



## Memo

Aan  
Karin Stone (RWS)

<b>Datum</b>	<b>Aantal pagina's</b>	
31 juli 2019	46	
<b>Contactpersoon</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Meinard Tiessen	+31(0)88 335 7429	Meinard.Tiessen@deltares.nl
Wouter Kranenburg		Wouter.Kranenburg@deltares.nl

**Onderwerp**  
Data-analyse Kierproef Haringvliet:VK2018\_1 Visvriendelijk sluisbeheer (10-12-2018 – 30-4-2019)

---

1	Inleiding .....	3
1.1	Context .....	3
1.2	Doel van proef .....	4
1.3	Kennisvragen, onderzoeksvragen & hypothesen .....	4
2	Opzet proef .....	7
2.1	Aanpak .....	7
2.1.1	Inzet en gebruik Haringvlietsluizen .....	7
2.1.2	Inzet en gebruik Zoutriolen .....	8
2.1.3	Inzet en gebruik vissluizen .....	8
2.1.4	Inzet en gebruik scheepvaartsluis .....	8
2.2	Interessegebied .....	9
2.3	Meetlocaties en instrumenten .....	9
2.4	Omstandigheden gedurende de proef .....	10
2.4.1	Initiële condities .....	10
2.4.2	Afvoer Lobith .....	10
2.4.3	Windcondities .....	11
2.4.4	Waterstanden .....	11
2.4.5	Beheer Haringvlietsluizen .....	12
2.4.6	Debiet door de Haringvlietsluizen .....	13
3	Resultaten .....	16
3.1	Zoutgehaltes over tijd .....	16
3.2	Zoutgehaltes langs transecten .....	18
3.3	Snelheidsmetingen .....	18
3.4	Metingen in het zoutriool .....	18
3.5	Overige meetresultaten .....	19
4	Analyse .....	20

4.1	Analyse van specifieke periodes en processen.....	20
4.1.1	Periode 1 (24-12-2018 – 25-12-2018): Tweede keer visvriendelijk sluisbeheer ..	22
4.1.2	Periode 2 (11-01-2019): Derde keer visvriendelijk sluisbeheer .....	23
4.1.3	Periode 3 (29-01-2019 – 04-02-2019): Verzilting aansluitend op zoetspoelproef 25	
4.1.4	Periode 4 (02-04-2019 – 28-04-2019): Toenemende verzilting na zoetspoelen	26
4.2	Analyse toegespitst op de onderzoeksvragen .....	28
4.3	Balansen en fluxen.....	32
4.3.1	Schatting van watervolume en chloridevracht door de kering .....	32
4.3.2	Schatting van de chloridehoeveelheid in de diepe putten van het Haringvliet ...	32
4.3.3	Volume verzilt water in de zoutvang.....	33
5	Discussie .....	34
5.1	Evaluatie methodiek .....	34
5.2	Evaluatie meetgegevens .....	34
6	Conclusies en aanbevelingen .....	35
6.1	Conclusies .....	35
6.1.1	Mate van beantwoording onderzoeksvragen en aanpassing hypothesen.....	36
6.2	Aanbevelingen.....	37
6.2.1	Vervolgstappen Lerend Implementeren .....	37
6.2.2	Mogelijke aanvullende analyses met behulp van huidige data .....	38
6.2.3	Aanvullende kennisvragen .....	38
6.2.4	Suggesties voor aanpassing of aanvulling van de meetbehoefte.....	39
Appendix A: Eerste schatting spuienster visvriendelijk sluisbeheer .....		41
Appendix B: Zoutgehalten op overige meetlocaties .....		42
Appendix C: Hefhoogtes en doorstroomoppervlakte Haringvlietsluizen.....		45
Appendix D: Bodemhoogte Haringvliet (Baseline) .....		46

## 1 Inleiding

Om ten tijde van periodes waarin de Haringvlietsluizen nagenoeg gesloten zijn toch vismigratie te bevorderen wordt een aanvullende beheersmaatregel onderzocht, het zogenaamde “Visvriendelijk sluisbeheer”. Wanneer als gevolg van lage rivierafvoeren, het samenvallen met het groeiseizoen of de mate van bestaande zoutindringing (etc) het niet mogelijk is om de fases “Kieren” uit te voeren, is het misschien mogelijk om met beperkte kieropeningen en openingsperiodes vismigratie te bevorderen.

Het idee achter visvriendelijk sluisbeheer is om direct na kentering (eb naar vloed) de Haringvlietsluizen beperkt open te houden, om vissen die zich tijdens het spuien via de lokstroom naar de sluisen hebben bewogen, alsnog kort de mogelijkheid te bieden het Haringvliet in te komen. De duur en hefhoogte van de Haringvlietsluizen is slechts beperkt, om te voorkomen dat het zoute water te ver binnendringt, en zich alleen verzamelt in de diepere delen direct achter de kering (de zoutvang). Tijdens een volgende spuiperiode en als gevolg van de inzet van zoutriolen wordt aansluitend dit ingekomen zout weer naar zee te gespoeld. De overkoepelende vraag van de proeven naar het opzetten van “Visvriendelijk sluisbeheer” is dan ook: Hoe ziet een optimaal visvriendelijk sluisregime eruit, rekening houdend met werkprocessen bediening en minimale risico zoutbelasting Haringvliet?

In de periode 10 december 2018 tot 30 april 2019 is - wanneer er geen andere (Zoetspoel-) proeven zijn uitgevoerd - geëxperimenteerd met verschillende scenario's voor Visvriendelijk Sluisbeheer. De specifieke vraag voor deze eerste proeven is, uitgaande van een inzet van de zoutriolen van 120 cm, hoe lang en met welke opening de spuisluis open kan blijven (gerekend vanaf moment dat normaal gesproken de schuif zou sluiten na een spuiperiode) zonder dat er vanuit de zoutvang zout overloopt naar put B en/of D.

Deze memo bevat een eerste analyse van de meetresultaten voor deze proeven. In deze data-analyse wordt voorbij gegaan aan de optimalisatie voor vismigratie, en wordt alleen het deel dat zich richt op het minimaliseren van het “risico op zoutbelasting van het Haringvliet” beschouwd.

### 1.1 Context

In 2000 is het Besluit beheer Haringvlietsluizen (het Kierbesluit) politiek vastgesteld. Het Kierbesluit maakt het mogelijk de Haringvlietsluizen bij vloed open te zetten en zout water in te laten op de Haringvliet zodat trekvisser makkelijker het Rijn- en Maasstroomgebied in kunnen trekken. Een neveneffect is dat hierbij zout water het westelijk deel van het Haringvliet instroomt. Om te voorkomen dat de inname van zoetwater negatief beïnvloed wordt, is als randvoorwaarde opgenomen dat de zoetwaterinname ten oosten van de lijn Middelharnis-Spui is gegarandeerd. Innamepunten ten westen van die lijn zijn verplaatst naar een locatie ten oosten van de lijn. November 2018 vond de starthandeling plaats. Omdat het openstellen van de sluisen bij vloed een nieuwe situatie is, is gestart met een fase van Lerend Implementeren. In deze fase worden onderzoeken uitgevoerd om de kennis over het systeem te vergroten.

Visvriendelijk spuisluisbeheer is bedoeld om toe te passen in perioden waarin de actuele of verwachte rivierafvoer te laag is om echt te kunnen Kieren. De vorm van visvriendelijk beheer die in deze proef getest is, bestaat uit het enige tijd open laten staan van 1 zeeschuif van een spuiende sluis na het moment van gelijke drukhoogte. Het idee hierachter is dat de door de zoete spuisluis aangetrokken vissen hierdoor een grotere kans krijgen om in te trekken. De

toegepaste Kieropeningen tijdens deze proef waren altijd dicht bij de minimaal toelaatbare hefhoogte van een schuif, wat overeenkomt met een doorstroomoppervlak van 25 m<sup>2</sup>. De geopende sluis is altijd de meest zuidelijk gelegen sluis (nr. 17). Deze wordt ook het vaakst gebruikt om water naar zee te spuien. Naar verwachting is hier de lokstroom en daarmee de vispassage het grootst. In eerste instantie wordt het effect van de zoutverspreiding onderzocht. Onderzoek naar vissen volgt later.

Deze proeven zijn gestart aan het einde van een langdurige droge periode (zomer en najaar 2018) en waren het startpunt van de daadwerkelijke uitvoering van het “Lerend Implementeren”. In deze periode is de afvoer van de Rijn (Lobith) ook voor het eerst sinds de zomer weer boven de 1100 m<sup>3</sup>/s en wordt er weer water via de Haringvlietsluizen naar zee gespuid.

De proef “visvriendelijk sluisbeheer” kan worden uitgevoerd bij een breed scala aan condities (met name Rijn-afvoeren) terwijl voor veel andere proeven (Zoetspoelen en Kieren) juist sprake moet zijn van relatief hoge afvoeren. Daarom wordt deze proef uitgevoerd als (met het oog op de verwachte Rijn afvoer) geen andere proeven gedaan kunnen worden en wordt deze proef onderbroken als andere proeven gedaan kunnen worden.

Deze andere proeven richten zich op de ontwikkeling van kennis en ervaring op gebied van “zoetspoelen”, waarbij eerst zout water het Haringvliet wordt ingelaten, waarna getracht wordt dit aansluitend weer uit te spoelen. De mate waarin dit laatste met name effectief is, is bepalend voor de aansluitende uitgangspositie wanneer de “visvriendelijk sluisbeheer”-proef weer wordt hervat. Het is daarom van belang om veranderingen in zoutgehaltes in het Haringvliet als gevolg van deze “zoetspoelproeven” los te koppelen van de ontwikkeling in het zoutgehalte als gevolg van “visvriendelijk sluisbeheer”.

## **1.2 Doel van proef**

Inzicht krijgen in de mogelijkheden om bij lage rivierafvoeren en bij vloed voorheen gesloten Haringvlietsluizen, toch vismigratie te bevorderen door na kentering een spuideur een (korte) periode open te laten staan. Het doel van de proef daarbij is om te kijken in hoeverre de zoutindringing die dat tot gevolg heeft, beperkt kan worden tot de zoutvang (put A).

## **1.3 Kennisvragen, onderzoeksvragen & hypotheses**

De overkoepelende kennisvraag waar bij dit onderzoek antwoord op gevonden moet worden is:

Uitgaande van een inzet van de zoutriolen van 120 cm, hoe lang kan 1 a 2 spuisluis langer open blijven (gerekend vanaf moment dat normaal gesproken de schuif zou sluiten na een spuiperiode) zonder dat er vanuit de zoutvang zout overloopt naar put B en/of D bij afvoeren tussen de 1100 en 2200 m<sup>3</sup>/s (Lobith). De toegepaste Kieropeningen tijdens deze proef waren altijd dicht bij de minimaal toelaatbare hefhoogte van een schuif, wat overeenkomt met een doorstroomoppervlak van 25 m<sup>2</sup>.

De hypothese die aan de basis stond van deze proef, was als volgt door RWS opgesteld:

Op grond hiervan lijkt een extra zoutbelasting vergelijkbaar met 5 à 10 schuttingen per dag wel acceptabel te zijn. Dit gaat om 60.000 tot 120.000 m<sup>3</sup>/dag. Per getij dan ongeveer de helft hiervan. Op basis van enige aannames kan een spuisluis dan 15 tot 25 minuten open blijven.

De beoogde uitwerking van deze vraag is als volgt gedefinieerd:

Op basis van de meetgegevens bepalen wanneer zoutvang overliep, welke factoren hieraan ten grondslag liggen en verbanden af te leiden zijn waarop vuistregels ontwikkeld kunnen worden.

Deze overkoepelende formulering is hieronder in deelvragen opgesplitst:

<b>Onderzoeksvraag 1</b>	Bij welke inlaatduur of inlaatopening (tijdens vloed) van een enkele sluis, zal het zout zich voorbij de zoutvang (put A, direct achter de Haringvlietsluizen) verplaatsen?
Hypothese	Bij te langdurige en/of te grote inlaatopeningen zal put A eerst vollopen met zout, en daarna zal het zout zich verder verspreiden richting putten B en/of D. Naar verwachting zal een enkele opening waarschijnlijk wel 15 tot 25 minuten open kunnen blijven voordat de zoutvang gaat overlopen.
Toelichting	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Op basis van de bathymetrie vaststellen wat de drempelhoogte is tussen de zoutvang (put A) en de omliggende gebieden (put B en D).</li> <li>- Op basis van gemeten zoutgehalten in put A een indicatie krijgen van het vollopen van deze put (dit is afhankelijk van of er meerdere sensoren onder de drempelhoogte liggen)</li> <li>- Op basis van gemeten zoutgehalten in putten B en D (diepste sensoren) bepalen of er sprake is van overlopen van put A richting putten B en D.</li> <li>- Deze inzichten in de zoutophoping en verspreiding relateren aan de toegepaste inlaatopeningen en vensters.</li> </ul>
<b>Onderzoeksvraag 2</b>	In hoeverre kunnen omgevingsfactoren (hier alleen: wind) invloed hebben op het overlopen van de zoutvang (put A)?
Hypothese	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Door harde wind kan scheefstand van de overgang tussen een zoete bovenlaag en een zoute onderlaag in put A ontstaan, waardoor zout water over de rand kan stromen richting andere delen van het Haringvliet.</li> <li>- Harde wind kan leiden tot verticale opmenging ter hoogte van de zoutvang (put A), waarna dit verzilte water zich als gevolg van wind gedreven stroming horizontaal kan verspreiden.</li> <li>- Mogelijke andere factoren die invloed hebben op de verspreiding van zout uit put A.</li> </ul>
Toelichting	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In eerste instantie wordt gekeken naar momenten waarop zout zich lijkt te verspreiden uit put A richting andere meetlocaties in het Haringvliet (putten B en D)</li> <li>- Aansluitend wordt gekeken of omgevingsfactoren (met name wind) tijdens die periodes bepaalde (terugkerende) karakteristieken vertonen.</li> </ul>
<b>Onderzoeksvraag 3</b>	Hoe ontwikkelt zich het zoutgehalte in de zoutvang (put A) als gevolg van de inzet van zoutriolen, het spuien van zoet water via

	de spuisluisen, en het cumulatieve effect van meerdere opeenvolgende vloed-periodes “Visvriendelijk Sluisbeheer”.
Hypothese	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bij beperkte inname van zout water via de Haringvlietsluizen zal zich dit gaan ophopen in de put direct achter de Haringvlietsluizen (Put A).</li> <li>- Door de inzet van zoutriolen zal het opgehoopte zout uit put A naar zee worden gespoeld.</li> <li>- Bij hoge afvoeren (Lobith) zal genoeg water via de spuisluisen worden afgevoerd om zout uit de diepere delen van put A mee naar zee te sleuren tijdens spuiperiodes.</li> <li>- Doordat mogelijk minder wordt afgevoerd dan wordt ingelaten kan er sprake zijn van geleidelijke ophoping van zout in de zoutvang, welke na verloop van tijd kan gaan overlopen.</li> </ul>
Toelichting	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse van het zoutgehalte in put A, om mogelijke trends met betrekking tot ontzilting (door spuien en zoutriolen) te inventariseren</li> <li>- Analyse van zoutgehalten in put A over meerdere getijperiodes om ophoping van zout in de zoutvang in kaart te brengen</li> <li>- Analyse van het zoutgehalte in put A in combinatie met het zoutgehalte op andere meetlocaties in het Haringvliet (putten B en D) om te kijken of deze geleidelijke ophoping van zout kan leiden tot overlopen van de zoutvang.</li> </ul>

## 2 Opzet proef

### 2.1 Aanpak

#### 2.1.1 Inzet en gebruik Haringvlietsluizen

- Tijdens eb zijn de Haringvlietsluizen ingezet volgens LPH'84, en dus afhankelijk van de verwachte afvoer op de Rijn (Lobith) meer of minder geopend (of zelfs gesloten).
- Direct na kentering (eb naar vloed) is een spuideur langer opengehouden (nr 17), op de minimaal toelaatbare hefhoogte (doorstroomoppervlakte ongeveer 25m<sup>2</sup>).

Onderstaande tekst is een inschatting van de verwachte toelaatbare innameperiode voor visvriendelijk sluisbeheer met als doel om nog binnen relatief korte termijn het ingenomen zout via de zoutriolen te kunnen spuien en zodat de zoutvang niet zal overlopen. In Appendix A volgt een eerste inschatting van het toelaatbare inlaatvenster.

Na implementatie van deze eerste richtlijn van 15-25min, is deze duur geleidelijk opgerekt omdat uit metingen bleek dat de ophoping van zout in de zoutvang minder snel ging dan vooraf verwacht. De uiteindelijk inlaatperiodes die tijdens de duur van de proef zijn gehanteerd zijn gebaseerd op "Samenvatting proef: VK2018\_1 Tijdelijk inlaten na spuien met ~25 m<sup>2</sup>" en aanvullende gegevens:

Tabel 2.1 Toegepaste openingsduur tijdens de Kier-proef Visvriendelijk sluisbeheer.

Van	Tot	Aantal getijden	Inlaatopening
10-12-2018	14-12-2018	10	25 m <sup>2</sup> , 15 minuten
17-12-2018	21-12-2018	10	25 m <sup>2</sup> , 30 minuten
07-01-2019	14-01-2019	12	25 m <sup>2</sup> , 45 minuten
04-02-2019	11-02-2019	14	25 m <sup>2</sup> , 60 minuten
21-02-2019	24-02-2019	8	25 m <sup>2</sup> , 60 minuten
25-02-2019	04-03-2019	14	25 m <sup>2</sup> , 45 minuten
04-03-2019	07-03-2019	6	25 m <sup>2</sup> , 60 minuten
08-03-2019	11-03-2019	7	25 m <sup>2</sup> , 75 minuten
11-03-2019	13-03-2019	4	25 m <sup>2</sup> , 90 minuten
13-03-2019	26-03-2019	26	25 m <sup>2</sup> , variabel ( <i>gemm. 4:16 uur</i> )
27-03-2019	29-03-2019	5	25 m <sup>2</sup> , 90 minuten
30-03-2019	01-04-2019	6	25 m <sup>2</sup> , 75 minuten
03-04-2019	07-04-2019	8	25 m <sup>2</sup> , 60 minuten
08-04-2019	22-04-2019	28	25 m <sup>2</sup> , 45 minuten
23-04-2019	30-04-2019	14	25 m <sup>2</sup> , 30 minuten

- Daarnaast is deze Visvriendelijk sluisbeheerproef verschillende keren onderbroken voor het uitvoeren van "Zoetspoelproeven". Deze hebben plaatsgevonden gedurende de volgende periodes:

Tabel 2.2 Periodes waarin aanvullende zoetspoelproeven hebben plaatsgevonden.

Benaming	Startdatum	Eindatum
ZS2019_1	16-01-2019	28-01-2019
ZS2019_2	12-02-2019	12-03-2019
ZS2019_3	14-03-2019	19-03-2019

Omdat gedurende deze periodes een ander regime op de Haringvlietsluizen is gehanteerd en er veelal sprake is van aanzienlijk hogere zoutconcentraties in de zoutvang en omliggende punten, worden deze periodes nagenoeg buiten beschouwing gelaten in de analyse van de visvriendelijk sluisbeheer proef.

