

Technische rapportage

Maatregelpakketten NOK KGT-07

Effecten van Maatregelpakketten op verzilting en sluisbeschikbaarheid

Raamovereenkomst zaaknummer 31151860

Onderzoek en Monitoring VNSC: Data-analyse en data-modelleringsdiensten (perceel 2)

Nadere overeenkomst **NOK-KGT7 Procesmatige en technische ondersteuning Werkgroep Droogte KGT fase 2 richting advies** met contractnummer **31188292**

7 oktober 2025

Voor de Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie:

DMOW	Laurens Hermans, Tineke Van de Walle
RWS Zee & Delta	Eric Van Zanten
Ministerie I&W	Freya Fenwick
De Vlaamse Waterweg	Stefaan Hermans

Projectmedewerkers Schelde in Beeld consortium:

HKV lijn in water	Roy Daggenvoorde, Jan-Willem van Lente, Rutger Siemes
Antea Group	Silvy Thant, Marc Vantorre, Alexander de Ruijter, Jan-Bert de Hoop, Siebe Dorrepaal
Waardenburg Ecology	Helga van der Jagt, Rob van de Haterd
Universiteit Gent	Peter Goethals

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	4
1.1	Status en Doel van dit deelrapport	4
1.2	Leeswijzer	5
2	Methode	6
2.1	Modelbeschrijving basismodel	6
2.2	Zeesluisformulering	7
2.2.1	Fasegewijs simuleren van schuttingen	7
2.2.2	Zeesluisdimensies en bellenschermen	8
2.2.3	Scheepvaart en stremmingsscenario's	8
2.2.4	Hydraulische randvoorwaarden	9
2.3	3D-model	11
2.3.1	Rekenrooster en bodemhoogte	11
2.3.2	Hydraulische randvoorwaarden	12
2.3.3	Validatie	12
2.4	Afvoerscenario's	13
3	Maatregelpakketten	15
3.1	Pakket A: Operationeel verzilting bestrijden	17
3.2	Pakket B: Operationeel verzilting bestrijden - intensief	17
3.3	Pakket C: Verzilting bestrijden constructief	18
3.4	Pakket D: Verzilting bestrijden constructief - intensief	18
3.5	Pakket E: Verzilting bestrijden – Combinatie B & D	19
3.6	Pakket F: Pompen	19
3.7	Pakket G: Pompen en omloopriolen	20
3.8	Pakket H: Pompen, omloopriolen en verbreden zoutvang	20
3.9	Pakket I: Pompen en stremmen op zout	21
3.10	Pakket K: Alles uit de kast - constructief	21
3.11	Pakket L: Alles uit de kast - operationeel	22
4	Resultaten	24
4.1	Resultaten autonome ontwikkeling	24
4.2	Resultaten – verzilting	26
4.2.1	Pakketten A t/m E – Verzilting bestrijden	26
4.2.2	Pakketten F t/m I – Sluisbeschikbaarheid	29
4.2.3	Pakketten K en L – Alles uit de kast	31

4.3	Resultaten – sluisbeschikbaarheid	34
4.4	Samenvatting resultaten	36
4.4.1	Chlorideconcentratie en sluisstremmingen	36
4.4.2	Overige kentallen	37
5	Referenties	40
6	Bijlage	42
A	Overzichtstabel maatregelpakketten	42
B	Bellenschermen in de ZSF	44
C	Effecten individuele maatregelen	45
D	Invloed pompen op zoutvracht	47

1 Inleiding

1.1 Status en Doel van dit deelrapport

Dit rapport vormt een onderdeel van de achtergrondrapportage bij het overkoepelende Syntheserapport "Oplossingsrichtingen KGT – Van maatregelpakketten naar oplossingsrichting" (Schelde in Beeld, 2025a), zoals weergegeven in Figuur 1 op de volgende pagina.

Het doel van dit deelrapport is: "Kwantificeren van de effecten van maatregelpakketten op sluisbeschikbaarheid en verzilting"

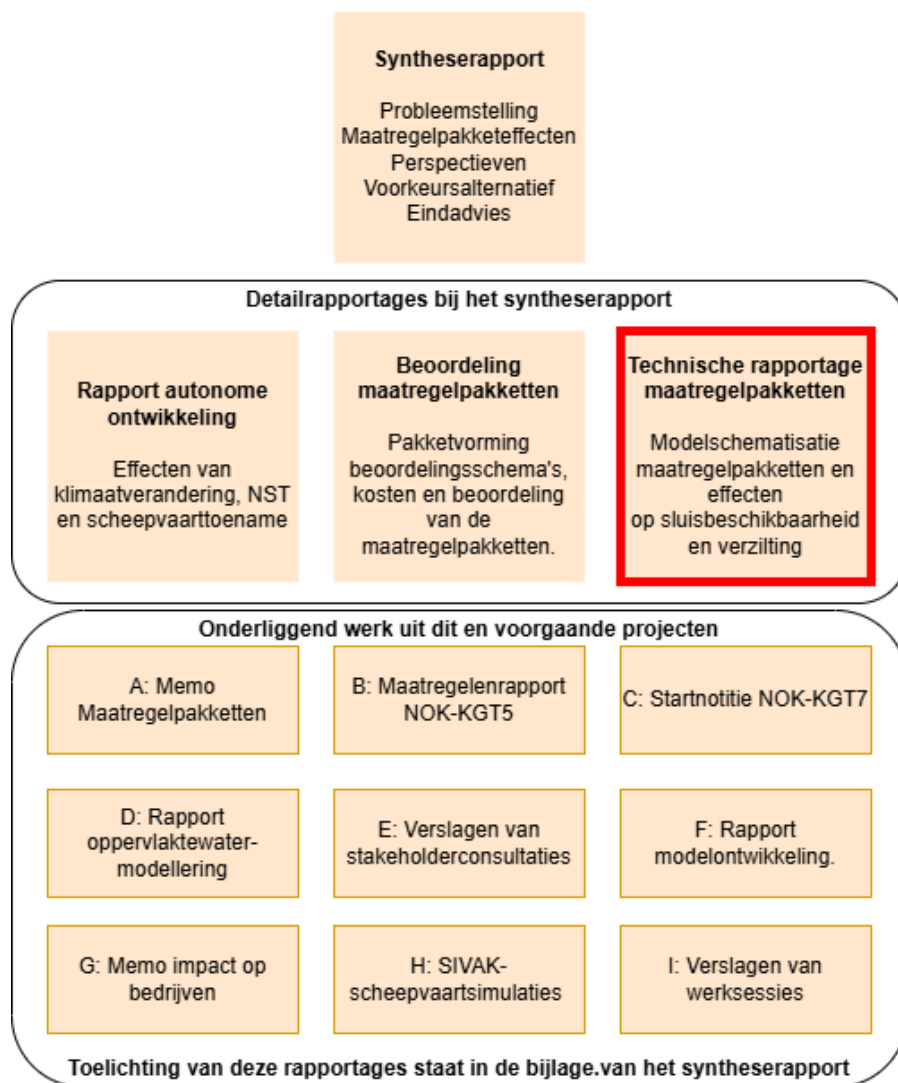
Het kwantificeren van de effecten gebeurt met het 3D-model van het Kanaal Gent-Terneuzen (KGT). Met dit model is de referentiesituatie met autonome ontwikkeling doorgerekend:

- klimaatverandering tot 2050
- een scheepvaarttoename van 10%
- Ingebruikname Nieuwe Sluis Terneuzen (NST)

Zie de nota autonome ontwikkeling (Schelde in Beeld, 2025b en Figuur 1) voor meer informatie over de autonome ontwikkeling.

In hetzelfde model zijn alle maatregelpakketten geschematiseerd om vervolgens met verschilanalyses de effecten op chlorideconcentraties, peilbeheer en sluisstremmingen te bepalen. De verschilanalyses tonen de effectiviteit van de maatregelpakketten op een aantal kentallen:

- Chlorideconcentraties in het KGT.
 - Met extra focus op meetpunt Sas van Gent (meetpunt KGTS ~12 km vanaf Terneuzen).
- Aantal uren stremming van de sluisen bij Terneuzen.
- Het aantal zoute dagen (chlorideconcentratie > 3000 mg/l) in het Vlaamse deel van het KGT.
- Het aantal uur stremming in de droogste week van het jaar.



Figuur 1 Overzicht van de samenhang van het hoofdrapport, detailrapportages en overig werk.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport bevat de volgende onderdelen:

1. Inleiding, status en doel van dit rapport (hoofdstuk 1);
2. De opzet van het model waarmee de effecten zijn bepaald (hoofdstuk 2);
3. De maatregelpakketten en de schematisatie hiervan in het basismodel (hoofdstuk 3)
4. De resultaten voor alle maatregelpakketten, voor verzilting en sluisbeschikbaarheid (hoofdstuk 4)
5. Een overzicht van de maatregelen per pakket (bijlage 6)

2 Methode

Het **basismodel van het Kanaal Gent-Terneuzen (KGT)** is gebruikt om de effecten van de maatregelen te kwantificeren is. Dit gevalideerde model (voor de ontwikkeling en validatie zie Van Denderen et al., 2024) berekent de waterbeweging door het sluiscomplex en het kanaal, waardoor het in staat wordt geacht om de effecten van de verschillende maatregelpakketten op de sluisbeschikbaarheid en verzilting te kwantificeren.

2.1 Modelbeschrijving basismodel

Dit hoofdstuk beschrijft het **basismodel van het Kanaal Gent-Terneuzen (KGT)**. Het model bestaat uit twee hoofdcomponenten:

1. **De Zeesluisformulering (ZSF)** – voor de berekening van water- en zoutuitwisseling bij de sluisen;
2. **Het 3D-hydrodynamisch model** – voor de simulatie van water- en zoutbeweging in het kanaal.

Samen vormen deze componenten een gekoppeld model waarmee het gedrag van het kanaal in ruimte en tijd realistisch wordt gesimuleerd.

De modelbeschrijving in dit hoofdstuk is een korte samenvatting van de rapportages van de ontwikkeling van het 3D-model. Voor meer details is bij alle beschrijving doorverwezen naar de relevante rapportages.

Zeesluisformulering (ZSF)

De ZSF berekent de uitwisseling van water en zout per sluis op basis van:

- de scheepvaartbewegingen (schutinformatie);
- de kolkdimensies;
- het hoogteverschil (waterstanden);
- de zoutconcentraties aan beide zijden van elke sluis.

3D-hydrodynamisch model

Het 3D-model simuleert de beweging van water en zout binnen het kanaal in drie dimensies (diepte, breedte en lengte). De belangrijkste randvoorwaarden voor de waterbeweging en verzilting in het model zijn:

- de **watertoevoer** van bovenstrooms (onder andere vanuit Evergem en de Moervaart),
- de **uitwisseling** van water en zout via de **sluisen** (zoals bepaald door de ZSF op basis van de schut-informatie).

Koppeling ZSF en 3D-model

De twee modellen zijn gekoppeld aan de kanaalzijde van de drie zeesluizen. De output van het ene model dient als input voor het andere, wat zorgt voor een geïntegreerde en consistente simulatie van de waterbeweging in het kanaal. Deze gekoppelde opzet wordt aangeduid als **het basismodel**. Voor

een uitgebreide toelichting op het basismodel, de modelopzet en de kalibratie wordt verwezen naar: van Denderen et al. (2024).

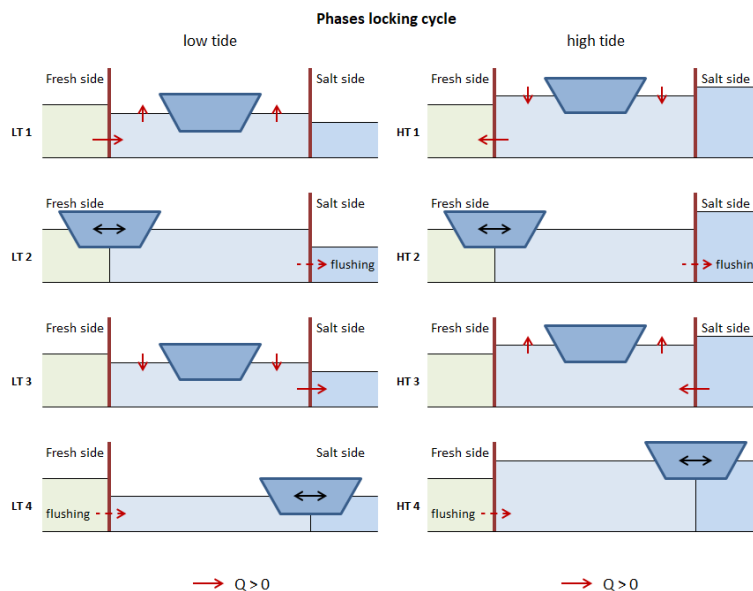
2.2 Zeesluisformulering

Voor het bepalen van de schutdebieten en zoutuitwisseling tussen de Westerschelde en het KGT wordt de zeesluisformulering toegepast (Vreeken & Weiler, 2021). Deze formulering berekent per sluis de water- en zoutuitwisseling die optreedt tijdens een schutcyclus schutten. Daarnaast berekent de ZSF de wateruitwisseling door de dichtheidsgedreven stroming die optreedt zodra de sluisdeuren open zijn.

2.2.1 Fasegewijs simuleren van schuttingen

In deze modellering is gekozen voor de fasegewijze aanpak van de zeesluisformulering — één van de twee beschikbare modi (fasegewijs of cyclusgemiddeld). In de fasegewijze modus wordt de zoutconcentratie (saliniteit) van de ene naar de volgende schutcyclus doorgegeven. Dit resulteert in een dynamischer en nauwkeuriger weergave van de zoutuitwisseling dan bij de cyclusgemiddelde aanpak. De fasegewijze methode vereist gedetailleerde gegevens over scheepvaartbewegingen en schutcycli. De fasegewijze aanpak bestaat uit vier opeenvolgende fases, waarbij de waterbeweging ook nog varieert afhankelijk van het waterstandsverschil tussen de Westerschelde en het kanaal (zie LT en HT in Figuur 2). Voor het KGT geldt veelal de LT-situatie, de waterstand op de Westerschelde is lager dan die op het kanaal. De fases zijn als volgt:

1. Nivelleren van de sluis naar de waterstand aan kanaalzijde (KGT).
2. In- en uitvaren van schepen tussen het KGT en de kolk.
3. Nivelleren van de sluis naar de waterstand aan Westerscheldezijde.
4. In- en uitvaren van schepen tussen de kolk en de Westerschelde.



Figuur 2: Visualisatie van de fases uit de schutcyclus, welke stapsgewijs worden doorgerekend in de Zeesluisformulering (uit Vreeken en Weiler, 2021). Flushing in dit figuur is het actief zoet spoelen van de sluis met water vanuit de zoete zijde. Dit is niet van toepassing bij het KGT.

2.2.2 Zeesluisdimensies en bellenschermen

De ZSF vereist de dimensies van elke sluis om alle water- en zoutfluxen te berekenen. De afmetingen per sluis staan in Tabel 1.

	Lengte (m)	Breedte (m)	Diepte (m)	Drempel zeezijde (m)	Drempel kanaalzijde (m)
Nieuwe Sluis	427,0	54,0	17,00	0,56	5,40
Westsluis	290,0	39,0	12,82	0	6,25
Oostsluis	295,0	24,0	6,50	0	2,00

Tabel 1: Dimensies sluisen

Bellenschermen

In het basismodel zijn geen bellenschermen in de sluiscolken opgenomen. De ZSF biedt wel de mogelijkheid om het effect van bellenschermen te simuleren door de dichtheidsgedreven stroming te reduceren. Dit gebeurt via een reductiefactor (F_d), die de stroming in de sluiscolk vertraagt, waardoor de kolkuitwisseling en daarmee de verzilting wordt beperkt.

