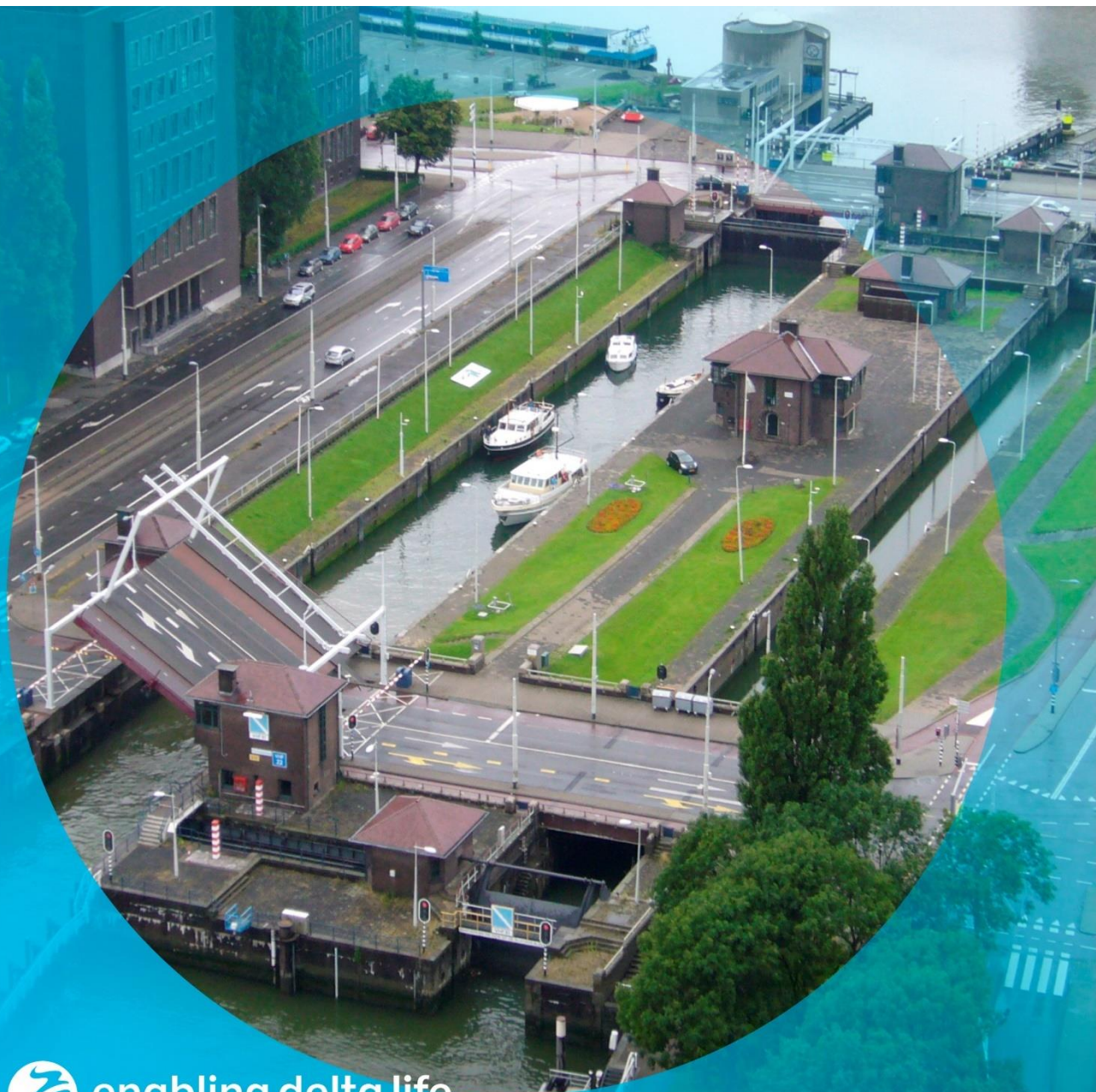


Zoutindringing Parksluizen

KPP-SWM 2021



Zoutindringing Parksluizen
KPP-SWM 2021

Auteur(s)

Otto Weiler

Noor ten Harsen van der Beek

Samenvatting

Het beheergebied van Delfland heeft te maken met zoutindringing door de Parksluizen. Dit treedt op als de afvoer over de Rijn laag is waardoor het zoutgehalte in de Parkhaven oploopt. Door de operatie van de schutsluizen komt er zoutwater naar binnen en loopt het zoutgehalte op de Schie op. Om dit zoutgehalte te beheersen moet er water over de Schie worden afgevoerd via het gemaal Parksluizen. Echter, in perioden van weinig neerslag is dit water schaars. De verwachting is dat deze problematiek o.a. door klimaatverandering zal toenemen. Delfland is daarom op zoek naar technische maatregelen om de zoutindringing te reduceren, om daarmee de hoeveelheid water nodig voor het beheersen van het zoutgehalte te beperken.

Het onderzoek bouwt voort op een eerder onderzoek van Deltares uit 2012 en op recentere onderzoeken door Hydrologic en Arcadis waarin o.a. is gekeken naar het sturen op het zoutgehalte tussen de Parksluizen en Beukelsbrug en naar de effectiviteit van schutbeperkingen voor de Parksluizen. In de huidige studie is met behulp van de Zeesluisformulering een nieuwe berekening gemaakt van de zoutindringing, dit keer op basis van metingen uit 2018 van het zoutgehalte aan weerskanten van de sluis en op basis van de registratie van de passages via de grote schutsluis van diezelfde periode. Dit leidt tot een kleiner getal voor de zoutindringing dan geschat in 2012. Een controle door middel van een eenvoudig balansmodel geeft vertrouwen in deze nieuwe getallen.

De berekening leidt ook tot een aanscherping van eerder opgedane inzichten, o.a. over de noodzaak om het water dat door het schutten naar binnen komt af te voeren met een zo hoog mogelijk zoutgehalte, en de noodzaak voor een klein netto debiet over de Schie naar buiten om een gradiënt in het zoutgehalte tussen de sluizen en het meetpunt Beukelsbrug op zijn plaats te houden.

Op basis van de kennis opgedaan in de jaren sinds het rapport uit 2012 en gebruik makend van de gegevens uit de sinds 2012 uitgebreide monitoring door Delfland zijn een aantal maatregelen voorgesteld, doorgerekend op effectiviteit en ruw beoordeeld op haalbaarheid.

Twee processen zorgen voor de inkomende zoutvracht: zoutindringing door het schutdebiet (inkomend volume zoutwater door overwegend hogere waterstanden op de rivier dan op de Schie) en zoutindringing door kolkuitwisseling (veroorzaakt door het verschil in dichtheid tussen het zoutere water in de Parkhaven t.o.v. de Coolhaven). Het blijkt dat voor de Parksluizen de zoutlast door beide processen even groot is. Bij het zoeken naar effectieve maatregelen wordt gekeken naar het ingrijpen op één van de twee processen of naar de combinatie van beide processen.

De beschouwde maatregelen richten zich op het reduceren van de afmetingen van de sluis (deze is breder en iets dieper dan nodig voor de grootste schepen), het beperken van kolkuitwisseling (o.a. door een spoeldebiet door de schutkolk als deze aan de binnenkant openstaat) en het opvangen en terugpompen van het schutdebiet. De effectiviteit is beschouwd middels het doorrekenen van twee perioden uit de droge zomer van 2018 waarin het zoutgehalte in de Parkhaven hoog resp. zeer hoog was en er weinig zoetwater beschikbaar was om te kunnen doorspoelen. Voor deze berekeningen is de Zeesluisformulering gekoppeld aan een eenvoudig balansmodel zodat het effect van de maatregelen kan worden uitgedrukt in een verlaging van het zoutgehalte op de Schie.

De verschillende maatregelen worden uiteindelijk vergeleken bij dezelfde netto afvoer over de Schie. Immers, die afvoer heeft ook effect op het zoutgehalte op de Schie (op dit moment is het de enige maatregel om dat zoutgehalte te beheersen). Voor de periode juni is het netto debiet over de Schie gelijk aan nul gemaakt (i.p.v. een netto debiet naar binnen door het schutten). In juli is het gemiddelde debiet zoals opgetreden in 2018 gehandhaafd op 0,19 m³/s. De gewenste netto afvoer over de Schie wordt bereikt door een afvoer door het gemaal te kiezen waarmee de totale netto afvoer (samen met afvoer door b.v. het spoeldebiet) op de gewenste waarde komt.

Voor de twee beschouwde perioden leverde de berekeningen en de onderlinge vergelijking o.a. de volgende inzichten op.

- Het aanbrengen van een drempel aan het binnenhoofd heeft een zeer klein effect op de zoutindringing.
- Het beperken van de breedte van de sluis heeft iets meer effect, met name in juli, wanneer het zoutgehalte in de Parkhaven zeer hoog is.
- Het toepassen van een spoeldebiet door de kolk (d.w.z.: als de binnendeur openstaat) is duidelijk meer effectief: in juni is een spoeldebiet van momentaan 2 m³/s voldoende om het zoutgehalte op de Schie dichtbij de achtergrondswaarde te houden (het zoutgehalte bij de Spaanse Brug). (N.B.: dit spoeldebiet van momentaan 2 m³/s als de binnendeur open staat geeft een gemiddeld debiet dat ongeveer even groot is als het debiet dat door het schutten naar binnenkomt.) In juli is deze maatregel nog onvoldoende en loopt het zoutgehalte op, ondanks de netto afvoer over de Schie van 0,19 m³/s (gerealiseerd door een extra afvoer via het gemaal). Om het zoutgehalte in die situatie te beheersen zou een grotere afvoer met het gemaal nodig zijn.
- Het spoeldebiet kan gecombineerd worden met een bellenscherm. De berekeningen laten een positief effect zien, maar de uitkomsten voor deze combinatie zijn onzeker. Dit hangt samen met het beperkte verschil in dichtheid over de Parksluizen; er is onvoldoende kennis beschikbaar over de effectiviteit van bellenschermen in deze condities. Om dezelfde reden is de inzet van alleen bellenschermen ook niet doorgerekend.
- Het aanleggen van een schutwaterbuffer (voor het opvangen en terugpompen van het water dat door het schutten naar binnen komt) is ook effectief, maar iets minder dan een spoeldebiet van (momentaan) 2 m³/s.
- Voor de periode van juli 2018 worden veruit de beste resultaten bereikt voor de combinatie van maatregelen: een tot 11 m versmalde kolk, een schutwaterbuffer en een spoeldebiet van momentaan 1 m³/s.
 - (N.B.: het schutdebiet wordt dus teruggepompt: het netto debiet door schutten en de inzet van de buffer is dus gelijk aan nul; het gemiddelde debiet voor het spoelen door de kolk moet komen uit de netto afvoer over het kanaal; de netto afvoer van 0,19 m³/s in juli van 2018 biedt ruimte voor een momentaan spoeldebiet van 1 m³/s.)

Toch is ook deze combinatie van maatregelen nog niet voldoende om het zoutgehalte in juli in de buurt van de achtergrondswaarde te houden. Daarvoor zou een grotere netto afvoer nodig zijn (groter dan de 0,19 m³/s die in juli van 2018 beschikbaar was), waarmee dan b.v. het spoeldebiet verhoogd zou kunnen worden.

- In een situatie van juni zou deze combinatie van maatregelen ingezet kunnen worden zonder het spoeldebiet, met een netto afvoer over de Schie gelijk aan nul. De prestaties zijn dan even goed als van (alleen) een spoeldebiet van momentaan 2 m³/s.

De uiteindelijke keuze wat betreft de benodigde effectiviteit hangt af van de te stellen eisen: welk zoutgehalte op de Schie is toelaatbaar, bij welke netto afvoer over de Schie en bij welk zoutgehalte op de rivier (bepaald door afvoer over de Rijn).

Er is een eerste kwalitatieve beoordeling van de maatregelen op haalbaarheid uitgevoerd. Voor alle effectieve maatregelen geldt dat de kosten voor realisatie aanzienlijk zullen zijn. Aanleg van een schutwaterbuffer wordt daarbij als duurder ingeschat dan realisatie van spoeldebiet (eventueel aangevuld met een bellenscherm hoewel de effectiviteit daarvan dus onzeker is) en het verkleinen van de breedte van de sluis. Verder lijkt het realiseren van een spoeldebiet (plus eventueel een bellenscherm) goed inpasbaar. Dit zal minder makkelijk zijn voor het versmallen van de sluiskolk en de aanleg van een schutwaterbuffer. Verdere uitwerking van de haalbaarheid zal een vervolg moeten krijgen o.a. met deskundigen van het Hoogheemraadschap van Delfland.

Eerder gedane aanbevelingen, zoals het consequent blijven afvoeren van het water dat door het schutten naar binnenkomt, blijven staan. Verder wordt o.a. aanbevolen om een begin te maken met een automatische registratie van de schuttingen als bron van gegevens voor de verdere uitwerking van maatregelen. Deze registratie zal, in combinatie met een eenvoudig model van de Schie, ook van waarde zijn in het operationele waterbeheer van de Schie op het zoutgehalte.

Inhoud

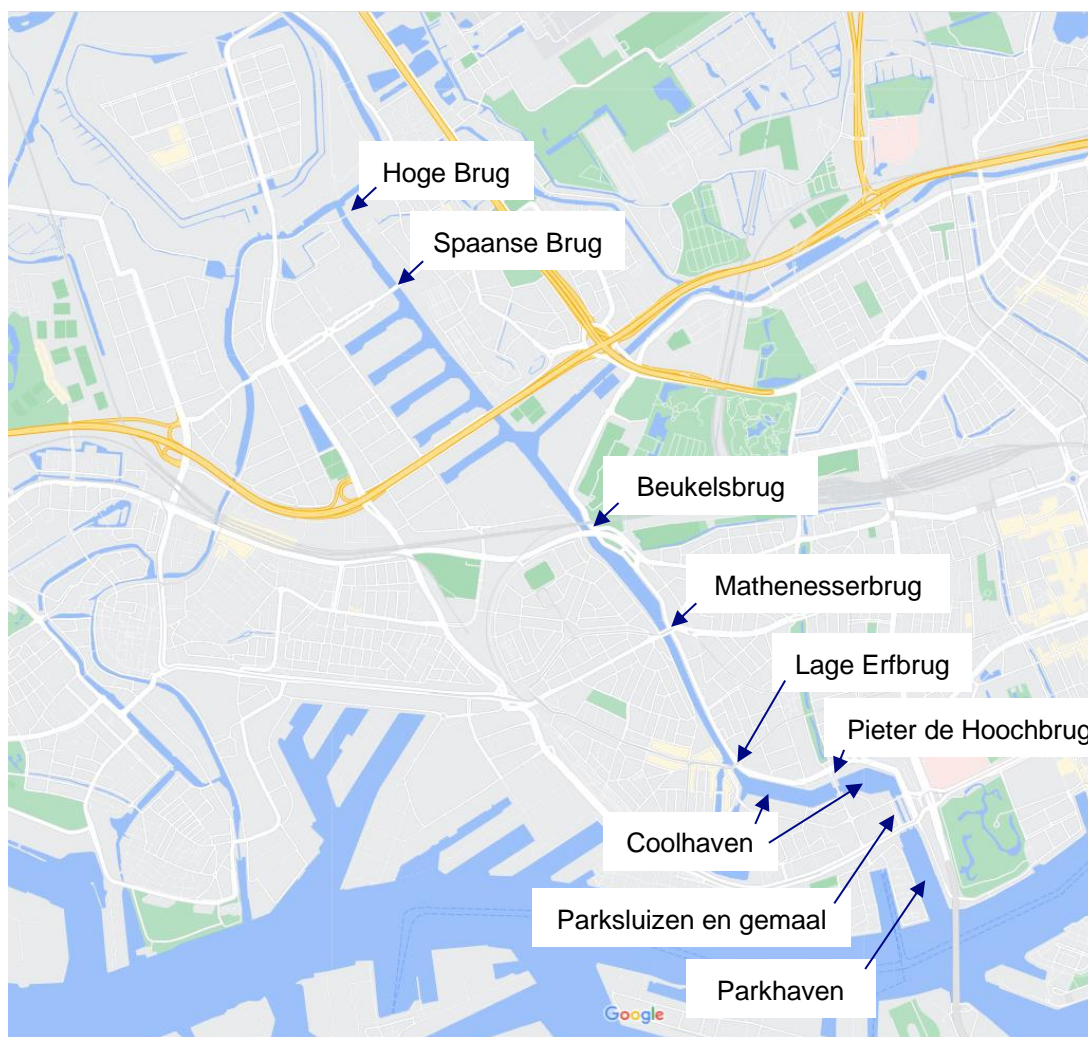
	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Algemeen	9
1.2	Kort overzicht van recente onderzoeken	10
1.3	Doelstelling	10
1.4	Ontwikkeling kennis inzake zoutindringing sinds 2012	11
2	Aanpak	12
3	Systeembeschrijving	13
3.1	Resumé van de drie rapporten	13
3.1.1	Het rapport van Deltares (2012)	13
3.1.2	Het rapport van Hydrologic (2015)	14
3.1.3	Het rapport van Arcadis (2019)	14
3.2	Update schatting zoutindringing	15
3.2.1	De schatting uit 2012	15
3.2.2	Nieuwe schatting van de zoutindringing o.b.v. registraties	17
3.2.3	Samenvatting van de resultaten en verschillen	24
3.3	Kenmerken van het systeem	26
4	Maatregelen: 'long list'	30
4.1	Eerder overwogen maatregelen	30
4.2	Afmetingen sluis en schepen	31
4.3	Maatregelen op het waterbeheer	32
4.4	Maatregelen op de schutoperatie	33
4.5	Maatregelen op de kolkuitwisseling	34
4.6	Maatregelen op het schutdebiet	36
5	Uitwerking maatregelen op effectiviteit	39
5.1	Aanpak	39
5.2	Balansmodel versus metingen	40
5.3	Opzet referentie-case	42
5.4	Aanpassen breedte sluis en toepassen van een drempel	44
5.5	Beperken kolkuitwisseling	47
5.6	Opvangen schutdebiet in een schutwaterbuffer	52
5.7	Combinatie van maatregelen	53
5.8	Overzicht van effectiviteit maatregelen	55

5.9	Aanvullende berekeningen bij gelijke netto afvoer over het kanaal	57
6	Uitwerking maatregelen op haalbaarheid	62
6.1	Uitwerking en aanpak voor het begrip 'haalbaarheid'	62
6.2	Aanpassen breedte sluis en toepassen van een drempel	63
6.3	Beperken kolkuitwisseling	64
6.3.1	Inpassing spoeldebiet en bellenscherm	64
6.3.2	Beoordeling van spoeldebiet en bellenscherm op haalbaarheid	65
6.4	Opvangen schutdebiet in een schutwaterbuffer	66
6.4.1	Uitwerking van het te bergen volume	66
6.4.2	Een schutwaterbuffer in de Coolhaven	68
6.4.3	Beoordeling van de schutwaterbuffer op haalbaarheid	69
6.5	Combinatie van maatregelen	70
6.5.1	Een schutwaterbuffer in de kolk	70
6.5.2	Beoordeling van de combinatie op haalbaarheid	72
6.6	Overzicht haalbaarheid maatregelen en effectiviteit	73
7	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	76
7.1	Samenvatting	76
7.2	Conclusies	77
7.3	Aanbevelingen	79
	Referenties	81
A	Korte beschrijving van de Zeesluisformulering	82
B	Omwerking van een registratie van schuttingen naar een beschrijving van de sluisoperatie als invoer voor de Zeesluisformulering	83
C	Verslag bezoek Parksluizen 27 mei 2021	85
D	Balansmodel binnenvoorhaven Parksluizen	91

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Het beheergebied van Delfland staat o.a. via de Parksluizen te Rotterdam in verbinding met de Nieuwe Maas. In perioden met een lage rivierafvoer en wateropzet bij Hoek van Holland loopt het zoutgehalte in de Nieuwe Maas sterk op, en komt er door de (intensieve) schutoperatie van de Parksluizen zout water op de Schie. Om de verspreiding hiervan tegen te gaan, moet er via het gemaal Parksluizen, direct naast de Parksluizen, zoetwater worden afgevoerd. Op die manier kan de verspreiding van het zout worden beperkt en kan water van voldoende kwaliteit aan het naburige Schieland worden geleverd. Echter, in een droge periode is zoet water juist een schaars goed: bij gebrek aan neerslag moet dit zoete water worden aangevoerd vanuit het Brielse Meer.



Figuur 1.1 Overzicht van de situatie met aanduiding van relevante locaties

In zeer droge periodes kan er in Delfland een watertekort ontstaan. Delfland is dan genoodzaakt om schutbepalingen in te stellen voor zowel de recreatie- als de beroepsvaart. Dat is nu de enige beschikbare maatregel in een dergelijke situatie. Door klimaatverandering en als gevolg van een in de toekomst mogelijk andere sturing van het hoofdwatersysteem

door RWS is de verwachting dat de zoutconcentraties op de Nieuwe Maas zullen toenemen en er vaker een zoetwatertekort optreedt. Hierdoor zal het dan noodzakelijk zijn om vaker en langer schutbeperkingen in te stellen, hetgeen consequenties heeft voor de scheepvaart.

Om die reden heeft Rijkswaterstaat, samen met Delfland, aan Deltares gevraagd om in het kader van het onderzoeksprogramma Slim Watermanagement, te kijken of er mogelijkheden bestaan voor een reductie van het benodigde spoeldebiet: door slimmer te spoelen of door de zoutindringing bij het schutten te beperken. Dit zou een bijdrage leveren aan een toekomstbestendige zoetwater-voorziening voor Delfland, Schieland en de omliggende gebieden.

1.2 Kort overzicht van recente onderzoeken

Al eerder, in 2011 – 2012, heeft Delfland aan Deltares gevraagd om een onderzoek te doen naar de zoutindringing door de verschillende schutsluizen tussen het beheergebied van Delfland en de Nieuwe Maas [1]. In dat onderzoek is een eerste schatting gedaan van de zoutvrachten van de verschillende sluizen, te weten die bij Vlaardingen, Schiedam en de Parksluizen. Van de onderzochte sluizen, bleek de Grote Sluis van de Parksluizen veruit dominant. Ook is gekeken welke maatregelen denkbaar waren om de zoutindringing, en daarmee het benodigde doorspoeldebiet, te beperken. (Meer hierover in Paragraaf 3.1.1.)

De belangrijkste aanbeveling was om het verloop van het zoutgehalte tussen de Parksluizen en de Beukelsbrug (de locatie van het meetpunt, net ten zuiden van de aftakking richting Schieland) te monitoren. Dat zou de basis kunnen vormen van een beter beheer van de zoutgradiënt over dat deel van de Schie, en het tijdig en beheerst reageren op een oplopend zoutgehalte door het inzetten van een (beperkt) doorspoeldebiet.

Uit het rapport van Hydrologic [2] blijkt dat er inderdaad een aantal zoutopnemers (EGV's) zijn geplaatst tussen de Parksluizen en de Beukelsbrug. Deze gegevens gebruikt Hydrologic om een analyse te doen naar het verloop van het zoutgehalte in reactie op het doorspoelen. (Meer hierover in Paragraaf 3.1.2.)

In de droge zomer van 2018 heeft Delfland een schutbeperking moeten afkondigen om het hoofd te bieden aan het oplopende zoutgehalte in de Schie. Deze schutbeperkingen zijn achteraf door Arcadis onderzocht op effectiviteit [3]. Hierbij heeft Arcadis gebruik gemaakt van een veelheid aan gegevens zoals verzameld door Delfland. (Meer hierover in Paragraaf 3.1.3.)

1.3 Doelstelling

De doelstelling van de huidige studie, die aanvult op de eerdere studies zoals hierboven kort benoemd, is door Delfland en door RWS als volgt omschreven:

Delfland

- Actualisatie van de geschatte zoutlast door de Parksluizen op basis van de nieuwste inzichten en kennis.
- Inzicht in de effectiviteit van maatregelen om zoutindringing te beperken en de doorspoelbehoefte als gevolg van zoutindringing vanuit de Parksluizen in Rotterdam te verminderen. Hiermee verkrijgt Delfland meer inzicht in de (on)mogelijkheden van maatregelen bij de Parksluizen om zoutindringing te beperken.
- Secundair wordt hierdoor meer kennis en inzicht verworven in de belangrijkste zoutindringingsprocessen bij de Parksluizen. Deze kennis wordt gebruikt voor het

optimaliseren van de huidige sturingsstrategie en inzet van schutbeperkingen bij droogte/watertekort situaties.

- De opgeleverde resultaten zullen onderdeel zijn van het waterbeschikbaarheidsproces Parksluizen Rotterdam. In dit proces wordt met relevante stakeholders, waaronder de binnenscheepvaart, gekeken naar de houdbaarheid van de huidige doorspoelstrategie op de lange termijn.

RWS

- Voor RWS is het doel van deze studie om meer inzicht te krijgen in de oplossingsruimte en de effectiviteit van de oplossingen om de zoutindringing en doorspoelbehoefte bij schutsluizen te beperken. Het onderzoek richt zich primair op de locatie Parksluizen, maar geeft secundair ook waardevol inzicht in de effectiviteit van mitigerende maatregelen voor andere schutsluizen waar verzilting ook een probleem is. Daarnaast heeft dit onderzoek raakvlakken met de Klimaatbestendige Zoetwaterstrategie Hoofdwatersysteem waarbij o.a. de regio Delfland en specifiek de Parksluizen een aandachtspunt is. Op deze locatie zijn mitigerende maatregelen wellicht nodig, indien de huidige zoetwaterfuncties in Delfland behouden moeten blijven.

1.4 Ontwikkeling kennis inzake zoutindringing sinds 2012

Het onderzoek door Deltares van 2012 [1] is uitgevoerd in een tijd kort na het grote project rondom een toekomstig zout Volkerak-Zoommeer: centraal daarin stond de ontwikkeling van een manier om, in die nieuwe situatie, het (dan) zoute water van het Volkerak te scheiden van het zoete water van het Hollands Diep en het Haringvliet. Het werk voor de Parksluizen bevatte echter andere componenten dan beschouwd bij de Volkeraksluizen: aan de zoute kant een rivier met een zeer variabel zoutgehalte en aan de zoete kant een kanaal met een gradiënt in zoutgehalte vanaf de sluisen naar het punt waar het zoutgehalte aan een maximum is gebonden. Dat gaf weer nieuwe uitdagingen.

Toen bleek dat het Volkerak-Zoommeer (voorlopig) toch niet zout zou worden, verschoof de aandacht naar de Krammersluizen. Ook daar is weer veel werk gedaan op het gebied van zoet-zoutscheiding waarbij veel nieuwe kennis is ontwikkeld. Van die inzichten zal gebruik gemaakt worden in het definiëren van mogelijke maatregelen voor de Parksluizen.

Behalve voor de Krammersluizen is er in de afgelopen jaren ook werk gedaan voor andere locaties, waaronder Harlingen, Spaarndam en Brugge, en voor de grote nieuwe sluisen in IJmuiden en Terneuzen. In 2017 is, in het kader van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken, een overzicht geschreven van de verschillende projecten en wat daarvan is geleerd [4].

In de jaren vanaf 2017 is gewerkt aan de ontwikkeling van de 'Zeesluisformulering' (ZSF): een stukje software waarmee op een efficiënte en effectieve manier gerekend kan worden aan de transporten van water en zout door schutsluizen [5] en [6]. Dit stuk software zal in het werk voor de Parksluizen worden ingezet.

2 Aanpak

In aanloop naar dit project zijn de volgende vragen aan Deltares geformuleerd [7]:

- beknopte beschrijving en actualisatie van de al aanwezige kennis, gebruikmaken van aanwezige rapportages (1 hoofdstuk, ongeveer 4 pagina's)
- een indicatieve actualisatie van de geschatte zoutindringing door de Parksluizen
- op basis van voorgaande stappen, een overleg met de projectgroep waarin de maatregelen uit de studie van 2012 worden heroverwogen en aangevuld en de kansrijke maatregelen geselecteerd worden
- verdiepende studie naar en daarbij kwantitatief inzicht in effectiviteit van de kansrijke (technische) maatregelen ter beperking van de zoutindringing bij de Parksluizen om de doorspoelbehoefte als gevolg daarvan te verminderen.
- een uitwerking op hoofdlijnen van de kansrijke maatregelen wat betreft haalbaarheid, (on)mogelijkheden fysieke in-/aanpassing, mate van inzetbaarheid, risico's, realisatie- en beheer- en onderhoudskosten.

In een eerste overleg op 22 januari 2021 zijn deze vragen besproken. Delfland bleek te beschikken over een grote verzameling gegevens over het jaar 2018, eerder verzameld voor het werk van Arcadis [3]. Dit betrof o.a. gemeten zoutgehalten aan weerszijden van de Parksluizen en een registratie van de uitgevoerde schuttingen. Deze gegevens boden de mogelijkheid om de gevraagde actualisatie van de schatting van de zoutindringing uit te voeren met de Zeesluisformulering. Het grote voordeel hiervan is dat dit inzicht geeft in de mate van zoutindringing en hoe deze verloopt over het jaar, en wat de relatieve bijdrage is van het schutdebiet en van de kolkuitwisseling. Tevens geeft dit een goede basis voor het definiëren van mogelijke maatregelen, die vervolgens ook hiermee kunnen worden doorgerekend op effectiviteit.

Dit heeft ertoe geleid dat achtereenvolgens de volgende werkzaamheden zijn besproken, uitgevoerd en gerapporteerd:

- In Hoofdstuk 3 is een systeembeschrijving opgenomen. Deze bestaat uit een samenvatting van inzichten uit eerdere rapporten, een berekening van de zoutindringing met de Zeesluisformulering (actualisatie van de eerdere schatting uit 2012 [1]), en een beschrijving van kenmerken van het systeem (sluizen en kanaal) die de basis vormen voor het definiëren van maatregelen. (Dit hoofdstuk is een uitwerking van hetgeen is gepresenteerd en besproken in een overleg op 25 maart 2021).
- In Hoofdstuk 4 wordt de lijst met maatregelen zoals voorgesteld in 2012 [1] doorgenomen en aangevuld op basis van de nieuwe inzichten. Deze lijst is besproken op 22 juni 2021 en daarbij is een selectie gemaakt van nader uit te werken maatregelen.
- In Hoofdstuk 5 worden de geselecteerde maatregelen uitgewerkt: zowel naar effectiviteit als naar praktische haalbaarheid.
- In Hoofdstuk 6 zal het rapport worden afgesloten met een samenvatting, conclusies en aanbevelingen.

3 Systeembeschrijving

3.1 Resumé van de drie rapporten

Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de drie beschikbare rapporten en wat daaruit is geleerd.

3.1.1 Het rapport van Deltares (2012)

Het rapport [1] bevat een eerste verkenning van de problematiek van de zoutindringing in het beheergebied van Delfland. Het onderzoek was een reactie op het droge voorjaar van 2011. Ook toen was een groot deel van het aangevoerde water nodig om de zoutindringing te bestrijden. Het onderzoek beschouwt niet alleen de Parksluizen maar ook de sluizen in Schiedam en Vlaardingen. Om vast te stellen in welke mate elk van de sluizen bijdragen aan de zoutindringing, zijn gegevens verzameld en soms schattingen gedaan van alle parameters die bepalend zijn voor de zoutindringing. Op basis daarvan is een (statische) berekening gedaan om, voor een situatie met een lage rivierafvoer, tot een ruwe schatting te komen van de zoutvrachten van de verschillende sluizen en de onderlinge verhoudingen daarvan. De Grote Sluis van de Parksluizen bleek veruit maatgevend.

De schattingen van toen maakten al onderscheid tussen de zoutindringing door het schutdebiet (meestal van de rivier naar de Schie) en de zoutindringing door de kolkuitwisseling. De laatste wordt aangedreven door het verschil in dichtheid tussen het zoutere water op de rivier (de Parkhaven) en het zoetere water in de Coolhaven. (Meer over deze schatting in Paragraaf 3.2.1.).

De omvang van de beschikbare meetdata was op dat moment beperkt. Om een beeld te krijgen van de situatie op de Schie is een korte meetcampagne uitgevoerd waarbij het verloop van het zoutgehalte over de Schie in kaart gebracht werd. Hoewel die meting slechts een momentopname is, bracht die toch in beeld dat er sprake is van een gradiënt in het zoutgehalte over de Schie. Dit leidde tot het advies om het verloop van het zoutgehalte over de Schie te gaan monitoren, en dus extra meetpunten te installeren tussen de Parksluizen en het meetpunt Beukelsbrug. Dit zou het mogelijk moeten maken om tijdig, anticiperend, te reageren op een oplopend zoutgehalte op de Schie voordat dit bij Beukelsbrug wordt geconstateerd. Een tijdige, gedoseerde reactie, zou naar verwachting minder water vragen dan een felle, langdurige reactie op een overschrijding van de norm bij Beukelsbrug.

De toenmalige schattingen gaven aan dat er 28 m³/min aan schutdebiet naar binnen zou komen (bijna 0,5 m³/s, de huidige schatting is aanzienlijk lager, zie Paragraaf 3.2.2.) terwijl er in de maand juni van 2011 ca. 80 m³/min moest worden afgevoerd om het zoutgehalte te beheersen, bijna drie keer zoveel als er naar binnen kwam. (Daarmee was er een netto afvoer over de Schie van 52 m³/min nodig.) In het rapport wordt gesteld dat er dus zeker reden was om te kijken of dit doorspoeldebiet niet kon worden gereduceerd.

Op basis van de toegenomen kennis, is duidelijk dat dit raakt aan de crux van de problematiek van het beheer van een zoetwatersysteem op het zoutgehalte: hoe ervoor te zorgen dat het binnenkomend zout weer wordt afgevoerd met een zo hoog mogelijk zoutgehalte. Immers, in een evenwichtssituatie is de verhouding tussen de debieten (naar binnen en naar buiten) direct gerelateerd aan de verhouding tussen de zoutgehalten in die debieten. De factor 3 zoals geschat in 2011, behoeft verbetering gezien de waterschaarste in Delfland, maar is misschien, naar de huidige inzichten, ook zo slecht nog niet. Dit tekent de opgave.

3.1.2 Het rapport van Hydrologic (2015)

Het rapport van Hydrologic [2] heeft als subtitel: "Slim beheer zoetwaterbuffer". Het vermeldt dat er door Delfland inderdaad extra meetpunten zijn geïnstalleerd (zoals geadviseerd in [1]), en doet een analyse op de verkregen data over een periode van enkele maanden (begin juni t/m begin oktober 2014).

Hydrologic heeft een bakjes-model opgezet voor de verspreiding, waarbij de zoutindringing bij de Parksluizen wordt bepaald o.b.v. het aantal schuttingen zoals eerder geschat [1]. Daarbij worden zowel het schutdebiet als de kolkuitwisseling per schutting berekend. Het model blijkt goed in staat om de verspreiding te reproduceren en ook te voorspellen. Met het model worden een paar verschillende strategieën uitgetoetst, waaronder het eerder reageren op een (tijdelijk) verhoogde zoutindringing. Hydrologic constateert dat daarmee het benodigde doorspoeldebiet (het bruto debiet, dus inclusief het terugvoeren van het schutdebiet dat naar binnen is gekomen) met tot wel 30% kan worden gereduceerd. Daarbij geeft Hydrologic ook aan dat deze 30% van de (bruto) afvoer over de Schie significant is aangezien de maximaal haalbare reductie 67% is: bij die reductie wordt de bruto afvoer gelijk aan het schutdebiet, waarmee de netto afvoer gelijk wordt aan nul.

Daarmee toont Hydrologic aan dat de aanbeveling van Deltares [1] inderdaad tot een reductie van het benodigde doorspoeldebiet zou leiden.

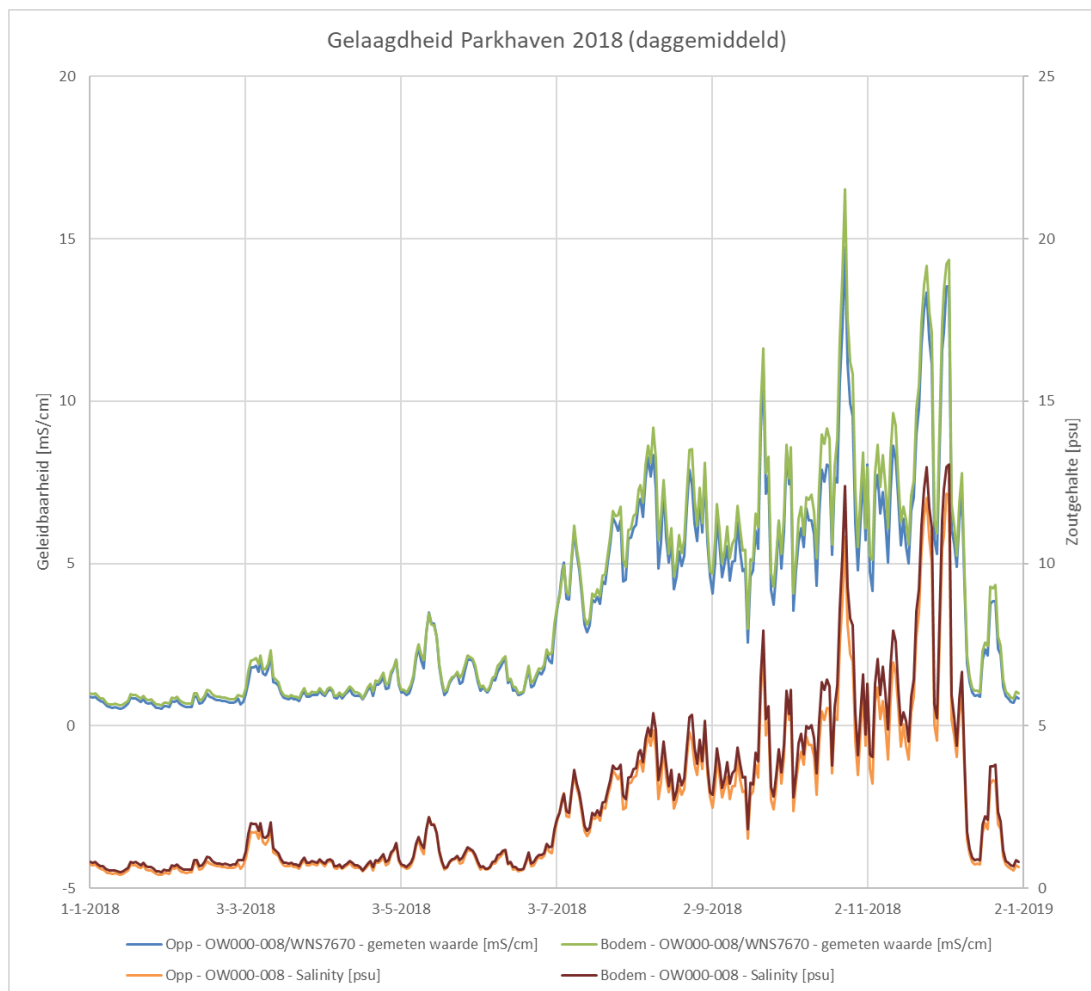
Hydrologic beveelt aan om het model te gaan gebruiken voor de operationele voorspelling van de situatie van het zout op de Schie. Daarbij is dan ook een registratie van het schutbedrijf nodig is. Door dit model te gebruiken als basis voor het beheer zou dan ook in de werkelijkheid een besparing in het doorspoeldebiet te realiseren moeten zijn.

