

## Memo

**Aan**

Roel Burgers (RWS-WVL), Sacha de Goederen (RWS-WNZ)

**Datum**

12 juni 2018

**Kenmerk**

11200589-001-ZWS-0009

**Aantal pagina's**

32

**Van**

Meinard Tiessen  
Theo van der Kaaij

**Doorkiesnummer**




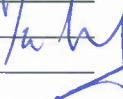
+31(0)88 335 7429

**E-mail**

Meinard.Tiessen@deltares.nl

**Onderwerp**

Aanzet tot monitoringsplan lerend implementeren Kier-besluit

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2.0	jun. 2018	Meinard Tiessen Theo van der Kaaij	 	Wouter Kranenburg		Frank Hoozemans	

1	Inleiding .....	1
2	Lerend Implementeren .....	4
3	Deelprocessen en kennisleemtes .....	6
4	Inschatting van de informatiebehoefte .....	8
5	Inschatting van de meetbehoefte .....	11
6	Voorgenomen meetcampagne en aanvullende wensen .....	14
7	Conclusies .....	17
8	Literatuur .....	19
Bijlages:		
A	Kennisleemtes .....	20
B	Omschrijving van de meetbehoefte .....	27

## 1 Inleiding

### 1.1 Achtergrond

Vanaf de herfst 2018 zal begonnen worden met de uitvoering van het Kierbesluit, waarbij tijdens vloed zout water het Haringvliet (Figuur 1.1) zal worden ingelaten. In een eerste fase, genaamd Lerend Implementeren, zal gedurende meerdere jaren worden onderzocht hoe de zoutindringing in het Haringvliet het beste beheerd kan worden. Het doel van dit Lerend Implementeren is om inzicht te krijgen in de zoet-zout dynamiek van het systeem, en de controlemechanismen en -mogelijkheden die beschikbaar zijn om verzilting van het gebied te beheersen, en indien nodig terug te dringen.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van deze memo is om de meet- en informatiebehoefte in kaart te brengen met betrekking tot de Lerend Implementeren fase van het Kierbesluit. Het betreft hierbij alleen de monitoring ten behoeve van de zoet-zout dynamiek in het systeem. Dit document is daarmee bedoeld om een aanzet te geven voor een discussie die moet leiden tot definitieve monitoringsplannen die zullen worden opgezet voor de verschillende deelonderzoeken.

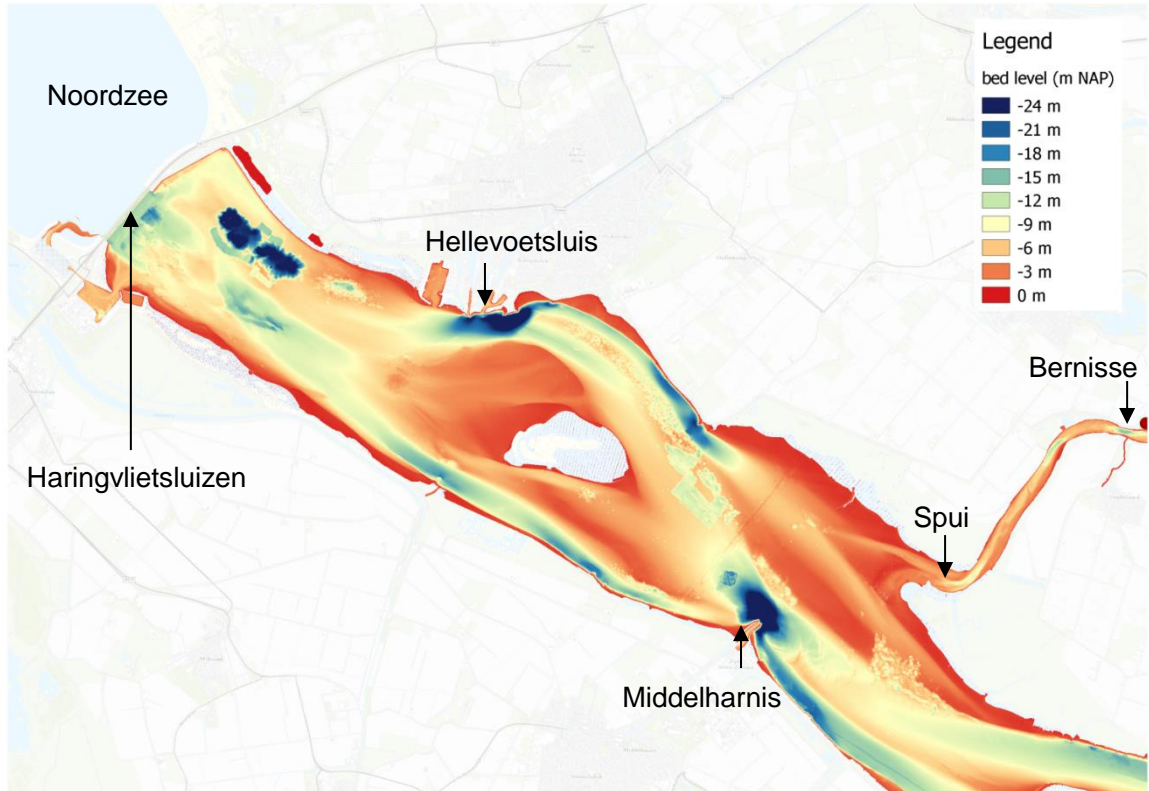
Vragen die in de definitieve monitoringsplannen aan bod kunnen komen zijn (zoals ten dele al genoemd in het werkplan voor het KPP onderzoek RMM Systeemanalyse 2017):

1. Wat is de kennisbehoefte? Hierbij kan worden gedacht aan:
  - Meten van debieten en zoutfluxen door de kering
  - Bepaling van afvoercoëfficiënten door de Haringvlietsluizen
  - Inzicht in de zoutbalans van het Haringvliet (zoals ook al was opgesteld voor de Inlaatproef van 1997)
  - De mate van ontzilting / terugdringing van verzilting vanuit diepe putten.
2. Welk type metingen kan worden ingezet voor de beantwoording van de kennisbehoefte? In welke mate kunnen indirecte metingen bijdragen aan de kennisbehoefte? Met indirecte metingen worden hier metingen bedoeld die geen direct antwoord geven op de kennisvraag, maar welke gebruikt kunnen worden om inzicht te krijgen in de mogelijke beantwoording van de kennisvraag. Bijvoorbeeld omdat voorlopig geen debietsmetingen door de kering beschikbaar zijn, worden tot nu toe waterstandsmetingen aan weerszijden van de kering gebruikt om een indicatie te krijgen van de nauwkeurigheid waarmee een 3D model het debiet door de kering beschrijft.
3. Hoe veel en vaak zijn deze metingen nodig, en met welke ruimtelijke dekking?
4. In welke mate kan met behulp van het huidige meetnet (data en operationele gegevens verkrijgbaar bij RWS) aan deze kennisbehoefte worden voldaan?
5. Tot slot zou ook nog een systeem moeten worden ontwikkeld om de meetgegevens, analyse en bevindingen te ontsluiten en op te slaan.

In deze memo wordt getracht een eerste aanzet tot invulling van vragen 1 tm 4 te geven. Onderdeel 5 zal niet specifiek in deze memo worden behandeld, maar is wel van belang tijdens de Lerend Implementeren fase van het kierbesluit, waarin veel systeemvragen en kennisbehoeftes moeten worden beantwoord en geïnventariseerd.

## 1.3 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk wordt eerst een overzicht gegeven van de geplande meetcampagne voor de Lerend Implementeren-fase bij uitvoering van het Kierbesluit. Aansluitend worden de kennisvragen in kaart gebracht (onderzoeksvraag 1). In het hoofdstuk 4 en 5 zal aan de hand van een inschatting van de informatiebehoefte en het concretiseren hiervan in een meetbehoefte antwoord gegeven worden op onderzoeksvragen 2 en 3. In hoofdstuk 6 worden de geplande metingen naast de in hoofdstuk 5 genoemde meetwensen gelegd. De inhoud van hoofdstuk 3 tot en met 6 zal bestaan uit verschillende tabellen met daarin de belangrijkste kenmerken en aspecten benoemd. Een uitgebreidere beschrijving staat weergegeven in verschillende appendices.



Figuur 1.1 *Bodemhoogte in het Haringvliet samen met een aanduiding voor de belangrijkste locaties.*

## 2 Lerend Implementeren

### 2.1 Fases in zoet-zout dynamiek in het Haringvliet

Voor het beheersen van de zoutindringing bij uitvoering van het Kierbesluit zijn drie fasen geformuleerd, die worden ingegeven op basis van de verwachte rivierafvoer bij Lobith (Deltares, 2015):

- Kieren:  
Er wordt tijdens eb water uitgelaten, en tijdens vloed zeewater ingelaten. De hoeveelheden in- en uitgelaten water zijn afhankelijk van de verwachte rivierafvoer, en dit wordt aangestuurd aan de hand van een aangepaste tabel waarin het doorstroomoppervlakte is uitgezet tegen de rivierafvoer. De huidige tabel wordt LPH84 (Lozingsprogramma Haringvlietsluizen) genoemd, terwijl het aangepaste programma HOP (Haringvlietsluizen Operationeel Programma) heet. Tijdens het Lerend Implementeren zal waarschijnlijk in eerste instantie behoudender zout water worden ingelaten dan is aangegeven in het HOP, om eerst een beter inzicht te krijgen in de risico's in de andere fasen van Kier-beheer en de zoet-zout dynamiek van het systeem.
- Zoetspoelen:  
Bij hoge rivierafvoeren zal zoutverspreiding in het Haringvliet binnen de gewenste grenzen beheerst kunnen worden doordat substantiële hoeveelheden zoet rivierwater via het Haringvliet naar zee kunnen worden gespuid. Wanneer, daarentegen, bij minder extreme rivierafvoeren het debiet van de Bovenrijn geleidelijk zou afnemen (<1500 m<sup>3</sup>/s), dan zullen de Haringvlietsluizen geleidelijk dichtgaan. In dit geval ontstaat er een situatie met een aanzienlijke hoeveelheid zout water in het Haringvliet. Dit zout kan niet meer uit het Haringvliet weggespoeld worden met de nog resterende afvoer. Zodra het restdebiet door het Haringvliet klein of nul wordt, begint dit zout zich door dispersie (menging) te verspreiden door het Haringvliet en Spui. Deze menging leidt mogelijk tot oncontroleerbare zoutverspreiding richting het oosten, welke niet bestreden kan worden vanwege de lage rivierdebieten. Om dit tegen te gaan, wordt voorafgaand aan een periode van lage rivierafvoer extra gespuid, zodat het zoute water het systeem zoveel mogelijk kan verlaten (het zogeheten "zoetspoelen"). Er wordt zoetgespoeld zodra de actuele afvoer bij Lobith onder de 1500 m<sup>3</sup>/s daalt en de verwachting is dat de afvoer tenminste 7 dagen onder 1500 m<sup>3</sup>/s zal blijven.
- Zoetgespoeld:  
Bij een te lage rivierafvoer ( $Q_{Lobith} < 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) wordt de kering zowel bij eb als vloed gesloten. Zout water dat dan nog aan rivierzijde van de Haringvlietsluizen is, kan niet meer worden uitgelaten. Om dit tegen te gaan wordt voorafgaand aan de gesloten fase zoet gespoeld. Echter, het is onwaarschijnlijk dat het Haringvliet in de zoetgespoelde situatie geen zout water meer bevat. De mate van verspreiding van dit achtergebleven zoute water is een van de vragen die nader zullen moeten worden onderzocht tijdens het "Lerend Implementeren".

