

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

Raamovereenkomst zaaknummer 31151860

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

Nadere overeenkomst **NOK-KGT2 Verkennende inschatting effecten van verzilting KGT** met zaaknummer **31170651**

Voor de Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie



aMT RWS Z&D	Laurens Hermans Eric Van Zanten
----------------	------------------------------------

Projectmedewerkers

HKV Lijn in water	Vincent Vuik Paula Lambregts Ton Botterhuis
UGent	Niels De Troyer Koen Lock Peter Goethals

Bureau Waardenburg	Rob van de Haterd Jelle Doef Theo Boudewijn
Antea Group	Ivo Van de Moortel Silvy Thant Stef Michielsen Philippe Hyde

Datum oplevering rapport v1.0: 12/07/2022

Datum oplevering rapport v2.0: 2/10/2022

Datum oplevering rapport v3.0: 4/11/2022

INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding	4
1.1.	Achtergrond.....	4
1.2.	Aanleiding	4
1.3.	Opdracht	5
1.4.	Leeswijzer	6
1.5.	Grenzen/eenheden/conventies	7
2.	Ruimtelijke verdeling zoet-zout verdeling	8
2.1.	Methodiek	9
2.2.	Analyse	10
2.3.	Besluit	13
3.	Oppervlaktewatermodellering	14
3.1.	Methodiek	14
3.2.	Analyse	16
3.3.	Besluit	19
4.	Aquatische ecologie.....	20
4.1.	Methodiek	20
4.2.	Analyse	21
4.3.	Besluit	23
5.	Terrestrische ecologie – Waterkwaliteit Canisvliet	24
5.1.	Methodiek	24
5.2.	Analyse	25
5.3.	Besluit	26
6.	Terrestrische ecologie – Voorkomen van de waterspitsmuis	28
6.1.	Methodiek	28
6.2.	Analyse	29
6.3.	Besluit	29
7.	Grondwater	30
7.1.	Methodiek	30
7.2.	Analyse	31
7.3.	Besluit	33
8.	Onttrekkingen.....	34
8.1.	Methodiek	34
8.2.	Analyse	36
8.3.	Besluit	37
9.	Conclusies	39
10.	Aanbevelingen	42
11.	Referenties	44

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

De [Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie \(VNSC\)](#) is het orgaan tussen Vlaanderen en Nederland waar wordt samengewerkt rond een veilig, toegankelijk en natuurlijk Schelde-estuarium. Het werkingsgebied beslaat het hele Schelde-estuarium m.a.w. de Westerschelde, Zeeschelde en de belangrijkste vaarwegen in haar directe omgeving, waaronder het kanaal Gent-Terneuzen.

Dit onderzoek kadert in de opdracht van VNSC om duurzame oplossingen te zoeken om vastgestelde ongunstige ontwikkelingen in het estuarium te bestrijden.

1.2. Aanleiding

In 2017, 2018 en 2019 was er sprake van aanzienlijk drogere zomers. Deze langdurige droogte zorgt voor een vermoede verslechtering van de ecologische toestand van het water op het Kanaal Gent-Terneuzen (KGT). Daarnaast kwam ook de bevaarbaarheid van het kanaal in het gedrang omdat het kanaalpeil dicht bij de kritische ondergrens kwam. Zowel door RWS (Nederland) als De Vlaamse Waterweg (Vlaanderen) werden de nodige operationele maatregelen genomen om de droogteproblematiek aan te pakken en een basistoevoer naar het kanaal Gent-Terneuzen te realiseren. Tussen de waterwegbeheerders vond de nodige operationele afstemming plaats.

Tussen Nederland en Vlaanderen zijn ook afspraken gemaakt aangaande de debietnorm met betrekking tot de waterafvoer en waterbeheersing op het Kanaal Gent-Terneuzen ("*Verdrag van 1960 tussen het Koninkrijk België en het Koninkrijk der Nederlanden betreffende de verbetering van het kanaal van Terneuzen naar Gent en de regeling van enige daarmee verband houdende aangelegenheden.*", *bijgesteld met protocol in 1985*).

In 2017 werd gestart met de bouw van een nieuwe zeesluis in Terneuzen (NST) die de oude middensluis vervangt. Uit het Deelrapport MER Water voor de NST (Pfaff & Wagenaer, 2015) volgde toen dat een groter debiet nodig zou zijn om het waterniveau van het kanaal op peil te houden en de NST voor meer verzilting zou zorgen. Echter, de chloridegehalten in het KGT zouden tot 2030 voldoen aan de vigerende doelstelling van de Kaderrichtlijn Water (KRW): een drie jaarlijks zomergemiddelde waarde van minder dan 3000 mg/l chloride gemeten aan het wateroppervlak bij Sas van Gent op het KGT. In de aanvulling op het deelrapport MER Water wordt zelfs gesteld dat bij klimaatscenario W+ tot en met 2050 het chloridegehalte in het zomerhalfjaar gemiddeld zal voldoen aan de KRW-doelstelling (in individuele zomers kunnen zoutgehalten hoger zijn, Lievense CSO, 2015b). Bovendien werd gesteld dat de extra zoutindringing significant verminderd kon worden door lokale maatregelen toe te passen, zoals optimalisatie van schutbewegingen en het aanpassen van de waterafvoer bij Canisvliet.

Aangezien door de droge periodes in het jaar 2017, 2018 en 2019 de KRW-norm in 2019 en 2020 niet werd gehaald en wordt verwacht dat de NST een grotere hoeveelheid zout in het KGT zal veroorzaken

ondanks beperkende maatregelen, is de algemene verwachting dat de zoutindringing zal toenemen door de NST.

Omwille hiervan en de algehele droogteproblematiek staan bovengenoemde internationale afspraken onder druk. De droogteproblematiek op KGT is een gezamenlijk vraagstuk voor Nederland en Vlaanderen. Het **Ambtelijk College van de VNCS** heeft dan ook beslist om een tijdelijke werkgroep (samengesteld uit IenW, RWS, MOW (Maritieme Toegang en Beleid) en De Vlaamse Waterweg) onder de werkgroep Beleid&Beheer opdracht te geven om een verkennend onderzoek te starten hoe met de droogteproblematiek op het KGT kan worden omgegaan met de uitgangspunten van Deelrapport MER Water voor de NST (Lievense CSO, 2015a) als referentie.

In dit **verkennend onderzoek "aanpak droogteproblematiek KGT"** ligt de focus op hoe om te gaan met zoutlast, waterafvoer en peilbeheer op het Kanaal Gent-Terneuzen ten gevolge van de droogteproblematiek. Het onderzoek focust zich op verschillende sporen: wat zijn de oorzaken en effecten van bijkomende droogte, welke bijkomende maatregelen kunnen er in regio Gent en stroomopwaarts genomen worden, welke bijkomende maatregelen kunnen genomen worden bij het sluiscomplex in Terneuzen, hoe kan de communicatie tijdens periode van droogte worden verbeterd en zijn norm- of verdragsaanpassingen nodig?

De voorliggende opdracht zit vervat in **Spoor "Kennisopbouw oorzaken en effecten"** waarin gezocht wordt naar de oorzaken en effecten van verzilting en verminderde afvoer in het kanaal Gent-Terneuzen op de activiteiten in, aan en rond het kanaal. In voorgaande studies werd er vooral gefocust op de veranderingen van het kanaal en het sluiscomplex, maar wordt het effect van de lage bovenafvoer onderschat. Zo is door de droogte van 2017, 2018 en 2019, het chloride op het kanaal nu al op het niveau dat de modellen in de MER NST voorspelden voor 2030-2050 afhankelijk van het scenario. Uit de MER bleek echter dat nog een stijging van 40-60% te verwachten is door de ingebruikname van de Nieuwe Sluis. **Hierdoor zijn de effecten uit de MER een mogelijke onderschatting.** In de aanvulling MER is aangegeven dat een afname van het debiet ten gevolge van de klimaatverandering verwacht mag worden met als gevolg een verhoging van de chloridegehalten.

1.3. Opdracht

Deze opdracht volgt op NOK KGT-01 *Inventaris en identificatie kennisleemtes*; de eerste stap binnen het spoor "Kennisopbouw oorzaken en effecten" van verzilting en verminderde afvoer in het kanaal Gent-Terneuzen op de activiteiten in, aan en rond het kanaal, binnen het verkennend onderzoek "aanpak droogteproblematiek KGT".

Voorliggende deelopdracht 'NOK KGT02' bouwt voort op het geïdentificeerde vervolgtraject en hierop volgend overleg met de WG Droogteproblematiek. Het doel is de **meest prioritaire cruciale kennisleemtes weg te werken** zodat de WG Droogteproblematiek in 2024 kan landen met een set aan adaptatiemaatregelen en de respectievelijke impact van deze maatregelen kan begroten. Het opstellen van adaptatiemaatregelen incl. begroten van de respectievelijke impact vormde geen onderdeel van deze eerste vervolgstudie. Dit komt pas aan bod eens de effecten van NST en klimaatwijzigingen beter gekend zijn.

Voor ondersteuning van deze opdracht doet de werkgroep beroep op de Raamovereenkomst Onderzoek en Monitoring VNSC - Data-analyse en data-modelleringdiensten (perceel 2). Deze raamovereenkomst wordt uitgevoerd door het consortium "Schelde in Beeld".

Het onderzoek werd gecoördineerd door de leden van de Werkgroep Droogteproblematiek.

1.4. Leeswijzer

Dit geïntegreerd eindrapport geeft een overzicht en synthese van de belangrijkste besluiten die getrokken kunnen worden uit de specifieke deelonderzoeken zoals hieronder beschreven. Deze deelonderzoeken hadden tot doel de meest prioritaire cruciale kennisleemtes weg te werken m.b.t. de impact van verzilting en verminderde bovenafvoer in, aan en rond het kanaal Gent-Terneuzen.

In eerste instantie werd een **Verkennde analyse** "ruimtelijke verspreiding **zoet-zout verdeling in het oppervlaktewater** op basis van beschikbare metingen" (§2) uitgevoerd. Hierbij wordt meer inzicht verkregen in de huidige horizontale en verticale verdeling, m.a.w. ruimtelijke spreiding, van het zoutgehalte en de zoutindringing op het kanaal en haar zijlopen.

Om het effect van verminderde bovenafvoer en de aanleg van de NST op het te verwachten zoutgehalte en peilniveau van het kanaal te bepalen werd een **Oppervlaktewatermodellering** met volgende aspecten beschouwd (a) Actualiseren oppervlaktewatermodel met het doorrekenen van drogere scenario's; (b) Uitbreiding met zijrivieren en voornamelijk dan de Moervaart. Stremmingen & peilbeheer (§3).

De impact van verzilting van het kanaalwater, zoals berekend door het oppervlaktewatermodel, op de **Aquatische** (vissen/macroinvertebraten) en **Terrestrische** (waterspitsmuis/kruipend moerasscherm Canisvliet) **ecologie** van het kanaal Gent-Terneuzen wordt besproken in §4 t.e.m. §6.

Het verzilten van het oppervlaktewater (oppervlaktewatermodellering) doet ook de vraag rijzen of dit invloed heeft op het grondwater en mogelijk secundaire effecten heeft op de landbouw. Veranderingen in grondwaterstromingen ten gevolge van verzilting en gevolgen voor de landbouw worden besproken in §7.

In een laatste fase wordt gekeken naar de mogelijke effecten die verregaande verzilting van het kanaal Gent-Terneuzen heeft op haar bedrijfsactiviteiten. Specifiek de **Ontrekkings- en lozingsactiviteiten** door bedrijven die gebeuren op het kanaal (§8).

Conclusies en verdere aanbevelingen worden voorzien in §9 en §10. Voor meer gedetailleerde informatie over een specifiek deelonderwerp wordt verwezen naar het betreffende deelrapport.

De integratie van deze deelrapporten laat toe zich een beeld te vormen over de huidige en toekomstige toestand van het kanaal Gent-Terneuzen op vlak van zoutgehalten en stremmingen en de impact ervan op de natuurlijke en antropogene activiteiten die in, aan en rond het kanaal plaatsvinden.

1.5. Grenzen/eenheden/conventies

Doorheen dit rapport wordt gesproken over zoet versus zout water en worden termen zoals chloriniteit en conductiviteit veelvuldig gebruikt. Om verwarring te voorkomen en eenduidigheid doorheen heel het rapport te garanderen wordt hieronder een overzicht gegeven van de gehanteerde grenzen, eenheden en conventies.

GRENZEN ZOET/BRAK/ZOUT WATER

De manier waarop de waterkwaliteit ingedeeld wordt, kan sterk verschillen naargelang de bron, hier worden volgende grenswaarden gehanteerd (Atlas Natuurlijk Kapitaal, 2022):

- Zoet: < 1000 mg Cl-/L
- Brak: 1000 – 3000 mg Cl-/L
- Zout: > 3000 mg Cl-/L

Wanneer gesproken wordt over een “zwak brakke” toestand, dan bevinden de Cl⁻ waarden zich eerder aan de ondergrens van deze klasse. Vica versa voor “sterk brak”.

TERMEN CHLORINITEIT - CONDUCTIVITEIT

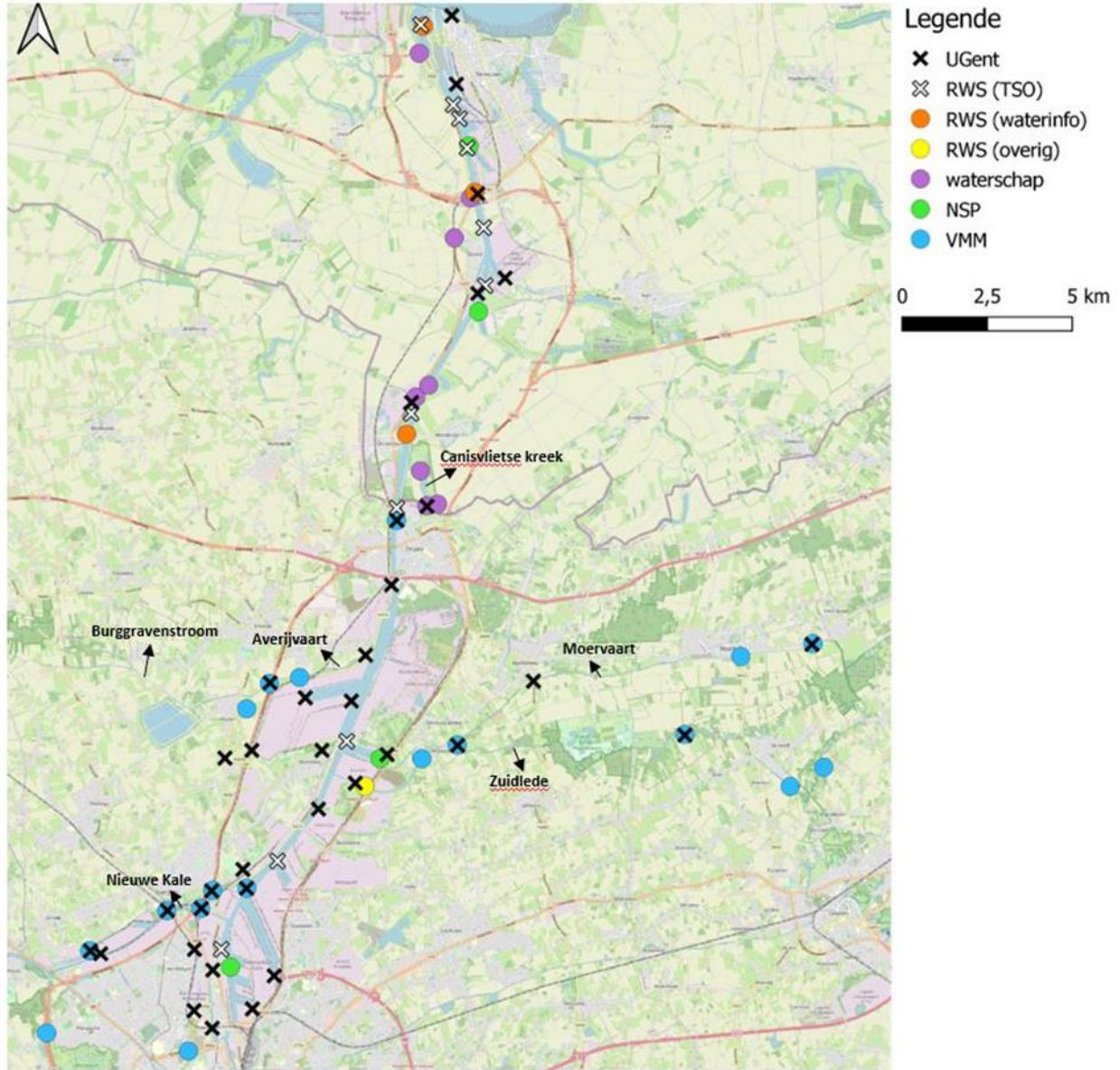
Bij chloridegehalten worden waarden uitgedrukt in zowel ppm als mg/l. Waarden uitgedrukt in ppm werden gelijkgesteld aan de concentratie in mg/l. Conductiviteitswaarden werden omgezet naar mg/l door gebruik van een factor 0,67 (Bron: www.metresys.nl, 2022).