Voor de bellenschermen is uitgegaan van de volgende reducties:

- NST (Nieuwe Sluis): bellenschermen aan beide zijden, reductiefactor $F_d = 0,3$
- Westsluis (WS): bellenscherm aan de kanaalzijde, reductiefactor $F_d = 0,5$

Een lagere waarde van F_d betekent een sterkere beperking van de dichtheidsgedreven stroming, en dus een grotere reductie van zoutindringing. De laagste realistische waarde is 0,2, een waarde van 1 betekent geen effect van een bellenscherm.

De gehanteerde waarden zijn gebaseerd op expertoordelen en praktijkgegevens van vergelijkbare sluisen. Het is daarmee een schatting, die in de praktijk nog moet worden gevalideerd. De betrouwbaarheid van de resultaten staat of valt dus met de juistheid van deze factor. Meer details over de implementatie van bellenschermen in de ZSF staat in bijlage C.

2.2.3 Scheepvaart en stremmingsscenario's

Het fasegewijs doorrekenen van de ZSF vereist gedetailleerde scheepvaartdata. Deze zijn gegenereerd met behulp van SIVAK-simulaties (Koevoets & Elzinga, 2023). In totaal zijn 46 simulaties uitgevoerd om het scheepvaaraanbod te bepalen voor uiteenlopende stremmingsscenario's. Elk scenario beschrijft de duur van de stremming per sluis (Nieuwe Sluis Terneuzen, Westsluis en Oostsluis), waarbij het laagwatermoment steeds in het midden van de stremmingsperiode ligt.

Uit deze set zijn alleen die scenario's geselecteerd die voldoen aan de operationele stremvolgorde. Volgens deze volgorde wordt:

1. eerst de Nieuwe Sluis gestremd (NST; duur: 2, 4, 6 of 8 uur),
2. gevolgd door de Oostsluis (OS; duur: 4, 6 of 8 uur) en
3. tot slot de Westsluis (WS; duur: 4, 6 of 8 uur)

Deze stremvolgorde is overgenomen uit het Tracébesluit (Ministerie I&M, 2016). De NST wordt als eerste gestremd, omdat deze sluis het grootste schutverlies veroorzaakt. Daarnaast kan de zeevaart in de schutvensters nog gebruikmaken van zowel de WS als de NST. Vervolgens wordt de OS gestremd, omdat de binnenvaart dan nog via de WS kan passeren. Alleen als het echt niet anders kan, wordt uiteindelijk ook de WS gestremd.

Bij de simulaties is rekening gehouden met een toekomstige groei van de scheepvaart (onderdeel van de autonome ontwikkeling). Op basis van het uitgangspunt van een toename van 10% ten opzichte van 2021, wordt uitgegaan van circa 64.000 schepen per jaar (Koevoets & Elzinga, 2023).

De SIVAK-resultaten bevatten informatie over de scheepsbewegingen en de duur van de verschillende schutfases. De deur-open-tijden zijn hierin niet expliciet opgenomen en zijn afgeleid op basis van de scheepsbewegingen. Dit introduceert onzekerheid in de berekening van de zoutindringing. Daarnaast zijn gemiddelde scheepsvolumes aangenomen voor beide vaarrichtingen, om de waterbalans sluitend te houden. Voor een gedetailleerde beschrijving van de koppeling tussen de SIVAK-resultaten en de ZSF, zie Vuik & Lambregts (2023).

2.2.4 Hydraulische randvoorwaarden

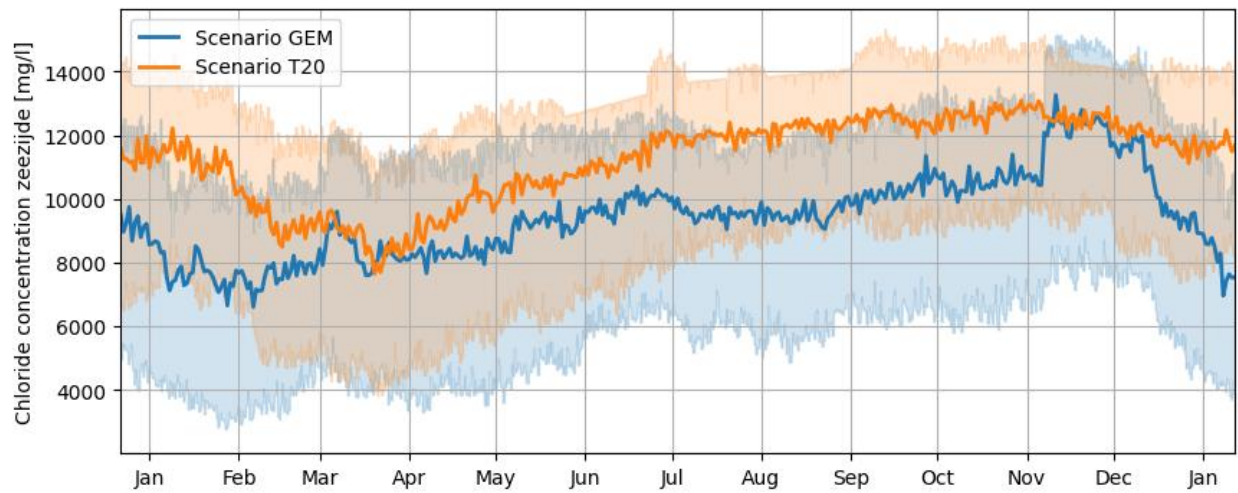
De hydraulische randvoorwaarden aan de kanaalzijde zijn afkomstig uit de resultaten van het 3D-model. Omdat de zeesluisformulering (ZSF) en het 3D-model offline gekoppeld zijn—dat wil zeggen: de modellen draaien sequentieel in plaats van gelijktijdig—is een iteratief proces noodzakelijk om consistente invoer- en uitvoerwaarden te verkrijgen.

De hydraulische randvoorwaarden aan de Westerscheldezijde—zoals waterstanden en de dieptegemiddelde zoutconcentratie direct buiten de sluisen—zijn gebaseerd op meetgegevens. Omdat de zoutmetingen zijn uitgevoerd op enige afstand zeewaarts van het sluisencomplex, liggen de gemeten waarden structureel hoger dan de daadwerkelijke concentraties bij de sluisdeuren.

Om dit verschil te corrigeren, is een correctiefactor van 2 PSU¹ toegepast op de gemeten zoutconcentraties (Lambregts en Vuik, 2024). De gecorrigeerde tijdreeksen van de daggemiddelde chlorideconcentratie aan de zeezijde zijn weergegeven in Figuur 3. Voor de scenario's GEM en T20. Voor het scenario T20CC is dezelfde zoutconcentratie gehanteerd als voor T20. De afvoerscenario's worden in detail besproken bij het 3D-model in paragraaf 2.3.3.

Daarnaast is watertemperatuur niet opgenomen in de ZSF, omdat het effect op de dichtheidsstroming beperkt en secundair wordt geacht.

¹ PSU is de practical salinity unit: chloride [mg/l] = saliniteit [PSU of ppt] / 1,80655 * 1000



Figuur 3: Tijdreeks van de daggemiddelde chlorideconcentratie aan de zeezijde van het sluiscomplex, en de variatie hierin per dag, voor scenario GEM en T20. Voor scenario T20CC wordt hetzelfde zoutgehalte gebruikt als in scenario T20.

2.3 3D-model

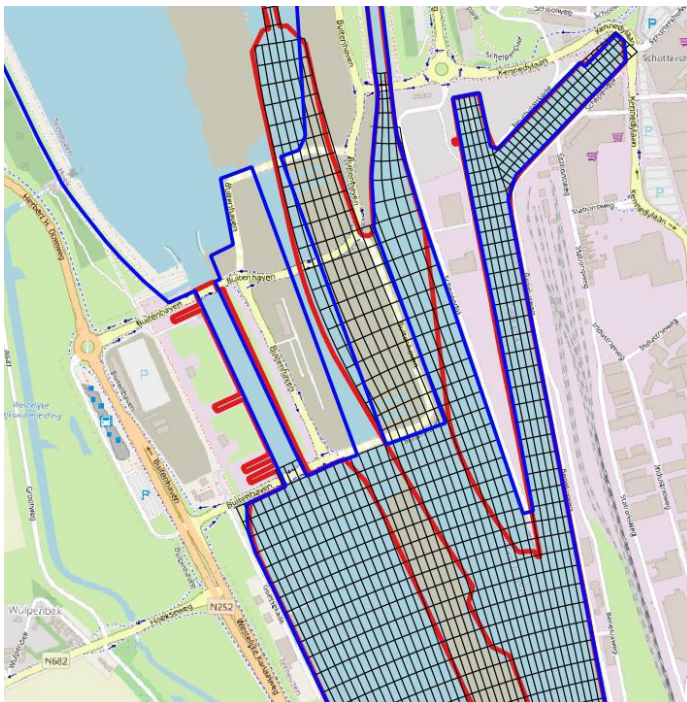
In deze paragraaf worden de onderdelen van het 3D-model toegelicht, waaronder het rekenrooster, de geometrie, de randvoorwaarden en de validatie. Het model is opgezet in de D-Hydro Suite 2023.01 (Linux-versie). De basisinstellingen zijn overgenomen uit het 3D D-Flow FM-model voor het Noordzeekanaal / Amsterdam-Rijnkanaal (NZK/ARK; Deltares, 2020; 2023), met enkele aanpassingen om numerieke instabiliteit te voorkomen (van Denderen et al., 2024).

2.3.1 Rekenrooster en bodemhoogte

Het rekenrooster is ontworpen voor de nieuwe situatie na realisatie van de Nieuwe Sluis Terneuzen, maar is ook toepasbaar op de oude situatie. Omdat alleen voor de oude situatie voldoende meetdata beschikbaar waren, is het model daarop gekalibreerd en gevalideerd.

De kenmerken van het rekenrooster zijn:

- Over het grootste deel van het kanaal bedraagt de gemiddelde celgrootte circa 22×55 meter.
- In het havengebied bij Terneuzen is het rooster verfijnd met een factor 2 (Figuur 4).
- De sluiskolken zijn niet expliciet gemodelleerd; stromingen door de sluisen worden als randvoorwaarden opgelegd op het rooster (vanuit de ZSF).
- Verticaal is gebruikgemaakt van **Z-lagen** met een constante dikte van circa **1 meter**. Het aantal verticale lagen varieert afhankelijk van de waterdiepte. Deze aanpak is identiek aan het NZK/ARK-model (Deltares, 2020).



Figuur 4: De contour van de oude situatie met Middensluis (rood) en de nieuwe situatie met NST (blauw) met het beoogde rekenrooster (zwart)

Voor de geometrie is een geactualiseerde versie van Baseline 6 database (baseline-nl_land-j22_6-v1) gehanteerd. De Nieuwe Sluis is niet als Baseline maatregel meegenomen maar geïmplementeerd door de invoerbestanden van D-Flow FM direct aan te passen (van Denderen et al., 2024). De volgende wijzigingen zijn doorgevoerd:

- de bodemhoogte is aangepast zodat deze aansluit op de huidige zoutvang;
- de Middensluis is met een hoogwatervrij vlak afgesloten en bestaande hoogwatervrije vlakken zijn verwijderd.

2.3.2 Hydraulische randvoorwaarden

De debietrandvoorwaarden zijn in detail beschreven door Vuik en Lambregts (2023). Hier volgt een beknopte samenvatting:

- Wateraanvoer vindt hoofdzakelijk plaats via de stuw bij Evergem, met aanvullende bijdragen van de Tolhuisstuw in Gent, de Moervaart, de Avrijevaart en de schutsluizen van Evergem.
- De uitwisselingsdebiëten en nivelleerdebiëten bij de sluizen van Terneuzen zijn bepaald op basis van de zeesluisformulering (ZSF), zoals toegelicht in paragraaf 2.2.
- Tijdens het schutproces wordt overwegend kanaalwater richting de Westerschelde verplaatst. Alleen bij uitzonderlijk hoge waterstanden op de Westerschelde kan incidenteel water het Kanaal Gent-Terneuzen instromen. Gemiddeld over de dag is de netto waterstroming echter altijd van het kanaal naar de Westerschelde.
- Bij verhoogde bovenafvoer wordt er gespuid bij Terneuzen. Dit gebeurt via:
 - Stremmingen van de Nieuwe Sluis, Oostsluis en Westsluis
 - Kokers (uitwisselingsspuien) bij de Westsluis.

2.3.3 Validatie

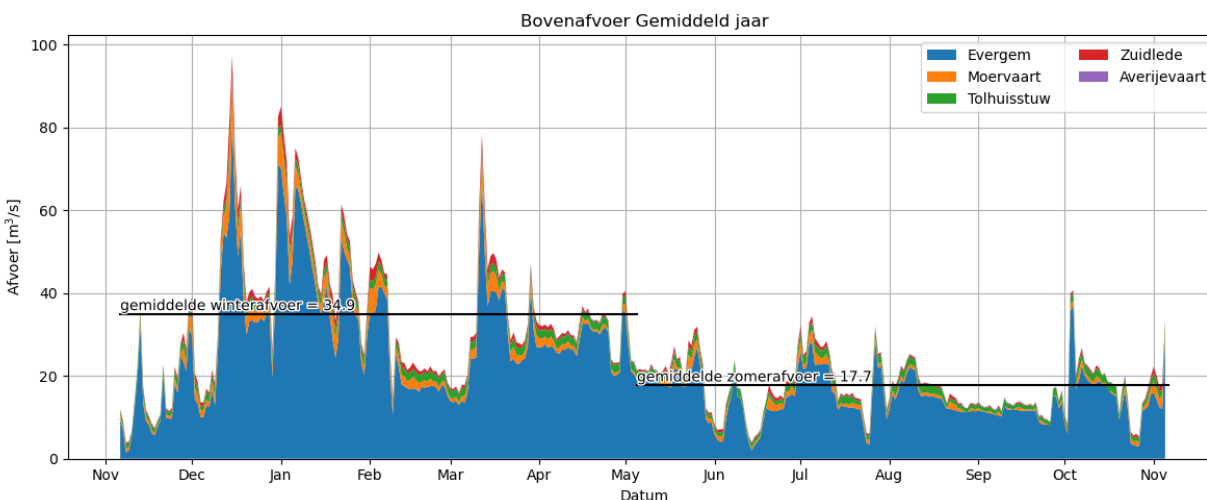
Het model is, na kalibratie, gevalideerd voor de jaren 2018 en 2019. Beide jaren bevatten een droge periode (Van Denderen et al., 2024). Het model reproduceert de gemeten chlorideconcentratie over het algemeen goed; de gemiddelde afwijking bedraagt circa 450 mg/l. Dit komt overeen met de kwaliteit van het NZK/ARK-model (Deltares, 2020). Tijdens droge periodes neigt het model echter naar iets te lage (te zoete) chlorideconcentraties. Daarnaast toont de validatie dat het model tragere stijgingen in chlorideconcentraties heeft dan de metingen.

De validatie is uitgevoerd voor de hoofdwateren. Chlorideconcentraties in zijwaterlopen, zoals de Moervaart en Zuidlede, zijn niet gevalideerd. De modelresultaten voor deze zijwaterlopen zijn daarom niet betrouwbaar.

