



RWS BEDRIJFSVERTROUWELIJK

Eerste resultaten onderzoeken Kierproeven

Periode nov 2018 - mei 2020

Datum	16 oktober 2020
Versie	1.0
Status	CONCEPT

CONCEPT

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat West Nederland-Zuid, programma Implementatie Kierbesluit
Auteur	Karin Stone
Informatie	Karin Stone
Telefoon	06-11269856
E-mail	karin.stone@rws.nl
Datum	16 oktober 2020
Versie	1.0
Status	CONCEPT

[illegible]

Inhoud

Inleiding 5

1	Inlaten 6
1.1	Het proces inlaten 6
1.1.1	Wat we wisten 6
1.1.2	Onderzoeksvragen 7
1.2	Karakteristieken inlaatperiodes 7
1.2.1	Inlaatvariabelen 7
1.3	Chloridesituatie Haringvliet na inlaten 9
1.3.1	Situatie chlorideverspreiding Haringvliet na inlaten 9
1.3.2	Indringingsafstand 10
1.3.3	Maximale zoutconcentraties 13
1.3.4	Diepte spronglaag 14
1.3.5	Invloed chloridegehalte voordelta 14
1.4	Conclusies en aanbevelingen 15
1.4.1	Conclusies 15
1.4.2	Aanbevelingen verdiepende analyses 16
1.4.3	Aanbevelingen vervolgonderzoeken 16
2	Zoetspoelen 17
2.1	Het proces zoetspoelen 17
2.1.1	Wat we wisten 17
2.1.2	Onderzoeksvragen 18
2.2	Karakteristieken zoetspoelperiodes 19
2.3	Analyse variabelen 23
2.3.1	Spuidebieten 25
2.3.2	Spuivolume en duur van het spoelen 27
2.3.3	Initiële situatie chloridegehalten, diepte en sterkte spronglaag 28
2.3.4	Windkracht en -richting 29
2.4	Conclusies en aanbevelingen 30
2.4.1	Conclusies 30
2.4.2	Aanbevelingen verdiepende analyses 31
2.4.3	Aanbevelingen vervolgonderzoeken 31
3	Nalevering 32
3.1	Het proces nalevering 32
3.1.1	Wat we wisten 32
3.1.2	Onderzoeksvragen 33
3.1.3	Subparagraaftitel Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
3.2	Karakteristieken naleverperiodes 33
3.3	Analyse variabelen 35
3.3.1	Windkracht en -richting 35
3.3.2	Chlorideconcentratie bij aanvang naleverperiode 39
3.3.3	Getijslag 39
3.3.4	Achtergrondconcentratie 39
3.4	Conclusies en aanbevelingen 39
3.4.1	Conclusies 39
3.4.2	Aanbevelingen verdiepende analyses 39
3.4.3	Aanbevelingen vervolgonderzoeken 39

4 Samenvatting conclusies en aanbevelingen 40

4.1 Conclusies 40

4.2 Aanbevelingen voor verdiepende analyses 40

4.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoeken 40

CONCEPT

Inleiding

In de periode januari 2019 t/m januari 2020 zijn 3 zoetspoelproeven en 1 naleverproef uitgevoerd.

Doel analyse: trends, over de data en proeven heen, regelmatigigheden, relaties. Spelen met de data en bekijken wat eruit gehaald kan worden. Wat hebben we in handen. Beperkingen. Vervolganalyses en onderzoek.

Focus op die variabelen waar we mee kunnen sturen.

Conclusies op 3 leerpunten:

- Systeemkennis
- Wat betekent wat we zien voor operationele toepassing?
- Vervolg vragen, onderzoeken

Opzet document

3 processen

Welke data gebruikt

Memo's Aad noemen en hoe ernaar verwijzen

XXPlaatje Haringvliet en putten en meetpunten

CONCEPT

1 Inlaten

Sinds 2019 zijn 3 zoetspoelproeven en een naleverproef uitgevoerd. Iedere proef is begonnen met het vullen van de diepere delen (putten) van het Haringvliet. Hierbij is steeds 1 of enkele inlaatperiodes zout water ingelaten gevolgd door spuien met een klein spuidebiet. Dit klein spuien is gedaan om de bovenste waterlaag in het Haringvliet tot in ieder geval de drempels zoet te spoelen en een scherpere zoet-zout grens in de putten te bereiken.

Het inlaten zoals gedaan bij de proeven is anders dan het inlaten wanneer dynamisch gekierd wordt. Bij dynamisch kieren wordt afwisselend in- en uitgelaten (spuien) waarbij ongeveer evenveel chloride (zoutvracht) ingelaten als gespuid wordt. In vervolgprouven wordt onderzocht of dit een haalbare situatie is en hoe hierop gestuurd kan worden. Bij het inlaten zoals bij de proeven is gedaan, was het doel om de putten tot ongeveer de rand van de putten te vullen met zout water.

Toch kan het inlaten zoals tot nu toe is gedaan, wellicht inzichten leveren die bruikbaar zijn voor het uitvoeren van het dynamisch kieren. Dit hoofdstuk bekijkt de 4 inlaatperiodes en welke lessen hieruit gehaald kunnen worden. Omdat het hier maar om 4 metingen, situaties van inlaten, zal het niet mogelijk zijn om relatie te leggen. De verzamelde gegevens kunnen alleen gebruikt worden om een eerste idee te krijgen over het proces inlaten.

1.1 Het proces inlaten

1.1.1 *Wat we wisten*

Wanneer ingelaten wordt met hoge stroomsnelheden en verval, ontstaat een brede dynamische en turbulente zone waar zoet en zout water gemengd worden. In de inlaatsituatie bij de Haringvlietsluizen zijn de stroomsnelheden echter beperkt en alleen dicht bij de sluisen in de zoutvang direct achter de sluisen (put A) en misschien iets voorbij de zoutvang, vindt enige menging plaats. Over het algemeen wordt echter verwacht dat bij inlaten er door beperkte menging in het Haringvliet stratificatie optreedt waarbij het zoute water onder het zoete water ligt en het zoute water zich langs de bodem in Oostelijke richting verspreidt. Door de oneffenheden in het Haringvliet verzamelt het zoute water zich in de diepe delen van het Haringvliet waarbij eerst de diepe delen dicht bij de sluis opvullen. Wanneer meer zout water wordt ingelaten, lopen deze diepe delen over naar de volgende put. Bij het dynamisch kieren wordt meer turbulentie en menging verwacht dan zich heeft voorgedaan bij het inlaten voor de 4 uitgevoerde proeven omdat bij dynamisch kieren met grotere sluisopeningen wordt gespuid. Echter ook bij dynamisch kieren zal waarschijnlijk stratificatie optreden.

Om te voorkomen dat te veel zout water wordt ingelaten en de lijn Middelharnis-Inloop Spui passeert, is het van belang om het proces van inlaten en spuien te begrijpen zodat hierop gestuurd kan worden. De volgende variabelen zijn van invloed op het inlaatproces:

Inlaatvolume

Wanneer meer zout water wordt ingelaten, kan het zoute water verder het Haringvliet instromen. Het inlaatvolume wordt bepaald door inlaatopening van de sluisen, de duur van de opening en het verhang.

Inlaatdebiet

Het inlaatdebiet zegt iets over de snelheid waarmee het water het haringvliet in komt stromen. Bij hogere snelheden ontstaat meer turbulentie en kan zout water verder het Haringvliet instromen.

Chloridegehalte Voordelta

De uiteindelijke zoutgehalte in het Haringvliet wordt vooral bepaald door het zoutgehalte van het inkomende water. Na spuien ontstaat een zoete zone aan de buitenzijde van de sluizen. Door getijwerking lost na verloop van tijd deze zoete zone (deels) op. Het chloridegehalte in de Voordelta wordt bepaald door de hoeveelheden die vooraf aan het inlaten zijn gespuid. Bij hoge rivierafvoeren is de Voordelta vaak zoet. Er ligt 1 chloride meetpunt (Stellendam Buiten) in de Voordelta. Over de spreiding van het zoete water in de Voordelta is nog niet heel veel bekend. Bij het innemen van water, zal eerst zoet water ingenomen worden en afhankelijk van de verspreiding in de Voordelta wordt gedurende het innemen het ingenomen water steeds zouter.

Morfologie van de bodem

Zoals gezegd zullen bij een gestratificeerd systeem eerst de diepere delen dicht bij de sluizen zich vullen met zout water. Wanneer een put vol is, loopt deze over naar de volgende put. Hierbij wordt de bodem gevolgd. Het zoute water verspreidt zich volgens de oude stroomgeulen en zoekt de diepste delen.

Gebruikte inlaatopening

De Haringvlietssluisen heeft 17 schuiven waarmee ingelaten kan worden. Alle schuiven komen uit in de zoutvang (put A). Het is niet bekend of inlaten met de meest Noordelijke of juist Zuidelijke invloed heeft op het verspreidingspatroon van het water. Bij de 4 proeven is ingelaten met de zuidelijke sluisopeningen.

Rivierafvoer

Met een hogere rivierafvoer ontstaat enige tegendruk vanuit het Oosten. De verwachting is echter dat bij de meest voorkomende rivierafvoeren bij Lobith (rond de 1800 m³/s XXCheck) de tegendruk beperkt is en geen variabele van betekenis is.

1.1.2*Onderzoeksvragen*

De volgende onderzoeksvragen worden behandeld:

- Hoe hebben bij de vier proeven de variabelen het zoutgehalte in het Haringvliet na inlaten bepaald?
- Kunnen we met deze informatie relaties leggen om indringingsafstanden en chloride concentraties bij verschillende inlaatsituaties indicatief te voorspellen?
- Kunnen we deze informatie gebruiken om te sturen op zoutverspreiding in het Haringvliet?

1.2**Karakteristieken inlaatperiodes****1.2.1***Inlaatvariabelen*

De waarden van de inlaatvariabelen zijn samengevat in Tabel 1. Het inlaten bij zoetspoelproef 3 is door de hoge Rivierafvoer anders verlopen dan 1, 2 en 4. Tijdens deze proef was de rivierafvoer rond de 8000 m³/s en werd na elke inlaat het ingelaten zoute water door de hoge afvoeren direct weer uitgespoeld. Daarom is bij

deze proef tot vijf maal ingelaten. Er ontstond meer een dynamische zoet/zoutzone die direct reageerde op het getij wat meer op een "echte" Kier. Waarschijnlijk gingen er tijdens deze proef ook weer substantiële hoeveelheden zout de sluis uit richting zee. De andere proeven laten in korte tijd een hoeveelheid zout water binnen die zich verspreid door het gebied. Dit zijn 3 vergelijkbare situaties.

Bij de naleverproef is vooraf aan het inlaten een paar getijden niet gespuid om de Voordelta extra te verzilten om maximaal zout water in te kunnen laten.

Tabel 1 Overzicht inlaatvariabelen

Proef	ZSP 1	ZSP 2	ZSP 3	NL 1 (4)
Inlaatvolume (m3 x 10⁶)				
Getij 1	1,7	8,4	7,6	27,4
Getij 2	12,1	8,6	24,2	
Getij 3			26,7	
Getij 4			37,6	
Getij 5			26,2	
Totaal ingelaten volume	13,8	17	122	27,4
Max opgetreden inlaatdebiet				
Getij 1	225,3	1431,1	1566,7	2116,9
Getij 2	880,3	1093,6	1884,6	
Getij 3			2618,9	
Getij 4			2919,3	
Getij 5			2596,7	
Gemiddelde inlaatdebiet over de inlaatperiode				
Getij 1	159,4	928	1053,9	1470,6
Getij 2	610,7	718,7	1346,9	
Getij 3			1852,6	
Getij 4			2087,6	
Getij 5			1818,2	
Spuivolume (m3 x 10⁶)				
Getij 1	36,2	30,1	67,5	28,1
Getij 2	43,7	22,7	75,4	
Getij 3			72	
Getij 4			79,6	
Getij 5			107,3	
Totaal gespuid volume	79,9	52,8	401,8	28,1
Chl concentratie Stellendam Buiten -5m bij aanvang inlaten (mg/l)				
	474	4571	3000*	14934
Debiet Lobith bij aanvang inlaten (m3/s)				
	2800	2500	8000	1400
Gebruikte schuiven voor inlaten				
Getij 1	14	13-17	11 - 17	11 - 17
Getij 2	14,15	14-16	14 - 17	
Getij 3			12 - 17	
Getij 4			12 - 17	
Getij 5			11 - 17	

*) Omdat er geen meting Stellendam uiten -5m beschikbaar is voor ZSP3, is er een schatting gemaakt op basis van relatie chloridegehalte stellendam binnen en buiten tijdens inlaatperiodes ZSP1, 2 en NL1

1.3 Chloridesituatie Haringvliet na inlaten

1.3.1 Situatie chlorideverspreiding Haringvliet na inlaten

Het inlaten van zout water heeft bij elk van de proeven tot een ander verspreidingsbeeld van verzilting over het Haringvliet geresulteerd. De verspreiding komt op verschillende manieren tot uiting; indringingsafstand vanaf de sluizen, maximale opgetreden chlorideconcentratie, diepte van de spronglaag en volume verzilt water in de verschillende putten. Tabel 2 geeft een overzicht van de verspreiding voor ieder van de 4 proeven. In de volgende paragrafen wordt onderzocht hoe het verband is tussen de chloride situatie en de inlaatvariabelen.