NORMEN

Voor Nederland wordt de KRW norm van >300 en <3000 mg/l Cl⁻ gehanteerd (3-jaars zomergemiddelde), voor Vlaanderen is er geen zoutnorm.

2. Ruimtelijke verdeling zoet-zout verdeling

De centrale vraag binnen dit onderzoek is of we daadwerkelijk mogen aannemen dat het KGT een goed gemengd systeem is t.g.v. de scheepstrafiek? Zo niet, hoe afwijkend is het zoutgehalte in de insteekdokken en/of nabij de kaaimuren t.o.v. het centrum van het kanaal? Om op deze vragen te antwoorden dient een beter inzicht te worden verkregen in de ruimtelijke verspreiding van het zoutgehalte in het oppervlaktewater van het Kanaal Gent-Terneuzen en haar zijstromen (Figuur 1). Daarnaast wordt bekeken hoe ver de invloed van de verzilting rijkt op de zijlopen. Deze analyse wordt beschouwd als een eerste stap bij het onderzoek naar impact op kanaalinfrastructuur en zal bovendien helpen bij het interpreteren van het oppervlaktewatermodel en doorvertaling naar andere facetten.



Figuur 1: Overzicht van Kanaal Gent-Terneuzen met zijstromen en de meetpunten chloride.

2.1. Methodiek

Deze verkennende studie wordt uitgevoerd aan de hand van een GIS-matige analyse, waarbij wordt gekeken tot hoever de verzilting rijkt in droge jaren en of dit zich ook reflecteert in de zijlopen.

De datatypes kunnen in twee grote groepen onderverdeeld worden; berekende en geanalyseerde chlo-ridegehalten.

In voorliggende studie werden voor zulke berekende chloridemetingen bronnen geraadpleegd van: Rijkswaterstaat, VMM en North Sea port (Tabel 1). Verder besloeg de eerste (ecologische) monitoringscampagne van voorliggende opdracht 36 meetpunten die gemonitord werden eind oktober/begin november 2021. Bij de start en het einde van de meetcampagne werd op elke locatie de saliniteit gemeten met een YSI probe. De probes zijn echter niet gekalibreerd dus werd de gegeven saliniteit in practical salinity unit (psu) – niet omgerekend naar chloridegehalte. De psu en gemeten geleidbaarheid kunnen echter wel een indicatie geven of het water eerder zoet of eerder zout.

In tegenstelling tot de berekende waarden van hierboven – die een zekere onzekerheid met zich meebrengen gezien de situering in een brakke omgeving – wordt het chloridegehalte ook gemeten via laboratoriumanalyse op waterstalen. De databronnen die hiervoor werden aangewend zijn; het Geoloket van de Vlaamse Milieumaatschappij en waterschap Scheldestromen (Tabel 1).

Ook werden de locaties van de meetcampagne tweemaal bemonsterd - bij het hangen en het wegnemen van substraten. Om de chlorideconcentratie te bepalen op deze punten werden watermonsters geanalyseerd in het labo.

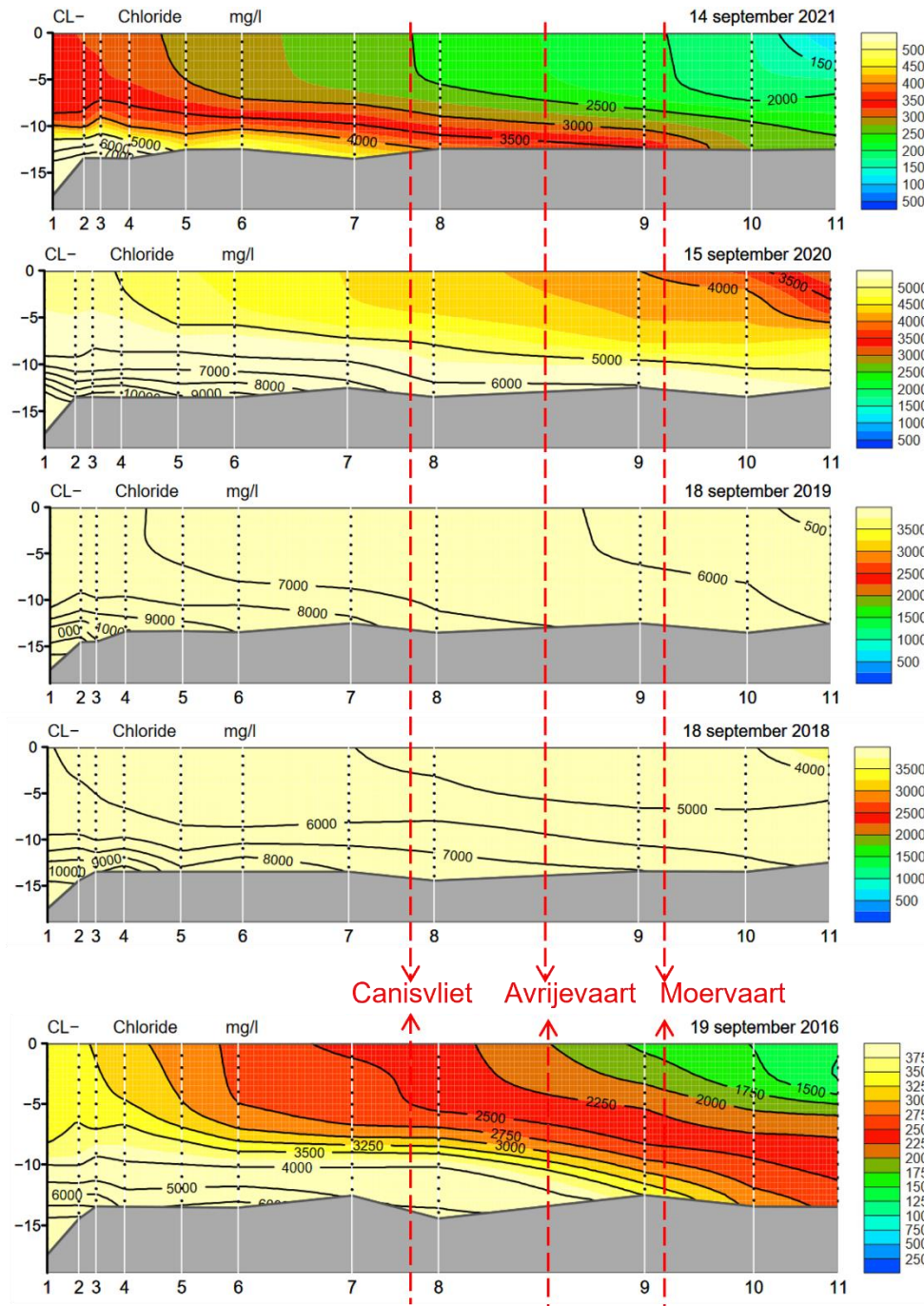
Tabel 1: Overzicht chloridemetingen met periodiciteit van de metingen en het aantal beschikbare meetpunten.

Bron	Periodiciteit	Locaties
Rijkswaterstaat (waterinfo)	Continue metingen	3
Rijkswaterstaat (TSO*)	Twee maandelijks	11
Rijkswaterstaat (overig)	2 maal	1
VMM (geoloket)	Variabel, doorgaans (twee) maandelijks	18
UGent	Metingen tijdens de monitoringscampagne	36
North Sea Port	Continue metingen	4
Waterschap Scheldestromen	Twee wekelijks	8

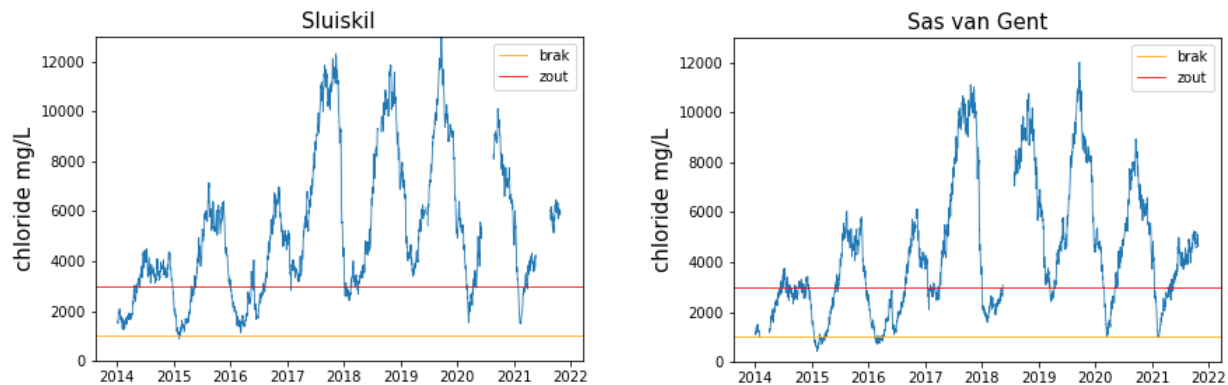
*TSO: temperatuur, saliniteit, zuurstof

2.2. Analyse

Analyse van data van TSO-longsvaarten (Figuur 2) duidt aan dat het kanaal zeer sterk verzilt is tijdens de recente droge zomers met chloridegehalten tot 10 000 mg Cl-/L aan de bodem nabij Terneuzen. Echter, ook tijdens natte zomers zoals die van 2021, worden hoge waarden tot 7 000 mg Cl-/L gemeten bij Terneuzen (bodem) t.o.v. de 2500 mg Cl-/L bij Gent, wat aantoont dat de verziltingsproblematiek ook in natte jaren niet uit te sluiten is. Uit deze langspanprofielen kunnen we ook afleiden dat er een sterke gelaagdheid aanwezig is op het kanaal: ten gevolge van het dichtheidsverschil tussen zoet en zoutwater, bevindt de zoute tong zich onder het zoetere water. Deze zouttong dringt tot ver in het kanaal door: tot ruim voorbij de locaties van de zijlopen (Figuur 3). In de continue meetreeksen valt het op hoe niet enkel de piekgehalten tijdens de zomers van 2017 t.e.m. 2019, maar ook de minima tijdens deze nattere winters en het voorjaar stegen. Dit mogelijk vanwege de aanhoudende droge periode. Het effect van een opeenvolging van drogere winters en zomers lijkt zich op te stapelen gedurende meerdere jaren, dit wordt echter tegengesproken door de uitgevoerde modellering (zie volgende hoofdstukken).



Figuur 2: TSO-profielen met aanduiding van de belangrijkste zijlopen. (Bron: www.waterberichtgeving.rws.nl). Bij interpretatie dient rekening gehouden met wisselende schaal tussen 2016 en 2018 en 2019 en 2020.



Figuur 3: Verloop chlorideconcentratie op het Kanaal met indicatie van de brak en zoutwater grens.

Wat betreft de zijlopen kan gesteld worden dat de verzilting van het kanaal geen invloed heeft op het chloridegehalte van de Avrijevaart: de beschikbare metingen hebben allen een zeer laag chloridegehalte dat zich ruim onder de brakwater grens bevindt; zelfs op momenten wanneer het nabijgelegen kanaalwater zeer sterk verzilt was. Dit is niet het geval voor de Moervaart en Zuidlede die wel duidelijke verzilting vertonen.

Op de Moervaart en Zuidlede is er een duidelijke trend aanwezig met hogere chloridegehalten nabij het kanaal die afnemen stroomafwaarts tot het water uiteindelijk volledig zoet wordt. Het effect van de verzilting lijkt sterker te zijn op de Zuidlede dan op de Moervaart, met zowel hogere chloridegehalten als een verdere zoutindringing. In beide gevallen is de verzilting groter dan wat in het verleden aangenomen werd. Dit heeft geleid tot een uitbreiding van het oppervlaktewatermodel uit hoofdstuk 3. Deze bevinding heeft er ook toe geleid de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater te bekijken in deze zijlopen (hoofdstuk 7). Zoals reeds vermeld in het hoofdstuk over de TSO-metingen, is er een duidelijke gelaagdheid op het kanaal zichtbaar. Uit verticaalmetingen waar de moervaart in het kanaal stroomt valt verder op dat in september – wanneer we hoge chloride gehalten meten op het kanaal – er nog geen gradiënt optreedt doorheen de waterkolom. In november stijgt het chloridegehalte wel met diepte.

Voor Canisvliet waren nog geen meetgegevens van de hydrologische zomer 2021 beschikbaar. De jaren voordien vertonen echter allen een gelijkaardig patroon zijnde dat het noordelijkste punt zouter is dan de zuidelijke meetstations, er is een duidelijke verzilting van de kreek. Momenteel watert een kwelsloot die in verbinding staat met het kanaal af naar Canisvliet, deze kwelsloot wordt in de komende jaren ontkoppeld. Er wordt een steeds zouter wordende trend vastgesteld in alle meetpunten. Om hier meer inzicht in te krijgen is er een water- en chloridebalans opgesteld en deze is beschreven in hoofdstuk 3.

De metingen van de UGent in de insteekdokken liggen in de categorie 1000-3000 mg/l chloride wat wil zeggen dat ze allen brak zijn. De meetpunten op de as van het kanaal liggen in dezelfde categorie. Op

basis van de beschikbare data wordt besloten dat er geen opmerkelijke verschillen zijn tussen het chlo-ridegehalte in het kanaal versus in de insteekdokken. Merk op dat dit besluit getrokken wordt op basis van een momentopname tijdens het najaar na een natte zomer.