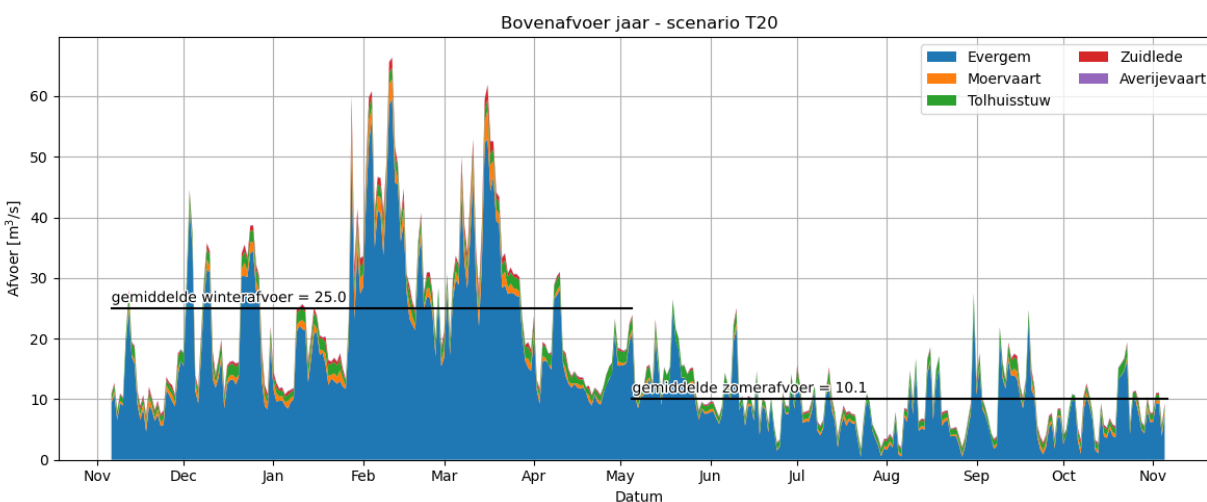
2.4 Afvoerscenario's

Met het basismodel zijn drie afvoerscenario's doorgerekend per maatregelpakket. De afvoerscenario's beschrijven de volgende situaties (zoals beschreven in de startnotities; Schelde in Beeld, 2024b en de nota autonome ontwikkeling):

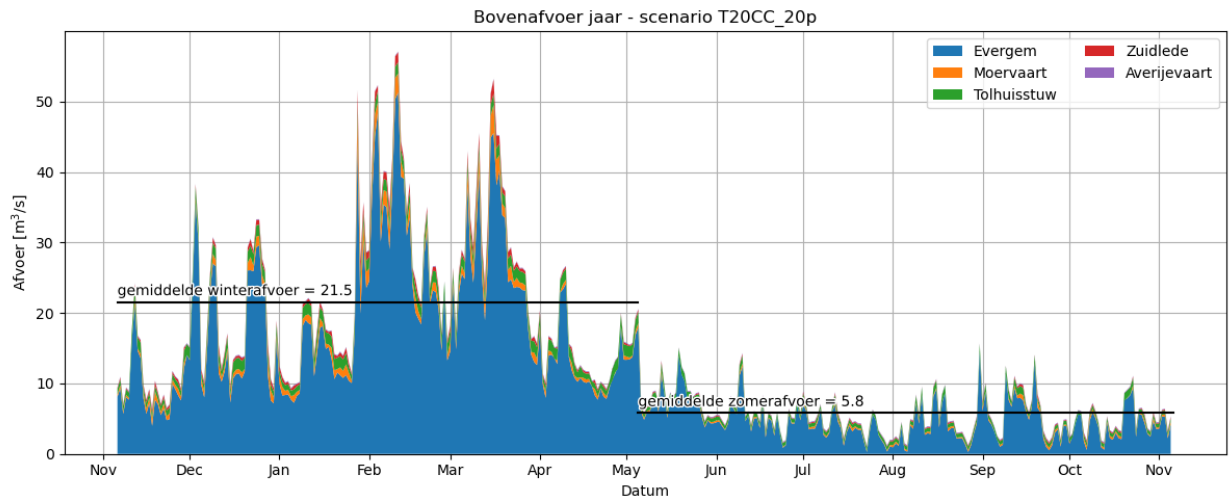
1. **Gemiddeld jaar (GEM)**. Dit sluit aan bij het eerdere onderzoek (Schelde in Beeld, 2022). In dit scenario zijn de zomer- en winterafvoer gelijkgesteld aan de gemiddelde afvoeren die volgen uit de 12-jarige meetreeks van bovenafvoeren (Figuur 5).
2. **Droog jaar (T20)**. Dit is een droog jaar dat gemiddeld eens per 20 jaar voorkomt (Figuur 6).
3. **Droog jaar met klimaatverandering (T20CC)**. Dit is een droog jaar met een terugkeertijd van 20 jaar waarin ook nog het verdrogende effect van klimaatverandering is meegenomen. Klimaatverandering zorgt immers voor drogere zomers en winters (Figuur 7).



Figuur 5: Tijdreeks van het gemiddelde jaar. De verschillende kleuren geven de verschillende toevoeren van het KGT weer. Duidelijk te zien is dat Evergem (Sluis en Stuw) de grootste bijdrage levert (uit Schelde in Beeld, 2024b).



Figuur 6: Tijdreeks van het T20-afvoerscenario (uit Schelde in Beeld, 2024).



Figuur 7: Tijdreeks van het T20CC-afvoerscenario (uit Schelde in Beeld, 2024b).

3 Maatregelpakketten

In dit hoofdstuk worden de 11 maatregelpakketten toegelicht zoals vastgelegd in het memo Vastleggen Maatregelpakketten KGT (Lambregts en Daggenvoorde, 2024). Elke paragraaf beschrijft het pakket volgens een vaste structuur:

1. De denkwijze achter de samenstelling van het maatregelenpakket (redeneerlijn)
2. De (combinatie van) maatregelen
3. De implementatie in de ZSF en/of het 3D-model voor de reproduceerbaarheid van de modelrapportage.

De maatregelpakketten volgen drie richtingen, conform de startnotitie; Schelde in Beeld [2024]:

1. Verzilting bestrijden
2. Sluisbeschikbaarheid
3. Alles uit de kast.

Voor het opstellen van de maatregelpakketten zijn eerst de maatregelen individueel geanalyseerd, een samenvatting van de analyseresultaten staat in bijlage C.

Hieronder volgen nu eerst korte beschrijvingen van de maatregelpakketten per richting op hoofdlijnen; in de paragrafen van dit hoofdstuk staat de gedetailleerde beschrijving per pakket.

Pakketten “Verzilting bestrijden”

Deze pakketten richten zich uitsluitend op het beperken van zoutindringing. Dit kan door operationele maatregelen (zoals stremmen en geclusterd schutten) of door constructieve maatregelen (zoals belenschermen en drempels).

Maatregelpakketten – Naam		Korte beschrijving
Verzilting		
Pakket A	Operationeel verzilting bestrijden	Stremmen op zout
Pakket B	Operationeel verzilting bestrijden - intensief	Stremmen op zout en clusteren
Pakket C	Verzilting bestrijden constructief	Bellenscherm NST
Pakket D	Verzilting bestrijden constructief - intensief	Combinatie van 6 constructieve maatregelen tegen zout.
Pakket E	Verzilting bestrijden operationeel en constructief	Combinatie B & D

Tabel 3-1: Overzicht maatregelpakketten - Verzilting

Opmerking: toelichtingen in deze tabel zijn bewust kort. Gedetailleerde beschrijvingen en nuances volgen verderop in dit hoofdstuk.

Pakketten "Sluisbeschikbaarheid"

Deze pakketten zijn ontworpen om stromingen tegen te gaan. Water naar het KGT pompen kan alle stromingen voorkomen. De meest haalbare optie is het oppompen van water vanuit de buitenhaven naar het KGT. Dit betreft echter zout Westerscheldewater, wat leidt tot extra verzilting. Daarom wordt pompen vanuit de buitenhaven (pakket F) gecombineerd met aanvullende maatregelen om deze toename tegen te gaan (pakketten G t/m I).

Maatregelpakketten – Sluisbeschikbaarheid	Korte beschrijving
Pakket F	Pompen vanuit buitenhaven
Pakket G	Pompen vanuit buitenhaven + omloopriolen
Pakket H	Pompen vanuit buitenhaven + omloopriolen + zoutvang klein
Pakket I	Pompen vanuit buitenhaven met stromen op zout (120 minuten)

Tabel 3-2: Overzicht maatregelpakketten – Sluisbeschikbaarheid

Opmerking: Pakket J: autonome ontwikkeling is geen maatregelpakket. Dit is de referentiesituatie. Tijdens het project is deze situatie als pakket J – doorgerekend en zo ook terug te vinden in onderliggende bestanden.

Pakketten "Alles uit de kast": Het realiseren van bereikbaarheid en verziltingsbestrijding

Deze pakketten combineren maatregelen om zowel de verzilting te beperken als de sluisbeschikbaarheid te vergroten.

Maatregelpakketten – Alles uit de kast	Naam	Korte beschrijving
Pakket K	Alles uit de kast (constructief)	Alle constructieve maatregelen tegen verzilting, gecombineerd met pompen vanuit de Buitenhaven
Pakket L	Alles uit de kast (operationeel)	Alle operationele maatregelen bij elkaar

Tabel 3-3: Overzicht maatregelpakketten – Alles uit de kast

3.1 Pakket A: Operationeel verzilting bestrijden

Pakket A bestrijdt verzilting enkel met de meeste effectieve (tegen verzilting) operationele maatregel; stremmen op zout. Bij het analyseren van individuele maatregelen zijn 60 en 120 minuten stremmen onderzocht. Langer stremmen is effectiever, daarom houden we hier de stremming van 120 minuten aan. Kortere of langere stremmingen zijn ook mogelijk, langer stremmen beperkt verzilting, maar hindert scheepvaart meer en omgekeerd geldt hetzelfde voor korter stremmen.

De volgende maatregel(en) worden ingezet:

- Stremmen op zout [maatregel 19b²]

Modelimplementatie

ZSF

- In de NST worden schuttingen tussen één uur voor hoogwater en één uur na hoogwater geschraapt.
 - Dit gebeurt enkel in het zomerhalfjaar als de bovenafvoer lager is dan 26 m³/s.
 - Schepen uit de geschraapte schuttingen worden herverdeeld over de overige schuttingen.

3D-model

- De basisopzet van het 3D-model is toegepast.

3.2 Pakket B: Operationeel verzilting bestrijden - intensief

Pakket B bevat alle onderzochte operationele maatregelen die effectief zijn tegen verzilting. Dit zijn clusteren en stremmen op zout. Door te clusteren reduceert het aantal schuttingen met 20% en neemt de kolkbezetting toe. Het clusteren wordt gerealiseerd door de sluis bij hoog water te stremmen.

De volgende maatregel(en) worden ingezet:

- Geclusterd schutten [maatregel 6b]
- Stremmen op zout [maatregel 19b]

Modelimplementatie

ZSF

- Het aantal schuttingen is gereduceerd met 20% voor alle sluisen tijdens het zomerhalfjaar. Daarbij passen we het aantal schuttingen aan en worden de schepen over de overige schuttingen herverdeeld. Het toenemen van deur-open-tijden vanwege langere in- en uitvaartijden wordt niet meegenomen. 20% minder schuttingen leidt tot een toename van de gemiddelde kolkbezetting van 48% naar 60% (o.b.v. analyse van AIS-scheepvaartgegevens van de Westsluis). [6b]
- In de Nieuwe Sluis wordt de combinatie van geclusterd schutten en stremmen rond hoogwater toegepast. De 20% reductie in schuttingen wordt specifiek rondom hoogwater toegepast, dit leidt tot stremmingen rondom hoog water, de exacte duur van de stremming is afhankelijk van het aantal initiële schuttingen. [6b, 19b].

3D-model

- De basisopzet van het 3D-model is toegepast.

² Genoemde maatregelnummers komen overeen met de individueel doorgerekende maatregelen. Deze maatregelen zijn niet nader beschreven in dit rapport, maar bijlage C toont de resultaten per maatregel.

3.3 Pakket C: Verzilting bestrijden constructief

In pakket C bevat de effectiefste constructieve maatregel tegen verzilting. Dit is een bellenscherm in de NST.

De volgende maatregel wordt ingezet:

- Bellenscherm Nieuwe Sluis [maatregel 16b]

Modelimplementatie

ZSF

- Een bellenscherm aan beide kanten van de sluis met een doorlaatfractie van 0.3 [16b], zie bijlage B voor meer details over bellenschermen in de ZSF.

3D-model

- De basisopzet van het 3D model is toegepast.

3.4 Pakket D: Verzilting bestrijden constructief - intensief

In pakket D combineert alle constructieve maatregelen tegen verzilting. Pakket D laat daarmee zien hoeveel de verzilting verlaagd kan worden zonder dat het beheer van de sluizen veranderd.

De volgende maatregelen worden ingezet:

- Bellenscherm Nieuwe Sluis. [maatregel 16b]
- Drempel NST [maatregel 13]
- Bellenscherm Westsluis [maatregel 16a]
- Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [maatregel 18]
- Tijdelijke drempel Westsluis [maatregel 15a]
- Diepstekende drijframes [maatregel 20]

Modelimplementatie

ZSF

- Een bellenscherm aan beide kanten van de NST met een doorlaatfractie van 0.3. [16b]
- Een drempel van 5,4m aan de binnenzijde van de Nieuwe Sluis. Dit is mogelijk binnen de huidige constructie en een uitbreiding op de huidige drempel van 2,9m. [13]
- Een bellenscherm met een doorlaatfractie van 0.5 voor de binnenzijde van de Westsluis. Hiervoor moet het bestaande bellenscherm worden gerenoveerd. [16a]
- Een drempel van 6,25m hoog in de Westsluis. Deze komt boven op de huidige drempel van 1,45m. [15a]
- Vernauwing van 1m van zowel de Nieuwe Sluis als de Westsluis. Deze vernauwing representeert 50cm brede, diepstekende drijframes. [20]

3D-model

- In het 3D-model wordt het nivelleerwater uit de zoutvang onttrokken. [18]

3.5 Pakket E: Verzilting bestrijden – Combinatie B & D

Pakket E combineert alle maatregelen die zoutindringing tegengaan, dit komt neer op een combinatie van pakketten B en D. Dit is de maximale reductie van verzilting die haalbaar is.

De volgende maatregelen worden ingezet:

- Geclusterd schutten [maatregel 6b]
- Stremmen op zout [maatregel 19b]
- Bellenscherm Nieuwe Sluis. [maatregel 16b]
- Drempel NST [maatregel 13]
- Bellenscherm Westsluis [maatregel 16a]
- Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [maatregel 18]
- Tijdelijke drempel Westsluis [maatregel 15a]
- Diepstekende drijframes [maatregel 20]

Modelimplementatie

De implementatie van de maatregelen is terug te vinden in paragrafen 3.2 en 3.4. De aanpassingen binnen de ZSF mogen opgeteld worden.

3.6 Pakket F: Pompen

De kern van de droogteproblematiek rondom het KGT is dat de aanvoer van zoetwater onvoldoende is. Het peil zakt uit doordat het schutverlies groter is dan de toevoer. De watertoevoer op het KGT kan op verschillende manieren verhoogd worden (Schelde in Beeld, 2024). Van al deze maatregelen zijn enkel de maatregelen met het oppompen van Westerscheldewater verder onderzocht. De overige maatregelen bleken niet haalbaar of weinig effectief.

Het oppompen van Westerscheldewater kan op verschillende manieren:

- 8a Nivelleerwater terugpompen naar KGT (max pompcapaciteit (10 m³/s)
- 8b Nivelleerwater terugpompen naar KGT (max pompcapaciteit (90 m³/s)
- 9a Nivelleren met water uit buitenhaven (max pompcapaciteit (10 m³/s)
- 9b Nivelleren met water uit buitenhaven (max pompcapaciteit (90 m³/s)
- 10 Water oppompen uit de buitenhaven (max pompcapaciteit (10 m³/s)
- 11 Nivelleerbekken met pompen (max pompcapaciteit (10 m³/s)

In bijlage C staan de effecten van deze maatregelen. De effecten laten zien dat maatregelen 10 en 11 de minst verziltende maatregelen zijn die alle stromingen voorkomen. Maatregel 11 vergt een groot nivelleerbekken dicht bij het sluizencomplex, dit is moeilijk te realiseren. Daarom is maatregel 10, pompen vanuit de buitenhaven de meest effectieve en haalbare pompmaatregel.