Tabel 2: samenvatting verziltingssituatie op het Haringvliet na inlaten zout water

Proef	ZSP 1	ZSP 2	ZSP 3	NL 1 (4)
Indringingsafstand (km vanaf Haringvlietssluis)				
Zuidkant	6,7	6,7	6,7	12,1
Noordkant	3,3	3,3	3,3	9
Maximaal gemeten zoutconcentraties (mg/l)				
Put B/C	2065	1984	2425	9903
Put D	3784	3159	4334	11761
Put E	94	geen meting*	59	6485
Put F-NW	2037	629	606	10918
Put F-ZO	93	geen meting	58	10276
Put G	2595	geen meting	58	1790
Put H	88	89	90	5752
Put I	80	85	85	92
Diepte spronglaag bij eerste varende meting na inlaten (m tov wateroppervlak)				
Indicatief op basis meerdere meetlocaties				
Put B/C	-11	geen meting	-18,5	-8
Put D	-10	geen meting	-12,3	-8,3
Put E	Zoet	geen meting	Zoet	-12
Put F-NW	-13	geen meting	Zoet	-7,5
Put F-ZO	Zoet	geen meting	Zoet	-7,5
Put G	-15	geen meting	Zoet	-14
Put H	Zoet	Zoet	Zoet	Zoet
Put I	Zoet	Zoet	Zoet	Zoet
Verzilt volume putten > 500 mg/l (*10⁶ m³)				
Put B/C	7,2	geen meting	geen meting	11,7
Put D	4,5	geen meting	0,5	8,4
Put E	0	geen meting	geen meting	6
Put F	3,1	geen meting	0	10,5
Put G	0	geen meting	geen meting	2,4?+
Put H	0	geen meting	geen meting	0
Put I	0	geen meting	geen meting	0

*) Tijdens ZSP2 geen vast meetplatform in put E en geen varende metingen uitgevoerd. Waardes zijn alleen bepaald met de vaste meetpunten

**) De hoge chloridegehalte gemeten in put G tijdens inlaatperiode 1 is veroorzaakt door restant chloride als gevolg van achterwaartse verzilting

**) Het betreft hier de varende metingen om diepte zoet-zout grens vast te kunnen stellen

1.3.2

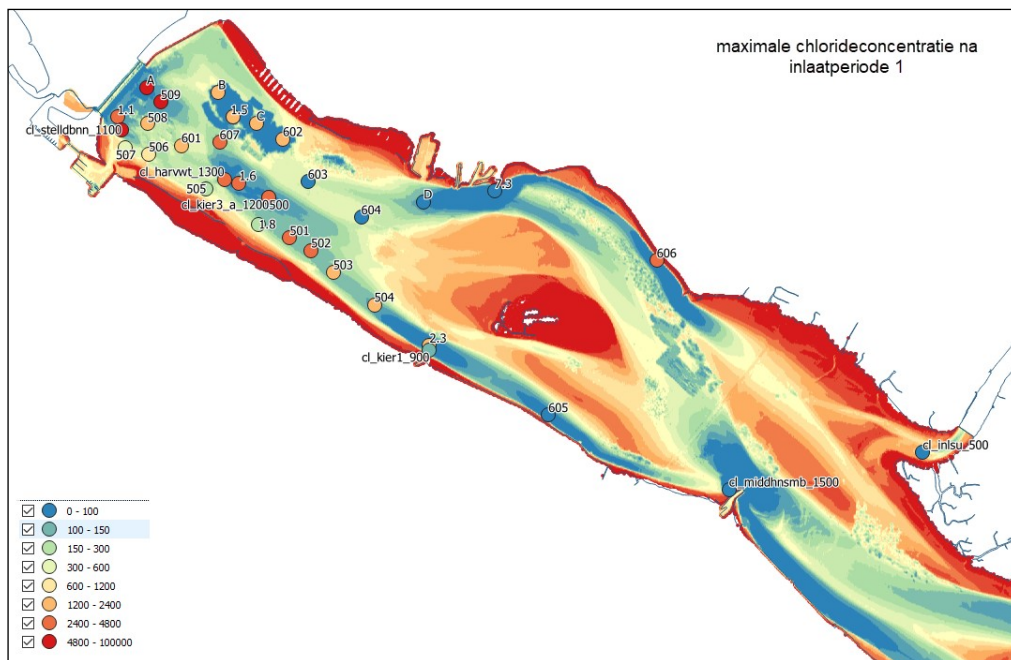
Indringingsafstand

In Figuur 1 t/m Figuur 4 is per meetpunt de maximaal opgetreden chloridegehalte na inlaten weergegeven. Deze figuren laten zowel de varende metingen, vaste meetpunten en metingen van de divers op de bodem zien. De maximale indringingsafstand over de Noord- en Zuidkant is vermeld in Tabel 2.

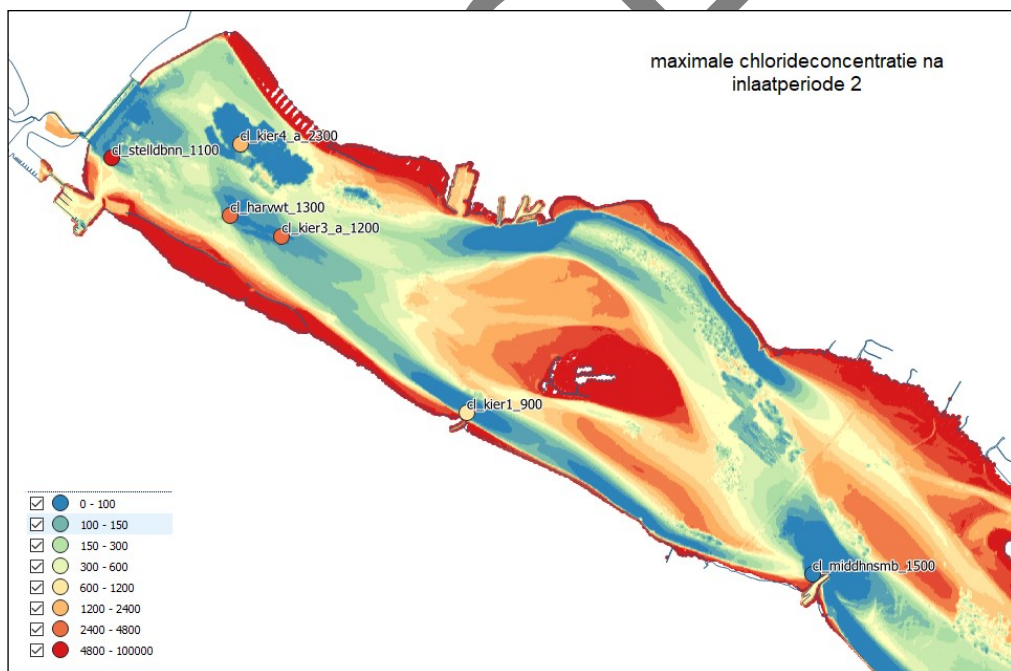
De getallen en beelden laten zien dat er geen lineaire verband is tussen het ingelaten volume en de indringingsafstand. De afstand tot de sluizen neemt "schoksgewijs" toe. Put F (Aardappelengat) is zo lang dat de zout(tong) niet altijd het einde van de put bij Middelharnis haalt. Hier doet zich een iets minder schoksgewijze verplaatsing voor. Dit niet-lineaire verband onderbouwt het uitgangspunt dat er een gestratificeerde situatie ontstaat waarbij het zout zich over de bodem oostwaarts verplaatst. De diepe delen lopen over wanneer deze vol zijn. Ergens tussen de 17 en 27 miljoen kuub loopt put D over naar put F. Met een hoeveelheid van tegen de 30 miljoen kuub (Naleverproef 1) wordt ongeveer het maximale wat de putten noord en zuid kunnen bergen bereikt en wordt meetpunt Middelharnis bereikt. Dit komt ongeveer overeen met de inhoud van de putten onder het drempelniveau. Meetpunt Inloop Spui blijft zoet.

De indringingsafstand over de zuidkant is groter dan over de noordkant. Door de bodemvorm en hoogte drempels tussen de putten verplaatst het zoute water zich meer naar de Zuid- dan de noordkant. Ook zijn de putten aan de noordkant dieper waardoor deze meer zout kunnen bergen en pas later overlopen. In de proeven is alleen met de zuidelijke sluisopeningen ingelaten. In hoeverre dit invloed heeft op de verspreiding is niet bekend. Alle sluisopeningen komen uit in put A. Als deze pas overloopt als deze gevuld is, dan zal de gekozen sluisopening weinig uitmaken. Hier moet echter nog onderzoek naar gedaan worden.

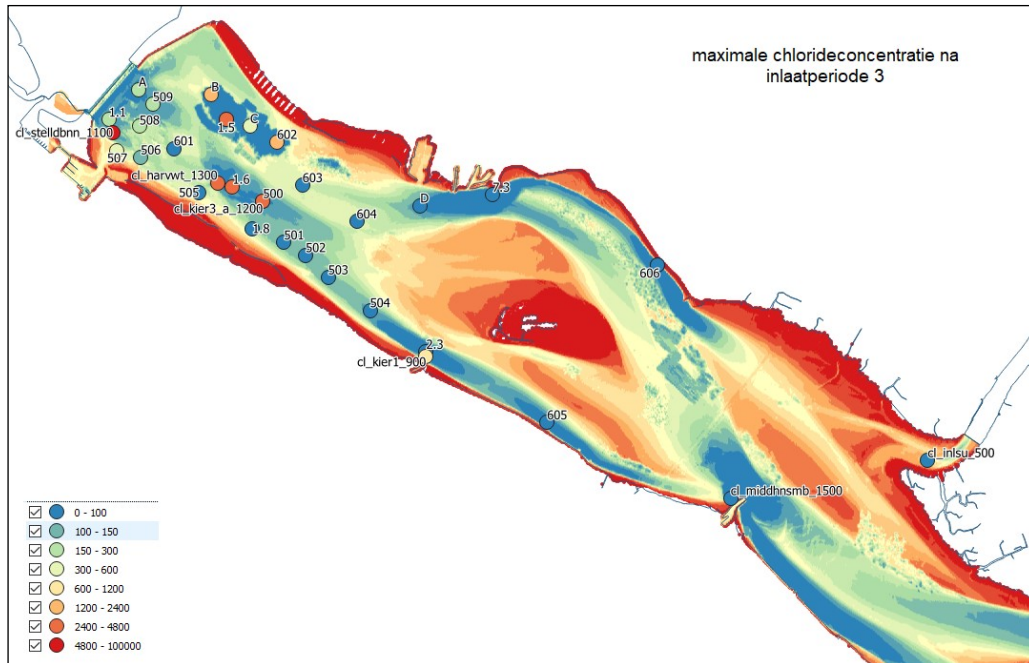
In hoeverre dit proces van overlopen ook gebeurt bij echt kieren is nog niet bekend. Deze systeemwerking maakt het wellicht wel mogelijk om gecontroleerd water in te laten en zo te sturen op verziltingsgraad Haringvliet. Echter als gevolg van de stratificatie kan het ook gebeuren dat het zout bij elke inlaat accumuleert in de diepe delen en bij spuien vooral de zoetere bovenlaag gespuid wordt. Putten kunnen dan snel vol raken en overlopen. Bij Zoetspoelproef 3 werd gezien dat bij elke spuiperiode de putten wel weer geleegd werden. De afvoeren en daarmee het beschikbare water om mee te spuien was bij deze proef echter veel groter dan in de meeste situaties het geval zal zijn. Met vervolgprouven zal verder onderzocht worden in hoeverre bij dynamisch kieren een evenwicht bereikt kan worden tussen het ingelaten en gespuide zoute water.



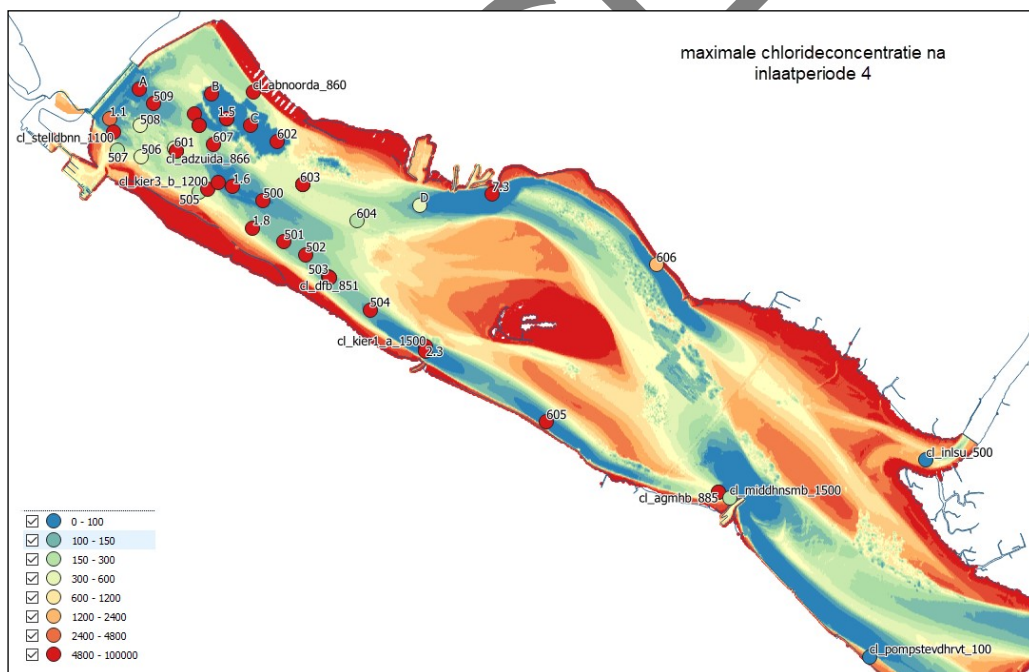
Figuur 1 (Bron: memo Inlaten): Maximale chlorideconcentratie na inlaten voor Zoetspoelproef 1. De gemeten chloride in meetpunt 606 (put G) is het gevolg van eerder opgetreden achterwaartse verzilting.



Figuur 2 (Bron: memo Inlaten): Maximale chlorideconcentratie na inlaten voor Zoetspoelproef 2. Bij Zoetspoelproef 2 zijn geen varende metingen gedaan.



Figuur 3 (Bron: memo Inlaten): Maximale chlorideconcentratie na inlaten voor Zoetspoelproef 3. Door de hoge rivierafvoeren was put F (meetpunt Kier 1) alweer schoongespoeld toen de varende metingen werden uitgevoerd. Het vaste meetpunt Kier 3 heeft wel zout gedetecteerd.



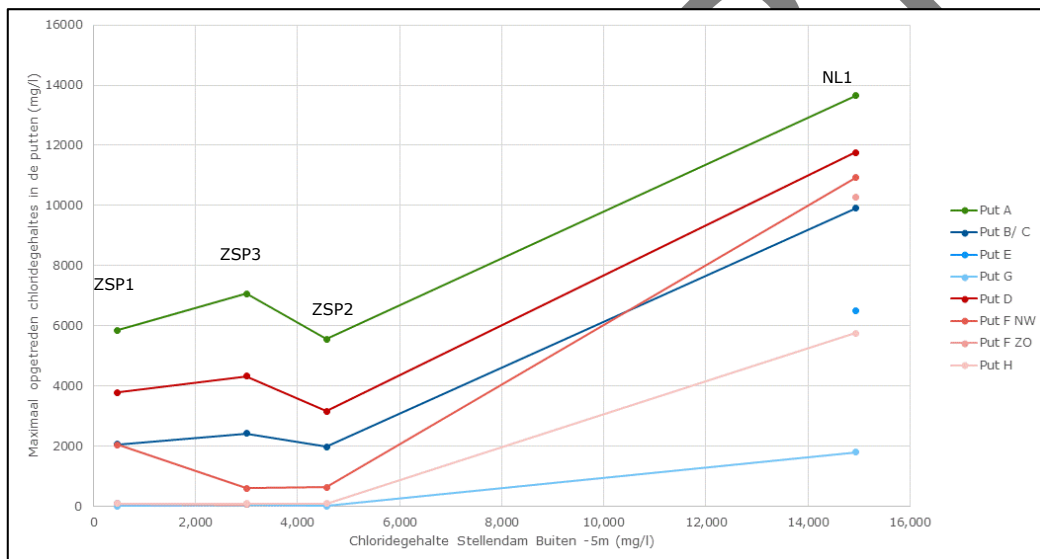
Figuur 4 (Bron: memo Inlaten): Maximale chlorideconcentratie na inlaten voor Naleverproef 1. Bij Middelharnis is te zien dat wel chloride wordt gemeten bij de diver d_agmhb_885 maar niet bij meetpunt Middelharnis. Waarschijnlijk wel chloride onderin put H bij Middelharnis, maar te diep om met de onderste sensor te detecteren.

