

# Autonome ontwikkeling KGT

Autonome ontwikkeling van sluisbeschikbaarheid en verzilting in het KGT

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**

30 september 2025

Voor de Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie:

DMOW	Laurens Hermans, Tineke Van de Walle
RWS Zee & Delta	Eric Van Zanten, Wouter Quist
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
Antea Group	Silvy Thant, Marc Vantorre, Jan-Bert de Hoop, Siebe Dorrepaal
Waardenburg Ecology	Helga van der Jagt, Rob van de Haterd
Universiteit Gent	Peter Goethals

# Samenvatting

## Kernboodschap

Met autonome ontwikkelingen in het Kanaal Gent-Terneuzen (KGT) nemen droogteproblemen toe. de beschikbaarheid van de sluisen (Westsluis (WS), Oostsluis (OS) en Nieuwe Sluis Terneuzen (NST)) neemt af en verzilting van het kanaal en zijwaterlopen nemen toe. De autonome ontwikkeling bestaat uit:

- **Klimaatverandering:** bovenstroomse afvoer neemt af, met mogelijk tot 40% minder afvoer in droge zomers.
- **Scheepvaartontwikkeling:** het aantal scheepspassages stijgt met 10%, tot 64.000 per jaar.
- **Nieuwe Sluis Terneuzen (NST):** door de grotere kolk neemt het schutverlies en het transport van zout naar het kanaal toe.

We vergelijken de autonome ontwikkeling met de "huidige" situatie. Dit is de situatie met de voormalige Middensluis, hiervoor zijn metingen beschikbaar.

## Doorwerking op sluisstremmingen

Door de lagere bovenafvoer (klimaatverandering) en de toename van het schutverlies (scheepvaartontwikkeling en grotere sluisolk) zijn vaker stremmingen nodig om het kanaalpeil te handhaven.

- In een gemiddeld jaar komt dit uit op enkele uren stremming per zomer.
- In droge jaren loopt dit op tot meer dan **800 uur**, oftewel **7% van de totale tijd**.
- Met klimaatverandering kan dit in droge zomers stijgen tot **23%**, waarbij de NST **zelfs 47% van de tijd** gestremd is.

Scenario	Huidige stremmingsuren	Toekomstige stremmingsuren	Toename stremmingsuren	% toename
Gemiddeld jaar	0	35	35	n.b.
Droog jaar	294	870	486	127%
Droog jaar met klimaatverandering	onbekend	3003	-	n.b.

Tabel 1 Sluisbeschikbaarheid (stremmingsuren) voor elk scenario.

## Effect op verzilting in het kanaal (meetpunt Sas van Gent: KGTS)

Bij autonome ontwikkelingen zullen de chlorideconcentraties in het gehele kanaal stijgen. De focus ligt hier op meetpunt **KGTS** bij Sas van Gent (1,8 meter onder het wateroppervlak).

- In een gemiddeld jaar stijgt de chlorideconcentratie met **1.000–1.500 mg/l**.
- In droge jaren loopt dit op tot **1.500–2.000 mg/l**.
- In droge jaren met klimaatverandering kan het zomergemiddelde oplopen tot **6.500 mg/l**.

Scenario	KGTS huidig	KGTS toekomst	Toename	% toename
Gemiddeld jaar	2121	3505	1384	65%
Droog jaar	4057	5808	1751	43%
Droog jaar met klimaatverandering	-	6531	-	n.b.

Tabel 2 Verzilting (zomergemiddelde chlorideconcentraties) bij KGTS voor elk scenario.

### Effect op verzilting in zijwaterlopen

Het kanaal staat in open verbinding met meerdere zijwaterlopen, waardoor de stijgende chlorideconcentraties in het kanaal ook effect in de zijwaterlopen kunnen hebben. De analyse richt zich op de twee grootste zijwaterlopen, de Moervaart en de Zuidlede.

Er zijn geen specifieke modelresultaten beschikbaar voor deze waterlopen. Het 3D-model is hiervoor niet geschikt. Het D-Flow FM 3D-model is namelijk ontwikkeld, gekalibreerd en gevalideerd voor het berekenen van relatieve effecten van ingrepen/maatregelen op zout(indringing) in het kanaal. De verwachte impact is daarom gebaseerd op de concentratietoename bij de monding (de dichtstbijzijnde locatie in het kanaal).

- De KRW-toetsing vindt plaats op basis van het 90e percentiel (P90) van de chlorideconcentratie.
- De verwachte toename in de Moervaart bedraagt:
  - **11%** in een gemiddeld jaar.
  - **37%** in een droog jaar.
  - De toename in droge jaren met klimaatverandering is onbekend omdat hier geen referentiesituatie voor beschikbaar is.
- In de huidige situatie zijn de gemeten waarden op de Moervaart:
  - 216 mg/l in een gemiddeld jaar.
  - 2800 mg/l in een droog jaar.
- Na autonome ontwikkeling zijn de verwachte waarden in de Moervaart
  - 240 mg/l in een gemiddeld jaar (17% boven de norm).
  - 3836 mg/l in een droog jaar.

Scenario	Monding huidig	Monding toekomst	Toename	% toename
Gemiddeld jaar	5497	6077	580	11%
Droog jaar	6258	8593	2335	37%
Droog jaar met klimaatverandering	-	9409	-	n.b.

Tabel 3 Verzilting zijwaterlopen (mondig, P90) voor elk scenario.

# INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	5
1.1	Status en doel rapportage	5
1.2	Leeswijzer	6
2	Autonome ontwikkeling	7
2.1	Klimaatverandering	7
2.2	Scheepvaartontwikkeling	8
2.3	Nieuwe Sluis Terneuzen	9
3	Huidige situatie	10
3.1	Metingen	10
3.1.1	Sluisbeschikbaarheid	10
3.1.2	Verzilting	13
3.2	Modelberekeningen	17
3.2.1	Modelopzet	17
3.2.2	Sluisbeschikbaarheid	17
3.2.3	Verzilting	17
3.3	Samenvatting	18
4	Situatie na autonome ontwikkeling	19
4.1	Scenario's autonome ontwikkeling	19
4.1.1	Sluisbeschikbaarheid	20
4.1.2	Verzilting	21
4.2	Samenvatting	23
5	Conclusie	25
5.1	Effecten autonome ontwikkeling	25
5.2	Referentiesituatie na autonome ontwikkeling	25
6	Referenties	26