2.3. Besluit

Uit het onderzoek naar de ruimtelijke verspreiding van het zoutgehalte in het oppervlaktewater van het Kanaal Gent-Terneuzen en haar zijstromen worden volgende conclusies getrokken:

1. Er is een sterke gelaagdheid in zoutgehalten aanwezig op het kanaal.
2. Er is geen verschil in zout gehalte tussen het kanaal en de insteekdokken.
3. Er is een duidelijke seizoenale variatie.
4. Er is een sterke variatie in zoutgehalte langsheen het kanaal. Hierbij is er een natuurlijke gradiënt van Terneuzen naar Gent. Bij droge zomers wordt zoutindringing tot bij Gent vastgesteld.
5. Ook de Moervaart en Zuidlede vertonen een duidelijke verzilting. De zoutindringing gaat verder dan initieel verwacht.

3. Oppervlaktewatermodellering

Via oppervlaktewatermodellering is in beeld gebracht hoe diverse combinaties van (lage) bovenafvoer op het KGT en een bepaald schutregime bij Terneuzen leiden tot effecten op het kanaalpeil, scheepvaartstremmingen en verzilting. Dit hoofdstuk beschrijft de methode, voornaamste resultaten en conclusies van de oppervlaktewatermodellering. Meer detail is te vinden in het specifieke rapport over de oppervlaktewatermodellering (Vuik et al. 2022).

3.1. Methodiek

De toegepaste werkwijze voor de oppervlaktewatermodellering bestaat uit vier stappen:

1. Definitie van scenario's voor bovenafvoer en strategieën voor de scheepvaartafwikkeling
2. Berekening van spui- en schutdebieten bij Terneuzen
3. Berekening van de zoutlast voor de schutsluizen bij Terneuzen
4. Berekening van de verspreiding van zout op het KGT

De eerste stap is het definiëren van scenario's voor de bovenafvoer. Voor de bovenafvoer zijn drie scenario's (Q1, Q2 en Q3) doorgerekend: (Q1) een opeenvolging van drie gemiddelde winters en gemiddelde zomers, (Q2) een individuele extreem droge zomer inclusief klimaatveranderingseffect na twee gemiddelde zomers, en (Q3) een opeenvolging van drie droge winters en droge zomers. De bovenafvoer is gelijk aan de gemeten bovenafvoer (inclusief variaties) in een bepaalde zomer of winter, waarbij een schaling is toegepast om tot een bepaalde zomer- of wintergemiddelde afvoer te komen. De bijbehorende gemiddelde bovenafvoeren zijn vermeld in Tabel 2, evenals de toegepaste aanpassingen om rekening te houden met klimaatverandering conform klimaatscenario W+ 2050 van het KNMI. Deze aanpassingen zijn procentueel gelijk aan de toegepaste getallen in de MER voor de Nieuwe Zeesluis.

Tabel 2: Karakteristieke debieten voor de periode 2000-2021, toegepaste aanpassing voor het W+ 2050 klimaatveranderingseffect en de gebruikte waarden voor de scenarioberekeningen Q1, Q2 en Q3

	Bovenafvoer o.b.v. metingen 2010-2021	Inclusief W+ 2050 klimaatverandering
	m ³ /s	m ³ /s
Droge zomer	11,6 (scenario Q3)	7,5 (-35%) (scenario Q2)
Droge winter	28,2 (scenario Q3)	
2-mnd laag	7,0	3,9 (-45%) (scenario Q2)
Gem. zomer	17,7 (scenario Q1)	
Gem. winter	34,9 (scenario Q1)	35,6 (+2%)

In alle simulaties is gestreefd naar scheepvaartintensiteiten conform het scenario Global Economy 2030 (GE2030) uit de MER, inclusief Nieuwe Sluis (NST). Het kanaalpeil ligt op NAP+2,10 m, en daarmee ongeveer 2 meter hoger dan de getijgemiddelde waterstand op de Westerschelde. Dit betekent dat bij het schutten water wegstroomt uit het kanaal richting de Westerschelde. Het zogenaamde schutverlies

is gelijk aan het waterstandsverschil, vermenigvuldigd met het oppervlak van de schutkolk. Dit schutverlies treedt op per volledige schutcyclus, bestaand uit een opschutting en een afschutting. In perioden van droogte moeten maatregelen getroffen worden om het kanaalpeil te beheersen. Als er ongelimiteerd zou worden geschut, is de bovenafvoer namelijk kleiner dan het schutverlies, waardoor het kanaal leegloopt. Als de bovenafvoer groter is dan het schutverlies, wordt het overtollige water gespuid via de riolen van de Westsluis of via een gestremde schutkolk.

In de berekeningen zijn vier mogelijke strategieën (S1 t/m S4) doorgerekend om toe te passen in perioden met een lage bovenafvoer:

- Strategie S1: de schutfrequentie terugbrengen gedurende de hele dag, en zo veel mogelijk inzetten op geclusterd schutten van schepen. De frequentie wordt zo ver teruggebracht, dat het schutverlies gelijk is aan de totale bovenaanvoer naar het KGT. Hierdoor zakt het kanaalpeil niet verder dan de ondergrens van NAP+1,85 m.
- Strategie S2: stremmingen van maximaal 8 uur rond laagwater op de Westerschelde. Omdat tijdens laagwater het peilverschil tussen kanaal en Westerschelde maximaal is, is het schutverlies dan het grootst. Door te stremmen rond laagwater en zo veel mogelijk te schutten rond hoogwater, wordt water bespaard.
- Strategie S3: gelijk aan strategie S2, maar dan met stremmingen van maximaal 4 uur. De stremmingen zijn dan korter en worden meer gelijkmatig verdeeld over de Nieuwe Sluis, Oostsluis en Westsluis.
- Strategie S4: geen waterbesparende maatregelen, maar zout water vanuit de Westerschelde oppompen om het schutverlies te compenseren. Dit is in principe in strijd met het verdrag om de zoutindringing bij Terneuzen tot het minimum te beperken, maar het is goed om in beeld te hebben wat de gevolgen van deze optie zouden zijn.

Voor elk scenario (combinatie van bovenafvoer Q1-Q3 en schutregime S1-S4) zijn tijdreeksen berekend met spuidebieten en schutbewegingen. In perioden van droogte zijn beperkingen toegepast via een strategie S1-S4. De beperkingen zijn eerst toegepast bij de Nieuwe Sluis, dan bij de Oostsluis en wanneer nodig tenslotte ook bij de Westsluis. Met een waterbalansmodel is per dag berekend hoeveel er geschut en gespuid moet worden om het kanaalpeil binnen de bandbreedte van 25 cm rond streefpeil te houden (NAP+1,85 m tot NAP+2,35 m).

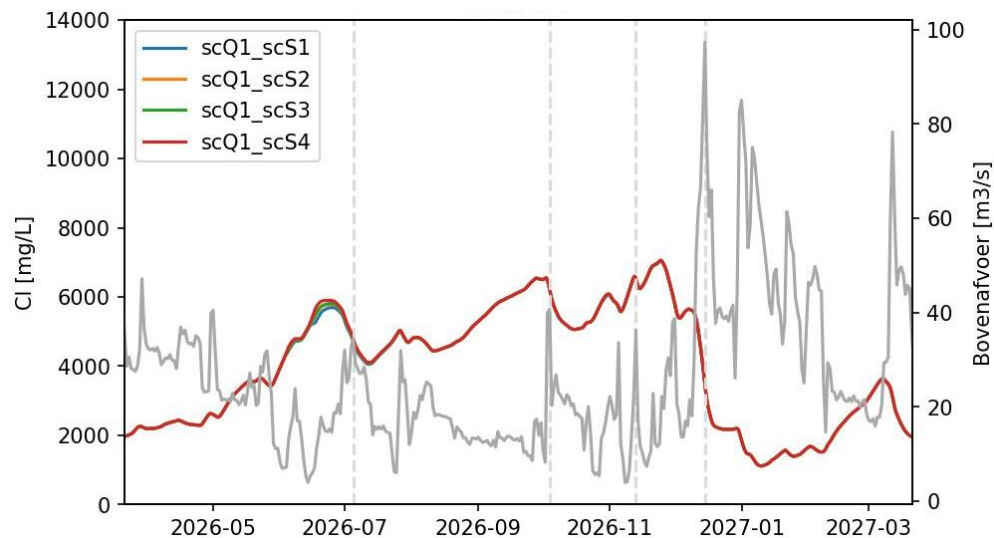
Het schutten zorgt niet alleen voor schutverliezen, maar ook voor zoutindringing. Het zoute water van de Westerschelde mengt met het water uit de schutkolk als de sluisdeuren aan de Westerscheldezijde open staan. Als vervolgens, na het nivelleren, de sluisdeuren aan de kanaalzijde worden geopend, stroomt dit zoutere water via dichtheidsstroming het KGT in. Hoe deze uitwisseling precies verloopt, is per sluis berekend met een instrument met de naam Zeesluisformulering. De zoutlast (instroom van zout per dag) is afhankelijk van de tijdstippen van de schuttingen binnen de getijcyclus en de waterstanden en chlorideconcentraties aan weerszijden van het sluisencomplex.

De bovenafvoer, spui- en schutdebieten en zoutlast zijn opgelegd aan een 1D SOBEK3-model, waarmee de verspreiding van zout op het KGT is berekend, inclusief de zijtakken Moervaart en Zuidlede. Om dit model hiervoor geschikt te maken, is het eerst gekalibreerd op basis van werkelijke afvoeren, schuttingen en chlorideconcentraties in de periode 2016-2020 en het toenmalige sluisencomplex.

3.2. Analyse

Chlorideconcentraties

De aanleg van de Nieuwe Sluis zorgt voor hogere chlorideconcentraties op het KGT. In een gemiddelde zomer varieerden voorheen de maximale dieptegemiddelde chlorideconcentraties op het kanaal tussen de 2000 mg/l bij Gent en 4500 mg/l bij Terneuzen (TSO-metingen in de zomer van 2021). Figuur 4 laat zien hoe de chlorideconcentratie volgens de SOBEK-berekening varieert na aanleg van de Nieuwe Sluis, voor een gemiddelde winter en gemiddelde zomer op een locatie halverwege het KGT. In grijs is de variatie van de bovenafvoer weergegeven (waarbij de gemiddelde zomer is gebaseerd op 2021). Na aanleg van de Nieuwe Sluis en bij realisatie van de scheepvaartprognoses van het MER-scenario GE2030 nemen de piekwaarden voor de chlorideconcentratie volgens de SOBEK-berekeningen toe tot ongeveer 5000 mg/l bij Gent en 8000 mg/l bij Terneuzen.



Figuur 4: Gemodelleerde chlorideconcentratie halverwege het KGT (TSO-locatie 7) en de bijbehorende bovenafvoer (in grijs) voor een willekeurig toekomstig jaar met afvoerscenario Q1 i.c.m. de 4 scheepvaartstrategieën S1-S4

De KRW-norm is een chlorideconcentratie van 3000 mg/l, gemiddeld over drie opeenvolgende zomers (1 april tot 1 oktober) bij meetpunt Sas van Gent (KGTS), 1 meter onder het wateroppervlak. Op basis van de uitgevoerde SOBEK-berekeningen wordt deze concentratie ongeveer 3520 mg/l in een gemiddelde zomer, 5370 mg/l in een droge zomer en 5410 mg/l in een droge zomer met 2-maanden laag periode en klimaatverandering conform W+ in 2050 (zie Tabel 3). Dit duidt erop dat de KRW-norm in de toekomst, met NST, niet gehaald zal worden tijdens gemiddelde tot droge omstandigheden.

De wijze waarop met schutbeperkingen het kanaalpeil wordt gereguleerd heeft in een gemiddelde zomer (Q1) weinig effect op de chlorideconcentraties, omdat de beperkingen dan relatief weinig worden toegepast.

Tabel 3: Inschatting op basis van SOBEK van de chlorideconcentratie (mg/l) bij KGTS, 1 meter onder het wateroppervlak, gemiddeld over de periode 1 april tot 1 oktober voor de verschillende strategieën S1-S4

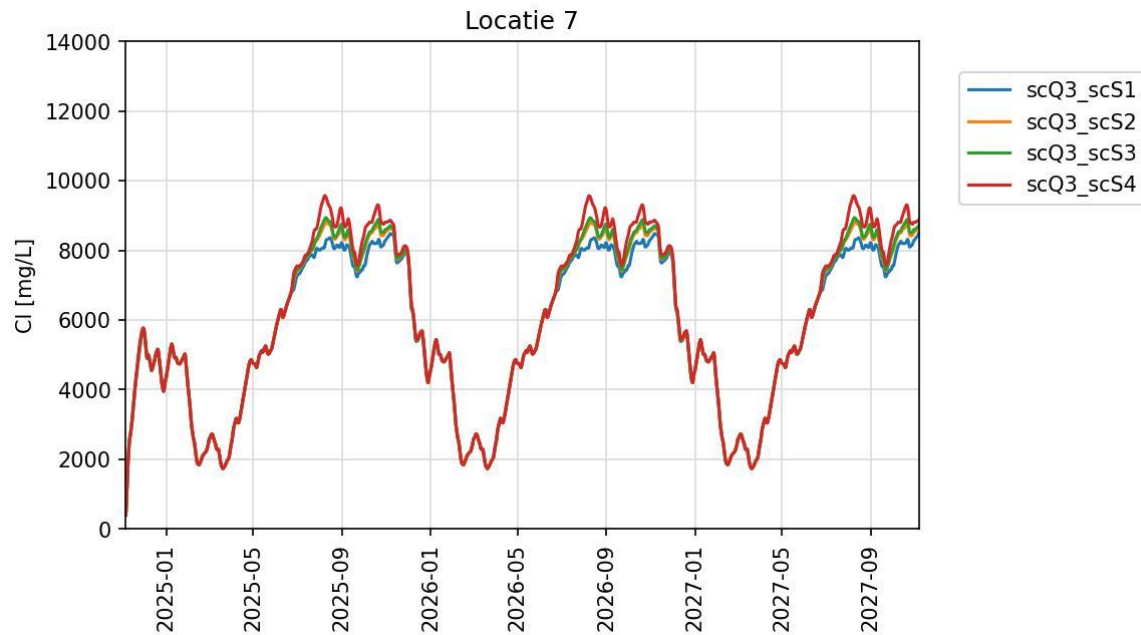
Strategie scheepvaart →	S1	S2	S3	S4
Q1: gemiddelde zomer, huidige situatie	3510	3520	3530	3540
Q2: droge zomer met W+ 2050 klimaatverandering	4900	5410	5560	6010
Q3: droge zomer, huidige situatie	5250	5370	5400	5530

Alleen in het extreme scenario (Q2) met 2 maanden grote droogte en klimaatveranderingseffect, krijgen keuzes over het gebruik van de schutsluizen significante invloed op chlorideconcentraties in het gehele KGT:

- Strategie S1: als het peilbeheer wordt bewerkstelligd door de hele dag minder vaak te schutten, leidt dit tot de laagste chlorideconcentraties op het kanaal. Wel wordt in dit scenario de Nieuwe Sluis het grootste deel van de 2 droge maanden geheel buiten gebruik genomen.
- Strategie S2 en S3: stremmingen zorgen ervoor dat rond hoogwater nog wel gescht kan worden, maar zoutconcentraties zijn aanzienlijk hoger dan als de gehele dag minder vaak (of geheel niet) wordt gescht. 4 uur stremmen van alle schutsluizen is in dit extreem droge scenario niet afdoende om het kanaalpeil boven de ondergrens van NAP+1,85 m (TAW+4,20 m) te houden.
- Strategie S4: de simulatie met oppompen van water uit de Westerschelde leidt tot de hoogste chlorideconcentraties: in een droge zomer met klimaatverandering ongeveer 500 mg/l hoger dan bij de strategieën met stremmingen.