### 2.1.2 Inzet en gebruik Zoutriolen

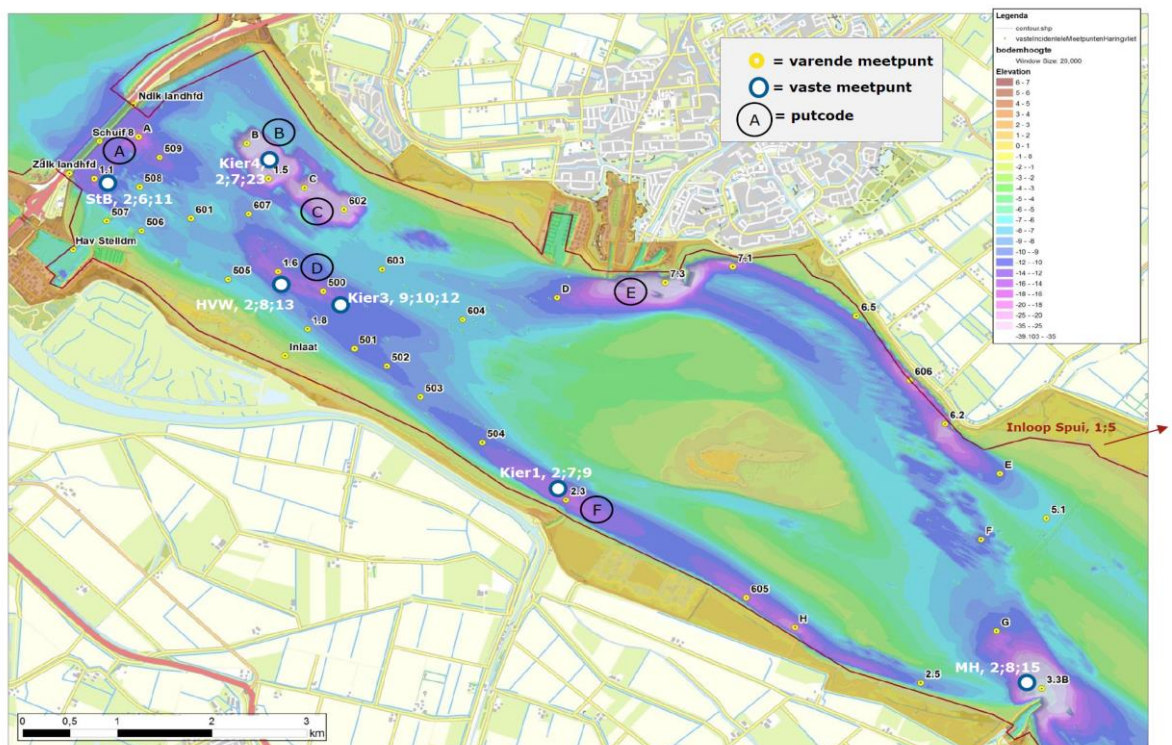
Om het binnengedrongen zout tegen te gaan zijn de (5) zoutriolen ingezet om bij eb water uit de diepere delen (-13m NAP) van de zoutvang af te voeren. De hefhoogte van deze riolen is flexibel, maar is (op een enkele getijperiode na) constant op 120 cm gehouden.

### 2.1.3 Inzet en gebruik vissluizen

De zoutriolen en vissluizen zijn gedurende iedere spuiperiode geopend. Tijdens het seizoen waarin de glasaal intrekt (1 maart t/m 1 juni) zijn de vissluizen ook tijdens hoogwater in bedrijf gesteld. Het is onbekend welk effect de inzet van vissluizen hebben op het zoutgehalte in het Haringvliet. Omdat er met relatief kleine openingen voor korte periodes zout water wordt binnengelaten, kan het zijn dat het zoutlek door de vissluis ook een relatief grote bijdrage levert. Dit is echter niet is beschouwing genomen in deze analyse. De meetgegevens geven echter geen indicatie dat het verschil in beheer vanaf 1 maart leidt tot een kwantificeerbaar andere verzilting van de zoutvang.

### 2.1.4 Inzet en gebruik scheepvaartsluis

Het is onbekend op welke wijze de scheepvaartsluis is gebruikt ten tijde van deze proef. Naar verwachting is de zoutlast relatief beperkt, omdat in de wintermaanden de sluis aanzienlijk minder wordt gebruikt dan in de zomermaanden wanneer er veel pleziervaart doorheen gaat. Omdat er met relatief kleine openingen voor korte periodes zout water wordt binnengelaten, kan het zijn dat het zoutlek door de scheepvaartsluis ook een relatief grote bijdrage levert.



Figuur 2.1 Overzichtsk kaart met locaties van de vaste meetpunten (Landelijk Meetnet en pontons), incidentele (varende) metingen (niet uitgevoerd als onderdeel van deze proef), en diepe putten.

## 2.2 Interessegebied

Het interessegebied ligt direct achter (rivierzijde) de Haringvlietsluizen en loopt tot meetpunten in putten B en D. Nadruk zal met name liggen op de dynamiek in put A (de zoutvang) en mogelijke signalering van zoutgehaltenes in putten B en D.

## 2.3 Meetlocaties en instrumenten

Voor de periode van de proef is informatie vergaard over:

- 1) Hefhoogtes (Haringvlietsluizen nr. 1-17)
- 2) Waterstanden (Hellevoetsluis, Moerdijk, Rak noord, Stellendam buiten, Haringvliet 10)
- 3) Rivierafvoeren (Lobith)
- 4) Windsterkte en -richting (Haringvlietsluizen)
- 5) Chlorideconcentraties (vaste meetpunten)
- 6) Stroomsnelheid, debiet en Chlorideconcentraties zoutriool (nr. 4)<sup>1</sup>

Chlorideconcentraties zijn bepaald vanuit meting van elektrische geleidendheid in combinatie met watertemperatuur. Een overzicht van de vaste meetlocaties voor chlorideconcentraties is gegeven in

Tabel 2.3, zie ook Figuur 2.1. De vaste meetdata zijn door Rijkswaterstaat gevalideerd en beschikbaar gesteld via DONAR.

Tabel 2.3 Overzicht meetlocaties chlorideconcentraties (vaste metingen)

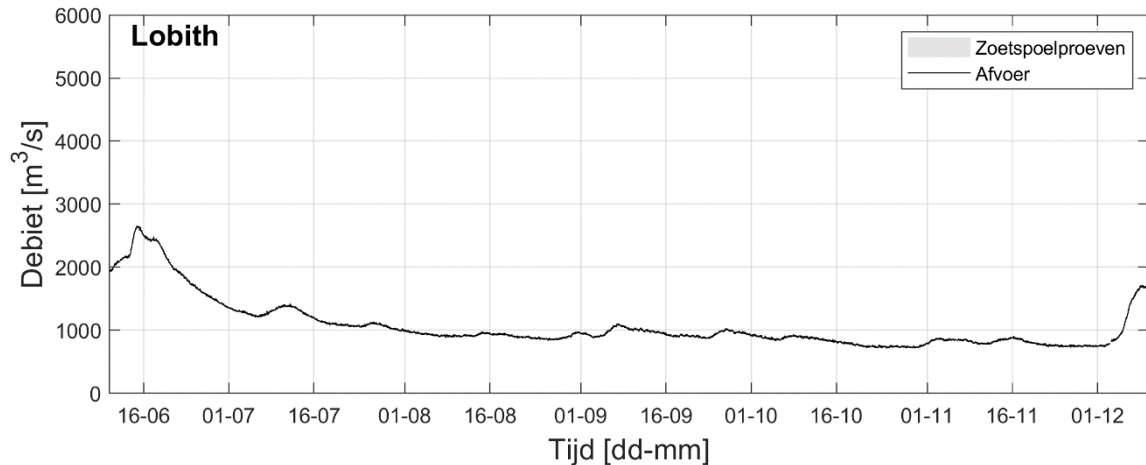
Locatiennaam	code in kaart	Positie RD		Dieptes sensoren (m)		
		X (m)	Y (m)			
Haringvliet West	HVW	64464	426510	-2	-8	-13
Inloop Spui		75618	422145	-1	-5	
Kier 1 ponton	Kier1	67724	423798	-2	-7	-9
Kier 3 ponton	Kier3	65176	426223	-9	-10	-12
Kier 4 ponton	Kier4	64600	427501	-2	-7	-23
Middelharnis Meetboei	MH	72525	421550	-2	-8	-15
Stellendam Binnen	StB	62822	427302	-2	-6	-11
Stellendam buiten meetboei		62259	427869	-2	-5	
Haringvliet 10		49862	431612	-2,5	-9	
Zuidland		78840	424680	-3		
Lobith ponton		203500	429750	-1		
Eijsden ponton		177000	310000	-1		

De nauwkeurigheid van meetapparatuur wordt op dit moment nog niet uitgebreid beschouwd in deze Kier-proef analyse. Daarbij moet echter worden aangemerkt dat vanuit RWS al wel is aangegeven dat er vraagtekens bestaan bij de nauwkeurigheid van de gemeten stroomsnelheden in het zoutriool. Daarmee wordt (waarschijnlijk) ook de schatting van het debiet en de zoutvracht door het zoutriool onzeker.

<sup>1</sup> Daarnaast zijn tijdens deze proef verschillende metingen uitgevoerd met betrekking tot vismigratie. Dit type metingen wordt in deze data-analyse buiten beschouwing gelaten.

## 2.4 Omstandigheden gedurende de proef

### 2.4.1 Initiële condities



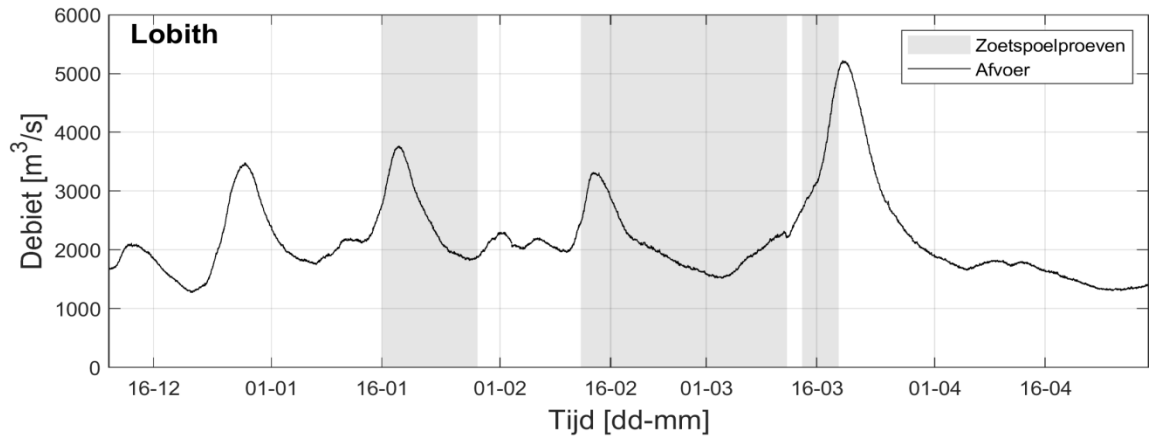
Figuur 2.2 Bovenrijnafvoer (Lobith) voorafgaand aan de proefperiode.

De zomer van 2018 was langdurig droog en sprake van lage tot zeer lage afvoeren. De Haringvlietsluizen zijn langdurig gesloten gebleven. Pas bij het begin van deze proef nam de afvoer toe zodat weer zeer beperkt werd gespuid via de Haringvlietsluizen. Als gevolg daarvan was bij aanvang van de proef sprake van redelijk zoute condities aan zeezijde van de kering.

De mate van verzilting van het Haringvliet zelf was beperkt. Tijdens het najaar zijn geen (significante) verziltingsincidenten voorgekomen, alhoewel (vanwege de lage afvoeren) het risico op achterwaartse verzilting wel aanwezig was. Vanwege de lage afvoer nam het zoutgehalte wat werd aangevoerd via de Rijn wel toe, tot ongeveer 150 mg/l. Voor een uitgebreidere beschrijving van de periode voorafgaand aan deze proef wordt verwezen naar "Data-analyse Kierproef Haringvliet NL2018\_0 Nalevering (15-7-2018 – 7-12-2018)" waarin specifiek deze periode wordt beschreven.

### 2.4.2 Afvoer Lobith

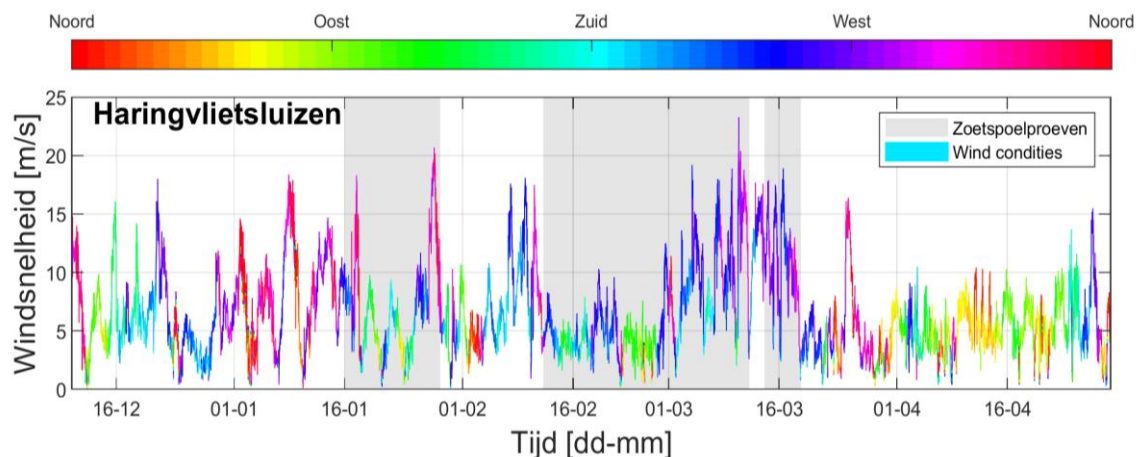
De bovenstroomse rivierafvoer laat verschillende pieken zien, die vaak samenvallen met het uitvoeren van zoetspoelproeven. In de huidige opzet vereisen deze namelijk een hoge (verwachte) afvoer, waarmee binnengedrongen zout weer terug kan worden gespuid. Voor de "Visvriendelijk sluisbeheer" proefperiode geldt dat het effect van zowel de zoetspoelproeven (met mogelijk als gevolg verzilting) als de afvoerpieken (met mogelijk als gevolg ontzilting) meegenomen moet worden, en beiden (of beter gezegd: de combinatie van beide) eigenlijk als breuk moeten worden gezien in de datareeksen van zoutgehalten in het Haringvliet.



Figuur 2.3 Bovenrijnafvoer (Lobith) tijdens de proefperiode. In grijs zijn de periodes waarin de zoetspoelproeven hebben plaatsgevonden gearceerd.

### 2.4.3 Windcondities

In Figuur 2.4 worden de windcondities ten tijde van de proef weergegeven. Te zien is dat er meerdere stormen plaatsvinden met windsnelheden van meer de 15 m/s (7 Bft of meer), waarbij de grootste windsnelheden hebben plaatsgevonden in de eerste helft van maart, aan het einde van de tweede zoetspoelproef (23 m/s of 9 Bft uit NW). Aansluitend is vanaf 1 april sprake van een langdurige periode met slechts lage windsnelheden (veelal lager dan 10m/s, 5 Bft)

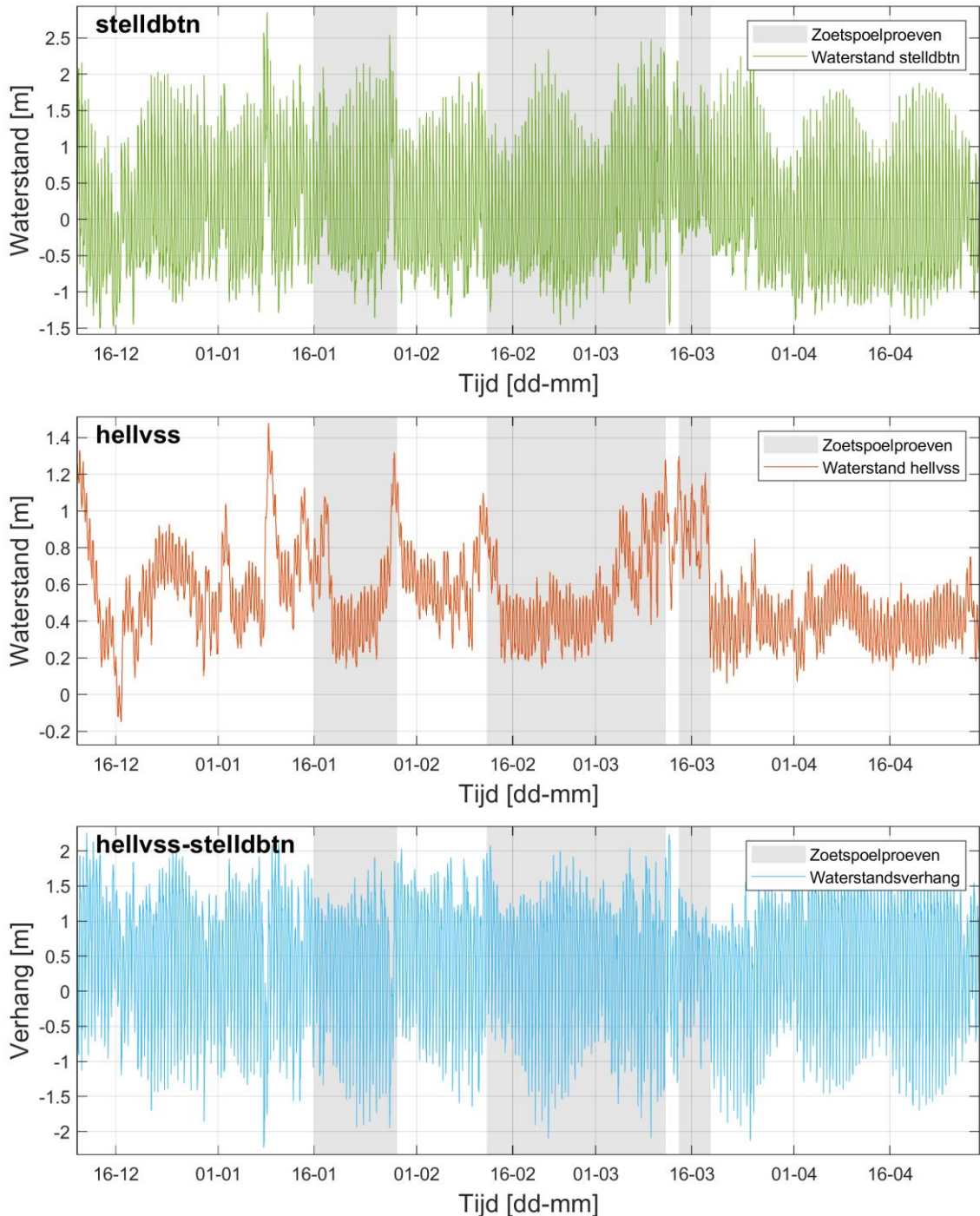


Figuur 2.4 Windcondities (snelheid, richting in kleur) bij meetlocatie Haringvliet tijdens de proefperiode.

### 2.4.4 Waterstanden

De waterstand aan zeezijde en rivierzijde van de Haringvlietsluizen is bepalend voor de hoeveelheid water die naar zee kan worden gespuid, als ook de hoeveel water die bij een bepaalde hefhoogte kan worden ingelaten. In Figuur 2.5 worden de waterstanden bij Stellendam Buiten en Hellevoetsluis, als ook het verhang tussen beide meetpunten weergegeven.