3.1.3 Het rapport van Arcadis (2019)

Het rapport van Arcadis [3] richt zich op een analyse van de in 2018 opgelegde schutbeperkingen. Maar in de eerste hoofdstukken wordt een vrij uitgebreide analyse van de meetgegevens gepresenteerd. Daarbij wordt onder andere ingegaan op het zoutgehalte in de Parkhaven. Dit blijkt aanzienlijk lager te zijn dan op het meetpunt in de Lekhaven (zoals gebruikt in [1], toen er nog geen meetdata in de Parkhaven beschikbaar waren). Ook blijkt het verschil tussen de bovensensor (op NAP -2,10 m) en de bodensensor (0,2 m boven de bodem ¹) zeer klein.

Arcadis toont een figuur (Figuur 7 in [3]) waarin dit (kleine) verschil te zien is over enkele dagen. De figuur toont ook de (vrij grote) variatie in het zoutgehalte met het getij, maar ook deze variatie is voor beide sensoren praktisch even groot. Kijken we naar het hele jaar (o.b.v. daggemiddelde waarden) dan blijkt dat de verschillen tussen boven- en ondersensor steeds zeer klein zijn (zie Figuur 3.1).

¹ Daarmee is de verticale positie van die onderste opnemer nog niet bekend. Uit een lodingstekening uit het projectarchief van [1] blijkt dat de onderhoudsdiepte in het centrale deel van de Parkhaven NAP -4,65 m is, en langs de beide kades is die NAP -3,65 m. Gelode dieptes zijn veelal groter. Waar de sensor exact is geplaatst is niet bekend.



Figuur 3.1 Gelaagdheid in de Parkhaven o.b.v. gemeten geleidbaarheid en daaruit berekend zoutgehalte

Arcadis concludeert over de effectiviteit van de schutbeperkingen dat deze niet direct is af te leiden uit de metingen, omdat er daarvoor te veel zaken een rol spelen. Om die reden wordt een model opgesteld. Op basis van dat model concludeert Arcadis dat het concentreren van de schuttingen rond Laagwater effectiever is dan het concentreren van de schuttingen rond de fase van een laag zoutgehalte. Het reduceren van het schutdebiet heeft kennelijk meer effect dan een (beperkte) reductie van het zoutgehalte in de Parkhaven, dat dan alsnog naar binnenkomt met het (hogere) schutdebiet.

3.2 Update schatting zoutindringing

3.2.1 De schatting uit 2012

De eerdere schatting van de zoutindringing voor de Grote Sluis van de Parksluizen was ca. 15 kg/s waarvan ca. 12 kg/s voor de kolkuitwisseling en ruim 3 kg/s voor het schutdebiet. Deze schatting is weergegeven in onderstaande tabel, overgenomen uit [1].

		Vlaardinger Driesluizen	Schiedam Buitensluis	Rotterdam, Grote Sluis	Parksluizen Kleine Sluis
1					
lengte kolk	m	25,00	76,00	157,00	157,00
diepte kolk	m	2,50	3,00	4,15	3,15
breedte kolk	m	4,00	8,80	13,65	5,97
gemiddeld verval	m	0,90	0,75	0,75	0,75
volume kolk	m ³	250	2006	8894	2952
saliniteit	ppt	7,20	7,20	7,20	7,20
dichtheid	kg/m ³	1004	1004	1004	1004
totaal zout in de kolk	ton	1,81	14,50	64,29	21,34
2					
snellheid zouttong	m/s	0,17	0,19	0,22	0,19
uitwisseldebiet	m ³ /s	0,86	2,50	6,31	1,83
3					
deur-open-tijd in min	min	15	15	15	15
deur-open-tijd in s	s	900	900	900	900
volume uitwisselend water	m ³	778	2251	5681	1643
minimum (kolk, uitw.water)	m ³	250	2006	5681	1643
4					
schuttingen per dag		25,00	18,00	50,00	10,00
schuttingen naar binnen		12,50	9,00	25,00	5,00
uitgewisseld volume per dag	m ³	3125	18058	142034	8216
uitgewisseld zout per dag	ton	23	131	1027	59
schutverlies per dag	m ³	1125	4514	40182	3515
gem. debiet door schutverlies	m ³ /min	0,8	3,1	27,9	2,4
zout in schutverlies per dag	ton	8	33	290	25
5					
daggemiddelde per sluis:					
dooruitwisseling	kg/s	0,26	1,51	11,88	0,69
door schutverlies	kg/s	0,09	0,38	3,36	0,29
totaal daggemiddeld per sluis:	kg/s	0,36	1,89	15,25	0,98

Tabel 3.1 Tabel 4.1 uit [1]: "Schatting zoutindringing bij de onderzochte sluisen op basis van de maximale saliniteit van 4000 mg/l. Voor Vlaardingen en Schiedam zou met een 20% hogere saliniteit gerekend mogen worden."

Deze schatting was gebaseerd op de volgende aannamen en getallen:

- Voor de zoutindringing door het schutverlies:
 - de natte lengte van de kolk, dwz tussen de deuren (157 m),
 - (de lengte voor de schepen is korter);
 - de breedte tussen de wanden (13,65 m);
 - een geschat gemiddeld verval van 0,75 m;
 - dat resulteert in het volume van de schuttschijf;
 - 25 schutcycli per dag;
 - dat geeft een totaal volume van het schutverlies per dag;
 - een geschat zoutgehalte in dat schutverlies van 7,2 psu;
 - dat geeft de totale massa zout in het schutverlies van 290 ton;
 - om te rekenen naar een flux van 3,36 kg/s;
- voor de zoutindringing door kolkuitwisseling:
 - dezelfde lengte en breedte als hierboven;
 - waterstand boven de drempel aan de binnenkant: 4,15 m; (de drempel ligt op NAP -4,65, de waterstand op het kanaal is afgerond naar NAP -0,50 m);
 - dit resulteert in een volume in de kolk van ca. 8900 m³;
 - hetzelfde zoutgehalte in de kolk van 7,2 psu, waaruit een dichtheid is afgeleid van 1004 kg/m³;

- hieruit is een loopsnelheid van de dichtheidsgolf berekend,
- en daarmee een uitwisselingsdebiet (de snelheid maal de breedte en de helft van de diepte in het binnenhoofd);
- aangenomen is dat de deuren 15 minuten open staan, en in die tijd loopt het hierboven geschatte debiet;
 - daarmee ontstaat een uitwisselingsvolume van 5680 m³ voor elke schutting;
- met dezelfde aanname van 25 cycli per dag en hetzelfde zoutgehalte in het uitwisselingsvolume ontstaat een totale zoutvracht in het uitgewisselde volume, om te rekenen naar een flux van 11,88 kg/s

In lijn met het algemene inzicht van dat moment gaf de schatting aan dat de bijdrage van de kolkuitwisseling veel groter was dan die van het schutdebiet.

Deze schattende berekeningen waren destijds voldoende voor het bepalen van een orde van grootte en een onderlinge vergelijking van de verschillende sluisen. Niet voor niets staat er in het bijschrift bij de tabel het aangenomen zoutgehalte genoemd: dat is in hoge mate bepalend voor de uitkomst.

Daarnaast is een belangrijke vereenvoudiging in de rekenwijze (destijds gangbaar) dat de kolk volledig zout is tijdens het nivelleren naar binnen en als de deur naar binnen toe open staat. Samen met het aangenomen zoutgehalte leidt dat tot de gerapporteerde getallen.

Later [8] is het inzicht ontstaan dat in een reeks van schuttingen, waarbij de kolk niet volledig uitwisselt, er een effect optreedt waardoor de kolkuitwisseling nog verder afneemt: als de kolk naar (b.v.) de zoete kant niet volledig uitwisselt, is daarna het verschil in dichtheid naar de zoute kant ook kleiner (de kolk bevat immers nog wat zoutwater). Omdat de kolk minder zoet is neemt de snelheid van uitwisseling aan de zoute kant af, waardoor dus de kolk, binnen dezelfde deur-opentijd, minder zout 'opneemt', waardoor die aan de zoete kant ook weer minder snel uitwisselt, en er, binnen dezelfde deur-opentijd, minder zout naar het kanaal wordt getransporteerd. Uiteindelijk ontstaat er hierdoor een aanzienlijk kleinere massa flux door kolkuitwisseling dan eerder is aangenomen.

In de eerdere schatting was wel rekening gehouden met een beperkte deur-opentijd van 15 minuten en de gedeeltelijke kolkuitwisseling die daar het gevolg van is: bij de gekozen randvoorwaarden (zoutgehalte aan weerszijden) en met de diepte van de drempel is meer dan 26 minuten nodig voor een volledige uitwisseling (die 26 minuten is daarbij nog een onderschatting o.b.v. een lineair verloop van de kolkuitwisseling). In de aangenomen 15 minuten wisselt de kolk dus slechts gedeeltelijk uit. Daar is destijds rekening mee gehouden, maar niet met het versterkend effect dat optreedt in een reeks van schuttingen met beperkte deur-opentijden.

3.2.2 Nieuwe schatting van de zoutindringing o.b.v. registraties

Op basis van de toegeleverde gegevens over 2018 zijn berekeningen gedaan met de Zeesluisformulering (ZSF). Een korte beschrijving hiervan is opgenomen in Bijlage A.

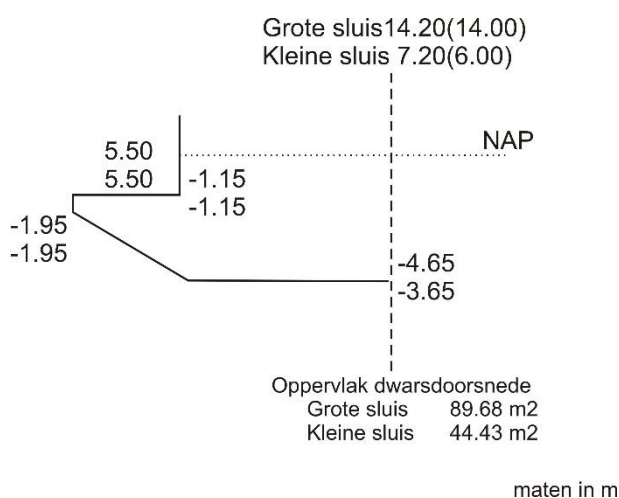
De invoer voor de berekening bestaat uit de afmetingen van de sluis, de waterstanden, de gemeten zoutgehalten aan weerszijden van de sluis, en de registratie van de schuttingen.

De **afmetingen van de sluis** zijn als volgt:

- lengte tussen de deuren: 157 m
Dit is groter dan de lengte die beschikbaar is voor de schepen aangezien een deel van de kolk zich onder één van de beide verkeersbruggen bevindt;

- breedte tussen de muren: 14.20 m
Deze 'natte breedte' is iets groter dan de breedte voor de schepen van 13.65 m vanwege de houten verticale balken die op de muren zijn bevestigd ter bescherming van de gemetselde muren. Deze breedtes houden geen rekening met de aard van de constructie van de sluis; zie kader hieronder: deze constructie (om bouwtechnische redenen zo gekozen) creëert extra volume in de kolk. Dit volume speelt geen rol in het schutdebiet, maar mogelijk wel in de kolkuitwisseling. Hier is echter geen rekening mee gehouden.
- de drempels liggen op NAP -4,65 m.

De kolkwanden van de sluis bestaan uit een "gemetselde kademuur" die op palen staat. Het zichtbare deel van de kolkwand staat op een betonnen plaat die ondersteund wordt door palen. De sluisbodem, vlak over kolkbreedte, gaat over in een onderwater talud dat aansluit op deze plaat; zie onderstaande Figuur C.8. Zowel de minimale binnenwaterstand als de buitenwaterstand bij deze sluizen ligt boven het niveau van de plaat (-1.15m NAP). Voor het schutvolume kan daarom gerekend worden met een breedte van 14.20 m (...). (...)



Figuur C.8 Onderwater dwarsdoorsnede grote en kleine Parksluis. De bovenste afmeting is van toepassing voor de grote sluis en de onderste voor de kleine sluis. De natte doorsnede over een sluis t.o.v. NAP is respectievelijk 89.68 en 44.43 m².

Figuur 3.2 Schematische doorsnede over de Parksluizen, overgenomen uit Bijlage C van [1]

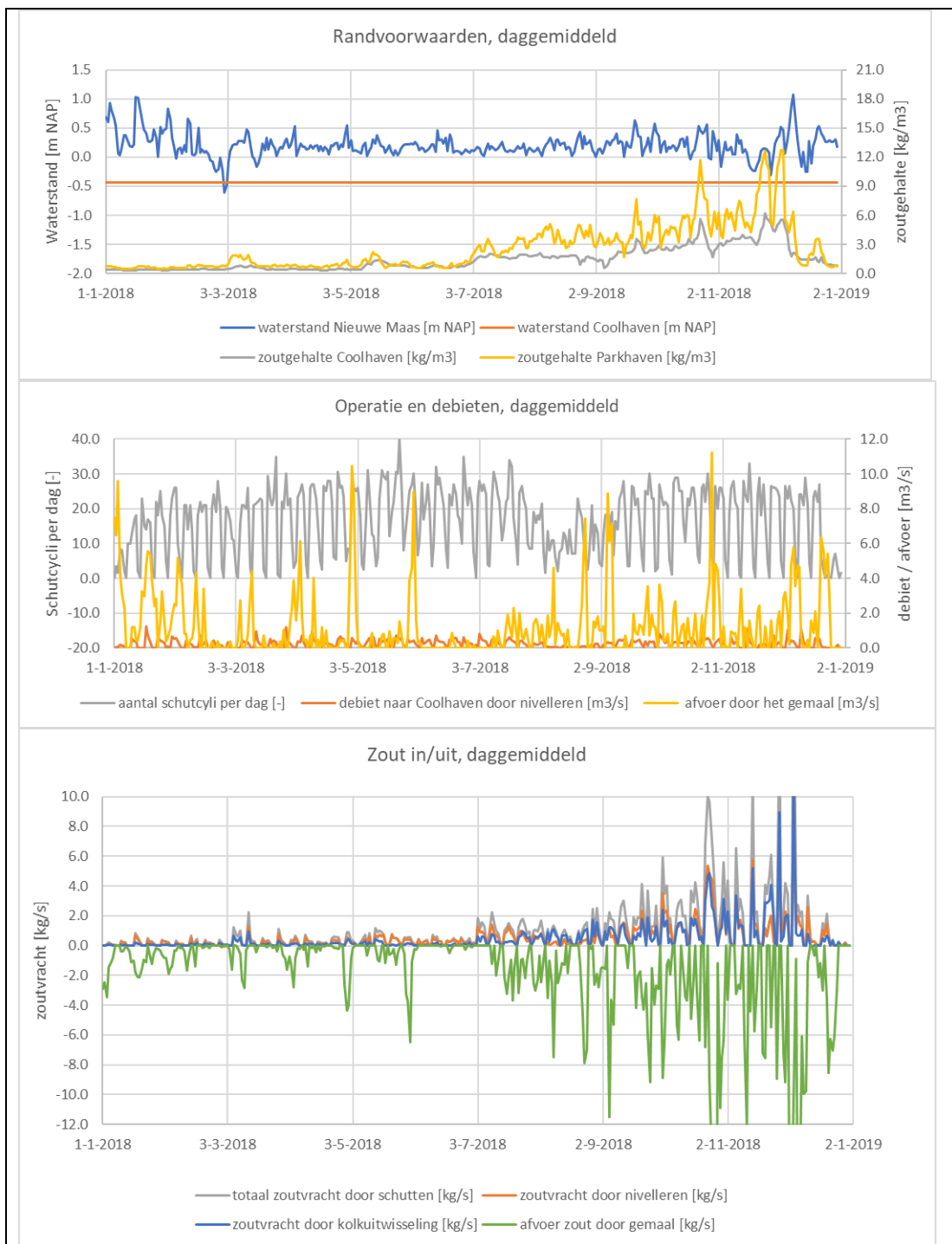
De **waterstanden, zoutgehaltes en temperatuur** aan weerskanten zijn gemeten en toegeleverd door Delfland (data van 2018, zie [3] voor een uitgebreide omschrijving van de meetdata). Voor de Coolhaven is de meting bij het gemaal gebruikt (dicht bij de bodem), in de Parkhaven het gemiddelde van de twee sensoren (een nabij het oppervlak en een nabij de bodem). De zoutgehaltes zijn gemeten o.b.v. de meting van de geleidbaarheid van het water. Omdat deze geleidbaarheid wordt gedomineerd door de aanwezigheid van zout uit zee, zeker aan de rivierzijde, maar ook in de Coolhaven in de zomerperiode, is deze geleidbaarheid t.b.v. de berekeningen nu omgerekend naar een zoutgehalte op basis van de formulering zoals opgesteld door de UNESCO [9].

Ook is er over 2018 een **registratie van schuttingen** toegeleverd. Het gebruik van die registratie voor de berekening met de ZSF vraagt om wat bewerking en een paar aannamen. De registratie volgt namelijk het passerende schip: van start schutting (sluis gereed voor invaren) tot einde schutting (het zelfde schip vaart aan de andere kant weer uit). Maar dat vertelt niet wanneer de deuren open en dicht gingen, en dat is wat er nodig is voor het

bepalen van de kolkuitwisseling. Met behulp van een aantal aannamen, deels gebaseerd op een bezoek aan de sluis, is de toegeleverde registratie omgezet in een complete beschrijving van de schutoperatie. Zie hiervoor Bijlage B. Het verslag van het bezoek aan de Parsluizen is opgenomen in Bijlage C.

Onderdeel van de schutoperatie is het uit- en weer invaren van schepen terwijl de deur aan een kant openstaat. Ook daardoor treedt uitwisseling van water op tussen de kolk en de voorhaven: als een schip de kolk uit vaart wordt dat volume in de kolk aangevuld met water uit de voorhaven, en als een schip invaart wordt er water uit de kolk naar de voorhaven verplaatst. Voor de waterverplaatsing van elk passerend schip is een schatting gemaakt o.b.v. de afmetingen in de registratie.

Op basis van de complete invoer, de afmetingen, randvoorwaarden en de operatie, zijn de transporten uitgerekend (water en zout) met de ZSF. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de volgende figuren: in de eerste set zijn de resultaten verwerkt tot dag-gemiddelde waarden, in de tweede set tot het gemiddelde over 7 dagen.



Figuur 3.3 Invoer en resultaten ZSF over 2018: daggemiddelde waarden

In het bovenste deel van Figuur 3.3 staan de randvoorwaarden:

- in blauw de daggemiddelde waterstand op de rivier, met grotere fluctuaties in met name januari, februari en december
- in oranje de waterstand in de Coolhaven, constant aangenomen op NAP -0,43 m (de fluctuaties zijn klein en voor het huidige doel verwaarloosbaar t.o.v. de waterdiepte in het sluishoofd)
- in grijs het daggemiddelde zoutgehalte in de Coolhaven in kg/m³ (\approx psu)
- in geel het daggemiddelde zoutgehalte in de Parkhaven in kg/m³ (\approx psu)

Figuur 3.3 laat o.a. zien dat als in juli het zoutgehalte op de rivier (en daarmee in de Parkhaven) toeneemt ook de Coolhaven meteen volgt. Ook de eerdere kleinere verhoging begin mei wordt direct gevolgd door de Coolhaven: het verschil tussen beide blijft zeer klein en is af en toe zelfs omgekeerd van richting.

Het middelste deel geeft de operatie van schutsluis en gemaal en de debieten die daaruit volgen:

- in grijs het aantal schutcycli per dag (een cyclus is een schutting naar binnen en een naar buiten, waarbij een van beide zonder een schip in de kolk kan zijn);
- in oranje het debiet dat door het nivelleren naar binnen komt (het water in de Parkhaven staat i.h.a. hoger dan op het kanaal);
- in geel de afvoer door het gemaal: deze is duidelijk groter omdat via het gemaal water uit de boezem van Delfland wordt uitgeslagen

Het aantal schutcycli per dag vertoont een duidelijk week / weekend ritme, met soms geen enkele schutting op een weekenddag. Ook zijn er minder schuttingen in augustus, waarschijnlijk in relatie tot de bouwvakantie. Het debiet dat naar binnen komt door de schuttingen laat (logischerwijs) een vergelijkbaar ritme zien. De afvoer door het gemaal laat daarentegen pieken zien. Deze pieken zullen voor een groot deel samenhangen met lokale neerslag. De afvoer in juli en augustus zal echter juist voor een groot deel samenhangen met het bestrijden van de zoutindringing.

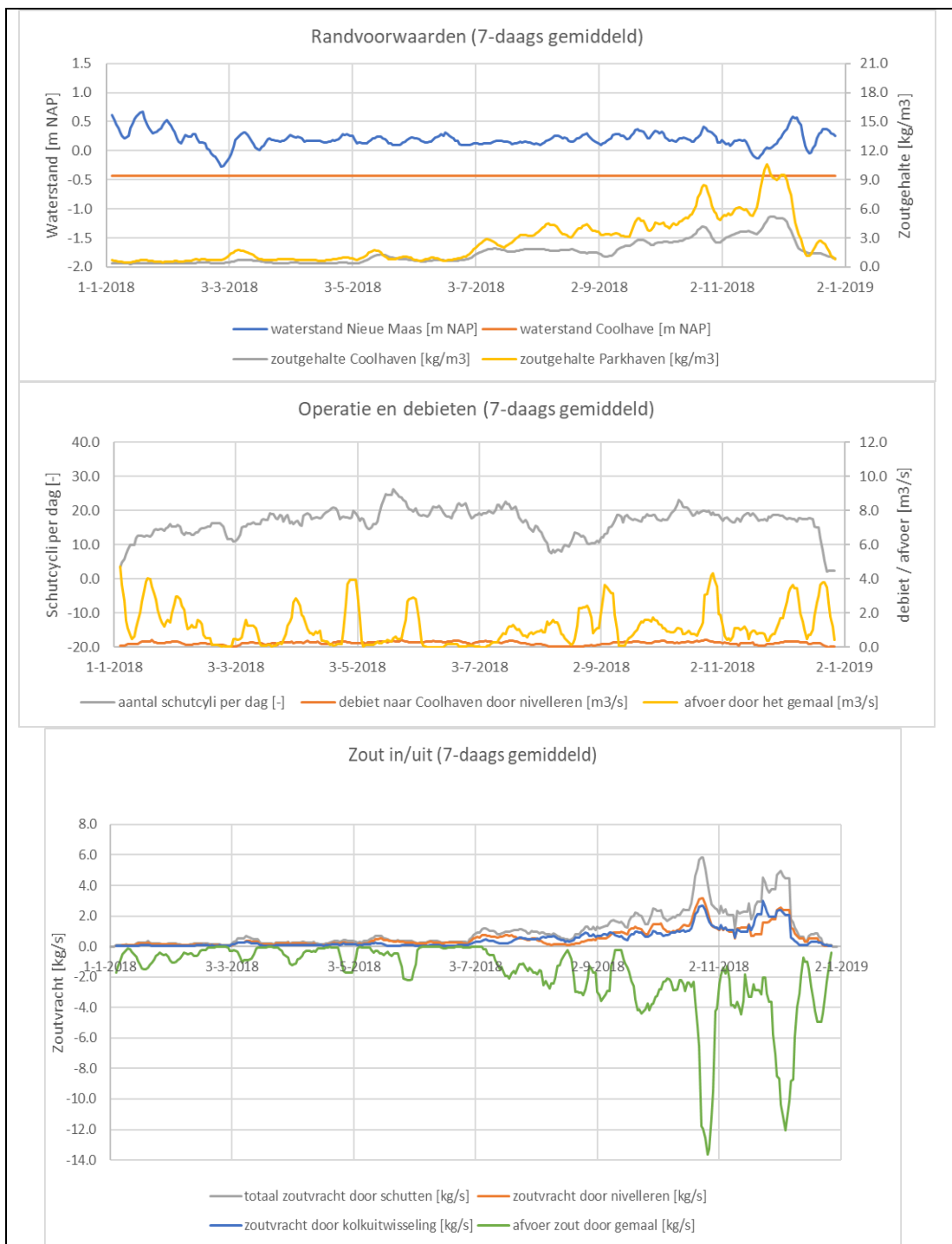
Het onderste deel van Figuur 3.3 geeft de transporten van zout, in kg/s. Het totale zouttransport naar binnen (in grijs) is daarbij gesplitst in twee delen:

- in blauw het deel ten gevolge van de kolkuitwisseling, inclusief het effect van de waterverplaatsing van de schepen
- in oranje het deel ten gevolge van het schutdebiet (dat wordt niet anders als er een schip in de kolk is).

De waarden van deze transporten zijn klein: slechts enkele kilogrammen per seconden.

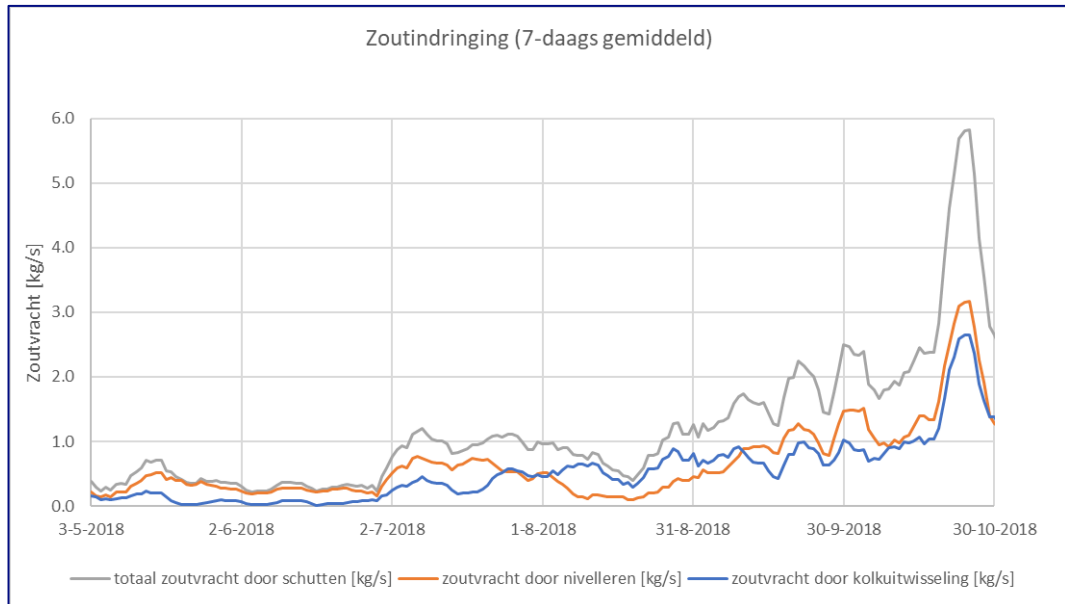
- In groen de hoeveelheid zout afgevoerd via het gemaal: deze is duidelijk groter dan het zouttransport door de sluis (grijs), en bereikt piek-waarden bij een grote afvoer op een moment van een hoog zoutgehalte in de Coolhaven.

In onderstaande Figuur 3.4 is dezelfde informatie weergegeven in een gemiddelde over 7 dagen (geplot op de dag halverwege de periode van 7 dagen).



Figuur 3.4 Invoer en resultaten ZSF over 2018: 7-daagsgemiddelde waarden

Deze figuren laten zien dat er in de maand juli door het gemaal een afvoer was in de orde van $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Daarmee stabiliseert het zoutgehalte in de Coolhaven zich op een waarde rond de $1,5 \text{ kg/m}^3$. De zoutindringing piekt eind oktober, als ook het zoutgehalte in de Parkhaven piekt, naar waarden van 5 tot 6 kg/s (als we de bijdragen van kolkuitwisseling en nivellieren optellen). Dit is aanzienlijk minder dan de 15 kg/s die in 2012 is gerapporteerd.



Figuur 3.5 Zoutindringing, periode mei – oktober 2018

In Figuur 3.5 is ingezoomd op de zoutindringing in de periode mei t/m oktober 2018. Hieruit blijkt dat tot ca. 1 augustus de bijdrage van het schutdebiet (het nivelleren) de grootste is. In mei en juni is de bijdrage van de kolkuitwisseling zelfs erg klein, en dat hangt logisch samen met de eerdere constatering dat het zoutgehalte in de Coolhaven zo snel oploopt met het oplopen van het zoutgehalte in de Parkhaven.

In met name augustus en een deel van september is dit omgekeerd (dat kan samenhangen met de opgelegde schutbeperking, maar ook de bouwvakantie speelt in die periode een rol), en daarna, o.a. als in eind oktober een piek wordt bereikt, zijn ze ongeveer even groot. De relatieve bijdrage van de twee componenten is daarmee anders dan in 2012 geschat. Toen was de bijdrage van het schutdebiet ongeveer 3 kg/s (nu ook, eind oktober) en was de bijdrage van de kolkuitwisseling ongeveer 12 kg/s (nu aanzienlijk kleiner). In de piek van eind oktober is het dus vooral de kolkuitwisseling die nu veel lager wordt berekend dan toen is geschat. De oorzaken hiervan worden in de volgende paragraaf nog eens samengevat.

Van de debieten zijn jaargemiddelde waarden bepaald: het schutdebiet naar binnen bedraagt ca. 0,24 m³/s (14,4 m³/min). Het debiet door het gemaal naar buiten bedraagt ca. 1,24 m³/s (74,4 m³/min).

Wat ook te zien is in Figuur 3.4, is dat de hoeveelheid zout die is afgevoerd door het gemaal groter is dan wat er via de sluisen naar binnen komt (omdat via het gemaal water - inclusief zout - vanuit de boezem van Delfland naar de Maas wordt uitgeslagen).

- De pieken van die afvoer zijn goed te verklaren. Beschouwen we de piek van eind oktober (7-daagsgemiddelde waarden), dan geeft een afvoer van ca. 4 m³/s bij een zoutgehalte in de Coolhaven van 3 – 3,5 kg/m³ een afvoer in zout van 12 - 14 kg/s.
 - N.B.: er hoeft momentaan uiteraard geen evenwicht te zijn tussen wat er binnenkomt door de schutoperatie en wat er naar buiten gaat door het gemaal: er wordt zout 'opgeslagen' in de Coolhaven en de Schie, zichtbaar in fluctuaties in het zoutgehalte.
- Jaar-gemiddeld (gebaseerd op de jaarreeks voor 2018 zoals gepresenteerd in Figuur 3.4) is er een (ruwe) balans op te stellen:

- zout naar de Coolhaven door kolkuitwisseling: 0,48 kg/s, door nivelleren 0,55 kg/s, samen 1,03 kg/s
- zout vanuit de Coolhaven naar de Parkhaven via het gemaal: 1,81 kg/s
- het verschil is 0,78 kg/s: er gaat meer zout naar buiten door het gemaal dan er naar binnenkomt door het schutten; dit is wat het onderste deel van Figuur 3.4 weergeeft
- dit verschil is deels te verklaren uit de aanvoer van water bij de Spaanse brug (gemiddeld ongeveer 1 m³/s, met een chloride gehalte van ongeveer 230 g/m³); dit verklaart ruwweg 0,42 kg/s van het verschil van 0,78 kg/s.

Voor het resterende verschil van $0,78 - 0,42 = 0,36$ kg/s zijn er drie mogelijke verklaringen.

In de eerste plaats zou het gebied aan het eind van het jaar minder zout kunnen zijn dan aan het begin het jaar (verschil in zoutmassa in het kanaal). Voor een significante bijdrage aan de verklaring van het verschil van 0,36 kg/s zou het zoutgehalte echter zeer sterk moeten afnemen, en daarmee is deze verklaring niet waarschijnlijk.

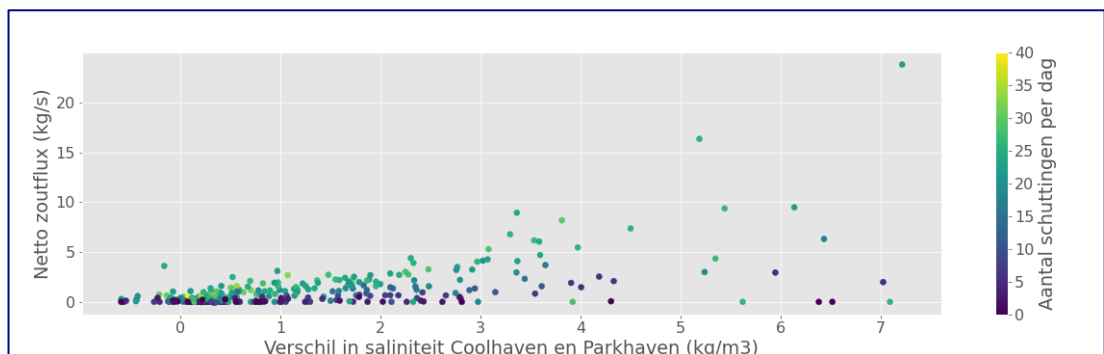
In de tweede plaats kan een beperkte gelaagdheid in de Coolhaven een rol spelen: het zoutgehalte in de afvoer wordt berekend o.b.v. een meting dichtbij de bodem. Als hierdoor de afgevoerde hoeveelheid zout met 20% wordt overschat (en dat is heel goed denkbaar) is daarmee het verschil geheel verklaard.

Tenslotte zou de zoutvracht vanuit de sluis naar de Coolhaven kunnen zijn onderschat in de berekeningen. Echter, de huidige kennis over de processen die spelen bij zoutindringing in schutsluizen is goed opgenomen in het modelinstrumentarium (de zeesluisformulering, ZSF). Mogelijk zou de gebruikte modelinvoer (met name voor de schutoperatie) nog kunnen afwijken van de werkelijkheid. Dat speelt echter geen rol bij de vergelijking van de effecten van de verschillende maatregelen. Daarmee is het huidige model dus voldoende nauwkeurig voor de doelstelling in dit project.

Naast bovenstaande jaar-gemiddelde beschouwing is ook een berekening uitgevoerd met een balansmodel voor heel 2018. Dit is beschreven in Bijlage D. De resultaten van dit balansmodel geven verder vertrouwen in de berekening met de ZSF.

3.2.3 Samenvatting van de resultaten en verschillen

De berekende zoutindringing (daggemiddeld totaal van nivelleren en kolkuitwisseling) is uitgezet in de onderstaande figuur als functie van het verschil in zoutgehalte tussen de Parkhaven en de Coolhaven en het aantal schuttingen op een dag. Duidelijk is dat de spreiding groot is.



Figuur 3.6 Dag-gemiddelde waarden van de zoutindringing (data 2018)

Ter vergelijking met de eerdere schatting voor de zoutindringing uit 2012 zijn de 7-daags gemiddelde waarden van de nieuwe berekeningen bij elkaar gezet in onderstaande tabel.

Tabel 3.2 Overzicht zoutindringing: schatting 2012 en berekeningen ZSF o.b.v. registraties 2018

	Schatting 2012	Berekend met de ZSF (7-daags gemiddeld) o.b.v. registraties 2018	
		mei - augustus	maximum, eind oktober
kolkuitwisseling [kg/s]	ca. 12	0 - 1	ca. 3
nivelleren / schutdebiet [kg/s]	ca. 3	0 - 1	ca. 3
totaal [kg/s]	ca. 15	0,5 – 1,2	ca. 6

Zoals hierboven al is geconstateerd en duidelijk wordt uit de tabel, wordt het verschil tussen de huidige berekening, piekwaarden van ca. 6 kg/s, en de schatting uit 2012, ca. 15 kg/s, vooral bepaald door een aanzienlijk kleinere bijdrage van de kolkuitwisseling (inclusief het effect van de waterverplaatsing van de schepen). De oorzaken van de verschillen zijn de volgende:

- het zoutgehalte in de Parkhaven (zie Figuur 3.4) is i.h.a. aanzienlijk lager dan de eerder aangenomen waarde van 7,2 ppt (= psu \approx kg/m³), en wanneer het oploopt (bij lage rivierafvoer), loopt ook het zoutgehalte aan de binnenkant op, waardoor het verschil in zoutgehalte relatief klein blijft (destijds is dit oplopen aan de binnenkant niet meegenomen)
- het aantal schutcycli in 2018 was gemiddeld 16,5 per dag, maar in sommige perioden rond de 20 per dag; dat is wel kleiner dan het eerder aangenomen aantal van 25;
- de deur-opentijd is vaak aanzienlijk korter dan eerder aangenomen, waardoor de kolkuitwisseling veel minder kans krijgt: destijds was 15 minuten aangenomen, nu is deze variabel en in het algemeen veel korter; deze deur-opentijden volgen uit de omwerking van de registratie van passages van 2018 (zie Bijlage B): voor bijna de helft van de schuttingen (46%) volgt de minimale deur-opentijd van 4 minuten, en voor ongeveer een kwart (26%) is de maximale deur-opentijd van 20 minuten aangehouden, omdat uit de registraties een soms onrealistische lange deur-opentijd volgde.
- het versterkende effect van beperkte kolkuitwisseling (zie Paragraaf 3.2.1) is eerder niet meegenomen, en zit nu wel in de berekening.