### 2.2 Voorgenomen meetcampagne

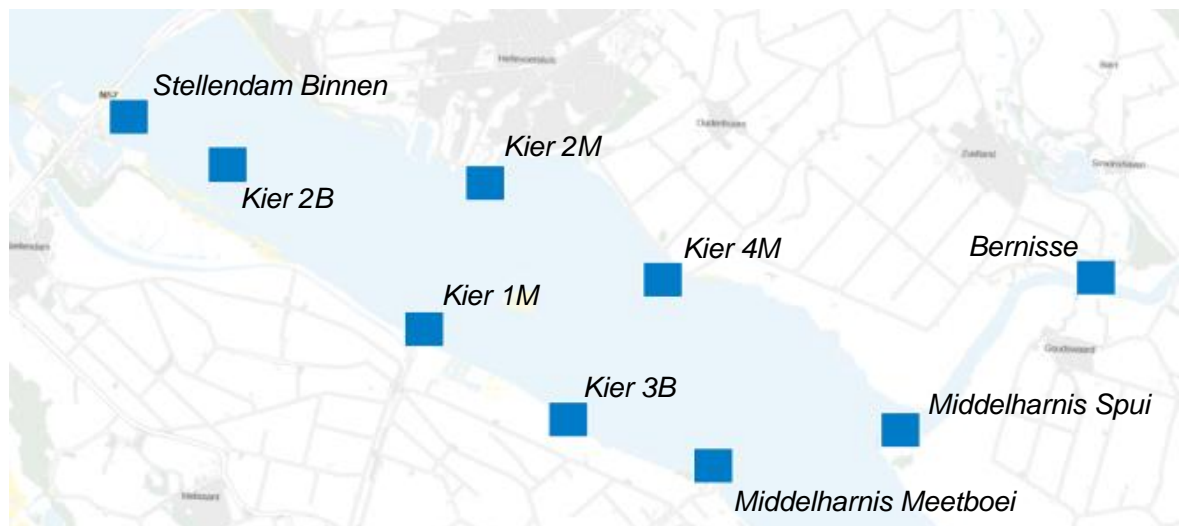
In de afweging of extra metingen gewenst zijn ter beantwoording van de kennisbehoefte, moet worden meegenomen welke kennisvragen met het voorgenomen meetnet kunnen worden beantwoord. Alle voorgenomen en geplande metingen worden hierin alvast meegenomen, ongeacht of deze al officieel zijn goedgekeurd of geïmplementeerd. Het meetnet valt uiteen in verschillende delen:

- Vaste meetpunten

- Ten eerste zijn er de vaste meetpunten in en nabij het Haringvliet: Stellendam Binnen, Haringvliet West, Middelharnis Meetboei, Inloop Spui, Bernisse
- Daarnaast zijn er nog 4 extra vaste meetboeien (pontons) in het Haringvliet neergelegd in verband met Lerend Implementeren en de Kier. Deze meetboeien meten continue zoutgehaltenes op drie dieptes (nabij het wateroppervlakte, nabij de bodem, en halverwege), weergegeven in Figuur 2.1. Daarnaast ligt een van deze boeien tijdelijk aan zeezijde van de kering, maar deze zal bij invoering van het Lerend Implementeren naar het Haringvliet worden verplaatst. Mogelijk kunnen in de loop der tijd de gekozen locaties en dieptes worden aangepast.
- Aan zeezijde van de kering in de Voordelta bevindt zich nog een aanvullende meetboei (Haringvliet10) die geen deel uitmaakt van het Kier-meetnet, maar wel relevant kan zijn om inzichten te verschaffen van de dynamiek in de Voordelta. Dit meetpunt registreert naast waterstanden ook de zoutgehaltenes obv EGV metingen (boven en onder).
- Stromings- en zoutmeting in de kering: Het plan is om in een enkele spuiroker (van de 17) gedurende langere tijd continue het zoutgehalte te meten en de stroomsnelheden te bepalen. Mogelijk kan in de loop der tijd de spuiroker worden aangepast.

#### Varende metingen

- Tot slot is het plan om op specifieke momenten nog varende metingen uit te voeren om met behulp van additionele meetgegevens een beter beeld te krijgen van het zoutgehalte (en mogelijk ook de stroomsnelheden) onder specifieke omstandigheden.



Figuur 2.1 Zout-meetlocaties in het Haringvliet en omgeving ([waterinfo.rws.nl](http://waterinfo.rws.nl)). Op dit moment wordt ook aan zeezijde van de kering gemeten. Deze data wordt echter nog niet opgeslagen, en de meetlocatie is niet weergegeven in het figuur.

## 3 Deelprocessen en kennisleemtes

In dit hoofdstuk wordt specifiek stil gestaan bij de deelprocessen en kennisbehoefte die gelden voor het Haringvliet in combinatie met het Kierbesluit en de Lerend Implementeren-fase die in 2018 zal worden gestart. De kennisbehoefte wordt daarbij opgesplitst naar thema en deelproces. De eerste drie thema's zijn de drie fases van de zoet-zout dynamiek: Kieren, Zoetspoelen en Zoetgespoeld. Daarnaast zal ook kort stil worden gestaan bij kennisvragen die spelen bij overige omgevingsfactoren. Hieronder volgen de kennisleemtes in tabelvorm, voor een meer uitgebreid overzicht wordt verwezen naar Appendix A.

<u>Thema</u>	<u>Deelproces</u>	<u>Kennisleemtes</u>
1. Kieren	1.1 Zoutmassa in het Haringvliet	Grofstoffelijk begrip van zoet-zout dynamiek Haringvliet door middel van globale zoutbalans
	1.2 Verspreidings-snelheid en laagdikte	Verspreidingssnelheid van het inkomende zout in combinatie met de dikte van de zoute laag
	1.3 Vollopen voormalig getijdegeulen en diepe putten	Verticale dynamiek getijdegeulen bij Kieren
	1.4 Debiet en zoutflux door de kering	Watervolume en zoutlast over tijd (binnen en gemiddeld over het getij)
	1.5 Onttrekkings- en lozingsdieptes aan weerszijden van de kering	Inkomende zijde: Onttrekkingsdiepte, en mate van opmenging. Uitgaande zijde: Mengingslengte en uitzakdiepte
	1.6 Mate van opmenging als gevolg van de kering	Mate van menging bij eb en vloed-stroming

<u>Thema</u>	<u>Deelproces</u>	<u>Kennisleemtes</u>
2. Zoetspoelen	2.1 Zoetspoelen van de toplaag	Ruimtelijke terugdringing zout oppervlaktelaag
	2.2 Afschaven onderlaag	Verticale dynamiek getijdegeulen bij zoetspoelen
	2.3 Opmengen zoute onderlaag bij hoge afvoeren	Menging en turbulentie bij hoge rivierafvoeren
	2.4 Zouttransport door de kering	Mate waarin zout bij zoetspoelen daadwerkelijk het Haringvliet uitstroomt
3. Zoetgespoeld	3.1 Verticale opmenging vanuit diepere delen	Relatie tussen forcering (wind en golven) en turbulentie en opmenging
	3.2 Horizontale verspreiding van opgemengd water	Inzicht in ruimtelijke verspreiding en verspreidingsnelheid en richting bij gesloten kering, onder variërende forceringen (wind en horizontale dichtheidsgradiënten)
	3.3 Transport van zout water over drempels	Relatie tussen forcering (windgedreven opzet), schuinstand van de pycnocline en verplaatsing van zout over drempels
4. Omgevingsfactoren	4.1 Transportprocessen in de Voordelta	Inzicht in wat het zoutgehalte zal zijn van het water wat door de Haringvlietssluzen wordt ingelaten
	4.2 Overige zoutlast en wateraanvoer	Inzicht in bovenstroomse sluittermen water- en zoutbalans (zout en water dat via Spui en Hollandsch Diep het Haringvliet in- en uitstroomt)



## **4 Inschatting van de informatiebehoefte**

In dit hoofdstuk wordt op basis van in het vorige hoofdstuk gespecificeerde kennisbehoeftes geïnteriseerd welke informatie deze inzichten kan verschaffen.. In dit hoofdstuk wordt alleen een tabel opgenomen. In Appendix B wordt per deelproces apart stil gestaan bij de gewenste metingen, en de mate waarop deze op basis van het huidige meetnet, en de voorgenomen metingen daaraan kunnen voldoen.



Datum  
12 juni 2018

Ons kenmerk  
11200589-001-ZWS-0009

Pagina  
9/32

<u>Thema</u>	<u>Deelproces</u>	<u>Kennisleemtes</u>	<u>Omschrijving informatiebehoefte</u>
1. Kieren	1.1 Zoutmassa in het Haringvliet	Grofstoffelijk begrip van zoet-zout dynamiek Haringvliet door middel van globale zoutbalans	Inschatting hoeveelheid zout in Haringvliet over tijd
	1.2 Verspreidings-snelheid en laagdikte	Verspreidingssnelheid van het inkomende zout in combinatie met de dikte van de zoute laag	Verschuiving van horizontale en verticale zoet-zout overgang in ruimte en tijd
	1.3 Vollopen voormalig getijdegeulen en diepe putten	Verticale dynamiek getijdegeulen bij Kieren	Verandering verticale zoet-zout overgang in tijd in diepe putten
	1.4 Debiet en zoutflux door de kering	Watervolume en zoutlast over tijd (binnen en gemiddeld over het getij)	Bepaling van het doorstroomdebiet en de zoutvracht door de kering, zowel gedurende het getij, als getijgemiddeld
	1.5 Onttrekkings- en lozingsdieptes aan weerszijden van de kering	Inkomende zijde: Onttrekkingsdiepte, en mate van opmenging. Uitgaande zijde: Mengingslengte en uitzakdiepte	Stroming, zoutgehalte en stratificatie voor en achter de kering
	1.6 Mate van opmenging als gevolg van de kering	Mate van menging bij eb en vloed-stroming	Zoutgehalte en stratificatie voor en achter de kering

