

Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Veerse Meer

Houdbaarheid in het licht van klimaatverandering



Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Veerse Meer
Houdbaarheid in het licht van klimaatverandering

Auteur(s)

Maaïke Maarse

Frank Kleissen

Arno Nolte

Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Veerse Meer

Houdbaarheid in het licht van klimaatverandering

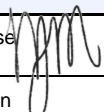


Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving Rijkswaterstaat Zee en Delta
Contactpersoon	de heer E. van Zanten (RWS Zee en Delta)
Referenties	Onderdeel van het KPP-project Zuidwestelijke Delta
Trefwoorden	Veerse Meer, klimaatverandering, zeespiegelstijging, waterbeheer, waterkwaliteit, gebruiksfuncties

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	04-02-2021
Projectnummer	11206201-001
Document ID	11206201-001-ZKS-0005
Pagina's	81
Status	definitief

Auteurs

	Maaïke Maarse	
	Frank Kleissen	
	Arno Nolte	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Maaïke Maarse 	Theo Prins 	Toon Segeren 	
	Frank Kleissen			
	Arno Nolte			

Kaafoto: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Harry van Reeken

Samenvatting

Door klimaatverandering zal de zeespiegel stijgen, zal de luchttemperatuur toenemen en zullen de neerslagpatronen wijzigen (drogere zomers, nattere winters). Klimaatverandering roept de vraag op hoe “klimaatrobust” het Veerse Meer is. Met klimaatrobust wordt bedoeld tot welke mate van klimaatverandering de beheerdoelen en/of gebruiksfuncties van het Veerse Meer gehandhaafd kunnen blijven. De beheerdoelen zijn waterveiligheid, waterbeheer (peilbeheer en wateruitwisseling), waterkwaliteit (KRW) en natuur (Natura2000). Gebruiksfuncties zijn scheepvaart, landbouw, recreatie (zwemmen, recreatievaart, overig), beroepsvisserij, sportvisserij en leefomgeving.

In dit onderzoek is klimaatrobustheid van het Veerse Meer voor het regulier peilbeheer en voor waterkwaliteit (KRW-normen voor stikstof en chloride) kwantitatief onderzocht. De overige beheerdoelen en gebruiksfuncties zijn kwalitatief beoordeeld. De kwantitatieve analyse gebruikt een model dat de waterbalans van het Veerse Meer doorrekent op basis van aannames voor de in- en uitgaande debieten. De mengverhouding tussen zoet/brak polderwater en het Kanaal door Walcheren en zout Oosterscheldewater is als maat voor de waterkwaliteit berekend.

Op de vraagstelling “Hoe lang kunnen de beheer- en gebruiksfuncties van het Veerse Meer met het huidige waterbeheer gehandhaafd blijven onder invloed van klimaatverandering?” geeft dit rapport als antwoord dat het knikpunt voor de waterkwaliteit (KRW stikstof) al vanaf 0-10 centimeter zeespiegelstijging bereikt wordt (uiterlijk 2030-2045). Door zeespiegelstijging neemt de wateruitwisseling met en dus de afvoer van nutriënten naar de Oosterschelde af. Omdat in de huidige situatie de KRW-norm voor stikstof in sommige jaren al overschreden wordt, is er in het Veerse Meer feitelijk geen ruimte voor verminderde wateruitwisseling en zit het systeem op of tegen het knikpunt aan.

Echter, overschrijding van de KRW-norm voor stikstof kan niet gelijkgesteld worden aan een onvoldoende staat van het ecosysteem. De biologische KRW-maatlatten Fytoplankton, Overige waterflora, Macrofauna en Vis zijn in dit onderzoek niet kwantitatief onderzocht. Rijkswaterstaat Zee en Delta is in 2020 begonnen met een (systeem)verkenning onderzoek naar signalen van ecologische problemen. Het is niet aantoonbaar dat klimaatverandering bijdraagt aan deze gesignaleerde problemen. Dit klimaatrobustheidsonderzoek versterkt de urgentie van het (systeem)verkenning onderzoek naar de huidige status en ontwikkeling van waterkwaliteit en onderwaterleven, omdat het huidige waterbeheer geen of nauwelijks handelingsruimte heeft.

Het huidige peilbeheer kan tenminste tot 20-40 cm zeespiegelstijging (2040-2075) gehandhaafd blijven, waarna het gemiddeld zomer- en winterpeil langzaam oploopt. Het maximale winterpeil overschrijdt het streefpeil bij 40-50 cm zeespiegelstijging in geval van een hoog piekvolume polderlozingen en hoge waterstanden op de Oosterschelde. Voor zowel het gemiddeld als het maximale peil is met operationeel beheer waarschijnlijk handelingsruimte te creëren. Echter, dit zal altijd leiden tot minder wateruitwisseling met (negatieve) consequentie voor waterkwaliteit.

De aan de waterkwaliteit gerelateerde functies (Natuur, Beroepsvisserij, Sportvisserij, Waterrecreatie) komen waarschijnlijk onder druk bij een knikpunt vergelijkbaar met de waterkwaliteit, dat wil zeggen 0-10 cm zeespiegelstijging. Voor waterpeilen gerelateerde functies (Beroepsscheepvaart, Recreatievaart, Landbouw, Woonomgeving) ligt het knikpunt bij grotere zeespiegelstijging.

Het handelingsperspectief “Verhogen peilgrenzen” is kwantitatief doorgerekend met het waterbalansmodel. Met het verhogen van het peil wordt de wateruitwisseling vergroot en de nutriëntenconcentratie verlaagd. Verhogen van de peilgrenzen heeft consequenties voor meerdere beheer- en gebruiksfuncties zoals natuur en recreatie. Er wordt van uitgegaan dat alle functies aangepast worden aan de verhoogde peilgrenzen. Of dit kan, is niet onderzocht. Ingeschat wordt dat het knikpunt voor waterkwaliteit 20-30 cm zeespiegelstijging uitgesteld kan worden bij het hoogste peilscenario (gemiddeld winter- en zomerpeil NAP +0,05 m).

Drie andere handelingsperspectieven zijn alleen kwalitatief benoemd (“Operationele sturing op basis van weersverwachting uitbreiden”, “Vergroten doorlaatmiddel”, en “Verminderen toevoer nutriënten vanuit poldergemalen”).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Doelstelling onderzoek klimaatrobustheid waterbeheer Veerse Meer	8
1.3	Aanpak onderzoek	9
1.4	Leeswijzer	9
2	Overzicht huidige waterbeheer en gebruiksfuncties Veerse Meer	10
2.1	Waterbeheer Veerse Meer	10
2.1.1	Operationeel beheer	10
2.1.2	Effect van klimaatverandering	11
2.2	Beheer- en gebruiksfuncties Veerse Meer	12
2.2.1	Inventarisatie van beheer- en gebruiksfuncties	12
2.2.2	Inventarisatie knikpunten voor relevante beheer- en gebruiksfuncties	15
3	Klimaatrobustheid peilbeheer en waterkwaliteit	18
3.1	Selectie van beheer- en gebruiksfuncties voor kwantitatieve analyse	18
3.2	Aanpak kwantitatieve analyse	21
3.3	Resultaten klimaatrobustheid huidig waterbeheer	25
3.3.1	Leeswijzer figuren	25
3.3.2	Overschrijding maximaal waterpeil (NAP -0,20 m) winter	26
3.3.3	Overschrijding van het maximaal waterpeil in de zomer	30
3.3.4	Onderschrijding van de minimale waterstand in de winter en in de zomer	31
3.3.5	Gemiddelde waterstand in de winter	33
3.3.6	Gemiddelde waterstand in de zomer	34
3.3.7	Mengverhouding	35
3.3.8	Overzicht knikpunten huidig waterbeheer	38
3.4	Handelingsperspectieven	39
3.4.1	Beschouwde handelingsperspectieven	39
3.4.2	Kwalitatieve beschouwing drie handelingsperspectieven	39
3.4.3	Effect van handelingsperspectief Verhogen van peilgrenzen op mengverhouding en peil	40
3.4.4	Overzicht knikpunten handelingsperspectief Verhogen van peilgrenzen	47
4	Klimaatrobustheid overige beheer- en gebruiksfuncties voor huidig waterbeheer	48
5	Conclusie, discussie en aanbevelingen	50
5.1	Samenvattende inleiding	50
5.2	Conclusie en discussie	51
5.3	Aanbevelingen	52
6	Referenties	53
A	Beschrijving Methode Adaptief Deltamanagement	55
A.1	Adaptief Deltamanagement onder het Deltaprogramma	55

