

Onderzoeksplannen Verzilting

Eerste periode Lerend Implementeren
Kierbesluit Haringvlietsluizen

Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid



HydroLogic BV
Postbus 2177
3800 CD Amersfoort
033 4753535
hydrologic.nl

P925
Juli 2018

*Hydro*Logic

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Implementatieplan Lerend Implementeren Kierbesluit Haringvlietsluizen	3
1.2	De onderzoeksplannen verzilting	4
1.3	Gebruik van de onderzoeksplannen tijdens Lerend Implementeren	5
1.4	Leeswijzer	6
2	Samenvatting onderzoeksplannen	8
3	Eerste zoetspoelonderzoeken.....	1
3.1	Hypothesen	1
3.2	Onderbouwing hypothesen	3
3.3	Doelstellingen eerste onderzoeken	5
3.4	Korte beschrijving eerste onderzoeken	5
3.5	Onderzoeksomstandigheden	6
3.6	Operaties en onderzoeksgrens	9
3.7	Risicobeheersing	10
3.8	Informatiebehoefte	12
4	Eerste onderzoeken naar opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten	15
4.1	Hypothesen	15
4.2	Onderbouwing hypothesen	16
4.3	Doelstellingen eerste onderzoeken	18
4.4	Korte beschrijving eerste onderzoeken	19
4.5	Onderzoeksomstandigheden	20
4.6	Operaties en onderzoeksgrens	21
4.7	Risicobeheersing	21
4.8	Informatiebehoefte	22
5	Eerste onderzoeken naar kieren.....	23
5.1	Hypothesen	23
5.2	Onderbouwing hypothesen	26
5.3	Doelstellingen eerste onderzoeken	27
5.4	Korte beschrijving eerste onderzoeken	27
5.5	Onderzoeksomstandigheden	28
5.6	Operaties en onderzoeksgrens	28
5.7	Risicobeheersing	29
5.8	Informatiebehoefte	29
6	Visvriendelijk spui- en schutbeheer	31
6.1	Hypothesen	31

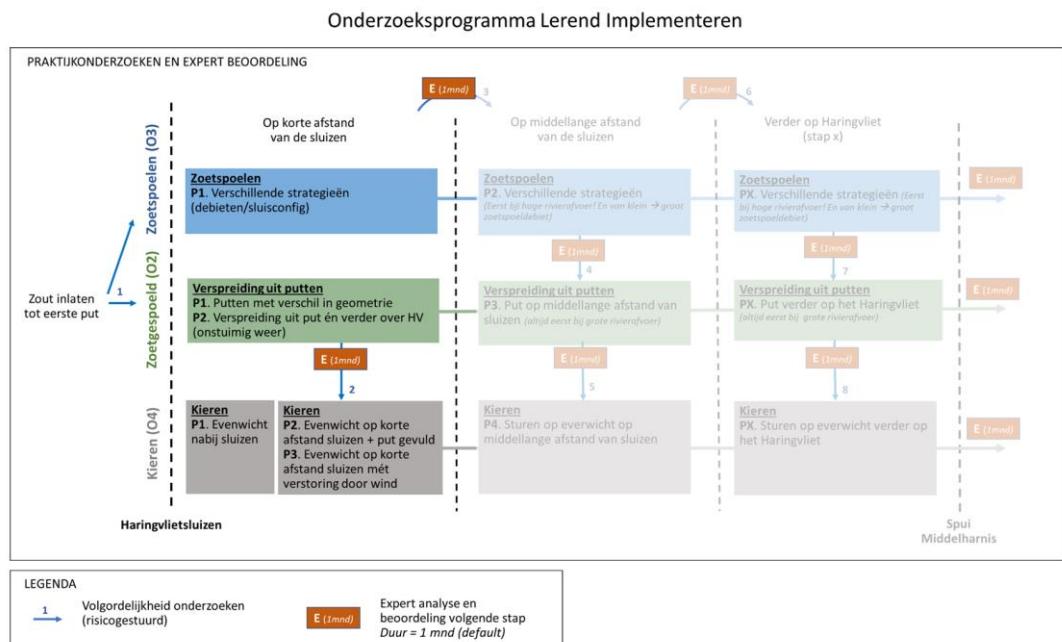
6.2	Onderbouwing hypothesen	32
6.3	Doelstellingen eerste onderzoeken	33
6.4	Korte beschrijving eerste onderzoeken	33
6.5	Onderzoeksomstandigheden	33
6.6	Operaties en onderzoeksgrens	34
6.7	Risicobeheersing	34
6.8	Informatiebehoefte	34
Bijlage A	Expertteam Verzilting.....	36
Bijlage B	Bronvermelding	37

1 Inleiding

1.1 Implementatieplan Lerend Implementeren Kierbesluit Haringvlietsluizen

In september 2018 begint een periode van *lerend implementeren* van het Kierbesluit Haringvlietsluizen. In deze periode wordt risicogestuurd toegewerkt naar een nieuw bedienprotocol. Naast de bestaande functies van de Haringvlietdam en -sluizen zoals waterveiligheid (stormvloedkering), zoetwatervoorziening en scheepvaart, wordt met het nieuwe bedienprotocol ook gestreefd naar het zo goed mogelijk herstellen van de (internationale) vismigratie. Tijdens lerend implementeren is zowel aandacht voor het verbeteren van het doelbereik (vismigratie) als voor de onzekerheden met betrekking tot de randvoorwaarden (andere functies). Hiertoe is door Rijkswaterstaat (in samenwerking met een expert- en klankbordgroep) een implementatieplan opgesteld met de uitgangspunten en aanpak van lerend implementeren (*HydroLogic en Infram 2018*).

De preferente planning (volgordelijkheid) van de onderzoeken zoals vastgelegd in het implementatieplan (Figuur 1) vormt de basis voor voorliggende onderzoeksplannen. Daarnaast is in het implementatieplan vastgelegd dat voor de eerste onderzoeksperiode de onderzoeken met verzilting van het Haringvliet relatief dicht bij de sluizen zullen worden uitgevoerd, vanuit de aanname dat de stuurkracht daar relatief groot is om de zoutbeweging te sturen, en dit gebied bij het kieren als eerste met zoutindringing te maken krijgt.



Figuur 1. Preferente planning van de onderzoeken zoals vastgesteld met het implementatieplan voor Lerend Implementeren (*HydroLogic en Infram 2018*). Het visvriendelijk spui- en sluisbeheer (O5 in de voorliggende onderzoeksplannen kan gezien worden als de beperkte variant (P1 in het overzicht) van kieren.

1.2 De onderzoeksplannen verzilting

Voor de leervragen over verzilting is in het implementatieplan onderscheid gemaakt tussen een aantal onderzoekssporen voor de praktijkonderzoeken (Tabel 1). Drie van deze onderzoekssporen zijn gerelateerd aan de drie bedienfasen zoals voorzien voor het nieuwe bedienprogramma: kieren, zoetgespoeld en zoetspoelen, waarbij de laatste niet zozeer een *fase* als wel een *beheersmaatregel* is. Voor de onderzoekssporen wordt niet de letterlijke definitie gehanteerd zoals voor de betreffende bedienfase geformuleerd in het Concept Haringvliet Operationeel Programma (HOP). In Tabel 1 is gedefinieerd hoe de verschillende onderzoekssporen in de context van lerend implementeren worden gezien.

Tabel 1. De vier onderzoekssporen zoals gedefinieerd voor deze onderzoeksplannen.

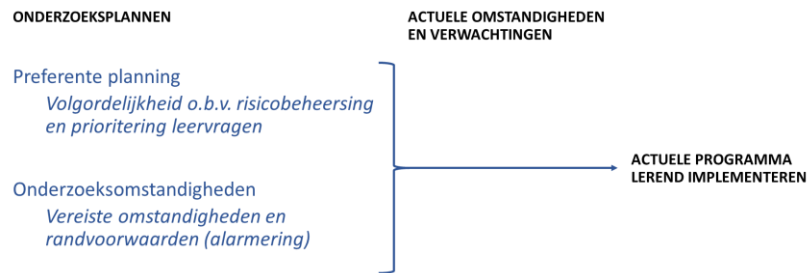
Onderzoekspoor	Definitie onderzoekspoor in de context van Lerend Implementeren
Zoetspoelen (O3)	Onderzoeken waarbij de focus ligt op het begrijpen van de processen die bepalend zijn voor het terugdringen van de zoutconcentraties op het Haringvliet door te spuien.
Opmenging en verspreiding uit diepe putten (O2)	Onderzoeken waarbij de focus ligt op het begrijpen van de processen die bepalend zijn voor de opmenging van zout uit diepe putten en geulen en verspreiding in het Haringvliet in een situatie met gesloten sluizen.
Kieren (O4)	Onderzoeken waarbij de focus ligt op het begrijpen van de processen die bepalend zijn voor het al dan niet ontstaan van een dynamisch zoet-zout evenwicht tijdens kieren.
Visvriendelijk spui- en sluisbeheer (O5)	Onderzoeken waarbij de focus ligt op het inzicht krijgen in het zo slim mogelijk gebruik maken van de bestaande infrastructuur voor perioden waarin het kieren zoals beschreven in het Kierbesluit (met vloedopeningen van de sluizen in de Haringvlietdam) niet kan worden ingezet vanwege te lage rivierafvoeren. We denken daarbij aan het op een visvriendelijke manier beperkt spuien, gebruik van de aanwezige visriolen en het gebruik van de Goereese Sluis voor het 'schutten van vis'.

Naast deze onderzoeken is er ook een onderzoek naar water- en zouttransport door het object. Dit onderzoek moet belangrijke inzichten leveren om de modellering van het Haringvliet te verbeteren. Vanuit het modelleerspoor zijn dan ook de benodigde plannen voor dit onderzoek gemaakt (Deltares 2018).

De onderzoeksplannen zijn een combinatie (Figuur 2) van:

- de **preferente planning** van de onderzoeken: volgordelijkheid en opzet onderzoeken;
- en een afbakening van de **omstandigheden** waaronder onderzoeken uit te voeren.

De plannen zijn samen met de experts van Rijkswaterstaat en Deltares (Bijlage A) opgesteld op basis van het actuele beeld van de risico's en belangrijkste leervragen. Het is belangrijk om deze plannen regelmatig tegen het licht te houden en op basis van nieuwe inzichten bij te stellen om zo bijvoorbeeld onderzoeksvensters te vergroten of beheersmaatregelen aan te passen.



Figuur 2. Van onderzoeksplannen naar uitvoering.

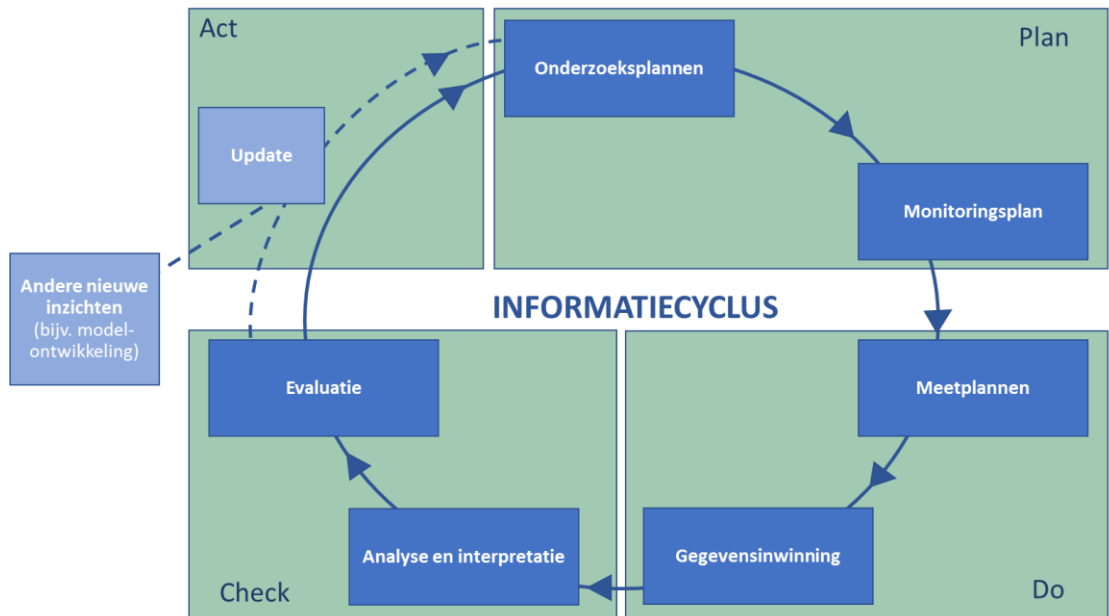
Figuur 3 geeft weer welke vragen met de onderzoeksplannen worden beantwoord.

		Onderzoeksspoor Zoetspoelen	Onderzoeksspoor Nalevering uit putten	Onderzoeksspoor Kieren
ONDERZOEKSPANNEN	0. IMPLEMENTATIEPLAN <i>Onderzoeksprogramma Lerend Implementeren met o.a. preferente planning</i>			
	I. HYPOTHESEN EN ONDERZOEKSDOELSTELLINGEN - Wat verwachten we dat gaat gebeuren? - En welke processen zijn daarin bepalend? - Waar zitten nog de grootste onzekerheden? - Prioritering doelstellingen voor eerste fase onderzoeken?			
	II. ONDERZOEKSOPZET (OPERATIES) EN OMSTANDIGHEDEN - Operaties en randvoorwaarden voor de eerste onderzoeken? - Omstandigheden waaronder deze uit te voeren?			
	III. INFORMATIEBEHOEFTE - Wat moet worden gemeten? - Met welke aandachtspunten en waarom?			
	IV. MONITORING EN WAARSCHUWING - Welke risico's zijn er bij de verschillende onderzoeksspooren? - Welke beheersmaatregelen horen hierbij? - En welke waarschuwings- en alarmeringsniveaus horen hierbij?			

Figuur 3. Inhoud van de onderzoeksplannen, met als basis de plannen uit het Implementatieplan Lerend Implementeren.

1.3 Gebruik van de onderzoeksplannen tijdens Lerend Implementeren

Voor elk van de vier onderzoeksspooren (Tabel 1) zijn in voorliggend document de concrete onderzoeksplannen uitgewerkt voor de eerste fase van lerend implementeren. Dit betekent dat voor elk van de onderzoeksspooren de eerste onderzoeken zijn gedefinieerd. **Bij nieuwe inzichten (uit de eerste onderzoeken van lerend implementeren of anderszins) moeten de onderzoeksplannen voor de daaropvolgende onderzoeken worden aangepast** (Figuur 4).



Figuur 4. Informatiecyclus met daarin het gebruik en bijstellen van de onderzoeksplannen tijdens Lerend Implementeren.

Bijvoorbeeld, voor elk van de onderzoekssporen zijn in voorliggende plannen omstandigheden gedefinieerd waarin de onderzoeken worden uitgevoerd: de **onderzoeksvensters**. Deze zijn vastgesteld op basis van een combinatie van de huidige onderzoeksdoelstellingen én inzicht in de risico's. Als de eerste onderzoeken zijn uitgevoerd en daarmee de onzekerheden in de zoutindringing en -beheersing kleiner zijn geworden, moet worden overwogen of de onderzoeksvensters kunnen worden verruimd. Ook wordt telkens overwogen of beheersmaatregelen moeten worden versoepeld of juist aangescherpt. De expertgroep Verzilting adviseert in deze vragen.

In de periode van Lerend Implementeren worden de actuele situatie en verwachtingen voor het watersysteem en de meteorologie nauwlettend gemonitord. Het is belangrijk dat het **actuele onderzoekskansen- en risicoprofiel** voor lerend implementeren continue in beeld is, opdat onderzoekskansen zo goed mogelijk worden benut (zo snel mogelijk leren), en op (verwachte) risico's tijdig kan worden gehandeld.

1.4 Leeswijzer

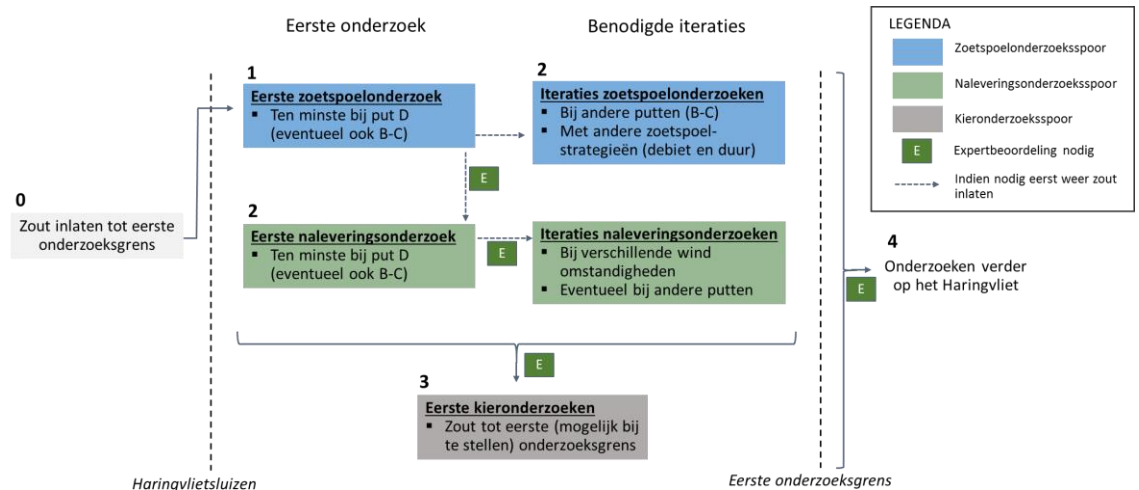
Een korte toelichting op de preferente planning voor de eerste onderzoeksperiode en een samenvatting van de onderzoeksplannen wordt gegeven in hoofdstuk 2. Een meer uitgebreide toelichting op deze plannen, en onderbouwing met hypothesen geven de hoofdstukken 1 tot en met 6:

- Hoofdstuk 1: zoetspoelonderzoeken
- Hoofdstuk 4: onderzoeken naar opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten
- Hoofdstuk 5: kieronderzoeken
- Hoofdstuk 6: visvriendelijk spui- en sluisbeheer

Elk van deze hoofdstukken geeft met de **hypothesen** eerst een beeld van wat we verwachten dat gaat gebeuren en een onderbouwing daarvan, op basis van de huidige inzichten. Bij nieuwe inzichten kunnen de hypothesen worden bijgesteld. Vervolgens wordt met de **onderzoeksdoelstellingen** aangegeven waar voor de eerste onderzoeksperiode de prioriteiten liggen. Hoe deze onderzoeken worden opgezet en onder welke omstandigheden ze kunnen worden uitgevoerd is toegelicht in de daaropvolgende paragrafen over **onderzoeksopzet, operaties en onderzoeksomstandigheden**. De laatste twee paragrafen zoomen in op mogelijke **risico's** en beheersing daarvan, en op de **informatiebehoefte** vanuit de onderzoeksdoeleinden en vanuit risicobeheersing.