1.3.3

Maximale zoutconcentraties

De figuren 1 t/m 4 laten per meetlocatie de maximale opgetreden zoutconcentratie zien. In Tabel 2 is de maximale opgetreden zoutconcentratie per put terug te vinden. De zoutconcentratie in een put wordt bepaald door de hoeveelheid zoutvracht die met het inlaten binnenkomt. De zoutvracht wordt weer bepaald door de zoutconcentratie en volume van het inkomende water. De zoutconcentratie van het ingelaten water wordt bepaald door de zoutconcentraties in de Voordelta. In de Voordelta is maar 1 meetpunt beschikbaar namelijk Stellendam Buiten (-2 en -5m). Een ruimtelijk beeld van de chloridespreiding in de Voordelta is daarom niet beschikbaar.

De maximale chloridewaarde per put zijn uitgezet ten opzichte van de chloridegehaltes bij aanvang inlaten van Stellendam buiten (-5m) waardes. Hiermee is bekeken of er enige verband is terug te zien tussen de chlorideconcentraties van het ingelaten water en de uiteindelijke concentraties in de putten. Figuur 5 geeft het resultaat weer. Omdat het hier maar om 4 metingen gaat, is het niet mogelijk een relatie te leggen.



Figuur 5: Chloridegehalte Stellendam buiten bij aanvang inlaten ten opzichte van maximale chloridegehaltes per put na inlaten. Rode kleuren zijn de putten aan de Z-kant, blauwe kleuren de putten aan de N-kant.

Uit Figuur 5 blijkt dat het chloridegehalte in de putten afneemt met de afstand tot de Haringvlietsluizen. Wanneer zout water wordt ingelaten verspreid deze zich over de bodem. In dit proces vindt kennelijk ook menging plaats. XXProces? Ook zijn de zuidelijke putten zouter dan de Noordelijke putten. Ook dit laat zien dat het zoute water zich eerder over de zuid- dan de noordkant verplaatst.

In de grafiek valt op dat de maximaal opgetreden waarde bij Stellendam Binnen (put A) flink hoger is dan de chlorideconcentratie die bij start van het inlaten in de Voordelta is gemeten. Bij de Zoetspoelproef 1 is twee maal ingelaten en met de tweede inlaatperiode was de concentratie in de Voordelta al veel hoger dan bij start van de proef. Dit laat zien dat de enkele meting bij Stellendam Buiten bij aanvang inlaten geen goede indicatie geeft van de te verwachte zoutvracht.

Tijdens Zoetspoelproef3 is in een van de inlaatperiodes ongeveer 37,6 miljoen m³ ingelaten en bij de Naleverproef 27 miljoen m³. Toch is de indringingsafstand groter en zijn de zoutgehalten bij de Naleverproef veel hoger. Dit heeft twee oorzaken. De spuibolumes waren bij de Zoetspoelproef een factor 2,5 tot 3 maal hoger en de chlorideconcentratie in de Voordelta was bij de Naleverproef vele malen hoger.

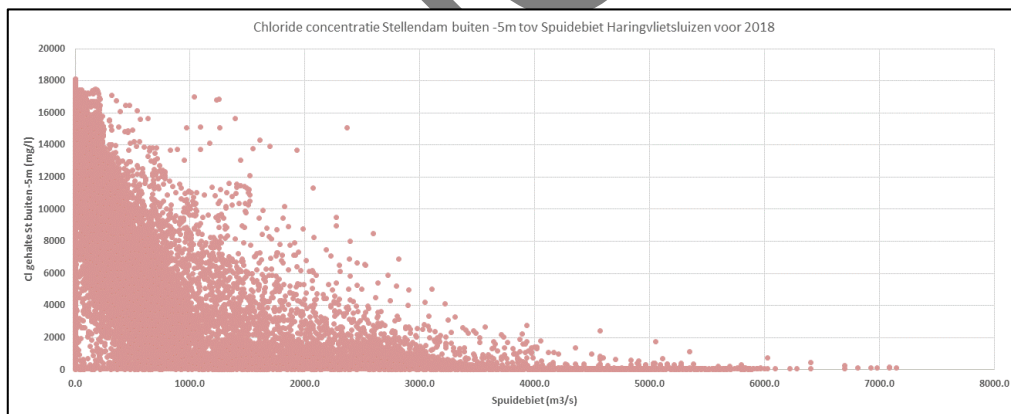
1.3.4 Diepte spronglaag

De Tabel 2 geeft een overzicht van de dieptes spronglaag die met de varende metingen zijn bepaald. Tijdens Zoetspoelproef 2 zijn geen varende metingen uitgevoerd. Bij Zoetspoelproef 3 waren veel putten al zoetgespoeld voor de varende meting werd uitgevoerd. De resultaten diepte spronglaag laten geen verrassingen zien. De spronglaag lag veel hoger na de Naleverproef waar relatief veel en erg zout water is ingelaten. Aan de zuidkant lag de spronglaag hoger dan aan de Noordkant wat weer bevestigt dat met zout water zich via de zuidkant heeft verspreid.

1.3.5 Invloed chloridegehalte voordelta

De chlorideconcentratie in de Voordelta bepaalt voor een deel de hoeveelheid chloride die ingelaten wordt. Omdat er maar 1 meetpunt beschikbaar is in de Voordelta is de vraag in hoeverre we op basis van deze waarden een indicatie kunnen geven hoe zout het Haringvliet zal zijn bij inlaten.

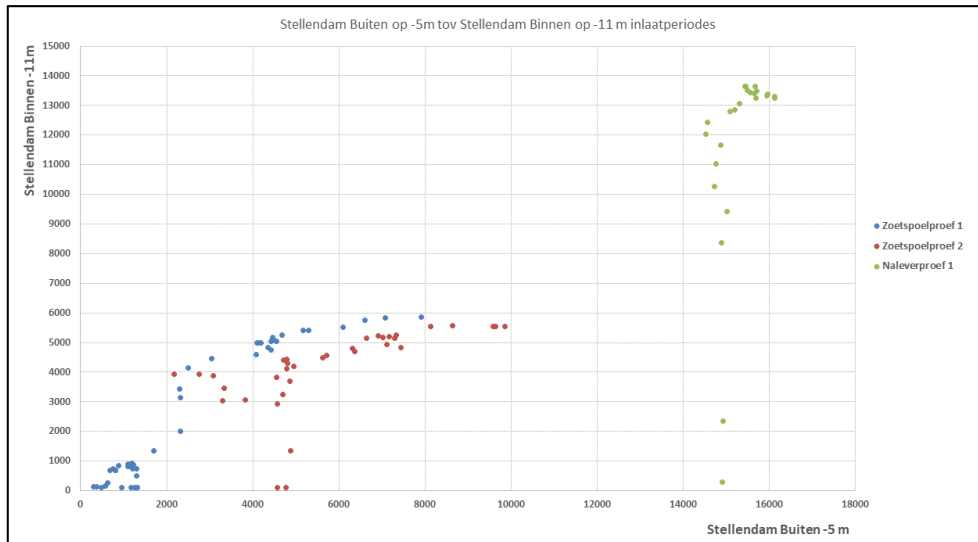
In Figuur 6 is de relatie bekeken tussen het spuidebiet van de Haringvlietsluizen en opgetreden chloridegehalten bij Stellendam Buiten op -5 meter. Dit is gedaan voor de 10 minuten gegevens voor het jaar 2018. In Januari 2018 deed zich een hoogwatergolf voor en de zomer van 2018 was erg droog. Het jaar 2018 geeft dus een breedte aan rivierafvoeren en daarmee geschikt om een eerste indicatie te krijgen van een relatie.



Figuur 6: Spuidebiet Haringvlietsluizen en Chloridegehalte Stellendam Buiten -5m

De figuur toont dat bij een spuidebiet groter dan ongeveer 3500 m³/s de Voordelta gemeten bij Stellendam Buiten zoet is. Bij lagere spuidebieten verzilt de Voordelta bij Stellendam Buiten tussen het spuien en wordt weer zoeter tijdens spuien. Bij spuidebieten lager dan 400 m³/s verzoet de Voordelta bij Stellendam Buiten niet meer en bereikt deze zelfs waarden gelijk aan "puur" zeewater. Een spuidebiet van 3500 m³/s komt overeen met een Rijnaafvoer van rond de 4000 m³/s bij Lobith. Een spuidebiet van 400 m³/s komt overeen met een Rijnaafvoer van ongeveer 1500 m³/s.

In Figuur 7 is voor de 4 inlaatperiodes is de chlorideconcentratie van Stellendam Buiten -5m uitgezet tegen de concentraties bij Stellendam Binnen -11 m. Dit is gedaan voor de 10 minuten metingen.



Figuur 7: Chlorideconcentraties Stellendam Buiten op -5 meter ten opzichte van de chlorideconcentraties bij Stellendam Binnen op -11 m tijdens de inlaatproef

Bij de Naleverproef was het chloridegehalte bij Stellendam Buiten vanaf aanvang inlaten rond de 15000 mg/l. Toch laat Stellendam Binnen ook lagere waarden zien. Dit zijn de eerste metingen van het inlaten waarbij nog zoet water in put A en in de sluis zit en misschien nog een kleine zoetwaterpluim voor de sluis ligt. Dit fenomeen is ook terug te zien bij de Zoetspoelproeven. De grafiek lijkt een verband te tonen tussen chlorideconcentratie Stellendam Buiten en Binnen. De waarden gemeten in put A liggen net iets lager dan wat in de Voordelta gemeten wordt.

1.4 Conclusies en aanbevelingen

1.4.1 Conclusies

Over gedrag zoutinlaten in Haringvliet:

- Z-kant dringt verder op dan N-kant. Het is ook zouter en spronglaag ligt hoger. Verplaatsing gaat niet lineair maar schoksgewijs:
 - o Kier aan de Z-kant waarschijnlijk beperkt van invloed. Morfologie is bepalend.
 - o Drempel D -> F lager dan D -> E
 - o Put B/C doodlopend
 - o Aan n-kant putten veel dieper, groter volume. Meer bufferende werking.
 - o Correolus effecten nu niet het geval want te kleine stroming. Dichtheidseffect.
 - o Put F is zo lang dat zout(tong) niet altijd einde van de put bij MH haalt. Hier een iets minder schoksgewijze verplaatsing en wellicht wel verband inlaatgrootte en afstand tot de sluis.
- Zoutconc Put A is redelijk 1 op 1 met buiten. Daarna per put met afstand naar HVS steeds verder verdund. Toch ook nog menging bij overlopen van de put. Ook met verplaatsing over bodem en hele zoute tong. Zoetste water gaat eerst

over de rand en bij overlopen zoute water toch nog menging. Zoutste water blijft ook meer achter en in westen hangen.

- Inlaat Spui blijft zoet bij alle proeven. Risico op verzilting ter hoogte van Inloop Spui is zeer gering.
- De inname en chlorideconcentraties bij de 4^e proef (NL1) zaten tegen het maximum aan wat betreft in te laten volume water en chlorideconcentraties in de Voordelta. De waardes die in deze proef zijn opgetreden geven daarmee ook de grenzen aan van chlorideconcentraties in de putten bij kieren.
- Inlaatafstand in deze 4 situaties ook sterk bepaald door tegendruk (rivierafvoer) en tussentijdse zoetspoelen. En reden dat ZSP3 niet zover komt als bij NL proef: evenwichtssituatie is nog niet bereikt wanneer spuien begint. Bovendien bij NL proef veel zouter. Hoe zouter, hoe lastiger om weg te spoelen. ZSP3 was bij inlaten praktisch zoeter door zoeter voordelta. Hierdoor kleinere zoutvracht.
- Plaatjes te gebruiken om te voorspellen? Je hebt geen 1 op 1 relatie met 1x inlaten. Cumulatief effect van inlaten en tussendoor spuien. Wel te gebruiken voor indicatie bepalen inlaten Kierproeven. Het geeft een worst case, het uiterste. In het echt van wegblijven. Geeft daarmee uiterste grens aan.

XXWat leren we hiervan over inlaten? Hoe kunnen we sturen? Wat zijn de bepalende factoren?

- ...
- Verwachting dat bij langer dynamisch kieren in het westen HV wel iets diffusere overgang in de vertikaal zout- zoet. Meer variatie in de vertikaal. En hierdoor bij spuien ook meer zout afgevoerd.

1.4.2

Aanbevelingen verdiepende analyses

- Inzicht in chl conc St buiten en verloop chl conc bij inname (St binnen?). Hoe lang duurt het voordat zoete golf ingenomen is en zout binnenkomt bij versch chl conc St buiten?
 - o Relatie leggen met gemiddelde, min, max conc bij inlaten?
 - o zoutvrachten bepalen/inschatten op basis st binnen en debiet
- Willen we zo'n relatie, hebben we dat nodig? Moeilijk om situatie 1x inlaten te vertalen naar Kiersituatie met een balans. Voor indicatie eerste schatting/voorspelling wel handig. Geeft aan hoe ver in ieder geval zout komt. Maximale situatie. Bovengrens.- Volume berekeningen om nauwkeuriger de grenzen overlopen naar een volgende put in te schatten = bakjesmodel

1.4.3

Aanbevelingen vervolgonderzoeken

- Bakjesmodel voor Kieren.
- Kan chl conc st buiten als indicator variabele zijn voor situatie in de Voordelta? In relatie bekijken met varende metingen voordelta.

2 Zoetspoelen

Het zoetspoelen is een beheersmaatregel die ingezet wordt wanneer een periode van lagere rivierafvoeren wordt voorzien waarbij de sluizen voor langere periode gesloten worden. Om te voorkomen dat er te veel zout achterblijft in het Haringvliet wordt voor enkele dagen vooraf aan het sluiten van de sluizen extra gespuid en niet meer ingelaten.

Het zoetspoelen vangt aan zodra de actuele afvoer Lobith onder de 1500 m³/sec en de verwachting is dat deze situatie gedurende een periode van minimaal 7 aaneengesloten dagen zal voortduren. Om in het voorkomende geval het Haringvliet zoet te spoelen moet er ca. 180 Mm³ water worden weggespoeld. Hiervoor dient gedurende 6 achtereenvolgende spuiperioden een afwijkend bedieningsprogramma te worden gevolgd (XXHOP, 2010).

Doel van het zoetspoelen is om de hoeveelheid zout in het Haringvliet terug te brengen tot een niveau die bij eventuele opmenging met het zoete water geen bedreiging vormt voor de functionaliteit van de innamepunten (Niet te zoet..., 2006).