Voor de periodes zonder zoetspoelproeven valt met name de storm op die op 8 januari leidt tot verhoogde waterstanden op zee, en aansluitend tot een toename in de waterstand aan rivierzijde.

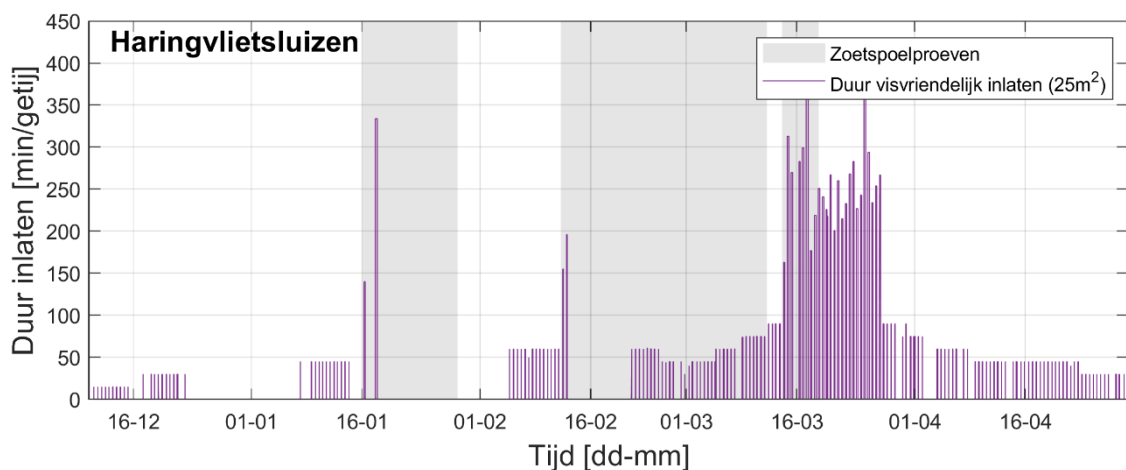


Figuur 2.5 Waterstand aan zeezijde (STELLDBTN, Stellendam Buiten) en rivierzijde (HELLVSS, Hellevoetsluis) van de Haringvlietsluizen samen met het (daaruit berekende) verhang over de kering.

#### 2.4.5 Beheer Haringvlietsluizen

De uitgangspositie hierbij is LPH'84, waarbij op basis van de verwachte Bovenrijnafvoer een bepaalde hefhoogte wordt gehanteerd tijdens eb, en water naar zee wordt gespuid. Tijdens deze proefperiode is daar op twee manieren vanaf geweken:

- Voor Visvriendelijk sluisbeheer is (met name in periodes met lagere afvoeren) een aangepast beheer toegepast waarbij direct na kentering tijdelijk een van de sluisen (beperkt, doorstroomoppervlak van 25 m<sup>2</sup>) heeft opengestaan. De duur waarover de kering heeft opengestaan is gevarieerd, omdat na een behouden en conservatief begin bleek dat de hoeveelheid ingekomen zout in de zoutvang goed te beheersen was.
- Tijdens de zoetspoelproeven is het visvriendelijk sluisbeheer onderbroken omdat bij de start van de zoetspoelproef water ingelaten om de putten direct achter de Haringvlietsluizen op te vullen met zout water. Dit is aansluitend getracht in de dagen er na weer uit te spoelen door (mogelijk) een verruiming van het spuibeheer volgens LPH'84.



*Figuur 2.6 Duur waarover de sluisen open hebben gestaan na kentering als onderdeel van de proef “visvriendelijk sluisbeheer”. Voor getijden met inlaatperiodes langer dan 90 minuten (tijdens en na zoetspoelproef 3) is er de volledige ‘vloedfase’ ingelaten (en daardoor is de duur variabel). De gemiddelde inlaatduur tijdens die periode was 256 minuten (4 uur en 16 min).*

*Uit Figuur 2.6 valt af te leiden dat er overlap is in de zoetspoelproef periodes en de periodes waarin visvriendelijk sluisbeheer is toegepast. Dit is specifiek het geval tijdens zoetspoelproef 2 (12 februari – 12 maart) en zoetspoelproef 3 (13 maart – 19 maart). Alhoewel er tijdens een zoetspoelproef alleen in de beginfase actief extra zout het Haringvliet is ingelaten, wordt de duur van een zoetspoelproefperiode gedefinieerd als periode tot de ingedrongen verzilting uit het merendeel van de diepe delen van het Haringvliet is verdwenen. Het effect van het visvriendelijk sluisbeheer zal gedurende deze perioden mogelijk minder goed te bepalen zijn, als gevolg van het samenvallen met de zoetspoelproef.*

De aangepaste sturingen als gevolg van Kierproeven Zoetspoelen en Visvriendelijk sluisbeheer zijn samen met de sturing als gevolg van LPH84 terug te zien in Appendix C.

#### 2.4.6 Debiet door de Haringvlietsluizen

De berekening van het debiet door de Haringvlietsluizen is afgeschat op basis van het verhang over de kering, het doorstroomoppervlak en een verliescoëfficiënt, zoals beschreven bij Zoetspoelproef 1 (Data-analyse Kierproef Haringvliet ZS2019\_1 Zoetspoelen (16-1-2019 – 28-1-2019)):

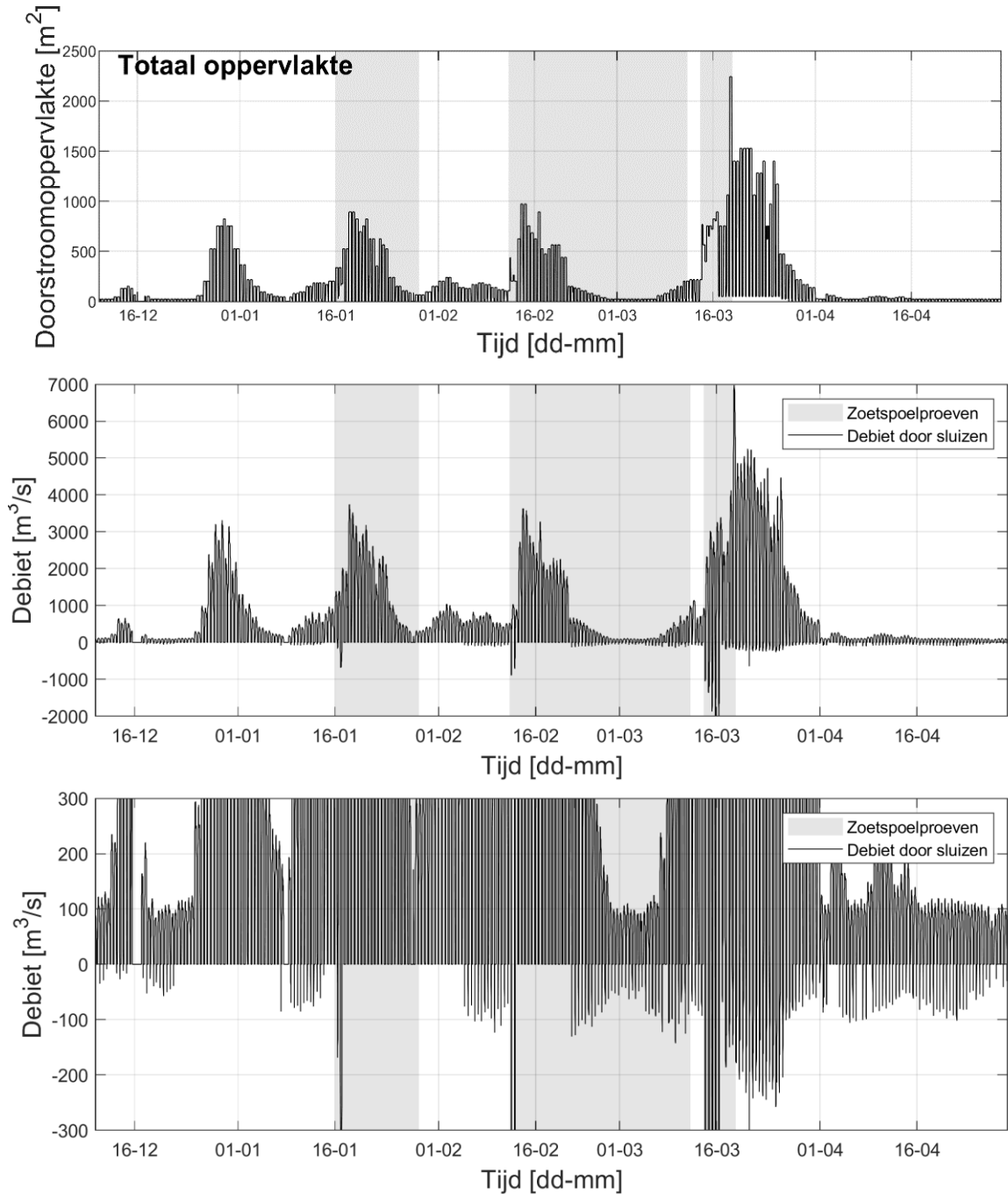
Gebruik makend van de totale doorstroomopening en het waterstandsverschil over de sluizen, is het debiet door de Haringvlietsluizen geschat met:

$Q = A \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$ , waarin:

Q	Debiet door de Haringvlietsluizen [m <sup>3</sup> /s],
A	Doorstroomoppervlak [m <sup>2</sup> ],
g	zwaartekrachtversnelling (9.81 [m <sup>2</sup> /s]),
$\Delta h$	Waterstandverschil over de sluizen [m], bepaald op basis van gemeten waterstanden te Hellevoetsluis en HA10.
$\mu$	afvoercoëfficiënt [-].

De afvoercoëfficiënt is bepaald door te zoeken naar de coëfficiënt die – voor een periode waarin veel gespuid is – de beste vergelijking gaf van geschatte debieten met door het SOBEK-RE model van de RijnMaasMonding berekende debieten. De beste resultaten werden gevonden voor een coëfficiënt  $\mu$  gelijk aan 0.8. De grootte van deze coëfficiënt is dus bepaald voor het spuien van de Haringvlietsluizen en vervolgens toegepast voor het schatten van het debiet tijdens Kieren.

De geschatte afvoeren door de Haringvlietsluizen tijdens de proef zijn weergegeven in Figuur 2.7. Daarbij is in het onderste paneel uitgelicht in welke mate zout water is ingelaten in de periodes van visvriendelijk sluisbeheer (oftewel buiten de zoetspoelproeven).



Figuur 2.7 Doorstroomoppervlakte en schatting van het debiet door de Haringvlietsluizen (boven) en ingezoomd op de inkomende debieten ten behoeve van visvriendelijk sluisbeheer. Inlaten van water vanuit zee naar het Haringvliet wordt hier weergegeven met negatieve waarden.

## 3 Resultaten

### 3.1 Zoutgehaltes over tijd

Tijdens deze proef wordt gericht gekeken naar de interactie tussen de zoutvang (put A) en het overlopen daarvan richting putten B en D. Aanvullende meetlocaties worden weergegeven in Appendix B. Hieronder volgen alleen de volgende meetlocaties:

Geografische locatie	Meetlocatie
Put A	Stellendam Binnen (STELLDBNN)
Put B	Kier 4
Put D	Haringvliet West (HARVWT)

De gemeten zoutgehaltes op verschillende dieptes zijn weergegeven in Figuur 3.1. Veelal is er slechts sprake is van een beperkte mate van verzilting van de zoutvang (STELLDBNN, -11m NAP) welke tijdens iedere eb-fase weer wordt uitgespoeld (in ieder geval tot de diepte van de onderste sensor). Echter, bijvoorbeeld eind december, in de aanloop naar de tweede zoetspoelproef, tijdens de tweede zoetspoelproef en vanaf 1 april is er zowel sprake van verhoogde maximale zoutgehaltes bij de ondersensor als ook van een continue verhoogd zoutgehalte op -11 m. Tijdens deze periodes worden slechts in beperkte mate verhoogde zoutgehaltes waargenomen op de sensor halverwege de waterdiepte (STELLDBNN, -6m NAP) waar slechts sporadische pieken zijn te zien.

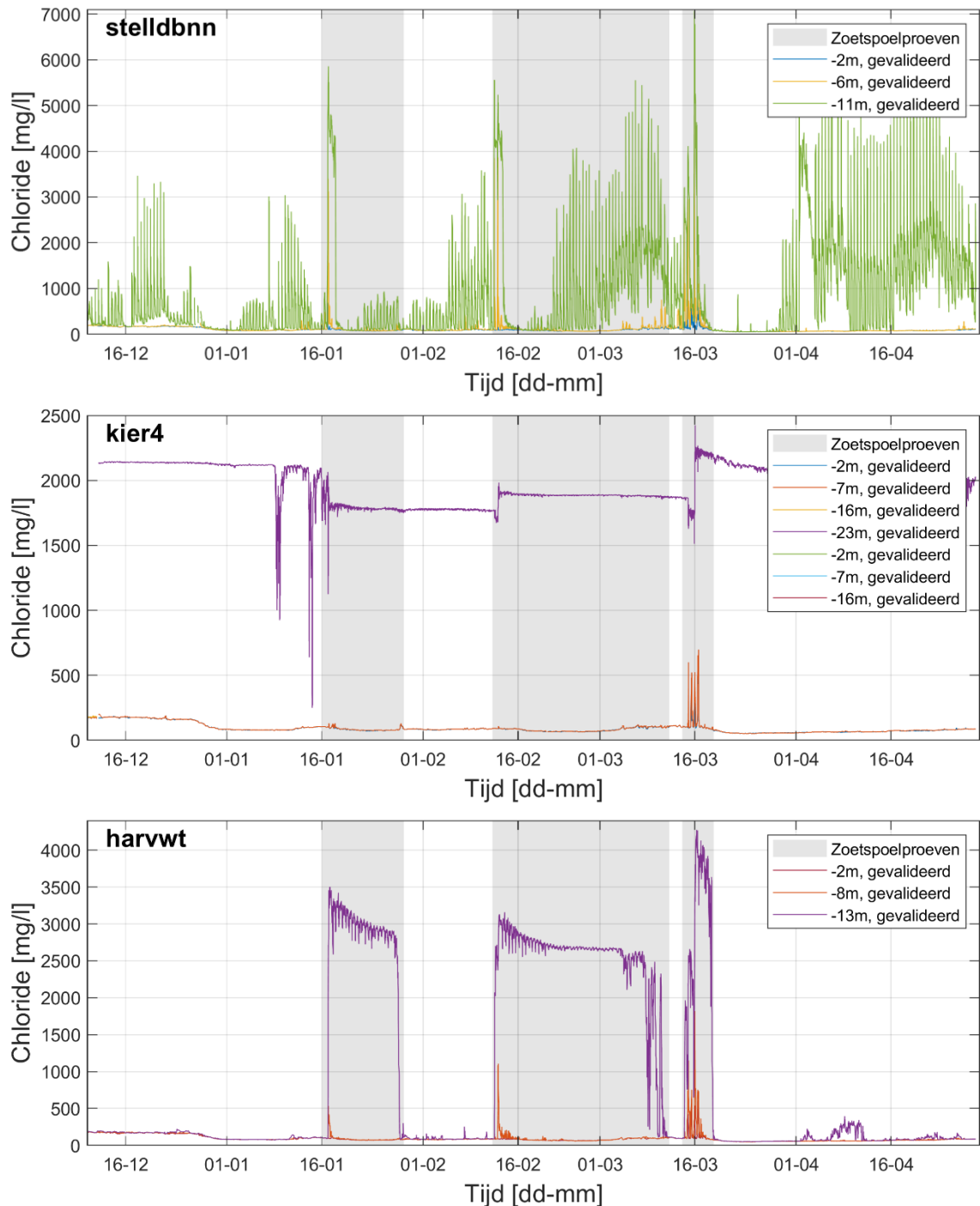
De tweede sensor ligt hoger dan de drempel naar de omliggende pieken (B en D). De minimale drempelhoogte ligt tussen 8 en 9 m (op basis van Baseline gegevens) voor de overgang naar beide putten. Een verhoogd zoutgehalte voor STELLDBNN op -6m valt waarschijnlijk samen met zout dat zich over de drempel naar putten B en D heeft verplaatst, al is het ook mogelijk dat de zoutvang al overloopt terwijl de sensor op -6 geen verhoogd zoutgehalte registreert.

De meetlocatie in put B (Kier 4) is in het begin van de proefperiode verplaatst, waardoor in de legenda van het middelste paneel in Figuur 3.1 verschillende meetdieptes zijn weergegeven die in de eigenlijke figuur (amper) te zien zijn. Voor de analyse van deze proef, zijn alleen meetdieptes -2m (blauw), -7m (rood) en -23m (paars) relevant.

De diepe sensor in put B (Kier 4, -23m) is over het algemeen sterker verzilt dan het zoutgehalte dat wordt gemeten in de zoutvang. Mocht zout zich vanuit de zoutvang (put A, STELLDBNN) naar put B verplaatsen, dan zal dit naar verwachting niet terug te zien zijn in het zoutgehalte bij de onderste sensor in put B en zal dit (minder) verzilte water zich boven op de zoute laag die al in deze put aanwezig is ophopen. De middelste sensor in put B bevindt zich op slechts -7 m, en deze laat veelal geen verhoging van het zoutgehalte zien. Tijdens Zoetspoelproef 3 (laatste grijze veld) is te zien dat dan wel sprake is van (tijdelijke) verzilting van de middelste sensor in put B. Voor nadere analyse van de effecten van visvriendelijk sluisbeheer wordt vanwege bovengenoemde redenen deze meetlocatie niet verder in beschouwing genomen.

Put D (HARVWT) laat buiten de zoetspoelperiodes kortstondig en beperkte verhogingen in het zoutgehalte op te treden ter hoogte van de onderste sensor (-13m). Met name na 1 april is er sprake van een beperkte mate van verzilting.

Tot slot laten alle meetlocaties aan het begin van de proefperiode nog een verhoogd zoutgehalte zien, dit is het gevolg van de droge zomerperiode waarbij water met een verhoogd zoutgehalte via de Rijn werd aangevoerd. Pas bij de eerste hoge rivierafvoer (eind december) wordt dit zout uitgespoeld.



**Figuur 3.1** Gemeten zoutgehalten op verschillende dieptes op de gespecificeerde meetlocaties. Door verschuiving van meetstations en sensordieptes zijn er in de legenda meer dieptes weergegeven dan gepresenteerd in het figuur. Voor deze periode zijn relevant: Kier4: -23m (paars), -7 (rood) en -2m (blauw)).

### **3.2 Zoutgehaltes langs transecten**

Er zijn geen aanvullende varende (transect) metingen uitgevoerd in het Haringvliet of in de Voordelta ten behoeve van deze proef.

*Tijdens de “visvriendelijk sluisbeheer”-proef zijn wel zoetspoelproeven uitgevoerd waarbij varende metingen hebben plaatsgevonden. Deze zijn met name van toepassing voor begrip van deze zoetspoelproeven, en worden daar behandeld. Helaas is voorafgaand aan ZS2019\_1 (Zoetspoelproef 1, 16-1-2019 – 28-1-2019) geen varende meting uitgevoerd, deze zou namelijk zeer inzichtelijk kunnen zijn in het kwantificeren van de mate van vulling van de zoutvang als gevolg van visvriendelijk sluisbeheer. Dit is aan de hand van de huidige metingen niet mogelijk.*

### **3.3 Snelheidsmetingen**

Er zijn geen aanvullende snelheidsmetingen uitgevoerd in het Haringvliet of in de Voordelta ten behoeve van deze proef.