**Datum**  
12 juni 2018

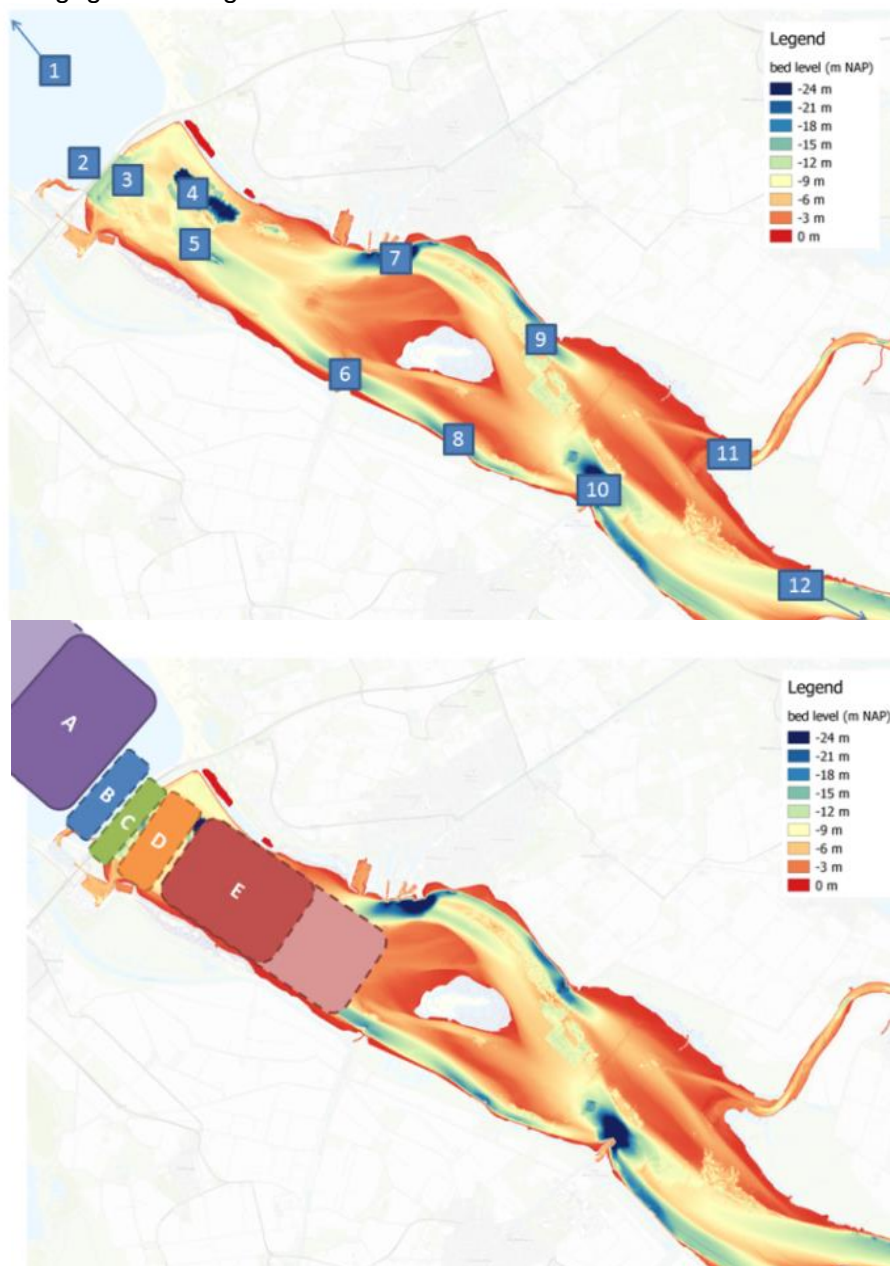
**Ons kenmerk**  
11200589-001-ZWS-0009

**Pagina**  
10/32

<u><b>Thema</b></u>	<u><b>Deelproces</b></u>	<u><b>Kennisleemtes</b></u>	<u><b>Omschrijving meetbehoefte</b></u>
2. Zoetspoelen	2.1 Zoetspoelen van de toplaag	Ruimtelijke terugdringing zout oppervlaktelaag	Horizontale terugdringing zout, en zoet-zout gradiënt in ruimte en tijd
	2.2 Afschaven onderlaag	Verticale dynamiek getijdegeulen bij zoetspoelen	Verandering verticale zoet-zout overgang in tijd
	2.3 Opmengen zoute onderlaag bij hoge afvoeren	Menging en turbulentie bij hoge rivierafvoeren	Bepaling van mate van verticale opmenging van zoet en zout water, met name in diepe putten
	2.4 Zouttransport door de kering	Mate waarin zout bij zoetspoelen daadwerkelijk het Haringvliet uitstroomt	Bepaling van zoutvracht vanuit het Haringvliet naar zee over de getijperiode
3. Zoetgespoeld	3.1 Verticale opmenging vanuit diepere delen	Relatie tussen forcering (wind en golven) en turbulentie en opmenging	Turbulentie en stroming (horizontaal en verticaal) samen met in detail zoutgehalte over diepte
	3.2 Horizontale verspreiding van opgemengd water	Inzicht in ruimtelijke verspreiding en verspreidingssnelheid en richting bij gesloten kering, onder variërende forceringen (wind en horizontale dichtheidsgradiënten)	Horizontale verspreiding uit diepe put van verticaal opgemengde zoute water over Haringvliet in ruimte en tijd
	3.3 Transport van zout water over drempels	Relatie tussen forcering (windgedreven opzet), schuinstand van de pycnocline en verplaatsing van zout over drempels	Eerst: Zoutgehalte nabij bodem van twee diepe putten. Later: Meting om eigenlijke verhang pycnocline en transport over drempel te meten
4. Omgevingsfactoren	4.1 Transportprocessen in de Voordelta	Inzicht in wat het zoutgehalte zal zijn van het water wat door de Haringvlietssluzen wordt ingelaten	Bepaling residuele stromingspatronen, en opmenging van het gespuide (zoete/brakke) water met omgeving (zeewater)
	4.2 Overige zoutlast en wateraanvoer	Inzicht in bovenstroomse sluittermen water- en zoutbalans (zout en water dat via Spui en Hollandsch Diep het Haringvliet in- en uitstroomt)	Eerst ter validatie totale debiet en zoutlast bepalen vanuit het Volkerak, Hollandsch Diep, Dortsche Kil en Spui. Later mogelijk continue zoutmetingen (deels bestaande metingen)

## 5 Aanzet tot een monitoringsstrategie

In dit hoofdstuk wordt op basis van de informatiebehoefte getracht de monitoringsstrategie te concretiseren. Hierbij wordt een eerste aanzet gegeven voor de benodigde meetgegevens (zoutgehalte en/of stroming), de gewenste nauwkeurigheid en de mogelijke locaties waarop deze metingen zouden kunnen plaatsvinden. Ook hierbij wordt verwezen naar Appendix B voor een nadere beschrijving van de meetbehoefte. In de tabel wordt voor locatie-aanduidingen verwezen naar specifieke deelgebieden of locaties in of nabij het Haringvliet. Deze staan weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Indicatie van voorgestelde meetlocaties en meetgebieden, zoals worden genoemd in de beschrijving van de meetbehoefte.

Datum  
12 juni 2018

Ons kenmerk  
11200589-001-ZWS-0009

Pagina  
12/32

<u>Thema</u>	<u>Deelproces</u>	<u>Zout</u>	<u>Stroom- snelheid</u>	<u>Locatie</u>	<u>Horizontaal</u>	<u>Verticaal</u>	<u>Wanneer</u>	<u>Frequentie (minimaal)</u>	<u>Duur</u>
1. Kieren	1.1 Zoutmassa in het Haringvliet	ja (50 mg/l Cl)	nee	Gehele gebied, 3 tm 11.	Elke 1-3km	2-3m	Continue	30min - 1uur	Continue
	1.2 Verspreidings-snelheid en laagdikte	ja (50 mg/l Cl)	ja (0.1 m/s hor.)	D en E	Overgang volgend, elke 100-500m	1m	Kieren, alleen na zoetgespoeld, verschillende inlaat regimes	Iedere 30min terug op zelfde locatie	Enkele dagen
	1.3 Vollopen voormalig getijdegeulen en diepe putten	ja (50 mg/l Cl)	miss (0.01 m/s ver.)	4 en later 5, 6, 7, 8, 9 en 10	Nee	1m	Kieren, alleen na zoetgespoeld, verschillende inlaat regimes	30min	Enkele dagen
	1.4 Debiet en zoutflux door de kering	ja (50 mg/l Cl)	ja (0.1 m/s hor.)	C	Enkele spuiroker (later verschuiven)	Indien gemengd: geen, anders: 0.1 m	Continue	30min	Continue
	1.5 Onttrekkings- en lozingsdieptes aan weerszijden van de kering	ja (50 mg/l Cl)	ja (0.1 m/s hor.)	B, D	Aan weerszijden van de kering, ter hoogte van geopende koker(s)	1m	Kieren	30min	Geheel getij
	1.6 Mate van opmenging als gevolg van de kering	ja (50 mg/l Cl)	nee	B, D	Aan weerszijden van de kering, ter hoogte van geopende koker(s)	1m	Kieren	10min	Geheel getij

Datum  
12 juni 2018

Ons kenmerk  
11200589-001-ZWS-0009

Pagina  
13/32

<u>Thema</u>	<u>Deelproces</u>	<u>Zout</u>	<u>Stroom- snelheid</u>	<u>Locatie</u>	<u>Horizontaal</u>	<u>Verticaal</u>	<u>Wanneer</u>	<u>Frequentie</u>	<u>Duur</u>
2. Zoetspoelen	2.1 Zoetspoelen van de toplaag	ja (10 mg/l Cl)	ja (0.1 m/s hor.)	Gehele gebied, 3 tm 11	Elke 1-3km	2-3m	Zoetspoelen, variërende rivierafvoer	1 uur	Enkele dagen
	2.2 Afschaven onderlaag	ja (10 mg/l Cl)	ja (0.01 m/s vert.)	4 en later 5 tm 10	Nee	0.2m	Zoetspoelen, variërende rivierafvoer	30min	Enkele dagen
	2.3 Opmengen zoute onderlaag bij hoge afvoeren	ja (10 mg/l Cl)	ja (0.01 m/s vert.)	4 en later 5 tm 10	Nee	1m	Zoetspoelen, bij hoge rivierafvoeren	10min	Enkele dagen
	2.4 Zouttransport door de kering	ja (50 mg/l Cl)	ja (0.1 m/s hor.)	C	Per spuikoker	Indien gemengd: geen, anders: 0.1 m	Continue	30min	Continue
3. Zoetgespoeld	3.1 Verticale opmenging vanuit diepere delen	ja (10 mg/l Cl)	ja (0.01 m/s ver. 0.1 m/s hor.)	4 en later 5 tm 10	Enkele diepe put die een verticale zoet-zout overgang heeft	0.1m stroomsnelheden, 0.2m zout	Zoetgespoeld variabele wind- en golfcondities	10min	Continue
	3.2 Horizontale verspreiding van opgemengd water	ja (10 mg/l Cl)	potentieel (0.1 m/s hor.)	Eerst rond put, later E	Overgang volgend, elke 100-500m	1m	Zoetgespoeld, tijdens en na intensieve wind en golven	leder 30min terug op zelfde locatie	Enkele dagen
	3.3 Transport van zout water over drempels	ja (10 mg/l Cl)	nee	3&4 of 4&5, later 8&10	Twee diepe putten: 1 verzilt, 1 niet of minder verzilt met drempel tussen beide putten	Op de bodem en 1, 2, 3m van de bodem	Zoetgespoeld, tijdens en na intensieve wind en golven	30min	Enkele uren
4. Omgevingsfactoren	4.1 Transportprocessen in de Voordelta	ja (50 mg/l Cl)	ja (0.1 m/s hor.)	A, 1 en 2	A: Dwars op geulen in Voordelta	A: 2-3m, 1 en 2: 2-3m	Alle fasen, incidenteel	1 uur	A: 13-uurs-metingen, 1 en 2: Continue
	4.2 Overige zoutlast en wateraanvoer	ja (10 mg/l Cl)	ja (0.1 m/s hor.)	11 en 12	Varend: elke 10-100m.	Vaste zoutmeters: 2-3m. Varend: 1m	Alle fasen, incidenteel	1 uur	13-uurs-metingen, daarna continue

## **6 Voorgenomen meetcampagne en aanvullende wensen**

De mate waarin aan de in Hoofdstuk 5 beschreven monitoringsstrategie kan worden voldaan gebruikmakend van de voorgenomen meetcampagne (beschreven in paragraaf 2.2), wordt hieronder beknopt benoemd. Aanvullende wensen worden daarbij ook weergegeven.