2 Samenvatting onderzoeksplannen

De plannen voor de eerste onderzoeken van lerend implementeren zijn weergegeven in Figuur 5. Naast de drie onderzoekssporen voor zoetspoelen, opmenging bij gesloten sluizen en kieren, is er ook een onderzoeksspoor voor visvriendelijk spui- en sluisbeheer. Dat is niet weergegeven, maar kan worden ingezet als op dat moment geen van de andere onderzoeken wenselijk is (hoofdstuk 6).

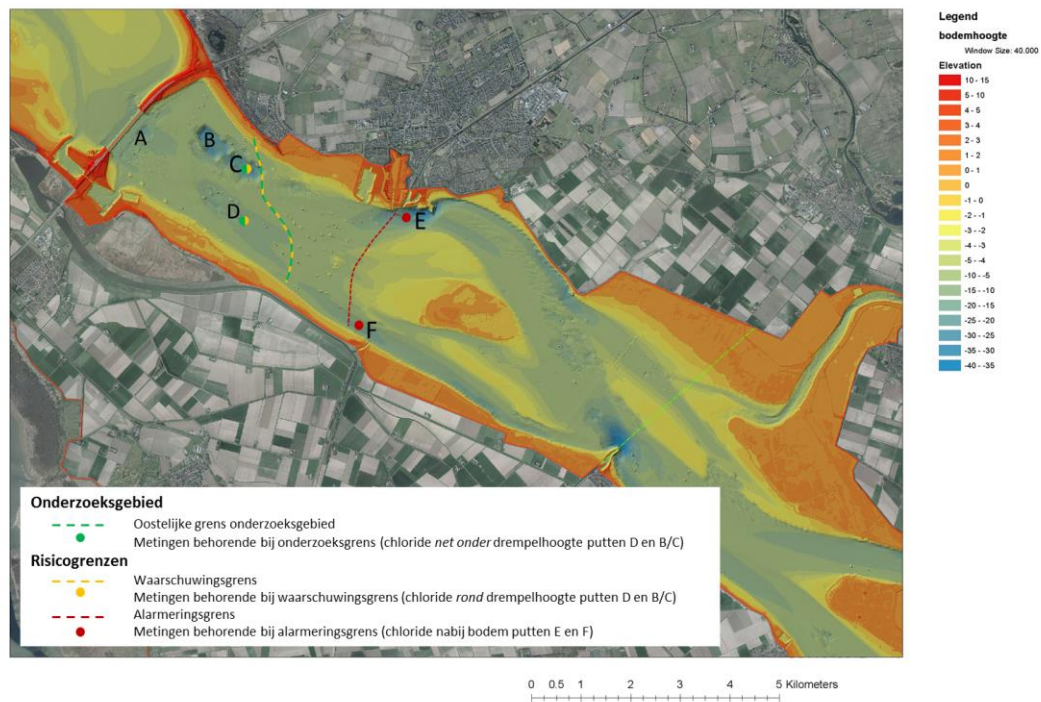


Figuur 5. Preferente planning van de onderzoeken voor de eerste periode van Lerend Implementeren. Codering putten in het Haringvliet in Figuur 6.

De **zoetspoelonderzoeken** worden als eerste ingezet, zodra de benodigde omstandigheden zich voordoen om dit onderzoek zinvol en zonder onbeheersbare risico's te kunnen uitvoeren. Als voorbereiding op het daadwerkelijke zoetspoelonderzoek moet zout worden ingelaten om ten minste put D te vullen met zout water (zie onderzoeksgrens Figuur 6). Door metingen in de putten D en B-C (met een hoge dichtheid aan metingen in de verticaal) wordt hierbij gemonitord hoe snel en in welke volgorde de putten gevuld raken. Zodra de onderzoeksgrens (en meting net onder drempelhoogte van put D) is bereikt, wordt gestopt met het inlaten van zout water en wordt het zoetspoelen gestart.

Het zoetspoelen gebeurt eerst enige tijd met een relatief klein debiet (waarbij de precieze mogelijkheden afhankelijk zijn van de actuele Rijnaafvoer) om te monitoren in hoeverre dit al effect oplevert op de zoutconcentraties, in het bijzonder voor het verlagen van de spronglaag in de put. Naast het met een hoge dichtheid bemeten van de chlorideconcentraties in de put, is het belangrijk om ook de stroomsnelheden (als drijvende kracht) te meten.

Vervolgens kunnen ook grotere zoetspoeldebieten worden ingezet. Afhankelijk van de effectiviteit van de eerdere zoetspoelstrategie, moet hiervoor eerst weer zout water worden ingelaten om de put(ten) te vullen. Uiteindelijk is het belangrijk dat ook bij andere putten dan put D wordt gemeten, omdat de verwachting is dat de vorm van de put van invloed is op de benodigde zoetspoelstrategieën.



Figuur 6. Kaart van het bodemprofiel van het Haringvliet waarop voor de eerste onderzoeksperiode de *onderzoeksgrens*, *waarschuwingsgrens* en *alarmeringsgrens* zijn weergegeven.

Door het expertteam zal worden beoordeeld wanneer voldoende inzicht is in het zoetspoelen om ook de **onderzoeken naar opmenging van zout uit diepe putten** te starten. Het is de verwachting dat de onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging op een gegeven moment afwisselend worden ingezet. Voor de onderzoeken naar opmenging moet op vergelijkbare manier als voor de zoetspoelonderzoeken zout water worden ingelaten tot de onderzoeksgrens. Vervolgens worden de sluizen gesloten of (als volledig sluiten bij de actuele Bovenrijnafvoer niet toelaatbaar is) op een zeer kleine opening gehouden, en wordt in de put(ten) gemeten in hoeverre verticale opmenging optreedt. Aangezien wind in deze situaties naar verwachting de drijvende kracht is, is het belangrijk dat onder een breed spectrum aan windomstandigheden wordt gemeten.

Wanneer voldoende inzicht is (expert beoordeling) in de beheersmaatregel zoetspoelen en in het restrisico van opmenging en verspreiding uit putten en de omstandigheden het toelaten, worden de eerste **kieronderzoeken** gestart. Bij de kieronderzoeken is het belangrijk dat een ruimtelijk gedetailleerd beeld wordt verkregen van de zoutverspreiding bij de eb- en bij de vloedopening, waartoe onder andere varende metingen voor de chlorideconcentraties en stroomsnelheden worden ingezet.

In onderstaande tabel is per onderzoeksspoor samengevat onder welke omstandigheden deze onderzoeken kunnen worden uitgevoerd (het *onderzoeksvenster*), welke operaties bij de sluizen nodig zijn, en hoe de risicobeheersing wordt ingevuld.

Onderzoeksporen			
ZOETSPOELEN		NALEVERING	KIEREN
Onderzoeksomstandigheden			
Bovenrijnafvoer	Ten minste 2200 m³/s en in 5-daagse verwachtingen constant (+/-100 m³/s) of stijgend.	1400 - 2000 m³/s en stijgend (belangrijk) in verwachtingen (hoogte benodigde piek o.b.v. inzichten eerste zoetspoelonderzoek)	n.t.b. op basis van inzichten eerste zoetspoel en nalevering onderzoeken
Wind	Alle windomstandigheden zijn interessant, maar ten minste ook meten bij beperkte wind (< windkracht 5) waarbij verticale opmenging enkel door de afvoer moet ontstaan, niet 'gehijelen' door de wind.	- Voor eerste onderzoek zijn alle windomstandigheden interessant. - Vervolgens wel nodig om onder verschillende omstandigheden (kracht en richting) te meten.	n.t.b. op basis van inzichten eerste zoetspoel en nalevering onderzoeken
Periode in het jaar	September t/m januari. Februari op beoordeling van expertteam (gevallen sneeuw en daarmee afvoerverwachting komende maanden). En in september afweging in relatie tot actuele droogte.	September t/m januari. Februari op beoordeling van expertteam (gevallen sneeuw en daarmee afvoerverwachting komende maanden). En in september afweging in relatie tot actuele droogte.	n.t.b. op basis van inzichten eerste zoetspoel en nalevering onderzoeken
Operaties			
Voorbereidend	Voedopening instellen totdat eerste onderzoeksgrens bereikt: - Voedopening: wordt bepaald door tactisch team met een bovengrens volgens het Concept HOP (v4). - Eerste onderzoeksgrens is bereikt wanneer de spronglaag net onder de drempelhoogte van put D (en eventueel B/C) wordt waargenomen. Dit betekent dat 2 m onder de drempelhoogte (ongeveer op NAP -12 m in put D) de chlorideconcentratie stijgend is en boven de 500 mg/l.	Voedopening instellen totdat eerste onderzoeksgrens (zie figuur) bereikt: - Voedopening: wordt bepaald door tactisch team met een bovengrens volgens het Concept HOP (v4). - Eerste onderzoeksgrens is bereikt wanneer de spronglaag net onder de drempelhoogte van put D (en eventueel B/D) wordt waargenomen. Dit betekent dat 2 m onder de drempelhoogte (ongeveer op NAP -12 m in put D) de chlorideconcentratie stijgend is en boven de 500 mg/l. - Dan beperkt zoetspoelen om dichtheidssprong te creëren.	Geen
Doorstroomopening en sluisconfiguratie onderzoek	- De sturingsruimte voor de spuipeningen is afhankelijk van de actuele Bovenrijnafvoer en het verval over de sluisen. Hiervoor worden richtlijnen opgesteld. - Eerst 2-5 dagen beperkt zoetspoeldebiet (richting ondergrens toegestane ebopening). - Indien nog geen verticale opmenging waargenomen, zoetspoeldebiet vergroten	Minimaal toelaatbare ebopening (bij voorkeur sluisen nagenoeg dicht), afhankelijk van actuele Rijnsafvoer.	n.t.b. op basis van inzichten eerste zoetspoel en nalevering onderzoeken
Informatiebehoefte onderzoeken	- Tijdens onderzoek continue chloride metingen in putten D (en B/C) met hoge dichtheid metingen in verticaal over de gehele diepte, maar met name ter hoogte van de spronglaag (waarvan de diepteligging varieert!). - Metingen van stroomsnelheden in put D, zoveel mogelijk op dezelfde locaties en momenten als chloride metingen. - Naast deze metingen wordt ervan uitgegaan dat gebruik kan worden gemaakt van de bestaande meetlocaties voor chlorideconcentraties en waterstanden op het Haringvliet.	Gelijk aan informatiebehoefte bij zoetspoelonderzoeken	Varende metingen van stroomsnelheden en chlorideconcentraties in een gebied dat afhangt van de actuele zoutverspreiding. Zo veel mogelijk op hetzelfde moment gemeten. En bij voorkeur hoogfrequente metingen, waarbij binnen een getijperiode meerdere keren op dezelfde locaties wordt teruggekeerd. Ook ruimtelijk (in horizontaal en verticaal) is een zo hoge dichtheid aan metingen wenselijk. Wat hierin mogelijk is hangt samen met de wens om binnen een getijperiode meerdere keren op dezelfde locaties te meten.
Risicobeheersing (randvoorwaarden en beheersmaatregelen)			
Te veel zoutindringing Haringvliet verwacht	- Randvoorwaarde: - Waarschuwigsgrens: deze wordt bereikt wanneer de spronglaag op drempelhoogte van put D (of eventueel B/C) wordt waargenomen. Dit betekent ongeveer op NAP -10 m (in put D) de chlorideconcentratie duidelijk stijgend is. - Alarmeringsgrens: deze wordt bereikt wanneer het zoute water 'overloopt' naar putten aan de oostkant van put D. Dit betekent dat nabij de bodem van put E en/of F een chlorideconcentratie hoger dan 500 mg/l wordt gemeten. - Informatiebehoefte metingen signalering risico: - Chloride metingen in putten D en B/C met hoge dichtheid metingen in verticaal, ten minste tussen -12 en -6 m (rondom drempelhoogte). - Chloride metingen in putten E en F nabij bodem (diepte sensor bestaande metingen?) - Beheersmaatregelen: - Bij overschrijden waarschuwigsgrens: ebopening vergroten. - Bij overschrijden alarmeringsgrens: ebopening zo groot als toelaatbaar om nog zoveel mogelijk zout weg te spoelen, totdat extra spuien geen effect meer heeft op de verziltingsituatie. Daarna terug naar LPH'84 of nieuw onderzoek starten. Dit hangt af van begrip van de ontstane situatie. Daartoe moet een oorzaakanalyse worden uitgevoerd.	Randvoorwaarde, informatiebehoefte metingen en beheersmaatregel: gelijk aan zoetspoelonderzoek. Mogelijk bij te stellen na eerste zoetspoelonderzoeken.	- Randvoorwaarden n.t.b. op basis van inzichten eerste zoetspoel en nalevering onderzoeken - Beheersmaatregel: vloedopening dicht, ebopening eventueel vergroten.
Te lage Bovenrijnafvoer verwacht	- Randvoorwaarde: Bovenrijnafvoer dalend, én in 5-daagse verwachting onder de 2000 m³/s - Informatiebehoefte: Lobith verwachting met inzicht in onzekerheden (nog af te stemmen met WMC) - Beheersmaatregel: ebopening zo groot als toelaatbaar om nog zoveel mogelijk zout weg te spoelen. Als extra spuien geen effect meer heeft op de verziltingsituatie, dan terug naar LPH'84 tot Bovenrijnafvoer weer stijgt en zich onderzoeksomstandigheden voordoen.	- Randvoorwaarde: Bovenrijnafvoer dalend, én in 5-daagse verwachting onder de 1400 m³/s of sterke daling in verwachtingen - Informatiebehoefte: Lobith verwachting met inzicht in onzekerheden (nog af te stemmen met WMC) - Beheersmaatregel: ebopening zo groot als toelaatbaar om nog zoveel mogelijk zout weg te spoelen. Als extra spuien geen effect meer heeft op de verziltingsituatie, dan terug naar LPH'84 tot Bovenrijnafvoer weer stijgt en zich onderzoeksomstandigheden voordoen.	- Randvoorwaarde: n.t.b. op basis van inzichten eerste zoetspoel en nalevering onderzoeken - Informatiebehoefte: Lobith verwachting met inzicht in onzekerheden (nog af te stemmen met WMC) - Beheersmaatregel: n.t.b. op basis van inzichten eerste zoetspoel en nalevering onderzoeken
Te hoge chlorideconcentraties noordrand RMM verwacht	- Deze randvoorwaarde wordt deels ondervangen door de randvoorwaarde Bovenrijnafvoer (geen onderzoek bij te lage Bovenrijnafvoer). Daarbij is ook windopzet een extra aandachtspunt. - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: gelijk aan risico Te lage Bovenrijnafvoer verwacht.	Geen extra risico op verzilting Noordrand door dit onderzoek.	- Deze randvoorwaarde wordt deels ondervangen door de randvoorwaarde Bovenrijnafvoer (geen onderzoek bij te lage Bovenrijnafvoer). Daarbij is ook windopzet een extra aandachtspunt. - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: gelijk aan risico Te lage Bovenrijnafvoer verwacht.
Opzet buitenwaterstand (stormsituatie) verwacht (vergelijkbaar huidige praktijk)	- Randvoorwaarde: verwachte stormsituatie (gelijk aan huidige praktijk) - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: deelproces stormsituatie gelijk aan huidige praktijk	- Randvoorwaarde: verwachte stormsituatie (gelijk aan huidige praktijk) - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: deelproces stormsituatie gelijk aan huidige praktijk	- Randvoorwaarde: verwachte stormsituatie (gelijk aan huidige praktijk) - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: deelproces stormsituatie gelijk aan huidige praktijk
Te grote afwijking waterstand Moerdijk verwacht (vergelijkbaar huidige praktijk)	- Verwachting: te grote afwijking van gewenste waterstand, gelijk aan huidige praktijk - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: bijsturen gelijk aan huidige praktijk (ebopening vergroten/verkleinen)	- Verwachting: te grote afwijking van gewenste waterstand, gelijk aan huidige praktijk - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: bijsturen gelijk aan huidige praktijk (ebopening vergroten)	- Verwachting: te grote afwijking van gewenste waterstand, gelijk aan huidige praktijk - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: bijsturen gelijk aan huidige praktijk (eb- en/of vloedopening aanpassen)
Achterwaartse verzilting (vergelijkbaar huidige praktijk)	- Verwachting: criteria voor achterwaartse verzilting (HL-parameter) - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: bijsturen gelijk aan huidige praktijk (spuipening niet te groot)	Geen extra risico op verzilting Noordrand door dit onderzoek.	- Verwachting: criteria voor achterwaartse verzilting (HL-parameter) - Informatiebehoefte metingen: gelijk aan huidige praktijk - Beheersmaatregel: bijsturen gelijk aan huidige praktijk (spuipening niet te groot)

3 Eerste zoetspoelonderzoeken

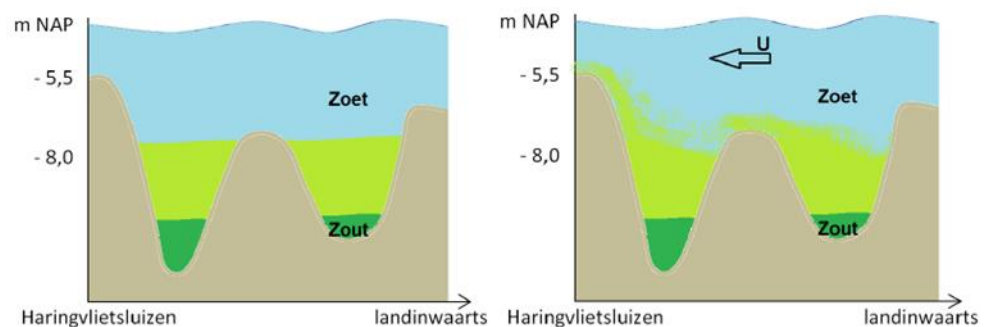
Het onderzoeksspoor 'zoetspoelen' gaat in de periode van Lerend Implementeren over: *Onderzoeken waarbij de focus ligt op het begrijpen van de processen die bepalend zijn voor het terugdringen van de zoutconcentraties op het Haringvliet door te spuien.*

3.1 Hypothesen

De hypothesen beschrijven wat wordt verwacht dat gaat gebeuren, welke processen daaraan ten grondslag liggen en waarop we deze inzichten baseren (referentie events / onderbouwingen in paragraaf 3.2). Bij nieuwe inzichten kunnen de hypothesen worden bijgesteld.