De volgende maatregel wordt ingezet:

- Pompen van buitenhaven naar KGT [maatregel 10]

Modelimplementatie

ZSF

- De basisopzet van de ZSF is toegepast.

3D-model

- Een pomp met een maximale capaciteit van 10 m³/s pompt water van de buitenhaven naar het kanaal. De pomp wordt alleen aangezet als het kanaalpeil onder het streefpeil dreigt te zakken en/of als er stremmingen nodig zijn om het peil op orde te houden. In het 3D model is dit een extra toevoer van zout water bij Terneuzen die het debiet aanvult tot het schutverlies.

3.7 Pakket G: Pompen en omloopriolen

Pakket G breidt het pompen vanuit de buitenhaven uit met het aanpassen van de omloopriolen. De gedachte hierachter is dat de toename van de verzilting hiermee gecompenseerd kan worden zonder de scheepvaart te hinderen. De omloopriolen van de NST worden aangesloten op de zoutvang van de Westsluis om zo het zoute water direct te gebruiken bij het schutten. Dit vergroot de afvoer van zout vanuit het KGT met als doel de toename in zout door het pompen te compenseren.

De volgende maatregel(en) worden ingezet:

- Pompen van buitenhaven naar KGT [maatregel 10]
- Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [maatregel 18]

Modelimplementatie

ZSF

- De basisopzet van de ZSF is toegepast.

3D-model

- Een pomp met een maximale capaciteit van 10 m³/s pompt water van de buitenhaven naar het kanaal. De pomp wordt alleen aangezet als het kanaalpeil onder streefpeil uit dreigt te zakken en/of als er stremmingen nodig zijn om het peil op orde te houden. In het 3D model is dit een extra toevoer van zout water bij Terneuzen die het debiet aanvult tot het schutverlies. [10]
- In de huidige situatie komen de omloopriolen naast de NST uit. In het 3D model worden de omloopriolen verlengt waardoor ze aansluiten op de bestaande zoutvang van de Westsluis. [18]

3.8 Pakket H: Pompen, omloopriolen en verbreden zoutvang

In dit pakket wordt de bestaande zoutvang van de Westsluis verbreedt tot voor de Nieuwe Sluis. Dit zorgt dat het zoute water dat via de Nieuwe Sluis binnenkomt bij het openen van de deuren ook in de zoutvang terechtkomt. Dit reduceert de zoutindringing verder ten opzichte van pakketten F en G. De omloopriolen van de Nieuwe Sluis hoeven minder ver verlengt te worden dan in pakket G.

De volgende maatregel(en) worden ingezet:

- Pompen van buitenhaven naar KGT [maatregel 10]
- Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [maatregel 18]
- Uitbreiden zoutvang [maatregel 21a]

Modelimplementatie

ZSF

- De basisopzet van de ZSF is toegepast.

3D-model

- Een pomp met een maximale capaciteit van 10 m³/s pompt water van de buitenhaven naar het kanaal. De pomp wordt alleen aangezet als het kanaalpeil onder streefpeil uit dreigt te zakken en/of als er stremmingen nodig zijn om het peil op orde te houden. In het 3D model is dit een extra toevoer van zout water bij Terneuzen die het debiet aanvult tot het schutverlies. [10]
- De inlaatpunten van omloopriolen worden verlegd naar de nieuwe zoutvang, zodat ze water uit de zoutvang gebruiken bij het schutten. [18]
- De zoutvang wordt verbreed tot voor de NST. [21a]

3.9 Pakket I: Pompen en stremmen op zout

Pakket I compenseert de toename van verzilting door het pompen operationeel. Door te stremmen op zout neemt het totaal aantal stremmingen in een droge zomer af, terwijl ook de verzilting wordt beperkt. Bijkomend voordeel van pompen en stremmen op zout is dat de sluisstremmingen goed voorspelbaar zijn.

De volgende maatregel(en) worden ingezet:

- Pompen van buitenhaven naar KGT [maatregel 10]
- Stremmen op zout [maatregel 19b]

Modelimplementatie

ZSF

- In de Nieuwe Sluis worden schuttingen tussen één uur voor hoogwater en één uur na hoogwater herverdeeld over de overige schuttingen (totale stremmingsduur is dus 120 minuten). Dit wordt gedaan in het zomerhalfjaar, bij een bovenafvoer onder de 26 m³/s. [19b]

3D-model

- Een pomp met een maximale capaciteit van 10 m³/s pompt water van de buitenhaven naar het kanaal. De pomp wordt alleen aangezet als het kanaalpeil onder streefpeil uit dreigt te zakken en/of als er stremmingen nodig zijn om het peil op orde te houden. In het 3D model is dit een extra toevoer van zout water bij Terneuzen die het debiet aanvult tot het schutverlies. [10]

3.10 Pakket K: Alles uit de kast - constructief

In pakket K worden alle mogelijke constructieve maatregelen gecombineerd. Het startpunt is pompen vanuit de buitenhaven naar het KGT om alle stremmingen te voorkomen. Vervolgens is dit aangevuld met alle constructieve maatregelen (bijlage C) die een verlagend effect op verzilting hebben.

De volgende maatregel(en) worden ingezet:

- Bellenscherm Nieuwe Sluis [maatregel 16b]
- Drempel NST [maatregel 13]

- Bellenscherm Westsluis [maatregel 16a]
- Zoutvang verbreden en verlengen tot aan de Massagoedhaven [maatregel 21b]
- Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [maatregel 18]
- Tijdelijke drempel Westsluis [maatregel 15a]
- Diepstekende drijframes [maatregel 20]
- Pompen van buitenhaven naar KGT [maatregel 10]

Modelimplementatie

ZSF

- Een bellenscherm aan beide kanten van de NST met een doorlaatfractie van 0.3. [16b]
- Een drempel van 5,4m aan de binnenzijde van de Nieuwe Sluis. Dit is mogelijk binnen de huidige constructie en een uitbreiding op de huidige drempel van 2,9m. [13]
- Een bellenscherm met een doorlaatfractie van 0.5 voor de binnenzijde van de Westsluis. Hiervoor moet het bestaande bellenscherm worden gerenoveerd. [16a]
- Een drempel van 6,25m hoog in de Westsluis. Deze komt boven op de huidige drempel van 1,45m. [15a]
- Vernauwing van 1m van zowel de Nieuwe Sluis als de Westsluis. Deze vernauwing representeert 50cm brede, diepstekende drijframes. [20]

3D-model

- Een pomp met een maximale capaciteit van 10 m³/s pompt water van de buitenhaven naar het kanaal. De pomp wordt alleen aangezet als het kanaalpeil onder streefpeil uit dreigt te zakken en/of als er stremmingen nodig zijn om het peil op orde te houden. In het 3D model is dit een extra toevoer van zout water bij Terneuzen die het debiet aanvult tot het schutverlies. [10]
- De zoutvang wordt verbreed tot voor de NST en verlengd tot aan de Massagoedhaven. [21b]
- De inlaatpunten van omloopriolen worden verlegd naar de nieuwe zoutvang, zodat ze water uit de zoutvang gebruiken bij het schutten. [18]

3.11 Pakket L: Alles uit de kast - operationeel

Pakket L richt zich op alle operationele maatregelen: "Wat is mogelijk met de huidige infrastructuur?". Dit maatregelenpakket toetst de mogelijkheid om problemen met verzilting en bereikbaarheid enkel met operationele maatregelen te verlichten.

De volgende maatregel(en) worden ingezet:

- Stremmen op zout [maatregel 19]
- Geclusterd schutten [maatregel 6b]
- Bellenscherm Westsluis [maatregel 16a]
- Bufferen met het Kanaalpeil met 20cm [maatregel 1b]

Modelimplementatie

ZSF

- Het aantal schuttingen wordt gereduceerd met 20% voor alle sluisen tijdens het zomerhalfjaar. Daarbij passen we het aantal schuttingen aan en worden de schepen over de overige schuttingen

herverdeeld. Het toenemen van deuropentijden vanwege langere in- en uitvaartijden wordt niet meegenomen. 20% minder schuttingen leidt tot een toename van de gemiddelde kolkbezetting van 48% naar 60% (o.b.v. analyse van AIS-scheepvaartgegevens van de Westsluis). [6b]

- In de Nieuwe Sluis wordt de combinatie van geclusterd schutten en stremmen rond hoogwater toegepast. De 20% reductie in schuttingen wordt specifiek rondom hoogwater toegepast. [6b, 19]
- Een doorlaatfractie van 0.5 voor de binnenzijde van de Westsluis. Hiervoor moet het bestaande bellenscherm worden gerenoveerd. [16a]
- Het kanaalpeil 20cm opzetten in het zomerhalfjaar. [1b]

3D-model

- Het kanaalpeil 20cm opzetten in het zomerhalfjaar. [1b]

4 Resultaten

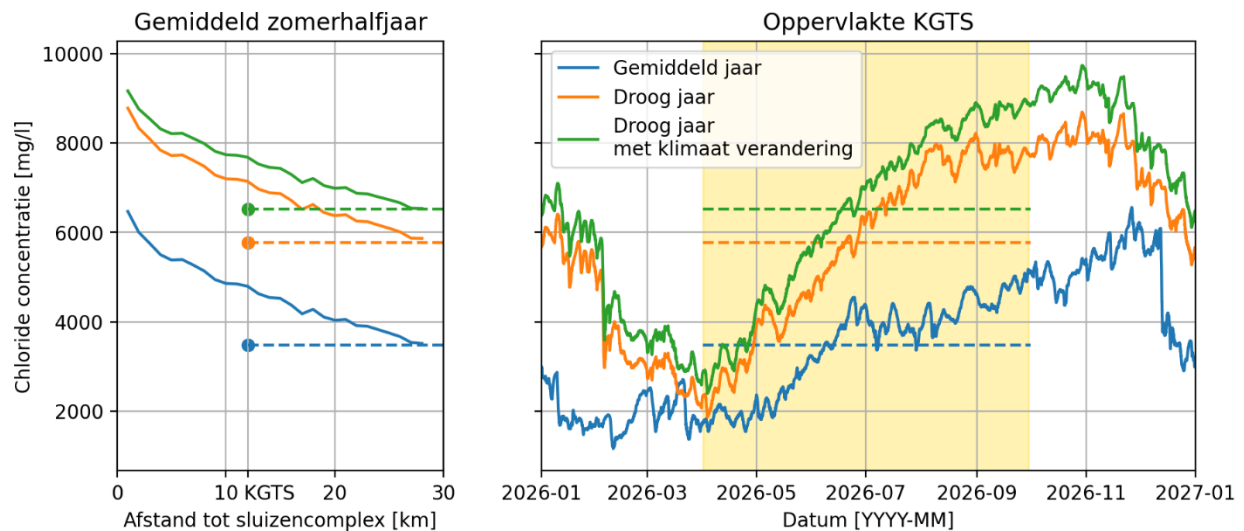
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de analyse van de maatregelpakketten gepresenteerd. We starten met de autonome ontwikkeling als referentie. Vervolgens worden de gebundelde uitkomsten van alle maatregelpakketten besproken: eerst de effecten op verzilting, daarna de gevolgen voor de sluisbeschikbaarheid. Tot slot worden de kentallen voor alle pakketten en scenario's samengevat.

4.1 Resultaten autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling beschrijft de situatie in het Kanaal Gent–Terneuzen (KGT) nadat de Nieuwe Sluis operationeel is geworden, de scheepvaart met 10% is toegenomen en klimaatverandering is opgetreden in het geval van scenario T20CC.

Seizoensverloop

Aan het oppervlak bij KGTS (~12 km vanaf Terneuzen) neemt de chlorideconcentratie in het zomerhalfjaar geleidelijk toe tot een piek in het najaar (Figuur 8). In het winterhalfjaar neemt de afvoer toe en in de winter zelf spoelt de grotere afvoer het zout grotendeels uit.



Figuur 8: Links: chlorideconcentratie per afvoerscenario, gemiddeld over de diepte en het zomerhalfjaar. De stip geeft de locatie van KGTS weer.

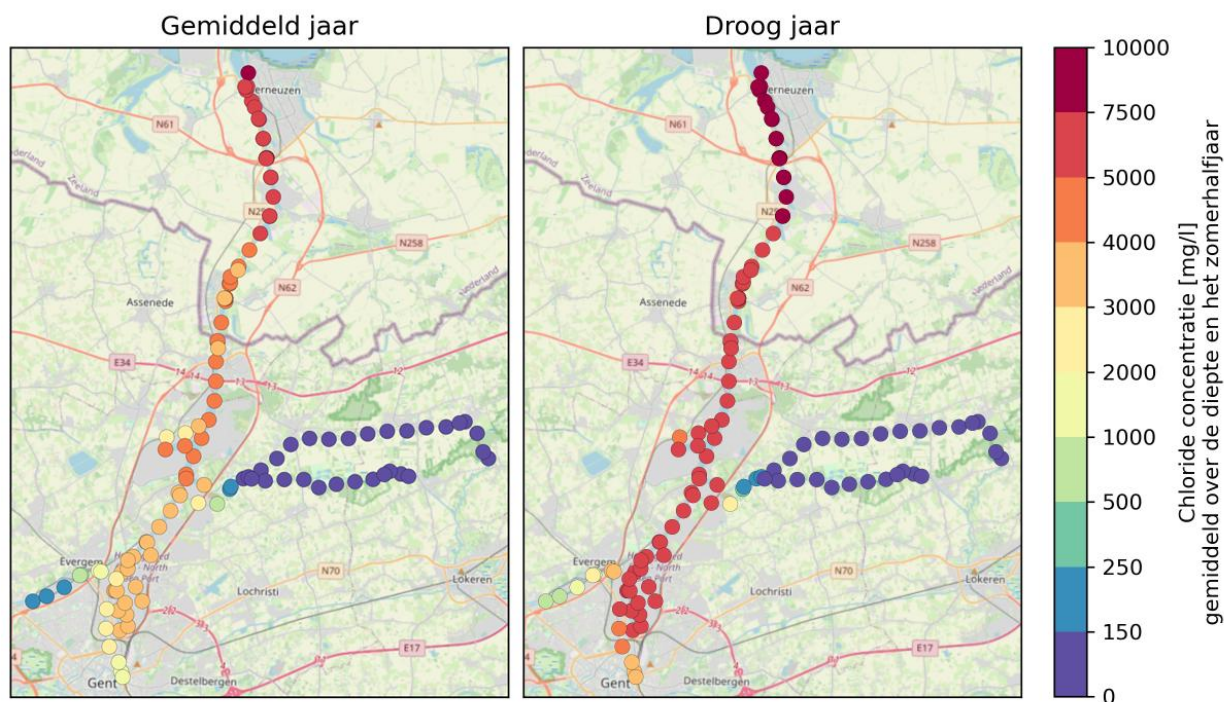
Recht: Tijdsverloop van chlorideconcentratie gedurende het zomerhalfjaar aan het oppervlak van KGTS.

De horizontale onderbroken lijnen geven de zomergemiddelde concentraties aan het oppervlak bij KGTS aan. Dit is het getal dat relevant is voor de KRW-beoordeling van het Nederlandse deel van het KGT. Het gele vlak visualiseert het zomerhalfjaar.

Ruimtelijke verdeling van chloride

De modelresultaten laten zien dat de chlorideconcentratie in het zomerhalfjaar het hoogst is bij het sluizencomplex en afneemt richting Gent (Figuur 9).

- Ter hoogte van Gent blijft het water brak (~1500 mg/l in een gemiddeld zomerhalfjaar).
- De zijtak bij Evergem blijft relatief zoet door de grote zoetwatertoevoer.



Figuur 9: Bovenaanzicht van Kanaal Gent Terneuzen met de gemiddelde chloride concentraties over het zomerhalfjaar, voor een gemiddeld jaar (links) en een droog jaar (T20; rechts). N.B. Zoals eerder vermeld de zijwaterlopen Moervaart en Zuidlede zijn wel gesimuleerd, maar niet gevalideerd. De resultaten op de zijwaterlopen zijn daarom niet betrouwbaar.