A.2	Integraal adaptief deltamanagement	56
A.3	Stappen integrale analyse	56
B	Beschrijving 0D model voor waterstanden	57
B.1	Modelopzet en waterbalans	57
B.1.1	Algemeen	57
B.1.2	Poldergemalen en overige debieten	58
B.1.3	Debiet door de Katse Heul	59
B.1.4	Het beheersen van het waterpeil in het Veerse Meer	59
B.1.5	Mengverhouding berekeningen	59
B.2	Modelvalidatie	59
B.3	Opzet scenariomatrix	61
C	Resultaten Kwantitatieve analyse	63
C.1	Resultaten analyse huidige peilstrategie	63
C.1.1	Maximale waterstand winter (P98)	63
C.1.2	Maximale waterstand zomer (P98)	66
C.1.3	Minimale waterstand winter (P2)	69
C.1.4	Minimale waterstand zomer (P2)	72
C.1.5	Mengverhouding winter	75
C.1.6	Mengverhouding zomer	77

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Wereldwijd verandert het klimaat. Dit gebeurt door natuurlijke factoren, maar sinds het midden van de twintigste eeuw vooral door verbranding van fossiele brandstoffen waardoor de concentratie broeikasgassen (waarvan CO₂ de grootste bijdrage levert) in de atmosfeer toeneemt. Andere menselijke factoren zoals ontbossing en oxidatie van veengronden door ontwatering dragen ook bij aan de toegenomen uitstoot van broeikasgassen.

Klimaatverandering uit zich op een aantal manieren: Stijging van de temperatuur, stijging van de zeespiegel, verzuring van het water, en verandering in neerslagpatronen en daardoor verandering in rivierafvoer. Effecten hebben betrekking op zowel langjarige gemiddelden zoals een stijgende zeespiegel als kortdurende extremen als heftigere stormen of hogere piekneerslag. De impact van deze factoren verschilt per watersysteem en/of gebied en moeten daarom per watersysteem of gebied bekeken worden.

DG Water en Bodem van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is opdrachtgever aan Rijkswaterstaat Zee en Delta voor de integrale effectstudies zeespiegelstijging op waterveiligheid, natuur en economie van de Oosterschelde en verbonden bekkens waaronder het Veerse Meer. Het uiteindelijke doel is te komen tot een duidelijk beeld van de houdbaarheid van de huidige voorkeursstrategie van het Deltaprogramma en inzicht te krijgen in de opties van het integrale lange termijn handelingsperspectief voor een duurzaam veilige, economische vitaal en ecologisch veerkrachtige Oosterschelde en verbonden bekkens bij een forse zeespiegelstijging en veranderende regenvalpatronen.

Inmiddels zijn er twee studies afgerond naar de effecten van zeespiegelstijging op veiligheid, economie en ecologie van de Oosterschelde (Von Meijenfeldt *et al.*, 2017, Zandvoort *et al.*, 2019). Deze studies hebben veel kennis opgeleverd over de effecten van de zeespiegelstijging op de Oosterschelde. Andere klimaateffecten op de Oosterschelde zijn daarin nog niet onderzocht. De effecten van zeespiegelstijging en andere klimaateffecten op het Veerse Meer zijn in de genoemde studies niet meegenomen.

1.2 Doelstelling onderzoek klimaatrobustheid waterbeheer Veerse Meer

De vraagstelling is:

Hoe lang kunnen de beheer- en gebruiksfuncties van het Veerse Meer met het huidige waterbeheer gehandhaafd blijven onder invloed van klimaatverandering?

En wat zijn de handelingsperspectieven die volgen op het huidige waterbeheer?

Met “hoe lang” wordt beoogd een jaartal aan te geven. Het jaartal is afhankelijk van de snelheid van klimaatverandering, dat wil zeggen zeespiegelstijging, snelheid van verandering van neerslagpatronen, etc. Voor de snelheid van (factoren van) klimaatverandering stelt het KNMI klimaatscenario's op (KNMI, 2015). Voor ieder klimaatscenario kan bijvoorbeeld een mate van zeespiegelstijging aan een jaartal gekoppeld worden, inclusief onzekerheidsmarge. Bijvoorbeeld bij een snellere zeespiegelstijging wordt de grens aan de klimaatrobustheid eerder bereikt dan bij een langzamere zeespiegelstijging.

Uitgangspunt is het huidige waterbeheer voor het Veerse Meer (zie §2.1), die conform de voorkeursstrategie van het Deltaprogramma ZW Delta is. Er zijn in het kader van autonome ontwikkeling geen aanpassingen voorzien die in het onderzoek meegenomen hoeven te worden.

Het onderzoek omvat alle beheer- en gebruiksfuncties van het Veerse Meer die direct of indirect afhankelijk zijn van het waterbeheer, waaronder (beroeps- en recreatie-) scheepvaart, waterkwaliteit, recreatie en natuur (zie §2.2 voor alle functies).

Vervolgend op de houdbaarheid van het huidige waterbeheer wordt beknopt ingegaan op mogelijke handelingsperspectieven en maatregelen om de klimaatrobustheid van het Veerse Meer te verlengen of te vergroten.

1.3 Aanpak onderzoek

De aanpak van het onderzoek¹ is de adaptief deltamanagement methode (Deltares, 2011). Deze methode is in het kader van het Deltaprogramma ontwikkeld en wordt daarin nog steeds toegepast en doorontwikkeld². De aanpak bestaat uit de volgende stappen:

- Stap 1. Inventarisatie en identificatie van beheer- en gebruiksfuncties van het Veerse Meer en bijbehorende indicatoren en drempelwaarden
- Stap 2. Kwantitatieve berekening met een waterbalansmodel van knikpunten voor de indicatoren waterpeil en waterkwaliteit en daaraan gerelateerde beheer- en gebruiksfuncties
- Stap 3. Semi-quantitatieve of kwalitatieve beoordeling van overige beheer- en gebruiksfuncties
- Stap 4. Inventarisatie en eerste afweging van maatregelen en handelingsperspectieven

Een kernbegrip in adaptief deltamanagement is het **knikpunt**, gedefinieerd als “Het moment dat de mate van de klimaatverandering dusdanig is dat met het (huidige) beheer of beleid de gestelde doelen niet meer kunnen worden bereikt”. Een knikpunt bij een functie wordt beschreven door:

- een **indicator**, die een kwantificeerbare eigenschap van een mogelijk optredend probleem voor een functie betreft (bijvoorbeeld het maximum waterpeil); en
- een bijbehorende **drempelwaarde**, die aangeeft bij welke grenswaarde van deze indicator de functie niet afdoende functioneert (bijvoorbeeld meer dan 2% van de tijd overschrijding van de peilgrens voor maximale waterstand in de winter van NAP -0,20 m).

Bijlage A bevat een beknopte introductie in de methode. Deltares (2011) is een praktische handleiding. Door dit rapport heen wordt iedere stap ook kort geïntroduceerd en toegelicht.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het huidige waterbeheer van het Veerse Meer in termen van de peilgrenzen en de waterbalans (in- en uitstromende debieten) en geeft een overzicht van alle beheer- en gebruiksfuncties.

Voor de functies peilbeheer en waterkwaliteit wordt in Hoofdstuk 3 op basis van de respectievelijke indicatoren waterstand en mengverhouding zoet/zout water met modelberekeningen afgeleid wat de klimaatrobustheid is voor het huidige waterbeheer en voor drie peilbeheervarianten als handelingsperspectief. Een aantal andere handelingsperspectieven worden kwalitatief beschreven. De beschrijving van het toegepaste model is opgenomen in Bijlage B.

De klimaatrobustheid van de overige beheer- en gebruiksfuncties wordt kwalitatief besproken in Hoofdstuk 4.

Hoofdstuk 5 sluit af met de conclusies en aanbevelingen.