- 1 **Bepalend voor de effectiviteit van zoetspoelen (terugdringing totale hoeveelheid zout in Haringvliet)** zijn de volgende factoren, waarvan de verwachte invloed wordt toegelicht in de hypothesen 2 tot en met 5.
 - Het spuidebiet bij de Haringvlietssluisen. Mogelijkheden afhankelijk van Bovenrijnafvoer, verval over de kering en grootte ebopeningen.
 - Het bodemprofiel van het Haringvliet dat mede bepalend is voor de ruimtelijke variatie in stroomsnelheden op het Haringvliet.
 - De duur waarmee wordt gespuid. Vooral van belang bij relatief lage spuidebieten.
 - De windkracht en -richting. Vooral van belang bij relatief lage spuidebieten.
 - De mate van stratificatie (zoet-zout) in de uitgangssituatie. Hoe sterker gestratificeerd het systeem is, hoe lastiger opmenging en zoetspoelen is.
 - De ruimtelijke verdeling van het zout in de uitgangssituatie: in welke delen van het Haringvliet en op welke dieptes.
- 2 Bepalend voor de mogelijkheden (potentie) van zoetspoelen is **het toelaatbare en fysiek mogelijke spuidebiet bij de Haringvlietssluisen**.
 - Bij een ebstroom is er vrijwel direct effect op de concentraties in de *bovenste lagen* van de waterkolom. Dit deel van de waterkolom wordt advectioneel weggespoeld (*onderbouwing 2A*), waarmee eventuele verhoogde chlorideconcentraties worden teruggebracht tot nagenoeg de achtergrondconcentratie van het rivierwater op dat moment. De spronglaag wordt op deze manier verlaagd tot het bodemniveau van de hogere delen ('drempels') in het Haringvliet, die liggen op NAP -8 tot -5 m (zie bodemprofiel Haringvliet).
 - o NB. Aangezien zouter water zwaarder is dan het zoete rivierwater, vindt indringing van het zoute water met name in de diepere lagen plaats. Daarom is de verwachting dat met het advectioneel wegspoelen van de bovenste lagen slechts een beperkt deel van het aanwezige chloride uit het Haringvliet wordt weggespoeld. In situaties waarin door verticale opmenging (bijv. door wind) ook in de bovenste lagen verhoogde chlorideconcentraties voorkomen, kan het zoetspoelen van de bovenste lagen echter erg belangrijk zijn voor de functionaliteit van de inlaatlocaties (onttrekkingen vaak uit bovenste lagen).

- Voor de *diepere lagen* van de waterkolom is de effectiviteit van zoetspoelen afhankelijk van het al dan niet toenemen van de stroomsnelheden en turbulentie in deze diepere delen. Bij een beperkte ebstroom is alleen sprake van een afschaafproces (*shear stress*), waardoor de spronglaag langzaam wordt verlaagd (Figuur 7). De concentraties onder de spronglaag nemen echter nauwelijks af (*onderbouwing 2B*). Wanneer door een grotere ebstroom ook de lokale stroomsnelheden toenemen, kan turbulentie op het zoet-zout grensvlak ontstaan, waardoor het zoute water uit de diepere lagen wordt opgemengd en advectief kan worden weggespoeld. Bij welke ‘hogere stroomsnelheden’ dit effect kan worden verwacht, verschilt per put (diepte en geometrie) en is onderwerp van de eerste onderzoeken van Lerend Implementeren. Op basis van de huidige inzichten is de verwachting dat verticale opmenging plaatsvindt *vanaf* een spuidebiet tussen de 1000 en 2000 m³/s spuidebiet bij de sluizen (*Onderbouwing 2C*).



Figuur 7. Uitspoelen van zout water uit putten bij lage spuidebieten. Het zoute water wordt op het grensvlak van zoet en zout ‘afgeschaafd’, terwijl het zoute water op grotere waterdiepte aanwezig blijft (*Deltares, 2016b*).

- De grootte van de ebstroom wordt *primair bepaald door de sluisopeningen en het verval over de sluizen*. Het verval over de sluizen wordt bepaald door de uitgangswaterstand in het bekken en het laagwater op zee. De toelaatbare variatie in sluisopening wordt bepaald door de Bovenrijnafvoer, de wens om de ebdebieten door het Spui en de Dordtsche Kil te begrenzen (bepaalt ondergrens sluisopening) en de wens om voldoende waterstand bij Moerdijk te houden (bepaalt bovengrens sluisopening).
 - o NB. Een eerste spuiperiode is het verval over de kering over het algemeen het grootst waardoor een grote doorstroomopening dan ook voor het grootste debiet zorgt. Na een grote spui neemt het verval over de kering dusdanig af (*expert judgement*), dat de daaropvolgende spuiperiodes minder kan worden gespuid.
 - o NB. Voor de lokale stroomsnelheden zijn primair de grootte van de sluisopeningen en het bodemprofiel bepalend. Variatie in de precieze *verdeling van het doorstroomoppervlak over de verschillende sluizen* (sluisconfiguratie) heeft naar verwachting alleen invloed op het stromingspatroon vlakbij de sluizen. Verder van de sluizen af is het bodemprofiel bepalender voor de variaties in stroomsnelheden. Een andere sluisconfiguratie kan wel zorgen voor een ander zoetspoeldebiet: een doorstroomopening verdeeld over meerdere sluisopeningen

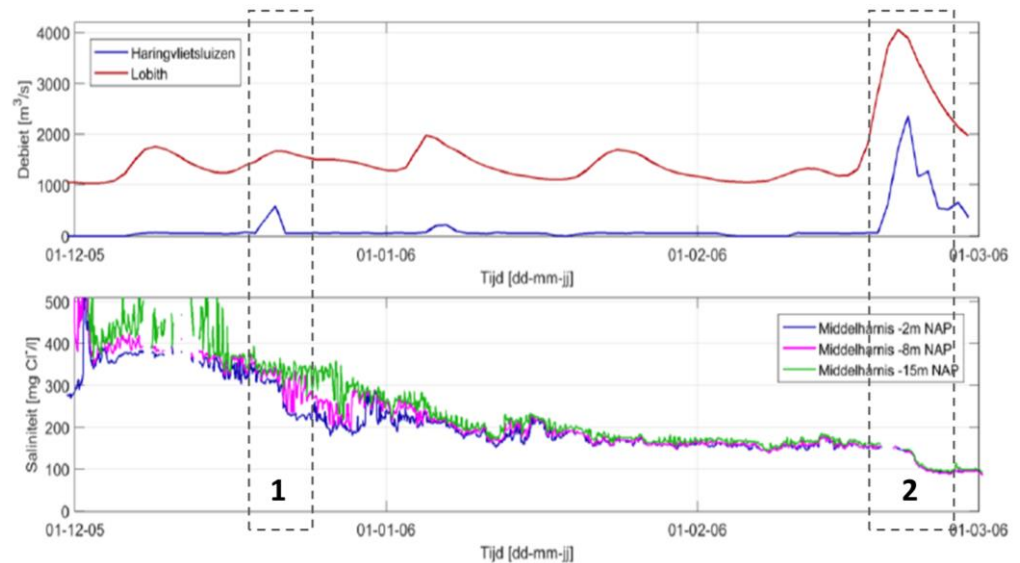
zorgt namelijk voor een grotere weerstandswaarde en daarmee voor een kleiner debiet.

- 3 Bepalend voor de ruimtelijke variatie in de effectiviteit van zoetspoelen zijn de lokale stroomsnelheden (en het al dan niet ontstaan van turbulentie), die worden beïnvloed door **het bodemprofiel van het Haringvliet**.
 - o De ebstroom volgt voor een belangrijk deel de geulen. Dat zijn de aaneengesloten lage delen van het Haringvliet (in de stromingsrichting) waar de stroomsnelheden in de diepere lagen naar verwachting groter zijn dan in de putten. Zo een geul loopt langs de zuidrand. Het zout zal daar naar verwachting echter ook verder zijn binnengedrongen. In de putten is pas bij hogere stroomsnelheden (turbulentie op het zoet-zout grensvlak) effect merkbaar (hypothese 2). De verwachting is dat in de diepe delen van putten altijd zout achterblijft, totdat een grote afvoergolf van de Rijn optreedt.
- 4 Mede bepalend voor de effectiviteit van zoetspoelen is (tot op zekere hoogte) **de duur waarmee wordt gespuid**.
 - Bij lage zoetspoeldebieten, waarbij nog geen verticale opmenging ontstaat, maar de spronglaag alleen wordt verlaagd door langzame ‘afschaving’ (*shear stress*), is er een directe relatie tussen de tijd waarmee dit debiet wordt ingezet en de verlaging van de hoeveelheid zout in het Haringvliet. Op een gegeven moment zal een langere duur zoetspoelen naar verwachting steeds minder opleveren.
 - NB. Op basis van Sobek berekeningen is een inschatting gegeven van een benodigde zoetspoelvolumen van 180 Mm³, gespuid over 6 getijperiodes. Mogelijk wordt de effectiviteit van zoetspoelen door het model overschat, omdat stratificatie niet wordt meegenomen en in het model meer zout met de bovenlaag wordt weggespoeld dan in de praktijk wordt verwacht.
- 5 Mede bepalend voor de effectiviteit van zoetspoelen bij lage spuidebieten is **de windkracht en -richting**.
 - Sterke wind kan zorgen voor verticale opmenging van de chlorideconcentraties. Daardoor komt het zout van grotere waterdiepte omhoog en kan advectioneel worden weggespoeld. Naar verwachting is ten minste windkracht 6-7 nodig (paragraaf 4.2) om voldoende turbulentie te krijgen rondom een spronglaag.
 - o NB. Wanneer een sterke westenwind zorgt voor opstuwing van de buitenwaterstand en afwaaiing van de binnenwaterstand, wordt het verval over de kering kleiner, en daarmee ook het potentiële spuidebiet. Dit effect is echter in de meeste situaties te corrigeren met een grotere spuiopening.

3.2 Onderbouwing hypothesen

2A. Meetdata zoetspoelen bovenste lagen.

- Voorbeeldsituatie: data put Middelharnis na achterwaartse verzilting 24-25 november 2005 (zoetspoelperiode 1 in Figuur 8). Een spuidebiet van ongeveer 500 m³/s leidt bij meetlocatie Middelharnis tot een aanzienlijke afname (ongeveer 100 mg/l) in chlorideconcentratie nabij het wateroppervlak (*Deltares, 2016c*).



Figuur 8. Debiet en chloridedata de periode na de achterwaartse verzilting van 24-25 november 2005 (Deltares 2016c)

- Voorbeeldsituatie: conclusies na de zoutinlaatproef van 1997: In het bovenste deel van de waterkolom (tot ca. 8 m diepte) werden vrij snel (1-2 dagen) weer chlorideconcentraties min of meer gelijk aan het achtergrondniveau waargenomen, terwijl op de diepere niveaus dit na drie tot vier dagen het geval was. (Rijkswaterstaat 2003)

2B. Meetdata nauwelijks effect diepere lagen bij de lagere zoetspoeldebieten.

- Voorbeeldsituatie: data put Middelharnis na achterwaartse verzilting 24-25 november 2005 (zoetspoelperiode 1 Figuur 8). Een spuidebiet van ongeveer 500 m³/s leidt bij meetlocatie Middelharnis niet tot nauwelijks tot een afname in de chlorideconcentratie op grotere waterdiepte (NAP -15 m) (Deltares, 2016c).
- Voorbeeldsituatie: conclusies na trillingsproef 2008: Met 2 dagen zoetspoelen werd een verlaging van de spronglaag met 1 m bewerkstelligd. Onder deze spronglaag is echter ook na het zoetspoelen (of spuien bij lage rivierdebieten) sprake van een verhoogde chloride concentratie (Rijkswaterstaat 2009)

2C. Meetdata effect diepere lagen bij hogere zoetspoeldebieten.

- Voorbeeldsituatie: data put Middelharnis na achterwaartse verzilting 24-25 november 2005 (zoetspoelperiode 2 Figuur 8). Een spuidebiet van (max) ongeveer 2000 m³/s leidt bij meetlocatie Middelharnis tot een afname in de chlorideconcentratie alle drie de bemeaten waterdieptes tot ongeveer de achtergrondconcentratie (Deltares, 2016c).

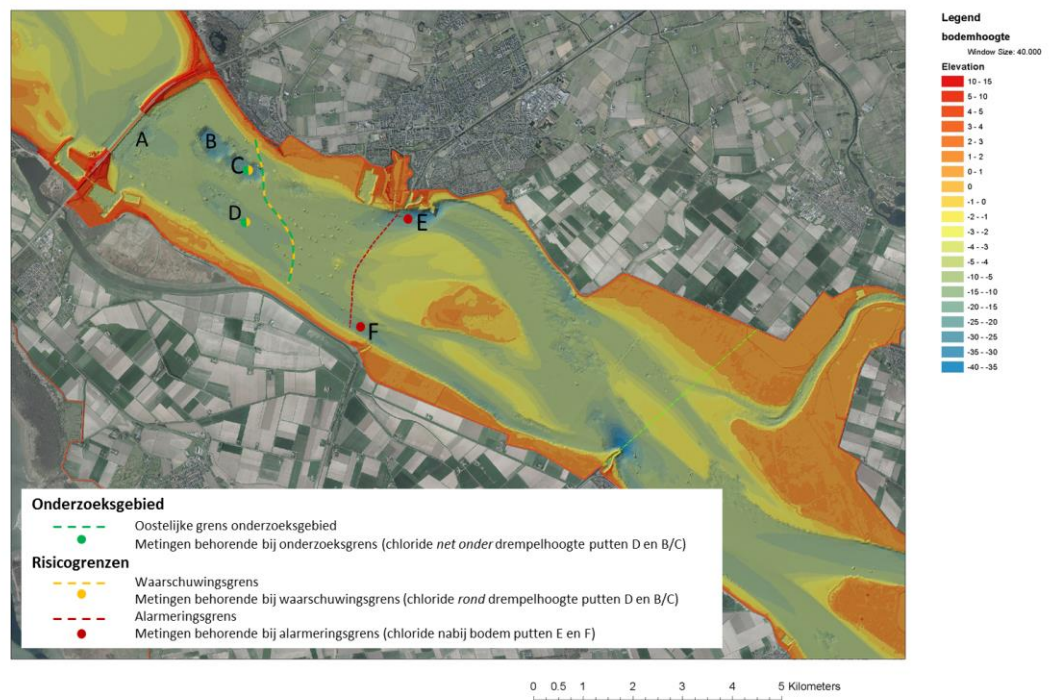
3.3 Doelstellingen eerste onderzoeken

De eerste zoetspoelonderzoeken moeten het inzicht vergroten:

- In de relatie tussen zoetspoeldebiet bij de sluizen en lokale stroomsnelheden (in de horizontaal en verticaal) in het Haringvliet.
- In de relatie tussen stroomsnelheden en de diepte van de spronglaag (en daarmee inzicht in het zoetspoelen van de diepe putten).
- In de relatie tussen stroomsnelheden en de zoutconcentraties in de ondiepere delen van de waterkolom.

3.4 Korte beschrijving eerste onderzoeken

- 1 Vanwege onzekerheid in effectiviteit van zoetspoelen, zullen **de eerste onderzoeken worden uitgevoerd bij relatief hoge Bovenrijnafvoer** (hoger dan voorzien met Concept HOP), voor zover dit toelaatbaar wordt geacht vanuit waterveiligheid, erosierisico, en scheepvaartbelangen). Daarbij moet de verwachte afvoer nagenoeg constant dan wel stijgend zijn, omdat een onderzoek waarschijnlijk enkele dagen zal duren.
- 2 Met een beperkte vloedopening wordt zoutindringing toegestaan tot een eerste onderzoeksgrens (net onder drempelhoogte putten D en B-C), waarmee de eerste put(ten) wel gevuld raken maar nog niet daadwerkelijk overlopen naar de rest van het Haringvliet. De verwachting is dat hiermee ten minste de putten A en D gevuld raken met zout water, en mogelijk (deels) de putten B en C. Deze noodzakelijke voorbereiding op de eerste onderzoeken geeft ook al inzicht in hoe (volgorde en snelheid) de eerste putten gevuld raken met zout water bij een kleine vloedopening.



Figuur 9. Bovenaanzicht van de bodemhoogte van het Haringvliet, met daarin weergegeven de onderzoeksgrens en waarschuwings-/alarmeringsgrenzen voor de eerste onderzoeken. Toelichting op deze grenzen in paragrafen 3.6 en 3.7.