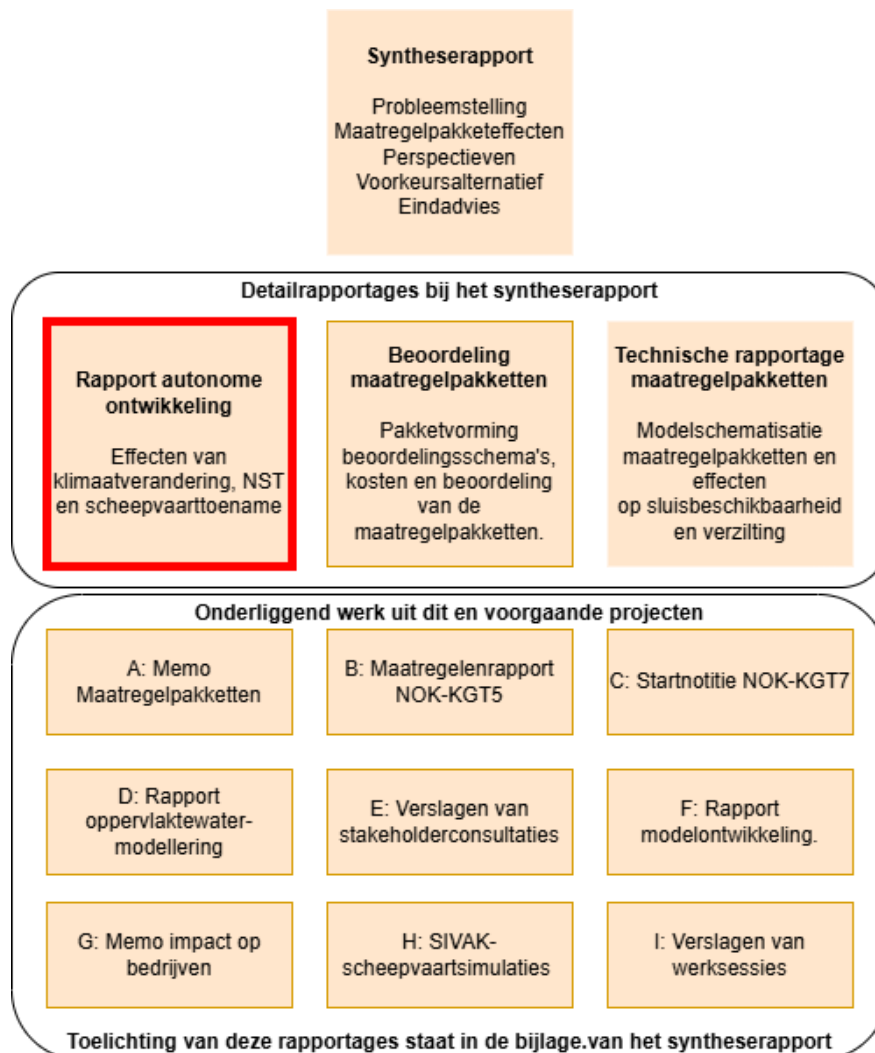
# 1 Inleiding

## 1.1 Status en doel rapportage

Dit memo vormt een onderdeel van de achtergrondrapportage bij het overkoepelende Syntheserapport "Oplossingsrichtingen KGT – Van maatregelpakketten naar oplossingsrichting", zoals weergegeven in Figuur 1. In dit memo wordt de **referentiesituatie** voor het KGT beschreven: de situatie ná autonome ontwikkeling.

Het doel van dit memorandum is dan ook:

*"Het vastleggen van de autonome ontwikkeling en de effecten daarvan op de sluisbeschikbaarheid en verzilting van het KGT."*



Figuur 1 Overzicht van de samenhang van het hoofdrapport en haar achtergrondrapportages.

## 1.2 Leeswijzer

De inhoud van dit memo is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 – Autonome ontwikkeling  
Beschrijving van de verwachte veranderingen in klimaat, scheepvaart en sluisencomplex.
- Hoofdstuk 3 – Huidige situatie: gemeten en gesimuleerd  
Overzicht van de actuele omstandigheden op basis van metingen en modelberekeningen.
- Hoofdstuk 4 – Situatie na autonome ontwikkeling: gesimuleerde effecten  
Weergave van de gevolgen van autonome ontwikkeling voor sluisbeschikbaarheid en verzilting.
- Hoofdstuk 5 – Conclusies  
Samenvatting van de effecten van de autonome ontwikkelingen op het kanaal en zijwaterlopen.

## 2 Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling van peilbeheer en verzilting zal in grote mate gestuurd worden door :

1. De verandering van de aanvoer naar het kanaal vanuit Vlaanderen door klimaatverandering
2. De veranderig is het aantal sluispassages door scheepvaartontwikkeling
3. Ingebruikname van de Nieuwe Sluis Terneuzen (NST)

### 2.1 Klimaatverandering

Klimaatverandering heeft een directe invloed op de waterbalans van het kanaal. De Leie en Boven-schelde zijn rivieren die hoofdzakelijk gevoed worden door regenwater, de verwachte veranderingen in regenval zullen dus direct een invloed hebben op de wateraanvoer vanuit Vlaanderen. Droge zomers worden door klimaatverandering nóg droger (intenser) en komen bovendien vaker voor (frequenter), dit leidt tot een verdere afname van de wateraanvoer richting het kanaal.

Hoe groot deze afname precies is, hangt af van de mate van klimaatverandering en is onzeker. Daarom is in dit project gewerkt met drietal scenario's, waarmee is onderzocht of maatregelen robuust zullen zijn onder zowel huidige als toekomstige omstandigheden:

1. **GEM** – Een gemiddeld jaar, gebaseerd op meetgegevens (2010 t/m 2021).
2. **T20** – Een droog jaar dat gemiddeld eens per 20 jaar voorkomt.
3. **T20CC** – Een droog jaar dat eens per 20 jaar voorkomt, inclusief klimaatverandering.

Het derde scenario (T20CC) bevat de extra effecten van klimaatverandering. Dit scenario is gebaseerd op T20, maar met extra reducties in de bovenstroomse aanvoer van zoetwater:

- 40% minder afvoer in de zomer
- 20% minder afvoer in de winter

De resulterende afvoerreeksen en gemiddelde zomer- en winterafvoeren staan in paragraaf 4.1.

Deze reducties zijn gebaseerd op twee bronnen:

- **Breugelmans et al. [2023]**: Deze studie van de KU Leuven gebruikt de Belgische klimaatsimulaties ("2100 midden" en "2100 hoog") en geeft aan dat de afvoer over het KGT met 40% kan afnemen in droge zomers.
- **Analyse Maasafvoeren bij Borgharen**: Gebaseerd op de KNMI'23-klimaatscenario's. Het scenario *2050Hd* (hoge CO<sub>2</sub>-uitstoot, droog klimaat) laat een afname zien van 23% in zomerafvoer en 11,4% in winterafvoer [Schelde in Beeld, 2024].

Voor de scenarioanalyse is uitgegaan van de **hoogste reductie in zomerafvoer** (40%), om de robuustheid van maatregelen te testen. De winterreductie is gesteld op de helft daarvan (20%), in lijn met de verhouding uit de Maasafvoeranalyse [Schelde in Beeld, 2024].

## 2.2 Scheepvaartontwikkeling

De verwachting is dat het scheepvaartverkeer door de sluisen bij Terneuzen de komende jaren zal toenemen. Dit komt onder andere door:

- De ingebruikname van de Nieuwe Sluis Terneuzen.
- Beleidsambities van Vlaanderen en Nederland om meer vervoer over water te stimuleren.
- De realisatie van de binnenvaartverbinding met Parijs (de Seine-Scheldeverbinding<sup>1</sup>).
- Algemene economische groei.
- Toename van activiteiten binnen de havengebieden van North Sea Port.

Deze ontwikkelingen zijn vertaald naar scheepvaartsimulaties met het simulatieprogramma SIVAK door Witteveen & Bos [2023], met de volgende kenmerken:

- De intensiteit van de binnenvaart neemt met 10% toe.
- De intensiteit van de zeevaart neemt eveneens met 10% toe, uitsluitend binnen de grootste scheepsklasse.
- De maximale scheepsafmetingen blijven gelijk aan de situatie in 2021.
- De vloot van overige schepen groeit niet.

Dit leidt tot een totale scheepvaartintensiteit van **64.000 schepen per jaar**, een stijging van 10% ten opzichte van circa 58.000 in 2021. In de studie van Witteveen & Bos [2023] is deze intensiteit niet gekoppeld aan een specifiek jaar (zichtjaar).

Deze prognose ligt aanzienlijk lager dan die uit de MER-studie [Marin, 2015], waarin het *Global Economy 2030-scenario (GE2030)* werd gehanteerd, GE2030 voorspelde grotere economische en scheepvaartgroei. GE2030 verwacht intensiteit van circa 86.000 schepen per jaar.

---

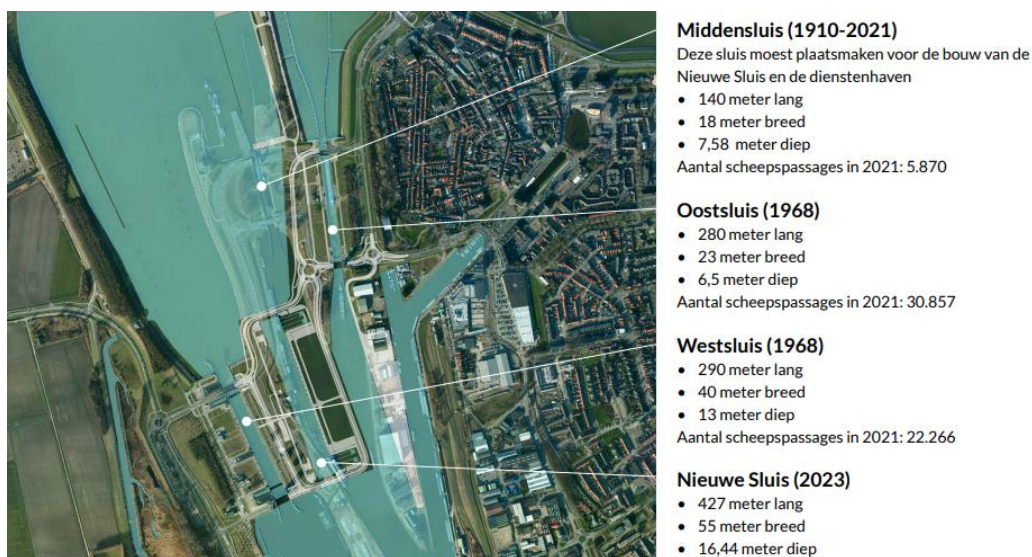
<sup>1</sup> <https://www.vlaamsewaterweg.be/nl/projecten-werven/seine-schelde-vlaanderen>

## 2.3 Nieuwe Sluis Terneuzen

Op 11 oktober 2024 is de Nieuwe Sluis Terneuzen officieel geopend door de koningen van België en Nederland. Vanaf 8 mei 2025 werd gestart met proefvaarten en in augustus 2025 is de sluis volledig in gebruik genomen. .