Met het zoetspoelen was echter bij de start van het Lerend Implementeren praktisch geen ervaring en het is daarom ook niet bekend of de maatregel voldoende effectief zal zijn om ongewenste zoutverspreiding voorbij de lijn Middelhamnis – Inloop Spui te voorkomen. En hoewel een maat van 180 Mm³ aan weg te spoelen water wordt genoemd, is ook niet bekend of deze hoeveelheid in alle omstandigheden een eindsituatie chlorideverspreiding op het Haringvliet oplevert die geen risico op nalevering vormt. Om te effectiviteit van het zoetspoelen te onderzoeken zijn drie zoetspoelproeven uitgevoerd. De beheersmaatregel zoetspoelen is voorzien om in te zetten bij een Rijnaafvoer rond de 1500 m³/s en lager. De zoetspoelproeven werden uitgevoerd bij een Rijnaafvoer die hoger lag zodat tijdens de proef voldoende water beschikbaar was om extra te spoelen indien dit nodig zou zijn. Ook bij de Naleverproef zijn periodes zoetgespoeld. De Rijnaafvoer tijdens de Naleverproef was wel lager.

De ervaringen en data die deze proeven hebben opgeleverd zijn op een rij gezet en geanalyseerd. Dit is gedaan voor de putten B/C, de diepe put in NW Haringvliet, put D bij Stellendam en put F-NW, het Aardappelengat. De overige putten zijn niet bij alle proeven met zout gevuld geweest waardoor te weinig meetgegevens beschikbaar zijn om een analyse mee uit te voeren.

2.1 Het proces zoetspoelen

2.1.1 Wat we weten

Bij het zoetspoelen wordt vooral de bovenste waterlaag tot de drempelhoogtes van de putten makkelijk weggespoeld. Het zoute water in de putten spoelt lastiger weg. Dit komt enerzijds door de afschermende werking van de putten maar ook doordat zout water zwaarder is en daardoor meer kracht nodig is om deze te verplaatsen. Verwacht wordt dat de zoute laag vanaf de bovenkant afgeschaafd en verlaagd wordt. De zoet-zout grens, de spronglaag, komt dan steeds dieper te liggen. Variabelen die mogelijk van invloed zijn op dit proces zijn:

Stroomsnelheden en spuidebieten

De verwachting is dat hogere stroomsnelheden op het Haringvliet een groter effect hebben op het verlagen van de spronglaag in de putten. Water met een grotere stroomsnelheid heeft meer energie en kracht om onderliggende lagen in beweging te krijgen. Een hogere stroomsnelheid in het Haringvliet wordt verkregen met een groter spuidebiet. Het spuidebiet wordt vooral beïnvloed door een groter verhang tussen binnen- en buitenwater. Een groter verhang kan deels op gestuurd worden door bijvoorbeeld extra opzet op het Haringvliet te veroorzaken of slim gebruik te maken van de door wind veroorzaakte omstandigheden. Er is echter niet altijd te sturen op het spuidebiet. Waarschijnlijk heeft het spuidebiet door de sluizen vooral een doorwerking op de stroomsnelheid dicht bij de sluis en dooft het effect naar het Oosten uit. Hoe het sluisdebiet doorwerkt op de stroomsnelheid op het Haringvliet en hoe de stroomsnelheid weer doorwerkt op effectiviteit van verlagen van de spronglaag, is niet bekend.

Spuivolume en duur van het spoelen

Wanneer enkele getijden spuien met een groot spuidebiet wordt gespuid, zal dit zoals in vorige paragraaf is besproken een verlaging van de spronglaag in de putten geven. Bij lage Rijnafvoeren zal de mogelijkheid om met grote debieten te spoelen echter beperkt zijn. De vraag is dan of vaker spoelen met kleinere debieten een vergelijkbare verlaging oplevert. In beide gevallen kan het gespuide volume gelijk zijn maar het is niet bekend of dit ook een vergelijkbare verlaging van de spronglaag geeft.

Initiële situatie chloridegehaltes en diepte spronglaag

De initiële chloridesituatie in het Haringvliet is ook bepalend voor de effectiviteit van het zoetspoelen. Enerzijds hoeft er niet veel gespoeld te worden wanneer er om te beginnen al weinig zout in het Haringvliet zit. Echter op zout dat diep in de putten zit, heeft de stromende laag water weinig vat. Harder stromend water en wanneer met grotere volumes per getij wordt gespoeld, hebben ook op de diepere delen een effect. De vraag is wel tot welke diepte dit opgaat.

Sterkte van de spronglaag

Zout water is door het hogere gewicht moeilijker in beweging te krijgen dan zoet water. Op basis van theoretisch onderzoek is het uitgangspunt dat een sterke spronglaag beperkend werkt op de effectiviteit van het zoetspoelen. Een spronglaag is sterk wanneer het verschil in chlorideconcentratie tussen de boven- en onderlaag groter is en de overgang erg scherp (smal) is.

Geometrie/morfologie Haringvliet

De geometrie van het Haringvliet is bepalend voor de effectiviteit van het zoetspoelen. De diepe putten zullen lastiger zoetspoelen door hun afschermdende werking op de stroming, terwijl de oude geulen en ondiepere putten juist makkelijker zullen schoonspoelen.

Windkracht en -richting

Door wind ontstaat meer dynamiek (golven) in het water waardoor tot dieper opwoeling en turbulentie ontstaat. Het is afhankelijk van de windkracht en -richting in hoeverre de wind een positief effect kan hebben op het zoetspoelen.

2.1.2

Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen worden behandeld:

- In hoeverre zijn de genoemde variabelen in de vier proeven van invloed geweest op de effectiviteit van het zoetspoelen.

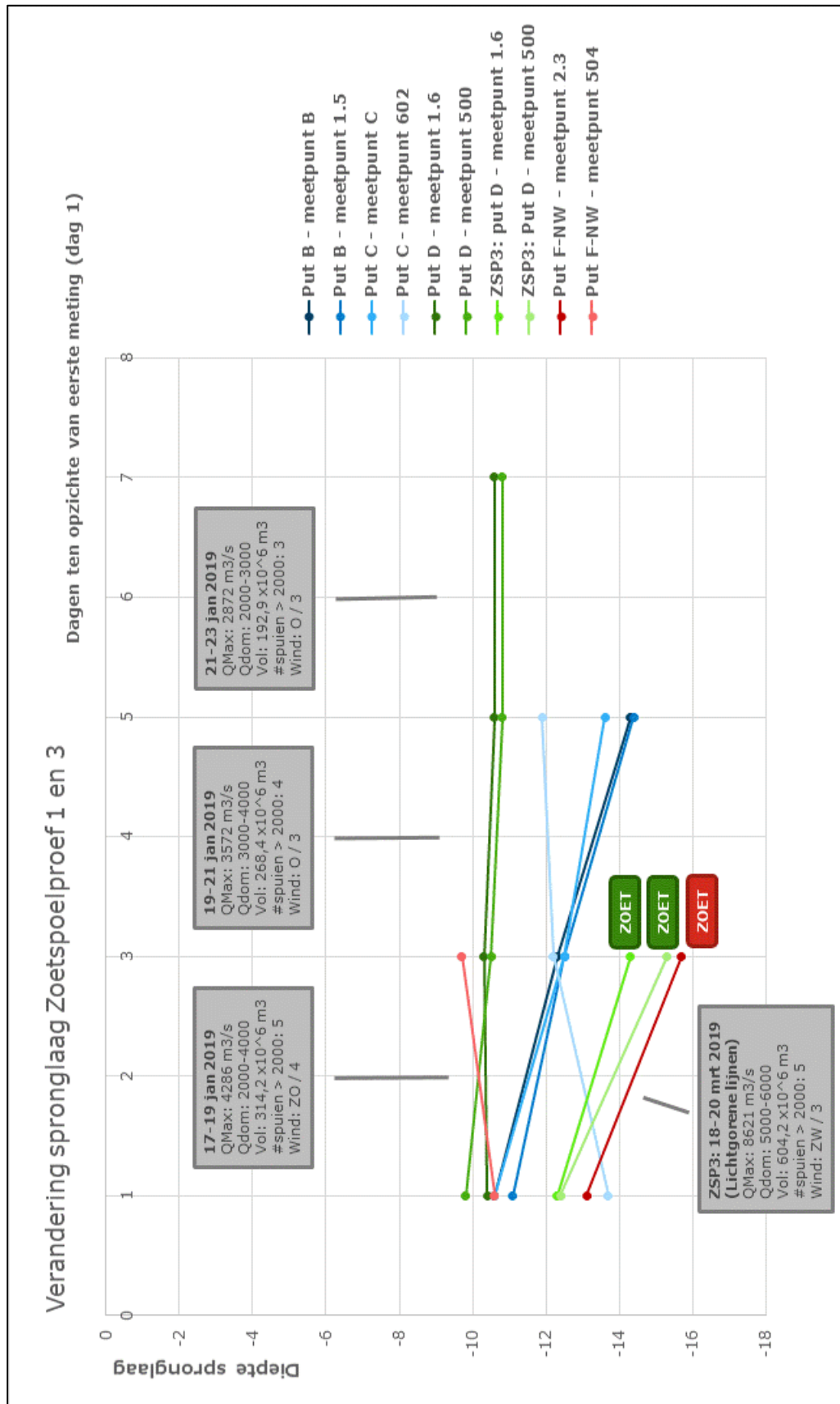
- In hoeverre kunnen we concluderen of zoetspoelen een effectieve beheersmaatregel is?
- Kunnen we lessen leren uit de ervaringen en eventueel relaties afleiden om effectiever zoet te spoelen of te kieren?

2.2 Karakteristieken zoetspoelperiodes

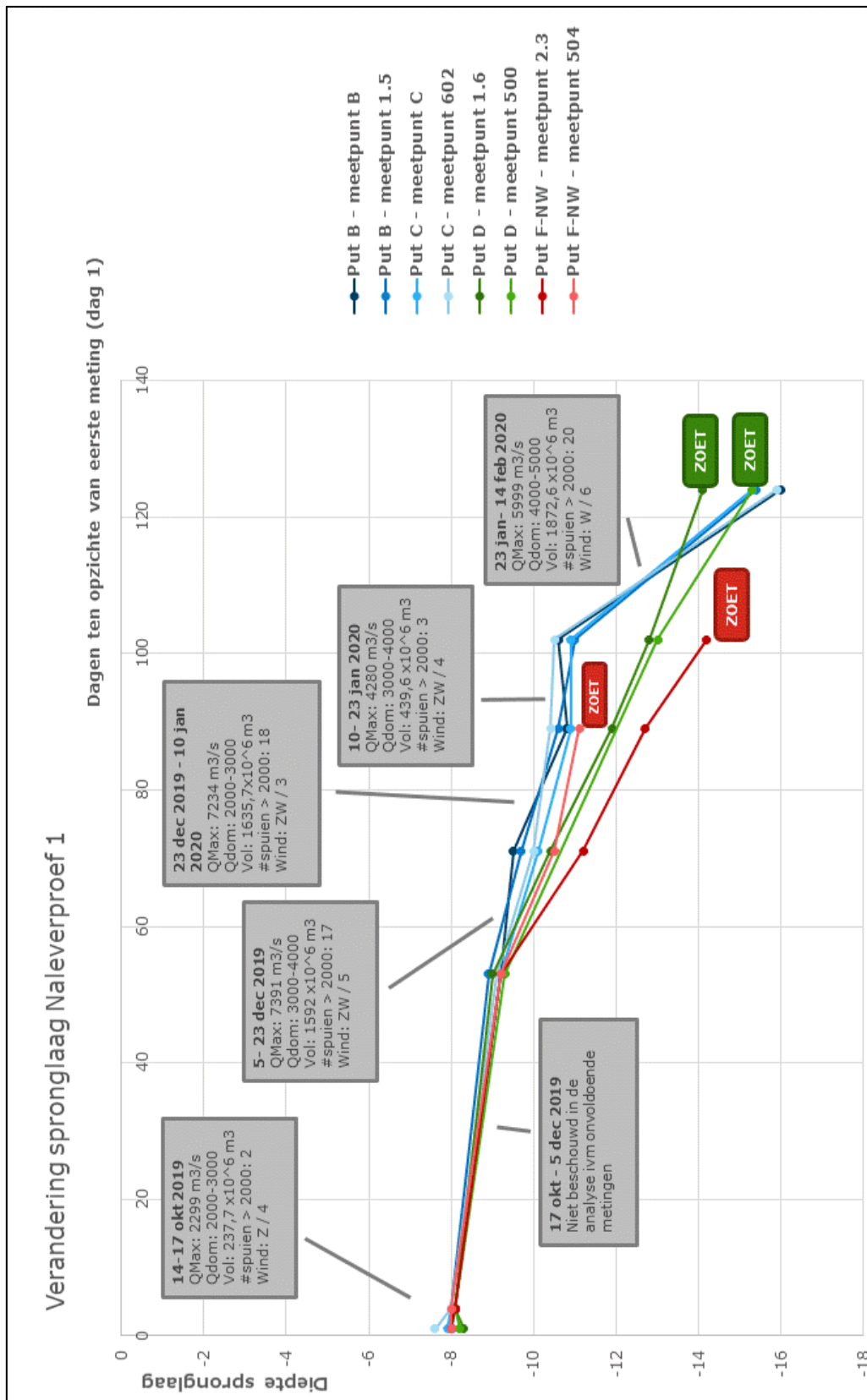
Als maat voor de effectiviteit van het zoetspoelen is gekeken naar de verlaging van de spronglaag. Deze is bepaald met de resultaten van de varende metingen. Figuur 8 en Figuur 9 geven een overzicht van de zoetspoelperiodes en verloop van de spronglaag in de tijd. De metingen voor de meetpunten 604 en 502 in de Zoetspoelproef 1 wijken af en lijken niet correct. Deze metingen zijn in de analyse verder niet meegenomen.

De zoetspoelperiodes verschillen van elkaar. Zo is de duur tussen twee varende metingen en ook de totale duur van zoetspoelen voor de zoetspoelproeven 1 en 3 in de orde van enkele dagen terwijl de beschouwde zoetspoelperiodes voor de Naleverproef, 13 tot 22 dagen beslaat. De maximale spuidebieten en totale spuivolume voor Zoetspoelproef 1 was ten opzichte van de andere proeven beperkt. Bij Zoetspoelproef 3 is in korte tijd relatief veel en met een groot spuidebiet gespuid.

Putten D en F zijn aan het einde van beide proeven zoet. Put B/C is relatief heel diep en raakt niet volledig zoet. XXNog iets kunnen zeggen over wat in de figuren is te zien?



Figuur 8: Verloop spronglaag in de tijd voor de Zoetspoelproef 1 en 3



Figuur 9: Verloop spronglaag in de tijd voor de Naleverproef 1

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de karakteristieken ten tijde van de zoetspoelperiodes. De van-tot datums geven de periodes weer tussen twee varende metingen.