Gezamenlijk geven deze verklaringen voldoende grond om te zeggen dat de huidige berekeningen veel dichterbij de werkelijkheid zitten dan de eerdere schatting. Ook is duidelijk dat de operatie, en met name de deur-opentijden, daarin een belangrijke rol speelt. Deze is nu o,b,v, een aantal aannamen, afgeleid van een registratie van passages. Een directe registratie van de deur-bewegingen zou de betrouwbaarheid van de berekeningen verhogen.

Tegelijkertijd is ook duidelijk geworden dat de zoutindringing één van de parameters is in een systeem met onderlinge afhankelijkheden. Het enkele getal van de zoutindringing zegt niet zo veel: dat varieert met de omstandigheden. En bovendien is niet de zoutindringing zelf het probleem, maar het oplopen van het zoutgehalte in het binnenwater, en misschien wel primair de hoeveelheid water die nodig is om het zoutgehalte te beheersen.

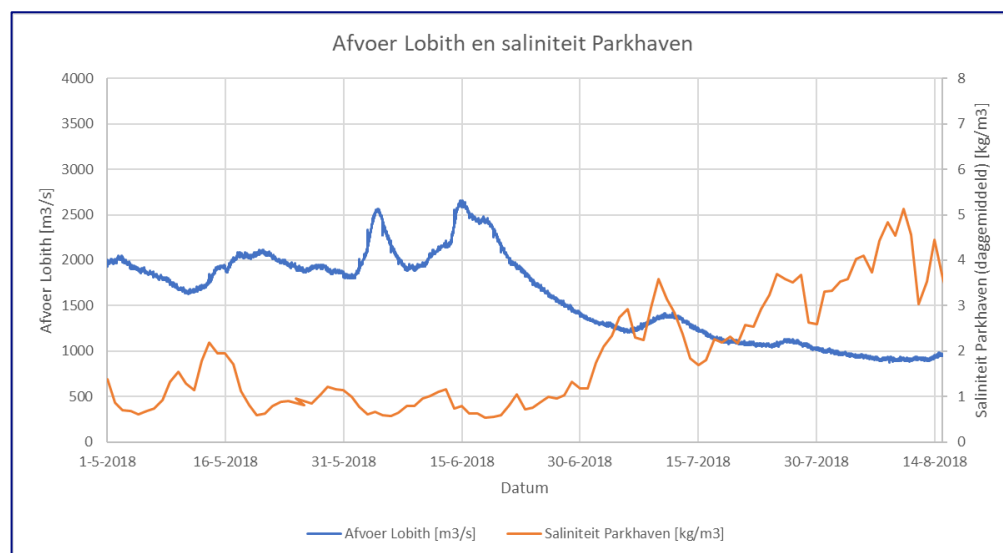
3.3 Kenmerken van het systeem

Op basis van de beschikbare kennis, zowel de generieke kennis over zoutindringing door schutsluizen, als de specifieke kennis over de situatie rond de Parksluizen, bestaande uit de rivier, de sluisen en het kanaal, is het systeem als volgt te kenmerken. Hieruit volgen de zoek-richtingen voor de mogelijke maatregelen.

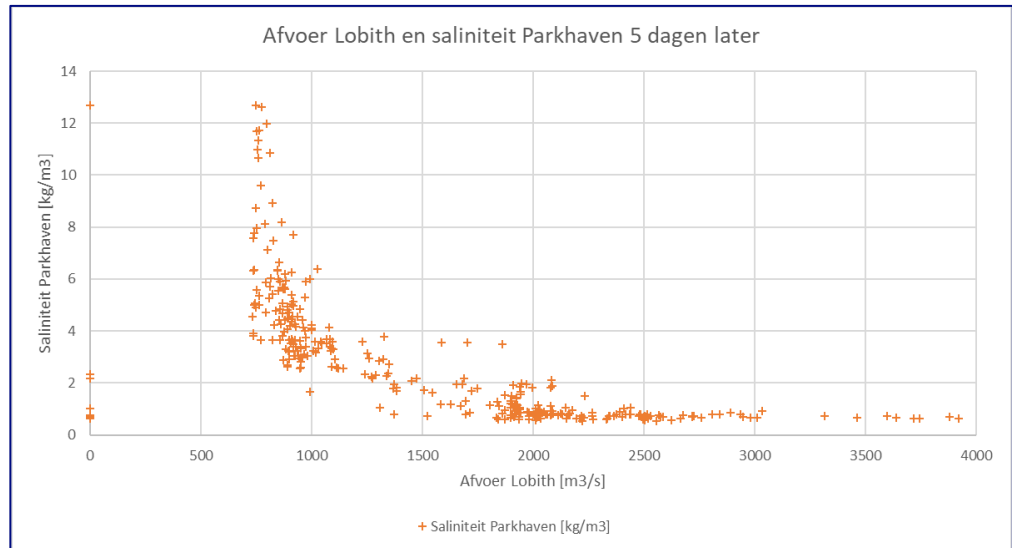
1. Zoutindringing door de Parksluizen is in een groot deel van de tijd geen probleem. Het probleem ontstaat pas als het zoutgehalte in de Nieuwe Maas, en daarmee in de Parkhaven, oploopt door een lage rivierafvoer. Daarmee is de verwachte afvoer bij Lobith op te vatten als een vóór-waarschuwing voor het oplopen van het zoutgehalte in de Parkhaven. Figuur 3.7 laat dit zien: als de afvoer bij Lobith daalt tot onder ca. 1500 m³/s dan loopt een paar dagen later de saliniteit in de Parkhaven plotseling op. Deze correlatie tussen afvoer en zoutgehalte, met een vertraging van enkele dagen, is op meerdere momenten te zien.

In Figuur 3.8 is, op basis van dezelfde data van 2018, de saliniteit uitgezet tegen de afvoer bij Lobith, met een vertraging van 5 dagen. Hieruit blijkt dat bij waarden onder de 2000 m³/s de saliniteit al iets begint op te lopen.

(N.B.: ook een verhoging van de waterstand door opwaaïing geeft een verhoogd zoutgehalte, maar een dergelijke gebeurtenis is van korte duur en daardoor minder bedreigend voor het zoutgehalte op de Schie.)

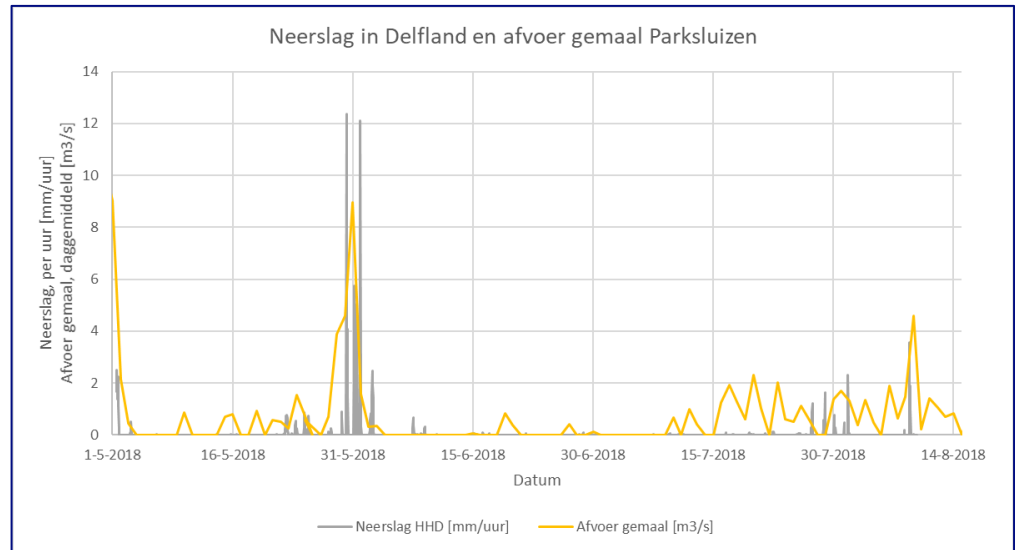


Figuur 3.7 Afvoer Lobith en Saliniteit Parkhaven, verloop in de tijd, mei – augustus 2018



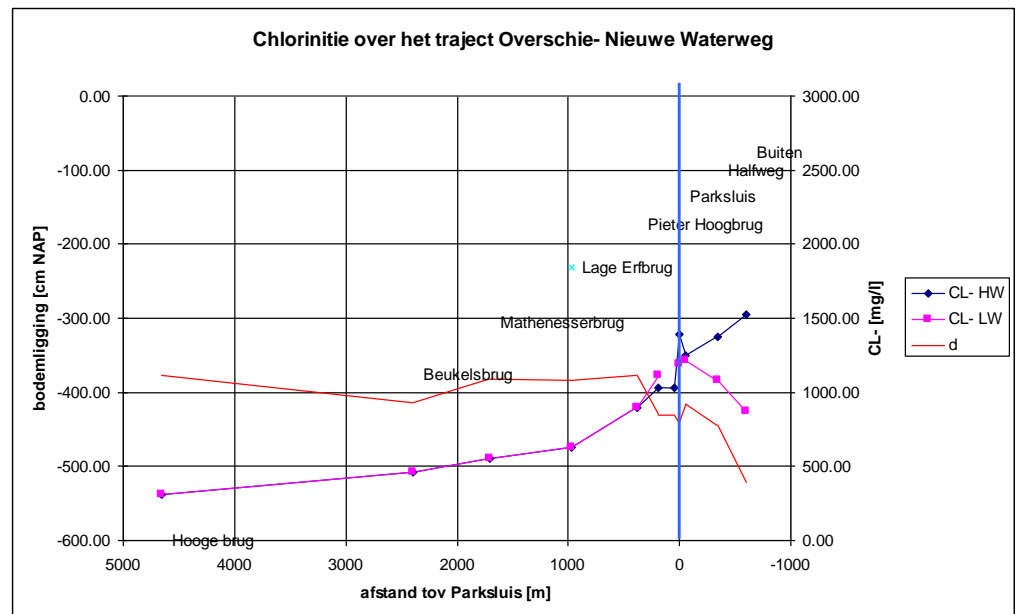
Figuur 3.8 Afvoer Lobith en Saliniteit Parkhaven 5 dagen later (data heel 2018)

2. Het zout komt naar binnen door zowel het schutdebiet als door kolkuitwisseling, en deze twee bijdragen zijn beide van belang (zie bv. Figuur 3.5).
3. De verspreiding van het zout over de Schie, in noordelijke richting, is niet of nauwelijks het gevolg van dichtheidsstroming: er is immers amper sprake van gelaagdheid in het kanaal [3]. Deze menging wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de passerende scheepvaart. Maar scheepvaart leidt ook tot transport: waar een schip passeert in zuidelijke richting, zal zich water verplaatsen in noordelijke richting. Netto is het debiet waarschijnlijk ongeveer gelijk aan nul, maar het transport van water naar het noorden gaat met een relatief hoog zoutgehalte (water van dichterbij de Parksluizen) en het transport naar het zuiden gaat met een relatief laag zoutgehalte. Netto ontstaat er daardoor een transport van zout naar het noorden.
4. Daarnaast leidt het nivelleren van de Parksluizen tot een debiet naar het noorden, en als de Parkhaven relatief zout is, dan komt er daardoor dus ook zout op het kanaal, dat steeds verder naar het noorden doordringt. Ook leidt het nivelleren tot translatie golven op het kanaal: kortdurende pulsen in de waterbeweging. Deze dragen bij aan de menging, maar transporteren het zout ook verder naar het noorden.
5. De primaire manier van bestrijden van die zoutindringing is het doorspoelen van de Schie, en het afvoeren van water via het gemaal Parksluizen naar de Parkhaven. Deze 'defensie' wordt moeilijk op het moment dat er lokaal te weinig regen valt en er water moet worden aangevoerd vanuit het Brielse Meer.
6. Zijn beide situaties aan de orde (een zoute rivier door een lage afvoer én weinig regenval in het gebied van Delfland), dan wordt de zoutindringing een probleem. Er is dan sprake van een verschil in zoutgehalte tussen de Parkhaven en de Coolhaven die leidt tot zoutindringing. In Figuur 3.3 en Figuur 3.4 was al te zien dat als het zoutgehalte in de Parkhaven oploopt, ook het zoutgehalte in de Coolhaven al snel oploopt. Die zoutindringing moet dan worden tegengegaan met een zo klein mogelijk doorspoeldebiet over de Schie om daarmee het zoutgehalte bij de Beukelsbrug te beheersen.



Figuur 3.9 Neerslag in Delfland en afvoer via gemaal Parksluizen

7. Vaak is er een gradiënt te zien in het zoutgehalte op de Schie: het water wordt zouter naarmate we vanaf het noorden naderen in de richting van de Parksluizen (zie bijvoorbeeld Figuur 3.10, overgenomen uit [1]). Door de dispersie (onder meer door de scheepvaart) verspreidt het zout zich naar het noorden, maar de gradiënt blijft stabiel wanneer er sprake is van een netto afvoer (debiet) naar het zuiden.



Figuur 3.10 (Figuur 5.12 uit [1]) De chloriniteit (als gemiddelde van een vertikaal) en bodem ligging (d) over het traject Parkhaven – Overschie. De metingen zijn uitgevoerd vanaf de betreffende brug of sluis. In de Parkhaven / Parksluis / Coolhaven zijn de metingen zowel bij HW en LW uitgevoerd.

8. Als er maar een beperkte afvoer in de Schie is (omdat er weinig water beschikbaar is) dan zal de gradiënt in het zoutgehalte over dat deel van het kanaal dus vlak moeten zijn: een steile gradiënt kan namelijk alleen stabiel zijn bij een grotere afvoer. **Dat impliceert dat, juist in een situatie van droogte (beperkte afvoer in het kanaal) en lage rivierafvoer (hoog zoutgehalte in Parkhaven), het zoutgehalte in de Coolhaven laag moet zijn.** Om de zoutnorm bij Beukelsbrug te kunnen handhaven, moet het zoutgehalte in de Coolhaven lager zijn naarmate er minder afvoer in de Schie is.

N.B.: als achtergrondswaarde geldt 140 – 200 mg/ltr, terwijl de norm bij Beukelsbrug 270 mg/ltr is; ook ten noorden van Beukelsbrug is er dus een gradiënt, die samenhangt met dezelfde afvoer over de Schie.

9. De te ontwerpen maatregelen moeten in staat zijn om die lage saliniteit in de Coolhaven te realiseren. En dat is inclusief het feit dat die lage waarde het dichtheidsverschil vergroot, hetgeen de kolkuitwisseling versterkt. Bovendien moeten deze maatregelen dus weinig water gebruiken, want dat watergebruik is de afvoer over het kanaal.
10. Bij het beschouwen van het doorspoeldebiet in de bestrijding van de zoutindringing, zou het volume water dat naar binnenkomt als schutdebiet eigenlijk sowieso mogen worden teruggevoerd: dat (zoute) water is immers een van de oorzaken van het probleem. Als dat schutdebiet wordt teruggepompt, ca. 0,24 m³/s, is er ook nog geen sprake van doorspoelen van de Schie: het netto gemiddelde debiet over de Parksluizen is dan nul. Ook wordt er dan dus nog geen water gebruikt dat afkomstig is uit het gebied, of bijvoorbeeld van de aanvoer vanuit het Brielse Meer.
11. Er zal een vlakke gradiënt in het zoutgehalte over de Schie blijven staan, en die zal een zekere netto afvoer naar het zuiden nodig hebben om stabiel te zijn. Bovenop het terugvoeren van het schutdebiet zal er dus een (liefst beperkte) netto afvoer uit het gebied naar de Parkhaven nodig blijven.

4 Maatregelen: 'long list'

4.1 Eerder overwogen maatregelen

In onderstaande tabel is weergegeven de tabel uit het rapport van Deltares van 2012. De nummers in de kolom daarnaast verwijzen naar de bespreking van de betreffende maatregel of groep van maatregelen in de tekst eronder.

De tabel uit het rapport van Deltares uit 2012 [1]

Parksluizen, Grote Sluis	Effectiviteit	Kosten	Hinder voor scheepvaart	Afhankelijkheid van derden	
(Min of meer) continu terug pompen schutdebiet met overmaat	hoog	voor aparte pomp	geen	geen	1
Beheer zoutbuffer op de Schie (extra meetstations)	hoog	beperkt	geen	geen	2
Zoutvang Coolhaven	redelijk	beperkt tot hoog	geen	geen	3
Minimaliseren aantal schuttingen door invoeren wachttijd	redelijk tot hoog	geen	laag tot hoog	sluismeester, Schuttevaer	4
Minimaliseren deur-open-tijden	redelijk	geen	gering	sluismeester	
Recreatieverkeer naar Kleine Sluis	redelijk	geen	alleen voor recreatie	sluismeester	
Spertijden, afhankelijk van de duur	laag tot hoog	geen	laag tot hoog	sluismeester, Schuttevaer	5
Luchtbellenscherm	onzeker	hoog	geen	sluismeester	6
Waterscherm	waarschijnlijk zeer hoog	beperkt in comb. met zoutvang	beperkt	sluismeester, Havenbedrijf, Gem. Rotterdam Schuttevaer	
Drempel	matig	beperkt	beperkt	Havenbedrijf, Gem. Rotterdam Schuttevaer	7
Hoog innemen schutwater	hoog	beperkt	beperkt	beperkt	8

Tabel 7.4 Overzicht maatregelen Parksluizen, Grote Sluis

Op basis van de nu beschikbare kennis en informatie en gezien de vraagstelling van dit project is er over deze maatregelen het volgende te zeggen. Per item wordt ook aangegeven of deze in dit rapport verder wordt uitgewerkt. (De selectie van uit te werken maatregelen is vastgesteld in overleg met de opdrachtgever in een overleg op 22 juni 2012.)

1. Deze aanbeveling blijft staan en wordt nader toegelicht in Paragraaf 4.3.
2. Beheer zoutbuffer op de Schie: Hiervan heeft Hydrologic laten zien dat het effectief kan zijn. Deze aanbeveling blijft staan en wordt nader toegelicht in Paragraaf 4.3.
3. Zoutvang: De metingen (zie [3]) laten zien dat de Coolhaven goeddeels is doorgemengd. De Coolhaven met zijn huidige diepte is daarmee niet effectief als zoutvang: het heeft weinig zin om zorgvuldig het meest diepe water uit de Coolhaven te onttrekken. Om effectief te zijn zou de Coolhaven significant dieper moeten zijn. Dat kan aanleiding geven tot meer stratificatie, waardoor daaruit afgevoerd water een hoger zoutgehalte zal hebben, waarmee er dus meer zout wordt afgevoerd per m³ water. Maar er blijft toch menging door scheepvaart, o.a. vanwege het relatief hoge

motorvermogen dat wordt gebruikt voor het nemen van de bocht, door zowel uit- als invarend verkeer. Daarnaast zal een diepe zoutvang een bedreiging vormen voor de stabiliteit van de kademuuren. Deze maatregel wordt daarom niet verder uitgewerkt in dit rapport.

4. Operationele maatregelen: de zoutindringing wordt uiteindelijk bepaald in de operatie. Dit blijft dus een aandachtspunt. Deze categorie van maatregelen wordt verder besproken in Paragraaf 4.4.
5. Luchtbellenscherm: De effectiviteit hiervan werd in 2012 als 'onzeker' ingeschat. Dat heeft te maken met het i.h.a. beperkte verschil in dichtheid tussen Parkhaven en Coolhaven. Die onzekerheid geldt nog steeds. Toch wordt deze maatregel verder beschouwd, in combinatie met toepassing van een spoeldebiet. Zie Paragraaf 4.5.
6. Waterscherm: De effectiviteit hiervan werd in 2012 ingeschat als 'waarschijnlijk zeer hoog'. Maar er is in de afgelopen tijd geen onderzoek gedaan om dit te onderbouwen. Wel is er meer inzicht ontstaan in de effectiviteit van de combinatie van bellenschermen en een spoeldebiet. De toepassing van een waterscherm wordt daarom niet verder uitgewerkt in dit rapport.
7. Drempel: een drempel is een eenvoudige maatregel met, gegeven de beperkte hoogte die kan worden toegepast, een beperkte effectiviteit. Toch wordt hij verder meegenomen in Paragraaf 4.5 in combinatie met een bellenscherm, o.a. omdat een bellenscherm een constructieve hoogte heeft, waarmee een drempel wordt gerealiseerd.
8. Hoog innemen schutdebiet: Inmiddels is duidelijk geworden dat in de Parkhaven het verschil in zoutgehalte tussen oppervlak en bodem zeer beperkt is. De effectiviteit hiervan zal daardoor tegen vallen. Om die reden wordt deze maatregel niet verder uitgewerkt.

Bij het maken van de nieuwe schatting van de zoutvracht is gebleken dat de kolkuitwisseling een minder dominante rol speelt dan eerder gedacht en dat een ongeveer even groot deel van de zoutindringing samenhangt met het schutdebiet. In 2012 zijn geen maatregelen voorgesteld die gericht zijn op de zoutindringing via het schutdebiet, ook omdat het niet eenvoudig is daar iets aan te doen, maar daar zal in dit hoofdstuk wel aandacht voor zijn.

4.2 Afmetingen sluis en schepen

De afmetingen van de sluis waren in 2012 [1] natuurlijk al bekend. Vanuit de registratie van de scheepspassages in 2018 zijn nu ook de afmetingen van de schepen bekend. Dat maakt het mogelijk die twee goed te vergelijken.

De afmetingen van de schutkolk (zie ook Paragraaf 3.2.2) zijn als volgt:

- de lengte tussen de deuren is 157 m; een deel van deze lengte zit echter onder de verkeersbrug in de Westzeedijk aan het buitenhoofd; daardoor is de schutlengte 130 of 128 m afhankelijk van het getij,
- de breedte tussen de gemetselde muren is 14,20 m, maar 13,65 m tussen de verticale balken die op die muren zijn bevestigd
- de drempels liggen op NAP-4,65 m; aan het buitenhoofd is dat 3,94 m onder het OLW (Overeengekomen LaagWater) van NAP -0,69 [1], aan het binnenhoofd is dat 4,22 m onder het kanaalpeil van NAP -0,43 m.

Uit de registraties van 2018 blijkt dat de maximale lengte en breedte van de schepen die dat jaar de sluis passeerden flink kleiner is dan de kolk, namelijk 86 m x 9,5 m: de kolk zou dan dus groter zijn dan nodig is voor het maatgevende schip.

Volgens het document Vaarwegen in Nederland van juni 2021 [10] zijn de maximale afmetingen van de schepen die mogen passeren inderdaad gelijk aan (Lengte x Breedte x Diepgang) 86,0 x 9,5 x 2,7 m. (Dit geldt voor schepen voorzien van een boegschroef. Zonder boegschroef zijn de maximale lengte en breedte gelijk aan 70 resp. 7,6 m.) Deze maximale afmetingen komen overeen met CEMT-Klasse IVa of RWS-Klasse M6.²

Volgens de Richtlijnen Vaarwegen van RWS [11] zou daarvoor een kolkbreedte van 10,5 m voldoende zijn (in plaats van 14,20 m resp. 13,65). Om het effect in kaart te brengen is deze kleinere breedte beschouwd in een berekening met de Zeesluisformulering (zie Paragraaf 5.4). In een berekening met een combinatie van maatregelen, Paragraaf 5.7, is een breedte van 11,0 m aangehouden, om rekening te houden met, aan één kant, de houten balken op de bestaande gemetselde muur, en aan de andere kant ook een marge, b.v. voor het toepassen van damwandplanken bij het versmallen van de sluisolk.

De diepte van de drempel moet zodanig zijn dat er een kielspeling is van 70 cm bij de maatgevende lage waterstand. Dat brengt de benodigde diepte op 3,40 m. Op het buitenhoofd, bij een waterstand gelijk aan OLW (NAP -0,69) is dan een marge aanwezig van 0,56 cm tot aan de drempel op NAP -4,65 m. Aan het binnenhoofd is deze marge gelijk aan 0,82 m bij een kanaalpeil van NAP -0,43 m. De marge is dus groter in het binnenhoofd.

Een drempel heeft geen effect op de zoutindringing door het schutdebiet, maar wel op de kolkuitwisseling. Dat effect is twee-ledig. Op de eerste plaats vertraagt het de snelheid van de kolkuitwisseling: de snelheid van de dichtheidsgedreven stroming is immers kleiner op ondieper water. De effectiviteit van deze vertraging is op het binnenhoofd groter, omdat daar de waterstand min of meer constant is: de drempel heeft steeds een min of meer maximale hoogte. Op het buitenhoofd echter moet de drempel worden bemeten op de laagste waterstand maar is de werkelijke waterstand vaak hoger, waardoor de effectiviteit dan kleiner is.

Daarnaast houdt een drempel aan het binnenhoofd een deel van het zwaardere, zoutere water vast in de kolk als de binnendeur open staat: het blijft liggen achter de drempel. Dat effect is er niet aan het buitenhoofd: de drempel kan niet een deel van het zoeter water in de kolk vasthouden als de deur in het buitenhoofd open staat. Dat zoetere kolkwater drijft tijdens de kolkuitwisseling immers op het zoutere water dat de kolk binnenstroomt.

De combinatie van de grotere maximale hoogte van de drempel en de grotere effectiviteit in het afremmen van de kolkuitwisseling, pleit voor een drempel in het binnenhoofd.

In Paragraaf 5.4 worden zowel het versmallen van de kolk als het toepassen van een drempel doorgerekend op effectiviteit; zowel apart als gecombineerd.

4.3 Maatregelen op het waterbeheer

De eerstgenoemde maatregel in het rapport uit 2012 [1] was om het schutdebiet terug te pompen, liefst enigszins continu. Deze aanbeveling blijft staan. Als de Parkhaven zout is komt er met het schutdebiet zoutwater in de Schie. Als dit niet wordt teruggepompt wordt de Schie dus zouter. Dat terugpompen gebeurt nu niet structureel, maar pas als de noodzaak ontstaat. Nadeel daarvan is dat in de tussentijd het zout toch al weer verder de Schie op is getrokken en is verdund. Door dit verdunnen is er meer water nodig om dezelfde hoeveelheid zout naar buiten te pompen. Die overmaat wordt dus groter als het zout meer de kans krijgt

² In een eerdere versie van Vaarwegen in Nederland uit 2017 worden voor de Parksluizen andere, grotere afmetingen genoemd. In de versie uit 2021 staat in een verklaring bij deze maximale afmetingen in [10], regel 46.60, staat: "Verkeersbesluit Rotterdam16-10-2020 nr. 197/2020".

om te verdunnen. Maar enige overmaat zal altijd nodig zijn. Als het schutdebiet zout is moet dat terug naar de Parkhaven en met een zo hoog mogelijk zoutgehalte.

De belangrijkste aanbeveling van Deltares in 2012 [1] was om het gebied tussen de Parksluizen en de Beukelsbrug beter te monitoren. Dat gebied is te zien als een soort buffer, en daar zal een gradiënt in het zoutgehalte te zien zijn. De gradiënt wordt stabiel bij een bepaalde netto afvoer, en met die gradiënt kan er bij de Coolhaven een hoger zout gehalte aanwezig zijn terwijl er bij Beukelsbrug aan de norm wordt voldaan. Als de gradiënt goed in beeld is kan daarop met een relatief beperkte hoeveelheid water worden gestuurd. De netto afvoer gaat dan met een hoog zoutgehalte naar de Parksluizen, waarmee dat water dus goed wordt besteed: zowel in het beheersen van de gradiënt als in het afvoeren van zout. De studie van Hydrologic [2] heeft laten zien dat een aangepast waterbeheer inderdaad kan leiden tot een reductie van de hoeveelheid water dat nodig is om het zoutgehalte te beheersen. Er wordt daarom aanbevolen om dit nader uit te werken. Dit valt echter buiten de scope van dit project.

Bij de uitwerking daarvan kan aansluiting gezocht worden bij de ontwikkeling door Rijkswaterstaat van zogenaamde 'zoute BOS-sen' (BOS = Beslissing Ondersteunend Systeem): instrumenten voor het waterbeheer op het zoutgehalte in binnenwateren. Dit is in ontwikkeling voor Volkerak-Zoommeer en Kanaal Gent-Terneuzen en is op termijn ook te verwachten voor het Noordzeekanaal. In een dergelijk systeem kan een verspreidingsmodel worden opgenomen zoals voorgesteld door Hydrologic, aangestuurd met randvoorwaarden afgeleid uit metingen van zoutgehaltes en registraties van schuttingen en gemaaldebieten.

4.4 Maatregelen op de schutoperatie

Zoals ook al gesteld in Paragraaf 4.1: de zoutindringing wordt uiteindelijk bepaald in de operatie, en daardoor blijft dit een aandachtspunt. Door het uitwerken van de registratie is er meer inzicht gekregen in de aantallen schuttingen, het verloop daarvan over de week en in de typische waarden voor de deur-opentijd. Maar om daartoe te komen zijn wel een aantal aannamen gedaan waardoor er bij de resultaten ook vraagtekens te zetten zijn. Een directe registratie van de deur-bewegingen blijft daarom aan te bevelen. Op dit moment weten we eigenlijk niet in welke mate de operatie 'optimaal' verloopt en hoeveel ruimte er is voor verbetering.

Op 27 mei 2021 is een bezoek gebracht aan de Parksluizen. Daarbij is gesproken met een sluismeester en met een binnenschipper. Het verslag van dat gesprek, opgesteld door het Hoogheemraadschap van Delfland, is bijgevoegd in Bijlage C.

Er is mogelijk enige winst te halen, al zal die beperkt zijn. Dit betreft: .

- deuren niet te vroeg openen:
 - dit vraagt om goede verlichting op de sluisdeuren, zodat de schippers zien dat als de brug open gaat, dat nog niet betekent dat de weg vrij is om uit te varen;
- deuren na het uitvaren van een schip niet onnodig open laten staan;
- aan het begin van het droogte seizoen: een cursus aan alle sluismeesters om begrip te kweken voor het belang van zoutindringing en voor de daarvoor te nemen maatregelen; vooral voor sluismeesters die niet vaak op deze locatie werken kan dat een verschil maken

Verder werd uit het gesprek duidelijk dat er wat de schippers betreft maar weinig ruimte is om te werken met schutbeperkingen: de reguliere vaarten van de schepen zijn al afgestemd op de huidige stremmingen (tijdens de spits van het wegverkeer), en uiteindelijk moeten alle schepen er toch doorheen.

Wat betreft de Kleine Sluis en de recreatievaart: uit de schatting uit 2012, zie Paragraaf 3.2.1, blijkt dat de Kleine Sluis veel minder zout (0,98 kg/s) naar binnen brengt dan de Grote Sluis (15,25 kg/s). Dat zal nog steeds het geval zijn: ook de schatting voor de Kleine Sluis zou op basis van de nieuwe inzichten naar beneden worden aangepast. In dit rapport wordt de bijdrage van de Kleine Sluis verwaarloosd.

Uiteraard is het een goed idee om de recreatievaart zoveel mogelijk te schutten met de Kleine Sluis. Maar of daar ruimte voor verbetering is kan op basis van de registratie niet worden nagegaan; die betreft alleen de Grote Sluis en vermeldt niet de benodigde doorvaarthoogte van de passerende schepen. Deze doorvaarthoogte is bij de Kleine Sluis beperkt door de vaste bruggen over beide sluishoofden.

Het verder uitwerken van operationele maatregelen en het vormgeven van schutbeperkingen vallen verder buiten de scope van dit project.

4.5 Maatregelen op de kolkuitwisseling

Vanuit de ontwikkeling van de IZZS (Innovatieve zout-zoetscheiding) in de projecten rond de Volkerak- en Krammersluizen is veel nieuwe kennis opgedaan over manieren voor het beperken van het zouttransport tijdens de kolkuitwisseling in situaties bij hoge dichtheidsverschillen: drempels, bellenschermen en een spoeldebiet (door de kolk). In de situatie rond de Parksluizen is het verschil in dichtheid meestal beperkt en dat maakt dat de situatie buiten het bereik van in genoemde projecten verzamelde kennis en ervaring ligt.

De inzet van bellenschermen ter bestrijding van de zoutindringing bij schutsluizen dateert echter al van veel langer geleden. In 1964 zijn er proeven gedaan bij de Hartelsluis voor situaties met een beperkt verschil in dichtheid [12]. In het rapport is te lezen dat deze proeven zijn gedaan in samenwerking met het Hoogheemraadschap van Delfland vanwege de zoutindringing door de Parksluizen, waarvoor het installeren van bellenschermen ook werd overwogen. Het rapport geeft aan dat de destijds bestaande theorie, in essentie dezelfde als waar nu mee wordt gerekend, niet tot de juiste uitkomsten leidde bij de kleine verschillen in dichtheid. Ook bleek het destijds moeilijk om goede resultaten te verkrijgen uit de proeven.

Vanwege de kleine verschillen in dichtheid bij de Parksluizen is er in 2012 [1] nagedacht over een waterscherm, te installeren aan het buitenhoofd, waarin lucht zou worden ingeblazen ter vergroting van de opdrijvende kracht van het relatief zoete water uit dat waterscherm dat onttrokken zou moeten worden aan de kanaalzijde. Deze optie zou nader onderzoek vragen, omdat een dergelijke combinatie van lucht en water niet eerder is onderzocht.

Op basis van de inzichten opgedaan tijdens de pilot op de Krammerjachtensluis [13] en [14] wordt nu voor de Parksluizen gedacht aan de combinatie van bellenscherm en spoeldebiet aan het binnenhoofd. Deze combinatie bleek bij de Krammerjachtensluis zeer effectief. De keuze om dit alleen aan het binnenhoofd van Parksluizen toe te passen is gebaseerd op de volgende overwegingen:

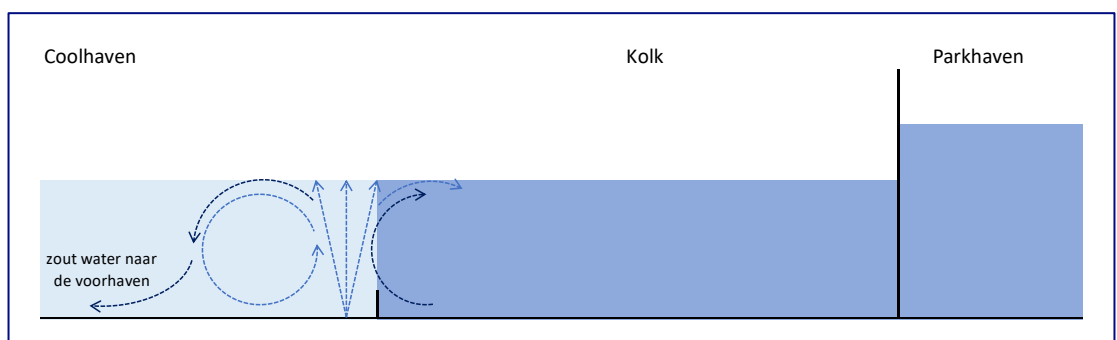
1. Het dichtheidsverschil over het binnenhoofd zal groter zijn dan bij toepassing van bellenschermen op beide sluishoofden; daarmee is de effectiviteit van een bellenscherm dus meer 'bekend terrein';
2. Door de vorm van de getij-kromme op de rivier en door de waterstand op de Schie (NAP -0,43 m) is de waterstand in de Parkhaven meestal hoger dan op het kanaal. En als de rivierafvoer laag is, is de Parkhaven zouter dan de Coolhaven. Bij het omhoog nivelleren richting Parkhaven zal er dus zouter water uit de Parkhaven

worden toegevoegd aan de kolk, waardoor deze zouter wordt. Dit is met bellenschermen op het buitenhoofd niet te voorkomen.

3. We kunnen wel proberen te voorkomen dat het zout uit de kolk ontsnapt naar de Coolhaven. Hiertoe moeten we dan eerst het schutdebiet naar de Coolhaven opvangen (zie de volgende Paragraaf 4.6) en vervolgens de kolkuitwisseling op het binnenhoofd zoveel mogelijk beperken. Hiertoe kunnen op het binnenhoofd een bellenscherm en spoeldebiet plaatsen. Dit wordt hieronder nader uitgewerkt.

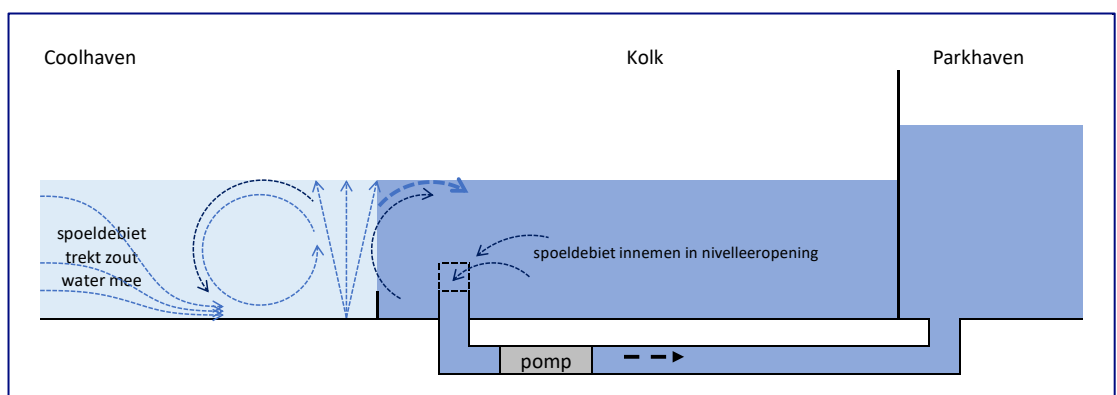
Bij de aanstaande ombouw van de Krammersluizen wordt deze combinatie van maatregelen ook toegepast: het schutdebiet richting Volkerak-Zoommeer wordt opgevangen in het bestaande Laag Bekken, en de kolkuitwisseling wordt beperkt door bellenschermen en een spoeldebiet.

Een bellenscherm aan het binnenhoofd veroorzaakt een circulatie zoals geschetst in Figuur 4.1. Er zal enig transport van water plaatsvinden in beide richtingen door het bellenscherm heen. Aan de kolkzijde zal het water dat uit het bellenscherm komt wat zoeter zijn en daardoor aan het oppervlak blijven drijven. Aan de kanaalzijde zal het water dat uit het bellenscherm komt juist wat zouter en dus zwaarder zijn, en daardoor uitzakken naar de bodem.