¹ Het onderzoek volgt dezelfde aanpak als het eerder in 2020 afgeronde onderzoek Klimaatrobustheid Waterbeheer Volkerak-Zoommeer (Deltares, 2020)

² <https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/wat-is-het-deltaprogramma/adaptief-deltamanagement>

2 Overzicht huidige waterbeheer en gebruiksfuncties Veerse Meer

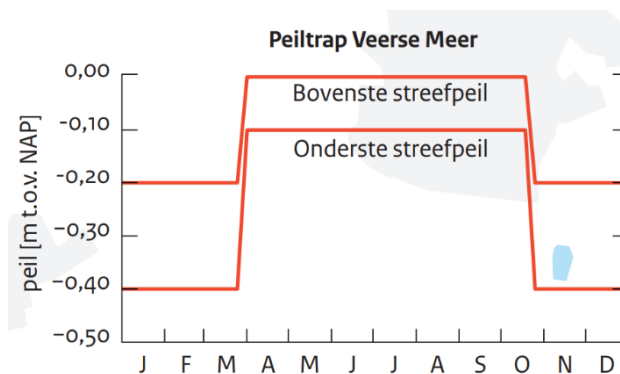
2.1 Waterbeheer Veerse Meer

2.1.1 Operationeel beheer

De beschrijving van het waterbeheer en de kunstwerken is grotendeel overgenomen uit de infographic Operationeel watermanagement Veerse Meer (Rijkswaterstaat, 2020).



Figuur 2.1 Overzicht Veerse Meer met poldergemalen, sluisen en doorlaatmiddel Katse Heule (Rijkswaterstaat, 2020)



Figuur 2.2 Peilgrenzen Veerse Meer voor zomer- en winterperiode (Rijkswaterstaat, 2020)

De dagelijkse operationele peilsturing van het Veerse Meer richt zich op maximale waterverversing binnen een vastgestelde bandbreedte ten gunste van de waterkwaliteit. Het zomerpeil mag fluctueren binnen de bandbreedte NAP 0 cm en NAP -10 cm en het winterpeil tussen NAP -20 cm en NAP -40 cm (Figuur 2.2). Dit is vastgelegd in het Peilbesluit Veerse Meer (2007). Het opzetten naar zomerpeil start een week voor Goede Vrijdag of uiterlijk een week voor 1 april en het verlagen naar winterpeil start op de maandag na de herfstvakantie in Zeeland. In de

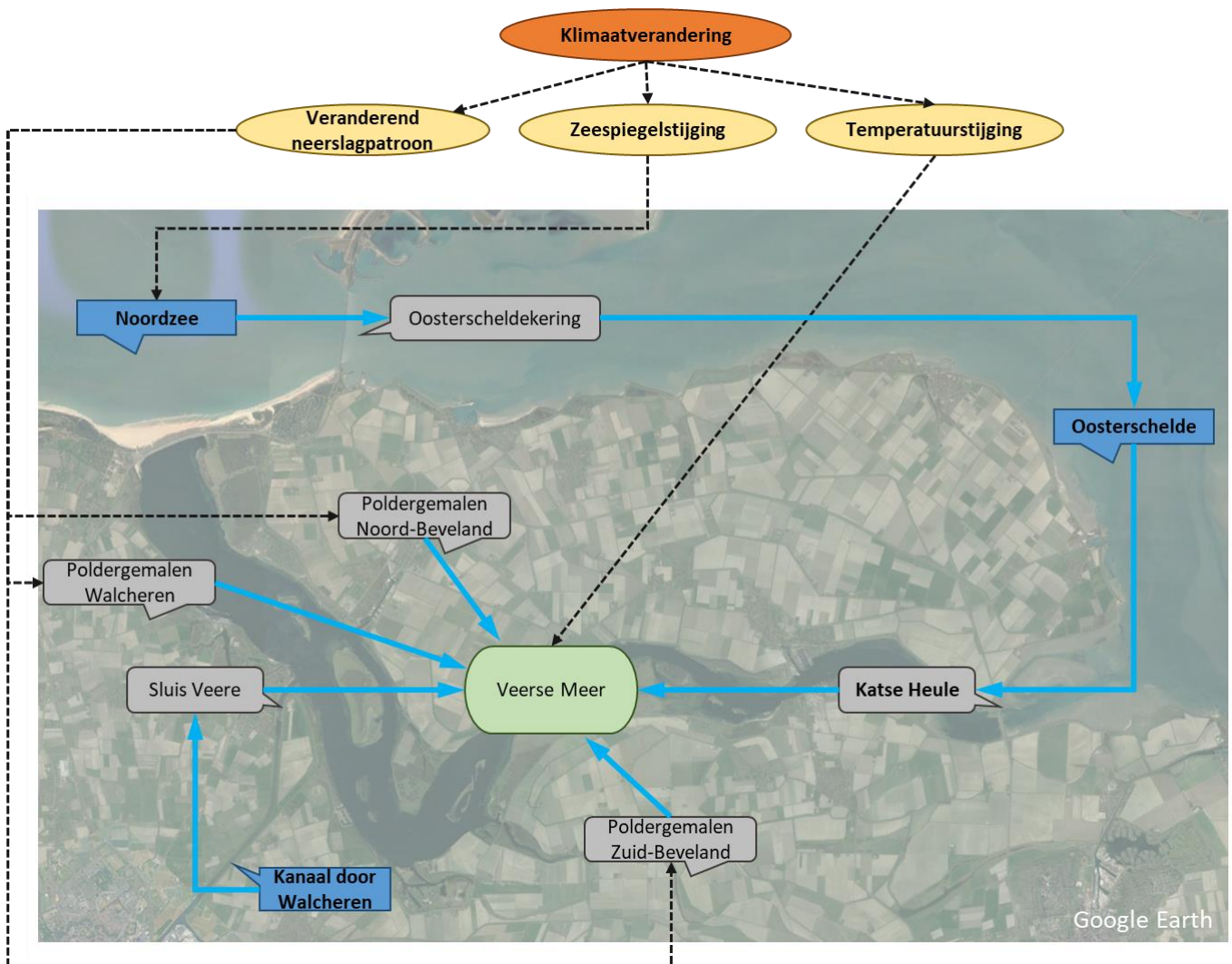
regel is maximaal één week nodig om het gewenste peil te bereiken. In situaties van extreme neerslag en/of verhoogde buitenwaterstanden op de Oosterschelde kan het waterpeil voortijdig worden verlaagd met 10 cm onder de ondergrens om een buffer te creëren.

Momenteel wordt het watersysteem op de volgende wijze gestuurd. Via het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam, de Katse Heule, wordt dagelijks water in- en uit gelaten, waarbij er wordt gestuurd op een zo groot mogelijk uitwisselingsdebiet, binnen de grenzen van de toegestane peilfluctuatie. Het streefpeil (praktijkpeil) is NAP -0,30 m in de winter en NAP -0,05 m in de zomer.

Bij het ontwerp van de bodembescherming bij de uitstroomopeningen van de Katse Heule is rekening gehouden met een maximum en een minimum waterstand op de Oosterschelde, namelijk NAP +2.00 m en NAP -2.00 m. Wanneer het peil op de Oosterschelde daar niet aan voldoet, wordt de Katse Heule gesloten.

2.1.2 Effect van klimaatverandering

Figuur 2.3 geeft weer hoe klimaatverandering het waterbeheer van het Veerse Meer kan beïnvloeden via zeespiegelstijging, temperatuurstijging (gemiddeld en extremen) en verandering van neerslagpatronen (langere droge perioden en grotere piekbuien).



Figuur 2.3 Visualisatie van het effect klimaatverandering op het waterbeheer van het Veerse Meer

Zeespiegelstijging heeft effect op de waterstand op de Oosterschelde (via Noordzee en Oosterscheldkering), waardoor de hoeveelheid water die via de Katse Heule in- en uitgelaten kan worden, wordt beïnvloed. Voor het onder vrij verval spuien van het Veerse Meer naar de Oosterschelde zal er een knikpunt zijn waarop het ebvenster te kort is om voldoende water af te kunnen voeren, waardoor de waterstand van het Veerse Meer boven de maximale peilgrens uitstijgt. Als het ebdebiet afneemt, kan bij vloed ook minder ingelaten worden om het peil niet te laten oplopen. Het verversingsdebiet neemt af, met mogelijke gevolgen voor de waterkwaliteit.

Veranderende neerslagpatronen hebben een effect op de hoeveelheid polderwater die via de gemalen op het Veerse Meer geloosd wordt.