Tabel 3: Overzicht karakteristieken van het zoetspoelen en voorgedane omstandigheden tijdens het zoetspoelen

Proef	begin datum	eind datum	spuijen qmax m3/sec	spuijen qmax > 2000 m3/s	Dominante spuidebiet qmax > 2000	# spuijen Qmax > 2000	spuijen q totaal 10^6 m3	Duur tussen 2 metingen Dagen	Qlobith bij qmax m3/s	Dominante windrichting	Dominante windkracht Bft
ZSP1	17.01.2019	19.01.2019	4286.3	2x 2000-3000	2000-4000	5	314.2	2	3400	ZO	4
				2x 3000-4000							
				1x 4000-5000							
	19.01.2019	21.01.2019	3571.7	2x 2000-3000	3000-4000	4	268.4	2	3800	O	3
				2x 3000-4000							
	21.01.2019	23.01.2019	2872.1	3x 2000-3000	2000-3000	3	192.9	2	2800	O	3
ZSP3	18.03.2019	20.03.2019	8621.2	1x 4000-5000	5000-6000	5	604.2	2	4500	ZW	3
				3x 5000-6000							
				1x 8000-9000							
NL1	14.10.2019	17.10.2019	2299.4	2x 2000-3000	2000-3000	2	237.7	3	2000	Z	4
	05.12.2019	23.12.2019	7391.1	3x 2000-3000	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5
				11x 3000-4000							
				2x 4000-5000							
				1x 7000-8000							
	23.12.2019	10.01.2020	7234.3	13x 2000-3000	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3
				7x 3000-4000							
				1x 5000-6000							
				1x 7000-8000							
	10.01.2020	23.01.2020	4280.1	2x 3000-4000	3000-4000	3	439.6	13	1700	ZW	4
				1x 4000-5000							
	23.01.2020	14.02.2020	5998.8	4x 2000-3000	4000-5000	20	1872.6	22	4200	W	6
				4x 3000-4000							
				7x 4000-5000							
				5x 5000-6000							

2.3

Analyse variabelen

Als maat voor de effectiviteit van het zoetspoelen is gekeken naar de verlaging van de spronglaag. Deze is bepaald met de resultaten van de varende metingen. Met de varende metingen zijn op verschillende momenten tijdens de proeven op vooraf vastgestelde meetpunten verticaal opnames gedaan van de chlorideconcentratie. Op basis van deze metingen is te bepalen op welke diepte de spronglaag zich op een bepaalde plek en moment bevond. De vaste meetpunten meten continue op drie dieptes. Met deze meetpunten is de diepte van de spronglaag te alleen te bepalen wanneer de spronglaag zich op de diepte van een van de drie sensoren bevindt. De metingen van de vaste meetpunten zijn daarom niet geschikt om de verlaging van de spronglaag te bepalen.

De verlaging van de spronglaag is bepaald door het verschil in diepte van de spronglaag tussen twee varende metingen te bekijken. Soms is voor een meetpunt op een specifieke datum door omstandigheden geen varende meting beschikbaar. Bij de Zoetspoelproef 2 zijn helemaal geen varende metingen gedaan. Hierdoor is de aantal datapunten beperkt. Voor de volgende periodes zijn de verlaging van de spronglaag bepaald.

Proef	begin datum	eind datum
ZSP1	17.01.2019	19.01.2019
	19.01.2019	21.01.2019
	21.01.2019	23.01.2019
ZSP3	18.03.2019	20.03.2019
NL1	14.10.2019	17.10.2019
	05.12.2019	23.12.2019
	23.12.2019	10.01.2020
	10.01.2020	23.01.2020
	23.01.2020	14.02.2020

De methode voor het bepalen van de diepte en dikte van de spronglaag is beschreven in de memo Analyseren meetgegevens Haringvliet –zoetspoelen (Fioole, 2020). De bruikbaarheid van de methode voor bepalen van deze grootheden wordt ook besproken in paragraaf 0

Conclusies en aanbevelingen.

In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de verlaging van de spronglaag gesorteerd per put. Ook zijn de karakteristieken die zich voordeden tijdens het zoetspoelen opgenomen in de tabel. Dikgedrukt de extremen.

CONCEPT

Tabel 4 Karakteristieken tijdens zoetspoelen en effect op spronglaag. Gesorteerd per put en toename verlaging spronglaag. Toename spronglaag is niet opgenomen in de tabel.

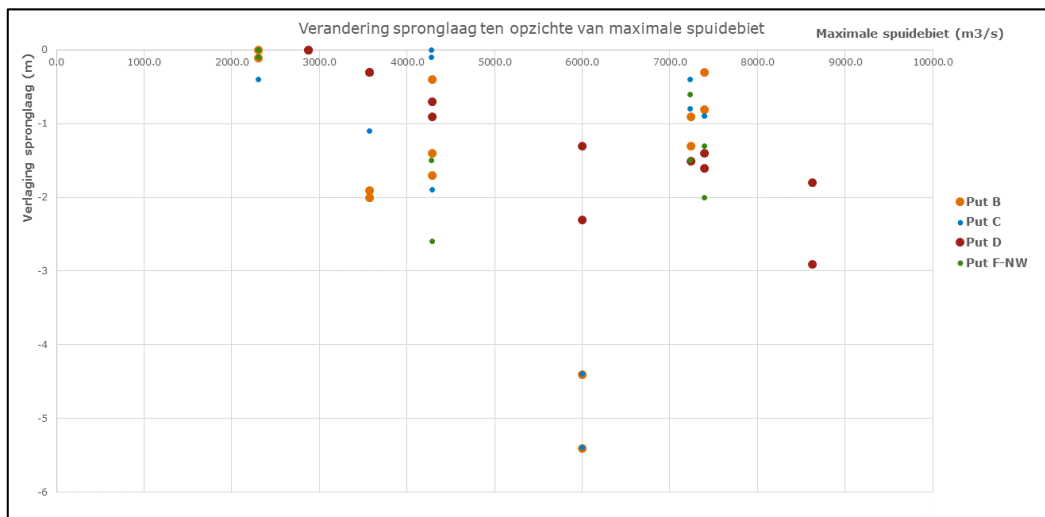
begin datum	end datum	Put	Meelpunt	spullen	Dominante spul#	# spullen	Soulvolume	Duur tussen 2 metingen	Qblibh	Dominante windrichting	Dominante windkracht	Verandering spronglaag	Vershill Chl	Sterkte spronglaag	Diepte spronglaag	Max chl
				q _{max}	q _{max} > 2000		10*6 m3	Dagen	m3/s	Tussen twee metingen	Tussen twee metingen	(m)	mg/l	Bij aanvang	Bij aanvang	bi aanvang
14.10.2019	17.10.2019	B	1.5		2	2	237.7	3	2000	Z	4	0	8630.01	1514.0	-8	9.235
14.10.2019	17.10.2019	B	1.5	2299.4	42000-3000	2	237.7	3	2000	Z	4	-0.1	8343.18	1042.9	-8	9.392
05.12.2019	23.12.2019	B	1.5	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-0.3	7412.3038	944.5	-9.2	9.235
10.01.2020	23.01.2020	B	1.5	4280.1	3000-4000	3	439.6	13	1700	ZW	4	-0.4	6624.54	4140.3	-10.6	7.071
05.12.2019	23.12.2019	B	1.5	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-0.8	8242.23	1397.0	-8.9	9.096
23.12.2019	10.01.2020	B	1.5	7234.3	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3	-0.9	8331.59	1281.8	-9.7	9.082
23.12.2019	10.01.2020	B	1.5	7234.3	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3	-1.3	8609.14	1076.1	-9.5	9.178
17.01.2019	19.01.2019	B	1.5	4286.3	2000-4000	5	314.2	2	3400	ZO	4	-1.4	1220.6	115.2	-11.1	1.717
17.01.2019	19.01.2019	B	1.5	4286.3	2000-4000	5	314.2	2	3400	ZO	4	-1.7	1684.8	92.6	-10.6	1.893
19.01.2019	21.01.2019	B	1.5	3571.7	3000-4000	4	268.4	2	3800	O	3	-1.9	1558.82	143.0	-12.5	1.740
19.01.2019	21.01.2019	B	1.5	3571.7	3000-4000	4	268.4	2	3800	O	3	-2	1406.96	113.5	-12.3	1.888
23.01.2020	14.02.2020	B	1.5	5998.8	4000-5000	20	1872.6	22	4200	W	6	-4.4	7108.84	1184.8	-11	9.031
23.01.2020	14.02.2020	B	1.5	5998.8	4000-5000	20	1872.6	22	4200	W	6	-5.4	2648.82	860.0	-10.6	9.185
10.01.2020	23.01.2020	C	1.5	4280.1	3000-4000	3	439.6	13	1700	ZW	4	0	2243.62	3739.4	-10.9	7.153
14.10.2019	17.10.2019	C	1.5	2299.4	42000-3000	2	237.7	3	2000	Z	4	-0.1	8399.44	2470.4	-7.9	8.880
10.01.2020	23.01.2020	C	1.5	4280.1	3000-4000	3	439.6	13	1700	ZW	4	-0.1	3733.71	2872.1	-10.4	8.821
23.12.2019	10.01.2020	C	1.5	7234.3	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3	-0.4	8090.3	1797.8	-10	8.785
14.10.2019	17.10.2019	C	1.5	2299.4	42000-3000	2	237.7	3	2000	Z	4	-0.3	7912.01	1997.1	-7.6	8.983
23.12.2019	10.01.2020	C	1.5	7234.3	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3	-0.8	8060.8	1752.3	-10.1	8.774
05.12.2019	23.12.2019	C	1.5	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-0.9	8114.86	2318.5	-9.2	8.771
05.12.2019	23.12.2019	C	1.5	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-0.9	7003.17	2122.2	-9.1	8.770
19.01.2019	21.01.2019	C	1.5	3571.7	3000-4000	4	268.4	2	3800	O	3	-1.1	1050.43	202.0	-12.5	1.204
17.01.2019	19.01.2019	C	1.5	4286.3	2000-4000	5	314.2	2	3400	ZO	4	-1.9	892	557.5	-10.6	1.388
23.01.2020	14.02.2020	C	1.5	5998.8	4000-5000	20	1872.6	22	4200	W	6	-4.4	4286.8	952.6	-10.9	8.670
23.01.2020	14.02.2020	C	1.5	5998.8	4000-5000	20	1872.6	22	4200	W	6	-5.4	7129.88	2037.1	-10.5	8.670
21.01.2019	23.01.2019	D	1.6	2872.1	2000-3000	3	192.9	2	2800	O	3	0	2483.68	919.9	-10.6	2.994
21.01.2019	23.01.2019	D	1.6	2872.1	2000-3000	3	192.9	2	2800	O	3	0	8630.01	1351.1	-10.8	3.031
19.01.2019	21.01.2019	D	1.6	3571.7	3000-4000	4	268.4	2	3800	O	3	-0.3	2869.21	1062.7	-10.3	3.177
19.01.2019	21.01.2019	D	1.6	3571.7	3000-4000	4	268.4	2	3800	O	3	-0.3	2884.15	1442.1	-10.5	3.130
17.01.2019	19.01.2019	D	1.6	4286.3	2000-4000	5	314.2	2	3400	ZO	4	-0.7	2875.15	513.4	-9.8	3.479
10.01.2020	23.01.2020	D	1.6	4280.1	3000-4000	3	439.6	13	1700	ZW	4	-0.9	5595.38	6217.1	-11.9	6.925
23.01.2020	14.02.2020	D	1.6	5998.8	4000-5000	20	1872.6	22	4200	W	6	-1.3	2648.82	4723.5	-12.8	8.760
05.12.2019	23.12.2019	D	1.6	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-1.4	8723	4983.0	-9	10.310
23.12.2019	10.01.2020	D	1.6	7234.3	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3	-1.5	8994	2367.0	-10.4	9.591
05.12.2019	23.12.2019	D	1.6	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-1.6	9327	5513.0	-9.3	10.212
18.03.2019	20.03.2019	D	1.6	8621.2	5000-6000	5	604.2	2	4500	ZW	3	-1.8	7412.3038	1695.5	-12.3	4.124
23.01.2020	14.02.2020	D	1.6	5998.8	4000-5000	20	1872.6	22	4200	W	6	-2.3	8128.13	2902.9	-13	8.882
18.03.2019	20.03.2019	D	1.6	8621.2	5000-6000	5	604.2	2	4500	ZW	3	-2.9	2567.07	2236.0	-12.4	3.935
14.10.2019	17.10.2019	FNW	2.3	2299.4	42000-3000	2	237.7	3	3800	Z	4	0	8601.93	2774.8	-8	9.178
23.12.2019	10.01.2020	FNW	2.3	7234.3	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3	-0.1	9276.98	3568.1	-8	9.898
05.12.2019	23.12.2019	FNW	2.3	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-0.6	5194.08	1923.7	-10.5	5.588
23.12.2019	10.01.2020	FNW	2.3	7234.3	2000-3000	22	1635.7	18	2500	ZW	3	-1.3	8224.11	8449.5	-9.2	8.820
10.01.2020	23.01.2020	FNW	2.3	4280.1	3000-4000	3	439.6	13	1700	ZW	4	-1.5	6597.1	2164.2	-11.2	8.775
05.12.2019	23.12.2019	FNW	2.3	7391.1	3000-4000	17	1592.0	18	3400	ZW	5	-2	7905.18	6597.1	-12.7	6.799
17.01.2019	19.01.2019	FNW	2.3	4286.3	2000-4000	5	314.2	2	3400	ZO	4	-2.6	1695.29	413.5	-9.2	9.035
17.01.2019	19.01.2019	FNW	2.3	4286.3	2000-4000	5	314.2	2	3400	ZO	4	-2.6	1695.29	413.5	-13.1	1.895

In de volgende paragrafen wordt de effectiviteit van de sturende karakteristieken op het verlagen van de spronglaag verder besproken.

2.3.1

Spuidebieten

De maximaal opgetreden spuidebieten binnen een spuiperiode zijn afgezet tegen de verlaging van de spronglaag. Dit is weergegeven in Figuur 10. Hierbij is gedifferentieerd naar put. Omdat sommige metingen op elkaar liggen, zijn de punten voor putten B en D groter dan de andere punten.

