis is op dezelfde manier meegenomen als in de hoofdstudie (HKV, 2023).

De chlorideconcentratie op het KGT is gekalibreerd aan de hand van TSO-metingen. Omdat de met de ZSF berekende zoutlast structureel voor te hoge chlorideconcentraties op het kanaal bleek te zorgen, is ervoor gekozen om een reductiefactor van 0,40 toe te passen op de uitwisselingsdebieten. Deze reductiefactor in combinatie met een uniforme dispersiecoëfficiënt van 450 m²/s, resulteerde in het beste resultaat. Deze instellingen zijn ongewijzigd toegepast bij het berekenen van de verzilting behorend bij de schutpatronen uit de SIVAK-simulaties.

In dit onderzoek zijn verbeterde kolkdimensies aangehouden, die in sommige gevallen afwijken van de dimensies die zijn aangehouden in de hoofdstudie (Tabel 3-1). Deze verschillen in dimensies zijn het gevolg van de verschillen tussen de kolkruimte die beschikbaar is voor schepen, en de daadwerkelijke afstand tussen de sluisdeuren en de kolkwallen die van belang is voor schutwater volumes. Alle sluisen in Terneuzen hebben meerdere deuren aan weerszijden van de kolk, maar in de operationele praktijk wordt bijna altijd dezelfde combinatie van sluisdeuren gebruikt. Dit is ook de afstand die in deze studie is aangehouden:

- Westsluis: binnendeur tot binnendeur
- Oostsluis: binnendeur tot buitendeur
- Nieuwe sluis: hiervoor is nog niet duidelijk hoe de praktijk eruit zal komen te zien en is binnendeur tot buitendeur aangehouden

Tabel 3-1: De oorspronkelijke kolkdimensies uit de hoofdstudie en de gebruikte kolkdimensies zoals aangehouden in de huidige studie.

Schutsluis	Nieuwe Sluis	Westsluis	Oostsluis
<i>Kolkdimensies hoofdstudie (HKV, 2023) en MER, Lievense CSO (2015)</i>			
Breedte kolk (m)	55	38	24
Lengte kolk (m)	427	290	280
<i>Gebruikte kolkdimensies</i>			
Breedte kolk (m)	55	40	24
Lengte kolk (m)	427	290	295

In de SIVAK-berekeningen zijn weer andere kolkdimensies aangehouden. De schutvolumes in de SIVAK-berekeningen zijn gecorrigeerd zodat dezen passen bij de door ons gebruikte kolkdimensies.

3.3 Koppeling resultaten SIVAK aan oppervlaktewatermodel

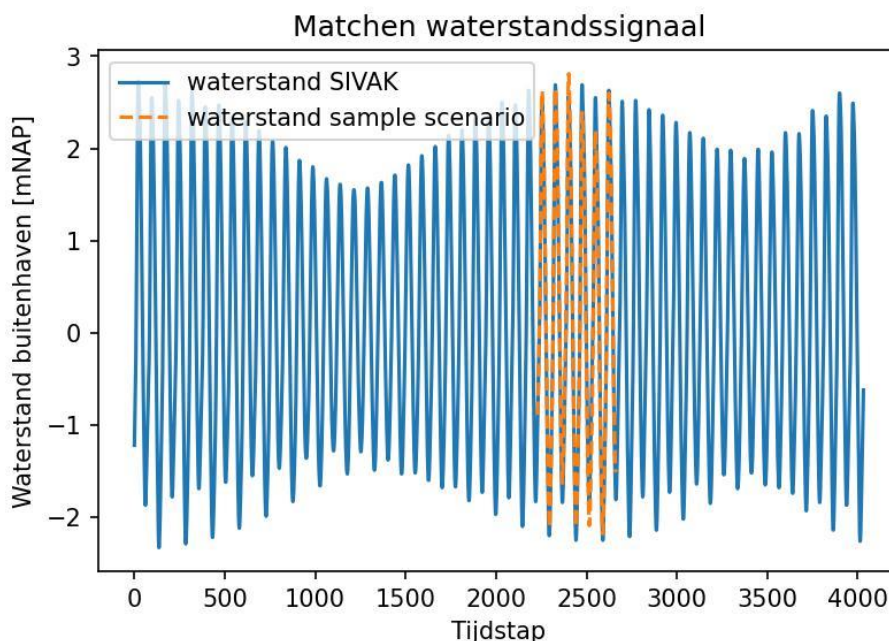
Waar er bij de oorspronkelijke scenarioberekeningen alleen gemiddelde schutfrequenties per sluis beschikbaar waren, al dan niet onderbroken door stremmingen, zijn er nu vanuit de SIVAK-simulaties realistische en gedetailleerde schutpatroon beschikbaar voor de verschillende stremmingsscenario's. In deze schutpatronen komt de variatie in schutfrequentie door de dag en door de week heen terug, maar bijvoorbeeld ook de vollere kolken als gevolg van stremmingen. Deze schutpatronen vormen de invoer voor de Zeesluisformulering. In elke SIVAK-simulatie zijn de stremmingen elke dag hetzelfde. De stremmingsduur heeft in deze berekening nog geen relatie met de beschikbare bovenafvoer.

Het gebruik van de SIVAK-simulaties voegt ook extra informatie toe die voorheen niet beschikbaar was. SIVAK maakt bijvoorbeeld onderscheid tussen schutverliezen vanwege peilverschil en schutverliezen vanwege verschil in diepgang tussen inkomende en uitvarende schepen. Het meenemen van scheepsvolumes zorgt voor een extra netto waterverlies vanuit het kanaal, wat in de oorspronkelijke scenarioberekeningen niet is meegenomen. Deze scheepsvolumes uit SIVAK zijn ook meegenomen in de ZSF-berekeningen en hebben invloed op uitwisselingsdebieten en zoutlast. Verder zijn er in het SIVAK schutpatroon exacte tijdstippen voor nivelleren en het openen en sluiten van deuren beschikbaar die invloed kunnen hebben op de zoutuitwisseling. Hierbij is, bij gebrek aan informatie over de deuropentijden, aangenomen dat de deuren van schutting tot schutting open staan en niet tussentijds gesloten worden. De gedetailleerde gegevens met schuttijdstippen maken het mogelijk om de Zeesluisformulering fasegewijs toe te passen. Dit betekent dat er geen kalibratiecoëfficiënt op de deuropentijden nodig is (waarde van 1,0). De reductiefactor van 0,4 op de uitwisselingsdebieten is nog wel toegepast. Zoals ook het geval was bij de oorspronkelijke scenarioberekeningen, zijn de uitkomsten van de Zeesluisformulering eerst gemiddeld naar daggemiddelde waarden voordat deze als randvoorwaarde voor het SOBEK-model zijn toegepast.

Per afvoerscenario is een schutreeks opgebouwd met de nodige stremmingen, afhankelijk van de beschikbare bovenafvoer op het kanaal. Omdat de SIVAK-simulaties maar voor één maand zijn doorgerekend, is ieder 3-jarig afvoerscenario opgebouwd uit fragmenten uit de SIVAK-simulaties. Hierbij is keus uit SIVAK-simulaties met verschillende stremmingscombinaties (Tabel 2-1). Voor elk stremmingsscenario zijn door Witteveen & Bos meerdere realisaties (zogenaamde "replicates") uitgevoerd. Hiervan is steeds alleen de eerste realisatie gebruikt. Om te zorgen dat het gekozen schutpatroon operationeel haalbaar is zonder al te veel variatie in stremmduren van dag tot dag, is ervoor gekozen om te werken in blokken van 3 dagen bij het opbouwen van de schutreeks. Dit betekent dat per 3 dagen één vast stremmingsscenario is gekozen. Het opbouwen van de schutreeks met opeenvolgende blokken van 3 dagen gebeurt op basis van de hieronder beschreven procedure.

Stap 1: Periode kiezen binnen de SIVAK-simulaties

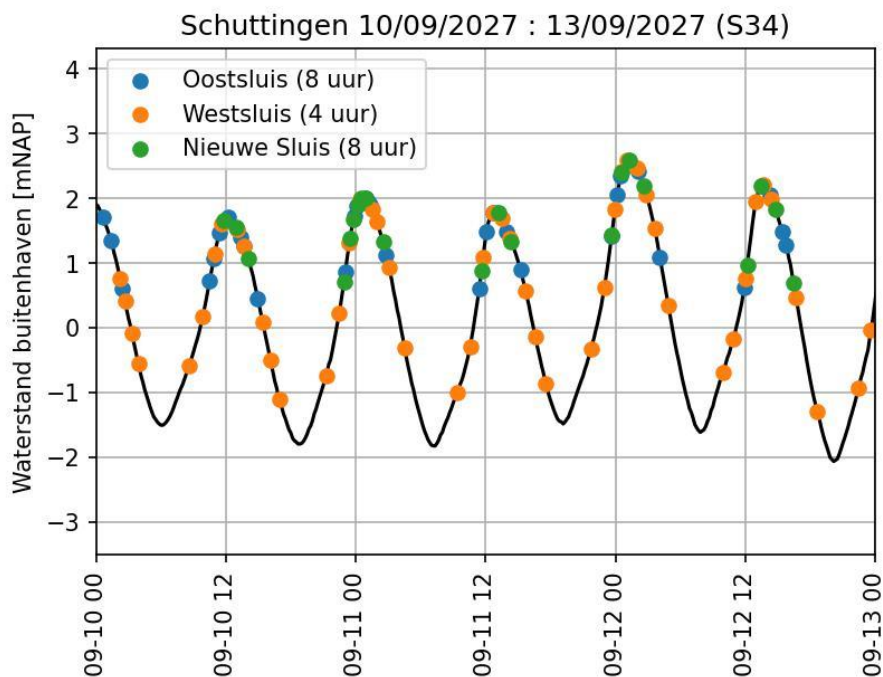
Bij het blok van 3 dagen uit het afvoerscenario hoort een tijdreeks met de waterstanden op de Westerschelde. Hierin zijn eb en vloed duidelijk terug te zien en zullen de maximale en minimale waterstanden variëren afhankelijk van doortij of springtij. Ook bij de SIVAK-simulaties hoort een waterstandsreeks van 28 dagen. Deze is onafhankelijk van het stremmingsscenario, dus identiek voor alle SIVAK-simulaties. Met behulp van correlatie wordt de periode van 3 dagen uit de SIVAK waterstandsreeks geselecteerd die het meest lijkt op de beschouwde 3 dagen uit het afvoerscenario (Figuur 3-5).