Temperatuurstijging door klimaatverandering heeft relatief beperkt invloed op het waterbeheer door verandering in verdamping en mogelijk door effect op waterkwaliteit en voor temperatuur gevoelige soorten.

Andere effecten van klimaatverandering zoals verzuring worden in dit onderzoek niet meegenomen. Veranderingen van windstatistiek zoals windsnelheid en windrichting kunnen bijvoorbeeld van belang zijn voor waterbeheer via opwaaiing en voor waterveiligheid via golfbelasting.

2.2 Beheer- en gebruiksfuncties Veerse Meer

2.2.1 Inventarisatie van beheer- en gebruiksfuncties

In het Nationaal Waterplan 2016-2021 (Rijksoverheid, 2015) en het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren (Rijkswaterstaat, 2015) zijn beheer- en gebruiksfuncties benoemd. De beheerfuncties zijn de beheertaken waarvoor Rijkswaterstaat verantwoordelijk is: waterveiligheid, waterbeheer, waterkwaliteit en natuur. Gebruiksfuncties omvatten het menselijk gebruik van het Veerse Meer in brede zin. Beheerfuncties en gebruiksfuncties zijn niet strikt te scheiden, omdat beheerfuncties tot doel hebben om gebruiksfuncties mogelijk te maken. Waterbeheer regelt bijvoorbeeld het waterpeil voor scheepvaart. Voor de aanpak van het onderzoek (zie §1.3) is overlap niet erg. Via de indicatoren en drempelwaarden worden ze bij elkaar gebracht.

Als eerste stap worden beheer- en gebruiksfuncties gefilterd door twee vragen te beantwoorden:

1. Komt de beheer- of gebruiksfunctie voor in het Veerse Meer?
2. Wordt de beheer- of gebruiksfunctie beïnvloed (direct of indirect) door klimaatverandering, dat wil zeggen door zeespiegelstijging, temperatuurstijging of veranderende neerslagpatronen?

Als beide vragen met ja worden beantwoord, wordt de beheer- of gebruiksfunctie meegenomen in de beoordeling van de klimaatrobuustheid. Als een van beide vragen met nee wordt beantwoord, is de beheer- of gebruiksfunctie niet relevant voor de klimaatrobuustheid van het Veerse Meer. In deze filering wordt een eventueel gevolg van handelingsperspectieven op de beheer- of gebruiksfunctie nog niet meegenomen. De ervaring leert dat hier meestal geen ander filterresultaat uit voortkomt, omdat beheer- en gebruiksfuncties nauw aan elkaar gelieerd zijn via het waterbeheer.

Tabel 2.1 beantwoordt de twee vragen en geeft per functie een korte toelichting. Op basis van deze filtering blijkt dat de functies Drinkwater, Archeologie/gebouwd erfgoed/historisch landschap, Bouwgrondstoffen, Energieproductie, Kabels en leidingen, en tenslotte Koel- en proceswater niet aanwezig zijn op het Veerse Meer. Twaalf beheer- en gebruiksfuncties van het Veerse Meer kunnen wel door klimaatverandering beïnvloed worden.

Tabel 2.1 Toetsing beheerfuncties (B) en gebruiksfuncties (G) op voorkomen in het Veerse Meer en beïnvloeding door klimaatverandering

Beheerfunctie / Gebruiksfunctie	Komt voor in Veerse Meer?	Beïnvloed door klimaatverandering?	Toelichting
Waterveiligheid (B)	Ja	Ja, maar niet meegenomen	Waterveiligheid speelt een rol in het Veerse Meer. De primaire keringen (Veersegatdam en Zandkreekdam inclusief kunstwerken) worden beheerd door Rijkswaterstaat en de regionale keringen door Waterschap Scheldestromen. Bij handhaving van het huidige peilbeheer zal de belasting op de regionale keringen niet significant veranderen. Bij eventuele peilverhoging op het Veerse Meer kan belasting op de regionale keringen veranderen. De primaire keringen zullen onder invloed staan van zeespiegelstijging. De toetsing van waterveiligheid heeft een eigen traject en methodiek (BOI) en is daarom niet in deze knikpuntenanalyse meegenomen.
Waterbeheer/ Peilbeheer (B)	Ja	Ja	Het waterpeil wordt beheerd door aan- en afvoer via de Katse Heule. Door zeespiegelstijging wordt het vrij verval kleiner en duurt korter, waardoor mogelijk de capaciteit beperkend wordt. Het peil is daarnaast relevant voor de afvoer van de poldergemalen. Bij een stijgend Veerse Meer peil kan de afvoercapaciteit onvoldoende worden.
Waterkwaliteit (B)	Ja	Ja	Als door zeespiegelstijging de uitwisseling door de Katse Heule afneemt en door veranderde neerslagpatronen in de winter meer en in de zomer minder polderwater wordt geloosd, heeft dat invloed op het zoutgehalte en de nutriëntenconcentraties.
Natuurbeheer (B) (G)	Ja	Ja	Het Veerse Meer is aangewezen als Natura2000 gebied (vogelrichtlijn). Verandering van waterpeil en waterkwaliteit kunnen van invloed zijn op vogelsoorten als broed- of rustplaatsen overstroomd en/of als het voedselaanbod wordt beïnvloed. De natuurwaarden op de eilanden kunnen beïnvloed worden als het peil niet gehandhaafd kan blijven, bijvoorbeeld door overspoeling of door vernatting en/of verzilting van het grondwater.
Scheepvaart (beroeps) (G)	Ja	Ja, maar niet meegenomen	Het Veerse Meer is onderdeel van een scheepvaartroute voor beroepsvaart met toegang via de schutsluizen bij Veere en in de Zandkreekdam. Voor de benodigde diepgang van schepen wordt geen effect van zeespiegelstijging verwacht (minimum peil wordt niet lager). Een effect op de functionele levensduur van de schutsluizen is in deze knikpuntenanalyse niet meegenomen.
Drinkwater (G)	Nee	-	Er wordt geen drinkwater gewonnen uit het zoute Veerse Meer
Zwemwater (G)	Ja	Nee	In het Veerse Meer zijn meerdere locaties aangemerkt als zwemlocaties in het kader van de Europese zwemwaterrichtlijn. De locaties moeten voldoen aan een goede waterkwaliteit uitgedrukt in concentratie van Intestinale enterokokken en Escherichia coli bacteriën. De beoordeling is over het algemeen uitstekend. Aangezien er geen directe of indirecte riool- of afvalwaterlozingen op het Veerse Meer zijn, is geen effect in het kader van de zwemwaterrichtlijn te verwachten door klimaatverandering. Wel is er de laatste jaren extra aandacht voor kruiskwallenpopulaties. Hierdoor worden steeds meer negatieve zwemadviezen gegeven door de Provincie Zeeland. De oorzaak voor de toename is niet bekend. De beoordeling in relatie tot kruiskwallen wordt meegenomen bij de functie Natuurbeheer.

Schelpdierwater Visserij (aquacultuur) (G)	Nee	-	Er worden geen schelpdieren gekweekt.
Beroepsvisserij (open water) (G)	Ja	Ja	Aalvisserij. Onder invloed van voedselbeschikbaarheid voor aal en mogelijkheden voor intrek.
Sportvisserij (G)	Ja	Ja	Via de uitwisseling van water wordt de connectiviteit beïnvloed en via nutriënten en primaire productie het voedselaanbod voor vissen. Verminderde uitwisseling en temperatuurstijging kunnen leiden tot meer stratificatie met als gevolg zuurstofloosheid en daardoor vissterfte.
Archeologie, gebouwd erfgoed en historisch landschap (G)	Nee	-	
Bouwgrondstoffen (G)	Nee	-	Er worden geen grondstoffen gewonnen.
Energieproductie (G)	Nee	-	Er wordt geen energie gewonnen.
Kabels en leidingen (G)	Ja	Nee	Er is een tracé van Kamperland naar Veere. Van een nieuw kabeltracé van IJmuiden-Borssele wordt voorzien dat het onder het Veerse Meer door komt te liggen. Deze functie staat niet onder invloed van klimaatverandering omdat deze in de bodem van het Veerse Meer liggen.
Koel- en proceswater (G)	Nee	-	Er wordt geen koel- of proceswater gebruikt uit het Veerse Meer.
Landbouw (G)	Ja	Ja	Voor grondwaterpeilbeheer in <u>binnendijkse</u> landbouwpercelen moet Waterschap Scheldestromen voldoende water kunnen afvoeren in geval van een neerslagoverschot. Door veranderende neerslagpatronen kan dat veranderen. De afvoercapaciteit van de gemalen is afhankelijk van het peil op het Veerse Meer. Bij een hoger peil kan de afvoercapaciteit onvoldoende worden. Er zijn ook enkele <u>buitendijkse</u> landbouwgebieden die direct door het waterpeil op het Veerse Meer beïnvloed worden.
Recreatievaart (G)	Ja	Ja	Er vindt recreatievaart plaats en er is een aantal havens. Klimaatverandering kan hier invloed op uitoefenen door verandering van waterpeil, waterkwaliteit en inzetbaarheid van schutsluizen.
Overige waterrecreatie (G)	Ja	Ja	Er is divers water-gerelateerde recreatie op en langs het Veerse Meer. Klimaatverandering kan hier invloed op uitoefenen door verandering van waterpeil (waardoor strandjes en campings kunnen vernatten) en waterkwaliteit (en gerelateerde stankoverlast).
Woonomgeving (G)	Ja	Ja	Er is buitendijkse bebouwing. Bij extreme weersomstandigheden is de laaggelegen woonlocatie de Schotsman het meest gevoelig voor wateroverlast door hoge waterstanden op het Veerse meer (MER peilbesluit 2007). Alle peilverhogingen vergroten de kans op wateroverlast voor deze woonlocatie.