- 3 Wanneer de onderzoeksgrens wordt bereikt, wordt enkel nog de ebstroom ingezet ('zoetspoelen'). Voor onderzoeksdoeleinden gebeurt dit allereerst enige tijd met een relatief klein zoetspoeldebiet (om het debiet eventueel binnen hetzelfde onderzoek nog te kunnen vergroten), en wordt (ten minste een van de putten) nauwkeurig bemeten. Idealiter wordt dit onderzoek uitgevoerd totdat er een evenwichtssituatie ontstaat (bijv. geen zout meer afgeschaafd, of constante hoeveelheid afschaven). In de praktijk wordt zo een onderzoek naar verwachting niet langer dan enkele dagen ingezet, en moet worden bekeken of er dan al een evenwichtig beeld is ontstaan.
- 4 Als de Bovenrijnafvoer het toelaat, wordt vervolgens het zoetspoeldebiet in een of een paar trappen verder vergroot, waarbij telkens enkele dagen wordt gemeten. Hierbij geldt de kanttekening dat de relatief grote spuidebieten bij grote sluisopening slechts één of enkele spuiperioden kunnen worden volgehouden. Het vergroten van de spuidebieten is dan ook vooral mogelijk bij stijgende rivierafvoeren, zodat ook een groter zoetspoeldebiet achter de hand wordt gehouden. Indien de omstandigheden het niet toelaten om het zoetspoeldebiet *binnen* een onderzoek te vergroten, wordt in een volgend onderzoek vanaf het begin met andere debieten gewerkt.

N.B. Er kan ook vanuit risicobeheersing aanleiding zijn om het zoetspoeldebiet versneld te vergroten, bijvoorbeeld wanneer de Bovenrijnafvoer in de verwachtingen plotseling snel lijkt te gaan dalen (paragraaf 3.7).

3.5 Onderzoeksomstandigheden

Het eerste onderzoek wordt onder de volgende omstandigheden (het *onderzoeksvenster*) uitgevoerd. Deze omstandigheden zijn een combinatie van gewenste omstandigheden voor onderzoeksdoeleinden en maatregelen voor risicobeheersing.

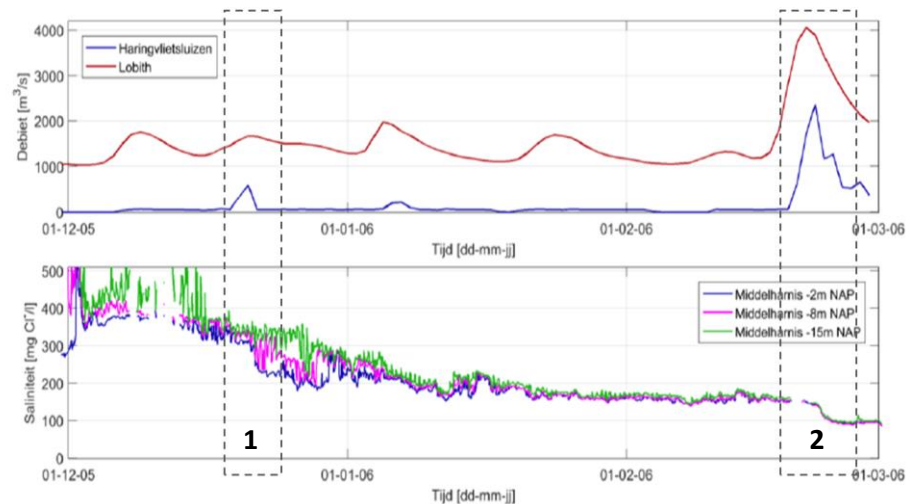
Criterium 1: Bovenrijnafvoer ten minste 2200 m³/s en in 5-daagse verwachtingen constant (+/-100 m³/s) of stijgend.

Onderbouwing:

- Aangezien bij de eerste onderzoeken de *onzekerheden* in de effectiviteit van zoetspoelen nog groot zijn, is besloten dat deze onderzoeken bij een hogere Bovenrijnafvoer worden uitgevoerd dan voorzien in Concept HOP v4, en nagenoeg constant of (bij voorkeur) stijgend in de verwachtingen. Voor het onderzoek wordt het ebdebiet bij de sluisen geknepen, maar vanwege de relatief hoge Bovenrijnafvoer is er dan wel de beheersmaatregel achter de hand om de ebopening en daarmee het ebdebiet nog te vergroten.
- Tegelijkertijd is het voor de *onderzoeksdoelstellingen* belangrijk dat bij de betreffende Bovenrijnafvoer het ebdebiet wel enkele dagen mag worden geknepen bij de sluisen.
- Deze twee argumenten in overweging nemende, is besloten de eerste onderzoeken uit te voeren bij een Bovenrijnafvoer van ten minste 2200 m³/s en in 5-daagse verwachtingen constant (+/-100 m³/s) of stijgend. Dit is gebaseerd op de hypothesen (paragraaf 3.1) en op onder andere data van 2005-2006 (put Middelharnis) en 2018 (Haringvliet-West), die zijn weergegeven in onderstaand kader.

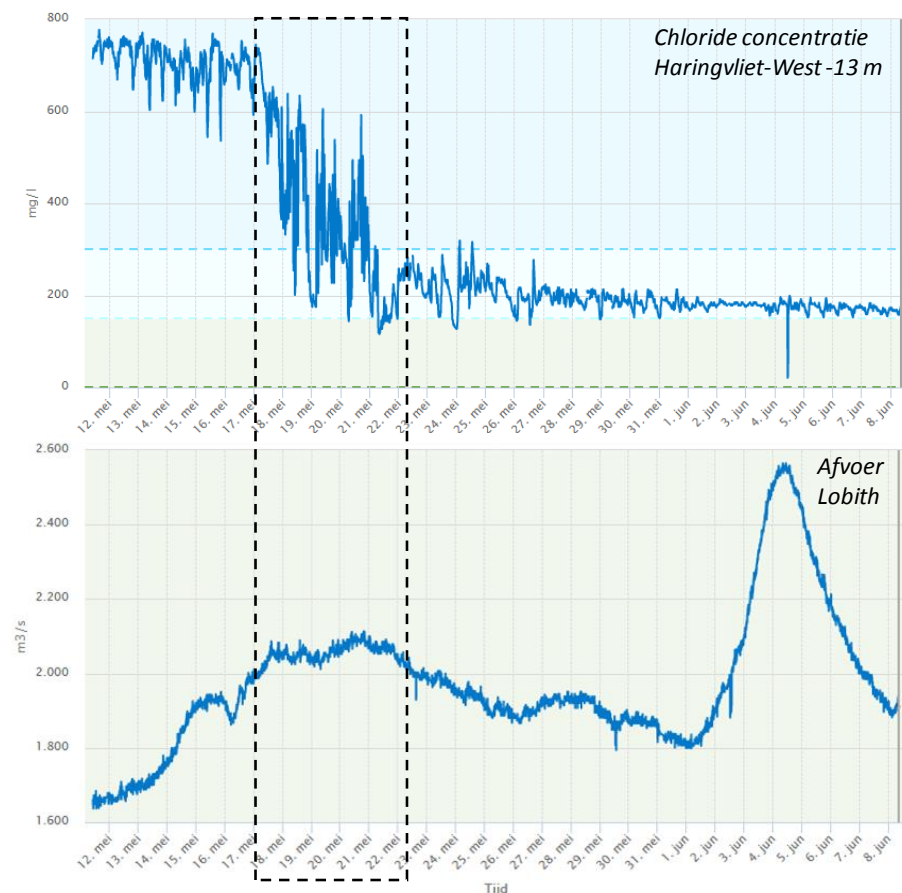
Data 2005-2006 - Zoetspoelen put Middelharnis na achterwaartse verzilting

Na achterwaartse verzilting in december 2005 zijn in de put bij Middelharnis op drie dieptes de chlorideconcentraties gemeten. Snelle verlaging op de grootste diepte (NAP -15 m) wordt waargenomen bij een Lobith afvoer boven de 2000-3000 m³/s en een debiet door de Haringvlietsluizen van 1000-2000 m³/s (periode 2).



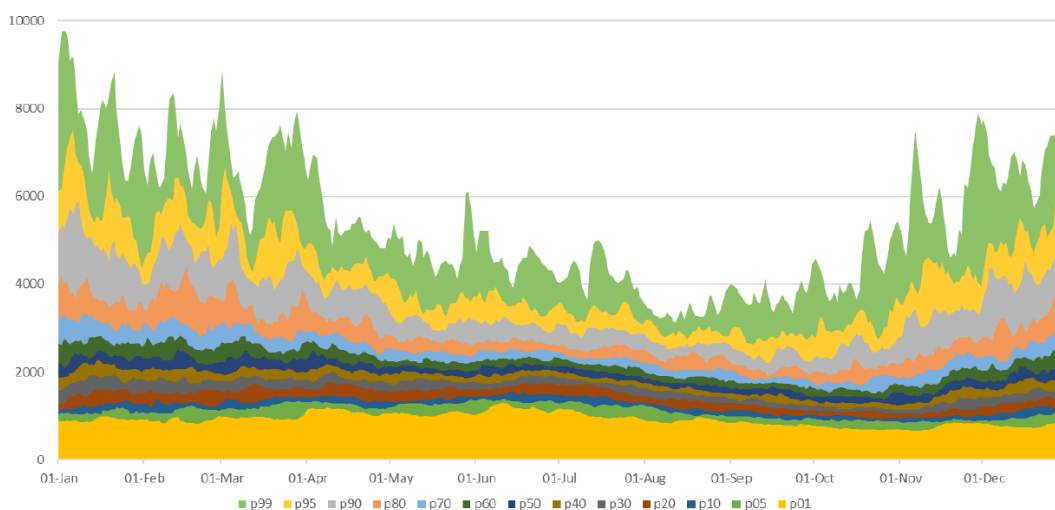
Data 2018 - Verlaging zoutconcentraties Haringvliet-West

De chlorideconcentraties bij meetlocatie Haringvliet-West op -13 m zijn in de periode 17-22 mei 2018 gezakt van ongeveer 700 naar 200 mg/l (*waterinfo.nl*). Dit is precies de periode waarin de afvoer bij Lobith 2000-2100 m³/s was.



Criterium 2: Periode in het jaar: september tot en met januari.**Onderbouwing:**

- Aangezien bij de eerste onderzoeken de *onzekerheden* in de effectiviteit van zoetspoelen nog groot zijn, is besloten om deze onderzoeken niet tijdens het groeiseizoen uit te voeren, en in een periode waarin nog hoge rivierafvoeren kunnen worden verwacht.
- Dit argument in overweging nemende, is besloten om het eerste onderzoek alleen in de periode september tot en met januari uit te voeren. Op basis van de kansverdeling per maand voor de Rijnafvoer (Figuur 10), is de verwachting dat in de maanden daarna nog hoge Rijnafvoeren voorkomen en eventuele restrisico's (zout in diepe delen) kunnen worden weggespoeld voor het groeiseizoen.
- NB. Door de expertgroep kan worden beoordeeld of ook in februari nog onderzoeken kunnen worden uitgevoerd, omdat ook in de periode daarna nog hoge rivierafvoeren worden verwacht op basis van de op dat moment actuele situatie (met name sneeuwval en te verwachten Rijnafvoer).



Figuur 10. Onderschrijdingskansen Lobith afvoer op basis van meetdata (dagwaarden) 1901-2016.

Criterium 3: Ten minste ook meten bij beperkte windkracht (kleiner dan windkracht 5)**Onderbouwing:**

- Alle windomstandigheden zijn interessant, maar ten minste ook meten bij beperkte wind om het effect van verticale opmenging door wind op de zoutconcentraties te kunnen isoleren van verlaging door zoetspoelen (afvoer).
- Dit betekent dat de eerste zoetspoelonderzoeken niet zijn beperkt tot bepaalde windomstandigheden, mits ten minste ook bij minder dan windkracht 5 wordt gemeten, omdat hiervan wordt aangenomen dat het effect op de verticale opmenging van zout beperkt is.

Hoe verder na de eerste onderzoeken?

De omstandigheden en randvoorwaarden zoals hier geformuleerd voor de eerste onderzoeken zijn gebaseerd op de huidige inzichten van *risico's* en *onderzoeksdoelstellingen*. Wanneer dit eerste onderzoek (met een aantal iteraties) is uitgevoerd, wordt de informatie door het expertteam geanalyseerd en worden de hypothesen aangescherpt. Daarbij wordt ook beoordeeld of de onzekerheden (in hetgeen we verwachten dat er gaat gebeuren) zijn afgenomen. Op basis van het aangescherpte beeld van de risico's adviseert het expertteam of de criteria en randvoorwaarden kunnen worden versoepeld of juist moeten worden aangescherpt (*HydroLogic en Infram 2018*). Bijvoorbeeld:

- Vergroten 'veilige' onderzoeksvensters
- Als uit de eerste onderzoeken het beeld ontstaat dat verticale opmenging uit putten ontstaat bij een lagere afvoer dan verwacht, moet worden overwogen of de volgende zoetspoelonderzoeken bij lagere Rijnafvoeren mogen worden uitgevoerd, waardoor meer ruimte voor onderzoeken ontstaat.
- Ook moet worden overwogen of er voldoende inzicht is in de effectiviteit van zoetspoelen in de bemeten putten en de onderzoeksgrens (tijdelijke randvoorwaarde) mag worden verschoven om de effectiviteit van zoetspoelen ook voor andere putten te kunnen onderzoeken.

3.6 Operaties en onderzoeksgrens

Voor de eerste onderzoeksperiode (totdat anders besloten door expertteam) geldt de volgende onderzoeksgrens:

Onderzoeksgrens: De zoutinlaat ten behoeve van het onderzoek wordt toegestaan tot de eerste onderzoeksgrens.

- Aangezien bij de eerste onderzoeken de *onzekerheden* in de effectiviteit van zoetspoelen nog groot zijn, is besloten om de zoutinlaat voor de eerste onderzoeken enkel toe te laten in het westelijk deel van het Haringvliet, tot de eerste onderzoeksgrens (deze is anders dan de risicogrens, zie paragraaf 3.7). Mocht de zoutindringing sneller gaan dan verwacht, is er nog ruimte en daarmee handelingstijd tot de formele randvoorwaarde Middelharnis-Spui.
- Tegelijkertijd is het voor de *onderzoeksdoelstellingen* belangrijk dat ten minste een diepe put gevuld raakt met zout water.
- Deze twee argumenten in overweging nemende, is besloten om voor de eerste onderzoeken een onderzoeksgrens te hanteren (Figuur 9), waarbij de diepe putten A, E (en mogelijk deels B en C) gevuld raken met zout water. Hierbij is rekening gehouden met het bodemprofiel van het Haringvliet. De onderzoeksgrens ligt net (ongeveer 2 m) onder de drempelhoogte van de putten (rond NAP -12 m in put D). De drempels vormen namelijk een natuurlijke 'drempel' voor de zoutindringing. Zodra hier de spronglaag wordt waargenomen, is de onderzoeksgrens bereikt. Dit betekent dat de chlorideconcentratie stijgend is en boven de 500 mg/l.

Voor de eerste onderzoeksperiode gelden de volgende richtlijnen voor de operaties bij de Haringvlietsluizen.

Richtlijn 1: Als voorbereiding op het zoetspoelonderzoek wordt beperkt zout ingelaten totdat de onderzoeksgrens wordt bereikt. De in te stellen vloedopening wordt bepaald door het tactisch team, met een bovengrens zoals bepaald in het Concept HOP v4.

Richtlijn 2: Boven- en ondergrens toelaatbare spuiopening in onderzoek gerelateerd aan Bovenrijnafvoer en verval over de sluizen. Hiervoor worden nog richtlijnen opgesteld. De ondergrens is gerelateerd aan niet te hoge waterstand bij Moerdijk en niet te grote eb-debieten (erosie) door Spui en Dordtsche Kil (*Rijkswaterstaat 2018*). De bovengrens is gerelateerd aan een niet te lage waterstand bij Moerdijk en aan de kans op verzilting van de Noordrand van de Rijn-Maasmonding.

Richtlijn 3: Binnen bovengenoemde randvoorwaarden is het advies om voor onderzoeksdoeleinden te beginnen met een kleine ebopening waarbij wordt verwacht dat de spronglaag vooral nog door ‘afschaving’ zal worden verlaagd. Daarmee wordt enige tijd (naar verwachting 2-5 dagen) gemeten totdat een (dynamisch) stabiele situatie in beeld is.

Richtlijn 4: Indien op dat moment nog voldoende tijd (Bovenrijnafvoer) wordt verwacht (en tot dan toe nog geen verticale menging is waargenomen) wordt de opening langzaam vergroot totdat verticale menging wel wordt waargenomen door snelle verlaging van diepere chloride concentraties. Anders kan in een volgend onderzoek met grotere debieten worden gewerkt.

Richtlijn 5: Het kan zijn dat vroegtijdig (eerder dan wenselijk voor onderzoeksdoeleinden) het onderzoek moet worden afgebroken (paragraaf 3.7). Wanneer dan grotere zoetspoeldebieten worden ingezet (bijvoorbeeld omdat de Rijnafvoer in de verwachtingen daalt), kan dit echter ook interessante meetdata opleveren.

3.7 Risicobeheersing

Voor het onderzoeksspoor *zoetspoelen* worden de volgende risico's onderscheiden:

- **Te veel/snelle verzilting Haringvliet.** Dit risico wordt met de onderzoeksofzet al zoveel mogelijk beperkt doordat zout water wordt ingelaten met kleine openingen en wordt het zout inlaten wordt gestopt wanneer in de eerste putten net onder de drempelhoogte verhoogde chlorideconcentraties worden waargenomen. Een waarschuwings- en alarmeringsgrens zijn echter nodig voor als het zout bij de vloedopening toch sneller binnendringt dan verwacht, of zich bijvoorbeeld door een wind event tijdens het onderzoek alsnog verder op het Haringvliet verspreidt.
- **Te lage Bovenrijnafvoer verwacht.** Wanneer de Bovenrijnafvoer in de verwachtingen te veel daalt, ontstaat het risico dat de beheersmaatregel extra zoetspoelen niet meer inzetbaar is. Daarom moet hier tijdig op worden gehandeld.
- **Opzet buitenwaterstand (stormsituatie) verwacht.** In zo een situatie moet het onderzoek worden afgebroken, omdat de Haringvlietdam (gelijk aan het huidige beheer) de functie van stormvloedkering moet vervullen.

