

Onderzoek naar effecten van de Zoutdam IJmuiden



Onderzoek naar effecten van de Zoutdam IJmuiden

Auteur(s)

Tom O'Mahoney

Arnout Bijlsma

Sam Majvis

Erik Ruijgh

Nienke Kramer

Afbeelding kapt

© Rijkswaterstaat | Harry van Reeken

Onderzoek naar effecten van de Zoutdam IJmuiden

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat West-Nederland Noord
Contactpersoon	Barry Kruithof
Referenties	11211309-000-HYE-0001
Trefwoorden	Gemaal IJmuiden, Selectieve Onttrekking, Zoutscherm, Zoutdam IJmuiden

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	17-01-2025
Projectnummer	11211309-002
Document ID	11211309-002-HYE-0001
Pagina's	57
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Tom O'Mahoney Arnout Bijlsma Sam Maijvis Erik Ruijgh Nienke Kramer	

Samenvatting

De zoutdam IJmuiden is met het plaatsen van de zakdeur in de scheepvaartopening van het zoutscherm op 22 oktober 2024 voltooid. In de dagen daarna werd bij het gemaal ontdekt dat de waterstand bij de pompen lager kwam dan de minimale grens van NAP -0,70 m (de 'aanzuigbewakingsgrens') die de pompleverancier hanteert om luchtaanzuiging en schade door cavitatie te voorkomen. Dit was reden tot zorg, omdat met het gereedkomen van het zoutscherm en de bijhorende afname in spucapaciteit de pompen nu vaker gebruikt zullen moeten worden. Om de weerstand van het zoutscherm te reduceren is op 11 november 2024 de zakdeur weer geopend, waardoor de waterstand bij de pompen niet meer onder de aanzuigbewakingsgrens komt als het NZK peil op het gemiddelde niveau van NAP - 0,40 m staat. De zoutdam IJmuiden wordt momenteel dus niet gebruikt op de manier waarvoor het bedoeld is.

De voorliggende studie van Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat West-Nederland Noord is tweedelig. In eerste instantie wordt onderzocht wat voor effect te verwachten is van het zoutscherm (met en zonder zakdeur) op de waterstand bij het gemaal. Daarnaast brengt deze studie de gevolgen op de functionele prestatie van mogelijke beheersmaatregelen in beeld voor de verschillende functies van het watersysteem (waaronder waterveiligheid, waterbeschikbaarheid en scheepvaart) voor de gehele IJmond regio. Het onderzoek van Deltares beperkt zich tot de hydrodynamische/hydraulische aspecten. Inschattingen van engineering aspecten, kosten en doorlooptijd van de maatregelen zullen nader bepaald moeten worden. Eerder was Deltares betrokken bij het hydraulisch onderzoek naar het zoutscherm.

Op hoofdlijnen zijn de bevindingen in de voorliggende studie over de effecten van het zoutscherm als volgt:

- **Met het plaatsen van het zoutscherm is het niet meer mogelijk om de originele ruimte in het peilbeheer te benutten zonder schade aan de pompen te veroorzaken.**
- Voor het plaatsen van het zoutscherm was er weinig operationele ruimte in het systeem, het waterpeil varieert tussen de NAP -0,3m en NAP -0,55m. Het verval over het krooshek bedroeg 10cm en 15cm in deze periode en zal er vermoedelijk voor hebben gezorgd dat de waterstand bij de pompen dicht in de buurt van NAP - 0,70 m is geweest bij lage kanaalwaterstanden.
- Sinds het plaatsen van het zoutscherm is er een extra verval dat het totaal verval tussen de Velserkom en de ingang van de pompen groter maakt.



- Als de pompen op volle kracht draaien en de zakdeur in het zoutscherm dicht is, wordt een totaal verval (verval over het scherm plus verval over het krooshek) van 30 cm gemeten tussen het Noordzeekanaal (bij de Velserkom) en de pompen (benedenstrooms van het krooshek). Daaruit volgt dat bij een peil van NAP - 0,40 m (het gemiddelde peil op het Noordzeekanaal) de waterstand bij de pompen

NAP - 0,70 m zal zijn, de thans aangehouden 'aanzuigbewakingsgrens'. Er is hierdoor geen ruimte om het peil op het Noordzeekanaal lager dan NAP - 0,40 m te zetten. Dat betekent dat wanneer een hoge afvoer verwacht wordt, de buffer in het systeem niet benut kan worden voor bijvoorbeeld voormalen in periode van een hoge afvoerverwachting.

- Het draaien van de pompen op halve kracht leidt tot een totaal verval van ongeveer 20 cm tussen het Noordzeekanaal en de pompen.
- De aanzuigbewakingsgrens van NAP – 0,70 m is niet opgenomen in de hydraulische randvoorwaarden van het zoutscherm; er is ook geen rekening gehouden met de aanzuigbewakingsgrens in het ontwerp van het zoutschermen er is geen rekening gehouden met het extra verval over het krooshek In de thans beschikbare documentatie van het gemaal is de grens van NAP - 0,70 m niet nauwkeurig onderbouwd, bijvoorbeeld met een uitgebreid hydraulisch onderzoek. Maar het is wel een gegeven dat door een te lage waterstand bij de pomp cavitatie en/of trillingen kunnen optreden, waardoor schade aan de pompen ontstaat. Dit is een groot risico voor de betrouwbaarheid van het hele watersysteem.
- Als de zakdeur open blijft is het totale verval maximaal 23 cm. Dit is gemeten in de periode tussen 18 oktober en 18 november, waarbij de pompen op vol vermogen draaiden. Dit biedt enige ruimte voor waterbeheer op het Noordzeekanaal. Er is dan een verlaging mogelijk tot NAP -0,45 m, waarbij een marge van 2 cm is aangehouden. De beschikbare ruimte voor waterbeheer op het Noordzeekanaal is in dit geval 10 cm kleiner dan in het huidige peilbesluit (tussen NAP - 0,30 m en NAP - 0,55 m).
- Het gemeten effect van het zoutscherm op de waterstanden en zoutgehalte in het Binnenspuikanaal komt overeen met het resultaat van eerder door Deltares uitgevoerd hydraulisch onderzoek.

Tabel 1-1 Overzicht van waterstanden op het Noordzeekanaal en bij de pompen voor de situatie met en zonder zoutscherm en met zakdeur open en dicht. Bij de rode cellen komt de waterstand onder de aanzuigbeveiligingsgrens van de pompen (-0,7m NAP). De vervallen in de tabel zijn gebaseerd op gemeten vervallen tijdens bedrijf.

		zonder zoutscherm			met zoutscherm (zakdeur dicht)			met zoutscherm (zakdeur open)		
Waterstand NZK (volgens peilbesluit)	m NAP	-0,3	-0,4	-0,55	-0,3	-0,4	-0,55	-0,3	-0,4	-0,55
Verval zoutscherm*	m	0			0,18			0,11		
Verval kroosrek	m	0,12 (0,1-0,15)**			0,12 (0,1-0,15)**			0,12 (0,1-0,15)**		
Max. totaal verval	m	0,15			0,30			0,23		
Waterstand pompen***	m NAP	-0,42	-0,52	-0,67	-0,6	-0,7	-0,85	-0,53	-0,63	-0,78
Marge	m	0,28	0,18	0,03	0,1	0	-0,15	0,17	0,07	-0,08

* afhankelijk van de dichtheid aan beide zijden van het zoutscherm

** afhankelijk van de mate van vervuiling van het kroosrek

*** uitgaand van een gemiddeld verval over krooshek van 0,12m

Dit rapport beschrijft ook de gevolgen van mogelijke beheersmaatregelen op de verschillende functies van het watersysteem. Dit leidt tot aanbevelingen bij de verschillende assets in IJmuiden (gemaal, spuisluizen, zoutscherm en schutsluis) en in het waterbeheer gegeven de bevindingen hierboven. Er wordt ook een eerste afweging gemaakt van verschillende strategieën (combinaties van maatregelen) met betrekking tot de functies waterveiligheid, scheepvaart en waterbeschikbaarheid. Sommige beheersmaatregelen vragen een complex waterbeheer (met afstemming van de omgeving) of een groter risico op het falen van de pompen.

Uit de analyse van de mogelijke beheersmaatregelen volgt de aanbeveling om vier stappen te onderscheiden (hieronder nader toegelicht) om de risico's te beperken van de negatieve effecten van het zoutscherm op het gemaal, namelijk:

1. Per direct een aantal no-regret maatregelen implementeren.
2. Op korte termijn Strategie 4 "Geleidelijk Zeesluis IJmuiden vaker gebruiken" implementeren met een aantal beheersmaatregelen.
3. Overwegen om op middellange termijn constructieve maatregelen uit te voeren, en;
4. Op lange termijn permanente constructieve maatregelen realiseren bij de Vernieuwing van het spui- en gemaalcomplex.

De no-regret maatregelen betreffen operationele maatregelen, om het huidige beheer van het watersysteem te verbeteren. Deze worden beschreven in Sectie 5.4.

Van de strategieën die in dit rapport geschetst zijn, lijkt op korte termijn Strategie 4 het meest kansrijk. In deze Strategie 4 blijft de zakdeur van het zoutscherm over het algemeen open en wordt er gaandeweg ervaring opgedaan met de zakdeur dicht in situaties dat de afvoerspellingen dat toelaten zodat de pompen niet op volle capaciteit met de zakdeur dicht hoeven te draaien.

Als het gebruik van de Zeesluis IJmuiden ook geleidelijk toeneemt, het zoutgehalte in het Noordzeekanaal goed wordt gemonitord en er tijdig wordt gehandeld aan de hand van het verziltingsprotocol kunnen de risico's van overmatige verzilting klein gehouden worden. Hierbij is het belangrijk dat de Noordersluis voorlopig open blijft zodat de geplande en verwachte schuttingen door kunnen gaan zonder de extra zoutlast van de Zeesluis. De beschikbaarheid van het sluisencomplex als geheel kan hierdoor hoog blijven zodat schutbeperkingen een uitzondering zijn vanwege de negatieve gevolgen voor de scheepvaart.

De marges in het watersysteem voor waterbeheer en Slim Watermanagement zijn klein en een groot deel van beheerruimte onder NAP – 0,4 m is niet meer bruikbaar door de bouw van het zoutscherm. De risico's van hoge waterstanden op het system ARK-NZK zijn hierdoor toegenomen ten opzichte van de recente studies naar faalkansanalyse [1] [2], de zoutdam, waarin het effect van de het zoutscherm op de waterstand voor het gemaal onvoldoende is meegenomen. Noodmaatregelen in het systeem zullen vaker getroffen moeten worden, zoals het inzetten van extra afvoercapaciteit bij de Zeesluis (spuien) of Zeeburg (pompen).

De operatie van de assets in dit gebied hebben een sterke interactie met elkaar en zullen met elkaar moeten worden afgestemd. Hoe de operatie de komende tijd precies eruit moet gaan zien is buiten de scope van deze studie en zal de komende tijd in meer detail uitgewerkt moeten worden.

Doordat de marges in waterstand bij het gemaal zo klein zijn, is er bij een klein beetje extra verval al kans op cavitatieproblemen bij de pompen. Dit is onwenselijk voor een pompstation dat zo belangrijk is voor de waterafvoer van een groot deel van West-Nederland. Op de middellange termijn (orde 5 jaar) is het daarom van belang om een robuuster systeem te creëren door aanpassingen aan de objecten; het gemaal en/of het zoutscherm. De effectiviteit (en kosten) van de verschillende maatregelen moet nog nader onderzocht worden. Alle opties zullen waarschijnlijk redelijk ingrijpende constructieve aanpassingen inhouden voor het gemaal en/of het zoutscherm.

Bij een vernieuwing van het spui- en gemaalcomplex (op dit moment voorzien over 9 jaar, lange termijn) kan ervoor gezorgd worden dat de aanzuigrens lager ligt, zodat meer ruimte ontstaat voor het peilbeheer.

Inhoud

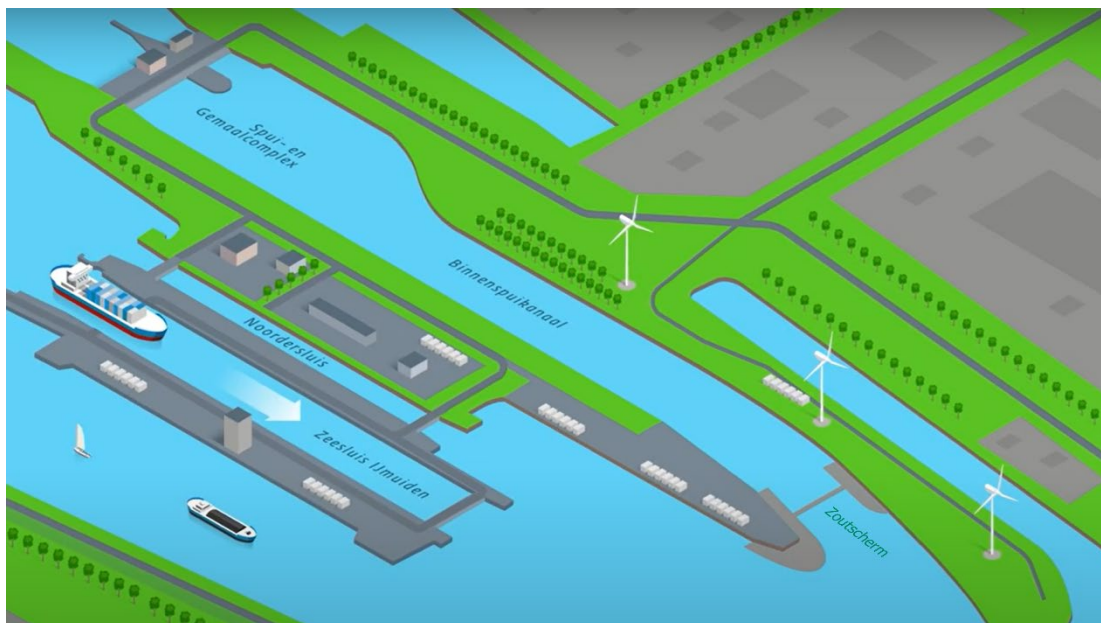
	Samenvatting	4
	Inhoud	7
1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Beschrijving het spui- en gemaalcomplex en het zoutscherm	9
1.3	Recente gebeurtenissen bij de bouw van het zoutscherm	10
1.4	Vraagstelling RWS	11
1.5	Aanpak	11
2	Beschikbare data, literatuur en informatie	13
2.1	Beschikbare data	13
2.2	Verslag uit overleggen: Problemen bij het gemaal	15
2.3	Literatuur: pompgedrag	16
2.4	Literatuur: inschatting effect van zoutscherm op spuien en pompen	17
3	Analyse van de beschikbare gegevens	19
3.1	Analyse werking zoutscherm uit data	19
3.2	Analyse van het verval over het zoutscherm	20
3.3	Analyse totaal verval tussen Velserkom en pompen	21
4	Verkenning mogelijke maatregelen	24
4.1	Mogelijke korte termijn of tijdelijke maatregelen	24
4.1.1	Aanpassingen bij de assets	24
4.1.2	Aanpassingen in het peil- en zoutbeheer	25
4.2	Mogelijke permanente oplossingen	26
4.2.1	Aanpassingen bij de assets	26
4.2.2	Aanpassingen in het peil- en zoutbeheer	27
5	Mogelijke strategieën	28
5.1	Hoe worden deze mogelijke strategieën samengesteld?	28
5.2	Wat is het effect op verschillende functies?	28
5.2.1	Functie Waterveiligheid en Wateroverlast	28
5.2.2	Functie scheepvaart	30
5.2.3	Functie waterbeschikbaarheid	32
5.2.4	Effect op ecologie	33
5.3	Hoe worden de strategieën beoordeeld?	34
5.4	Welke maatregelen zijn no-regret en kunnen bij elke strategie toegepast worden?	35
5.5	Strategie 1 (S1): Zoutscherm volledig in werking – Accepteer risico op pompschade	37

5.6	Strategie 2 (S2): Zoutschermer volledig in werking – hoger NZK peil	38
5.7	Strategie 3 (S3): Doorgaan met Noordersluis tenzij	39
5.8	Strategie 4 (S4): Geleidelijk Zeesluis vaker gebruiken – zakdeur voornamelijk open	40
5.9	Strategie 5 (S5): Zeesluis zo veel mogelijk gebruiken	41
6	Conclusies en aanbevelingen	43
6.1	Conclusies	43
6.2	Aanbevelingen	44
6.2.1	Mogelijke no-regret maatregelen implementeren	44
6.2.2	Strategie 4 “Geleidelijk Zeesluis vaker gebruiken” implementeren	44
6.2.3	Mogelijke constructieve maatregelen overwegen	45
6.2.4	Permanente constructieve maatregelen realiseren bij de Vernieuwing van het spui- enemaalcomplex	45
7	Referenties	46
A	Aanvullende data en gevoeligheidsanalyse	48
A.1	Aanvullende data	48
A.1.1	Aangeleverde data meetpunt H _x in het Binnenspuikanaal	48
A.1.2	Dichtheden Binnenspuikanaal en Velserskom	49
A.1.3	Bedrijf spui- en maalcomplex IJmuiden	49
A.1.4	Zoutlast Noordersluis	50
A.1.5	Spuisluizen IJmuiden	51
A.1.6	Verval over het krooshek	52
A.2	Gevoeligheidsanalyses	53
A.2.1	Gevoeligheidstests berekening waterstand op punt H _x	53
A.2.2	Toepassing waterstandsmetingen H ₉ en H _{BSK} in het Binnenspuikanaal	54
A.2.3	Middeling data tot 10 minuten intervallen	55
A.2.4	Controle implementatie verschuiving tussen tijdzones	56

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Om de extra zoutindringing veroorzaakt door de nieuwe Zeesluis in IJmuiden te mitigeren, legt Rijkswaterstaat in de monding van het Binnenspuikanaal (BSK) de zoutdam IJmuiden aan in het project Selectieve Onttrekking IJmuiden (SO-IJ), zie Figuur 1-1. Dit zoutscherm zorgt ervoor dat het zoute water dat zich onder in de Velserkom bevindt zo snel mogelijk weer naar zee wordt afgevoerd, zodat de zoutindringing naar het Noordzeekanaal niet groter wordt door het gebruik van de nieuwe Zeesluis. Deltares heeft het hydraulisch onderzoek naar dit zoutscherm uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud.



Figuur 1-1 Situatie schetst van het complex bij IJmuiden

1.2 Beschrijving het spui- en gemaalcomplex en het zoutscherm

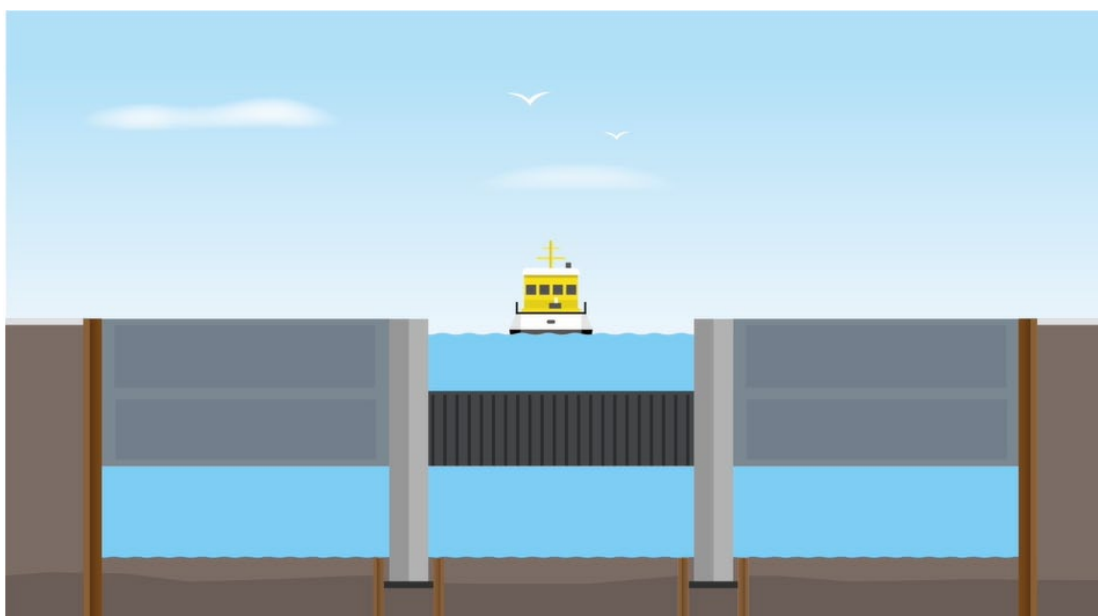
Het Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden is een primaire waterkering die er ook voor zorgt dat overtollig water van het Noordzeekanaal naar de Noordzee wordt afgevoerd. De spuisluis bestaat uit zeven spuiokers met een totale maximumcapaciteit van 700 m³/s, en het gemaal bestaat uit zes pompen met een totale maximumcapaciteit van 260 m³/s. Er zijn twee maalgangen voor nieuwe Nijhuis pompen (maalgang 5 en 6) uit 2004 en 4 maalgangen met oude Stork pompen (maalgang 1 t/m 4). Deze 4 stammen uit 1974. In 2024 is een de nieuwe pomp beschikbaar gekomen (Pomp 7), die in maalgang 5 en 6 kan worden geplaatst. Recentelijk is maalgang 3 ook gerenoveerd zodat pompen 5-7 ook geplaatst kunnen worden in deze maalgang. Als één van de nieuwe Nijhuis pompen in maalgang 3 gebruikt wordt, dan is de maximum capaciteit van het gemaal 270 m³/s.

Bij iedere schutting door de schutsluizen komt er zoutwater mee het Noordzeekanaal op. Met de ingebruikname van de nieuwe Zeesluis IJmuiden neemt de hoeveelheid zoutindringing in het Noordzeekanaal toe, wat onwenselijk is voor drinkwatervoorziening, ecologie (natuur) en de landbouw. Om de zoutindringing tegen te gaan is “De zoutdam IJmuiden” gebouwd (ook aangeduid als Selectieve Onttrekking IJmuiden, SO-IJ). Dit is een zoutscherm in het Binnenspuikanaal met een opening aan de onderzijde van de constructie, waardoor met name

het zwaardere zoute water wordt onttrokken en naar de Noordzee wordt gepompt of gespuid. Hierdoor wordt er zo min mogelijk zoet water verspild. Er is ook een deur in het zoutscherm waardoor bijvoorbeeld een schip voor onderhoud toegang kan krijgen tot het Binnenspuikanaal (Figuur 1-3). Deze deur wordt de zakdeur genoemd. De deur is¹ bestand tegen 60 bewegingscycli per jaar, waarbij één cyclus uit het volledig openen en sluiten bestaat. Vaker kan, maar heeft vooral gevolgen voor vermoeiing en dus levensduur. Een schematisch zijaanzicht van het Binnenspuikanaal is weergegeven in Figuur 1-2. Door het plaatsen van het zoutscherm ontstaat er een verval tussen de Velserkom en het Binnenspuikanaal. De maalgangen worden afgeschermd door een krooshek dat er voor zorgt dat de pompen niet beschadigd raken door 'vuil' dat meedrijft met de stroming in het Binnenspuikanaal. Wanneer de pompen van Gemaal IJmuiden in bedrijf zijn, ontstaat er vanwege het krooshek ook een verval tussen het Binnenspuikanaal en de pompen.



Figuur 1-2: Zijaanzicht van Gemaal IJmuiden, met aan de bovenstroomse zijde het krooshek en het zoutscherm.



Figuur 1-3: Vooraanzicht van het zoutscherm, met geopende zakdeur in de scheepvaartopening.

1.3 Recente gebeurtenissen bij de bouw van het zoutscherm

In het najaar van 2022 is de aannemer begonnen met de bouw van het zoutscherm. De landhoofden en het bodemprofiel zijn eerst aangelegd. De pijlers van het zoutscherm zijn geplaatst op 30 en 31 maart 2024. De zoutscheidende wanden van het zoutscherm zijn in de laatste 2 weken augustus 2024 geplaatst (21, 22 en 23 augustus de onderste wanden, en 26 en 27 augustus de bovenste wanden voor de noordelijke en zuidelijke opening). De 4 vispassages volgden in september 2024 (de 2 kokers bij de pijlers op 10 september, en de 2 kokers bij de landhoofden op 24 en 25 september). Met de plaatsing van de zakdeur voor de

¹ Conform SE01684 uit het contract

scheepvaartopening van het zoutscherm op 22 oktober 2024 omstreeks 13 uur is het zoutscherm in constructief opzicht grotendeels afgerond. In de komende periode zijn nog diverse testen voorzien (o.a. van de zakdeur) en verificatie metingen in januari 2025, alvorens het zoutscherm en zakdeur volledig operationeel zijn.

Het gemaal IJmuiden is een sleutelobject in het systeem Noordzeekanaal (NZK) dat binnen kleine marges van peilvariaties moet worden beheerd [3]. De completering van het zoutscherm met de plaatsing van de zakdeur betekent een lagere waterstand bovenstrooms van de pompen bij het gemaal (vanwege hydraulisch weerstand en dichtheidsverschillen). Hierdoor veranderen de operationele waterstanden van het spui- en maalcomplex. Specifiek wordt een hydraulisch grens van pompen 5 en 6 bereikt doordat de waterstand voor de pompen lager komt dan de minimum NAP - 0,70 m (waarneming in de weken na het plaatsen van de zakdeur, bij de andere pompen werd niet gemeten). Deze grens komt uit het bestek van de pompen [4]. Vanwege de gesignaleerde problemen bij de pompen is de zakdeur op 15 november gestreken (omstreeks 12 uur) tot een nog nader te bepalen moment. Hierdoor is het verval over het zoutscherm afgenomen (minder weerstand, lagere dichtheid in het BSK en dus hogere waterstand voor de pompen) en is de waterstand bij de pompen sindsdien (voor zover data beschikbaar is) hoger dan de minimum geëiste NAP - 0,70 m.

Naast het bovenstaande speelt het project *Vernieuwing Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden*. Van woensdag 16 oktober tot en met dinsdag 26 november 2024 ligt het startdocument *Vernieuwing Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden* ter inzage. Het vormt de start van de planstudie voor het vernieuwen van het spui- en maalcomplex. Dit complex moet vervangen worden omdat veel onderdelen van het complex aan het einde van hun levensduur zijn. Voor verdere informatie en documenten rondom het Vernieuwingsproject (zie <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2024/10/aanpak-voor-vernieuwing-spuien-gemaalcomplex-ijmuiden-ter-inzage>). Dit gegeven kan een rol spelen bij het bedenken van beheersmaatregelen ter bestrijding van de problemen.

1.4 Vraagstelling RWS

De definitieve vraagstelling van RWS richting Deltares van 18 november 2024 luidt als volgt:

- Gevraagd wordt een analyse te maken van het effect van het plaatsen van het zoutscherm, en met name de zakdeur, op het functioneren van het gemaal en het spui in IJmuiden, het gebruik van de Zeesluis IJmuiden en het waterbeheer van het NZK.
- Verzocht wordt daarbij uit te gaan van een integrale benadering tussen de assets (gemaal/spui, zoutscherm, nieuwe Zeesluis) en het waterbeheer van het NZK.
- Gevraagd wordt om 3 à 4 strategieën uit te werken over hoe het beste kan worden omgegaan met de effecten van het plaatsen van het zoutscherm, en via een integrale benadering het effect op verschillende functies in beeld te brengen.

1.5 Aanpak

Ter beantwoording van de vraag is op hoofdlijnen de volgende aanpak gevolgd:

- Doornemen gerelateerde rapportages over project SO-IJ, het gemaal en het systeem Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal (ARK-NZK), overleg (of overleggen) met WNN (beheerder), PPO (V&R spui-maalcomplex), GPO (SO-IJ).
- Analyse huidige situatie op basis van beschikbare metingen rondom het Binnenspuikanaal en het spui- en maalcomplex. Bepalen welke waterstanden kunnen worden verwacht in welke situatie.
- Uitwerken mogelijke beheersmaatregelen.
- Discussie met vertegenwoordigers van verschillende functies van het spui- en maalcomplex om effecten van 'mogelijke beheersmaatregelen door te nemen: bijv. effect op pompen en spuisluis (o.a. cavitatie, afvoercapaciteit), op werking zoutscherm

en zoutgehalte in Noordzeekanaal, op andere functies zoals scheepvaart, en waterbeheer.

- Aanbevelingen formuleren met advies voor concrete vervolgstappen.

Afbakening

- Het onderzoek van Deltares beperkt zich tot de hydrodynamische/hydraulische aspecten. Inschattingen van engineering aspecten, kosten en doorlooptijd zullen nader bepaald moeten worden door derden.
- Deze studie wordt in een korte tijd uitgevoerd (drie weken) waardoor het niet mogelijk is om alle risico's van de beschouwde beheersmaatregelen te kwantificeren. Er wordt voornamelijk gebruik gemaakt van bestaande studies en literatuur samen met velddata van een korte periode van enkele weken rondom het plaatsen van de zakdeur in het zoutscherm. Voor beheersmaatregelen die voorafgaande aan de bouw van het zoutscherm niet voorzien waren, moeten de risico's geschat worden op basis van expert kennis en extrapolaties van eerdere studies.

2 Beschikbare data, literatuur en informatie

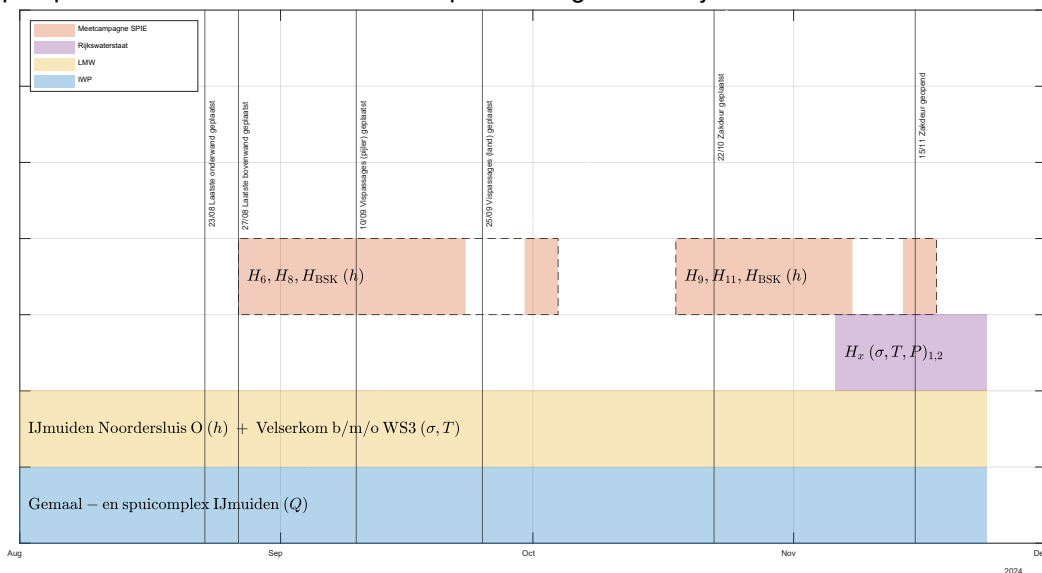
In dit hoofdstuk wordt de beschikbare data rondom het gemaal IJmuiden in de afgelopen periode beschreven, samen met literatuur over het gemaal, het zoutscherm en het effect van het zoutscherm (selectieve onttrekking) op het systeem Noordzeekanaal – Amsterdam-Rijnkanaal (NZK-ARK). Deze data en informatie worden vervolgens gebruikt (in Hoofdstuk 3) om in beeld te brengen onder welke omstandigheden een te lage waterstand bij de pompen zou kunnen voorkomen.

In de periode van dit onderzoek (drie weken tussen 11 november 2024 en 29 november 2024) hebben ook meerdere overleggen plaatsgevonden tussen Deltares en Rijkswaterstaat. Overleggen hebben plaatsgevonden met beheerders van het gemaal bij RWS-WNN (West-Nederland Noord), met mensen verantwoordelijk voor waterbeheer bij RWS-WNN, met mensen verantwoordelijk voor scheepvaart bij RWS-VWM en RWS-WNN, met mensen van het projectteam SO-IJ bij RWS-GPO en met beheerders en portfolio managers in de regio bij RWS-PPO en RWS-GPO. Er zijn ook vertegenwoordigers van aannemer SPIE aanwezig geweest bij enkele overleggen en zowel SPIE als RWS hebben data en literatuur toegeleverd.

De bevindingen uit de gesprekken binnen deze overleggen en e-mail contact daarbuiten zijn in dit hoofdstuk samengevat. Daarnaast wordt een beschrijving van de beschikbare data gegeven. Een overzicht van alle gebruikte literatuur wordt aan het eind van dit document gegeven (Hoofdstuk 7).

2.1 Beschikbare data

Figuur 2-1 geeft een overzicht weer van alle beschikbaar gestelde en opgevraagde data, en van alle opmerkenswaardige gebeurtenissen die tijdens de meetcampagnes plaats vonden. Figuur 2-2 geeft de locaties van de meetpunten die in de analyses in Hoofdstuk 3 zijn toegepast weer. Uit Figuur 2-1 is te zien dat er beperkte periodes zijn waarin zowel waterstanden bij de pompen en dichtheden in het Binnenspuikanaal gemeten zijn.



Figuur 2-1: Overzicht van alle opmerkenswaardige gebeurtenissen met betrekking tot de configuratie van het zoutscherm en de beschikbare gestelde en opgevraagde data. De beschrijving van de specifieke metingen is hieronder weergegeven.



Figuur 2-2: Overzicht van de meetlocaties van de gebruikte meetdata, aangeleverd door SPIE (▲) en Rijkswaterstaat (■), of opgevraagd via het LMW (◆) of IWP (●).

Uit het Landelijk Meetnet Water (LMW) zijn de volgende datareeksen (10 minuten interval) opgevraagd:

- Waterstand [cm NAP] op punt 'IJmuiden Noordersluis O'.
- Geleidbaarheid [S/m] en temperatuur [°C] op punt 'Velserkom b/m/o WS3' (verticale posities - 1, - 6 en - 8 m onder een drijvend ponton – hierdoor ongeveer NAP- 1.4, - 6.4 en - 8.4 m). In de gemeten periode heeft het ponton in het zuidelijke deel van de Velserkom gelegen buiten het werkgebied van het Project SOIJ te zijn. Het is inmiddels (maar na de analyseperiode zoals gebruikt in dit rapport) terug gezet op zijn permanente plaats bij de ingang van het BSK aan de noordelijke kant van de Velserkom.

Uit het Instrument voor Waterpeilbeheer (IWP) zijn de volgende reeksen (10 minuten interval) opgevraagd:

- Debieten Spuisluis IJmuiden²
- Debieten Gemaal IJmuiden, per pomp^{2,3}
- Schutbedrijf (deurstatus) en zoutlast Noordersluis

De meetcampagne van SPIE bestond uit twee fases. De eerste fase betreft metingen in maalgang 1 tot en met 4 en de tweede fase bestond uit metingen in maalgang 5 en 6 [5]. Deze campagne maakte gebruik van radarmetingen voor de waterstand en waren bedoeld als een tijdelijke controle van de waterstandsmetingen op basis van druk die al aanwezig waren. Er is in de uiteindelijke analyses geen gebruik gemaakt van datapunten uit de eerste fase van de SPIE meetcampagne (H_6 en H_8 in Figuur 2-2). In de periode waarin deze punten actief waren (zie Figuur 2-1) vonden veel werkzaamheden plaats (plaatsing laatste bovenwand, plaatsing vispassages, schoonmaak krooshek) waardoor mogelijk veel ruis in de data aanwezig is. Naar verluidt, is ook het peil tijdelijk verlaagd ten behoeve van sommige werkzaamheden (details ontbreken voornamelijk). Hierdoor geeft de gemeten waterstand in die periode geen goed beeld van normale omstandigheden.

² De debieten die in het IWP worden uitgegeven voor spui- en maalcomplex IJmuiden zijn niet gemeten maar berekend met een Q, h -relatie op basis van waterstanden op het NZK. Na de inwerkingtreding van SO-IJ moet een andere relatie worden toegepast [10]. Deze nieuwe relatie wordt op dit moment nog niet toegepast in het IWP.

³ In het IWP wordt soms voor het totaaldebiet van Gemaal IJmuiden $0 \text{ m}^3/\text{s}$ uitgegeven, of de data ontbreekt, ondanks dat één of meerdere pompen in bedrijf waren. In die gevallen is gebruik gemaakt van de som van de debieten per afzonderlijke pomp in plaats van het uitgegeven totaaldebiet.

Uit het tweede deel van de meetcampagne, na ingebruikneming van het zoutscherm, zijn twee punten gebruikt: H_{11} (benedenstrooms van het krooshek en in maalgang 5-6) en H_{BSK} (extra meting bij de spuisluizen). Er is in de analyse van het gemaal geen gebruik gemaakt van punt H_9 (bovenstrooms van het krooshek). Dit punt geeft een vergelijkbare waarde als het meetpunt h_{BSK} (dat voor de ingang van de spuisluizen ligt). Echter omdat de meting op locatie H_9 mogelijk beïnvloed wordt door de versnelling bij de pompen wanneer deze in bedrijf zijn wordt H_{BSK} gebruikt als representatief voor de waterstand in het Binnenspuikanaal. Omdat H_{11} zich in maalgang 6 bevindt is het wellicht niet representatief voor de waterstand in andere maalgangen maar er zijn geen andere metingen beschikbaar van waterstanden benedenstrooms van het krooshek. Op de waterstandsmetingen van SPIE zijn twee bewerkingen uitgevoerd:

- De ontvangen waterstandsmetingen geven elke seconde waardes uit. Omdat de debiet- en waterstandsdata uit het IWP en LMW alleen elke tien minuten beschikbaar zijn, is de data van de radarmetingen gemiddeld per tien minuten. Het resultaat hiervan wordt besproken in Bijlage A.2.3.
- De tijdstippen (in tijdzone UTC+0) van de metingen zijn omgezet naar de lokale tijd door een verschuiving van +2 uur (tot 27 oktober naar GMT+2 DST) of +1 uur (vanaf 27 oktober naar GMT+1). De controle op de implementatie hiervan wordt besproken in Bijlage A.2.4.

Op het meetpunt H_x wordt geleidbaarheid [mS/cm], watertemperatuur [°C] en druk [cm H₂O] gemeten. Van dit nieuwe meetpunt H_x is rechtstreeks van Rijkswaterstaat data verkregen voor de periode 6 tot en met 24 november 2024. Op meetpunt H_x zal uiteindelijk op drie verticale locaties gemeten worden: NAP - 1.4, - 6.4 en - 10.4 m. Op dit moment zijn alleen de locaties NAP - 1.4 en - 6.4 m beschikbaar. De gemeten geleidbaarheid en temperatuur zijn omgerekend naar dichtheid [kg/m³] aan de hand van de UNESCO1981 (zeewater)formulering [6].

De gemeten waterdruk [cm H₂O] op NAP -1.4 m is omgerekend naar [Pa] en vervolgens naar waterstand op het punt H_x aan de hand van de methode beschreven in [7]. Hierbij is aangenomen dat de waterkolom boven de sensor een constante dichtheid (gelijk aan de dichtheid op NAP - 1.4 m) heeft, en dat de sensor een referentiedichtheid van 1005 kg/m³ hanteert. Deze referentiedichtheid is (nog) niet geverifieerd. De berekende waterstanden op H_x zijn een stuk lager dan de gemeten waterstanden op H_8 , H_9 en H_{BSK} uit de meetcampagne van SPIE. Om die reden is de berekende waterstand op H_x niet toegepast in de verdere analyses⁴. Op de metingen van punt H_x is één bewerking uitgevoerd:

- De ontvangen meetdata van punt H_x geeft elke tien seconden waardes uit. Omdat de debiet- en waterstandsdata uit het IWP en LMW alleen elke tien minuten beschikbaar zijn, is de H_x meetdata gemiddeld per tien minuten. Het resultaat hiervan wordt besproken in Bijlage A.2.3.

2.2 Verslag uit overleggen: Problemen bij het gemaal

Op het gemaal in IJmuiden zijn de oude borrelbuis meters vervangen door druksensoren van VEGA (Vegabar 86), zie [5]. Bij de prestatiemetingen voor de nieuwe pomp 7 ontstonden vragen over de juistheid van de nieuwe metingen. Daarom is besloten tot een uitgebreid onderzoek op zowel de Maalgang 1 t/m 4 als op Maalgang 5 en 6, zie [5]. De metingen daaruit zijn beschreven in paragraaf 2.1.

Daarnaast is er sinds april/mei 2024 frequenter trillingsalarm in Maalgang 5 en 6 waargenomen, bij sturing van het debiet naar 50 m³/s, dat zou kunnen wijzen op cavitatie. Als

⁴ Enkele mogelijke oorzaken van het verschil tussen de berekende waterstand op H_x en de radarmetingen zijn een onjuiste referentiedichtheid of een kleine afwijking (enkele centimeters) in de verticale positie van de sensor. Enkele gevoeligheidstests om de gevolgen van deze potentiële afwijkingen te analyseren zijn beschreven in Bijlage A.2.1.

oplossing wordt het debiet begrensd op 47 m³/s. Bij pomp 5 en pomp 7 is cavitatieschade vastgesteld (naast schade door een andere oorzaak bij pomp 7). De oorzaak is mogelijk het niet goed functioneren van de controle op het minimumpeil bij de instroomopening van de pompen (aanzuigbewakingsgrens NAP - 0,70 m, tussen krooshek en pomp). De metingen van de waterstand op basis van druk op deze locatie waren niet juist. NB. Deze problemen waren er dus al vóór dat de wanden in het zoutscherm zijn geplaatst.

Echter, na plaatsing van de zakdeur op 22 oktober 2023, wordt 's nachts bij een pompdebiet van 190 m³/s (volgens IWP) de NAP - 0,70 m al onderschreden. Door het zoutscherm verlaagde waterstand in het Binnenspuikanaal verergert het probleem met de aanzuigbewakingsgrens. De vrees is, dat de totale afvoercapaciteit van de pompen (de pompvolumes) hierdoor fors kan dalen.

Met het oog op de problemen sinds april zijn in de tussentijd de volgende maatregelen genomen:

- Het krooshek beter schoonhouden, om het verval over het kroosrek te beperken. Standaard werd het kroosrek met een grijper/schraper schoongehouden, maar dit werkte niet goed. Op 24 september 2024 werd het krooshek door duikers schoongemaakt.
- De tijdelijke meetcampagne van SPIE is uitgevoerd met radarmetingen als controle van de waterstandsmetingen op basis van druk die al aanwezig waren.
- Pompleverancier vragen naar marges in de contractuele waterstandseis van NAP - 0,70 m. Dit is al verkend bij Pentair Fairbanks Nijhuis, met als resultaat dat hierin geen ruimte zit. Daarom worden het volgende aangehouden:
 - Voor alle Pentair Fairbanks Nijhuis pompen wordt de aanzuigbewakingsgrens van NAP - 0,70 m aangehouden.
 - Voor de Stork pompen wordt voorlopig ook een aanzuigbewakingsgrens van NAP - 0,70 m aangehouden. Wellicht is hier een lagere grens mogelijk omdat de maximale debieten lager zijn.

2.3 Literatuur: pompgedrag

De eis dat de waterstand niet lager mag komen dan NAP - 0,70 m komt uit documentatie van de pompleverancier [4] die een verwijzing maakt naar het bestek van de pompen in 2002 toen het gemaal uitgebreid werd met nieuwe Nijhuis pompen in maalgang 5 en 6. Er is in de documentatie geen rekening gehouden met dichtheidsverschillen of variaties in dichtheid.

Op basis van het pompgedrag bij lage waterstanden (trillingen, extra geluid) lijkt het erop dat cavitatie een rol speelt bij de pompen. Dit is ook waargenomen door de pompleverancier. Cavitatie bij pompen kan optreden door een te laag NPSH (Net Positive Suction Head) niveau of door slechte aanstroomcondities. Op basis van bestaande documentatie van de pompen in IJmuiden [4, 8] lijkt er voldoende NPSH beschikbaar te zijn voor een normaal pompbedrijf. Er is geen documentatie beschikbaar van de aanstrooming naar de pompen dicht bij de inlaat. Dit wordt vaak onderzocht door middel van schaalmodel experimenten. Een globaal beeld uit veldmetingen (zie Figuur 2-3 [9]) geeft reden tot zorg omdat de aanstrooming scheef is, wat een oorzaak kan zijn van oppervlaktewervels. Bij vergelijkbare pompsystemen zijn vaker oppervlaktewervels gezien die een negatief effect op de pomp kunnen hebben. Het is onduidelijk of dit ook bij het gemaal IJmuiden speelt, maar het is aan te raden om de aanstrooming van de pomp te onderzoeken. De oppervlaktestroming moet goed in beeld worden gebracht voor verschillende operationele condities. Dit kan middels camerabeelden bij het gemaal, of door middel van numerieke of schaalmodel experimenten onderzocht worden. Mochten deze oppervlaktewervels aanwezig zijn, dan kan met behulp van een schaalmodel verder worden onderzocht welke maatregelen nodig zijn om te voorkomen dat dit soort wervels

optreden. Hierbij wordt de aanstroming naar de pomp toe onderzocht aan de hand van de acceptatiecriteria zoals beschreven in de ANSI/HI 9.8 standaard⁵.



Figuur 2-3 Dieptegemiddelde stroming naar Gemaal IJmuiden bij een debiet van 220 m³/s [9].

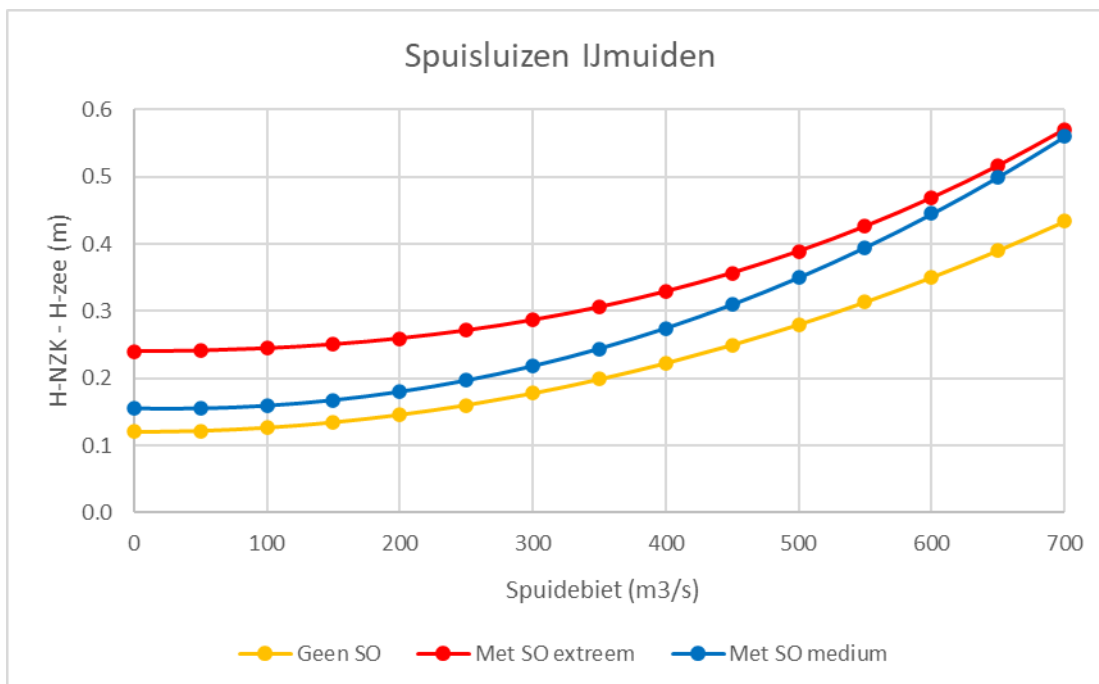
2.4 Literatuur: inschatting effect van zoutscherm op spuien en pompen

Het zoutscherm geeft een additionele stromingsweerstand in het Binnenspuikanaal, waardoor de waterstand bovenstrooms van de spuisluizen lager zal zijn dan voorheen. Dit reduceert de afvoercapaciteit van de spuisluizen en betekent dat de pompen vaker ingezet moeten worden. Dit effect was al bekend en er is onderzoek uitgevoerd om het verval over het scherm te bepalen vooraf aan de bouw [10].

De uiteindelijke inschatting van de effecten van het zoutscherm op de spuisluizen en pompen in de ontwerpfase staat in RWS-GPO memo [11]:

- In het memo is geen aandacht geweest voor de NAP - 0,70 m aanzuigbewakingsgrens.
- In de memo zijn voor de situatie met zoutscherm Q-H krommen afgeleid voor het verlies door dichtheid en stromingsweerstand. Aanbevolen wordt de Q-H kromme voor de gemiddelde situatie te gebruiken in IWP, maar ook in nog op te stellen modellen voor V&R gemaal. De Q-H kromme dient op basis van nieuw te registreren meetdata van zout en debiet gevalideerd te worden in samenhang met waterstandsmetingen.

⁵ Deltares voert veel schaalmodeltesten uit voor pompinlaat systemen en is lid van de ANSI/HI 9.8 commissie.



Figuur 2-4: Afvoerrelatie van de spuisluizen met en zonder zoutscherm (hier SO genoemd). Voorspellingen uit [11]. De rode en blauwe lijnen geven een relatie voor respectievelijk een extreem hoge dichtheid in het BSK en een gemiddelde dichtheid in het BSK.

Figuur 2-4 komt uit deze memo van RWS-GPO [11] en beschrijft het effect van het zoutscherm op de spuidebieten. Deze formules zijn nog niet opgenomen in operatie systeem IWP. Deze formules zijn geldig voor de situatie, waarbij alle volledig kokers open zijn en moeten eerst gevalideerd worden, door middel van een onderzoek en aanvullende metingen.

De marges in het watersysteem voor waterbeheer zijn klein. Een afname in afvoercapaciteit en het vaker gebruiken van de pompen betekent een grotere kans dat hoge waterstanden op het NZK zullen voorkomen. Hier is al onderzoek naar gedaan in een faalkansanalyse [1] [2]. Deze studies zijn van voor het hydraulisch onderzoek naar het verval over het zoutscherm en hebben toen een schatting gebruikt van het verval over het scherm om de afname in spuicapaciteit in kaart te brengen. Het gebruikte verval (5,5 cm) is kleiner dan wat er daarna gemeten is. De risico's van hoge waterstanden op het system ARK-NZK zijn hierdoor toegenomen ten opzichte van die studies (zie paragraaf 5.2.1). Noodmaatregelen in het systeem zullen vaker getroffen moeten worden, zoals het inzetten van extra afvoercapaciteit bij de Zeesluis (spuien) of Zeeburg (pompen).

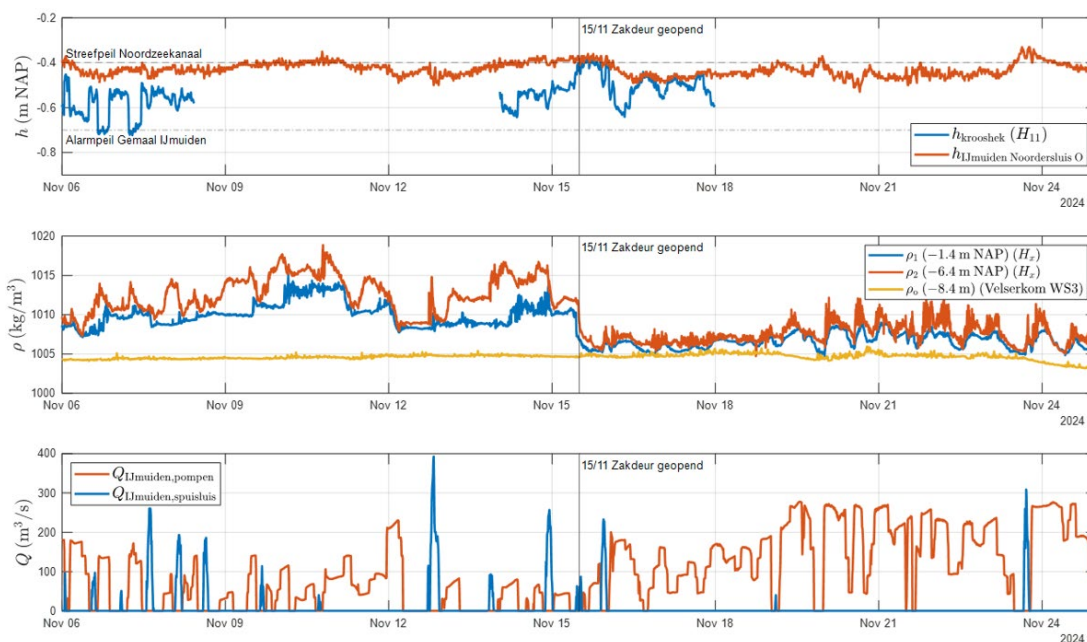
3 Analyse van de beschikbare gegevens

In dit hoofdstuk wordt een analyse gegeven van de waterstanden rondom het Binnenspuikanaal. Daarbij wordt ingegaan op de inmiddels gerealiseerde werking van het zoutscherm (met gesloten en geopende zakdeur). Ook de invloed van het gebruik van de schutsluizen en van het water- en zoutbeheer komen aan bod. De analyse is uitgevoerd op basis van de beschikbare data (zie Paragraaf 2.1).

3.1 Analyse werking zoutscherm uit data

In Figuur 3-1 worden de gemeten waterstanden en debieten rond het spui- en maalcomplex en het zoutscherm weergegeven voor de periode 6 november tot en met 24 november. Uit de dichtheden gemeten op punt H_x blijkt dat het zoutgehalte in het Binnenspuikanaal zelfs hoog in de waterkolom (laagste beschikbare meetpunt NAP - 6.4 m bij een maximale bodemdiepte van ca. NAP -12 m) een stuk hoger wordt dan hoog in de Velserkom (zie Figuur A.2). Na de opening van de zakdeur op 15 november (omstreeks 12 uur) wordt in Figuur 3-1 duidelijk dat de dichtheden in het Binnenspuikanaal hard omlaag duiken door de verminderde werking (door ontbreken zakdeur) van het zoutscherm. Dit duidt erop dat het zoutscherm zeer effectief is in het onttrekken van het zoute water.

In de weergegeven periode zijn maar voor een beperkt aantal dagen radarmetingen beschikbaar (doorgetrokken blauwe lijn). In het begin van deze periode is de zakdeur dicht en in Figuur 3-1 is het ook zichtbaar dat de waterstand gemeten dicht bij de pompen (H11) onder de grens van NAP - 0,70 m komt. Als de zakdeur weer geopend wordt komt de waterstand daar niet zo laag.

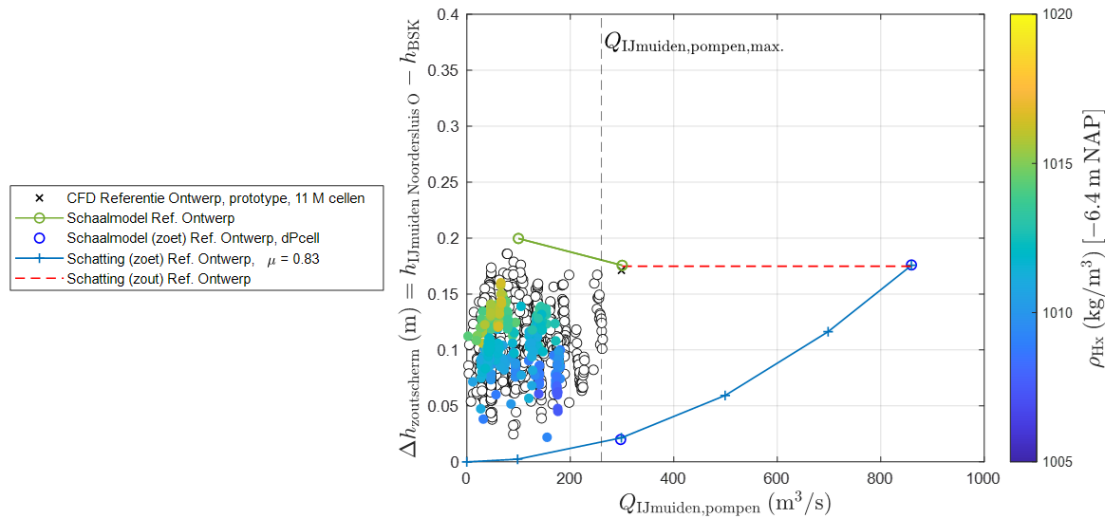


Figuur 3-1: Waterstanden ten oosten van de Noordersluis en bij pomp 6 (boven), de dichtheden op NAP - 1.4 m en NAP - 6.4 m in het Binnenspuikanaal (H_x) en op NAP - 8.0 m in de Velserkom (midden), en de debieten door gemaal en spuisluizen (onder).

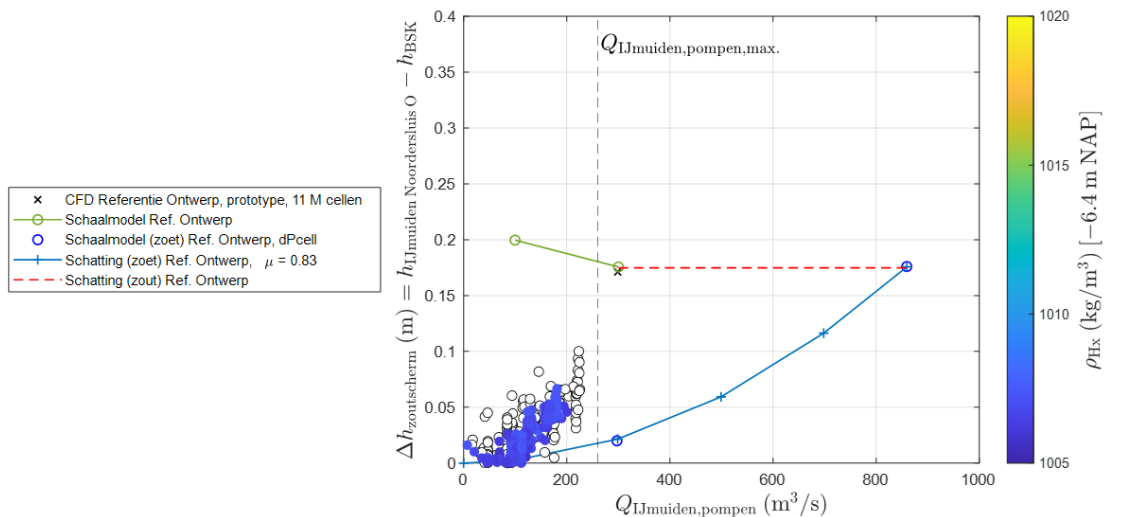
Naast de waterstanden zijn ook in Figuur 3-1 de dichtheden in de Velserkom en Binnenspuikanaal te zien. In de periode na 20 november zijn redelijk hoge dichtheden in het Binnenspuikanaal gemeten, terwijl de zakdeur open is. Hieruit kan concludeert worden dat het zoutscherm enigszins selectief aan het onttrekken is uit de Velserkom. Zoutwater wordt redelijk effectief afgevoerd maar minder effectief dan met de zakdeur dicht.

3.2 Analyse van het verval over het zoutscherm

De gemeten vervallen over het zoutscherm zijn uitgezet tegen de pompdebieten in Figuur 3-2 (met gesloten zakdeur) en Figuur 3-3 (met geopende zakdeur). In deze figuren is alleen data weergegeven voor pompdebieten groter dan nul, wat tevens betekent dat er op die momenten niet gespuid werd. Er is daarom voor de waterstand in het Binnenspuikanaal gebruik gemaakt van de extra radarmeting vlak voor de spuisluizen (H_{BSK} , zie Figuur 2-2) om de invloed van de pompen op de radarmeting zo klein mogelijk te houden (zie ook Paragraaf A.2.2).



Figuur 3-2: Het verval over het zoutscherm uitgezet tegen pompdebiet in de periode met gesloten zakdeur (22 oktober – 8 november en op 14 – 15 november). De data zijn gekleurd volgens de dichtheid gemeten op NAP - 6.4 m op punt H_x . De datapunten zijn wit indien geen dichtheidsmeting beschikbaar is (periode tot 6 november). De weergegeven CFD- en schaalmodelresultaten zijn afkomstig uit Figuur 5.1 in [10].

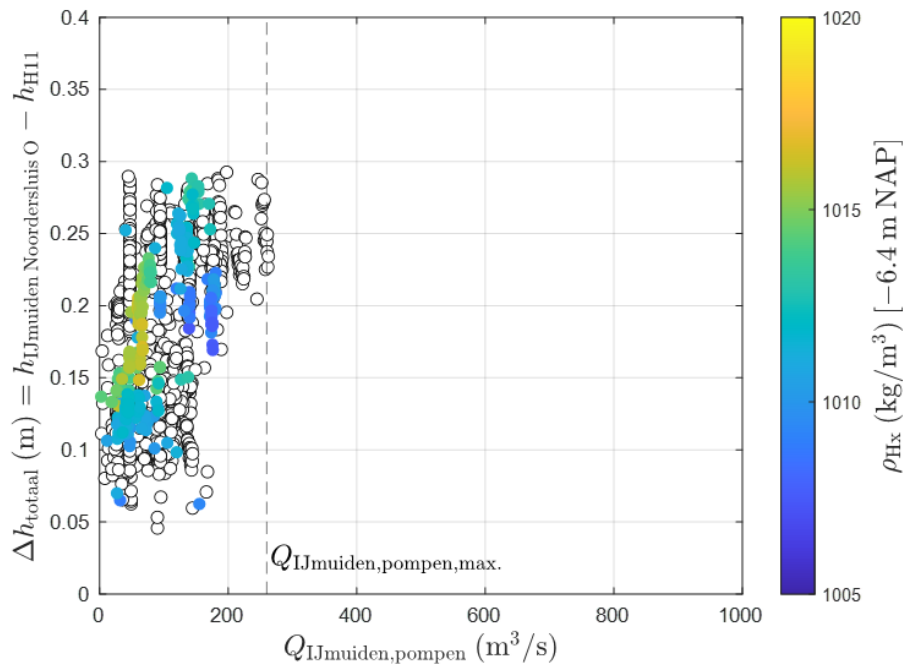


Figuur 3-3: Het verval over het zoutscherm uitgezet tegen pompdebiet in de periode met geopende zakdeur (18 – 22 oktober en 15 – 18 november). De data zijn gekleurd volgens de dichtheid gemeten op NAP - 6.4 m op punt H_x . De datapunten zijn wit indien geen dichtheidsmeting beschikbaar is (periode tot 6 november). De weergegeven CFD- en schaalmodelresultaten zijn afkomstig uit Figuur 5.1 in [10].

Uit Figuur 3-2 en Figuur 3-3 blijkt dat alle datapunten zich in het bereik bevinden dat werd verwacht uit de eerder uitgevoerde CFD- en schaalmodelmetingen [10]. Het vergelijken van de situaties met gesloten en geopende zakdeur laat zien dat de dichtheden in het Binnenspuikanaal afnemen wanneer de zakdeur geopend is. Ook het verval neemt af, enerzijds door het wegnemen van de zakdeur, en anderzijds door het afnemende dichtheidsverschil tussen Binnenspuikanaal en de Velserkom (zie Figuur A.2 in Bijlage A).

3.3 Analyse totaal verval tussen Velserkom en pompen

De gemeten vervallen over het zoutscherm zijn uitgezet tegen de pompdebieten in Figuur 3-4 (met gesloten zakdeur) en Figuur 3-5 (met geopende zakdeur). De gemeten waterstand bij de pompen komt van meetpunt H11 wat in de maalgang van pomp 6 zit. In de periode dat de zakdeur dicht is, is het maximum verval 30 cm. Dit verval wordt ook bereikt bij kleine debieten. De debieten hier zijn de totale debieten van alle pompen. Als de zakdeur open is (Figuur 3-5) is het verval niet groter dan 23 cm.



Figuur 3-4 Het verval tussen Velserkom en pompen uitgezet tegen pompdebiet in de periode met gesloten zakdeur (22 oktober – 8 november en op 14 – 15 november). De data zijn gekleurd volgens de dichtheid gemeten op NAP - 6.4 m op punt H_x . De datapunten zijn wit indien geen dichtheidsmeting beschikbaar is (periode tot 6 november).

De interpretatie van deze figuren en resultaten is als volgt:

- Het waargenomen grote verval is een karakteristiek van het nieuwe systeem en geen uitzondering.
- Voor het plaatsen van het zoutscherm was er weinig operationele ruimte in het systeem. Het verval over het krooshek van tussen 10cm en 15cm zal er in deze periode vermoedelijk voor hebben gezorgd dat de waterstand bij de pompen dicht in de buurt van NAP – 0,70 m is geweest ten tijde van een kanaalpeil onder NAP – 0,50 m.
- **Het is niet mogelijk sinds het plaatsen van het zoutscherm om de volledige ruimte in peilbeheer te benutten (tussen NAP – 0,30 m en NAP – 0,55 m) zonder onder de aanzuigbewakingsgrens (NAP – 0,70 m) te komen.**
- Als de pompen volledig aanstaan met de zakdeur dicht en een waterstand bij IJmuiden van NAP - 0,4 m zal de waterstand bij de pompen NAP - 0,70 m zijn, de thans aangehouden ‘aanzuigbewakingsgrens’.

- Omdat het peil op het NZK gestuurd is op een gemiddelde waterstand van de meetstations Buitenhuizen en Surinamekade, en er enkele centimeters afwaaiing (2 cm á 3 cm met maximum 5 cm) kan plaatsvinden tussen die locaties en IJmuiden is er nog minder ruimte. De waterstand zal dan onder de grens komen.
- Als de zakdeur open is kan er wel volledig gepompt worden. Met een NZK peil van NAP - 0,4 m en een verval van 23 cm komt de waterstand bij de pompen tot NAP - 0,63 m, waarbij ook met een paar centimeter afwaaiing er een kleine ruimte is om “voor te malen”, al is deze ruimte ook erg beperkt.
- Rekening houdend met enige afwaaiing zal de ruimte voor voormalen met de zakdeur open tot NAP – 0,45 m beperkt zijn. Hiermee vervalt een deel van de peilmarge die er voorheen was om tot NAP – 0,50 m te gaan.

De resultaten van deze analyse van de waterstanden en vervallen rondom het zoutscherm en gemaal zijn weergegeven in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Overzicht van waterstanden op het Noordzeekanaal en bij de pompen voor de situatie met en zonder zoutscherm en met zakdeur open en dicht. Bij de rode cellen komt de waterstand onder de aanzuigbeveiligingsgrens van de pompen (-0,7m NAP). De vervallen in de tabel zijn gebaseerd op gemeten vervallen tijdens bedrijf.

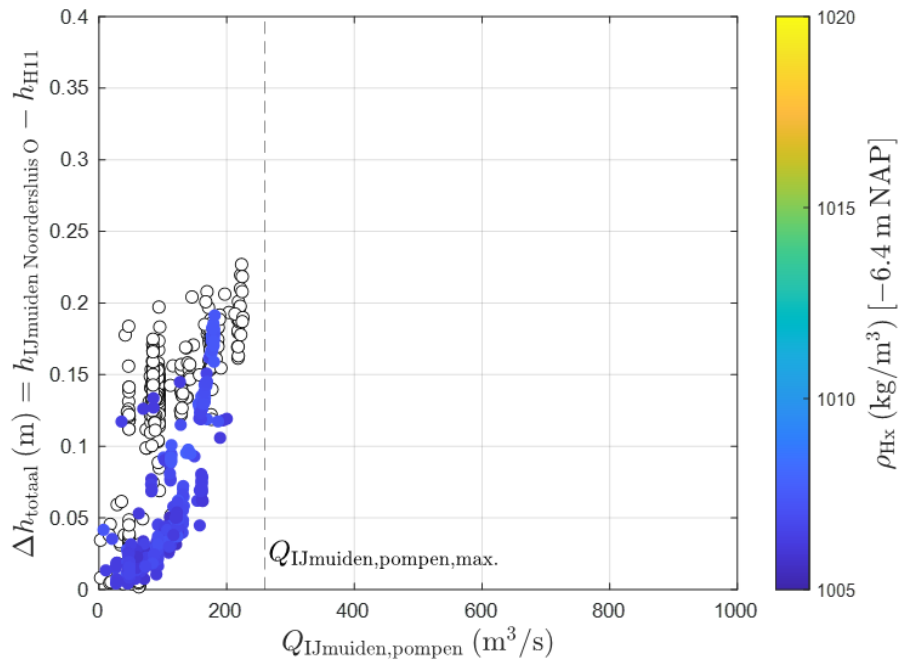
		zonder zoutscherm			met zoutscherm (zakdeur dicht)			met zoutscherm (zakdeur open)		
Waterstand NZK (volgens peilbesluit)	m NAP	-0,3	-0,4	-0,55	-0,3	-0,4	-0,55	-0,3	-0,4	-0,55
Verval zoutscherm *	m	0			0,18			0,11		
Verval kroosrek	m	0,12 (0,1-0,15)**			0,12 (0,1-0,15)**			0,12 (0,1-0,15)**		
Max. totaal verval	m	0,15			0,30			0,23		
Waterstand pompen***	m NAP	-0,42	-0,52	-0,67	-0,6	-0,7	-0,85	-0,53	-0,63	-0,78
Marge	m	0,28	0,18	0,03	0,1	0	-0,15	0,17	0,07	-0,08

* afhankelijk van de dichtheid aan beide zijden van het zoutscherm

** afhankelijk van de mate van vervuiling van het kroosrek

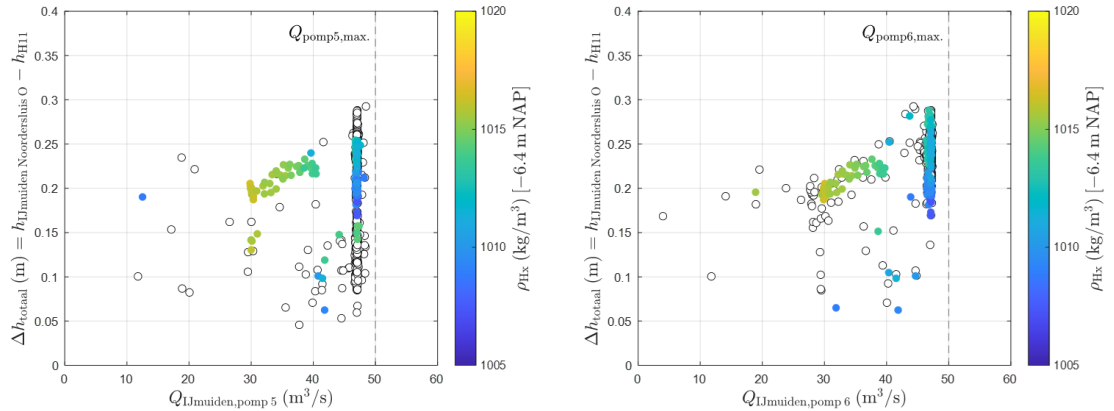
*** uitgaand van een gemiddeld verval over krooshek van 0,12m

Let op: de periode van deze observaties is erg kort (een paar weken) en kunnen niet gezien worden als volledig representatief voor alle situaties die kunnen voorkomen. Dat gezegd hebbende, zijn de dichtheden die waar genomen zijn in het Binnenspuikanaal redelijk representatief voor een normale werking van het zoutscherm. Hogere waarden zijn niet uit te sluiten bijvoorbeeld na een periode met weinig afvoer, of als de Zeesluis volledig operationeel is. Het is bekend uit het eerdere hydraulisch onderzoek [10] dat als de dichtheid hoger wordt het verval ook hoger wordt. De maximum waarden voor het verval die in deze dataset gevonden zijn kunnen daarom niet aangehouden worden als maximum vervallen in alle situaties.



Figuur 3-5 Het verval tussen Velserkom en pompen uitgezet tegen pompdebiet in de periode met geopende zakdeur (18 – 22 oktober en 15 – 18 november). De data is gekleurd volgens de dichtheid gemeten op NAP - 6.4 m op punt H_x . De datapunten zijn wit indien geen dichtheidsmeting beschikbaar is (periode tot 6 november).

Figuur 3-6 laat het verval zien tussen de Velserkom en de pompen 5 en 6 op momenten dat alleen die pompen aan staan. Uit deze figuur kan gezien worden dat ook al is de zakdeur dicht als de pompen op een lagere kracht draait (bijvoorbeeld 50%) dat het verval vergelijkbaar is met de situatie waarbij de zakdeur open is. Het verval is namelijk kleiner, rond de 24 cm.



Figuur 3-6 Het verval tussen Velserkom en pompen uitgezet tegen pompdebiet van pomp 5 (links) en pomp 6 (rechts) in de periode met gesloten zakdeur (22 oktober – 8 november en op 14 – 15 november). De data is gekleurd volgens de dichtheid gemeten op NAP - 6.4 m op punt H_x . De datapunten zijn wit indien geen dichtheidsmeting beschikbaar is (periode tot 6 november).

4 Verkenning mogelijke maatregelen

In dit hoofdstuk wordt een lijst van mogelijke maatregelen opgesomd, die of door Deltares of door Rijkswaterstaat tijdens dit onderzoek zijn voorgesteld. Er is beoogd in eerste instantie om volledig te zijn en nog niet te filteren op effectiviteit van de maatregelen. De maatregelen zijn dus hier niet in een bepaalde volgorde weergegeven. In de beschrijving van de maatregelen wordt wel een eerste oordeel gegeven over de effectiviteit.

Combinaties van deze maatregelen zijn in Hoofdstuk 6 uitgewerkt tot mogelijke strategieën waarin ook de gecombineerde effectiviteit beoordeeld wordt.

Bij maatregelen valt te denken aan:

- Aanpassen van de 'assets' (gemaal, spuisluizen, zoutschermbank)
- Aanpassen van het peil- en zoutbeheer
- Of een combinatie van beiden

Deze assets en het beheer vallen onder afzonderlijke teams van RWS.

Verder is het nog zinvol om onderscheid te maken tussen tijdelijke (korte termijn) maatregelen en meer permanente oplossingen mede met oog op het project Vernieuwing van het spui- en maalcomplex. Permanente oplossingen die afhankelijk zijn van dat project zijn naar verwachting pas over circa 9 jaar operationeel.

4.1 Mogelijke korte termijn of tijdelijke maatregelen

4.1.1 Aanpassingen bij de assets

1. **Gemaal (pompen): accepteren extra risico op schade aan de pompen door cavitatie en meer onderhoud.** Meer onderhoud betekent in principe een geringere beschikbaarheid van maalcapaciteit. Daardoor neemt het risico toe dat er onvoldoende maalcapaciteit is in perioden met veel neerslag. Dit heeft een negatieve invloed op de faalkansen van het watersysteem (zie verder paragraaf 5.2.1). Deze maatregel gaat wel gepaard met een onderzoek naar beheersmaatregelen om cavitatieschade te voorkomen en te beperken en een onderzoek naar de ruimte in de huidige aanzuigrens.
2. **Gemaal (maalgangen) Krooshek vaker schoonmaken:** aangroei bij het krooshek kan het verval groter maken (zie [12, 13]). In de periode van het plaatsen van de zakdeur zou het krooshek redelijk schoon moeten zijn omdat er een grondig schoonmaakbeurt (met duikers) rond 24 september heeft plaatsgevonden. Het verval kan hierdoor maximaal ongeveer 10 cm verminderen [13]. NB in [13] worden de kosten van het frequenter schoonmaken van het krooshek afgezet tegen de extra maalkosten door een grote verval bij minder frequent reinigen. In het licht van de huidige problematiek zouden daaraan ook kosten voor extra onderhoud wegens cavitatie kunnen worden toegevoegd. Deze maatregel is te karakteriseren als een 'no regret' maatregel.
3. **Zoutschermbank: zakdeur in scheepvaartopening open tijdens pompen.** Het verval over het zoutschermbank is kleiner als de zakdeur open is. Hierdoor zal de waterstand bij de pompen hoger zijn en ontstaat er meer ruimte voor waterbeheer. Er zal ook extra verval zijn over de spuisluizen wat gepaard gaat met extra spuicapaciteit. De reductie van het verval bij het zoutschermbank is ongeveer 7 cm bij het maximale debiet van het gemaal (zie Figuur 3-2 en Figuur 3-3). Tijdens spuien is de zakdeur gesloten en werkt

het zoutscherm zoals is beoogd. Omdat in natte perioden spuien en pompen vaak afgewisseld worden, zou dit heel veel meer deurbewegingen vergen dan oorspronkelijk voorzien (oorspronkelijk circa 12 maal per jaar; maximum aantal open/sluit cycli is 60 per jaar [14]). (Let op: het is niet mogelijk om na het spuien met zakdeur dicht de waterstand in het BSK onmiddellijk te verhogen voor pompen met zakdeur open. De insteltijd voor de aanpassing (verhoging) van de waterstand en de (lagere) dichtheid in het BSK wordt geschat op 2-3 uur [15] in geval van alleen openen zakdeur (geen spuien of pompen) vanwege de langzame uitwisseling bij het zoutscherm. De zakdeur openen en gelijktijdig starten met pompen zal dit proces waarschijnlijk niet significant versnellen. Omgekeerd, zal bij de zakdeur sluiten en gelijk starten met spuien (max 500 m³/s) de waterstand waarschijnlijk wel sneller dalen en de dichtheid sneller oplopen.)

4. **Zoutscherm: zakdeur in scheepvaartopening continu open** (ook tijdens spuien). Zie ook punt 3 maar dan voor een lange periode, bij zowel spuien als pompen. De werking van het zoutscherm voor zoutafvoer is dan in droge periodes sterk gereduceerd, zodat de zoutindringing in het Noordzeekanaal (en Amsterdam-Rijnkanaal) door andere (aanvullende) maatregelen moet worden beheerst.
5. **Zoutscherm: Vismigratie kokers openen**. Het openen van bijv. de 2 kortere van de 4 kokers levert extra doorstroming op van zoeter oppervlakte water van de Velserkom naar het Binnenspuikanaal. Dit draagt bij aan een zekere verlaging van de dichtheid in het Binnenspuikanaal en een kleine verlaging van de weerstand van het zoutscherm (zie [16]). De grootte van de effecten moet nog nader worden ingeschat. NB de kokers zijn niet ontworpen voor deze functie. Nadere verificatie is nodig van de van belastingen, het risico op trillingen, de wijze van verwijderen van de schotten.

4.1.2 Aanpassingen in het peil- en zoutbeheer

6. **NZK gemiddeld op een iets hoger peil** (binnen de afgesproken marges van NAP - 0,30 m en NAP - 0,55 m uit het peilbesluit), bijvoorbeeld door minder voor te malen. Dan past namelijk 0,30 m verval nog in boven de NAP - 0,70 m. De kans dat het peil boven NAP - 0,30 m komt is hierbij groter. Dit heeft ingrijpende gevolgen voor de omgeving, waar noodmaatregelen vaker zullen voorkomen (zie [3]).
7. **Extra spuivoorzieningen** gebruiken van de Zeesluis IJmuiden en/of de Noordersluis. Dit is alleen mogelijk bij voldoende lage waterstand op zee [17]. Deze spuivoorzieningen zijn nu bedoeld als noodmaatregelen. Deze spuivoorzieningen hebben een negatieve invloed op de scheepvaart: zeevaart kan tijdens het spuien door de Zeesluis geen gebruik maken van zowel de Zeesluis als de Noordersluis.
8. **Zoutgehalte in Binnenspuikanaal beperken** het verval over het scherm tijdens spuien en pompen is afhankelijk van het dichtheidsprofiel in de Velserkom [10]. Het verval tussen Velserkom en gemaal kan enigszins beperkt worden door de hoeveelheid zout in de Velserkom te beperken via schutbeperkingen of het langer gebruiken van de Noordersluis in plaats van de Zeesluis (Let op: Schutbeperkingen werken niet op de korte termijn als de Velserkom al redelijk zout is). Het zoutgehalte in Binnenspuikanaal daalt waarschijnlijk pas als er voor lange tijd schutbeperkingen zijn. Bovendien, het langer gebruiken van de Noordersluis vraagt extra onderhoud en renovatie van deze sluis en heeft effect op het VenR project van de schutsluizen (inclusief de Middensluis). In een extreem geval dat er geen schuttingen zijn en de Velserkom volledig zoet is zal het verval over het scherm beperkt worden tot enkele centimeters (zie bijv. Figuur 3-2).
9. **Gemaal: pompcombinaties waarbij verlaging minimaal is**. Vooral het draaien van meerdere pompen op een lager toerental. Het verval over het zoutscherm verandert hier niet door, maar het verval over het krooshek in de maalgangen wel. Als 2 pompen op 25 m³/s draaien, dan wordt er effectief net zoveel gepompt als met

1 pomp op 50 m³/s. De waterstand bovenstrooms van de pomp blijft iets hoger, omdat het verval over het krooshek minder is bij een debiet van 25 m³/s dan bij 50 m³/s. Let op: de maximale afvoer van het gemaal (270 m³/s) kan hiermee niet meer worden behaald. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat het regelbereik van de pompen beperkt is en afhankelijk van de opvoerhoogte. Dit betekent in de praktijk dat er situaties zijn waarin het niet mogelijk is om 2 pompen op lage toerental te draaien in plaats van 1 pomp op vol vermogen. Het is op basis van de huidige analyse nog niet mogelijk om te analyseren hoe vaak dit voor kan komen.

4.2 Mogelijke permanente oplossingen

4.2.1 Aanpassingen bij de assets

10. **Vervanging gemaal: nieuwe eis voor aanzuigbewakingsgrens formuleren.** Een eis die ook in de toekomst ruim voldoet. Inclusief onderzoek naar vormgeving instroomgebied, zoals beschreven in Paragraaf 2.3. Maatregel is zeer effectief, maar pas na ongeveer 9 jaar beschikbaar. Tot die tijd zijn langdurig 'tijdelijke' maatregelen nodig.
11. **Gemaal (maalgangen en pompen): aanscherpen van de eis van NAP - 0,70 m.** Nauwkeuriger meten van waterstanden, dichtheidseffecten meenemen (omdat fysica gebaseerd is op drukken, en de dichtheid sterker varieert dan voorheen). Naar verwachting levert dit maximaal enkele centimeters verschil in termen van waterstand.
12. **Gemaal (maalgangen): permanente voorzieningen bij de instroomopening.** Beoordelen huidige instroomcondities en eventuele aanwezigheid van oppervlaktewervels (daarover geen documentatie gevonden; wel over stroompatroon); onderzoek verbeteren instroomcondities indien van toepassing.
13. **Gemaal (maalgangen): Vervanging krooshek:** onderzoeken of een ander ontwerp van de krooshekken (minder weerstand, minder aangroei) kan leiden tot een kleiner verval. De potentie hiervan zou nader uitgezocht moeten worden. De verwachting is dat dit niet een groot effect zal hebben omdat een krooshek nodig is voor het veilig functioneren van de pompen en zal altijd weerstand hebben.
14. **Gemaal: Verdieping pompen:** Door de onderdompelingsdiepte te vergroten neemt de kans op cavitatie af. Dit vraagt grote aanpassingen aan het gemaal en de haalbaarheid is klein.
15. **Zoutscherm: afvoercoëfficiënt verhogen** door de wanden en/of vleugelwanden hydrodynamischer te maken. Meer specifiek: controleer eerst de mogelijke verschillen tussen het Referentie Ontwerp (getest) en de constructie 'as-built' (bijvoorbeeld de beëindiging van de voorzetwanden bij de vleugelwand van het Noordelijke landhoofd; de verplaatsing van de damwand bij het Arosa Sun terrein). Indien zinvol, is de technische oplossing bij het Noordelijke landhoofd betrekkelijk simpel: de betonnen voorzetwanden kunnen iets verder doorgezet worden langs de vleugelwand, tot een punt waar loslating geen rol (meer) speelt. Gegeven de eerste resultaten van de werking van het zoutscherm (verval, dichtheid in het Binnenspuikanaal) is de verwachting dat dit niet veel invloed zal hebben.
16. **Zoutscherm: afvoercoëfficiënt verhogen** door de aanstroming naar het zoutscherm te verbeteren en zo een uniformere doorstroming van de 3 openingen te realiseren. Eerder, tijdens het hydraulisch ontwerptraject, is evenwel gebleken dat dit niet was te realiseren in het beschikbare gebied [18].
17. **Zoutscherm: bodem verlagen** (drempel inclusief hellingen aan weerszijden). Diepte drempel nu NAP – 23 m. Kan in principe verruimd worden tot -25 m NAP ten behoeve van de aanleg van een zoutvang in de Velserkom. Deze zoutvang is nu nog niet nodig. Als de onderkant van het scherm op NAP 16 m blijft, neemt het doorstroomoppervlak toe met $2/7 = 28,5\%$. De afvoercoëfficiënt zou mogelijk ook iets hoger kunnen zijn. Het verval over het zoutscherm bij een maximaal debiet van het gemaal is dan naar

verwachting enkele centimeters lager. Het water in het Binnenspuikanaal kan daarbij mogelijk wel nog iets zouter worden. Dit is een kostbare oplossing (baggerwerk, eventueel maatregelen tegen invloed op grondwatersysteem, bodembescherming), waarvan de realisatie waarschijnlijk meerdere jaren zal vergen, met een bescheiden winst in het verval. Tot die tijd zijn andere maatregelen nodig, en daarna waarschijnlijk ook (tot aan de vervanging van het spui- en gemaalcomplex).

18. **Zoutscherm: schermwanden verwijderen:** het verval over het zoutscherm komt door de hydrodynamische weerstand tijdens stroming en de dichtheidsverschillen over het scherm die veroorzaakt zijn door de wanden van het scherm. De pillaren en vleugelwanden geven weinig weerstand en kunnen geen dichtheidsverschillen handhaven. Als het scherm verwijderd wordt zal de situatie grotendeels terugkeren naar de situatie van voor het project SO-IJ. Het zoutscherm functioneert dan niet.

4.2.2 Aanpassingen in het peil- en zoutbeheer

19. **Minder 'voormalen'.** Minder marge in waterbeheer hanteren. De invloed op faalkansen is af te leiden uit [1] en de gevolgen uit [3], zie ook Paragraaf 5.2.1.
20. **Zoutbeheer aanpassen** op de uiteindelijke (gerealiseerde) effectiviteit van het zoutscherm (beeld afhankelijk van nader onderzoek op basis van metingen). Als het zoutscherm 'te goed' werkt qua zoutafvoer (effect nieuwe Zeesluis meer dan gemitigeerd) zou het Noordzeekanaal kunnen verzoeten ten opzichte van de situatie in het verleden. In dat geval is er een marge om door gericht beheer minder zout af te voeren. Deze marge kan dan ook gebruikt worden voor tijdelijke maatregelen.

5 Mogelijke strategieën

In dit hoofdstuk worden 5 mogelijke strategieën gepresenteerd. De strategieën zijn samengesteld als combinaties van enkele beheersmaatregelen vanuit Hoofdstuk 4.

De 5 strategieën zijn als volgt:

- **Strategie 1. Zoutscherm volledig in werking – accepteer risico op pompschade** - zakdeur permanent dicht.
- **Strategie 2. Zoutscherm volledig in werking - hoger NZK peil** - zakdeur permanent dicht.
- **Strategie 3. Doorgaan met Noordersluis tenzij** - zakdeur permanent open houden.
- **Strategie 4. Geleidelijk Zeesluis vaker gebruiken** - zakdeur voornamelijk open houden.
- **Strategie 5. Zeesluis zo veel mogelijk gebruiken** - zakdeur zo veel mogelijk dicht houden.

In de volgende sectie wordt het effect van de mogelijke maatregelen op de verschillende functies in het watersysteem besproken. Daarna wordt beschreven hoe de 5 strategieën worden beoordeeld per functie. Vervolgens worden de strategieën en hun beoordeling in meer detail gepresenteerd. Aan het eind van dit hoofdstuk is een samenvattend tabel van de beoordeling van alle strategieën.

5.1 Hoe worden deze mogelijke strategieën samengesteld?

De nadruk hier ligt op strategieën voor de korte termijn (1 á 2 jaar). Bij het samenstellen van de strategieën is er voor gekozen om deze onderscheidend te maken. Hierom zijn er strategieën waarin de zakdeur van het zoutscherm permanent gesloten wordt en een strategie waarin de zakdeur permanent openblijft. Deze dienen als randen van de oplossingsruimte die in dit rapport onderzocht is. De andere strategieën gebruiken combinaties van maatregelen om de risico's van de extreme beheersmaatregelen te beperken. Oplossingen voor de lange termijn die ingrijpende verbouwingen vergen, worden niet meegenomen. Er wordt vanuit gegaan dat bij het VenR project van het gemaal een robuuster lange termijn oplossing kan worden ontwikkeld.

Er is rekening gehouden met beheersmaatregelen zoals door Rijkswaterstaat West-Nederland Noord zijn ingebracht [19]. De meest kansrijke combinaties van maatregelen worden hier toegelicht. De lijst aan strategieën is niet uitputtend, gegeven de beperkte tijdspanne van dit onderzoek. Andere combinaties van maatregelen zijn mogelijk en misschien kansrijk.

5.2 Wat is het effect op verschillende functies?

5.2.1 Functie Waterveiligheid en Wateroverlast

Nu het risico van optreden van cavitatie bij de pompen in combinatie met het zoutscherm breder bekend is, is het duidelijk geworden dat het risico op pompval hoger is dan verwacht. Zonder extra beheersmaatregelen, betekent een grotere kans op pompfalen, een grotere kans op hoge peilen in het achterliggende watersysteem ARK-NZK. Een kanaalpeil van NAP + 0,00 m is de absolute bovengrens van wat het ARK/NZK aankan, omdat deze waterstand overeenkomt met de hoogte van een deel van de keringen. Om te voorkomen dat overschrijding van het maximumpeil wordt bereikt, wordt er een maalstop afgekondigd door RWS, wat betekent dat de waterschappen geen water meer op het ARK/NZK mogen pompen.

Het afkondigen van een maalstop, betekent dat waterschappen hun overtollig water niet meer lozen op het hoofdwatersysteem, met wateroverlastproblemen in de regio tot gevolg.

Voor het ARK-NZK zijn twee belangrijke beheersprincipes van toepassing: het waterakkoord en het peilbesluit. Het peilbesluit voor het systeem bepaalt de ruimte waarin het peil in het Noordzeekanaal mag variëren [20]; het peil mag variëren tussen NAP - 0,30 m en NAP - 0,55 m, met een gemiddeld peil van NAP - 0,40 m. Het waterakkoord [21] beschrijft de afspraken tussen Rijkswaterstaat en de waterschappen grenzend aan het NZK. Deze afspraken betreffen de hoeveelheid water die op het NZK afgevoerd mag worden en welke noodmaatregelen getroffen moeten worden in bijzondere omstandigheden op het kanaal. In het waterakkoord is onder andere afgesproken dat bij een kanaalpeil van NAP +0,00 m er een 'maalstop' wordt afgekondigd, waarbij de waterschappen niet meer mogen lozen op het ARK-NZK.

Er zijn studies beschikbaar met faalkansanalyses voor het systeem ARK-NZK [2] uit 2017 - 2019. Zonder Slim Watermanagement en zonder het zoutscherm zijn de uitgerekende herhalingstijden per kanaalpeilen van hoge waterstand op het NZK zoals weergegeven in Tabel 5-1 en Tabel 5-2. De herhalingstijden geven voor verschillende kanaalpeilen een indicatie hoe vaak wateroverlast/waterveiligheidsproblemen in de regio te verwachten zijn.

Een kanaalpeil van NAP + 0,00 m is de maximale waterstand in het ARK-NZK en is het moment dat een maalstop voor de omringende waterschappen wordt afgekondigd. De tabellen laten zien dat dit peil een herhalingstijd heeft van 72 jaar. Verder is geconcludeerd dat in de nabije toekomst (rond 2030), de herhalingstijd is verkleind naar 50 jaar en dat de regio rond 2085 grofweg iedere tien jaar te maken krijgt met grootschalige overlast en schade.

Tabel 5-1 Statistiek kanaalpeil ARK-NZK (zonder zoutscherm en zonder voormalen). Overgenomen uit [2]

Waterstand	Faalkansanalyse 2017 Herhalingstijd [jaar]
NAP-0,30 m	< 1
NAP-0,25 m	1
NAP-0,20 m	5
NAP-0,15 m	12
NAP-0,10 m	25
NAP+0,00 m	72

Tabel 5-2 Statistiek kanaalpeil ARK-NZK voor toekomstige zichtjaren gebruik makend van de KNMI'14 klimaatscenario's (zonder zoutscherm en zonder voormalen). Overgenomen uit [2]

Klimaat	2015	2030	2050	2085
Waterstand	Herhalingstijd [jaar]			
NAP-0,20 m	5	3	2-3	2-3
NAP-0,10 m	25	17	9-14	5-9
NAP+0,00 m	72	50	24-39	10-20

In het kader van Slim Watermanagement [22] wordt bij dreigende hoge afvoer "voorgemalen" om de waterstand op het kanaal tijdelijk te verlagen om extra buffer te creëren. De herhalingstijd van NAP+0,00 m op het NZK-ARK kan met voormalen tot NAP - 0,50 m worden verhoogd van 72 jaar naar 170 jaar. Als Zeeburg en de NUON centrale niet mede worden ingezet bij het voormalen wordt de herhalingstijd van NAP+0,00 m op het Noordzeekanaal circa 120 jaar [1].

Er zijn ook berekeningen uitgevoerd waarin het effect van het zoutschermbaan meegenomen wordt. De berekeningen laten zien dat de herhalingsperiode met zoutschermbaan, zonder voormalen, 60 jaar zou zijn en dat extra pompcapaciteit bij het gemaal dit zou terugbrengen op de originele waarde (72 jaar). Er is inmiddels (door het aanschaffen van pomp 7) extra pompcapaciteit beschikbaar. Deze berekeningen gebruiken echter een aanname voor het verval over het zoutschermbaan die te laag is gezien recentere inzichten [10, 11]. De herhalingsperiodesberekeningen zouden geüpdatet moeten worden met de waarden uit deze recente studies na 2019 [10] [11] en ook uit de praktijk van de laatste weken sinds het daadwerkelijke plaatsen van het scherm.

Uit bovenstaande kan geconcludeerd worden dat in de ideale situatie zonder cavitatieproblemen, met een zoutschermbaan (zonder extra verval) en met 'voormalen' het NAP + 0,00 m niveau een herhalingsperiode zou hebben van circa 120 jaar. Echter, aangezien cavitatie een grote invloed heeft op de pompuitval en daarmee ook sterk doorwerkt in de herhalingsperiode, zullen er beheersmaatregelen nodig zijn.

Voor strategieën waarbij de ruimte voor voormalen beperkt wordt, zal de herhalingsperiode van hoogwater op het NZK ook afnemen. In de extreem situatie dat geen voormalen meer mogelijk is zal de herhalingsperiode van het voorkomen van een kanaalpeil van NAP + 0,00 m in de buurt van 72 jaar. Waar alleen beperkte ruimte beschikbaar is (voormalen tot NAP – 0,45 m en niet lager) zal de herhalingsperiode tussen 120 en 72 jaar liggen. Naast het NAP-niveau is het ook relevant om de herhalingsperiode van NAP - 0,20 m te kennen, bij dit kanaalpeil wordt het IJ-front afgesloten om te voorkomen dat de riolering en straten van Amsterdam bedreigd worden. Dit betekent dat de grachten van Amsterdam afgesloten zijn van het ARK. Tabel 5-1 geeft dat in de situatie zonder voormalen en zonder zoutschermbaan het NAP -0,20 kanaalpeil gemiddeld genomen eens in de 5 jaar optreedt. Met voormalen is dit geschat op 10 jaar [23] (hierbij worden Zeeburg en de NUON centrale niet mede ingezet). Net als bij het NAP-niveau is moeten de effecten van het zoutschermbaan worden gezien in combinatie met beheersmaatregelen.

In de zogenaamd nul situatie (S0) (zonder cavitatieproblemen), maar wel met extra verval over het zoutschermbaan komt de herhalingsperiode uit op < 10 jaar. Als er niet kan worden voorgemalen dan zal het NAP -0,20 niveau vaker voorkomen. De schatting wordt hierdoor weergegeven als <5 jaar. Met enige ruimte om voor te malen (tot NAP – 0,45 m) wordt deze geschat op tussen 5 jaar en 10 jaar. Als laatste, omdat de faalkans van het gemaal een groot effect heeft op het systeem, stijgt de kans op een hoge waterstand. De schatting is dat bij strategieën waarbij de faalkans van het gemaal erg hoog is het kanaalpeil NAP - 0,20 m elk jaar zal voorkomen.

5.2.2 Functie scheepvaart

Voor de scheepvaart is de belangrijkste factor in hoeverre de Zeesluis IJmuiden in gebruik genomen kan worden. Bij sommige beheersmaatregelen zal het zoutschermbaan een lange tijd nog niet volledig in werking zijn. Dit vertraagt het volledig in gebruik nemen van de Zeesluis omdat de afspraak met de omgeving is om de Zeesluis pas volledig in gebruik te nemen als het zoutschermbaan volledig in werking is. Dit is een voorwaarde voor de realisatie in de (bijlage van) de milieurapportage. Dit is vanwege de rol dat het zoutschermbaan heeft in het compenseren voor de toenemende verzilting veroorzaakt door de Zeesluis. Hiernaast zullen schutbeperkingen een negatief effect hebben op de scheepvaart, hetgeen negatief beoordeeld wordt, als deze vaker zullen voorkomen.

Andere factoren voor de scheepvaart zijn een mogelijk te hoog of te laag peil op het NZK. Er wordt voor de beoordeling vanuit gegaan dat alles wat binnen het huidige peilbesluit valt acceptabel is, al zijn er binnen het huidige peilbesluit al beperkingen voor de scheepvaart. Bij waterstanden onder NAP – 0,47 m zijn er beperkingen bij de Noordersluis voor schepen met een diepgang boven 13,10 m. Bij waterstanden onder NAP – 0,50 m zijn er effecten voor

onthefingsschepen bij het passeren van de Velsertunnel. Een te hoog peil leidt tot een toename in risico op te weinig doorvaarhoogte onder bruggen (verder op in Amsterdam).

Het huidig gebruik van de Zeesluis is beperkt tot een paar schut-cycli per dag. Er kan hiervan afgeweken worden mits de verziltingssituatie het toestaat (namelijk als er een laag zoutgehalte op het NZK is). De laatste jaren is echter het gebruik geleidelijk toegenomen (Tabel 5-3). Uit data van de operators (persoonlijk e-mail correspondentie) kan geconcludeerd worden dat een totaal aantal schut-cycli van ongeveer 3.500 -3.700 per jaar voor de Noordersluis en Zeesluis gecombineerd een redelijk stabiel aantal is.

Tabel 5-3: Aantal schut-cycli in de afgelopen jaren bij de grotere sluisen in het sluisencomplex IJmuiden. De data voor 2024 is nog niet voor het hele jaar (tot november). Data ontvangen van RWS

Schut-cycli	2020	2021	2022	2023	2024*
Zeesluis	0	24	208	623	714
Noordersluis	3707	3764	3312	2651	1833
Middensluis	3387	4184	4318	4163	3083
Total	7094	7972	7838	7437	5630

In een aantal strategieën hieronder wordt de Noordersluis een langere tijd opengehouden en de Zeesluis nog niet volledig in gebruik genomen. Recente studies naar verschillende configuraties van sluisen (ten behoeve van de Vernieuwing van het gehele schutsluisencomplex, [24]) geven aan dat als het mogelijk om de Noordersluis langer open te houden het effect op de beschikbaarheid van het complex als geheel niet erg negatief is (zie Tabel 5-4 en Tabel 5-5).

Tabel 5-4 Resultaten van SIVAK studies naar schut-efficiëntie voor een situatie in 2030 van hoge groei. Overgenomen uit [24]

	Basismodel 2019	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3	Configuratie 4.1	Configuratie 4.2
leeg-om percentage	22,1 %	19,8 %	22,0 %	22,0 %	19,8 %	22,0 %
totaal aantal schuttingen	31.553	29.947	32.870	32.870	29.947	32.817
Kleine sluis	3.026	2.925	3.011	3.011	2.925	2.943
Zuidersluis	12.617	12.620	12.871	12.871	12.620	12.690
Middensluis	7.230	X	7.897	7.897	X	7.946
Zeesluis IJmuiden	X	7.201	9.091	9.091	7.201	9.238
Noordersluis	8.680	7.201	X	X	7.201	X

Tabel 5-5 Gemiddelde totale wachttijd per configuratie uit de SIVAK berekeningen in [24]

Richting	Basismodel 2019	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3	Configuratie 4.1	Configuratie 4.2
Binnenvaart Inkomend	9,6 min	10,2 min	9,4 min	9,4 min	10,2 min	8,9 min
Binnenvaart Uitgaand	9,2 min	10,8 min	10,1 min	10,1 min	10,8 min	9,1 min
MSG Inkomend	7,5 min	9,6 min	8,0 min	8,0 min	9,6 min	7,9 min
MSG Uitgaand	9,1 min	10,5 min	8,9 min	8,9 min	10,5 min	9,2 min

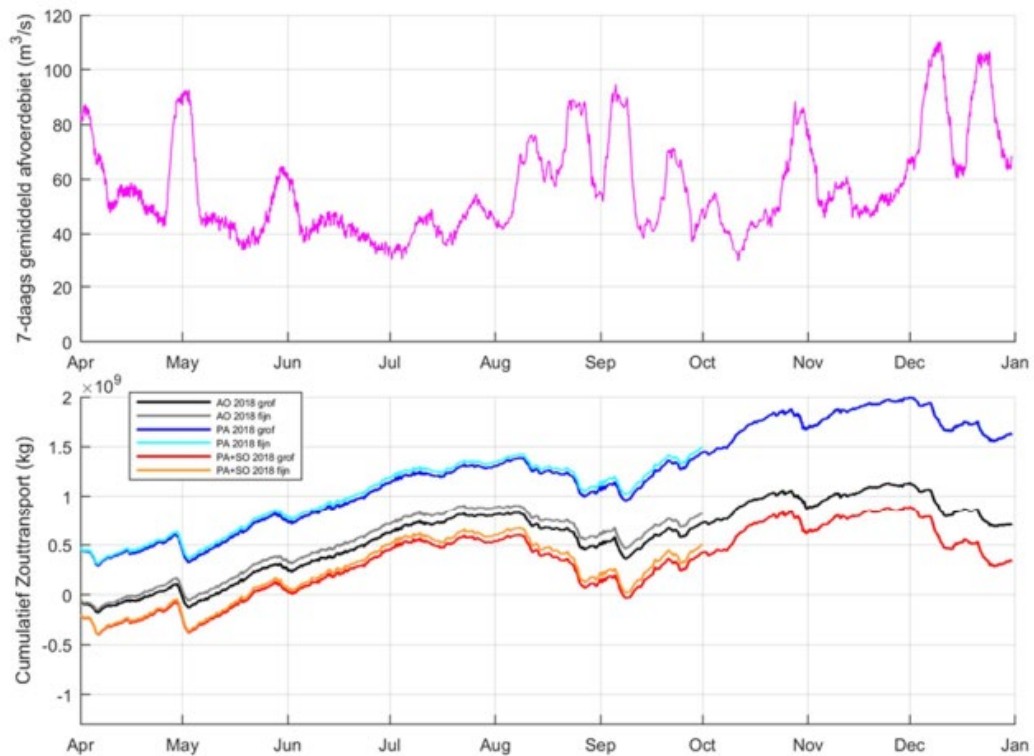
Er wordt verwacht dat alle geplande en verwachte schuttingen afgehandeld kunnen worden ook al is de Zeesluis niet volledig in gebruik. Dit veronderstelt dat er voldoende onderhoudsbudget en personeel beschikbaar zijn om de Noordersluis beschikbaar te houden. Er zal ook een effect zijn op de VenR opgave voor de Middensluis en Noordersluis.

Als laatste wordt er voorondersteld dat een no-regret maatregel is het beschikbaar hebben van extra afvoercapaciteit waaronder de spuicapaciteit (via de rinketschuiven) bij de Zeesluis. Deze laatste gaat echter gepaard met stremmingen van de scheepvaart op het kanaal en is hierom in het huidige protocol alleen opgenomen als noodmaatregel. Om deze reden kan deze maatregel niet worden ingezet in dagelijks beheer zonder grote consequenties voor de scheepvaart.

5.2.3 Functie waterbeschikbaarheid

Om de Zeesluis volledig in gebruik te nemen moet er gecompenseerd worden voor de toenemende verzilting die hierdoor veroorzaakt wordt. In het hydraulisch onderzoek van het zoutscherm is uitgegaan van een zoutscherm met de zakdeur dicht gedurende het hele jaar om dit te bereiken. Een deel van de werking van het zoutscherm is het effectief afvoeren van zout in de winter als er veel afvoer is en op een moment dat verzilting geen direct probleem is in het Noordzeekanaal. Op die manier wordt er voor gezorgd dat de hoeveelheid zout in het Noordzeekanaal laag is bij aanvang van een eventuele droogte periode later in het jaar, waarin het zoutgehalte zal oplopen als gevolg van de lage afvoeren in IJmuiden. Alle strategieën hieronder die uitgaan van een zoutscherm met de zakdeur open (tijdelijk of permanent) hebben dus een negatief effect op de verzilting van het Noordzeekanaal, vergeleken met een situatie waarin de zakdeur dicht is zoals beoogd, tenzij er schutbepalingen komen voor de Zeesluis en eventueel de Noordersluis. Met de zakdeur open is er meer water nodig zijn om de verzilting te bestrijden. Er is hierin een duidelijke afweging tussen gebruik van de Zeesluis en gebruik van het zoutscherm met de zakdeur dicht.

Uit het hydraulisch onderzoek naar de effectiviteit van het zoutscherm [10] blijkt dat de extra zoutlast van de Zeesluis gemitigeerd wordt door het plaatsen van het zoutscherm. Figuur 5-1 komt uit het rapport van het hydraulisch onderzoek naar de effectiviteit van het zoutscherm [10]. In Figuur 5-1 is het cumulatieve zouttransport naar het NZK uitgezet tegen tijd in een representatief droog jaar met een toekomstige prognose van scheepsvolume. In de situatie van de Autonome Ontwikkeling (zwarte lijn) is de Zeesluis niet gebouwd. Met de Zeesluis actief zal de zoutlast stijgen tot de situatie Project Alternatief (blauwe lijn). Als het zoutscherm gebouwd is zal de zoutlast dalen tot Project Alternatief + Selectieve Onttrekking (rode lijn) die lager ligt dan de lijn van Autonome Ontwikkeling. Deze studies zijn voorspellingen op basis van schaalmodel onderzoek en numerieke berekeningen. Deze studies richtten zich vooral op de verzilting in droge jaren. Het gedrag van het zoutscherm in natte jaren is niet onderzocht. De marge die beschikbaar is in zoutbeheer in verschillende omstandigheden moet nog in de praktijk geverifieerd worden. Het zoutscherm met de zakdeur open zal minder effectief zijn in het afvoeren van zout, maar de grafiek laat zien dat hier ruimte is. Daarnaast zal het aantal schepen die door de Zeesluis gesloten worden (met bijhorende extra zoutlast) geleidelijker groeien als de Noordersluis open blijft. Het risico op overmatige verzilting van het NZK is hierdoor beoordeeld als relatief laag.



Figuur 5-1 Samenvattende figuur van het effect van het zoutscherm (SO) op zouttransport naar het NZK in een representatief droog jaar (2018). AO is autonome ontwikkeling zonder Zeesluis, PA is Project Alternatief met Zeesluis en SO is selectieve onttrekking. Overgenomen uit [10]

5.2.4 Effect op ecologie

Het NZK is een brakwaterzone met een waardevol brakwater ecosysteem. Daarnaast is het een migratieroute van trekkende vissoorten. De beheermaatregelen hebben hierom ook een effect op de ecologie in het systeem door hun effect op de zoet-zoutdynamiek in het NZK en de visveiligheid en vispasseerbaarheid bij het spui- en maalcomplex.

Situaties waarbij het NZK erg zoet wordt kunnen schadelijk zijn voor de inheemse brakwaterfauna in het kanaal en kunnen gunstig zijn voor exoten die deze fauna verdringen. Er zijn al zorgen [25] geuit dat het zoutscherm te effectief zou zijn in het afvoeren van zout (zie Sectie 5.2.3) waarbij het NZK zou kunnen gaan verzoeten ten opzichte van de huidige status. Dit wordt gezien als een risico voor de ecologie. Strategieën waarbij de werking van het zoutscherm minder wordt (zoals met een open zakdeur) kunnen positief uitvallen voor de ecologie. Een te grote verzilting van het kanaal is ook schadelijk voor het brakwatersysteem maar geen van de strategieën zal hiertoe leiden.

Wat betreft visveiligheid bij vol vermogen zijn de oude Stork pompen in Maalgang 1 tot en met 4 visveiliger dan de Pentair-pompen in Maalgang 5 en 6 [26]. Indien de Pentair-pompen met lage toeren worden ingezet zijn die juist visveiliger dan de Storkpompen. Per 1 september 2024 is een protocol in bedrijf voor "Visvriendelijk malen" (via een IWP-scenario) waarbij het maaldebiet verdeeld wordt over meerdere pompen om hoge toerental te vermijden. Deze zal jaarlijks worden ingezet in de periode oktober tot en met januari wat overeen komt met de uittrekperiode van paling, die bijzonder kwetsbaar is bij het gemaal.

Door het openen van de zakdeur zal de spuicapaciteit verhoogd worden, ten opzichte van het voorziene gebruik van het zoutscherm. Hierdoor zullen minder vissen de uittrek route via het gemaal nemen en wordt er visschade voorkomen.

5.3 Hoe worden de strategieën beoordeeld?

In de beoordeling van de mogelijke strategieën wordt gekeken naar de mate waarin de functionele eisen worden vervuld. Veel van de beoordeling zijn schattingen op basis van expert judgement (op basis van expertise vanuit RWS-WNN en Deltares). Het is niet mogelijk geweest om in een korte tijd nieuwe berekeningen te doen om te kwantificeren hoe de situatie is veranderd met nieuwe inzichten.

Waterveiligheid en wateroverlast

De beoordeling voor waterveiligheid/wateroverlast wordt gedaan op vier aspecten:

- Faalkans gemaal
- Ruimte om voor te malen
- Herhalingstijd kanaalpeil NAP + 0,00 m
- Herhalingstijd kanaalpeil NAP – 0,20 m

Voor de **faalkans** van het gemaal wordt er beoordeeld dat het risico op falen zeer hoog is als de lokale waterstand bij het gemaal onder NAP – 0,70 m komt. Als deze aanzuigbewakingsgrens niet wordt gehandhaafd zal dit het geval zijn. Voor strategieën waarbij er minder voorgemalen wordt om ervoor te zorgen dat het waterstand niet onder deze grens zit wordt de faalkans beoordeeld als ongeveer zoals de situatie van voor het zoutscherm geplaatst was. Naarmate de zakdeur vaker dichtgedaan wordt zal de kans dat er toch een situatie voorkomt waarbij de waterstand te laag wordt groter (als er een onverwachte hoge zoutconcentratie in het BSK voorkomt bijvoorbeeld of als de zakdeur zelf faalt).

De **ruimte** die benut is **om voor te malen** is de operationele keuze in water management om de risico's op falen van het systeem te beperken. De ruimte per strategie wordt bepaald met behulp van Tabel 3-1. Als de zakdeur dicht is zal er geen ruimte zijn om voor te malen en moet zelfs het streefpeil omhoog (naar NAP -0,38 m) om te kunnen pompen op volle kracht om 2 cm boven de aanzuigbewakingsgrens te komen. Als de zakdeur open is zal er ruimte zijn om tot NAP – 0,45 m voor te malen.

De **herhalingstijd** van de **kanaalpeilen NAP + 0,00 m** en **NAP - 0,20 m** worden geschat uit eerdere studies (zie Sectie 5.2.1).

Scheepvaart

Voor scheepvaart wordt de beoordeling van de strategieën gemaakt op basis van één aspect, namelijk, hoeveel schutcycli per dag er door de Zeesluis kunnen plaatsvinden. De huidige situatie, voor het plaatsen van het scherm, is ongeveer 2 per dag (zie Sectie 5.2.2). Wanneer de zeesluis volledig in gebruik wordt genomen en de Noordersluis wordt gesloten, zal het aantal schutcycli stijgen naar 10 per dag. In strategieën waarbij er meer gebruik wordt gemaakt van de Zeesluis dan nu zal het aantal schutcycli hiertussen liggen. Het aantal dat genoemd is in de beoordeling hieronder is een schatting op basis van expert judgement. Er is onzekerheid over hoe het zoutscherm in de praktijk zal functioneren, vooral als de zakdeur open blijft omdat er geen hydraulisch onderzoeksresultaten beschikbaar zijn voor deze situatie [10]. Verwacht wordt dat een open zakdeur prestatie verlies zal betekenen in het zoutscherm waardoor het zoutscherm minder in staat is om de extra verzilting veroorzaakt door het gebruik van de Zeesluis te mitigeren. Er wordt hierdoor conservatief beoordeeld dat wanneer de zakdeur niet het hele jaar gesloten is dat er maar een paar extra schutcycli per dag door de Zeesluis kunnen plaatsvinden. Dit zal ook afhangen van de actuele verziltingssituatie in het NZK. In een nat jaar zullen meer schutcycli mogelijk zijn dan in een droog jaar.

Waterbeschikbaarheid

Voor waterbeschikbaarheid wordt de beoordeling gemaakt op basis van de verwachte verzilting van het NZK. De resultaten uit het hydraulisch onderzoek [10] laten zien dat het

zoutscherm kan compenseren voor de extra verzilting door gebruik van de Zeesluis (met enige marge). Een zoutscherm met zakdeur open is minder effectief maar zal wel enige werking hebben. Hierdoor wordt bij strategieën waarbij de zakdeur open blijft en de Zeesluis en Noordersluis allebei open blijven een beoordeling gemaakt dat de verzilting minder zal zijn dan voor de plaatsing van het zoutscherm. Hoe meer de Zeesluis gebruikt wordt, hoe groter de kans is dat een situatie ontstaat waarbij er te veel verzilting op het NZK optreedt.

5.4 Welke maatregelen zijn no-regret en kunnen bij elke strategie toegepast worden?

Bij enkele maatregelen uit Hoofdstuk 4 is de verwachting dat ze op zichzelf niet voldoende zullen zijn om alle risico's weg te nemen maar ze kunnen wel een bijdrage leveren om, in combinatie met andere maatregelen, het totale risico omlaag te brengen.

Aanzuigbeveiliging aanbrengen bij de pompen in elke maalgang

Het risico op cavitatieschade bij een te lage waterstand wordt gezien als groot. Om dit risico te verkleinen zouden de waterstanden bij de pompen in elke maalgang moeten worden gemeten.

Nieuwe relaties voor spuicapaciteit opnemen in IWP systeem

Er is door het plaatsten van het zoutscherm een andere Q-h relatie voor de spuisluizen (als het verval gemeten wordt tussen Buitenhaven en NZK). Er zullen ook andere relaties zijn voor wanneer de zakdeur open of dicht is. Om in het dagelijks operationele beheer betrouwbare voorspellingen van spuivolumes beschikbaar te hebben is het verstandig om meerdere relaties op te nemen in het IWP.

Metingen van waterniveaus rondom pompen robuust maken

De metingen van druk, waterstand en dichtheid rondom het spui- en maalcomplex en in het Binnenspuikanaal zijn in de huidige fase erg belangrijk voor het bepalen van de grenzen van het hele systeem. De metingen die in dit rapport gebruikt zijn, zijn of tijdelijke metingen van aannemer SPIE [5] of nieuwe vaste meetpunten van RWS die nog niet gelinkt zijn aan het IWP. Een betrouwbare en permanente set van metingen (waterstanden in elke maalgang en meetpunten gelinkt aan operationele systemen als IWP) is nodig om de risico's van de gekozen beheeropties in kaart te brengen. Hierbij moet ook rekening worden gehouden hoe dichtheidsvariaties meegenomen kunnen worden in de sturing van de objecten en het maken van onderbouwde keuzes voor de locatie en type meetpunten.

Pompen draaien op lage toerentallen waar mogelijk

Om het risico op cavitatie bij de pompen te verlagen kunnen de pompen op een lager toerental draaien (halve kracht). Hierdoor is de waterstandsval bij de pomp minder en zal de kans op cavitatie afnemen.

Krooshek vaker schoonmaken

Het verval bij de pompinlaat is deels afhankelijk van hoe schoon het krooshek is. Door aangroei van planten en schelpdieren en aandrijvende vuil kan het krooshek snel geblokkeerd raken (orde grootte van een paar maanden na schoonmaak). Frequenter schoonmaken van het krooshek zal het verval verminderen.

Extra spuicapaciteit gereed hebben

Het gereed maken van extra spuicapaciteit is een maatregel die genomen kan worden bij elke strategie. De Zeesluis IJmuiden heeft een spui functie (spuien met één sluisdeur open via de rinketschuiven) al werkt dat nu via een noodprotocol. Spuien door de Zeesluis heeft namelijk een negatief effect op de nautiek in de voorhavens, waardoor er goede afstemming nodig is met de scheepvaart. Bij hoge afvoeren en hoge waterstanden op de Noordzee is spuien via de Zeesluis niet mogelijk. Daarnaast kan het gemaal bij Zeeburg kan vaker gebruikt worden.

(Onafhankelijk) expertadvies over cavitatieproblemen

Het wordt aanbevolen om een onderzoek in te stellen naar de problemen bij het gemaal waarin gekeken wordt naar de bron van de huidige cavitatieproblemen, de aanstroming bij de inlaat van de maalgangen en een onderbouwing van de aanzuigrens. Tevens dienen mogelijke beheersmaatregelen te worden onderzocht.

5.5 Strategie 1 (S1): Zoutscherm volledig in werking – Accepteer risico op pompschade

In deze strategie wordt er toegestaan dat de waterstand bij de pompen onder NAP – 0,70 m komt. De zakdeur wordt dicht gedaan, het project SO-IJ wordt afgemaakt en de Zeesluis in gebruik genomen. Hierbij wordt het oorspronkelijke plan voor het water- en zoutbeheer met het zoutscherm uitgevoerd met een groter dan voorzien risico op pompuitval (door cavitatieschade). Het zoutscherm zorgt er voor dat de verzilting van het Noordzeekanaal beheerst kan worden ook met de Zeesluis in gebruik. Het risico op schade bij de pompen is groot.

Ingezette maatregelen:

Gemaal: accepteren extra risico op schade door cavitatie en meer onderhoud

Zakdeur dicht

No-regret maatregelen

Functie	Functie eis	Effect
Waterveiligheid	Faalkans gemaal	Zeer hoog
	Voormalen	Tot NAP – 0,50 m
	Herhalingstijd NAP+0,0m Zicht jaar 2015 [jaar]	<<120
	Herhalingstijd NAP-0,2m Zicht jaar 2015 [jaar]	1 op basis van expert judgement
Scheepvaart	Schutcycli Zeesluis [per dag]	10
Waterbeschikbaarheid	Zoutgehalte ARK-NZK	Minder verzilting dan voor het zoutscherm

Beheer bij scenario hoge afvoer

In tijden van hoge afvoer wordt er voorgemalen. Omdat met de zakdeur dicht de waterstanden bij de pompen te laag komt (<NAP – 0,7 m) is de faalkans van het gemaal hoog.

Beheer bij scenario droogte

In tijden van droogte hoeft er niet voorgemalen te worden, kan het waterpeil op NAP - 0,40 m blijven of iets hoger. De afvoeren zijn laag (<130m³/s) en (als er niet gespuid kan worden) kan de pompen op halve kracht gedraaid worden zodat de faalkans van het gemaal laag blijft. Zeesluis wordt gebruikt met zoutgehalte onder controle door werking zoutscherm met zakdeur dicht

5.6 Strategie 2 (S2): Zoutscherm volledig in werking – hoger NZK peil

In deze strategie wordt niet toegestaan dat de waterstand bij de pompen onder NAP – 0,70 m komt (aanzuigbeveiliging actief). De zakdeur is gesloten. Om dit te bereiken moet het streefpeil van het Noordzeekanaal permanent hoger komen te liggen, namelijk NAP - 0,35 m. De nieuwe Zeesluis wordt volledig in gebruik genomen. Het peilbesluit en waterakkoord zullen moeten worden herzien, en de gevolgen, risico's en kosten voor de omgeving zullen moeten worden geaccepteerd. Waterschappen zullen vaker een maalstop moeten instellen. De gevolgen voor de omgeving zijn ingrijpend – noodmaatregelen worden dagelijks praktijk (zie rapport Gevolgen hoogwater op het ARK/NZK van HKV en Tauw [3]).

Ingezette maatregelen:

NZK gemiddeld op een hoger peil

Zakdeur dicht

No-regret maatregelen

Functie	Functie eis	Effect
Waterveiligheid	Faalkans gemaal	Zoals voor het zoutscherm
	Voormalen	Tot NAP – 0,38 m
	Herhalingstijd NAP+0,0m Zicht jaar 2015 [jaar]	<72
	Herhalingstijd NAP-0,2m Zicht jaar 2015 [jaar]	<5
Scheepvaart	Schutcycli Zeesluis [per dag]	10
Waterbeschikbaarheid	Zoutgehalte ARK-NZK	Minder verzilting dan voor het zoutscherm

Beheer bij hoge afvoer

Zakdeur dicht, voormalen tot NAP - 38cm (niet lager) rekening houdend met enige afwaaiing.

Beheer bij droogte

In tijden van droogte hoeft er niet voorgemalen te worden, kan het waterpeil op NAP - 0,40 m blijven of iets hoger. De afvoeren zijn laag (<130m³/s) en (als er niet gespuid kan worden) kunnen de pompen op halve kracht gedraaid worden zodat de faalkans van het gemaal laag blijft. De Zeesluis wordt gebruikt en zoutgehalte blijft onder controle door werking zoutscherm met zakdeur dicht

5.7 Strategie 3 (S3): Doorgaan met Noordersluis tenzij

In deze strategie wordt niet toegestaan dat de waterstand bij de pompen onder NAP – 0,70 m komt (aanzuigbeveiliging actief). De zakdeur blijft permanent open. Er wordt doorgegaan met het huidige protocol “Noordersluis tenzij het niet anders kan” om overmatig verzilting van het Noordzeekanaal te voorkomen. Hierbij wordt er voornamelijk geschut met de Noordersluis. Hierbij blijft er een verhoogd risico op pompuitval (aanzuigbeveiliging treedt in) maar dit is veel kleiner dan met de zakdeur dicht. Het afronden van het project SO-IJ loopt vertraging op. Er is vertraging in het gebruiken van de Zeesluis.

Ingezette maatregelen:

Noordersluis langer gebruiken

Zakdeur continu open

No-regret maatregelen

Functie	Functie eis	Effect
Waterveiligheid	Faalkans gemaal	Zoals voor het zoutscherm
	Voormalen	Tot NAP – 0,45 m
	Herhalingstijd NAP+0,0m Zicht jaar 2015 [jaar]	Tussen 72 en 120
	Herhalingstijd NAP-0,2m Zicht jaar 2015 [jaar]	Tussen 5 en 10
Scheepvaart	Schutcycli Zeesluis [per dag]	2
Waterbeschikbaarheid	Zoutgehalte ARK-NZK	Minder verzilting dan voor het zoutscherm

Beheer bij hoge afvoer

Zakdeur open, voormalen tot NAP – 0,45 m, rekening houdend met enige afwaaiing.

Beheer bij droogte

Zakdeur open. Noordersluis gebruiken voor schutten. Bij dreigende verzilting schutbeperkingen inzetten

5.8 Strategie 4 (S4): Geleidelijk Zeesluis vaker gebruiken – zakdeur voornamelijk open

In deze strategie wordt niet toegestaan dat de waterstand bij de pompen onder NAP – 0,70 m komt (aanzuigbeveiliging actief) het zoutscherm. De zakdeur wordt open gehouden bij hoge afvoer en dicht gedaan op momenten waarbij er voor het waterbeheer kan worden volstaan met pompen op laag toerental. De nieuwe Zeesluis wordt in gebruik genomen maar kan nooit de Noordersluis volledig vervangen zoals men had voorzien. Het aantal schutcycli die bij de Zeesluis uitgevoerd kan worden is iets hoger dan huidig, maar afhankelijk van de verziltingssituatie en de nog te verifiëren effectiviteit van het zoutscherm met zakdeur open. Hierbij blijft er een verhoogd risico op pompuitslag (aanzuigbeveiliging treedt in) en er is een kans op overmatig verzilting, maar die is minder hoog dan met zakdeur permanent open.

Ingezette maatregelen:

Noordersluis langer gebruiken
Zakdeur open bij hoge afvoeren
No-regret maatregelen

Functie	Functie eis	Effect
Waterveiligheid	Faalkans gemaal	Ongeveer zoals voor het zoutscherm (grotere kans dan S3)
	Voormalen	Tot NAP – 0,45 m
	Herhalingstijd NAP+0,0m Zicht jaar 2015 [jaar]	Tussen 72 en 120
	Herhalingstijd NAP-0,2m Zicht jaar 2015 [jaar]	Tussen 5 en 10
Scheepvaart	Schutcycli Zeesluis [per dag]	Misschien meer dan nu (~3-4)
Waterbeschikbaarheid	Zoutgehalte ARK-NZK	Meer verzilting dan S3

Beheer bij hoge afvoer

Zakdeur open, beperkt voormalen (tot NAP – 0,45 m), rekening houdend met enige afwaaiing.

Beheer bij droogte

Zakdeur dicht, evt. schutbeperkingen of Noordersluis gebruiken

5.9 Strategie 5 (S5): Zeesluis zo veel mogelijk gebruiken

In deze strategie wordt niet toegestaan dat de waterstand bij de pompen onder NAP – 0,70 m komt (aanzuigbeveiliging actief). De zakdeur wordt voornamelijk dicht gehouden en (waar de afvoervoorspelling hoog zijn weer opengezet). De nieuwe Zeesluis wordt zo veel mogelijk gebruikt. Het waterbeheer is extra uitdagend omdat de zakdeur alleen dicht kan als het waterpeil hoog genoeg is of als de afvoerbehoefte voor de pompen laag blijft. Er wordt gebruik gemaakt van extra spuicapaciteit om de pompen zo veel mogelijk te ontzien en het waterpeil wordt hoog gehouden (zonder voormalen). Bij elke afvoervoorspelling < 130 m³/s worden de pompen op een lager toerental gezet en de zakdeur dicht gedaan. Zakdeur ook dicht bij spuien. Veel bewegingen van de zakdeur leidt tot een complex bediening en meer onderhoud. De kans dat er iets misgaat is hoger.

Ingezette maatregelen:

Noordersluis langer gebruiken

Zakdeur open bij hoge afvoeren

Noodcapaciteit voor spuien vaker gebruiken (bijv. Zeesluis)

No-regret maatregelen

Functie	Functie eis	Effect
Waterveiligheid	Faalkans gemaal	Ongeveer zoals voor het zoutscherp (grotere kans dan S3 en S4)
	Voormalen	Tot NAP – 0,45 m
	Herhalingstijd NAP+0,0m Zicht jaar 2015 [jaar]	Tussen 72 en 120
	Herhalingstijd NAP-0,2m Zicht jaar 2015 [jaar]	Tussen 5 en 10
Scheepvaart	Schutcycli Zeesluis [per dag]	Misschien meer dan nu (~5-6)
Waterbeschikbaarheid	Zoutgehalte ARK-NZK	Meer verzilting dan S3 en S4

Beheer bij hoge afvoer

Zakdeur open, noodcapaciteit spuien vaker inzetten, risico van pomp uitval waar mogelijk verkleinen

Beheer bij droogte

Zakdeur dicht, veel schutbeperkingen

Tabel 5-6 Samenvattingstabel van de beoordeling van de Strategieën

		Zakdeur	Consequentie voormalen (ondergrens peilbeheer)	Faalkans gemaal	Herhalingstijd NAP 0,0m Zicht jaar 2015 [jaar]	Herhalingstijd NAP -0,2 m Zicht jaar 2015 [jaar]	Schutcycli Zeesluis (per dag)	Verzilting
Strategie			Waterveiligheid (peilbeheersing)				Scheepvaart	Waterbeschikbaarheid
AO	Autonome ontwikkeling voor zoutscherm (situatie tot 2024)	nvt	Tot -0.50m NAP		120	10	2	
S0	Situatie met zoutscherm (zonder aanzuigprobleem)	Dicht	Tot -0.50m NAP		<120	<10	10	Minder verzilting dan AO
S1	Zoutscherm in werking - pompschade accepteren	Dicht	Tot -0.50m NAP	Zeer hoog	<<120	1 – elk jaar*	10	Minder verzilting dan AO
S2	Zoutscherm in werking - hoger NZK peil	Dicht	Tot -0.38m NAP	Zoals AO	<72	<5	10	Minder verzilting dan AO
S3	Doorgaan met Noordersluis tenzij	Open	Tot -0.45m NAP	Zoals AO	Tussen 72 en 120	Tussen 5 en 10	~ 2	Minder verzilting dan AO
S4	Geleidelijk Zeesluis vaker gebruiken	Voornamelijk open	Tot -0.45m NAP	Ongeveer zoals AO (grotere kans dan S3)	Tussen 72 en 120	Tussen 5 en 10	Misschien meer dan nu (~3-4)*	Zoals AO
S5	Zeesluis zo veel mogelijk gebruiken	Zo veel mogelijk dicht	Tot -0.45m NAP	Ongeveer zoals AO (grotere kans S3 en S4)	Tussen 72 en 120	Tussen 5 en 10	Misschien meer dan nu (~5-6)*	Meer verzilting dan AO

*deze getallen zijn op basis van expert judgement

Van de strategieën die in dit hoofdstuk geschetst zijn, lijkt op korte termijn Strategie 4 het meest kansrijk. In deze Strategie 4 blijft de zakdeur van het zoutscherm over het algemeen open en wordt er gaandeweg ervaring opgedaan met de zakdeur dicht in situaties dat de afvoervoorstellingen dat toelaten zodat de pompen niet op volle capaciteit met de zakdeur dicht hoeven te draaien. Hierbij wordt er prioriteit gegeven aan waterveiligheid terwijl de effectiviteit van de Zoutdam IJmuiden in de praktijk bekend wordt.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In de voorliggende studie is het effect onderzocht van het zoutschermbaan (met en zonder zakdeur) op de waterstand bij het gemaal in IJmuiden. Er is ook een integrale afweging gemaakt van verschillende strategieën om het effecten op waterveiligheid, scheepvaart en waterbeschikbaarheid te verkleinen.

Op hoofdlijnen zijn de bevindingen over de effecten van het zoutschermbaan als volgt:

- **Met het plaatsen van het zoutschermbaan is het niet meer mogelijk om de originele ruimte in het peilbeheer te benutten zonder schade aan de pompen te veroorzaken.**
- Als de zakdeur open blijft om cavitatie te voorkomen, heeft het effect op de verzilting van het NZK en het mogelijke aantal schuttingen van de Zeesluis.
- Voor het plaatsen van de zoutdam IJmuiden was er weinig operationele ruimte in het systeem, het waterpeil varieert tussen de NAP -0,3m en NAP -0,55m. Het verval over het krooshek van tussen 10 cm en 15 cm zal er in deze periode vermoedelijk voor hebben gezorgd dat de waterstand bij de pompen dicht in de buurt van NAP - 0,70 m is geweest bij lage kanaalwaterstanden. Als de pompen op volle kracht draaien en de zakdeur in het zoutschermbaan dicht is, wordt een totaal verval van 30 cm gemeten tussen het Noordzeekanaal (bij de Velserskom) en de pompen (benedenstrooms van het krooshek). Daaruit volgt dat bij een peil van NAP - 0,40 m (het gemiddelde peil op het Noordzeekanaal) de waterstand bij de pompen NAP - 0,70 m zal zijn, de thans aangehouden 'aanzuigbewakingsgrens'. Er is hierdoor geen ruimte om het peil op het Noordzeekanaal lager dan NAP - 0,40 m te zetten. Dat betekent dat als een hoge afvoer verwacht wordt, de buffer in het systeem niet benut kan worden voor bijvoorbeeld Slim Water Management.
- Het draaien van de pompen op halve capaciteit leidt tot een totaal verval van ongeveer 20 cm tussen het Noordzeekanaal en de pompen.
- De aanzuigbewakingsgrens van NAP - 0,70 m is niet opgenomen in de hydraulische randvoorwaarden van het zoutschermbaan; er is ook geen rekening gehouden met de aanzuigbewakingsgrens in het ontwerp van het zoutschermbaan. In de thans beschikbare documentatie is de grens van NAP - 0,70 m alleen aangegeven als een waterstand. Er dient nadere onderzoek plaats te vinden naar deze grens. Door een te lage bovenstroomse waterstand kunnen cavitatie en/of trillingen optreden, en daardoor kan schade aan de pompen ontstaan.
- Als de zakdeur open blijft is het totale verval tussen het Noordzeekanaal en de pompen in het gemaal maximaal 23 cm (pompen op volle kracht, gemeten tussen 18 oktober en 18 november 2024), hetgeen enige ruimte biedt voor waterbeheer op het Noordzeekanaal (gemiddelde peil op NAP - 0,40 m en beheer tot NAP - 0,45 m mogelijk omdat dan een verval van 23 cm naar de pompen niet zal leiden tot een waterstand onder NAP - 0,70 m). Echter, de beschikbare ruimte voor waterbeheer op het Noordzeekanaal is in dit geval kleiner dan in het huidige peilbesluit (tussen NAP - 0,30 m en NAP - 0,55 m).
- Het gemeten effect van het zoutschermbaan op de waterstanden en zoutgehalte in het Binnenspuikanaal komt overeen met het resultaat van eerder door Deltares uitgevoerd hydraulisch onderzoek.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van een inventarisatie van diverse mogelijke mitigerende maatregelen (in Hoofdstuk 4) zijn in Hoofdstuk 5 verschillende strategieën ontwikkeld. Hieruit volgt de aanbeveling om de volgende vier stappen te onderscheiden om de risico's te beperken van de negatieve effecten van het zoutscherm op het gemaal.

1. Per direct een aantal no-regret maatregelen (zie paragraaf 6.2.1) implementeren.
2. Op korte termijn Strategie 4 "Geleidelijk Zeesluis vaker gebruiken" implementeren met een aantal beheersmaatregelen.
3. Overwegen om op middellange termijn maatregelen (b.v. bij het zoutscherm of bij het gemaal) uit te voeren, zodat er meer operationele ruimte beschikbaar komt in het systeem.
4. Op lange termijn permanente constructieve maatregelen realiseren bij de Vernieuwing van het spui- en maalcomplex.

Deze 4 stappen worden hieronder nader toegelicht.

6.2.1 Mogelijke no-regret maatregelen implementeren

Op basis van dit onderzoek wordt aanbevolen om per direct de volgende no-regret maatregelen te implementeren:

- Aanzuigbeveiliging aanbrengen bij de pompen in elke maalgang.
- Nieuwe afvoerrelaties voor spuicapaciteit opnemen in het IWP systeem.
- Permanente en betrouwbare metingen van de waterniveaus rondom de pompen, direct gelinkt aan operationele systemen zoals IWP.
- Wanneer mogelijk pompen gebruiken op lager debiet (en lagere tijd). Krooshek vaker schoonmaken.
- Extra spuicapaciteit (Zeesluis en gemaal Zeebrug) gereed hebben.
- Nader (onafhankelijk) onderzoek naar optreden en voorkomen van cavitatie bij het gemaal.
- Nader onderzoek naar effectiviteit van het zoutscherm met de zakdeur open onder verschillende condities.

Deze no-regret maatregelen zijn in paragraaf 5.4 nader toegelicht.

6.2.2 Strategie 4 "Geleidelijk Zeesluis vaker gebruiken" implementeren

Op basis van de analyse in dit rapport van 5 verschillende strategieën (met diverse combinaties van mogelijke beheersmaatregelen) lijkt Strategie 4 het meest kansrijk. Hierbij wordt er prioriteit gegeven aan waterveiligheid terwijl de effectiviteit van de Zoutdam IJmuiden in de praktijk bekend wordt. Aanbevolen wordt om Strategie 4 op korte termijn te implementeren. Deze Strategie bestaat uit de volgende mogelijke beheersmaatregelen (zie ook paragraaf 5.8):

- De zakdeur in het zoutscherm blijft voornamelijk open.
- De Noordersluis blijft in gebruik naast de Nieuwe Zeesluis zodat de meerderheid van de schuttingen alsnog door de Noordersluis afgehandeld kunnen worden.
- Het gebruik van de Nieuwe Zeesluis neemt geleidelijk toe om ervaring op te doen over de effectiviteit van het zoutscherm met zakdeur open voor het afvoeren van zoutwater afkomstig uit de schutsluizen.
- Het volgen van het verziltingsprotocol in het NZK zodat er bij verhoging van het zoutgehalte tijdig wordt gehandeld kunnen de risico's van overmatige verzilting beperkt worden.
- Al kunnen alle verwachte schuttingen vermoedelijk op deze wijze afgehandeld worden, er blijft voor een langere tijd een complexe bediening bestaan bij de schutsluizen door wisselend gebruik tussen de Noordersluis en nieuwe Zeesluis.

- De zakdeur kan dicht gedaan worden in periodes dat de afvoersvoorspelling klein is (ongeveer $< 130\text{m}^3/\text{s}$). Met de zakdeur dicht moet het peil niet onder NAP – 0,40 m komen en moeten de pompen voornamelijk op een laag toerental draaien.

De operatie van de assets in dit gebied hebben een sterke interactie met elkaar en zullen op elkaar moeten worden afgestemd. Hoe de operatie de komende tijd precies eruit moet gaan zien valt buiten de scope van deze studie en zal de komende tijd in meer detail moeten worden uitgewerkt.

6.2.3 Mogelijke constructieve maatregelen overwegen

Voor de middellange termijn is (in paragraaf 4.2.1) een aantal mogelijke constructieve maatregelen geformuleerd, zoals:

- Gemaal (maalgangen): verbeteren instroomcondities.
- Gemaal (maalgangen): vervangen krooshek (minder weerstand, minder aangroei).
- Gemaal (pompen): verdiepen pompen (grotere diepte betekent minder kans op cavitatie).
- Zoutscherm: afvoercoëfficiënt verhogen door de wanden en/of vleugelwanden gladder te maken, zodat de weerstand verminderd.
- Zoutscherm: afvoercoëfficiënt verhogen door de aanstroming naar het zoutscherm te verbeteren.
- Zoutscherm: bodem verlagen (drempel inclusief hellingen aan weerszijden).

De effecten van deze maatregelen op de waterstand bij het gemaal zijn nog niet in detail geanalyseerd in dit rapport, en zijn wellicht kostbaar. Daarom wordt geadviseerd om naast een nader hydraulisch onderzoek ook een economische afweging te maken van de voorgestelde maatregelen, gezien de naderende Vernieuwing van het spui- en maalcomplex.

6.2.4 Permanente constructieve maatregelen realiseren bij de Vernieuwing van het spui- en gemaalcomplex

Op langere termijn zal het bestaande gemaal worden vernieuwd. Aanbevolen wordt om daarbij een nieuwe (lagere) aanzuigbewakingsgrens op te nemen, zodat de kans op schade aan het gemaal wordt beperkt (en meer ruimte ontstaat voor peilbeheer van het Noordzeekanaal). Deze maatregel is zeer effectief, maar pas over ongeveer 9 jaar beschikbaar.

7 Referenties

- [1] C. Vermeulen en v. d. Brink, „Slim Watermanagement - Nadere uitwerkingen faalkansanalyse Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal bij wateroverlast,” HKV Lijn in Water en Hydrologic PR3393.20, 2019.
- [2] C. Vermeulen, R. Versteeg en M. van den Brink, „Faalkansanalyse Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal bij wateroverlast, Hoofdrapport,” HKV Lijn in Water en Hydrologic PR3393.10, 2017.
- [3] HKV & Tauw, „Gevolgen waterstandstijging op het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal,” PR4913.10, Programma Toekomstbestendig ARK/NZK, 2024.
- [4] Pentair, „Hydraulische begrenzings,” 4807527-B09, PENTAIR Nijhuis Pompen P7 Gemaal IJmuiden, 2023.
- [5] SPIE, „Plan van aanpak niveaumetingen Gemaal,” Versie 3.0 SPIE ref:PR00105003, 2024.
- [6] UNESCO, „The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980.,” Tenth report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (JPOTS), UNESCO technical papers in marine science, No. 36., Sidney, B.C., Canada. , 1981.
- [7] Deltares, „Dichtheidsmetingen Zeesluis IJmuiden 2023,” 11209319-000-HYE-0002_v1.0, 2023.
- [8] WL | Delft Hydraulics, „Uitbreiding Gemaal IJmuiden,” H3951, 2001.
- [9] Aqua Vision, „Lekstroom- en capaciteitsmetingen IJmuiden,” AV_DOC_130184, 2013.
- [10] Deltares, „Selectieve Onttrekking IJmuiden - Samenvatting hydraulisch onderzoek,” 11203285-010-HYE-0001, 2019.
- [11] Rijkswaterstaat, „Samenvatting effect Selectieve onttrekking en gevolg op Q-H kromme,” v7 HB 3838974 Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud, 2020.
- [12] Bureau Waardenburg, „Monitoring aangroei grofvuilrooster Gemaal IJmuiden,” 17-199, 2017.
- [13] Rijkswaterstaat, „Onderhoud grofvuilrooster gemaal IJmuiden,” Rijkswaterstaat West-Nederland Noord, 2018.
- [14] Rijkswaterstaat, „Nota van inlichtingen nr. 3,” Project SO-IJ, 16-11-2020.
- [15] Deltares, „Zoutlast IJmuiden - bij testen en ingebruikstelling nieuwe zeesluis,” 11206830-020-ZWS-0002, 2023.
- [16] Deltares, „Invloed van vispassages en scheepvaartopening op de werking van SO-IJ,” 11200215-004-HYE-0011, 2019.
- [17] Rijkswaterstaat, „Protocol spuien Zeesluis IJmuiden,” V4 (9-7-2024), 2024.
- [18] Deltares, „Selectieve Onttrekking IJmuiden Fase 1 - hydraulisch ontwerp,” 11200215-000-HYE-0050, 2020.
- [19] Rijkswaterstaat, „Handelingsperspectief waterbeheer, na realisatie Zoutdam IJmuiden,” Rijkswaterstaat West-Nederland Noord Vertrouwelijk.
- [20] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, „Peilbesluit boezem Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal,” ANW 92/5850, 1992.
- [21] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, „Waterakkoord Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal 2022,” RWS Zaak ID 31172855 HHNK Zaal ID 22.0110449, 2022.

- [22] R. Tijssen en H. Sikma, „Hoofdconclusies drie jaar faalkansstudies voor de regio Noordzeekanaal/Amsterdam Rijnkanaal,” Synthesestuk 18/05/2020 (v2.2), 2020.
- [23] HKV, „Faalkansanalyse Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal bij wateroverlast,” PR3393.10, HKV, 2017.
- [24] L. Elzinga en I. Koevoets, „SIVAK Studie Sluizencomplex IJmuiden,” Witteveen + Bos 125452/21-017.517, 2021.
- [25] Rijkswaterstaat, „Waterbeheersplan WNN 2024-2027 - Naar samenhang in een kwetsbaar watersysteem,” WNN NOV & NM, 2020.
- [26] Pentair, „Berekening van de vismortaliteit van de pompen van gemaal IJmuiden,” R & D-department, 2023.
- [27] WL | Delft Hydraulics, „Salt Conversions - Formula for NaCl and seawater,” Z163-20, 1999.
- [28] RWS, „Effect van het op het NZK niet langer kunnen voormalen tot -0.50mNAP t.o.v. voormalen tot -0.45m,” Rijkswaterstaat West-Nederland Noord, Haarlem, 2024.

A Aanvullende data en gevoeligheidsanalyse

Naast de in Hoofdstuk 3 gepresenteerde data en figuren zijn voor de beeldvorming een aantal extra analyses uitgevoerd. Deze analyses worden in deze bijlage weergegeven en toegelicht. Ook worden in deze bijlage enkele uitgevoerde gevoeligheidsanalyses toegelicht.

A.1 Aanvullende data

In deze paragraaf wordt data (dichtheden, debieten, waterstanden, schutbedrijf) weergegeven die extra context kan bieden bij de data analyse die is gerapporteerd in Hoofdstuk 3.

A.1.1 Aangeleverde data meetpunt H_x in het Binnenspuikanaal

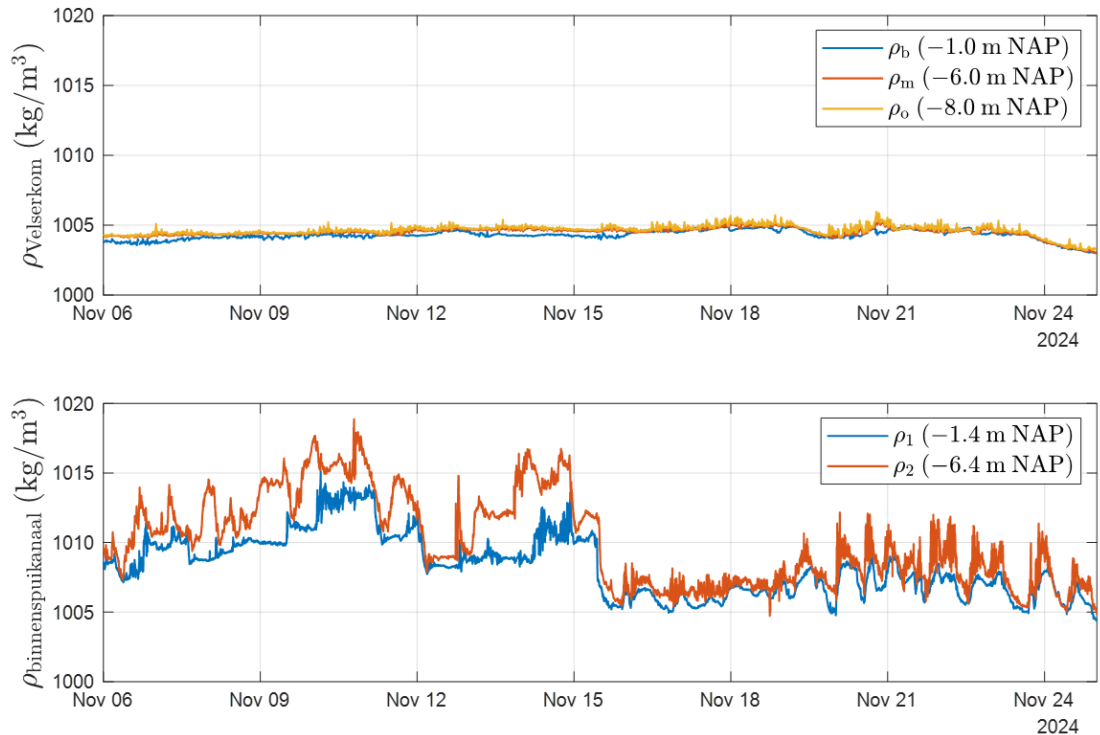
Van het nieuwe meetpunt H_x is rechtstreeks van Rijkswaterstaat data verkregen voor de periode 6 tot en met 24 november 2024. Op meetpunt H_x zal uiteindelijk op drie verticale locaties gemeten worden: NAP - 1.4, - 6.4 en - 10.4 m. Op dit moment zijn alleen verticale locaties NAP- 1.4 en - 6.4 m beschikbaar. Op deze punten wordt de geleidbaarheid [mS/cm], watertemperatuur [°C] en druk [cm H₂O] gemeten. Deze grootheden zijn weergegeven in Figuur A.1.



Figuur A.1: Aangeleverde (onbewerkte) meetdata van punt H_x in de periode 6 tot en met 24 november 2024: geleidbaarheid (boven), watertemperatuur (midden) en druk (onder).

A.1.2 Dichtheden Binnenspuikanaal en Velserkom

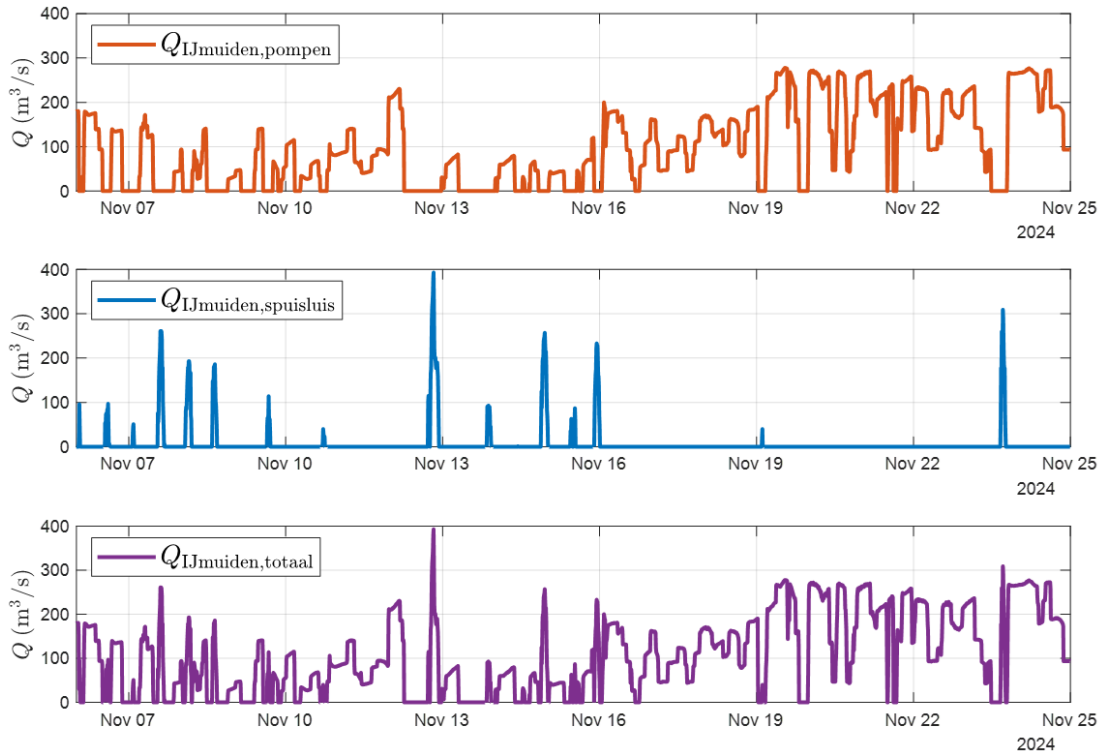
In Figuur A.2 worden de gemeten dichtheden op punt Velserkom WS3 (dieptes NAP - 1.0, - 6.0 en - 8.0 m) en punt H_x (dieptes NAP - 1.4 en - 1.6 m) weergegeven voor de periode 6 tot en met 24 november 2024. Beide dichtheden zijn berekend op basis van gemeten temperatuur en geleidbaarheid aan de hand van de UNESCO1981 (zeewater)formulering [6]. Opvallend is de daling van de zoutgehalten in de Velserkom in de laatste weergegeven week. De aanleiding hiervoor lijkt terug te zien in het schutbedrijf van de Noordersluis, waar in die week gemiddeld minder zouttransport heeft plaats gevonden (zie Figuur A.5).



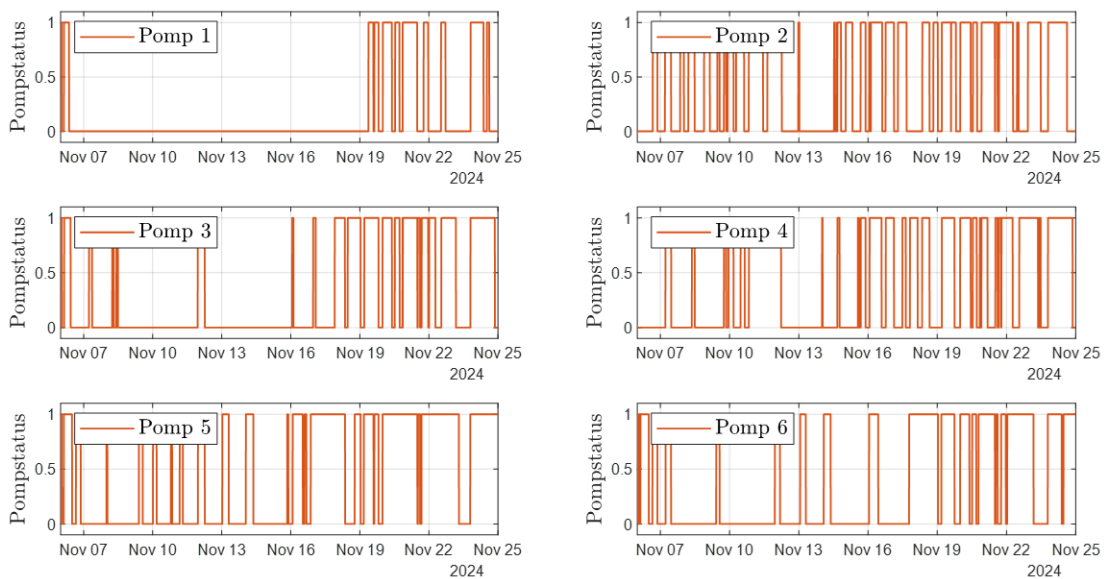
Figuur A.2: Dichtheden gemeten in de Velserkom op NAP - 1.0, - 6.0 en - 8.0 m (boven) en het Binnenspuikanaal (H_x) op NAP - 1.4 en - 6.4 m (beneden).

A.1.3 Bedrijf spui- en maalcomplex IJmuiden

In Figuur A.3 worden de totale pomp- en spuidebieten van spui- en maalcomplex IJmuiden weergegeven voor de periode 6 tot en met 24 november 2024. In Figuur A.4 wordt voor dezelfde periode de status (aan/uit) per pomp weergegeven.



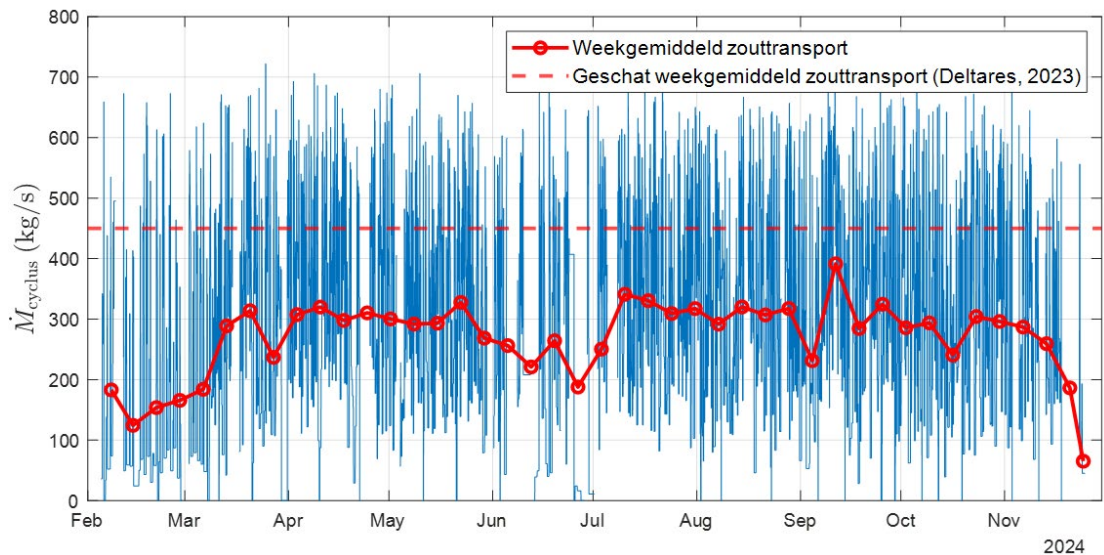
Figuur A.3: Totale pomp- en spuidebieten van spui- en maalcomplex IJmuiden.



Figuur A.4: De status (1 = aan, 0 = uit) van alle individuele pompen van Gemaal IJmuiden.

A.1.4 Zoutlast Noordersluis

Om een beter beeld te krijgen van de invloed van het schutbedrijf op de gemeten dichtheden in het Binnenspuikanaal wordt in Figuur A.5 het zouttransport door de Noordersluis weergegeven. Dit cyclusgemiddelde zouttransport wordt in het IWP berekend aan de hand van de Zeesluisformulering (ZSF). De ZSF maakt gebruik van registraties van deurbewegingen ('open', 'dicht' of 'in beweging'), waterstandsmetingen en een aanname van zoutgehalten aan weerszijden van de sluis (zeezijde: 24.1 kg/m^3 , kanaalzijde: 10.54 kg/m^3) [15].

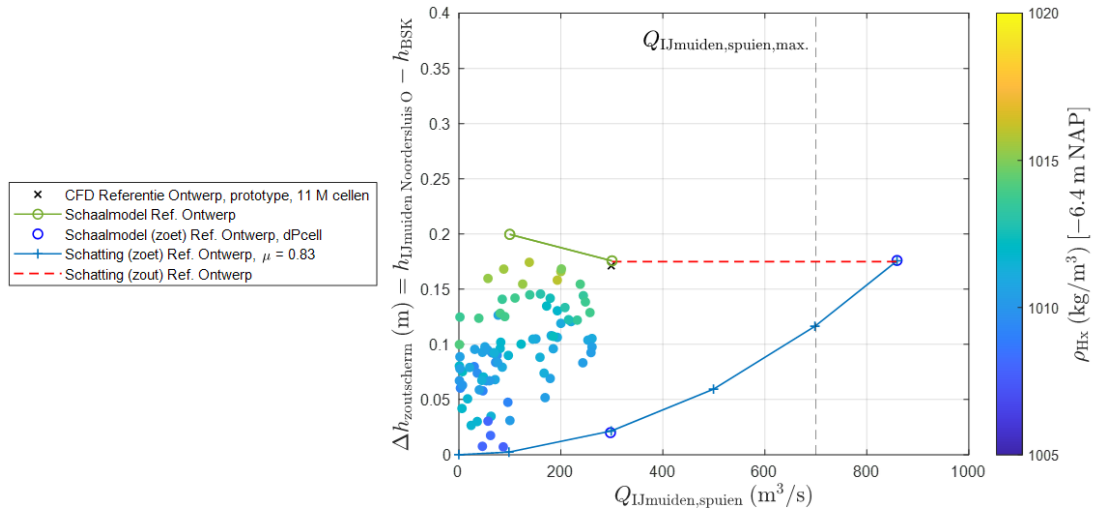


Figuur A.5: Cyclusgemiddeld zouttransport door Noordersluis IJmuiden. Het weekgemiddelde zouttransport is weergegeven met de doorgetrokken rode lijn. De rode gestreepte lijn geeft een schatting weer van het weekgemiddelde zouttransport vóórdat Zeesluis IJmuiden volledig in gebruik is genomen [15].

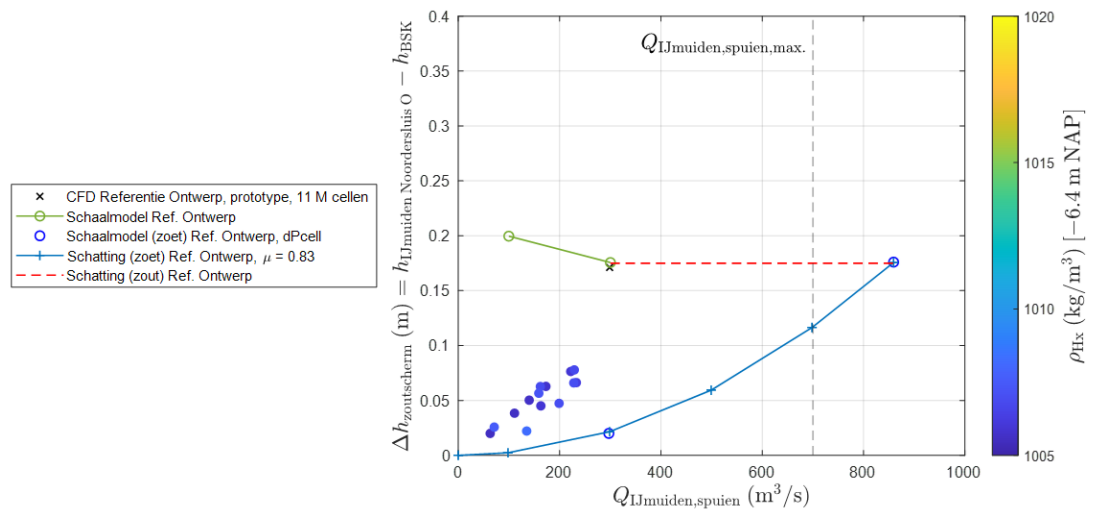
De eerste indruk van de reeks in Figuur A.5 is dat de zoutlast via de Noordersluis niet erg hoog is: het weekgemiddelde zouttransport is eerder geschat op ongeveer 450 kg/s (weekgemiddeld) [15]. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat in de berekening van de zoutlast in het IWP nog wordt uitgegaan van constante zoutgehalten aan weerszijden van de sluis die representatief waren voor de situatie zonder zoutscherm. Een mogelijke verklaring voor het relatief lage zouttransport door de Noordersluis is de ingebruikname van de Zeesluis. Dit kan echter niet gecontroleerd worden omdat de data van het schutbedrijf van Zeesluis IJmuiden niet beschikbaar is in het IWP, en de beschikbare data van de Noordersluis niet verder terug gaat dan één jaar. Ook voor de overige sluisen wordt geen berekening gemaakt in het IWP, maar zijn destijds geschat op weekgemiddeld 0, 51 en 134 kg/s voor respectievelijk de Kleine Sluis, Zuidersluis en Middensluis [15]. Aan het einde van november is een sterke afname in het weekgemiddelde zouttransport te zien in Figuur A.5 – dit is ook duidelijk terug te zien in de dichtheden in de Velserskom (zie Figuur A.2).

A.1.5 Spuisluisen IJmuiden

De gemeten vervallen over het zoutscherm zijn uitgezet tegen de spuidebieten in Figuur A.6 (met gesloten zakdeur) en Figuur A.7 (met geopende zakdeur). In deze figuren is alleen data weergegeven voor spuidebieten groter dan nul, wat tevens betekent dat er op die momenten niet gepompt werd. Er is daarom voor de waterstand in het Binnenspuikanaal gebruik gemaakt van het meetpunt vlak bij maalgang 5 en 6 (H_9 , zie Figuur 2-2) om de invloed van de spuisluisen op de radarmeting zo klein mogelijk te houden (zie ook Paragraaf A.2.2). Uit Figuur A.6 en Figuur A.7 blijkt dat alle beschikbare datapunten zich in het bereik bevinden dat werd verwacht uit de eerder uitgevoerde CFD- en schaalmodelmetingen [10]. Om een nog beter beeld te schetsen van de overeenkomst tussen modelmetingen uit [10] en veldmetingen is ook data nodig voor grotere spuidebieten dan nu weergegeven worden. Periodes met spuidebieten groter dan 250 m³/s zijn wel opgetreden in de beschouwde periode (op 12 en 23 november, zie Figuur A.3), maar van die momenten zijn nog geen radarmetingen beschikbaar gesteld. Dit zou een interessante aanvulling kunnen zijn om een indruk te krijgen van de werking van zoutscherm.



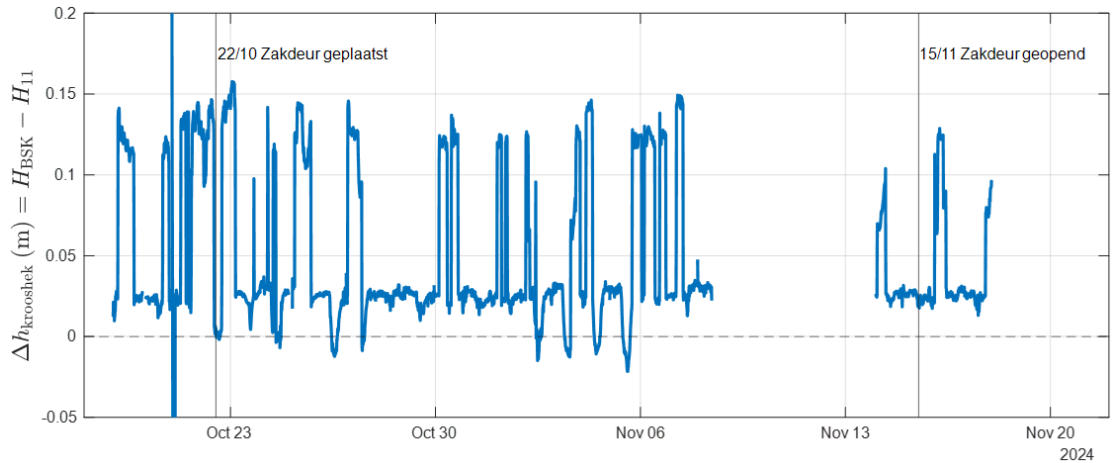
Figuur A.6: Het verval over het zoutscherm uitgezet tegen spuidebiet in de periode met gesloten zakdeur (22 oktober – 8 november en op 14 – 15 november). De data zijn gekleurd volgens de dichtheid gemeten op NAP - 6.4 m op punt H_x . De weergegeven CFD- en schaalmodelresultaten zijn afkomstig uit Figuur 5.1 in [10].



Figuur A.7: Het verval over het zoutscherm uitgezet tegen spuidebiet in de periode met geopende zakdeur (22 oktober – 8 november en op 14 – 15 november). De data zijn gekleurd volgens de dichtheid gemeten op NAP - 6.4 m op punt H_x . De weergegeven CFD- en schaalmodelresultaten zijn afkomstig uit Figuur 5.1 in [10].

A.1.6 Verval over het krooshek

Figuur A.8 geeft het gemeten verval over het krooshek weer op basis van meetpunten H_{BSK} en H_{11} . Het maximale verval over het krooshek is ongeveer 15 cm. De negatieve vervallen die gemeten zijn, zijn vermoedelijk het gevolg van spuien omdat meetpunt H_{BSK} in de buurt bij de spuisluizen ligt (zie Figuur 2-2). Wanneer er niet gepompt wordt is de verwachting dat er geen verval over het krooshek is. Uit Figuur A.8 blijkt echter dat ook in die situaties een verval van ongeveer 2.5 cm gemeten wordt.



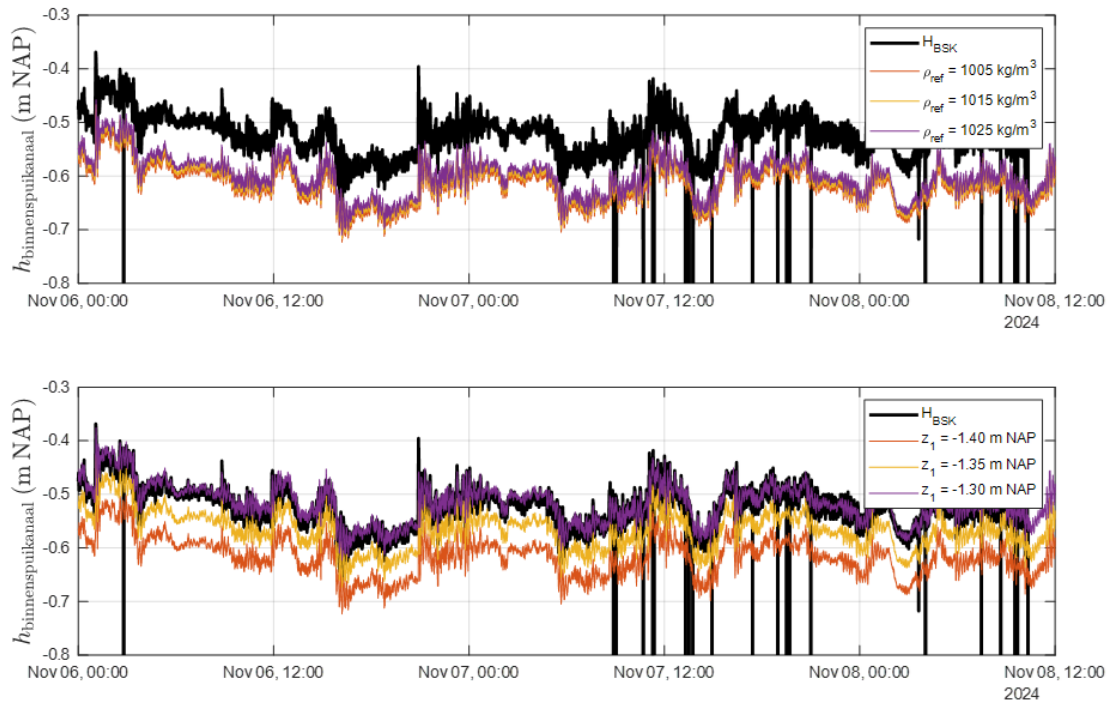
Figuur A.8: Het verval over krooshek ($H_{BSK} - H_{11}$, zie Figuur 2-2) als functie van tijd.

A.2 Gevoeligheidsanalyses

Er zijn enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd (op berekeningen en waterstand, en op de inzet van de verschillende waterstandsmeetpunten in het Binnenspuikanaal) en ook zijn de uitgevoerde databewerkingen (middeling per tien minuten en omrekening tijdzones) gecontroleerd op juistheid.

A.2.1 Gevoeligheidstests berekening waterstand op punt H_x

De berekening van de waterstand op punt H_x op basis van gemeten druk gaf niet het verwachte resultaat (te laag). De gebruikte berekeningsmethode is beschreven in [7]. Vanwege de gemaakte aanname dat de waterkolom boven het bovenste meetpunt een constante dichtheid heeft (die gelijk is aan de dichtheid ter plaatse van het meetpunt), is een kleine afwijking tussen radarmetingen en een berekening te verwachten. De geobserveerde afwijking is echter van orde vijf à tien centimeter. Daarom is besloten om in de data analyse in Hoofdstuk 3 alleen gebruik te maken van waterstanden uit het LMW en de radarmetingen uit de meetcampagne van SPIE. In Hoofdstuk 3 zijn twee mogelijke redenen voor de afwijking tussen de berekeningen en de radarmetingen geïdentificeerd: de verticale positie van het bovenste meetpunt heeft een kleine afwijking (zelfde orde grootte als de afwijking tussen berekening en meting) ten opzichte van NAP - 1.4 m, of de referentiedichtheid van de sensor is anders dan de gemaakte aanname ($\rho_{ref} = 1005 \text{ kg/m}^3$). In Figuur A.9 worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyse van deze twee parameters weergegeven.

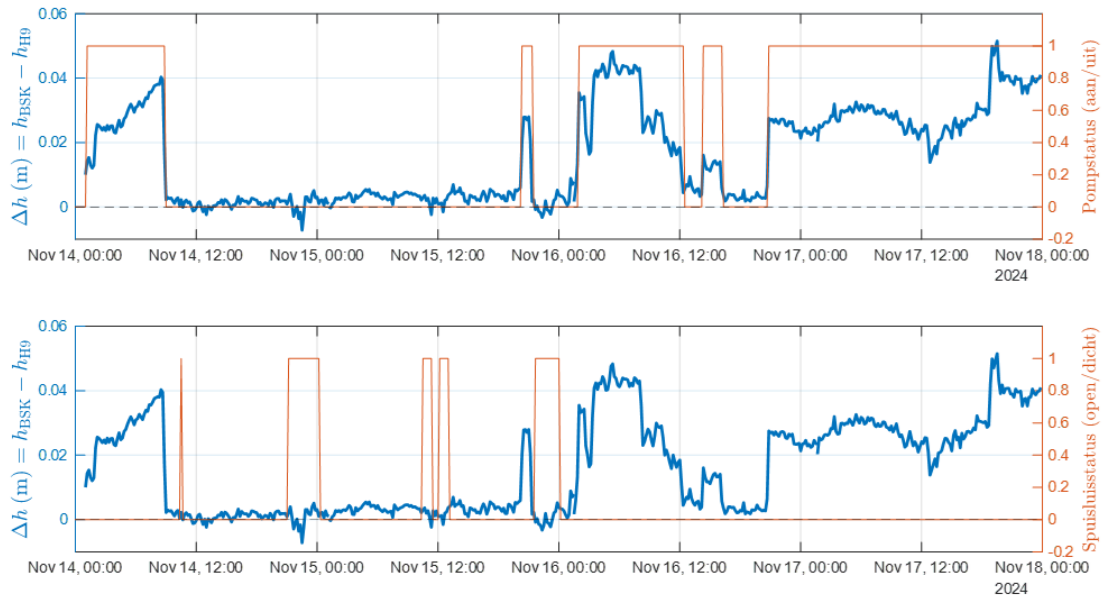


Figuur A.9: Resultaten van de gevoeligheidsanalyse van de waterstandsberekening op basis van de gemeten druk [cm H₂O] op meetpunt H_x. De gevarieerde parameters zijn de referentiedichtheid ρ_{ref} (boven) en de verticale positie van de bovenste sensor z_1 (onder). De radarmetingen (H_{BSK}) zijn weergegeven in het zwart. In beide gevallen is de rode lijn de aangenomen situatie: $\rho_{ref} = 1005 \text{ kg/m}^3$ en $z_1 = \text{NAP} - 1.40 \text{ m}$.

Binnen het nog reële bereik aan referentiedichtheden is een kleine toename in de berekende waterstand te zien. Uit Figuur A.9 blijkt dat een nog veel grotere verandering van ρ_{ref} nodig zou zijn om de waterstand significant te verhogen. Een eventueel verschil in referentiedichtheid is daarom naar verwachting in ieder geval niet de enige aanleiding van een verschil van deze orde. De invloed van de verticale positie van de sensor is zoals verwacht heel groot – deze wordt immers bij de berekende waterkolomdiepte opgeteld [7]. Een verschil van tien centimeter (NAP - 1.30 m) zorgt ervoor dat de berekende waterstand in het Binnenspuikanaal netjes over de radarmetingen heen valt. Er wordt daarom aanbevolen om mogelijke verschillen tussen de geplande positie en de werkelijke positie van de sensor nader te onderzoeken indien in de toekomst op eenzelfde manier zal worden gerekend met de gemeten druk.

A.2.2 Toepassing waterstandsmetingen H₉ en H_{BSK} in het Binnenspuikanaal

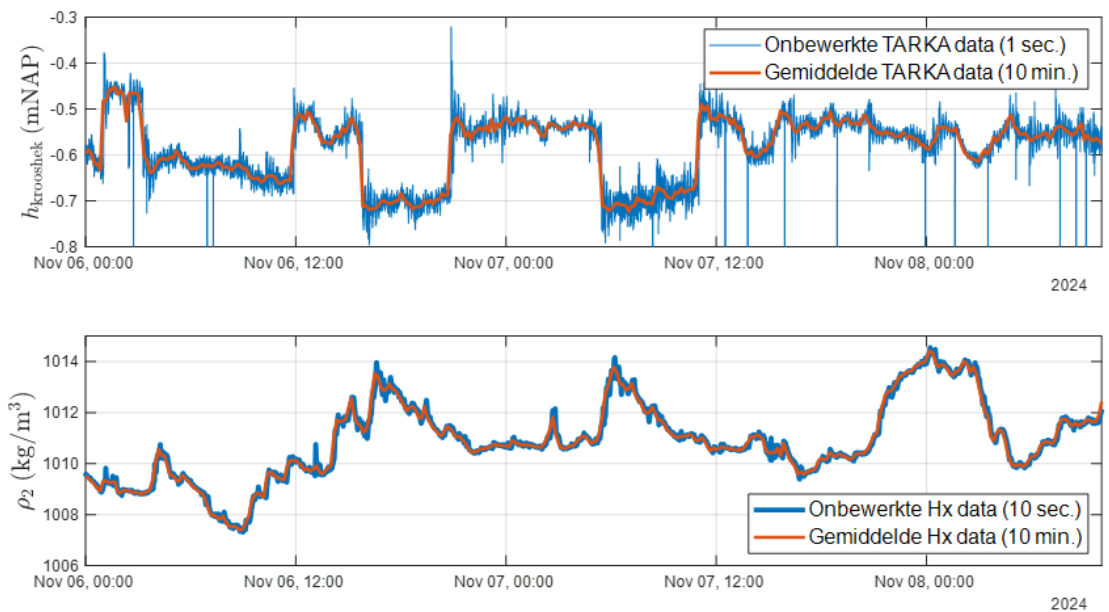
De radarmetingen uit het tweede deel van de meetcampagne van SPIE zijn op twee locaties in het Binnenspuikanaal uitgevoerd: punt H₉ vlakbij MG5 en MG6, en punt H_{BSK} voor de instroom van de spuisluizen. Om te voorkomen dat het gemaal en/of de spuisluis de radarmeting beïnvloed, is in de analyses van het verval gebruik gemaakt van H₉ indien de spuisluizen in bedrijf zijn, en van H_{BSK} indien de pompen in bedrijf zijn. In Figuur A.10 (boven) wordt weergegeven dat er een waterstandsverschil van vier à vijf centimeter ontstaat tussen de meetpunten op het moment dat pomp 5 in bedrijf is. In tegenstelling tot punt H₉, dat dicht bij de instroom van de pompen in MG5 en MG6 ligt, is de extra radarmeting (H_{BSK}) buiten het instroomgebied van de spuisluizen geplaatst [5]. Dit is ook duidelijk zichtbaar in Figuur A.10 (onder): het verschil tussen de twee gemeten waterstanden wanneer de spuisluis in bedrijf is, is een kleiner dan één centimeter.



Figuur A.10: Het verschil tussen de gemeten waterstanden op punt H_9 (bij MG5 en MG6) en H_{BSK} (bij de spuisluizen) en de status van pomp 5 (rood, boven) en de spuisluis (rood, onder).

A.2.3 Middeling data tot 10 minuten intervallen

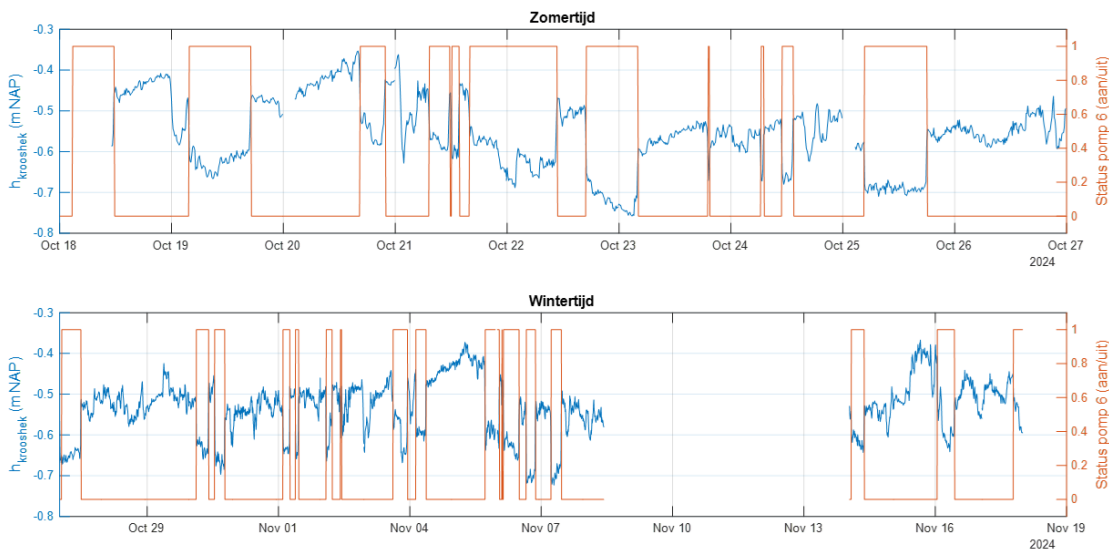
De data uit het LMW en IWP worden uitgegeven in 10 minuten intervallen, berekend als gemiddelde waarde over de vorige 5 en volgende 5 minuten ten opzichte van het desbetreffende tijdstip. De meetdata van punt H_x is ontvangen in 10 seconden intervallen, en de radarmetingen uit de meetcampagne van SPIE in 1 seconde intervallen. Om berekeningen te kunnen doen tussen deze datareeksen zijn alle reeksen met kortere intervallen gemiddeld per 10 minuten. Een voorbeeld van een resultaat van de middeling en hoe dit zich verhoudt tot de onbewerkte data is weergegeven in Figuur A.11: voor de waterstanden uit de TARKA data op punt H_{11} (boven), en voor de (berekende) dichtheden op punt H_x (onder). Door deze middeling worden veel schommelingen uit de data gefilterd.



Figuur A.11: Voorbeeld van een resultaat van de middeling van de radarmetingen op punt H_{11} van SPIE (boven) en punt H_x (beneden).

A.2.4 Controle implementatie verschuiving tussen tijdzones

De aangeleverde data van de radarmetingen door SPIE moest nog bewerkt worden om rekening te houden met de verspringing van zomer- naar wintertijd. Alle bestanden zijn voorzien van een kolom met tijdsaanduiding in tijdzone UTC+0. Deze zijn omgezet naar de lokale tijd door een verschuiving van +2 uur tot 27 oktober (zomertijd, naar GMT+2 DST) of +1 uur vanaf 27 oktober (wintertijd, naar GMT+1). De implementatie van deze databewerking en de overeenstemming met de data uit het LMW is gecontroleerd door te kijken of er een waterstandverlaging optreedt in meetpunt H_{11} indien pomp 6 in bedrijf is. Uit Figuur A.12 blijkt dat de meetreeksen synchroon lopen.



Figuur A.12: Waterstand achter het krooshek (H_{11}) (blauw) en de status (aan = 1, uit = 0) van pomp 6 (rood).

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

Deltares

www.deltares.nl