Figuur 4.1 Circulatie door bellenscherm aan het binnenhoofd

Als we het bellenscherm combineren met een spoeldebiet dan is een patroon te verwachten zoals geschetst in Figuur 4.2. Een beperkt spoeldebiet zal de circulatie net buiten de kolk laten bestaan en zijn weg zoeken door het bellenscherm heen. Daarbij wordt het zoutere water dat uit het bellenscherm ontsnapt juist weer meegevoerd terug naar de sluiskolk. Hierdoor zal, naar verwachting, nog maar erg weinig zout kunnen ontsnappen aan de sluiskolk. (De uitwisseling tussen kolk en Coolhaven door het uit- en invaren van schepen wordt hiermee echter niet voorkomen.)



Figuur 4.2 Circulatie door bellenscherm aan het binnenhoofd i.c.m. een spoeldebiet

Het spoeldebiet kan ook effect hebben op de veilige vaart: het is een debiet dat de kolk in loopt. Invarende schepen varen dus stroom mee de sluis in, terwijl ze daar moeten afstoppen. Om gevaarlijke situaties te voorkomen is er voor de Krammersluizen een werkwijze uitgedacht die ervoor zorgt dat het spoeldebiet tijdig wordt afgebouwd naar nul.

Bij de Parksluizen zal het spoeldebiet moeten worden gepompt, omdat het water in de Parkhaven meestal hoger staat dan in de Coolhaven. Dit debiet moet dus ergens worden ingenomen, zonder de beschikbare breedte van de kolk te reduceren. Dit zou kunnen door aan te sluiten op de omloopriolen. Door daarbij te kiezen voor de omloopriolen aan het binnenhoofd zal er in de rest van de kolk geen netto stroming zijn, waardoor het afstoppen in een 'stroom-mee situatie' goeddeels wordt voorkomen.

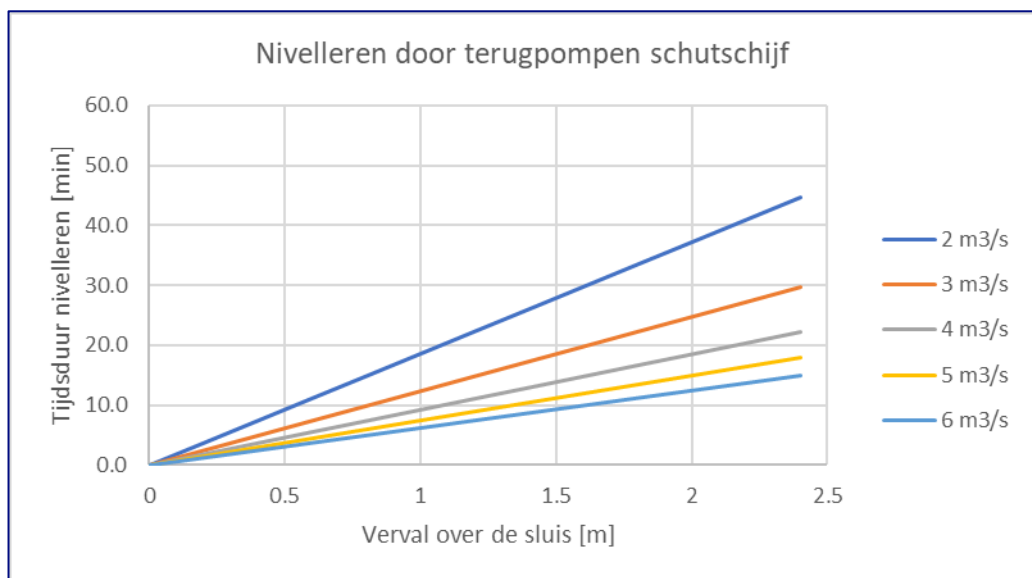
De effectiviteit van deze maatregel zal worden doorgerekend met de Zeesluisformulering: beide maatregelen zijn opgenomen in deze code en kunnen dus eenvoudig worden 'aangezet' in de berekening. Zie hiervoor Paragraaf 5.5. Hierbij zal nagedacht moeten worden over de verhouding tussen de verschillende debieten:

- het momentane spoeldebiet (als de deur in het binnenhoofd open staat),
- het gemiddelde spoeldebiet (uitgesmeerd over de dag),
- het schutdebiet (dat naar binnenkomt),
- het debiet dat wordt afgevoerd via het gemaal,
- en het netto debiet dat wordt onttrokken aan het gebied van Delfland.

4.6 Maatregelen op het schutdebiet

Uit de berekening van de zoutindringing op basis van de registraties blijkt dat het schutdebiet een grotere bijdrage levert aan het totaal dan eerder gedacht (zie Paragraaf 3.2.2 en 3.2.3). Dat maakt het logisch om na te denken over maatregelen die direct gericht zijn op dit aspect.

Een maatregel die wel eens wordt geopperd is om het schutdebiet uit de kolk te pompen. Dat vraagt echter een vrij grote pomp-capaciteit. In de onderstaande figuur is de tijd die nodig is voor het verpompen van de schutscijf naar de Parkhaven weergegeven als functie van het verval over de sluis. (De schutscijf is het volume water bepaald door de lengte en breedte van de sluis en het verval dat moet worden overbrugd.)

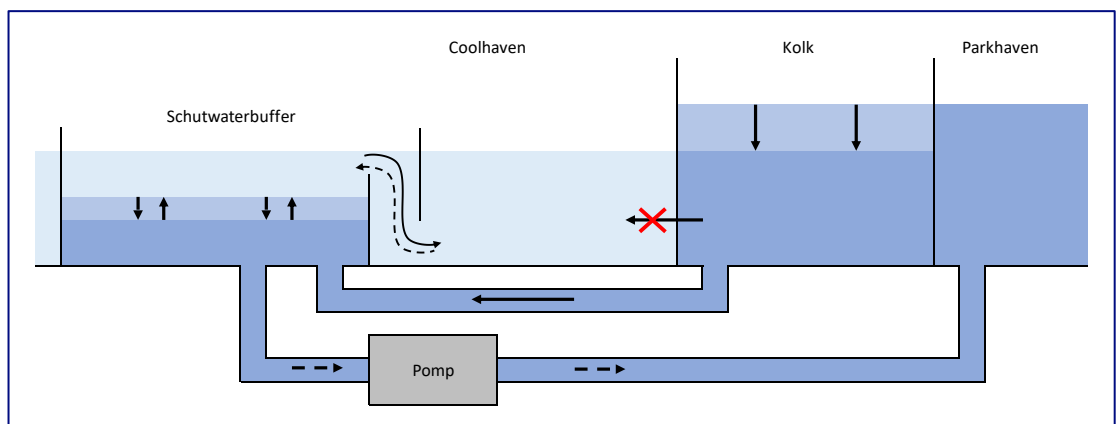


Figuur 4.3 Tijdsduur voor het nivelleren als functie van het verval en de pompcapaciteit

Bij hoogwater op de rivier is de waterstand ca. 1 tot 1,5 m boven NAP voor doortijd resp. springtij. Gegeven het kanaalpeil van NAP -0,43 m is het verval over de sluis rond hoogwater dan ca. 1,5 – 2 m. Voor een enigszins realistische nivelleerduur is dan een pompcapaciteit nodig van ca. 4 m³/s. Daarbij is de nivelleerduur dan nog zo'n 15 tot bijna 20 minuten. Die pompcapaciteit is al best groot, de nivelleerduur echter nog best lang. De pompen zullen bovendien bij elke schutting moeten worden gestart en gestopt, en dat is niet gunstig voor hun levensduur, en ook niet voor de stabiliteit van het elektriciteitsnet.

De situatie wordt gunstiger als het terugpompen van de schutsluis kan worden verdeeld over meer tijd, bv. over de hele tijdsduur van een schutcyclus. Dan zou een kleinere pompcapaciteit volstaan. Daarvoor moet dan wel een buffer worden aangelegd: een schutwaterbuffer. Het terugpompen van meerdere schuttingen kan ook worden gemiddeld over een heel getij: rond hoogwater is het schutdebiet het grootst, rond laagwater is het ongeveer nul. Dat vraagt een nog grotere buffer, maar dan kan een lagere pompcapaciteit volstaan.

Het concept voor een schutwaterbuffer dat wordt voorgesteld is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 4.4 Concept voor een schutwaterbuffer

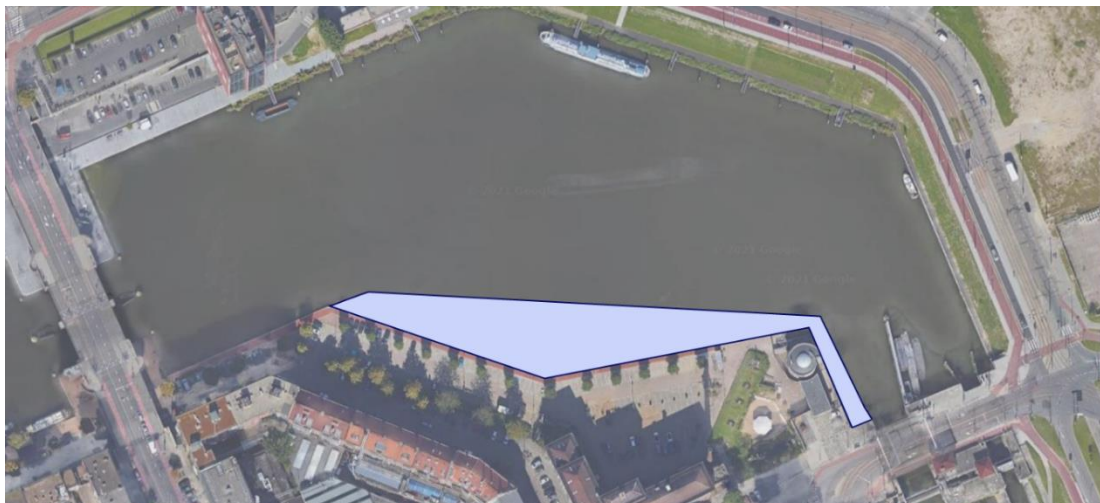
Het volume aan zoutwater in de buffer varieert afhankelijk van de aanvoer van schutwater en de afvoer via een pomp (eventueel het bestaande gemaal). Er is niet gekozen voor de buffer als een volledig afgescheiden reservoir met een eigen, veranderlijke waterstand (hoewel steeds onder het peil van de Coolhaven). In dat geval moet het nivelleren namelijk op tijd worden beëindigd, zodanig dat aan het eind van het nivelleren het niveau in de kolk gelijk is aan het niveau in de Coolhaven. Dat zal een vrij complexe regeling vragen, zoals nu ook bij de Krammersluizen het geval is.

Om zo'n regeling te voorkomen is gekozen voor een buffer die aan de bovenkant open is: boven het zoute water afkomstig uit de kolk is water aanwezig met het zoutgehalte van de Coolhaven. Het grensvlak tussen beide soorten water varieert dan in hoogte: tijdens nivelleren naar de Coolhaven gaat het omhoog en tijdens het pompen weer naar beneden. Het nivelleren eindigt echter altijd vanzelf op de gewenste waterstand. Het zal waarschijnlijk wel trager gaan dan nu het geval is; dat zal afhangen van de verdere dimensionering.

Om het grensvlak stabiel te houden moet het in- en uitstromen van water laag in het reservoir gebeuren met kleine snelheden, bijvoorbeeld door zowel instroom als uitstroom te doen plaatsvinden via een lange buis over de lengte van het bassin met in de onderkant daarvan een grote hoeveelheid kleine gaten. Aan de bovenkant, de overstortrand, zullen de stroomsnelheden ook klein moeten zijn. Die overstortrand zal dus een grote lengte moeten

hebben. En tenslotte zal het grensvlak moeten worden beschermd tegen waterbeweging vanaf de Coolhaven, bijvoorbeeld golven opgewekt door wind of scheepvaart. Om die reden is er een scherm getekend met een opening op diepte. Ook die zal een grote lengte moeten hebben. Deze aspecten zijn schetsmatig weergegeven in de bovenstaande figuur en moeten t.z.t. nader worden uitgewerkt.

De aanleg van een schutwaterbuffer kost uiteraard ruimte. Deze zou gevonden kunnen worden in de Coolhaven. Een eerste indicatieve schets is gegeven in de figuur hieronder. In Hoofdstuk 6 worden de dimensies verder uitgewerkt.



Figuur 4.5 Eerste indicatieve schets schutwaterbuffer in de Coolhaven

Wat de benodigde afmetingen ook zullen blijken te zijn, deze schets geeft wel aan dat het gaat om een grote ingreep in de Coolhaven. Ook zal het gepaard gaan met een aanpassing van het nivelleersysteem. Of dat de moeite waard zou kunnen zijn gaat blijken uit de te behalen effectiviteit. Deze zal worden berekend met de zeesluisformulering, die daartoe enigszins aangepast zal worden.

5 Uitwerking maatregelen op effectiviteit

5.1 Aanpak

De uitwerking van geselecteerde maatregelen betreft twee aspecten: de effectiviteit en de praktische haalbaarheid. Dit hoofdstuk 5 gaat in op de effectiviteit van de maatregelen om de zoutindringing te beperken; de praktische haalbaarheid wordt uitgewerkt in hoofdstuk 6.

Voor de bepaling van de effectiviteit wordt gebruik gemaakt van de Zeesluisformulering: daarin kunnen de maatregelen worden ingevoerd om het verschil in zoutindringing vast te stellen. Echter, het invoegen van de maatregelen in de berekeningen in hun huidige opzet zou wat vreemd zijn: de meetreeks van de zoutgehalten in de Coolhaven is het gevolg van de zoutindringing in de huidige situatie. Die zoutindringing willen we met maatregelen juist beperken, en daarbij ontstaat dan een lager zoutgehalte in de Coolhaven. Dus bij een situatie met maatregelen past dat gemeten zoutgehalte in de Coolhaven niet.

We zouden ook kunnen rekenen met een (fictief) laag zoutgehalte in de Coolhaven, maar dan zal het zoutgehalte zonder maatregelen eerst heel groot worden (door het grotere verschil in dichtheid met de Parkhaven), om daarna verbeteringen te laten zien. Dat lijkt ook niet helemaal realistisch. Bovendien rijst dan de vraag hoe we die randvoorwaarde in de Coolhaven moeten kiezen.

Het systeem zoekt een evenwicht tussen de randvoorwaarden buiten de Parksluizen (waterstand en zoutgehalte in de Parkhaven) en het zoutgehalte aan de binnenkant, op wat grotere afstand: b.v. dat bij de Spaansebrug. De toestand in de Coolhaven (en op de Schie) wordt daarbij dan bepaald door de schutoperatie, de afvoer door het gemaal, door eventuele maatregelen op de sluis en door verspreiding van zout over de Schie. Dat evenwicht wordt beschreven met het balansmodel zoals dat eerder is gebruikt ter controle op berekende zoutindringing met de ZSF, toen o.b.v. daggemiddelde getallen (zie Paragraaf 3.2.2 en Bijlage D). Voor de huidige berekeningen is dat balansmodel verder uitgewerkt en direct gekoppeld aan de ZSF.

In het balansmodel worden de Coolhaven en de Schie (tussen de Lage Erfbrug en de Spaanse Brug) beide beschreven als een enkel bakje. Tussen de bakjes en op de randen van het gebied worden de debieten en zouttransporten bepaald, zowel advectief (met een debiet) als dispersief (uitwisseling van water waarbij het netto debiet gelijk is aan nul). De uitwerking hiervan is beschreven in Bijlage D.

N.B.: Deze koppeling van een balansmodel aan de ZSF is op te vatten als een stukje kennisontwikkeling: een logische volgende stap in de ontwikkeling van rekentools voor de bepaling van zoutindringing bij schutsluizen.

De effectiviteit van de maatregelen wordt, op voorstel van het Hoogheemraadschap van Delfland, beschouwd voor twee periodes uit de droge zomer van 2018:

- droge periode van 4 weken, lage rivierafvoer: 4 juni t/m 1 juli
- droge periode van 4 weken, zeer lage rivierafvoer: 2 juli t/m 29 juli

In beide periodes is er nagenoeg geen regen gevallen (zie Figuur 3.9) en is alle afvoer over het kanaal gericht geweest op het bestrijden van de zoutindringing. Ook is er in deze periode nog niet ingegrepen in de schutoperatie (en was nog geen sprake van de bouwvakantie), waardoor deze als (min of meer) constant mag worden beschouwd.

5.2 Balansmodel versus metingen

Zoals hierboven al aangeduid wordt in het balansmodel het gebied tussen de Parksluizen en de Spaansebrug beschreven met twee bakjes:

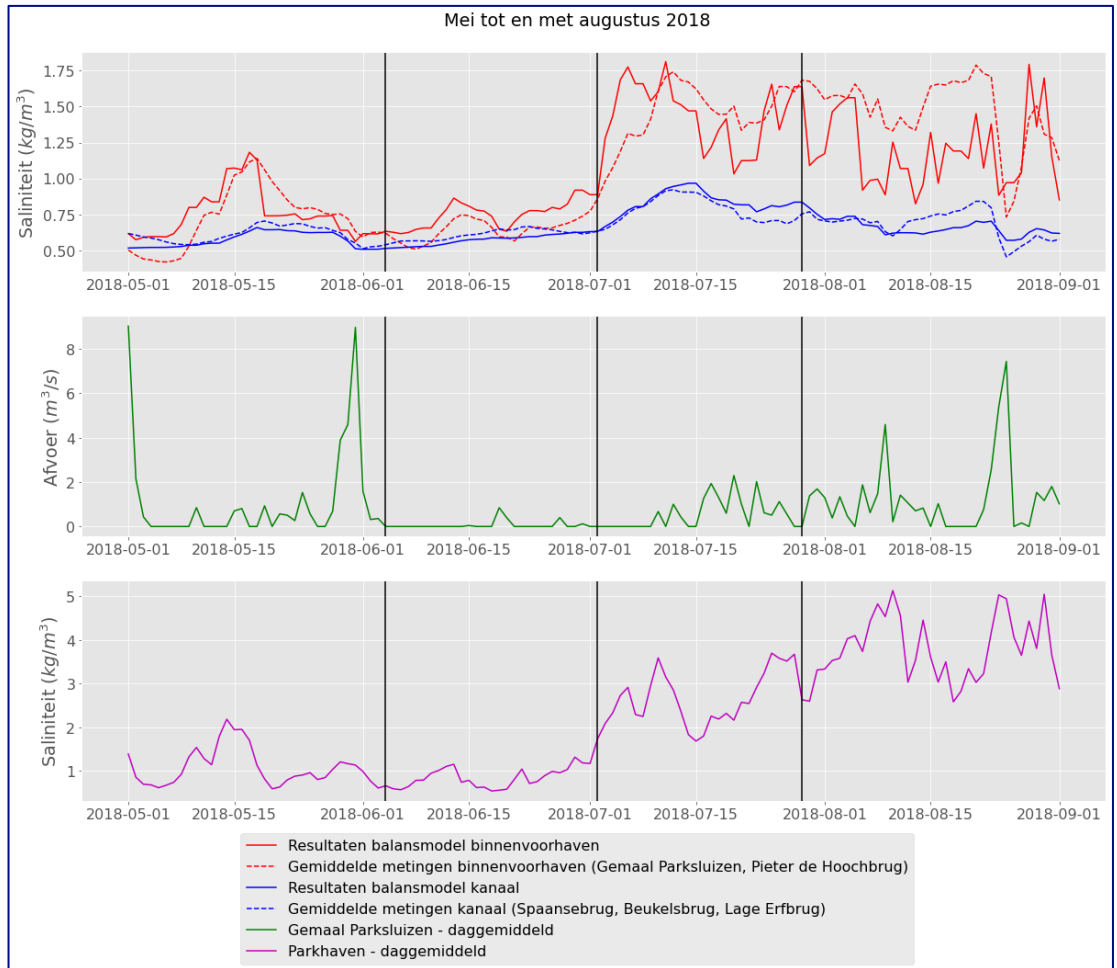
- een wat kleiner bakje dicht op de sluizen, aan te duiden als 'binnenvoorhaven'
- een wat grotere bak die representatief wordt geacht voor de Schie vanaf ca. de Lage Erfbrug tot aan de Spaansebrug, deze zal worden aangeduid als 'kanaal'.

Voor de aanduidingen van beide bakjes zijn met opzet generieke namen gebruikt: er is niet gestreefd naar een een-op-een weergave van de lokale situatie; dat is met slechts twee bakjes in het model niet mogelijk en ook niet nodig voor het doel van het project.

Voor het vergelijken van de met het balansmodel berekende zoutgehalten met de gemeten waarden zijn de metingen van het zoutgehalte bij het Gemaal Parksluizen en Pieter de Hoochbrug, beide in de Coolhaven, gemiddeld tot een zoutgehalte voor de 'binnenvoorhaven' en de metingen bij de Spaansebrug, Beukelsbrug, en Lage Erfbrug zijn gemiddeld tot een zoutgehalte voor het 'kanaal'.

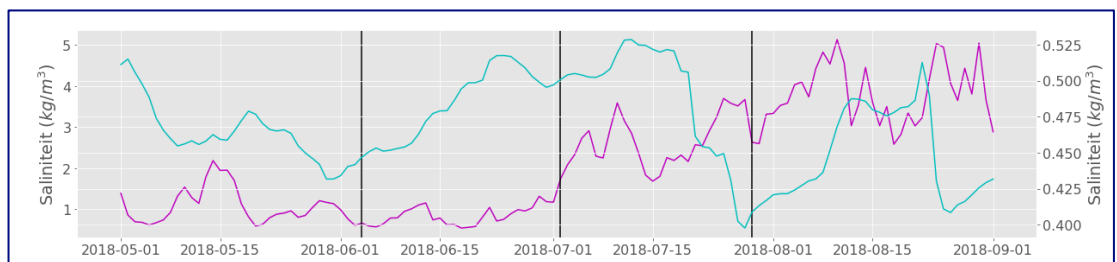
Met het balansmodel is eerst het jaar 2018 doorgerekend op basis van gemeten randvoorwaarden (waterstanden, zoutgehalte Parkhaven en Spaansebrug, en de schutoperatie). De schutoperatie is hierbij afgeleid uit de registratie van de passages (zie Bijlage B). De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Figuur 5.1.

Hoewel er uiteraard verschillen zijn, volgen de zoutgehalten zoals berekend met de zeesluisformulering gecombineerd met het balansmodel de gemeten waarden behoorlijk goed. Daarmee is de overeenkomst tussen de berekeningen en de metingen op het kanaal goed genoeg voor het doel van de berekeningen: het in beeld brengen van de effectiviteit van de maatregelen.



Figuur 5.1 Berekening balansmodel met gemeten randvoorwaarden, in de bovenste grafiek de vergelijking van de berekende zoutgehalten binnenvoorhaven en kanaal met gemeten waarden

Het zoutgehalte in de Parkhaven loopt in de beschouwde perioden flink op. Ook het zoutgehalte bij de Spaansebrug is variabel, maar die variatie is beperkt tussen 0,4 en 0,53 ($0,45 \text{ kg/m}^3$ aan het begin van de eerste periode, $0,5$ aan het begin van de tweede periode en $0,41$ aan het eind van de tweede periode).

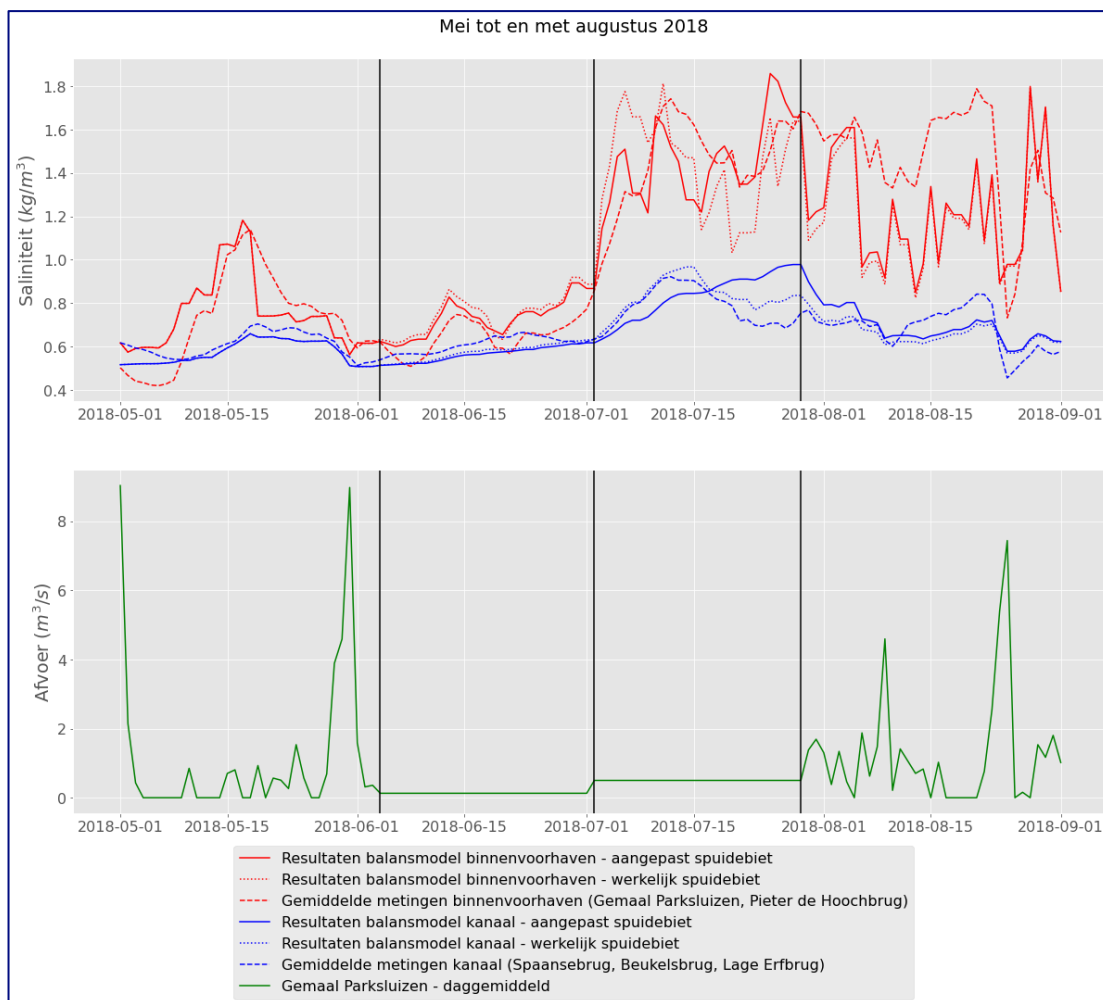


Figuur 5.2 Zoutgehalten op de randen van het balansmodel: Parkhaven (paars, linker verticale as) en Spaansebrug (azuur, rechter verticale as)

5.3 Opzet referentie-case

Vervolgens is een referentie-case gemaakt, waarbij de afvoer van het Gemaal Parksluizen constant is gemaakt. Hiermee wordt dus enigszins afgeweken van de werkelijk situatie van 2018, maar dit maakt het makkelijker (overzichtelijker) om het gemaaldebiet aan te passen om daarmee verschillende combinaties van debieten (schutdebiet, spoeldebiet, gemaaldebiet) te beschouwen. Voor de eerste periode wordt een constant debiet van $0.128 \text{ m}^3/\text{s}$ aangehouden en voor de tweede periode $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit zijn de gemiddelden van de gemeten afvoer over de beschouwde perioden.

De resultaten voor de referentie-case zijn afgebeeld in Figuur 5.3.



Figuur 5.3 Referentie case: vergelijking tussen berekeningen met constant spuidebiet en met werkelijk spuidebiet (= afvoer bij gemaal Parksluizen).

De berekende zoutgehalten in de binnenvoorhaven en het kanaal laten met name in de tweede periode een iets ander verloop zien voor het constante debiet dan voor het variabele debiet: in de metingen loopt het zoutgehalte eerst op en daarna weer terug, terwijl het zoutgehalte bij het constante debiet langzaam blijft oplopen. Dit is een logisch gevolg van het aanpassen van het debiet: in werkelijkheid werd er vooral in de tweede helft van die periode (juli) water afgevoerd, en in de referentie is dat constant over de periode.

De maatregelen die in dit hoofdstuk worden beschouwd zijn weergegeven in onderstaande tabel. Elke berekening heeft daarbij een 'casenummer' gekregen. De keuzes voor de

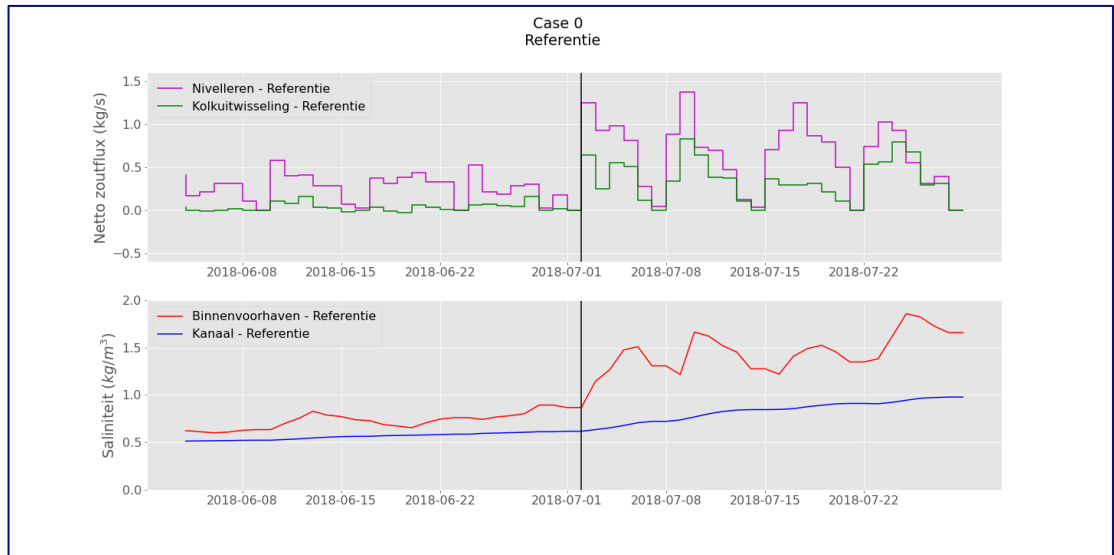
kolkbreedte en het spoeldebiet in Case 11, waarbij een combinatie van maatregelen wordt beschouwd, komen voort uit de resultaten van de andere cases. Deze keuzes worden in de betreffende paragraaf beschreven.

Tabel 5.1 Overzicht van maatregelen en case-nummers

Case-nr	Breedte sluis	drempel binnenhoofd	spoeldebiet binnenhoofd		bellenscherm binnenhoofd		schutwater-buffer
			1 m ³ /s	2 m ³ /s	$\eta = 0,5$	$\eta = 0,25$	
	10,5 m	0,82 m					
1	X						
2		X					
3	X	X					
4			X				
5				X			
6		X	X		X		
7		X		X	X		
8		X	X			X	
9		X		X		X	
10							X
11	11 m		X				X

De berekende effectiviteit van de maatregelen wordt gepresenteerd in een figuur met een opmaak zoals in onderstaande Figuur 5.4. Deze toont de zoutindringing door de schutsluis (de netto zoutflux waarin het saldo van de transporten over de sluis in beide richtingen is genomen) en de saliniteit in de binnenvoorhaven en het kanaal. Daarnaast wordt de berekende effectiviteit van de maatregelen in getallen (gemiddelde over elk van de perioden) weergegeven in tabellen.

Voor de referentiecasi toont Figuur 5.4 een oplopende saliniteit over beide periodes met een grotere netto zoutflux in de tweede periode vergeleken met de eerste. In beide periodes is de bijdrage van het nivelleren in de netto zoutflux groter dan in die van de kolkuitwisseling. Ook het week-ritme is zichtbaar. In de tweede periode is zichtbaar hoezeer (bij het constant gemaakte debiet door het gemaal) het zoutgehalte in de binnenvoorhaven de week-cyclus in de schuttingen volgt. Deze fluctuaties zijn (uiteraard) veel kleiner in het kanaal.



Figuur 5.4 Resultaten voor de referentie-case: zoutindringing door de sluis en zoutgehalte in binnenvoorhaven en kanaal.

Overigens: de netto zoutflux die wordt aangeduid met de term 'kolkuitwisseling' is inclusief het effect van de waterverplaatsing van de schepen en ook inclusief het effect van een spoeldebiet. Deze twee effecten treden op tegelijkertijd met de kolkuitwisseling, in de fase dat de sluisdeur open staat.

5.4 Aanpassen breedte sluis en toepassen van een drempel

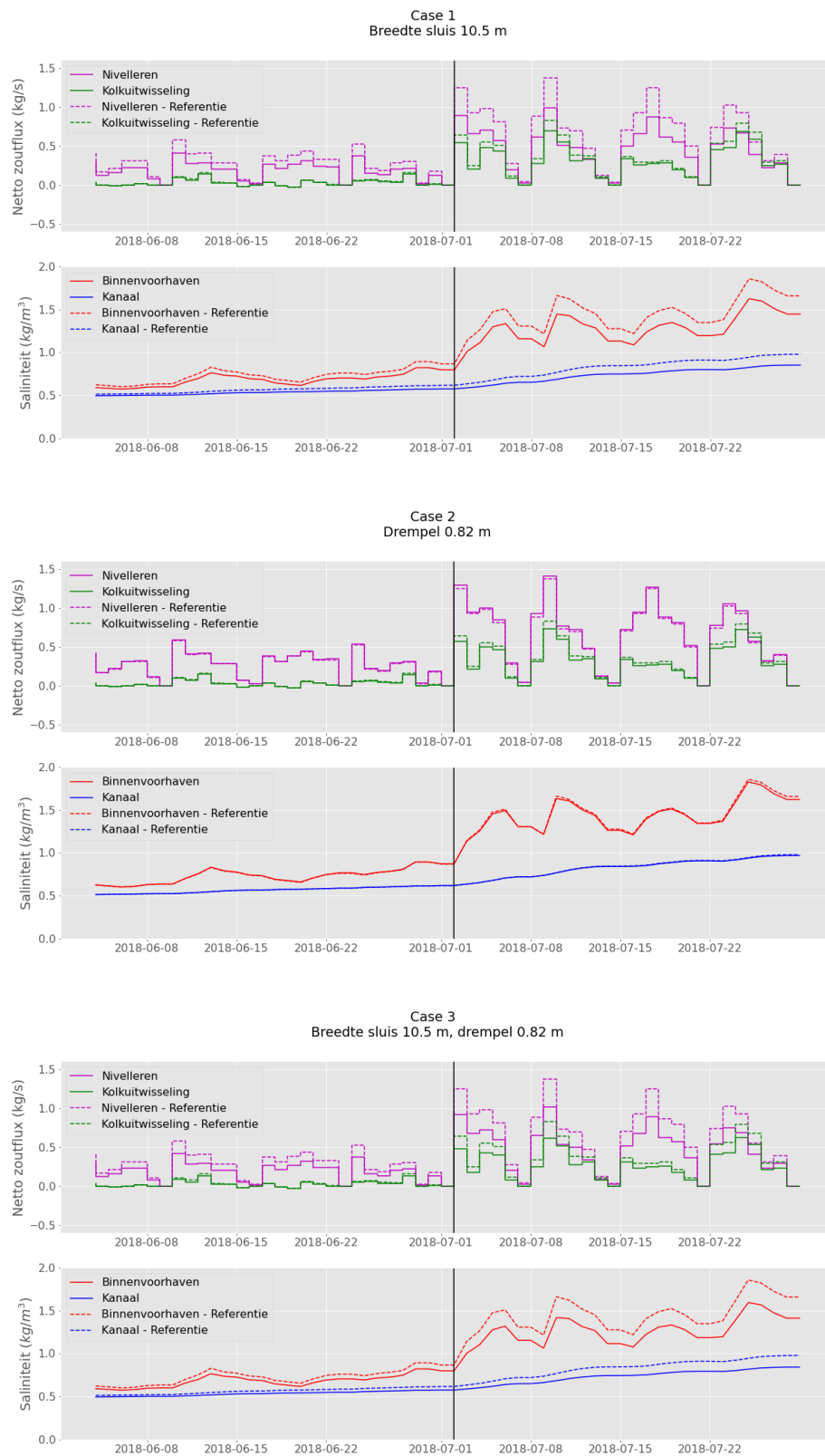
Eerst worden een aantal maatregelen op de geometrie van de sluis doorgerekend en besproken. Het gaat om het versmallen van de sluis tot 10,5 m, het toevoegen van een drempel van 0,82 m aan het binnenhoofd en een combinatie van beide. De resultaten zijn te zien in Figuur 5.5 en in de daarop volgende tabellen.

Het versmallen van de sluis heeft een duidelijk effect op de bijdrage van het schutdebiet. Er wordt simpelweg een kleiner volume naar het kanaal verplaatst. Ook het zouttransport door kolkuitwisseling wordt kleiner, maar dat is minder goed zichtbaar omdat deze bijdrage al zo klein is.

De drempel heeft een kleiner effect. In Periode 1 wordt de zoutindringing zelfs iets versterkt. De zoutindringing door kolkuitwisseling wordt beperkt, maar doordat het verschil tussen binnenvoorhaven en sluis kolk groter wordt neemt de bijdrage van het schutdebiet toe. In Periode 2 is er een klein positief effect van de drempel te zien.

Voor de combinatie van beide maatregelen geldt dan ook dat alleen in Periode 2 een beter resultaat wordt bereikt dan met alleen het versmallen van de kolk.

Het versmallen van de kolk leidt dus ook tot een kleiner netto debiet naar het kanaal (zie laatste kolom in de tabellen), hetgeen tot een andere situatie in het waterbeheer leidt: dit verschil in debiet had dan aangevoerd moeten worden om het kanaalpeil op niveau te houden. Omdat in het balans model het peil constant wordt gehouden, is deze extra aanvoer (impliciet) meegenomen in de berekening. Zie hiervoor ook Paragraaf 5.9.