Kerncijfers per scenario

Naast Chlorideconcentratie KGTS en het totale aantal uur stremming is ook gekeken naar het aantal dagen per jaar dat het water in het Vlaamse deel van het Kanaal zout is en naar de gemiddelde wachttijd bij de sluizen. De kerncijfers staan in Tabel 4.

Scenario	Chlorideconcentratie KGTS (mg/l)	Zoute dagen Vlaanderen (> 3000 mg/l)	Totale stremming	Gem. wachttijd
Gemiddeld jaar (GEM)	~3500	144 dagen (78%)	35 uur	27 min
Droog jaar (T20)	~5800	180 dagen (98%)	870 uur	33 min
Droog jaar + klimaatverandering (T20CC)	~6500	184 dagen (100%)	3003 uur	52 min

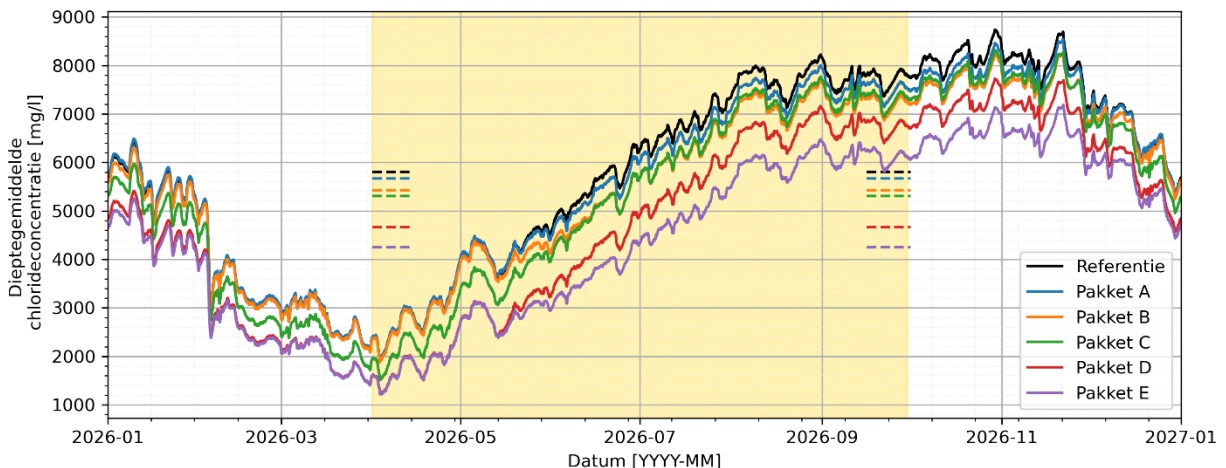
Tabel 4 Kerncijfers per scenario voor de autonome ontwikkeling

4.2 Resultaten – verzilting

Deze paragraaf bevat de resultaten van de maatregelpakketten voor het reduceren van verzilting. Eerst worden de pakketten gepresenteerd die als doel hebben om verzilting te bestrijden, pakketten A t/m E, daarna pakketten die als doel hebben om sluisbeschikbaarheid te verbeteren, pakketten F t/m I, en tot slot de pakketten die zowel sluisbeschikbaarheid verbeteren als verzilting bestrijden, pakketten K en L.

4.2.1 Pakketten A t/m E – Verzilting bestrijden

Figuur 10 toont de chlorideconcentraties bij KGTS voor pakketten A t/m E (kleuren) en de referentiesituatie (autonome ontwikkeling in zwart) voor een droog jaar (scenario T20). Pakket E resulteert in de grootste afname in chlorideconcentratie, gevolgd door Pakket D, C, B en tot slot A, dat de kleinste afname veroorzaakt.



Figuur 10: Dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS voor afvoerscenario T20, voor de referentiesituatie en pakketten A t/m E. Het zomerhalfjaar is weergegeven met de gele achtergrond. De onderbroken horizontale lijnen geven de zomergemiddelde concentratie per pakket aan.

Verschillen tussen pakketten

Pakketten beïnvloeden de chlorideconcentratie op verschillende manieren:

- A en B: Effect alleen tijdens het zomerhalfjaar (geclusterd schutten, stremmen op zout). Aan het begin van de zomer gelijk aan de referentie, aan het eind duidelijk lager.
- C, D en E: Effect het hele jaar door (constructieve maatregelen), waardoor de concentratie structureel lager is.

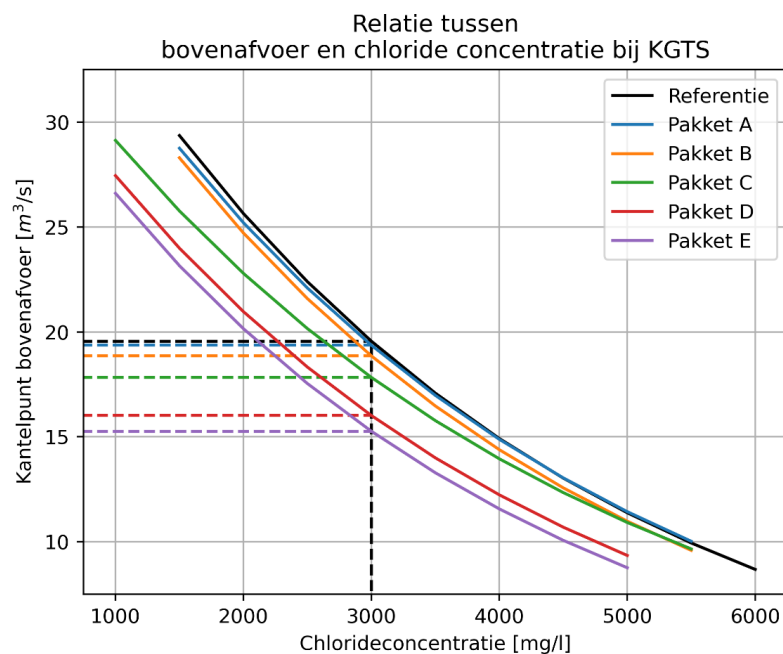
Seizoensafhankelijkheid speelt een grote rol. Zo ligt de eind-zomerwaarde van C iets hoger dan A, maar C geeft wél een lagere zomergemiddelde waarde doordat het vanaf het begin van de zomer effect heeft. Tijdelijke maatregelen verlagen pieken later in het jaar, maar hebben minder invloed op het zomergemiddelde.

Evenwichtsconcentraties en benodigde afvoer

Figuur 11 toont de relatie tussen de bovenafvoer bij Evergem en de evenwichtsconcentratie bij KGTS. Deze relatie is bepaald volgens de methode van Vuik & Lambregts [2023], waarbij de volgende stappen zijn uitgevoerd:

- de drie afvoerscenario's zijn de 14-daagse voortschrijdende gemiddelden van zowel de bovenafvoer (Evergem) als de dieptegemiddelde chlorideconcentratie (KGTS) berekend;
- de chloridewaarden zijn vervolgens ingedeeld in klassen, waarna per klasse met een lineaire regressie is bepaald bij welke afvoer de verandering in chloride nul is – dit geeft het kantelpunt of evenwicht af;
- de verzamelde evenwichtspunten zijn tenslotte benaderd met een exponentiële relatie tussen afvoer en evenwichtsconcentratie.

Het figuur toont een evenwichtsconcentratie, hoe snel het systeem deze bereikt is in dit figuur niet meegenomen. Figuur 10 geeft inzicht in de tijdsafhankelijkheid van de zoutdynamiek. Daarnaast is het goed om te benadrukken dat de gegeven evenwichtsconcentraties een schatting zijn op basis van kantelpunten.



Figuur 11: Relatie tussen bovenafvoer (Evergem) en dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS voor de referentiesituatie en pakketten A t/m E, bepaald aan de hand van kantelpunten. De relatie toont welke zoutconcentratie hoort bij een bepaalde stabiele aanvoer van zoetwater. Bij een aanvoer van bijna 20 m³/s is de bijhorende zoutconcentratie 3000mg/l.

Figuur 11 laat zien dat:

- De pakketten D en E het meest relevant zijn: zij beperken de zoutindringing in de evenwichtssituatie effectief over de hele afvoerverdeling.
- Om te voorkomen dat de chlorideconcentratie bij KGTS de KRW-grens van 3000 mg/l overschrijdt, is in de referentiesituatie een bovenafvoer bij Evergem van circa 20 m³/s nodig. Met maatregel-pakket E kan dit afnemen tot ongeveer 15 m³/s. Dit blijft wel een debiet dat in droge maanden

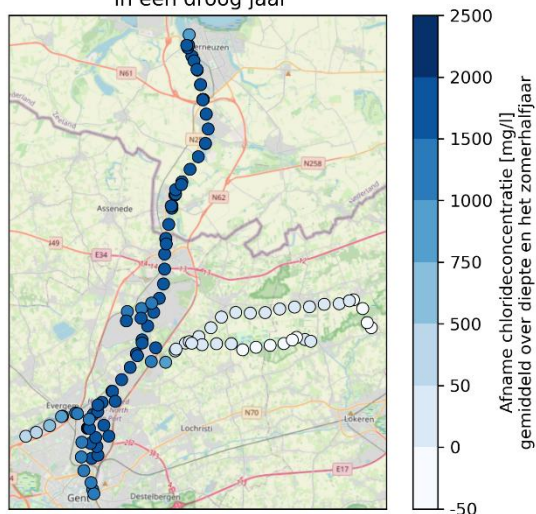
moeilijk haalbaar is, maar zoals Figuur 10 toont, zorgen pakketten D en E in die situaties ook voor een duidelijke vertraging van de verziltingstoename, tot in de orde van een maand.

- Pakket C vertoont afwijkend gedrag bij hoge afvoeren, maar onder de KRW-grens van 3000 mg/l is dit effect beperkt en dus minder relevant.
- Voor pakketten A, B en C toont deze figuur dat ze weinig invloed hebben op de evenwichtskoncentraties. De maatregel "stremmen op zout" zorgt ook niet voor een verlaging in het zoutgehalte in de evenwichtssituatie. Echter zorgt deze maatregel wel voor een vertraging in de toename in de concentratie bij KGTS (zie Figuur 10).

Ruimtelijke effecten effectiefste pakket

Voor het effectiefste pakket E toont Figuur 12 de ruimtelijke spreiding van de afname van de chlorideconcentraties. Het gaat om de diepte- en zomergemiddelde concentraties. Over de hele hoofdgeul is de afname 1500-2000 mg/l. De concentratie in de zijwaterlopen vertonen kleinere effecten, maar voor deze zijwaterlopen is het model niet gevalideerd en daarmee zijn deze resultaten onbetrouwbaar en niet bruikbaar. Voor de zijwaterlopen gebruiken we de percentuele verandering van de chlorideconcentratie bij de monding.

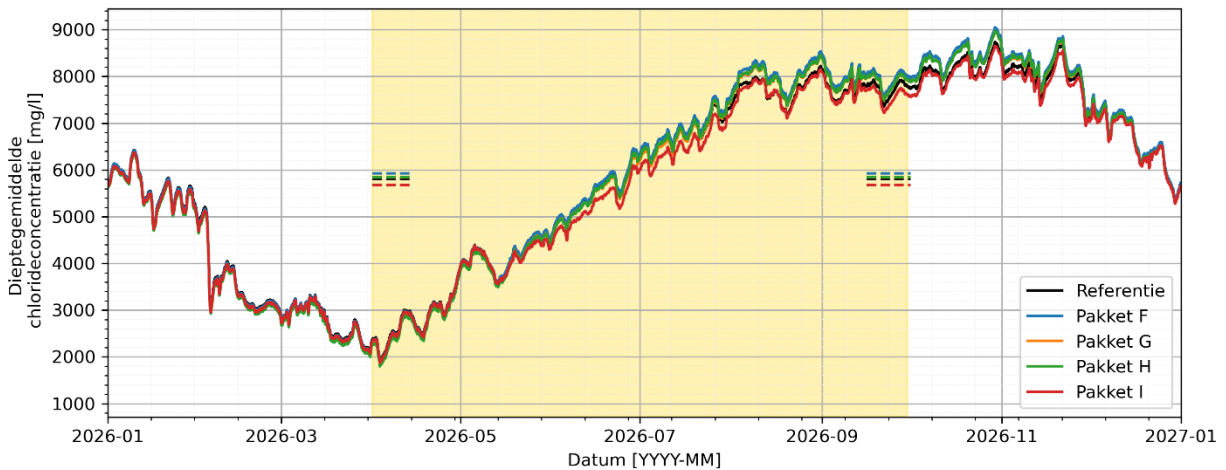
Afname chlorideconcentratie door pakket E
in een droog jaar



Figuur 12: Bovenaanzicht van Kanaal Gent Terneuzen met de afname in diepte- en zomergemiddelde chlorideconcentraties door maatregelen pakket E voor een droog jaar (T20). N.B. Zoals eerder vermeld de zijwaterlopen Moervaart en Zuidlede zijn wel gesimuleerd, maar niet gevalideerd. De resultaten op de zijwaterlopen zijn daarom niet betrouwbaar.

4.2.2 Pakketten F t/m I – Sluisbeschikbaarheid

Figuur 13 toont de chlorideconcentraties bij KGTS voor pakketten F t/m I (kleuren) en de referentiesituatie (autonome ontwikkeling in zwart) voor een droog jaar (scenario T20). Pakket I resulteert in de grootste afname in chlorideconcentratie, pakket F (enkel pompen) geeft zelfs een toename van 1200 mg/l.



Figuur 13: Dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS gedurende afvoerscenario T20, voor de referentiesituatie en pakketten F t/m I. Het zomerhalfjaar is weergegeven met de gele achtergrond. De gestippelde horizontale lijnen geven de zomergemiddelde concentratie per pakket aan.

Verschillen tussen pakketten

De pakketten hebben een beperkte invloed op de zomergemiddelde chlorideconcentratie.

- F, G en H zorgen voor een kleine verhoging van de chlorideconcentratie (50-100 mg/l). De toename komt door de maatregel pompen. Figuur 13 toont dat de zoutconcentratie in de droge periode (juni en juli) sneller toeneemt dan de referentie. Hierdoor wordt de grens van 6000 mg/l enkele dagen eerder bereikt en ligt de zomergemiddelde chlorideconcentratie hoger.
- Door de inzet van pompen komt extra zout water het kanaal binnen. Berekeningen op basis van de ZSF tonen aan dat deze extra zoutvracht ongeveer 20% bedraagt van de totale zoutvracht, overige 80% komt van schuttingen (bijlage D).
Door zout water op te pompen en nabij de sluisen op het KGT te brengen wordt het water nabij de sluisen zouter. Doordat pompen weinig stroming veroorzaakt, blijft het zoute water bij de sluis. Het schutten gebeurt daardoor met zouter water. De uitstroom van zout neemt dus toe. De toename van de netto zoutimport door pompen is daardoor beperkt. Uit de ZSF blijkt dat de totale zoutimport, door schutten en pompen, met circa 10% toeneemt door het oppompen van water vanuit de buitenhaven [10] (bijlage D).
- De mate van toename in chlorideconcentratie is onzeker. De toename is kleiner dan de modelonzekerheid (450-500 mg/l). Bovendien is het effect sterk afhankelijk van de interactie tussen moment van pompen en schutten. Zo is gelijktijdig pompen en schutten mogelijk effectiever dan eerst pompen en later schutten of continue een klein debiet pompen. Deze variaties zijn niet onderzocht binnen dit onderzoek, maar hebben wel invloed. De sterke verwachting is wel dat

ongeacht de uitgangspunten en de modelonzekerheid het oppompen van zout Westerscheldewater leidt tot een toename van de chlorideconcentratie op het KGT.