- **Te grote afwijking waterstand Moerdijk verwacht.** Wanneer voor langere tijd een te grote afwijking van de afgesproken waterstand bij Moerdijk wordt verwacht, moet worden bijgestuurd (gelijk het huidige beheer) om hinder voor de scheepvaart bij de haven van Moerdijk zoveel mogelijk te beperken.
- Bij lage afvoeren op de Bovenrijn is er extra risico op **achterwaartse verzilting** wanneer zoetspoelen zorgt voor een extra waterstandsverlaging bij Moerdijk en samenvalt met sterke (westen)windopzet bij Hoek van Holland. Dit risico is beheersbaar door in de periode van windopzet het zoetspoeldebiet te beperken. Vanwege de verhoogde buitenwaterstanden bij windopzet, zal het verval over de kering en daarmee het spui-debiet sowieso al beperkter zijn.

In onderstaande tabel is per risico aangegeven welke **grenzen voor waarschuwing/alarmering** worden gehanteerd. Deze grenzen hangen samen met de huidige inzichten en onzekerheden (zie hypothesevorming), wat betekent dat ze kunnen worden versoepeld wanneer door nieuwe inzichten de onzekerheden afnemen, of juist aangescherpt wanneer door nieuwe inzichten de risico's groter blijken dan verwacht.

Daarnaast is aangegeven hoe wordt gereageerd wanneer deze grenzen voor waarschuwing/alarmering worden overschreden: welke **beheersmaatregel** wordt ingezet met als doel te voorkomen de risico's daadwerkelijk tot problemen (voor functionaliteit andere gebruiksfuncties) leiden?

Tabel 2. Mogelijke risico's voor de eerste zoetspoelonderzoeken, met bijbehorende waarschuwingsgrenzen en beheersmaatregelen.

Risico	Waarschuwing/alarmering	Beheersmaatregel
Te snelle verzilting Haringvliet	Waarschuwingsgrens: wanneer de spronglaag op drempelhoogte van put D (of eventueel B/C) wordt waargenomen. Dit betekent ongeveer op NAP - 10 m (in put D) de chlorideconcentratie duidelijk stijgend is. Vanuit de veronderstelling dat de put dan gevuld is met zout water en bijna overloopt naar andere delen van het Haringvliet. Alarmeringsgrens: wanneer het zoute water 'overloopt' naar putten aan de oostkant van put D. Dit betekent dat nabij de bodem van put E en/of F een chloride-concentratie hoger dan 500 mg/l wordt gemeten. Vanuit de veronderstelling dat dan overloopt naar deze putten net heeft plaatsgevonden.	Bij waarschuwingsgrens: ebopening vergroten. Bij alarmeringsgrens: ebopening zo groot als toelaatbaar om nog zoveel mogelijk zout weg te spoelen, totdat extra spuien geen effect meer heeft op de verziltingssituatie. Daarna terug naar LPH'84 of nieuw onderzoek starten. Dit hangt af van begrip van de ontstane situatie. Daartoe moet een oorzaakanalyse worden uitgevoerd.
Te lage Bovenrijnafvoer verwacht	Bovenrijnafvoer dalend, én in 5-daagse verwachting onder de 2000 m³/s	Ebopening zo groot als toelaatbaar om nog zoveel mogelijk zout weg te spoelen. Als extra spuien geen effect meer heeft op de verziltingssituatie, dan terug naar LPH'84 tot

		Bovenrijnafvoer weer stijgt en zich onderzoeksomstandigheden voordoen.
Te hoge chlorideconcentraties noordrand RMM verwacht	Deze randvoorwaarde wordt deels ondervangen door de randvoorwaarde Bovenrijnafvoer (geen onderzoek bij te lage Bovenrijnafvoer). Daarbij is ook windopzet een extra aandachtspunt.	Gelijk aan het risico <i>Te lage Bovenrijnafvoer verwacht</i> .
Risico's vergelijkbaar met huidige praktijk		
Opzet buitenwaterstand (stormsituatie) verwacht	Verwachte stormsituatie (gelijk aan huidige praktijk)	Deelproces stormsituatie gelijk aan huidige praktijk
Te grote afwijking waterstand Moerdijk verwacht	Te grote afwijking van gewenste waterstand, gelijk aan huidige praktijk	Bijsturen gelijk aan huidige praktijk (ebopening vergroten/verkleinen)
Achterwaartse verzilting	Criteria voor achterwaartse verzilting (HL-parameter).	In een situatie die gevoelig is voor achterwaartse verzilting, extra opletten dat de maximale spuiopening.

3.8 Informatiebehoefte

Voor de doelstellingen van de eerste zoetspoelonderzoeken (paragraaf 3.3) geldt de volgende informatiebehoefte.

- Metingen van zoutverdeling in de verticaal in diepe put(ten) B, C en D
 - Een **hoge dichtheid aan metingen in de verticaal** is nodig om de zoutverdeling te kunnen volgen, met in het bijzonder de hoogte van de spronglaag. Bij metingen uit het verleden op drie dieptes was bij een sterke daling van de concentratie bij een van de sensoren onvoldoende duidelijk of het zoute water was opgemengd naar de ondiepere lagen, en of het zich al dan niet nog in diepere lagen bevond. De hoogte van de spronglaag zal gedurende een onderzoek kunnen veranderen. De meting moet ermee om kunnen gaan om ten alle tijden in een hoge dichtheid metingen rondom de spronglaag te kunnen voorzien. Gedacht wordt aan metingen *ten minste* om de 0,5 meter, over de gehele diepte van de waterkolom.
 - Metingen met een **hoge frequentie in tijd** zijn nodig om het systeembegrip te vergroten en veranderingen in de chlorideconcentraties te kunnen relateren aan andere gebeurtenissen (bijv. sluisbeheer, veranderingen in windrichting/kracht) Gedacht wordt aan continue metingen (frequentie 10 min).
 - De metingen zijn ten minste nodig in **de periode waarin de zoetspoelonderzoeken worden uitgevoerd** om zowel het vullen van de put (voorbereiding) als het zoetspoelen te kunnen onderzoeken. Het verdient aanbeveling deze metingen gedurende langere periode actief te houden aangezien ze ook nodig zijn voor de onderzoeken naar opmenging van zout uit diepe putten en verspreiding in het Haringvliet.
 - **Eén verticaalmeting per put** is voldoende voor de onderzoeksdoeleinden voor zoetspoelen, vanwege de verwachting dat in de put de variatie in het horizontale vlak beperkt is. Om te verifiëren in hoeverre scheefstand van de spronglaag optreedt (bijvoorbeeld door wind) zijn wel meerdere verticaalmetingen in een put

wenselijk, waarbij ze echter niet allemaal zo een hoge dichtheid aan metingen in de verticaal hoeven te hebben.

- De intensieve verticaalmeting is voor het eerste onderzoek ten minste nodig in **put D**, omdat deze put naar verwachting het meest eenvoudig kan worden gevuld en het onderzoek zich dan ook hierop richt. Hiervoor kan wellicht een van bestaande, verplaatsbare meetpontons worden gebruikt, maar dan met hogere dichtheid sensoren in verticaal.
- In de **putten B-C** zijn verticaalmetingen nodig waarmee ten minste kan worden gemonitord of deze putten (deels) gevuld raken met zout water. Hiermee moet een beeld worden gevormd hoe (snelheid, volgorde) de zoutindringing van de putten B, C en D verloopt (begrip systeemwerking), en in hoeverre het mogelijk is om voor onderzoeksdoeleinden ook de putten B-C gericht te vullen. Hiervoor kunnen naar verwachting twee van de bestaande, verplaatsbare meetpontons worden gebruikt.
- Metingen van stroomsnelheden in put D. Tijdens zoetspoelen zijn de stroomsnelheden naar verwachting de drijvende kracht achter veranderingen in de chlorideconcentraties. Daarom is de onderzoeksdoelstelling ook gericht op de relatie (gevoeligheid) tussen stroomsnelheden en chlorideconcentraties (diepte spronglaag).
 - De snelheidsmetingen moeten in dezelfde periode en zoveel mogelijk op dezelfde momenten en locaties worden genomen als de metingen van chlorideconcentraties in put D.
- Daarnaast is het tijdens dit onderzoek wenselijk om data te verzamelen voor het onderzoek naar water- en zouttransport door het object (onderzoek O1 uit het implementatieplan), als input voor modelverbetering. Het gaat hierbij om debiet- en zoutmetingen in een sluisopening. Daarnaast worden mogelijk transect metingen in de voordelta en aan de binnenzijde van de kering gevaren om een beeld te krijgen van de stratificatie en stromingspatronen.

Voor de risicobeheersing tijdens de zoetspoelonderzoeken (paragraaf 3.7) kan voor een groot deel gebruik worden gemaakt van de intensieve metingen in putten zoals ook voor de onderzoeksmetingen beschreven. Deze moeten realtime beschikbaar zijn om tijdig handelen mogelijk te maken. In aanvulling daarop zijn verderop het Haringvliet extra metingen nodig om eventuele te snelle zoutindringing (buiten de onderzoeksgrenzen) tijdig te signaleren, zodat de nodige beheersmaatregelen kunnen worden genomen (paragraaf 3.7).

- Metingen van chlorideconcentratie in putten E en F
 - Deze metingen zijn **ten minste nodig in de periode waarin de zoetspoelonderzoeken worden uitgevoerd**, omdat het risico zich dan kan voordoen. Het verdient aanbeveling deze metingen gedurende langere periode actief te houden aangezien ze ook nodig zijn voor de onderzoeken naar opmenging van zout uit diepe putten en verspreiding in het Haringvliet.
 - In de diepte is met name een **meting nabij de bodem** interessant om zo snel mogelijk te kunnen signaleren als het zoute water naar deze putten is 'overgelopen'. Naar verwachting kan een van de bestaande meetpontons hiervoor worden gebruikt.

- Stroomsnelheidsmetingen op het Spui zijn wenselijk om tijdig inzicht te krijgen of de gemodelleerde stroomsnelheden kloppen met de werkelijkheid en daarmee het risico op erosie van het Spui (en Dordtsche Kil) voldoende in beeld is.

Naast bovengenoemde metingen wordt ervan uitgegaan dat gebruik kan worden gemaakt van de bestaande meetlocaties voor chlorideconcentraties en waterstanden op het Haringvliet.

Aangezien de Bovenrijnafvoer en wind (richting en kracht) bepalend zijn voor verziltingsprocessen in het Haringvliet, is het best mogelijke inzicht in de verwachtingen en bijbehorende onzekerheden nodig.

4 Eerste onderzoeken naar opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten

Definitie onderzoeken naar opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten tijdens Lerend Implementeren:

Onderzoeken waarbij de focus ligt op het begrijpen van de processen die bepalend zijn voor de opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten in een situatie met gesloten sluizen.

4.1 Hypothesen

De hypothesen beschrijven wat wordt verwacht dat gaat gebeuren, welke processen daaraan ten grondslag liggen en waarop we deze inzichten baseren (referentie events / onderbouwingen in paragraaf 4.2). Bij nieuwe inzichten kunnen de hypothesen worden bijgesteld.

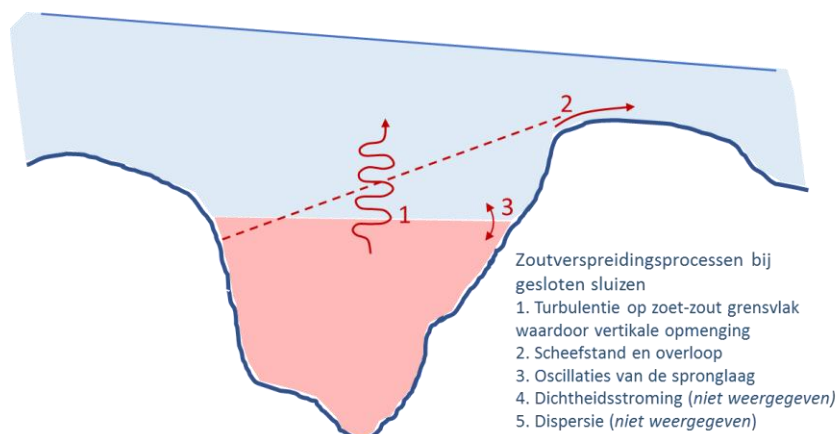
1 Processen die kunnen zorgen voor zoutverspreiding vanuit de diepere delen van het Haringvliet in een situatie met (nagenoeg) gesloten sluizen zijn:

Voor met name verticale verspreiding:

- Turbulentie op het zoet-zout grensvlak (spronglaag) waardoor verticale opmenging plaatsvindt. Dit is naar verwachting het grootste risico en kan worden veroorzaakt door wind of getijdebeweging (vulling en lediging van het bekken). Vanwege de beperkte getijdebeweging zal wind hier naar verwachting de meest bepalende factor zijn.
- Oscillaties van de spronglaag, waardoor ook opmenging plaatsvindt. De kans hierop is naar verwachting klein.
- Dispersie. Dit is naar verwachting een langzaam proces.

Voor met name horizontale verspreiding:

- Scheefstand van de spronglaag (veroorzaakt doordat wind scheefstand aan het oppervlak veroorzaakt) waardoor overloop (door dichtheidsstroming) naar een volgende put of geul. Door dichtheidsverschillen zal de scheefstand van de spronglaag groter zijn dan de scheefstand aan het oppervlak.
- Dichtheidsstroming van het zoutere water over de bodem.
- Advectief transport met retourstromingen bij verticale windcirculatie.

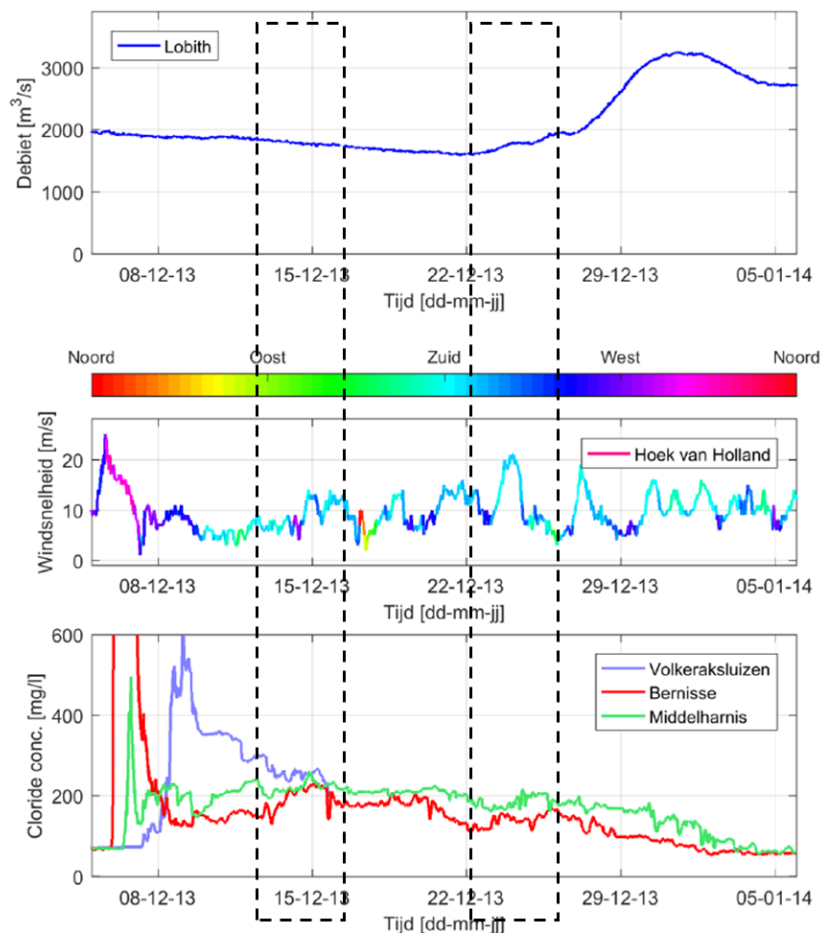


- 2 **De drijvende kracht voor turbulentie op het grensvlak**, waardoor entrainment van zout naar de ondiepere lagen plaatsvindt, is wind.
 - Welke combinatie van windkracht en -richting hiervoor zorgen is niet bekend. Een eerste inschatting (*expert judgement*) is dat effect merkbaar kan zijn vanaf windkracht 6-7 (*onderbouwing 2A en 2B*).
 - Het getijdeffect op het Haringvliet is naar verwachting te beperkt om ook voor substantiële opmenging te zorgen.
- 3 **Bepalend voor de mate waarin opmengingsprocessen vat kunnen krijgen op de zoutere onderlaag**, is de verticale dichtheidsverdeling in de aanvangssituatie.