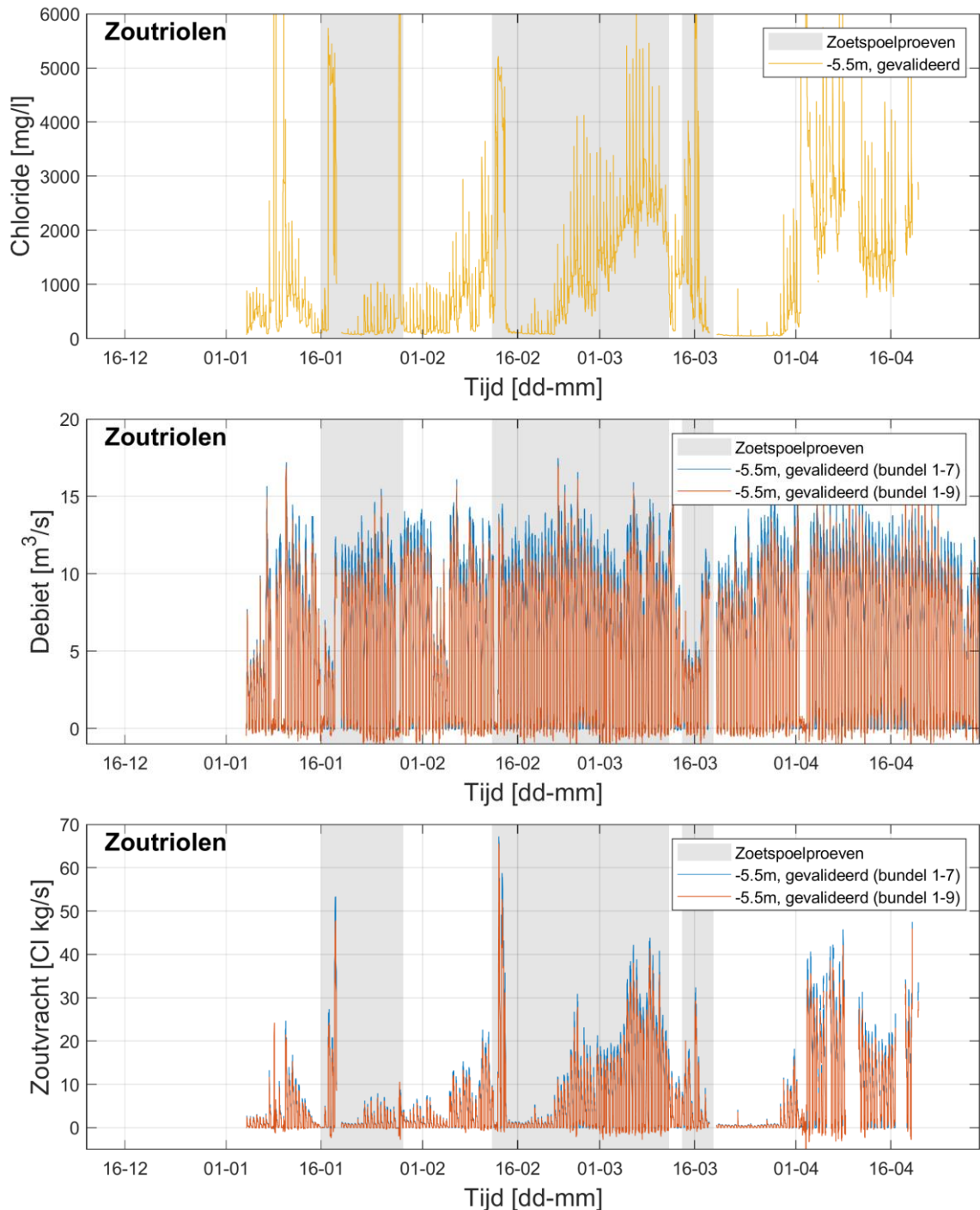
*Snelheidsmetingen in het zoutriool worden onder “zoutriool” behandeld.*

### **3.4 Metingen in het zoutriool**

Voor de periode vanaf 1 januari 2019 zijn ook gegevens beschikbaar van het zoutgehalte en de stroming door zoutriool 4. Deze is door RWS omgerekend naar een debiet. De combinatie van debiet en zoutgehalte is gebruikt voor het bepalen van de zoutvracht door dit zoutriool (Figuur 3.2). In totaal zijn er vijf zoutriolen in de Haringvlietsluizen aanwezig, drie aan de zuidelijke kant en twee aan de noordelijke kant. De totale debieten en zoutvrachten zijn mogelijk dus vijf keer zo groot als hier aangegeven.

Te zien is dat het gemeten zoutgehalte door het zoutriool zeer redelijk in overeenstemming is met het gemeten zoutgehalte in de zoutvang (put A, STELLDBNN -11m).

De gemeten stroomsnelheden verschillen voor de twee aangeleverde datareeksen (bundel 1-7 en bundel 1-9) maar laten een vergelijkbare trend zien. In het begin van januari en bij aanvang van de zoetspoelproeven (waarschijnlijk als zout wordt ingelaten) wordt geen water via de zoutriolen gespuid. Buiten deze beperkte periodes om is sprake van vrij continue (elke eb-fase) spuiroomsnelheden en debieten.



Figuur 3.2 Gemeten zoutgehalte (boven) en debiet (midden) door zoutriool 4, samen met de afgeleide zoutvracht (onder). Door de vorm van de zoutriolen is de meetdiepte (-5.5m) niet gelijk met de innamediepte. De onttrekkingsdiepte ligt op -13m).

### 3.5 Overige meetresultaten

Er zijn geen aanvullende metingen gedaan.

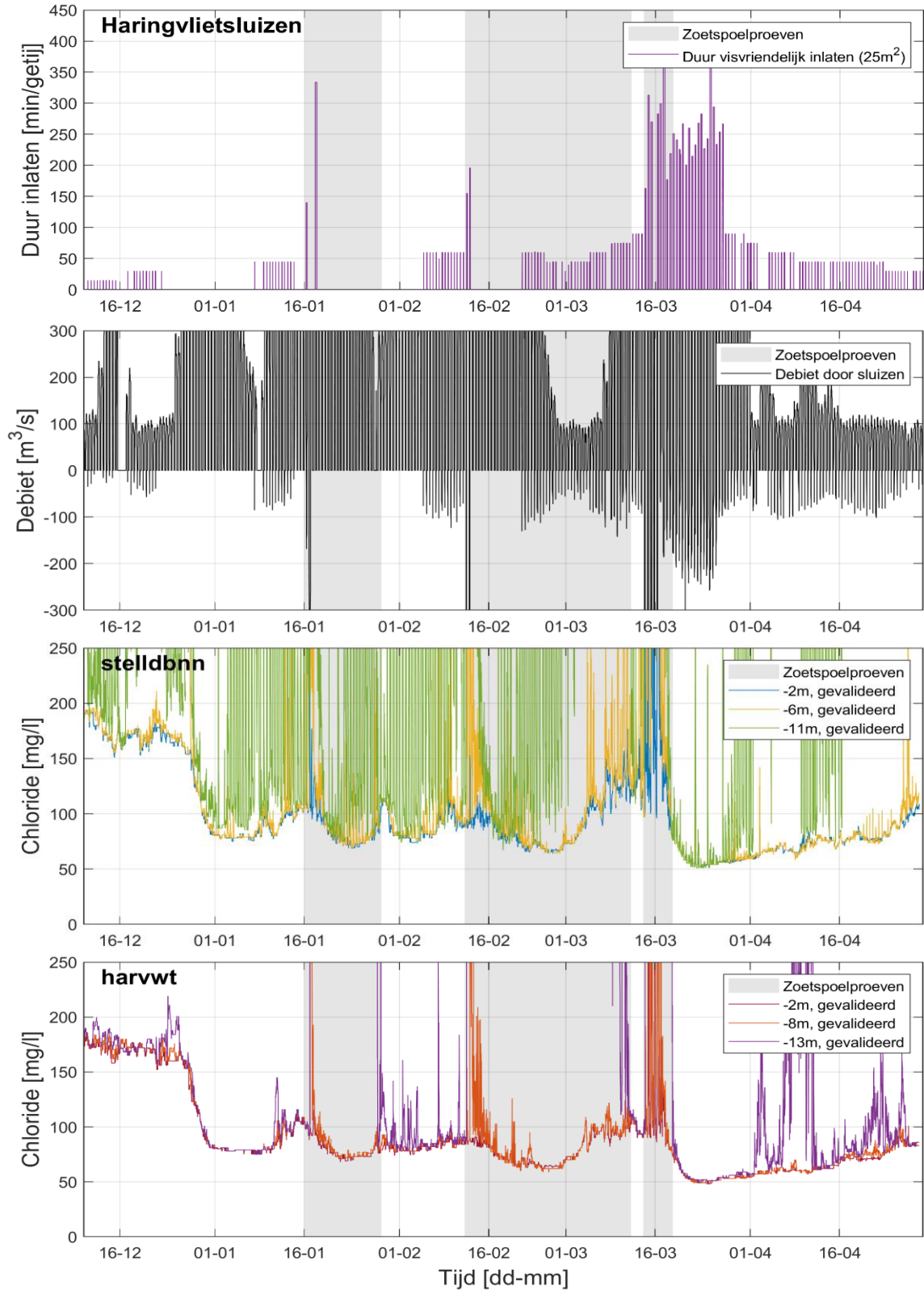
## 4 Analyse

### 4.1 Analyse van specifieke periodes en processen

In Figuur 4.1 is getracht de mate van verzilting voor de gehele periode te relateren aan het gehanteerde spuibeleid.. Daarbij zijn de metingen zoals gepresenteerd in Hoofdstuk 3, opnieuw weergegeven, maar is de nadruk gelegd op de lagere zoutgehaltenes, om zo mogelijke veranderingen als gevolg van het overlopen van de zoutvang (put A, STELLDBNN) te inventariseren. Meetlocatie Kier 4 is daarbij niet meer opgenomen omdat daar al in Hoofdstuk 3 van was geconstateerd dat deze meetdata geen indicatie gaven van verzilting als gevolg van visvriendelijk sluisbeheer.

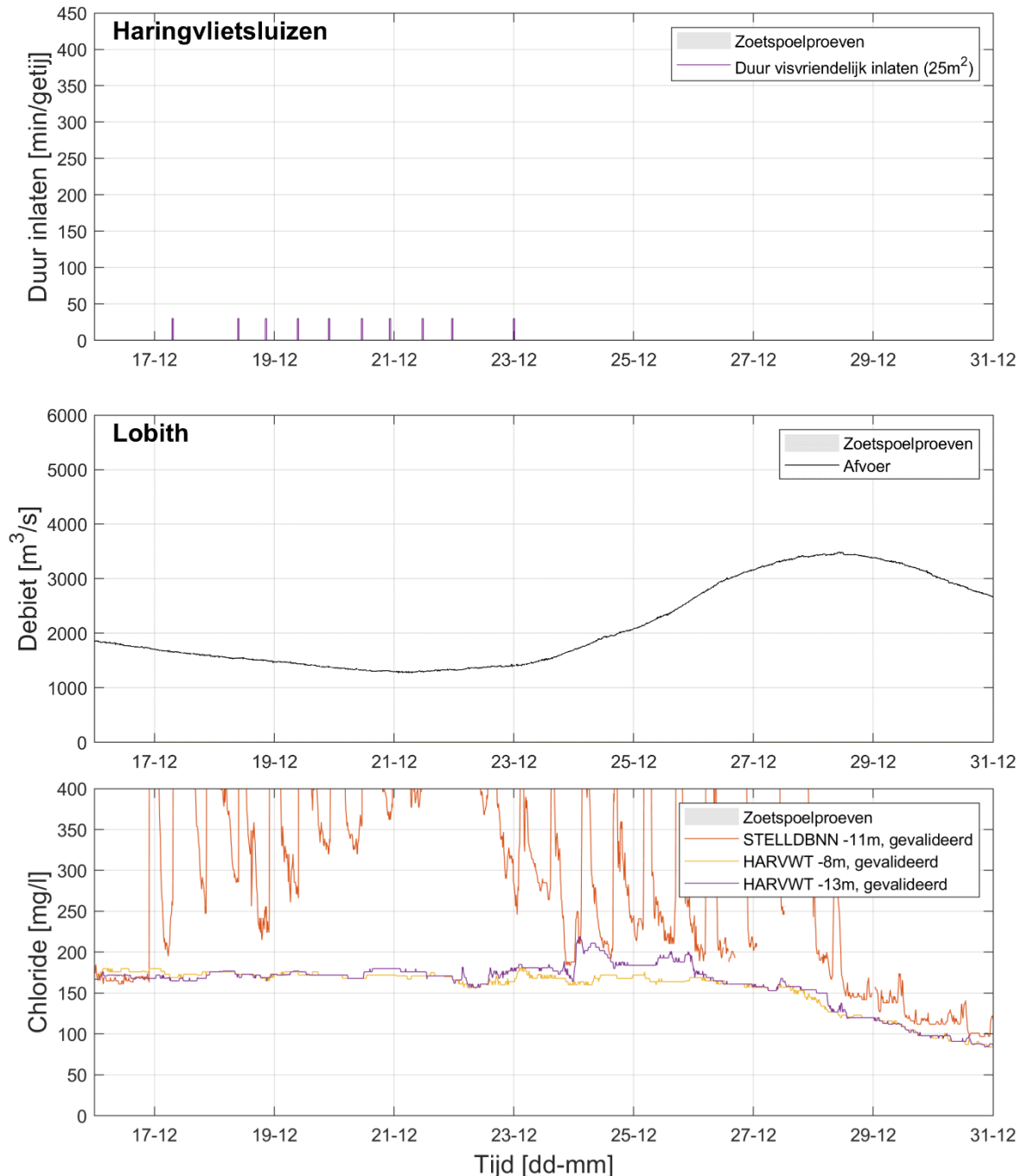
Een verhoging in het zoutgehalte bij Put D (HARVWT) is gedurende periodes waarin visvriendelijk sluisbeheer wordt gehanteerd daarmee mogelijk de enige indicatie van het overlopen van de zoutvang. Daarbij moet echter nog wel onderscheid worden gemaakt in een verhoging ten tijde van zoetspoelproeven, welke het gevolg is van het initiële Kieren (wat hier buiten beschouwing wordt gelaten). Gedurende de proefperiode kunnen daarmee een viertal incidenten worden aangewezen waar de zoutvang mogelijk overloopt en waarbij dit mogelijk het gevolg zijn van visvriendelijk sluisbeheer:

#	Van	Tot	Toelichting
1	24-12-2018	25-12-2018	Tweede keer visvriendelijk sluisbeheer. Periode valt samen met lage rivierafvoer.
2	11-01-2019	11-01-2019	Derde keer visvriendelijk sluisbeheer. Kortdurige verzilting valt samen met stormperiode en nalevering.
3	29-01-2019	12-02-2019	In eerste instantie geen visvriendelijk sluisbeheer, verzilting mogelijk gevolg van zoetspoelproef
4	02-04-2019	28-04-2019	Aanzienlijke duur visvriendelijk sluisbeheer, nadat hoge afvoer de zoutvang heeft zoetgespoeld.



Figuur 4.1 Zoutgehalte in de zoutvang (Put A, STELLDBNN) en Put C (HARVWT) in combinatie met de duur van het visvriendelijk sluitbeheer en de berekende in- en uitgelaten debieten tijdens periodes als gevolg van regulier sluisbeheer, zoetspoelen en visvriendelijk sluisbeheer.

4.1.1 Periode 1 (24-12-218 – 25-12-2018): Tweede keer visvriendelijk sluisbeheer



Figuur 4.2 (boven) Inlaatduur Visvriendelijk sluisbeheer samen met (midden) de afvoer bij Lobith en (onder) het zoutgehalte onder in de zoutvang (Put A, STELLDBNN -11m) en in put D (HARVWT -13m en -8m), ter indicatie van mogelijk overlopen van de zoutvang richting put D voor de periode 16-12-2018 – 31-12-2018.

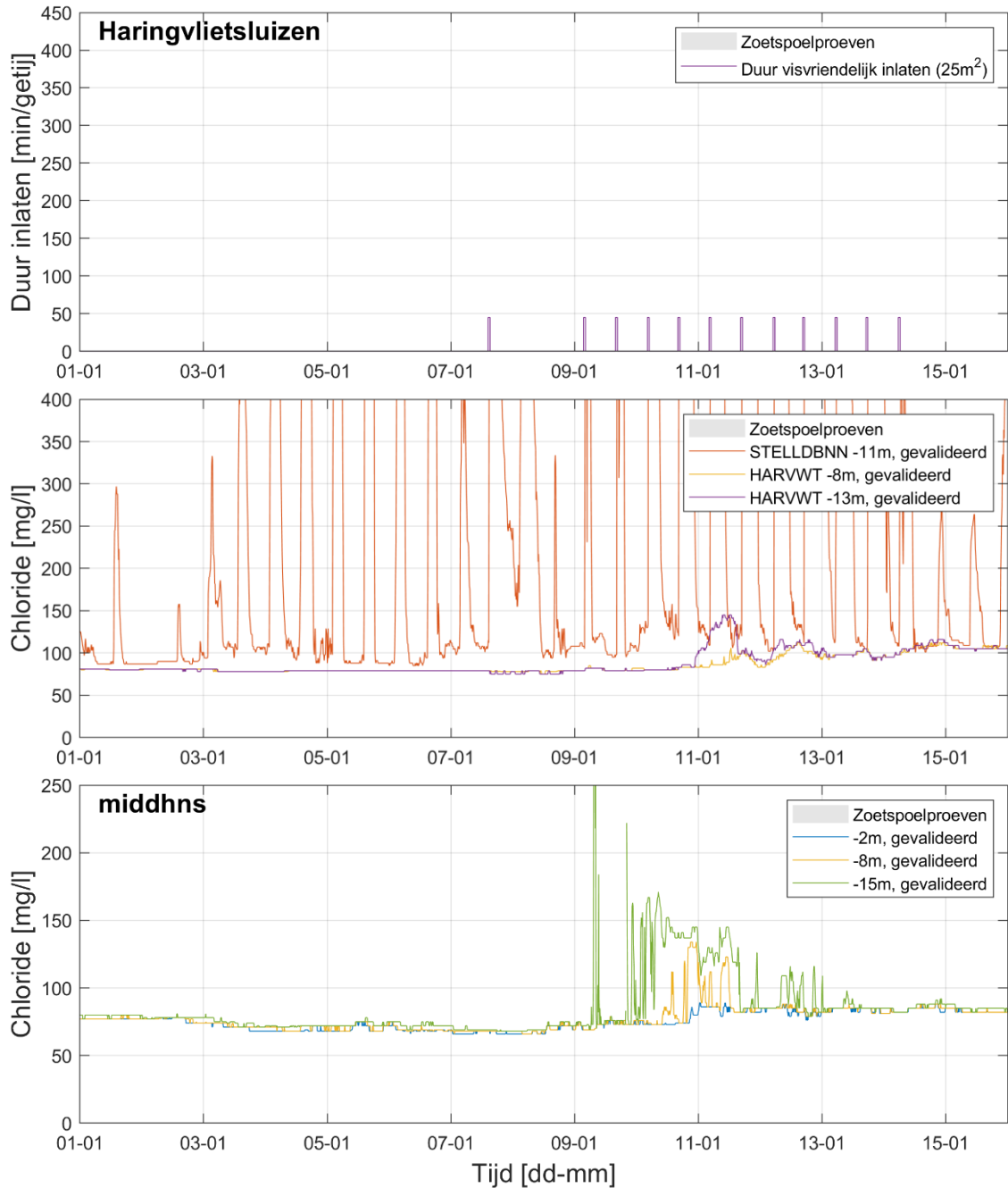
Tijdens de eerste periode waarin visvriendelijk sluisbeheer wordt toegepast, wordt slechts kortstondig na kentering een sluis (nr 17) opgelaten (15 min). Tijdens deze periode is nog geen sprake van een toename in zoutgehalte bij put D (HARVWT) en is naar verwachting de zoutvang niet overgelopen. In deze periode wordt tijdens iedere eb/spuifase de zoutvang (minimaal) tot een diepte van de onderste sensor zoetgespoeld. Op 17 december wordt

opnieuw gestart met visvriendelijk sluisbeheer en de inlaatperiode opgerekt tot 30 min. Rond 24 december is er dan kortstondig sprake van een lichte verhoging in het zoutgehalte in put D (HARVWT, -13m). Dit zou mogelijk het gevolg kunnen zijn van het overstromen van de zoutvang.