Datum  
12 juni 2018

Ons kenmerk  
11200589-001-ZWS-0009

Pagina  
15/32

<u>Thema</u>	<u>Deelproces</u>	<u>Inzet voorgenomen meetplan</u>	<u>Aanvullende wensen</u>
1. Kieren	1.1 Zoutmassa in het Haringvliet	Vaste meetpunten, incidenteel verschuifbaar	Meer zoutsonoren over diepte (elke 2-3m), en mogelijk meer meetlocaties
	1.2 Verspreidings-snelheid en laagdikte	Varende metingen	Veelvuldig nodig, mogelijk remote sensing in toekomst (EM), zie appendix B. Daarnaast ook stroomsnelheden meten
	1.3 Vollopen voormalig getijdegeulen en diepe putten	Vaste meetpunten, incidenteel verschuifbaar	Meer zoutsonoren over diepte (elke 1m), in enkele put ook stroomsnelheidsmeting over diepte
	1.4 Debiet en zoutflux door de kering	Vaste meetpunten in de kering, incidenteel verschuifbaar	Waarschijnlijk grote mate van onzekerheid, daarmee mogelijk de wens voor aanvullende incidentele metingen
	1.5 Onttrekkings- en lozingsdieptes aan weerszijden van de kering	Varende metingen	Meting herhalen voor verschillende hefhoogtes (spuivolumes) en zoutgradienten (voor / achter kering)
	1.6 Mate van opmenging als gevolg van de kering	Varend of vast	Meting herhalen voor verschillende hefhoogtes (spuivolumes), sluisdeurconfiguraties, en zoutgradienten (voor / achter kering)



Datum  
12 juni 2018

Ons kenmerk  
11200589-001-ZWS-0009

Pagina  
16/32

<u>Thema</u>	<u>Deelproces</u>	<u>Inzet voorgenomen meetplan</u>	<u>Aanvullende wensen</u>
2. Zoetspoelen	2.1 Zoetspoelen van de toplaag	Vaste meetpunten (incidenteel verschuifbaar) met varende metingen	Meer zoutsensoren over diepte (elke 2-3m), en mogelijk meer meetlocaties. Daarnaast stroomsnelheidsmetingen in diepe put
	2.2 Afschaven onderlaag	Vaste meetpunten, incidenteel verschuifbaar	Meer zoutsensoren over diepte ter hoogte van spronglaag (lokaal elke 0.2m), stroomsnelheidsmeting over diepte, meerdere afvoervolumes, meerdere locaties
	2.3 Opmengen zoute onderlaag bij hoge afvoeren	Vaste meetpunten, incidenteel verschuifbaar	Noodzaak voor veel meer zoutsensoren over diepte (elke 1m) om dynamiek van pycnocline te bepalen, daarnaast noodzaak voor detailmetingen stroming (en turbulentie) in horizontaal en verticaal
	2.4 Zouttransport door de kering	Vaste meetpunten in de kering, incidenteel verschuifbaar	Zie "zoutvracht door de kering".
3. Zoetgespoeld	3.1 Verticale opmenging vanuit diepere delen	Vaste meetpunten, incidenteel verschuifbaar	Noodzaak voor veel meer zoutsensoren over diepte (lokaal elke 0.2m) om dynamiek van pycnocline te bepalen, daarnaast noodzaak voor detailmetingen stroming (en turbulentie) in horizontaal en verticaal
	3.2 Horizontale verspreiding van opgemengd water	Varende metingen	Metten in omgeving van opmenglocatie, bij voorkeur onderzoeken wanneer slechts een enkele put is verzilt en wordt opgemengd, zodat individuele zout-pluim uit put kan worden gevolgd.
	3.3 Transport van zout water over drempels	Eerst vaste metingen, later varende	In eerste instantie alleen dmv vaste meetpunten kijken of en wanneer het optreedt door het zoutgehalte onder in twee naastgelegen diepe putten te meten. Als blijkt relevant: het verhang van de pycnocline en het zouttransport over de drempel bepalen ahv varende metingen tijdens een wind-event.
4. Omgevingsfactoren	4.1 Transportprocessen in de Voordelta	Varende en vaste metingen	Varende 13-uursmetingen om residuele transportpatronen te bepalen (zout en stroomsnelheid meten), en/of satellietbeelden (zie Appendix B). Daarnaast continue metingen van zoutgehalte en variabiliteit (over diepte en tijd) voor inschatten te verwachten instromende zoutgehaltes (elke 2-3m)
	4.2 Overige zoutlast en wateraanvoer	Varende en vaste metingen	Eerst varende metingen om debieten en zoutlasten te bepalen, daarna aan de hand van vaste aanvullende en bestaande bovenstroomse metingen

## 7 Conclusies

### 7.1 Processen

Het grootste risico is de zoutverspreiding door middel van (op)menging in periodes met een gesloten kering. Om dit te doorgronden is de dynamiek van diepe putten belangrijk om te doorgronden. Doordat dan geen beheersmaatregelen meer beschikbaar zijn, is het de bedoeling dit te voorkomen.

Om de kans op zoutverspreiding in een zoetgespoelde periode zo klein mogelijk te maken, is het gewenst om de mate waarin het aanwezige zout in de voorafgaande zoetspoelfase kan worden teruggedrongen nauwkeurig te bepalen. De effectiviteit van zoetspoelen is daarmee de grootste onbekende. De mate waarin zout het systeem uitgewerkt kan worden en er (tenminste) een zoete bovenlaag kan worden gecreëerd, is belangrijk om tijdens een vroeg stadium van het Lerend Implementeren te onderzoeken.

Met betrekking tot de werking van het systeem, zijn de zoutverspreiding in het Haringvliet zelf en de transportvolumes van water en zout door de Haringvlietsluizen en de mate van menging aan zee- en rivierzijde van de kering eerste vereisten om goed inzichtelijk te krijgen. Zonder deze kennis, zal het zeer moeilijk worden om de processen die meespelen bij de zoet-zout dynamiek in het Haringvliet (zowel bij “normaal beheer” als bij “zoetspoelen”) in kaart te brengen. Het in kaart brengen van de zoet-zout dynamiek in het Haringvliet kan ten dele worden bekeken door naar de diepe putten te kijken, maar er zal voor een beter begrip van de verspreidingsprocessen ook naar de overige delen van het gebied moeten worden gekeken.

Een ander punt wat daarnaast van belang is, is de zoet-zout dynamiek in de Voordelta en de monding van het Haringvliet (in de tabellen: 4.1). De menging en uitwisseling in dit gebied is van belang voor het kunnen inschatten van verwachte zoutlasten op het Haringvliet en daarom van groot belang voor het afregelen van een 3D model, wat gebruikt kan worden ter ondersteuning van Lerend Implementeren en uitvoering van het Kierbesluit.

### 7.2 Meetlocaties en gebieden

Op basis van de hierboven beschreven opsomming van te onderzoeken processen en op basis van de concretisering van de meetbehoefte kan een eerste aanzet worden gemaakt tot een geografische ordening en prioritering van deze meetbehoefte. Deze ordening is primair gericht op het samenbrengen van meetbehoeftes op ruimtelijk niveau, zodat metingen gericht kunnen worden ingezet voor beantwoording van verschillende kennisleemtes in het zelfde gebied.

Geografisch kan het systeem worden opgesplitst in drie hoofddelen:

- Het Haringvliet
- De Haringvlietsluizen
- De Voordelta en de monding van het Haringvliet

De meetbehoefte in het Haringvliet bestaat primair uit een tweetal aspecten: Ten eerste een Haringvliet-breed beeld van de zoutverspreiding en terugdringing, samen met de mogelijkheid tot een grofstoffelijke inschatting van de zoutlast op het gebied. Het tweede doel is om in detail een analyse van de zoet-zout dynamiek in de voormalig getijdegeulen en diepere delen van het Haringvliet te kunnen maken. Daarbij zal voor elk van de drie fasen (Kieren,

zoetspoelen en zoetgespoeld) moeten worden gekeken hoe deze dynamiek verandert. Waarschijnlijk kan (deels) aan de hand van de bepaling van de dynamiek in een enkele put lessen worden geleerd die ook van toepassing zullen zijn in de overige putten. Voor de diepe putten, en de algehele zoutlast kan grotendeels worden volstaan met tactisch gekozen vaste meetpunten. Voor het in kaart brengen van ruimtelijk dynamische processen zoals de zoutindringing (Kieren) en terugdringing (Zoetspoelen) zullen aanvullende varende metingen moeten worden gedaan.

Voor de Haringvlietsluizen geldt dat het zout- en watertransport in kaart gebracht moet worden, terwijl ook de menging als gevolg van de stroming door de kering moet worden bepaald. Veelal kan dit aan de hand van vaste meetpunten, al zullen de eisen voor metingen in de Haringvlietsluizen aanzienlijk verschillen van die in het Haringvliet zelf. Voor de bepaling van de menging en onttrekking en lozingsdieptes aan weerszijden van de kering zullen echter wel incidenteel varende metingen moeten worden uitgevoerd.

Op het gebied van randvoorwaarden en omgevingsfactoren wordt op dit moment de nadruk gelegd op de monding van het Haringvliet en in de Voordelta. Voor dit gebied geldt dat het residuele transport en de menging van het gespuide zoete (of brakke) water hier de primaire kennisbehoefte is. De verspreiding van dit gespuide zoete (brakke) water kan inzicht geven in de menging en residuele stroming. Echter, het is niet eenvoudig deze processen aan de hand van in-situ metingen nauwkeurig te bepalen. Een aanvullende mogelijkheid kan zij om aan de hand van modelresultaten en satellietbeelden de verspreiding van het gespuide zoetere water te volgen en daarmee de metingen in een ruimtelijk kader te plaatsen.

### **7.3 Type metingen**

De op basis van kennisleemtes en informatiebehoefte afgeleide monitoringsstrategie verschilt op een aantal punten van het huidige meetnet (beschreven in paragraaf 2.2). Hieronder volgen de belangrijkste aanbevelingen:

- Op dit moment worden op de vaste meetpunten slechts op 3 dieptes zout gemeten, dit stelt je mogelijk in staat te zien wat er gebeurt (of is gebeurd), maar is onvoldoende om te begrijpen waarom iets gebeurt. Processen zoals zoutverspreiding (bij kieren en zoetspoelen) en verticale opmenging (in de zoetgespoelde fase) kunnen niet met behulp van sensoren op alleen drie dieptes in kaart worden gebracht.
- Om de werking van verschillende processen daarnaast goed te doorgronden is het gewenst om in ieder geval in een diepe put (of voormalige getijdegeul) de stroomsnelheden over de diepte (zowel horizontaal als verticaal) in kaart te brengen. Zowel bij het vollopen van de diepe putten als bij verticale opmenging en verspreiding kunnen alleen worden begrepen als de turbulentie en stroomsnelheden bekend zijn.
- Tot slot is het gewenst om bij varende metingen ook de stroomsnelheden over de diepte te bepalen. Op deze manier kunnen gemeten zoutgehalten over de diepte gerelateerd worden aan de verspreidingssnelheid en richting.