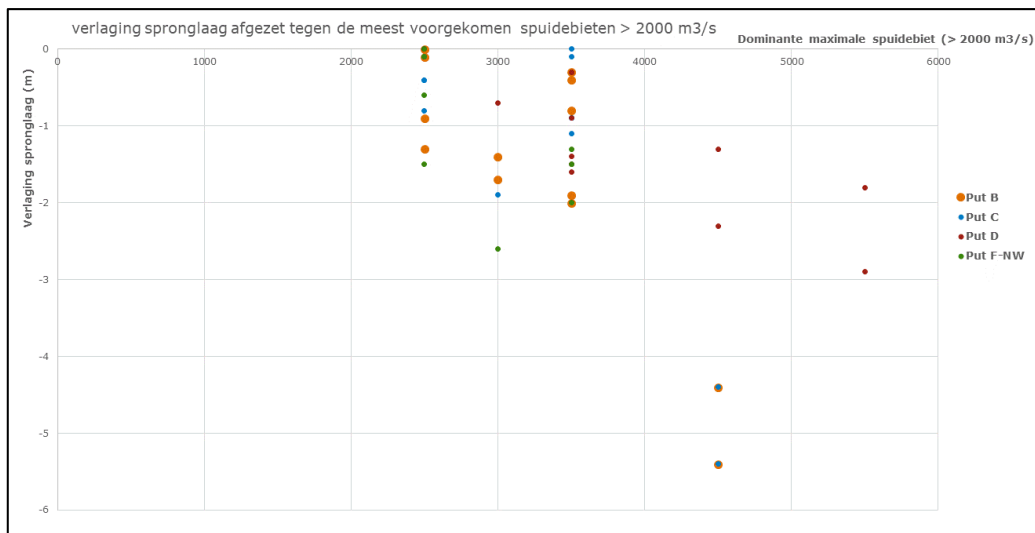


Figuur 10: Verlaging spronglaag afgezet tegen de maximaal opgetreden spuidebiet

Tot een spuidebiet rond de 3000 m³/s is het effect beperkt geweest. Echter er zijn ook maar enkele meetpunten in die range beschikbaar, de kleinst opgetreden maximale spuidebiet is 2300 m³/s. Vanaf 3000 m³/s zijn de effecten groter. Het verlagend effect ligt in de orde van maximaal 3 meter met een uitzondering voor de putten B en C waar in de spuiperiode 23-01-2020 – 14-02-2020 op 4 meetpunten verlagingen van 4,5 en 5,5 zijn waargenomen.

Op basis van deze resultaten lijkt een groter spuidebiet geen groter verlagend effect te hebben. Zowel voor de lagere als hogere maximale spuidebieten lijkt het verlagend effect tot ongeveer 3 meter te gaan. Uitzondering is put D waar een toename is te zien bij grotere maximale spuidebieten. In putten B, C en F zie je deze relatie minder. Een verklaring hiervoor is wellicht dat put D dicht bij de sluisen en achter de spuisluisopening ligt. Verder van sluis af lijkt invloed opening en debiet geringer.

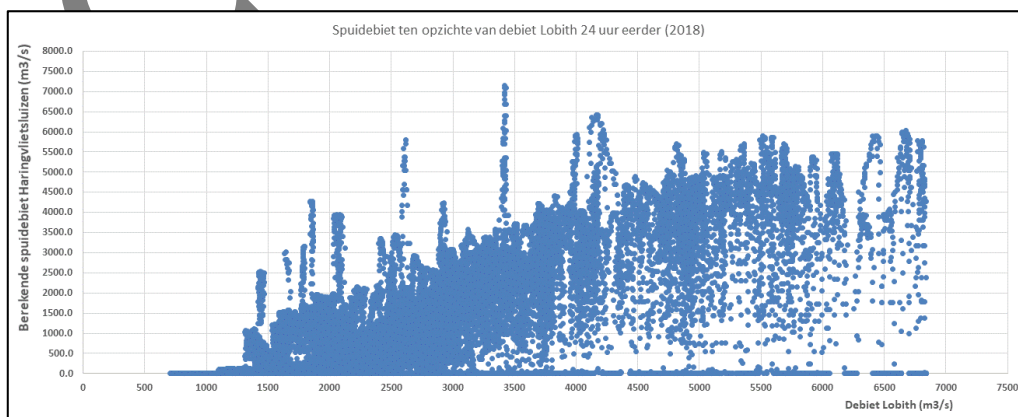
Deze grafiek kijkt alleen naar de eenmalig opgetreden maximale spuidebiet. In sommige situaties is eenmalig een hoog spuidebiet opgetreden maar waren de overige spuidebieten veel lager. Soms is met een iets kleiner spuidebiet gespuid maar wel over langere tijd. De verlagingen zijn daarom ook uitgezet tegen de meest voorgekomen grotere spuidebiet (> 2000 m³/s). Dit is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11: De verlaging van de spronglaag in relatie tot de meest voorkomende grotere spuidebieten (> 2000 m³/s)

Op basis van deze grafiek lijkt een vaker toegepaste hoger spuidebiet voor putten B, C en D een groter effect te hebben op de verlaging van de spronglaag. Voor put F-NW is het effect niet terug te zien, maar voor put F zijn ook minder meetresultaten beschikbaar omdat deze put niet altijd verzilt raakte bij de zoetspoelproeven.

Bij omstandigheden waarbij zoet gespoeld moet worden, zal vaak niet met grotere spuidebieten gespuid kunnen worden. Om met grotere spuidebieten te kunnen spuien, is opzet nodig op het Haringvliet. Een groter verhang doet zich voor bij hoge rivierafvoeren en ook wanneer bij sterkere Westen- en Noordwestenwind opstuwing ontstaat vanuit de Nieuwe Waterweg landinwaarts. Beide omstandigheden komen niet vaak voor tijdens de periode waarin er zoet gespoeld moet worden. Bovendien geeft spuien met grotere spuidebieten een hoger risico op achterwaartse verzilting. In Figuur 12 is de afvoer Lobith afgezet tegen de spuidebieten door de Haringvlietssluisen (10 minuten gegevens) voor het jaar 2018. De spuidebieten bij een afvoer rond de 2000 m³/s zijn bij bediening volgens LPH84 rond de 1000 m³/s. Als de omstandigheden gunstig zijn kan bij deze afvoer tot maximaal 500 m³/s extra gespuid worden maar alleen voor enkele getijperiodes. Gezien de resultaten van de zoetspoelproef, zullen spuidebieten tot 1500 m³/s en voor maar enkele getijden een zeer beperkte verlaging van de spronglaag geven.



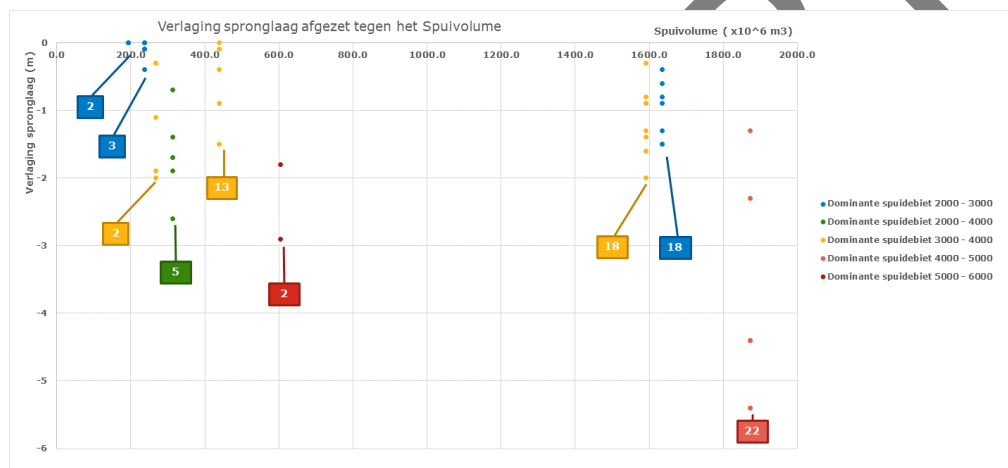
Figuur 12: Opgetreden rivierafvoer Lobith ten opzichte van het berekende spuidebiet door de Haringvlietssluisen (24 uur eerder ivm looptijd) voor het jaar 2018

Hoe de spuidebieten door de sluizen doorwerken op de stroomsnelheden in het Haringvliet is niet bekend. Stroommetingen moeten meer duidelijk maken over patronen in HV. Het entrainment onderzoek geeft misschien meer inzicht in de forceringen die nodig zijn om de spronglaag te verlagen.

2.3.2

Spuivolume en duur van het spoelen

In de vorige paragraaf is ingegaan op het effect van het spuidebiet. Hogere spuidebieten veroorzaken ook hogere stroomsnelheden en bewegingen in het Haringvliet met grotere verlaging van de spronglaag tot gevolg. Het is wellicht ook mogelijk om met kleinere spuidebieten over een langere periode spuien, de spronglaag ook te verlagen. De vraag is ook of een minimale debiet nodig is om enige verlaging te veroorzaken. Om de effectiviteit van langdurig spuien met kleinere debieten te toetsen, is het totale spuivolume uitgezet tegen de verlaging van de spronglaag. Dit geeft een beeld van een bandbreedte aan situaties met kleine spuidebieten voor enkele dagen tot grote spuidebieten bij langere periode. Het resultaat is te vinden in Figuur 13.



Figuur 13: De verlaging van de spronglaag afgezet tegen het totale spuivolume en gedifferentieerd naar dominante hogere spuidebieten en duur van de spuiperiode in dagen (blokjes).

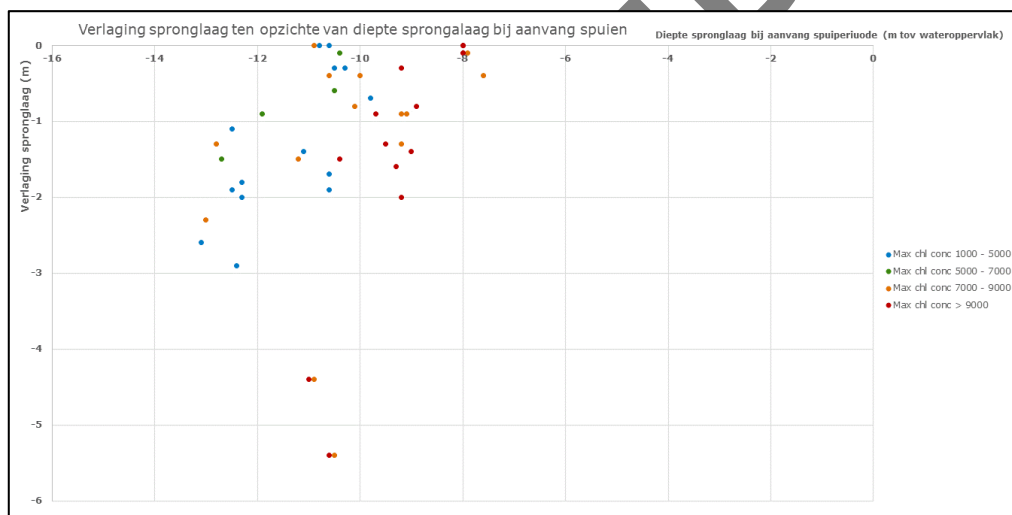
Er lijkt geen relatie te zijn tussen de verlaging van de spronglaag en het totale gespuide volume. Binnen de categorie "dominante spuidebiet 2000-3000" (blauwe punten) zijn twee situaties geweest waar 2 en 3 dagen is gespuid en een situatie met 18 dagen spuien. Op basis van deze metingen lijkt bij een langere periode spuien met kleinere debieten uiteindelijk een grotere spronglaag bereikt te worden. Landurig met kleinere debieten spuien (minimum bij deze proeven was 2200 m³/s) lijkt dus wel effect te hebben. Wat de figuur ook laat zien is dat een groot spuidebiet, of deze kort of lang wordt uitgevoerd, uiteindelijk het grootste meeste effect heeft. lijkt het erop dat het max spuidebiet bepalender is voor effectiviteit van het zoetspoelen dan het spuien over een langere periode.

2.3.3

Initiële situatie chloridegehaltes, diepte en sterkte spronglaag

Omdat zout water zwaarder is dan zoet water, wordt aangenomen dat hoe hoger de concentraties van de zoute laag zijn, hoe moeilijker het is om deze in beweging te krijgen. Ook de scherpte van het overgangsgebied (sterkte spronglaag) heeft hier invloed op. Met een sterkere spronglaag (verschil chloride gehalte zoete bovenlaag en zoute onderlaag / dikte van de spronglaag) bij vergelijkbare omstandigheden zou het lastiger zijn om de spronglaag te verlagen. Tenslotte is ook de diepte van de spronglaag bepalend voor het gemak waarmee deze verder verlaagd wordt. Er wordt ervan uit gegaan dat hoe dieper het zoute water zich in een put bevindt, hoe minder grip de stromingen hebben op dit water.

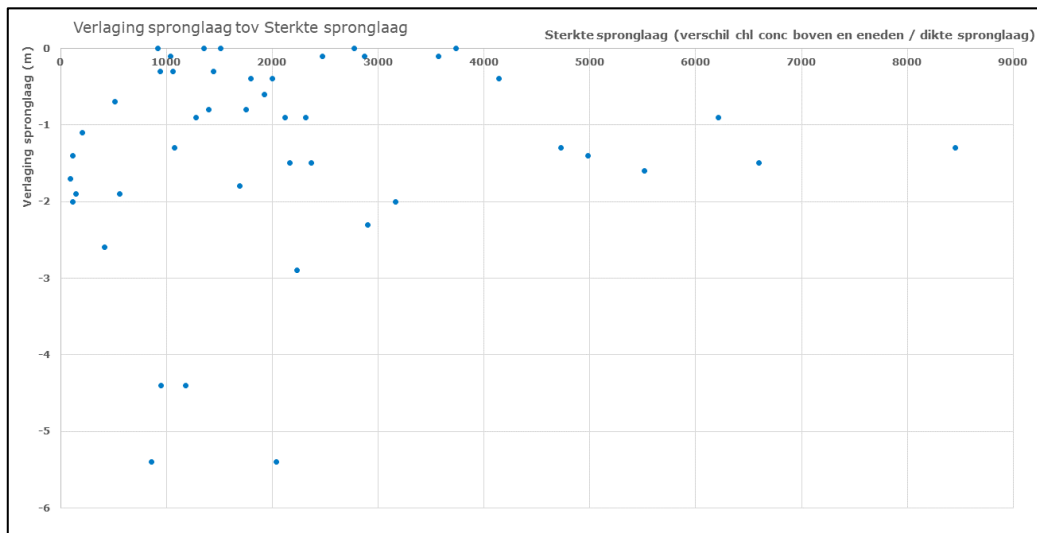
In Figuur 14 is bekeken in hoeverre de diepte van de spronglaag bij aanvang van een spuiperiode van invloed is op de verlaging van de spronglaag. Wat opvalt in deze figuur is dat juist in de situaties waar de spronglaag dieper lag, de verlaging groter is. Dit is een omgekeerd effect dan werd verwacht. Dit kan betekenen dat de diepte van de spronglaag weinig invloed heeft op de verlaging en dat andere factoren sterker doorwerken. Uit de figuur lijkt het er ook op dat de minder zoute situaties makkelijker zoetspoelen. Het kan echter ook zo zijn dat we hier naar de effecten kijken als gevolg van andere variabelen zoals Beide effecten kunnen ook toeval zijn. XXDifferentieren naar put: geometrie zegt misschien meer.