De NST vervangt de oude Middensluis en is aanzienlijk groter (zie Figuur 2). De kolk heeft een groter volume, wat gevolgen heeft voor de waterhuishouding van het kanaal:

- Per schutting stroomt meer water van het kanaal naar de Westerschelde.
- Tijdens het schutten stroomt meer zout water vanuit de Westerschelde richting het kanaal.



*Figuur 2 Bovenaanzicht van het vernieuwde sluisencomplex, inclusief afmetingen Nieuwe Sluis Terneuzen [Brochure Nieuwe Sluis Terneuzen, 2022]*

## 3 Huidige situatie

De huidige situatie van het Kanaal Gent-Terneuzen is zowel op basis van metingen als modelresultaten geanalyseerd. Eerst worden de metingen van de afgelopen jaren besproken, gevolgd door de modelmatige representatie van dezelfde situatie. De modelresultaten tonen vergelijkbare trends, maar met enkele afwijkingen. De modeluitkomsten zijn nodig om de autonome ontwikkeling te kunnen analyseren, omdat deze alleen via modelstudies inzichtelijk te maken is (o.a. door het effect van de Nieuwe Sluis Terneuzen).

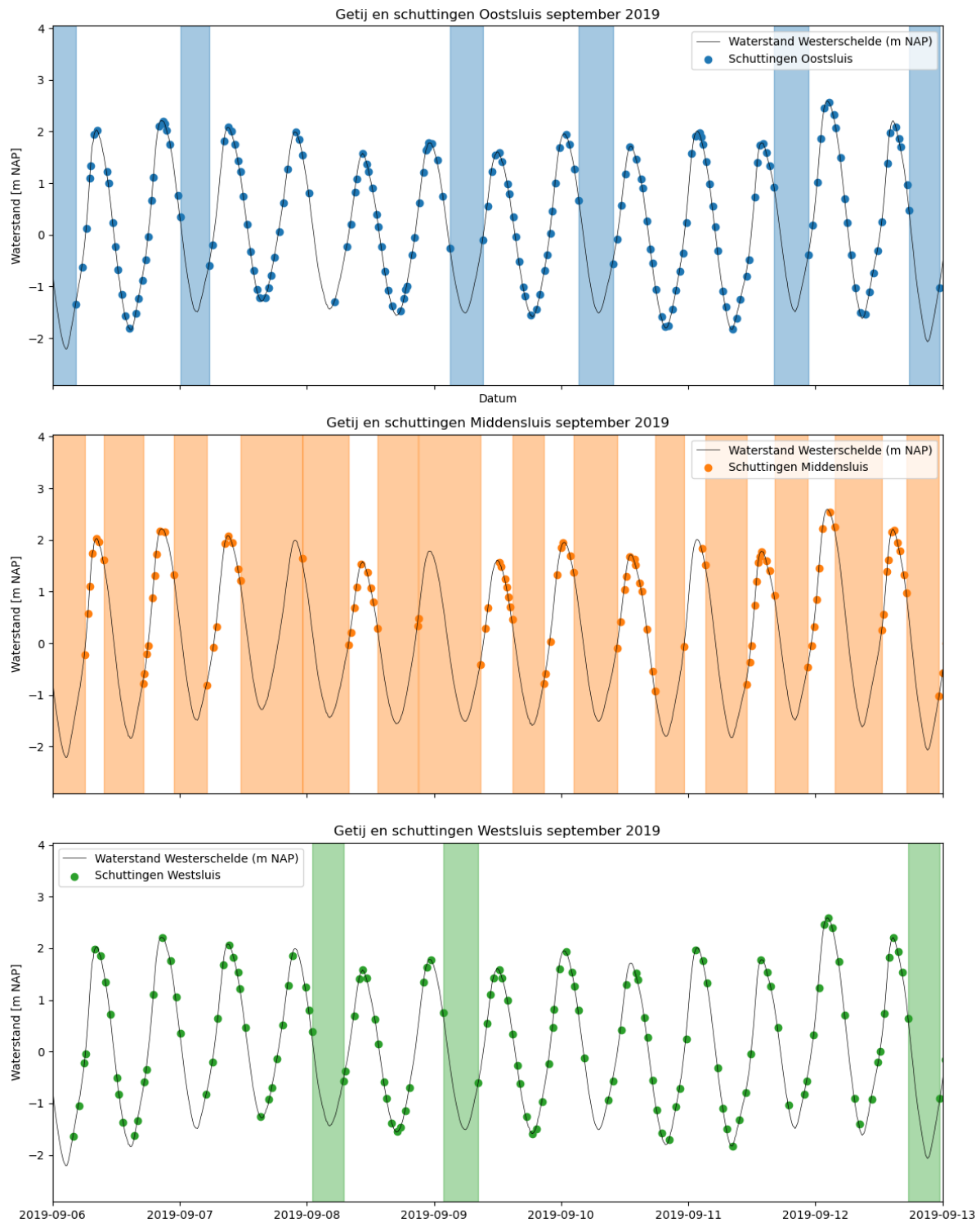
### 3.1 Metingen

#### 3.1.1 Sluisbeschikbaarheid

In droge zomers komen sluisstremmingen voor om het kanaalpeil te handhaven bij lage bovenstroomse wateraanvoer. Deze stremmingen vonden in de recente jaren plaats in 2019, 2022 en 2025. In andere jaren zijn geen stremmingen ten gevolge van een te laag kanaalpeil geregistreerd. Tabel 4 geeft een overzicht van de stremmingen. Stremmingen voor hoge afvoer of sluisonderhoud komen ook voor, maar dit is niet de focus van dit onderzoek.

Jaar	Stremmingsuren (alle sluizen tezamen)	Details stremmingen
2019	294	<p>Op basis van schutregistraties zijn onderstaande stremmingen vastgesteld. Van circa 6 uur – van 3 uur voor tot 3 uur na laagwater.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Westsluis: 9 stremmingen</li> <li>• Oostsluis: 40 stremmingen</li> </ul> <p>Voor de Middensluis zijn ook 153 stremmingen (918 uur) gevonden, maar deze zijn mogelijk onnauwkeurig geregistreerd en niet meegenomen in het totaal. De werkzaamheden aan de NST (en dus ook de voormalige Middensluis) zijn een mogelijke oorzaak voor deze onnauwkeurigheid.</p> <p>De stremmingen zelf zijn niet geregistreerd, ze zijn afgeleid uit de schutregistraties zoals te zien in Figuur 3. Iedere gearceerde periode van minimaal 6 uur zonder schuttingen valt samen met laagwater, en wordt geïnterpreteerd als een opgelegde stremming.</p>
2022	768	<p>Van 1 augustus t/m 7 september (37 dagen) gold er een schutbeperking voor de Oostsluis en Westsluis. Rond laagwater vonden stremmingen plaats van vier uur per laagwater (van 2 uur vóór tot 2 uur ná laagwater).</p> <p>Met twee laagwatermomenten per dag, komt dit neer op:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 uur × 2 laagwaters × 2 sluizen × 37 dagen = 592 uur</li> </ul> <p>Van 7 september t/m 29 september (22 dagen) is de schutbeperking versoepeld tot twee uur per laagwater (1 uur vóór en 1 uur ná). Dit resulteert in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 uur × 2 momenten × 2 sluizen × 22 dagen = 176 uur</li> </ul>

Tabel 4 Sluisstremmingen in de huidige situatie



Figuur 3 Stremmingen in de tweede week van september 2019 op basis van schutregistraties voor de Oostsluis (boven), Middensluis (midden) en Westsluis (onder). Ieder gearceerde deel is een periode van minimaal 6 uur waarin geen schutting heeft plaatsgevonden. Aangenomen is dat dit komt door opgelegde stremmingen. Deze periodes vallen, zoals verwacht, samen met laagwater.