## 8 Literatuur

Deltares, 2009

Trillingsmetingen aan het schuivencomplex Haringvliet. Erdbrink, C.D., Jongeling T.H.G.  
Deltares rapport. 1002093-000-ZKS-0002

Deltares, 2014

Metten en monitoren van zoutverspreiding. Schroevers, R. Deltares rapport  
1208686-000-ZKS-0003

Deltares, 2015

Literatuurstudie Kierbesluit Haringvliet. Huismans, Y. Deltares memo  
1220106-005-HYE-0001

## A Kennisleemtes

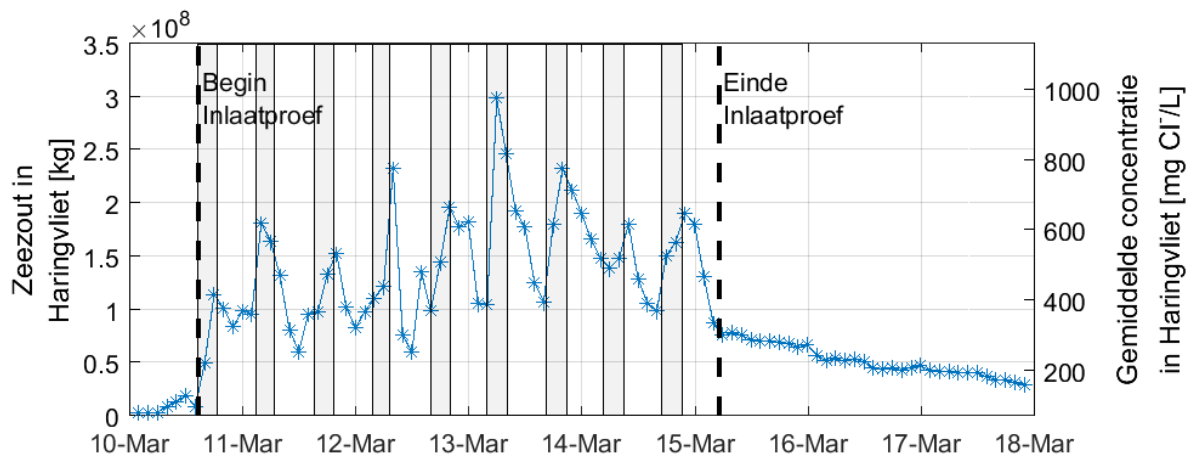
### A.1 Fase: Kieren

Tijdens normaal beheer van de Haringvlietsluizen, zal deze in de toekomst zowel tijdens eb (zoals nu al het geval is) als bij vloed openstaan. Hierdoor wordt niet alleen overtollig zoet water het Haringvliet uitgelaten, maar zal ook zout water worden ingelaten. Om een goed beeld te krijgen van de globale zoutverspreiding, als ook de detail-trends, zullen verschillende aspecten in beschouwing genomen moeten worden:

#### Verspreiding van zout in het Haringvliet

De indringing en terugdringing van zout water in het Haringvliet over een getij-periode vormt een primair proces wat nauwkeurig bekeken en begrepen moet worden om inzicht te krijgen in de zoet-zout dynamiek van het Haringvliet bij uitvoering van het Kierbesluit. Daarnaast is van belang dat dit proces goed begrepen moet worden om de beheersbaarheid van de zoutindringing en mate van terugdringing te begrijpen.

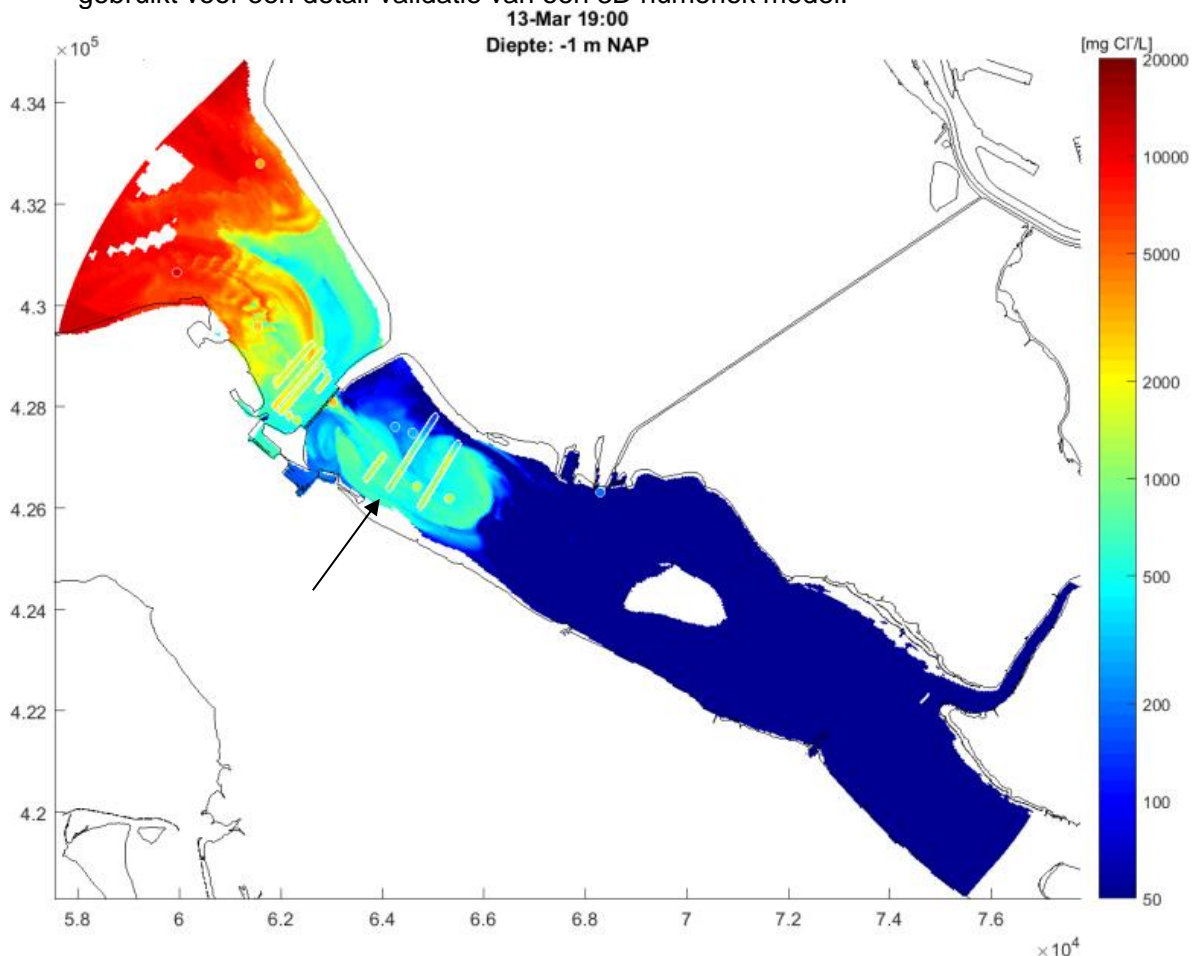
- Zoutvracht in het Haringvliet  
 Voor een grofstoffelijk begrip van de zoet-zout dynamiek van het system kan gebruik worden gemaakt van een zoutbalans van het gehele gebied ten oosten van de Haringvlietsluizen. Deze kan worden opgesteld aan de hand van het zouttransport door de Haringvlietsluizen, of door de eigenlijke hoeveelheid zout in het Haringvliet zelf te meten. Deze tweede methode is al toegepast voor de Inlaatproef van 1997 (Figuur A.1) en bleek redelijk robuust te zijn voor het bepalen van de grofstoffelijke hoeveelheid zout in het systeem.



Figuur A.1 Zoutbalans op basis van gemeten zoutgehalten tijdens de Inlaatproef van 1997. De gearceerde vlakken geven de vloedperiodes aan waarin zout water het Haringvliet is ingelaten.

- Verspreidingsnelheid en laagdikte  
 Wanneer de Haringvlietsluizen tijdens vloed worden geopend, zal het zoute water eerst de diepere delen (rond -12 m NAP) direct achter de kering opvullen. Wanneer deze vol is gelopen (wat verwacht wordt binnen een getijperiode) zal het zout zich langs de bodem, de diepe delen volgend, verspreiden richting het oosten. De snelheid waarmee dit gebeurt, en de laagdikte waarover het zoute water zich verdeelt zijn waarschijnlijk

gerelateerd aan de mate van zout water aanvoer, en de helling van de bodem. De mate waarin zout water zich verspreidt en ook tijdens de eb-fase kan worden teruggedrongen is reeds eenmalig met behulp van een groot aantal metingen in kaart gebracht tijdens de Inlaatproef van 1997. Deze meetgegevens zijn in een recent project gebruikt ter vergelijking van modelresultaten (Figuur A.2). Echter deze enkele meetcampagne biedt slechts een testcase waaraan systeeminzicht, proceskennis en een numeriek model getoetst kunnen worden. Verder inzicht in de zoutverspreiding en terugdringing leidt niet alleen tot beter inzicht in de optredende processen, maar zal ook moeten worden gebruikt voor een detail-validatie van een 3D numeriek model.



Figuur A.2 Vergelijking tussen gemeten (witte cirkels, aangegeven met pijl) en gemodelleerde zoutgehalten (contourveld) tijdens de Inlaatproef van 1997.

- Vollopen van de voormalige getijdegeulen  
Naast de verspreiding van zout in het systeem gedurende iedere getijde fase, is de verwachting dat met name voormalige getijdegeulen zullen vollopen met zout water en dit ook gedurende de eb-fase (deels) vast zullen houden. Deze diepe putten kunnen ook bij een zoetgespoeld systeem nog zout water bevatten, en dit zoute water kunnen naleveren naar de omgeving. Deze voormalige getijdegeulen vormen daarmee een moeilijk controleerbaar deel van het Haringvliet en de dynamiek waarmee vooral oostwaarts gelegen putten vollopen, zal begrepen moeten worden om een inschatting te kunnen maken van de beheersbaarheid hiervan.

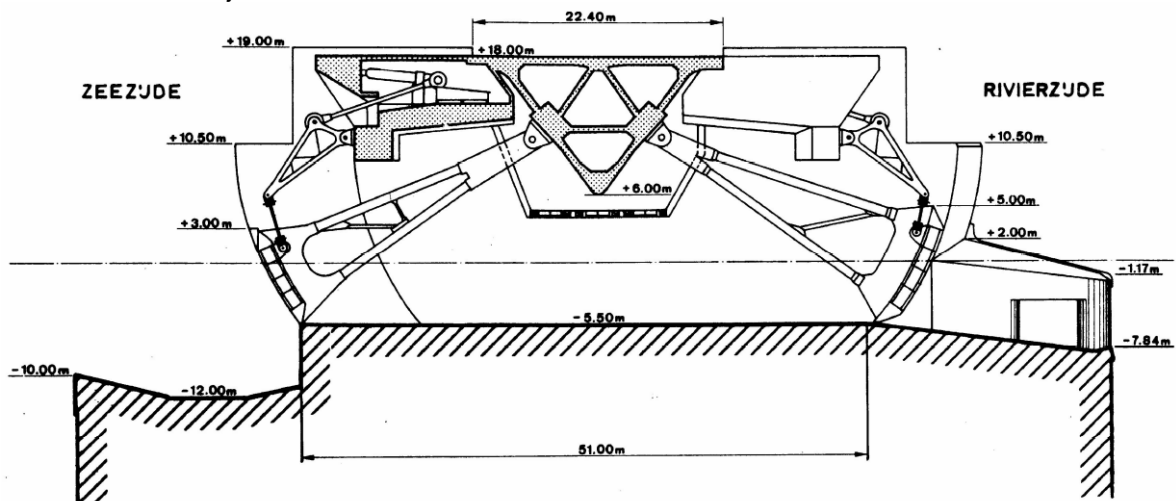
## Transport door de kering

Om een grofstoffelijk beeld te krijgen van de zoet-zout dynamiek van het systeem is het van belang om een goed beeld te verkrijgen van de transportprocessen zoals die in de Haringvlietsluizen optreden. In relatie tot het transport door de kering worden verschillende deelaspecten in beschouwing genomen.