Alhoewel de inlaatduur beperkt blijft, is er ook sprake van een relatief lage rivierafvoer waardoor er bij eb slechts beperkt wordt gespuid. Hierdoor kan minder verzilt water uit de zoutvang worden gespoeld via de spuisluizen (via de zoutriolen wordt nog wel zout water afgevoerd). Hierdoor neemt het minimale zoutgehalte over het getij in de zoutvang toe en is er sprake van “permanente” verzilting van de ondersensor in de zoutvang in de periode van 17 tot 23 december. Na 23 december is er weer sprake van bij eb ontzilte zoutvang en wordt ook niet meer visvriendelijk sluisbeheer toegepast. De lichte verhoging in het zoutgehalte bij put D (op 24 december) is aan de hand van deze metingen niet direct te relateren aan gemeten zoutgehalten in de zoutvang en het mogelijk overlopen daarvan.

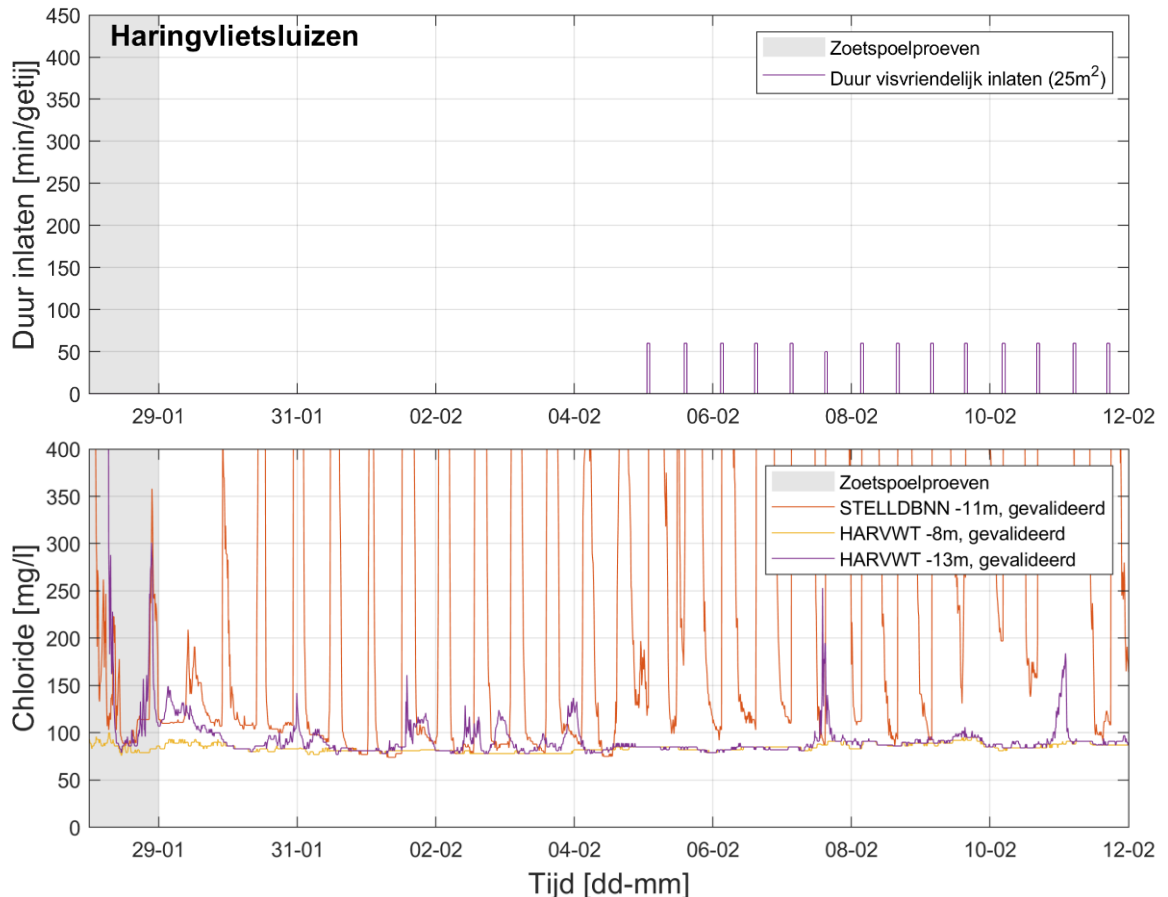
#### 4.1.2 Periode 2 (11-01-2019): Derde keer visvriendelijk sluisbeheer

Een kleine afvoerpiek (zie Figuur 2.3) in de laatste week van december (2018) leidt in eerste instantie tot een afname van het zoutgehalte (bij alle meetstations). Hier is sprake van het uitspoelen van de verhoogde achtergrondswaarde als gevolg van de langdurige periode met lage afvoer in de zomer en het najaar van 2018 (wanneer er van nature sprake is van hogere zoutgehalten). Pas als in de eerst helft van januari opnieuw wordt begonnen met visvriendelijk sluisbeheer, neemt het zoutgehalte in de zoutvang (put A, STELLNDBNN, -11m) toe, waarna ook een lichte stijging is waar te nemen bij put D (HARVWT). Hier is sprake van een toename voor alle (weergegeven) dieptelagen, en dit is waarschijnlijk het gevolg van een storm die langs de kust trekt (zie Figuur 2.4) en waarbij als gevolg van stormopzet sprake is van achterwaartse verzilting (zie Appendix B, ZUIDLD in het Spui). Deze achterwaartse verzilting leidt tot verhoogde zoutgehalten in het Haringvliet, met verziltingspiek die ook (in beperkte mate) terug is te vinden bij Middelharnis (MIDDHNS). Mogelijk is een enkele kortstondige een beperkte piek bij HARVWT (-11m, Put D) tot bijna 150 mg/l (11 januari) wel het gevolg van overlopen van de zoutvang (put A, STELLDBNN, en ook te zien bij KIER3 (zie Appendix B)), maar de piek is aan de lage kant en zou ook door andere factoren veroorzaakt kunnen worden.



Figuur 4.3 (boven) Inlaatduur Visvriendelijk sluisbeheer samen met (midden) het zoutgehalte onder in de zoutvang (Put A, STELLDBNN -11m) en in put D (HARVWT -13m en -8m) voor de periode 01-01-2019 – 16-01-2019. (onder) Zoutgehalte bij Middelharnis (MIDDHNS).

4.1.3 Periode 3 (29-01-2019 – 04-02-2019): Verzilting aansluitend op zoetspoelproef



Figuur 4.4 (boven) Inlaatduur Visvriendelijk sluisbeheer samen met (onder) het zoutgehalte onder in de zoutvang (Put A, STELLDBNN -11m) en in put D (HARVWT -13m en -8m) voor de periode 28-01-2019 – 12-02-2019.

In de periode van 29 januari tot 4 februari is sprake van periodieke verzilting bij zowel de ondersensor in de zoutvang (STELLDBNN, -11m) als in put D (HARVWT, -13m). Deze periode volgt direct op de eerste zoetspoelproef en tijdens deze periode wordt geen visvriendelijk sluisbeheer toegepast, waardoor kan dit niet de verklaring zijn van de verhoogde zoutgehaltes. De verzilting van de zoutvang kan het gevolg zijn van andere zoutlekkages, welke iedere eb-fase weer naar zee toe kan worden gespuid (de afvoer bij Lobith is rond de 2000 m<sup>3</sup>/s).

Op 4 februari wordt visvriendelijk sluisbeheer hervat met een openingsduur van 60 minuten. Te zien is dat in de aanloop daar naar toe al sprake is van een verhoogd zoutgehalte in de onderlaag van de zoutvang (STELLDBNN) (zie Figuur 3.1), welke nog verder toeneemt wanneer opnieuw wordt begonnen met visvriendelijk sluisbeheer. Het is daarom mogelijk dat in de tweede helft van deze periode (in de aanloop naar Zoetspoelproef 2) wel sprake is van het overlopen van de zoutvang en het over de drempel stromen van verzilt water richting put D (HARVWT). Op 7 en 11 februari is er daarna kortstondig sprake van een verhoogd zoutgehalte bij HARVWT (-13m). Op 7 februari valt dit samen met een moment waarop de zoutvang juist is ontzilt (ter hoogte van de ondersensor) en lijkt er geen sprake te zijn van een overlopende zoutvang. Op 11 februari is er sprake van permanente verzilting van de ondersensor in de

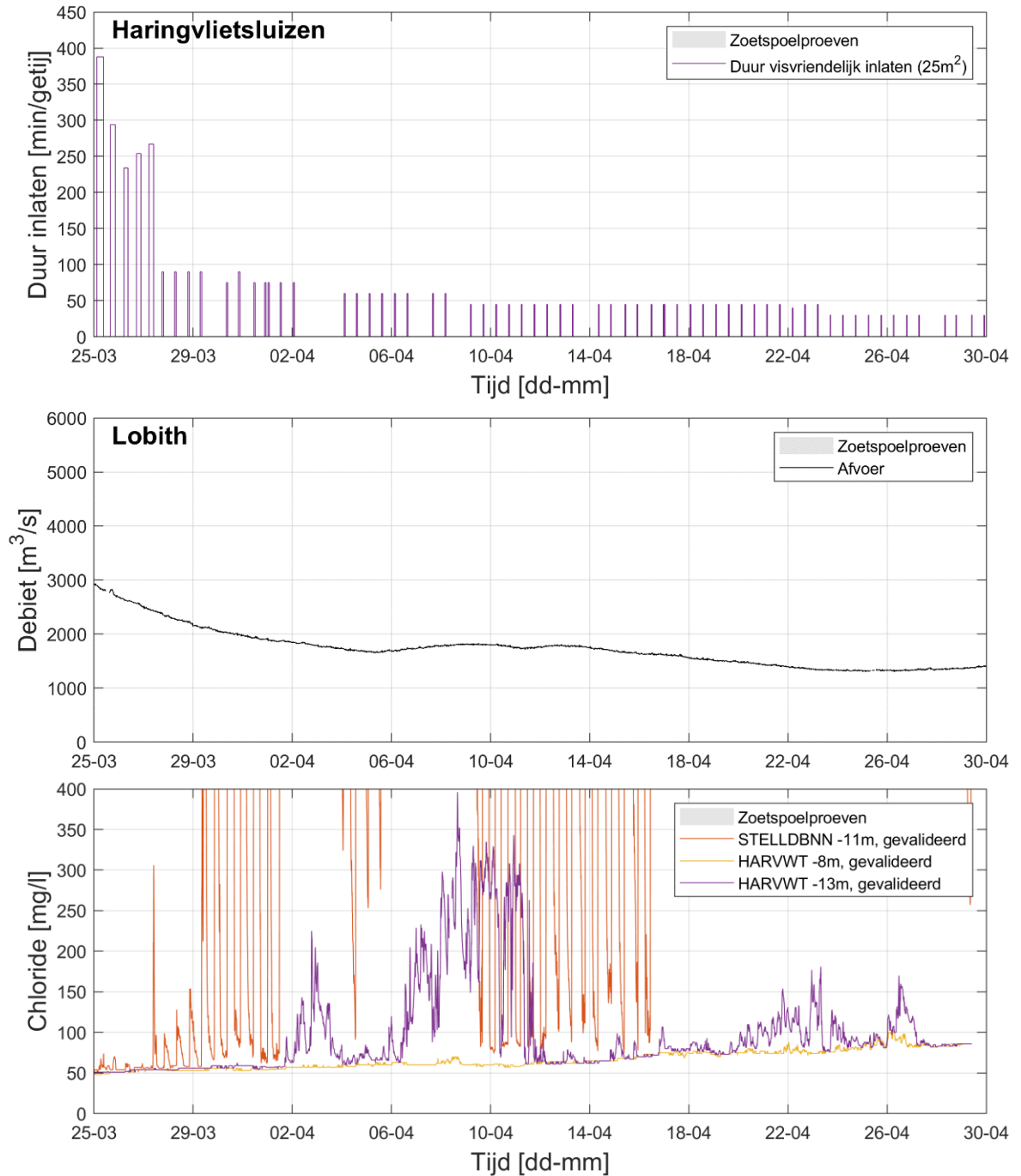
zoutvang (STELLDBNN, -11m) en zou mogelijk zout over de drempel naar put D zijn gestroomd. De mate van verhoging is echter beperkt (100 mg/l) en van zeer korte duur.

- 4.1.4 Periode 4 (02-04-2019 – 28-04-2019): Toenemende verzilting na zoetspoelen  
Aan het einde van zoetspoelproef 3 is sprake van een piek in de rivierafvoer (Figuur 2.3) en wordt nagenoeg al het zoute water in het Haringvliet (met uitzondering van de diepste delen van put B, Kier 4, meetpunt op -23m NAP) zoetgespoeld. Aansluitend treedt een geleidelijk toename in het zoutgehalte op voor alle meetlocaties (ongeacht de diepte) welke waarschijnlijk gerelateerd kan worden aan een toename in het bovenstroomse zoutgehalte wat via de Rijn wordt aangevoerd. Daarbovenop is echter voor put D (HARVWT) te zien dat op -13m sprake is van aanzienlijke verzilting (vanaf 1 april). Dit valt samen met verhoogde zoutconcentraties in de zoutvang (Put A, STELLDBNN) waarbij de onderste sensor niet ieder eb- (spui-) fase weer ontzilt wordt. Hier lijkt dus sprake van het overstromen van de zoutvang richting put D.

In eerste instantie lijkt het overlopen van de zoutvang op te treden rond 2-3 april, waarna kort wordt gestopt met visvriendelijk sluisbeheer en het zoutgehalte in de zoutvang en in put D kortstondig afnemen. Als daarna weer met visvriendelijk sluisbeheer wordt begonnen neemt eerst het minimale zoutgehalte bij de ondersensor van de zoutvang toe (indicatief van het niet meer zoetspoelen tijdens eb) waarna (vanaf 6 april) verhoogde zoutgehaltenes worden waargenomen in put D (HARVWT, -13m). De rivierafvoer is in die periode laag, waardoor relatief weinig zout water bij eb wordt afgevoerd.

Bij een lichte stijging in de rivierafvoer rond 10 april, kan tijdelijk meer worden gespuid via de Haringvlietssluisen (onduidelijk is of dit conform LPH'84 is gebeurd) en wordt de duur van het visvriendelijk sluisbeheer ingekort van 60 min naar 45 min. Hierdoor neemt het zoutgehalte bij de ondersensoren in de zoutvang en in put D af. Vanaf 12 april is put D ontzilt (tot de ondersensor) en wordt de zoutvang elke eb-fase ook nagenoeg zoet.

Als daarna de rivierafvoer weer verder afneemt, raakt de zoutvang vanaf 17 april permanent verzilt en wordt ook incidenteel verzilting waargenomen in put D. Het verder afbouwen van de duur van visvriendelijk sluisbeheer tot 30 min leidt na enkele dagen tot ontzilting van put D en een afname van de mate van verzilting in de zoutvang (ondersensor). Aan het einde van de proefperiode is de zoutvang nog wel permanent verzilt, maar is er geen sprake meer van verzilting in put D.



Figuur 4.5 (boven) Inlaatduur Visvriendelijk sluisbeheer samen met (midden) de afvoer bij Lobith en (onder) het zoutgehalte onder in de zoutvang (Put A, STELLDBNN -11m) en in put D (HARVWT -13m en -8m), ter indicatie van mogelijk overlopen van de zoutvang richting put D voor de periode 25-03-2019 – 30-04-2019.

#### 4.2 Analyse toegespitst op de onderzoeksvragen

<b>Onderzoeksvraag 1</b>	Bij welke inlaatduur of inlaatopening (tijdens vloed) van een enkele sluis, zal het zout zich voorbij de zoutvang (put A, direct achter de Haringvlietsluizen) verplaatsen?
Hypothese	Bij te langdurige en/of te grote inlaatopeningen zal put A eerst vollopen met zout, en daarna zal het zout zich verder verspreiden richting putten B en/of D. Naar verwachting zal een enkele opening waarschijnlijk wel 15 tot 25 minuten open kunnen blijven voordat de zoutvang gaat overlopen.

Al tijdens de proefperiode werd door RWS geconcludeerd dat de verwachte inlaatduur opgerekt kon worden omdat er geen verzilting voorbij de zoutvang werd waargenomen. Aansluitend is de openingsperiode dan ook opgerekt. De mate waarin visvriendelijk kan worden ingelaten is afhankelijk van een aantal factoren. De belangrijkste daarbij zijn naar verwachting de inzet van zoutriolen en de mate waarin tijdens eb gespuid kan worden via de Haringvlietsluizen, wat afhankelijk is van de afvoer (Rijn), het verhang en het gehanteerde sluisbeheer. Beide maatregelen leiden tot een afname van verzilting in de zoutvang, waardoor daar minder tot geen sprake is van ophoping van zout welke na verloop van tijd (en inlaatperiodes) over de drempel richting andere delen van het Haringvliet kan stromen.

De zoutriolen zijn continue maximaal<sup>2</sup> ingezet. Samen met dat er ook nagenoeg iedere eb-fase is gespuid, kan de effectiviteit van beide maatregelen niet los van elkaar worden gezien. De rivierafvoer heeft tijdens de proef gevarieerd van 1300 m<sup>3</sup>/s tot meer dan 5000 m<sup>3</sup>/s.

In Tabel 4.1 wordt voor verschillende duren waarop visvriendelijk sluisbeheer is toegepast bekeken in hoeverre er sprake is geweest van verzilting en wat in deze situatie de afvoer bij Lobith is geweest.

Permanente verzilting, waarbij over de volledige getijperiode (dus ook tijdens en na spuien) sprake is van verzilting, van de ondersensor in de zoutvang lijkt redelijk goed samen te vallen met momenten waarop zout de ondersensor van put D bereikt. Voor visvriendelijk sluisbeheer geldt vermoedelijk dat de hoeveelheid inkomend zout water tijdens een enkele getijperiode veelal niet de zoutvang zal vullen (afhankelijk van de inlaatduur, het verval, de hefhoogte, etc.), maar dat er sprake is van een cumulatief effect waarbij tijdens eb/spuien de zoutvang zich over enkele getijperiodes niet volledig leegt en er tijdens periodes van visvriendelijk sluisbeheer geleidelijke ophoping van verzilt water plaatsvindt, welke na verloop van tijd over de drempel stroomt richting (onder andere) put D.