Figuur 3-5: Selectie van de periode in de SIVAK-simulatie die het beste overeenkomt met het blok van 3 dagen uit het afvoerscenario op basis van de waterstanden op de Westerschelde.

Stap 2: Selectie stremmingsscenario

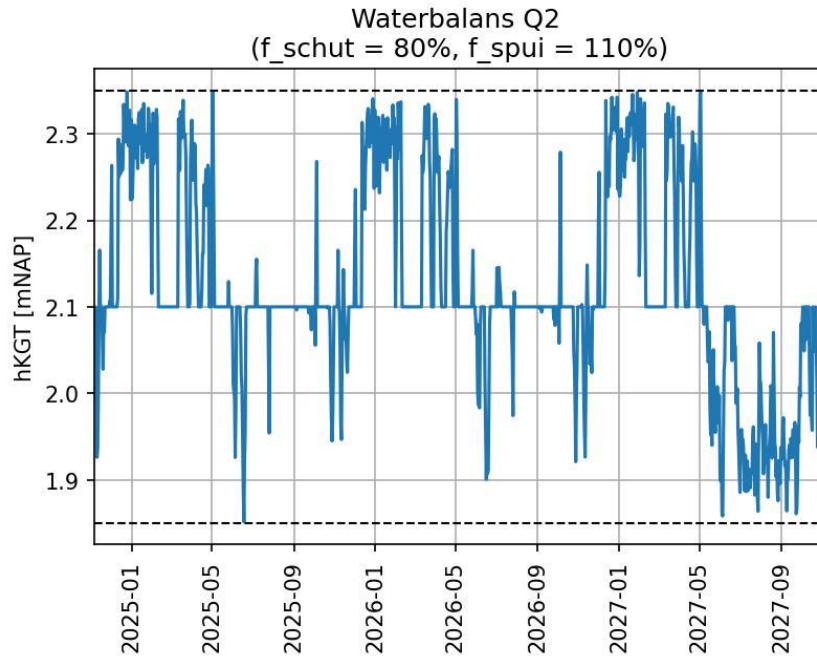
In de tweede stap wordt bepaald welk stremmingsscenario uit de SIVAK-simulaties past bij de beschikbare bovenafvoer uit het afvoerscenario. Op basis van de gemiddelde bovenafvoer over de 3 dagen uit het afvoerscenario en het kanaalpeil bij aanvang van de 3 dagen wordt de zogenaamde schutruimte bepaald. De schutruimte is in dit geval gelijk aan de gemiddelde bovenafvoer plus het debiet dat hoort bij het uitzakken van het kanaalpeil tot aan de ondergrens van NAP+1,85 m/+4,20 TAW. Vanwege de fluctuaties van dag-tot-dag rondom de 3-daags gemiddelde afvoer kan het kanaalpeil kortstondig nog door de ondergrens heen schieten. Om te zorgen dat er voldoende marge is ten opzichte van de ondergrens is gerekend met 80% van de schutruimte, een percentage dat met trial en error bepaald is. Voor ieder stremmingsscenario uit de SIVAK-simulaties wordt vervolgens het schutverlies bepaald over de 3 dagen die in stap 1 geselecteerd zijn. Dit gebeurt met gecorrigeerde schutvolumes op basis van de verbeterde kolkdimensies zoals omschreven in paragraaf 3.2. Vervolgens wordt het stremmingsscenario gekozen waarvan het schutverlies het dichtst bij en kleiner dan 80% van de schutruimte is. Het schutpatroon uit het gekozen stremmingsscenario wordt toegevoegd aan de schutreeks die wordt opgebouwd voor het afvoerscenario, ervoor zorgend dat de schuttijdstippen correct worden overgenomen ten opzichte van het getij (Figuur 3-6).



Figuur 3-6: Een fragment van 3 dagen uit het afvoerscenario met schuttijdstippen overgenomen uit de SIVAK-simulatie met het benodigde stroomingsscenario (S34).

Stap 3: Update waterbalans

In de derde stap wordt de waterbalans geüpdatet op basis van het gekozen stroomingsscenario. Hiervoor worden de schutverliezen berekend aan de hand van het gekozen schutpatroon, waarbij het exacte kanaalpeil ook wordt meegenomen. Op basis hiervan wordt de waterbalans geüpdatet en indien nodig de spuidebieten bepaald (uitwisselings- en oppervlaktewaterspuien). Als het kanaalpeil boven de bovengrens van NAP+2,35m dreigt te komen wordt er gespuid. Om te zorgen dat het kanaalpeil ondanks de fluctuaties in bovenafvoer binnen het blok van 3 dagen niet boven deze grens komt, wordt er meer gespuid dan strikt noodzakelijk op basis van de gemiddeld bovenafvoer (110%). Ook wordt de spuiduur naar boven afgerond naar halve uren. Het kanaalpeil na deze update is weer van belang bij het bepalen van de schutruimte op de volgende dag. Gedurende de drie jaar van het afvoerscenario blijft het kanaalpeil tussen de NAP+1,85 m en de NAP+2,35m (Figuur 3-7).



Figuur 3-7: Het kanaalpeil tijdens afvoerscenario Q2.

Bij het oppervlaktewaterspuien wordt de Westsluis in de praktijk gestremd. Bij het opstellen van deze schutpatronen zijn de schuttingen tijdens het spuien van de Westsluis niet geschrapt. Hier is voor gekozen omdat er geen SIVAK-simulaties zijn uitgevoerd waar de Westsluis als eerste gestremd wordt en deze schutpatronen dus ook niet beschikbaar zijn. De verwachting is dat de schuttingen in de praktijk zullen opschuiven naar de periode buiten de stremmingen, omdat er geen beperking is voor het aantal schuttingen vanuit de beschikbare bovenafvoer. Het schrappen van de schuttingen is dus naar verwachting minder realistisch dan het behouden hiervan. Verder is in deze perioden de bovenafvoer zeer dominant en heeft het exacte aantal schuttingen beperkte invloed op de zoutindringing.

4 Resultaten modellering

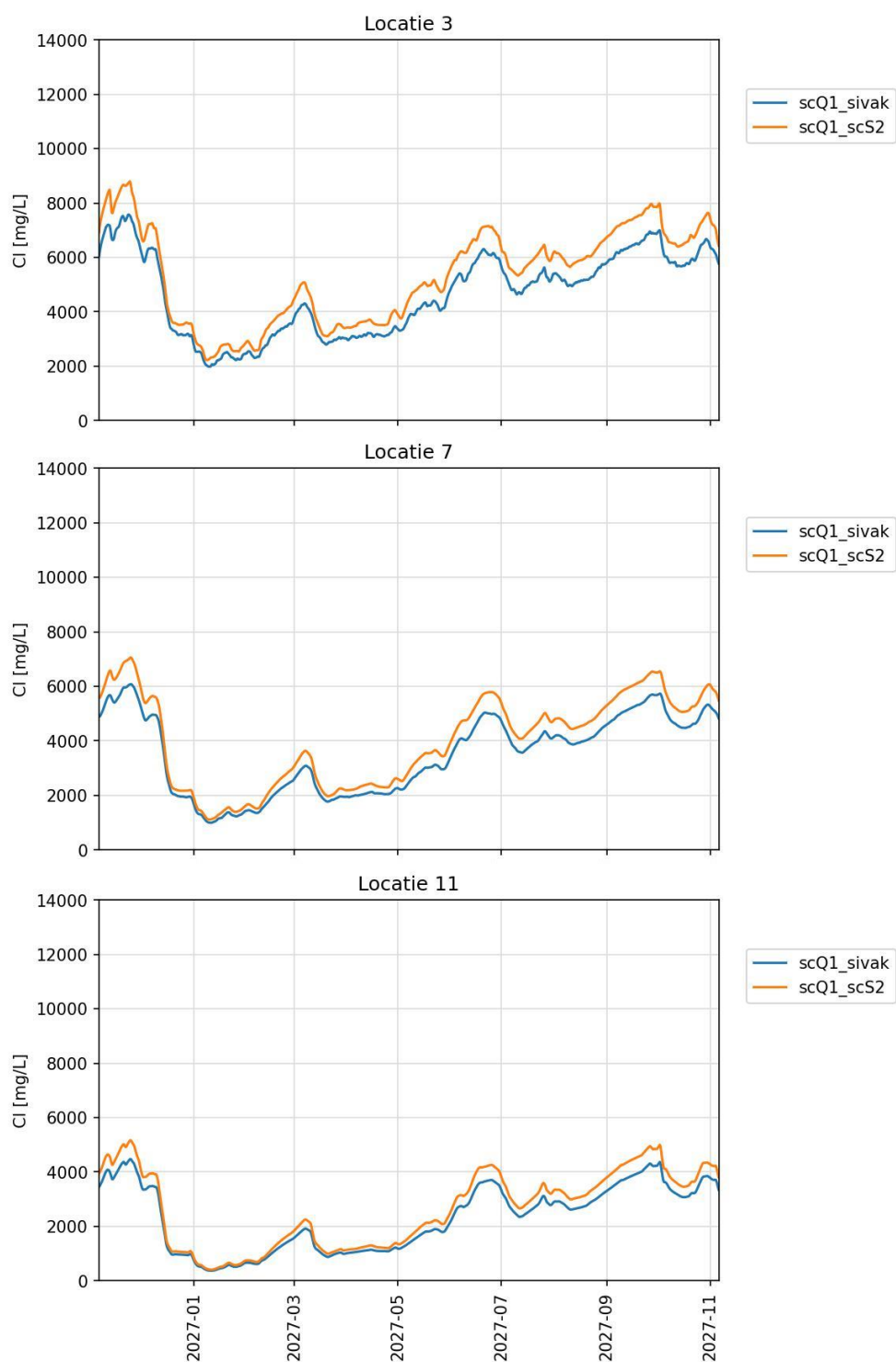
Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de SOBEK-modellering voor de afvoerscenario's Q1, Q2 en Q3 met bijpassende tijdreeksen van schuttingen op basis van de SIVAK-simulaties.