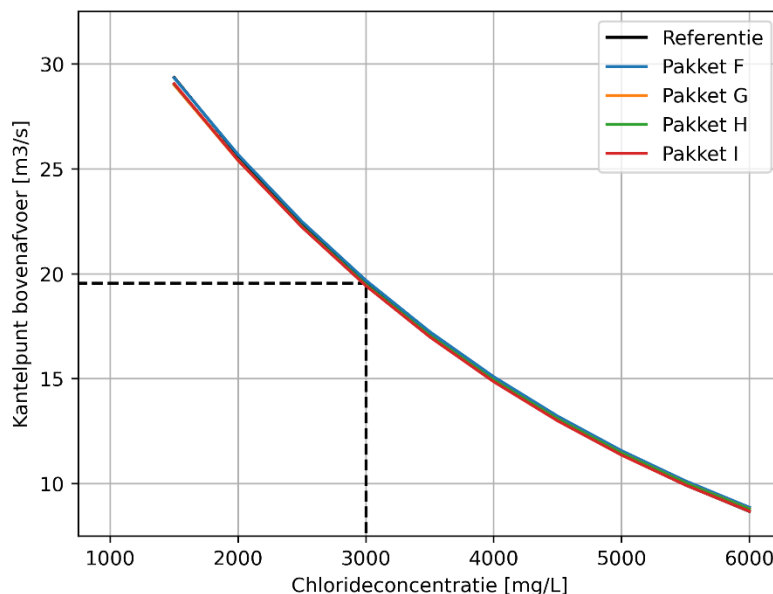
- Pakket I leidt in een droge zomer tot een geringe afname van het zoutgehalte (ongeveer -150 mg/l), wat het gevolg is van het stremmen op zout.
- De gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op verkennende berekeningen. De gevoeligheid voor verschillende uitgangspunten en andere afstemming tussen pompen en schutten is niet onderzocht. Bij het implementeren van deze maatregel is optimalisatie mogelijk en kan meer zekerheid over de effecten worden bereikt. Een verdiepende studie naar het beheer van de pompmaatregel en de optimalisatie hiervan is aanbevolen.

Evenwichtsconcentraties en benodigde afvoer

Figuur 14 toont de relatie tussen bovenafvoer bij Evergem en de evenwichtsconcentratie bij KGTS, afgeleid via de methode van Vuik & Lambregts [2023] op basis van:

- alle drie de afvoerscenario's;
- de 14-daagse gemiddelde bovenafvoer bij Evergem;
- de dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS.

Figuur 14 laat zien dat het effect op de relatie tussen de bovenafvoer en chlorideconcentratie van de maatregelpakketten F, G, H en I beperkt is. Dit is volgens verwachting omdat deze pakketten bijna geen invloed hebben op de verzilting. De zwarte lijn van de referentie ligt onder de gekleurde lijnen van de pakketten, pakketten F, G en H liggen boven de referentie, I er net onder.



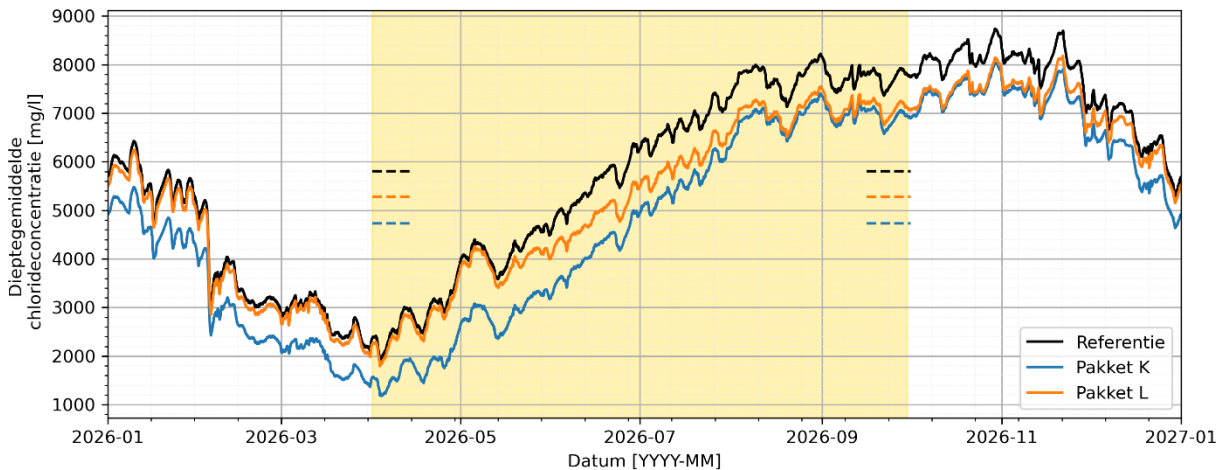
Figuur 14 Relatie tussen bovenafvoer (Evergem) en dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS voor de referentiesituatie en pakketten F t/m I, bepaald aan de hand van kantelpunten.

Ruimtelijke effecten effectiefste pakket

Gezien het feit dat de veranderingen in de chlorideconcentratie beperkt is toont is de ruimtelijke spreiding van de chloride concentraties in lijn met de autonome situatie (Figuur 9). Eventuele verhogingen of verlagingen op verschillende locaties zijn kleiner dan de foutmarge van het model.

4.2.3 Pakketten K en L – Alles uit de kast

Figuur 15 toont de chlorideconcentraties bij KGTS voor pakketten K en L (kleuren) en de referentiesituatie (autonome ontwikkeling in zwart) voor een droog jaar (scenario T20). Pakket K resulteert in de grootste afname in chlorideconcentratie. Ook pakket L zorgt (op momenten) voor een forse afname.



Figuur 15: Dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS gedurende afvoerscenario T20, voor de referentiesituatie en pakketten K en L. Het zomerhalfjaar is weergegeven met de gele achtergrond. De gestippelde horizontale lijnen geven de zomergemiddelde concentratie per pakket aan.

Verschillen tussen pakketten

Pakketten K en L laten het verschil tussen operationele en structurele maatregelen duidelijk zien:

- Pakket L bevat maatregelen die uitsluitend in het zomerhalfjaar van kracht zijn, zoals 'stremmen op zout'. De chlorideconcentratie aan het begin van de zomer ligt dan ook dicht bij de referentiesituatie. Aan het einde van de zomer is de reductie duidelijk te zien.
- Pakket L en Pakket K hebben een vergelijkbare chloride concentratie aan het einde van het zomerhalfjaar terwijl pakket K een lagere concentratie heeft aan de start van het zomerhalfjaar. Dit toont dat Pakket L effectiever is gedurende het zomerhalfjaar, wanneer de maatregel actief is.
- Pakket K bevat daarentegen meerdere structurele maatregelen die het hele jaar door werken. Hierdoor verlaagt pakket K ook de chlorideconcentratie bij aanvang van het zomerhalfjaar, wat leidt tot een grotere zomergemiddelde reductie in chlorideconcentraties.
- Pakket K heeft een vergelijkbare 'stijgingsgraad' in zoutconcentratie gedurende het zomerhalfjaar. Dit pakket verlaagt de chlorideconcentratie over het gehele jaar met een redelijk constante waarde van circa 1100 mg/L.

Evenwichtsconcentraties en benodigde afvoer

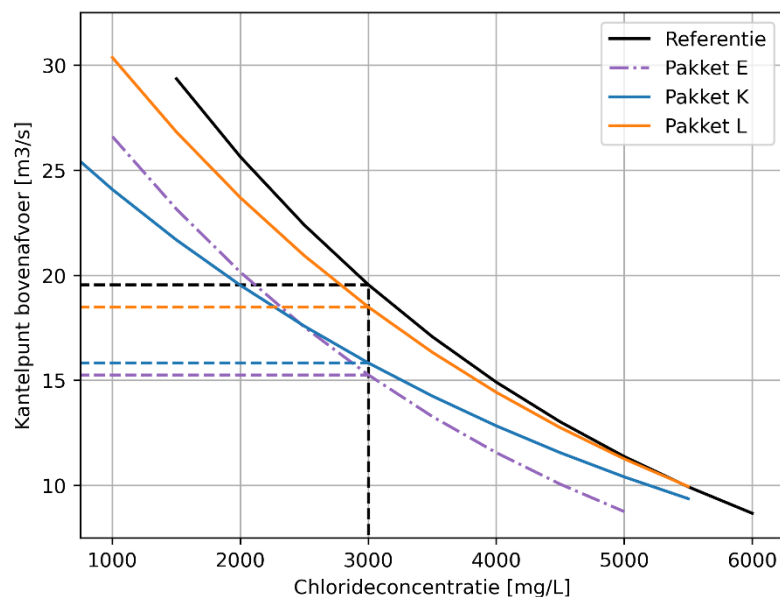
Figuur 16 toont de relatie tussen de bovenafvoer bij Evergem en de evenwichtsconcentratie bij KGTS, afgeleid via de methode van Vuik & Lambregts [2023] op basis van:

- alle drie de afvoerscenario's;
- de 14-daagse gemiddelde bovenafvoer bij Evergem;
- de dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS.

Ter vergelijking is maatregelpakket E (tot nu toe het meest effectief tegen verzilting) ingevoegd.

Figuur 16 laat zien dat:

- Zowel pakket K als L zijn met name effectief bij hogere afvoeren (waarbij de chlorideconcentraties relatief laag zijn)
- Bij de KRW-norm van 3000 mg/l ligt pakket K dicht bij maatregelpakket E, ondanks dat in dit pakket Westerscheldewater naar het KGT wordt gepompt.
- Maatregelpakket L lijkt minder effectief op basis van de evenwichtsconcentraties. Dit komt doordat de evenwichtsconcentraties op basis van het gehele jaar worden afgeleid en pakket L enkel in de zomer effectief is.

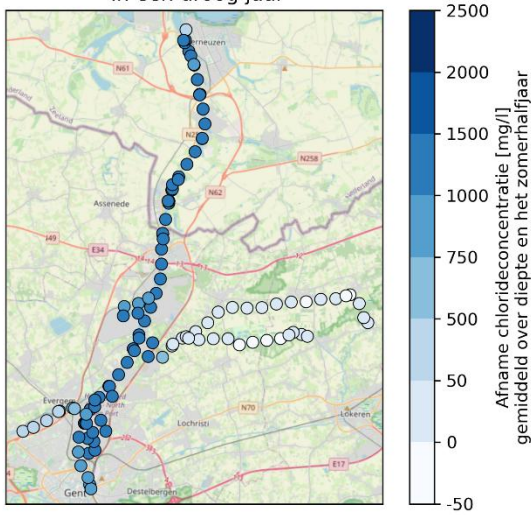


Figuur 16: Relatie tussen kantelpunten bovenafvoer (Evergem) en dieptegemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS, voor de referentiesituatie en pakketten E, K en L. Bepaalt aan de hand van de 14-daagse gemiddelde resultaten van alle drie afvoerscenario's. N.B. voor beter onderscheid tussen de paarse en blauwe lijnen (E en K) heeft de paarse lijn een andere lijnstijl.

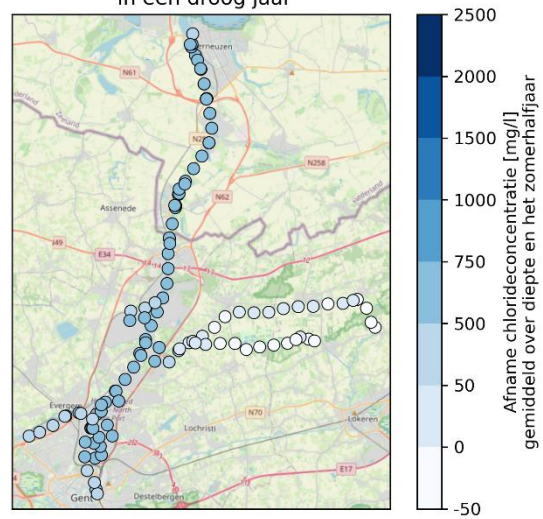
Ruimtelijke effecten effectiefste pakket

Voor pakketten K en L toont Figuur 17 de ruimtelijke spreiding van de afname van de chlorideconcentraties. Het gaat om de diepte- en zomergemiddelde concentraties. De afname is voor het gehele KGT van dezelfde orde grootte, de absolute reductie in chlorideconcentratie bij de sluizen is vergelijkbaar met die in de dokken van Gent. Voor pakket K is de reductie 1000-1500 mg/l en voor pakket L 500-750 mg/l. Pakket E zorgt voor een reductie van 1400-1500 mg/l en is daarmee iets effectiever dan pakket K.

Afname chlorideconcentratie door pakket K
in een droog jaar



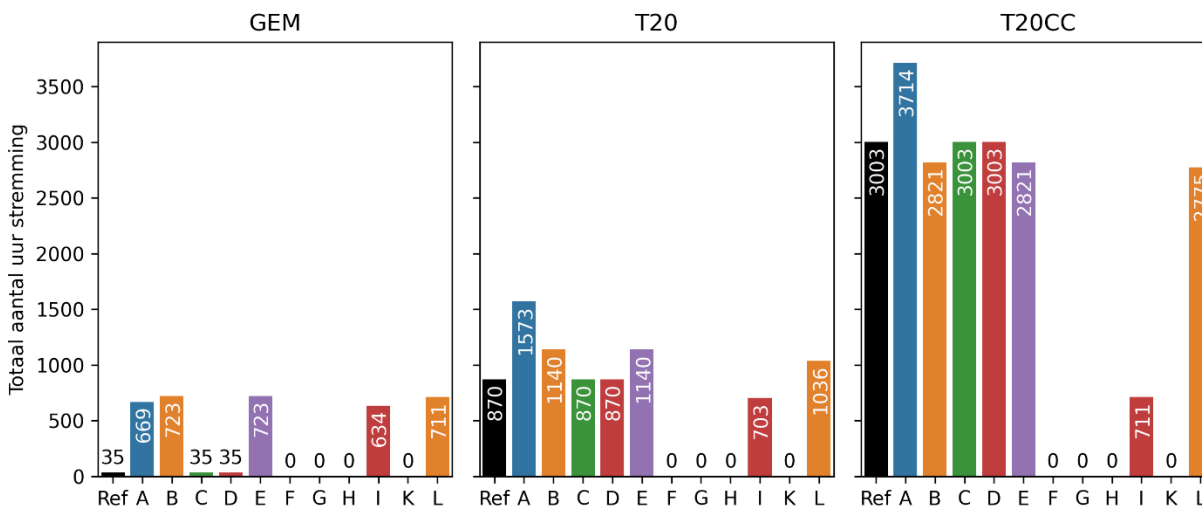
Afname chlorideconcentratie door pakket L
in een droog jaar



Figuur 17: Bovenaanzicht van Kanaal Gent Terneuzen met de afname in gemiddelde chlorideconcentraties over het zomerhalfjaar door maatregelen pakket K (links) en pakket L (rechts) voor een droog jaar (T20). N.B. Zoals eerder vermeld de zijwaterlopen Moervaart en Zuidlede zijn wel gesimuleerd, maar niet gevalideerd. De resultaten op de zijwaterlopen zijn daarom niet betrouwbaar.

4.3 Resultaten – sluisbeschikbaarheid

Deze paragraaf beschrijft de verzamelde resultaten met betrekking tot sluisbeschikbaarheid voor alle maatregelpakketten en de drie afvoerscenario's. De kentallen voor sluisbeschikbaarheid zijn het totaal aantal uren stremming door droogte gedurende het jaar (Figuur 18) en de gemiddelde wachttijd per schip (Figuur 19).



Figuur 18: Totaal aantal stremuren per scenario en maatregelpakket.

In de referentiesituatie zijn de stremmingen:

- 35 uur in een gemiddeld jaar (GEM)
- 870 uur in een droog jaar (T20)
- 3003 uur in een droog jaar met klimaatverandering (T20CC).