### 3.1.2 Verzilting

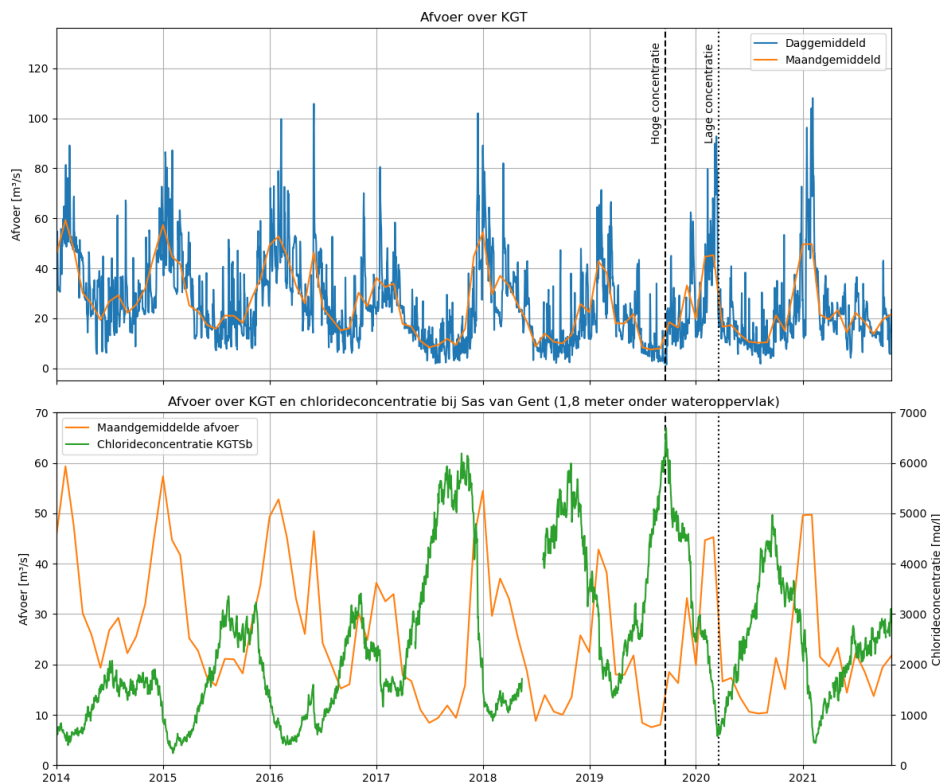
De chlorideconcentratie in het kanaal varieert sterk door het jaar heen. Tijdens hoge afvoeren (bijvoorbeeld in de winter) is het kanaalwater vrijwel zoet, terwijl tijdens droge zomers de zoutindringing in het kanaal toeneemt. Er zijn zowel **continue metingen** bij Sas van Gent en Sluiskil als **TSO-metingen**<sup>2</sup> op 11 locaties (zes keer per jaar).

De belangrijkste factoren die verzilting van het kanaal (en zijwaterlopen) beïnvloeden zijn:

- De hoeveelheid zoetwateraanvoer (voor het wegspoelen van zout).
- Het aantal schuttingen, waar zout door het schutdebiet en door dichtheidsstroming naar het kanaal wordt getransporteerd.
- Het volume van de schutting (de sluisafmetingen en het bijbehorend schutdebiet), dit bepaalt de hoeveelheid zoutwater per schutting richting het kanaal wordt getransporteerd.

### Kanaal

Figuur 4 toont de afvoer over het kanaal en de chlorideconcentratie bij meetpunt Sas van Gent<sup>3</sup>. Te zien is dat de chlorideconcentratie reageert op de afvoer. Neemt de afvoer af in de zomer dan neemt vervolgens de chlorideconcentratie toe. Zomers met gemiddeld lagere afvoeren resulteren in hogere chlorideconcentraties, zie Tabel 5.



Figuur 4 Afvoer over het KGT en chlorideconcentratie bij Sas van Gent 1,8 m onder het wateroppervlak. De verticale stippellijnen geven twee voorbeeldmomenten met hoge en lage chlorideconcentratie weer.

<sup>2</sup> <https://waterinfo-extra.rws.nl/@290359/tso-metingen-rijkswaterstaat/>

<sup>3</sup> Meetpunt KGTSb, het bovenste van twee meetpunten bij Sas van Gent. Ongeveer 1,8 meter onder het wateroppervlak.

Jaar	Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Chlorideconcentratie (mg/l)
2014	25,6	1443
2015	20,5	2010
2016	27,4	1277
2017	12,5	4057
2018	18,3	3379
2019	13,6	3602
2020	13,1	2819
2021	18,7	2121
2022	11,0	3454

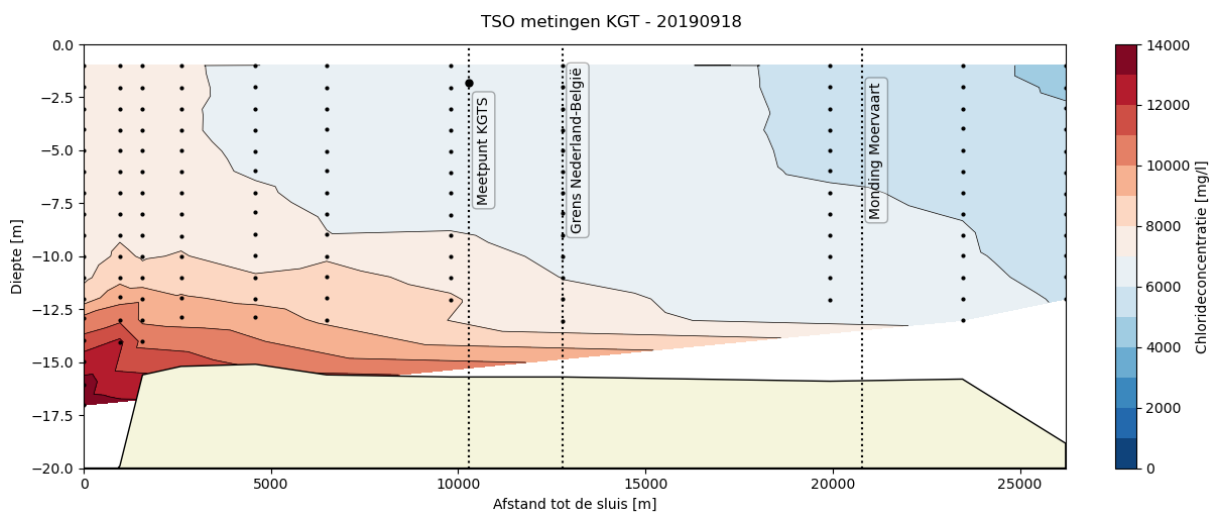
*Tabel 5 Seizoensgemiddelde waarden voor totale bovenafvoer (m<sup>3</sup>/s) en chlorideconcentratie (mg/l) op basis van metingen bij Sas van Gent, bovenste meetpunt op 1,8 meter onder het wateroppervlak, gemiddeld over de periode 1 april tot 1 oktober voor 2014-2022.*

Sas van Gent is één van de meetlocaties in het kanaal, en ligt halverwege het kanaal. Zout kan zich verspreiden door het gehele kanaal, waarbij het bij het sluisencomplex in Terneuzen het zoutst is en de zoutconcentratie afneemt in bovenstroomse richting.

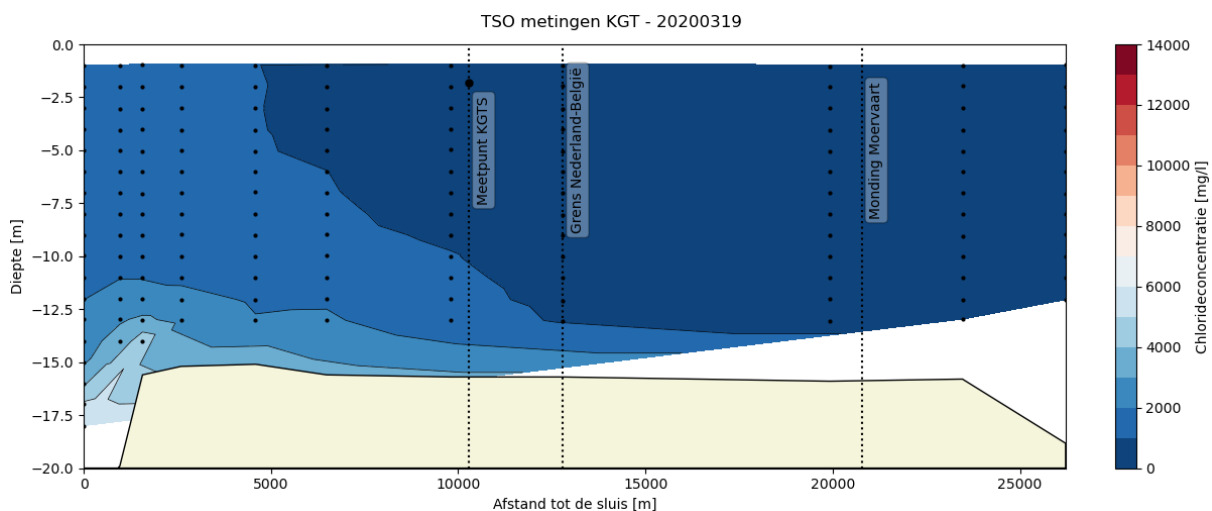
In Figuur 4 zijn twee verticale gestippelde zwarte lijnen zichtbaar. Deze staan bij een hoge (september 2019) en een lage (maart 2020) chlorideconcentratie om de fluctuatie van zout te tonen. Op beide momenten zijn ook TSO-metingen uitgevoerd. Deze metingen worden op meerdere locaties in het kanaal uitgevoerd, hierdoor wordt een ruimtelijk beeld van de chlorideconcentratie voor het gehele kanaal verkregen.