Figuur 5.5 Resultaten voor aanpassen breedte sluis en toepassen drempel op het binnenhoofd

Tabel 5.2 Resultaten voor aanpassen breedte sluiskolk en toepassen drempel op het binnenhoofd, Periode 1

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluisformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	0.84	0.73	0.56	0.30	0.00	0.13	0.00	-0.33	-0.20
1	Breedte sluis 10.5 m	0.84	0.68	0.53	0.22	26.8	0.13	0.00	-0.24	-0.12
2	Drempel 0.82 m	0.84	0.73	0.57	0.30	-0.8	0.13	0.00	-0.33	-0.20
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	0.84	0.68	0.53	0.22	26.5	0.13	0.00	-0.24	-0.12

Tabel 5.3 idem, Periode 2

0	Referentie	2.64	1.44	0.83	0.97	0.00	0.50	0.00	-0.31	0.19
1	Breedte sluis 10.5 m	2.64	1.27	0.74	0.74	23.7	0.50	0.00	-0.23	0.27
2	Drempel 0.82 m	2.64	1.43	0.83	0.95	1.7	0.50	0.00	-0.31	0.19
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	2.64	1.26	0.73	0.72	25.4	0.50	0.00	-0.23	0.27

De bovenstaande tabellen, die ook gepresenteerd gaan worden voor de andere case, laten de volgende informatie zien:

- de saliniteiten (zoutgehalten):
 - in de Parkhaven: dit is de in 2018 gemeten waarde, gemiddeld over de beide sensoren (nabij het oppervlak en nabij de bodem)
 - de berekende waarde in de binnenvoorhaven, indicatief voor de Coolhaven;
 - de berekende waarde op het kanaal; het balansmodel heeft daar één bakje terwijl het zoutgehalte in werkelijkheid varieert over de afstand; zie b.v. de rapporten van Hydrologic [2] en Arcadis [3]; de berekende waarde kan gezien worden als indicatief voor de waarde bij Beukelsbrug in de verschillende cases
- de netto zoutflux zoals berekend met de Zeesluisformulering: het netto zouttransport naar binnen toe door de schutsluis
- de reductie daarvan t.o.v. de referentie-case
- de debieten:
 - het debiet door het gemaal: dit is een invoer-parameter en (daarom) constant over de periode;
 - het berekende spoeldebiet, afgevoerd door de schutkolk in de schutoperatie, gemiddeld over de periode
 - het berekende schutdebiet, bepaald door de waterstanden en de schutoperatie, gemiddeld over de periode; het is weergegeven met een negatief getal omdat het naar binnenkomt terwijl de andere debieten juist naar buiten gericht zijn

- de netto afvoer over het kanaal: de som van de bovenstaande posten en daarmee het debiet dat (gemiddeld over de periode) over het kanaal richting de sluis stroomt;

Voor alle parameters geldt dat het gemiddelde over de betreffende periode wordt weergegeven.

5.5 Beperken kolkuitwisseling

Vervolgens zijn verschillende maatregelen gericht op het beperken van het transport van zout tijdens de kolkuitwisseling beschouwd. Het betreft het toepassen van een spoeldebiet op het binnenhoofd (het debiet is gevarieerd) en van een combinatie van drempel en bellenscherm aan het binnenhoofd.

Het combineren van een drempel en een bellenscherm is logisch vanuit constructief oogpunt: het aan te brengen bellenscherm zal een zekere constructieve hoogte hebben waarmee de diepte in het sluishoofd afneemt.

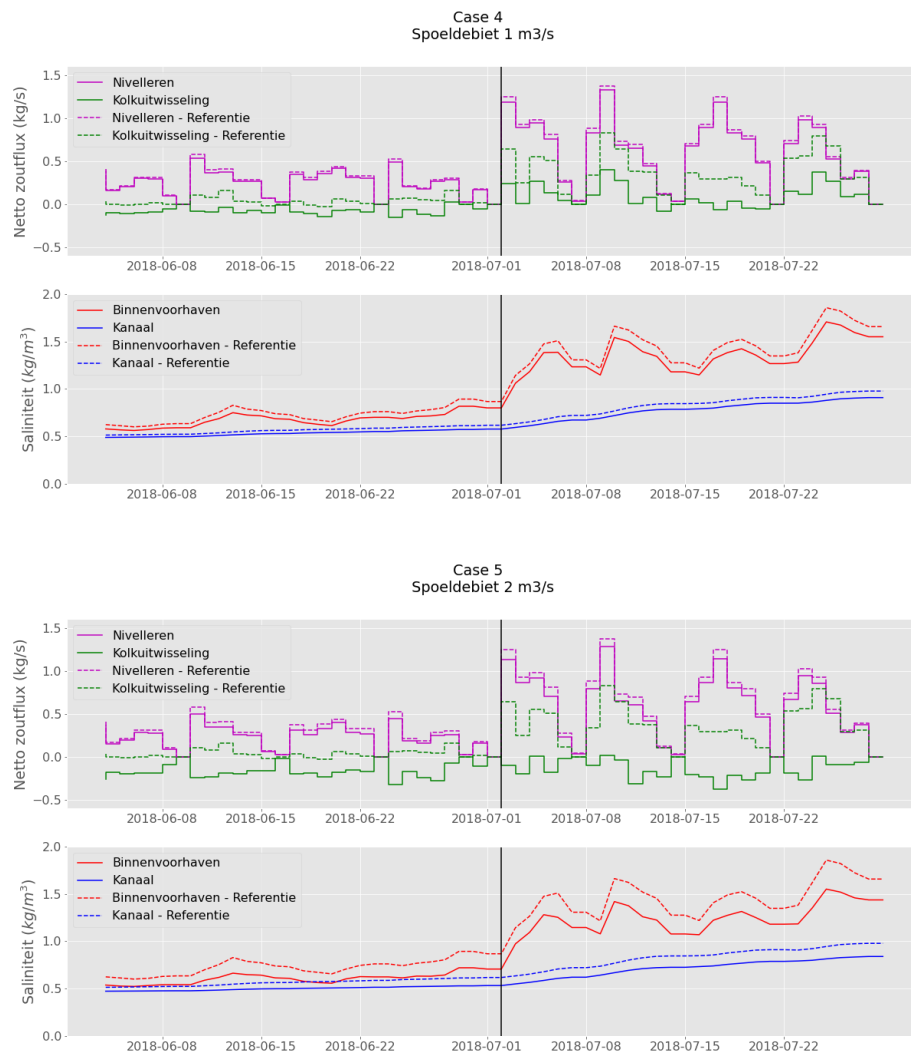
Bij het spoeldebiet worden (o.a. in de figuur met resultaten) de momentane debieten gegeven: dit zijn de debieten die worden toegepast op het moment dat de sluisdeur aan de binnenzijde open staat. De gemiddelde afvoer over de Schie die hiervoor nodig is, is dus veel kleiner dan het momentane debiet, omdat de binnendeur maar een gedeelte van de tijd open staat. Bij een momentaan debiet van $1 \text{ m}^3/\text{s}$ hoort een (gemiddelde) afvoer over het kanaal van $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, en bij een momentaan debiet van $2 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt ook de (gemiddelde) afvoer over het kanaal het dubbele. Deze getallen zijn opgenomen in onderstaande tabellen.

Het gemiddelde spoeldebiet door de kolk is in mindering gebracht op het debiet van het gemaal (want dat hoeft het gemaal niet meer naar buiten te pompen). In Periode 1 is het debiet door het gemaal daarvoor niet groot genoeg: dat debiet is dan op 0 gezet, en daardoor verandert de netto afvoer over het kanaal: er komt dan netto minder water naar het kanaal toe (een kleinere negatieve afvoer in de laatste kolom). Net als in de vorige paragraaf beschreven is: dit verschil in debiet had dan aangevoerd moeten worden om het kanaalpeil op niveau te houden. Deze extra aanvoer is (impliciet) meegenomen in de berekening. Zie hiervoor ook Paragraaf 5.9.

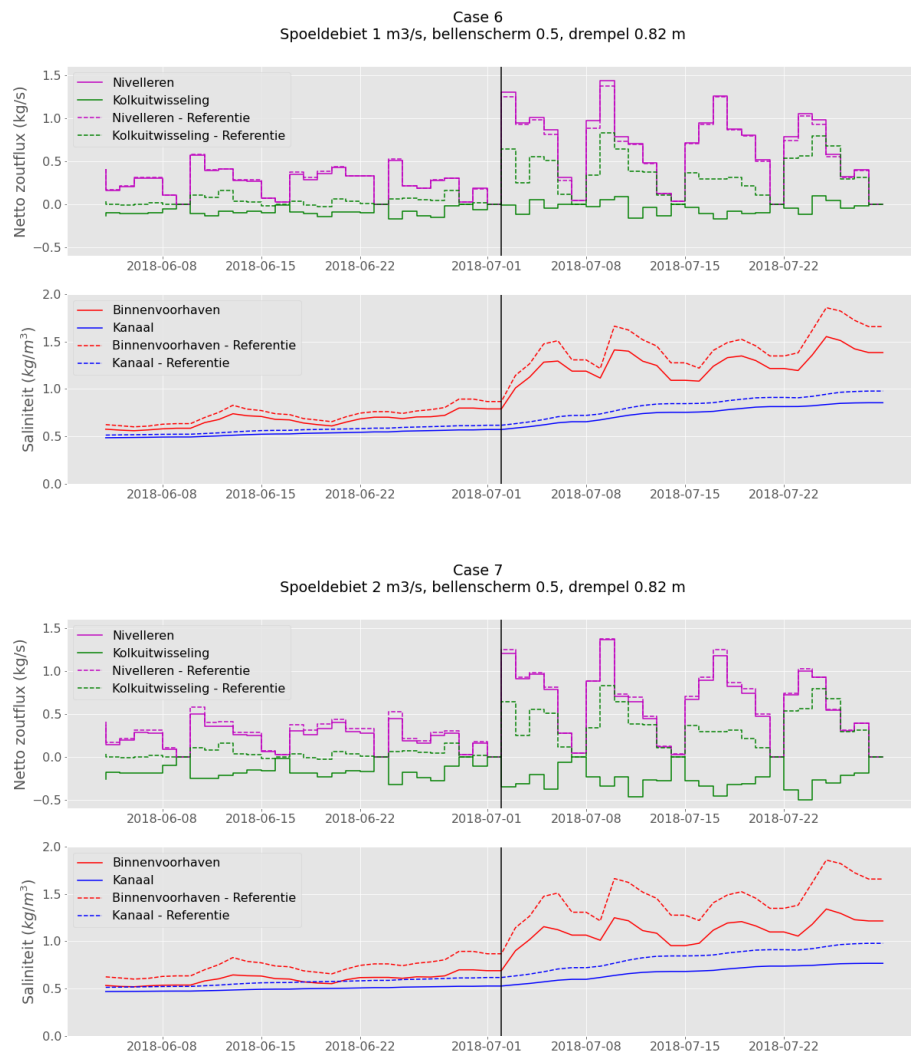
De effectiviteit van het bellenscherm wordt uitgedrukt in een doorlaatfractie, η : dit is een factor op het zouttransport tijdens kolkuitwisseling in een sluishoofd.

Deze maatregelen hebben een grote effectiviteit in het beperken van de zoutflux (zie de onderstaande tabellen en figuren). Het toevoegen van een spoeldebiet zorgt op sommige momenten voor een negatieve bijdrage in de fase van de kolkuitwisseling: er wordt door het spoeldebiet meer zout teruggevoerd naar de Parkhaven dan er uit de kolk in de binnenvoorhaven terecht komt. Het toevoegen van een drempel en bellenscherm geeft vooral in de tweede periode een verdere afname van de zoutindringing.

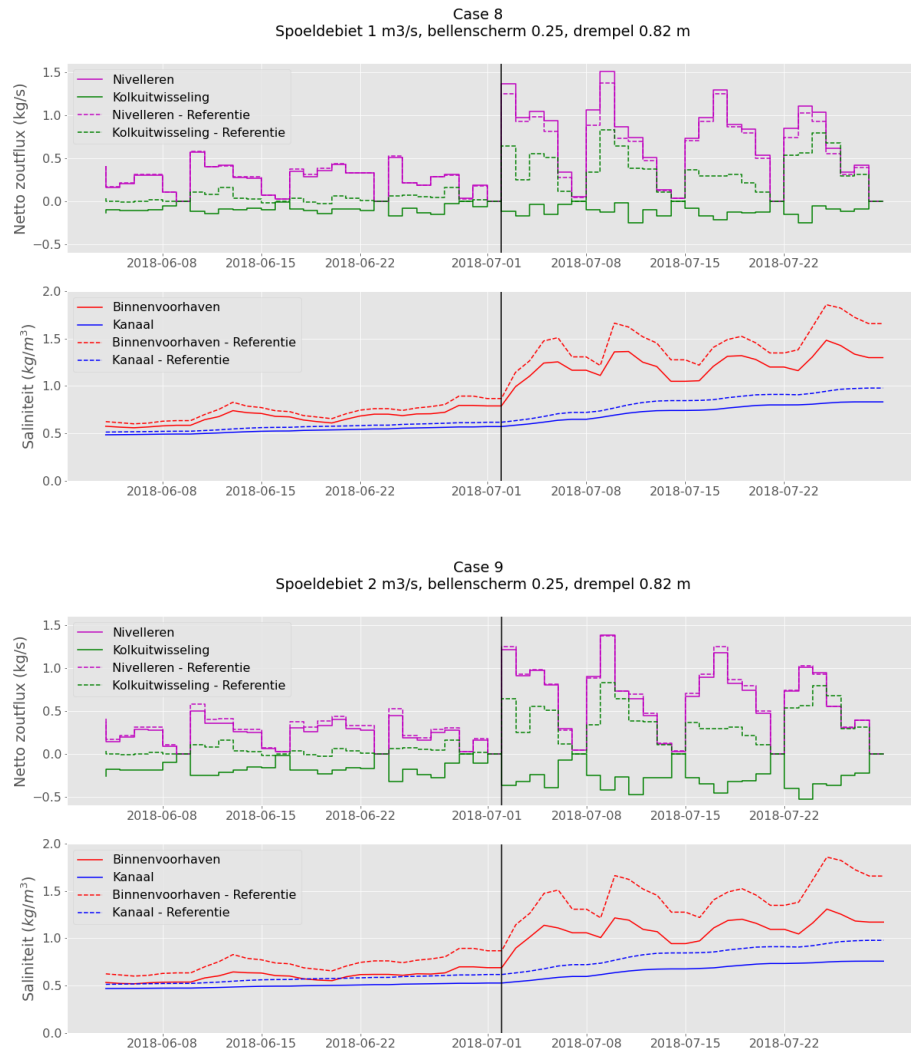
Er komt uit de berekeningen geen verschil naar voren tussen een bellenscherm met een doorlaatfractie van 0,5 en 0,25. Daarbij moet worden opgemerkt dat de resultaten voor een berekening met een bellenscherm met enige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd. Zoals aangegeven in Paragraaf 4.5 en in [12] kunnen de beperkte dichtheidsverschillen over de Parksluizen aanleiding geven tot afwijkingen van de theorie die ten grondslag ligt aan de berekeningen. Anderzijds is het juist de combinatie met een bellenscherm die, naar het inzicht uit de Pilot Kramerjachtensluis [13] en [14], het spoeldebiet zo effectief kan maken. Dit zal in een vervolg op deze studie, als deze maatregelen moeten worden uitgewerkt, nadere aandacht vragen.



Figuur 5.6 Effectiviteit van het toepassen van een spoeldebiet op het binnenhoofd



Figuur 5.7 Effectiviteit van het toepassen van een bellenscherm op het met een doorlaatfractie van 0,5, in combinatie met drempel en een spoeldebiet; alle maatregelen alleen op het binnenhoofd



Figuur 5.8 Effectiviteit van het toepassen van een bellenscherm op het met een doorlaatfractie van 0,25, in combinatie met drempel en een spoeldebiet; alle maatregelen alleen op het binnenhoofd

Tabel 5.4 Effectiviteit van maatregelen op de kolkuitwisseling, Periode 1

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluisformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	0.84	0.73	0.56	0.30	0.00	0.13	0.00	-0.33	-0.20
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	0.84	0.67	0.53	0.18	41.8	0.00	0.15	-0.33	-0.18
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	0.84	0.61	0.50	0.07	76.8	0.00	0.30	-0.33	-0.03
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.84	0.67	0.53	0.17	42.4	0.00	0.15	-0.33	-0.18
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.84	0.60	0.50	0.07	77.7	0.00	0.30	-0.33	-0.03
8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.84	0.67	0.53	0.17	42.4	0.00	0.15	-0.33	-0.18
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.84	0.60	0.50	0.07	77.7	0.00	0.30	-0.33	-0.03

Tabel 5.5 idem, Periode 2

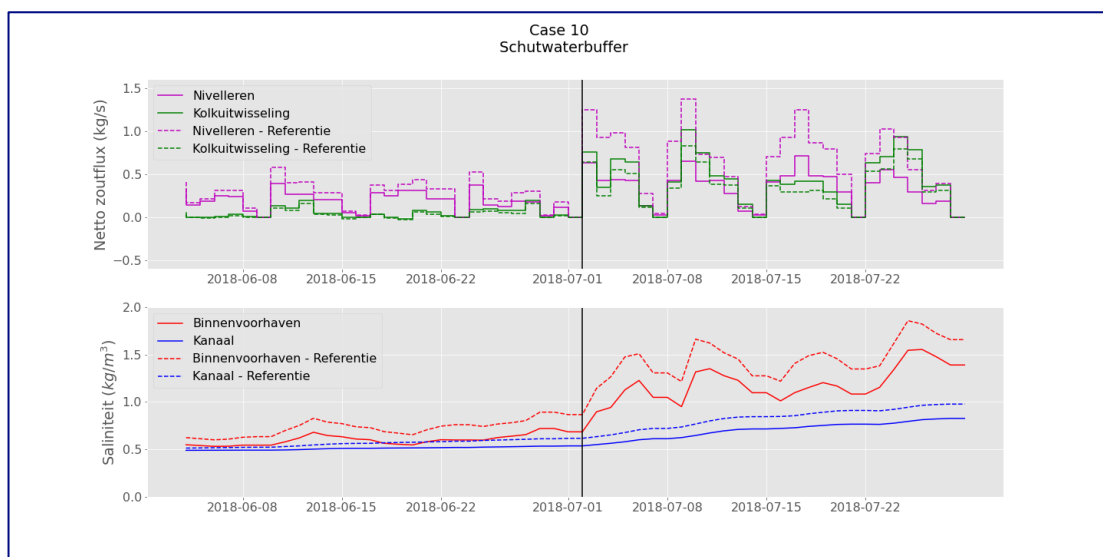
0	Referentie	2.64	1.44	0.83	0.97	0.00	0.50	0.00	-0.31	0.19
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	2.64	1.34	0.78	0.69	28.6	0.35	0.15	-0.31	0.19
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	2.64	1.23	0.72	0.45	53.6	0.20	0.30	-0.31	0.19
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	2.64	1.25	0.74	0.62	36.4	0.35	0.15	-0.31	0.19
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	2.64	1.11	0.68	0.36	62.7	0.20	0.30	-0.31	0.19
8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	2.64	1.21	0.73	0.58	39.8	0.35	0.15	-0.31	0.19
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	2.64	1.09	0.67	0.35	63.8	0.20	0.30	-0.31	0.19

5.6 Opvangen schutdebiet in een schutwaterbuffer

Om de zoutindringing door het nivelleren tegen te gaan is in het vorige hoofdstuk een schutwaterbuffer voorgesteld. In het doorrekenen hiervan is aangenomen dat deze nooit 'overloopt': door tijdig het inkomende schutdebiet terug te pompen wordt er steeds voor gezorgd dat de grenslaag tussen zout water afkomstig van de sluis en zoeter water daarboven (met een zoutgehalte gelijk aan dat van de Coolhaven) onder de rand van de buffer blijft, waardoor er dus nooit zoutwater van de schutwaterbuffer in de binnenvoorhaven terecht komt. Het gemiddelde pompdebiet moet hiervoor dus steeds minstens zo groot zijn als het schutdebiet.

Figuur 5.9 laat zien dat de zoutindringing door het nivelleren sterk afneemt bij het toepassen van een schutwaterbuffer. De zoutindringing wordt echter niet nul. In plaats van water met de saliniteit van de sluis kolk wordt nu water (vanuit de schutwaterbuffer) met de saliniteit van de binnenvoorhaven aan de binnenvoorhaven toegevoegd. Er is daarmee dus wel een zoutflux richting de binnenvoorhaven. Gemiddeld over de tijd wordt dit debiet (met het zoutgehalte van de binnenvoorhaven), ook weer afgevoerd door de pomp, via de schutwaterbuffer, naar de Parkhaven. In Periode 1 leidt dit ertoe dat de netto afvoer over het kanaal gelijk wordt aan nul (zie verder in Paragraaf 5.9). In Periode 2 blijft de netto afvoer gelijk: de afvoer via het gemaal was daar al groter dan het schutdebiet.

Door de schutwaterbuffer wordt de binnenvoorhaven minder zout, waardoor de zoutindringing door de kolkuitwisseling toeneemt. Ook dat is goed te zien in Figuur 5.9.



Figuur 5.9 Effectiviteit van het toepassen van een schutwaterbuffer

Tabel 5.6 Effectiviteit van het toepassen van een schutwaterbuffer, Periode 1

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluisformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	0.84	0.73	0.56	0.30	0.0	0.13	0.00	-0.33	-0.20
10	Schutwaterbuffer	0.84	0.64	0.51	0.24	20.1	0.33	0.00	-0.33	-0.0

Tabel 5.7 idem, Periode 2

0	Referentie	2.64	1.44	0.83	0.97	0.00	0.50	0.00	-0.31	0.19
10	Schutwaterbuffer	2.64	1.18	0.70	0.75	22.6	0.50	0.00	-0.31	0.19

Uit de bovenstaande tabellen blijkt dat, voor de schutwaterbuffer, het getal voor de reductie van de zoutflux niet de goede maatstaf is voor de effectiviteit ervan: deze reductie in zoutflux is beperkt terwijl er toch een flink positief effect is op het zoutgehalte in de binnenvoorhaven en op het kanaal. Dit is een gevolg van wat hierboven al is opgemerkt: bij een schutting komt er toch water naar binnen, zij het met het zoutgehalte in de binnenvoorhaven. En bovendien neemt de bijdrage van de kolkuitwisseling toe. Daarmee neemt de zoutflux maar beperkt af, terwijl het effect op de zoutgehalten in binnenvoorhaven en kanaal toch vrij groot is.

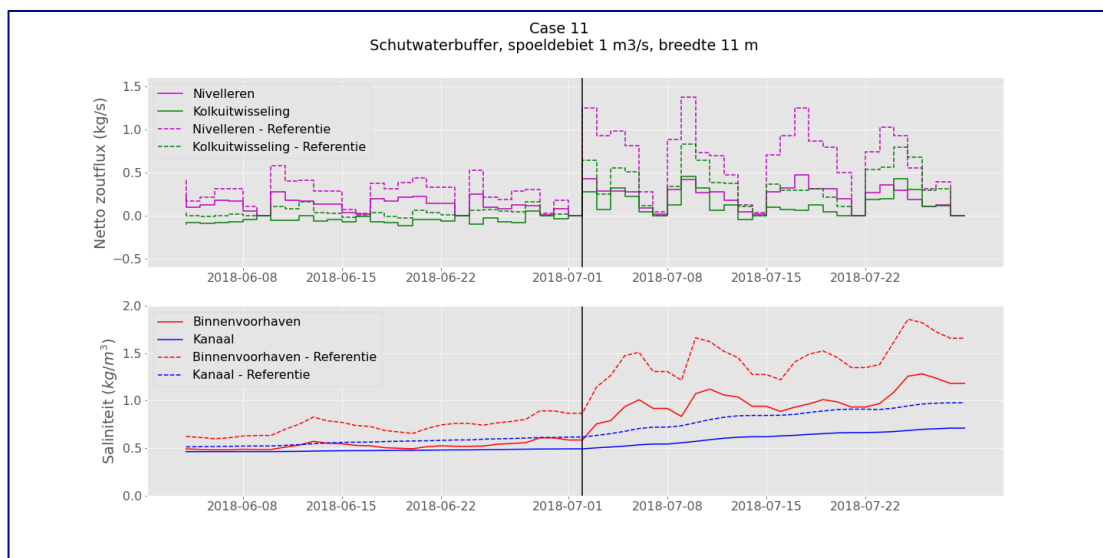
Om die reden is het beter om (ook) naar de zoutgehalten te kijken, met name die op het kanaal. (Zoals eerder aangegeven (aan het eind van Paragraaf 5.4) kunnen de waarden voor het kanaal gezien worden als indicatief voor het effect van de maatregelen op het meetpunt bij Beukelsbrug.) Daarbij moet worden opgemerkt dat het zoutgehalte op het kanaal nooit lager kan worden dan het zoutgehalte op de rand van het model, waarvoor de gemeten waarde bij Spaansebrug is gebruikt, dat varieert tussen ca. 0,45 en 0,53 kg/m³ (zie Paragraaf 5.2)

5.7 Combinatie van maatregelen

In bovenstaande paragrafen zijn verschillen categorieën van maatregelen beschouwd, waarbij ook variaties en combinaties zijn bekeken binnen een categorie. De volgende logische stap is om een combinatie te maken tussen maatregelen uit verschillende categorieën. De gekozen combinatie is als volgt:

- waar het gaat over de afmetingen van de sluis:
 - een versmalling wordt meegenomen, de drempel niet.
 - de breedte van de kolk wordt daarbij gesteld op 11 m i.p.v. 10,5 m omdat dit constructief makkelijk zal zijn, b.v. in de vorm van een damwand waarvan de hartlijn loopt op 11 m uit de gemetselde wand; hiermee moet er 10,5 m voor de schepen over kunnen blijven tussen de houten balken op de gemetselde wand en de damwandplanken.
- waar het gaat over de kolkuitwisseling:
 - een spoeldebiet wordt meegenomen, een bellenscherm vooralsnog niet; het momentane spoeldebiet is gekozen op 1 m³/s omdat dit beter past binnen de totale netto afvoeren over het kanaal in de beide perioden;
- waar het gaat over het schutdebiet:
 - het realiseren van een schutwaterbuffer wordt meegenomen.

De berekeningsresultaten voor deze combinatie is te zien in Figuur 5.10, Tabel 5.8 en Tabel 5.9. De bovenste helft van de figuur laat zien dat beide bijdragen in de zoutindringing, zowel nivelleren als kolkuitwisseling, flink afnemen. Daardoor is de toename in het zoutgehalte op het kanaal in Periode 1 ook zeer klein (het zoutgehalte is bijna constant), en in Periode 2 is de toename ook maar beperkt.



Figuur 5.10 Effectiviteit van een schutwaterbuffer i.c.m. een smallere kolk en een spoeldebiet

In de tabellen is te zien dat het zoutgehalte op het kanaal gemiddeld over Periode 1 slechts 0,48 bedraagt. Daarmee is het amper hoger dan de bovenstroomse randvoorwaarde, het zoutgehalte bij Spaansebrug. Dit heeft alles te maken met het feit dat, door het spoeldebiet en de schutwaterbuffer, de netto afvoer over het kanaal nu veranderd is van $-0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ (netto water van de rivier naar binnen) naar $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ naar buiten. In Paragraaf 5.9 wordt deze 'scheve' vergelijking weer recht gezet.

Tabel 5.8 Effectiviteit van een schutwaterbuffer i.c.m. een smallere kolk en een spoeldebiet, Periode 1

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluisformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	0.84	0.73	0.56	0.30	0.0	0.13	0.00	-0.33	-0.20
11	Schutwaterbuffer, spoeldebiet 1 m ³ /s, breedte 11 m	0.84	0.53	0.48	0.08	73.2	0.25	0.15	-0.25	0.15

Tabel 5.9 idem, Periode 2

0	Referentie	2.64	1.44	0.83	0.97	0.00	0.50	0.00	-0.31	0.19
11	Schutwaterbuffer spoeldebiet 1 m ³ /s, breedte 11 m,	2.64	0.99	0.62	0.35	63.6	0.24	0.15	-0.24	0.15

5.8 Overzicht van effectiviteit maatregelen

Voor het overzicht worden in deze paragraaf twee tabellen gepresenteerd met daarin alle resultaten van de verschillende maatregelen en combinaties daarvan zoals tot nu toe behandeld.

Tabel 5.10 Overzicht van de effectiviteit van de onderzochte maatregelen, Periode 1

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluisformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	0.84	0.73	0.56	0.30	0.0	0.13	0.00	-0.33	-0.20
1	Breedte sluis 10.5 m	0.84	0.68	0.53	0.22	26.8	0.13	0.00	-0.24	-0.12
2	Drempel 0.82 m	0.84	0.73	0.57	0.30	-0.8	0.13	0.00	-0.33	-0.20
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	0.84	0.68	0.53	0.22	26.5	0.13	0.00	-0.24	-0.12
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	0.84	0.67	0.53	0.18	41.8	0.00	0.15	-0.33	-0.18
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	0.84	0.61	0.50	0.07	76.8	0.00	0.30	-0.33	-0.03
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.84	0.67	0.53	0.17	42.4	0.00	0.15	-0.33	-0.18
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.84	0.60	0.50	0.07	77.7	0.00	0.30	-0.33	-0.03
8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.84	0.67	0.53	0.17	42.4	0.00	0.15	-0.33	-0.18
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.84	0.60	0.50	0.07	77.7	0.00	0.30	-0.33	-0.03
10	Schutwaterbuffer	0.84	0.64	0.51	0.24	20.1	0.33	0.00	-0.33	-0.0
11	Schutwaterbuffer, spoeldebiet 1 m ³ /s, breedte 11 m	0.84	0.53	0.48	0.08	73.2	0.25	0.15	-0.25	0.15

Tabel 5.11 Idem, Periode 2

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluitformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	2.64	1.44	0.83	0.97	0.00	0.50	0.00	-0.31	0.19
1	Breedte sluis 10.5 m	2.64	1.27	0.74	0.74	23.7	0.50	0.00	-0.23	0.27
2	Drempel 0.82 m	2.64	1.43	0.83	0.95	1.7	0.50	0.00	-0.31	0.19
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	2.64	1.26	0.73	0.72	25.4	0.50	0.00	-0.23	0.27
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	2.64	1.34	0.78	0.69	28.6	0.35	0.15	-0.31	0.19
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	2.64	1.23	0.72	0.45	53.6	0.20	0.30	-0.31	0.19
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	2.64	1.25	0.74	0.62	36.4	0.35	0.15	-0.31	0.19
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	2.64	1.11	0.68	0.36	62.7	0.20	0.30	-0.31	0.19
8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	2.64	1.21	0.73	0.58	39.8	0.35	0.15	-0.31	0.19
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	2.64	1.09	0.67	0.35	63.8	0.20	0.30	-0.31	0.19
10	Schutwaterbuffer	2.64	1.18	0.70	0.75	22.6	0.50	0.00	-0.31	0.19
11	Schutwaterbuffer spoeldebiet 1 m ³ /s, breedte 11 m,	2.64	0.99	0.62	0.35	63.6	0.24	0.15	-0.24	0.15

Zoals al eerder is aangeduid, is met name in Periode 1, Tabel 5.10, niet echt sprake van een eerlijke vergelijking omdat de netto afvoeren over het kanaal zo verschillend zijn: met de afvoer over het kanaal wordt er sowieso water (met zout) afgevoerd: van het kanaal naar de binnenvoorhaven en vandaaruit naar het Parkhaven. Die afvoer is de al bestaande maatregel tegen de zoutindringing, maar dat water is juist beperkt beschikbaar. Een eerlijke vergelijking tussen de (extra) maatregelen zoals in dit rapport onderzocht, kan alleen als de netto afvoer over het kanaal in alle beschouwde gevallen gelijk is.

In Periode 2, Tabel 5.11, zijn de netto afvoeren vaker aan elkaar gelijk waardoor er al wel (gedeeltelijk) een eerlijke vergelijking mogelijk is. Kijkend naar het zoutgehalte op het kanaal zien we o.a. de volgende waarden:

- Referentie: 0,83 kg/m³
- Aangepaste breedte: 0,74 kg/m³ (bij een hogere netto afvoer)
- Spoeldebiet van momentaan 1 m³/s, al of niet in combinatie met een bellenscherm (geen bellenscherm, $\eta = 0,5$ en $\eta = 0,25$): 0,78 / 0,74 / 0,73 kg/m³
- Spoeldebiet van momentaan 2 m³/s, al of niet in combinatie met een bellenscherm (geen bellenscherm, $\eta = 0,5$ en $\eta = 0,25$): 0,72 / 0,68 / 0,67 kg/m³
- Schutwaterbuffer: 0,70 kg/m³
- Combinatie: 0,62 kg/m³ (bij een iets lagere netto afvoer)

Op basis van de vergelijking van het zoutgehalte op het kanaal is de combinatie van maatregelen, in Periode 2, dus (voorlopig) het meest gunstig.

N.B.: Zoals eerder opgemerkt, de resultaten voor een berekening met een bellenscherm moeten met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd: de beperkte dichtheidsverschillen over de Parksluizen kunnen aanleiding geven tot afwijkingen van de theorie die ten grondslag ligt aan de berekeningen. Zie ook Paragraaf 4.5 en [12]. Anderzijds geven de resultaten van de Pilot Krammerjachtensluis [13] en [14] aan dat juist de combinatie met een bellenscherm het spoeldebiet zo effectief kan maken. Een en ander zal bij uitwerking van deze maatregelen nadere aandacht vragen.

5.9 Aanvullende berekeningen bij gelijke netto afvoer over het kanaal

Om de vergelijking tussen de maatregelen eerlijk te maken, dat wil zeggen dat de zoutgehalten in het kanaal worden vergeleken bij dezelfde netto afvoer, zijn er aanpassingen gedaan in de afvoer met het gemaal.

In Periode 1 is de netto afvoer over het kanaal in alle cases gelijk gemaakt aan nul, waarmee in de Referentie, Case 0, het schutdebiet gemiddeld over Periode 1 dus wordt teruggepompt met een constant gemaaldebiet dat even groot is als het gemiddelde schutdebiet. Dit terugpompen van het schutdebiet is al eerder genoemd als een aan te bevelen stap in het waterbeheer (bij een hoog zoutgehalte in de Parkhaven), en is een voorwaarde voor de werking van de schutwaterbuffer. Deze verandering naar een netto afvoer van nul betekent dat alle cases voor Periode 1 zijn aangepast, behalve Case 10. Om die reden is deze in grijze letters en cijfers weergegeven (i.p.v. in zwart).

In het doorrekenen van de maatregelen is steeds (waar nodig) het gemaaldebiet aangepast om de netto afvoer gelijk aan nul te houden. Daarmee is, voor alle cases inclusief de Referentie, in Periode 1 er nu een hogere netto afvoer dan toegepast in 2018.

In Case 11 (de combinatie van maatregelen) *moet* het gemaaldebiet gelijk zijn aan het schutdebiet voor de werking van de schutwaterbuffer. Daardoor is er in Periode 1 geen water beschikbaar voor de inzet van een spoeldebiet. In Periode 2 is dit er wel.

In Periode 2 was de netto afvoer over het kanaal voldoende om alle maatregelen van het benodigde water te voorzien. Om die reden was de netto afvoer in deze periode over de verschillende cases vaak al gelijk aan de Referentie. Er zijn slechts enkele cases aangepast (in zwart). De overige cases zijn weer in grijs weergegeven: toch kunnen de resultaten anders zijn door de andere conditie aan het einde van Periode 1.

Tabel 5.12 Overzicht effectiviteit maatregelen bij gelijke netto afvoer, Periode 1

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluitformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	0.84	0.68	0.54	0.30	0.0	0.33	0.00	-0.33	0.00
1	Breedte sluis 10.5 m	0.84	0.66	0.53	0.22	26.2	0.24	0.00	-0.24	0.00
2	Drempel 0.82 m	0.84	0.69	0.55	0.30	-0.6	0.33	0.00	-0.33	0.00
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	0.84	0.66	0.53	0.22	25.9	0.24	0.00	-0.24	0.00
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	0.84	0.64	0.52	0.18	40.6	0.18	0.15	-0.33	0.00
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	0.84	0.60	0.50	0.07	76.3	0.03	0.30	-0.33	0.00
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.84	0.63	0.52	0.17	41.5	0.18	0.15	-0.33	0.00
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.84	0.59	0.50	0.07	77.2	0.03	0.30	-0.33	0.00
8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.84	0.63	0.51	0.17	41.6	0.18	0.15	-0.33	0.00
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.84	0.59	0.50	0.07	77.2	0.03	0.30	-0.33	0.00
10	Schutwaterbuffer	0.84	0.60	0.51	0.24	19.0	0.33	0.00	-0.33	0.00
11	Schutwaterbuffer, spoeldebiet Periode 2: 1 m ³ /s breedte 11 m	0.84	0.59	0.50	0.19	37.3	0.25	0.00	-0.25	0.00

Tabel 5.12 laat zien dat de laagste waarden voor het zoutgehalte op het kanaal, 0,50 kg/m³, worden bereikt bij inzet van een spoeldebiet van 2 m³/s en in de combinatie (Case 11). (Kleine verschillen zijn daarbij verdwenen in de afronding op 2 decimalen.)