4.1 Resultaten scenarioberekeningen

Deze paragraaf toont de resultaten van de scenarioberekeningen per afvoerscenario op de TSO-locaties 3, 7, en 11. De figuren bevatten telkens zowel de berekening met invoer uit SIVAK als de oorspronkelijk van scenarioberekening. Voor de oorspronkelijke scenario's is gekozen voor scheepvaartscenario S2 (maximaal 8 uur stremmen), omdat deze het meest lijkt op de stremmingsopties die zijn meegenomen in SIVAK. Omdat de verschillende zomers en winters vrijwel identiek zijn en er in de simulaties geen sprake is van een opbouwende chlorideconcentratie over de jaren heen, wordt alleen het derde jaar weergegeven.

Scenario Q1

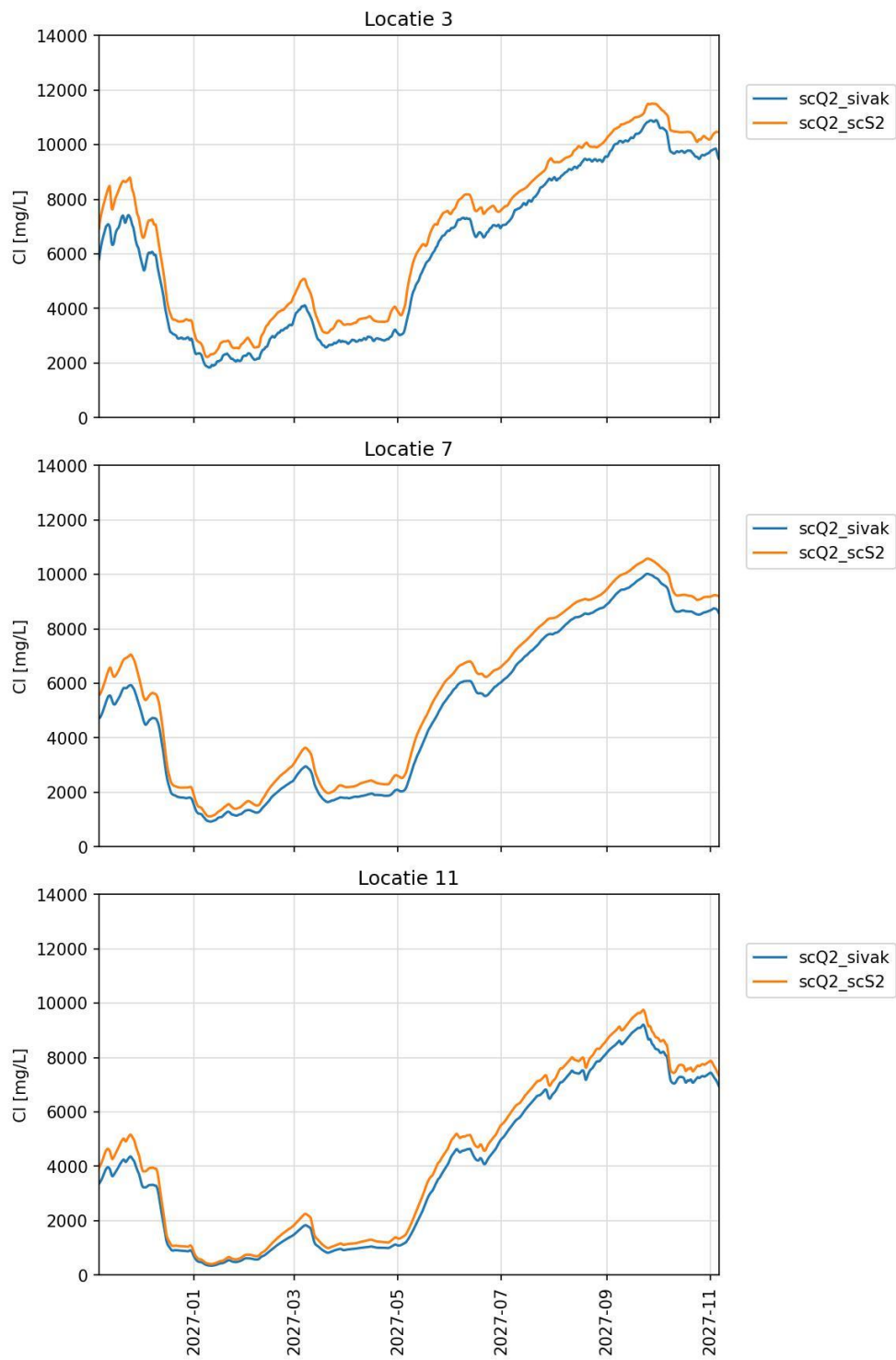
Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de oppervlaktewatermodellering voor afvoerscenario Q1, waarin drie gemiddelde winters en drie gemiddelde zomers elkaar opvolgen (Figuur 4-1). De algemene trend in chlorideconcentraties lijkt veel op de oorspronkelijke scenarioberekeningen. Dit komt doordat de bovenafvoer identiek is in beide berekeningen. In de zomer zijn de verschillen het grootst, met een maximale concentratie van ongeveer 7000 mg/l in plaats van 8000 mg/l bij locatie 3, en een maximale concentratie van ongeveer 4400 mg/l in plaats van 5000 mg/l bij locatie 11. In de winter zijn de chlorideconcentraties nagenoeg gelijk met een minimum van ongeveer 2300 mg/l (locatie 3) nabij Terneuzen en 400 mg/l nabij Gent (locatie 11). Ook zijn de verschillen groter dichtbij het sluisencomplex dan verder bovenstrooms.



Figuur 4-1: Chlorideconcentratie bij TSO-locaties 3, 7 en 11 voor afvoerscenario Q1 o.b.v. een schutpatroon geconstrueerd met de SIVAK-simulaties (scQ1_sivak). Ter vergelijking is de oorspronkelijke scenarioberekening ook weergegeven (scQ1_scS2).

Scenario Q2

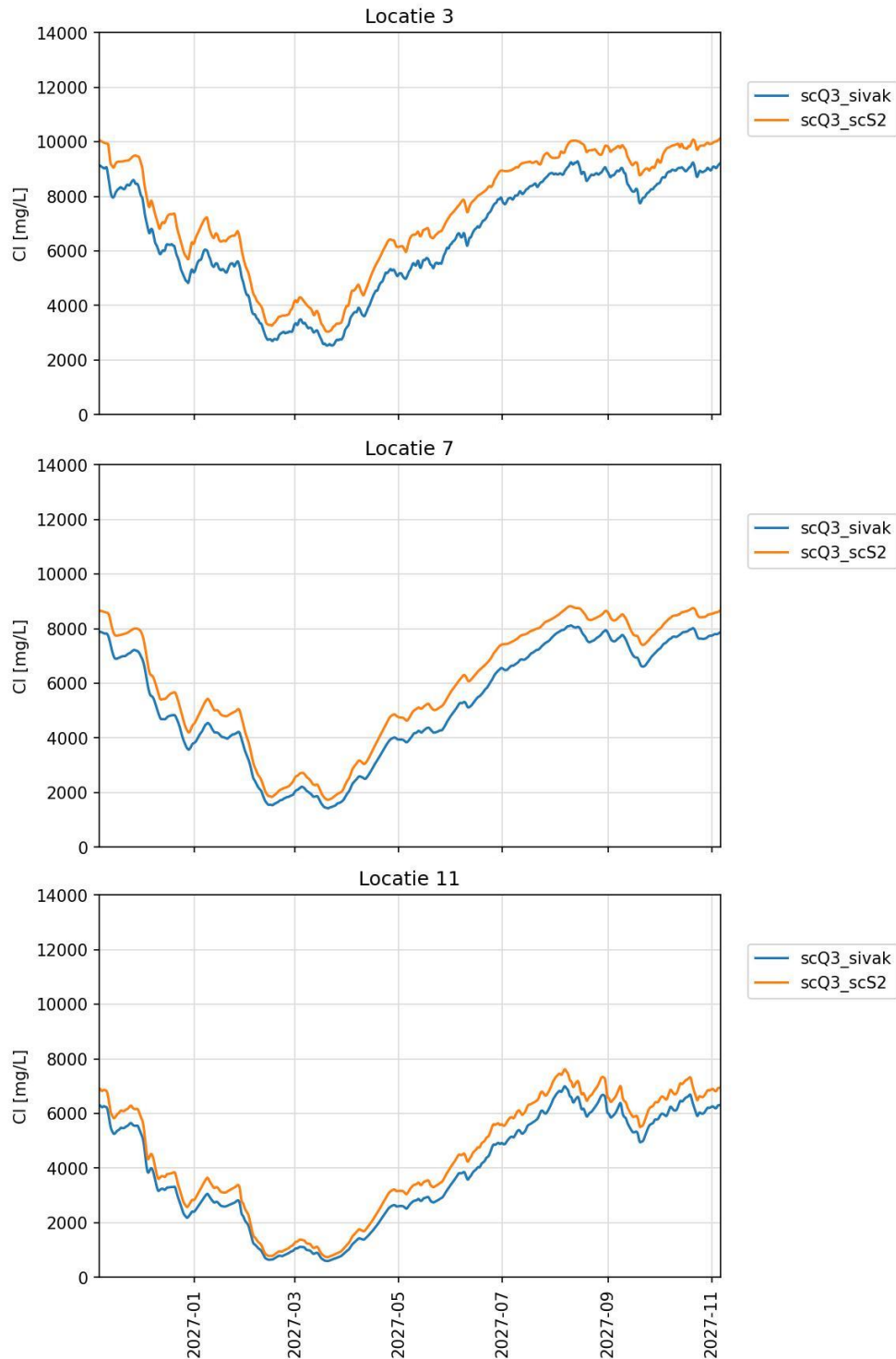
Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de oppervlaktewatermodellering voor afvoerscenario Q2, waarin na twee gemiddelde zomers met daartussenin drie gemiddelde winters een zeer droge zomer volgt, inclusief een periode van '2 maanden laag' en het effect van klimaatverandering volgens klimaatscenario W+ (Figuur 4-2). In deze extreem droge zomer zijn de verschillen in chlorideconcentratie minder groot dan bij de gemiddelde zomer (Q1). De maximale chlorideconcentraties lopen bij locatie 3 op tot 10900 mg/l in plaats van 11500 mg/l, en bij locatie 11 tot 9200 mg/l in plaats van 9750 mg/l. Ook bij afvoerscenario Q2 zijn de verschillen in chlorideconcentratie groter in de zomer dan in de winter. Wel is het verschil in de winter nabij de sluizen (locatie 3) ongeveer gelijk aan het verschil in de zomer. Verder bovenstrooms worden de verschillen in de winter relatief weer kleiner, door het sterke effect van de relatief hoge bovenafvoer.



Figuur 4-2: Chlorideconcentratie bij TSO-locaties 3, 7 en 11 voor afvoerscenario Q2 o.b.v. een schutpatroon geconstrueerd met de SIVAK-simulaties (scQ2_sivak). Ter vergelijking is de oorspronkelijke scenarioberekening ook weergegeven (scQ2_scS2).

Scenario Q3

Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de oppervlaktewatermodellering voor afvoerscenario Q3, waarin droge winters en droge zomers elkaar opvolgen (Figuur 4-3). Het beeld is vergelijkbaar met afvoerscenario Q1 (gemiddelde zomers en winters). De maximale chlorideconcentraties lopen op tot 9340 mg/l bij locatie 3 in plaats van 10130 mg/l, en naar 7000 mg/l in plaats van 7620 mg/l bij locatie 11.



Figuur 4-3: Chlorideconcentratie bij TSO-locaties 3, 7 en 11 voor afvoerscenario Q3 o.b.v. een schutpatroon geconstrueerd met de SIVAK-simulaties (scQ3_sivak). Ter vergelijking is de oorspronkelijke scenarioberekening ook weergegeven (scQ3_scS2).

4.2 Overzicht chlorideconcentraties

In het deelrapport Water van de MER is de verwachting uitgesproken dat de KRW GEP-waarde van 3000 mg/l chloride bij Sas van Gent (KGTS), gemeten op een diepte van 1,8 m onder het wateroppervlak, niet zal worden overschreden in een gemiddelde zomer (Lievens CSO, 2015). Ter vergelijking met de KRW-norm is ook voor de modelresultaten op basis van SIVAK de gemiddelde concentratie voor de periode van 1 april tot 1 oktober berekend voor de dicht bij KGTS gelegen TSO-locatie 7 (Tabel 4-1). Hiervoor is (net als in HKV, 2023) de gemiddelde verhouding van 0,81 als vaste vermenigvuldigingsfactor gebruikt voor het omzetten van dieptegemiddelde chlorideconcentraties uit SOBEK in waarden op 1,8 m onder het oppervlak.

Tabel 4-1 geeft de inschatting van de chlorideconcentraties die op deze manier berekend zijn voor de verschillende afvoerscenario's op basis van SIVAK of voor de oorspronkelijke scenarioberekeningen. Hieruit volgt dat ook voor de chlorideconcentraties op basis van de SIVAK-simulaties de grenswaarde van 3000 mg/l ruimschoots wordt overschreden in droge of zeer droge zomers. In een gemiddelde zomer ligt de seizoensgemiddelde chlorideconcentratie van 3060 mg/l net iets boven de grenswaarde van 3000 mg/l.

De seizoensgemiddelde chlorideconcentraties op basis van invoer uit SIVAK zijn ongeveer 500 mg/l lager dan in de oorspronkelijke scenarioberekeningen, met een uitschieter bij afvoerscenario Q3 waar de concentratie met 640 mg/l afneemt. Dit grotere verschil bij scenario Q3 is waarschijnlijk het gevolg van de langere droge periode binnen dit afvoerscenario. De afname in chlorideconcentratie is met name het gevolg van de lagere scheepvaartintensiteit in de SIVAK-simulaties. Hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 4.3.

Tabel 4-1: Inschatting op basis van SOBEK van de seizoensgemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) bij KGTS, 1,8 meter onder het wateroppervlak, gemiddeld over de periode 1 april tot 1 oktober voor de simulaties o.b.v. SIVAK en de oorspronkelijk afvoerscenario's.

Scenario	SIVAK	S2	Vershil
Q1: gemiddelde zomer, huidig klimaat	3060	3520	- 460
Q2: droge zomer met W+ 2050 klimaatverandering	4940	5410	- 470
Q3: droge zomer, huidig klimaat	4730	5370	- 640

Naast gemiddelde chlorideconcentraties kunnen ook de piekwaarden van belang zijn (Tabel 4-2). Zoals ook in paragraaf 4.1 naar voren kwam, wijkt de piekchlorideconcentratie in de berekeningen op basis van SIVAK verder af van de piekchlorideconcentratie in de oorspronkelijke berekeningen in een gemiddelde zomer dan in een droge zomer. Bij een gemiddelde zomer zijn de verschillen dus het grootst met een afname in de chlorideconcentratie van 930 mg/l bij locatie 3. Dit verschil wordt kleiner bij drogere scenario's met een afname van 560 mg/l in piekconcentratie bij een droge zomer met klimaatverandering. Richting Gent zijn de verschillen in piekconcentraties tussen de oorspronkelijke scenario's en de berekeningen op basis van SIVAK nagenoeg gelijk voor de drie afvoerscenario's.

Tabel 4-2: Maximale dieptegemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) bij Terneuzen (TSO-locatie 3) en Gent (TSO-locatie 11), berekend met SOBEK voor de afvoerscenario's o.b.v. SIVAK en de oorspronkelijke afvoerscenario's.

Locatie	Terneuzen (TSO-3)			Gent (TSO-11)		
	SIVAK	S2	Vershil	SIVAK	S2	Vershil
Q1: gemiddelde zomer, huidig klimaat	7060	7990	- 930	4370	5000	- 630
Q2: droge zomer met W+ 2050 klimaatverandering	10940	11500	- 560	9210	9750	- 540
Q3: droge zomer, huidig klimaat	9340	10130	- 790	7000	7620	- 620

4.3 Duiding verschillen chlorideconcentraties

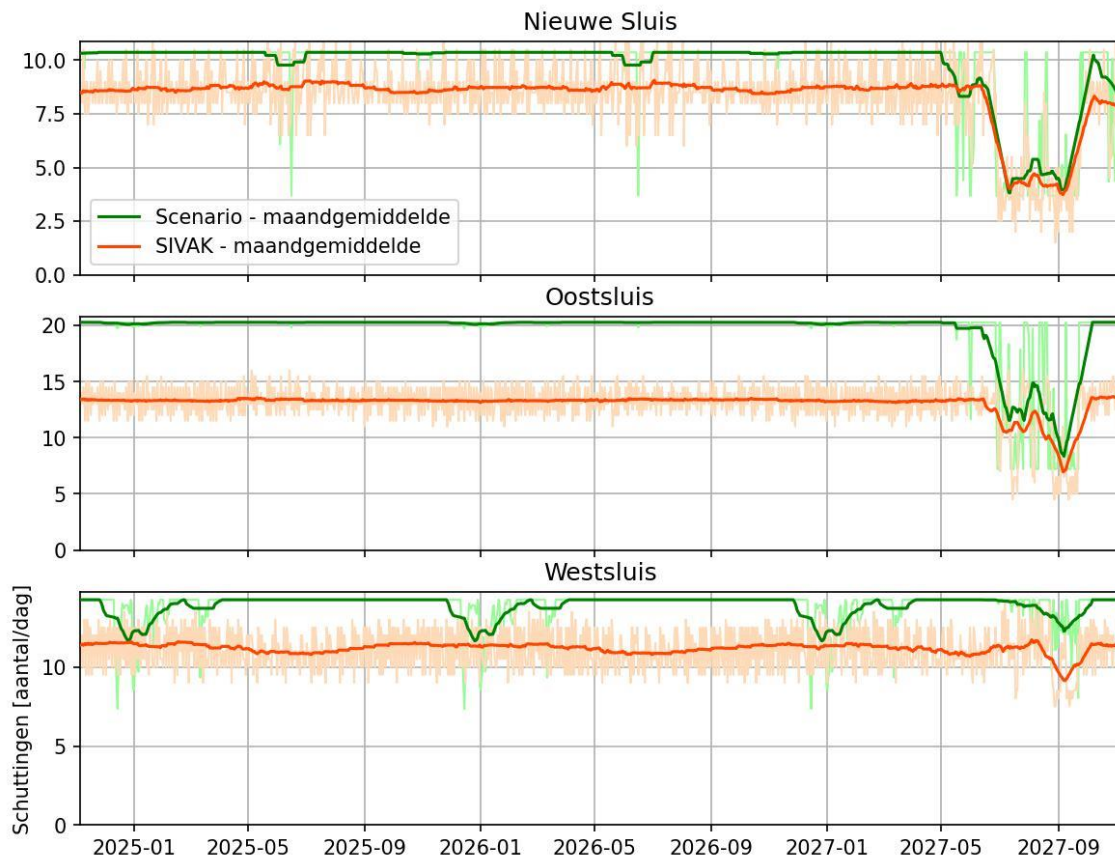
Uit de voorgaande paragrafen is gebleken dat het verschil tussen de scenarioberekeningen op basis van SOBEK en de oorspronkelijk scenarioberekeningen varieert tussen de seizoenen en de verschillende afvoerscenario's. De chlorideconcentraties uit de berekeningen op basis van SIVAK zijn lager dan die uit de oorspronkelijke scenarioberekeningen. De verschillen zijn groter in de zomer dan in de winter, en ook groter dicht bij de sluizen dan verder daarvan af. Daarnaast nemen de verschillen in de piekconcentraties af naarmate het afvoerscenario droger wordt. Deze verschillen worden in deze paragraaf uitgelegd aan de hand van het aantal schuttingen, de zoutlast en de waterstanden op schutmomenten. Hiervoor is afvoerscenario Q2 gebruikt als voorbeeld, omdat hierin zowel gemiddelde zomers en winters als een droge zomer met klimaatverandering voorkomen.

De belangrijkste oorzaak voor het verschil in chlorideconcentraties is de afname van het aantal schuttingen (Figuur 4-4). In perioden zonder schutbeperkingen ligt de schutfrequentie afhankelijk van de sluis 15-30% lager in de berekeningen met SIVAK dan in de oorspronkelijke berekeningen. Dit is het gevolg van de geactualiseerde scheepvaartprognose (huidige intensiteit +10% in plaats van GE2030) die gebruikt wordt voor de scheepvaartberekeningen. De GE2030 prognose die in de MER en in de hoofdrapportage (HKV, 2023) is gehanteerd, ligt aanzienlijk hoger dan deze nieuwe prognoses. Dit verschil is ook duidelijk zichtbaar in de zoutlasten die met de ZSF zijn berekend (Figuur 4-5).

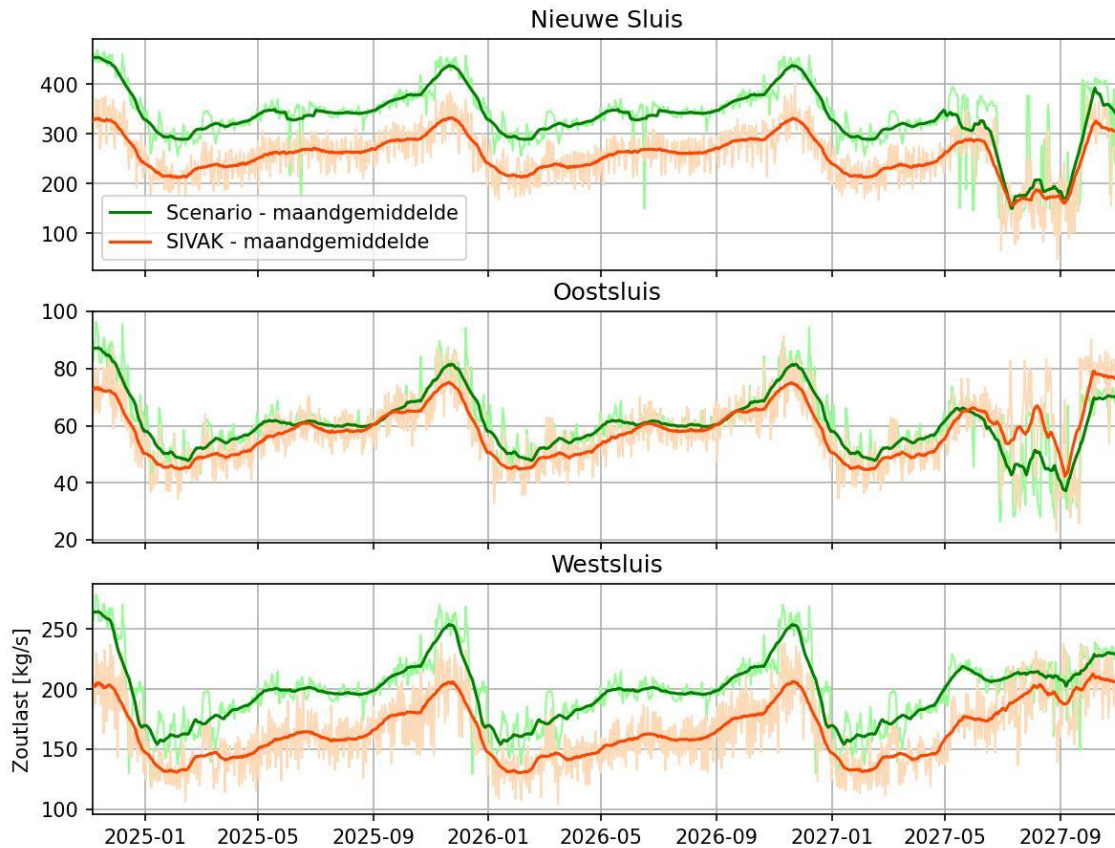
Het verschil in chlorideconcentraties tussen de verschillende scenarioberekeningen verandert ook afhankelijk van het seizoen en de afstand vanaf het sluizencomplex. In de zomer en dichtbij het sluizencomplex zijn de verschillen groter dan in de winter en verder bij het sluizencomplex vandaan. Dit is het gevolg van de onderlinge dominantie van de bovenafvoer en de zoutlast vanuit de sluizen. De afvoer door het kanaal geeft tegendruk tegen de binnenkomende zoutlast. Bij hoge bovenafvoer is de afvoer dominant en maakt het weinig uit hoeveel er precies geschut wordt. Bij een lage afvoer in de zomer worden de schuttingen en de bijhorende zoutlast belangrijker omdat het binnendringende zout nauwelijks wordt tegengehouden door de bovenafvoer. Op eenzelfde manier is de zoutlast dichtbij de sluizen dominant terwijl de bovenafvoer verder bovenstrooms dominant is.

In perioden van extreme droogte waar grootschalig gestremd wordt (zomer 2027 in de figuren) is het aantal schuttingen van de Nieuwe Sluis en de Oostsluis nagenoeg gelijk voor de verschillende berekeningen. Hier is de lage bovenafvoer bepalend voor het aantal schuttingen, en niet meer het aantal schepen. Ditzelfde effect is terug te zien in de zoutlast. Het feit dat het aantal schuttingen nagenoeg gelijk is voor de twee soorten berekeningen verklaart ook waarom de verschillen in

chlorideconcentratie kleiner worden bij droogte. Bij een gemiddeld afvoerscenario (zomer 2025/2026 in de figuren) wordt nauwelijks gestremd en blijft het aantal schuttingen in de oorspronkelijke scenarioberekening significant hoger dan bij de berekeningen op basis van SIVAK.



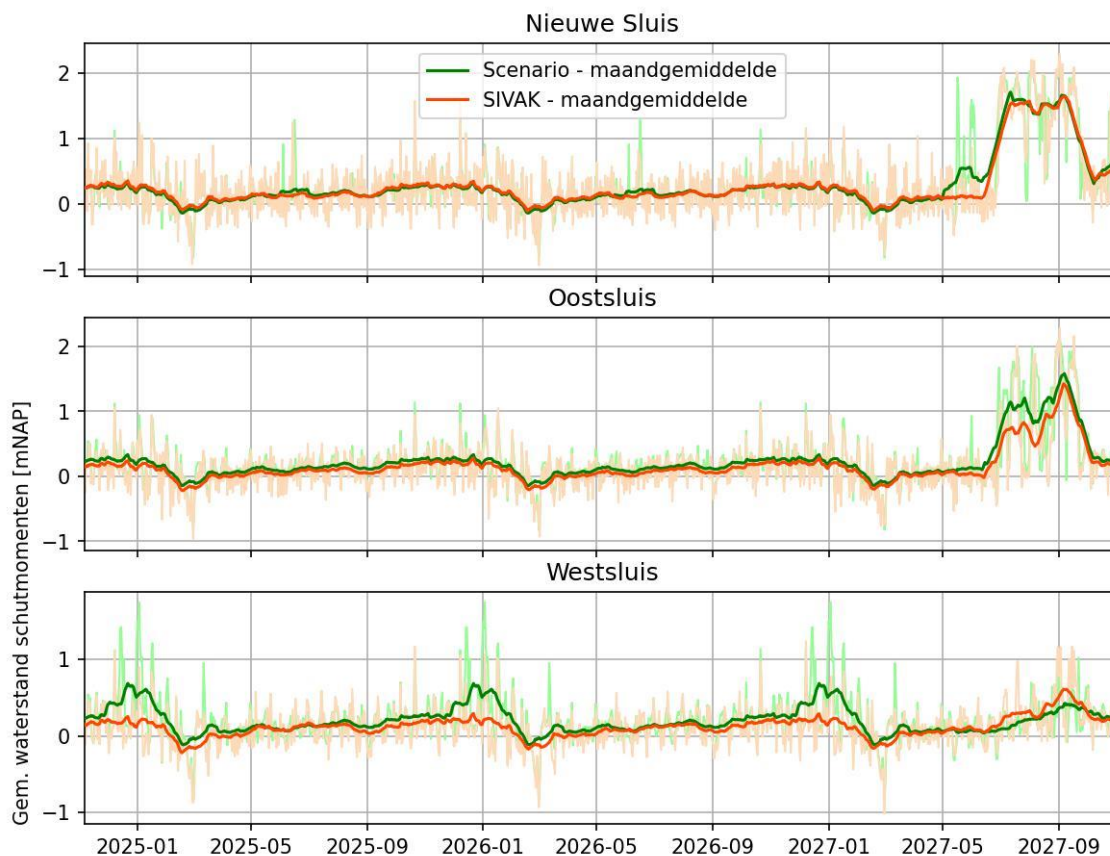
Figuur 4-4: De maandgemiddelde schutfrequentie per sluis voor afvoerscenario Q2 voor de scenario-berekeningen met SIVAK (oranje) en de oorspronkelijk scenarioberekeningen (groen). De dagwaarden zijn met lichte tinten weergegeven.



Figuur 4-5: De maandgemiddelde zoutlast per sluis zoals uitgerekend met de ZSF voor afvoerscenario Q2 voor de scenarioberekeningen met SIVAK (oranje) en de oorspronkelijk scenarioberekeningen (groen). De dagwaarden zijn met lichte tinten weergegeven.

In perioden met lange stremmingen neemt de schutfrequentie tussen de stremmingen (dus rond hoogwater) nauwelijks toe. Het lijkt erop dat er dan vooral meer geclusterd geschut wordt, dus met meer schepen in de kolk per schutting. Dit volgt uit Figuur 4-6 waar te zien is dat de waterstand op schutmomenten voor de berekeningen op basis van SIVAK en de oorspronkelijke berekeningen nagenoeg gelijk zijn. In de oorspronkelijk scenarioberekeningen werden schutmomenten tijdens stremmingen geschrapt en werd er tussen de stremmingen met een vaste frequentie geschut. Bij deze werkwijze is er geen mogelijkheid om de schutfrequentie toe te laten nemen tussen de stremmingen door. In de scenarioberekeningen op basis van SIVAK is deze vrijheid er wel, maar blijkt dat de schutfrequentie tussen stremmingen alsnog niet of nauwelijks toeneemt.

Wat ook opvalt in Figuur 4-6 zijn de verschillen in gemiddelde waterstanden op schutmomenten in de winter bij de Westsluis. Hier zijn de waterstanden in het oorspronkelijke scenario hoger dan in de scenarioberekeningen op basis van SIVAK. Dit komt omdat er tijdens stremmingen voor wateroverschot in de scenarioberekeningen op basis van SIVAK geen schuttingen geschrapt zijn terwijl dit in de oorspronkelijk scenarioberekeningen wel is gebeurd. Deze keuze is toegelicht in paragraaf 3.3. De aangepaste aanpak rondom de stremmingen met wateroverschot is ook zichtbaar in de schutfrequentie van de Westsluis (Figuur 4-4). Het effect van dit verschil op het zoutgehalte in het kanaal is klein, omdat het spuien voor wateroverschot vrijwel alleen in het winterhalfjaar plaatsvindt.



Figuur 4-6: De maandgemiddelde waterstand op schutmomenten per sluis voor afvoerscenario Q2 voor de scenario-berekeningen met SIVAK (oranje) en de oorspronkelijk scenario-berekeningen (groen). De dagwaarden zijn met lichte tinten weergegeven.

Hiernaast zijn er nog een aantal wijzigingen in de aanpak (zie paragraaf 3.2 en 3.3) die ook invloed hebben op de chlorideconcentraties en het peilbeheer, al is dit ondergeschikt aan het effect van de lagere scheepvaartintensiteit in de SIVAK berekeningen. De wijzigingen zijn:

- **Gewijzigde kolkdimensies:** Er zijn een aantal kleine wijzigingen geweest in de kolkdimensies (zie Tabel 3-1) waardoor het kolkoppervlak van de Westsluis en de Oostsluis licht zijn toegenomen ten opzichte van de oorspronkelijk berekening. De dimensies van de Nieuwe Sluis zijn ongewijzigd. Deze wijzigingen resulteren in een kleine toename van de schutverliezen per schutting bij de Westsluis en de Oostsluis (+5%). Met name in perioden van droogte zal hierdoor het mogelijke aantal schuttingen licht afnemen. Ook betekent een groter kolkoppervlak een hogere zoutlast, al is ook dit effect beperkt.
- **Effect van scheepvaartvolumes op schutverliezen:** Het verschil in diepgang tussen inkomende en uitvarende schepen zorgt voor een gemiddeld extra schutverlies van 0,35 – 0,45 m³/s, afhankelijk van het scenario. Het verschil in diepgang is het gevolg van de zwaardere lading van schepen die het kanaal op varen dan van schepen die het kanaal verlaten. Dit extra schutverlies is in de oorspronkelijke scenario-berekeningen niet meegenomen, en beperkt in deze nieuwe berekeningen verder de schutruimte in droge perioden.
- **Effect van scheepvaartvolumes op de uitwisselingsdebieten:** Door de aanwezigheid van schepen is het volume water in de kolk lager, en zijn dus ook de uitwisselingsdebieten kleiner. Dit resulteert in een iets lagere zoutlast.
- **Omgang met deuropentijden:** In de interpretatie van de scheepvaartberekeningen is de aanname gemaakt dat de sluisdeuren tussen schuttingen open blijven staan. Deze aanpak komt

overeen met de kalibratieberekeningen uit HKV (2023). Hierdoor kan er meer uitwisseling plaatsvinden dan wanneer de deuren tussentijds gesloten worden.

4.4 Stremmingsstatistieken

Stremmingen van de scheepvaartsluizen worden ingezet om het peil te beheersen in tijden met een zeer hoge of lage bovenafvoer. Deze paragraaf bevat statistieken van de stremmingen in perioden van droogte. De stremmingen in perioden van wateroverschot zijn niet meegenomen in deze aanvullende scenarioberekeningen, omdat deze niet noemenswaardig zijn gewijzigd ten opzichte van de hoofdstudie (HKV, 2023). Stremmingen voor watertekort vinden hoofdzakelijk plaats in de zomer (21 juni tot 21 september). Onderstaande tabellen en grafieken betreffen daarom statistieken voor de zomer, zoals ook het geval is in paragraaf 6.1 uit de hoofdstudie.

Tabel 4-3 geeft statistieken voor scheepvaartstremmingen voor de verschillende afvoerscenario's. Dit is gedaan in termen van de stremmingsscenario's uit de SIVAK-simulaties. In de tabel zijn ook de gemiddelde en maximale wachttijden weergegeven per stremmingsscenario zoals bepaald met SIVAK (Witteveen & Bos, 2023).

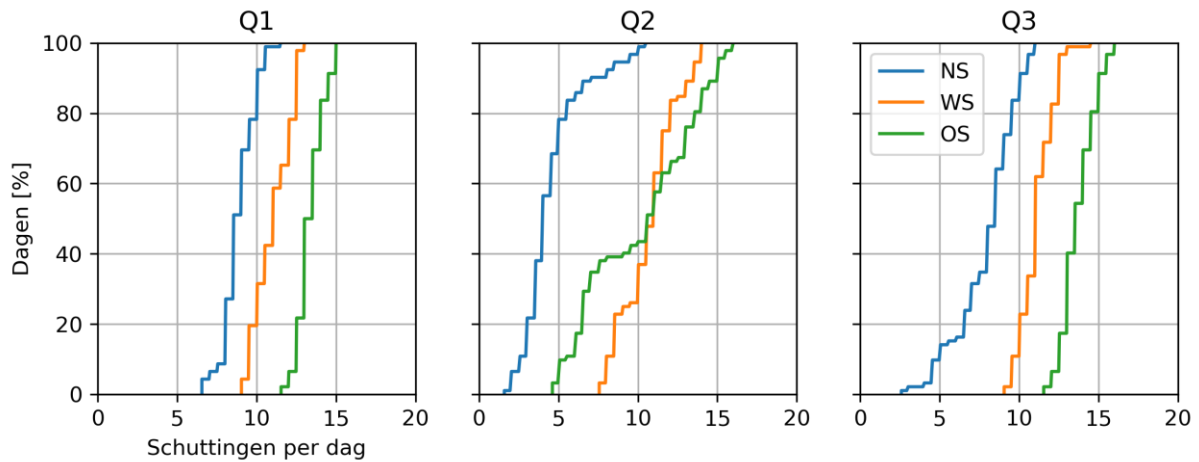
In een gemiddelde zomer (Q1) zijn er geen stremmingen nodig om het kanaalpeil op orde te houden. Bij een droge zomer met klimaatverandering (Q2) zijn veel stremmingen nodig om het kanaalpeil op orde te houden. De Nieuwe Sluis dient op 77% van de zomerdagen maximaal te worden gestremd (8 uur) en de Oostsluis op 30% van de zomerdagen. Dit komt overeen met het beeld uit de hoofdstudie (HKV, 2023). Als gevolg hiervan kunnen de wachttijden hoog oplopen, met gemiddelde wachttijden boven de 2 uur op ruim 25% van de zomerdagen. De droge zomer (Q3) ligt tussen deze twee scenario's in. Voor dit scenario volstaat overwegend het stremmen van alleen de Nieuwe Sluis om het kanaalpeil op orde te houden. Op 32% van de zomerdagen is een stremming nodig (van 2 tot 8 uur), en op 6% van de dagen is de Nieuwe Sluis maximaal gestremd (8 uur). Dit beeld is milder dan in de hoofdstudie, waar de Oostsluis in een droge zomer ook op 20% van de dagen deels gestremd is.

Tabel 4-3: Statistieken voor stremmen bij watertekort: dagen per zomer (21 juni tot 21 september) met stremmingen bij de Nieuwe Sluis (NS), Oostsluis (OS) en Westsluis (WS), met de tijdsduur (uren per getijdscyclus) van het stremmen, het aantal dagen met een gegeven stremmingsscenario, en de wachttijden uit de SIVAK-simulaties die bij de stremmingsscenario's horen.

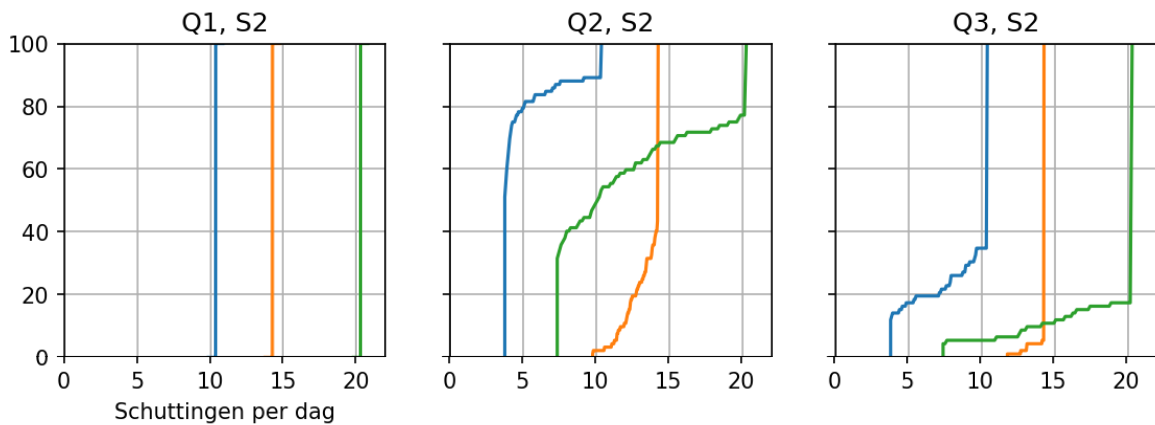
Stremmings-scenario	Stremduur per sluis [uur/getij]			Frequentie stremmings-scenario [dagen/zomer]			Wachttijd binnenvaart [min]		Wachttijd zeevaart [min]	
	OS	WS	NS	Q1	Q2	Q3	Gem.	Max. (99%<)	Gem.	Max. (99%<)
S00	0	0	0	93	6	63	27	116	27	123
S01	0	0	2	0	3	9	28	114	30	144
S02	0	0	4	0	6	6	30	125	38	186
S03	0	0	6	0	6	9	32	134	47	240
S04	0	0	8	0	6	6	35	141	55	127
S11	4	0	8	0	24	0	51	212	70	329
S12	6	0	8	0	12	0	62	259	78	337
S13	8	0	8	0	6	0	72	286	87	347
S34	8	4	8	0	24	0	131	410	149	471
S37	8	6	8	0	0	0	174	475	193	528
S40	8	8	8	0	0	0	216	538	247	675

Zoals te zien is in Tabel 4-3 lopen de wachttijden vooral op naarmate er meer sluisen gestremd worden. Bij het stremmen van alleen de Nieuwe Sluis zijn de gemiddelde wachttijden orde een half uur met maar beperkte verschillen voor de verschillende stremduren. De wachttijden zijn marginaal langer dan als er geen stremmingen zijn. De schuttingen die geschrapt zijn tijdens stremmingen bij de Nieuwe Sluis kunnen dus grotendeels worden opgevangen door de overige twee sluisen. Als ook de Oostsluis gestremd is, dan zijn de gemiddelde wachttijden orde 1 uur. Wanneer alle sluisen gestremd zijn dan ligt de gemiddelde wachttijd boven de 2 uur en loopt de wachttijd snel op naarmate de Westsluis langer gestremd is.

In Figuur 4-7 is het aantal schutcycli (een cyclus is opschutting plus afschutting) per dag in de drie maanden zomer (21 juni tot 21 september) weergegeven. Ter vergelijking is Figuur 6-4 uit HKV (2023) nogmaals getoond in Figuur 4-8. Omdat bij de berekeningen op basis van SIVAK gewerkt is met een variërend schutpatroon en niet met een constante schutfrequentie, varieert het aantal schuttingen sterker dan in de hoofdstudie. De gemiddelde zomer (Q1) laat zien hoe dit eruit ziet zonder stremmingen. In een droge zomer met klimaatverandering (Q2) loopt het aantal schuttingen met zowel de Nieuwe Sluis als de Oostsluis flink terug. Op ongeveer 80% van de dagen wordt 5 keer of minder geschut met de Nieuwe Sluis. In een droge zomer (Q3) wordt alleen het aantal schuttingen van de Nieuwe Sluis beïnvloed. Op ongeveer 15% van de dagen wordt minder dan 5 keer geschut met de Nieuwe Sluis.



Figuur 4-7: Percentage van de zomerdagen (verticaal) waarin er een aantal keer geschut is voor ieder afvoer-scenario (Q1-Q3).



Figuur 4-8: Dezelfde statistieken, overgenomen uit Figuur 6-1 uit HKV (2023) bij toepassing van stremmingen van maximaal 8 uur (strategie S2).

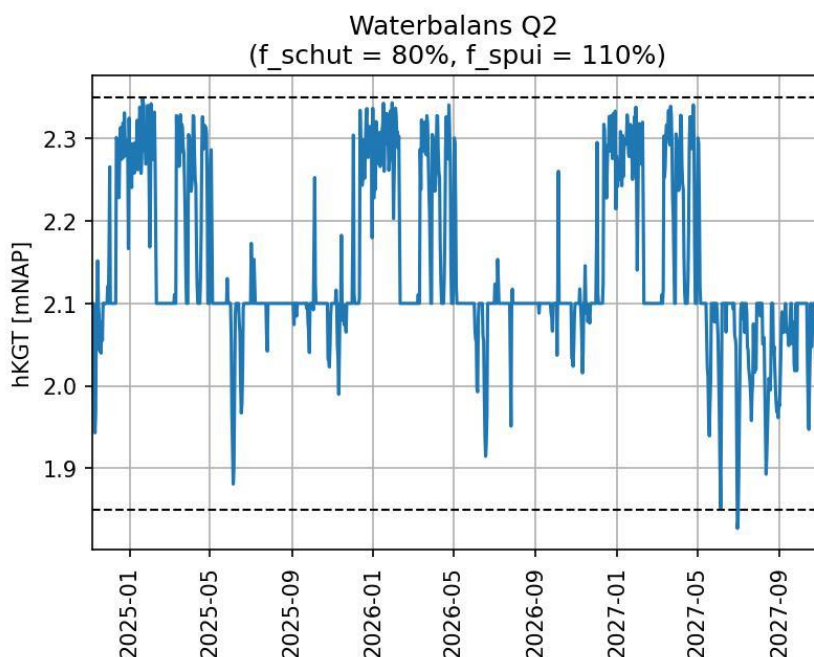
4.5 Duur stremscenario

In de gekozen aanpak is per blok van 3 dagen hetzelfde stremmingsscenario toegepast. Idealiter worden in de praktijk voor een nog langere periode de stremmingen constant gehouden. Dit resulteert echter resulteert in meer stremmingen. In Tabel 4-4 wordt de vergelijking gemaakt tussen de stremmingsscenario's bij een gelijk stremmingsscenario per blok van 3 dagen of per blok van 14 dagen in een extreem droge zomer (Q2). Daarbij geldt dat blokken van 14 dagen leiden tot frequenter en langduriger stremmen dan blokken van 3 dagen. Bij blokken van 14 dagen zijn op 75% van de zomerdagen zowel de Nieuwe Sluis als de Oostsluis maximaal gestremd (8 uur). Bij blokken van 3 dagen is dit op 32% van de dagen het geval. Een langere periode met gelijke stremmingen resulteert dus in een conservatiever strembeleid.