Figuren 5 en 6 tonen lengteprofielen van chlorideconcentraties bij respectievelijk hoge (sept 2019) en lage (maart 2020) concentraties (zie ook de verticale lijnen in Figuur 4). In de figuren is het volgende zichtbaar:

- De TSO-meting komt overeen met de puntmeting bij Sas van Gent (beiden ordegrrootte 6000-7000 mg/l) .
- De chlorideconcentraties > 4000 mg/l tot aan de havens bij Gent (25 km van de sluisen).
- Bij de monding van de Moervaart is de chlorideconcentratie op tot 5000-6000 mg/l.
- Kanaal is gelaagd: zoutwater onderin, zoeter water bovenin.



Figuur 5 Lengteprofiel chlorideconcentratie bij hoge chlorideconcentratie (18 september 2019). Op basis van de TSO-metingen (zwarte stippen – 11 locaties en op meerdere hoogtes in de waterkolom)



Figuur 6 Lengteprofiel chlorideconcentratie bij lage chlorideconcentratie (19 maart 2020). Op basis van de TSO-metingen (zwarte stippen – 11 locaties en op meerdere hoogtes in de waterkolom).

### Zijwaterlopen

Het kanaal staat in open verbinding met diverse zijwaterlopen, waaronder de Avrijevaart, Moervaart, Zuidlede. In dit memo ligt de focus op de Moervaart en Zuidlede, de grootste zijlopen die bovendien een KRW-doel en een vast meetpunt voor chlorideconcentraties hebben:

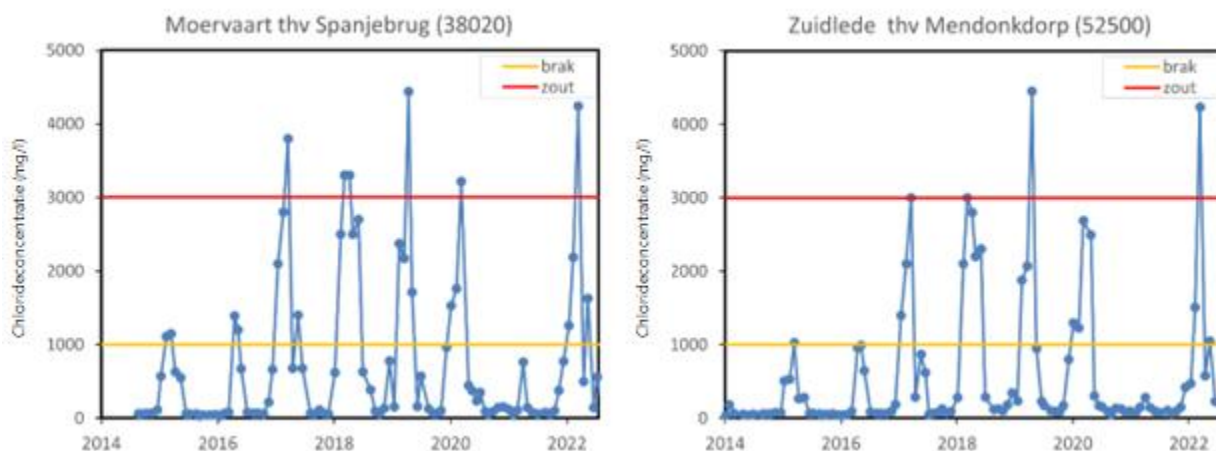
- Het 90<sup>e</sup> percentiel van de chlorideconcentratie op de Moervaart lager dan 200 mg/l
- Het 90<sup>e</sup> percentiel van de chlorideconcentratie op de Zuidlede lager dan 120 mg/l

Figuur 7 toont de chlorideconcentraties gemeten op de Moervaart bij Spanjeveerbrug en op de Zuidlede bij Mendonkdorp. De chlorideconcentraties op de zijwaterlopen hebben een relatie met de toe- en afname van de concentratie bij de monding. De bolletjes in het figuur tonen de meetmoment, dit is één meting per maand, hierdoor wordt de daadwerkelijke chloridepiek waarschijnlijk niet gemeten.

Het ontwikkelde D-Flow FM 3D [Van Denderen et al., 2024] is niet gekalibreerd en gevalideerd voor de zijwaterlopen. Om deze reden wordt de monding van de Moervaart gebruikt als referentiepunt. De 90<sup>e</sup> percentielen van de gemeten chlorideconcentratie staan in Tabel 6.

Jaar	90e Percentiel chlorideconcentratie (mg/l)		
	Monding (TSO 9)	Moervaart (Spanjeveerbrug)	Zuidlede (Mendonkdorp)
2014	1922	144	118
2015	2807	1062	528
2016	2661	1147	929
2017	5565	2800	2030
2018	5160	3240	2750
2019	5497	2350	2051
2020	4319	1737	2371
2021	2470	216	165

Tabel 6 Het 90<sup>e</sup> percentiel van de chlorideconcentratie op de Moervaart, Zuidlede en bij de monding op basis van metingen.



Figuur 7 Chlorideconcentraties op de Moervaart (links) en Zuidlede (rechts). De gele horizontale lijn geeft de grens (1000 mg/l) tussen zoet en brak water weer, de rode horizontale lijn is de grens (3000 mg/l) tussen brak en zout-water.

## 3.2 Modelberekeningen

### 3.2.1 Modelopzet

In [Van Denderen et al., 2024] is een 3D-model ontwikkeld van het KGT dat het effect van maatregelen zoals sluisstremmingen, wateraanvoer of geometrische ingrepen op de waterbeweging en chlorideconcentraties in het kanaal simuleert. Het model is gekalibreerd en gevalideerd op de situatie vóór de Nieuwe Sluis Terneuzen, dus met de Middensluis zonder NST (modelversie j22\_6-v1a). Dit omdat hiervoor meetdata beschikbaar is. De randvoorwaarden bij het sluizencomplex van Terneuzen zijn met de Zeesluisformulering (een standalone tool om de zoutindringing als gevolg van het schutten van schepen te berekenen) bepaald. Uit deze kalibratie en validatie zijn de modelresultaten voor de jaren 2016 t/m 2020 beschikbaar.

#### **Model niet gevalideerd voor chlorideconcentraties in de zijwaterlopen**

Het model is ontwikkeld voor het simuleren van kanaalpeil en chlorideconcentraties op het KGT. De zijwaterlopen (Moervaart en Zuidlede) zijn wel opgenomen in de modelschematisatie, maar niet gekalibreerd of gevalideerd. De modelresultaten op de zijwaterlopen zijn daarom niet bruikbaar voor nadere analyse.

### 3.2.2 Sluisbeschikbaarheid

De randvoorwaarden voor de kalibratie en validatie zijn metingen en schutregistraties<sup>4</sup> uit de jaren 2016 t/m 2020. Met de Zeesluisformulering zijn de schutregistraties omgezet naar hydrodynamische randvoorwaarden voor het 3D-model. De modelresultaten komen daardoor overeen met de metingen.

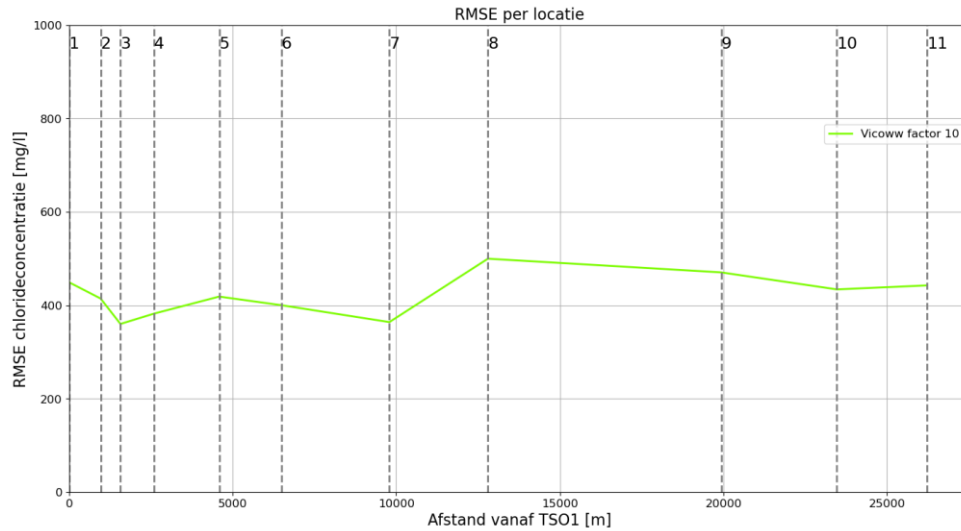
### 3.2.3 Verzilting

Het model is gekalibreerd en gevalideerd met TSO-metingen in de periode 2016 t/m 2020. De gemiddelde afwijking (RMSE) bedraagt ca. **450 mg/l** (Figuur 8), wat betekent dat het model in staat is om trends, horizontale en verticale variaties betrouwbaar te simuleren. Aangezien het model de trends in chlorideconcentratie kan reproduceren is het geschikt om het effect van maatregelen te bepalen ten opzichte van de referentie. Tabel 7 toont de chlorideconcentraties op basis van modelresultaten afkomstig uit de kalibratie en validatieberekening van het D-Flow FM 3D-model van het KGT.

Jaar	Dieptegemiddeld over de zomer (bij Sas van Gent)	Meetpunt KGTS, zomergemiddeld (1,8 m diep)	Monding Moervaart (P90)
2016	1980 mg/l	1122 mg/l	3267 mg/l
2017	4978 mg/l	3772 mg/l	6258 mg/l
2018	3839 mg/l	2666 mg/l	2048 mg/l
2019	4252 mg/l	3093 mg/l	5659 mg/l
2020	4054 mg/l	2954 mg/l	4872 mg/l

Tabel 7 Gemodelleerde chlorideconcentraties voor de huidige situatie.

<sup>4</sup> De registraties van Rijkswaterstaat voorzien alleen in informatie over de tijdstippen waarop schepen passeren. Detailinformatie zoals de beweging van sluisdeuren is niet beschikbaar. Het is bekend dat het operationele team van Rijkswaterstaat ernaar streeft om de deuren te sluiten tussen einde uitvaren en begin invaren. De schutfrequentie is echter vaak te hoog voor deze tussentijdse sluitingen.



Figuur 8 De RMSE in de validatieperiode over de lengte van het kanaal. [van Denderen et al., 2024]

### 3.3 Samenvatting

De metingen en uitkomsten van modelberekeningen zijn samengevat in Tabel 8. De modeluitkomsten tonen dezelfde ordegrrootte als de metingen, met kleine verschillen. Dit maakt het model geschikt voor **relatieve effectanalyses**, maar minder geschikt voor het exact voorspellen van absolute waarden.

Wat	Jaar	Metingen	Model	Vershil (%) t.o.v. metingen
Sluisstremmingen (totaal aantal uur alle sluisen tezamen)	2016	0	0	0%
	2017	0	0	0%
	2018	0	0	0%
	2019	294	294	0%
	2020	0	0	0%
	2021	0	-	-
Zomergemiddelde chlorideconcentratie Sas van Gent meetpunt	2016	1277	1980	+55%
	2017	4057	3772	-7%
	2018	3379	2666	-21%
	2019	3602	3093	-14%
	2020	2819	2954	+5%
	2021	2121	-	-
Chlorideconcentratie monding Moervaart (90 <sup>e</sup> percentiel)	2016	2661	3267	+23%
	2017	5565	6258	+12%
	2018	5160	5669	+10%
	2019	5497	5659	+3%
	2020	4319	4872	+13%
	2021	5497	-	-

Tabel 8 Samenvatting huidige situatie, gemeten en gemodelleerde waardes en het verschil daartussen.

# 4 Situatie na autonome ontwikkeling

Voor het bepalen van de effecten van autonome ontwikkelingen is de Nieuwe Sluis Terneuzen geïmplementeerd in het D-Flow FM 3D-model van het Kanaal Gent-Terneuzen (modelversie j22\_6-v1b). Hiermee zijn modelberekeningen uitgevoerd voor verschillende scenario's. De randvoorwaarden bij het sluisencomplex van Terneuzen zijn met de Zeesluisformulering voor elk scenario bepaald.

## 4.1 Scenario's autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling is bepaald voor drie scenario's:

### 1. Gemiddeld jaar (GEM)

Dit sluit aan bij het eerder 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 9). Na de afvoer bij Evergem levert de afvoer via de Moervaart de grootste bijdrage aan de totale afvoer door het kanaal.

- Gemiddelde winterafvoer: **34,9 m<sup>3</sup>/s** – winter van 2017-2018 met correctiefactor -4,6%.
- Gemiddelde zomerafvoer **17,7 m<sup>3</sup>/s** – zomer 2021 met correctiefactor -5,6%.

### 2. Droog jaar (T20)

Een droog jaar dat gemiddeld eens per 20 jaar voorkomt.

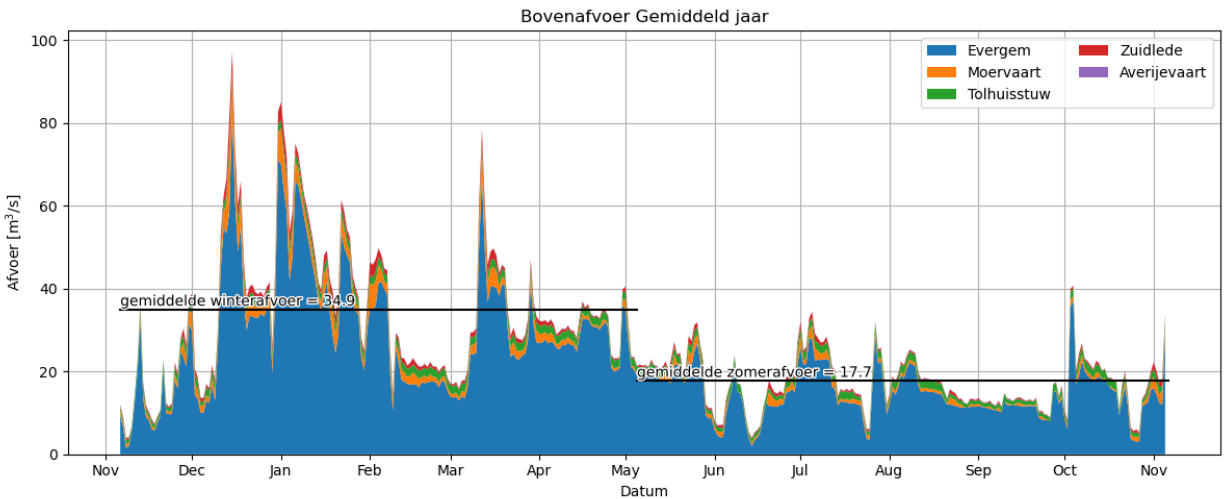
- Gemiddelde winterafvoer: **25,0 m<sup>3</sup>/s** – winter van 2018-2019 met correctiefactor -7,0%.
- Gemiddelde zomerafvoer **10,1 m<sup>3</sup>/s** – zomer 2017 met correctiefactor -7,0%.

### 3. Droog jaar met klimaatverandering (T20CC)

Een droog jaar met een terugkeertijd van 20 jaar met effecten van klimaatverandering.

- Gemiddelde winterafvoer: **20,5 m<sup>3</sup>/s** – winterafvoer T20 -20%
- Gemiddelde zomerafvoer **5,8 m<sup>3</sup>/s** – zomerafvoer T20 -40%

De **scheepvaartintensiteit en de geometrie van het sluisencomplex** zijn in alle scenario's gelijk en volgen uit de simulaties van SIVAK uit Witteveen & Bos [2023], zie paragraaf 2.2. De NST maakt deel uit van het sluisencomplex (zie paragraaf 0).



Figuur 9 Tijdreeks (afvoer cumulatief) van het gemiddelde scenario (GEM). De verschillende kleuren tonen de verschillende toevoeren naar het kanaal: Evergem (blauw), Moervaart (oranje), Tolhuisstuw (groen), Zuidlede (rood) en Avrijevaart (paars).

#### 4.1.1 Sluisbeschikbaarheid

Tabel 9 toont het aantal uren stremming per zomer (1apr – 1okt) en het aantal uren stremming in de droogste week van het jaar. Tabel 10 toont de gemiddeld wachttijd per schip dat de sluisen passeert. Te zien is dat in het gemiddelde scenario 35 uur stremming optreedt, dit komt door het uitgangspunt om te stremmen in het model voor peilbehoud:

- Stremmingen worden in het model ingesteld wanneer de bovenafvoer lager is dan het schutverlies, met als doel het kanaalpeil te behouden. Dit betekent dat de sluis eerder en vaker gestremd wordt dan in de huidige praktijk met een uitzakkend kanaalpeil.

Scenario	Aantal uur stremming in zomer			Uren / totaal	Stremming in droogste week van het jaar (uur/totaal)
	OS	WS	NST		
GEM	0	0	35	35 / 13.176 (0,2%)	35 / 504
T20	116	0	754	870 / 13.176 (6,6%)	151 / 504
T20CC	846	70	2.087	3.003 / 13.176 (22,8%)	240 / 504

Tabel 9 Aantal uren stremming in de zomer (1apr-1okt) en het aantal uur stremming de slechtste week van het jaar per scenario voor de Oostsluis (OS), Westsluis (WS) en Nieuwe Sluis Terneuzen (NST). Na autonome ontwikkeling.

Scenario	Gemiddelde wachttijd (minuten per schip)		
	Binnenvaart	Zeevaart	Gemiddeld
GEM	27	27	27
T20	30	35	33
T20CC	46	59	52

Tabel 10 De gemiddelde wachttijd in minuten per schip per scenario voor binnenvaart, zeevaart en beide samen.

## 4.1.2 Verzilting

### Kanaal

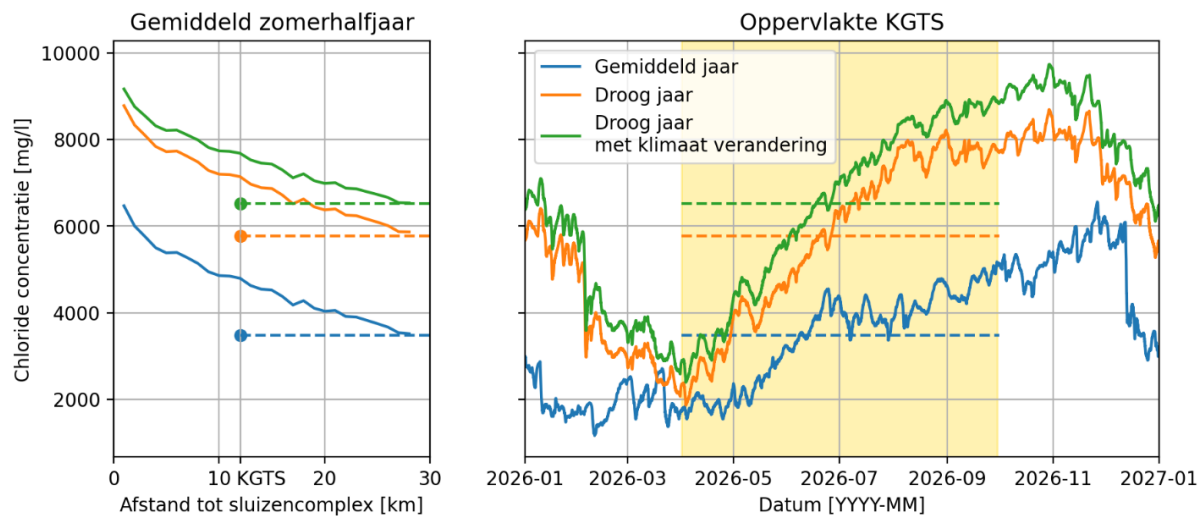
Na autonome ontwikkeling zijn de chlorideconcentraties in het kanaal hoger dan in de oude situatie.

Figuur 10 laat zien dat de chlorideconcentratie in de zomer toeneemt naarmate de droogte aanhoudt. De gekleurde stippellijn toont voor elk scenario de **zomergemiddelde concentratie bij meetpunt KGTS**, relevant voor de Kaderrichtlijn Water (KRW). Zie 2<sup>e</sup> kolom Tabel 11 voor de waarden.

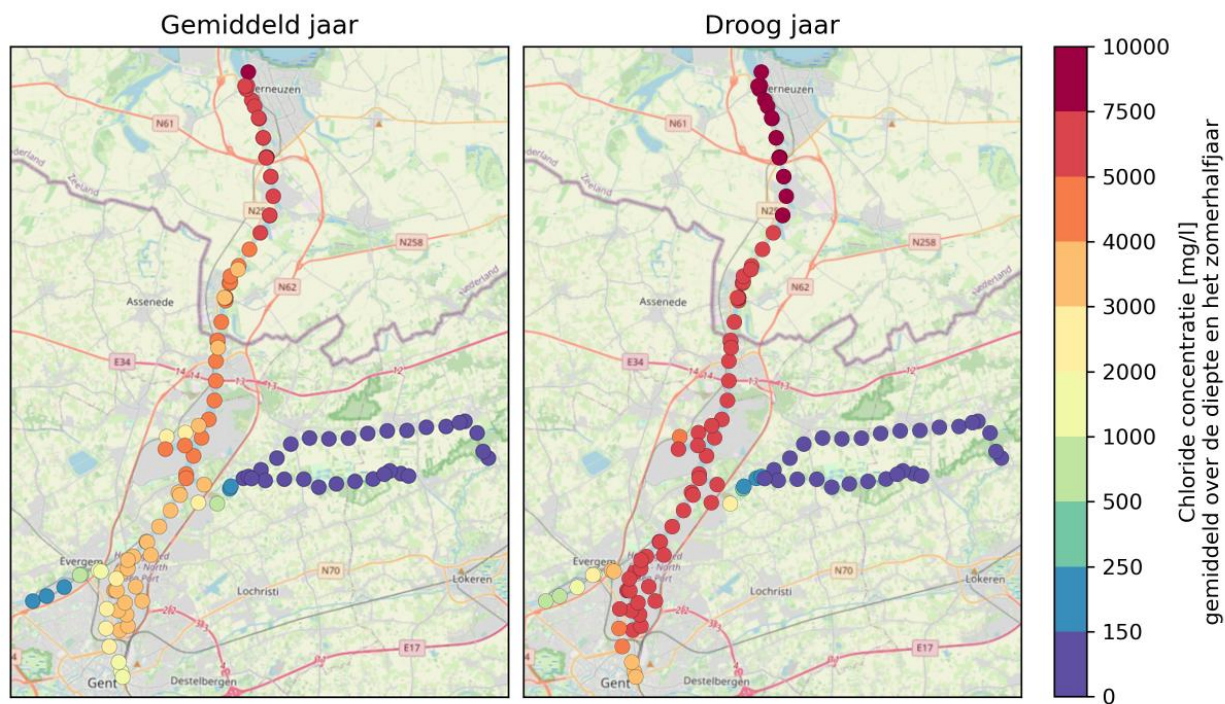
Figuur 11 toont het ruimtelijke beeld van de chlorideconcentraties, nog steeds geldt dat benedenstrooms bij de sluizen het zouter is dan verder bovenstrooms.

### Zijwaterlopen

Ook bij de monding van de Moervaart nemen de chlorideconcentraties toe (3<sup>e</sup> kolom Tabel 11). In een gemiddeld jaar stijgt de 90<sup>e</sup> percentielwaarde van circa 5.000 mg/l naar 6.000 mg/l.



Figuur 10 Links, de dieptegemiddelde chlorideconcentratie op het KGT ten opzichte van de afstand tot de sluis. Rechts de chlorideconcentratie bij meetpunt KGTS over het jaar heen. Rechts, de stippellijn geeft de gemiddelde concentratie op meetpunt KGTS over de zomer heen.



Figuur 11 Ruimtelijke spreiding van de dieptegemiddelde chlorideconcentraties in het kanaal. N.B. de concentraties op de Moervaart en de Zuidlede zijn niet gevalideerd.