De berekening met een opeenvolging van droge winters en droge zomers (Q3) laat zien dat de bovenafvoer en chlorideconcentraties in de winter slechts een zeer beperkte invloed hebben op de concentraties in de zomer (Figuur 5).

Op de zijrivieren Moervaart en Zuidlede is de bovenafvoer bepalend voor de momenten waarop verzilting optreedt. Dit blijft ook zo na aanleg van de Nieuwe Sluis. Op momenten waarop de zijtakken verzilten, zorgt de aanleg van de Nieuwe Sluis er wel voor dat de pieken van de chlorideconcentratie hoger komen te liggen.



Figuur 5: Gemodelleerde chlorideconcentratie halverwege het KGT (TSO-locatie 7) voor opeenvolgende droge winters en droge zomers (afvoerscenario Q3) i.c.m. de 4 scheepvaartstrategieën S1-S4.

Schutbeperkingen

Om in beeld te brengen hoe vaak scheepvaartstremmingen nodig zijn, is een berekening uitgevoerd met de gemeten bovenafvoer en zeewaterstand uit de periode 2010-2021, maar dan gecombineerd met het nieuwe sluisencomplex en een beoogde schutfrequentie op basis van GE2030. Als stremvolgorde is opnieuw aangehouden: eerst de Nieuwe Sluis, dan de Oostsluis en daarna de Westsluis.

Bij de bovenafvoer van de periode 2010-2021 zou de Nieuwe Sluis gemiddeld 13 dagen per zomer (21 juni tot 21 september) gestremd moeten worden voor watertekort, de Oostsluis 6 dagen en de Westsluis 1 dag. De getallen voor de gemiddelde situatie zijn in dezelfde orde van grootte als de statistieken voor stremmingen uit de MER.

De jaar-op-jaar variabiliteit is echter groot. Er zijn jaren (bijvoorbeeld 2012 t/m 2016) waarbij de bovenafvoer zo hoog is dat er vrijwel geen stremmingen nodig zijn. Er zijn echter ook droge jaren (bijvoorbeeld 2017 t/m 2020), waarin de Nieuwe Sluis op 30 tot 50 zomerdagen rond elk laagwater gestremd moet worden om het kanaalpeil te reguleren, met een stremmingsduur van gemiddeld 5 tot 7 uur per getijperiode. Bij de Oostsluis zijn in dergelijke droge zomers 10 tot 40 dagen stremmingen van kracht. Alleen in extreme gevallen (1 tot 5 dagen per droge zomer) zijn ook korte stremmingen van de Westsluis noodzakelijk.

In het extreem droge scenario Q2 zijn nog drastischere schutbeperkingen nodig, omdat anders het kanaalpeil uitzakt. Bijna de hele zomer is dan op grote delen van de dag alleen de Westsluis beschikbaar, en enkele uren per dag zijn zelfs alle drie de sluisen volledig gestremd. De Nieuwe Sluis en Oostsluis kunnen alleen rond hoogwater worden gebruikt. Deze situatie kan optreden als doorgaande klimaatverandering tot nog extremere droogte leidt dan wat reeds opgetreden is in de periode 2010-2021.

3.3. Besluit

Wanneer de Nieuwe Sluis in gebruik genomen wordt, valt te verwachten dat gemiddeld genomen 13 dagen per zomer (21 juni tot 21 september) schutbeperkingen van kracht zullen zijn ten opzichte van het GE2030 scheepvaartscenario. De jaar-op-jaar variabiliteit is echter groot: het aantal zomerdagen met schutbeperkingen bij de Nieuwe Sluis varieert van 0 tot meer dan 50. Deze voorspelling is in lijn met de eerdere prognoses die in het kader van de MER voor de Nieuwe Sluis Terneuzen zijn gepresenteerd. Als doorgaande klimaatverandering tot nog extremere droogte leidt dan wat reeds opgetreden is in de periode 2010-2021, dan zullen drastische beperkingen op de schuttingen bij Terneuzen nodig zijn (geclusterd schutten en langdurige stremmingen) om het kanaalpeil te beheersen.

De aanleg van de Nieuwe Sluis zorgt voor hogere chlorideconcentraties op het KGT. Uit het uitgevoerde modelonderzoek volgt dat de KRW-norm voor het KGT (3-jaars zomergemiddelde chlorideconcentratie van 3000 mg/l bij Sas van Gent) in gemiddelde tot droge zomers naar verwachting niet langer gehaald kan worden zonder vergaande maatregelen te treffen. Maatregelen gericht op peilbeheersing, zoals minder vaak schutten of stremmen rond laagwater, hebben relatief weinig invloed op chlorideconcentraties verder bovenstrooms op het KGT.

De strategieën voor de scheepvaartafwikkeling bij Terneuzen zijn gebaseerd op ruwe uitgangspunten. Er is nog geen onderzoek gedaan met een model als SIVAK om na te gaan of de scheepvaart binnen de resterende tijdsvensters nog steeds afgewikkeld kan worden zonder dat wachttijden onrealistisch verlopen. Dit onderzoek vindt plaats als vervolg op de hier gepresenteerde studie.

4. Aquatische ecologie

Zoutgehalte in de waterkolom is een belangrijke drijvende kracht voor de samenstelling van verscheidene aquatische gemeenschappen. Een verzilting van het Kanaal Gent-Terneuzen en haar zijlopen kan bijgevolg een sterke impact hebben op het ecologisch functioneren van het kanaalecosysteem. Het luik 'aquatische ecologie' in dit project beoogt om (1) de huidige ecologie te karakteriseren, (2) de robuustheid van de huidige gemeenschappen tegen verzilting na te gaan en (3) de impact op het kanaalecosysteem te evalueren met sterke focus op de vigerende normen in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW).

4.1. Methodiek

Om de onderzoeksdoelen te bereiken, werd een tweeledige aanpak gehanteerd. Het eerste luik omvatte een staalname in oktober 2021 in het Kanaal Gent-Terneuzen en zijn zijlopen. Die data gaven inzicht in de huidige ecologische samenstelling gedurende een periode zonder droogte en met een relatief hoge bovenafvoer. Deze meting kan bijgevolg aangezien worden als een referentiemonitoring die het mogelijk maakt om de gevoeligheid voor verzilting in te schatten. Er werden abiotische en biotische metingen uitgevoerd. Meer specifiek maten we basiswaterkwaliteitsparameters (zuurstofgehalte, zuurtegraad, elektrische geleidbaarheid, temperatuur) met een multiprobe, namen we waterstalen voor de bepaling van chlorofyl a, chloriden, totaal stikstof en totaal fosfor in het labo en bemonsterden we de macroinvertebraten- en visgemeenschap. We gebruikten artificiële substraten om macroinvertebraten te bemonsteren gezien dit de meest geschikte methode is voor kanaalsystemen. De idee achter deze passieve staalnametechniek is de kolonisatie van macroinvertebraten na een periode in het water gehangen of gelegen te hebben. De aangetroffen organismen in het substraat zijn bijgevolg representatief voor de gemeenschap van de macroinvertebraten op de staalnameplaats. Vissen werden bemonsterd door middel van milieu-DNA (environmental DNA, eDNA). eDNA is DNA-materiaal dat werd uitgescheiden door de vissen via losgelaten schubben en ontlasting. Door het aanwezige eDNA in de waterkolom te bemonsteren en te analyseren konden we de visgemeenschap in kaart te brengen.

De abiotische data werden getoetst t.o.v. type-specifieke KRW-waterkwaliteitsnormen zoals gedefinieerd voor het Vlaamse en Nederlandse gedeelte van het studiegebied. Door middel van niet-parametrische statistische toetsen werden kanaal en zijlopen tevens vergeleken m.b.t. abiotiek. Op basis van de macroinvertebraten- en visdata werd gekeken naar de distributie van de verschillende gedetecteerde soorten over het hele gebied. Er werd met andere woorden bepaald waar welke soorten specifiek voorkomen. Om vervolgens een uitspraak te kunnen doen over de robuustheid van de macroinvertebraten- en visgemeenschap op een bepaalde locatie tegen verzilting werd de zouttolerantieindex (ZTI) opgesteld. De ZTI linkt de taxonomische data met soortspecifieke zouttolerantiewaarden en geeft dit weer in één getal dat de zouttolerantie van een bepaalde gemeenschap voorstelt.

In het tweede luik werden statistische modellen opgesteld om de impact van verzilting op biologische gemeenschappen te voorspellen. Net als gedurende de staalname, lag de focus op de macroinvertebraten en de vissen. De modellen werden geconstrueerd met behulp van historische biotische en abiotische data van het kanaal en zijn zijlopen. Gezien de staalnameresultaten aantoonde dat naast verzilting ook vervuiling een belangrijke stressor is in het studiegebied, werden variabelen meegenomen in de modelbouw die geassocieerd konden worden aan beide fenomenen. Dit resulteerde in modellen die de Ecologische Kwaliteitsratio's (EKR) voor de macroinvertebraten en de vissen konden simuleren in functie van abiotische karakteristieken. Tenslotte werden deze modellen aangewend om EKR's te voorspellen voor de drie droogtescenario's uit deel 3 van dit rapport: gemiddelde zomers en winters (scenario 1), een extreem droge zomer inclusief klimaatveranderingseffect (scenario 2) en een opeenvolging van droge winters en droge zomers (scenario 3). Meer specifiek werden de gesimuleerde chloridewaarden van de oppervlaktewatermodellen gebruikt als inputwaarden voor de waterkwaliteitsmodellen om zo het temporele jaarverloop van de EKR's te voorspellen voor de verschillende scenario's voor toekomstige jaren rekening houdend met de bekomen zoutgehaltenes uit hoofdstuk 3. Deze oefening werd gedaan voor vier locaties: (1) stroomopwaarts op de Moervaart, (2) stroomopwaarts op de Zuidlede, (3) samenvloeiing Moervaart en Zuidlede en (4) punt in het midden van het Kanaal Gent-Terneuzen. Deze locaties werden geselecteerd omdat op deze manier de effecten van verzilting voor het hele ecosysteem, gekarakteriseerd door zijn apart deelecosystemen (zoals het stroomopwaartse deel van een zijloop, het stroomafwaartse deel van een zijloop en het kanaal zelf) het best in kaart gebracht worden. Bij de simulaties werd er aangenomen dat de huidige vervuilingsgraad constant blijft. De resultaten werden tenslotte geëvalueerd volgens de type-specifieke EKR-beoordelingscriteria.

4.2. Analyse

De staalnamedata onthullen verscheidene zaken. In het kanaal zijn de EC-waarden significant hoger dan in de zijlopen. Deze kunnen voornamelijk gelinkt worden aan het zoutgehalte. Er worden namelijk (zeer) hoge chloridegehaltenes gemeten, die de brakwatergrens van 1 000 mg/L overschrijden, en er is een sterke positieve relatie tussen EC en chloride-waarden voor het kanaal. Dit staft de redenering dat zoutintrusie een belangrijk fenomeen is in het kanaal. Een matig zwakke zoutgradiënt kan tevens geobserveerd worden over het kanaal van Gent richting Terneuzen. Niettemin mag het belang van vervuiling in het kanaal niet uit het oog verloren worden. In deze staalnamecampagne meten we normoverschrijdende waarden voor de productiviteitsparameters. De gemeten waarden van elektrische geleidbaarheid (EC) overschrijden de Vlaamse norm ruimschoots in de zijlopen (0,6 mS/cm). Hier speelt vermoedelijk vervuiling een belangrijke rol in en in minder mate verzilting. Dit statement wordt ondersteund door de patronen in zuurstofgehalte, productiviteitswaarden en zoutgehalte. De zuurstofconcentraties in de zijlopen zijn over het algemeen lager dan de minimumvereiste om aquatisch leven te ondersteunen (6 mg/L). Daarnaast zijn de concentraties aan totale fosfor en chlorofyl a (maten voor ecosystemproductiviteit) relatief hoog terwijl chlorideconcentraties relatief laag zijn.

De macroinvertebratengemeenschap omvat een grote diversiteit aan taxa in het studiegebied waarvan het leeuwendeel enkel aanwezig is in de zijlopen. De taxa in de zijlopen zijn tevens relatief gevoelig voor een verhoogde zoutconcentraties, maar op een aantal locaties dicht bij de uitstroom in de Schelde vindt men reeds soorten terug met een bepaalde zouttolerantie, zoals Zuiderzeekrab (*Rhithropanopeus harrisi*), brakwatersteurgarnaal (*Palaemonetes varians*), elegante honingvlokreeft (*Melita nitida*) en brakwaterslijkgarnaal (*Corophium multisetosum*). Dit wijst reeds op zoutintrusie-effecten. Daarentegen bestaat het kanaal uit een weinig diverse, maar meer zouttolerante macroinvertebratengemeenschap. Men vindt er vooral krabben, steurgarnalen en brakwaterminnende vlokreeften terug.

Net als bij de macroinvertebraten, is de grootste diversiteit aan vissen terug te vinden in de zijlopen en dan meer specifiek op vlak van karperachtigen en stekelbaarsachtigen. Zo merken we dat stekelbaarsachtigen enkel in de zijlopen zitten en dat het karperbestand op het kanaal gedomineerd wordt door brasem (*Abramis brama*), die een vrij goede zouttolerantie heeft, terwijl er in de zijlopen, waar brasem ook frequent voorkomt, eDNA is gedetecteerd van o.a. vetje (*Leucaspius delineatus*), zeelt (*Tinca tinca*), kolblei (*Blicca bjoerkna*), bittervoorn (*Rhodeus sp.*) en kroeskarper (*Carassius sp.*). Opmerkelijk is dat de laatste drie vernoemde soorten weinig tolerant zijn tegen verzilting, wat erop wijst dat zijlopen vispopulaties herbergen die mogelijk geaffecteerd kunnen worden door toenemende zoutconcentraties. Niettemin merken we dat het leeuwendeel van de gevonden soorten over het hele studiegebied, i.e. zijlopen en kanaal, vooral soorten betreft die goed gedijen in brak water. Bijvoorbeeld, zwartbekgrondel (*Neogobius melanostomus*), een invasieve soort met een hoge tolerantie tegen verzilting, is wijdverspreid aanwezig in het gebied. Er dient opgemerkt te worden dat ook deze soorten zullen migreren bij extreem hoge zoutgehaltenes (> 7 000 mg/L).