De huidige proefperiode geeft nog geen direct uitsluitsel of deze relatie tussen permanente verzilting van de ondersensor in de zoutvang samen valt met overlopen van de zoutvang, omdat de ondersensor bij HARVWT (put D) slechts een bij benadering kan gelden als bewijs voor overlopen van de zoutvang. Daarnaast geldt dat niet voor iedere periode de verzilting bij HARVWT kan worden verklaard door overlopen van de zoutvang. Zo is er sprake van geleidelijke ontzilting van put D in de periode 8 – 11 maart, terwijl er wel de zoutvang wel permanent is verzilt (zie Tabel 4.1).

<sup>2</sup> Deze stand is de maximale stand zoals die tot nu toe wordt gehanteerd. In de toekomst kan deze mogelijk verder worden opgerekt.

Daarnaast valt op basis van de onderstaande tabel voor bepaalde inlaatperiode een eerste indicatieve grens aan te geven qua rivierafvoer en daarmee spuidebiet, waarbij de zoutvang niet over lijkt te lopen. Voor verscheidene inlaatvensters kan deze grens niet hard worden gesteld, omdat er slechts beperkt aantal combinaties van afvoeren en inlaatvensters is opgetreden. Maar bijvoorbeeld voor een inlaatperiode van 45 min kan deze grens rond 1700 m<sup>3</sup>/s worden gelegd: Bij een (minimale) afvoer onder 1700 m<sup>3</sup>/s is er sprake van permanente verzilting in de zoutvang en raakt ook put D verzilt. Bij afvoeren hoger dan 1700 m<sup>3</sup>/s lijkt echter juist genoeg te worden gespuid om permanente verzilting van de zoutvang tegen te gaan, en tredt er geen (aanvullende) verzilting van put D op.

Voor een inlaatduur van 60 minuten neemt deze minimale afvoer toe tot ergens tussen 1800 en 2000, terwijl bij een inlaatduur van 75 minuten of meer de duur van de proef erg beperkt wordt (en er dus minder sprake kan zijn van een over meerdere getijperiodes opvullende zoutvang) terwijl het aantal proefperiodes (en afvoeren) beperkt is. Wel lijkt er een bovengrens met betrekking tot de afvoer te zijn waarbij ongeacht de duur van het visvriendelijk sluisbeheer het zout uit zowel de zoutvang als put D wordt gespoeld, aangezien aan het einde van Zoetspoelproef 3 een afvoerpiek van meer dan 5000 m<sup>3</sup>/s leidt tot ontzilting van beide putten.

*Tabel 4.1 Indicatief overzicht van duur visvriendelijk sluisbeheer, Lobith afvoer en mate van verzilting. \*) Verzilting als gevolg van andere factoren dan door visvriendelijk sluisbeheer. \*\*) Duur is variabel (gemiddeld 4:16 uur).*

Datum start	Datum eind	Duur Visvriendelijk sluisbeheer [min]	Afvoer Lobith (min) [m <sup>3</sup> /s]	Afvoer Lobith (max) [m <sup>3</sup> /s]	Zoutvang permanent verzilt?	Verzilting Put D
10-12-2018	14-12-2018	15	1700	2100	Nee	Nee
23-4-2019	30-4-2019	30	1300	1400	Ja (neemt af)	Ja (neemt af)
17-12-2018	21-12-2018	30	1300	2000	Ja (beperkt)	Ja (kort)
16-4-2019	22-4-2019	45	1400	1600	Ja	Ja
25-2-2019	4-3-2019	45	1500	1800	Ja	Ja*
8-4-2019	16-4-2019	45	1700	1800	Nee	Ja (neemt af)
7-1-2019	14-1-2019	45	1800	2200	Nee	Ja*
4-3-2019	7-3-2019	60	1500	1900	Ja	Ja
3-4-2019	8-4-2019	60	1700	1800	Ja	Ja
21-2-2019	24-2-2019	60	1800	2000	Nee	Ja*
4-2-2019	11-2-2019	60	2000	2300	Ja (kort)	Ja (kort)
30-3-2019	1-4-2019	75	1900	2000	Nee	Nee
8-3-2019	11-3-2019	75	1900	2200	Ja	Ja* (neemt af)
27-3-2019	29-3-2019	90	2000	2500	Nee	Nee
11-3-2019	13-3-2019	90	2200	2700	Nee	Nee
13-3-2019	26-3-2019	256	2500	5200	Ja*	Ja*

Dit indicatieve overzicht is slechts een eerste stap om de grenzen voor visvriendelijk sluisbeheer te kunnen kwantificeren. Aanvullende proeven moeten dit schema verder aanvullen en substantie geven. Daarnaast is voorlopig nog slechts zeer binair gekeken naar de verzilting in put D. Omdat het systeem relatief traag reageert op afvoeren en zoutlasten, moet

bij bepaling van verzilting en ontzilting van het Haringvliet voorbij de zoutvang meegenomen worden wat er in de aanloop naar verschillende periodes heeft plaatsgevonden.

<b>Onderzoeksvraag 2</b>	In hoeverre kunnen omgevingsfactoren (hier alleen: wind) invloed hebben op het overlopen van de zoutvang (put A)?
Hypothese	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Door harde wind kan scheefstand van de overgang tussen een zoete bovenlaag en een zoute onderlaag in put A ontstaan, waardoor zout water over de rand kan stromen richting andere delen van het Haringvliet.</li> <li>- Harde wind kan leiden tot verticale opmenging ter hoogte van de zoutvang (put A), waarna dit verzilte water zich als gevolg van wind gedreven stroming horizontaal kan verspreiden.</li> <li>- Mogelijke andere factoren die invloed hebben op de verspreiding van zout uit put A.</li> </ul>

Om scheefstand van een spronglaag te bepalen zijn verschillende meetlocaties nodig in dezelfde put en is ook een hoge verticale resolutie noodzakelijk. Aan de hand van de huidige meetgegevens is het niet mogelijk gebleken scheefstand van een spronglaag waar te nemen.

In Figuur 4.6 worden windcondities naast gemeten zoutgehalten in de zoutvang en put D (HARVWT) weergegeven. Te zien is dat de ondiepe sensoren in de zoutvang (-6m NAP) slechts zeer sporadisch een verhoogd zoutgehalte weergeeft en dat dit niet langer dan een getijfase duurt. Een meer geleidelijke en beperkte verhoging in het zoutgehalte voor zowel de -6m en de -2m sensoren valt wel samen met de storm die 8 januari overkwam, terwijl een aansluitende toename in verzilting samen valt met de daaraan gekoppelde achterwaartse verzilting.

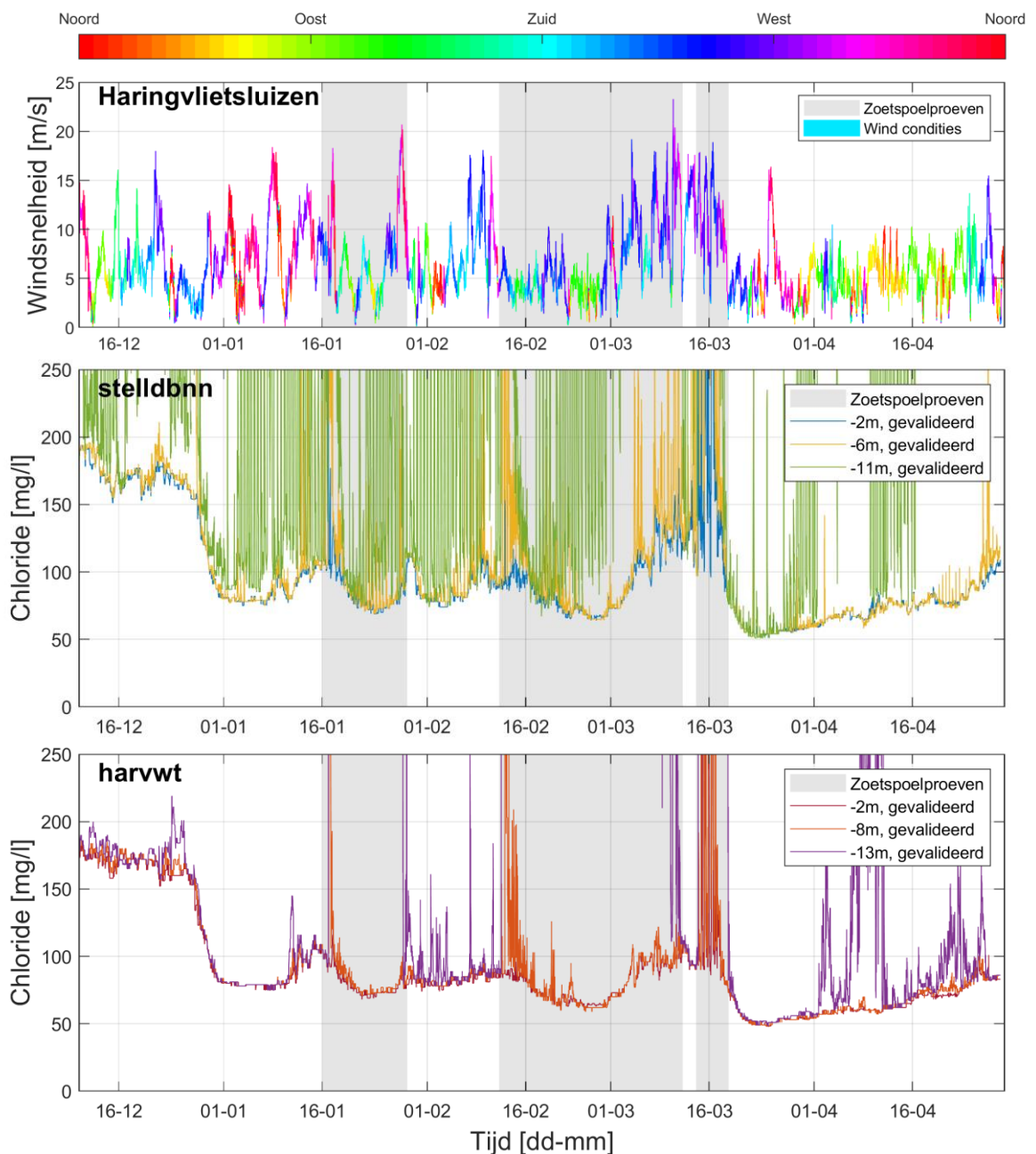
Een vergelijkbare (beperkte) toename in het zoutgehalte van de bovenste sensoren lijkt plaats te vinden tijdens de drie windpieken voorafgaand aan zoetspoelproef 2, terwijl dit niet het geval is bij een vergelijkbare windpiek begin maart (aansluitend op zoetspoelproef 3). Tijdens deze laatste storm is daarnaast ook sprake van een slechts sporadisch verzilte onderlaag (STELLDBNN, -11m).

De grootste windpiek vindt plaats aan het einde van de eerste zoetspoelproef (28 januari) echter op dat moment is net zowel put D als de zoutvang zoetgespoeld.

Het lijkt er op dat verticale opmenging van de zoutvang als gevolg van wind alleen leidt tot verhoogde zoutgehalten in de hogere delen van de waterkolom als er als gevolg van visvriendelijk sluisbeheer sprake is van een aanzienlijk verzilte onderlaag. Hierbij is het mogelijk zo dat de spronglaag tussen de verzilte onderlaag en de zoete bovenlaag al een behoorlijk eind boven de bodem is gestegen. Dit laatste is echter niet hard te maken aan de hand van de huidige meetgegevens.

Het effect van wind op het horizontaal verspreiden van zout uit de zoutvang richting put D lijkt niet te zijn opgetreden tijdens deze proefperiode of samen te vallen met andere processen (overlopen zoutvang) die een vergelijkbaar resultaat hebben. In het voorjaar 2018 is dit wel waargenomen, maar dit viel toen samen met een sterke oostenwind, waardoor een circulair stromingspatroon ontstond (aan het oppervlakte naar het westen, terwijl aan de bodem het water naar het oosten bewoog) waardoor zout zich via de onderlaag richting het oostelijk deel van het Haringvliet verspreide. Tijdens deze proefperiode hebben zich niet zulke windcondities

voorgedaan (op een eerste piek rond 16 december na, toen er nog amper sprake was van verzilting van het Haringvliet). Recente indruk omtrend dit proces bij RWS is dat de windsnelheid minder cruciaal is, maar dat er sprake moet zijn van een substantieel aantal uren achtereen met ZO-wind om zout naar het oosten toe te verplaatsen. Dit laatste is mogelijk gebeurd in de periode na 1 april, maar in die periode is naar verwachting ook sprake geweest van het overlopen van de zoutvang zelf, en kan de verzilting in put D dus niet (direct en alleen) gerelateerd worden aan de windrichting. Daarnaast is de enige andere verhoging in het zoutgehalte bij put D als (indirect) gevolg van wind komt door nalevering wanneer het opgestuwde zoute water via de noordrand (Spui) het Haringvliet inkomt.



Figuur 4.6 Relatie tussen windcondities en zoutgehaltes in de zoutvang (put A, STELLDBNN) en put D (HARVWT)

<b>Onderzoeksvraag 3</b>	Hoe ontwikkelt zich het zoutgehalte in de zoutvang (put A) als gevolg van de inzet van zoutriolen, het spuien van zoet water via de spuisluizen, en het cumulatieve effect van meerdere opeenvolgende vloed-periodes “Visvriendelijk Sluisbeheer”.
Hypothese	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bij beperkte inname van zout water via de Haringvlietsluizen, zal zich dit gaan ophopen in de put direct achter de Haringvlietsluizen (Put A).</li> <li>- Door de inzet van zoutriolen zal het opgehoopte zout uit put A naar zee worden gespoeld.</li> <li>- Bij hoge afvoeren (Lobith) zal genoeg water via de spuisluizen worden afgevoerd, om zout uit de diepere delen van put A mee naar zee te sleuren tijdens spuiperiodes.</li> <li>- Doordat mogelijk minder wordt afgevoerd dan wordt ingelaten, kan er sprake zijn van geleidelijke ophoping van zout in de zoutvang, welke na verloop van tijd kan gaan overlopen.</li> </ul>

Dit onderdeel is verder uitgewerkt als onderdeel van onderzoeksvraag 1. Aanvullend wordt het vaststellen van een relatie tussen afvoer en ophoping/uitspoelen van zout uit de zoutvang (put A, STELLDBNN) voor deze periode bemoeilijkt doordat bij hogere afvoeren aanvullende proeven zijn uitgevoerd waarbij extra zout water is ingelaten. Een tweede punt die de analyse bemoeilijkt is het ontbreken van een zoutsensor onder de drempelhoogte van de zoutvang. Doordat de midden-sensor (-6m) boven de drempelhoogte ligt, kan er geen duidelijke indicatie van vollopen of leeglopen van de zoutvang worden bepaald.

Het effect van zoutriolen kan niet direct worden onderzocht. Deze zijn continue gebruikt, waardoor er geen vergelijking gemaakt kan worden. Het effect kan (misschien ten dele) bepaald worden als het effect van het eigenlijk spuien daarvan verdisconteerd kan worden. Voor de huidige meetreeks is het echter niet mogelijk om het effect van spuien op visvriendelijk sluisbeheer te bepalen doordat periodes met significant spuien samenvallen met zoetspoelproeven (zie ook alinea hierboven).

#### 4.3 Balansen en fluxen

##### 4.3.1 Schatting van watervolume en chloridevracht door de kering

Dit is niet ten behoeve van deze proef uitgevoerd. De inkomende zoutvracht is enigszins te schatten op basis van de afgeschatte debieten en gemeten zoutgehalten aan zeezijde van de kering. De uitgaande debieten zijn ook af te schatten, maar de mate van verzilting is niet goed bekend. Bij deze berekening zijn daarom veel onzekerheden, welke door het ontbreken van varende metingen niet kunnen worden vergeleken met andere methodes om de zoutvracht te bepalen, zo kan er ook geen schatting van de zouthoeveelheid in het Haringvliet worden bepaald (paragraaf 4.3.2).

##### 4.3.2 Schatting van de chloridehoeveelheid in de diepe putten van het Haringvliet

De vaste metingen bieden te weinig verticale resolutie om dit af te kunnen schatten. Daarnaast zijn er geen varende metingen uitgevoerd ten behoeve van deze proef. De varende metingen die zijn uitgevoerd, hebben plaatsgevonden nadat extra zout water was ingelaten ten behoeve van de eerste en derde zoetspoelproef en bieden daarom geen inzicht in de mate van verzilting als gevolg van visvriendelijk sluisbeheer.

#### 4.3.3 Volume verzilt water in de zoutvang

- Voor deze proef is het bijzonder relevant in welke mate de zoutvang volloopt. Daarvoor is het zoutgehalte en de zoutvracht minder indicatief, omdat eigenlijk het volume wat zich ophoopt in de put bepaald moet worden. Dit is deels gerelateerd aan het inkomende debiet, maar ook aan de menging in het Haringvliet (hierdoor neemt het volume verzilt water naar verwachting verder toe, en vult de zoutvang dus sneller op).
- Daarnaast is zeer bepalend hoeveel verzilt water er bij iedere spuiperiode wordt uitgespoeld. Dit laatste is niet gelijk aan het eigenlijke gespuide volume (welke veelal vele malen groter is dan het ingekomen volume), maar ook afhankelijk van de effectiviteit waarmee het uitgaande water de zoute onderlaag kan opmengen. Dit laatste is aan de hand van de huidige metingen (geen gegevens van uitgaande zoutgehaltenes en alleen schattingen van de debieten door de kering) niet te bepalen.
- Tot slot is een manier om deze berekende waarde te toetsen ook noodzakelijk. Het huidige meetnet is daarvoor ongeschikt: Het overlopen van de put wordt pas gemeten als het zout bij de ondersensor in een volgende put komt. Hiervoor is een zoutsensor onder de drempelhoogte in de zoutvang een eerste vereiste.

## 5 Discussie

### 5.1 Evaluatie methodiek

Over het algemeen kan redelijk worden afgeschat in hoeverre visvriendelijk sluisbeheer leidt tot het overlopen van de zoutvang en verplaatsing van de verzilting naar overige delen van het Haringvliet (specifiek put D). Het is echter nog niet mogelijk gebleken om harde grenzen te kwantificeren waarbinnen dit kan worden toegepast.

Doordat visvriendelijk sluisbeheer wordt toegepast in de periodes waarin geen andere (zoetspoel) proeven worden uitgevoerd, lopen verzilting en ontzilting van beide proeven ten dele door elkaar en kunnen niet alle effecten direct worden afgeleid omdat deze (ten dele) worden beïnvloed door de parallel lopende aanvullende proeven. Als specifiek meer kennis gewenst is over de visvriendelijk sluisbeheer, kan het noodzakelijk zijn om andere proeven niet uit te voeren tijdens specifieke periodes en condities.

### 5.2 Evaluatie meetgegevens

Voor zowel de zoutvang (put A) als voor put B gold dat de zoutmetingen niet allen even indicatief waren.

De middelste sensor in de zoutvang (put A, STELLDBNN) zat op een diepte (-6m NAP) die hoger lag dan de omliggende drempels, waardoor zout eerder naar een volgende put liep dan dat het deze sensor bereikte. Een evaluatie van het vollopen (en aansluitend overlopen) van de zoutvang (en daarnaast van de ontzilting) is daardoor alleen gebaseerd op een onderste sensor die niet indicatief is voor de mate van vulling (of leeglopen) van de zoutvang.