2.2.2 Inventarisatie knikpunten voor relevante beheer- en gebruiksfuncties

Voor de in de vorige paragraaf geïdentificeerde functies dienen knikpunten in de vorm van indicatoren en drempelwaarden geformuleerd te worden. Hiervoor zijn de hieronder weergegeven documenten doorgenomen. Aanvullend zijn indicatoren naar voren gekomen uit werksessies met Rijkswaterstaat.

- Peilbesluit Veerse Meer (2007)
- Kaderrichtlijn Water (KRW): Sterk veranderende watertypen (Rijkswaterstaat, 2015)
- Natura-2000 beheerplan 2016-2022
- MER Peilbesluit Veerse Meer
- Bekkenrapportage (Deltares, 2015)

Voor de functies in Tabel 2.1 waarvan is vastgesteld dat ze relevant zijn voor deze studie, is op basis van literatuur, expertoordeel en in samenspraak met Rijkswaterstaat een inventarisatie van indicatoren en drempelwaarde(s) uitgevoerd. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden tussen drempelwaarden die binnen de grenzen van het huidige peilbeheer overschreden kunnen worden (bijvoorbeeld voor waterkwaliteit) en drempelwaarden die overschreden kunnen worden als het huidige peilbeheer wordt losgelaten (bijvoorbeeld de hoogte van de aanlegsteigers in een haven in relatie tot een hoger peil).

Peilbeheer

Voor de functie peilbeheer zijn de drempelwaarden vastgesteld op de peilgrenzen zoals deze in het peilbesluit zijn vastgelegd. RWS hanteert in het kader van prestatie management een toegestane overschrijding van deze peilgrenzen in 2% van de tijd. Dat betekent dat het peil in 98% van de tijd binnen de peilgrenzen moet blijven.

Waterkwaliteit

Voor waterkwaliteit zijn de indicatoren gebaseerd op de KRW doelstelling voor ecologische toestand en voor chemische toestand. De ecologische toestand is opgebouwd uit maatlatten voor Fytoplankton, Macrofauna, Overige waterflora en Vis en daaronder algemene fysische chemie en specifieke verontreinigende stoffen. De chemische toestand is opgebouwd uit Ubiquitaire stoffen³ en Niet-Ubiquitaire stoffen. Het overzicht van indicatoren en drempelwaarden is opgenomen in het Stroomgebiedbeheerplan Schelde 2016-2021 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2015). Ten behoeve van de knikpuntenanalyse worden hier alleen de KRW-normen voor winterconcentratie DIN (opgelost anorganisch stikstof) en zoutgehalte beschreven, omdat deze KRW-normen met het waterbalansmodel kwantitatief getoetst kunnen worden (Hoofdstuk 3). De overige KRW-normen worden in algemene termen en kwalitatief getoetst (Hoofdstuk 4).

De nutriëntenbelasting vanuit de polderlozingen en de wateruitwisseling met de Oosterschelde staan onder invloed van klimaatverandering. Wat betreft nutriënten is er voor de winterconcentratie DIN een KRW-norm gebaseerd op MWTL-meetpunt Soelekerkepolder. Voor een 'goede toestand' moet deze onder de 0,74 mg/l liggen in de winterperiode. Op dit moment zit de concentratie boven deze norm en de maatlat is daarom in 2015 als 'matig' beoordeeld. De grenswaarde voor matig is 1,3 mg/l.

Naast DIN is er ook een norm voor het zoutgehalte, voor een goede toestand moet deze boven de 10.000 mg/l Cl liggen.

Natuurbeheer

Het Veerse Meer is aangewezen als Natura 2000-gebied (vogelrichtlijn), omdat het een belangrijk broedgebied voor kustbroedvogels en moerasbroedvogels is. Ook is het een onmisbare schakel in het trekvogelnetwerk. De instandhoudingsdoelstellingen voor het Veerse Meer zijn opgenomen in

³ Stoffen die niet meer geloosd worden, maar die door nalevering uit bijvoorbeeld het sediment nog lange tijd in het water kunnen worden aangetroffen.

het aanwijzingsbesluit Natura 2000-gebied Veerse Meer (EL&I 2010b) en hebben betrekking op drie broedvogels en twintig niet-broedvogels. De instandhoudingsdoelstellingen⁴ zijn gedefinieerd in termen van respectievelijk aantal broedparen en populatie.

Voor de kwalitatieve beoordeling van een mogelijk effect van klimaatverandering kan worden gekeken naar de voedselbeschikbaarheid (vis-etend, planten-etend of benthos-etend) en naar de beschikbaarheid van voldoende broedgelegenheid, foerageergebied en/of slaap- en rustplaatsen. Hiervoor zijn geen kwantitatieve drempelwaarden beschikbaar. Via de waterkwaliteit kan een beoordeling over voedselbeschikbaarheid worden gegeven en via peilbeheer over de beschikbaarheid van gebieden.

Beroeps- en sportvisserij

De visstand is onder andere afhankelijk van connectiviteit en waterkwaliteit (voedsel, zuurstofconcentratie, zoutgehalte). De connectiviteit wordt beïnvloed als door zeespiegelstijging de uitwisseling met de Oosterschelde afneemt. De waterkwaliteit wordt ook beïnvloed door een lagere uitwisseling met hogere primaire productie (in potentie meer voedsel) maar ook een toenemende kans op zuurstofloosheid. Bij een veel lagere uitwisseling kan het zoutgehalte voor sommige vissoorten te laag worden. Er zijn geen normen specifiek voor beroepsvisserij of sportvisserij. De KRW heeft een maatlat Vis met een toestand "Goed" in 2019.

Landbouw

Voor de gebruiksfunctie landbouw wordt onderscheid gemaakt tussen binnendijks en buitendijks. In de m.e.r.-studie is onderzocht dat extra drainage voor sommige buitendijkse gebieden nodig is bij een verhoogd winterpeil. Daaruit kan afgeleid worden dat het winterpeil als drempelwaarde gezien kan worden, waarbij een overschrijding leidt tot aanvullende maatregelen om de gebruiksfunctie op hetzelfde niveau te handhaven.

Voor binnendijkse landbouw voert het waterschap Scheldestromen het peilbeheer uit. Er moet voldoende water afgevoerd kunnen worden om wateroverlast te voorkomen. De afvoer via gemalen is afhankelijk van het waterpeil in het Veerse Meer. Tijdens de m.e.r. bleek dat uitbreiding van de gemaalcapaciteit nodig is als het winterpeil verder verhoogd wordt. De gebruiksfunctie landbouw kan derhalve als indicatie aan het gemiddeld waterpeil van het Veerse Meer gekoppeld worden.