De waterkwaliteitsmodellen tonen aan dat de EKR voor het kwaliteitselement van de macroinvertebraten gestuurd wordt door zoutgehalte en variabelen gelinkt aan eutrofiëring terwijl de EKR voor de vissen enkel voorspeld wordt door dit laatste. Dit resultaat is tevens weerspiegeld in de staalnamedata waaruit bleek dat de huidige visgemeenschap weinig zal beïnvloed worden door verzilting terwijl macroinvertebraten veel gevoeliger zijn voor deze stressor. Bijgevolg werden de effecten van verzilting enkel voorspeld voor de macroinvertebratengemeenschap. Voor alle locaties over alle scenario's heen zien we elk jaar een daling in de EKR gedurende de late lente/zomer, wanneer zoutgehaltenes hoogst zijn, terwijl in de herfst/winter het omgekeerde patroon wordt geobserveerd. Voor het meest extreme scenario op elke locatie zijn de dalingen in EKR frequenter, extremer en langduriger terwijl het seizoenale patroon tussen de andere scenario's niet verschillend zijn. De simulaties voor beide stroomopwaartse locaties op de zijlopen Moervaart en Zuidlede zijn gelijkaardig: over het algemeen is de biologische waterkwaliteit matig gedurende het hele jaar, maar tijdens de zomerperiode evolueert dit kortstondig naar een ontoereikende biologische waterkwaliteit. De stroomafwaartse locatie, i.e. aan de samenvloeiing van Moervaart en Zuidlede, situeert zich ook in de range van matige waterkwaliteit, maar het patroon is veel grilliger waardoor de grenzen naar ontoereikende en zelfs slechte biologische waterkwaliteit regelmatig overschreden worden. Dit komt wellicht doordat dit punt dicht bij het kanaal en dus meer onderhevig is aan de fluctuaties in zoutgehaltenes, samen met de slechte waterkwaliteit. De locatie midden op het kanaal Gent-Terneuzen vertoont gelijkaardige patronen, maar een beoordeling van de biologische waterkwaliteit is niet van toepassing gezien de zeer sterke schommelingen in zoutgehalte.

4.3. Besluit

De huidige macroinvertebratengemeenschap leert ons dat het kanaal vooral bestaat uit brakwaterminnende soorten. De zijlopen, daarentegen, herbergen vooral macroinvertebraten met een lage tolerantie tegen verzilting, wat daar wijst op een beperkte invloed van verzilting op de macroinvertebratengemeenschap. Echter, op verscheidene plekken in de zijlopen zijn reeds enkele brakwatersoorten aanwezig wat wijst op zoutintrusie. Een verder toenemende verzilting in de zijlopen kan problematisch zijn voor de huidige macroinvertebratengemeenschap.

De vissengemeenschap in zowel zijlopen als kanaal betreffen vooral soorten die goed kunnen gedijen in water met een hogere zoutconcentratie. Deze tolerantie is sterk soortafhankelijk, maar de meeste vissen dragen zoutconcentraties tot enkele duizenden mg/l. Dit wijst op een hogere robuustheid tegen verzilting dan bij de macroinvertebraten. Echter, in de zijlopen bevinden zich een aantal soorten met een lage tolerantie voor water met hogere saliniteit waardoor verzilting hun populaties kan aantasten. Vooral bij de zijlopen Zuidlede en Moervaart wordt een verdere verzilting verwacht (§3). Bij een situatie gaande naar zoute omstandigheden (piekwaarden 7000 tot 10 000 mg/l) zouden deze soorten kunnen verdwijnen en zelfs de soortgemeenschappen met tolerantie voor brakwateromstandigheden zouden onder druk kunnen komen te staan.

De modelmatige aanpak leert ons dat zowel verzilting en eutrofiëring het biologische kwaliteitselement van de macroinvertebraten negatief beïnvloedt, terwijl voor de vissen enkel eutrofiëring een significante negatieve invloed lijkt te hebben. Dit zijn evenwel zeer algemene verbanden, waarbij een meer gedetailleerde gegevensverzameling en geavanceerde modellering nodig zijn om deze relaties op seizoensniveau te voorspellen, en effecten van ingrijpende wijzigingen in vorige jaren of seizoenen ook mee te kunnen nemen.

5. Terrestrische ecologie – Waterkwaliteit Canisvliet

In Natura2000-gebied Canisvliet, dat op ongeveer 500 m afstand van het Kanaal Gent-Terneuzen ligt, komt de Europees beschermde plant kruipend moerasscherm voor. Aangezien het kanaal een ongeveer 2 m hoger waterpeil heeft dan de kreek, infiltreert er water vanuit het kanaal naar Canisvliet. Een verzilting van het kanaal heeft dus effecten op de waterkwaliteit van Canisvliet; de concentratie chloride in Canisvliet loopt de laatste jaren behoorlijk op en deze toename lijkt gekoppeld aan de toename van de concentratie chloride in de kwel sloten tussen Canisvliet en het kanaal. Aangezien kruipend moerasscherm een soort is van zoete (of mogelijk zwak brakke) omstandigheden, kan dit effecten hebben op de populatie. Daarom is een mitigerende maatregel vastgelegd in het Tracébesluit en het nieuwe peilbesluit; het afkoppelen van de kwel sloten aan de westzijde van het gebied. Binnen dit onderzoek is een water- en chloridebalans opgesteld om te zien of deze maatregel effectief is en geen ongewenste neveneffecten heeft.

5.1. Methodiek

Alle posten van de waterbalans werden verkend en voor elke post werden gegevens opgevraagd waarmee de kwantiteit (m^3/dag) en de kwaliteit ($mg\ Cl/l$) kon worden berekend of geschat. De resultaten hiervan worden weergegeven in Tabel 4. Hiervoor zijn geraadpleegd: het waterschap Scheldestromen, het Natura2000 beheerplan, het peilbesluit en het achterliggende hydrologische rapport (Prov. Zeeland, 2020; WS Scheldestromen 2021a, 2021b). De bevindingen uit deze verkenning voor elke afzonderlijke post staan beschreven in het deelrapport (Van de Haterd & Doef, 2022).

Tabel 4: Geïdentificeerde posten van de waterbalans.

Aanvoer	Kwantiteit (m^3/dag)	Kwaliteit ($mg\ Cl/l$)
1. neerslag	daggegevens KNMI	meetnet RIVM
2. grondwaterkwel	afleiden uit model	FRESHM/facet 7
4. kwel sloten west	afleiden uit model	data WS
5. sloot Zelzate	0 (afgekoppeld)	(data WS; niet relevant)
6. wegsloten	waarschijnlijk gering	waarschijnlijk zoet
Afvoer		
3. sloot noordzijde*	incidentele overstort	zoet
7. verdamping	data KNMI	0
8. afvoer stuw Vissersverkorting	stuwberekening WS	data WS

Voor het opstellen van de water- en chloridebalans werd gebruik gemaakt van een model in Excel dat oorspronkelijk opgezet is door hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en uitgebreid getest voor water- en stoffenbalansen in tientallen polders. Het model bestaat uit een aantal (virtuele) bakjes; ieder bakje is een reservoir waar water in- en uitstroomt. Het model is aangepast op het afvoergebied van de Canisvlietse Kreek, naast de kreek zelf omvat dit dus ook de omliggende percelen die op de kreek afwateren. Schematisatie is opgezet volgens Figuur 6. De twee "bakjes" bodem zijn ingevuld als representatief voor het westelijke gebied, tussen de kreek en het Kanaal Gent-Terneuzen (relatief hoog gelegen, grotendeels agrarisch) en het gebied ten oosten van de kreek (laag gelegen, natuur, met kruipend moerasscherm). De oppervlaktes van de deelgebieden zijn uitgerekend in GIS en de diepte (-3 m NAP) en oeverhelling van de kreek is afgeleid uit profielen van waterschap Scheldestromen. Alle bekende gegevens zijn ingevoerd in deze balans op dagbasis voor de periode 1-1-2014 tot en met 31-12-2021. De tweewekelijkse metingen van chloride van de kwel sloten aan de westzijde zijn geïnterpoleerd naar dagwaarden.



Figuur 6: Schematische weergave van de gebruikte waterbalans. In het midden het waterbakje, daarnaast twee bakjes bodem.

5.2. Analyse

In het terrein ten oosten van de kreek, bij het kruipend moerasscherm staat een ondiepe (freatische) peilbuis. De gemeten grondwaterstanden hiervan zijn vergeleken met de gemodelleerde grondwaterstand in het bakje dat representatief is voor dit gebied. Het uitzakken van de grondwaterstanden is gebruikt om de weerstand van de deklaag te kalibreren. Uit deze kalibratie volgt dat de weerstand van de deklaag rond de 1500 dagen ligt.

Vervolgens is de aanvoer vanuit de kanaalkwelsloten aan de westzijde van Canisvliet nader onderzocht. Hiervoor is gebruik gemaakt van het uitzakken van de waterstanden in Canisvliet in droge perioden. Omdat er geen aanvoermogelijkheid is voor peilregulatie, zijn de kwel en deze kwelsloten in droge

periodes de belangrijkste aanvoerbronnen. Uit de kalibratie blijkt dat de aanvoer in de zomer tussen de 400 en 800 m³/dag moet liggen. Bij een aanvoer van 400 m³/dag komen de gemodelleerde waterstanden ongeveer overeen met de werkelijkheid in de periode 2014-2016, maar voor de periode 2018-2020 is een aanvoer van 800 m³/dag nodig voor de overeenkomst tussen model en werkelijkheid. Er is geen goede verklaring voor het verschil tussen de beide periodes; mogelijk is er in deze tijd iets veranderd in het (peil)beheer van het gebied, maar daarover is niets bekend.

In een volgende stap zijn de gemodelleerde chlorideconcentraties gekalibreerd op de metingen in Canisvliet. De concentraties in de kwelsloten fluctueren tussen de 500 en 3000 mg Cl/l en de concentraties in het kanaal tussen de 1000 en 10000 mg Cl/l. Er is dus een aanzienlijke invloed van (zoet) regenwater in deze sloten en deze invloed zal in de winter groter zijn dan in de zomer. Daarom is de aanvoer vanuit de kwelsloten in de droge zomerperiode lager gezet dan de rest van het jaar; een debiet van 400 m³/dag in de periode juni-september en een debiet van 1600 m³/dag de rest van het jaar bleek redelijke resultaten te geven.

Ten slotte is de (maximale) afvoer over de stuw geschat. Overigens is dit ook als eerste stap uitgevoerd, maar omdat naderhand de debieten van de kwelsloten en de hoeveelheid kwel zijn gekalibreerd in het model, moest dit aan het einde opnieuw gebeuren. De kalibratie is uitgevoerd door de gemodelleerde waterstanden te vergelijken met de gemeten peilstanden in Canisvliet tijdens de natte wintermaanden. Een maximaal debiet van ongeveer 2,7 m³/min bleek de optredende pieken goed te simuleren.

5.3. Besluit

Het kruipend moerasscherm dat voorkomt in het Natura2000 gebied Canisvliet is van nature een soort van zoete omstandigheden (hooguit zwak brak). Stijgende chlorideconcentraties (Vb. tot 5400 mg/l bij Sas van Gent in SOBEK-model) kunnen dus een significante impact hebben op de populatie. Uit de opgestelde waterbalans en chloridebalans voor Canisvliet blijkt echter dat de aanvoer van de kwelsloten bijna de helft van de waterbalans en driekwart van de chloridebalans van Canisvliet vormt. De kwel vanuit het eerste watervoerende pakket naar de kreek is in vergelijking hiermee gering (6% water en 12% van het chloride). Echter, naast kwel naar de kreek zelf, komt er ook kwel vanuit het eerste watervoerende pakket via de bodem van het afvoergebied naar de kreek. Op afvoergebiedniveau blijkt dat de kwelsloten 67% en de rechtstreekse kwel naar de kreek 33% bijdragen aan de chloridebalans (beste schatting). De impact van de kwelsloten is dan ook veel belangrijker en de mogelijke impact die een verdere verzilting van het kanaalwater zou hebben is van nevensgeschikt belang.

De chloridebalans heeft een duidelijk seizoenpatroon. In de winter is aanvoer van de kwelsloten groter (aanname) en treedt veel drainage vanuit de bodem op. In de zomer is de aanvoer van de kwelsloten geringer maar wel de belangrijkste aanvoerpost. 's Zomers is er weinig of geen afvoer over de stuw, maar wel infiltratie naar de bodem. Het debiet van de kwelsloten is belangrijk voor het functioneren van het systeem en vormt dan ook de grootste onzekerheid in de huidige balans.

Na het uitvoeren van de geplande afkoppeling van de kwelsloten zullen de chlorideconcentraties in de kreek vrijwel zeker gaan dalen, met name in de zomer. Het omleiden van de kwelsloten zal als neven-effect hebben dat het waterpeil in de kreek in de zomer aanzienlijk lager wordt. Door de lagere

(grond)waterstand zal de aanvoer van (brakke) kwel uit het eerste watervoerende pakket vrijwel zeker iets toenemen, maar naar verwachting heeft dit slechts beperkte effecten. Kruipend moerasscherm is echter een verdrogingsgevoelige soort, dus de daling van het kreekpeil is een ongewenst neveneffect.

Er bestaan echter nog enkele kennisleemten; de belangrijkste zijn het debiet van de kwel sloten en de effecten van een verlaging van het (grond)waterpeil op het kruipend moerasscherm. Om deze weg te werken zouden additionele metingen nodig zijn van de kwel sloten en nader onderzoek naar het effect van grondwaterpeil op het kruipend moerasscherm en de systeemverandering in 2017.

6. Terrestrische ecologie – Voorkomen van de waterspitsmuis

In het verleden waren er duidelijke aanwijzingen op basis van de analyse van braakballen van kerkuilen verzameld in het zuidelijke deel van het Nederlandse gebied langs het Kanaal Gent-Terneuzen dat de waterspitsmuis hier voorkwam. Dit is een beschermde soort waarvoor geen vrijstelling geldt voor ruimtelijke ontwikkelingen in het kader van de Wet natuurbescherming (Wnb). De waterspitsmuis bewoont de oevers van zoete tot brakke wateren met een rijke waterplantenvegetatie, waar de waterspitsmuis al duikend op macrofauna foerageert. Door een verandering van het zoutgehalte kan de waterplantenvegetatie afnemen en mogelijk zelfs verdwijnen. Dit kan van invloed zijn op het voorkomen van de waterspitsmuis.

Op dit moment ontbreekt inzicht in het huidige voorkomen van de waterspitsmuis in het gebied langs het Kanaal Gent-Terneuzen. Door de Zoogdierverseniging (in 2006) en Bureau Wieland (in 2012) is met life-traps geprobeerd deze soort in de kanaalzone te vangen, maar dit was zonder succes. Van de waterspitsmuis is echter bekend dat de soort zeer moeilijk met life-traps is te vangen.

Om te kunnen uitsluiten dat de waterspitsmuis in de huidige situatie nog langs het Kanaal Gent-Terneuzen voorkomt, is de beschikbare informatie bestudeerd en samengevat. Daarnaast zijn bodemonsters langs de oevers van potentieel voor de waterspitsmuis geschikte waterpartijen genomen om deze te analyseren op het voorkomen van eDNA van de waterspitsmuis.

6.1. Methodiek

De beschikbare literatuur over het voorkomen van de waterspitsmuis in Nederland en in het bijzonder in Zeeuws-Vlaanderen is bestudeerd. Daarnaast is gezocht naar gegevens over de prooisamenstelling van braakballen van uilen in en bij de kanaalzone.