De diepste sensor in put B (-23m NAP) was permanent verzilt met een hoger zoutgehalte dan kon worden verwacht om de put te bereiken bij visvriendelijk sluisbeheer, terwijl de middelste sensor zo hoog zat dat deze geen toename van verzilting als gevolg van overlopen van de zoutvang heeft geregistreerd.

Uit een eerdere rapportage (20190130 Rapportage Visvriendelijk Spuisluisbeheer 1 v4) is gebleken dat het meetpunt aan de zeezijde van de Haringvlietssluisen ook meegenomen moet worden om een indicatie te hebben van het ingelaten zoutgehalte. Dit is nog niet meegenomen omdat de gemeten zoutgehalten in aan zeezijde van de kering ten tijde van de inlaatperiodes van het visvriendelijk sluisbeheer een vergelijkbaar patroon laten zien (sterke fluctuatie over het getij, maar vergelijkbare piekwaardes). Dit is in de huidige analyse daarom buiten beschouwing gelaten. Mocht in de toekomst opnieuw visvriendelijk sluisbeheer worden getoetst, dan moet dan wel opnieuw gecontroleerd worden in hoeverre het zoutgehalte aan zeezijde invloed heeft op de dynamiek in de Haringvliet zelf.

De gegevens in de zoutriolen zijn nog niet uitgebreid meegenomen in de analyse. De zoutmetingen in zoutriool 4 komen echter zeer redelijk overeen met die van de onderste sensor van de zoutvang (put A, STELLDBNN). Dit is natuurlijk prettig, omdat hiermee wat meer vertrouwen is verkregen dat de sensor in de zoutvang ook daadwerkelijk de zoute onderlaag meet. Voor RWS bood dit daarnaast het inzicht dat de zoutriolen inderdaad het water dat zich onderin de zoutvang bevindt effectief onttrekken en geen andere zoetere waterlagen meetrekken, ook niet bij grotere doorstroomdebieten.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

De doelstelling voor deze visvriendelijk sluisbeheer-proef was in de breedste zin om inzicht te krijgen in de mate van verzilting van de zoutvang en de beheersbaarheid daarvan als gevolg van het na kentering langer openhouden van een van de spuisluizen. Deze proef biedt duidelijke inzichten in de mate waarin dit met beperkt risico kan worden uitgevoerd. Hieronder worden deze kort behandeld.

Uit de analyse van de meetgegevens ten tijde van de proef met visvriendelijk sluisbeheer (VK2018\_1) blijkt dat voor verschillende afvoeren (en spuimogelijkheden) verschillende inlaatvensters gehanteerd kunnen worden zonder dat dit zal leiden tot verhoogde zoutconcentraties voorbij de zoutvang. Bijvoorbeeld, bij een afvoer bij Lobith van minimaal 1700 m<sup>3</sup>/s zal een inlaatduur van 45 min waarschijnlijk niet te leiden tot het overstromen van de zoutvang. Daarbij moet wel worden aangemerkt dat de inzet van de zoutriolen en het spuien van (verzilt) water via de spuisluizen cruciaal is in het beheersbaar houden van de hoeveelheid zout in het Haringvliet. Ook geldt dat het aantal getoetste condities (afvoer en inlaatduur) beperkt is.

Een indicatie van de mate waarin de zoutvang opgevuld raakt en daarmee dreigt over te lopen lijkt redelijk goed overeen te komen met de mate waarin de ondersensor in de zoutvang tijdens eb/spuien zoetgespoeld kan worden. Wanneer de ondersensor niet permanent verzilt, blijkt dat tijdens vloedperiodes de verzilting zich beperkt tot de zoutvang zelf en zich niet verder verspreid.

Bij langduriger visvriendelijk sluisbeheer bestaat het risico op overstromen over de drempel, maar dit lijkt ook afhankelijk van de duur (aantal getijperiodes) waarover dit is toegepast in combinatie met het spuiregime (en daarmee de Bovenrijnafvoer). Wanneer deze inlaatvensters slechts kortstondig worden toegepast (of bij hoge afvoeren), zal het risico op overlopen van de zoutvang en verzilting van omliggende gebieden gering blijven.

Hoge rivierafvoeren lijken daarnaast effectief in het terugdringen en uitspoelen van zout uit de uit de zoutvang, en dat zelfs de diepere delen ontzilt kunnen worden. De tijdens deze proef opgetreden rivierafvoeren in combinatie met verziltingscondities zijn echter te beperkt om nu al een harde grens te kunnen definiëren vanaf welke afvoer het zout uit de put wordt gespoeld. Wel kan worden gesteld dat bij een afvoerpiek van 3500 m<sup>3</sup>/s (eind december 2018) verzilting tot 1000mg/l is uitgespoeld uit de zoutvang, terwijl bij een afvoerpiek van 5000 m<sup>3</sup>/s (halverwege maart 2019) zoutgehaltenes tot 7000 mg/l worden teruggedrongen door de gecombineerde inzet van de spuisluizen en zoutriolen. Bij deze hoge afvoerpiek werd daarnaast de verzilting in de overige delen van het Haringvliet teruggedrongen.

Harde wind leidt daarnaast soms tot verticale opmenging van de zoutvang waarbij zout ook in de hogere delen van de waterkolom wordt geregistreerd. Daarbij is het waarschijnlijk het geval dat dit alleen optreedt als de verzilte onderlaag een aanzienlijke dikte heeft, en de overgang tussen zoet en zout water relatief hoog in de waterkolom is. Daarnaast is niet waargenomen dat dit opgemengde verzilte water zich ook horizontaal heeft verspreid. De toename in zoutgehalte in de hogere delen van de zoutvang is beperkt gebleven, en slechts zeer beperkt waargenomen. Mogelijk is door de beperkte ruimtelijke spreiding van sensoren rondom de zoutvang de potentiële horizontale verspreiding niet geregistreerd.

Daarnaast is het niet mogelijk gebleken om aan de hand van de huidige proef (metingen en opzet) de effectiviteit van de zoutriolen en het spuien te onderscheiden.

De huidige analyse is gestopt op 30 april, terwijl daarna is doorgedaan met visvriendelijk sluisbeheer. De aansluitende periode is waardevol om ook in beschouwing te nemen om de langdurige effecten van visvriendelijk sluisbeheer te onderzoeken. De langere periode biedt een groter aantal opgetreden omstandigheden, terwijl er na 30 april geen andere proeven meer zijn uitgevoerd.

#### 6.1.1 Mate van beantwoording onderzoeksvragen en aanpassing hypothesen

Hieronder wordt kort een overzicht gegeven van de mate waarin de proef en de aansluitende data-analyse inzicht heeft kunnen bieden ter beantwoording van de kennisvragen. Daarnaast worden de hypothesen behorende bij de onderzoeksvragen aangescherpt op basis van de kennis en resultaten die voortvloeien uit de hierboven beschreven proef. In *italics* zijn aanvullingen aangegeven, terwijl originele tekst die komt te vervallen is ~~doorgestreept~~.

<b>Onderzoeksvraag 1</b>	Bij welke inlaatduur of inlaatopening (tijdens vloed) van een enkele sluis, zal het zout zich voorbij de zoutvang (put A, direct achter de Haringvlietsluizen) verplaatsen?
Mate van beantwoording	De conclusie dat de duur waarover visvriendelijk sluisbeheer kan worden toegepast zonder hoge risico's op verzilting van omliggende gebieden afhankelijk is van de afvoer is deels gekwantificeerd. Alhoewel de relatie tussen debiet en duur van visvriendelijk sluisbeheer verder uitgebouwd moet worden lijkt de voorlopige conclusie redelijk betrouwbaar en vertrouwenwekkend.
Aangepaste hypothese	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bij te langdurige en/of te grote inlaatopeningen zal put A eerst vollopen met zout, en daarna zal het zout zich verder verspreiden <i>naar oostelijk gelegen delen van het Haringvliet (richting putten D (en/of B))</i>.</li> <li>- <i>De openingsduur is daarnaast afhankelijk van de mate waarin het verzilte water tijdens de spuiperiode naar zee kan worden afgevoerd. Bij een minimale afvoer van 1700 m<sup>3</sup>/s (Lobith) leidt een inlaatvenster van 45 minuten nog niet tot het overlopen van de zoutvang. Naar verwachting zal een enkele opening waarschijnlijk wel 15 tot 25 minuten open kunnen blijven voordat de zoutvang gaat overlopen.</i></li> <li>- <i>Bij een afvoerpiek van 3500 – 5000 m<sup>3</sup>/s is naar verwachting sprake van volledige ontzilting van de zoutvang.</i></li> <li>- <i>Daarnaast bleek dat de mate waarin de zoutvang tijdens eb/spuien kan worden zoetgespoeld, een redelijke indicatie is voor het overlopen van de zoutvang.</i></li> </ul>
<b>Onderzoeksvraag 2</b>	In hoeverre kunnen omgevingsfactoren (hier alleen: wind) invloed hebben op het overlopen van de zoutvang (put A)?
Mate van beantwoording	De mate van opmenging en horizontale verspreiding als gevolg van zowel harde wind als ook bij overlopen van de zoutvang is nog niet goed bekend. Deze proef heeft met name een eerste indicatie gegeven van de moment waarop dit kan optreden, de dynamiek en schaal waarop dit gebeurt is nog niet bepaald. Onder de

	onderzochte condities bleek echter dat dit effect relatief beperkt was.
Aangepaste hypothese	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Door harde wind kan scheefstand van de overgang tussen een zoete bovenlaag en een zoute onderlaag in put A ontstaan, waardoor zout water over de rand kan stromen richting andere delen van het Haringvliet. <i>(Dit is tijdens deze proef niet waargenomen.)</i></li> <li>- Harde wind kan leiden tot verticale opmenging ter hoogte van de zoutvang (put A), waarna dit verzilte water zich als gevolg van wind gedreven stroming horizontaal kan verspreiden. <i>(Het is tijdens deze proef niet mogelijk gebleken verzilting van hogere delen van de waterkolom te koppelen aan wind gedreven verticale opmenging.)</i></li> <li>- Mogelijke andere factoren die invloed hebben op de verspreiding van zout uit put A. <i>(Het is tijdens deze proef niet mogelijk gebleken andere factoren aan te duiden die leiden tot zoutverspreiding.)</i></li> </ul>
<b>Onderzoeksvraag 3</b>	Hoe ontwikkelt zich het zoutgehalte in de zoutvang (put A) als gevolg van de inzet van zoutriolen, het spuien van zoet water via de spuisluizen, en het cumulatieve effect van meerdere opeenvolgende vloed-periodes “Visvriendelijk Sluisbeheer”.
Mate van beantwoording	Deze vraag heeft enige overlap met Onderzoeksvraag 1, als het gaat over het cumulatieve effect. Er bestaan echter nog wel onzekerheden in de effectiviteit waarmee zoutriolen en spuien ook bij lagere afvoeren het ingekomen zoute water uit de zoutvang kunnen afvoeren.
Aangepaste hypothese	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bij <del>beperkte</del> inname van zout water via de Haringvlietssluisen, zal zich dit <i>in eerste instantie</i> gaan ophopen in de <del>zoutvang put</del> direct achter de Haringvlietssluisen (Put A).</li> <li>- Door de inzet van zoutriolen zal het opgehoopte zout uit put A naar zee worden gespoeld. <i>(Het is niet mogelijk gebleken de effectiviteit van zoutriolen te kwantificeren ten opzichte van spuien via de spuisluizen.)</i></li> <li>- Bij <del>hoge</del> afvoeren (Lobith) <i>van meer dan 3500 – 5000 m<sup>3</sup>/s</i> zal genoeg water via de spuisluizen worden afgevoerd, om zout uit de diepere delen van put A mee naar zee te sleuren tijdens spuiperiodes.</li> <li>- Doordat mogelijk minder wordt afgevoerd dan wordt ingelaten, kan er sprake zijn van geleidelijke ophoping van zout in de zoutvang, welke na verloop van tijd kan gaan overlopen. <i>Bij een minimale afvoer van 1700 m<sup>3</sup>/s ligt de inlaatduurgrens op ongeveer 45 min.</i></li> </ul>

## 6.2 Aanbevelingen

### 6.2.1 Vervolgstappen Lerend Implementeren

Op basis van het hierboven beschreven overzicht, kan worden geconcludeerd dat er een aanzienlijke uitbreiding van kennis en inzicht heeft plaats kunnen vinden naar aanleiding van

deze eerste proef met visvriendelijk sluisbeheer. Op basis hiervan zijn nog enkele open vragen die beantwoord moeten worden met aanvullende proeven, maar kan er op basis van de huidige inzichten (en zoals ook al tijdens deze proef is gedaan) door worden gegaan naar een volgende proef.

#### 6.2.2 Mogelijke aanvullende analyses met behulp van huidige data

In de huidige analyses is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende zoutlekkages. De mate waarin verzilting als gevolg van de inzet van visluizen, scheepvaartsluizen en lekkage (door bijvoorbeeld de spuisluisen) bijdraagt aan het vollopen van de zoutvang is daarmee niet onderzocht. Gegevens van schuttingen van beide sluis types zijn een eerste vereiste om dit nader te onderzoeken.

#### 6.2.3 Aanvullende kennisvragen

- *Mate van vulling van de zoutvang*

De huidige metingen maken het daadwerkelijk kwantificeren van de mate van vulling van de zoutvang met verzilt water erg indirect en onnauwkeurig, omdat alleen op basis van gemeten zoutgehalten in de omliggende gebieden een indicatie kan worden gegeven van het overlopen van de zoutvang. Voor het kwantificeren van de vullingsgraad van de zoutvang zijn een aantal gegevens gewenst zoals het inkomende debiet en de mate van menging met het al aanwezige water (dit bepaalt het vulvolume). Daarnaast moet de mate waarin tijdens eb/spuien het verzilte water naar zee kan worden gespuid worden gekwantificeerd. Ten dele gebeurt dit via de zoutriolen (en kan dit met de huidige meetgegevens worden afgeschat) maar het grootste deel zal via de spuisluisen naar zee stromen. De mate waarin tijdens spuien het zoute water in beweging kan worden gebracht is nog niet te bepalen.

- *Kwantificeren effectiviteit zoutriolen en spuien in terugdringen verzilting in het Haringvliet bij groot bereik aan rivierafvoeren*

De mate waarin spuien en de inzet van visriolen effectief het ingekomen zout kunnen terugdringen is echter nog niet afdoende kwantificeerbaar. Onder condities met relatief hoge afvoeren (tijdens deze proef was de afvoer bij Lobith veelal meer dan 2000 m<sup>3</sup>/s) is gebleken dat waarschijnlijk genoeg (verzilt) water kan worden afgevoerd om bij een beperkte duur van visvriendelijk sluisbeheer oplading van het systeem (en specifiek de zoutvang) tegen te gaan. Onduidelijk is of bij lagere afvoeren (en dus een prominentere rol voor de zoutriolen) dit ook nog het geval is. Om de inzetbaarheid van deze maatregel te vergroten is het van belang de effectiviteit van beide zout-terugdringingsmaatregelen te kunnen kwantificeren voor een grotere range aan afvoeren.

- *Relatie zoutgehalte in het Haringvliet en aan zeezijde van de kering*

In een eerder stadium was aan de hand van de tot dan toe beschikbare meetgegevens van deze proef door RWS geconcludeerd dat het zoutgehalte aan zeezijde van de kering moet worden meegenomen in de analyse van het visvriendelijk sluisbeheer (20190130 Rapportage VisvriendelijkSpuisluisbeheer 1 v4). Dit is op dit moment niet uitgevoerd omdat ons inziens tijdens periodes waarin visvriendelijk wordt ingelaten sprake is van een relatief vergelijkbaar patroon in zoutgehalte aan zeezijde (over het getij) met vergelijkbare piekwaardes. Als in een toekomstige proef de totale zoutvracht in het Haringvliet kan worden bepaald (met behulp van aanvullende (varende) metingen), is het waardevol om deze relatie verder uit te werken.

#### 6.2.4 Suggesties voor aanpassing of aanvulling van de meetbehoefte

- *Aanpassing aan meetdieptes vaste meetpunten*  
Voor bepaling van de mate van vollopen van de zoutvang, als ook de mate van overlopen van de zoutvang naar omliggende gebieden, is de huidige aanpak met sensoren op drie dieptes beperkt gebleken. Met name de hoogte van de midden-sensoren is bij nader inzien minder geschikt om dit type processen te bestuderen. Doordat in de zoutvang (put A, STELLDBNN) en in put B (KIER4) de midden-sensor op een diepte boven de drempels ligt, wordt het vollopen van de zoutvang en aansluitend (bij overlopen van de zoutvang) het vollopen van put B niet waargenomen. Het meetpunt in de zoutvang zou daarom verplaatst kunnen worden van -6m naar -9 of -10m om als signaalwaarde te dienen voor het gaan overlopen van de zoutvang. Voor de middensensor in put B is minder eenduidig een aangepaste diepte te definiëren omdat deze afhankelijk is van de hoogte van de spronglaag in de put. Echter ook hier geldt dat een diepte van -7m hoger dan de drempels ligt, en dus qua condities een veelal vergelijkbaar beeld zou moeten geven als de bovensor.  
Daarnaast geldt voor ongeveer alle meetsensoren dat een bovensor op -2m met name waarde heeft als signalering voor zout in de toplaag van de waterkolom. Deze gegevens zijn daarom vooral voor beheersmaatregelen van belang. Voor begrip van de processen is deze sensor veelal niet relevant omdat de middensensor dezelfde zone beschrijft. Bij verplaatsing van de middensensor, zou het voor procesbegrip waardevol kunnen zijn als de bovensor ook naar een lagere diepte wordt verplaatst, zodat deze net boven de drempelwaarde komt te hangen (ongeveer ter hoogte van waar nu de middensoren zich bevinden).
- *Aanpassing aan locaties vaste meetpunten*  
Zoals uit de hierboven beschreven tijdreeksen van de vaste sensoren al blijkt, is het mogelijk meetboeien te verplaatsen. Sommige meetboeien liggen nu op locaties die slechts zeer sporadisch verzilt raken en qua begripsvorming bij het "Lerend Implementeren" weinig bijdragen. Ze worden met name gebruikt als signaleringsstations om bepaalde beheersmaatregelen te initiëren. Deze meetgegevens hebben weinig meerwaarde boven wat al uit varende metingen kan worden afgeleid. Deze meetboeien zouden voor een grotere begripsvorming kunnen worden ingezet op locaties die daadwerkelijk verzilten tijdens proeven en informatie kunnen geven op aanvullende dieptes ten opzichte van het huidige meetnet. Misschien is het mogelijk om aan de start van een proefseizoen (ieder najaar) een inschatting te maken van het te onderzoeken gebied en aansluitend te bepalen welke meetlocaties en dieptes daarvoor gewenst zijn.
- *Meting zoutgehalte in spuisluis*  
Voor het afschatten van een zoutvracht door de Haringvlietsluizen (en dan met name wat naar zee wordt afgevoerd) is het noodzakelijk de gemeten zoutgehaltes die door de spuisluis naar zee gaan te weten. Dit is tijdens visvriendelijk sluisbeheer zeer relevant voor het bepalen van de vullingsgraad van de zoutvang.
- *Kwantificeren effectiviteit zoutriolen en spuien in terugdringen verzilting in het Haringvliet bij een groot bereik aan rivierafvoeren*  
Voor het bepalen van de effectiviteit van de zoutriolen kan aan de hand van de gemeten debieten en zoutgehaltes een inschatting worden gemaakt van de totale afgevoerde zoutvracht. Een vergelijkbare schatting kan worden gemaakt voor de effectiviteit van de spuisluisen in het afvoeren van zout water uit het Haringvliet. Echter,

beide schattingen hebben een grote mate van onzekerheid, en zouden moeten worden vergeleken met schattingen van de hoeveelheid zout in de zoutvang zelf. Dit laatste is echter niet mogelijk aan de hand van de vaste metingen, omdat de drie meetdieptes te weinig verticale resolutie bieden. (Helaas bied de eerste varende meting van ZS2019\_1 geen toegevoegde waarde, omdat deze pas is uitgevoerd nadat al een getijperiode extra zout water is ingelaten.)