- **Debiet en zoutvracht door de kering**  
Dit betreft zowel het watertransport als ook het zouttransport dat door de kering plaatsvindt. Op dit moment met een kering die alleen open gaat bij eb, wordt alleen zoet water uitgelaten. De hoeveelheid water die het Haringvliet uitstroomt, is alleen bij benadering bekend. De hoeveelheid zout en water die bij vloed door de kering naar binnen zal stromen is daarentegen nog (deels) onzeker.

Wanneer tijdens het Lerend Implementeren ook (zout) water wordt ingelaten tijdens vloed, wordt het nauwkeurig kunnen inschatten van het debiet en de zoutvracht heel relevant voor het begrijpen van transportprocessen in het gehele RMM-gebied, en specifiek de zoutvracht en zoutverspreiding in het Haringvliet. Daarnaast is het voor modellen relevant om op basis van een gemeten debiet door de kering een betere kwantificering van verliescoëfficiënten te kunnen geven.

- **Onttrekkings- en lozingsdieptes aan weerszijden van de kering**  
Wanneer water wordt onttrokken uit een gelaagd systeem, is het van belang om een beeld te hebben vanuit welke laag het water wordt onttrokken. Voor de Haringvlietsluizen spelen daarbij twee aspecten nog nader een rol: Elk van de 17 sluizen heeft twee deuren. Als water wordt ingelaten zal een van de twee deuren geheel openstaan, terwijl de andere “op een kier” zal staan. De instroming (uitstroming) van water zal verschillen als de eb- of vloed-deur wordt geopend en leiden tot een andere onttrekking en lozingsdynamiek. Daarnaast is aan zeezijde van de kering een woelbak opgenomen (Figuur A.3), welke van invloed kan zijn op mogelijkheden om dieper water van de zeezijde te onttrekken.



Figuur A.3 Dwarsdoorsnede van de Haringvlietsluizen (bron: Deltares, 2009)

- **Mate van opmenging als gevolg van de kering**  
Bij inlaten (en uitlaten) van water speelt daarnaast nog mee in hoeverre het ingelaten (uitgelaten) water wordt opgemengd met het reeds aanwezige water. In de huidige



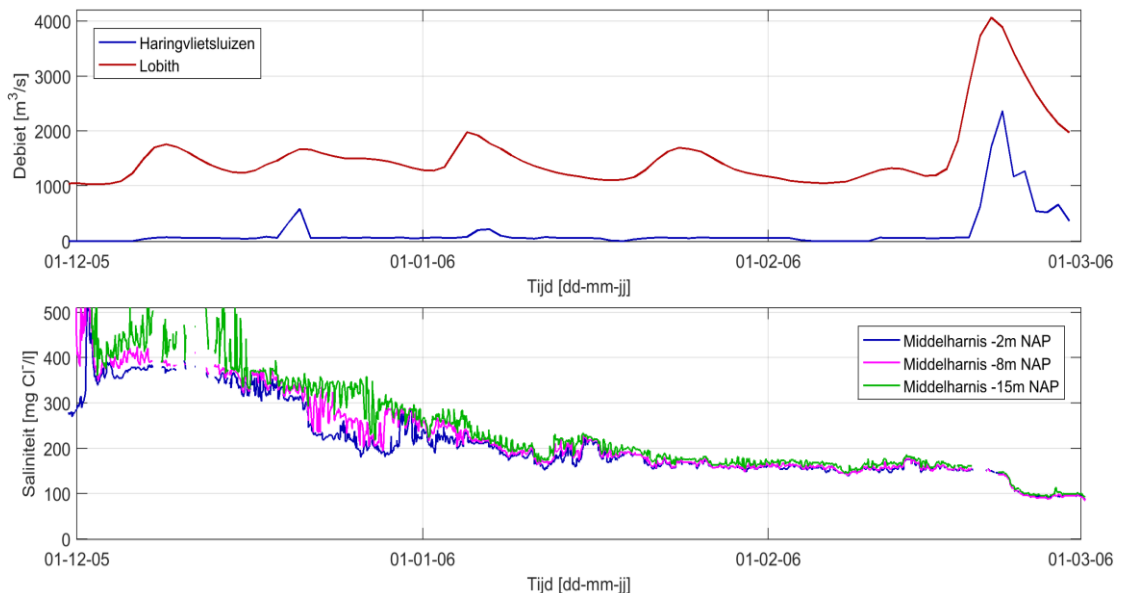
situatie is het slechts zeer beperkt relevant in hoeverre het geloosde zoete water opmengt met het zoute zeewater. De mate waarin inkomend zeewater opmengt kan echter van invloed zijn in de vorming van een sterk (of zwak) gelaagd systeem. Daarnaast speelt ook mee dat het opmengen van het in zee geloosde water (bij eb) invloed kan hebben op de transportprocessen aan zeezijde van de kering, waardoor dit gebied zoeter (of zouter) wordt en er dus minder (of meer) zout water bij vloed het Haringvliet instroomt.

## A.2 Fase: Zoetspoelen

Ontzilting kan op twee manieren gebeuren:

- Zoetspoelen. Voorafgaand aan verwachte lage afvoeren (bij Lobith) zal een fase in werking treden waarin extra water het Haringvliet zal worden uitgelaten, zonder tijdens vloed water in te laten. Dit heeft tot doel om het binnengekomen zoute water zo veel mogelijk naar zee te verplaatsen.
- Een tweede manier om verzilting van het Haringvliet terug te dringen is als gevolg van hoge rivierafvoeren ( $> 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ), die door de Haringvlietsluizen naar zee worden afgevoerd. Hierbij geldt echter dat bij deze afvoervolumes ook gekierd zal worden, mits ook een hoge afvoer wordt verwacht in de nabij toekomst.

In Figuur A.4 is het effect van beiden terug te zien op de verzilting van de diepe put bij Middelharnis. Rond 20 december 2005 wordt in eerste instantie zoetgespoeld, waardoor met name de bovenste lagen ontzilt worden. Eind februari 2006 volgt daarna een afvoerpiek waardoor het resterende zout uit de diepe put wordt gespoeld.



**Figuur A.4** Terugdringing van verzilting in een diepe put in het Haringvliet (december 2005 – februari 2006). (boven) Rivierafvoer bij Lobith en door de Haringvlietsluizen (waarschijnlijk afkomstig van een SOBEK-model berekening). (onder) Het gemeten zoutgehalte op drie verschillende dieptes in de diepe put bij Middelharnis.

Met betrekking tot ontzilting van het Haringvliet kunnen de volgende processen worden geïdentificeerd.

- Zoetspoelen van de toplaag

Extra afvoer door de Haringvlietsluizen zal leiden tot extra aanvoer van zoet rivierwater (ten koste van afvoer over de Nieuwe Waterweg). Met name bij zoetspoelen zal dit zoete water in de eerste plaats de (mogelijk) verzilte toplaag verzoeten. Dit is te zien in Figuur A.4: Wanneer (als gevolg van achterwaartse verzilting) verzilting optreedt over alle dieptelagen, leidt (zeer beperkt) zoetspoelen tot het verzoeten van de bovenlaag, terwijl de diepere delen van het Haringvliet verzilt blijven.

- Afschaven van de zoute onderlaag  
Wanneer sprake is van een (sterk) gelaagd systeem met een zoete bovenlaag, zal zoetspoelen vermoedelijk hoofdzakelijk leiden tot het afschaven van de zoute onderlaag, en daarmee tot een verlaging van de grenslaag leiden. De verwachting is dat zoetspoelen voornamelijk zal leiden tot het verzoeten van de bovenste lagen van het Haringvliet, maar niet de diepere delen zal weten te ontzilten. De verwachting is dat gedurende de aansluitende periode met lage afvoeren waarin de kering continue dicht is, de verzilte diepe delen slechts beperkt zullen opmengen.
- Opmengen van de zoute onderlaag bij hoge afvoeren  
Wanneer sprake is van hoge rivierafvoeren en er veel water door de Haringvlietsluizen naar zee zal worden gespuid, is het de verwachting dat ook de diepere delen van de voormalige getijdegeulen zullen worden “schoon”-gespoeld. In Figuur A.4 is te zien dat het resterende zoutgehalte tot een diepte van 15m wordt uitgespoeld en vervangen met zoet rivierwater. Onbekend is voorlopig nog welke debieten leiden tot verzoeting tot welke dieptes.
- Zouttransport door de kering  
Nadat zout water in beweging is gebracht, zal deze door het Haringvliet moeten worden verplaatst om door de kering naar zee toe te worden gespuid. In het geval van zoetspoelen is de hoeveelheid gespuid water beperkt, en zal ook gekeken moeten worden in hoeverre het zoute water daadwerkelijk naar zee wordt getransporteerd, en niet deels achterblijft in de dicht bij de sluisen gelegen delen van het Haringvliet. Dit punt sluit aan bij wat in “Debiet en zoutvracht door de kering” in paragraaf A.1 is beschreven.

### A.3 Fase: Zoetgespoeld

Bij (zeer) lage afvoeren ( $Q_{\text{Lobith}} < 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) zullen de Haringvlietsluizen zowel bij eb als bij vloed gesloten zijn. Het is echter waarschijnlijk dat in die periodes nog wel zout water in het Haringvliet is achtergebleven. Het zout zal zich vooral in de diepere delen van het meer bevinden, omdat voorafgaand aan deze periode de zoute bovenlaag is zoetgespoeld. Echter, er blijft een risico op nalevering uit de voormalige getijdegeulen bestaan en in periodes met lage afvoeren is geen directe methode om verspreiding van dit zoute water te beheersen. De condities waar dit kan optreden zijn nog onbekend, en het is dus onzeker in hoeverre dit op zal treden. Uit de zoutmetingen aansluitend op het achterwaartse verziltingsincident in 2005 (Figuur A.4) blijkt dat er een geleidelijke afname van het zoutgehalte is in de periodes dat er geen water wordt gespuid. In dit geval was er sprake van slechts beperkte verzilting en nagenoeg geen stratificatie. Echter, in hoeverre de situatie bij het Kieren aansluit op deze metingen is vooraf niet goed in te schatten. In de toekomst zal na zoetspoelen waarschijnlijk wel sprake zijn van een gestratificeerd systeem, wat invloed kan hebben op de mate van opmenging.

Gericht op het risico van zoutverspreiding in periodes dat de Haringvlietsluizen zijn gesloten, zijn de volgende processen van belang:

- Verticale opmenging van zout uit diepere delen van het Haringvliet  
Bij een periode met gesloten kering is waarschijnlijk sprake van een sterke stratificatie, waarbij alleen in de diepste delen van het meer zout water is. Opmenging kan mogelijk worden veroorzaakt door omgevingsfactoren als hoge windsnelheden en golfwerking. Echter het is waarschijnlijk afhankelijk van de mate van stratificatie en de diepte waarop deze zoet-zout overgang zich bevindt of er sprake kan zijn van (abrupte) verticale opmenging. Opmenging als gevolg van golfwerking is vooral relevant voor grote wateroppervlaktes, met een aanzienlijke strijklengte waardoor golven tot aanzienlijke omvang kunnen toenemen. Opmenging van het westerlijk deel van het Haringvliet zal, rekeninghoudend met de dominante windrichting, waarschijnlijk slechts beperkt beïnvloed worden door golfwerking.
- Horizontale verspreiding (nalevering) van opgemengd zout water aan de omgeving  
Eenmaal opgemengd is de vraag in hoeverre het verzilte water zich verspreidt naar andere (stroomopwaarts gelegen) gebieden.
- Transport van zout water over drempels  
Ook als er geen sprake is van opmenging, kan door middel van windopzet een verhang in het wateroppervlakte worden gecreëerd. Dit oppervlakte-verhang leidt mogelijk op de overgang van zoet en zout water tot een veel sterker tegengesteld verhang. Wanneer het zout onder kalme condities zich tot net onder de drempel bevindt, kan een stormgedreven verhang er toe leiden dat het zout over de drempel wordt geduwd richting een volgend dieper deel.