Verbeylen (2011) geeft aan dat waterspitsmuizen zeer moeilijk te inventariseren zijn. In de zomer zijn de dichtheden weliswaar het hoogst, maar de soort kent dan een zeer nomadisch bestaan, waardoor het vaststellen bemoeilijkt wordt. In het midden van de winter (januari-maart) zijn de dichtheden laag, territoria klein en wordt veel tijd in het nest doorgebracht, waardoor waterspitsmuizen moeilijk te vinden zijn. Bij aanvang van de winter (november-januari) is de populatie stabiel en bezetten de dieren vooral de optimale gebieden. In overleg met een waterspitsmuisdeskundige en Staatsbosbeheer zijn in november 2021 10 monsterlocaties geselecteerd in de directe omgeving van het kanaal. Elk monster bestond uit 15-20 submonsters die gemengd werden. Vervolgens werden kenmerkende DNA-fragmenten

onder gecontroleerde omstandigheden vermenigvuldigd (primers). In deze primers is gekeken of hierin DNA van de waterspitsmuis aanwezig was.

6.2. Analyse

De waterspitsmuis werd in de periode 1970-2000 nog regelmatig aangetroffen in braakballen van kerkuilen uit de kanaalzone. Uit latere jaren zijn wel braakballen afkomstig uit de kanaalzone uitgezocht, maar de waterspitsmuis is niet meer in deze braakballen aangetroffen. De actieradius van een kerkuil is sterk afhankelijk van het karakter van een gebied. In een kleinschalig gebied is de grootte van het jachtgebied 60 ha en in een grootschalig gebied tot ruim 1.200 ha, hetgeen neerkomt op een gemiddelde afstand tot de broedplek van resp. 500 tot 5000 m (De Jong, 2017). Bij onderzoek in Noord- en Zuid-Holland met gezenderde kerkuilen, joegen de vogels in de broedtijd vaak tot op 700-1000 m van de nestkast met uitschieters van 2,5 km (Dekker & van Rijn, 2018). Dit laat zien dat kerkuilen bij voorkeur op korte afstand van hun broedplek jagen, om zo de vlieggkosten te beperken. Hieruit kan afgeleid worden dat de waterspitsmuis in de periode 1970-2000 in de kanaalzone aanwezig was en sindsdien waarschijnlijk is verdwenen. Er is alleen een recente waarneming van een waterspitsmuis op 2 km ten oosten van Westdorpe. Dit is op 3,6 km afstand van het Kanaal Gent-Terneuzen.

In de 10 bodemmonsters uit de oeverzone van voor waterspitsmuizen potentieel geschikte locaties in de kanaalzone werd geen eDNA van de waterspitsmuis vastgesteld. Ook in het eDNA monster van Westdorpe werd geen eDNA van de waterspitsmuis aangetroffen.

6.3. Besluit

In november 2021 zijn langs het Kanaal Gent-Terneuzen op 10 potentieel geschikte locaties voor de waterspitsmuis bodemmonsters verzameld en vervolgens geanalyseerd op het de aanwezigheid van eDNA van de waterspitsmuis. In de monsters is geen eDNA van de waterspitsmuis aangetroffen. Ook uit de analyse van de braakballen van kerkuilen uit Zeeuws-Vlaanderen blijkt dat na het jaar 2000 geen waterspitsmuizen meer werden vastgesteld in braakballen van kerkuilen uit de directe omgeving van het kanaal Gent-Terneuzen. Wel wordt de waterspitsmuis nog in braakballen vastgesteld afkomstig van locaties op grotere afstand van het kanaal. Aangezien de waterspitsmuis tegenwoordig in de directe omgeving van het Kanaal Gent-Terneuzen ontbreekt, bestaat er geen kans dat het voorkomen van de waterspitsmuis negatief beïnvloed wordt door toenemende chloridegehalten in het grondwater afkomstig uit het Kanaal Gent-Terneuzen.

7. Grondwater

Hoofdstuk 3 toonde duidelijk dat het oppervlaktewater zal verzilten, dit doet de vraag rijzen of dit ook invloed heeft op het grondwater en mogelijk secundaire effecten op bijvoorbeeld de landbouw. Indien de grondwaterstroming niet wijzigt zal een verdere verzilting van het kanaal nauwelijks impact hebben op de landbouw gezien deze voornamelijk gebruik maken van zoetwater lenzen. Volgens het MER (Pfaff & Wagenaer, 2015) zal men ook tijdens het W+ scenario jaargemiddeld onder de chloridegrens van 5000 mg/L voor grondwater blijven. Eens men boven deze grens gaat durft geen enkele bestaande publicatie of rapport zich uit te spreken over mogelijke effecten in het gebied van KGT. Wijzigingen in het grondwaterpatroon t.g.v. dichtheidsstromingen zijn dan niet uit te sluiten.

Verder wordt er, in studies uitgevoerd op Kanaal Gent-Terneuzen (KGT), altijd impliciet aangenomen dat het kanaal en zijn geconnecteerde zijlopen louter infiltreren in Nederland en louter draineren in België. De scheiding wordt dan ook altijd gelegd op de Belgisch-Nederlandse grens. Onderbouwende studies kunnen hier echter niet over gevonden worden.

Beide observaties leiden tot volgende onderzoeksvragen:

1. Is het KGT daadwerkelijk louter infiltrerend in Nederland en puur drainerend in België zoals standaard wordt aangenomen? Speelt de verziltingsproblematiek van het grondwater met andere woorden enkel in Nederland?
2. Wat als chloridegehalte hoger komt te liggen dan 5000 mg/l: verkrijgt men dan wel aanzienlijke wijziging in de grondwaterstroming? En kan dit bijgevolg wel een impact hebben op de landbouw die nu volledig berust op de zoetwaterlenzen?

7.1. Methodiek

Om te bepalen of het kanaal of de rivier een infiltrerend of drainerend karakter heeft, wordt het relatief verloop van het grondwaterpeil vergeleken met het oppervlaktewaterpeil. Dit wordt bekeken voor het kanaal zelf en de belangrijke, geconnecteerde zijlopen. Uit de ruimtelijke analyse (Vanhooren *et al.*, 2021a) blijkt dat enkel de zijlopen Moervaart en Zuidlede verzilt zijn en daarom worden alleen deze twee zijlopen beschouwd.

Om het effect van verzilting op de zoetwaterlenzen die gebruikt worden door de landbouw in Nederland te bestuderen wordt de aanpak in twee facetten verdeeld. Het bepalen van de mogelijke impact van dichtheidsstromingen enerzijds en een analyse van de geometrie van de zoet-zout verdeling anderzijds.

Drie transecten in de buurt van zoetwaterlenzen werden hiervoor geselecteerd (o.a. Canisvliet wegens de hoge ecologische waarde). Voor meer informatie over de transecten wordt verwezen naar het deelrapport (Vanhooren *et al.*, 2021b).

In eerste instantie wordt nagegaan of een hoger chloridegehalte kan leiden tot het voorkomen van dichtheidsstroming. In het geval van infiltratie van zout kanaalwater boven zoet(er) grondwater ontstaat immers een instabiele situatie wegens het dichtheidsverschil. Hiervoor wordt het getal van Rayleigh met een grenswaarde van 40 (Van der Molen, 1989) gehanteerd. Het Rayleigh getal wordt voor verschillende chloridegehalten berekend om een inschatting te maken vanaf wanneer dichtheidsverschijnselen zich voordoen. Vervolgens dient ook bepaald te worden of de uitwisseling ten gevolge van de dichtheidsstroming maatgevend is. Dit wordt gedaan naar de methode van Van der Molen (1989).

In een volgend deel van de analyse wordt dan gekeken naar de geometrie van de zoet-zout verdeling in het grondwater. De dikte van de zoetwaterlens die kan ontstaan in een evenwichtssituatie wordt bepaald door het zoutgehalte van de onderliggende laag en de opbolling. Doormiddel van de theorie van Badon-Ghijben (1888) en Herzberg (1901) wordt berekend op welke diepte de zoutwatergrens zich bevindt. Bij stijgende zoutgehalten van het grondwater zal de zoetwaterlens ondieper gaan liggen.

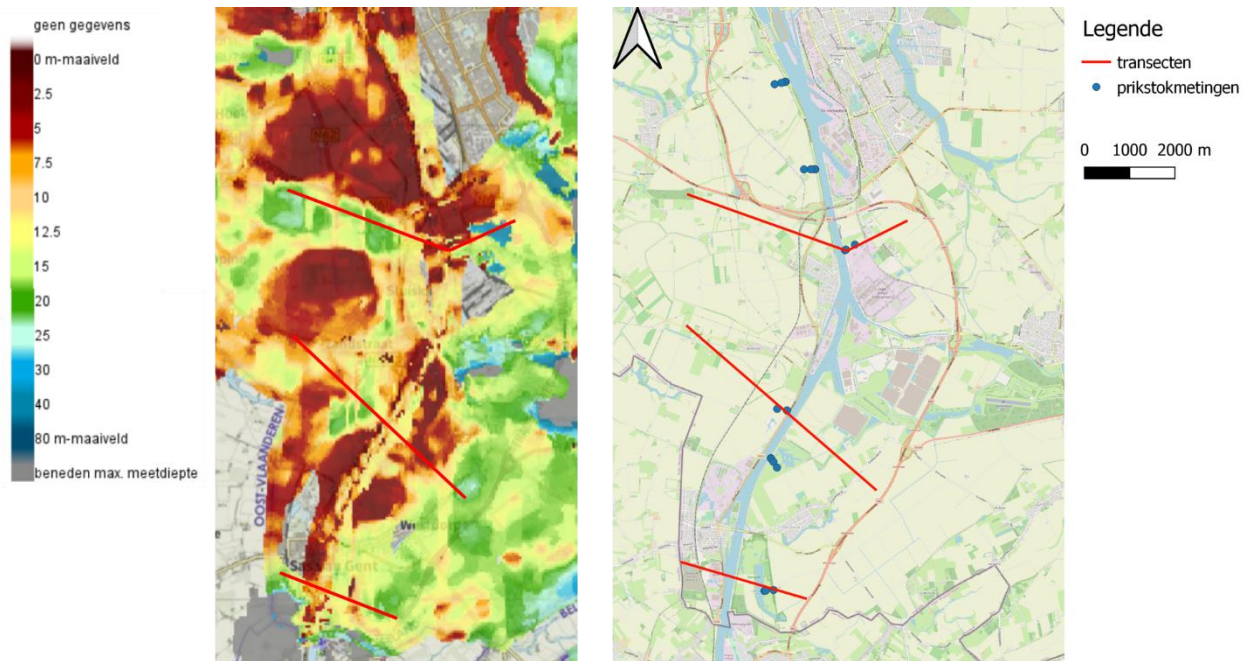
Voor de drie transecten wordt dus berekend hoe diep het zoute water theoretisch voorkomt. De berekende dieptes worden daarna getoetst aan metingen van het zoutgehalte in Zeeland: hiervoor wordt beroep gedaan op FRESHEM (van Baaren *et al.*, 2018), een onderzoeksprogramma van Deltares.

7.2. Analyse

Net nabij de Nederlandse grens is het Kanaal Gent-Terneuzen nog infiltrerend, maar direct stroomopwaarts werkt het quasi onmiddellijk drainerend. De aanname dat KGT drainerend is in België en infiltrerend in Nederland, wordt bijgevolg bevestigd door deze verkennende studie.

Op de zijlopen waarvan het kanaalwater effect ondervindt van het verziltende kanaalwater (Moervaart en Zuidlede), is de situatie minder rechtlijnig. Voor zowel de Moervaart als de Zuidlede wordt vastgesteld dat de rivieren infiltreren tijdens de zomer maar eerder een gemengd karakter vertonen tijdens de winter. Tijdens de zomer wordt de grootste mate van verzilting gemeten op deze rivieren. Concreet wil dit zeggen dat het zoute rivierwater dan de ondergrond zal indringen en ervoor zal zorgen dat het grondwater verzilt, de verzilting van het kanaalwater zal dus een invloed uitoefenen op het grondwater nabij de Moervaart en Zuidlede. Tijdens de winter werkt de Moervaart op sommige plaatsen drainerend en op andere infiltrerend, waar mogelijk zal dan het zoete water infiltreren in het grondwater.

Zoals eerder vermeld wordt nagegaan welke invloed de verdere verzilting van het kanaal heeft op de zoetwaterlenzen in de ondergrond aan NL zijde. Het meest zuidelijke transect ligt ter hoogte van Canisvliet en werd gekozen wegens het ecologisch belang van deze zone. Het middelste profiel ligt ter hoogte van Sluiskil en het noordelijkste transect tussen Terneuzen en Sluiskil ("Terneuzen") (Figuur 7).



Figuur 7: : ligging van de transecten. (LINKS): FRESHM, schaal duidt de diepte van het grensvlak 1000 mg Cl-/L. bron: <https://kaarten.zeeland.nl/map/freshem> (RECHTS) ligging prikstokmetingen en transecten.

De veruit belangrijkste factor in deze analyse is de bodemweerstand of infiltratiecapaciteit van het kanaal. Dit bepaalt namelijk hoe snel – en bijgevolg hoeveel – water er de ondergrond indringt. In het MER werd een waarde van 50 dagen bepaald, maar er zijn echter talrijke redenen om aan te nemen dat deze waarde te laag ligt. In dergelijke kanalen (vergelijkbaar met het KGT) met constante infiltratie en aanvoer van slib is een infiltratieweerstand van eerder 1000 dagen plausibel. Dit leidt tot een mogelijke onderschatting van de verblijftijd van het water waardoor de processen mogelijk veel langer duren dan geanticipeerd.

Om te evalueren of dichtheidsstroming voorkomt, werd het getal van Rayleigh berekend voor verschillende scenario's: huidige toestand (2000 mg Cl-/L) en een extreme toekomstige toestand (5000 mg Cl-/L). Deze scenario's wezen uit dat er nu al dichtheidsstromingen komen langsheen de drie transecten. Echter, de uitwisselingstijd toont aan dat dit proces enkele tientallen tot zelfs honderden jaren kan duren. Het effect van de dichtheidsstroming is bijgevolg verwaarloosbaar in vergelijking met de grondwaterstroming, dat tussen 1 en 10 jaar ligt. Als het chloridegehalte hoger komt te liggen dan 5000 mg/l verkrijgen we bijgevolg nog steeds geen aanzienlijke versnelling van de infiltratie uit het kanaal naar het grondwater.

Dit sluit echter niet uit dat er effecten zijn van de verzilting van het kanaal: de dichtheidsstroming is verwaarloosbaar, maar het zoute kanaalwater infiltreert in de ondergrond en wordt met de grondwaterstroming mee verplaatst. In Canisvliet zal dit leiden tot een verdere verzilting van het grondwater onder de kreek. De twee meer noordelijke transecten hebben reeds een hoog chloridegehalte in het grondwa-

ter; vermoedelijk een artefact van de tijd dat deze gebieden nog niet bedijkt waren en zeewater infiltreerde in het grondwater. Hier verwachten we geen bijkomende effecten: noch ten gevolge van de dichtheidsstroming, noch door infiltrerend kanaalwater. Ongeacht de andere methode en aannames, bekomen we bijgevolg toch gelijkaardige resultaten als het MER: de te verwachten verdere verzilting van het Kanaal Gent-Terneuzen zal geen aanzienlijke invloed uitoefenen op de zoetwaterlenzen; en bijgevolg ook niet op de landbouw.