## Appendix A: Eerste schatting spuivenster visvriendelijk sluisbeheer

*Bron: RWS nota: Eerste onderzoeken visvriendelijk spuisluisbeheer (versie 0.2).*

Uit een set berekeningen met afwijkend beheer van de Haringvlietsluizen zijn 3 berekeningen geselecteerd met de volgende kenmerken:

- slotgemiddeld getij 1991.0
- een permanente Rijnafvoersituatie van resp. 1000, 1500 en 2000 m<sup>3</sup>/s
- Haringvlietsluizen staan tijdens de spui- en inlaatperiode open met 25 m<sup>3</sup>.<sup>3</sup>

Uit deze berekeningen is het ingestroomd volume na stroomkentering bepaald. Zoals verwacht zijn de verschillen tussen de verschillende afvoersituaties beperkt. Onderstaande tabel geeft globaal de volumina die werden gevonden.

Tijd na kentering minuut	Ingestroomd volume m <sup>3</sup>
10	15000
15	30000
20	45000
25	65000
30	87000
35	110000

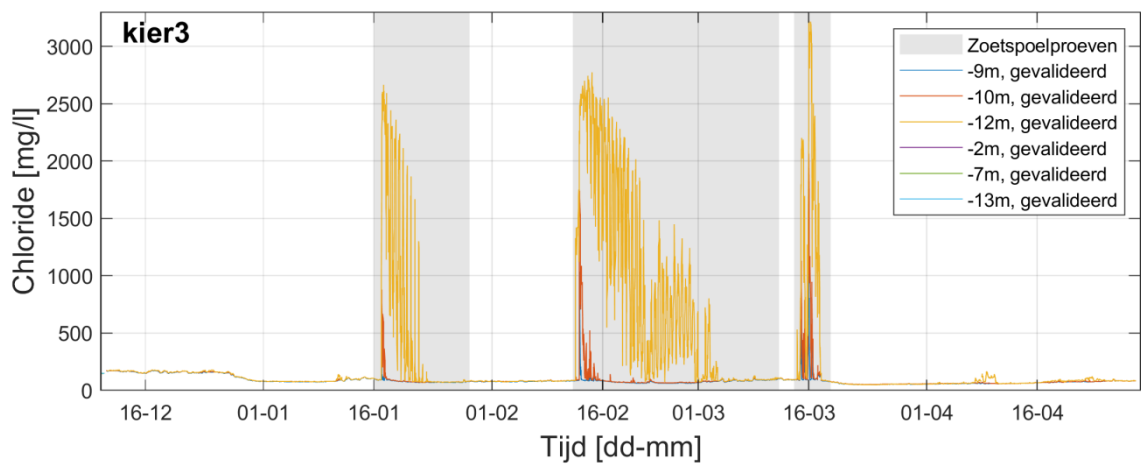
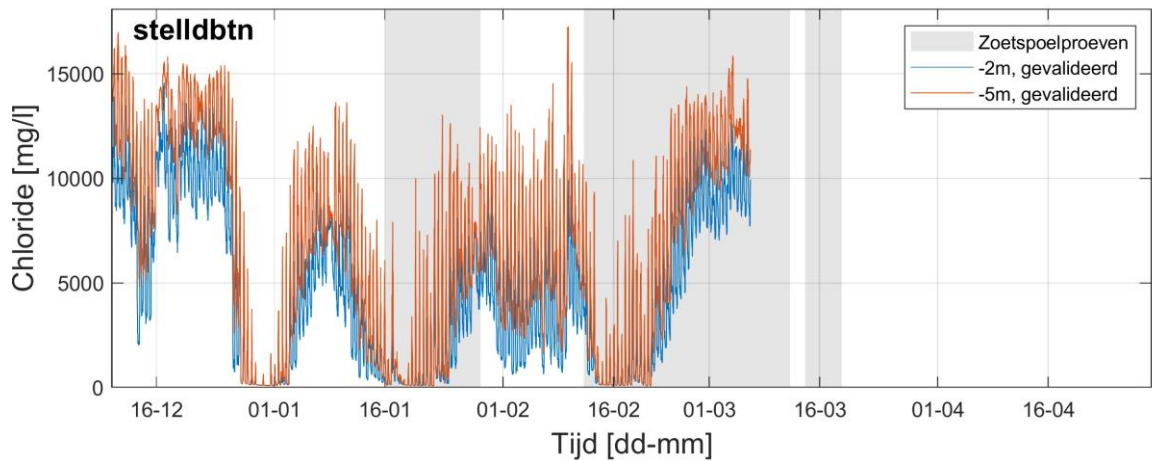
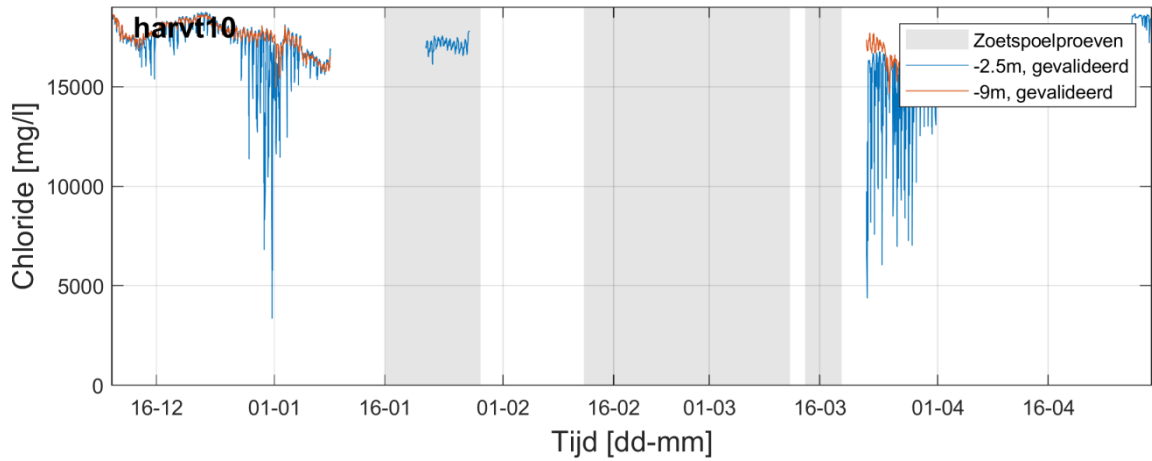
Ter beoordeling van deze getallen kan dit vergeleken worden met het kolkvolume van de Goereese Sluis bij 0.5 m +NAP : 12716 m<sup>3</sup>. Een dergelijk volume wordt met een geschatte uitwisselingscoëfficiënt van 0.9 bij gemiddeld 17 schuttingen per dag van buiten naar binnen getransporteerd.

De zoutbelasting door schutten wordt via de zoutvang en de zoutriolen weer zeewaarts afgevoerd. De ervaring leert dat de capaciteit van de zoutriolen hiervoor zeer ruim bemeten is. Uit de debietmetingen in de zoutriolen in 2015 (hoewel slecht van kwaliteit) volgt een schatting dat 30 cm extra opening overeenkomt met 3 tot 7 m<sup>3</sup>/s getijgemiddeld, oftewel 125 000 tot 300 000 m<sup>3</sup>/getij. Dit kan inderdaad sterk wisselen van getij tot getij.

Op grond hiervan lijkt een extra zoutbelasting vergelijkbaar met 5 à 10 schuttingen per dag wel acceptabel te zijn. Dit gaat dan dus om 60000 tot 120000 m<sup>3</sup>/dag. Per getij dan ongeveer de helft hiervan en volgens bovenstaande tabel kan een spuisluis dan 15 tot 25 minuten open blijven.

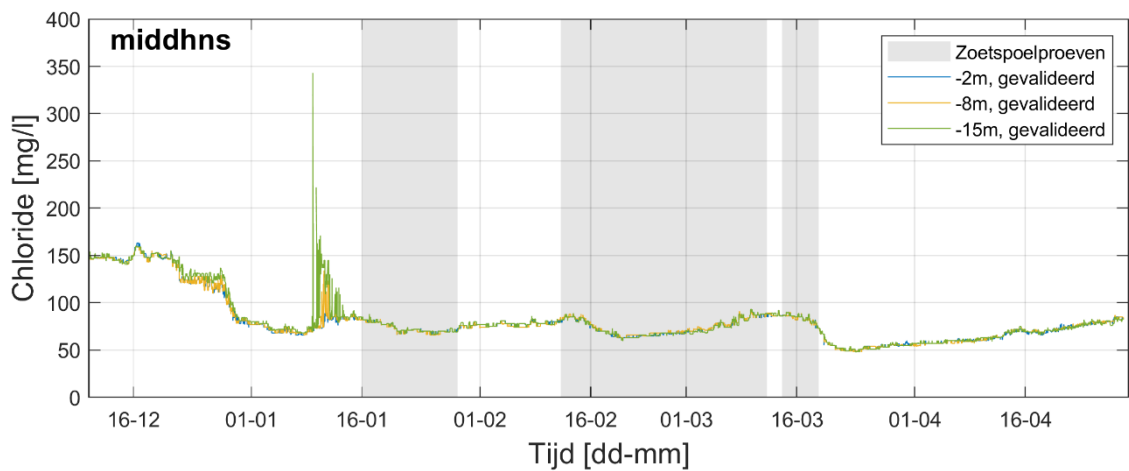
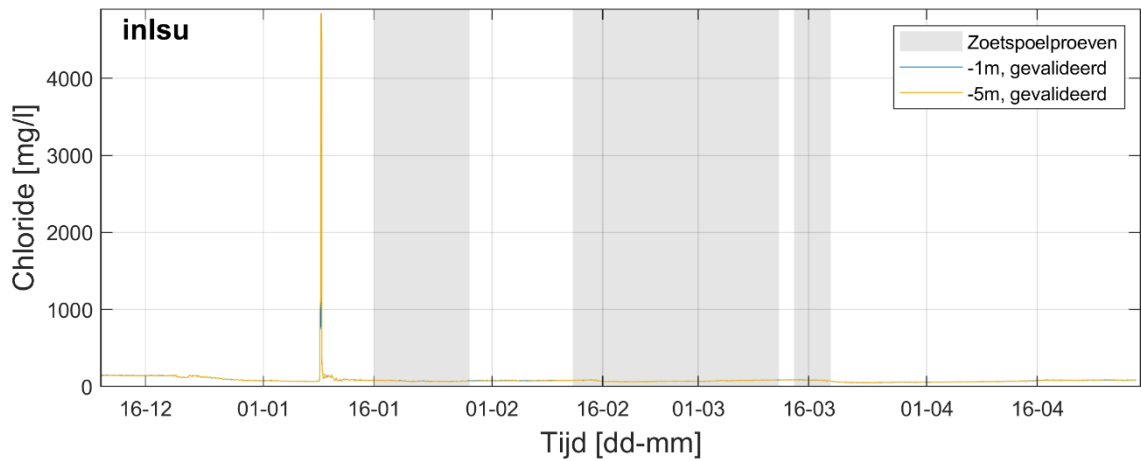
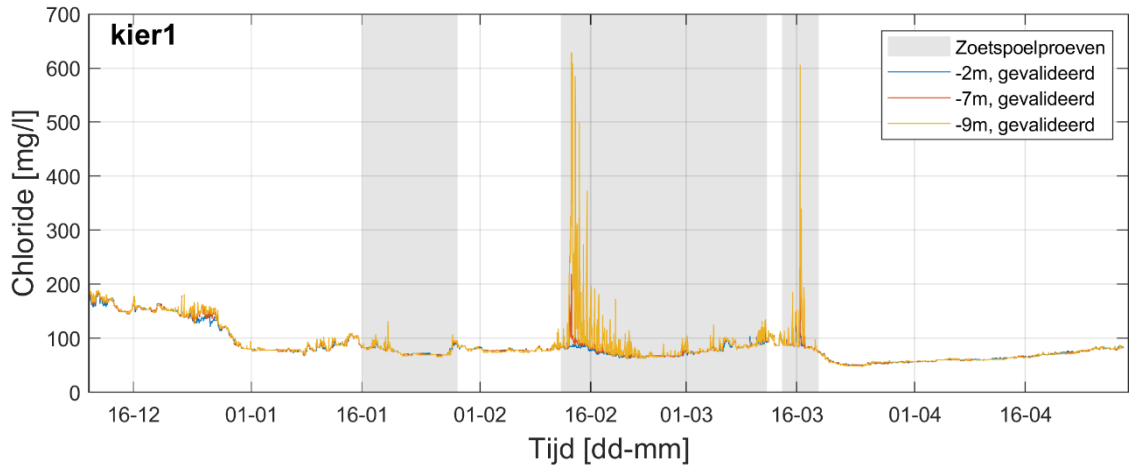
<sup>3</sup> Dit is voor geen enkele van de 3 afvoersituaties de juiste LPH-instelling. De sommen zijn gebruikt wegens hun beschikbaarheid en vanuit de overweging dat het verschil met LPH toch gering is qua waterstandseffecten.

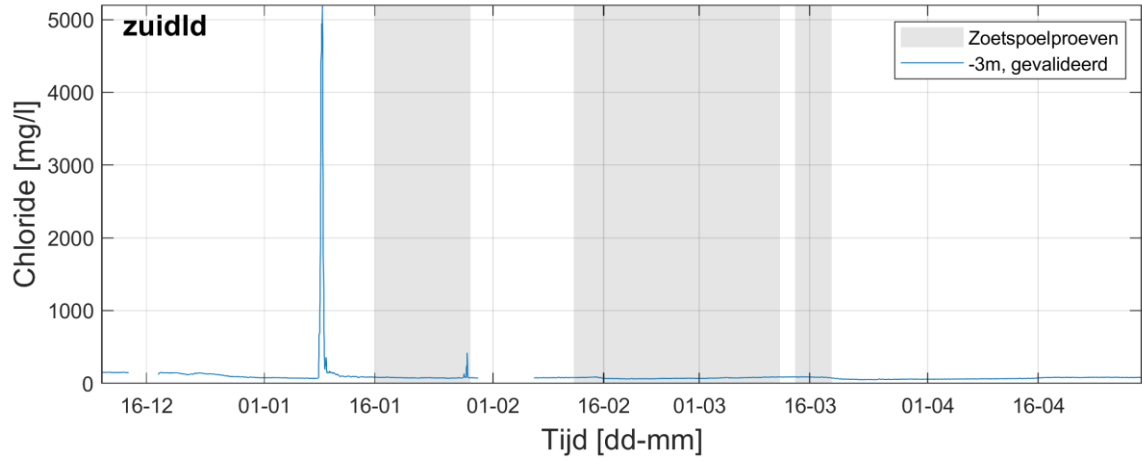
## Appendix B: Zoutgehalten op overige meetlocaties



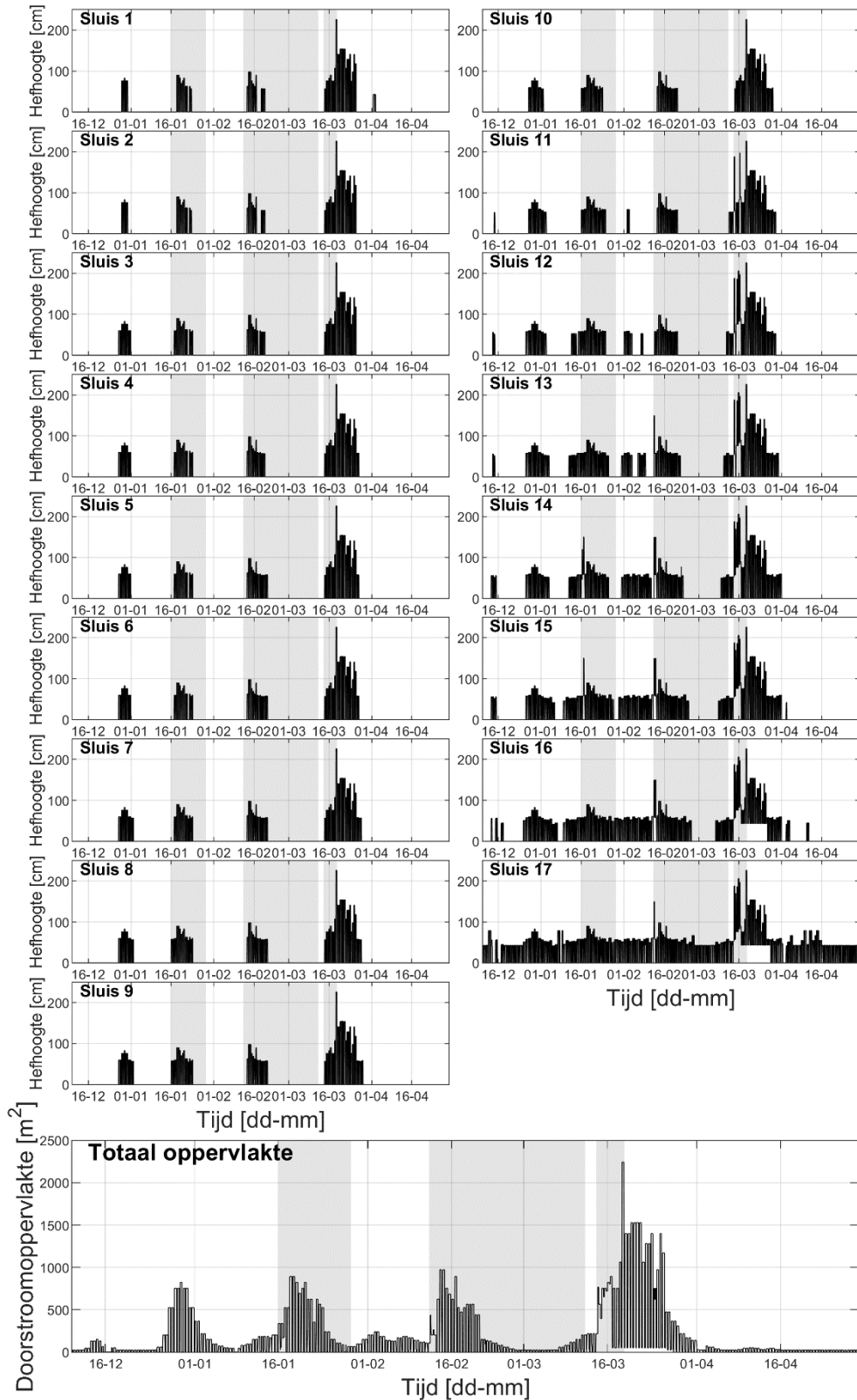
Datum  
31 juli 2019

Pagina  
43 van 46





## Appendix C: Hefhoogtes en doorstroomoppervlakte Haringvlietsluizen



## Appendix D: Bodemhoogte Haringvliet (Baseline)