#### A.4 Omgevingsfactoren

##### **Transportprocessen in de monding van het Haringvliet en de Voordelta**

Aan zeezijde van de Haringvlietssluis vindt onder invloed van getij en wind de uitwisseling tussen het zoute zeewater en gespuid zoet water plaats. De mate waarin dit gespuid zoete water wordt ververst met zout zeewater bepaalt zo het gehalte van het tijdens vloed binnendringende water.

In het verleden is er minder aandacht geweest voor de menging van het gespuid water omdat dit toch niet meer het systeem in kon komen. Met invoering van het Kierbesluit wordt dit gebied aan zeezijde van de kering juist van belang.

- Zoutgehalten aan zeezijde van de kering  
Om een beeld te krijgen van het zoutgehalte van het ingelaten water kan deels gebruik worden gemaakt van een zoutmeter in de kering. Deze enkele meter zegt echter weinig over de zoet-zout verdeling (horizontaal en verticaal) aan zeezijde van de kering, omdat in de kering vermoedelijk sprake zal zijn van een redelijk goed gemengd systeem en het slechts een enkele spijkoker betreft. Over de breedte van de Haringvlietssluis is veelal sprake van een variabel zoutgehalte (zie Figuur A.2). Voor bepaling van de hoeveelheid zout die het Haringvliet binnen komt, is een beeld van de verdeling van het zoutgehalte aan zeezijde van de kering gewenst.
- Residuele stromingspatronen aan zeezijde  
Het zoutgehalte aan zeezijde van de kering wordt deels bepaald door het volume en het zoutgehalte van het gespuid zoete water. Echter, wat hierbij ook meespeelt is de mate

waarin dit water wordt verversd. Voor de bepaling van de verversing van de monding van het Haringvliet (aan zeezijde van de kering) is inzicht in de stromingspatronen en verblijfstijden nodig. Deze stromingspatronen zijn deels circulair over een getij-periode, terwijl met name de residuele stroming hierbij naar verwachting van belang is voor de verversing (en daarmee verzilting) van het gebied aan zeezijde van de kering.

### **Overige zoutlast en wateraanvoer**

Naast de instroom van zout water vanuit zee via de Haringvlietsluizen, zullen de zoutlast en het debiet in het Haringvliet ook beïnvloed worden door overige bronnen.

- **Aanvoer grote rivieren**  
De aanvoer van rivierwater zal over het algemeen leiden tot een verdunning van het zoutgehalte in het Haringvliet. Bij lage rivierafvoeren is er ook sprake van een lichte mate van verzilting van de Rijn en Maas. De invloed hiervan zal nabij de Haringvlietsluizen beperkt en vertraagd zijn (omdat de sluisen onder deze condities ook dicht staan), maar verder stroomopwaarts (voorbij het Spui) leiden tot een (kleine) toename van verzilting en een beperking van de mogelijkheden om de mogelijke zoutverspreiding vanuit het stroomafwaartse deel van het Haringvliet te verdunnen. Daarnaast zullen deze termen ook mee moeten worden genomen voor het opstellen van een zout- en een waterbalans van het systeem.
- **Achterwaartse verzilting en nalevering**  
Wanneer als gevolg van lage rivierafvoeren en stormopzet zout water vanaf de Oude Maas het Spui en de Dordtsche Kil opstuwt, kan dit leiden tot een extra bron van verzilting naar het Haringvliet (en het Hollandsch Diep). Aansluitend kan dit leiden tot nalevering van zout water uit het Haringvliet naar innamepunt Bernisse en tot een toename van de verzilting in het Haringvliet zelf. De mate waarin het Haringvliet al is verzilt door implementatie van het Kier-besluit kan bepalend zijn of de extra toestroom van zout water als gevolg van achterwaartse verzilting leidt tot nalevering naar Bernisse met een te hoog chloride gehalte. Een begrip van de zoutvracht en de mate van opmenging van inkomend zout water uit het Spui en de Dordtsche Kil is noodzakelijk om de risico's op teruglevering nu en in de toekomst in te kunnen schatten.

## B Omschrijving van de meetbehoefte

Omdat de opdracht slechts een eerste aanzet tot een monitoringsplan betrof, wordt in de huidige opzet niet specifiek stil gestaan bij de verschillende stappen die genomen moeten worden om van de originele kennisbehoefte via gerichte kennisvragen en wensen tot procesinzichten te komen. Voor een volledig monitoringsplan kan het inzichtelijk zijn om per kennisvraag te bepalen hoe deze vraag beantwoord kan worden, en wat voor meetgegevens hiervoor nodig zijn. Omdat het hier slechts gaat om een beknopte en eerste aanzet worden in dit hoofdstuk deze stappen niet specifiek uitgesplitst, maar alleen een indicatie gegeven van de mogelijke toepasbaarheid van de bestaande en geplande metingen, en waar mogelijk aanvullende metingen gewenst zijn

In deze memo wordt voor de vaste meetlocaties uitgegaan van sensoren op drie dieptelagen. De vaste meetpunten worden echter veel breder inzetbaar als er op meer dan drie dieptes zou worden gemeten. Bijvoorbeeld voor de bepaling van de zoutvracht, de zoutverspreiding en locatie van de grens van de zouttong zijn metingen op meer dieptelagen nabij de bodem gewenst. Ons voorstel zou dan ook zijn om het aantal zoutsensoren uit te breiden naar minimaal vijf (sensoren ter hoogte van de bodem, en waarschijnlijk op -12 m NAP, -10 m NAP, -8 m NAP en nabij het wateroppervlakte).

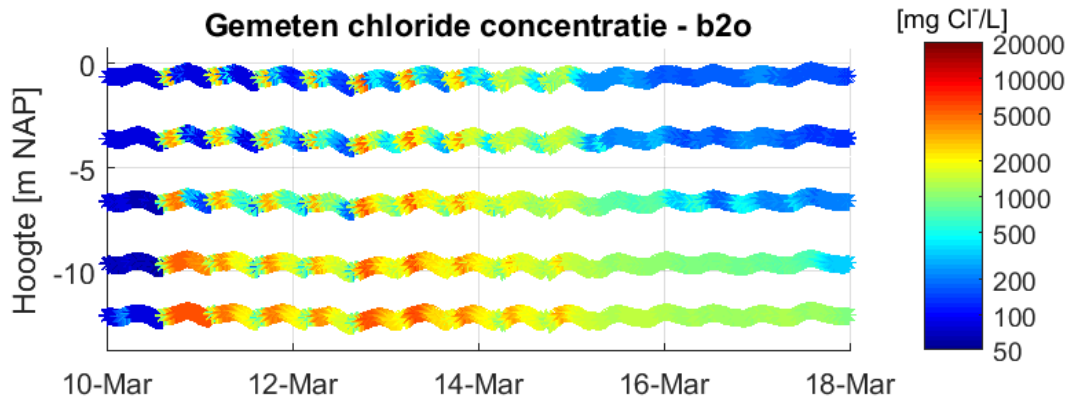


Figure B.1      Voorbeeld van het gemeten zoutgehalte in het Haringvliet tijdens de Inlaatproef 1997.

Voor ontzilting van diepe putten de verschuiving van de overgang tussen de zoete bovenlaag en de zoute onderlaag juist beter in kaart zou moeten worden gebracht. en in elk geval in één diepe put in het westelijke deel van het Haringvliet op nog meer lagen te meten (ter hoogte van de pycnocline elke 0,2m), zodat zowel de verwachte zoute laag in de diepte, als de overgang tussen de zoete en zoute laag in kaart worden gebracht.

### B.1 Fase: Kieren

#### Verspreiding van zout in het Haringvliet

- Inzet vaste meetnet:
  - o Zoutvracht bepaling: De vaste meetpunten kunnen bijdragen aan de grofstoffelijke bepaling van de zoutvracht in het Haringvliet. Echter, doordat deze metingen op een beperkt aantal locaties en slechts op drie diepte lagen plaatsvinden, zijn ze slechts van beperkte waarde.

- Vollopen van de diepere delen van het Haringvliet: Hiervoor zijn vaste meetpunten mogelijk geschikter. Echter de locatie van de CTD-sensoren zouden mogelijk dichterbij de bodem van de put moeten, waarbij er op meer diepte lagen moeten worden gemeten.
  - Stroomsnelheden: Op de vaste meetlocaties waar nu alleen zoutgehalten worden bepaald, is het nuttig om ook een stroomsnelheidsmeter te plaatsen die de stroomsnelheid over de diepte in kaart brengt. Het toevoegen van een stroomsnelheidsmeter heeft een grote toegevoegde waarde. Door alleen al op een enkel punt in het Haringvliet in een diepe put de stroomsnelheden over de diepte en tijd te bepalen, kunnen gemeten zoutgehalten (beter) gerelateerd worden aan verschillende processen, zoals:
    - Het binnendringen en de bepaling van de verspreidingssnelheid van het instromende zoute water.
    - Effectiviteit van zoetspoelen en de mate van terugdringen van verzilting,
    - Stroming en dynamiek van een gelaagd systeem: Interactie tussen de zoete bovenlaag en zoute onderlaag en de mate van verticale opmenging onder verschillende forceringscondities.
- Ons voorstel zou zijn om een ADCP gedurende het eerste jaar van het Lerend Implementeren in een diepe put achter de Haringvlietsluizen te plaatsen (locatie 3 of 4 in Figuur 5.1), om zo de zoutindringing, terugdringing en verticale opmenging in kaart te brengen.
- Varende metingen
    - Deze zouden zich moeten richten op het in kaart brengen van de overgang tussen het verzilte en het zoete deel van het Haringvliet en de verandering daarin. Daarmee kan worden bijgedragen aan het bepalen van een zoutbalans, maar kan ook inzicht worden verkregen in de verspreidingssnelheid en laagdikte.
  - Aanvullende meetmethodes:
    - Door middel van remote-sensing zouden incidentele metingen ter aanvulling (of in de toekomst ter vervanging) van de varende metingen gedaan kunnen worden. Deze zouden een hogere resolutie weergave kunnen geven dan mogelijk is met behulp van een varende CTD. Grootschalige EM metingen (bijvoorbeeld met helikopter of drone) zouden de mogelijkheid bieden een momentopname van de zoutverspreiding in het Haringvliet kunnen bepalen. Deze gegevens zouden kunnen worden gebruikt voor het bepalen van een zoutbalans (ter validatie en als aanvulling op de vaste meetboeien) en daarnaast toeleverend kunnen zijn voor het afregelen van de bepaling van de (cumulatieve) zoutvracht door de sluisen. Op dit moment lopen er verschillende onderzoeken om de inzetbaarheid van remote-sensing apparatuur voor de verspreiding van zout in kaart te brengen.

### Transport door de kering

- De toepassing van stroomsnelheidsmetingen in een enkele koker van de kering kunnen inzicht geven in een deel van de transportprocessen en energieverliezen door de kering. Door de meetapparatuur incidenteel te verplaatsen kan een vollediger beeld worden verkregen van de processen door de kering heen, waarbij gekeken zou kunnen worden in hoeverre de stroming door verschillende kokers verschilt. Het is echter onzeker in hoe nauwkeurig deze stroomsnelheidsmeting het debiet door een spuikeker kan afschatten.