7.3. Besluit

In deze verkennende studie werd het drainerend karakter van het KGT onderzocht. Er wordt besloten dat het KGT inderdaad drainerend is in België en infiltrerend in Nederland. Op de zijlopen; de Moervaart en Zuidlede is de situatie niet even rechtlijnig. Men kan ervan uitgaan dat verzilting van het KGT een invloed zal uitoefenen op het grondwater nabij de Moervaart en Zuidlede.

Verder, wat betreft de verzilting met chloridegehalte hoger dan 5000 mg/L, worden geen aanzienlijke wijzigingen in de grondwaterstroming noch invloed op de zoetwaterlenzen verwacht. Dit betekent dat er ook voor de landbouw die gebruik maakt van deze zoetwaterlenzen geen nadelige gevolgen te verwachten zijn.

8. Onttrekkingen

Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 2 zijn er in het verleden reeds hoge zoutgehalten vastgesteld tot in Gent. Hoofdstuk 3 toont dat deze waarden naar de toekomst nog hoger kunnen worden en deze frequenter zullen voorkomen. Gezien de te verwachte verdere verzilting van het kanaalwater zal dit ook een financiële impact hebben op de onttrekkings- en lozingsactiviteiten van bedrijven die plaatsvinden op het kanaal. Dit deelonderzoek heeft bijgevolg tot doel meer info te verschaffen betreffende volgende onderzoeksvragen:

1. Is een validatie/verfijning mogelijk van onderstaande grenzen uit het VRAG¹?
 - 1000 à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$: niet meer bruikbaar voor proceswater
 - 1500 à 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$: niet meer bruikbaar voor koeltorens
2. Wat zijn de vastgestelde feiten bij bedrijven (Vb. schade, stijgende productiekosten) tijdens afgelopen zoute periodes?
3. Hoe bestand zijn de bestaande ontziltingsinstallaties/materiaaltypen tegen stijgende verzilting en kan men bovengrenzen vastleggen?
4. Wat is de benodigde investeringskost bij verregaande verzilting?

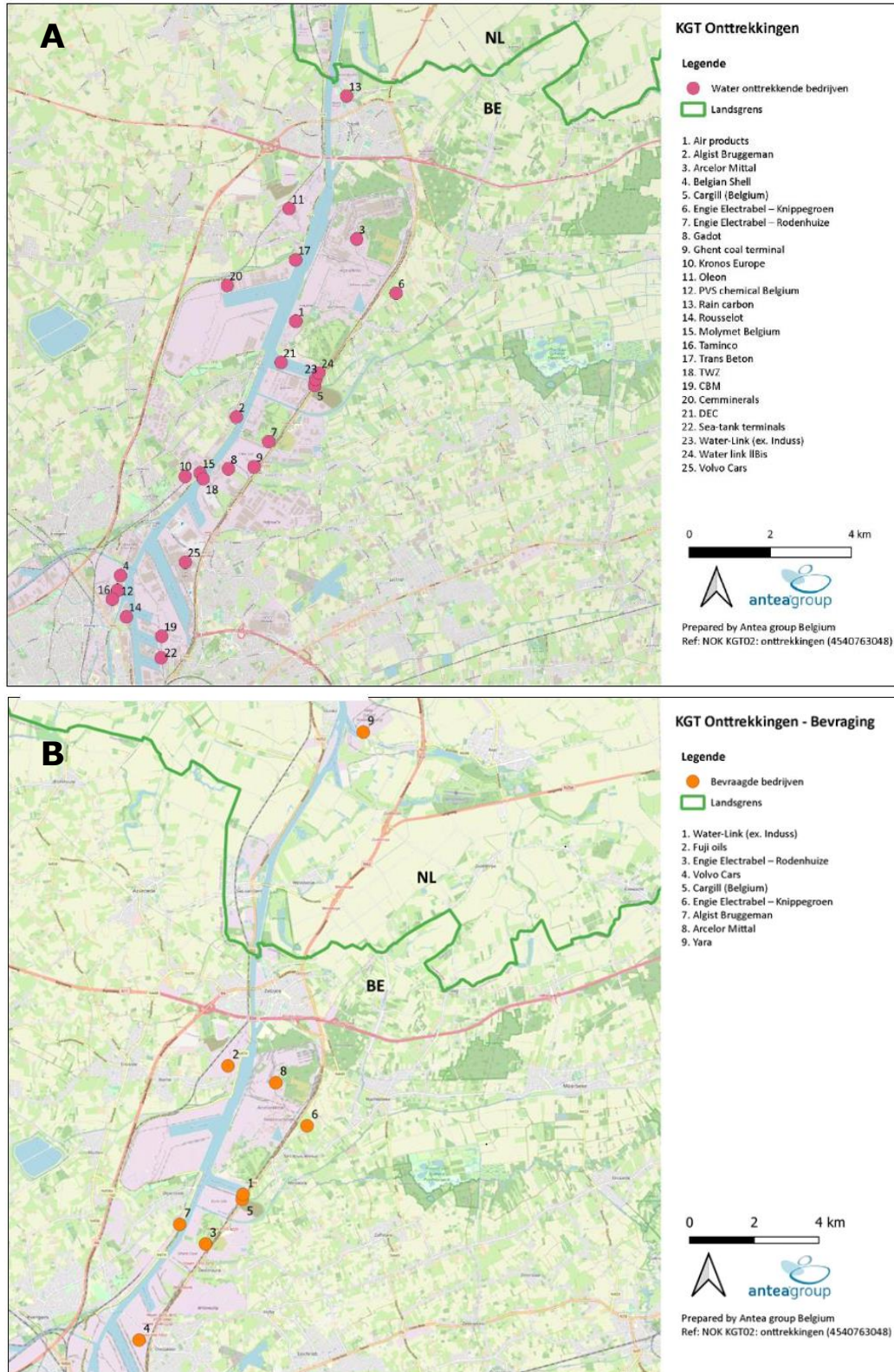
8.1. Methodiek

Deze verkennende studie werd in 2 delen gesplitst:

1. Het eerste luik omvatte de verzameling van basisinformatie door (a) opzoekwerk en (b) bevraging van North Sea Port, producenten van ontziltingsinstallaties en 2 grote bedrijven (1 in NL en 1 in BE).
2. Het tweede luik omvatte een meer diepgaandere bevraging bij de waterge(/ver)bruikers om bijkomend inzicht te verkrijgen in hoe robuust hun systemen zijn tegen verzilting.

Instanties zoals North Sea Port en VOKA werden bevraagd vanwege hun algemene visie en hun actieve interactie met de bedrijfswereld in kwestie. Bedrijven zoals Arcelor Mittal, Cargill en Engie vormen de grootste spelers qua watercaptatie in het kanaal (BE deel) en werden dan ook bevraagd. Een overzicht van de onttrekkende bedrijven en bevraagde bedrijven kan worden teruggevonden in Figuur 8. Voor verdere gedetailleerde informatie wordt verwezen naar het specifieke deelrapport (Thant *et al.*, 2022).

¹ Vlaams reactief afwegingskader voor prioritair watergebruik tijdens waterschaarste



Figuur 8: Overzicht onttrekkende (BE) (A)/bevraagde (B) bedrijven op het Kanaal Gent-Terneuzen.

8.2. Analyse

In het kader van dit onderzoek werden volgende bedrijven gecontacteerd (diepgaande bevraging): Yara (NL), Arcelor Mittal (BE), Engie (BE), Water-Link (BE), Cargill (BE/NL) en Algist Bruggeman (BE).

Deze bedrijven in het havengebied gebruiken het kanaalwater voor o.m. koelwater, proceswater als bluswater; ieder met hun eigen kwaliteitsvereisten. De geïnterviewde bedrijven die het kanaalwater louter als koelwater hanteren, beschikken niet over een ontziltingsinstallatie waardoor de resistentie van hun systemen nauw samenhangt met het zoutgehalte. De informatie verkregen via de beperkte bevraging, duidt op een Noord-Zuid gradatie met resistentere materialen in het zoutere Noorden (e.g. Yara met Duplex 2205, CuNi 90/10 en recent ook Superduplex 2507) dan naar Gent toe (e.g. Algist Bruggeman met Inox type 304/304L). Bedrijven die proceswater onttrekken hanteren strengere kwaliteitseisen, waardoor ze genoodzaakt zijn om (a) over een ontziltingsinstallatie te beschikken en/of (b) kanaalwater te mixen met andere bronnen – of in zoute periodes volledig overschakelen.

Bij de eerste verkennende studie ('NOK KGT01') werd gewag gemaakt van grenzen qua chloridegehalte uit het VRAG. VOKA gaf aan dat de grenzen uit het VRAG een uitmiddeling zijn van de bedrijfs- en sectorspecifieke cijfers. De verzamelde informatie duidt er inderdaad op dat het niet zo eenvoudig is om dergelijke rechtlijnige grenzen te trekken, gezien deze steeds afhankelijk zijn van gebruikswijze, type installatie en de mate van een eventuele bijmenging met andere waterbronnen. Op basis van de verzamelde informatie, kunnen we wel stellen dat:

1. De brakwatermembranen van ontziltingsinstallaties een bovengrens qua conductiviteit van 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hebben. Eens deze langdurig overschreden wordt, schakelt men best over naar zeewatermembranen.
2. De bedrijven eerder kwaliteitseisen stellen in termen van mg/l of ppm Cl-i.p.v. $\mu\text{S}/\text{cm}$
3. Voor de resistentie van materialen dient men ook andere omgevingsvariabelen zoals de temperatuur in rekening te brengen.
4. Naast de resistentie van materialen en de begrenzing van membranen, kunnen bedrijven ook specifieke vereisten stellen als het water in contact komt met hun product.

Tabel 5 en Tabel 6 geven een overzicht van de verschillende materiaaltypen/installaties die genoemd werden door de bedrijven en hun tolerantiegrens qua chloridegehalte vooraleer schade kan optreden.

Tabel 5: Overzicht van de resistentie van materiaaltypen gevonden in de literatuur en genoemd door de bedrijven tegen toenemende chloridegehalten. Waarden uitgedrukt in ppm werden gelijkgesteld aan de concentratie in mg/l. Conductiviteitswaarden werden omgezet naar mg/l door gebruik van een factor 0,67 (Bron: www.metresys.nl, 2022)

Materiaaltype	Resistentie chloridegehalte (mg/l)
304/304L	200 mg/l
316/316L	1000 mg/l
Duplex 2205	Ca. 3500 mg/l
Super Duplex 2507	Ca. 30000 mg/l

Tabel 6: Overzicht van de resistentie van installaties en processen genoemd door de bedrijven tegen toenemende chloridegehalten. Waarden uitgedrukt in ppm werden gelijkgesteld aan de concentratie in mg/l. Conductiviteitswaarden werden omgezet naar mg/l door gebruik van een factor 0,67 (Bron: www.metresys.nl, 2022).

Installatie/proces	Resistentie chloridegehalte (mg/l)
Installaties Engie	Installaties ontworpen voor ca. 2000 – 2500 mg/l
Proceswater hoogovenslakken (AM)	3000 mg/l
Blussing cokesfabriek (AM)	1500 mg/l
Brakwatermembranen	5300 mg/l
Zeewatermembranen	Geen bovengrens.

De voorbije droge en zoute periodes veroorzaakten reeds bij meerdere bedrijven verhoogde onderhoudskosten wegens slijtage in de grootteorde van meerdere € 10 000 tot € 100 000. Dit noopte een aantal bedrijven al tot een of éénmalige investerings- of jaarlijkse kost in de grootteorde van € 100 000 tot € 1 000 000 door:

- Over te schakelen naar meer resistente materialen:
 - Yara die overschakelt naar Superduplex 2507
- Ontziltingsinstallaties in gebruik te nemen en/of over te schakelen van een brak- naar zeewatermembraan:
 - Water-Link die meer gebruik maakt van hun zeewatermembraan met hogere energie en personeelskost tot gevolg.
 - Arcelor Mittal die genoodzaakt is tot een bijkomende inzet van een mobiele zeewaterskid met jaarlijkse kost tot gevolg.
- Meer supplement van andere waterbronnen en/of het aankopen van water bij derden:
 - Arcelor Mittal koopt water aan bij de Water-Link, gebruik van grondwater alsook onderzoeken ze het potentieel hergebruik van regenwater als alternatieve oplossing.

Merk op dat verhoogde onderhoudskosten nog niet waargenomen zijn bij het meer opwaarts gelegen Algist Bruggeman. Het is voor alle bedrijven sowieso lastig om al-da-niet gestegen slijtagekosten toe te schrijven aan een (tijdelijk) verhoogde verzilting. Men zit daarom in bepaalde gevallen nog in de "ge waarwordingsfase" van de problematiek.

De gedetailleerde bespreking per bedrijf wordt gegeven in Thant *et al.* (2022), deze bevat o.a. een tabel met daarin een samenvattend overzicht van de informatie verkregen uit de verschillende bevestigingen. Het overzicht geeft de type installatie (en hun grenzen qua chloridegehalten) per bedrijf, de huidige vaststellingen (schade/kosten) t.g.v. verzilting en de mogelijke investeringstypes en -kosten weer.

8.3. Besluit

Ook de bedrijfswereld zal een impact ondervinden indien een verdere verzilting van het kanaalwater optreedt. Indien het kanaal verder en/of langer verzilt, mag men ervan uitgaan dat meer bedrijven gedwongen zullen worden om (investerings-)kosten te maken. Met door SOBEK berekende piekwaarden van 8000 mg/l bij Gent en 10 000 mg/l bij Terneuzen, worden de tolerantiegrenzen van quasi alle materiaaltypen en opgelegde normen voor processen (vb. blussing cokesfabriek Arcelor Mittal) sterk overschreden. Enkel het zeer resistente Superduplex 2507 en de zeewatermembranen zijn opgewassen tegen een dergelijke verzilting van het kanaalwater. Ook bij de seizoensgemiddelde waarden voor de

verschillende scenario's, zoals hier besproken voor Sas van Gent, wordt reeds duidelijk dat de meeste materiaaltypen niet of amper resistent genoeg zullen zijn. Veel hangt echter ook af van de locatie van een bedrijf langsheen het kanaal.

Bij verregaande verzilting zal men nog ingrijpendere aanpassingen moeten uitvoeren dan nu al waargenomen. Er kan van uitgegaan worden dat in dergelijke scenario's significante investeringen voor onderhoud en/of herdesign van installaties nodig zal zijn wat kosten van 100.000'den tot ettelijke miljoenen euro met zich mee kan brengen.