4.2 Onderbouwing hypothesen

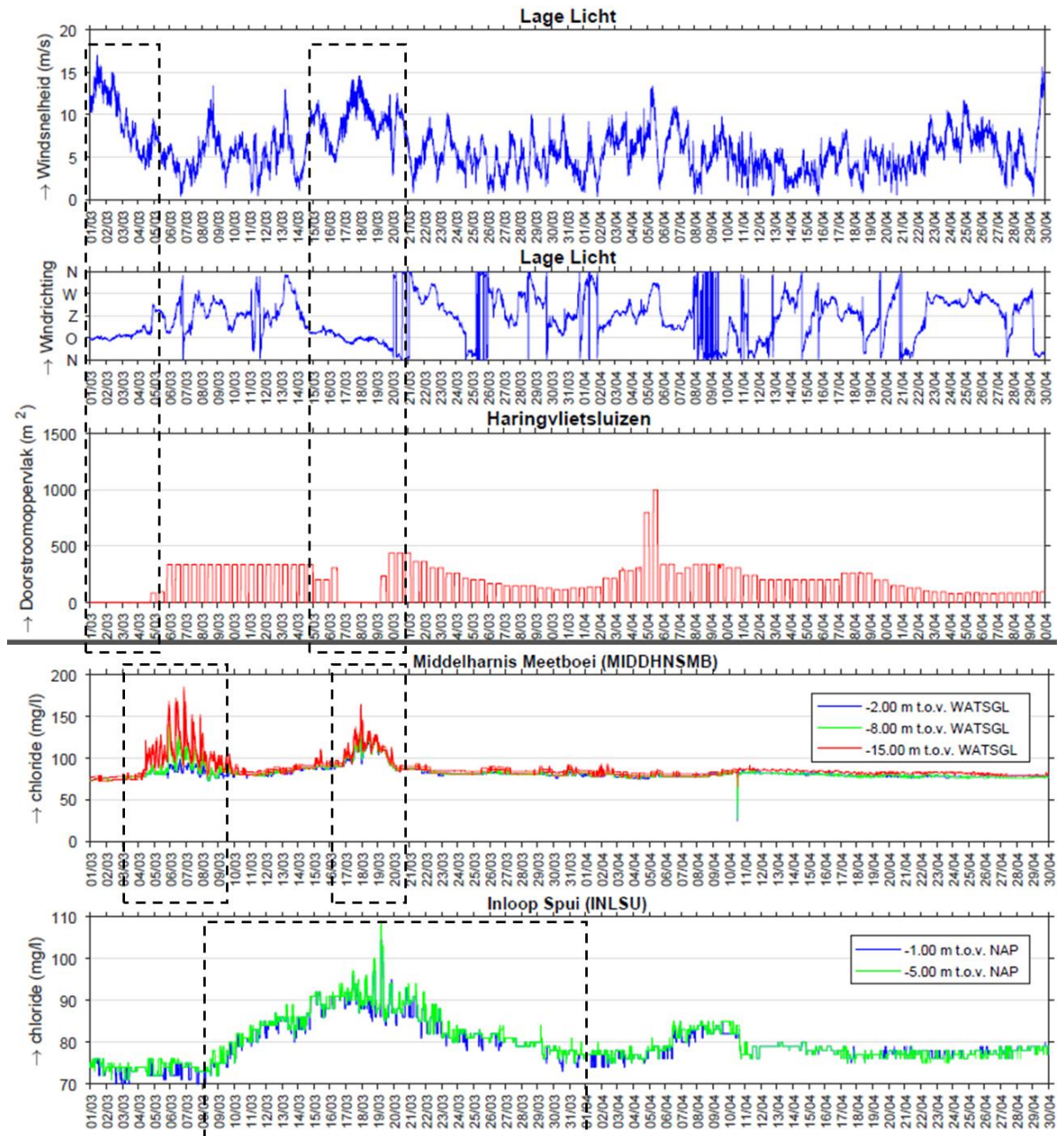
Er zijn vrijwel geen meetdata die het mogelijk maken om het inzicht te vergroten in opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten bij gesloten sluizen. Ook van onderstaande twee events is onzeker of de verhoogde zoutconcentraties daadwerkelijk door opmenging en verdere verspreiding worden veroorzaakt.

2A. Bij de sinterklaasstorm van 2013 is begin december achterwaartse verzilting opgetreden. Rond 15 en rond 25 december worden lichte verhogingen (ordegrootte 20 mg/l) in de chlorideconcentraties bij Bernisse waargenomen. De verhoging van 15 december is naar verwachting het gevolg van stroming vanuit het Hollandsch Diep (Volkeraksluizen). De verhoging van 25 december is mogelijk wel het gevolg van nalevering door windeffecten. Die valt samen met windkracht 7-8 uit zuidwestelijke richting. Opmerkelijk is wel dat bij de Bernisse eerder de verhoging in de chlorideconcentratie waarneembaar is dan bij Middelharnis (*Deltares 2016c*).



Figuur 11. Teruglevering van zout vanuit Haringvliet naar het Spui en inlaatpunt Bernisse tijdens sinterklaasstorm 2013. Toename zout bij Bernisse na 12 december komt naar verwachting door zoetspoelen Hollands Diep, maar mogelijk ook combinatie met nalevering uit put Middelharnis (*Deltares 2016c*).

2B. Begin 2018 heeft verzilting van het Haringvliet plaatsgevonden als gevolg van een zoutlekkage bij de sluizen. Een sterke oostenwind (windkracht 7) in de eerste week van maart is mogelijk de oorzaak geweest van verdere verspreiding van het zout op het Haringvliet, met verhogingen van 20-50 mg/l bij Middelharnis en de inloopt van het Spui tot gevolg.



Figuur 12. Meetdata van de gevolgen van het verziltingsevent van begin 2018.

4.3 Doelstellingen eerste onderzoeken

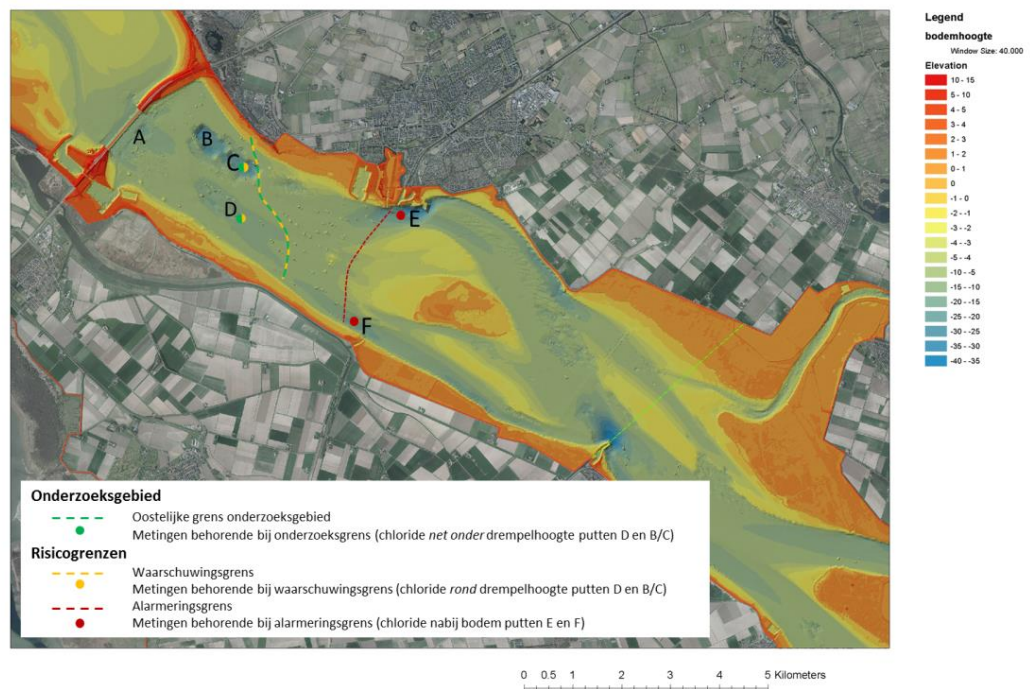
De eerste onderzoeken naar opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten moeten het inzicht vergroten in de vraag welke processen (zoals genoemd onder 4.3) bepalend zijn voor opmenging en welke geen of zeer beperkte invloed hebben. Hierbij zal het er vooral om gaan onder welke windomstandigheden (snelheid en richting) entrainment van het zoutere water naar de ondiepere lagen kan worden verwacht? Dit zal verschillen per put (vorm) en per uitgangssituatie (diepte spronglaag). Daarnaast speelt de vraag of een nage-nog stabiele diepte van de spronglaag is te identificeren?

Hierbij speelt inzicht in de volgende relaties een belangrijke rol:

- In de relatie tussen wind en scheefstand (oppervlakte en spronglaag).
- In de relatie tussen wind en stroomsnelheden.
- In de relatie tussen stroomsnelheden en verticale opmenging chlorideconcentraties.
- In de relatie tussen wind, stroomsnelheden en verdere verspreiding (in de horizontaal) in het Haringvliet.

4.4 Korte beschrijving eerste onderzoeken

- 1 Vanwege onzekerheid in de effectiviteit van zoetspoelen, zal elk onderzoek altijd eerst worden uitgevoerd bij relatief hoge Bovenrijnafvoer (hoger dan voorzien met Concept HOP), voor zover dit toelaatbaar wordt geacht (vanuit waterveiligheid/erosie/scheepvaart). Daarbij moet de verwachte afvoer stijgend zijn.
- 2 Met beperkt kieren wordt zoutindringing toegestaan tot een eerste onderzoeksgrens (net onder drempelhoogte putten D en B-C), waarmee de eerste put(ten) wel gevuld raken maar nog bijna niet overlopen naar de rest van het Haringvliet. De verwachting is dat hiermee ten minste de putten A en D gevuld raken met zout water, en mogelijk (deels) de putten B en C.



Figuur 13. Bovenaanzicht van de bodemhoogte van het Haringvliet, met daarin weergegeven de onderzoeksgrens en waarschuwings-/alarmeringsgrenzen voor de eerste onderzoeken. Toelichting op deze grenzen in paragrafen 4.6 en 4.7.

- 3 Wanneer daar de onderzoeksgrens wordt overschreden, wordt enkel nog een beperkte ebstroom ingezet om een dichtheidssprong te creëren tussen zout/brak water in de diepere delen en een zoete bovenlaag.
- 4 Wanneer de hoge chlorideconcentraties bijna alleen nog op de grotere dieptes (minimaal NAP -8 m) worden waargenomen, worden de sluizen gesloten en wordt eventuele opmenging en verdere verspreiding in het Haringvliet gemonitord. De sluizen

worden gesloten mits de verwachtingen dit toelaten: rivierafvoer niet te hoog (veiligheid), maar ook niet te laag (sturingskracht, beheersmaatregel zoetspoelen).

N.B. Er kan vanuit risicobeheersing aanleiding zijn om het onderzoek voortijdig af te breken en te gaan zoetspoelen.

4.5 Onderzoeksomstandigheden

De hypothesen over opmenging van zout uit de diepere delen van het Haringvliet zijn nog erg onzeker en zijn vrijwel niet kwantitatief te onderbouwen. De omstandigheden en randvoorwaarden waarbinnen de eerste onderzoeken naar opmenging uit te voeren, zijn hier op hoofdlijnen beschreven, maar moeten worden geverifieerd en eventueel aangescherpt met behulp van:

- Inzichten uit de eerste zoetspoelonderzoeken;
- Inzicht in de kansverdeling per maand van de Bovenrijnafvoer;
- Beter inzicht in de onzekerheden van verwachtingen van de Bovenrijnafvoer (WMCN-Rivieren)

Criterium 1: Bovenrijnafvoer minimaal 1400 en maximaal 2000 m³/s en stijgend (heel belangrijk!) in verwachtingen.

Onderbouwing:

- Aangezien bij de eerste onderzoeken de *onzekerheden* in de effectiviteit van zoetspoelen nog groot zijn, is besloten dat deze onderzoeken bij een hogere Bovenrijnafvoer worden uitgevoerd dan voorzien in Concept HOP v4, en stijgend in de verwachtingen. Daarmee wordt de mogelijkheid achter de hand gehouden om zoetspoelen als beheersmaatregel in te zetten. Hoe hoog de benodigde piek in de verwachtingen moet zijn, hangt af van de inzichten uit de eerste zoetspoelonderzoeken.
- Tegelijkertijd is het voor de *onderzoeksdoelstellingen* belangrijk dat bij de betreffende Bovenrijnafvoer de sluizen wel enkele dagen of bij voorkeur langer (bijna helemaal) mogen worden dichtgezet.
- Deze twee argumenten in overweging nemende, is besloten de eerste onderzoeken uit te voeren bij 1400-2000 m³/s. Bij deze ondergrens is het nog toelaatbaar om voor het onderzoek beperkt zout water in te laten. Bij deze *bovengrens* is het nog toelaatbaar om een zeer beperkte opening van de Haringvlietssluisen te hanteren (*Rijkswaterstaat* 2018).

Criterium 2: Periode in het jaar: september tot en met januari.

Onderbouwing:

- Aangezien bij de eerste onderzoeken de *onzekerheden* in de effectiviteit van zoetspoelen nog groot zijn, is besloten om deze onderzoeken niet tijdens het groeiseizoen uit te voeren, en in een periode waarin nog hoge rivierafvoeren kunnen worden verwacht.
- Dit argument in overweging nemende, is besloten om het eerste onderzoek alleen in de periode september tot en met januari uit te voeren. Op basis van de kansverdeling per maand voor de Rijnafvoer (Figuur 10), is de verwachting dat in de maanden daarna nog hoge Rijnafvoeren voorkomen en eventuele restrisico's (zout in diepe delen) kunnen worden weggespoeld voor het groeiseizoen.

- NB. Door de expertgroep kan worden beoordeeld of met de op dat moment actuele situatie (m.n. sneeuwval en te verwachten Rijnafvoer) ook in februari nog onderzoeken kunnen worden uitgevoerd, omdat ook in de periode daarna nog hoge rivierafvoeren worden verwacht.

Criterium 3: Wind

Onderbouwing:

- Voor de eerste onderzoeken zijn alle windomstandigheden interessant.
- Er zijn echter een aantal iteraties met metingen onder verschillende windomstandigheden nodig voor deze eerste fase van onderzoeken naar opmenging.

4.6 Operaties en onderzoeksgrens

Voor de eerste onderzoeksperiode (totdat anders besloten door expertteam) geldt dezelfde onderzoeksgrens als voor de zoetspoelonderzoeken (paragraaf 3.6).

Voor de eerste onderzoeksperiode gelden de volgende richtlijnen voor de operaties bij de Haringvlietsluizen.

Richtlijn 1: Als voorbereiding op het zoetspoelonderzoek wordt beperkt zout ingelaten totdat de onderzoeksgrens wordt bereikt. De in te stellen vloedopening wordt bepaald door het tactisch team, met een bovengrens zoals bepaald in het Concept HOP v4.

Richtlijn 2: De minimaal in te stellen sluisopening is gerelateerd aan de Bovenrijnafvoer. Dit heeft te maken met het voorkómen van een te hoge waterstand bij Moerdijk en te grote ebdebieten (erosie) door het Spui en de Dordtsche Kil. Op basis van een modelmatige analyse is ingeschat dat bij een Bovenrijnafvoer van 1500 - 2000 m³/s een minimale sluisopening van 0 - 150 m² mogelijk is bij gemiddeld verval (*Rijkswaterstaat 2018*). In de praktijk kan op de randvoorwaarden worden bijgestuurd.

Richtlijn 3: Het kan zijn dat vroegtijdig (eerder dan wenselijk voor onderzoeksdoeleinden) het onderzoek moet worden afgebroken (paragraaf 4.7). Wanneer dan grotere zoetspoeldebieten worden ingezet (bijvoorbeeld omdat de Rijnafvoer *in de verwachtingen* daalt), kan dit echter ook interessante meetdata opleveren voor het zoetspoelonderzoek.

4.7 Risicobeheersing

De risico's voor de onderzoeken naar opmenging en verspreiding van zout uit diepe putten zijn vergelijkbaar met de risico's voor de zoetspoelonderzoeken. Alleen zullen de onderzoeken naar opmenging, met (nagenoeg) gesloten sluisen, *niet* zorgen voor een extra risico op achterwaartse verzilting. Daarnaast ligt de ondergrens van de Bovenrijnafvoer waarbij dit onderzoek nog kan worden uitgevoerd op 1400 m³/s in plaats van op 2000 m³/s zoals bij de zoetspoelonderzoeken.

Na de eerst zoetspoelonderzoeken wordt door het expertteam beoordeeld of het beeld van risico's moet worden bijgesteld, evenals waarschuwings-/alarmeringsgrenzen en beheersmaatregelen.

4.8 Informatiebehoefte

Voor de doelstellingen (paragraaf 4.3) van de eerste onderzoeken naar opmenging geldt dezelfde informatiebehoefte als voor de eerste zoetspoelonderzoeken.

5 Eerste onderzoeken naar kieren

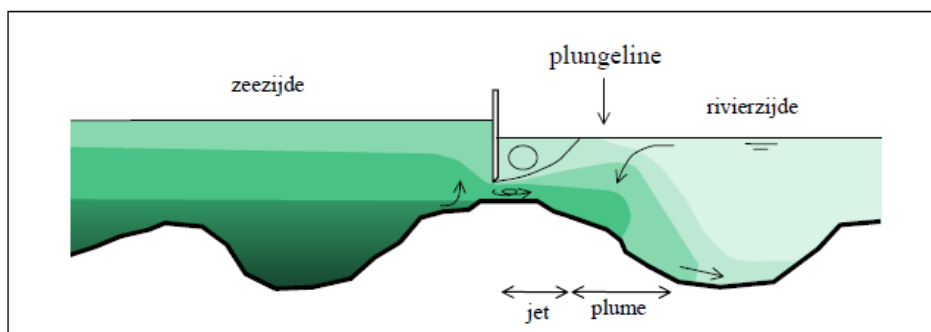
Definitie kieronderzoeken tijdens Lerend Implementeren:

Onderzoeken waarbij de focus ligt op het begrijpen van de processen die bepalend zijn voor het al dan niet ontstaan van een dynamisch zoet-zout evenwicht tijdens kieren.