- De geplande zoutmeting in de kering is van belang voor het bepalen van het zouttransport door de kering (in samenhang met de debietbepaling). Voor deze meting geldt ook dat het verplaatsen van de sensor gewenst is, om zo een ruimtelijk beeld van (bijvoorbeeld de gelaagdheid) in de koker te bestuderen. Echter, voor de zoutmetingen in de kering is het wel van groot belang dat (tegelijktijd) verschillende kokers worden gemeten, om de ruimtelijke variabiliteit in het zoutgehalte over de kering te bepalen. Daarbij kan in de eerste plaats gedacht worden aan het plaatsen van een sensor in koker 17 en 13-15 om de grootste ruimtelijke variabiliteit in kaart te brengen (kokers 1-13 worden in minder mate gebruikt).
- Ter validatie van de metingen op de kering die een indicatie geven van het zout- en watertransport door de kering, kunnen de vaste meetlocaties worden gebruikt. Wanneer meer zout water wordt ingelaten, zou dit ook moeten blijken uit het zoutvracht in het Haringvliet zelf. Echter, de vaste zout-meetlocaties zijn slechts zeer beperkt geschikt voor het bepalen van transportprocessen door de kering heen, omdat ze slechts op 3 diepte lagen meten. Naast zoutsensoren kan het echter ook relevant zijn om druksensoren toe te voegen aan de vaste meetpunten. Deze metingen geven namelijk een beeld van de drukverdeling over het Haringvliet, en kunnen als gevolg daarvan bijdragen aan het vaststellen van de waterbalans van het Haringvliet. De veranderingen in de waterbalans kunnen daarna worden herleidt tot het transport door de kering, waarmee met deze metingen de inzichten van de sensoren in de kering kunnen worden getoetst. Daarnaast kunnen de druksensoren worden gebruikt om de drukgradienten in het Haringvliet te bepalen en kunnen ze in combinatie met de zoutmetingen worden gebruikt om de verspreiding als gevolg van barotrope en barokliene drukverschillen te inventariseren.
- Vurende stromings- en zoutmetingen kunnen incidenteel helpen om de metingen in de koker van omgevings-informatie te voorzien.
  - o Zo zou het gemeten zoutgehalte in de koker kunnen worden gerelateerd aan de aanwezige watermassa's (en zoutgehaltes) stroomopwaarts van de kering en antwoord geven op de vraag welke diepte het water wordt onttrokken dat door de kering stroomt.
  - o Niet alleen moet het inkomende water worden gemeten, maar ook zal het uitgaande water (aan stroomafwaartse zijde van de kering) moeten worden bemeten om zo een beeld te krijgen van de mate van opmenging van het uitstromende water met de omgeving, en in hoeverre (en waar) het uitzakt naar een bepaalde laag.
  - o Tot slot zijn stromingsmetingen voor en achter de kering relevant voor het bepalen van de menging en onttrekking van water nabij de kering.<sup>1</sup>
- Voor het bepalen van het (water) transport door de kering kan ook gebruik worden gemaakt van de waterstand voor en na de kering. In het verleden zijn meetpalen 500m en 1000m voor en achter de kering (zowel noord- als zuidzijde) gebruikt voor het afschatten van verliescoëfficiënten van de gemodelleerde kering. Onverstoorde waterstanden verdienen hierbij de voorkeur, al kan bij lage afvoeren (wanneer een

---

<sup>1</sup> Echter, hierbij moet worden aangetekend dat het niet vaststaat of de nu in modelsoftware beschikbare formuleringen om keringen mee te modelleren geschikt zijn voor het beschrijven van de Haringvlietsluizen tijdens het Kierbesluit. Op dit moment is het alleen mogelijk een verschillende verliescoëfficiënt voor eb en voor vloed vast te stellen. Verschillende coëfficiënten voor verschillende hefhoogtes zijn niet geïmplementeerd. In hoeverre hefhoogte- (en daarmee mogelijk debiets-) afhankelijke verliescoëfficiënten gewenst zijn, is niet te zeggen, en zal op basis van vergelijkingen tussen metingen en modellen moeten worden gedaan.



deel van de kering is gesloten) ook gebruik worden gemaakt van de meetpalen in de nabijheid van het gesloten deel van de kering.

## B.2 Fase: Zoetspoelen

- De vaste meetpunten zijn met zoutsensoren op drie dieptes slechts ten dele geschikt om de ontzilting van het Haringvliet in kaart te brengen:
  - o Bij hoge rivierafvoeren is de verwachting dat mogelijk over de volledige diepte van het meer, zout het systeem wordt uitgespoeld. Dit is waarschijnlijk goed te meten met behulp van de vaste meetpunten (zolang deze de volledige diepte van een locatie bemeten).
  - o Bij het schoonspoelen van de toplaag (bij zoetspoelen) is het gewenst om de verplaatsing van de zoet-zout overgang te bemeten en ook de verdieping van de zoete laag in kaart te brengen. Dit kan mogelijk slechts ten dele met de vaste meetpunten in beeld worden gebracht. Met name de verdieping van de zoete laag is alleen zeer grofmazig te bepalen aan de hand van sensoren op drie dieptes (nabij de bodem, halverwege en aan het oppervlakte).
  - o Het afschaven van de zoet-zout overgang is tot slot amper in beeld te brengen aan de hand van de vaste meetpunten, omdat het hier gaat om relatief beperkte diepte-verschuivingen van de grenslaag.Voor de vaste meetpunten wordt dus aangeraden om meer zoutsensoren op meer dieptelagen toe te passen ter hoogte van de pycnocline.
- Varende metingen op specifieke momenten kunnen inzicht bieden in het terugdringen van verzilting, en vooral van belang zijn voor het schoonspoelen van de toplaag en het afschaven van de zoute laag. Mogelijk kan aan de hand van een beperkt aantal ontziltingsperiodes een goed beeld worden verkregen van de verschillende processen.

## B.3 Fase: Zoetgespoeld

- De vaste meetpunten kunnen mogelijk een zeer grofmazig beeld geven van de opmenging van zout over de diepte ter plekke van een diepe put. Omdat niet precies duidelijk is onder welke condities en gedurende welke tijdschalen opmenging zal optreden is het gebruik van vaste (langdurige) meetapparatuur hiervoor in eerste instantie zeer geschikt.

Een groter aantal sensoren zou echter leiden tot een veel betere verticale resolutie en de mogelijkheid om forceringsvariaties te relateren aan verticale zoutveranderingen.
- Voor de bepaling van de ruimtelijke verspreiding van opgemengd zout water zijn de vaste meetpunten (en zoutmeters bij innamepunten) ten dele geschikt om de "far field" verspreiding te registreren.
- Varende metingen (indien mogelijk tijdens een periodes met substantiële wind), waarbij dwars over een diepe put wordt gevaren en waarbij de locatie van de zoet-zout overgang (in de horizontaal) wordt gevolgd over tijd, kunnen een beter beeld geven van de dynamiek. De meetinterval zou hierbij de orde grootte van uren moeten zijn, om het effect van de variërende forcering (wind) te kunnen kwantificeren.
- Voor het transport over drempels zouden twee aangrenzende diepe putten moeten worden bemeten, mogelijk met vaste meetpunten of anders door tijdens meerdere stormen varende metingen uit te voeren. Daarbij moet worden aangemerkt dat zout uit een diepe put waarschijnlijk tegen de wind in over de drempel zal stromen.

## B.4 Omgevingsfactoren

### Transportprocessen in de monding van het Haringvliet en de Voordelta

- Op dit moment bevinden zich twee vaste metingen aan zeezijde van de kering. Een bevindt zich op de overgang tussen de monding van het Haringvliet en de Voordelta (Haringvliet 10) en een tweede meting ligt nabij de kering (aan zeezijde). De meetgegevens van het station nabij de kering worden echter op dit moment nog niet geregistreerd. Voor een beter begrip van de zoet-zout dynamiek in de voordelta zijn de meetgegevens van beide stations van groot belang. Nog voorafgaand de uitvoering van het Kierbesluit kunnen mogelijk inzichten in de responstijden en verplaatsingssnelheden van de uitgaande zoetwater tong worden bepaald met behulp van deze twee stations.
- Bij de start van het Lerend Implementeren, zal de pontonmeting aan zeezijde van de kering worden verplaatst naar de binnenzijde. Dit is begrijpelijk om zo een beter inzicht te verkrijgen in de zoutverspreiding in het Haringvliet. In de toekomst zou het echter mogelijk kunnen zijn dat aanvullende inzichten van de processen aan zeezijde van de kering gewenst is.
- Incidentele metingen (ADCP en CTD) aan zeezijde van de kering kunnen inzicht geven in de ruimtelijke verdeling van het zoutgehalte aan zeezijde van de kering over een getij-periode. Daarmee kunnen de metingen in de spuikoker voor kortstondige periodes in een ruimtelijk kader worden geplaatst.
- Naast metingen nabij de kering, kunnen ADCP en CTD metingen in de geulen aan zeezijde van de Haringvlietsluizen ook helpen bij het in kaart brengen van de residuele stroomsnelheden en het transport van zoet water door het gebied. Daarvoor zouden varende metingen gedurende een (mogelijk meerdere) getijde-periode uitgevoerd moeten worden om de getij-gedreven stromings- en transportpatronen te kunnen filteren van de residuele stroming<sup>2</sup>.

### Overige zoutlast en wateraanvoer

- Het huidige meetplan voorziet niet in metingen van de zoutlast en wateraanvoer op andere 'randen' dan de Haringvlietsluizen (Volkerak, Hollandsch Diep, Dortsche Kil en Spui). Deels zullen deze kennisbehoeftes kunnen worden voorzien met behulp van bestaande modellen (met betrekking tot de waterverdeling, bijvoorbeeld) en metingen (zoutvracht vanuit de rivieren). Achterwaartse verzilting en de resulterende zoutlast op het Haringvliet is minder eenduidig te bepalen en verdient mogelijk extra aandacht. Daarbij speelt nog mee dat de verspreiding van dit zout in het Haringvliet zelf waarschijnlijk geen directe prioriteit heeft, maar mogelijk wel bij de keuze van meetlocaties in de diepe putten rekening gehouden kan worden met het meenemen van dit proces en specifiek ook in de nabijheid van het Spui gemeten kan worden. Maar graag noemen we wel het idee om om een ADCP in het Spui te plaatsen om zo niet alleen het zoutgehalte maar ook het debiet en daarmee de zoutvracht via deze tak in kaart te brengen. Om het transport via het Spui in kaart te brengen kan het nodig zijn om aanvullende varende metingen te doen die de op een enkele locatie gemeten stroomsnelheden helpen te vertalen naar debieten. Voor het nog vollediger sluitend krijgen van de waterbalans zou daarnaast ook gedacht kunnen worden aan

---

<sup>2</sup> Een interessante mogelijkheid is het gebruik van satellietbeelden om de overgang tussen watermassa's in het oppervlaktewater te bepalen. Omdat het gespuide water lichter is dan het zeewater, kan aan de hand van dit type metingen een ruimtelijke verdeling worden verkregen van de zoet-verspreiding in de Voordelta. Voorlopig is de verwachting dat dit type metingen hoofdzakelijk een kwalitatief beeld kunnen geven, wat naast modelsimulaties kan worden gezet.



**Datum**  
12 juni 2018

**Ons kenmerk**  
11200589-001-ZWS-0009

**Pagina**  
32/32

het plaatsen van een ADCP op de stroomopwaartse rand van het systeem (Haringvlietbrug).