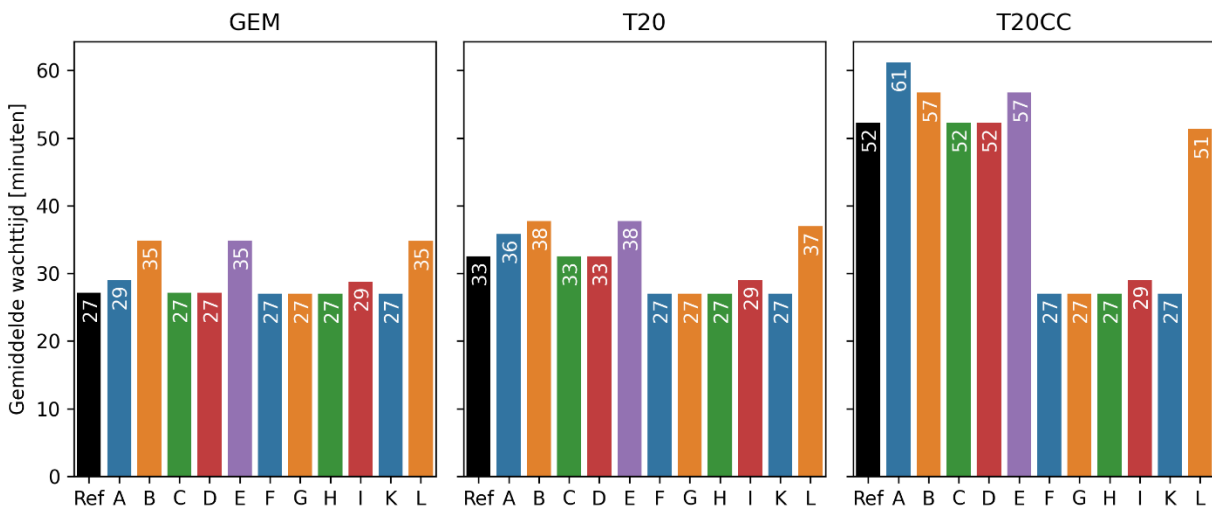
Tabel 5 toont de detaillering van de stremmingen per afvoerscenario. Het aantal stremuren per getij wordt vermenigvuldigd met het aantal getijcycli per dag (ca. 1,93) en het aantal dagen dat de stremming voorkomt. Dit geeft voor scenario GEM 35 uur.

Aantal uren stremmen NST, OS, WS (per getij)	Aantal dagen bij GEM	Aantal dagen bij T20	Aantal dagen bij T20CC
0, 0, 0	178	112	16
2, 0, 0	3	15	15
4, 0, 0	3	21	27
6, 0, 0	0	7	33
8, 0, 0	0	15	15
8, 4, 0	0	15	39
8, 6, 0	0	0	15
8, 8, 0	0	0	15
8, 8, 4	0	0	9

Tabel 5: Gehanteerde stremscenari's met het aantal uren stremmen per sluis per getijcyclus en het aantal dagen dat dit stremscenario voorkomt in het zomerhalfjaar voor elk scenario.

Figuur 18 leidt tot de volgende effecten op sluisstremmingen:

- Maatregelpakketten F, G, H en K voorkomen alle stremmingen. Dit zijn de maatregelpakketten waarin water vanuit de buitenhaven naar het KGT wordt gepompt.
 - De gemiddelde wachttijd van deze pakketten is de minimale gemiddelde wachttijd: 27 minuten (Figuur 19).
- Maatregelpakketten A, B, E, I en L leiden tot een toename van het aantal stremuren in een gemiddeld jaar. Dit komt door de operationele maatregelen die ingrijpen op de schuttingen; stremmen op zout en/of geclusterd schutten.
 - Ook de wachttijden nemen toe in deze scenario's
- Pakket I verlaagt het aantal stremuren in T20 en T20CC, dit komt door de combinatie van pompen en stremmen op zout. Het aantal sluisstremmingen door stremmen op zout is lager dan het aantal sluisstremmingen vanwege peilbeheer in de referentiesituatie.
- Pakketten C en D tonen dezelfde sluisbeschikbaarheid als de referentie. Deze pakketten bevatten enkel constructieve maatregelen tegen verzilting die geen invloed hebben op de sluisbeschikbaarheid.



Figuur 19: Gemiddelde wachttijd in minuten per scenario en maatregelpakket. De minimum wachttijd bedraagt 27 minuten.

4.4 Samenvatting resultaten

4.4.1 Chlorideconcentratie en sluisstremmingen

Deze paragraaf presenteert het totaaloverzicht van de resultaten van de modellering van de maatregelpakketten. Deze resultaten vormen de basis voor de beoordeling van de maatregelpakketten in de andere deelrapporten van dit project.

Tabel 6 vat de resultaten voor chlorideconcentraties bij KGTS en Sluisbeschikbaarheid. Te zien is dat pakket E het meest effectief is tegen verzilting en pakketten F, G, H en K het meest effectief tegen sluisstremmingen. Pakket K is het enige pakket dat zowel een reductie in stremmingsuren als in zoutconcentraties geeft.

Naam	Chlorideconcentratie (mg/l, 1,8 m onder wateroppervlak) Sas van Gent			Percentuele verandering chlorideconcentratie KGTS			Verandering aantal uur stremming		
	GEM	T20	T20C C	GEM	T20	T20C C	GE M	T20	T20C C
Autonome ontwikkeling	3500	5800	6500	0%	0%	0%	50	850	3000
A Operationeel verzilting bestrijden	-250	-250	-200	-10%	-5%	-5%	650	700	700
B Operationeel verzilting bestrijden +	-450	-500	-200	-15%	-5%	-5%	700	250	-200
C Verzilting bestrijden constructief – light	-500	-500	-350	-15%	-10%	-5%	0	0	0
D Verzilting bestrijden constructief +	-1050	-1150	-950	-30%	-20%	-15%	0	0	0
E Verzilting bestrijden – combinatie B & D	-1400	-1550	-1250	-40%	-25%	-20%	700	250	-200
F Pompen vanuit buitenhaven	0	100	400	0%	0%	5%	-50	-850	-3000
G Pompen vanuit buitenhaven + omloopriolen	-50	50	350	-0%	0%	5%	-50	-850	-3000
H Pompen vanuit buitenhaven + omloopriolen + zoutvang klein	-100	50	300	-5%	0%	5%	-50	-850	-3000
I Pompen vanuit buitenhaven met stremmen op zout (120 min)	-200	-150	200	-5%	-0%	5%	600	-150	-2300
K Alles uit de kast (constructief)	-1100	-1100	-600	-30%	-20%	-10%	-50	-850	-3000
L Alles uit de kast (operationeel)	-550	-500	-350	-15%	-10%	-5%	700	150	-250

Tabel 6: Effecten op chlorideconcentraties en stremuren (afgerond op 50-tallen). Percentuele veranderingen zijn afgerond op 5%.

4.4.2 Overige kentallen

Naast de sluisstremmingen en de chlorideconcentraties bij KGTS zijn meerdere kentallen belangrijk voor de beoordeling van maatregelpakketten:

- **Zoute dagen in Vlaamse deel van het KGT** – dit kental wordt gebruikt voor de effectbeoordeling van maatregelpakketten op bedrijven die proceswater uit het KGT onttrekken
- **Stremmingen in de droogste week van het jaar** – dit kental wordt gebruikt voor de effectbeoordeling van maatregelpakketten op bedrijven die afhankelijk zijn van continue leveringen van grondstoffen via het KGT
- **Chlorideconcentratie bij de monding van de Moervaart**– dit kental wordt gebruikt voor de effectbeoordeling van maatregelpakketten op de zijwaterlopen van het KGT.

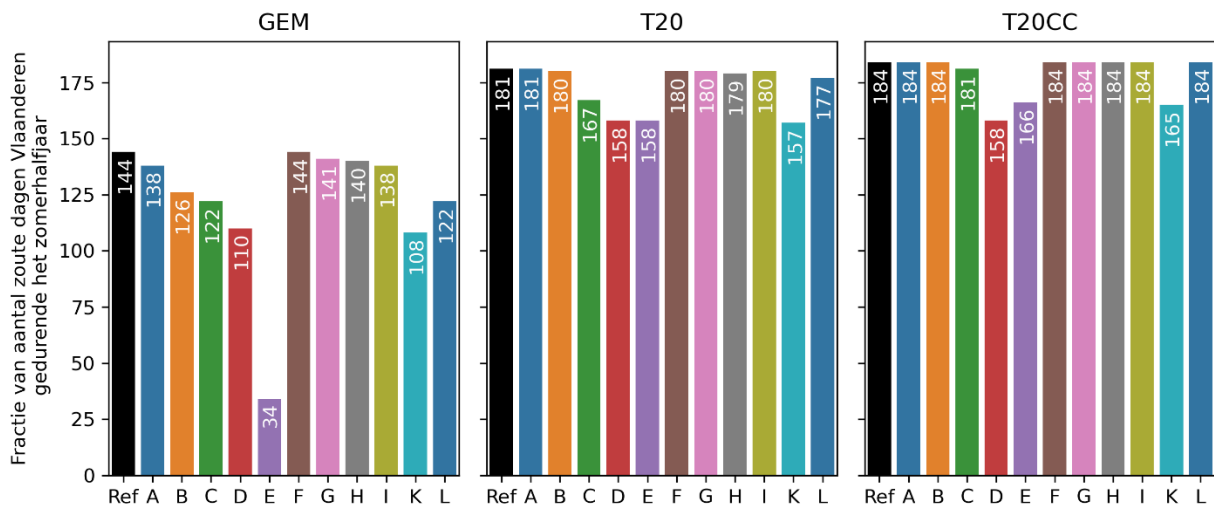
Zoute dagen in Vlaamse deel van het KGT

Figuur 20 toont het aantal zoute dagen in het Vlaamse deel van het KGT. Dit is het aantal dagen in het zomerhalfjaar waarin de chlorideconcentratie daggemiddeld hoger ligt dan 3000 mg/l. Deze getallen dienen als basis voor de beoordeling van de *impact op bedrijven – verzilting* in deelrapportage: *beoordeling maatregelpakketten*.

De referentiesituatie geeft (het zomerhalfjaar is 184 dagen lang):

- Gemiddeld jaar: 144 zoute dagen
- Droog jaar: 181 dagen
- Droog jaar met klimaatverandering: 184 dagen

In een gemiddeld jaar zorgen de meeste pakketten nog voor een afname in aantal zoute dagen, vooral pakket E zorgt voor een sterke afname. Dit komt doordat pakket E zowel de chlorideconcentratie aan het begin van het zomerhalfjaar sterk verlaagt als de verzilting gedurende het zomerhalfjaar. Tijdens een droog jaar (met klimaatverandering) is het zoutgehalte echter al dusdanig hoog in de referentiesituatie dat de maatregelpakketten het totaal aantal zoute dagen niet sterk doet afnemen.



Figuur 20: Het aantal zoute dagen in Vlaanderen gedurende een zomerhalfjaar per scenario en maatregelpakket.

Stremmingen in de droogste week van het jaar

Tabel 7 toont de stremmingen in de droogste week van het jaar. Dit is het totaal aantal uren stremming van de drie sluizen in de week van het jaar met de laagste bovenafvoer. Dit representeert dus de week waarin de bereikbaarheid van het KGT het slechtst is. Deze getallen dienen als basis voor de beoordeling van de *impact op bedrijven – sluisbeschikbaarheid* in deelrapportage: *beoordeling maatregelenpakketten*.

De referentiesituatie geeft (maximaal 504 uren per week):

- Gemiddeld jaar: 35 uur
- Droog jaar: 151 uur
- Droog jaar met klimaatverandering: 240 uur

In een gemiddeld jaar:

- zorgen de pakketten met operationele maatregelen tegen verzilting voor een toename van de stremmingsuren (A, B en E).
- Zorgen pakketten waarin gepompt wordt voor volledige sluisbeschikbaarheid (F, G, H en K)
 - Uitzondering hierop zijn pakketten I en L omdat hier naast pompen ook stremmen op zout wordt toegepast, dit zorgt netto voor een reductie in stremmingen.

De effecten in T20 en T20CC zijn vergelijkbaar met het gemiddelde jaar. Enkel pakket B in een droog jaar is een uitzondering, dit resulteert in een reductie van stremmingsuren. Een verklaring hiervoor is dat de stremmingen en schuttingen zorgen dat stremmen voor peilbeheer vervalt.

Pakket	Aantal uren stremming in droogste week			Verandering (uren)			Verandering (%)		
	GEM	T20	T20CC	GEM	T20	T20CC	GEM	T20	T20CC
REF	35	151	240	0	0	0	0%	0%	0%
A	62	178	267	27	27	27	77%	18%	11%
B	39	104	247	4	-47	7	10%	-31%	3%
C	35	151	240	0	0	0	-1%	0%	0%
D	35	151	240	0	0	0	-1%	0%	0%
E	39	104	247	4	-47	7	10%	-31%	3%
F	0	0	0	-35	-151	-240	-100%	-100%	-100%
G	0	0	0	-35	-151	-240	-100%	-100%	-100%
H	0	0	0	-35	-151	-240	-100%	-100%	-100%
I	27	27	27	-8	-124	-213	-23%	-82%	-89%
K	0	0	0	-35	-151	-240	-100%	-100%	-100%
L	27	108	247	-8	-43	7	-23%	-28%	3%

Tabel 7 Stremmingen in de droogste week van het jaar

Chlorideconcentraties bij de monding van de Moervaart

De beoordeling van de ecologische effecten op de zijwaterlopen maakt gebruik van de verandering van de chlorideconcentraties op het KGT. De zijwaterlopen worden beoordeeld op basis van het 90^e percentiel van de chlorideconcentratie, zie ook nota *autonome ontwikkeling*.

Tabel 8 toont deze 90^e percentielen van de chlorideconcentraties.

De referentiesituatie geeft:

- Gemiddeld jaar: 6050 mg/l
- Droog jaar: 8600 mg/l
- Droog jaar met klimaatverandering: 9450 mg/l

De veranderingen in chlorideconcentraties bij de monding van de Moervaart volgen dezelfde trends als die voor KGTS. De waardes liggen hoger omdat hier wordt gekeken naar het 90^e percentiel in plaats van naar het zomergemiddelde.

Pakket	Chlorideconcentratie monding Moervaart (90 ^e percentiel, mg/l)			Verandering (mg/l)			Verandering (%)		
	GEM	T20	T20CC	GEM	T20	T20CC	GEM	T20	T20CC
REF	6050	8600	9450	0	0	0	0%	0%	0%
A	5650	8300	9050	-400	-300	-400	-7%	-3%	-4%
B	5350	8150	9050	-700	-450	-400	-12%	-5%	-4%
C	5500	8150	9150	-550	-450	-300	-9%	-5%	-3%
D	4750	7550	7550	-1300	-1050	-1900	-21%	-12%	-20%
E	4000	7050	8200	-2050	-1550	-1250	-34%	-18%	-13%
F	6100	8850	10150	50	250	700	1%	3%	7%
G	6050	8750	10050	0	150	600	0%	2%	6%
H	6050	8750	10050	0	150	600	0%	2%	6%
I	5650	8450	9700	-400	-150	250	-7%	-2%	3%
K	4800	7800	9300	-1250	-800	-150	-21%	-9%	-2%
L	5200	8050	8900	-850	-550	-550	-14%	-6%	-6%

Tabel 8 90^e percentiel van de chlorideconcentratie bij de monding van de Moervaart

5 Referenties

Deltares (2020)

Ontwikkeling zesde generatie 3D Noordzeekanaal Amsterdam-Rijnkanaal model: Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11205258-011-ZWS-0004, Wilbert Verbruggen en Jos van der Baan, 17 december 2020.

Deltares (2023a)

Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO: Generieke technische en functionele specificaties (v1-2023). Deltares rapport 11208053-012-ZWS-0024, Tony Minns, Aukje Spruyt en David Kerkhoven, 22 december 2022.