5.1 Hypothesen

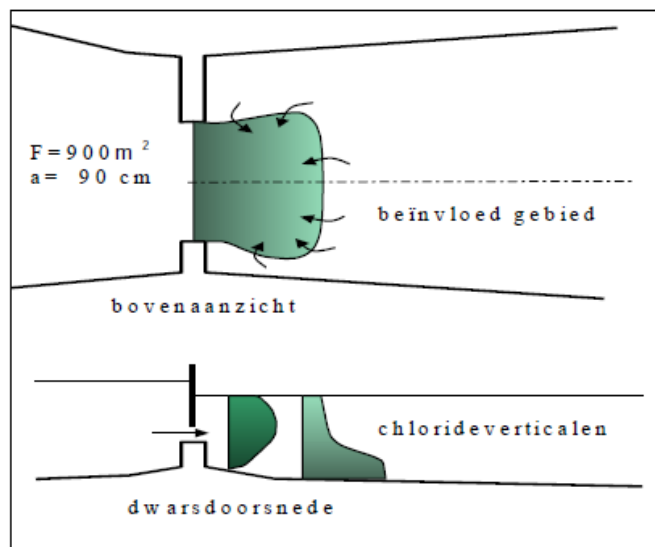
De hypothesen beschrijven wat wordt verwacht dat gaat gebeuren, welke processen daaraan ten grondslag liggen en waarop we deze inzichten baseren (referentie events / onderbouwingen in paragraaf 5.2). Bij nieuwe inzichten kunnen de hypothesen worden bijgesteld.

- 1 **Bepalend voor de hoeveelheid zout die binnenkomt** bij een vloedopening zijn:
 - Chlorideconcentraties (mate van stratificatie) voordelta
 - Grootte opening (hefhoogte zeeschuiф)
 - Duur opening
 - Verval over de kering (afhankelijk van astronomisch getij, afvoer van de rivieren, momentane windeffecten, naijling van eerdere afwijkingen op astronomisch getij, effecten sluisbeheer)
- 2 **Bepalend voor de instroom vanuit de voordelta** is de stratificatie van de chlorideconcentraties in de voordelta, welke afhankelijk is van het voorgaande beheer van de sluisen, stroming op zee, wind en getijde.
 - Na een lange periode van periodiek spuien wordt direct voor de kering een grotere stratificatie van de voordelta verwacht. Hoe groter de spui volumes des te lager zullen de chlorideconcentraties direct voor de kering zijn.
 - Nabij de sluisen vindt onder invloed van de hoge stroomsnelheden mogelijk een aanzuigende werking (entrainment) plaats op het water uit de diepere lagen.
 - Naast processen in verticale vlak spelen ook processen in horizontale vlak een rol. Ook in het horizontale vlak kunnen snelheidsverschillen worden waargenomen, met zelfs een retourstroming tijdens het inlaten.

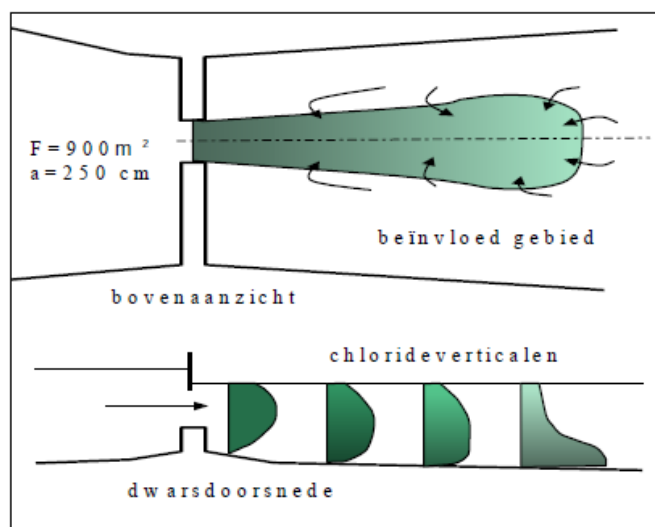


Figuur 14. Entrainment van zout water uit de diepere lagen in de voordelta naar de instroom van de Haringvlietssluisen (Rijkswaterstaat 2003).

- 3 **Bepalend voor de menging direct na de kering** is de snelheid waarmee het indringende zeewater het nagenoeg stilstaande zoete water van het Haringvliet instroomt via de sluisopeningen.
- Bij instroom in het Haringvliet ontstaat een jet (schietend water) van enkele tientallen meters en menging met het ontvangende water in een beperkt gebied aan de oostzijde van de sluisen.
 - Een grotere sluisopening (grotere hefhoogte van de zeeschuif, maar gelijkblijvend totaal doorstroomoppervlak, Figuur 15) zorgt voor beperktere verdere zoutindringing (*onderbouwing 3A*). Dit kan te maken hebben met de grotere jet en daardoor meer turbulentie en menging direct na de sluisen, of doordat bij een grotere opening water met een andere samenstelling uit de voordelta wordt aangetrokken.
 - Daarna zakt het zoute water uit (dichtheidsstroom) en ontstaat een gestratificeerde situatie (*onderbouwing 3B*). De afvoer van zoet rivierwater (tijdens spuiperiodes) via de bovenlaag versterkt de stratificatie van het systeem.

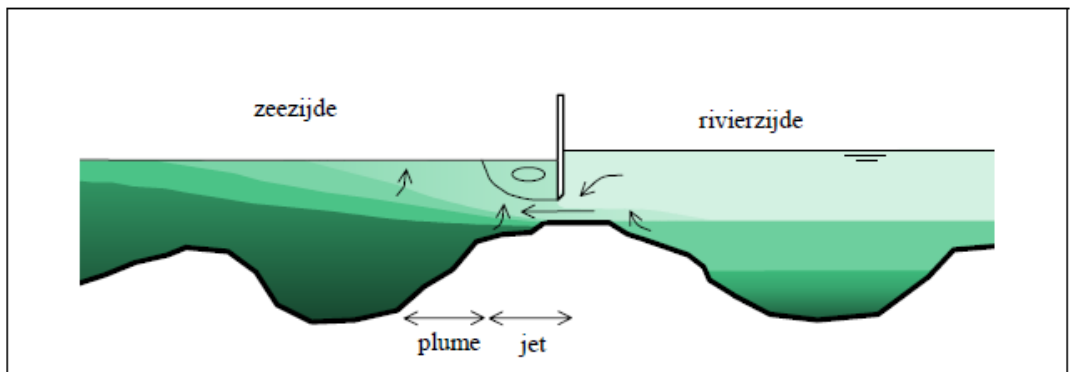


Figuur 3.5



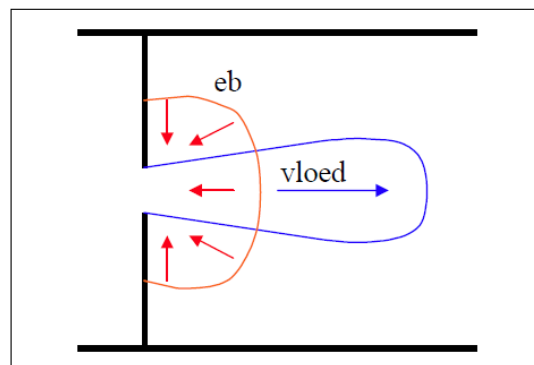
Figuur 15. Inlaten van zeewater met dezelfde totale opening maar verschillende sluisconfiguraties (Rijkswaterstaat 2003).

- 4 **Bepalend voor de uitstroom bij de ebopening** is de stratificatie van de chlorideconcentraties in het Haringvliet nabij de sluizen, welke vooral afhankelijk is van het voorgaande beheer van de sluizen en van wind.



Figuur 16. Afvoersituatie tijdens eb zoals verwacht in een min of meer dynamische stationaire situatie (Rijkswaterstaat 2003).

- Door het periodiek water in- en uitlaten bij vloed en eb stroomt niet hetzelfde water in en uit: dit zorgt voor een langwerpig instroomp patroon via de sluizen het Haringvliet op en radiaal uitstroomp patroon van het Haringvliet naar de sluizen. Bij het kieren zal netto zout aan het relatief zoete systeem worden toegevoegd, totdat zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld.



Figuur 17. Een langwerpig instroomp patroon het Haringvliet op en radiaal uitstroomp patroon van het Haringvliet naar de sluizen zoals verwacht bij de Haringvlietssluisen tijdens kieren (Rijkswaterstaat 2003).

5 **Zoutindringing verder op het Haringvliet vindt plaats door dichtheidsstroming.**

- Bepalend voor de snelheid en de ruimtelijke spreiding van zoutindringing zijn het bodemprofiel, het reeds aanwezige zout (verzadiging) in diepere delen van het Haringvliet, en de spuivolumes.
- Het zoute water vult eerst de put naast de Haringvlietssluisen. Vervolgens ontstaat een dichtheidsstroming over de bodem (bij de visintrekproef van 1994 - vloedopening 120-240 m² - is de dichtheidsstroming ingeschat met een snelheid van 0.25 m/s en een laagdikte van 2 m).
- De zoutindringing gaat dan het snelste via voormalige getijdegeul zuidzijde (min NAP -8 tot -10 m) (onderbouwing 5A). De relatief hoge bodemligging aan de

westkant van put Middelharnis beperkt de (horizontale) snelheid van zoutindringing vanaf dat punt.

- Zoutindringing gaat langzamer via de ondiepere noordzijde met verhoogde delen (max NAP -5 tot -8 m) tussen de putten (*onderbouwing 5B*). Eerst vullen de zandwinputten bij Hellevoetssluis, voordat het zoute water verder stroomt.

- 6 **Bepalend voor het bereiken van een dynamisch evenwicht** is de verhouding tussen het zout dat met de vloedstroom door de sluizen binnenstroomt, en het zout dat met de ebstroom door de sluizen uitstroomt.
- Op een gegeven moment is de hoeveelheid zout op het Haringvliet dynamisch stabiel. Afhankelijk van de grootte van de opening kan dat één tot enkele weken (bij grote opening) tot enkele maanden (bij kleine opening) duren (*expert inschatting*).
 - De ruimtelijke spreiding hoeft daarmee echter nog niet stabiel te zijn. Dat is vooral afhankelijk van de tegendruk door de rivierafvoer.

5.2 Onderbouwing hypothesen

3A. Conclusie uit de analyse van de proef van 1997 (vloedopening 900 m²): “In het vervolg van de praktijkproef is stapsgewijs overgegaan naar een andere sluisconfiguratie, waarbij het aantal geopende schuiven is verminderd en tegelijkertijd de hefhoogte is vergroot. De totale opening bleef daarbij circa 900 m². De metingen laten zien dat daardoor een meer geconcentreerde instroming plaatsvond die steeds verder oostwaarts van de sluizen merkbaar was. Naarmate de hefhoogte groter werd, nam ook het gebied waarin het brakke water over de verticaal gemengd was in lengte toe” (*Rijkswaterstaat 2003*).

3B. Conclusie uit de analyse van de proef van 1997 (vloedopening 900 m²): “Reeds aan het einde van de eerste inlaatperiode, waarbij alle 17 schuiven tot een hoogte van 90 cm waren geheven, was aan de rivierzijde een verticaal gestratificeerde situatie ontstaan. Het ingelaten water had zich in de diepere lagen over een breed front verspreid tot ongeveer 1,5 km vanaf de sluizen. De ondiepere waterlagen bleven zoet.” (*Rijkswaterstaat 2003*).

5A. Conclusie uit de analyse van de proef van 1997 (vloedopening 900 m²): “Aan het einde van de proef was de invloed van brak water merkbaar tot ongeveer 13-14 km vanaf de sluizen langs de zuidoever (voorbij de havenmond van Middelharnis) en tot 10 km afstand langs de noordoever van het Haringvliet (zie Figuur 18). Deze invloed beperkte zich tot de diepere delen van de waterkolom. Het water bij het oppervlak was op deze relatief grote afstand van de sluizen ook aan het einde van de proef zoet.” (*Rijkswaterstaat 2003*).

datum	zuidrand	noordrand
10 maart 1997	3	2
11 maart 1997	11	6
12 maart 1997	12	8
13 maart 1997	12	10
14 maart 1997	13	10

Figuur 18. Maximale lengte van de zoutindringing (in km) tijdens de 5 dagen van de proef van 1997 (*Rijkswaterstaat 2003*).

5B. Conclusie uit de analyse van de proef van 1997 (vloedopening 900 m²): “Langs de noordrand van het Haringvliet bij Hellevoetsluis (boei B3N) op ongeveer 6 km van de sluizen, is op de ondiepere niveaus vrijwel geen effect van het inlaten merkbaar geweest. Op 9 m diepte is een beperkt effect opgetreden, met pieken tot bijna 1.500 mg/l” (*Rijkswaterstaat* 2003).

5.3 Doelstellingen eerste onderzoeken

De eerste kieronderzoeken moeten het inzicht vergroten in:

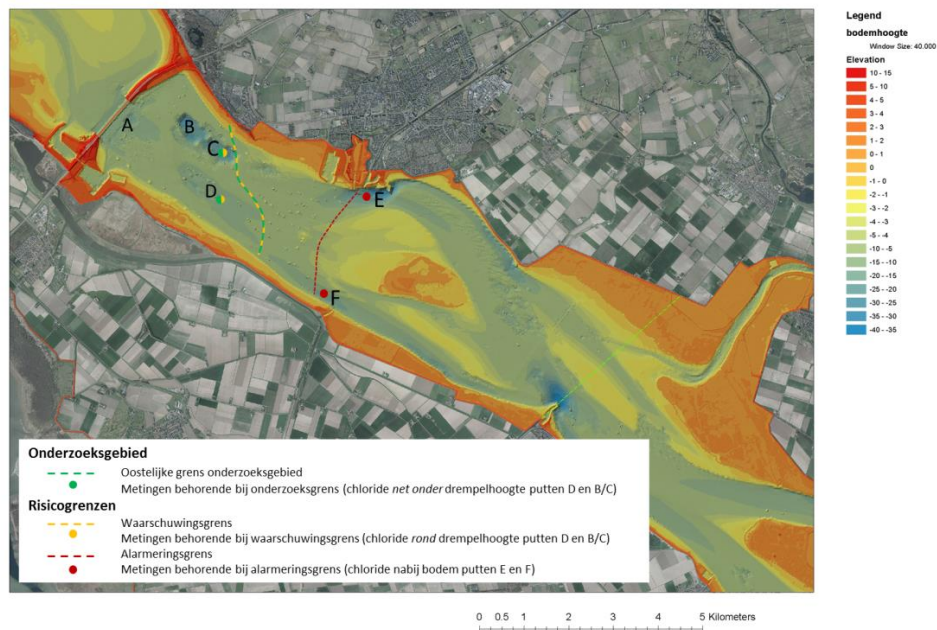
- Stuurbaarheid van dynamisch evenwicht.
- Duur van bereiken dynamisch evenwicht.
- Processen die van invloed zijn op de zoutindringing (vloedstroom) en de stuurbaarheid daarvan: snelheid en ruimtelijk patroon.

NB. Naast de onderzoeken zoals in dit hoofdstuk beschreven, geeft het inlaten van zout water als voorbereiding op de eerste onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging ook al inzicht in zoutindringing bij vloedopening: namelijk hoe (volgorde en snelheid) de eerste putten gevuld raken met zout water bij een kleine vloedopening.

5.4 Korte beschrijving eerste onderzoeken

- 1 Vanwege onzekerheid in zoutindringing en effectiviteit zoetspoelen, zal elk onderzoek altijd eerst worden uitgevoerd bij relatief hoge Bovenrijnafvoer (actueel en verwacht); en niet bij sterke wind.
- 2 Daarnaast wordt bij de eerste onderzoeken gewerkt met beperkte vloedopeningen (in grootte en duur).
- 3 Op deze manier wordt met beperkt kieren geprobeerd om te sturen op een dynamisch evenwicht tussen de Haringvlietssluisen en Hellevoetssluis, maximaal tot een eerste onderzoeksgrens. Nu is dezelfde onderzoeksgrens weergegeven als voor de eerste onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging. Voor aanvang van de eerste kieronderzoeken moet worden bekeken hoe de onderzoeksgrens op basis de nieuwe inzichten moet worden gedefinieerd.
- 4 De eb- en vloedopening kunnen (binnen een bepaalde bandbreedte) worden aangepast om op het dynamisch evenwicht te sturen.

N.B. Er kan vanuit risicobeheersing aanleiding zijn om het onderzoek voortijdig af te breken en te gaan zoetspoelen.



Figuur 19. Bovenaanzicht van de bodemhoogte van het Haringvliet, met daarin weergegeven de onderzoeksgrens en waarschuwings-/alarmeringsgrenzen voor de eerste onderzoeken. Toelichting op deze grenzen in paragrafen 5.6 en 5.7.

5.5 Onderzoeksomstandigheden

De effectiviteit van zoetspoelen als beheersmaatregel, en de risico's van opmenging van zout uit de diepere delen van het Haringvliet zijn nog erg onzeker. De omstandigheden en randvoorwaarden waarbinnen de kieronderzoeken uit te voeren moeten worden bepaald op basis van de bevindingen (aangescherpte hypothesen) uit de eerste onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging.

Vervolgens is de minimale Bovenrijnafvoer waarbij de eerste kieronderzoeken mogen worden uitgevoerd de afvoer waarvan wordt verwacht dat het Haringvliet nog kan worden zoetgespoeld.

Op basis van de eerste onderzoeken naar opmenging wordt bepaald bij welke windomstandigheden de eerste kieronderzoeken mogen worden uitgevoerd.

5.6 Operaties en onderzoeksgrens

De onderzoeksgrens voor de eerste kieronderzoeken wordt gedefinieerd op basis van de inzichten uit de eerste onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging uit diepe putten.

Voor de eerste onderzoeksperiode gelden de volgende richtlijnen voor de operaties bij de Haringvlietssluisen.

Richtlijn 1: Boven- en ondergrens toelaatbare spuiopening gerelateerd aan Bovenrijnafvoer (bij gemiddeld verval). De ondergrens is gerelateerd aan niet te hoge waterstand bij Moerdijk en niet te grote ebdebieten (erosie) door Spui en Dordtsche Kil (*Rijkswaterstaat 2018*). De bovengrens is gerelateerd aan niet te lage waterstand bij Moerdijk en aan de kans op verzilting van de Noordrand. In de praktijk kan op deze randvoorwaarden worden bijgestuurd.