Tabel 5.13 *Idem, Periode 2*

Case	Beschrijving	Saliniteit Parkhaven (kg/m ³)	Saliniteit binnen-voorhaven (kg/m ³)	Saliniteit kanaal (kg/m ³)	Zoutflux Zeesluisformulering (kg/s)	Reductie zoutflux t.o.v. referentie (%)	Debiet gemaal (m ³ /s)	Spoeldebiet (m ³ /s)	Schutdebiet (m ³ /s)	Netto afvoer kanaal (m ³ /s)
0	Referentie	2.64	1.43	0.81	0.97	0.0	0.50	0.00	-0.31	0.19
1	Breedte sluis 10.5 m	2.64	1.30	0.75	0.74	24.3	0.42	0.00	-0.23	0.19
2	Drempel 0.82 m	2.64	1.41	0.80	0.95	1.7	0.50	0.00	-0.31	0.19
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	2.64	1.29	0.74	0.72	25.8	0.42	0.00	-0.23	0.19
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	2.64	1.33	0.76	0.69	28.5	0.35	0.15	-0.31	0.19
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	2.64	1.23	0.72	0.45	53.6	0.20	0.30	-0.31	0.19
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	2.64	1.24	0.73	0.62	36.3	0.35	0.15	-0.31	0.19
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	2.64	1.10	0.67	0.36	62.7	0.20	0.30	-0.31	0.19
8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	2.64	1.20	0.72	0.58	39.8	0.35	0.15	-0.31	0.19
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	2.64	1.09	0.67	0.35	63.9	0.20	0.30	-0.31	0.19
10	Schutwaterbuffer	2.64	1.18	0.70	0.75	22.7	0.50	0.00	-0.31	0.19
11	Schutwaterbuffer spoeldebiet Periode 2: 1 m ³ /s breedte 11 m	2.64	1.00	0.63	0.35	63.7	0.28	0.15	-0.24	0.19

Wederom kijkend naar het zoutgehalte op het kanaal zien we in Periode 2 o.a. de volgende waarden:

- Referentie: 0,81 kg/m³, (iets lager dan in Tabel 5.11 (0,83) door een gunstiger beginconditie door de hogere afvoer over het kanaal in Periode 1,
- Aangepaste breedte: 0,75 kg/m³,
- Spoeldebiet van momentaan 1 m³/s, al of niet in combinatie met een bellenscherm (geen bellenscherm, $\eta = 0,5$ en $\eta = 0,25$): 0,76 / 0,73 / 0,72 kg/m³
- Spoeldebiet van momentaan 2 m³/s, al of niet in combinatie met een bellenscherm (geen bellenscherm, $\eta = 0,5$ en $\eta = 0,25$): 0,72 / 0,67 / 0,67 kg/m³
- Schutwaterbuffer: 0,70 kg/m³
- Combinatie: 0,63 kg/m³ (iets hoger dan in Tabel 5.11 omdat nu in Periode 1 geen spoeldebiet is toegepast waardoor het kanaal aan het begin van Periode 2 iets zouter is).

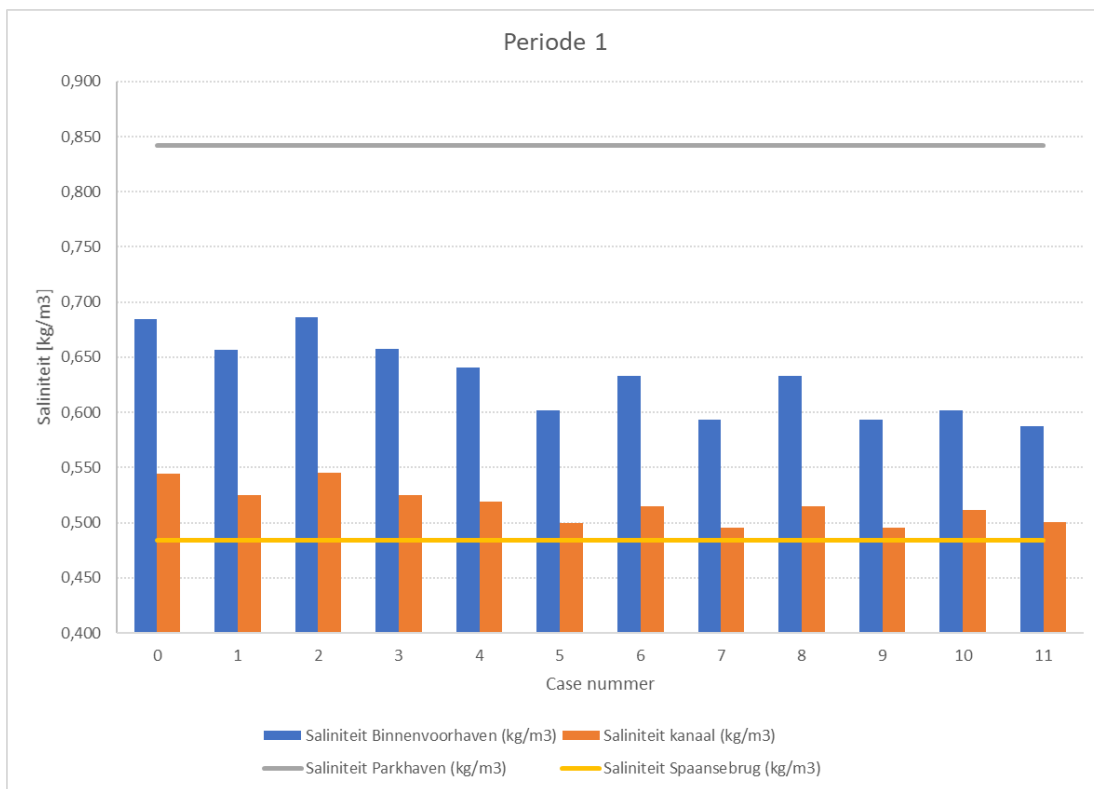
De combinatie van maatregelen in Case 11 is nu de overduidelijke winnaar. In Periode 1 (bij een netto afvoer van nul) is Case 11 nog even goed als b.v. Case 5 met een spoeldebiet van (momentaan) 2 m³/s: het inzetten van een spoeldebiet van 2 m³/s is dan kennelijk een (praktisch) even effectieve manier om het schutdebiet terug te pompen. Het komt dan wel eerst in de binnenvoorhaven, maar kennelijk is dat in Periode 1 nog geen probleem. In Periode 2, als de Parkhaven en daarmee het schutdebiet veel zouter is, en ook de kolkuitwisseling toeneemt, wordt dit wel een probleem: vanuit de binnenvoorhaven verspreidt het zout zich dan toch teveel naar het kanaal, en is Case 11 beter. Daarin wordt het schutdebiet opgevangen en apart gehouden en is er daarnaast een spoeldebiet als maatregel tegen de kolkuitwisseling.

N.B.: Zoals eerder opgemerkt, de resultaten voor een berekening met een bellenscherm moeten met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd: de beperkte dichtheidsverschillen over de Parksluizen kunnen aanleiding geven tot afwijkingen van de theorie die ten grondslag ligt aan de berekeningen. Zie ook Paragraaf 4.5 en [12]. Anderzijds geven de resultaten van de Pilot Krammerjachtensluis [13] en [14] aan dat juist de combinatie met een bellenscherm het spoeldebiet zo effectief kan maken. Een en ander zal bij uitwerking van deze maatregelen nadere aandacht vragen.

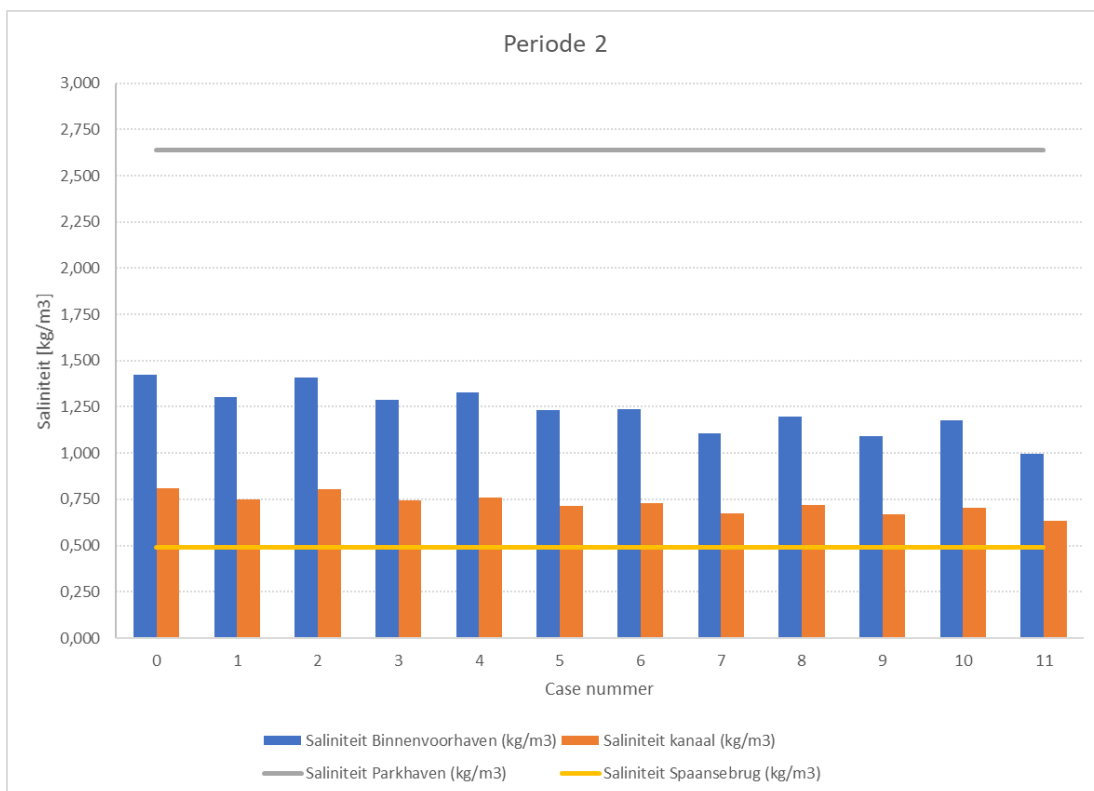
De berekende zoutgehalten in de binnenvoorhaven en op het kanaal zoals genoemd in Tabel 5.12 en Tabel 5.13 zijn ook uitgezet in Figuur 5.11 en Figuur 5.12, respectievelijk voor Periode 1 en Periode 2. Per case zijn de zoutgehalten voor binnenvoorhaven en kanaal weergegeven tussen de lijnen voor het zoutgehalte in de Parkhaven en bij Spaansebrug.

Het streven van de maatregelen is er vooral op gericht om de waarde voor het kanaal laag te houden, maar lager dan de waarde bij Spaansebrug (randvoorwaarde voor het balansmodel) is niet mogelijk: er zal altijd een klein verschil blijven. De figuur laat zien dat in Periode 1 de cases met een spoeldebiet van 2 m³/s (Case 5, en inclusief een bellenscherm Cases 7 en 9) effectief zijn en dat de combinatie van een spoeldebiet van 1 m³/s met een schutwaterbuffer en een versmalling van de kolk (Case 11), het even goed doet als Case 5, maar Cases 7 en 9, met een bellenscherm, doen het beter.

In Periode 2 lijken de verschillen minder groot (maar let op de andere verticale schaal) en doet de combinatie (Case 11) het beter dan Case 5 en ook beter dan Cases 7 en 9.



Figuur 5.11 Berekende zoutgehalten in binnenvoorhaven en kanaal bij verschillende cases voor Periode 1



Figuur 5.12 Berekende zoutgehalten in binnenvoorhaven en kanaal bij verschillende cases voor Periode 2.

6 Uitwerking maatregelen op haalbaarheid

6.1 Uitwerking en aanpak voor het begrip 'haalbaarheid'

In het voorgaande hoofdstuk 5 is de effectiviteit besproken van de verschillende maatregelen. Deel van de opdracht is ook om "een uitwerking op hoofdlijnen van de kansrijke maatregelen wat betreft haalbaarheid, (on)mogelijkheden fysieke in-/aanpassing, mate van inzetbaarheid, risico's, realisatie- en beheer- en onderhoudskosten" te geven. Het begrip 'haalbaarheid' omvat de andere begrippen, daarom worden de maatregelen in dit hoofdstuk 6 getoetst op 'haalbaarheid', zoals hieronder gedefinieerd.

'haalbaarheid' is de combinatie van:

- (on)mogelijkheden fysieke **in-/aanpassing**:
 - past het in de bestaande constructies en omgeving, c.q. moet er veel aangepast worden
- mate van **inzetbaarheid**:
 - kun je het inzetten als je het nodig hebt, of ben je nog afhankelijk van omstandigheden, instanties of personen
 - is de maatregel altijd 'in werking', of moet er in geval van een dreigende situatie van droogte en lage afvoer worden gemobiliseerd
- **risico's**:
 - voor scheepvaart, veilige vaart, maar ook risico's in beheer en onderhoud en een eventuele faalkans
- **realisatiekosten**:
 - kosten van de bouw, en tevens impact tijdens de bouw (onderbreking van scheepvaart)
- **b&o-kosten**:
 - o.a. energiekosten

De besproken maatregelen zullen hieronder op deze vijf punten worden beoordeeld. Hiervoor wordt een score van ++ (voor een positieve beoordeling van haalbaarheid) tot -- (voor een negatieve beoordeling van de haalbaarheid) gebruikt. Dit is dus een kwalitatieve indicatie aan de hand van expert judgment, bedoeld voor een eerste inschatting van de haalbaarheid van de maatregelen.

Deze eerste inschatting van de beoordeling van de haalbaarheid voor de vijf genoemde punten is opgenomen in een tabel. In dezelfde tabel wordt ook het berekende zoutgehalte in het kanaal gepresenteerd. Daarmee staat de effectiviteit van de maatregel, zoals besproken in Hoofdstuk 5, direct naast de haalbaarheid. Het berekende zoutgehalte op het kanaal, zijn afkomstig van de berekeningen van Paragraaf 5.9, bij gelijke netto afvoer over het kanaal.

Deze eerste inschatting van de haalbaarheid op basis van expert judgment, kan in nader overleg met de beheerders, in een volgende fase verder uitgewerkt worden. Op termijn zal voor gekozen maatregel(en) ook de exacte dimensionering en de sturingsregels nader vastgesteld moeten worden. Omdat dit geldt voor elke maatregel (en in die zin dus niet onderscheidend is) wordt dit aspect hier bij de bespreking van de haalbaarheid buiten beschouwing gelaten.

6.2 Aanpassen breedte sluis en toepassen van een drempel

Het voordeel van maatregelen op de geometrie van de sluis (versmallen kolk en/of drempel aanleggen) is dat deze altijd beschikbaar zijn, waarmee de betrouwbaarheid groot is en er niet gemobiliseerd hoeft te worden. Op andere aspecten verschilt de haalbaarheid voor de verschillende maatregelen in deze categorie.

Hieronder staat de tabel met de scores op haalbaarheid van deze maatregelen. Daaronder wordt per maatregel enkele opmerkingen over de scores gegeven. De nummering voor de tekst verwijst daarbij naar de nummer van de case.

Tabel 6.1 Beoordeling op haalbaarheid: aanpassen breedte sluis en toevoegen drempel

Case	Beschrijving	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 1	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 2	In-/aanpassing	Inzetbaarheid	Risico' s	Kosten realisatie	Kosten B&O
0	Referentie	0.54	0.81					
1	Breedte sluis 10.5 m	0.53	0.75	Uitvoerbaar -	Altijd ++	Klein +	Beperkt -	'damwand' -
2	Drempel 0.82 m	0.55	0.80	Eenvoudig ++	Altijd ++	Beperkt +	Goedkoop ++	Goedkoop ++
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	0.53	0.74	Bepaald door aanpassen breedte sluis				

1. Het versmallen van de kolk is vrij effectief. Op haalbaarheid scoort deze maatregel ook vrij gunstig. Het versmallen van de kolk zou met een damwand-constructie kunnen gebeuren, te plaatsen op een afstand van enkele meters van een van beide sluiswanden. Dat betekent mogelijk dat de onderhoudskosten groter zijn dan voor de huidige kolkwanden. Ook is de kolk tijdelijk niet te gebruiken tijdens het plaatsen van die damwanden.

Als aan één kant een damwand wordt geplaatst, wordt het onderwater-profiel asymmetrisch. Dit zal bij het in- en uitvaren van schepen tot dwarskrachten leiden, die de veilige vaart kunnen hinderen. In welke mate de schepen hier last van zullen hebben moet nader uitgezocht worden. De effecten zouden beheersbaar kunnen zijn door de inzet van de boegschroef, maar dit zou weer nadelig kunnen zijn voor de bodemconstructie van de sluis.

Als aan beide kanten een damwand wordt geplaatst is de situatie weer symmetrische en speelt dit geen rol meer. Het dwarsprofiel wordt dan wel nauwer (zoals bij een gewone sluis) hetgeen de weerstand op het schip bij in- en uitvaren vergroot waardoor dit iets langer zal duren. Ook dat kan t.z.t. nader worden bepaald.

2. Het toevoegen van een drempel aan het binnenhoofd is wat betreft effectiviteit niet groot, maar wat betreft haalbaarheid scoort deze maatregel positief. Het is eenvoudig toe te passen, vraagt weinig onderhoud en bij het toepassen van een bellenscherm

wordt zelfs als vanzelf een drempel gecreëerd. De risico's zijn beperkt en liggen in het verondiepen van de doorvaart met een iets groter risico op aanvaring.

3. Een combinatie van beide maatregelen wordt wat betreft haalbaarheid bepaald door het versmallen van de kolk, aangezien daar de meeste negatieve aspecten wat betreft haalbaarheid zitten.

6.3 Beperken kolkuitwisseling

Het beperken van de kolkuitwisseling betreft het inzetten van spoeldebiet, al of niet aangevuld met een bellenscherm. Eerst wordt de mogelijke inpassing van deze maatregelen besproken, daarna wordt de haalbaarheid van beide opties gescoord en besproken.

6.3.1 Inpassing spoeldebiet en bellenscherm

Voor het realiseren van het spoeldebiet zullen pompen nodig zijn. Voor het aanzuigen van het water, zonder een obstakel te creëren in de kolk, zouden de pompen kunnen aansluiten op de omloopriolen aan oost- en westzijde van de kolk, of ze zouden kunnen aansluiten op de ruimte onder het sluisplateau (zie Figuur 3.2). In beide opties zou dan een verticale schacht moeten worden gecreëerd waar de pomp in hangt. Om een momentaan debiet van $2 \text{ m}^3/\text{s}$ te halen zouden aan beide kanten pompen van $1 \text{ m}^3/\text{s}$ moeten worden geïnstalleerd. Of $1 \text{ m}^3/\text{s}$ per kant haalbaar is moet blijken bij een nadere uitwerking.



Figuur 6.1 Bovenaanzicht en zijaanzicht van het binnenhoofd (Coolhaven-zijde).

In Figuur 6.1 is met gele pijlen ruw aangegeven waar het spoeldebiet zou moeten worden opgepompt (in deze figuur: de geschatte locatie van de omloopriolen) en waar dat debiet naar toe zou moeten. Aan de westzijde wijst de pijlpunt naar de locatie van het afvoerrool van het bestaande gemaal. Er zit op die locatie ook een schuif om dat riool af te sluiten; die schuif wordt aan de bovenkant gemarkeerd door de rood-witte pilaar die zichtbaar is op de voorgrond in het zijaanzicht. Aan de oostzijde van de Grote Sluis wijst de gele pijl een route over het sluisplateau aan, maar daarvoor bestaan verschillende mogelijkheden: ingraven in het sluisplateau, gebruikmaken van de ruimte onder het sluisplateau in een van beide sluisen (zie Figuur 3.2) of een route aan de andere kant van de Kleine Sluis.

Als het spoeldebiet wordt gecombineerd met een versmalling van de kolk komen ook andere opties beschikbaar voor de inpassing. Dit wordt uitgewerkt in Paragraaf 6.5.

Een bellenscherm zou kunnen worden aangebracht tussen de sluisdeur en de verkeersbrug. Ter plaatse van de monding van de omloopriolen is de muur iets teruggesprongen, waardoor er ruimte is voor o.a. de luchttoevoer zonder dat dit ten koste gaat van de doorvaartbreedte. Daardoor liggen die leidingen dan ook beschermd tegen aanvaring. Voor de benodigde compressoren kan op het sluisplateau, tegen de verkeersbrug aan, ruimte gevonden worden.

6.3.2 Beoordeling van spoeldebiet en bellenscherm op haalbaarheid

Zowel de bellenschermen met compressoren als de pompen voor het spoeldebiet zouden permanent aanwezig kunnen zijn, maar ze zouden ook kunnen worden gemobiliseerd in geval van dreigende droogte. Aan beide opties zitten voor- en nadelen. In de tabel hieronder is de tijdelijke inzet als positief aangemerkt.

Voor een spoeldebiet zijn de risico's klein tot zeer klein, en voor een bellenscherm zijn de risico's beperkt. Voor beide maatregelen bestaat een risico op storingen, en voor het bellenscherm kan sprake zijn van een risico voor de scheepvaart. De ervaring van de Pilot op de Krammerjachtensluis is dat bellenschermen en jachten niet een heel gelukkige combinatie vormen, maar dat is eigenlijk alleen het geval geweest als de sluis helemaal gevuld moest worden met jachten, terwijl de bellenschermen daar in de kolk waren aangebracht. Bij de Parksluizen is zo'n situatie niet te verwachten.

Specifieke verschillen tussen de opties staan in de tabel kort benoemd.

Tabel 6.2 Beoordeling op haalbaarheid: spoeldebiet en bellenscherm

Case	Beschrijving	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 1	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 2	In-/aanpassing	Inzetbaarheid	Risico's	Kosten realisatie	Kosten B&O
0	Referentie	0.54	0.81					
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	0.52	0.76	leiding W-zijde +	tijdelijk +	zeer klein ++	+	+/-
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	0.50	0.72	2e leiding O-zijde +/-	tijdelijk +	klein +	-	-
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.52	0.73	bellenscherm: + compressorgeluid: -	bellenscherm: +	bellenscherm: +/-	bellenscherm: +/-	bellenscherm: -
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.50	0.67	zie regel 5 + 6				

8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.51	0.72	zie regel 4 + 6
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.50	0.67	zie regel 5 + 6

4. Door gebruik te maken van het afvoerkanaal van het bestaande gemaal kan het spoeldebiet van 1 m³/s naar verwachting makkelijk worden afgevoerd. Dit maakt deze optie dan ook relatief makkelijk te realiseren is en ook niet zo kostbaar in realisatie en beheer en onderhoud. De energiekosten van het pompen komen in mindering op de energiekosten van het gemaal.
5. Bij het vergroten van het spoeldebiet naar 2 m³/s is naast de leiding aan de westzijde, ook een tweede leiding aan de oostzijde van de kolk nodig. Deze is lastiger in te passen dan de leiding aan de westzijde. Dit zorgt voor een grotere aanpassing aan het huidige complex en leidt ook tot extra kosten.
6. Het toevoegen van een bellenscherm vraagt om de plaatsing van compressoren; dat kan tot overlast in de buurt zorgen, afhankelijk van een eventuele omkasting. Verder zal het bellenscherm ook onderhoud vragen, en komen er energiekosten bij.
7. en 8 en 9: hiervoor geldt nagenoeg hetzelfde als in de regels daarboven. De hogere effectiviteit van het bellenscherm (regels 8 en 9) vraagt wel om een groter vermogen aan compressoren en dus meer geluidsoverlast (of een duurdere omkasting) en een hogere energierekening.

6.4 Opvangen schutdebiet in een schutwaterbuffer

In de berekeningen van Hoofdstuk 5 is ook de optie van een schutwaterbuffer beschouwd. Er zijn twee mogelijke locaties. Een mogelijke inpassing in de Coolhaven is eerder in dit rapport besproken. Een andere optie is om de buffer in de kolk te bouwen in combinatie met een versmalling van de kolk. Dit wordt uitgewerkt in Paragraaf 6.5. Hieronder worden eerst de dimensies verder uitgewerkt voordat een overzicht van de haalbaarheid wordt gegeven.

6.4.1 Uitwerking van het te bergen volume

Bij de bepaling van de effectiviteit van deze maatregel (o.a. Paragraaf 5.6) is ervan uitgegaan dat de buffer steeds groot genoeg zou zijn. Maar om de haalbaarheid te beoordelen moet nu worden vastgesteld hoe groot die buffer dan moet zijn.

De afmetingen van de buffer worden bepaald door het schutdebiet dat er in wordt opgevangen en het pompdebiet dat de buffer weer leeg pompt. Het instromen gaat in pulsen, steeds op het moment van nivelleren, het leegpompen gaat min of meer continu. Rond hoogwater op de rivier zijn die instromende pulsen het grootst, rond laagwater komt er weinig of geen debiet naar binnen. Rond laag water kan de pomp dan nog steeds draaien om een opgelopen achterstand weg te werken; een achterstand die kan ontstaan als de pomp het rond hoog water niet bij houdt. Het maximum van die achterstand bepaalt hoe groot de buffer moet zijn.

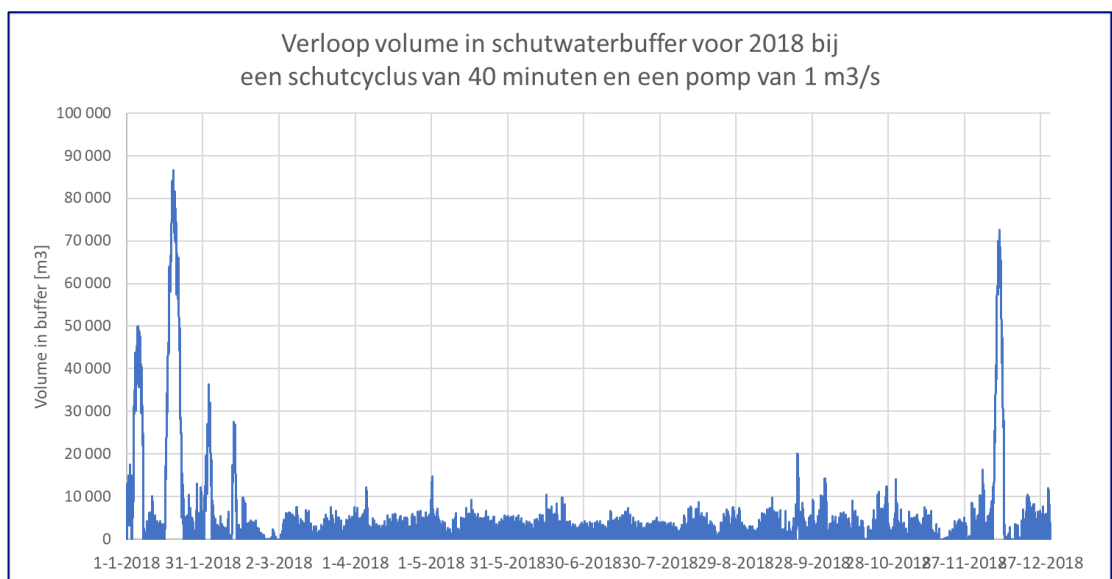
De buffer moet ook groot genoeg zijn om het schutwater te bergen als het rond hoog water juist druk is op de sluis: er zijn dan veel schuttingen met groot schutdebiet. Voor het bepalen

van het te bergen volume wordt nu aangenomen dat er elke 40 minuten een schutcyclus wordt doorlopen (een cyclus wil zeggen: een schutting naar buiten en een schutting naar binnen, al of niet met schepen in de kolk). Het schutdebiet dat per schutcyclus naar de buffer stroomt varieert dus met het getij. Al die tijd draait er ook een pomp om het schutwater weer af te voeren. De pomp gaat weer uit als de buffer 'leeg' is, dat wil zeggen als het grensvlak tussen zout en zoet water is gezakt tot een bepaald minimum niveau.

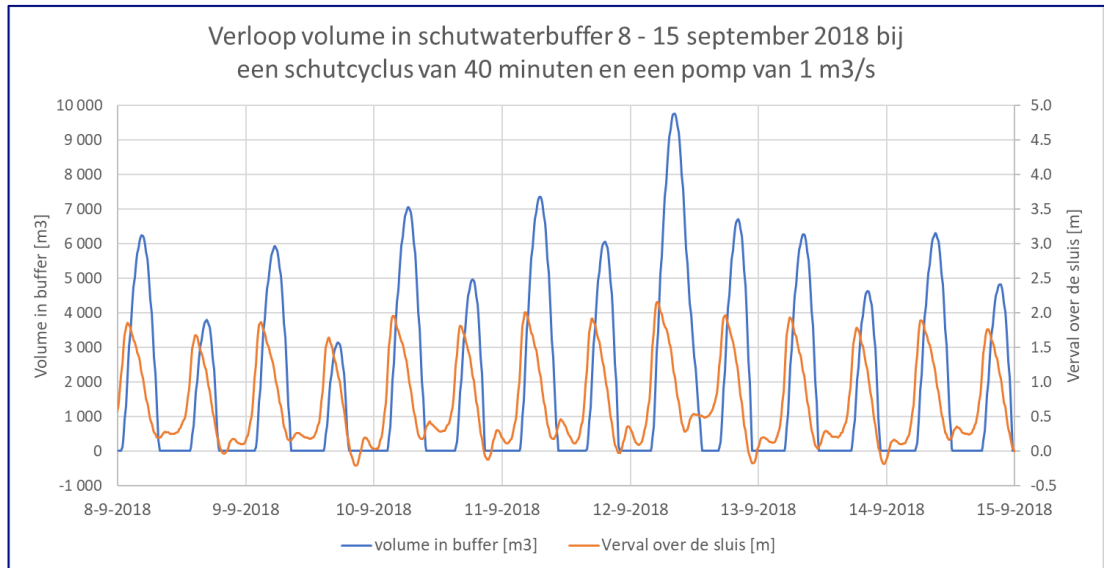
Het te bufferen volume is berekend aan de hand van de waterstanden over 2018. Voor elke waterstand is het volume van de schutsluis berekend (lengte maal breedte van de kolk maal het verschil in waterstand over de sluis) en dat volume is gedeeld door de duur van schutcyclus (40 minuten). Hieruit volgt het gemiddelde instromende debiet, als er elke 40 minuten een schutting zou zijn. Voor de uitstroom via een pomp is een capaciteit aangenomen van 1 m³/s. Dat leidt tot een verloop van het te bergen volume als weergegeven in Figuur 6.2.

In de wintermaanden zijn er enkele zeer hoge pieken te zien. Deze hangen samen met een opzet van de waterstand op zee. In de zomer zijn de pieken een stuk lager. Het lijkt niet zinnig om de buffer te dimensioneren op de pieken in de winter. Als de buffer dan te klein is zal de buffer overlopen en zal het schutwater terecht komen in de Coolhaven. Dat hoeft in dat seizoen niet te leiden tot problemen: enerzijds omdat het zoutgehalte in de Parkhaven dan niet zo hoog is (bij voldoende rivierafvoer) en er dus niet zoveel zout in het schutwater zit, en anderzijds omdat er dan meestal voldoende afvoer is over de Schie om binnendringend zout weer af te voeren.

In de zomerperiode lijkt een volume van de schutwaterbuffer van ongeveer 10.000 m³ voldoende. Ingezoomd naar een enkele week, zoals is te zien in Figuur 6.3 voor de week van 8 tot 15 september, is het vollopen en het weer leeggepompt worden van de buffer goed zichtbaar, ook in relatie tot het verval over de sluis, dat maar zelden negatief wordt.



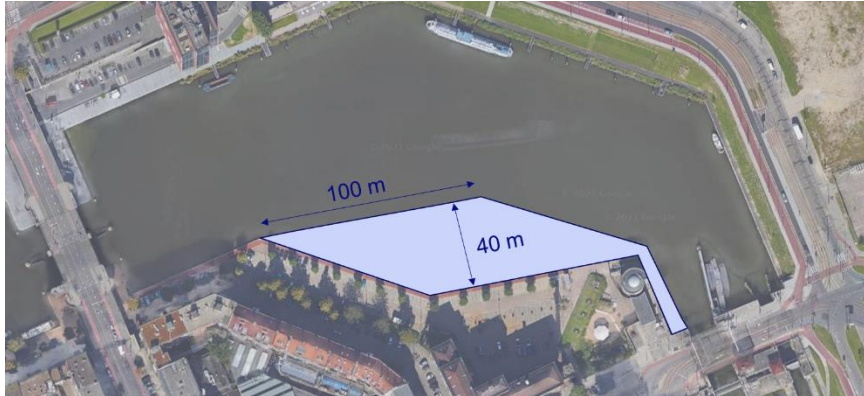
Figuur 6.2 Te bergen volume schutwater bij een schutcyclus van 40 minuten en een pomp van 1 m³/s, 2018



Figuur 6.3 Te bergen volume schutwater bij een schutcyclus van 40 minuten en een pomp van 1 m³/s, en verval over de sluis, 8 – 15 september 2018

6.4.2 Een schutwaterbuffer in de Coolhaven

Een te bergen volume van 10.000 m³ komt overeen met een buffer van 100 x 40 x 2.5m. De horizontale afmetingen zijn (indicatief) ingetekend in de Coolhaven in Figuur 6.4: het lijkt mogelijk, maar het legt wel een fors beslag op de ruimte in de Coolhaven. Dit zal veel overleg met de omgeving vragen. Overigens is de ruimte boven de buffer ook voor andere doelen te gebruiken: een terras, winkels en zelfs woningen, afhankelijk van hoe de buffer wordt aangelegd, en in welke mate de ruimte toegankelijk moet zijn voor inspectie en onderhoud, waaronder het weghalen van bezinkend slib als dit niet van zelf wordt afgevoerd via de pomp. Ook dat zal een punt van aandacht zijn.



Figuur 6.4 Indicatief: inpassing van een schutwaterbuffer van 10.000 m³ in de Coolhaven

De aansluiting op de kolk is hierbij getekend op een manier waarbij het gemaal aansluit op de buffer. Dat is gunstig als we het gemaal willen gebruiken om de buffer leeg te pompen. Maar als er veel neerslag valt en het gemaal op volle sterkte moet werken, mag de combinatie met de buffer niet tot een reductie van de afvoercapaciteit leiden. Hiermee zal rekening moeten worden gehouden bij de verdere uitwerking van deze maatregel. De verbinding tussen kolk en buffer zou ook onder het afvoerriool van het gemaal kunnen worden gerealiseerd: buffer en gemaal kunnen dan onafhankelijk van elkaar blijven werken. Dit zal t.z.t. nader moeten worden uitgewerkt.

De verticale maat van 2,5 m is de afstand tussen de laagste en de hoogste stand van het grensvlak. Daaronder zal ruimte moeten zijn voor het laten instromen van het zoute water en het ook weer afvoeren daarvan. Dit is denkbaar middels een lange leiding met een reeks van gaten aan de onderkant daarvan; dezelfde leiding voor zowel het instromen als het afvoeren. Boven de hoogste stand moet nog enige ruimte zijn tot aan de overstortrand. Deze rand moet voorzien zijn van een afronding om, bij in- en uitstromen van water van en naar de Coolhaven, turbulentie, en dus menging van zout en zoetwater, te beperken.

Het volume van 10.000 m³ past dus bij een pomp van 1 m³/s. Deze pomp draait alleen als het nodig is: hij slaat aan bij een bepaalde (beperkte) vulling van de buffer en weer af bij de minimale vulling van de buffer. (Deze marge tussen aanslag- en afslagniveau van de pomp, valt overigens buiten de verticale maat van 2,5 m.) De vulling van de buffer wordt bepaald door de positie van de grenslaag. De eenvoudigste manier om deze vast te stellen is het bijhouden van de in- en uitstromende debieten. Dit vraagt om een automatische registratie van de schutoperatie (met de waterstanden volgt hieruit het schutdebiet) en een automatische registratie van het afgepompte debiet. Het totaal verpompt volume moet tenminste gelijk zijn aan het totaal schutvolume, gemiddeld 0.25 m³/s in 2018. Dit kan echter ook iets groter worden gekozen, zodat ook de menglaag die zal ontstaan tussen zout en zoetwater in de buffer steeds enigszins wordt afgevoerd door de pomp.

6.4.3 Beoordeling van de schutwaterbuffer op haalbaarheid

Een schutwaterbuffer is altijd beschikbaar: er hoeft niet te worden gemobiliseerd, en dat is gunstig want uit de berekeningen bleek dat, als het zoutgehalte in de Parkhaven oploopt, eerst vooral de zoutindringing door het schutdebiet oploopt (zie ook Paragraaf 3.2). Dat wordt dan voor een belangrijk deel voorkomen. Dat vereist dus wel dat vanaf dat moment de buffer ook steeds wordt geleegd via de daarvoor aangelegde pompen, en daarvoor is het dus noodzakelijk de vulling van de buffer bij te houden door middel van registraties van het schutbedrijf, de waterstanden en de afgevoerde debieten.

Al met al is het een omvangrijke en daarmee kostbare maatregel, in aanleg en mogelijk ook in beheer en onderhoud. Op de aanlegkosten zou kunnen worden bespaard als de ruimte boven de buffer voor andere doelen geschikt gemaakt zou worden, als daarbij een deel van de kosten door die nieuwe functie kunnen worden betaald.

Er zijn geen operationele risico's geïdentificeerd, anders dan het risico op storingen. Daarnaast zou een risico kunnen liggen in de kwetsbaarheid van de registraties die nodig zijn voor het beheer van de buffer. De hiervoor benodigde techniek, in onderdelen, is echter ruimschoots voorhanden en wordt op tal van plaatsen al toegepast. De combinatie van die gegevens is nieuw, maar brengt geen nieuwe risico's met zich mee. Een aandachtspunt is de vorming van slib in de buffer: dit kan gebeuren omdat hier zoet en zoutwater bij elkaar komen. Hiervoor zouden ervaringen van elders in het land moeten worden verzameld, bijvoorbeeld bij de Krammersluizen en bij het gemaal Helsdeur (Waterschap Hollands Noorderkwartier), gelegen aan een zoutvang.

Tabel 6.3 Beoordeling op haalbaarheid: schutwaterbuffer

Case	Beschrijving	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 1	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 2	In-/aanpassing	Inzetbaarheid	Risico's	Kosten realisatie	Kosten B&O
0	Referentie	0.54	0.81					
10	Schutwaterbuffer in de Coolhaven	0.51	0.70	Grote ruimtelijke ingreep --	Altijd beschikbaar +	Slibvorming in de buffer? ?	Groot --	Onderhoud kades --

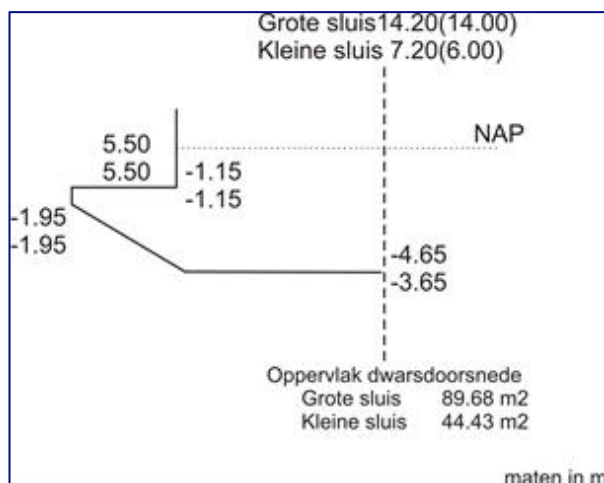
10. Zie tekst boven de tabel.