9. Conclusies

Zoals aangegeven in Vuik *et al.* (2022) zullen chlorideconcentraties op het KGT significant toenemen bij ingebruikname van de Nieuwe Sluis. In de oppervlaktewatermodellering zijn gemiddelde tot extreem droge zomers gecombineerd met de scheepvaartintensiteit bij het Global Economy 2030 (GE2030) scenario. De KRW-norm voor het Nederlandse deel van het KGT schrijft voor dat de chlorideconcentratie bij Sas van Gent gemiddeld over drie zomers (1 april tot 1 oktober) niet hoger mag liggen dan 3000 mg/l. Uit de SOBEK-modellering volgt dat de zomergemiddelde chlorideconcentratie bij Sas van Gent in een gemiddelde zomer ongeveer 3520 mg/l zal worden na ingebruikname van de NST. In droge zomers loopt deze waarde zelfs op tot 5500 mg/l. De verwachting is daarom dat de KRW-norm na ingebruikname van de NST niet langer gehaald kan worden zonder drastische verziltingsbeperkende maatregelen te treffen.

Kortdurende piekwaarden in chlorideconcentratie kunnen in droge zomers oplopen tot 8000 mg/l bij Gent en 10000 mg/l bij Terneuzen, en bij een extreem droge zomer inclusief klimaatveranderingseffect tot 10000 mg/l bij Gent en 12000 mg/l bij Terneuzen. Waterbesparende maatregelen zoals minder vaak schutten of stremmen rond laagwater hebben onder deze omstandigheden relatief weinig invloed op chlorideconcentraties verder bovenstrooms op het KGT. De stijging van de chlorideconcentraties kan een impact hebben op diverse functies van het kanaal.

De ingebruikname van de Nieuwe Sluis zorgt er ook voor dat het kanaalpeil moeilijker beheerst kan worden in droge perioden. De jaar-op-jaar variabiliteit in bovenafvoer is groot. Er zullen daarom jaren zijn waarin nauwelijks schutbeperkingen (geclusterd schutten of scheepvaartstremmingen) nodig zijn, maar in droge zomers zoals 2017, 2018, 2019, 2020 en 2022 is het noodzakelijk om de Nieuwe Sluis op 30 tot 50 zomerdagen rond elk laagwater gedurende ongeveer 5 tot 7 uur te stremmen (ofwel: ongeveer 12 uur per dag). Ook bij de Oostsluis en Westsluis zijn dan regelmatig stremmingen noodzakelijk. Klimaatverandering kan ervoor zorgen dat dit soort droge zomers frequenter en extremer worden.

Het kruipend moerasscherm dat voorkomt in het Natura2000 gebied Canisvliet is van nature een soort van zoete omstandigheden (hooguit zwak brak). Stijgende chlorideconcentraties (Vb. tot rond de 5400 mg/l bij Sas van Gent in SOBEK-model) kunnen dus een significante impact hebben op de populatie. Uit de opgestelde waterbalans en chloridebalans voor Canisvliet blijkt echter dat de aanvoer van de kwel-sloten bijna de helft van de waterbalans en driekwart van de chloridebalans vormt. De impact van de kwel-sloten is dan ook veel belangrijker en de mogelijke impact die een verdere verzilting van het kanaalwater zou hebben is van nevensgeschikt belang. De geplande afkoppeling van deze kwel-sloten zou dus voldoende moeten zijn om een negatief effect door verzilting te voorkomen, hierbij moet de invloed van deze maatregel op peilvariatie wel nauwlettend gemonitord worden.

De aanwezigheid van de waterspitsmuis wordt vandaag de dag niet vastgesteld (wel records van historische waarnemingen). Er is dan ook geen kans dat het voorkomen van de waterspitsmuis negatief

beïnvloed wordt door toenemende chloridegehalten in het grondwater afkomstig uit het Kanaal Gent-Terneuzen.

De Troyer *et al.* (2022) geeft aan dat de macroinvertebratengemeenschap in het kanaal Gent – Terneuzen voornamelijk bestaat uit soorten die gedijen in brakwateromstandigheden, maar in de zijlopen eerder zoetwaterminnende soorten voorkomen met een lage zouttolerantie. Op enkele plekken in de zijlopen werden ook enkele brakwatersoorten waargenomen wat toch wijst op een zekere zoutindringing (zoals verwacht bij Zuidlede en Moervaart). De vissengemeenschap in het hele studiegebied, kanaal en zijlopen, betreft vooral soorten die kunnen voorkomen in brakker water. Het aandeel van vissen dat strikt gelinkt wordt aan zoetwater is beperkt. Een analyse aan de hand van waterkwaliteitsmodellen toont verder aan dat de EKR voor het kwaliteitselement van de macroinvertebraten gestuurd wordt door zoutgehalte en variabelen gelinkt aan eutrofiëring terwijl de EKR voor de vissen enkel voorspeld wordt door dit laatste. Aan de hand van het model zien we voor alle locaties over alle scenario's uit de oppervlaktewatermodellering heen elk jaar een daling in de EKR gedurende de late lente/zomer, wanneer zoutgehalten hoogst zijn, terwijl in de herfst/winter het omgekeerde patroon wordt geobserveerd. Bij de extreme scenario's zien we dat de dalingen in EKR frequenter, extremer en langduriger zijn terwijl het seizoenale patroon tussen de andere scenario's niet verschillend zijn. De simulaties voor de locaties op de zijlopen Moervaart en Zuidlede geven weer dat de biologische waterkwaliteit matig is gedurende het hele jaar, maar tijdens de zomerperiode evolueert dit kortstondig naar een ontoereikende biologische waterkwaliteit. Dit weerspiegelt de relatief lage kwaliteit van de biologie in het kanaal, maar tevens de extra druk die er nog bij optreedt in de zomerperiode

Indien de chlorideconcentraties zouden stijgen, zou dit voornamelijk een impact hebben op de soortgemeenschappen in de zijlopen aangezien de soorten in het kanaal zelf wel brakwatersoorten betreft. Vooral de macroinvertebratengemeenschap zou hier dus getroffen worden. Bij een situatie gaande naar zoute omstandigheden (piekwaarden 8000 tot 10000 mg/l in droge zomers) zou de impact veel groter kunnen zijn waarbij de soortgemeenschappen gelinkt aan zoetwater omstandigheden zouden verdwijnen en zelfs de soortgemeenschappen met tolerantie voor brakwateromstandigheden onder druk zouden kunnen komen te staan.

In Vanhooren *et al.* (2021a) werd vastgesteld dat het in de zomer zoute water van de Moervaart en Zuidlede mogelijk kan infiltreren in het grondwater en een effect hebben op de waterkwaliteit in dit gebied. Indien effectief infiltratie plaatsvindt zou de impact zwaarder kunnen doorwegen vanwege het sterkere zoute karakter, vanwege toenemende verzilting kanaalwater en zijlopen, van het infiltrerende water.

Zelfs in het geval van piekwaarden en/of het meest extreme scenario met een stijging in chloridegehalte tot >5000 mg/l geen aanzienlijke wijzigingen in de grondwaterstroming noch invloed op de zoetwaterlenzen verwacht worden. Deze zijn van groot belang voor landbouw in het Nederlandse gedeelte rond het kanaal maar zouden dus niet negatief beïnvloed worden.

Ook de bedrijfswereeld zal een impact ondervinden indien een verdere verzilting van het kanaalwater optreedt. Met door SOBEK berekende piekwaarden van 8000 mg/l bij Gent en 10000 mg/l bij Terneuzen in droge zomers, worden de tolerantiegrenzen van quasi alle materiaaltypen en opgelegde normen voor

processen (vb. blussing cokesfabriek Arcelor Mittal) sterk overschreden. Enkel het zeer resistente Super Duplex 2507 en de zeewatermembranen zijn opgewassen tegen een dergelijke verzilting van het kanaalwater. Ook bij de seizoensgemiddelde waarden voor de verschillende scenario's, zoals hier besproken voor Sas van Gent, wordt reeds duidelijk dat de meeste materiaaltypen niet of amper resistent genoeg zullen zijn. Veel hangt echter ook af van de locatie van een bedrijf langs het kanaal. Er kan in ieder geval van uitgegaan worden dat in dergelijke scenario's significante investeringen voor onderhoud en/of herdesign van installaties nodig zal zijn in de bedrijfswereld.

Op basis van bovenstaande resultaten kan gesteld worden dat frequentere of extremere droogte vooral effecten heeft op scheepvaart, omdat dan forse stremmingen noodzakelijk zijn om het kanaalpeil te handhaven. Daarnaast zal de aanleg van de Nieuwe Sluis tot hogere zoutconcentraties op het kanaal leiden, wat een effect heeft op het ecologisch functioneren van in eerste instantie vooral de Moervaart en Zuidlede, maar bij extreme waarden op het hele kanaal en de bedrijfsactiviteiten die gebruik maken van kanaalwater.

Voor een gedetailleerd beeld van de methodiek, resultaten en aanbevelingen van elke deelstudie wordt verwezen naar de specifieke deelnota's.

10. Aanbevelingen

Tijdens de verschillende onderzoeken werden bepaalde aannames gemaakt en bemerkingen gegeven. Hieronder volgt een overzicht van de bemerkingen en/of aanbevelingen die gegeven worden per luik (indien van toepassing):

RUIMTELIJKE VERDELING ZOET - ZOUT:

- Mogelijke meerwaarde aan extra metingen in insteedokken tijdens een periode van hogere saliniteit in het kanaal. Momenteel worden de conclusies enkel gebaseerd op een momentopname tijdens het najaar van een jaar met lagere chlorideconcentraties.

OPPERVLAKTEWATERMODELLERING:

- Onderzoek met naar de haalbaarheid van de scheepvaartafwikkeling in combinatie met langdurige stremmingen.
- Nader onderzoek naar mogelijkheden om zoutindringing via de schutsluizen bij Terneuzen te beperken.

AQUATISCHE ECOLOGIE:

- De metingen zijn slechts puntmetingen, uitgevoerd in één natte en één droge periode, maar geven duidelijk een verschil in abiotische condities weer, in het bijzonder inzake zoutconcentraties. Het systeem is evenwel heel dynamisch en ruimtelijk divers, waardoor voor een voldoende accuraat beeld van een eventuele verzilting doorheen het jaar, meer frequente monitoring, in het bijzonder in kritische perioden met een verhoogde zoutgehalten (droge perioden), is aangeraden.

TERRESTRISCHE ECOLOGIE - CANISVLIET:

- Er bestaan nog enkele kennisleemtes, om deze weg te werken zouden extra metingen nodig zijn, een onderzoek naar stratificatie, een onderzoek omtrent effect van het grondwaterpeil op kruipend moerasscherm en additioneel onderzoek naar de systeemverandering in 2017.

GRONDWATER:

- Aanvullend onderzoek naar de werkelijke infiltratie vanuit het kanaal kan de conclusies verder bevestigen. Het is interessant om:
 - enkele raaien van peilbuizen nabij het kanaal te plaatsen, op bijvoorbeeld afstanden van 10m, 25m, 50m, 100m en 250m.
 - de bodemweerstand van het kanaal te meten middels bijvoorbeeld infiltratieproeven (best op een aantal locaties verspreid langs het kanaal uitgevoerd, met Canisvliet en de sluis in Terneuzen als uitersten en drie locaties tussenin op gelijkmatige afstand).

ONTREKKINGEN:

- De getrokken conclusies steunen louter op de informatie verkregen van een klein aantal bevraagde bedrijven en instanties, aangevuld met enig opzoekwerk. Voor meer gedetailleerdere resultaten en het verder afleiden van grenswaarden dient een diepgaandere studie te worden uitgevoerd.

11. Referenties

Atlas Natuurlijk Kapitaal, (2021). <https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/verzilting-grondwater>, geraadpleegd op 01/11/2021.

Badon-Ghyben, W. (1988). Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam. Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, 9, 8-22.

Boudewijn, T., Derriks, F. (2021). Nota Inventarisatie Waterspitsmuis. NOK-KGT2 Verkennende inschatting effecten van verzilting KGT, 31170651.

De Boeck, K., Van Hoesenberge, T., Vanlierde, E., Deschamps, M., Verwaest, T., Mostaert, F. (2014). Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit, relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde. Versie 3.0. WL Rapporten, 12_076. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

De Jong, J. (2017). De Kerkuil ecologie, gedrag en bescherming. Ureterp.

De Troyer, N., Lock, K., Goethals, P. (2022). Nota Aquatische ecologie. NOK-KGT2 Verkennende inschatting effecten van verzilting KGT, 31170651.

Dekker, J., van Rijn, S. (2018). Waar halen ze het vandaan? Jachtgebieden van kerkuilen in kaart gebracht met GPS-loggers. Uilen 8: 34-43.

Lievense CSO. (2015b). Aanvulling deelrapport MER water in opdracht van de Vlaams Nederlandse Scheldec commissie.

Metrys, www.metresys.nl, geraadpleegd op 11/07/2022.

Pfaff-Wagenaar, M., de Wit, L. (2015). Rapport Vlaams Nederlandse Scheldec commissie – deelrapport MER Water. Lievense CSO, 137.

Provincie Zeeland. (2020). Natura2000-beheerplan De Drie Kreken. <https://www.bij12.nl/wp-content/uploads/2020/12/Natura-2000-Beheerplan-Drie-Kreken-125-Canisvliet-124-Groote-Gat-en-126-Vogelkreek.pdf>

Thant, S., Van de Moortel, I., Michielsen, S., Hyde, P. (2022). Nota Verkennende Analyse inschatting effect van verzilting op onttrekkingen. NOK-KGT2 Verkennende inschatting effecten van verzilting KGT, 31170651.

Van Baaren, E., Delsman, J., Karaoulis, M., Pauw, P., Vermaas, T., Bootsma, H., de Louw, P., Meyer, U. (2018). FRESHEM technical report. Deltares, 142.

Van de Haterd, R., Doef, J. (2022). Nota Water- en chloridebalans Canisvlietse kreek - Verkennende studie voor een eenvoudige water- en chloridebalans voor de Canisvlietse Kreek. NOK-KGT2 Verken- nende inschatting effecten van verzilting KGT, 31170651.

Van de Molen, W.H. (1989). Het zoute grondwater in West-Nederland: een gevolg van dichtheidsstro- mingen? *H₂O* (22), 11, 330-331.

Vanhooren, L., Stark, M., Tas, L., Van de Moortel, I., Michielsen, S., Hyde, P. (2021b). Nota Verken- nende analyse op effect verzilting grondwater. NOK-KGT2 Verkennende inschatting effecten van verzilting KGT, 31170651.

Vanhooren, L., Van de Moortel, I., Michielsen, S., Hyde, P. (2021a). Nota ruimtelijke verdeling zoutge- halte, verkennende analyse van de ruimtelijke spreiding van chloride op het kanaal en de zijlopen. NOK- KGT2 Verkennende inschatting effecten van verzilting KGT, 31170651.

Verbeylen, G. (2011). Handleiding waterspitsmuisinventarisatie. Natuurpunt Studie (Zoogdierenwerk- groep), Mechelen, België.

Vuik, V., Lambregts, P., Botterhuis, T. (2022). Nota Oppervlaktewatermodellering. NOK-KGT2 Verken- nende inschatting effecten van verzilting KGT, 31170651.

Waterschap Scheldestromen. (2021a). Peilbesluit Othene. <https://scheldestromen.nl/pwo-othene>

Waterschap Scheldestromen. (2021b). Peilbesluit Othene, hydrologische achtergrondrapport. https://scheldestromen.nl/sites/scheldestromen.nl/files/Hydrologisch_onderzoeksrapport_OTH_bij_pei_lbesluit_S_2021016555_2.pdf