Recreatievaart

Verreweg de meeste jachthavens hebben vaste steigers tussen 60-100 cm boven het huidige winterpeil. Minstens 2 jachthavens hebben enkele drijvende steigers (Wolphaartsdijk en Kortgene). Bij peilverhoging wordt vooral het instappen in een groot jacht/kruiser lastiger. Datzelfde geldt natuurlijk ook voor vrije afmeervoorzieningen rondom de eilanden en oevers

Overige waterrecreatie

Verschillende buitendijkse en binnendijkse terreinen zijn gevoelig voor vernatting als het veel regent. Dit leidt tot drassige gebieden wat voor overlast zorgt onder recreanten en met name voor bijvoorbeeld campings en laaggelegen ligweides bij o.a. Veere, surfhotel en het scoutingcentrum. Hoge grondwaterstanden zijn de oorzaak van deze vernatting. Een hoger waterpeil op het Veerse Meer leidt ook tot hogere grondwaterstanden in de omgeving. In de m.e.r. is geconstateerd dat elke peilverhoging leidt tot benodigde investeringen in drainage. Daarom is de drempelwaarde vastgesteld op het huidige gemiddelde peil. Elke verhoging van het gemiddelde peil van NAP - 0,30 m in de winter en NAP -0,05 in de zomer zal tot noodzakelijke investeringen leiden.

⁴ <https://www.natura2000.nl/index.php/gebieden/zeeland/veerse-meer/veerse-meer-doelstelling>

De huidige oeververdediging is gedimensioneerd op een maximaal peil van NAP 0 m. Bij een hogere waterstand kan er oevererosie op gaan treden. Dit kan effect hebben op de recreatievoorzieningen en op voor vogels relevante broed-, rust- of foerageerarealen.

Woonomgeving (buitendijks)

De meest gevoelige buitendijkse bebouwing is de woonlocatie De Schotsman , waar wateroverlast kan ontstaan bij een waterstand boven de NAP +0,35 m (MER Peilbesluit 2017).

3 Klimaatrobustheid peilbeheer en waterkwaliteit

3.1 Selectie van beheer- en gebruiksfuncties voor kwantitatieve analyse

Ten behoeve van stap 2 van het klimaatrobustheidsonderzoek (§1.3) is een selectie gemaakt van functies dan wel indicatoren waarvoor een kwantitatieve onderbouwing prioriteit heeft en waarvoor kwantificering mogelijk is, dat wil zeggen dat voldoende kennis en een modelaanpak beschikbaar zijn. In overleg met Rijkswaterstaat is gekozen voor kwantitatieve analyse van de functies Peilbeheer en Waterkwaliteit (KRW). Voor de overige functies treedt er binnen de huidige grenzen van het peilbeheer geen knikpunt op gerelateerd aan het waterpeil. Omdat het peilbeheer feitelijk zo wordt uitgevoerd dat de functies Natuur, Landbouw, Recreatievaart, Overige waterrecreatie en Woonomgeving mogelijk zijn, worden deze functies met het toetsen van peilbeheer op zijn minst ten dele meegenomen.

De indicatoren waarop kwantitatief getoetst wordt zijn waterpeil en waterkwaliteit (Tabel 3.1). Uit de tabel blijkt dat dezelfde indicator en drempelwaarde voor meerdere functies gelijk is. De meest voorkomende indicator is maximale waterstand (2% overschrijding).

Tabel 3.1 Overzicht van geïnventariseerde indicatoren en drempelwaarden voor beheer- en gebruiksfuncties Veerse Meer

Beheer- of gebruiksfunctie	Effect	Indicator	Drempelwaarde zomer	Drempelwaarde winter
Peilbeheer	-	Maximale waterstand (2% overschrijding)	NAP 0,00 m	NAP -0,20 m
	-	Minimale waterstand (2% onderschrijding)	NAP -0,10 m	NAP -0,40 m
Waterkwaliteit (KRW)	-	KRW DIN 'goed'	-	<0,74 mg/l
	-	KRW DIN 'matig'	-	<1,3 mg/l
	-	KRW DIN 'ontoereikend'	-	<1,6 mg/l
	-	KRW Chloride 'goed'	-	>10.000 mg/l
Natuur	Oevererosie	Maximale waterstand (2% overschrijding)	NAP 0,00 m	NAP 0,00 m
Landbouw	Buitendijks – Vernatting	Gemiddelde waterstand	NAP -0,05 m	NAP -0,30 m
	Binnendijks – Afvoer gemalen	Gemiddelde waterstand	NAP -0,05 m	NAP -0,30 m
Recreatievaart	Afmeer-voorzieningen	Maximale waterstand (2% overschrijding)	NAP 0,00 m	NAP 0,00 m
Overige recreatie	Vernatten of overspoelen buitendijkse recreatieterreinen	Maximale waterstand (2% overschrijding)	NAP 0,00 m	NAP 0,00 m
Buitendijkse Woonomgeving	Overspoeling buitendijkse bebouwing	Maximale waterstand	NAP +0,35 m	NAP +0,35 m
	Vernatting	Maximale waterstand (2% overschrijding)	NAP 0,00 m	NAP 0,00 m

Afleiding van de mengverhouding als proxy voor de kwantitatieve toetswaarde voor waterkwaliteit

Voor de wateruitwisseling zijn in het huidige beheer geen kwantitatieve doelen vastgelegd, anders dan een zo groot mogelijke uitwisseling. Daarom zijn op basis van de KRW doelen drempelwaarden voor de mengverhouding (Polderlozingen + Kanaal door Walcheren) : Totaal watervolume afgeleid, als proxy voor de DIN concentratie en het zoutgehalte. Deze mengverhouding staat het percentage geloosd zoet of licht brak water op het Veerse Meer.

Op basis van meetgegevens van de stikstofconcentratie in de Oosterschelde en in de polderlozingen is een mengverhouding afgeleid die dient als drempelwaarde voor de KRW doelen voor opgelost anorganisch stikstof (DIN, winter) en het zoutgehalte.

De DIN concentratie in het Veerse Meer in de winter wordt berekend door 1) de DIN concentratie in de Oosterschelde, 2) de DIN concentratie in de polderlozingen en Kanaal door Walcheren en 3) de berekende mengverhouding voor elke simulatie. De winterconcentratie DIN in de Oosterschelde is op basis van meetgegevens bepaald op de waarde van 0,5 mg/l afgeleid (Figuur 3.2). Voor de DIN concentratie van polderlozingen is afgeleid dat deze tussen de 4 en 5 mg/l ligt (Figuur 3.3, Deltares 2015a, 2015b). Aangenomen is dat het merendeel van het totaal-stikstof in polderlozingen uit DIN bestaat. Tevens is aangenomen dat de concentratie ook van toepassing is voor het Kanaal door Walcheren.

De afgeleide range voor de mengverhouding is 5-7% voor de drempelwaarde voor een goede beoordeling, 18-23% voor de drempelwaarde voor de beoordeling 'matig', en 25-32% voor een beoordeling 'ontoereikend' (Tabel 3.2).

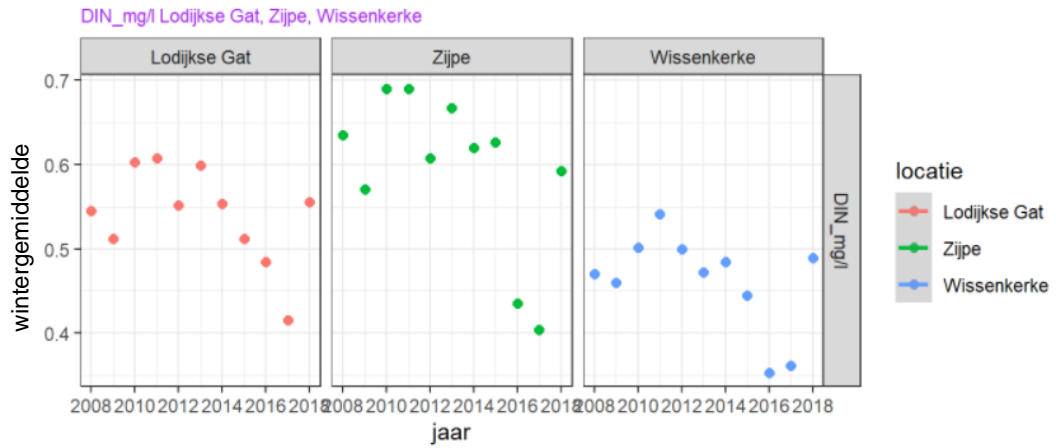
Als snelle validatie of deze aanpak voor mengverhouding geldig is, is voor een jaar (2012) nagerekend. Uitgaande 4 mg/l polderlozingen en Kanaal door Walcheren en 0,5 mg/l en een met het waterbalansmodel (Hoofdstuk 3) berekende mengverhouding van 22% komt de berekende DIN concentratie op 1,27 mg/l. Dit is goed overeenkomend met de metingen voor dit jaar (~1,2 mg/l). Dit geeft voldoende vertrouwen in de toepasbaarheid van de mengverhouding als indirecte indicator voor de functie Waterkwaliteit (KRW).