6.5 Combinatie van maatregelen

In de combinatie van maatregelen wordt er een schutwaterbuffer ingericht in combinatie met leidingen en pompen die kunnen worden ingezet voor het spoeldebiet en een versmalling van de kolk. Er zijn vele manieren denkbaar waarop deze combinatie van maatregelen kan worden gerealiseerd. Hieronder wordt de optie uitgewerkt waarbij de schutwaterbuffer wordt gerealiseerd binnen de kolk.

6.5.1 Een schutwaterbuffer in de kolk

Vanuit het denken over de combinatie van maatregelen, werd het idee geboren om te onderzoeken of de schutwaterbuffer ook in de kolk gerealiseerd zou kunnen worden (door de kolk te versmallen). Daarbij kan dan ook gebruik gemaakt worden van de ruimte onder het sluisplateau, die beschikbaar komt bij het versmallen van de kolk: zie Figuur 6.5 hieronder (eerder weergegeven in Figuur 3.2).



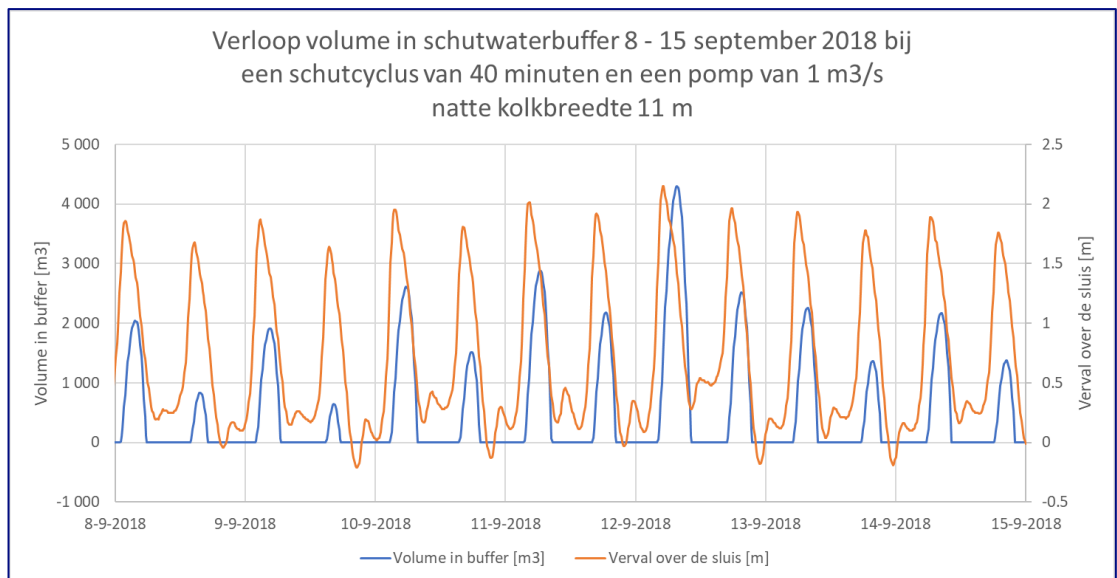
Figuur 6.5 Schematische doorsnede van beide Parksluizen

Bij een versmalling aan één zijde van de kolk tot een 'natte' breedte van 11 m (10.5 m voor de schepen, zie ook Paragraaf 5.7) vormt zich dan een buffer met een volume van een kleine 3000 m³. Dit is groot genoeg voor berging van een schutsluis bij een verval van ca. 1,75 m (let wel: het versmallen van de kolk reduceert ook het volume van de schutsluis). Dit volume

moet dan weggepompt worden gedurende een hele schutcyclus, van 40 minuten. Dit vraagt dan een pomp van 1.25 m³/s. Merk op dat rond hoogwater het verval vaak iets groter is: voor enkele schuttingen rond hoogwater zou de buffer dus tekort schieten.

Als de kolk aan twee kanten wordt aangepast (de kolk wordt weer symmetrisch) komt aan beide kanten de ruimte onder het sluisplateau beschikbaar en wordt het totale volume gelijk aan ca. 4300 m³. Bij dit grotere volume van de schutwaterbuffer zou een pomp van 1 m³/s voldoende zijn. Dit blijkt uit onderstaande figuur van het verloop van het volume in de buffer (let op de andere schaal op de verticale assen).

Het verschil tussen de eerder genoemde 10.000 m³ voor een schutwaterbuffer in de Coolhaven, en de hier genoemde 4.300 m³ voor een schutwaterbuffer in de kolk is het gevolg van het kleinere volume van de schutscijf door de smallere kolk, bij een pompcapaciteit van 1 m³/s.



Figuur 6.6 Te bergen volume schutwater voor een smallere kolk van 11 m; een schutcyclus van 40 minuten en een pomp van 1 m³/s; tevens het verval over de sluis, 8 – 15 september 2018

Deze voorlopige uitwerking geeft aan dat het in principe mogelijk is om de schutwaterbuffer te realiseren is binnen de kolk als dit wordt gecombineerd met het versmallen van de kolk.

Let wel: Het benodigde volume van de buffer, zowel in de Coolhaven als in de kolk, is erg afhankelijk van de aanname voor de duur van een schutcyclus, en het pompdebiet. Een kortere cyclus maakt het te bergen volume al snel veel groter, en een groter pompdebiet maakt de buffer al snel veel kleiner. Het dimensioneren van de buffer zal dus ook vragen om een nauwkeurige registratie van het schutbedrijf, zodat deze cyclustijd (het gemiddelde en de spreiding) goed bekend zijn.

Het benodigde leidingwerk zou kunnen bestaan uit de volgende elementen (aan één of aan beide kanten). Hierbij is ook al rekening gehouden met wat er nodig is voor het realiseren van het speeldebiet, in te nemen nabij het binnenhoofd.

- Voor het voorzichtig vullen en weer leeghalen van de buffer is er in de buffer een lange leiding voorzien van een reeks van gaten aan de onderzijde; deze leiding moet laag in de buffer geplaatst worden, dus onderaan het talud;

- Voor het nivelleren zijn er verbindingen nodig (mogelijk meerdere maar tenminste een dichtbij het binnenhoofd) tussen deze leiding en de kolk; deze verbindingen te voorzien van (nivelleer-)schuiven;
- Voor het afvoeren van water uit de buffer is er een pomp aangesloten op deze zelfde leiding;
- Voor het realiseren van het spoeldebiet door de kolk is het nodig dat de pomp dicht bij het binnenhoofd is geplaatst, waarbij middels schuiven de pomp aangesloten kan zijn op de dichtstbijzijnde (meest noordelijke) nivelleerschuiif, waarbij dan de vul/ledig leiding voor de buffer is afgesloten.

N.B.: Als, zoals hier voorgesteld, dezelfde pomp wordt gebruikt voor zowel het ledigen van de buffer als voor het spoeldebiet door de kolk, dan zal deze pomp dus een kleiner deel van de tijd beschikbaar zijn voor het ledigen van de buffer, en zal de pompcapaciteit groter moeten zijn.

- Aan de bovenkant van de buffer, tussen de huidige kolkwand en de nieuwe tussenwand, zal een overstortrand geplaatst moeten worden die in open verbinding staat met de Coolhaven; deze verbinding kan in principe gerealiseerd worden via de bestaande omloopriolen in het binnenhoofd.
- Voor de afvoer van het gepompte debiet, zowel voor het spoeldebiet als voor het ledigen van de buffer, kan aan de westzijde gebruik gemaakt worden van het afvoerriool van het gemaal. Aan de oostkant zal, net als eerder is aangegeven voor het spoeldebiet, een aparte leiding moeten worden aangelegd.

N.B.: De doorstroomcapaciteit van alle verbindingen (de nivelleer-openingen, de buis met gaten, de overstort en de verbinding met de Coolhaven, moet voldoende groot zijn aangezien dit mede-bepalend is voor de tijdsduur nodig voor het nivelleren. Ook is deze capaciteit bepalend voor de weerstand over deze route, die overwonnen moet worden door de pompen en die bepalend is voor het energiegebruik van de pompen. Niet alleen de dimensionering, maar ook de hydraulische vormgeving hiervan zal dus de nodige aandacht vragen.

6.5.2 Beoordeling van de combinatie op haalbaarheid

De haalbaarheid van de combinatie van maatregelen wordt weergegeven in Tabel 6.4, waarbij ook de scores van de elementen in de combinatie zijn weergegeven. De scores voor de combinatie worden toegelicht onder tabel.

Tabel 6.4 Beoordeling op haalbaarheid: combinatie van maatregelen

Case	Beschrijving	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 1	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 2	In-/aanpassing	Inzetbaarheid	Risico' s	Kosten realisatie	Kosten B&O
0	Referentie	0.54	0.81					
1	Breedte sluis 10.5 m	0.53	0.75	Uitvoerbaar -	Altijd ++	Beperkt -	Beperkt -	'damwand' -
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	0.52	0.76	leiding W-zijde +	tijdelijk +	+/-	+	+/-

5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	0.50	0.72	2e leiding O-zijde +/-	tijdelijk +	+/-	-	-
10	Schutwaterbuffer in de Coolhaven	0.51	0.70	Grote ruimtelijke ingreep --	Altijd beschik- baar +	Slib- vorming in de buffer ?	Groot --	Onder- houd kades --
11	Schutwaterbuffer spoeldebiet Periode 2: 1 m ³ /s breedte 11 m	0.50	0.63	Complex maar uitvoer- baar -	Altijd beschik- baar en flexibel inzetbaar ++	Slib- vorming in de buffer ?	Groot maar 'alles-in- een' --	Onder- houd wanden en pompen -

De inschatting wat betreft de in-/aanpassing van de combinatie van maatregelen is (ook) hier voorlopig: de inschatting is dat het uitvoerbaar is, maar de ruimte voor alle onderdelen is beperkt en dat vraagt om een goede uitwerking, ook wat betreft de hydraulische vormgeving omdat een nette hydraulische vormgeving, voor lage stromingsweerstand, nou eenmaal wat meer ruimte vraagt. Toch lijkt de inpassing makkelijker dan wanneer de buffer wordt aangelegd in de Coolhaven, omdat alles binnen de kolk blijft.

De inzetbaarheid wordt positief ingeschat: de installatie is altijd beschikbaar. In het winterseizoen, als de rivierafvoer hoog genoeg is en er geen dreiging van zoutindringing is, dan hoeven de pompen niet de draaien. Ze kunnen in die periode ook onderhouden worden, hetgeen het risico op storingen beperkt. Als de rivier afvoer terugloopt en het zoutgehalte in de Parkhaven oploopt kan begonnen worden de buffer te beheren en moeten de pompen worden ingeschakeld. Loopt het zoutgehalte nog verder op dan moet er ook gepompt worden voor een spoeldebiet, maar er hoeft niets extra's gemobiliseerd te worden.

6.6 Overzicht haalbaarheid maatregelen en effectiviteit

In Tabel 6.5 zijn alle scores samengevoegd. Onder de tabel worden de maatregelen en de combinatie vergeleken per kolom, dus per element van 'haalbaarheid'.

Tabel 6.5 Beoordeling op haalbaarheid: overzicht alle maatregelen

Case	Beschrijving	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 1	Saliniteit kanaal (kg/m ³) Periode 2	In-/aanpassing	Inzetbaarheid	Risico's	Kosten realisatie	Kosten B&O
0	Referentie	0.54	0.81					
1	Breedte sluis 10.5 m	0.53	0.75	Uitvoerbaar -	Altijd ++	Klein +	Beperkt -	'damwand' -
2	Drempel 0.82 m	0.55	0.80	Eenvoudig ++	Altijd ++	Beperkt +	Goedkoop ++	Goedkoop ++
3	Breedte sluis 10.5 m, drempel 0.82 m	0.53	0.74	Bepaald door aanpassen breedte sluis				
4	Spoeldebiet 1 m ³ /s	0.52	0.76	leiding W-zijde +	tijdelijk +	zeer klein ++	+	+/-
5	Spoeldebiet 2 m ³ /s	0.50	0.72	2e leiding O-zijde +/-	tijdelijk +	klein +	-	-
6	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.52	0.73	bellenscherm: +	bellenscherm: +	bellenscherm: +/-	bellenscherm: -	bellenscherm: -
7	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.5, drempel 0.82 m	0.50	0.67	zie regel 5 + 6				
8	Spoeldebiet 1 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.51	0.72	zie regel 4 + 6				
9	Spoeldebiet 2 m ³ /s, bellenscherm 0.25, drempel 0.82 m	0.50	0.67	zie regel 5 + 6				
10	Schutwaterbuffer in de Coolhaven	0.51	0.70	Grote ruimtelijke ingreep --	Altijd beschikbaar +	Slibvorming in de buffer ?	Groot --	Onderhoud kades --
11	Schutwaterbuffer spoeldebiet Periode 2: 1 m ³ /s breedte 11 m	0.50	0.63	Uitvoerbaar -	Altijd beschikbaar en flexibel inzetbaar +	Slibvorming in de buffer ?	Groot maar 'alles-in-een' --	Onderhoud leidingen en pompen -

In de vergelijking per kolom voor de 'haalbaarheid' vallen de volgende punten op.

- Qua in-/aanpassing is de drempel het makkelijkst haalbaar, gevolgd door het toevoegen van een spoeldebiet van 1 m³/s. Hier kan gebruik gemaakt worden van het bestaande afvoerriool van het gemaal aan de westzijde.
- Qua inzetbaarheid scoren de permanente aanpassingen aan de geometrie het best. Hier is 'beschikbaar' (altijd aanwezig) hoger gewaardeerd dan 'mobiliseerbaar' (als het nodig is). Het zijn eigenlijk tegenstrijdige aspecten die een meer gedetailleerde afweging vragen. De mogelijke afhankelijk van de betrokkenheid van derden is hierbij nog niet opgenomen; ook dat vraagt nader overleg in een volgende fase.
- De risico's voor de meeste opties zijn laag. Bij het toevoegen van een schutwaterbuffer is er een risico op slibvorming in de buffer; dat vraagt nader onderzoek.
- Een drempel is het goedkoopst te realiseren, gevolgd door het toevoegen van een spoeldebiet van 1 m³/s en daarna de versmalling van de kolk, al of niet in de combinatie met andere maatregelen.
- Op beheer en onderhoud scoort de drempel ook het best, en is het realiseren van een schutwaterbuffer in de Coolhaven het minst aantrekkelijk.

Qua haalbaarheid scoort de drempel daarom het best, maar qua effectiviteit zal dat zeker niet voldoende zijn.

Als we ook de effectiviteit meewegen dan lijken de volgende opties het meest aantrekkelijk:

- Een spoeldebiet van 1 of 2 m³/s is een niet al te ingrijpende maatregel met een grote effectiviteit. De effectiviteit kan worden vergroot door de combinatie met een bellenscherm, dat ook niet al te moeilijk in te passen is. (Merk op dat de effectiviteit van deze maatregelen nog goed doorgerekend moet worden; zie eerdere opmerkingen in Hoofdstuk 5.)
- De effectiviteit van alleen het spoeldebiet lijkt voldoende voor Periode 1, maar is misschien nog niet goed genoeg voor Periode 2. De effectiviteit kan in principe verhoogd worden door meer water af te voeren met het gemaal: hierdoor kan een steilere gradiënt in het zoutgehalte op de Schie op zijn plaats gehouden worden, maar daarvoor moet natuurlijk wel voldoende water beschikbaar zijn.
- Als de inzet van meer water over het kanaal niet mogelijk is, dan is de combinatie van het spoeldebiet met een schutwaterbuffer de beste optie: deze grijpt in op zowel op de zoutindringing door de kolkuitwisseling (spoeldebiet) als op de zoutindringing door het schutdebiet (schutwaterbuffer). De inpassing hiervan is weliswaar 'uitvoerbaar', maar in de realisatie is deze wel kostbaarder en ingrijpender dan alleen het spoeldebiet.
- Als deze combinatie daarom vooralsnog als te 'complex' zou worden beoordeeld zou, als een tussenstap, de versmalling van de kolk kunnen worden toegevoegd aan het spoeldebiet (nog zonder de schutwaterbuffer). Deze combinatie zou daartoe alsnog doorgerekend moeten worden. Omdat deze combinatie nog niet ingrijpt op de zoutindringing door het nivelleren, zal de effectiviteit zeker nog niet zo goed zijn als de combinatie zoals reeds beschouwd.

7 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

7.1 Samenvatting

1. Het beheergebied van Delfland heeft te maken met zoutindringing door de Parksluizen. Dit treedt op als de afvoer over de Rijn en de Nieuw Maas laag is waardoor het zoutgehalte in de Parkhaven oploopt. Door de operatie van de schutsluizen komt er zoutwater naar binnen en loopt het zoutgehalte op de Schie op. Om dit zoutgehalte te beheersen moet het kanaal worden gespoeld waarvoor er water wordt afgevoerd via het gemaal Parksluizen. Echter, in perioden van weinig neerslag is dat water schaars. De verwachting is dat deze problematiek o.a. door klimaatverandering zal toenemen. Delfland is daarom op zoek naar maatregelen om de zoutindringing te reduceren, om daarmee de hoeveel water nodig voor het beheersen van het zoutgehalte te beperken.
2. Het huidige onderzoek bouwt voort op drie eerdere onderzoeken op dit onderwerp, en geeft daarvan een korte samenvatting. Als eerste een eerder rapport van Deltares uit 2012 [1] dat een eerste ruwe schatting geeft van de zoutindringing en een aantal maatregelen beschrijft die genomen zouden kunnen worden. Vervolgens een rapport van Hydrologic uit 2015 [2] dat zich richt op metingen van zoutconcentraties langs de Schie en het waterbeheer. En tenslotte een rapport van Arcadis uit 2019 [3] dat zich richt op de effectiviteit van de schutbeperkingen zoals ingesteld in de zeer droge periode in 2018.
3. De zoutindringing treedt op door het nivelleren van de schutkolk, waardoor zoutwater uit de kolk naar binnenkomt (schutdebiet). Daarnaast komt er zout naar binnen door de kolkuitwisseling, die een gevolg is van het verschil in dichtheid tussen zouter en zoeter water. Deze treedt op als, afwisselend, aan een van beide kanten de kolk openstaat. In diezelfde fase speelt ook de uitwisseling van water door het in- en uitvaren van schepen een rol.
4. Om tot een beter gekwantificeerd inzicht te komen in de aard en omvang van de zoutindringing is een berekening gemaakt met de Zeesluisformulering ([4], [5] en [6]). Hierbij is het jaar 2018 doorgerekend aan de hand van de metingen en registraties door Delfland van zoutgehalten en afvoeren en tevens van een handmatige registratie van de scheepspassages door de Grote Sluis, ook van 2018. Deze laatste is daartoe, op basis van een aantal aannamen, omgezet in een beschrijving van het schutproces, inclusief de tijdstippen van het openen en sluiten van de deuren.
5. De resultaten van de berekening zijn vergeleken met de eerdere schatting uit 2012 [1]. Destijds is ingeschat dat de bijdrage door de kolkuitwisseling dominant was. Uit de huidige berekeningen blijkt echter dat deze bijdrage veel kleiner is dan eerder ingeschat. De bijdrage van het schutdebiet ligt in dezelfde orde van grootte en is in sommige perioden zelfs groter dan die van de kolkuitwisseling. Ook blijkt uit de nu beschikbare meetgegevens dat het zoutgehalte in de Coolhaven heel snel reageert op het oplopen van het zoutgehalte in de Parkhaven, verbonden met de rivier (zie Figuur 1.1 voor de locaties).
6. Om een hoger zoutgehalte in de Coolhaven niet tot problemen te laten leiden is een netto afvoer over de Schie richting Parkhaven nodig: deze netto afvoer kan een gradiënt in het zoutgehalte op de Schie in een min of meer stabiele toestand houden: deze afvoer (van water en zout) in zuidelijke richting maakt dan evenwicht met de verspreiding van zout in noordelijke richting als gevolg van o.a. de scheepvaart op het kanaal.

7. Als er minder water beschikbaar is voor de afvoer over het kanaal, zal de gradiënt over de Schie vlakker moeten zijn en zal dus het zoutgehalte in de Coolhaven lager moet zijn. De te selecteren maatregelen zullen dus in staat moeten zijn om dit lage zoutgehalte te realiseren, en zullen dus ook effectief moet zijn bij een laag zoutgehalte in de Coolhaven.
8. Op basis van de aangevulde inzichten is (opnieuw) een lijst van mogelijk maatregelen opgesteld die zouden kunnen bijdragen aan het reduceren van de zoutindringing en het beperken van de benodigde afvoer over de Schie. Deze maatregelen betreffen de afmetingen van de sluis, het waterbeheer, de schutoperatie, de kolkuitwisseling en het schutdebiet.
9. In overleg met de opdrachtgever zijn de maatregelen die te maken hebben met de afmetingen van de sluis, de kolkuitwisseling en het schutdebiet verder uitgewerkt, zowel naar effectiviteit als naar praktische haalbaarheid.
10. Voor bepaling van de effectiviteit is gebruik gemaakt van de Zeesluisformulering. Daartoe is deze gekoppeld aan een eenvoudig balansmodel van de Schie, bestaande uit twee bakjes: een bakje 'binnenvoorhaven' dat representatief is voor de Coolhaven, en een bakje 'kanaal' dat representatief mag worden geacht voor de Schie van de Lage Erfbrug tot aan de Spaansebrug (zie Figuur 1.1 voor de locaties). Meer specifiek mag het bakje 'kanaal' als representatief worden beschouwd voor het zoutgehalte bij het meetpunt Beukelsbrug, dat nu gebruik wordt als referentie in het beheer van het zoutgehalte.
11. De berekening gaat uit van de randvoorwaarden en de operatie van 2018: het zoutgehalte en de waterstanden in de Parkhaven, het zoutgehalte bij Spaansebrug, de reconstructie van de schuttingen bij de Grote Sluis (de invloed van de Kleine Sluis is daarbij verwaarloosd) en de afvoer bij gemaal Parksluizen. Door deze aanpak wordt niet alleen het effect van de maatregelen op het zouttransport door de sluis berekend, maar ook wat dit betekent voor het zoutgehalte op de Schie, mede als functie van de netto afvoer over het kanaal.
12. De effectiviteit van de maatregelen wordt, op voorstel van de opdrachtgever, bekeken voor twee perioden van 4 weken, in respectievelijk juni en juli. Gekeken wordt naar de reductie in de zoutindringing en naar de berekende zoutgehalte in de binnenvoorhaven en het kanaal.
13. De praktische haalbaarheid van de maatregelen is uitgewerkt door deze kwalitatief te scoren op de mogelijkheden voor de fysieke in- en aanpassing, de inzetbaarheid, de risico's en de kosten voor realisatie en beheer en onderhoud.
14. Van alle maatregelen is bekeken waar deze zouden kunnen worden gerealiseerd en welke aspecten daarbij een rol zouden kunnen spelen.
15. Voor de combinatie van maatregelen, te weten een spoeldebiet, het versmallen van de schutkolk en het aanleggen van een schutwaterbuffer, is in grote lijnen uitgewerkt hoe deze binnen de grenzen van de kolk te realiseren zou kunnen zijn.

7.2 Conclusies

16. De zoutindringing zoals berekend over 2018, onder andere op basis van een reconstructie van de schutoperatie, geeft aan dat het schutdebiet een grote rol speelt in de zoutindringing. Om de zoutindringing effectief te beperken zijn - naast maatregelen gericht op de beperking van de kolkuitwisseling – ook maatregelen nodig om het schutdebiet (met een zo hoog mogelijk zoutgehalte) terug te voeren.

17. Dit sluit aan op de bevinding van Hydrologic [2], die een uitwerking geven van de belangrijkste aanbeveling van Deltares [1] inzake het beheer van het zoutgehalte op de Schie tussen de Parksluizen en het meetpunt Beukelsbrug.
18. De bevinding dat het schutdebiet een grote rol speelt in de zoutindringing sluit ook aan op de aanbeveling van Arcadis [3] om, bij het instellen van schutbeperkingen, de schuttingen te concentreren rond laagwater, zodat hiermee het schutdebiet wordt beperkt.
19. De sluis is breder dan nodig lijkt voor de thans passerende schepen. Het reduceren van de breedte van de sluis beperkt de zoutindringing omdat het schutdebiet en de kolkuitwisseling (en dus de zoutvracht) dan kleiner is.
20. Ook is de sluis dieper dan nodig lijkt voor de passerende schepen. Met name aan het binnenhoofd kan een drempel effectief zijn in het beperken van de zoutindringing door kolkuitwisseling. Deze beperking blijkt echter zeer beperkt.
21. Voor de situatie van de Parksluizen, kunnen maatregelen gericht op het beperken van de kolkuitwisseling met name op het binnenhoofd effectief zijn. Als maatregelen op de kolkuitwisseling zijn een bellenscherm en een spoeldebiet beschouwd. Uit de berekeningen volgt dat het inzetten van een spoeldebiet zeer effectief is, en het combineren met een bellenscherm die effectiviteit nog verder kan vergroten.

De resultaten van de berekeningen aangaande bellenschermen en spoeldebiet moeten echter voorzichtig worden geïnterpreteerd. Dit vanwege het beperkte verschil in dichtheid over de Parksluizen, en omdat de effectiviteit van een spoeldebiet juist groot is gebleken in combinatie met een bellenscherm. Een en ander zal bij uitwerking van deze maatregelen nadere aandacht vragen.
22. Andere maatregelen om de zoutindringing te beperken richten zich op het opvangen en terugvoeren van het (zoute) schutdebiet. Voor het opvangen van het schutdebiet wordt een schutwaterbuffer voorgesteld in de Coolhaven (zie o.a. Paragraaf 4.6 en Figuur 4.4) of binnen de kolk, in combinatie met een versmalling van de kolk (zie Paragraaf 6.4.3) . De goede werking veronderstelt dat steeds tijdig het zoute schutwater wordt teruggepompt naar de Parkhaven: de afvoer door deze pomp is dus (gemiddeld) steeds minstens even groot als het (gemiddelde) schutdebiet. De maatregel blijkt effectief in het beperken van het zoutgehalte op het kanaal.
23. Tenslotte wordt een combinatie van maatregelen voorgesteld, bestaande uit het versmallen van de kolk, het toepassen van een spoeldebiet door de kolk en het realiseren van een schutwaterbuffer. Deze combinatie blijkt zeer effectief in het beperken van de zoutindringing en het verlagen van het zoutgehalte van de Schie bij een lage afvoer in het kanaal.
24. Voor een eerlijke vergelijking tussen alle maatregelen zijn deze nogmaals doorgerekend waarbij, voor elk van de twee perioden, de netto afvoer over het kanaal gelijk gemaakt is voor alle beschouwde maatregelen of combinaties daarvan. De hierboven benoemde combinatie van het versmallen van de kolk, een spoeldebiet door de kolk en een schutwaterbuffer, blijkt daarbij tot veruit de grootste reductie van de zoutgehaltes te leiden.
25. Bij het scoren van de haalbaarheid komt voor het criterium "inpasbaarheid" een drempel als het meest eenvoudig naar voren (al is de effectiviteit daarvan is zeer beperkt). Ook het realiseren van een spoeldebiet en een bellenscherm lijkt goed inpasbaar. Het versmallen van de sluis kolk en het aanleggen van een schutwaterbuffer in de Coolhaven dan wel in de versmalde sluis kolk scoren qua inpasbaarheid minder goed.

26. Het criterium 'inzetbaarheid' valt uiteen in twee tegenstrijdige aspecten: het kan een voordeel als een maatregel niet hoeft te worden gemobiliseerd (en dus altijd inzetbaar is), maar het kan ook een voordeel zijn als de maatregel flexibel inzetbaar is 'wanneer nodig', zodat een groot deel van het jaar de nu gebruikelijke situatie niet wordt verstoord. Dit vraagt om een meer gedetailleerde afweging.
27. De risico's voor de meeste opties zijn laag. Bij het toevoegen van een schutwaterbuffer is er een risico op slibvorming in de buffer als gevolg van de interactie tussen zoet en zoutwater; dat vraagt nader onderzoek.
28. In kosten voor aanleg en beheer en onderhoud is de aanleg van een schutwaterbuffer in de Coolhaven het minst aantrekkelijk.
29. Als we ook de effectiviteit meewegen dan is de inzet van een spoeldebiet aantrekkelijk (Case 5), al of niet combinatie met een bellenscherm (Case 7 of 9). Bij een verhoogd zoutgehalte op de rivier, in Periode 2, blijkt dit spoeldebiet nog niet voldoende om, bij de beschouwde afvoer op het kanaal, het zoutgehalte op het kanaal te beheersen.
30. Als het niet wenselijk is in zo'n situatie toch meer water over het kanaal af te voeren, dan is de combinatie van het spoeldebiet met het versmallen van de kolk en het realiseren van een schutwaterbuffer de beste optie (Case 11). Deze grijpt in op beide delen van de zoutindringing: zowel op de zoutindringing door het schutdebiet als op de zoutindringing door de kolkuitwisseling en is daardoor veruit superieur in effectiviteit. De inpassing hiervan wordt 'uitvoerbaar' geacht, maar zal in de realisatie wel veel kostbaarder en ingrijpender zijn dan alleen het realiseren van spoeldebiet.

7.3 Aanbevelingen

31. In 2012 [1] is de aanbeveling gedaan om met grote regelmaat het naar binnenkomende schutdebiet terug te pompen. Deze aanbeveling blijft gehandhaafd. Als het zoutgehalte in de Parkhaven oploopt, zal hiermee zoutwater naar binnen komen. Als dit niet wordt teruggepompt zal dit onherroepelijk leiden tot een verhoogd zoutgehalte op het kanaal. En als het terugpompen wordt uitgesteld dan zal het zoute water mengen met het zoetere kanaalwater, waardoor er meer water nodig is om het zout weer af te voeren.
32. Ook de aanbeveling om eerder te reageren op een oplopend zoutgehalte tussen Parksluizen en Beukelsbrug blijft staan. Welke meetlocatie en welke meetwaarde dan moet gaan gelden voor dat beheer is nog nader uit te werken. Het beheer zou ondersteund kunnen worden door, conform de aanbeveling van Hydrologic een model te laten meedraaien dat wordt aangestuurd door registraties van zoutgehalten, debieten, de waterstand in de Parkhaven en de schutoperatie.
33. Wat betreft het instellen van schutbeperkingen wordt de aanbeveling van Arcadis onderschreven om het schutten te concentreren rond laagwater. Weliswaar is het zoutgehalte lager in de uren na laagwater, maar het is nog steeds hoog, terwijl rond laagwater het schutdebiet kleiner is en daardoor komt minder zout naar binnen.
34. Er wordt aanbevolen om zo snel mogelijk een begin te maken met het automatisch registreren van het schutbedrijf. Hieruit zal blijken of de sluismeesters in staat zijn de deuren zoveel mogelijk gesloten te houden. Ook levert die registratie informatie voor nadere analyse en de operationele besluitvorming waar het gaat over de zoutindringing en de te nemen maatregelen.
35. Bij een verdere uitwerking van maatregelen gebaseerd op het spoeldebiet, al of niet in combinatie met bellenschermen, wordt aanbevolen de gemaakte berekeningen nog eens kritisch te beschouwen. Dit heeft te maken met het beperkte

dichtheidsverschil, de samenwerking tussen een spoeldebiet en een bellenscherm, en de wijze waarop een en ander in de berekeningen is geschematiseerd.

36. Bij een verdere uitwerking van de aanleg van een schutwaterbuffer zal aandacht besteed moeten worden aan slibvorming in de buffer, waar zout en zoetwater elkaar ontmoeten.
37. Om de analyse in dit onderzoek (voor 2018) uit te breiden naar een langere periode wordt geadviseerd om de verspreiding van het zout in de Schie met Sobek te modelleren (gekoppeld aan de zeesluisformulering). Een dergelijke modelopzet zou ook gebruikt kunnen worden om het benodigde doorspoeldebiet te bepalen.

Referenties

- [1] “Zoutlek Scheepvaartsluizen Delfland, Inventarisatie en evaluatie van mogelijke maatregelen”, O.M. Weiler, J.M. Cornelisse, 1205395, Deltares, april 2012
- [2] “Zoutintrusie Parksluizen, Slim beheer zoetwaterbuffer, Hoogheemraadschap van Delfland”, Hydrologic, P603, januari 2015
- [3] “Zoutindringing Parksluizen, Hoogheemraadschap van Delfland”, Arcadis, 083996314 A, november 2019
- [4] “Zoutindringing door schutsluizen, overzicht projecten en aanzet formulering t.b.v. netwerkmodellen, Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2017”, Otto Weiler, 11200741-003, Deltares, juni 2018
- [5] “Zoutindringing schut- en spuisluizen, Opzet en verkenning Zeesluisformulering, Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2018”, Otto Weiler, 11200741-003, Deltares, december 2018
- [6] “Zoutindringing schut- en spuisluizen, Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2019”, Diederik Vreeken, Deltares, 11200741-003, december 2019
- [7] “Plan van Aanpak KPP 2020 project WR03 2020 - Slim watermanagement”, Olav van Duin, Deltares, v5.0, februari 2021
- [8] “In welke mate kan optimalisatie van de schutoperatie bijdragen aan het beperken van zoutindringing door schutsluizen?”, Afstudeeronderzoek Hogeschool Rotterdam, Laurens de Boer, uitgevoerd bij Deltares, Otto Weiler, juni 2017
- [9] “The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980”, Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards, UNESCO, 1981
- [10] “Vaarwegen in Nederland”, Rijkswaterstaat, Centrale Informatievoorziening (CIV), Juni 2021
- [11] “Richtlijnen Vaarwegen 2020”, Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL), Afdeling BNSV, 31 juli 2020
- [12] “Proeven in de Hartelsluis met luchtschermen bij geringe dichtheidsverschillen”, dr.ir. J.C. van Dam, Rijkswaterstaat – Dienst voor de Waterhuishouding, Juli 1965
- [13] “Pilot Krammerjachtensluis, Meet- en monitoringprogramma”, P.P.D. van der Ven, 1207406-004, Deltares, januari 2015
- [14] “Pilot Krammerjachtensluis, Vervolganalyse resultaten Meet- en Monitoringprogramma, Suzanna Zwanenburg, 1220106-001, Deltares, januari 2016

A Korte beschrijving van de Zeesluisformulering

De Zeesluisformulering (ZSF) is ontwikkeld voor het berekenen van de zoutindringing door een schutsluis op de grens van zout- en zoetwater. De berekening vraagt hiervoor om invoer van de verschillende relevante parameters. Dit zijn:

- de geometrie van de sluis of sluisen:
 - de afmetingen van sluisen, inclusief de diepteligging van de drempels
- de hydraulische randvoorwaarden:
 - de waterstand aan de zeezijde: veelal een gemeten signaal inclusief het getij en op- en afwaaiing,
 - waterstand kanaalzijde, veelal stabiel rond een streefpeil,
 - het zoutgehalte aan de buitenkant van de sluis, dit kan, zoals bij de Parksluisen, variëren met o.a. afvoer over de rivier,
 - het zoutgehalte aan de binnenkant: deze waarde is lokaal hoger door de zoutvracht vanuit de sluis; hoe hoog het zoutgehalte lokaal oploopt wordt bepaald door de afvoer over het kanaal en door de mate van dispersie,
- de operatie:
 - hoe vaak wordt er geschut, hoe lang staan daarbij de deuren open,
 - wat is de waterverplaatsing van de schepen die meegaan in de schuttingen,
 - is de drukte op de sluis continu, of is dit afhankelijk van het getij, van de tijd op de dag, van de dag van de week of van het seizoen.

De Zeesluisformulering kan rekenen op twee manieren.

- cyclus-gemiddeld: voor de randvoorwaarden zoals die gelden op een bepaald moment, dus o.a. voor een bepaalde waterstand en voor een operationele toestand (o.a. de schutfrequentie), wordt de schutcyclus doorgerekend tot dat deze is geconvergeerd tot een zich herhalende cyclus waarbij steeds dezelfde transporten optreden (volumes met een zoutgehalte); deze volumes per cyclus worden dan gedeeld door de tijdsduur van een hele cyclus en daaruit volgen dan de cyclus-gemiddelde debieten in beide richtingen, met de bijbehorende zoutgehalten.
- fase-gewijs: hierbij worden alle individuele fasen van alle schutcycli een voor een beschouwd, en worden per individuele fase de volumes en de zoutgehalten bepaald. Deze volumes gelden dan voor de duur van de betreffende fase.

Voor de berekeningen voor de Parksluisen is de tweede werkwijze gevolgd, omdat deze het beste aansluit op de aard van de toegeleverde data over de operatie.

Terwijl de sluisdeuren aan de buitenkant openstaan, zal de waterstand door het getij veranderen. In werkelijkheid treedt er daarom niet alleen kolkuitwisseling op, maar is er ook een netto debiet de kolk in of uit. In de berekeningen is echter aangenomen dat de waterstand in de kolk gedurende de tijd dat de deur open staat constant is op de waarde ten tijde van het openen van de deur.

De werkwijze met de Zeesluisformulering maakt het ook mogelijk om, op eenvoudige wijze, maatregelen op de sluis ter beperking van de zoutindringing door te rekenen. Voorbeelden hiervan zijn een drempel in het binnenhoofd, toepassing van een bellenscherm, een spoeldebiet door de sluis of combinaties hiervan.

B Omwerking van een registratie van schuttingen naar een beschrijving van de sluisoperatie als invoer voor de Zeesluisformulering

De toegeleverde registratie bestaat uit een Excell-bestand waarin de schuttingen (scheepspassages) zijn geregistreerd met een start en einde van een schutting. Start en einde zijn daarbij geïnterpreteerd als het tijdstip groen voor invaren aan de ene kant en tijdstip groen voor uitvaren aan de andere kant. Let wel: in deze registratie is de schutting dus gedefinieerd vanuit het perspectief van het schip: op dezelfde regel staan de tijden die relevant zijn voor het schip (of de schepen) dat de sluis eerst invaart en daarna aan de andere kant weer uitvaart. De momenten dat lichten op rood gaan zijn niet geregistreerd.

Om te komen tot de deur-opentijden, van groen voor uitvaren van het schip of de schepen, tot aan rood voor het invaren van schip of schepen in hetzelfde sluishoofd, zijn dan nog gegevens (of aannamen) nodig, namelijk: de tijd dat het duurt om de deuren te openen of te sluiten, en de tijd die er nodig is om te nivelleren, afhankelijk van het verval over de sluis.