Tabel 4-4: De frequentie van ieder stremmingsscenario in een extreem droge zomer (Q2) bij een gelijk stremmingsscenario per 3 dagen of per 14 dagen.

Stremmings-scenario	Stremduur per sluis [uur/getij]			Frequentie stremmings-scenario [dagen/zomer]	
	OS	WS	NS	Q2 (3 dagen)	Q2 (14 dagen)
S00	0	0	0	6	0
S01	0	0	2	3	9
S02	0	0	4	6	0
S03	0	0	6	6	0
S04	0	0	8	6	0
S11	4	0	8	24	0
S12	6	0	8	12	14
S13	8	0	8	6	28
S34	8	4	8	24	42
S37	8	6	8	0	0
S40	8	8	8	0	0

Het effect van de blokduur waarbinnen het stremmingsscenario hetzelfde blijft is voor een groot deel te verklaren door uitzakken van het kanaalpeil. Als er per 3 dagen een stremsscenario is bepaald, dan is ook per 3 dagen de mogelijkheid meegenomen om het kanaalpeil uit te laten zakken richting de ondergrens. De optie tot uitzakken is dan ook per 3 dagen meegenomen in de schutruimte. Bij een langer blok is de mogelijkheid tot uitzakken verdeeld over 14 dagen en is de bijdrage van het laten uitzakken van het kanaalpeil aan de schutruimte beperkt. Dit is ook terug te zien in de waterbalans. Bij blokken van 14 dagen (Figuur 4-9) ligt het kanaalpeil gemiddeld dichterbij het streefpeil in droge perioden (zomer 2027) dan bij blokken van 3 dagen (Figuur 3-7).



Figuur 4-9: Het kanaalpeil tijdens afvoerscenario Q2 bij gelijke stremmingsscenario's per 14 dagen.

In de huidige studie is gebruik gemaakt van meetreeksen voor de bovenafvoer. De bovenafvoer is dan zeker, onafhankelijk van je voorspelhorizon (hoe lang vooruit je een voorspelling maakt). In de operationele praktijk zullen keuzes over het stremscenario gemaakt moeten worden op basis van voorspellingen die onzekerder worden naarmate de voorspelhorizon langer is. Dit betekent dat hoe langer de periode waarvoor een stremming wordt afgekondigd, hoe meer onzekerheid er is over de bovenafvoer. Daarnaast geldt dat stremmingen bij voorkeur enige tijd van tevoren worden afgekondigd, zodat de scheepvaart hier tijdig rekening mee kan houden. Onzekerheid leidt over het algemeen tot conservatievere keuzes, dus tot meer stremmingen dan gepresenteerd in het huidige memo. Hier moet wel de kanttekening bij geplaatst worden dat het debiet over het Kanaal Gent-Terneuzen grotendeels een beheerkeuze is.

5 Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport beschrijft de chlorideconcentraties op het Kanaal Gent-Terneuzen op basis van nieuwe input uit scheepvaartsimulaties die uitgevoerd zijn met SIVAK. Dit zorgt voor een realistisch schutpatroon op basis van een geactualiseerde verwachting voor het scheepvaartaanbod na ingebruikname van de Nieuwe Sluis. Met deze geactualiseerde invoer voor de ZSF en het daaraan gekoppelde SOBEK oppervlaktewatermodel zijn de 3 afvoerscenario's uit de hoofdstudie (HKV, 2023) opnieuw doorgerekend: een gemiddelde zomer, een droge zomer en een extreem droge zomer inclusief klimaatveranderingseffect.

Met name door de lagere scheepvaartintensiteit ten opzichte van het GE2030-scenario uit de MER vallen de chlorideconcentraties orde 500 mg/l lager uit dan in de oorspronkelijke scenarioberekeningen (Tabel 5-1). Seizoensgemiddeld resulteert dit nog steeds in een ruime overschrijding van de KRW-norm van 3000 mg/l in droge en zeer droge zomers. Als gevolg van de aanpassing is in een gemiddelde zomer slechts sprake van een lichte overschrijding van de norm.

Tabel 5-1: Inschatting op basis van SOBEK van de seizoensgemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) bij KGTS, 1,8 meter onder het wateroppervlak, gemiddeld over de periode 1 april tot 1 oktober voor de simulaties o.b.v. SIVAK en de oorspronkelijk afvoerscenario's.

Scenario	SIVAK	S2	Vershil
Q1: gemiddelde zomer, huidig klimaat	3060	3520	- 460
Q2: droge zomer met W+ 2050 klimaatverandering	4940	5410	- 470
Q3: droge zomer, huidig klimaat	4730	5370	- 640

In perioden zonder watertekort zijn zowel de schutfrequentie als de zoutlast duidelijk lager in de berekeningen op basis van SIVAK dan in de oorspronkelijk scenarioberekeningen. Bij droogte wordt de bovenafvoer leidend voor het aantal mogelijke schuttingen en zijn het aantal schuttingen en de zoutlast nagenoeg gelijk.

Aanvullende verschillen tussen de oorspronkelijke en de huidige aanpak die van invloed zijn op het peilbeheer en uitwisselingsdebieten zijn van secundair belang ten opzichte van de lagere scheepvaartintensiteit. Het meenemen van de scheepsvolumes zorgt voor een extra schutverlies en iets lagere zoutlast. Ook de aangepaste kolkdimensies zorgen voor een extra schutverlies en een lichte verhoging van de zoutlast. Het sluiten van de deuren tussen schuttingen door is in de huidige aanpak niet meegenomen. Dit zou nog kunnen leiden tot een verdere beperking van de zoutlast.

Zoals geconcludeerd in de rapportage over de SIVAK berekeningen (Witteveen & Bos, 2023), kan de wachtrij die ontstaat tijdens een stremming altijd volledig weggeschut worden in de periode tussen de stremmingen door, en zullen er dus nooit wachtrijen van meerdere dagen ontstaan. De capaciteit van het sluizencomplex is dus ook in perioden van droogte afdoende, gegeven de geactualiseerde prognose voor de scheepvaartintensiteit die is meegenomen in deze studie. In een droge zomer (Q3) volstaan naar verwachting stremmingen van alleen de Nieuwe Sluis, wat beperkte

gevolgen heeft voor de wachttijden. In een extreem droge zomer (Q2) zijn ook stremmingen van de Oostsluis en de Westsluis nodig, waardoor wachttijden hoog op kunnen lopen.

Verder geldt dat de duur en lengte van stremmingen toeneemt naarmate de stremmingsscenario's voor een langere periode constant gehouden worden. Bij gelijke stremmingen gedurende een langere periode kan er minder effectief gebruik gemaakt worden van de mogelijkheid om het kanaalpeil uit te laten zakken tot de ondergrens. Daarnaast heeft de beheerder in de operationele praktijk te maken met een toenemende onzekerheid bij een langere voorspelhorizon, wat vaak ook tot conservatievere keuzes (langere stremduren) leidt. Naar aanleiding hiervan is onze aanbeveling om stremmingen voor korte periodes vast te leggen, om enige flexibiliteit te behouden en ervoor te zorgen dat er niet onnodig veel gestremd wordt. Hierbij is het aan de sluisbeheerder om een afweging te maken tussen twee conflicterende wensen: de wens voor tijdig afgekondigde en weinig variërende stremmingen enerzijds, en de wens voor zo kort mogelijke stremmingen anderzijds.

6 Referenties

MARIN (2015)

Capaciteitsonderzoek Nieuwe Grote Zeesluis Kanaal Gent-Terneuzen. MARIN-rapport 27565-2-MSCN-rev.7, D. ten Hove en A.M. Bilinska, 19 maart 2015.

HKV (2023)

Verzilting Kanaal Gent-Terneuzen – Rapportage oppervlaktewatermodellering. Deelrapport. 13 februari 2023.

Lievensse CSO (2015)

Nieuwe Sluis Terneuzen; Deelrapport MER Water. Rapport Vlaams Nederlandse Scheldecmissie VNZT-R-127-7, 23 maart 2015.

Vreeken en Weiler (2021)

Documentatie Zeesluisformulering (libzsf). https://libzsf.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/ Tjerk Vreeken en Otto Weiler, Deltares, 9 november 2021.

Witteveen+Bos (2023)

Effect sluisstremmingen sluizencomplex Terneuzen. I. Koevoets. In opdracht van de Vlaams-Nederlandse Scheldecmissie. 27 februari 2023.