Voor de zoutconcentratie is de KRW norm 10.000 mg/l Cl, gelijk aan een saliniteit van 18 psu⁵. De zoutconcentratie in het Veerse Meer is circa 27 psu in de wintermaanden en de zoutconcentratie Oosterschelde is circa 31 psu. De chlorideconcentratie van de polderlozingen is ongeveer 3000 mg/l Cl. in de winter, ofwel een saliniteit van 5,4 psu. Op basis van deze aannames komt de drempelwaarde voor de mengverhouding op circa 50%.

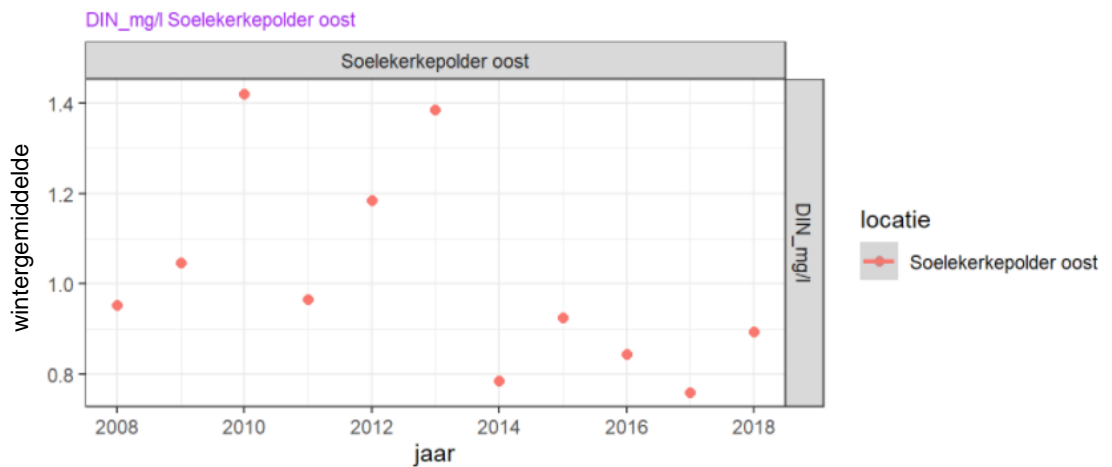
Tabel 3.2 Toegepaste afleiding van de KRW-norm voor winterconcentratie DIN (opgelost anorganisch stikstof) en zoutgehalte naar mengverhouding als maat voor het percentage zoet of licht brak geloosd water uit de polders en het Kanaal door Walcheren.

KRW doel	Grenswaarde	Mengverhouding
KRW DIN goed	<0,74 mg/l	5-7%
KRW DIN matig	<1,3 mg/l	18-23%
KRW DIN ontoereikend	<1,6 mg/l	25-32%
KRW Zoutgehalte (chloride) goed	10.000	circa 50%

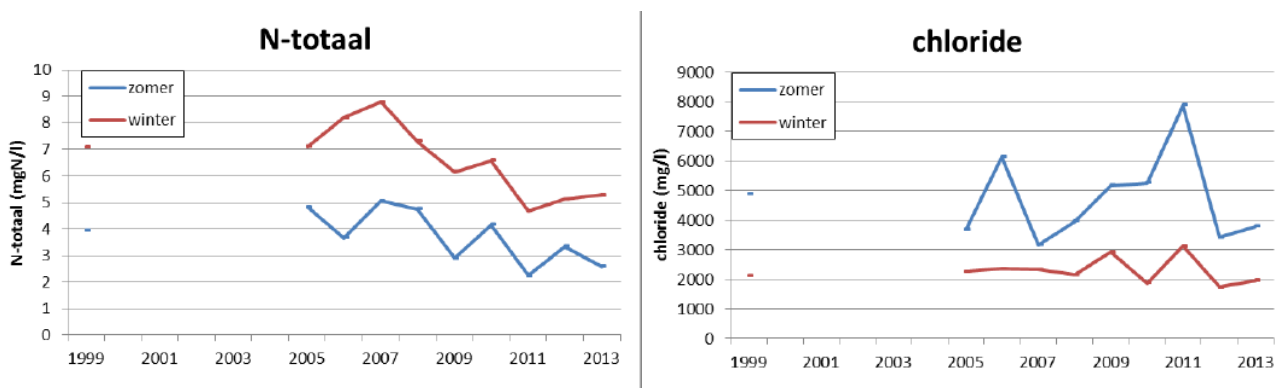
⁵ psu = practical salinity unit – grofweg overeenkomend met gram per liter.



Figuur 3.1: Gemeten wintergemiddelde concentratie opgelost anorganisch stikstof (DIN) in de Oosterschelde in de wintermaanden (november, december, januari, februari) in de jaren 2008 tot 2018, voor drie meetpunten: Lodijkse Gat, Zijpe en Wissenkerke. Bron: systeemrapportage Veerse Meer



Figuur 3.2: Metingen van het opgelost anorganisch stikstof in de wintermaanden bij meetpunt Soelekerkepolder oost in het Veerse Meer (november, december, januari, februari) Bron: MWTL, waterinfo.rws.nl



Figuur 3.3 Zomerhalfjaar- en winterhalfjaar- gemiddelde gegevens van het polderwater dat op het Veerse Meer wordt uitgemalen. De concentraties (N-totaal en chloride) zijn debiet-gewogen gemiddeld over alle gemalen. Bron: Deltares 2015b gebaseerd op data van Scheldestromen)

3.2 Aanpak kwantitatieve analyse

Bij de uiteindelijke keuze van de indicatoren en drempelwaarden is rekening gehouden met de mogelijkheid om deze waarden te kunnen kwantificeren met het in dit project gebruikte bakjesmodel (zie beschrijving van de aanpak in §3.2 en beschrijving van het model in bijlage B).

Om het waterpeil en de mengverhouding te kwantificeren is een waterbalansmodel ingezet dat de waterstand op het Veerse Meer berekent aan de hand van (tijdseries van) alle in- en uitstroomposten van het Veerse Meer. De opgelegde in- en uitgaande debieten bestaan uit de lozingen van de poldergemalen, directe regenval op het meer, verdamping en schut- en lekverlies Kanaal door Walcheren. De eb- en vloeddebieten door het doorlaatmiddel Katse Heule worden berekend aan de hand van opgelegde peilgrenzen waartussen de waterstand mag variëren. In het waterbalans wordt de Katse Heule ingezet om het peil te handhaven, waarbij de Katse Heule sluit op het moment dat de opgelegde minimale of maximale peilgrens wordt bereikt.

Op basis van de verhouding tussen polderwater/Kanaal door Walcheren en Oosterscheldewater wordt daarnaast een mengverhouding berekend als maat voor de waterkwaliteit zoals in de vorige paragraaf beschreven. Een uitgebreide beschrijving van het model is terug te vinden in Bijlage B.

De waterstand en de mengverhouding worden door de volgende factoren beïnvloed. Voor onderstaande termen zijn verschillende varianten aangenomen:

1. Klimaatverandering
 - a. Zeespiegelstijging
 - b. Verandering van neerslagpatronen doorwerkend in polderlozingen en directe neerslag
2. Natuurlijke variatie (van jaar op jaar)
 - a. Waterstand op de Oosterschelde
 - b. Grootte van de polderlozingen
3. Operationeel beheer
 - a. Reguliere peilgrenzen
 - b. Sluiting Katse Heule bij peil Oosterschelde lager dan NAP -2 m of hoger dan NAP +2 m
 - c. Doorwerking sluitregime Oosterscheldekering
4. Onzekerheden
 - a. Afvoercoëfficiënt Katse Heule

Zeespiegelstijging (klimaatverandering)

Om het effect van zeespiegelstijging na te bootsen wordt de waterstand op de Oosterschelde (gemeten tijdreeks Stavenisse) verhoogd tot 1 meter zeespiegelstijging in stappen van 10 cm. De grens van 1 meter zeespiegelstijging komt ongeveer overeen met het hoogste klimaatscenario in 2085.