Deltares (2023b)

Memo procedure clipcontour: conceptmemo. Deltares, Ton Visser, 7 juni 2023.

Van Denderen et al., 2024

Ontwikkeling 3D-model Kanaal Gent-Terneuzen – Modelopzet, kalibratie en validatie. Pepijn van Denderen, Jan-Willem van Lente, Paula Lambregts en Vincent Vuik. HKV-rapport PR4728.20. juni 2024. In opdracht van de VNSC contractnr. 31187756.

Van de Haterd en Schürmann, 2024

Effecten maatregelpakketten KGT op ecologie. Rob van de Haterd en Quirijn Schürmann. Waardenbrug Ecology notitie 19-0354/RobHa/. 12 december 2024 (CONCEPT)

Koevoets en Elzinga, 2023

Effect sluisstremmingen sluizencomplex Terneuzen. Igor Koevoets & Louwrens Elzinga. Rapport Witteveen+Bos 133870/23-003.446. 27 februari 2023.

Lambregts en Daggenvoorde, 2024

Memo: Vastleggen Maatregelpakketten KGT. HKV-MEMO pr4728.40. 10 oktober 2024

Lambregts en Vuik, 2024

Memo: Nader onderzoek zoutlast sluizen Terneuzen. HKV-MEMO pr4728.33. 29 maart 2024

Van Lente en Vieira da Silva (2023)

Metadata document Baseline-maatregel kg_uitb_a1. Auteurs: Jan-Willem van Lente en Joana Vieira da Silva. Door HKV in opdracht van Deltares. Referentie: PR5018.10

Schelde in Beeld, 2022

Impact van verzilting en verminderde bovenafvoer in en rond kanaal Gent-Terneuzen.

Schelde in Beeld, 2024a

Droogte en verzilting KGT – Overzicht van mogelijke maatregelen en maatregelpakketten. Vincent Vuik, Roy Daggenvoorde, Paula Lambregts, Silvy Thant, Marc Vantorre, Siebe Dorrepaal, Jan-Bert de Hoop, Helga van der Jagt, Peter Goethals. HKV-projectnummer 4827.30, VNSC Zaaknummer 31186430. 19 januari 2024

Schelde in Beeld, 2024b

Startnotitie NOK KGT-07; Referentiesituatie, uitgangspunten en randvoorwaarden. Raamovereenkomst zaaknummer 31151860. Onderzoek en Monitoring VNSC: Data-analyse en data-modelleringsdiensten (perceel 2). 4 juni 2024.

Schelde in Beeld, 2025a

Syntheserapport droogte KGT – Van autonome ontwikkelingen tot een voorkeursperspectief voor het Kanaal Gent-Terneuzen. NOK KGT-07 – Roy Daggenvoorde, Jan-Willem van Lente, Rutger Siemes, Silvy Thant, Marc Vantorre, Siebe Dorrepaal, Jan-Bert de Hoop, Helga van der Jagt, Peter Goethals. HKV-projectnummer 4827.40, VNSC Zaaknummer 31186430. Oktober 2025

Schelde in Beeld, 2025b

Rapport autonome ontwikkeling – Technische rapportage Maatregelpakketten NOK KGT-07 – Roy Daggenvoorde, Jan-Willem van Lente, Rutger Siemes, Silvy Thant, Marc Vantorre, Siebe Dorrepaal, Jan-Bert de Hoop, Helga van der Jagt, Peter Goethals. HKV-projectnummer 4827.40, VNSC Zaaknummer 31186430. Oktober 2025

Vreeken en Weiler (2021)

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

Vuik en Lambregts, 2023

Verzilting Kanaal Gent-Terneuzen - Rapportage oppervlaktewatermodellering. Vincent Vuik en Paula Lambregts. HKV-rapport pr4728.10. 13 februari 2023

Witteveen+Bos, 2023

Effect sluisstremmingen sluizencomplex Terneuzen. Auteurs: I. Koevoets, L. de Boom, en L. Elzinga. In opdracht van de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie. Referentie: 133870/23-003.446

6 Bijlage

A Overzichtstabel maatregelpakketten

Tabel 9: Overzicht maatregelpakketten. Elke maatregel is genummerd [#], aan deze nummers wordt gerefereerd in dit rapport en in voorgaande rapporten.

	Pakket	Maatregelen
A	Operationeel verzilting bestrijden	Stremmen op zout [19b]
B	Operationeel verzilting bestrijden - intensief	Stremmen op zout [19ab] Geclusterd schutten [6b]
C	Verzilting bestrijden constructief	Bellenscherm Nieuwe Sluis [16b]
D	Verzilting bestrijden constructief - intensief	Bellenscherm Nieuwe Sluis [16b] Drempel NST [13] Bellenscherm Westsluis [16a] Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [18] Tijdelijke drempel Westsluis [15a] Diepstekende drijframes [20]
E	Verzilting bestrijden operationeel en constructief	Pakket B + D
F	Pompen vanuit buitenhaven	Pompen van buitenhaven naar KGT [10]
G	Pompen vanuit buitenhaven + omloopriolen	Pompen van buitenhaven naar KGT [10] Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [18]
H	Pompen vanuit buitenhaven + omloopriolen + zoutvang klein	Pompen van buitenhaven naar KGT [10] Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [18] Uitbreiden zoutvang [21a]
I	Pompen vanuit buitenhaven met stremmen op zout (120 minuten)	Pompen van buitenhaven naar KGT [10] Stremmen op zout [19b]
J	Autonome ontwikkeling	- Geen maatregelen
K	Alles uit de kast (constructief)	Bellenscherm Nieuwe Sluis [16b] Drempel NST [13] Zoutvang verbreden en verlengen tot Massagoedhaven [21b] Bellenscherm Westsluis [16a] Aansluiten omloopriolen op de zoutvang [18]

		Tijdelijke drempel Westsluis [15a] Diepstekende drijframes [20] Pompen vanuit de buitenhaven [10]
L	Alles uit de kast (operatie- neel)	Stremmen op zout [19b] Geclusterd schutten [6b] Bellenscherm Westsluis [16a] Bufferen 20cm [1b]

Tabel 10: Matrix met de maatregelen (blauw gearceerd) die zijn opgenomen per pakket. In dit rapport wordt net als in voorgaande rapporten aan deze maatregelnummers gerefereerd.

		Maatregelen											
		1	6	10	13	15	16a	16b	18	19	20	21a	21b
Pakket	A												
	B												
	C												
	D												
	E												
	F												
	G												
	H												
	I												
	J												
	K												
	L												

B Bellenschermen in de ZSF

In de ZSF zijn bellenschermen geïmplementeerd door middel van een factor die de dichtheidsgedreven stroming in de sluis kolk vertraagt (F_d). Hierdoor neemt de menging van de kolk af. De vertraging wordt beschreven met de volgende formule:

$$V_U = V_L \tanh\left(\frac{F_d \times T_{open}}{T_{LE}}\right)$$

Hierbij is T_{open} de deur-open-tijd, T_{LE} is de duur waarin de dichtheidsgedreven golf één keer door de kolk op en neer beweegt, V_L is het volume van de sluis en V_U is het uitwisselingsvolume door de dichtheidsgedreven stroming.

De vertragingsfactor F_d verlaagt de waarde binnen de tangens hyperbolicus waardoor het uitwisselingsvolume door de dichtheidsgedreven golf (V_U) afneemt. Op deze manier zorgt een bellenscherm in de ZSF voor een afname in zouttransport richting het kanaal.

C Effecten individuele maatregelen

Tabel 11 toont de effecten van individuele maatregelen. Maatregelen zijn met de ZSF of het 3D-model doorgerekend als dit mogelijk is (de meeste maatregelen). Voor maatregelen op de zijwaterlopen of maatregelen die neveneffecten tegengaan (bijvoorbeeld tegengaan corrosie [28]) kunnen niet worden doorgerekend met het basismodel. Hierbij zijn schattingen gemaakt of is beredeneerd dat maatregelen geen effect hebben.

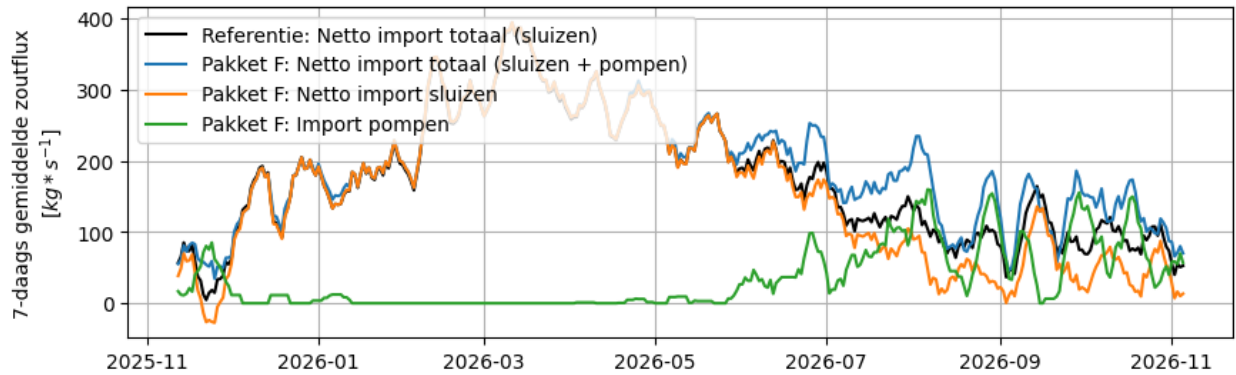
De maatregelpakketten zijn allen later doorgerekend, hierbij zijn de inzichten van het rekenwerk op maatregelniveau meegenomen. Hierdoor kan het zo zijn dat de effecten in onderstaande tabel niet overeen komen met effecten genoemd in het hoofdrapport.

Nummer	Maatregel	Totaal aantal uur stremming (T20)	%verandering KGTS (GEM)	Toelichting
1a	Bufferen op het KGT en zijrivieren, streefpeil + 10 cm	730	0%	
1b	Bufferen op het KGT en zijrivieren, streefpeil + 20 cm	661	1%	
2	Zomerspoelingen - vervalt, te weinig water beschikbaar in droge zomers voor een betrouwbare zomerspoeling. Niet geschikt als structurele maatregel			
3	Extra kwelsloten langs het KGT	870	0%	
4	Optimaliseren sluisstremmingen	870	-5%	
5	Uitzakken kanaalpeil	603	0%	
6a	Optimaliseren geclusterd schutten (10% minder schuttingen)	783	-13%	
6b	Optimaliseren geclusterd schutten (10% minder schuttingen)	696	-27%	
7	BOS - vervalt, is al in ontwikkeling, onderdeel van de autonome situatie			
8a	Nivelleerwater terugpompen naar KGT (max pompcapaciteit (10 m ³ /s)	557	3%	
8b	Nivelleerwater terugpompen naar KGT (max pompcapaciteit (90 m ³ /s)	0	14%	
9a	Nivelleren met water uit buitenhaven (max pompcapaciteit (10 m ³ /s)	557	1%	
9b	Nivelleren met water uit buitenhaven (max pompcapaciteit (90 m ³ /s)	0	14%	
10	Water oppompen uit de buitenhaven (max pompcapaciteit (10 m ³ /s)	0	2%	
11	Nivelleerbekken met pompen (max pompcapaciteit (10 m ³ /s)	0	0%	
12	Schepen op het KGT lichter en - vervalt vanwege beperkte effectiviteit en vereiste van maatregel (21b)			
13	Verhoogde zoutdrempel NST	870	-11%	
14	Verstelbare zoutdrempel NST	945	-11%	
15a	Tijdelijke zoutdrempel Westsluis 6,25m omhoog	870	-13%	
15b	Tijdelijke zoutdrempel Westsluis 9,6m omhoog	870	-22%	
16a	Luchtbellenschermen Westsluis	870	-15%	

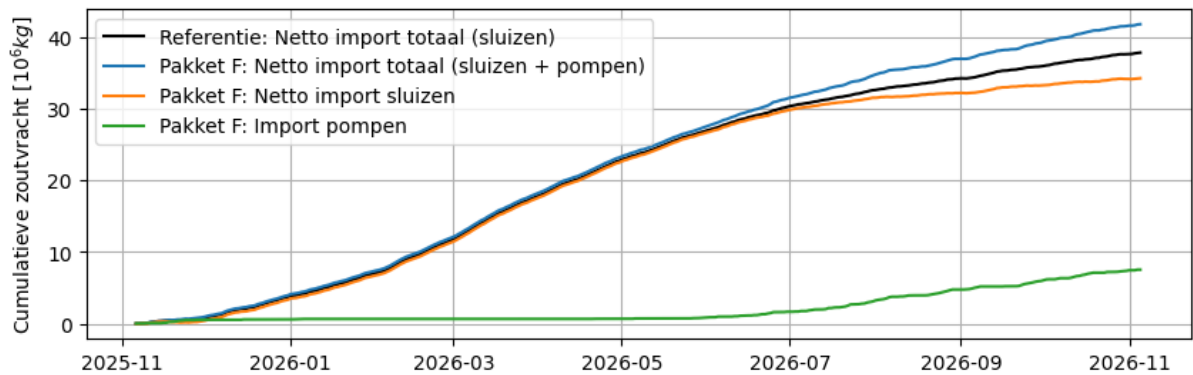
16b	Luchtbellenschermen NST	870	-50%	
16c	Luchtbellenschermen Oostsluis	870	-8%	
17	Verkorten deuropentijden	870	-6%	
18	Omloopriolen NST aansluiten op zoutvang	870	-3%	
19a	Stremmen op zout (60 minuten rondom hoogwater)	1403	-13%	
19b	Stremmen op zout (120 minuten rondom hoogwater)	1936	-20%	
20	Diepstekende drijfrahmen in de sluiscolk	870	-2%	
21a	Zoutvang Westsluis verbreden tot NST	870	0%	
21b	Zoutvang verbreden en verlengen totaal de Massagoedhaven	870	1%	verhoging doordat zout zich verder van de sluis af verzameld
22a	Retentiegebieden in Moervaartvallei (huidige plan)	826	0%	
22b	Retentiegebieden in Moervaartvallei (huidige plan + max oppervlak natte natuur)	783	-5%	Schatting, niet doorgerekend
23a	Stuw in de Moervaart bij Mendonk (stuw + vistrap)	870	0%	
23b	Stuw in de Moervaart bij Mendonk (stuw + vistrap + sluis)	870	0%	
24a	Stuw Zuidlede (stuw + vistrap)	870	0%	
24b	Stuw Zuidlede (stuw + vistrap + sluis)	870	0%	
25	Captatiebeperking Moervaart	783	-10%	Schatting, niet doorgerekend
26	Verplaatsen Spiedamgemaal in Avrijevaart:	870	0%	
27a	Bedrijven die capteren ondersteunen in aanpassing captatie (bekken met ontzilting)	870	0%	
27b	Bedrijven die capteren ondersteunen in aanpassing captatie (individuele aanpassingen per bedrijf)	870	0%	
28	Bescherming tegen corrosie	870	0%	

Tabel 11 Effecten van individuele maatregelen op sluisbeschikbaarheid en chlorideconcentratie bij KGTS. Deze resultaten zijn afkomstig van de verkennende berekeningen die zijn uitgevoerd op maatregelniveau.

D Invloed pompen op zoutvracht



Figuur 21: Gemiddelde netto zoutflux (import – export) gedurende afvoerscenario T20, voor het referentie scenario en pakket F (pompen), op basis van de resultaten van de ZSF. Voor Pakket F zijn ook de invloed van de sluizen en het pompen los getoond.



Figuur 22: Zoutvracht (import – export) gedurende afvoerscenario T20, voor het referentie scenario en pakket F (pompen), op basis van de resultaten van de ZSF. Voor Pakket F zijn ook de invloed van de sluizen en het pompen los getoond.