Scenario	Zomergemiddelde chlorideconcentratie bij KGTS	90 <sup>e</sup> percentiel chlorideconcentratie monding Moervaart
GEM	3505 mg/l	6077 mg/l
T20	5808 mg/l	8593 mg/l
T20CC	6531 mg/l	9409 mg/l

Tabel 11 Chlorideconcentraties na autonome ontwikkeling.

## 4.2 Samenvatting

Tabel 12 geeft een overzicht van de sluisstremmingen en chlorideconcentraties na autonome ontwikkeling. Ter vergelijking zijn ook metingen uit de oude situatie (met de Middensluis) opgenomen. Bij het vergelijken van de modelresultaten met de praktijk uit de afgelopen jaren gelden de volgende kanttekeningen:

- Het gemiddelde (GEM) en het droge jaar (T20) zijn scenario's, deze zijn nooit zo gemeten, in de tabel staan jaren genoemd die deze situaties benaderen.
- Voor scenario T20CC is geen vergelijkbaar gemeten jaar beschikbaar.
- In het model wordt het kanaalpeil altijd gehandhaafd. Hierdoor ontstaan sneller stremmingen dan in de praktijk, waar tijdelijk peilverlies wordt toegestaan om stremmingen te beperken.
- Het model geeft geen exacte voorspellingen van chlorideconcentraties en wijkt gemiddeld 450 mg/l af van gemeten waarden.
- De modelscenario's komen niet volledig overeen met de jaren waarin gemeten is; gekozen is voor jaren die qua zomerafvoer het best aansluiten.
- Er wordt een gemodelleerde toekomstige situatie met NST vergeleken met recente metingen bij een verouderde geometrie van het sluisencomplex; dit brengt onvermijdelijk verschillen met zich mee.

	Scenario	Huidig (metingen)	Autonome ontwikkeling (model)	Verschil t.o.v. huidige situatie	
				absoluut	%
Sluisstremmingen (totaal aantal uur alle sluisen tezamen)	GEM (~2021)	0	35	35	n.d. <sup>5</sup>
	T20 (~2019)	294	870	486	+127%
	T20CC	-	3003	-	n.d.
Zomergemiddelde chlorideconcentratie Sas van Gent meetpunt (mg/l)	GEM (~2021)	2121	3505	1384	+65%
	T20 (~2017)	4057	5808	1751	+43%
	T20CC	-	6531	-	n.d.
Chlorideconcentratie monding Moervaart (P90) (mg/l)	GEM (~2021)	5497	6077	580	+11%
	T20 (~2017)	6258	8593	2335	+37%
	T20CC	-	9409	-	n.d.

Tabel 12 Vergelijking situatie afgelopen jaren (op basis van metingen) en bij autonome ontwikkeling (op basis van modeluitkomsten)

### Gemiddeld jaar - GEM

In een gemiddeld jaar (GEM) stijgt de zomergemiddelde chlorideconcentratie bij meetpunt KGTS (1,8 meter onder het wateroppervlakte) van circa 2.100 mg/l naar 3.500 mg/l – een toename van 65%. Bij de monding van de Moervaart is de stijging beperkter: het 90e percentiel neemt met 11% toe. De toename is kleiner omdat de locatie verder bovenstrooms ligt en naar een 90<sup>e</sup> percentiel van een heel jaar wordt gekeken in plaats van het gemiddelde van een zomer.

<sup>5</sup> Niet alle toenames zijn beschikbaar, dit heeft 2 oorzaken: (1) als in de huidige situatie het aantal stremmingsuren 0 is dan is het wiskundig onmogelijk een percentuele toename te bepalen. (2) Voor de situatie na klimaatverandering (scenario T20CC) is geen huidige situatie beschikbaar en dus ook geen absolute of percentuele toename

Het aantal stremmingsuren neemt toe, deze toename is het gevolg van het uitgangspunt dat het kanaalpeil gehandhaafd moet blijven. Hiervoor worden stremmingen ingezet. Dit verschilt van de huidige praktijk waar het kanaalpeil eerder uitzakt en een dieptebeperking wordt opgelegd.

#### **Droog jaar – T20**

In een droog jaar (T20), grofweg eens per 20 jaar, stijgen de chlorideconcentraties. Bij KGTS (1,8 meter onder het wateroppervlakte) neemt de concentratie toe tot ca. 5.800 mg/l (+43%), bij de Moervaart tot ca. 8.600 mg/l (+37%).

Het aantal stremmingsuren verdrievoudigd: de afvoer is kleiner dan het schutverlies.

#### **Droog jaar met klimaatverandering – T20CC**

De chlorideconcentraties liggen in dit scenario (T20CC) nog iets hoger dan in een regulier droog jaar. Door de frequente stremmingen voor peilbehoud wordt echter minder geschut, wat de zoutindringing deels afremt. De afname van de bovenafvoer heeft hierdoor een beperkt extra effect op verzilting. Het aantal stremmingsuren neemt sterk toe: 3.003 uur van de 13.176 uur in de zomerperiode (voor 3 sluizen samen). De NST is in dit scenario 2.087 uur gestremd van de 4.392 zomerse uren – oftewel 47,5% van de tijd.

# 5 Conclusie

## 5.1 Effecten autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling van het Kanaal Gent–Terneuzen leidt tot duidelijke verslechtingen in zowel sluisbeschikbaarheid als waterkwaliteit. De voornaamste effecten:

- **Afname sluisbeschikbaarheid:** Door toenemende droogte en hogere schutverliezen neemt het aantal stremmingsuren fors toe. In een droog jaar (eens per 20 jaar) zijn sluisen naar verwachting 6% van de tijd gestremd. Met klimaatverandering loopt dit op tot 23%.
- **Toename chlorideconcentraties in het kanaal:**  
In gemiddelde zomers stijgt de chlorideconcentratie bij meetpunt Sas van Gent (KGTS) met circa **1.000–1.500 mg/l**. In droge zomers loopt dit op tot **1.500–2.000 mg/l**.
- **Verzilting van zijwaterlopen:**  
Ook in de Moervaart en andere zijwaterlopen nemen de chlorideconcentraties toe. In een gemiddeld jaar met circa **10%**, in droge jaren tot wel **40%**.
  - De gemeten P90 waarden voor autonome ontwikkeling zijn 216 mg/l in een gemiddeld jaar en 2800 mg/l in een droog jaar.

Let op: voor het scenario 'droog jaar met klimaatverandering' zijn geen metingen beschikbaar uit de situatie van de afgelopen jaren (met de Middensluis).

Zonder aanvullende maatregelen leidt de autonome ontwikkeling tot structurele verslechting van zowel de sluisbeschikbaarheid als de zoetwatervoorziening van het kanaal.

## 5.2 Referentiesituatie na autonome ontwikkeling

Onderstaande tabel toont de nieuwe referentiesituatie na autonome ontwikkeling als uitgangspunt voor mogelijke maatregelen ter verbetering van de sluisbeschikbaarheid en het tegengaan van verzilting van het kanaal en zijwaterlopen.

Scenario	Stremmingsuren	Chlorideconcentratie KGTS	Chlorideconcentratie monding Moervaart
GEM	35	3505 mg/l	6077 mg/l
T20	870	5808 mg/l	8593 mg/l
T20CC	3003	6531 mg/l	9409 mg/l

Tabel 13 Nieuwe referentiesituatie aan de hand van modelberekeningen na autonome ontwikkeling: klimaatverandering, scheepvaartontwikkeling en de Nieuwe Sluis Terneuzen.

## 6 Referenties

### **Breugelmans et al., 2023**

Water- en zoutbalans voor het kanaal Gent – Terneuzen – opbouw en scenario-analyse. ir. Laurens Breugelmans, ir. Daan Bertels, Prof. dr. ir. Patrick Willems. Rapport KULeuven, April 2023.  
<https://www.vliz.be/imisdocs/publications/394963.pdf>

### **Brochure Nieuwe Sluis Terneuzen, 2022**

Brochure Nieuwe Sluis Terneuzen. Zandbeek juni 2022. url: <https://nieuwesluisterneuzen.eu/sites/default/files/2022-06/Brochure%20Nieuwe%20Sluis%20Terneuzen%20juni%202022.pdf>

### **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.

### **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.

### **Schelde in Beeld, 2024**

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.

### **Witteveen & Bos, 2023**

Effect sluisstremmingen sluisencomplex Terneuzen. I. Koevoets. In opdracht van de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie. 27 februari 2023.