- Voor het bewegen van de deuren (openen of sluiten) is een tijdsduur van 1 minuut aangenomen.
- Voor het nivelleren een tijdsduur van 0 – 15 minuten, afhankelijk van het verval: 0 minuten bij 0 m verval en 15 minuten bij 3 m verval; voor tussenliggende waarden van het verval wordt lineair geïnterpoleerd.

Met deze aannemen kunnen, op basis van de gegevens uit het excell-bestand (hieronder vet gedrukt), alle fasen van de hele schutcyclus worden 'gereconstrueerd'. De te onderscheiden momenten in de schutcyclus zijn hieronder op een rij gezet, met daartussen (ingesprongen) de tijdsduur tussen die momenten. De omschrijving begint met het moment dat de deuren open gaan aan het binnenhoofd.

Binnenhoofd:

Moment begin deuren openen

1,5 minuut

Moment deuren zijn open = **Moment licht op groen voor uitvaren** / einde schutting

Tijdsduur uitvaren: te bereken uit vorige en volgende regel

Licht op groen voor invaren / begin nieuwe schutting

Tijdsduur invaren: ?? minuten => te berekenen; zie hieronder

Moment deuren gaan sluiten

1,5 minuut

Moment deuren zijn gesloten

Tijd nivelleren, afhankelijk van verval;

Buitenhoofd:

Moment begin deuren openen

1,5 minuut

Moment deuren zijn open = **Moment licht op groen voor uitvaren** / einde schutting

Tijdsduur uitvaren: te bereken uit vorige en volgende regel

Licht op groen voor invaren / begin nieuwe schutting

Tijdsduur invaren: ?? minuten => te berekenen; zie hieronder

Moment deuren gaan sluiten

1,5 minuut

Moment deuren zijn gesloten

Tijd nivelleren, afhankelijk van verval;

Binnenhoofd:

Moment begin deuren openen

...

Etc.

De tijd dat de deuren aan een sluishoofd open staan is de som van de tijd voor uitvaren en de tijd voor invaren. De eerste is direct te bepalen uit de registratie, de andere is te bepalen door terug te rekenen vanaf de eerstvolgende registratie: het tijdstip einde invaren is het tijdstip van het eerstvolgende moment van uitvaren minus de tijd voor deuren openen, minus de tijd voor nivelleren en minus de tijd voor deuren sluiten.

Met de beschikbare registratie en de aannamen voor de tijd voor het bewegen van de deuren en het nivelleren, is het dus in principe mogelijk om te komen tot een 'volledige' beschrijving van de schutoperatie.

N.B.: Het bestand bevat de handmatige registraties door de sluismeester. Dit leidt tot beperkingen in de nauwkeurigheid, compleetheid en interne consistentie. In de omwerking hiervan naar invoer voor de berekening zijn de tijden soms enigszins aangepast om aan te sluiten op de aangenomen tijden voor het nivelleren en het openen en sluiten van de deuren.

De kolk-uitwisseling begint al te lopen als de deuren nog bezig zijn te openen, en loopt nog enigszins door terwijl de deuren bezig zijn te sluiten. Voor de berekening van de kolkuitwisseling wordt daarom aangenomen dat deze begint halverwege het openen van de deuren en stopt halverwege het sluiten van de deuren. Bij een bewegingstijd van 1,5 minuten voor openen en sluiten is de tijd voor de kolkuitwisseling daarmee 1,5 minuten langer dan de tijd voor invaren en uitvaren.

**iets toevoegen over aangenomen minimale deur-opentijd voor uitvaren en invaren
iets toevoegen over het volume van de schepen**

De registratie bevat geen informatie over het sluiten van de deuren als er geen scheepvaart is: iets dat van grote invloed kan zijn op de zoutindringing. Om de berekeningen op dit punt realistisch te laten zijn is aangenomen dat de deur-opentijd niet langer is dan 20 minuten: als een grotere waarde volgt uit de beschreven werkwijze wordt deze in de berekening beperkt tot dit maximum. De overblijvende tijd in de cyclus wordt er aangenomen dat de deuren gesloten zijn en er niets gebeurt.

C Verslag bezoek Parksluizen 27 mei 2021

Verslag: overleg schutproces Parksluizen

Aanwezig: [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Ivm AVG zijn de namen / organisaties van de aanwezigen hier onzichtbaar gemaakt. In onderstaande tekst zijn alleen voornamen gebruikt.

Datum: Parksluizen, 27 mei van 9 -11 uur

Doel:

- 1) Beter inzicht te krijgen in het operationele schutproces, dit om de gegevens vanuit het logboek beter te interpreteren en het zoutmodel beter te kalibreren.
- 2) Uitwerken fase voorafgaand aan instellen schutbeperkingen: kijken naar mogelijkheden om het schutproces zo aan te passen, dat de deur-open-tijden zo klein mogelijk zijn zodat er zo min mogelijk zout naar binnen komt.

Agenda:

Het overleg wordt geopend, deels fysiek en Fincent en Cees sluiten digitaal aan. Lineke licht kort de twee doelen toe.

Doel 1: Deltares voert momenteel een verkennend onderzoek uit naar mogelijke fysieke maatregelen om de zoutindringing bij de sluizen te beperken. Dit betreft met name een studie naar de effectiviteit van maatregelen. Dit project is een samenwerking tussen HHDelfland, Rijkswaterstaat en Deltares.

Doel 2: momenteel wordt er een droogteprotocol Schutten opgesteld. In een gezamenlijk overleg van 20 april kwam naar voren of er nog maatregelen/aanpassingen aan het schutproces mogelijk zijn, waardoor daadwerkelijke schutbeperkingen kunnen worden uitgesteld of zelfs niet nodig zijn.

Agendapunt 1) Presentatie

Otto geeft een presentatie over de werking van zoutindringing via de sluis. Het zout komt via twee processen de kolk binnen:

- 1) Nivelleren: het zichtbare deel. De kolk wordt gevuld met zout water vanuit de Nieuwe Maas. Hoeveel dit is, is afhankelijk van het getij op de rivier.
- 2) Kolkuitwisseling: het niet zichtbare deel. Doordat zoutwater zwaarder is dan zoetwater, duikt bij het openen van de sluisdeuren het zoute water onder het zoete water. Als de deur open staat naar de rivier kruipt deze golf over de bodem de sluis in, botst tegen de deur aan de kanaalzijde en legt dan de omgekeerde weg weer af. Hierdoor wordt, als de deur lang genoeg open staat, het zoete water in de kolk vervangen door zout water. Als de deur aan de kanaalzijde open gaat, kruipt het zoute water het kanaal in terwijl de kolk gevuld wordt met zoet water uit het kanaal. Dit proces verloopt traag, hoeveel zoet water wordt ingewisseld door zout water is afhankelijk van de deur-open-tijden (zie bijlage voor plaatjes).

Daarna volgen een aantal specifieke vragen die Otto aan Johan stelt om beter inzicht te krijgen in het schutproces. Voor de zoutindringing is het belangrijk om de deur-open-tijden zo klein mogelijk te houden.

Belangrijkste punten:

- Eerst gaan altijd de deuren open, daarna pas de brug omhoog. Dit vanuit veiligheidsaspect: als met let op de brug (hé, deze gaat open/staat al open) dan heeft men soms niet door dat de deur nog niet open is, waardoor men tegen de deur aanvaart. Zeker in donkere situaties is dit een risico, omdat de deuren niet goed belicht zijn.
- De passagetijden in het logboek zijn niet gelijk aan de deur-open-tijden. Tijden worden niet nauwkeurig ingevoerd, is voor het doel (puur registratie) ook niet noodzakelijk.
- Passeren een aantal vragen over precieze tijdsduur nivelleren, deur-open-tijden etc. Hierop wordt het zoutmodel aangepast. **Actie: Deltares**
- Johan geeft aan dat de deuren altijd dicht staan en niet onnodig open. Zodra een schip deur heeft gepasseerd, gaat de deur alweer dicht. Maar hoe snel elke fase van het schutproces verloopt is afhankelijk van de operator. ER zijn ook operators die de deuren wat langer open laten staan. Nu vaak ook inhuurkrachten, die hebben minder ervaring.
- In 2018 is de oproep gedaan om zo efficiënt mogelijk te schutten. Maar dit heeft het schutproces niet veranderd: het kan eigenlijk niet anders dan het nu gaat; de schepen moeten toch passeren, en maar af en toe passen er twee schepen samen in de kolk.
- Het zijn veelal dezelfde schippers die varen op de Schie en voor hen is dit schutten een ware routine geworden, gericht op efficiëntie, in combinatie met vaak dezelfde operators. Ze zijn goed op elkaar ingespeeld.
- Cees geeft aan dat hij geen sneller schutproces kent dan de Parksluizen.
- Otto verkent een aantal maatregelen, waaronder het versmallen van de grote sluis. Eigenlijk zijn alle schepen op de Schie maximaal 9,5 m breed en dan is een breedte van de sluis kolk van 10,5 m voldoende (nu 13,5 m); dit zou een mogelijkheid zijn. (Cees en Johan beamen dit).
- Opties die nog de revue passeren (**actie: overleg Delfland-Rotterdam**):
 - o Beter belichten van de deuren. Zouden hierdoor eerst de bruggen omhoog kunnen en dan pas de deuren open? Of spelen er dan nog andere veiligheidsaspecten?
 - o Registratie deur-open-tijden: is erg lastig voor de operator. Die moet immers primair focussen op het schutproces en heeft niet de tijd om dat nog te notuleren. Dit kan technisch worden opgelost door: door de registratie uit het SCADA-systeem van de sluis te halen (vergt aanpassing software; RWS werkt hieraan voor verschillende sluiscomplexen) of, als tijdelijke oplossing, te werken met een laserafstandsmeter gericht een sluisdeur.
 - o Korte training van de operators gericht op het zo klein mogelijk houden van de deur-open-tijden, liefst aan het begin van de zomer.

Agendapunt 2: Aanpassen schutproces

Er worden mogelijkheden verkend om de deur-open-tijden zo klein mogelijk te houden.

- Het zijn veelal dezelfde schepen die varen op de Schie. Operators weten daardoor goed de afmetingen van een schip.
- Er is in 2018 de oproep gedaan om zoveel als mogelijk te schutten met alleen volle kolken. Johan geeft aan dat clusteren van schepen geen goed idee is. Pas kort van tevoren weet je welke schepen willen schutten, er is geen vroegtijdige registratie. Vaak gaat dit via Vesselfinder en uit ervaring, "Daar vaart schip x die altijd vaart op de Schie die zal over x aantal minuten ons wel aanroepen". Daarnaast zijn er maar een paar schepen die samen in de kolk passen, die moet je dan op elkaar zien af te

stemmen. Dit is logistiek complex. Daar tegenover staat dat het schutproces met 1 schip in de kolk sneller gaat dan als je twee schepen in de kolk moet schutten waarbij het passen en meten is en de deur-open-tijden juist langer is.

- Het clusteren van recreatievaart is wel een goed idee en is in 2018 ook gedaan.
- In augustus waren er minder schutbewegingen. Cees oppert dat dit komt door de bouwvak (minder vraag zand), en misschien ook door afname recreatievaart. Er waren diverse schutbeperkingen en bruggen die niet opengingen ivm uitzetting/koelen. Afschrikkend effect?
- De voorlopige voorstellen vanuit het droogteprotocol worden besproken:
 - o Recreatievaart slechts eens in de twee uur schutten of met de beroepsvaart mee.
 - o Bij watertekort, Buitensluis Schiedam dicht en alle recreatievaart via de Parksluizen.

Johan benoemt dat dit twee opties zijn die goed uitvoerbaar zijn. Zeker als er van te voren vaste schuttijden worden gecommuniceerd, recreatieverkeer past zich daar makkelijk op aan. Lineke: zijn ligplaatsen voor recreatie nog een probleem? Zowel Johan als Cees benadrukken dat recreanten niet snel zullen gaan liggen voor de sluisen, maar eerder nog een rondje varen. Mede door de golfslag in de Parkhaven zullen de kleine bootjes schade ondervinden als ze vast gaan liggen aan een steiger. Verder benoemt Johan dat recreatievaart niet graag meeschut met beroepsvaart, ze wachten liever. Als het wel gebeurt gaat recreatieverkeer altijd eerst en wordt stuurboord voorin afgemeerd. Trend is wel dat steeds vaker de grote Sluis moet worden ingezet omdat de (motor-)jachten steeds groter/hoger worden. Omvaren via de Parksluis moet geen probleem worden, maar kan zijn dat gedeelte Schiedam dan niet bereikbaar is omdat er sprake is van een vaste brug **actie: Delfland overlegt dit met gemeente Schiedam/jachthavens.**

Conflict spertijden – schutmomenten: er wordt beaamd dat dit een groot knelpunt is. Cees legt uit wat dit betekend voor de scheepvaart. De scheepvaart wordt nu al regulier beperkt door de spertijden. Alle vaartijden en aanverwante werkprocessen (laden/lossen) zijn afgestemd op deze spertijden zodat er geen tijd verloren gaat. Dit betekent dat als de spertijden samenvallen met de schuttijden, er een grote kink komt in een zeer efficiënt proces. Dit gaat ten kosten van de omloopsnelheid (schade komt door vermindering omloopsnelheid, indicatie 20-25%). Zorgpunt wordt geuit dat het rondom de sluisen steeds drukker wordt met wegverkeer (mede omdat er woontorens bij worden gebouwd en dus meer verkeersbewegingen) en dit meer en meer een conflict kan worden met scheepvaart. Zorg is dat gemeente Rotterdam het wegverkeer belangrijker vindt dan het scheepvaartverkeer. Johan geeft aan dat in 2018 er veel klachten waren omdat er toen wel werd geschut in de spertijden. Dit ondanks dat mensen de andere brug konden nemen, maar mensen zijn kuddedieren.

Lineke vraagt of er beperkingen zijn als er alleen geschut mag worden in de nacht? Cees geeft aan dat dit kan, graag zelfs. Probleem is echter de brugbediening, de Mathenessebrug en Hooghe Erfbrug zijn niet meer bediend 's nachts. Er moeten dan twee brugwachters op de fiets heen en weer pendelen tussen deze bruggen, dus kost tijd en levert vaak al een vertraging van minimaal 1 uur op.

Intensiviteit schutbewegingen: afgelopen twee jaar veel zandschepen ivm aanleg doortrekken bocht a16-a13 (project Groene Boog). Zandlichaam is nu gelegd, nu komt betonfase. Komende twee jaar zal het hierdoor nog druk zijn.

Het zoutspoelen van het zand op de Schie komt nog aan bod. Dit is uiteraard ongewenst, zeker in een droge zomer met een dreigend watertekort / schutbeperkingen.

Cees geeft aan dat hier maar tijdelijk sprake van was en geen reguliere situatie. Doorgaans zit er een eis op van 200 mg zout/l, dit zoutgehalte is vaak al bereikt voordat de schepen de Schie op varen. Bij project de Groene Boog was de vergunningseis echter 35 mg/l, waardoor er meer gespoeld moest worden. Dus werd er wel op de Schie gespoeld en dus zout geloosd.

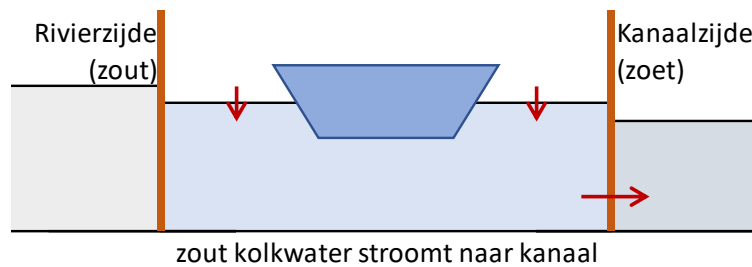
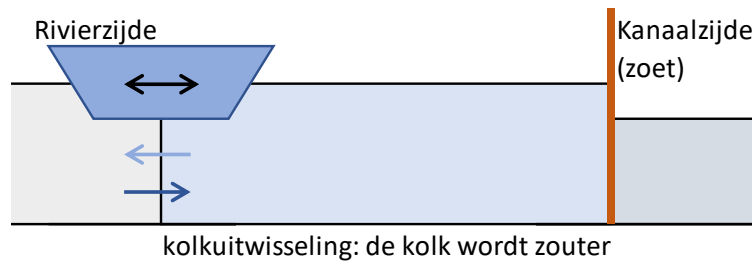
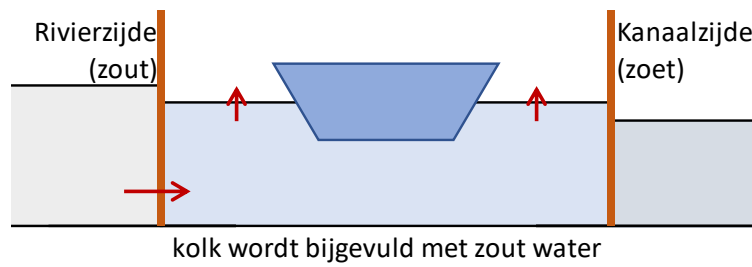
Onder het mom van het is altijd goed om van elkaar te leren, kennis op te doen en de praktijk te begrijpen nodigt Cees de aanwezigen uit om een keer mee te varen op de Schie.

Conclusie: het schutproces verloopt al vrij efficiënt en de deur-open-tijden zijn, bij een goede bediening, al ongeveer zo klein als mogelijk. Er is mogelijk nog enige winst te behalen door het goed aanlichten van de sluisdeuren, waardoor deze wat later kan worden geopend, namelijk gelijktijdig met de brug, i.p.v. daarvoor. Ook kan een cursus aan het begin van de zomer helpen om minder ervaren sluismeesters te wijzen op het belang van beperkte deur-opentijden en hoe dit te realiseren.

Clusteren van binnenvaartschepen is logistiek complex en levert juist langere deur-open-tijden. Wel kan de zoutindringing door de recreatievaart beperkt worden door op vaststaande tijden te schutten en met volle kolken: daarbij moeten de schepen worden verzameld buiten de kolk, zodat er snel kan worden ingevaren.

Bijlage

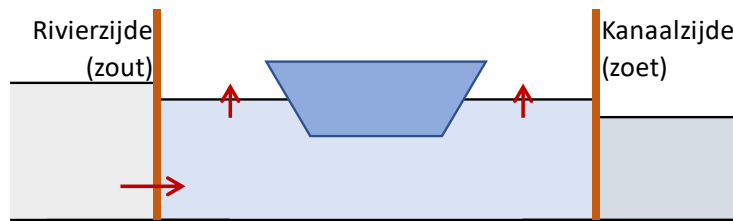
Nivelleren



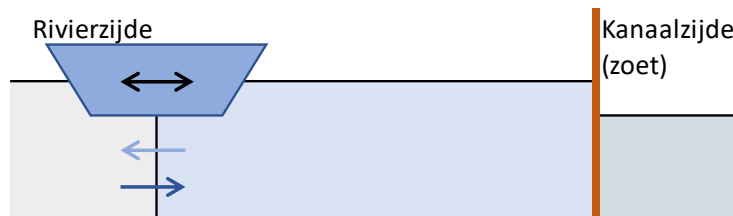
Om zoutindringing te beperken:

- Liever minder vaak schutten
- En liever schutten rondom laag water op de rivier, dan wordt er minder water ingelaten naar het kanaal

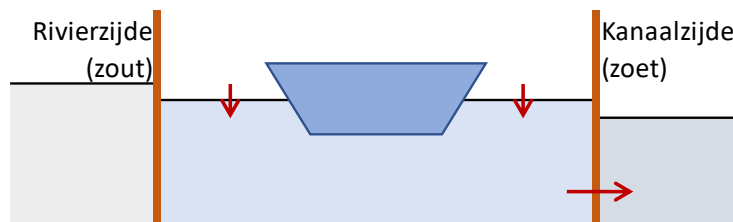
Kolkuitwisseling:



kolk wordt bijgevuld met zout water



kolkuitwisseling: de kolk wordt zouter



zout kolkwater stroomt naar kanaal



kolkuitwisseling: de kolk wordt zoeter,
zoutwater stroomt naar het kanaal

- zout water is zwaarder dan zoet water,
- steeds als een van de sluisdeuren open staat zakt het zoutere water naar beneden en gaat het zoete water er bovenop liggen,
- daardoor stroomt er zoutwater richting zoet, en zoetwater richting zout,
- de kolk wordt zouter als de deur naar de rivier open staat, en laat weer zout los als de deur naar het kanaal open staat,
- het is net als in een huis: de schutkolk is als de gang tussen een warme woonkamer en de koude buitenlucht
- Om zoutindringing te beperken: laat de deuren niet onnodig open staan

D Balansmodel binnenvoorhaven Parksluizen

Doel van het balansmodel voor water en zout van de Coolhaven te Rotterdam, de binnenvoorhaven van de Parksluizen

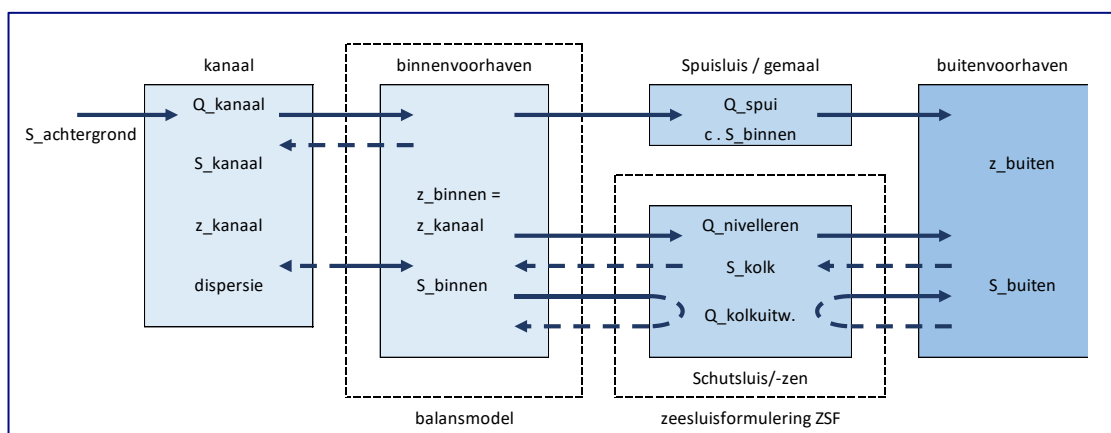
Het doel van het opzetten van een balansmodel is het verkrijgen van inzicht (indicatief) in de respons van het systeem (de binnenvoorhaven – de Coolhaven – van de Parksluizen) op de wijzigingen in de schutoperatie, het inzetten van maatregelen en de afvoer over het kanaal. Het gaat dus niet om een accurate voorspelling van zoutgehalten op specifieke locaties, maar om verschuivingen in het evenwicht tussen aan- en afvoer van water en zout van en naar de binnenvoorhaven.

In het onderstaande wordt eerst de opzet van het balansmodel beschreven (de deelgebieden en de fluxen in- en uit die deelgebieden) en daarna wordt beschreven hoe die gegevens kunnen worden afgeleid uit beschikbare 3D-modelberekeningen. Tenslotte wordt aangegeven hoe het balansmodel gebruikt kan worden voor de vragen in het project.

Opzet balansmodel

In onderstaande figuur is schematisch aangegeven de situatie van een kanaal (de Schie, links), een binnenvoorhaven (de Coolhaven), spui- en schutsluizen (Parksluizen) en een buitenvoorhaven (Parkhaven). Ook is aangegeven dat het gebied dat wordt beschreven met het balansmodel bestaat uit de binnenvoorhaven, in dit geval (het oostelijke deel van) de Coolhaven.

- de aanvoer van water naar het kanaal heeft een saliniteit met een 'achtergrondswaarde'
- de transporten tussen kanaal en binnenvoorhaven bestaan uit advectief en dispersief transport;
- de transporten via de spuisluizen (c.q. het gemaal) bestaan alleen uit advectief transport, waarbij het zoutgehalte in dat transport niet gelijk hoeft te zijn aan het zoutgehalte (dieptegemiddeld) in de binnenvoorhaven; hierdoor kan rekening worden gehouden met een gelaagdheid in de binnenvoorhaven en de diepte van de onttrekking;
- de transporten via de schutsluis (schutsluizen) zijn te berekenen met de Zeesluisformulering (ZSF), waarbij de waterstand en het zoutgehalte in de buitenvoorhaven als randvoorwaarde dienen.



De tekenafspraken voor debieten en transporten is conform de ZSF: positieve richting van debiet en massaflux zout is stroomafwaarts, dus positief richting zee. (Vandaar ook de opzet van de figuur, met het kanaal links en de zee rechts.)

Hoewel de hoofdrichting dus van kanaal naar zee is, kunnen de debieten ook de andere kant op lopen, bv. het schutdebiet. Daarmee kan ook het debiet van de binnenvoorhaven naar het kanaal lopen. Negatieve debieten worden in de figuur aangegeven met een stippellijn. Voor bepaling van het advectief transport van zout moet het zoutgehalte steeds worden gekozen afhankelijk van de richting van het debiet (steeds het zoutgehalte van het water waar het debiet aan onttrokken wordt.)

Invulling met getallen voor de Parksluizen

De schutsluizen

Voor situatie bij de Parksluizen moet eerst data worden gegenereerd voor de fluxen via de schutsluizen. Deze kan worden gegenereerd door een berekening met de ZSF (fasegewijs).

Hiervoor is nodig:

- z_binnen (waterstand Coolhave)
- S_binnen (saliniteit Coolhaven)
- z_buiten (waterstand Parkhave)
- S_buiten (saliniteit Parkhaven)
- schutoperatie

De eerste vier zijn beschikbaar (tijdseries voor 2018). De vijfde is beschikbaar in een spreadsheet met registraties van de passages van schepen in 2018 met begin- en eindtijd, hetgeen is omgewerkt naar tijdstippen van nivelleren en openen en sluiten van deuren.

Hiermee worden dan alle debieten en zoutvrachten berekend tussen kolk en binnenvoorhaven (Coolhaven). Deze tijdseries bestaan uit fase-gemiddelde waarden die gelden tussen de begin- en eind tijden van die fasen. Dit zijn dus tijdreeksen met een variabele tijdstap.

In postprocessing wordt op basis van deze tijdreeksen daggemiddelde waarden bepaald voor enerzijds debiet en zoutvracht door nivelleren en anderzijds debiet en zoutvracht door kolkuitwisseling ten behoeve van de presentatie en interpretatie van de resultaten.

Het balansmodel

De resultaten van de ZSF vormen een deel van de invoer voor het balansmodel. Voor het balansmodel zijn ook de volgende posten nodig, en beschikbaar:

- Q_spui (gemaal) (te combineren met S_voorhaven)
- S_kanaal (dichtbij de Coolhaven)
- S_achtergrond (gemeten waardes bij de Spaansebrug)

Op basis van de beschikbare gegevens wordt een dispersie-coëfficiënt afgeleid. Het balansmodel rekent dan uit:

- Q_kanaal (afvoer en negatieve afvoer a.g.v. schutdebiet naar binnen)
- zoutvracht in Q_kanaal
- zoutvracht in dispersie

Deze signalen zijn te vergelijken met de trends in de zoutgehalten zoals gemeten op de andere locaties op de Schie: als er zout gaat richting het kanaal, dan zou het zoutgehalte

daar ook moeten oplopen en v.v.. Ten overvloede: het gaat niet om een accurate voorspelling van zoutgehalten op specifieke locaties, maar om verschuivingen in het evenwicht tussen aan- en afvoer van water en zout van en naar de binnenvoorhaven.

Met de combinatie van het balansmodel en de ZSF is het mogelijk om maatregelen door te rekenen. Dit zijn primair maatregelen op de sluis, maar voor een deel ook in relatie tot het waterbeheer.

Koppeling balansmodel en ZSF

Het balansmodel en de ZSF worden gekoppeld om fase-gewijs de zoutlast in het kanaal te berekenen. Het kanaal wordt daarvoor geschematiseerd als vijf verschillende bakjes (zie figuur hierboven). Na elke stap in de ZSF volgt een berekening met het balansmodel. De uitvoer van het balansmodel wordt vervolgens weer als invoer voor de ZSF gebruikt.

Het balansmodel werkt in twee delen. De bijdrage door de sluiskolk wordt na elke rekenstap in de ZSF verwerkt in het balansmodel. Dit geldt ook voor het debiet dat wordt verplaatst op het kanaal en de binnenvoorhaven door de sluisoperatie. De andere bijdragen aan het balansmodel (spuien, debiet op kanaal vanwege het spuien, dispersie, kleine sluis) wordt aan het einde van de schutcyclus verwerkt. De reden daarvoor is dat deze processen niet alleen op het moment van een schutting plaatsvinden, maar voortdurend.

Het balansmodel gebruikt de volume- en massatransporten van en naar de binnenvoorhaven vanuit de ZSF en de fase en tijdsduur daarvan in de schutcyclus. Hieruit volgt een massatransport zout naar de binnenvoorhaven en naar het kanaal en dit wordt bij de totale massa zout in de binnenvoorhaven en het kanaal opgeteld. Het volume van de binnenvoorhaven en het kanaal worden hierbij als constant aangenomen. Vervolgens wordt hiermee de saliniteit van de binnenvoorhaven en het kanaal berekend. De saliniteit van de binnenvoorhaven vormt vervolgens weer invoer voor de ZSF.

Hieronder volgt een uitgebreidere beschrijving van de werking van het balansmodel.

Beschrijving balansmodel – elke fase

Elke fase worden de zoutgehalten in de binnenvoorhaven en in het kanaal ge-updatet met de massatransporten door de sluisoperatie. Het volume verplaatst water wordt gelijkgesteld aan het volume verplaatst door de sluis. De afvoer door andere bijdragen wordt in de andere stap van het balansmodel berekend.

De aan- en afvoer van zout is afhankelijk van de richting van het water.

- $Q_{\text{kanaal}} = (V_{\text{van_binnenvoorhaven}} - V_{\text{naar_binnenvoorhaven}}) / \Delta t$
- Als $Q_{\text{kanaal}} > 0$ (dus stroming zuidwaarts, richting de sluis):
 - $M_{\text{naar_kanaal}} = Q_{\text{kanaal}} \cdot (S_{\text{noordrand}} - S_{\text{kanaal}}) \cdot \Delta t$
 - $M_{\text{naar_binnenvoorhaven}} = Q_{\text{kanaal}} \cdot S_{\text{kanaal}} \cdot \Delta t + M_{\text{ZSF_naar_meer}} - M_{\text{ZSF_van_meer}}$
- Anders (stroming noordwaarts, weg van de sluis):
 - $M_{\text{naar_kanaal}} = -Q_{\text{kanaal}} \cdot (S_{\text{binnenvoorhaven}} - S_{\text{kanaal}}) \cdot \Delta t$
 - $M_{\text{naar_binnenvoorhaven}} = Q_{\text{kanaal}} \cdot S_{\text{binnenvoorhaven}} \cdot \Delta t + M_{\text{ZSF_naar_meer}} - M_{\text{ZSF_van_meer}}$

Dit geeft een massa zout naar de binnenvoorhaven en een massa zout naar het kanaal per fase van het schutproces.

Beschrijving balansmodel – elke schutcyclus

Aan het einde van elke schutcyclus wordt de bijdrage van andere processen berekend, aangezien deze niet direct gelinkt zijn aan de schutcyclus. Het gaat hier om het spuien door het gemaal, de afvoer die dit veroorzaakt op het kanaal, de dispersie tussen kanaal en binnenvoorhaven en de bijdrage van de kleine sluis.

De aan- en afvoer van zout is afhankelijk van de richting van de afvoer. In deze stap is de afvoer gelijk aan het spuidebiet.

- $Q_{\text{kanaal}} = Q_{\text{spui}}$
- Als $Q_{\text{kanaal}} > 0$ (dus stroming zuidwaarts, richting de sluis):
 - $M_{\text{naar_kanaal_afvoer}} = Q_{\text{kanaal}} \cdot (S_{\text{noordrand}} - S_{\text{kanaal}}) \cdot \Delta t$
 - $M_{\text{naar_binnenvoorhaven_afvoer}} = Q_{\text{kanaal}} \cdot S_{\text{kanaal}} \cdot \Delta t$
- Anders (stroming noordwaarts, weg van de sluis):
 - $M_{\text{naar_kanaal_afvoer}} = -Q_{\text{kanaal}} \cdot (S_{\text{binnenvoorhaven}} - S_{\text{kanaal}}) \cdot \Delta t$
 - $M_{\text{naar_binnenvoorhaven_afvoer}} = Q_{\text{kanaal}} \cdot S_{\text{binnenvoorhaven}} \cdot \Delta t$

Het massatransport uit de binnenvoorhaven door het spuien volgt uit het spuidebiet en het zoutgehalte in de binnenvoorhaven.

- $M_{\text{spui_naar_binnenvoorhaven}} = -Q_{\text{spui}} \cdot S_{\text{binnenvoorhaven}} \cdot \Delta t$

De dispersie wordt berekend aan de hand van de snelheid van een dichtheidsgolf (c_{LE}), die afhankelijk is van het dichtheidsverschil tussen de binnenvoorhaven en het kanaal, en het daaruit volgende debiet. Dit wordt omgezet naar het dispersiedebiet met een constante factor van 0.05. De dispersie op de noordrand van het kanaal wordt niet meegenomen.

- $\Delta S = S_{\text{binnenvoorhaven}} - S_{\text{kanaal}}$
- $g' = 9,81 \cdot (0,8 \cdot \Delta S) / \left(1000 + 0,8 \cdot \frac{(S_{\text{kanaal}} + S_{\text{binnenvoorhaven}})}{2} \right)$
- $h_{\text{min}} = \text{minimum}((h_{\text{kanaal}} - Z_{\text{kanaal}}); (h_{\text{binnenvoorhaven}} - Z_{\text{binnenvoorhaven}}))$
- Als $\Delta S > 0$:
 - $c_{LE} = \frac{1}{2} \sqrt{(g' \cdot h_{\text{min}})}$,
- als $\Delta S < 0$:
 - $c_{LE} = -\frac{1}{2} \sqrt{(-g' \cdot h_{\text{min}})}$,
- Anders geldt:
 - $c_{LE} = 0$
- $Q_{LE} = c_{LE} \cdot B_{\text{kanaal}} \cdot \left(\frac{h_{\text{min}}}{2} \right)$
- $Q_{\text{dispersie}} = 0,05 \cdot Q_{LE}$
- $M_{\text{dispersie_naar_kanaal}} = Q_{\text{dispersie}} \cdot |\Delta S| \cdot \Delta t$
- $M_{\text{dispersie_van_binnenvoorhaven}} = -Q_{\text{dispersie}} \cdot |\Delta S| \cdot \Delta t$

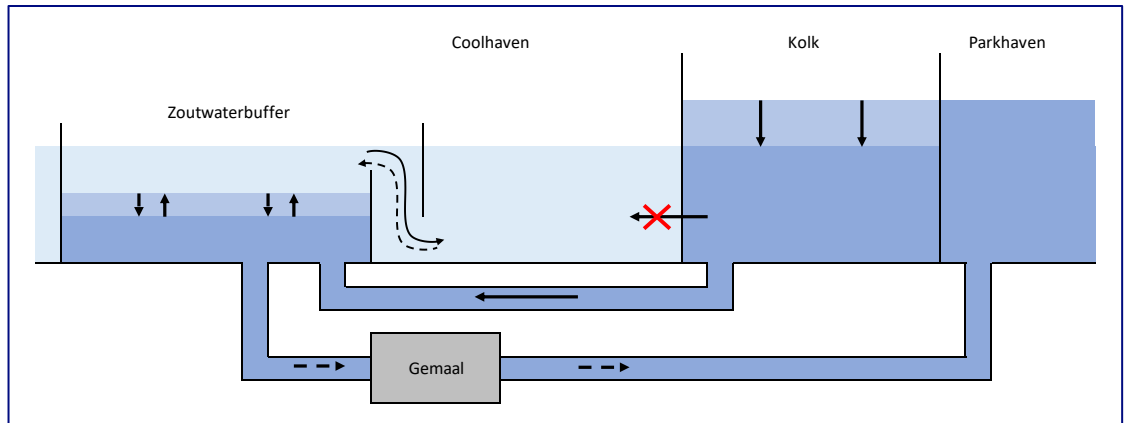
De zoutflux van de kleine Parksluis is aangenomen als een vaste constante waarde van 0.001 kg/s. Dit is niet verder doorgerekend naar het kanaal. De bijdrage hiervan in het totaal is relatief klein en het beïnvloed daarom het resultaat niet veel.

Het massatransport naar binnenvoorhaven en kanaal wordt dan:

- $M_{\text{zout_naar_binnenvoorhaven}} = M_{\text{dispersie_van_binnenvoorhaven}} + M_{\text{naar_binnenvoorhaven_afvoer}} + M_{\text{kleineParksluis}} + M_{\text{spui_naar_binnenvoorhaven}}$
- $M_{\text{zout_naar_kanaal}} = M_{\text{dispersie_naar_kanaal}} + M_{\text{naar_kanaal_afvoer}}$

Schutwaterbuffer

Als mogelijke maatregel op de sluis is een schutwaterbuffer toegevoegd aan het balansmodel. Het schutdebiet richting de binnenvoorhaven wordt hierbij opgevangen in het schutwaterbuffer, waardoor het zoute kolkwater van het nivelleren niet in de binnenvoorhaven komt. Via het gemaal wordt het schutdebiet vervolgens weer teruggepompt richting de Parkhaven.



Het schutwaterbuffer wordt in het balansmodel meegenomen door tijdens het nivelleren aan het binnenhoofd de saliniteit en het massatransport naar het meer gelijk stellen aan de saliniteit en het massatransport van de binnenvoorhaven. Er wordt dan dus geen zout uit de kolk toegevoegd. De saliniteit richting de sluis kolk wordt niet veranderd. Dit zou namelijk betekenen dat je een veel te grote hoeveelheid zout uit de binnenvoorhaven haalt. In deze simpele oplossing 'verdwijnt' het zoute water uit de kolk. Hierbij geldt wel dat het spuidebiet gelijk moet zijn aan het schutdebiet, omdat je met deze methode aanneemt dat het schutwaterbuffer vol kan raken.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl