

Saliniteitseffecten gebruik Nieuwe Spuimiddelen Afsluitdijk

Achtergrondrapport bij de natuuranalyse
Level & Rijkswaterstaat

7 april 2022



[Redacted]

[Redacted]

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel rapport	5
1.3	Leeswijzer	6
2	Achtergrond	7
2.1	Spuien vanuit het IJsselmeer naar de Waddenzee	7
2.2	De werkzaamheden aan spuicomplex Den Oever	8
2.3	Capaciteit voor en na afronding werkzaamheden	9
2.4	Spuien in de toekomst	9
3	Scenario's & afvoerdata	11
3.1	Scenario's	11
3.2	Gebruikte data	11
3.2.1	Meetwaarden	12
3.2.2	Uitkomsten debietberekeningen	13
4	Modelschematisatie	15
4.1	Beschrijving numeriek model	15
4.2	Modelforcering	15
5	Resultaten modelberekeningen	19
5.1	Tijdseries	20
5.2	Ruimtelijk beeld	24
6	Overeenkomsten en verschillen met studie Witteveen+Bos (2015)	27
6.1	Overeenkomsten en verschillen methodiek	27
6.1.1	Overeenkomsten en verschillen modelaanpak	27
6.1.2	Overeenkomsten en verschillen opgelegde spui en pompdebieten	29
6.2	Overeenkomsten en verschillen resultaten	30

7 Conclusies

32

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In opdracht van Rijkswaterstaat realiseert aannemersconsortium Levvel werkzaamheden aan de Afsluitdijk in de periode van 2019 tot en met 2025. De Afsluitdijk wordt versterkt en er moet meer water kunnen worden afgevoerd van het IJsselmeer naar de Waddenzee. Voor uitvoering van de werkzaamheden is in 2015 een Passende Beoordeling (PB 2015) opgesteld (Rijkswaterstaat, 2015), op basis waarvan het Ministerie van Economische Zaken in 2016 een vergunning Natuurbeschermingswet 1998 (DGAN-NB/15050604,) voor de periode van 1 januari 2017 tot en met 31 december 2023 heeft verleend.

In het spuicomplex bij Den Oever worden maatregelen genomen om de waterafvoer vanuit het IJsselmeer te vergroten. In het oorspronkelijk referentieontwerp van Rijkswaterstaat is uitgegaan van het afvoeren van water met pompen, die in de vergunningsaanvraag in 2016 ((DGAN-NB/15050604) zijn meegenomen en dus ook zijn vergund. In de aanbesteding van de werkzaamheden is ruimte geboden om naast een minimaal vereiste pompcapaciteit (235 m³/s) ook op andere manieren water af te voeren, mits daarmee aantoonbaar de doelstelling voor het afvoeren van water wordt gehaald.

In het ontwerp van het aannemersconsortium Levvel wordt uitgegaan van de minimaal vereiste capaciteit aan pompen. Daarnaast zijn twee extra spuisluizen voorzien. Met de extra spuisluizen wordt de totale spuicapaciteit vergroot, zodat er tot ver in toekomst water kan worden afgevoerd onder vrij verval. De combinatie van pompen en spuisluizen levert een duurzame en betrouwbare optie voor afvoer die relatief weinig energie kost door het principe spuien als het kan, pompen als het moet. De extra spuisluizen zijn nog niet vergund in de Nbw vergunning 2016 (DGAN-NB/15050604) en vormen het onderwerp van de Passende Beoordeling (Witteveen+Bos, 2022) waar het voorliggende rapport onderdeel van uitmaakt.

1.2 Doel rapport

Uit de eerder opgestelde PB 2015 en afgegeven Natuurbeschermingswetvergunning (2016) blijkt dat de bouw van pompen en het gebruik van de nieuwe pompen in combinatie met de bestaande spuisluizen is vergund. In een nieuwe Passende beoordeling (Witteveen+Bos, 2022) worden de effecten van de bouw en het gebruik van de nieuwe spuisluizen op Natura 2000-gebieden onderzocht. Effecten van de nieuwe spuisluizen kunnen mogelijk optreden in de Natura 2000-gebieden Waddenzee en IJsselmeer. De inhoud van dit voorliggende rapport is een onderbouwing bij de nieuwe Passende Beoordeling (Witteveen+Bos, 2022).

Een van deze effecten is de verandering in de zoet-zout balans in de Waddenzee. Door de ingebruikname van de nieuwe spuisluizen zal de afvoerverdeling tussen Kornwerderzand en Den Oever veranderen, en dus ook de zoet-zoutbalans in de Waddenzee. In de toekomst worden er hogere afvoeren verwacht vanuit het IJsselmeer en zal de zeespiegel (versneld) stijgen wat gevolgen zal hebben voor de saliniteitsbalans in de Waddenzee. Deze veranderingen worden in dit rapport gekwantificeerd met modelberekeningen. De modelberekeningen vormen input voor de beoordeling van de mogelijke effecten op de ecologie in de Waddenzee.

In dit rapport worden de effecten op de saliniteit van de reeds vergunde configuraties met pompen o.b.v. de studie van Witteveen+Bos (2015), vergeleken met de uitkomsten van modelberekeningen waarin zowel de pompen als de nieuwe spuisluizen worden meegenomen. Op deze wijze worden de verschillen gekwantificeerd tussen de al vergunde configuratie en de mogelijk toekomstige configuratie met nieuwe spuisluizen én pompen.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 is een achtergrondhoofdstuk. In dit hoofdstuk wordt het spuien van het IJsselmeer naar de Waddenzee behandeld, en de relatie met het peilbeheer. Daarnaast worden de werkzaamheden, de bouw van de pompen en nieuwe spuisluizen, toegelicht en het effect op de afvoercapaciteit. Als laatste wordt de invloed van klimaatverandering op het spuien in de toekomst toegelicht.

In Hoofdstuk 3 worden de keuzes van de scenario's onderbouwd, zoals die worden gebruikt voor de saliniteitsommen.

In Hoofdstuk 4 wordt het modelinstrumentarium toegelicht dat gebruikt wordt voor de saliniteitsommen. Hoofdstuk 5 beschrijft vervolgens de resultaten van deze saliniteitsommen.

In Hoofdstuk 6 worden de effecten op de saliniteit van al vergunde configuratie met pompen o.b.v. de studie van Witteveen+Bos (2015), vergeleken met de uitkomsten van deze studie, waarin zowel de pompen als de nieuwe spuumiddelen worden meegenomen.

In Hoofdstuk 7 staan de conclusies van deze studie.

2 Achtergrond

Dit hoofdstuk gaat in op het spuien vanuit het IJsselmeer naar de Waddenzee, de geplande bouw van de nieuwe spuumiddelen en pompen bij Den Oever, de capaciteitsverandering van het spuicomplex, en de invloed van klimaatverandering op de spuicapaciteit bij Den Oever en Kornwerderzand.

2.1 Spuien vanuit het IJsselmeer naar de Waddenzee

Vanuit het IJsselmeer wordt zoetwater gespuid op het IJsselmeer door de spuicomplexen bij Den Oever en Kornwerderzand. Het spuien vindt plaats wanneer het peil op het IJsselmeer hoger is, of hoger dreigt te worden dan de bandbreedte van het peil in het IJsselmeer. De bandbreedte voor het peil in het IJsselmeer is seizoensgebonden. Vanaf 2019 is het nieuwe peilbesluit (Rijkswaterstaat, 2018) van toepassing en worden voor de peilen bandbreedtes gehanteerd:

Winterperiode november tot en met februari: -0,40 tot -0,05 m NAP

Winterperiode oktober en maart -0,40 tot -0,10 m NAP

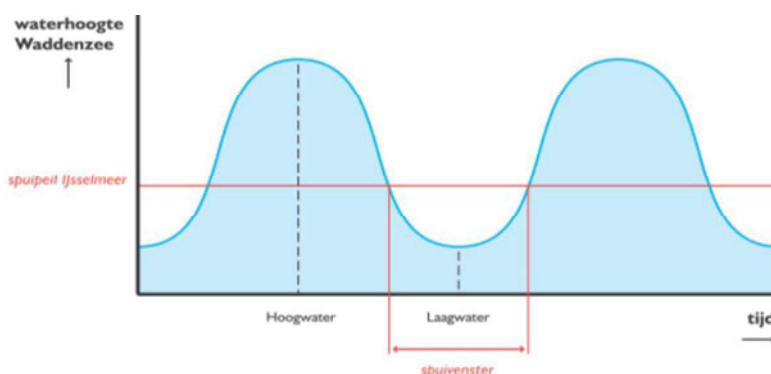
Zomerperiode april tot en met september -0,30 m tot -0,10 m NAP

Op deze bandbreedtes zijn variaties mogelijk, zoals die zijn vastgelegd in het peilbesluit. Deze variaties hangen bijvoorbeeld samen met verwachte droge of natte periodes. De variaties in het peil zijn sterk gestuurd door ecologische doelen voor het IJsselmeergebied. De vroege voorjaarsopzet, die start op 1 maart en waarbij de piek van -0,10 m NAP wordt bereikt op 16 maart en deze wordt aangehouden tot 31 maart, is hiervan een voorbeeld. De vroege voorjaarsopzet heeft mede tot doel de locatie van de nesten van kale grondbroedvogels naar hogere gelegen locaties te verschuiven.

Voor het ingaan van het nieuwe peilbesluit 2019 werden streefpeilen gehanteerd van -0,40 m NAP voor de winter (oktober tot en met maart) en -0,20 m NAP voor de zomer (april tot en met september). Deze peilen zijn vastgelegd in de peilbesluiten 1992/1999.

Hoeveel water vanaf het IJsselmeer naar de Waddenzee moet worden gespuid om binnen de bandbreedte te blijven is afhankelijk van de wateraanvoer naar het IJsselmeer. Het voert te ver om in detail in te gaan op de waterhuishouding van het IJsselmeer, het is hier voldoende om op te merken dat deze afhankelijk is van de regionale waterbalans en - via de aanvoer van water via de IJssel - van de waterbalans in een veel groter gebied. Voor het spuien is van belang dat er grote variaties optreden rond de gemiddelde waterafvoer, zowel per jaar als per maand. Er kan zowel sprake zijn van (extreem) droge, gemiddelde en (extreem) natte jaren en maanden. In natte periodes is sprake van grotere afvoeren van zoetwater naar de Waddenzee, terwijl in de droge periode in het geheel geen afvoer plaatsvindt.

Het spuien via de spuicomplexen vindt plaats onder vrij verval wanneer de waterstand in de Waddenzee lager is dan in het IJsselmeer. In de Waddenzee zorgt het getij ervoor dat tweemaal per dag hoog- en laagwater optreedt. Alleen tijdens een deel van de laagwaterperiode is de waterstand op de Waddenzee lager dan de waterstand op het IJsselmeer, zodat onder vrij verval kan worden gespuid. De tijdsspanne waarin dit plaatsvindt, heet het spuienster (Figuur 1).



Figuur 1. Het principe van het spuienster (Witteveen+Bos, 2015)

2.2 De werkzaamheden aan spuicomplex Den Oever

Het huidige spuicomplex bij Den Oever bestaat uit 3 spui groepen (Spuigroep 1.1, 1.2 en 1.3 in Figuur 2). Aan weerszijden van het bestaande spuicomplex komen de nieuwe pomp groepen PG1 en PG2, met ieder drie pompen. De pomp groepen worden in de landtongen van de kazematteneilanden aan weerszijden van het spuicomplex aangelegd en zijn in de vergunningsaanvraag in 2016 meegenomen. De nieuwe spuisluizen of spui groepen (Spuigroep 1.6 en 1.7) komen in de twee bestaande tusseneilanden. Elke nieuwe spui groep bestaat uit vier spui kokers. Na de bouw van de pompen en de nieuwe spuumiddelen is ten opzichte van de huidige situatie extra spuicapaciteit beschikbaar en kunnen pompen worden ingezet voor het afvoeren van extra water van het IJsselmeerwater naar de Waddenzee. De pompen kunnen water afvoeren op de momenten dat niet wordt gespuid.

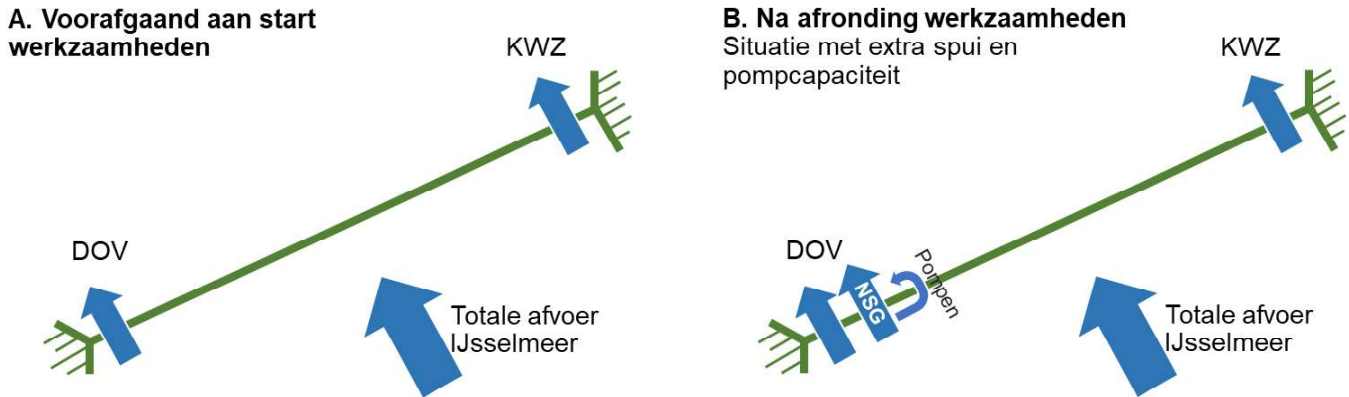


Figuur 2. Plangebied Spuicomplex Den Oever met nieuwe te bouwen spui- en pomp groepen. Spuigroepen 1.1 tot en met 1.3 zijn bestaand. Pompgroepen 1 en 2 en Spuigroepen 1.6 en 1.7 zijn nieuw.

2.3 Capaciteit voor en na afronding werkzaamheden

De huidige spuicapaciteit van het complex bij Den Oever (3 keer 5 spui kokers) is groter dan die van het complex bij Kornwerderzand (2 keer 5 spui kokers). In de huidige situatie zonder pompen en nieuwe spuumiddelen gaat ongeveer 55% van de totale afvoer bij Den Oever naar de Waddenzee en 45% bij Kornwerderzand.

Na het afronden van alle werkzaamheden is de totale afvoercapaciteit via de spuumiddelen en pompen met 45 % toegenomen ten opzichte van de situatie voorafgaand aan het project. Figuur 3 geeft deze situatie schematisch weer. De extra afvoercapaciteit is beschikbaar bij Den Oever. Bij Kornwerderzand is de afvoercapaciteit ongewijzigd, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 3. Dat deze capaciteit beschikbaar is, betekent niet dat deze direct wordt ingezet. De gemiddelde hoeveelheid water die vanuit het IJsselmeer moet worden afgevoerd naar de Waddenzee voor het peilbeheer van het IJsselmeer is in deze periode (vanaf de start tot het afronden van de werkzaamheden) niet wezenlijk veranderd. Als gevolg van de uit te voeren werkzaamheden zal de totaal af te voeren hoeveelheid water ook niet veranderen.



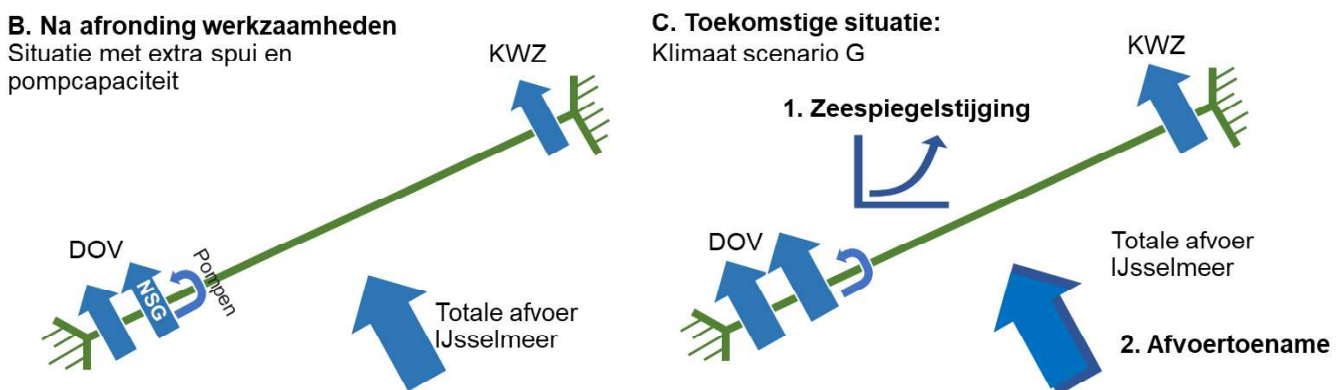
Figuur 3. Schematische weergave van de beschikbare afvoercapaciteit voorafgaand (A) en na afronding (B) van de werkzaamheden. (DOV = Den Oever, KWZ = Kornwerderzand; NSG = Nieuwe spuigroepen)

De extra afvoercapaciteit kan worden benut wanneer dat nodig is voor het handhaven van het peil op het IJsselmeer. Bij hoge afvoeren vanuit (de IJssel en vanaf de gebieden rondom) het IJsselmeer wordt dan de volledige spuicapaciteit gebruikt. Hierdoor verandert de totale (jaarlijkse) afvoer via de Afsluitdijk niet, maar wordt in vergelijking met de huidige situatie dezelfde hoeveelheid water in een korter tijdsbestek afgevoerd.

2.4 Spuien in de toekomst

De noodzaak tot vergroting van de afvoercapaciteit en de inzet van pompen voor de afvoer vindt plaats vanwege zeespiegelstijging en veranderingen in de zoetwaterafvoer, zoals schematisch weergegeven in Figuur 4. Beide zijn gerelateerd aan de wereldwijde veranderingen in het klimaat. Door zeespiegelstijging kan er een kleiner percentage van de tijd gespuid worden, het spuienvenster wordt kleiner. Om tot een gelijk afvoervolume vanuit het IJsselmeer te komen, moeten de spuidebieten hoger zijn in de situatie met zeespiegelstijging en dat kan worden bereikt door de spuicapaciteit te vergroten en/of door de inzet van pompen. Aangezien klimaatverandering ook resulteert in een toename aan afvoer vanuit het IJsselmeer zullen de spuidebieten nog hoger worden.

In deze studie is er rekening gehouden met klimaatverandering met het KNMI-Klimaatscenario G. Dit klimaatscenario gaat uit van 1°C temperatuurstijging in 2050 ten opzichte van 1990 en geen veranderingen in luchtstromingspatronen in West-Europa. Hierbij hoort een toename van de totale afvoer vanuit het IJsselmeer. In Tabel 1 is de zeespiegelstijging en de procentuele verandering in IJsselafvoer voor de zichtjaren 2020, 2028 en 2050 weergegeven, behorende bij Klimaatscenario G.



Figuur 4. Schematische weergave van de veranderingen in de randvoorwaarden voor de afvoer via de Afsluitdijk.

Tabel 1. Zeespiegelstijging en percentuele verandering in IJsselafvoer, laterale debieten, neerslag en verdamping van de zichtjaren 2020, 2028 en 2050 behorende bij het KNMI2006 klimaatscenario G (Deltares, 2017).

Jaar	Klimaat scenario	Zeespiegelstijging t.o.v. 1990 (cm)	Percentuele verandering IJsselafvoer, laterale debieten, neerslag en verdamping.	Wind
2020	G	10	38% van G2050	Geen verandering
2028	G	13	52,8% van G2050	
2050	G	25,0	100% van G2050	

3 Scenario's & afvoerdata

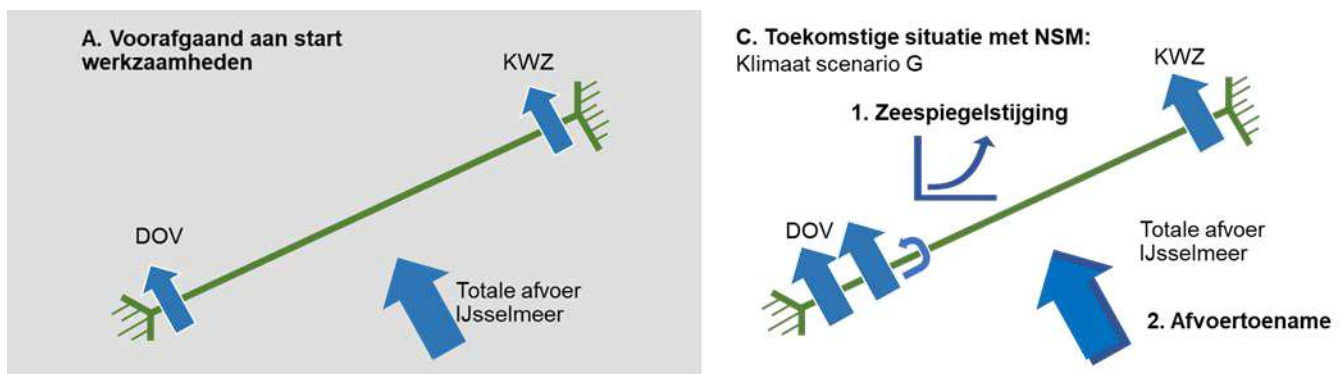
3.1 Scenario's

In deze modelstudie is gekeken naar twee scenario's: A) de huidige situatie en C) een realistisch worst-case scenario. Het realistische worst-case scenario is het scenario waarin verwacht wordt dat het systeem sterk verzoet en dat frequent optreedt. De huidige situatie is beschouwd als de referentiesituatie voor het beschouwen van de gevolgen van het worst-case scenario. De keuze voor deze twee modelscenario's is gebaseerd op de termijnvisie en de configuratie van het systeem.

Voor het realistisch worst-case scenario is gekozen voor een lange termijn situatie (2050 met klimaatverandering) waarin zowel de pompen als de nieuwe spuumiddelen aanwezig zijn (Figuur 5, rechts). Het zichtjaar 2050 is gekozen omdat de pompen en extra spuien voor deze situatie worden gebouwd. Hierin wordt rekening gehouden met zeespiegelstijging en een verhoogde afvoer vanuit het IJsselmeer, volgens het KNMI-klimaatscenario G.

Voor het referentie scenario is gekozen voor de huidige situatie zonder pompen en zonder nieuwe spuumiddelen (Figuur 5, links). Door vergelijking van de referentiesituatie en het worst-case scenario wordt gekwantificeerd wat de veranderingen in saliniteit zijn na de bouw van de nieuwe spuumiddelen en de al vergunde pompen (zichtjaar 2050) ten opzichte van de huidige situatie.

In dit rapport zal het realistische worst-case scenario worden aangeduid als het 2050 scenario en het referentie scenario als het 2020 scenario.



Figuur 5. Referentie scenario (2020, scenario A) en worst-case scenario (2050, scenario C).

3.2 Gebruikte data

De spuidebieten (het instantane watervolume dat wordt afgevoerd van IJsselmeer naar Waddenzee, uitgedrukt in m^3/s) en spui volumes (de cumulatieve spuidebieten over een bepaalde periode, uitgedrukt in bijvoorbeeld m^3/dag of $m^3/28dagen$) voor de rekenscenario's (het 2020 en 2050 scenario) zijn bepaald op basis van meetwaarden (tussen 2000 en 2020) in combinatie met de uitkomsten van beschikbare berekeningen met het SOBEK/Wanda-Locks model waarin Klimaatscenario G is opgenomen (Deltares, 2017).

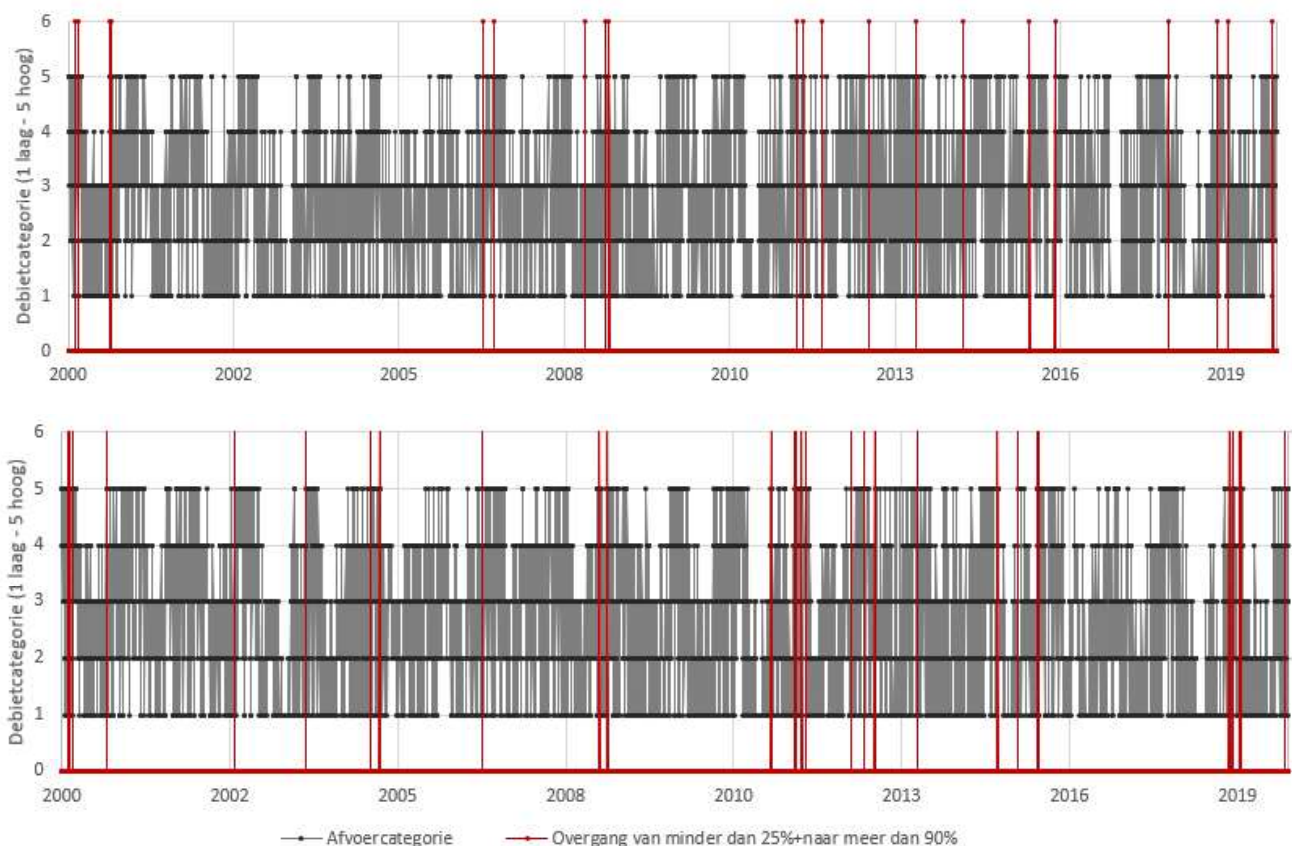
3.2.1 Meetwaarden

In Figuur 6 zijn de metingen van de debieten (daggemiddeld) bij Den Oever en Kornwerderzand tussen 2000 en 2020 opgedeeld in 5 categorieën, van een lage (cat. 1) naar een hoge (cat. 5) afvoer. De categorieën beschrijven de percentiele grenswaarden: Categorie 1 is het <25 percentiel, categorie 2 is tussen het 25 en 50 percentiel, categorie 3 is tussen het 50 en 75 percentiel, categorie 4 is tussen het 75 en 90 percentiel en categorie 5 is het >90 percentiel. Hierin zijn een aantal situaties te onderscheiden.

1. Er is een periode van lage afvoer; de Waddenzee is dan relatief zout.
2. Er is een periode van hoge afvoer; de Waddenzee is relatief zoet.

3. Er is een plotse overgang van een lage naar een hoge afvoer; de Waddenzee wordt dan over een bepaalde periode zoeter.

Een worst-case scenario voor de ecologie in de Waddenzee is een overgang van een aanhoudend laag spuidebiet naar een aanhoudend hoog spuidebiet (zie Witteveen+Bos, 2022). Het totale spuivolume over een lange periode (aanhoudend hoge of lage debieten) heeft meer gevolgen voor de saliniteit in de Waddenzee, dan een kortdurend piekdebiet. In de daggemiddelde debieten is dat in Figuur 6 aangegeven met de rode lijnen (overgang categorie 1 naar 4). Bij Den Oever (onder) komt dit ongeveer 3 keer per jaar voor en bij Kornwerderzand (boven) ongeveer 2 keer per jaar. Om naar een situatie te gaan die representatief is voor een frequentie van 1 keer per jaar, is ervoor gekozen om in de modelsimulaties een plotse overgang te simuleren van de onderkant van categorie 1 (van een 10 percentiel) naar categorie 4 (een 90 percentiel) debiet.



Figuur 6. De metingen van de debieten (daggemiddelde) bij Den Oever (onder) en Kornwerderzand (boven) tussen 2000 en 2020 opgedeeld in 5 categorieën. Een directe overgang van een laag debiet (cat. 1) naar een hoog debiet (cat. 4) is zichtbaar gemaakt met de rode lijnen.

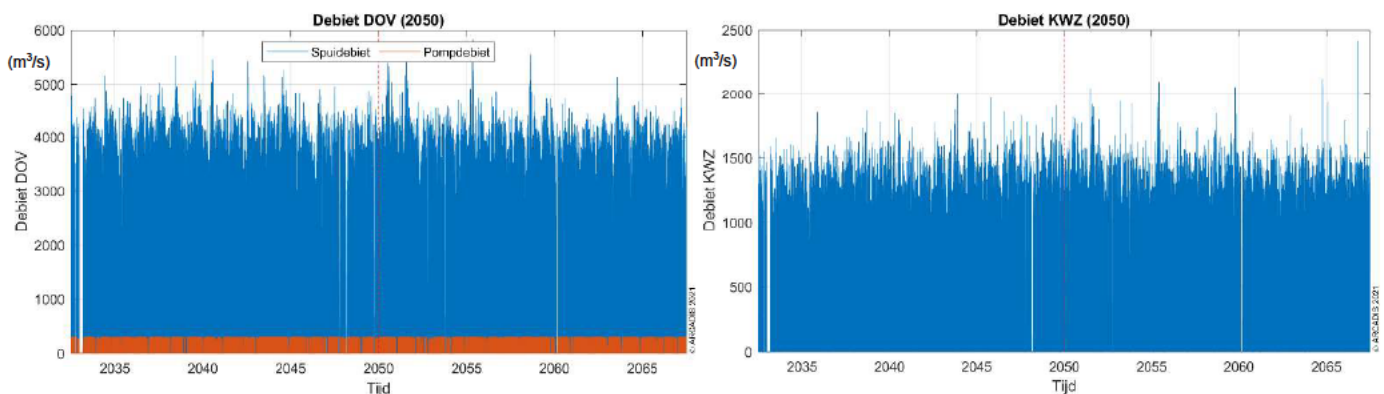
3.2.2 Uitkomsten debietberekeningen

Voor zowel het 2020 scenario als het 2050 scenario zijn de uitkomsten van het SOBEK/Wanda-Locks model gebruikt om tot spui- en pompdebieten te komen bij Den Oever en Kornwerderzand. De uitkomsten van het SOBEK/Wanda-Locks model (afvoerdebieten) zijn aangeleverd door Witteveen+Bos d.d. 1-10-2021. Dit SOBEK/Wanda-Locksmodel is in opdracht van Levvel opgesteld om de waterbeweging te modelleren. Bij het genereren van de debietreeksen is voor het 2050 scenario rekening gehouden met het Klimaatscenario G en de aanwezigheid van de pompgroepen en nieuwe spuumiddelen. Voor het genereren van de debietreeksen van het 2020 scenario is er uiteraard niet rekening gehouden met pompen en nieuwe spuumiddelen.

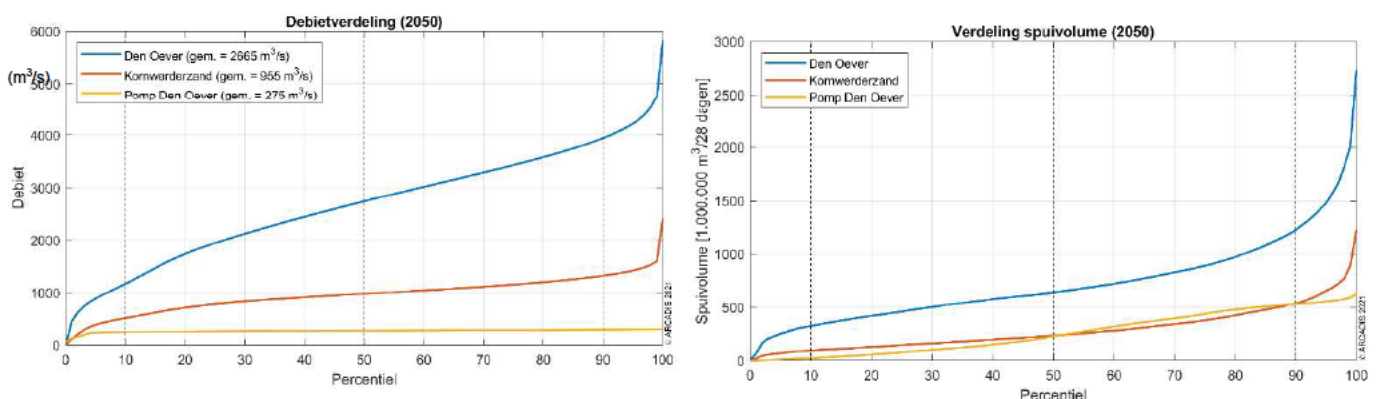
Hoe er vanuit de debietreeksen uit het SOBEK/Wanda-locks model gekomen is tot een bepaald spuivolume over 28 dagen voor beiden scenario's wordt hieronder toegelicht waarin het 2050 scenario als voorbeeld is genomen. De spuivolumes voor het 2020 scenario zijn op precies dezelfde wijze berekend en worden daarom niet verder toegelicht.

In Figuur 7 is het verwachte debiet, berekend met SOBEK/Wanda-Locks, weergegeven bij Den Oever en Kornwerderzand tussen 2033 en 2067 (ca. 34 jaar). Deze debietreeks is gebruikt om tot spui volumes voor het 2050 scenario te komen. Het zichtjaar 2050 is in het figuur daarom gemarkeerd. Voor dit zichtjaar en de jaren daaromheen (ca. 17 jaar) is een analyse uitgevoerd. Er is gekeken naar de onderschrijdingskans van de debieten in de tijdspanne van deze 34 jaar, uitgedrukt in het percentiel zoals weergegeven in Figuur 8 (links). Dus, 10% van alle debieten (in die 34 jaar) is lager dan het debiet dat bij het 10 percentiel hoort. In Figuur 8 (rechts) zijn deze debieten omgerekend naar spui volumes per 28 dagen zodat deze gebruikt kunnen worden in de modelschematisatie van de Waddenzee. Zoals in paragraaf 3.2.1 beschreven zal er in de modelsimulaties gekeken worden naar een overgang van het 10 percentiel naar een 90 percentiel spui volume.

In Tabel 2 zijn de spui volumes opgenomen voor het 2020 scenario en het 2050 scenario, voor het 10, 50 en 90 percentiel. De 10 en 90 percentiel volumes zijn gebruikt in de modelschematisatie. De implementatie hiervan is verder toegelicht in hoofdstuk 4.



Figuur 7. Het verwachte toekomstige debiet bij Den Oever (links) en het debiet bij Kornwerderzand (rechts) berekend met SOBEK en Wanda-Locks simulaties. Het jaar 2050 is gemarkeerd met de rode stippellijn.



Figuur 8. De debietverdeling (links) en het spui volume per 28 dagen (rechts) bij Den Oever en Kornwerderzand voor 2050.

De resultaten in Tabel 2 laten zowel een aantal verschillen als overeenkomsten tussen de spui volumes van de scenario's zien. Ten eerste valt op dat het totale spui volume afneemt voor het 10 percentiel, tussen het 2020 scenario (A) en het 2050 scenario (C), terwijl dit toeneemt voor het 50 en 90 percentiel. Dit komt omdat de extremen (50 en 90 percentiel) extremer worden terwijl dit niet geldt voor het 10 percentiel. Ten tweede is te zien dat er een andere verdeling ontstaat tussen de afvoer bij Den Oever en Kornwerderzand. Voor het 2020 scenario gaat 55% (1192m³/s) van de totale afvoer bij Den Oever de Waddenzee in en 45% (976 m³/s) bij Kornwerderzand. Voor het 2050 scenario gaat ca 77% (79à76%) van de totale afvoer bij Den Oever de Waddenzee in en ca. 23% (21à24%) bij

Kornwerderzand. Dit verschil in de afvoerverdeling tussen de spuicomplexen komt door de aanleg van de nieuwe spuumiddelen en de pompen.

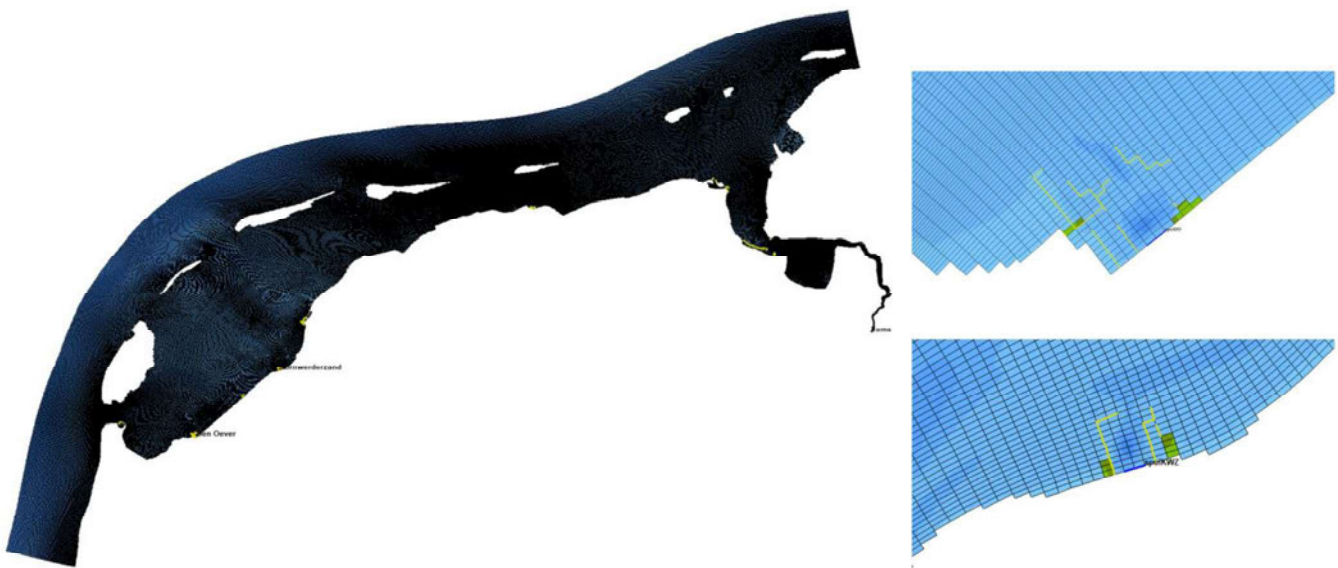
Tabel 2. Spuivolumes bij Den Oever (DOV) en Kornwerderzand (KWZ) en het pompvolume bij Den Oever (DOV-P) voor scenario A en C voor het 10, 50 en 90 percentiel.

Scenario	Volume [Mm ³ /28d]	10 prc	50 prc	90 prc	Verdeling DOV-KWZ
2020 (Scenario A) • Zonder NSM • Geen pompen	DOV-P	0	0	0	DOV: 55%
	DOV	257	597	1192	
	KWZ	210	488	976	KWZ: 45%
	Totaal	467	1085	2168	
2050 (Scenario C) • NSM • Pompen	DOV-P	23	227	531	DOV: 79%-76%
	DOV	324	640	1224	
	KWZ	95	234	538	KWZ: 21%-24%
	Totaal	442	1101	2293	

4 Modelschematisatie

4.1 Beschrijving numeriek model

Voor de simulaties is gebruik gemaakt van het bestaande Waddenzeemodel, wat in beheer is bij RWS (Helpdesk Water). Een overzicht van het modeldomein is opgenomen in Figuur 9. Het model is gekalibreerd en gevalideerd voor waterbeweging en saliniteit. Het model bevat de bodemhoogtes uit 2020. Ten behoeve van deze studie is een kleine aanpassing in de bathymetrie uitgevoerd ter hoogte van de spuicomplexen bij Den Oever en Kornwerderzand. Hier is de bodem lokaal verdiept naar -5m.



Figuur 9. Overzicht van bestaande modelschematisatie (links) en uitsnede van huidige detail ter hoogte van Den Oever en Kornwerderzand (rechts).

In de simulaties is gerekend met 7 verticale sigmalagen, zodat er een 3D beeld ontstaat van de saliniteit inclusief de gelaagdheid tussen zoet- en zoutwater. De lagen zijn niet uniform over de verticaal verdeeld. De percentuele verdeling van de lagen over de verticaal van het wateroppervlak naar de bodem is 25%, 25%, 18%, 13%, 9%, 6%, 4%. In het Delft3D model worden wind en golven niet meegenomen. Ten aanzien van de saliniteit is dit een conservatieve benadering. Wind en golven zorgen voor meer menging van water in de verticaal waardoor over het algemeen het zoete water sneller kan worden afgevoerd. De vorming van een zoete bel aan het oppervlak nabij de spuien is daarmee doorgaans minder dan in de modelsimulaties.

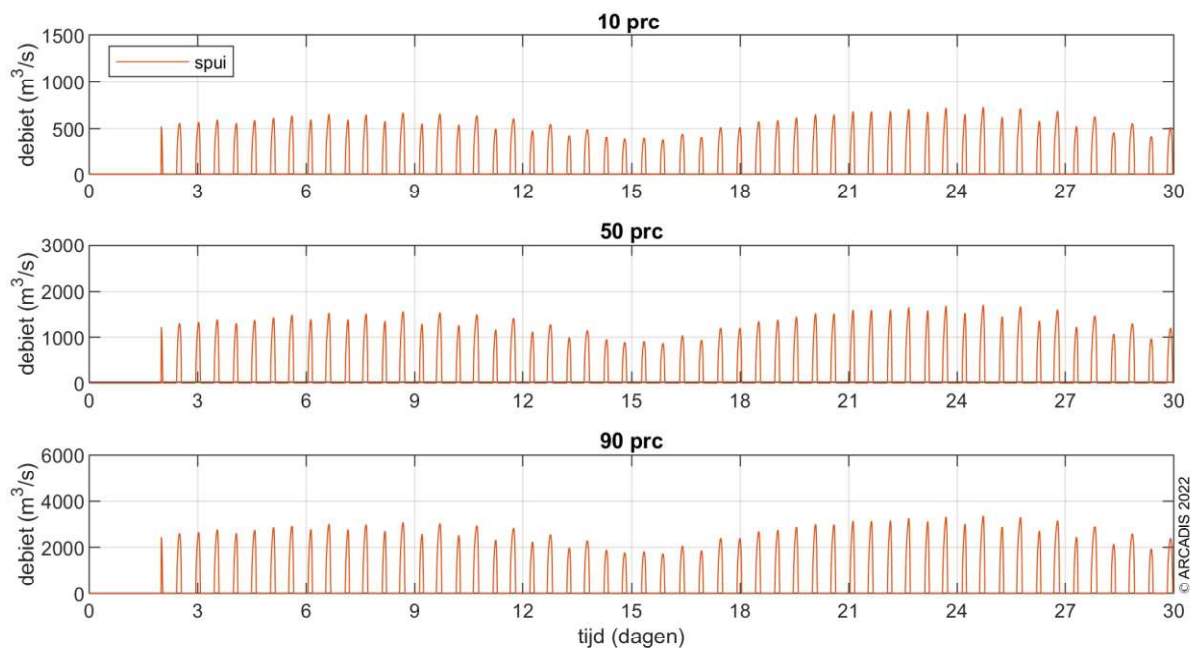
4.2 Modelforcering

Voor de open (zee)randen van het Waddenzeemodel zijn randvoorwaarden beschikbaar van een getijdesignaal en saliniteitswaarde. Langs de Afsluitdijk zijn de spuiokers en pompen bij Den Oever en Kornwerderzand geschematiseerd die zoetwater toevoeren in de zoutere Waddenzee. De zoetwaterbronnen zijn opgelegd met een zoutwaarde van 0,3 psu (ca. 540 mg/L chloride). De hoeveelheid zoetwater is afhankelijk van de spuidebieten en de pompdebieten, die voor het 2020 en het 2050 scenario verschillend zijn.

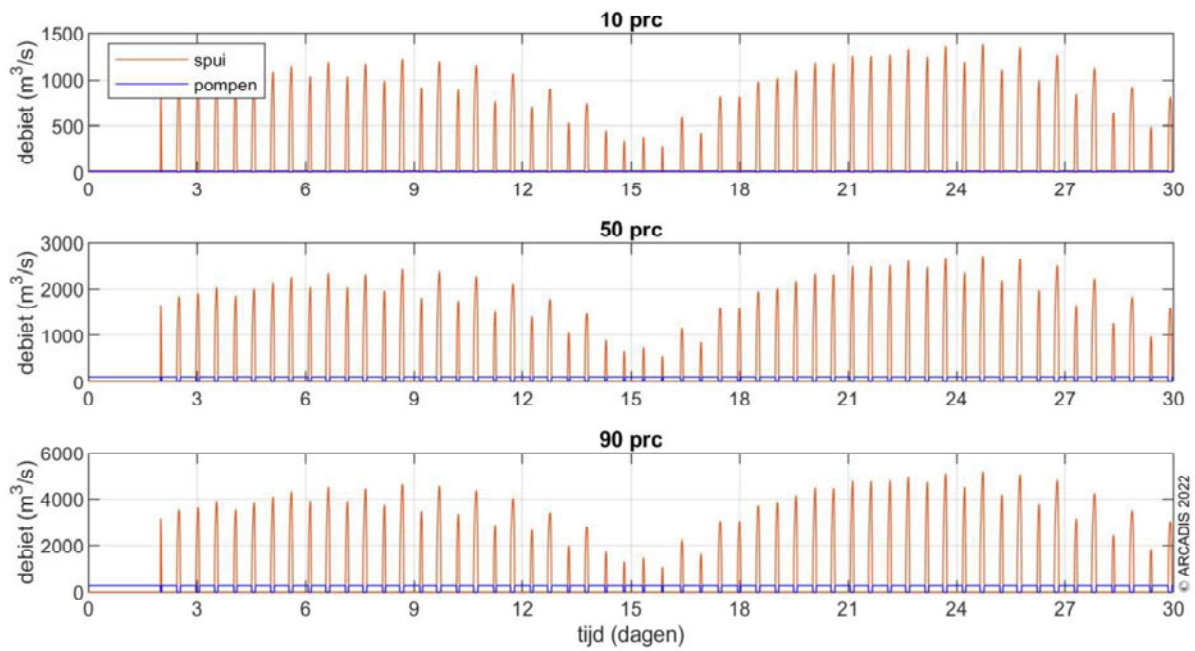
De afvoervolumes (in Mm³/28d) bij Den Oever en Kornwerderzand uit Tabel 2 voor beiden scenario's, zijn geconverteerd naar tijdseries van debieten van 28 dagen, die vervolgens in het model konden worden opgelegd. Er is gekozen voor 28 dagen zodat twee gehele dood- springtij cycli worden doorlopen. De tijdseries in de onderstaande figuren zijn 30 dagen omdat de eerste 2 dagen inspeeltijd is voor de hydrodynamica (met name de getijbeweging), waarin niet gespuid of gepompt wordt.

In Figuur 10 en Figuur 12 zijn de debieten voor Den Oever en Kornwerderzand te zien voor het 2020 scenario. Hierbij is aangenomen dat het waterpeil op het IJsselmeer -0,4m is (winterpeil). Wanneer het waterpeil op het IJsselmeer hoger is dan op de Waddenzee (spuivenster) dan wordt er gespuid. Het totale volume dat gespuid wordt in deze tijdseries van 28 dagen komt overeen met de volumes in Tabel 2. Concreet wordt er voor het 2020 scenario de tijdserie van het 10 percentiel 28 dagen doorgerekend (plus 2 dagen inspeeltijd voor de hydrodynamica) en aansluitend wordt de tijdserie van het 90 percentiel 28 dagen doorgerekend (plus 2 dagen inspeeltijd voor de hydrodynamica) (Figuur 10 en Figuur 12). In de resultaten (Hoofdstuk 5) zijn alleen de 28 dagen waarin het 90 percentiel is opgelegd geanalyseerd.

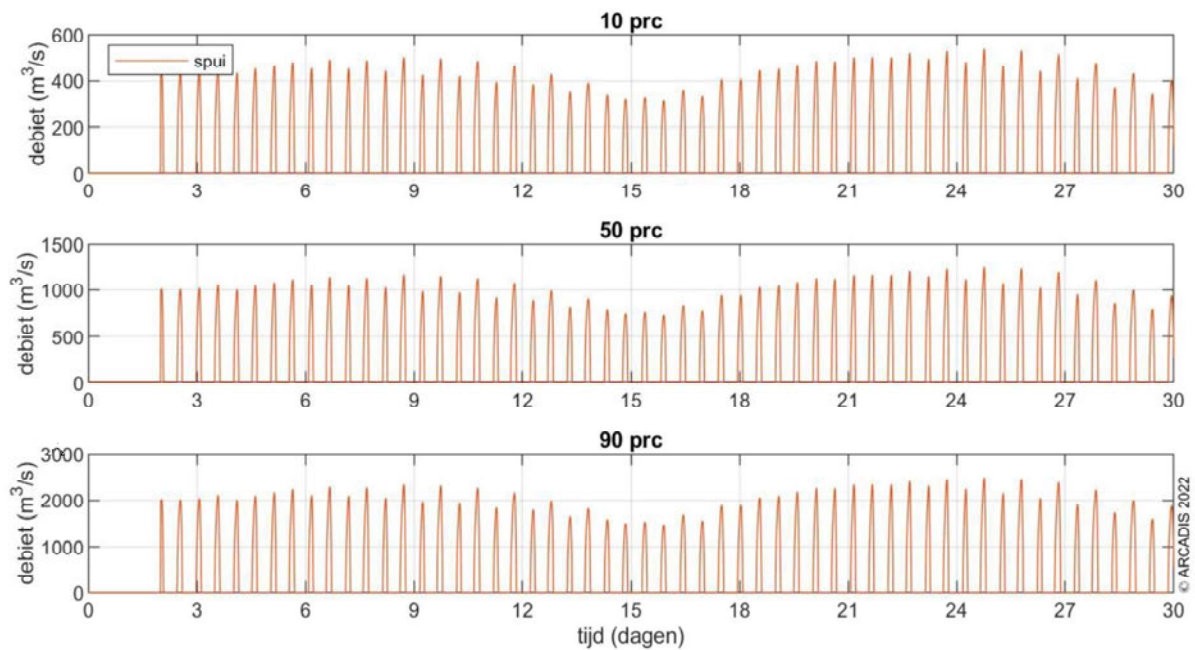
In Figuur 11 en Figuur 13 zijn de debieten voor Den Oever en Kornwerderzand te zien voor het 2050 scenario. In dit scenario wordt een zeespiegelstijging ten opzichte van 2020, (Klimaatscenario G) meegenomen door het IJsselmeer fictief te verlagen met 15cm (+25cm in 2050 minus +10 cm in 2020, zie Tabel 1). Hierbij wordt aangenomen dat de bodem in de Waddenzee mee stijgt met de zeespiegelstijging. Wat daardoor effectief verandert, zijn de spuivensters die korter worden. Daarnaast is voor het 2050 scenario bij Den Oever rekening gehouden met de pompen, door tussen de spuivensters te pompen met een constant debiet gedurende de 28 dagen. Het totale volume dat gepompt en gespuid wordt in deze 28 dagen komt overeen met de waarden in Tabel 2. Concreet wordt er voor het 2050 scenario de tijdserie van het 10 percentiel 30 dagen doorgerekend en aansluitend wordt de tijdserie van het 90 percentiel 30 dagen doorgerekend (uit Figuur 11 en Figuur 13). In de resultaten (Hoofdstuk 5) zijn alleen de laatste 4 weken waarin het 90 percentiel is opgelegd geanalyseerd.



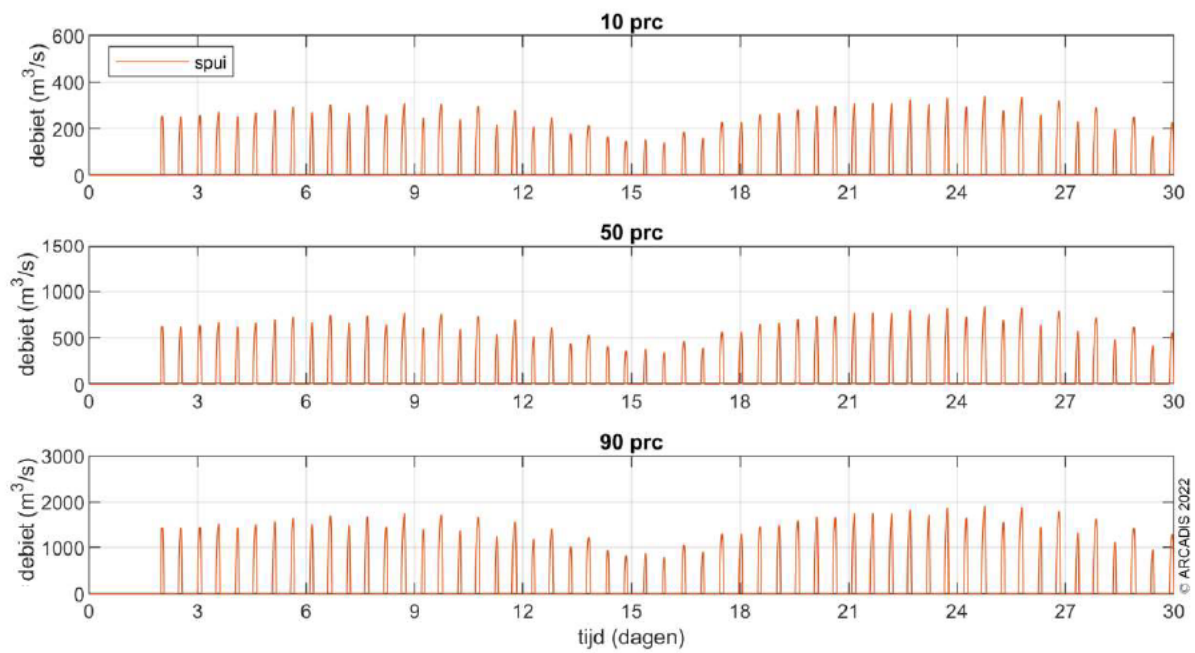
Figuur 10. Spuidebieten bij Den Oever behorend bij het 2020 scenario voor het 10, 50 en 90 percentiel spuibovolume.



Figuur 11. Spuidebieten en pompdebieten bij Den Oever behorend bij het 2050 scenario voor het 10, 50 en 90 percentiel spui- en pompvolume.



Figuur 12. Spuidebieten bij Kornwerderzand behorend bij het 2020 scenario voor het 10, 50 en 90 percentiel spui- en pompvolume.

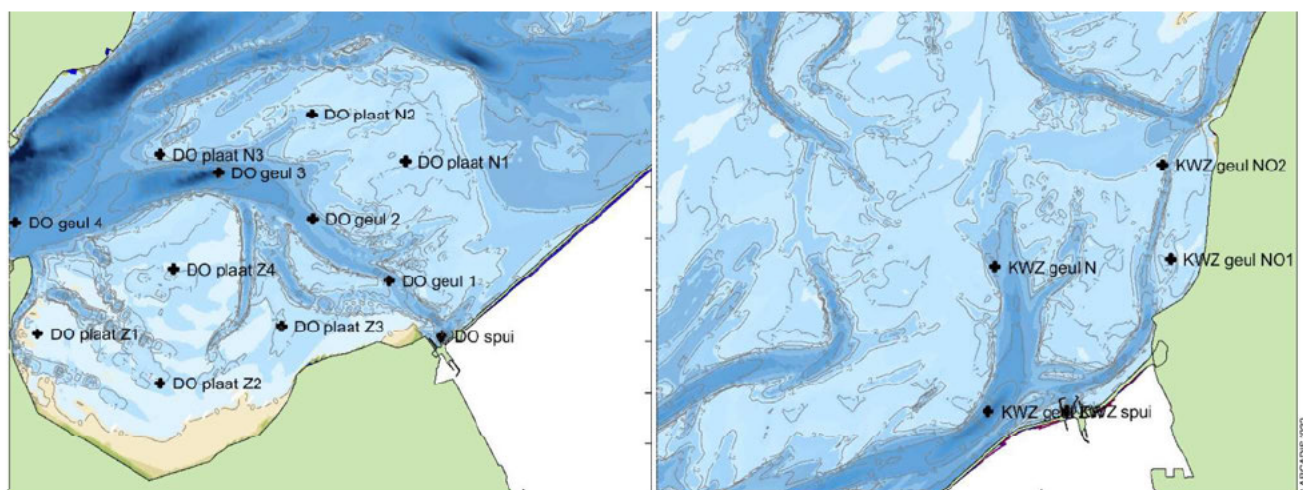
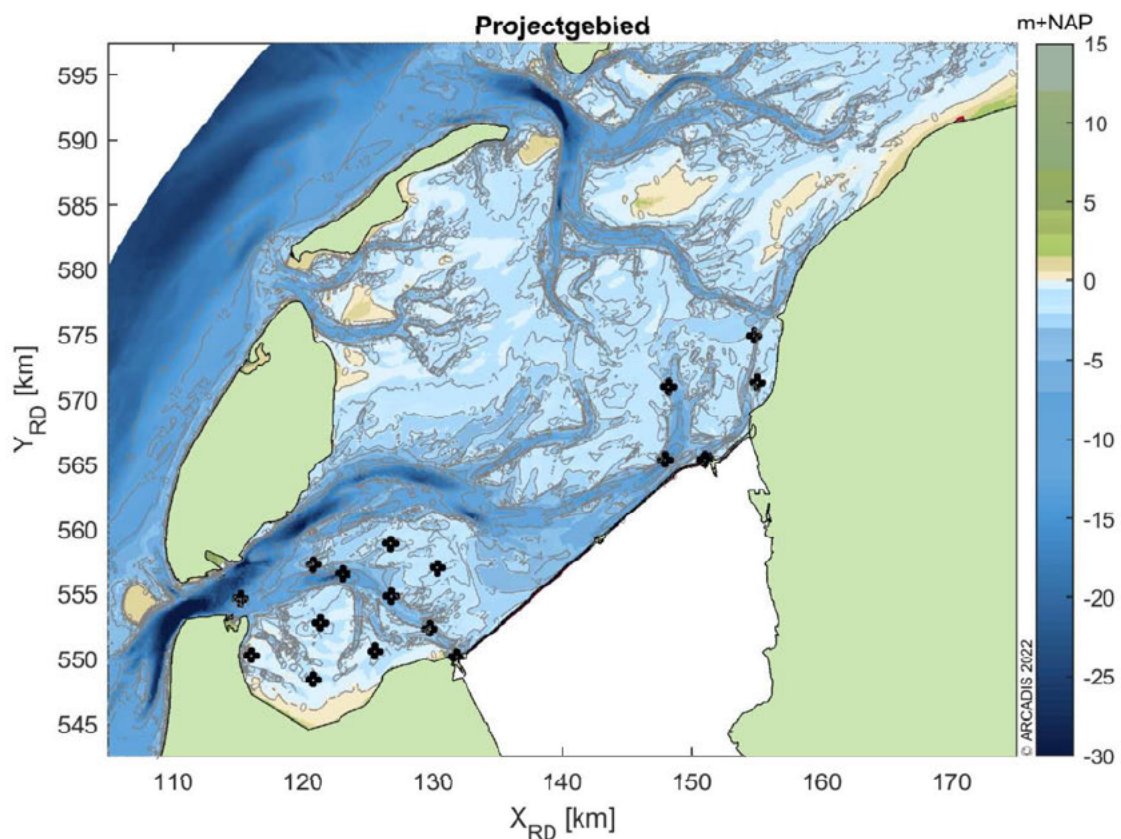


Figuur 13. Spuidebieten bij Kornwerderzand behorend bij het 2050 scenario voor het 10, 50 en 90 percentiel spuivolume.

5 Resultaten modelberekeningen

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de modelberekeningen van het 2020 scenario (referentie situatie) en het 2050 scenario (realistisch worst-case scenario) gepresenteerd. Daarnaast wordt het verschil tussen deze twee scenario's beschouwd om zo het relatieve effect te laten zien van de plaatsing van de nieuwe spuumiddelen en de pompen bij Den Oever in 2050 ten opzichte van de huidige situatie.

De tijdseries die in dit hoofdstuk te zien zijn, zijn tijdseries van 28 dagen. Dit zijn de 4 weken waarin het 90 percentiel wordt opgelegd zoals beschreven in Hoofdstuk 4. De locaties en benaming van de observatiepunten van deze tijdseries zijn te zien in Figuur 14. De tijdseries van de observatiepunten die niet in dit hoofdstuk te zien zijn staan in Bijlage A en Bijlage B.

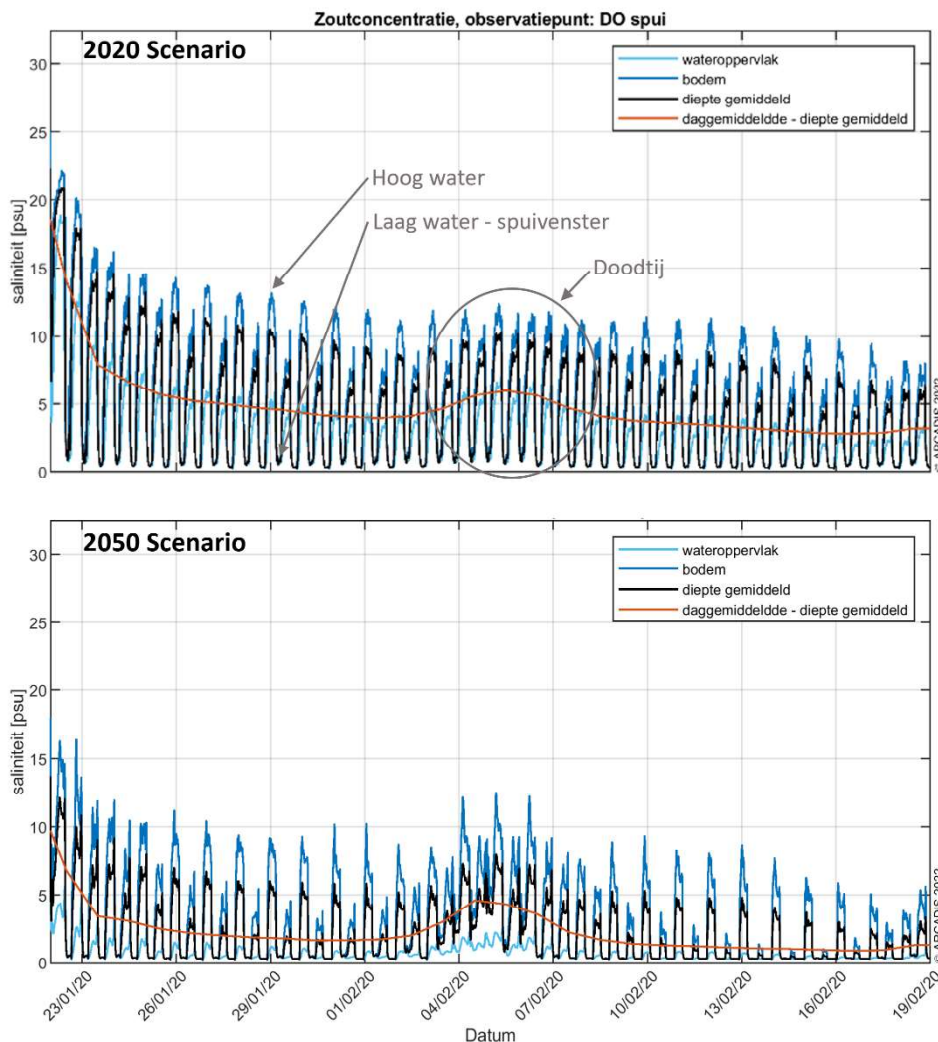


Figuur 14. Projectgebied met de bathymetrie van 2020 en de observatiepunten uit het modelinstrumentarium.

De kaarten in dit hoofdstuk laten de saliniteit aan het wateroppervlak zien, gemiddeld over de laatste 15 dagen van de simulatie met het 90 percentiel. De saliniteit aan het wateroppervlak is doorgaans het laagst (het water is daar het zoetst). Het gemiddelde over de laatste 15 dagen wordt genomen omdat dit ten minste een gehele dood- springtij cyclus betreft.

5.1 Tijdsreeks

In Figuur 15 zijn de tijdsreeks te zien van de saliniteit in de spuikom van het spuicomplex Den Oever voor zowel het 2020 als het 2050 scenario. De saliniteit bij het wateroppervlak is significant lager dan de saliniteit aan de bodem door het dichtheidsverschil tussen het zoete water uit het IJsselmeer en het zoute zeewater. In de eerste 4 dagen van de tijdsreeks is de sterkste een afname te zien in de psu waarde. Dit komt door de overgang van de milde afvoersituatie (10 percentiel) naar het 90 percentiel, waarop het systeem reageert. Daarna gaat de afname verder, zodat de laagste daggemiddelde saliniteiten worden bereikt in de laatste week van de 28 daagse periode in de grafiek.



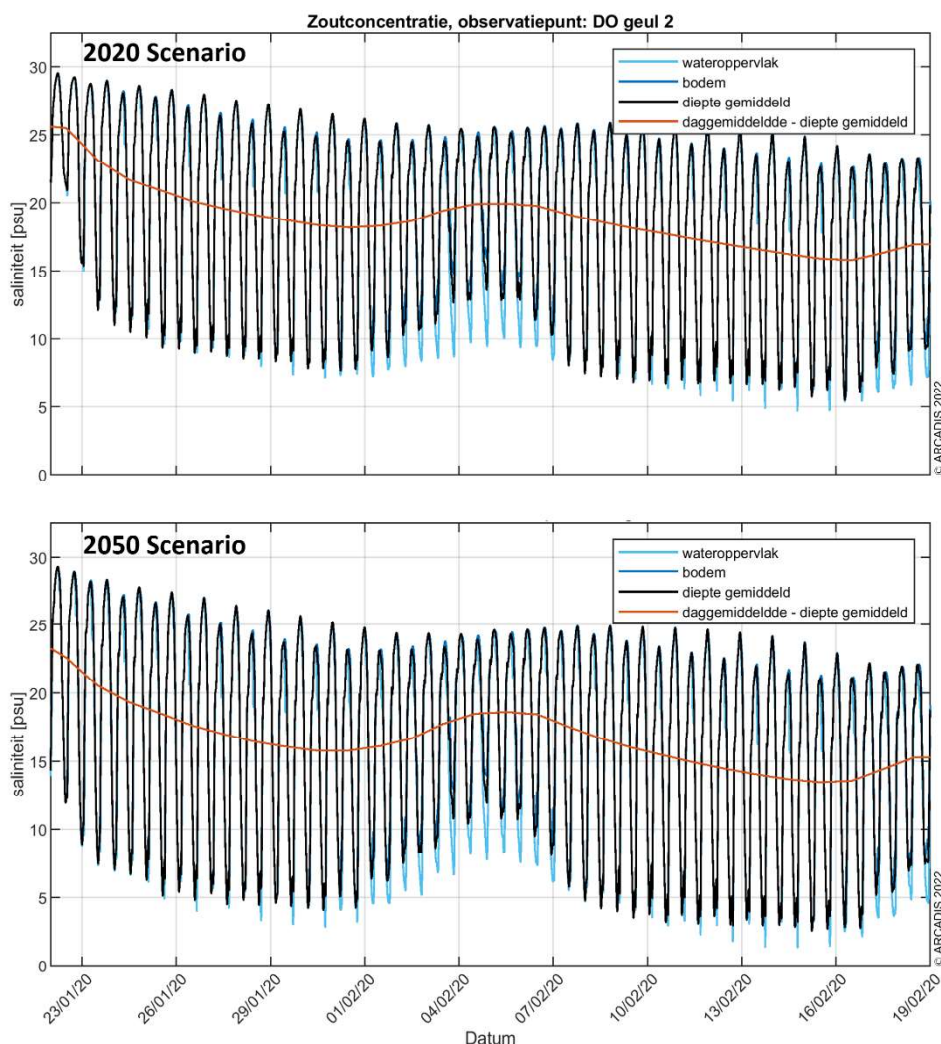
Figuur 15. Tijdsreeks van de saliniteit aan het wateroppervlak, de bodem en diepte gemiddeld op observatiepunt 'DO spui' (2020 scenario boven en 2050 scenario beneden). Daarnaast is ook het daggemiddelde van de diepte gemiddelde tijdsreeks te zien. De locatie van het observatiepunt is te zien in Figuur 14.

Het getijdesignaal is duidelijk terug te zien in de tijdsreeks van Figuur 15. Bij laag water in de Waddenzee is er een afname in de psu waarde, omdat dit de periode is waarin zoetwater wordt gespuid (spuivenster) in de spuikom. Bij hoog water is er een toename in de psu waarde, er wordt dan niet gespuid en de getijstrooming voert zouter water aan. De psu waarde ligt gemiddeld lager in het 2050 scenario (lagere pieken en bredere dalen in saliniteit) dan in het 2020

scenario doordat er een groter volume zoet water de Waddenzee binnenkomt in de spuikom bij Den Oever. Daarnaast zijn de pieken in het 2050 scenario lager doordat er in dit scenario ook nog wordt gepompt bij hoog water.

De sping- en doottij cyclus is ook terug te zien in het signaal (Figuur 15). Rond 5 februari is het doottij (grijze ovaal), dit is te zien door een gemiddelde toename in psu. Wanneer het doottij is, is er een kleiner spuivenster. Hierdoor komt er bij doottij minder zoet water in de Waddenzee en neemt de psu waarde toe. Bij springtij gebeurt het tegenovergestelde.

Figuur 16 laat een tijdserie zien van een locatie in de geul zeewaards van Den Oever (DO geul 2 in Figuur 14). Een gemiddeld hogere psu waarde is te zien op deze locatie ten opzichte van Figuur 15, doordat deze locatie verder van de zoete bron bij Den Oever ligt. Wat opvalt is dat er in de geul een grote dagelijkse variatie in psu waarde is. Deze is bij springtij voor het 2020 scenario tussen de 8 en 26 psu als er gekeken wordt naar de dieptegemiddelde waarden. Voor het 2050 scenario is deze variatie groter, tussen de 4 en 24 psu en is het gemiddeld rond de 3 psu zoeter ten opzichte van het 2020 scenario. Rond doottij is het verschil tussen de scenario's het kleinst doordat er dan in beide gevallen relatief weinig zoet water richting de Waddenzee wordt afgevoerd bij Den Oever.

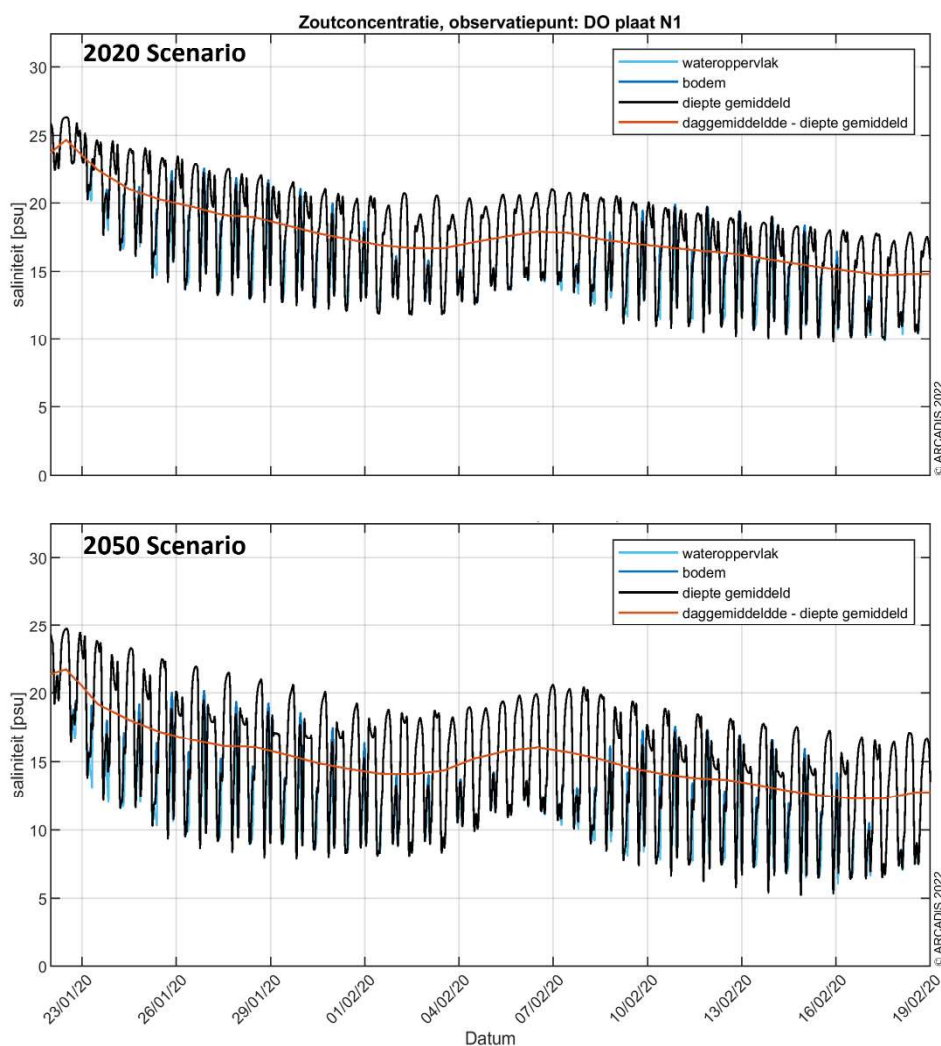


Figuur 16. Tijdserie van de saliniteit aan het wateroppervlak, de bodem en diepte gemiddeld op observatiepunt 'DO geul 2' (2020 scenario boven en 2050 scenario beneden). Daarnaast is ook het daggemiddelde van de diepte gemiddelde tijdserie te zien. De locatie van het observatiepunt is te zien in Figuur 14.

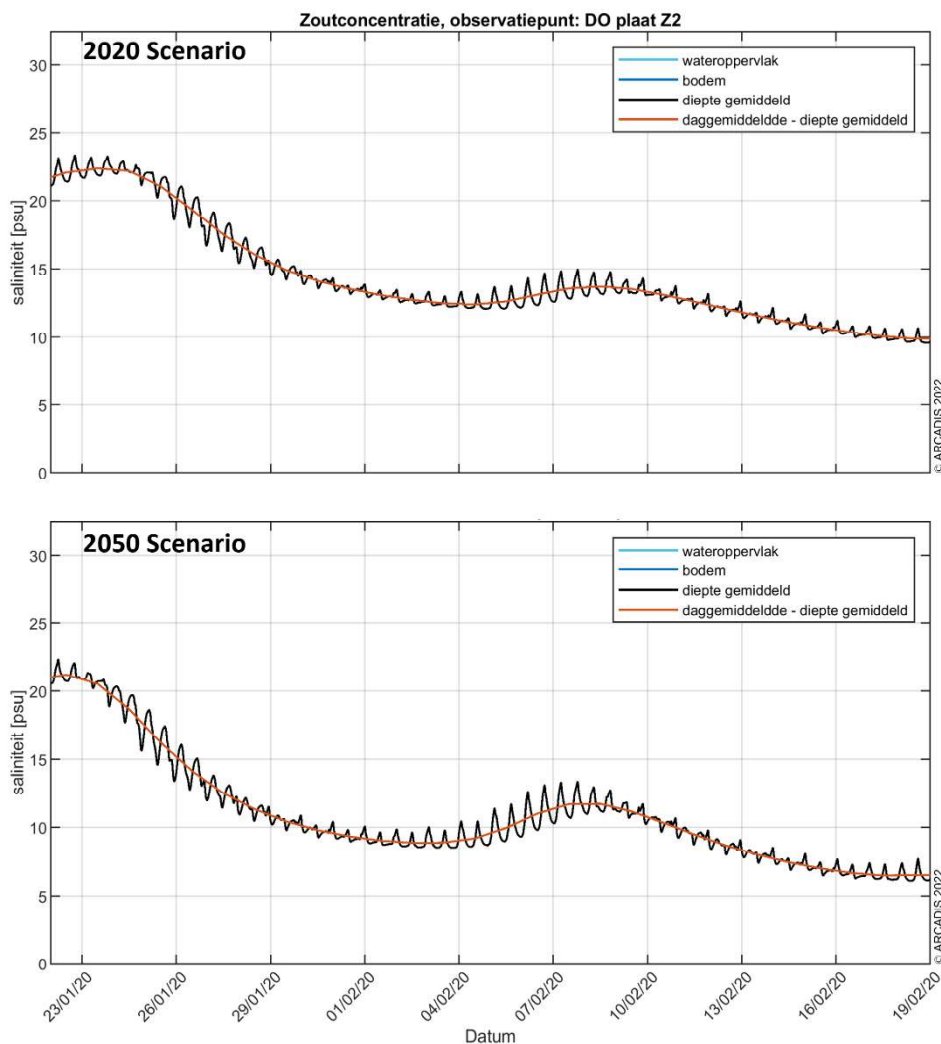
Figuur 17 laat de saliniteit op de plaat N1 ten noorden van Den Oever zien en Figuur 18 laat de saliniteit op de plaat ten zuidwesten van Den Oever zien (Z2 Balgzand). Doordat het op de platen ondiep is, is het verschil in saliniteit

tussen het wateroppervlak en de bodem klein, hierdoor vallen de licht blauwe (wateroppervlak) en de blauwe lijnen (bodem) op elkaar in de figuren. Wat opvalt, is dat het op de plaat ten zuidwesten van Den Oever (Figuur 18) beduidend zoeter is dan op de plaat ten noorden van Den Oever (Figuur 17), hoewel de afstand tot het spuicomples Den Oever ongeveer gelijk is. Dit komt door de stromingsrichting in de Waddenzee door het getij en het verschil in waterdiepte op de platen waardoor het zoete water meer accumuleert op de plaat in het zuidwesten (Balgzand).

In Figuur 17 en Figuur 18 is ook te zien dat de dagelijkse variatie in psu groter is voor het 2050 scenario dan voor het 2020 scenario. Daarnaast is de daggemiddelde psu (dieptegemiddeld) ongeveer 2,5 psu zoeter in het 2050 scenario ten opzichte van het 2020 scenario op de plaat ten noorden van Den Oever (Figuur 17). Voor de plaat ten zuidwesten van den oever is dit verschil groter, ongeveer 4 psu (Figuur 18).

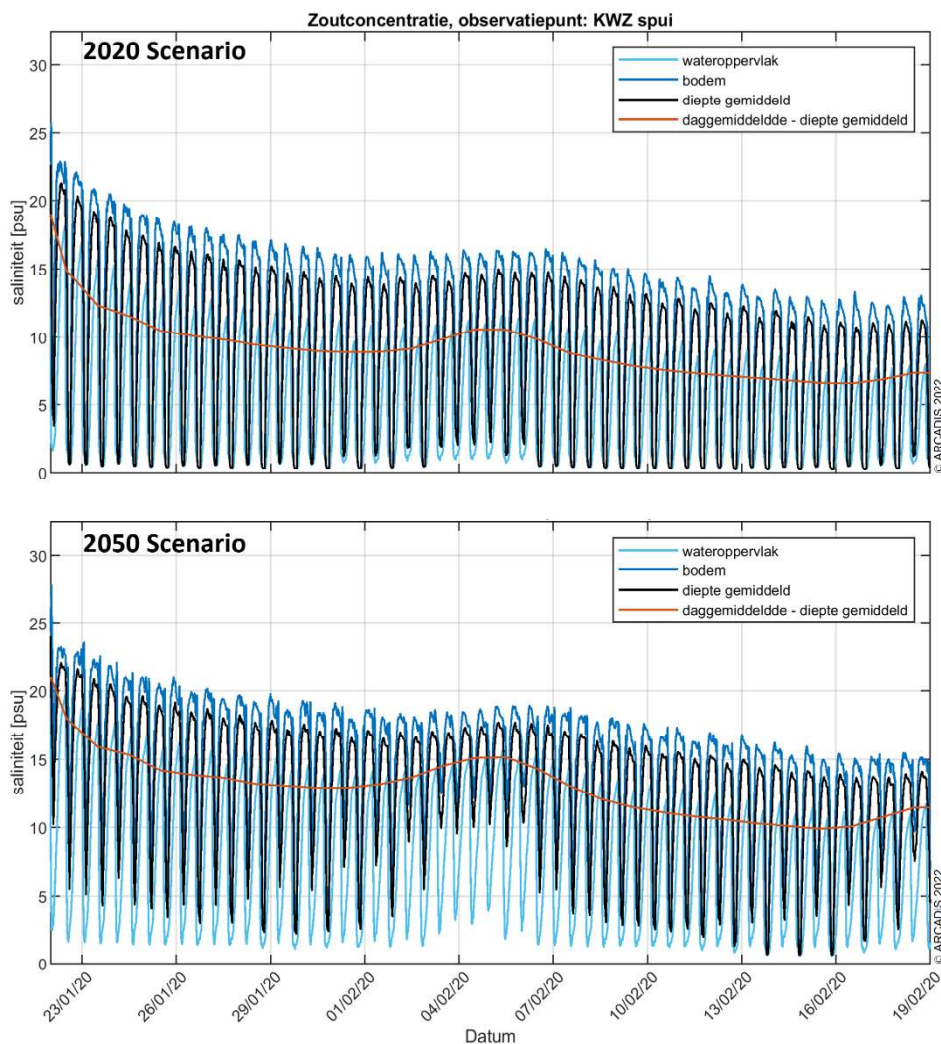


Figuur 17. Tijdserie van de saliniteit aan het wateroppervlak, de bodem en diepte gemiddeld op observatiepunt 'DO plaat N1' (2020 scenario boven en 2050 scenario beneden). Daarnaast is ook het daggemiddelde van de diepte gemiddelde tijdserie te zien. De locatie van het observatiepunt is te zien in Figuur 14.



Figuur 18. Tijdsree van de saliniteit aan het wateroppervlak, de bodem en diepte gemiddeld op observatiepunt 'DO plaat Z2' (2020 scenario boven en 2050 scenario beneden). Daarnaast is ook het daggemiddelde van de diepte gemiddelde tijdsree te zien. De locatie van het observatiepunt is te zien in Figuur 14.

In Figuur 19 is de saliniteit in de spuikom van het spuicomplex Kornwerderzand te zien. Ook hier is de dagelijkse invloed van het getij en de springtij-doottij cyclus goed te zien in de tijdsree. Wat opvalt is dat het op deze locatie beduidend zouter is ten opzichte van de locatie in de spuikom van het spuicomplex Den Oever (Figuur 15). Dit komt doordat voor beide scenario's een groter percentage afvoervolume bij Den Oever afgevoerd wordt richting de Waddenzee ten opzichte van Kornwerderzand. Daarnaast is het gemiddeld bij Kornwerderzand een stuk zouter in het 2050 scenario dan in het 2020 scenario. Dit is ook gerelateerd aan de verdeling van het spui volumes. Doordat het relatieve aandeel afvoervolume bij Den Oever sterk toeneemt (van 55% naar 77%) in het 2050 scenario ten opzichte van het 2020 scenario, neemt het afvoervolume dat gespuid wordt bij Kornwerderzand af in het 2050 scenario ten opzichte van het 2020 scenario.

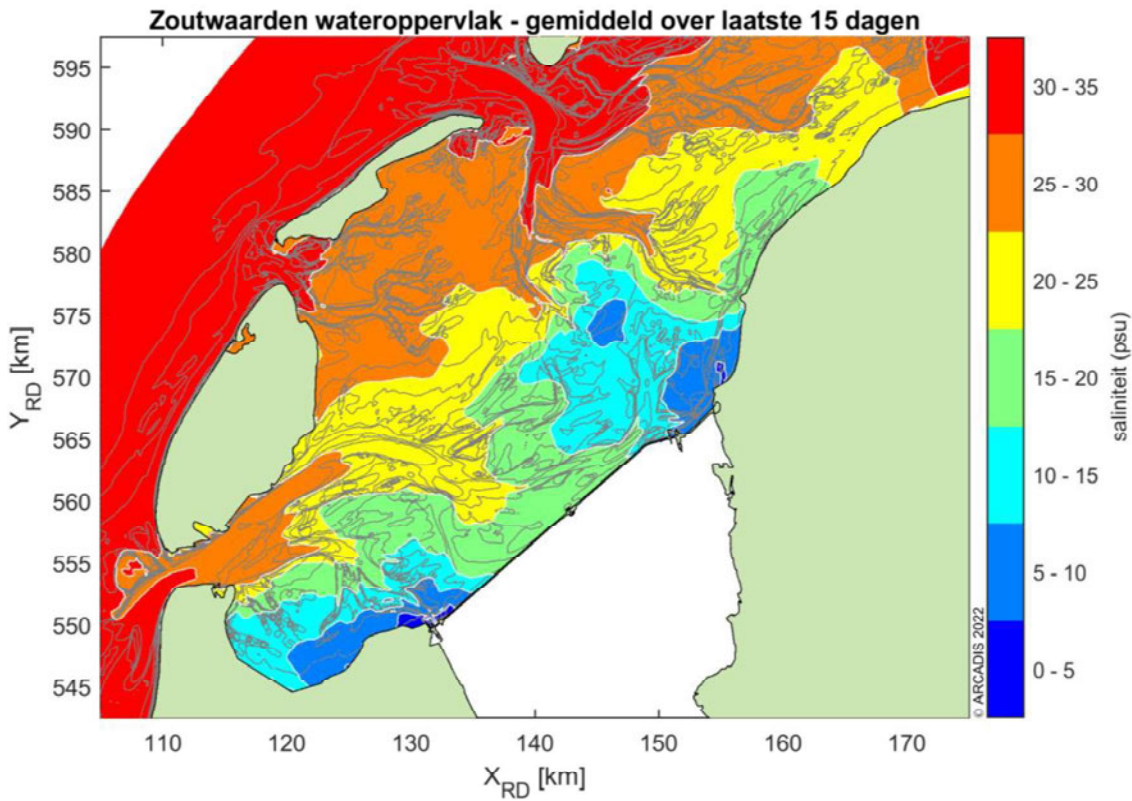


Figuur 19. Tijdsree van de saliniteit aan het wateroppervlak, de bodem en diepte gemiddeld op observatiepunt 'KWZ spui' (2020 scenario boven en 2050 scenario beneden). Daarnaast is ook het daggemiddelde van de diepte gemiddelde tijdsserie te zien. De locatie van het observatiepunt is te zien in Figuur 14.

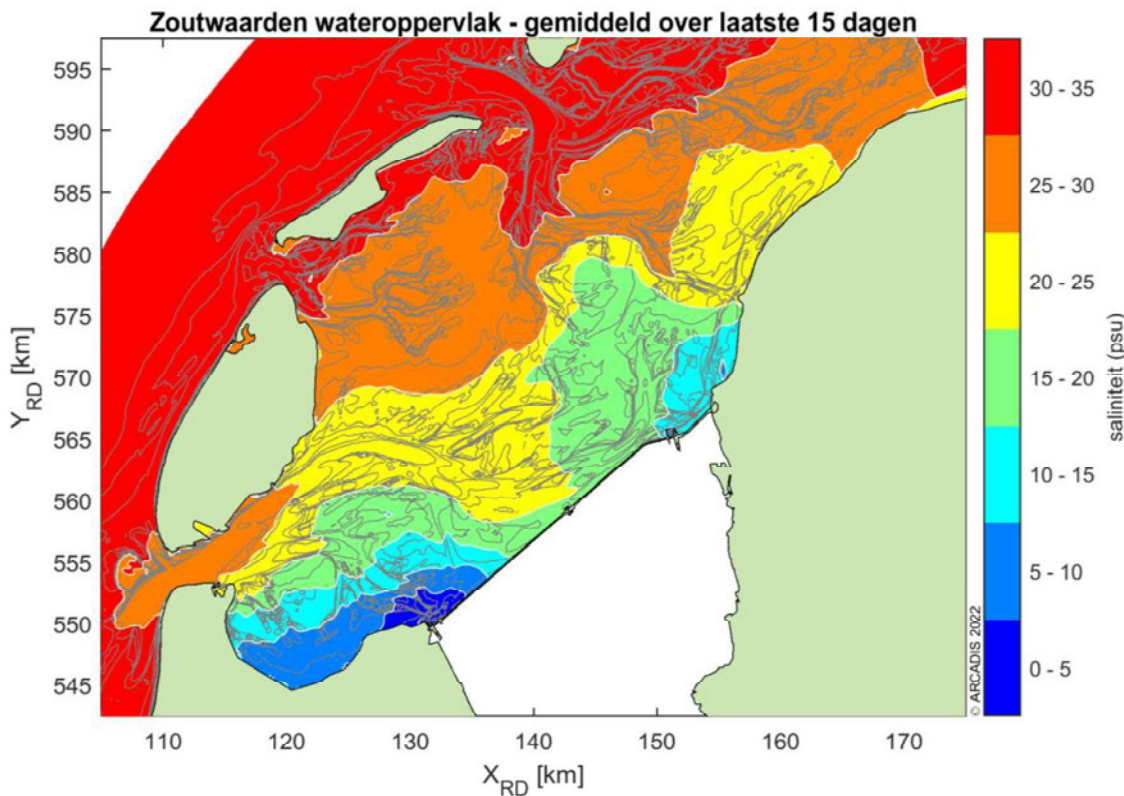
5.2 Ruimtelijk beeld

In Figuur 20 is de saliniteit aan het wateroppervlak te zien gemiddeld over de laatste 15 dagen van het 2020 scenario zonder nieuwe spuumiddelen en pompen. In de tijdseries in paragraaf 5.1 is te zien dat het op de plaat N1 ten noorden van Den Oever een stuk zouter is dan op de plaat Z2 ten zuidwesten van Den Oever. In dit ruimtelijke figuur is ook duidelijk terug te zien hoe het zoete water accumuleert op de plaat Z2 ten zuidwesten van Den Oever. Dit komt doordat het water in de geulen sneller ververs door de snelle lokale getijdenstroming. Op de platen stoomt het langzamer waardoor het zoete water meer accumuleert. Aangezien het ondieper is op de plaat ten zuidwesten van Den Oever in combinatie met de aanwezige lokale stromingspatronen van de Waddenzee accumuleert het zoete water hier het meest. Ditzelfde fenomeen is zichtbaar bij het spuicomplex Kornwerderzand. Hier accumuleert het zoete water op de plaat ten noordoosten van Kornwerderzand.

In Figuur 21 is de saliniteit aan het wateroppervlak te zien gemiddeld over de laatste 15 dagen van het 2050 scenario. Als dit figuur vergeleken wordt met Figuur 20 van het 2020 scenario dan zijn er een aantal verschillen te zien. Ten eerste is te zien dat de saliniteit bij Kornwerderzand toeneemt in het 2050 scenario, zoals ook te zien in de tijdserie van de saliniteit bij Kornwerderzand (Figuur 19). Ten tweede is er een verzoeting te zien bij Den Oever en de plaat ten zuidwesten van het spuicomplex Den Oever.



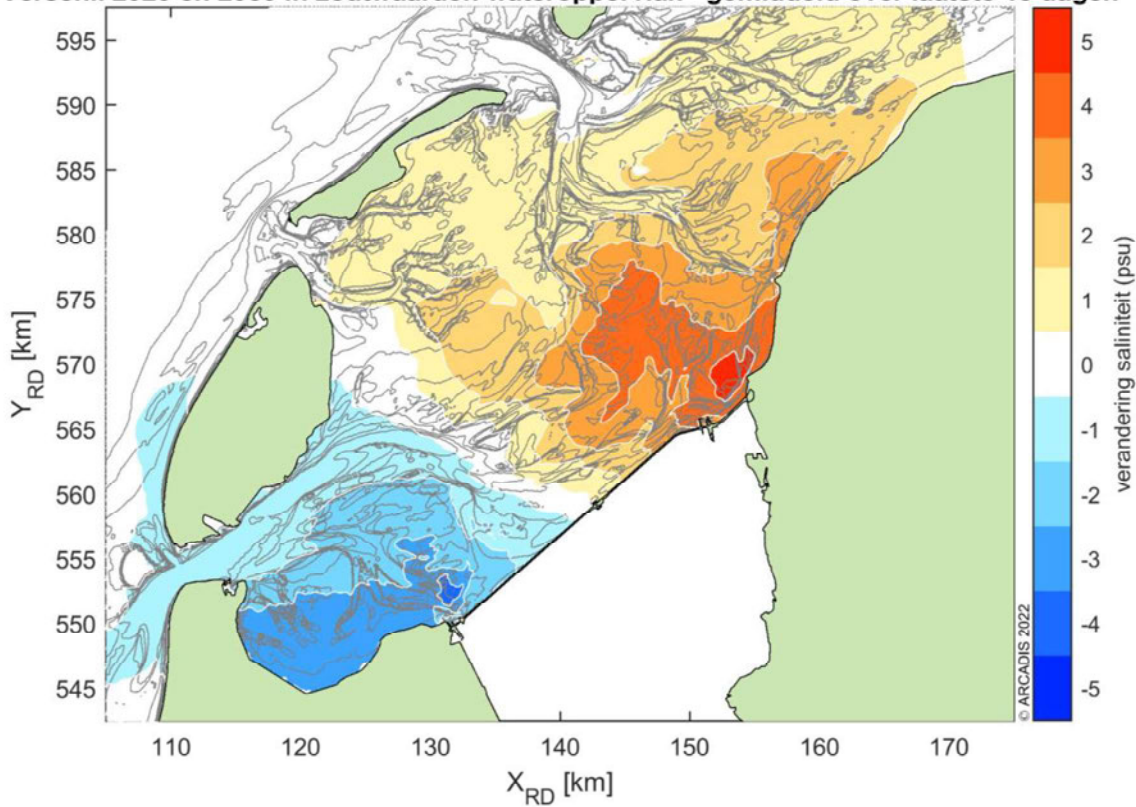
Figuur 20. De saliniteit aan het wateroppervlak van het 2020 scenario, gemiddeld over de laatste 15 dagen.



Figuur 21. De saliniteit aan het wateroppervlak van het 2050 scenario, gemiddeld over de laatste 15 dagen.

In Figuur 22 is het verschil te zien tussen de saliniteit aan het wateroppervlak gemiddeld over de laatste 15 dagen van het 2020 en het 2050 scenario (het verschil tussen Figuur 20 en Figuur 21). Rond het spuicomples Kornwerderzand is het wateroppervlak tussen de 3 en 5 psu zouter. Rond het spuicomples Den Oever is het tegenovergestelde te zien. Op deze locatie wordt het tussen de 3 en 5 psu zoeter

Vershil 2020 en 2050 in zoutwaarden wateroppervlak - gemiddeld over laatste 15 dagen



Figuur 22. Het verschil in saliniteit tussen het 2020 en het 2050 scenario aan het wateroppervlak, gemiddeld over de laatste 15 dagen.

6 Overeenkomsten en verschillen met studie Witteveen+Bos (2015)

De inbouw van pompen bij Den Oever is vergund in 2016, vanwege de Natuurbeschermingswet 1998. In het achtergrondrapport 'Verdiepend effectonderzoek waterkwaliteit en morfologie Afsluitdijk' van Witteveen+Bos (2015) bij de PB2015, is gekeken naar het effect van de toekomstige waterafvoer op de waterkwaliteit in de Waddenzee door een configuratie met pompcapaciteit bij Den Oever voor het zichtjaar 2028. Over de effecten hiervan staat in de PB van 2015 het volgende:

PB (2015) – 7.6.3. Gebruiksfase waterafvoer

Door de inzet van pompen treden wijzigingen op in de afvoerverdeling tussen de spuicomplexen Den Oever en Kornwerderzand. Effecten op waterkwaliteit van de Waddenzee, waaronder saliniteit zijn merkbaar, maar klein ten opzichte van de natuurlijke jaardynamiek. Er treden geen negatieve effecten op.

De overeenkomsten tussen de studie van Witteveen+Bos (2015) en deze studie worden in dit hoofdstuk toegelicht. Hiermee wordt duidelijk in hoeverre de effecten van het bouwen van nieuwe spui groepen en pompgroepen overeenkomen dan wel verschillen met de vergunde configuratie.

6.1 Overeenkomsten en verschillen methodiek

Tussen de modelmatige aanpak van Witteveen+Bos (2015) en deze studie zijn veel overeenkomsten en enkele verschillen. De overeenkomsten en verschillen in de modelaanpak staan samengevat in Tabel 3 en worden in paragraaf 6.1.1 toegelicht. In paragraaf 6.1.2 worden de opgelegde spui- en pompdebieten vergeleken.

6.1.1 Overeenkomsten en verschillen modelaanpak

Het model dat toegepast is in de studie van Witteveen+Bos (2015) is het TRIWAQ-model dat gekoppeld is aan het Kuststrook-fijn model. Het TRIWAQ-model is ontwikkeld vanuit dezelfde basis als het Delft3D model van het bestaande Waddenzeemodel en geeft geheel vergelijkbare uitkomsten bij het doorrekenen van de waterbeweging en saliniteit.

De resolutie van het rekenrooster in de Waddenzee rond de spuicomplexen van het TRIWAQ-model komt sterk overeen met het Waddenzee model (Delft3D) dat in deze studie is gebruikt. De resolutie rond de spuicomplexen is $\pm 70\text{m}$ in de richting van de stroming.

Beiden modellen zijn 3D modellen, waarvan het aantal lagen verschilt. In de studie van Witteveen+Bos (2015) zijn 12 sigmalagen gebruikt die uniform verdeeld zijn over de verticaal. In deze studie zijn 7 sigmalagen gebruikt, met een non-uniforme verdeling in de verticaal. De percentuele verdeling van de lagen over de verticaal van het wateroppervlak naar de bodem is 25%, 25%, 18%, 13%, 9%, 6%, 4%. Hoewel er in deze studie met minder lagen wordt gemodelleerd, komt de nauwkeurigheid van de uitkomsten overeen, omdat er met meer detail aan de bodem is gerekend.

Wind en golven worden in beide studies niet meegenomen.

De data die is gebruikt voor de bathymetrie in de studie van Witteveen+Bos (2015) is Vaklodingen data tussen 2003 en 2012. In deze studie is bathymetrie data gebruikt uit 2020. De verdieping van de getijdegeul tussen Harlingen en Kornwerderzand (Boontjes) in 2012 en 2013 is niet opgenomen in de Bathymetrie van de studie van Witteveen+Bos (2015) maar wel in deze studie.

De verwerking van zeespiegelstijging is in de modelschematisatie anders meegenomen. In de voorliggende studie is gekozen voor een meegroeïende Waddenzee bodem met de zeespiegelstijging (+15 cm – zichtjaar 2050). In de studie van Witteveen+Bos (2015) is ervoor gekozen om de bodem niet te laten meegroeien met de zeespiegelstijging (+12,5cm – zichtjaar 2028). Er is in Witteveen+Bos(2015) wel een verkennende berekening uitgevoerd waarin gekeken is naar het effect van een meegroeïende bodem op de saliniteit.

In de studie van Witteveen+Bos (2015) is ervoor gekozen om het model 30 dagen te laten doorrekenen waarvan 15 dagen inspeeltijd. In deze studie is ervoor gekozen om het model, na inspelen, 30 dagen te laten doorrekenen met een milde situatie aan afvoerdebeten (10 percentiel) en vervolgens 30 dagen te laten doorrekenen met hoge afvoerdebeten (90 percentiel). De afvoervolumes tussen de studies worden in meer detail vergeleken in paragraaf 6.1.2.

Witteveen+Bos heeft naar 4 verschillende scenario's gekeken, waarvan zowel een zomer- en een wintermaand is doorgerekend:

1. 2012 referentie situatie: Geen pompen, geen zeespiegelstijging en de 2012 IJsselmeerafvoer;
2. 2028 autonome ontwikkeling: Geen pompen, zeespiegelstijging en een toename afvoer vanuit het IJsselmeer (klimaatscenario G);
3. 2028 vaste pompen bij Den Oever: Vaste pompen, zeespiegelstijging en een toename afvoer vanuit het IJsselmeer (klimaatscenario G);
4. 2028 uithijsbare pompen bij Den Oever: Uithijsbare pompen, zeespiegelstijging en een toename afvoer vanuit het IJsselmeer (klimaatscenario G)¹.

De referentie situatie van deze studie (het 2020 scenario) kan vergeleken worden met het 2012 scenario van Witteveen+Bos (2015). Het realistische worst-case scenario van deze studie (het 2050 scenario) kan vergeleken worden met het 2028 + vaste pompen scenario van Witteveen+Bos (2015). De belangrijkste verschillen tussen deze twee scenario's zijn:

1. Het zichtjaar; 2028 versus 2050. Het verschil tussen de zichtjaren 2050 en 2028 uit zich in een verschil van 2,5cm in zeespiegelstijging (+12,5cm tussen 2012 en 2028 en +15cm tussen 2020 en 2050) en totale afvoer vanuit het IJsselmeer (+0,4% tussen 2012 en 2028 en +5,8% tussen 2020 en 2050).
2. Geen nieuwe spuumiddelen en minder spuicapaciteit (omdat de pompen in bestaande spuingroepen worden ingebouwd) bij Den Oever. Dit verschil uit zich in een (licht) andere afvoerverdeling. Het verschil blijft echter beperkt doordat bij het scenario 2028 met vaste pompen, de pompen meer debiet afvoeren dan het 2050 scenario.

Een compleet overzicht van de overeenkomsten en verschillen tussen de resultaten van deze scenario's worden in paragraaf 0 getoond om zo het verschil te kunnen duiden tussen het saliniteitseffect van de vergunde configuratie met pompen en de nog niet vergunde configuratie met pompen en de nieuwe spuingroepen bij Den Oever.

Tabel 3. Overzicht van de overeenkomsten en verschillen in modelopzet tussen de studie van Witteveen+Bos (2015) en deze studie (Arcadis 2022).

	Witteveen+Bos (2015)	Arcadis (2022)
Modelsoftware en schematisatie	TRIWAQ (3D waterbewegingsmodel) van Rijkswaterstaat genest in Kuststrook fijn model ontwikkeld	Waddenzee model van Rijkswaterstaat (vergelijkbare modelresolutie)
Modelresolutie	Rond de spuicomplexen 70m	Rond de spuicomplexen 70m
Modellagen	12 lagen – uniform verdeeld over de verticaal	7 lagen – non-uniform verdeeld over de verticaal
Worden wind en golven meegenomen in het model?	Nee	Nee
Bathymetrie	Vaklodgingen 2003 -2012	Metingen uit 2020 Bevat verdieping vaargeul tussen Harlingen en Kornwerderzand (Boontjes)
Hoe wordt zeespiegelstijging meegenomen in de bodem?	De bodem groeit niet mee met de zeespiegelstijging (default). (Wel is het effect gekwantificeerd van een meegroeïende bodem)	De bodem groeit mee met de zeespiegelstijging.
Klimaatscenario	KNMI-Klimaatscenario G 12,5cm zeespiegelstijging	KNMI-Klimaatscenario G 15cm zeespiegelstijging
Doorrekentijd model	15 dagen (na 15 dagen inspeeltijd)	Na inspelen 30 dagen milde situatie (10

¹ Het scenario met uithijsbare pompen is niet van belang voor de vergelijking en zal niet worden gebruikt.

	Witteveen+Bos (2015)	Arcadis (2022)
		prc) daarna 30 dagen 90 prc
Referentie scenario	2012: huidige situatie	2020: huidige situatie
Realistisch worst-case scenario	Zichtjaar 2028: pompen bij Den Oever	Zichtjaar 2050: pompen + nieuwe spuumiddelen bij Den Oever

6.1.2 Overeenkomsten en verschillen opgelegde spui en pompdebieten

Voor beiden studies zijn de opgelegde spui en pompdebieten berekend met het SOBEK model, alleen de versies verschillen. In de studie van Witteveen+Bos (2015) is een SOBEK model van het IJsselmeer gebruik van vóór 2015. De exacte versie wordt niet in het rapport benoemd. In deze studie wordt een SOBEK/Wanda-Locks model gebruikt (Deltares, 2017). Bij beide SOBEK modellen zijn windefecten meegenomen in het bepalen van de spui en pompdebieten en is Klimaatscenario G genomen voor de zeespiegelstijging en de toename van de afvoer vanuit het IJsselmeer.

In de studie van Witteveen+Bos (2015) is er voor elk scenario een representatieve zomermaand en een representatieve wintermaand doorgerekend. De grafieken in bijlage II van die studie zijn gebruikt om de volumes van deze representatieve maanden om te rekenen naar een volume in $Mm^3/28d$ zodat deze vergeleken konden worden met de afvoervolumes gebruikt in deze studie. Aangezien de afvoervolumes van de wintermaand het meest overeenkomen met de debieten van het 90 percentiel die gebruikt zijn in deze studie, wordt er niet verder ingegaan op de uitkomsten van de zomermaand.

In Tabel 4 staat een overzicht van de scenario's die vervolgens in termen van afvoervolumes ($Mm^3/28d$) vergeleken worden in Tabel 5 en Tabel 6. Het referentie scenario 2012 (wintermaand) wordt vergeleken met het referentie scenario 2020 (90 percentiel). Het 2028 met vaste pompen (wintermaand) wordt vergeleken met het 2050 scenario met pompen en nieuwe spuumiddelen (90 percentiel).

De afvoervolumes van de beiden referentie scenario's staan in Tabel 5. De in deze studie gebruikte afvoervolumes bij Den Oever en Kornwerderzand zijn kleiner, maar wel in dezelfde orde grootte als die toegepast in de studie van Witteveen+Bos (2015). Over het totaal is dit een verschil van $362Mm^3/28d$ (14% kleiner).

De afvoervolumes van 2050 scenario met pompen en nieuwe spuumiddelen en het 2028 scenario met vaste pompen staan in Tabel 6. Het totale afvoervolume is licht kleiner in deze studie ten opzichte van de studie van Witteveen+Bos (2015), maar dit verschil komt vooral door het verschil in afvoer volume bij Kornwerderzand (735 ten opzichte van $538Mm^3/28d$). Als het totale afvoervolume bij Den Oever vergeleken wordt (pomp en spui) dan is er een zeer beperkt verschil van $50Mm^3/28d$. Wat wel opvalt is dat door de ingebruikname van de nieuwe spuumiddelen, de pompvolumes veel lager zijn en de spui volumes veel hoger, wat logisch is.

Tabel 4. De scenario's uit de Witteveen+Bos (2015) studie en deze waarvan de afvoervolumes vergeleken worden in

Tabel 5 en Tabel 6.

Witteveen+Bos (2015)	Arcadis (2022)	Tabel met de vergelijking
Het referentie scenario 2012 - wintermaand	Het referentie scenario 2020 – maand met 90 percentiel	Tabel 5
Het 2028 scenario met vaste pompen – wintermaand	Het 2050 scenario met pompen en nieuwe spuumiddelen – maand met 90 percentiel	Tabel 6

Tabel 5. Spui en pompvolumes van het referentie scenario van beide studies. De volumes van deze studie zijn de volumes behorende bij het 90 percentiel. De volumes van de Witteveen+Bos (2015) studie zijn de volumes behorende bij het winter scenario.

	Volume [$Mm^3/28d$]	Witteveen+Bos (2015)	Arcadis (2022)
Referentie scenario	DOV-pomp	0	0

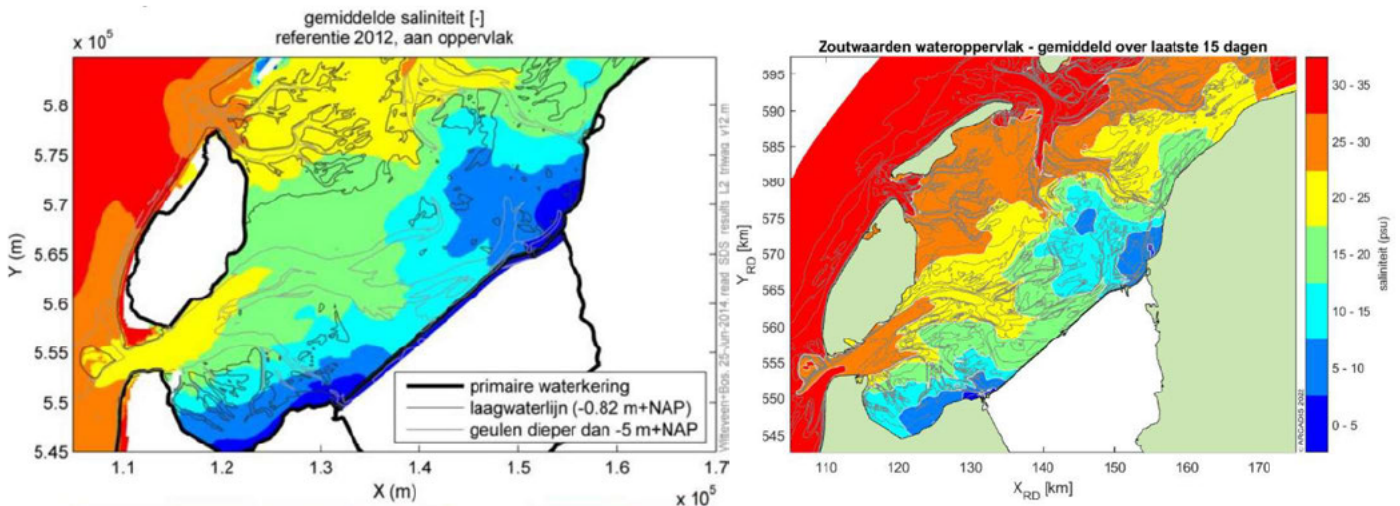
<ul style="list-style-type: none"> Arcadis: 2020 Witteveen+Bos: 2012 	DOV-spuï	1460	1192
	KWZ	1070	976
	Totaal	2530	2168

Tabel 6. Spuï en pompvolumes van het worst-case scenario van beide studies. De volumes van deze studie zijn de volumes behorende bij het 90 percentiel. De volumes van de Witteveen+Bos (2015) studie zijn de volumes behorende bij het winter scenario.

	Volume [Mm ³ /28d]	Witteveen+Bos (2015)	Arcadis (2022)
Worst-Case scenario	DOV-pomp	1120	531
<ul style="list-style-type: none"> Arcadis: 2050 – pompen + NSG 	DOV-spuï	685	1224
	KWZ	735	538
<ul style="list-style-type: none"> Witteveen+Bos: 2028 – vaste pompen bij Den Oever 	Totaal DOV	1805	1755
	Totaal	2540	2293

6.2 Overeenkomsten en verschillen resultaten

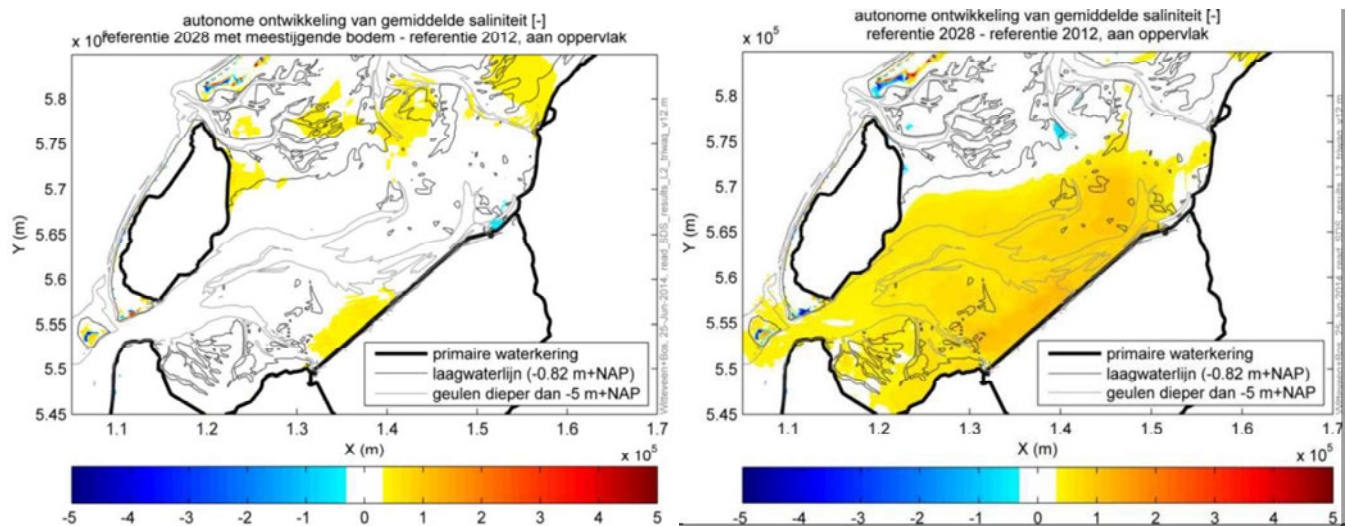
In Figuur 23 is de gemiddelde saliniteit over de laatste 15 dagen aan het wateroppervlak te zien. Het linker figuur betreft het referentie scenario 2012 (wintermaand) (Witteveen+Bos, 2015). Het rechter figuur betreft het referentie scenario 2020 van deze studie. De uitkomst van de studie van Witteveen+Bos (2015) laat een grotere verspreiding van zoet water (dus lagere saliniteit) zien bij de spuïcomplexen ten opzichte van deze studie. Dit is te verklaren aan de hand van de afvoervolumes en verdeling over beide spuïcomplexen (Tabel 5). De afvoervolumes zijn in totaal 362Mm³/28d kleiner in deze studie ten opzichte van de studie van Witteveen+Bos (2015). Hierdoor ligt de algehele saliniteit hoger in de uitkomst van voorliggende studie.



Figuur 23. De gemiddelde saliniteit over de laatste 15 dagen aan het wateroppervlak. Links: voor het referentie scenario 2012 (wintermaand) (Witteveen+Bos, 2015). Rechts: voor het 2020 scenario (deze studie). De legenda is identiek voor deze kaarten.

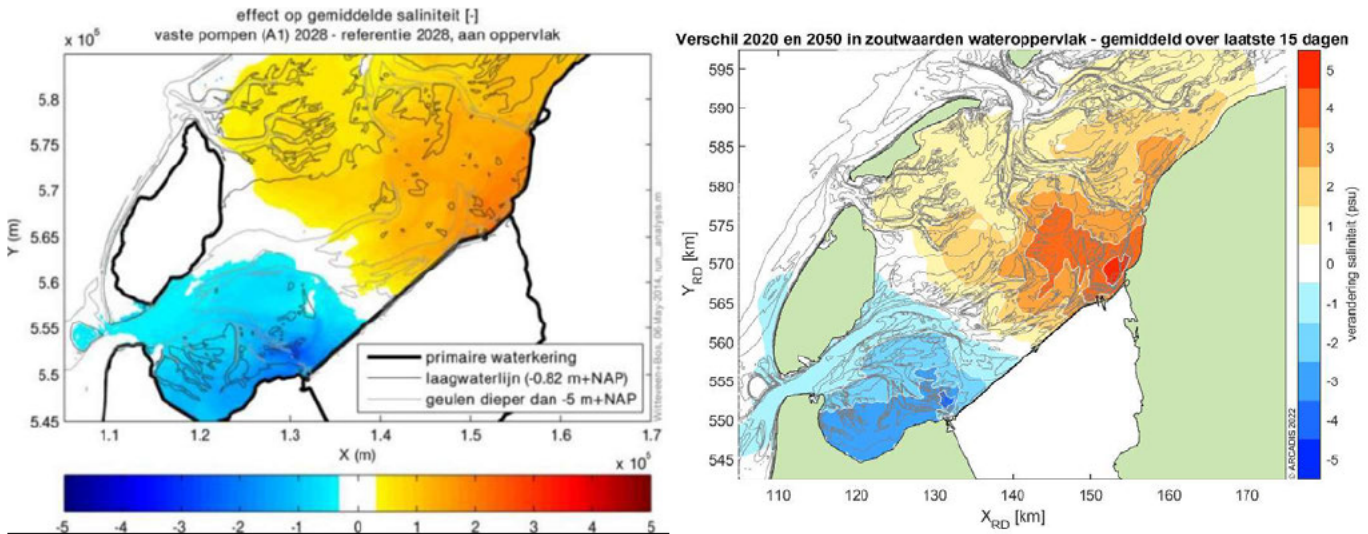
Figuur 24 (links) laat het verschil in saliniteit (gemiddeld over de laatste 15 dagen) zien tussen het 2028 scenario (zonder pompen) waarin een meestijgende bodem met zeespiegelstijging is meegenomen en het referentie scenario 2012 van de studie van Witteveen+Bos (2015). Wat hieruit geconcludeerd kan worden is dat er met een meegroeide bodem een verwaarloosbaar verschil in saliniteit is tussen de zichtjaren 2028 en 2012. Wanneer er geen meegroeide bodem wordt genomen (Figuur 24, rechts) dan is het verschil tussen de zichtjaren 2028 en 2012 rond de 1psu voor de wintermaand. Dit verschil komt door de toename in het getijde prisma. Oftewel, door zeespiegelstijging zonder meegroeide bodem gaat er in een getijdecyclus meer water de Waddenzee in en uit waardoor het water in de Waddenzee sneller ververst en dus relatief zouter wordt voor zichtjaar 2028. Vanwege de

beperkte verschillen kan voor de vergelijking direct worden gekeken naar het verschillen de tussen de 2028 scenario's zonder en met pompen.



Figuur 24. Links: Het verschil in psu (gemiddeld over de laatste 15 dagen) tussen het 2028 scenario (zonder pompen – autonome ontwikkeling) waarin een meestijgende bodem is meegenomen en het referentie scenario 2012 (voor zowel de zomer als de wintermaand). Rechts: Het verschil in psu tussen de autonome ontwikkeling 2028 (zonder meegroeïende bodem) en het referentie scenario 2012 (wintermaand) (beide Witteveen+Bos, 2015).

In Figuur 25 (links) is het verschil tussen het 2028 scenario met vaste pompen en de autonome ontwikkeling van 2028 te zien (Witteveen+Bos, 2015). Dit figuur kan worden gezien als het verschil tussen het 2028 scenario met vaste pompen en een meegroeïende bodem en het 2012 referentie scenario. In Figuur 25 (rechts) is het verschil tussen het 2050 scenario met pompen en nieuwe spuumiddelen en het 2020 referentie scenario te zien (uitkomsten van deze studie). Het linker figuur laat het effect zien van alleen pompen en het rechter figuur laat het effect zien van pompen en nieuwe spuumiddelen. Het effect op de saliniteit van alleen pompen met zichtjaar 2028 (uitkomst Witteveen+Bos, 2015) is een verzoeting van ± 3 -5psu rond Den Oever en een verzilting van ± 1 -3psu bij Kornwerderzand (Figuur 25, links). Het effect op de saliniteit van pompen én nieuwe spuumiddelen bij Den Oever is ook een verzoeting van ± 3 -5psu bij Den Oever en een verzilting van ± 3 -5psu bij Kornwerderzand. Deze verschillen zijn ook terug te zien in de afvoervolumes in Tabel 6. Hierin is te zien dat het afvoervolume bij Kornwerderzand een kleiner is in het 2050-scenario, waardoor het op deze locatie dus ook zouter is. Deze uitkomsten staan samengevat in Tabel 7.



Figuur 25. Links: het verschil tussen het 2028 scenario met vaste pompen en de autonome ontwikkeling van 2028 (Witteveen+Bos, 2015). Rechts: het verschil tussen het 2020 en het 2050 scenario (deze studie).

Tabel 7. Samenvatting verschil uitkomsten Witteveen+Bos (2015) en Arcadis (2022). De uitkomsten van Witteveen+Bos zijn geconverteerd naar uitkomsten behorende bij een meestijgende bodem met zeespiegelstijging zodat deze vergeleken konden worden met de uitkomsten van deze studie.

	Witteveen+Bos (2015)	Arcadis (2022)
Zichtjaar referentie scenario	2012	2020
Zichtjaar toekomstig scenario	2028	2050
Configuratie toekomstig scenario	Vaste pompen	Pompen + nieuwe spuumiddelen
Zeespiegelstijging	+12,5cm	15cm
Verandering rond Den Oever	-5psu	-5psu
Verandering rond Kornwerderzand	+3psu	+5psu

6.3 Interpretatie overeenkomsten en verschillen

Uit de vergelijking van de modelaanpak en de modelresultaten volgt dat er sterke overeenkomsten zijn tussen zowel de aanpak als de resultaten van beide modelstudies. De modellen zelf zijn zeer goed vergelijkbaar, zodat dit geen beperkingen oplevert voor de vergelijking.

Verschillen tussen beide modelstudies zitten in de omvang van het totale debiet van IJsselmeer naar Waddenzee (groter in de Witteveen+Bos 2015 studie) en de zeespiegelstijging (groter in de voorliggende studie). Andere verschillen zijn het gebruik van een waargenomen afvoer in de Witteveen+Bos (2015) studie en de geschematiseerde overgang van een 10% naar 90% percentiel in de voorliggende studie. Deze verschillen werken niet dezelfde kant op, waardoor in geen van beide studies sprake is van zwaardere of lichtere omstandigheden. Het is daarom gerechtvaardigd om de uitkomsten van de beide studies onderling te vergelijken.

Een van de verschillen die zichtbaar is tussen de beide modellen, is dat de afvoer via Kornwerderzand in de voorliggende studie lager is dan in de Witteveen+Bos (2015) studie. De belangrijkste reden daarvoor is het verschil in de zeespiegelstijging. Door de lagere zeespiegelstijging in Witteveen+Bos (2015) is het spuienster daar minder afgenomen dan in de voorliggende studie. Deze afname van de afvoer van zoetwater bij Kornwerderzand en de bijbehorende verzilting in de Waddenzee nabij Kornwerderzand zal altijd gaan optreden bij een stijgende zeespiegel. Dit is een autonome ontwikkeling die los staat van het voornemen om de afvoercapaciteit bij Den Oever te vergroten.

De gevolgen van het afvoeren van zoetwater vanuit het IJsselmeer naar de Waddenzee voor de saliniteit zijn gerelateerd aan het watervolume dat wordt afgevoerd (debiet over een langere periode) en zijn niet gerelateerd aan

de wijze waarop het water wordt afgevoerd. Het is dus niet bepalend of sprake is van afvoer door middel van pompen, of van spuien onder vrij verval, maar van het watervolume dat naar de Waddenzee wordt afgevoerd.

7 Conclusies

Deze studie had als doel om te kwantificeren wat de saliniteitseffecten in de Waddenzee zijn ten gevolge van de aanleg van de nieuwe spuumiddelen bij Den Oever door middel van een modelschematisatie. De pompen zijn reeds vergund in 2016 op basis van de modelstudie van Witteveen+Bos (2015). De nieuwe spuisluizen zijn nog niet vergund. Daarom worden in een nieuwe Passende Beoordeling (Witteveen+Bos, 2022) de effecten van de bouw en het gebruik van de nieuwe spuisluizen op Natura 2000-gebieden onderzocht. Voorliggend rapport dient als achtergrond bij deze Passende Beoordeling.

De kwantificering van de saliniteitseffecten is gedaan door middel van een modelstudie. Twee scenario's zijn doorgerekend:

1. Het 2020 scenario: Dit is het huidige scenario voorafgaand aan de bouw van de pompen en nieuwe spuumiddelen
2. Het 2050 scenario: Dit is het realistische worst-case scenario na aanleg van de pompen en nieuwe spuumiddelen. Daarnaast is zeespiegelstijging en een toename aan afvoer vanuit het IJsselmeer meegenomen volgens Klimaatscenario G.

De uitkomsten van het 2020 scenario en het 2050 scenario waarin het 90 percentiel afvoervolume is opgelegd (hoge afvoervolumes) zijn met elkaar vergeleken. Deze resultaten laten zien dat het na de implementatie van pompen en nieuwe spuumiddelen tussen de 3 en 5psu zoeter wordt in de regio bij het spuicomplex Den Oever, kijkende naar het zichtjaar 2050. Het zoete water bij Den Oever accumuleert voornamelijk op de wadplaten (het Balgzand) ten zuidwesten van Den Oever. Het tegenovergestelde resultaat is te zien bij spuicomplex Kornwerderzand. Rond deze locatie wordt het 3 tot 5psu zouter na de aanleg van pompen en nieuwe spuumiddelen (zichtjaar 2050).

De resultaten van deze studie zijn vervolgens vergeleken met de resultaten uit de modelstudie van Witteveen+Bos (2015). In die studie is gekeken naar een toekomstscenario (met zichtjaar 2028) waarin alleen pompen zijn toegevoegd (vergunde configuratie). Hoewel sprake is van kleine verschillen in de gebruikte modellen en ook de randvoorwaarden en scenario's verschillen, is vergelijking van de uitkomsten gerechtvaardigd. Deze vergelijking is gedaan om zo de saliniteitsveranderingen na aanleg van de pompen te kunnen vergelijken met de saliniteitsveranderingen na aanleg van zowel de pompen als de nieuwe spuisluizen. De uitkomsten van Witteveen+Bos (2015) studie laten zien dat na aanleg van alleen de pompen bij Den Oever het systeem ± 3 -5psu verzoet rond Den Oever en ± 1 -3psu verzilt bij Kornwerderzand.

Wanneer de verzoeting bij Den Oever na aanleg van de nieuwe spuumiddelen (spuisluizen en pompen) (zichtjaar 2050) vergeleken wordt met de verzoeting na aanleg van alleen de pompen (vergunde situatie – zichtjaar 2028) is er een verwaarloosbaar verschil te zien. In beiden scenario's verzoet het rond Den Oever tussen de ± 3 en 5psu.

Referenties

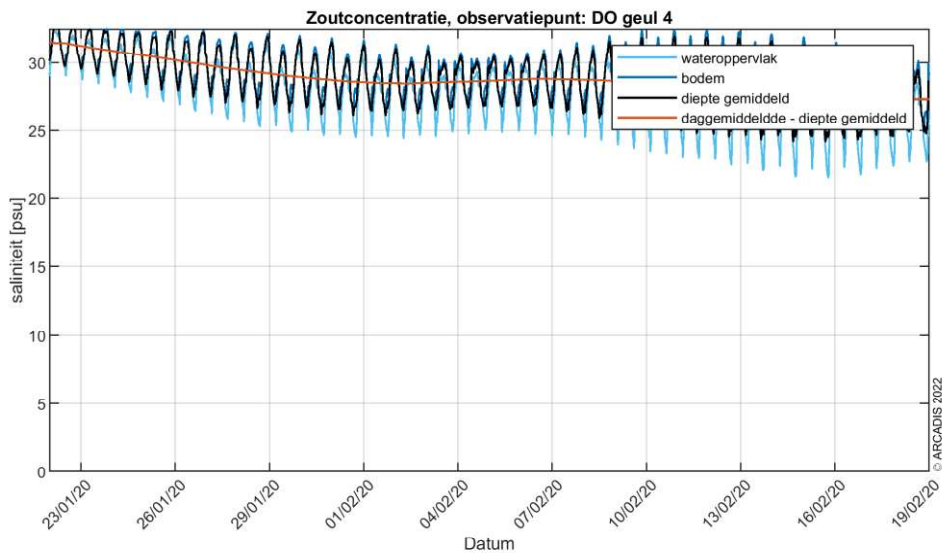
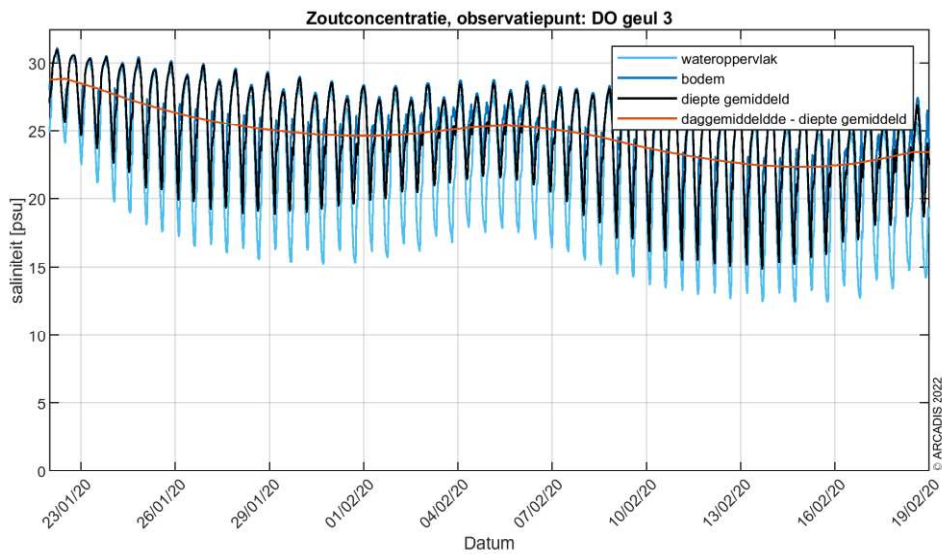
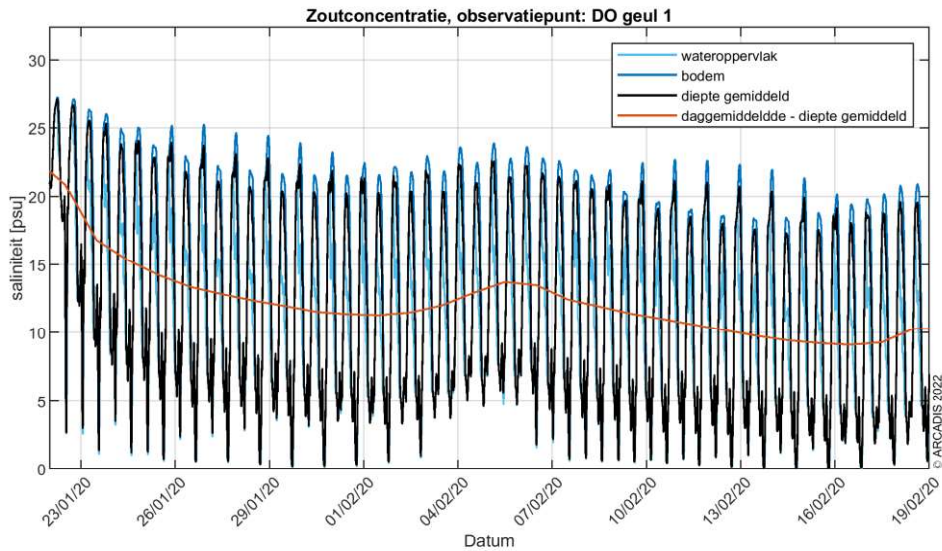
Deltares, 2017. Handleiding SOBEK en WANDA Afsluitdijk. Onderdeel van verificatievoorschrift Pompen en Spuien.

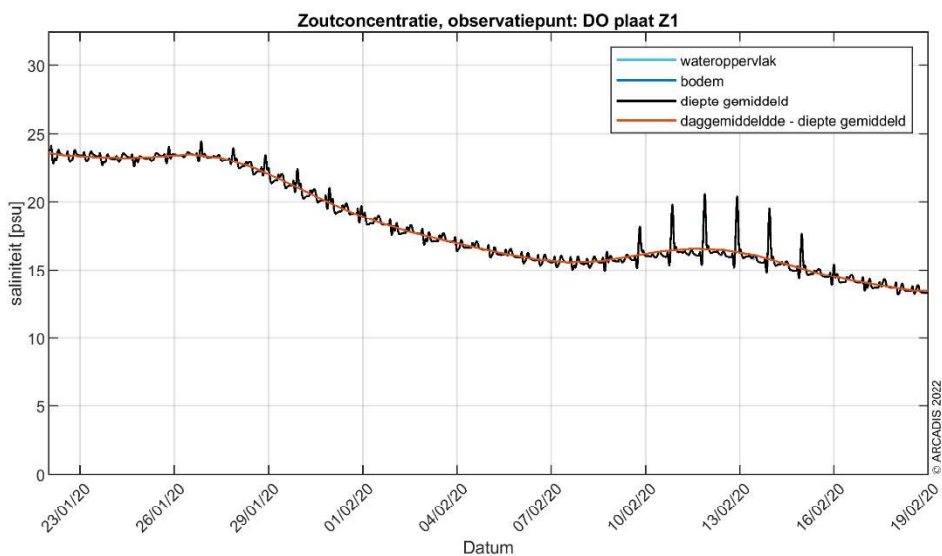
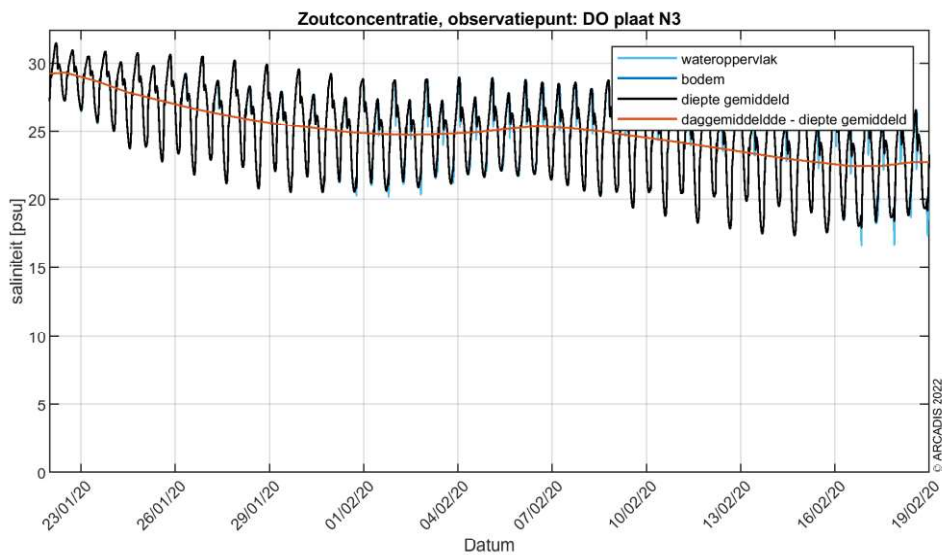
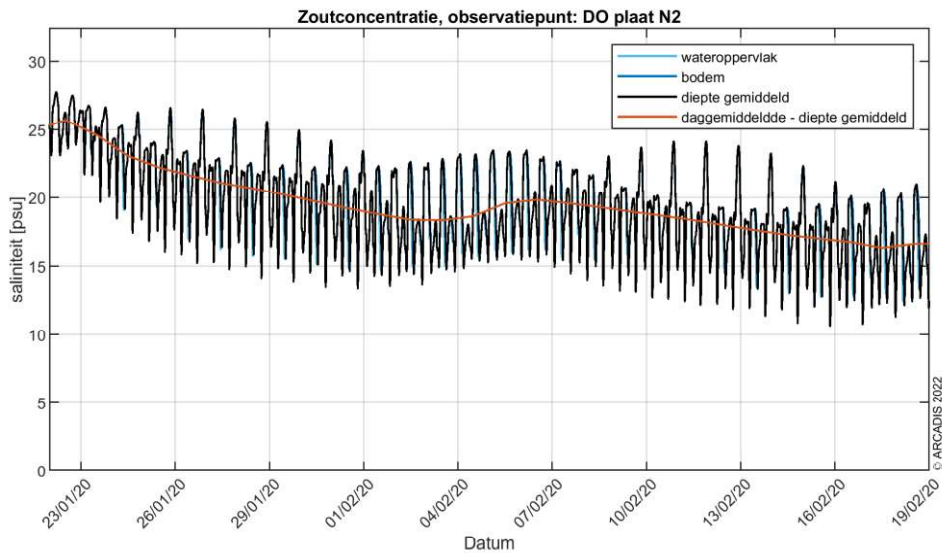
Rijkswaterstaat, 2018. Peilbesluit IJsselmeergebied.

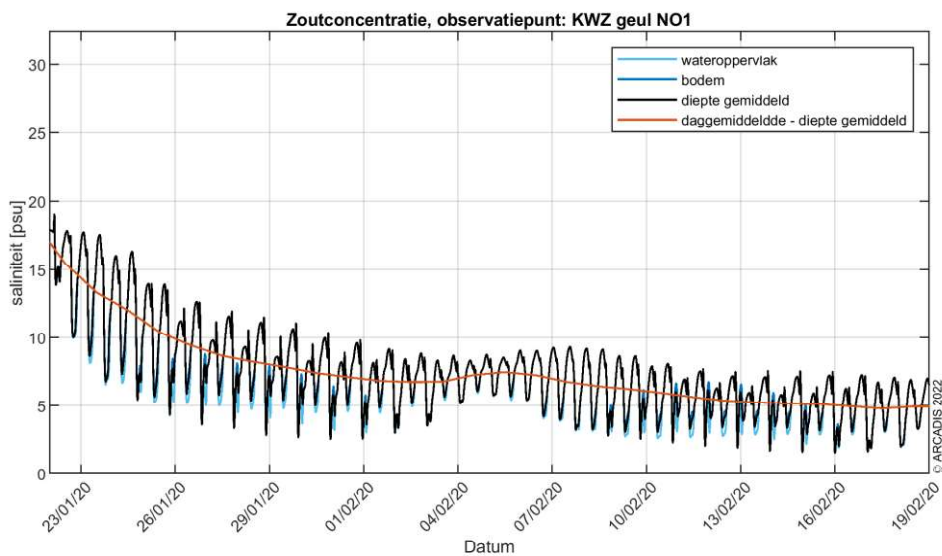
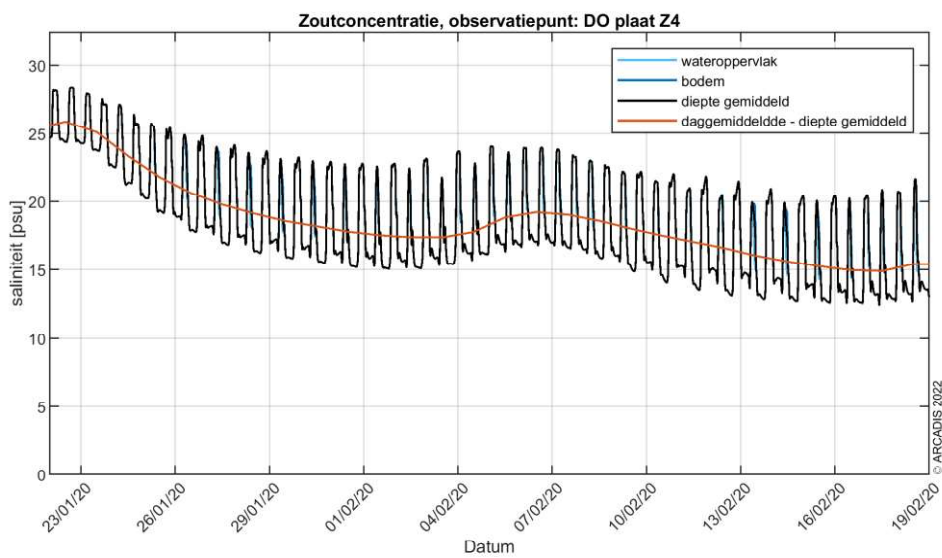
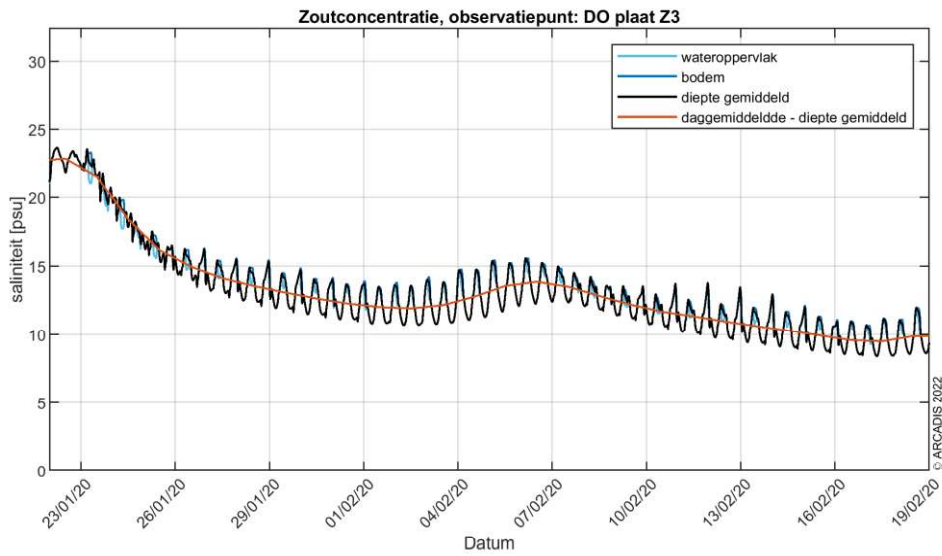
Witteveen+Bos, 2015. Verdiepend effectonderzoek waterkwaliteit en morfologie, Afsluitdijk. Definitief 3.0.

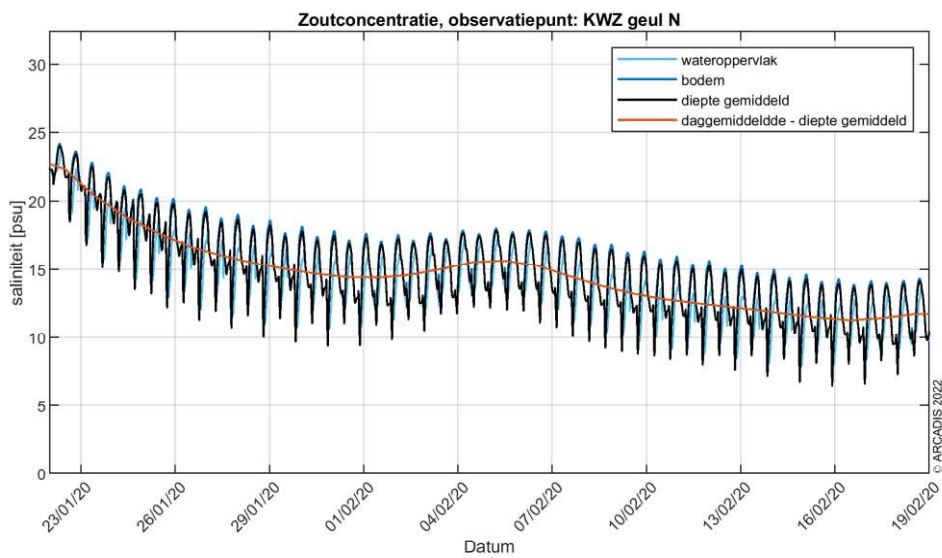
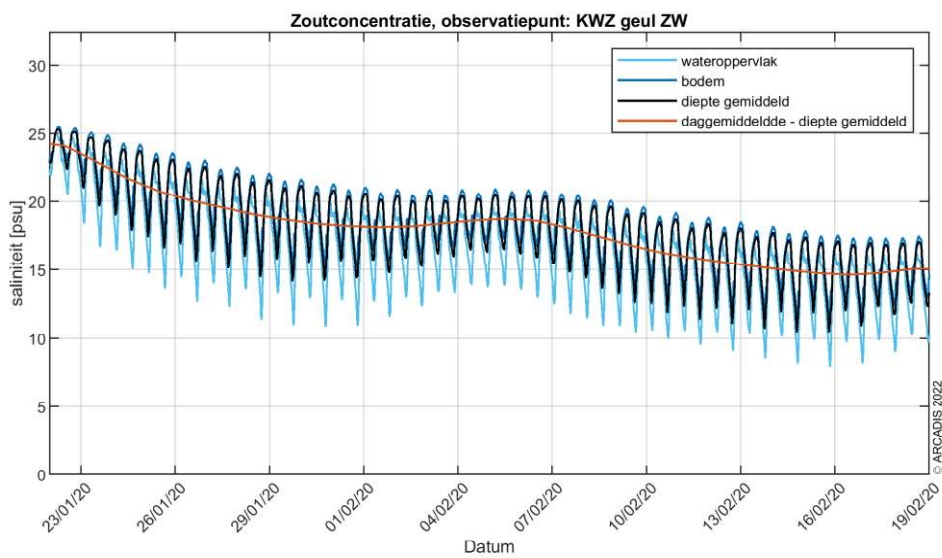
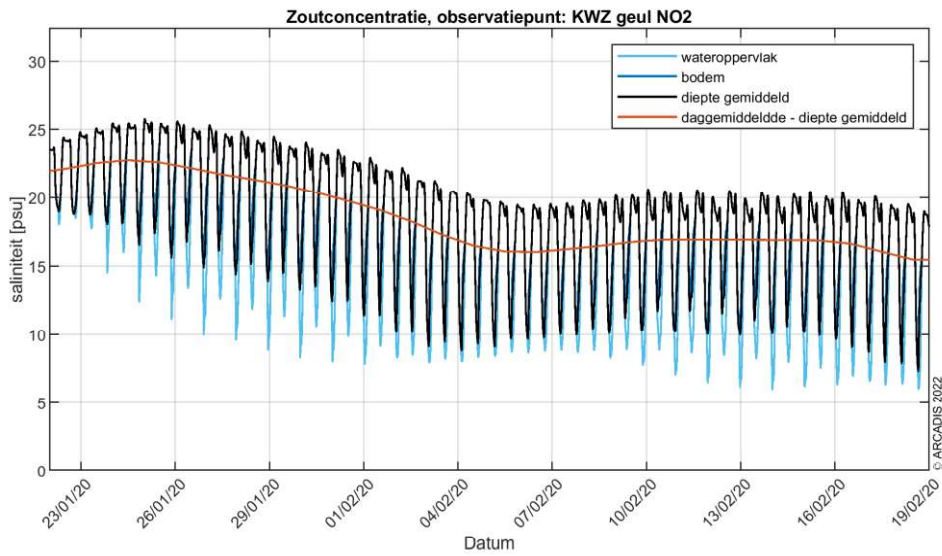
Witteveen+Bos, 2022. Concept, Versterking Afsluitdijk; Passende beoordeling aanleg en gebruik