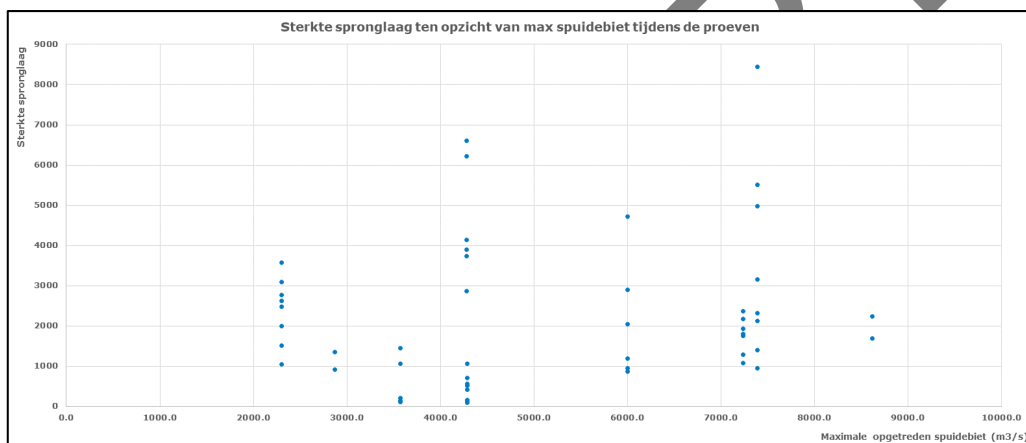
Figuur 14: Doorwerking diepte spronglaag bij aanvang zoetspoelperiode op het verlagende effect. Hierbij is gedifferentieerd naar chlorideconcentratie.

Ook is gekeken naar eventuele effect van de sterkte van de spronglaag. Dit is geïllustreerd in Figuur 15. De spronglaagsterkte lijkt van invloed is op de effectiviteit van het zoetspoelen. Hoe sterker (hoger getal) de spronglaag, hoe kleiner de verlaging van de spronglaag.

Ter controle om te zien of niet toevallig de spronglaag erg scherp was wanneer ook het maximum spuidebiet groot was, is de spronglaagsterkte ook uitgezet in relatie tot het spuidebiet (zie Figuur 16). Hieruit blijkt dat dit niet het geval is.



Figuur 15: Doorwerking sterkte spronglaag op verlaging spronglaag



Figuur 16: maximale spuidebiet en sterkte spronglaag

2.3.4

Windkracht en -richting

Een laatste onderzoeksvraag die speelt is of een bepaalde windrichting en/of windkracht een positieve bijdrage heeft op het zoetspoelen. De dominante windrichting en -kracht zijn wel opgenomen in Tabel 4 maar wordt niet verder uitgewerkt. De periodes tussen twee varende metingen tijdens de naleverproef zijn te lang om een effect van wind hieruit af te leiden.

2.4 Conclusies en aanbevelingen

2.4.1 Conclusies

Systeem; wat leren we over de systeemwerking en wat lijkt de var(-en) te zijn die meest doorwerken op verlagen spronglaag?

- Het Spuidebiet lijkt meest bepalend voor verlagen spronglaag, gevolgd door sterkte spronglaag.
- Er lijkt een sterkere relatie met max debiet en verlaging spronglaag voor put D maar overige putten niet. lijkt erop dat verder van de sluizen af, spuidebiet minder van invloed is. Wellicht dat stroomsnelheden in Haringvliet verder van sluizen minder beïnvloed zijn door spuidebiet. ADCP metingen moeten hier meer over gaan laten zien.:
 - Te ver weg, invloed stroming minder?
 - Put B/C kan heel diep zitten daardoor minder vat erop.
- Sterkte spronglaag. Zwakke spronglaag is niet perse een garantie voor verlaging. Er kunnen echter andere redenen zijn waarom geen verlaging optrad. Toch lijkt er zwak verband.
- Beperkte relatie met duur, volume. Lang spuien met beetje doet maar een beetje.
- Langere tijd met afvoer 1500 hebben we niet meegemaakt en kunnen we dus niks over zeggen. (= lang en kleine max)
- Heel veel var, heel veel afhankelijkheden. Op basis van deze gegevens alleen indicatieve misschien conclusies te trekken. Op basis van deze hoeveelheden meetpunten, te weinig meetpunten om verbanden af te leiden. Te veel omstandigheden, te veel combinaties doen zich voor in praktijksituatie, niet te sturen op 1 of enkele var. En dan nog herhalen, variëren binnen 1 var. Zoveel situaties doen zich in de praktijk niet voor. Niet uitvoerbaar.
- Bij ZSP3 niet zozeer een afschavende proces maar in 1x weggespoeld.

Operationele inzet:

XXLeg uit welke sturingsmogelijkheden we hebben en welke externe factoren nog extra invloed kunnen hebben

- Effectiviteit zoetspoelen lijkt beperkt bij lagere rivierafvoeren. Echter in kortere tijd wel enige verlaging spronglaag te bewerkstelligen. Maar op basis van deze metingen lijkt zoetspoelen als bekeersmaatregel weinig kansrijk.
- Max spuidebiet, en dan ook nog vaker, lijkt meeste invloed te hebben.
- Langere tijd spuien met een kleiner spuidebiet lijkt veel minder effectief dan korte tijd met grotere spuidebiet.
- Bij kleiner debiet Lobith (1700 – 2000), toch nog spronglaag weten te verlagen door opzet in HV. Maar bijzondere onstandigheid die zich steeds maar kort voordoen, meestal niet beschikbaar. We kunnen hier niet op rekenen. Bovendien haal je met zoveel extra spuien ook Moerdijk omlaag en grotere kans op achterw verz.
- Is het zinnig om chl conc tbv zoetspoelen laag te houden of juist hoge chl conc om op z'n plek te houden? De vraag in hoeverre chl conc in putten en scherpte spronglaag van invloed is. Juist lage chl geh of juist hoge gewenst?
- Wat MOETEN we weten: in hoeverre kunnen we effectief zoetspoelen bij realistisch debiet en duur? Meer metingen bij afvoeren max 2500 i.c.m.

realistische startsituatie. In de figuren in de “linkerbovenhoek” zie je niet veel gebeuren maar ook weinig metingen.

- Wind geef misschien beetje meer opmenging maar zet waarschijnlijk geen zoden aan de dijk. Opzet door wind wel handig maar bij lage afvoeren oppassen met achterw verz, dus vaak beperkt/niet inzetbaar.

Methode bepalen karakteristieken spronglaag.

- Werkt goed maar niet feilloos. Vooral bij hele diffuse brede spronglaag werkt de methode minder goed om de dikte te bepalen.

2.4.2 *Aanbevelingen verdiepende analyses*

- Gegevens verder vooral gebruiken om model te toetsen.

2.4.3 *Aanbevelingen vervolgonderzoeken*

- Heel veel var, heel veel afhankelijkheden. Op basis van deze gegevens alleen indicatieve misschien conclusies te trekken. Met model sommen waarbij steeds 1 var gevarieerd wordt.
- Wat MOETEN we weten: in hoeverre kunnen we effectief zoetspoelen bij realistisch debiet en duur? Meer metingen bij afvoeren max 2500 i.c.m. realistische startsituatie. In de figuren in de “linkerbovenhoek” zie je niet veel gebeuren maar ook weinig metingen.
- Stroomsnelheidsmetingen gebruiken.
- Verticaalmeting in gaan zetten.

3 Nalevering

In de periode oktober 2019 t/m februari 2020 is een proef uitgevoerd met als hoofddoel het bestuderen van het proces Nalevering. Bij de huidige bediening sluiten de Haringvlietsluizen bij een rivierafvoer lager dan 1100 m³/s (gemeten bij Lobith). Dit wordt gedaan om het zoete rivierwater volledig af te voeren via de Nieuwe Waterweg en zo verzilting van de Rijn-Maasmonding zoveel als mogelijk tegen te gaan. Ook wanneer het kieren definitief wordt geïmplementeerd, zullen de sluizen bij lagere rivierafvoeren gesloten worden. Wanneer de sluizen na kieren en zoetspoelen worden gesloten, zal er nog zout water achterblijven in de diepere delen van het Haringvliet. Afhankelijk van de hoeveelheden zout water, de locatie waar het zit en de concentraties, is er een risico dat vanuit deze diepere delen het zout zich verspreid en verzilting optreedt bij de innamepunten. De kritieke grenswaarde voor de innamepunten ligt bij 150 mg/l.

Verspreiding gebeurt in eerste instantie vanuit de diepte naar boven. Dit wordt verticale nalevering genoemd. Vervolgens kan het water zich ook horizontaal verspreiden (horizontale nalevering). Bij aanvang van de proef was nog weinig bekend over dit fenomeen en in hoeverre nalevering inderdaad een risico vormt. Bij de Naleverproef is eenmalig zout water ingelaten en hebben de putten zich gevuld tot bijna Middelharnis (zie Figuur 4) en lag de spronglaag op een diepte rond de -8m. Vooraf aan het inlaten is enkele getijden niet gespuid om zo hoog mogelijke chloridegehalte in de Voordelta te bereiken. Er is hierdoor ingelaten met erg zout water en de uiteindelijke chlorideconcentraties in de putten was rond de 10.000 mg/l. De Naleverproef simuleert dan ook een ergste scenario. Bij daadwerkelijk kieren wordt verwacht dat de chlorideconcentraties lager zullen zijn en de verspreiding kleiner.

3.1 Het proces nalevering

3.1.1 *Wat we wisten*

Wanneer de sluizen dicht zijn, verdwijnt een stukje dynamiek uit het Haringvliet. De stroomsnelheden worden hierdoor veel kleiner. Beweging van het water wordt vooral veroorzaakt door getijwerking via Spui en Hollands Diep en door de werking van de wind. Ook stroomt er nog wel wat rivierwater vanuit het Oosten het Haringvliet in, maar veel beperkter dan wanneer gespuid wordt. Water wordt alleen afgevoerd via het Spui. Zout water is zwaarder dan zoet water en in stil water zal het zoute water onderin de diepere delen blijven zitten. Echter door de stromingen veroorzaakt door wind en getij kan zout water toch omhoog komen en mengen met de zoetere bovenlaag. Door de stromingen kan dit zoutere water zich ook weer horizontaal verder verspreiden. De verwachting (en hoop) was dat dit proces zich maar zeer beperkt zou voordoen en niet tot problemen zou leiden bij de innamepunten voor zoet water.

Windkracht en -richting

De wind veroorzaakt stromingen en golven. Beide kunnen de zoutere onderlaag opstuwten. Ook kunnen retourstromen ontstaan. Wind in de lengterichting van het Haringvliet veroorzaakt hogere golven. Hardere wind veroorzaakt meer golven en sterkere stromingen. Effecten richting wind. XXAanvullen

Chlorideconcentratie bij aanvang naleverperiode

Een hele zoute onderlaag met een scherpe zoet-zoutgrens is lastiger in beweging te krijgen dan minder zout (lichter) water. Dit zou betekenen dat juist een hele zoute onderlaag minder nalevering geeft dan een minder zoute onderlaag. Echter een hele zoute onderlaag bevat ook meet zout. XXAanvullen

Getijslag

In het Haringvliet is een kleine getijslag van rond de 80 cm. Door windopzet kan de gemiddelde waterstand hoger zijn. XX

Achtergrondconcentraties

Bij lage rivierafvoeren lopen zeker in de warmere zomermaanden, de chlorideconcentraties van het rivierwater op. Wanneer deze boven de 100 a 120 mg/l uit gaan komen, is er maar weinig toename door nalevering nodig om de kritieke grens van 150 mg/l te passeren. In de warmere maanden met lage rivierafvoeren is de marge daarom maar klein. XX

3.1.2

Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen worden behandeld:

- In hoeverre zijn de genoemde variabelen bepalend voor de mate van nalevering die kan optreden?
- Kunnen we op basis van de Naleverproef bepalen bij welke situatie chlorideverspreiding geen risicovolle nalevering optreedt?

3.2

Karakteristieke naleverperiodes

Tijdens de Naleverproef zijn de sluizen dicht gezet om te bestuderen of en hoe het zoute water in de putten zich verspreidt over het Haringvliet. Wel is gedurende de proef enkele keren ingegrepen omdat verzilting voorbij de lijn Middelharnis-Spui dreigde. Er is ingegrepen door zoet te spoelen of met de maatregel Klein doorspoelen (periodes van zoetspoelen zijn meegenomen in de analyse Zoetspoelen, zie hoofdstuk 2). Uiteindelijk zijn drie periodes onderscheiden waarbij de sluizen dicht stonden.

Chloridesituatie Haringvliet

Bij aanvang van elke periode was de startsituatie anders door de voorgaande zoetspoeling (Tabel 5). In periode 1 en 2 deden zich hoge concentraties chloride op dieptes rond de -8m voor. Tussen periode 1 en 2 is een kleine verlaging van de spronglaag opgetreden van ongeveer ½ meter. Bij periode 3 is de chlorideconcentratie nog steeds erg hoog, maar de spronglaag is (afhankelijk van de put) met 2 tot 6 m verlaagd.