Richtlijn 2: Binnen bovengenoemde randvoorwaarden wordt voor onderzoeksdoeleinden begonnen met de vloedopeningen die kleiner zijn dan vastgesteld in het Concept HOP (v4), tenzij de bevindingen uit de eerste onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging aanleiding geven om iets anders te doen. Binnen de grenzen van het Concept HOP is verder de vrijheid om de eb- en vloedopeningen te vergroten of te verkleinen om te sturen op een dynamisch evenwicht, mits hierbij de afvoerverdeling tussen noord- en zuidrand niet al te zeer verder wordt veranderd dan in met het Concept HOP (v4) gebeurt ten opzichte van LPH'84, en mits de waterstanden bij Moerdijk binnen de gestelde grenzen blijven.

Richtlijn 3: Ook voor de sluisconfiguratie wordt in eerste instantie aangesloten bij het Concept HOP v4, tenzij de onderzoeksplannen vanuit het natuurspoor, of de metingen in de sluisopening aanleiding geven voor een andere configuratie.

Richtlijn 4: Het kan zijn dat vroegtijdig (eerder dan wenselijk voor onderzoeksdoeleinden) het onderzoek moet worden afgebroken (paragraaf 5.7). Wanneer dan grotere zoetspoeldebieten worden ingezet (bijvoorbeeld omdat de Rijnaafvoer *in de verwachtingen* daalt), kan dit echter ook interessante meetdata opleveren.

5.7 Risicobeheersing

De risico's voor de kieronderzoeken zijn vergelijkbaar met de risico's voor de zoetspoelonderzoeken. Na de eerste onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging wordt door het expertteam beoordeeld of het beeld van risico's moet worden bijgesteld, evenals waarschuwings-/alarmeringsgrenzen en beheersmaatregelen.

5.8 Informatiebehoefte

Voor de doelstellingen van de eerste kieronderzoeken (paragraaf 5.3) geldt de volgende informatiebehoefte.

- Een ruimtelijk beeld van de chlorideconcentraties en stroomsnelheden op het Haringvliet
 - Het gaat om het **gebied** tussen Tiengemeten en de Haringvlietstuizen. Het te be-meten deel hangt af van de actuele zoutverspreiding. De precieze locaties en tra-jecten van respectievelijk de verplaatsbare meetpontons en varende metingen moeten voorafgaand aan de kieronderzoeken tijdig worden gepland, maar zijn mede afhankelijk van de bevindingen uit de eerste onderzoeken naar zoetspoelen en opmenging.

- Belangrijk is dat de **metingen van de chlorideconcentraties en stroomsnelheden gelijktijdig of vlak na elkaar** worden uitgevoerd, om het systeembegrip te vergroten (gevoeligheid chlorideconcentraties - stroomsnelheden).
- Om de zoutverspreiding tijdens het kieren goed te kunnen volgen moet **hoogfrequent** worden gemeten. Het is nodig om binnen een getijperiode een aantal keer terug te keren op dezelfde locatie. Gedacht wordt aan een meting om het uur.
- Om een goed ruimtelijk beeld te krijgen van de stromingspatronen en zoutverspreiding is een zo hoog mogelijke **dichtheid aan metingen (in horizontaal en verticaal)** nodig als mogelijk is gezien het te varen traject en aantal te varen rondjes binnen een getijperiode.
- De metingen zijn nodig in de **periode** van een kieronderzoek, maar ook wanneer de sluizen zijn gesloten is het wenselijk om nog enige tijd te meten, omdat de zoutverspreiding binnen het Haringvliet dan nog doorzet.
- Daarnaast is het tijdens dit onderzoek wenselijk om data te verzamelen voor het onderzoek naar water- en zouttransport door het object (onderzoek O1 uit het implementatieplan), als input voor modelverbetering. Het gaat hierbij om debiet- en zoutmetingen in een sluisopening. Daarnaast worden mogelijk transect metingen in de voordelta en aan de binnenzijde van de kering gevaren om een beeld te krijgen van de stratificatie en stromingspatronen.

Naast bovengenoemde metingen wordt ervan uitgegaan dat gebruik kan worden gemaakt van de bestaande meetlocaties voor chlorideconcentraties en waterstanden op het Haringvliet.

Aangezien de Bovenrijnafvoer en wind (richting en kracht) bepalend zijn voor verziltingsprocessen in het Haringvliet, is het best mogelijke inzicht in de verwachtingen en bijbehorende onzekerheden nodig.

6 Visvriendelijk spui- en schutbeheer

Het onderzoeksspoor ‘visvriendelijk spui- en schutbeheer’ gaat in de periode van Lerend Implementeren over:

Onderzoeken waarbij de focus ligt op het inzicht krijgen in het zo slim mogelijk gebruik maken van de bestaande infrastructuur voor perioden waarin het kieren zoals beschreven in het Kierbesluit (met vloedopeningen van de sluizen in de Haringvlietdam) niet kan worden ingezet vanwege te lage rivierafvoeren. We denken daarbij aan het op een visvriendelijke manier beperkt spuien, gebruik van de aanwezige visriolen en het gebruik van de Goereese Sluis voor het ‘schutten van vis’.

‘Zo slim mogelijk’ betekent in deze:

- met het oog op zoveel mogelijk vismigratie;
- zonder zoutindringing die niet met de zoutriolen en resterende spuidebieten in evenwicht in put A kan worden gehouden;
- rekening houdend met de technische en praktische aandachtspunten van inzet van de middelen.

6.1 Hypothesen

De hypothesen beschrijven wat wordt verwacht dat gaat gebeuren, welke processen daaraan ten grondslag liggen en waarop we deze inzichten baseren. Bij nieuwe inzichten kunnen de hypothesen worden bijgesteld.

Visvriendelijk spuibeheer

Het voeren van visvriendelijk spuibeheer betekent dat de sluizen na de spuiperiode kortdurend open blijven, vanuit de hypothese dat dit venster door vissen benut kan worden voor migratie van zee naar Haringvliet. Voor meer gedetailleerde hypothesevorming over vismigratie bij visvriendelijk spuibeheer, zie de onderzoeksplannen voor vismigratie (ATKB, 2018).

De hypothese voor de zoutindringing is dat het zoute water zich allereerst zal verzamelen in put A. Voor visvriendelijk sluisbeheer is het streven om de zoutindringing met de zoutriolen binnen put A onder controle te kunnen houden. **Hoe lang de sluizen daarbij open kunnen blijven na een spuiperiode is afhankelijk van de spuivolumes in die periode, de afvoercapaciteit van de zoutriolen en de ‘bergingscapaciteit’ van put A.** Deze analyse moet voorafgaand aan de eerste onderzoeken naar visvriendelijk spuibeheer worden gedaan om een inschatting te maken (hypothesevorming) van de tijd dat de sluizen open kunnen blijven. Voor visvriendelijk spuibeheer bij de sluizen in de Afsluitdijk is op deze manier berekend dat de sluizen ongeveer 15 minuten extra open kunnen voorafgaand aan een spuiperiode (*Rijkswaterstaat - Infographic De Afsluitdijk open voor vis*).

Voor de praktische uitvoerbaarheid van visvriendelijk spuibeheer is de verwachting dat het intensieve begeleiding en handmatige sturing tijdens de bediening vraagt, omdat dit niet met het huidige stuurprogramma kan worden ingesteld. Dit aandachtspunt moet extra aandacht krijgen bij de eerste onderzoeken en daarna worden geëvalueerd.

Visvriendelijk schutten

Visvriendelijk schutten betekent dat extra geschut wordt (bijvoorbeeld 's nachts en tijdens andere rustige uren) met de Goereese schutsluis speciaal voor de trekvis, vanuit de hypothese dat de vissen de sluis weten te vinden vanwege het relatief zoete water aan de buitenkant van de sluizen. Voor meer gedetailleerde hypothesevorming over vismigratie bij visvriendelijk schutten, zie de onderzoeksplannen voor vismigratie (ATKB, 2018).

Voor de hypothesevorming over zoutindringing kan gebruik worden gemaakt van de ervaring en metingen van zoutindringing bij het huidige schutbedrijf. **Hoeveel schutbewegingen ordegrootte extra toelaatbaar zijn, hangt er onder andere vanaf in hoeverre de inzet van de zoutriolen kan worden vergroot en in hoeverre in die periode nog kan worden gespuid met de spuisluizen.** Hier moet voorafgaand aan de onderzoeken een inschatting van worden gemaakt. Mogelijk kan er ook met 'lekkende ebdeuren' worden geschut waardoor in de periode waarin de binnenwaterstand hoger is dan de buitenwaterstand een zoete lokstroom wordt gecreëerd die de effectiviteit van het schutten van vis verhoogt én het zouttransport naar de binnenzijde reduceert.

Een afweging om hierbij mee te nemen is schutten met de deuren bij het middenhoofd van de sluis, waardoor met ongeveer een derde van de reguliere kolk grootte wordt geschut en de zoutlast per schutbeweging wordt beperkt. In hoeverre dit nog praktische of technische aandachtspunten met zich meebrengt, moet worden besproken met de bediening en asset managers.

Visriolen

Naast bovengenoemde middelen is het advies om in de periode van Lerend Implementeren te bekijken of de inzet van de visriolen kan worden geoptimaliseerd. Kunnen de visriolen bijvoorbeeld langer en ook (deels) in de vloedperiode open blijven? Ook dit moet worden bekeken in samenhang met de capaciteit van put A, de actuele spui volumes, de mogelijkheden van de zoutriolen en andere vormen van zoutindringing op dat moment.

6.2 Onderbouwing hypothesen

Als voorbereiding op de eerste onderzoeken is het advies om de hypothesevorming aan te vullen met ten minste de volgende analyses.

- Hoe lang kunnen de spuisluizen ongeveer open blijven na een spuiperiode totdat de zoutlast ongeveer gelijk is aan de 'bergingscapaciteit' van put A? En in hoeverre kan deze zoutlast met de daaropvolgende spui en met de zoutriolen weer worden afgevoerd?
- Hoeveel extra schutbewegingen (indien mogelijk met beperkte kolk - inzet middenhoofd) zijn ongeveer toelaatbaar, zodat de zoutlast met de inzetbare spui en met de zoutriolen kan worden afgevoerd? En heeft schutten met lekkende ebdeuren een positief effect op de visdoortrek via de schutsluis en wordt het zouttransport daardoor kleiner?

- Afstemming met de beheerders en bediening over praktische en technische aandachtspunten van andere inzet van de betreffende objecten.
- Kunnen de hypothesen nog worden aangescherpt met behulp van analyses bij de Afsluitdijk of bij andere objecten?

6.3 Doelstellingen eerste onderzoeken

De eerste onderzoeken moeten het inzicht vergroten in de inzet van andere middelen in plaats van kieren (bij lage Rijnafvoeren) op een drietal aspecten:

- De baten voor vismigratie. Zie hiervoor de onderzoeksplannen voor vismigratie (ATKB, 2018);
- De beheersbaarheid van de zoutindringing met de zoutriolen en toelaatbare spuivolumes (afhankelijk van actuele Bovenrijnafvoer);
- En de praktische en eventueel technische aandachtspunten voor de benodigde objecten en voor de bediening.

6.4 Korte beschrijving eerste onderzoeken

De visvriendelijk spui- en sluisbeheeronderzoeken in de eerste fase van Lerend Implementeren worden uitgevoerd wanneer (volgens de plannen voor de eerste onderzoeksfase) geen van de andere drie onderzoeken zullen worden uitgevoerd. Voor de andere drie onderzoeken moet namelijk zout worden ingelaten tot de eerste onderzoeksgrens (bij put D), waardoor de beheersbaarheid van de zoutindringing (met onder andere de zoutriolen) bij put A niet kan worden onderzocht.

De onderzoeksopzet kan verder worden uitgewerkt (hoe spuisluizen, schutsluis, visriolen en zoutriolen precies te bedienen) met de aanvullende analyses voor de hypothesevorming over zoutindringing (paragraaf 6.2), rekening houdend met de onderzoeksbehoefte voor vismigratie (ATKB, 2018) en eventuele praktische en technische aandachtspunten.

De onderzoeken naar visvriendelijk spui- en sluisbeheer worden een beperkte periode (ordegrootte paar dagen) ingezet, waarbij de bediening nauwkeurig kan worden begeleid en de zoutindringing wordt gemonitord. Vervolgens worden de onderzoeken geëvalueerd op de drie onderzoeksdoelen (paragraaf 6.3).

6.5 Onderzoeksomstandigheden

De eerste onderzoeken worden onder de volgende omstandigheden uitgevoerd. Deze omstandigheden zijn een combinatie van gewenste omstandigheden voor onderzoeksdoelinden en maatregelen voor risicobeheersing.

Criterium 1: Bovenrijnafvoer 1100 tot 2000 m³/s.

Onderbouwing:

- Bij een Bovenrijnafvoer van 1100 m³/s moeten de Haringvlietsluizen dicht staan en mag geen water meer worden afgevoerd, omdat dit ten koste zou gaan van de afvoer via de Noordrand van de Rijn-Maasmonding. Wanneer de Bovenrijnafvoer in de buurt van de 1100 m³/s komt, is het spuivolume al dusdanig beperkt, dat de zoutindringing door het visvriendelijk spui- en schutbeheer nauwkeurig moet worden gemonitord.
- Boven ongeveer 2000 m³/s Bovenrijnafvoer wordt in de eerste fase van Lerend Implementeren de voorkeur gegeven aan de eerste zoetspoelonderzoeken.

6.6 Operaties en onderzoeksgrens

Voor de eerste onderzoeksperiode (totdat anders besloten door expertteam) geldt de volgende onderzoeksgrens:

Onderzoeksgrens: de zoutindringing moet beperkt blijven tot put A en moet in een (dynamisch) evenwicht kunnen worden gehouden met de zoutriolen en het resterend spuidebiet.

Voor de eerste onderzoeksperiode gelden de volgende richtlijnen voor de operaties bij de Haringvlietsluizen: *dit moet nog verder worden uitgewerkt zoals toegelicht in paragraaf 6.4.*

6.7 Risicobeheersing

Voor dit de risicobeheersing van zoutverspreiding in dit onderzoeksspoor kan worden aangesloten bij de huidige monitoring van zout in put A als gevolg van het schutbedrijf van de Goereese sluis.

6.8 Informatiebehoefte

De informatiebehoefte voor dit onderzoeksspoor bestaat uit drie aspecten, in lijn met de onderzoeksdoelstellingen (paragraaf 6.3):

- De baten voor vismigratie
 - Zie voor gedetailleerde uitwerking van de informatiebehoefte de onderzoeksplannen voor vismigratie (ATKB, 2018);
- De beheersbaarheid van de zoutindringing met de zoutriolen en toelaatbare spui volumes
 - Voor deze informatiebehoefte kan grotendeels worden aangesloten bij de huidige monitoring van zout in put A als gevolg van het schutbedrijf van de Goereese sluis.
 - Hierbij is het belangrijk dat de operaties (schutbewegingen, spuisluisopeningen en duur, sturing vis- en zoutriolen) worden gelogd en ontsloten.

- En de praktische en eventueel technische aandachtspunten voor de benodigde objecten en voor de bediening.
 - Dit vraagt om nauwe afstemming met de beheerders en bediening tijdens het onderzoek. In overleg met hen kan worden besloten of er nog een aanvullende informatiebehoefte is voor deze onderzoeken.

Bijlage A Expertteam Verzilting

In de periode mei tot juli 2018 is deze eerste versie van de onderzoeksplannen verzilting opgesteld door een expertteam bestaande uit de volgende personen.

- Karin Stone (RWS WNZ, technisch manager)
- Tom van der Wekken (RWS WVL, voorzitter expertteam)
- Sacha de Goederen (RWS WNZ, tactisch team)
- Yann Friocourt (RWS WVL)
- Roel Burgers (RWS WVL)
- Meinard Tiessen (Deltares)
- Theo van der Kaaij (Deltares)
- Maarten Spijker (HydroLogic)
- Meike Coonen (HydroLogic)

Bijlage B Bronvermelding

Deltares 2016a

Synthese dataonderzoek Haringvliet. Deltares. Memo. 21 juni 2016.

Deltares 2016b

Ontwikkeling 3D-Haringvlietmodel. Deltares. December 2016.

Deltares 2016c

Zoutverspreiding via voormalige getijdegeulen in het Haringvliet – Hypothesevorming. Deltares. Memo. 12 december 2016.

Deltares 2015a

Literatuurstudie Kierbesluit Haringvliet. Deltares. 24 december 2015.

Deltares 2015b

Systeemanalyse van de Rijn-Maasmonding voor verzilting. Factsheets proceskennis, systeemkennis, modelinstrumentarium en statistiek. Deltares. December 2015.

Deltares 2018

Aanzet tot monitoringsplan lerend implementeren Kier-besluit. Memo. 15 mei 2018.

HydroLogic en Infram 2018

Implementatieplan Lerend Implementeren Kierbesluit Haringvlietsluizen. HydroLogic en Infram. Februari 2018.

Rijkswaterstaat 2018

Toelaatbaarheid minder spuien HVS tijdens putproef de Kier. Rijkswaterstaat. Nota. 12 februari 2018.

Rijkswaterstaat 2009

Verzilting en ontzilting Haringvliet. Verzilting, ontzilting Haringvliet t.g.v. trillingsproef met Haringvlietsluizen december 2008. Rijkswaterstaat. 21 december 2009.

Rijkswaterstaat 2003

Van zoet naar zout in 5 dagen? Analyse zoutmetingen inlaatproef Haringvliet in maart 1997. Rijkswaterstaat. Januari 2003.

Rijkswaterstaat 1995

Een snufje zout...! Verslag van de metingen naar zoutindringing via de Haringvlietsluizen in het kader van de Praktijkproef Visintrek. Rijkswaterstaat. Juni 1995.

Rijkswaterstaat -geen jaartal-

De afsluitdijk open voor vis. Infographic Rijkswaterstaat. Jaartal onbekend.