Bijlage A Extra tijdseries referentie scenario 2020

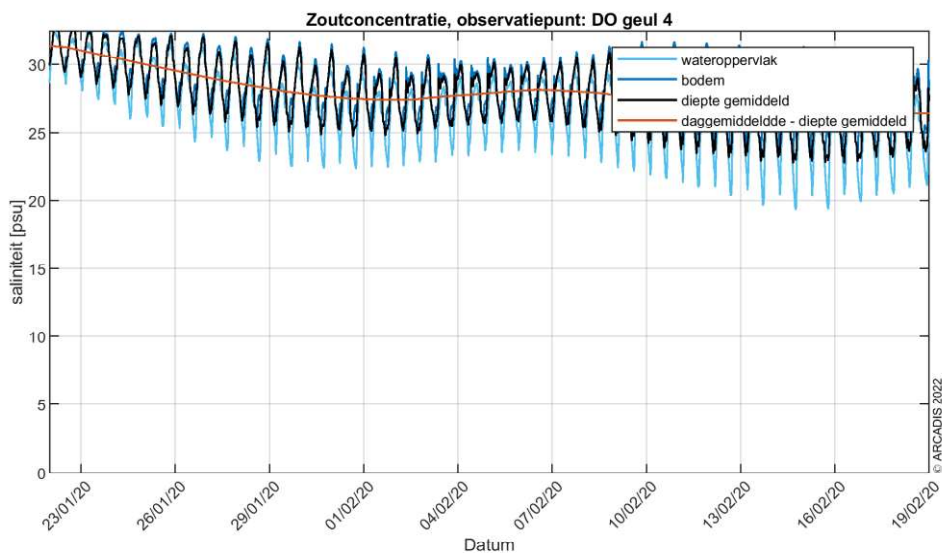
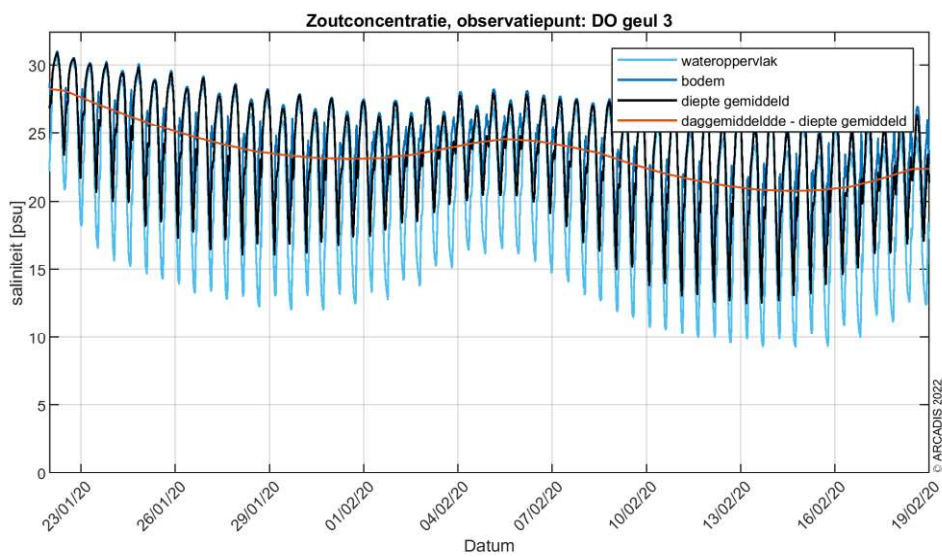
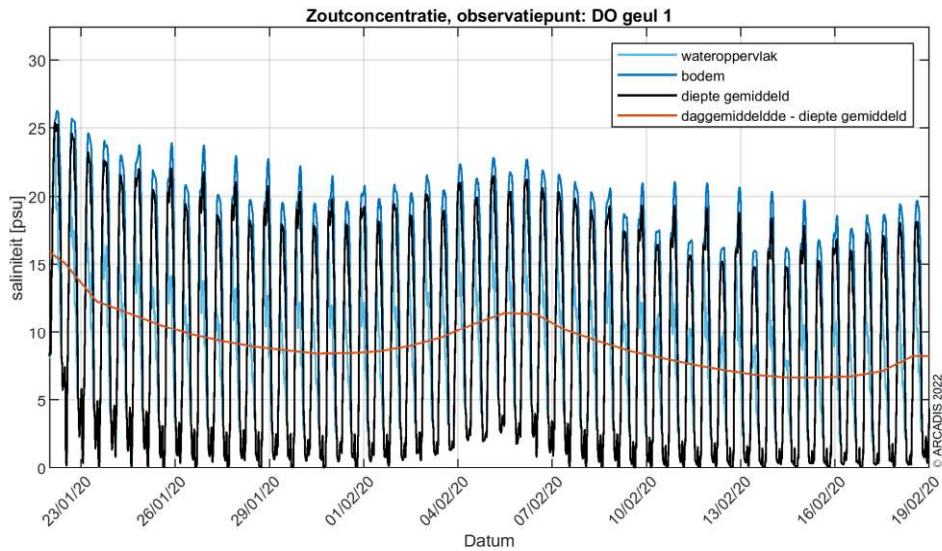


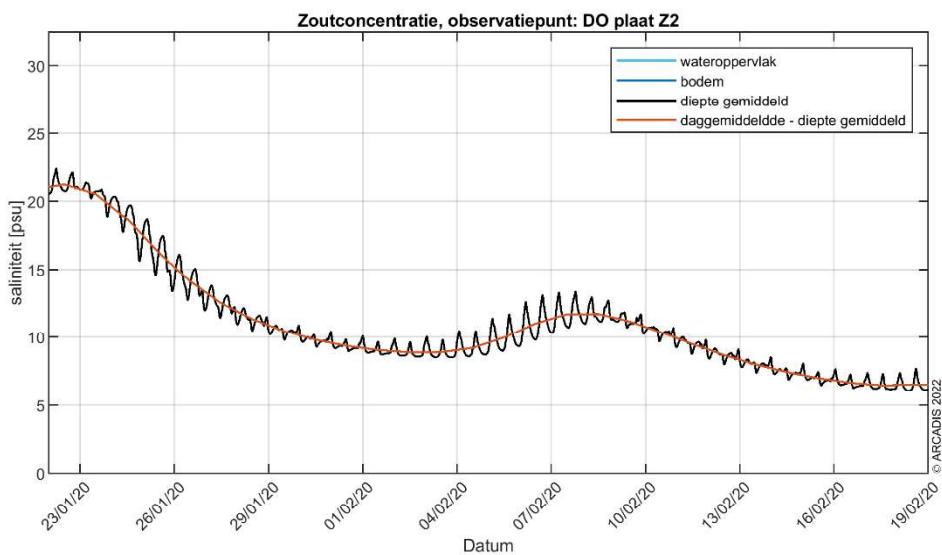
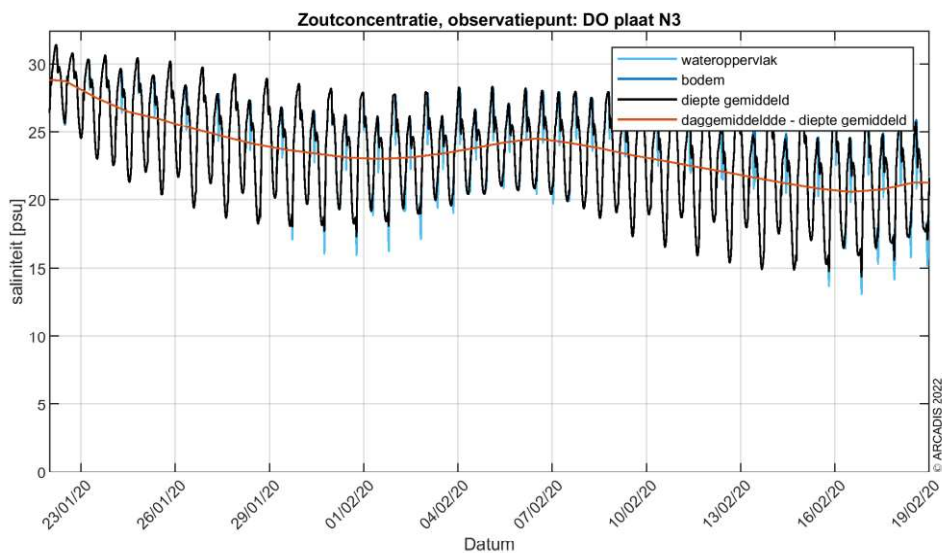
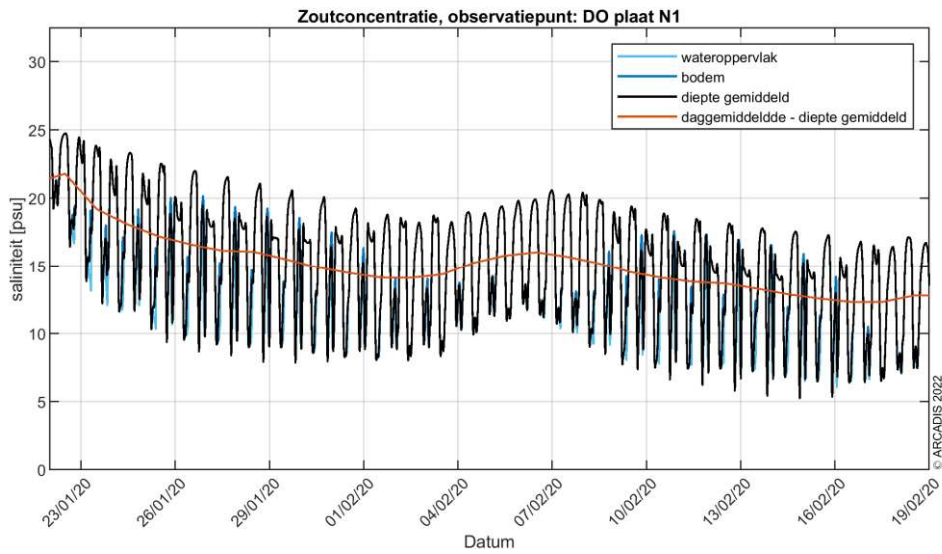


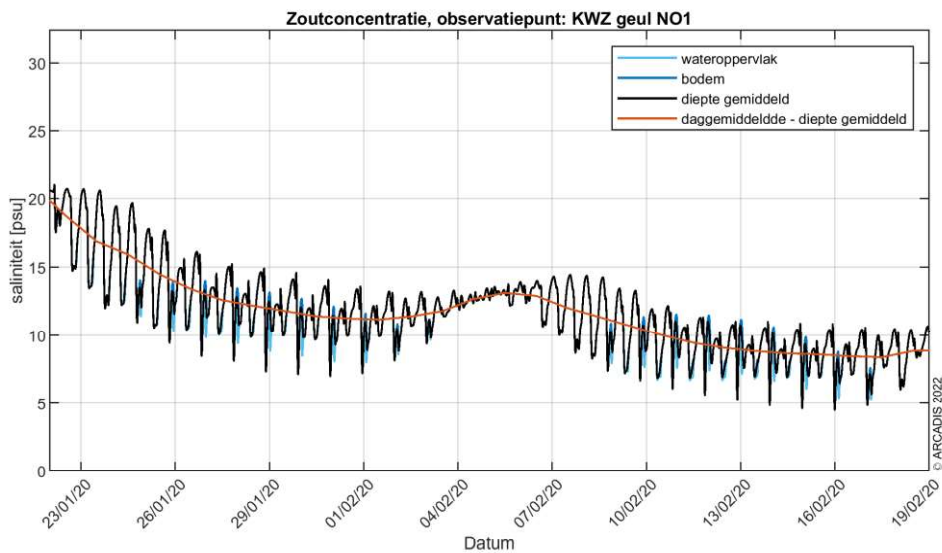
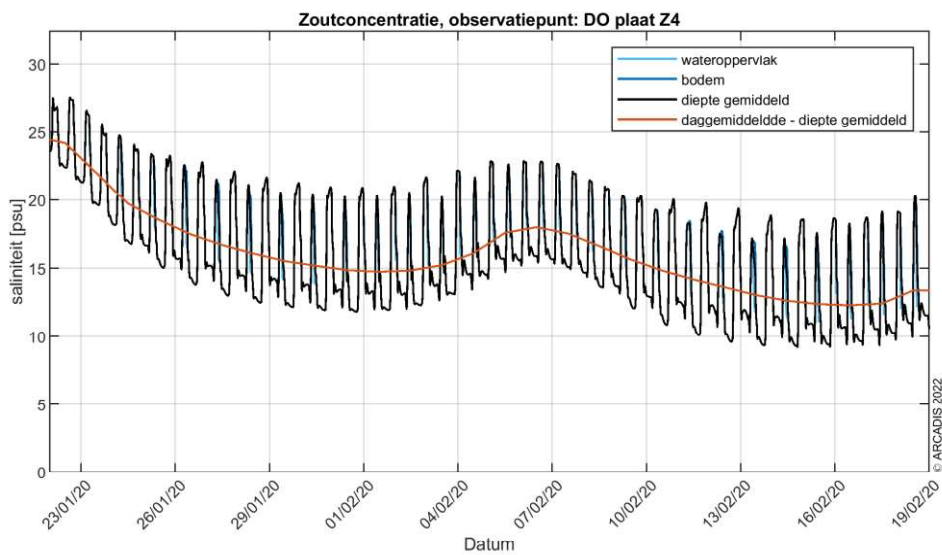
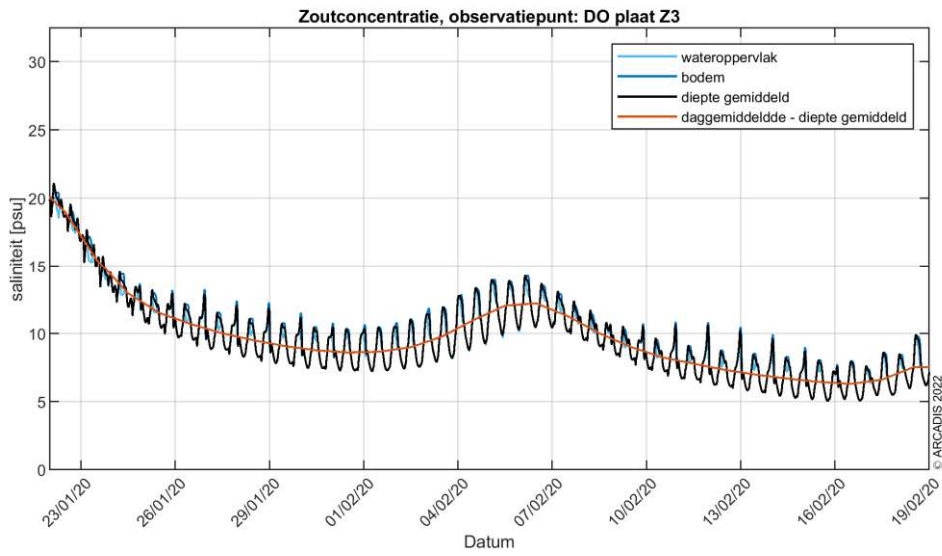


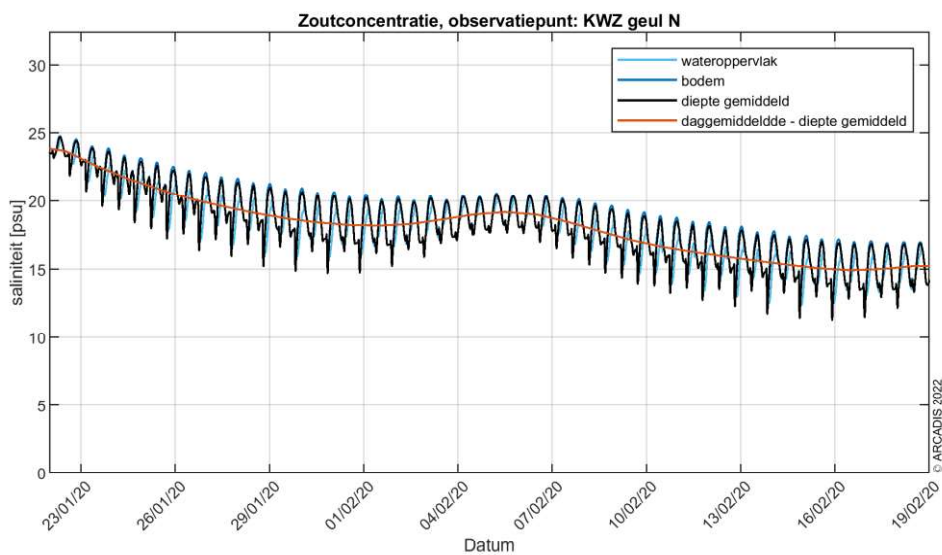
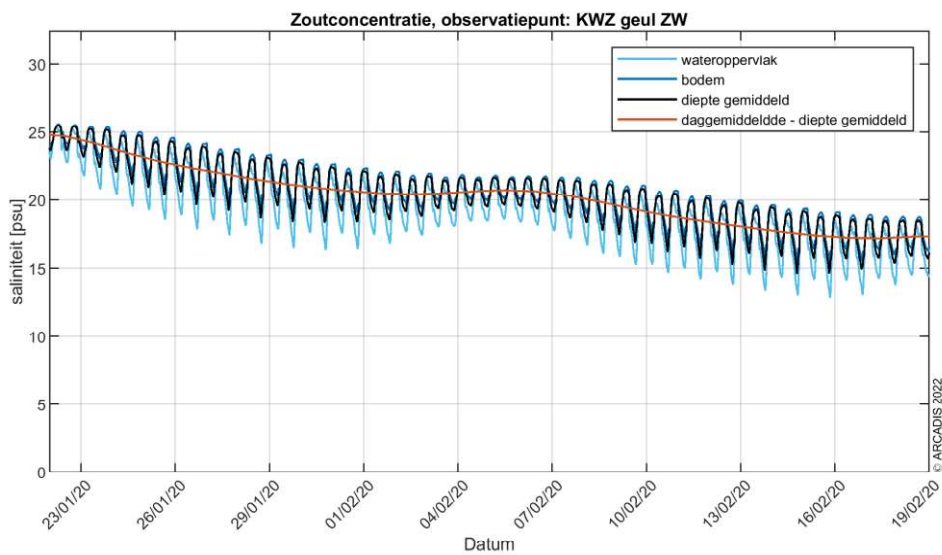
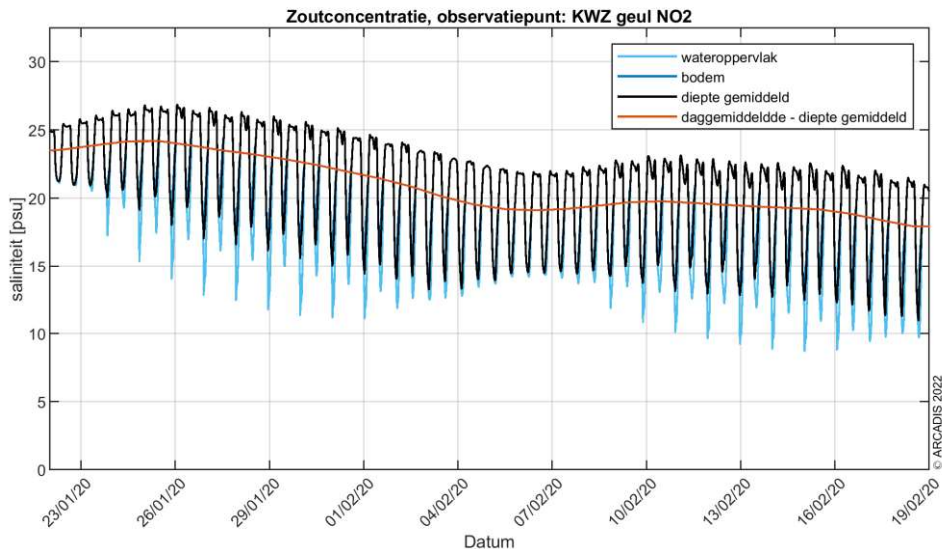


Bijlage B Extra tijdseries realistisch worst-case scenario 2050









Colofon

SALINITEITSGEVOLGEN GEBRUIK NIEUWE SPUIMIDDELEN AFSLUITDIJK
ACHTERGRONDRAPPORT BIJ DE NATUURANALYSE

KLANT

Level & Rijkswaterstaat

AUTEURS

[REDACTED]

PROJECTNUMMER

30067515

ONZE REFERENTIE

D10053559:76

DATUM

7 april 2022

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

[REDACTED]

VRIJGEGEVEN DOOR

[REDACTED]

Over Arcadis

Arcadis is een toonaangevend wereldwijd ontwerp- en consultancybureau voor de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij maken het verschil voor onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Met 27.000 mensen in meer dan 70 landen genereerden we in 2020 een omzet van €3,3 miljard. Wij ondersteunen UN-Habitat met kennis en expertise om leefomstandigheden te verbeteren in gebieden getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