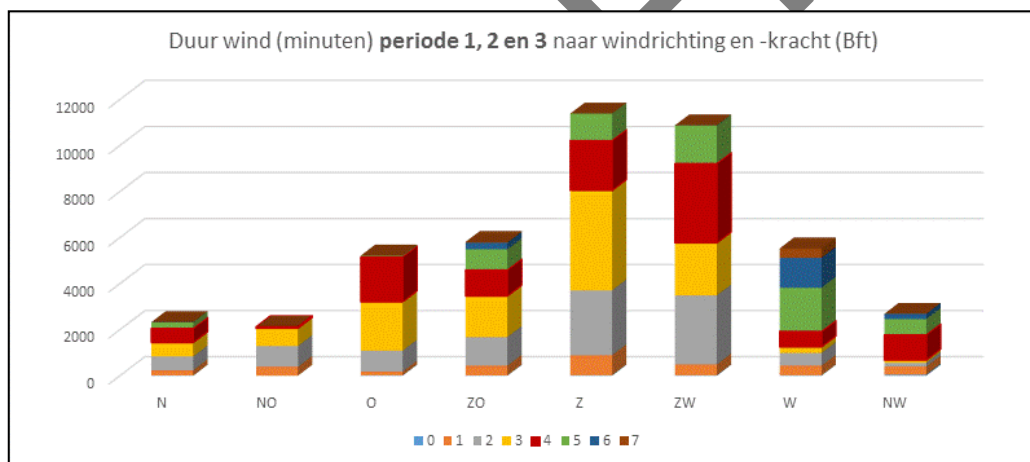
Tabel 5: Startsituaties periodes 1 t/m 3

Periode 1 (22 - 31 okt 2019)	Diepte spronglaag (m tov NAP??)	Chl geh onderste laag (mg/l)
Put B/C (Kier 4)	-8	9600
Put D (HVW)	-8.1	11000
Put F (Kier 1)	-7.7	10000
Put H (MH)	Geen zout	Geen zout
Inl Spui	Geen zout	Geen zout
Periode 2 (5 - 15 nov 2019)		

Put B/C (Kier 4)	-8.4	9500
Put D (HVW)	-8.2	10400
Put F (Kier 1)	-8.4	9400
Put H (MH)	Geen zout	Geen zout
Inl Spui	Geen zout	Geen zout
Periode 3 (18 - 29 jan 2020)		
Put B/C (Kier 4)	-10.8	9000
Put D (HVW)	-12.8	8900
Put F (Kier 1)	-14.2	8100
Put H (MH)	Geen zout	Geen zout
Inl Spui	Geen zout	Geen zout

Opgetreden windkracht en -richting

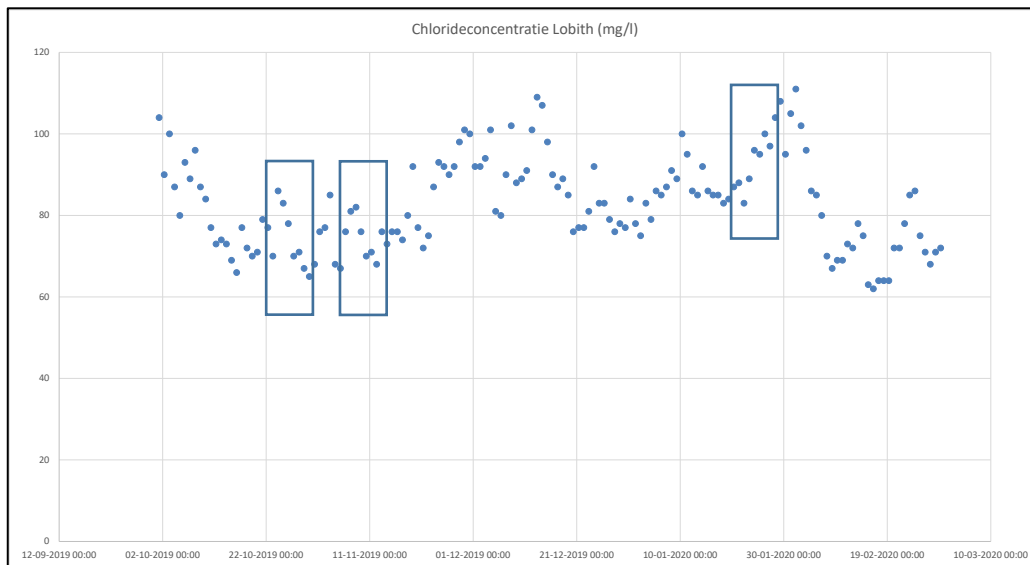
Figuur 17 geeft een overzicht van de opgetreden windkracht en -richting tijdens de drie naleverperiodes. De meest voorkomende windrichting tijdens de naleverproef was Z en ZW. Alle windrichtingen zijn minstens 2000 minuten voorgekomen. Meest voorkomen windkracht was windkracht 3. Maximaal gemeten windkracht was 7 Bft. In de figuren XX is de voorgekomen wind per periode weergegeven.



Figuur 17: Windkracht en -richting gedurende de 3 naleverperiodes

Achtergrondconcentraties

De minimale en maximale opgetreden chlorideconcentratie bij Lobith in de periode 1 okt 2019 – 29 feb 2020 waren 62 en 111 mg/l. XXBenoemen per naleverperiode ipv gehele periode. Zie Figuur 18 Met de blokken zijn de naleverperiodes aangegeven.



Figuur 18: Achtergrondconcentraties Lobith

3.3 Analyse variabelen

3.3.1 Windkracht en -richting

Voor de drie periodes is gekeken naar de chloridewaardes die gemeten zijn op de sensoren van de vaste meetpunten op -2m onder het wateroppervlak. De volgende stappen zijn uitgevoerd:

1. In periode 1 is kortstondig zoetgespoeld. Deze data is buiten beschouwing gelaten.
2. Voor metingen op bovenste sensoren (-2m) is lopend gemiddelde bepaald voor tijdsraam 740 min. Dit is gedaan om de ruis van hele kleine toe- en afnames eruit te halen.
3. Per 10 min is vervolgens bepaald wat de toe- en afname chloride is.
4. Per 10 min is ook bepaald wat de windrichting en -kracht was.
5. Voor elke van de 3 periodes van nalevering is voor elke combinatie windrichting en -kracht de toe- en afname gesommeerd.
6. Voor elke periode is de totale duur in minuten van elke combi windrichting en -kracht bepaald.
7. De gesommeerde toe- en afname chloride per windrichting en-kracht per periode is opgeteld om een totaalplaatje over alle drie de periodes te krijgen.
8. Opgetelde toe- en afname chloride is gedeeld door de duur van opgetreden combi windrichting en -kracht. Zo wordt een gemiddelde toe- en afname per minuut verkregen. Effect van veel of weinig voorgekomen wind is daarmee weggehaald. Dit betekent wel dat wanneer een bepaalde combi van windrichting en -kracht maar weinig is voorgekomen tijdens de naleverproef is de gemiddelde toe- en afname per minuut is dan gebaseerd op minder metingen.

In de figuren Figuur 19 en Figuur 20 is het resultaat van de analyse weergegeven. Linksboven in de figuren is de wind gedurende de naleverperiodes weergegeven. Hou er rekening mee dat de verticale schaal in de figuren toe- en afname verschillen.

De verkregen waarde laat zien hoeveel toe- of afname bij de betreffende sensor gemiddeld is waargenomen bij een specifieke combinatie van windkracht en – richting. Een toename betekent dat er nalevering heeft plaatsgevonden. Op basis van de figuren is echter niet te zeggen of dit verticale of horizontale nalevering is. Wel waren de putten bij Middelharnis en inloop Spui zoet, dus een toename op deze meetpunten zijn altijd het gevolg van horizontale nalevering.

Netto meer toename dan afname chl in de bovenste lagen. Logisch want anders hadden we geen nalevering waargenomen. Netto verschil is wel groot.

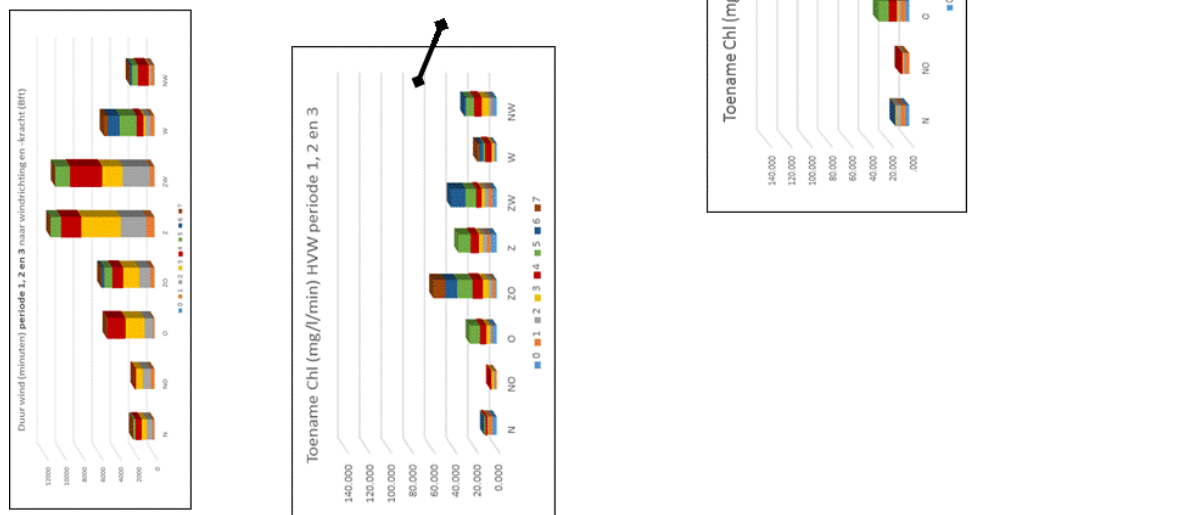
Er wordt vooral een respons waargenomen bij een windkracht van 3 a 4 Bft. Meer respons aan de zuidkant, maar hier zat initieel ook meer zout in het systeem. Opvallend dat bij de weinig voorgekomen windkracht 5 en groter toch een grote respons. Echter hoewel maar klein, toch ook effecten bij lagere wind waargenomen. Indien achtergrondconc hoog zijn, dan is er maar weinig marge voor een toename van de chlorideconcentraties. Een kleine toename kan dan al een overschrijding veroorzaken.

Bij Middelharnis valt op dat vooral een krachtige ZO wind een groot effect heeft. Dit kan gevolg zijn van onderstroom die bij Middelharnis opwoelt en mengt. Wellicht door stuwing over de drempel met geul F. Bij windkracht 3 a 4 is het vooral de NO wind die doorwerkt.

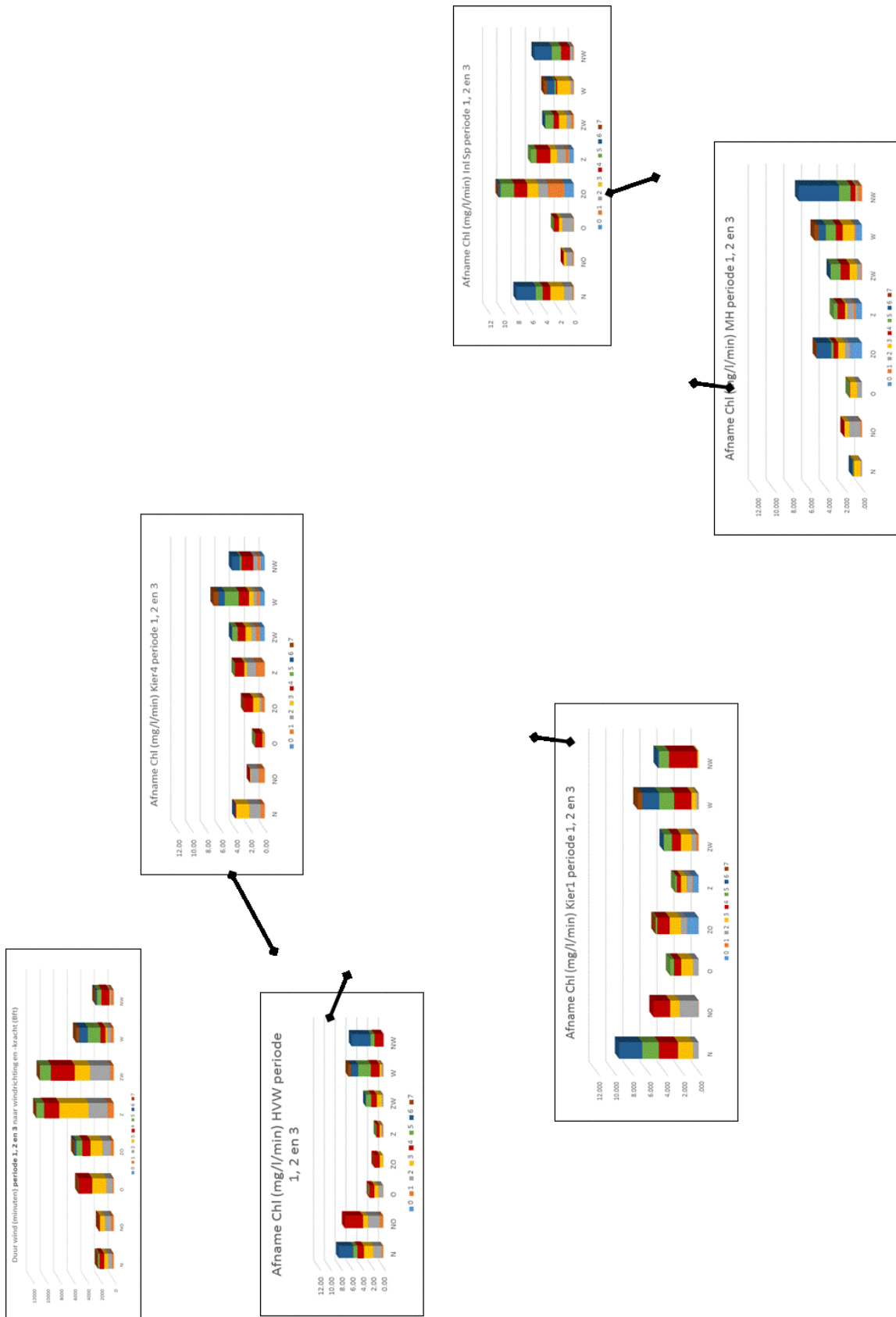
Bij Inloop Spui wordt zeer beperkte toename waargenomen. Zelfs bij deze extreme situatie chlorideverspreiding lijkt er geen risico voor Nalevering richting Spui te zijn.

Het Aardappelengat lijkt door het eiland afgeschermd voor wind uit NW, N en NO richting.

Nalevering waarschijnlijk een continue aanwezig proces. We zijn nu dus de relatie tussen snelheidsverschillen in de nalevering en de omstandigheden aan het zoeken.



Figuur 19: GEM TOENAME Chl (mg/l/min*10³) periode 1, 2 en 3



Figuur 20: GEM AFNAME Chl (mg//min*10³) periode 1, 2 en 3

3.3.2 *Chlorideconcentratie bij aanvang naleverperiode*
XXNog gepland: zelfde plaatjes voor de toename maar dan per periode zodat we misschien kunnen zien wat verschil in startsituatie (diepte spronglaag) voor effect heeft.

3.3.3 *Getijslag*
XXMisschien nog naar kijken als data beschikbaar is. En bij 3.2 nog plaatje van getijslag tijdens de proef.

3.3.4 *Achtergrondconcentratie*
Tijdens de naleverperiodes 1 en 2 lag de achtergrondconcentratie rond de 70 mg/l. Bij periode 3 lag deze hoger, rond de 90 mg/l. XX

3.4 **Conclusies en aanbevelingen**

3.4.1 *Conclusies*
Systeemwerking
- Weinig wind doet ook al wat
- Vanaf 4 Bft pas echt effect, terwijl veel minder voorgekomen
- Afname is diverser: misschien ruis
- Bij Inloop Spui weinig risico. Bij MH eigenlijk alleen bij harde wind en uit het ZO.
- XXHoe groot is risico bij veel voorkomende zomer/najaarwind?
- XXLijkt risico juist groter bij grote chl conc met scherpe spronglaag of juist bij omgekeerde situatie?
- XXIets zeggen over de startsituatie.

Operationeel:

- Is risico bij andere startsituatie kleiner?
- Sturen op een gunstige startsituatie?
- Kunnen we zo sturen op startsituatie dat risico klein is?

3.4.2 *Aanbevelingen verdiepende analyses*
Typ hier je tekst

3.4.3 *Aanbevelingen vervolgonderzoeken*
- Onderzoek naar nalevering bij startsituatie lagere chl conc en minder naar Oosten verspreid.

4 Samenvatting conclusies en aanbevelingen

Typ hier je tekst

4.1 **Conclusies**

Typ hier je tekst

4.2 **Aanbevelingen voor verdiepende analyses**

Typ hier je tekst

4.3 **Aanbevelingen voor vervolgonderzoeken**

Typ hier je tekst

CONCEPT