❖ 0	❖ 40	❖ 80
❖ 10	❖ 50	❖ 90
❖ 20	❖ 60	❖ 100
❖ 30	❖ 70	

Veranderende neerslagpatronen (klimaatverandering)

Om het effect van veranderende neerslagpatronen bij klimaatverandering mee te nemen zijn de KNMI klimaatscenario's doorvertaald naar de polderlozingen. Hierbij wordt uitgegaan van de getallen voor toe- en afname van de gemiddelde neerslag in winter en zomer voor het meest

extreme scenario (Wh) in 2050 en 2085. Zie <http://www.klimaatscenario's.nl/kerncijfers/> voor een (leesbaar) overzicht van alle scenario's.

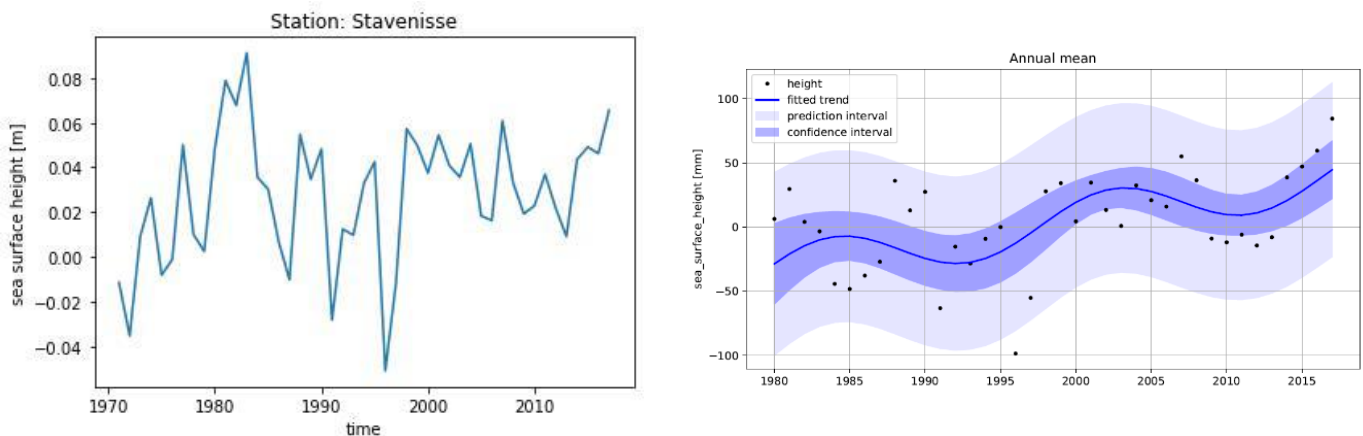
- ❖ Geen klimaatverandering (werkelijke tijdreeks)
- ❖ Voor 2050 zomerperiode -13% en winterperiode +17%
- ❖ Voor 2085 zomerperiode -23% en winterperiode +30%

Waterstand Oosterschelde (natuurlijke variatie)

De waterstand op de Oosterschelde is beschikbaar als een gemeten tijdserie voor verschillende jaren. Als basisjaar is om een praktische reden 2012 gekozen, omdat hiervoor een volledige waterbalans voor het in ontwikkeling zijnde 3D model beschikbaar was. De gemiddelde waterstand op de Oosterschelde wordt niet alleen door zeespiegelstijging beïnvloed maar ook door de reguliere 18,6 jaarlijkse cyclus en door stormen. In de tijdreeks van 1985 (ingebruikname Oosterscheldekering) tot 2017 blijkt 2012 een gemiddeld jaar (Figuur 3.4).

Voor de analyse zijn ook de jaren 2017 en 1996 gebruikt voor de jaar-tot-jaar variatie. Deze jaren hebben een respectievelijk hoge en lage jaargemiddelde waterstand. Deze jaren zijn gekozen op basis van de opgetreden waterstanden in de jaren 1985 tot 2018 (na de ingebruikname van de Oosterscheldekering in 1985), zie Figuur 3.4, waarbij 1996 de laagste gemiddelde waterstand laat zien en 2017 de hoogste. 2012 is het basisjaar, voor dit jaar zijn alle gegevens bekend en gebruikt voor validatie van de modelresultaten (vergelijking waterstand). Ook uitgesplitst naar de seizoenen is de volgorde vergelijkbaar van 1996 als relatief laag, 2012 als relatief gemiddeld naar 2017 als relatief hoog (Tabel 3.3).

- ❖ 1996 (relatief laag)
- ❖ 2012 (relatief gemiddeld)
- ❖ 2017 (relatief hoog)



Figuur 3.4 Jaargemiddelde waterstand bij meetstation Stavenisse (links) en jaarlijks gemiddelde waterstand voor Brouwershavensegat (Voordelta) ter referentie (data: waterinfo.rws.nl)

Tabel 3.3 *Seizoensgemiddelde waterstand Oosterschelde. De waterstanden zijn voor de zomer berekend over de periode van 2 april tot 22 oktober (voor alle jaren) en voor de winter voor 29 oktober tot en met 26 maart. In de ontbrekende perioden wordt het winterpeil of zomerpeil op het Veerse Meer ingesteld.*

Gemiddelde waterstand Oosterschelde – station Katse Heule Buiten (m NAP)			
	1996	2012	2017
Zomer	0.016	0.030	0.059
Winter	-0.170	0.007	0.154
Jaar	-0.064	0.017	0.102

Polderlozingen (natuurlijke variatie)

Om de jaar-op-jaar variatie in regenval mee te nemen wordt er gerekend met verschillende jaartijdseries van polderlozingen. De keuze werd hierbij gelimiteerd door de beschikbare jaren (2008-2013 en 2019). Gekozen is voor 2012 als relatief nat jaar in deze serie, 2011 als relatief droog jaar en 2013 als gemiddeld jaar, kijkend naar het jaargemiddelde. Tijdens de analyse van de modelresultaten is gebleken dat er verdere uitsplitsing van polderlozingen noodzakelijk was om de resultaten te kunnen verklaren. Er is hiervoor nog extra gekeken naar het seizoensgemiddelde (zomer/winter) en naar het voorkomen van piekperiodes, uitgedrukt in maximum cumulatief debiet gedurende een periode van 7 dagen. Het piekdebiet is van belang omdat deze de maximale waterstand bepaalt in combinatie met beperkte spuicapaciteit door de Katse Heule bij hoge waterstand op de Oosterschelde.

- ❖ 2011
- ❖ 2012
- ❖ 2013

Tabel 3.4 geeft een overzicht van de polderlozingen in de verschillende seizoenen. Hieruit blijkt dat 2012 over het gehele jaar genomen inderdaad relatief nat was, zowel in de winter als in de zomer. 2011 had een relatief droge zomer, maar wijkt in de winter niet veel af van 2013. Als echter naar de piekperiode wordt gekeken, blijkt dat verreweg de grootste debieten in de zomer (over 7 dagen) in 2013 zijn voorgekomen, wat duidt op een periode met veel regenval. En in de winter zijn hoge debieten juist waargenomen in 2011.

Tabel 3.4: *overzicht van de debieten in de zomer en winter voor de verschillende rekenjaren van de polderlozingen. De debieten zijn voor de zomer berekend over de periode van 2 april tot 22 oktober (voor alle jaren) en voor de winter voor 29 oktober tot en met 26 maart*

Totale debieten poldergemalen en Kanaal door Walcheren (m³/s)			
	2011	2012	2013
Zomer	1.92	2.83	2.41
Winter	3.76	4.02	3.24
Jaar	2.65	3.29	2.74
Max. debiet (7d) zomer	3.6	7.1	11.1
Max. debiet (7d) winter	16.0	12.6	9.6

Peilgrenzen (operationeel beheer)

Uit de modelvalidatie en uit communicatie met Rijkswaterstaat blijkt dat operationeel gestuurd wordt op peilgrenzen die afwijken van de toegestane maximale en minimale waterstand (Figuur 2.2) om de gewenste gemiddelde waterstand te realiseren. Voor het regulier peilbeheer wordt de Katse Heule gesloten volgens de volgende peilgrenzen zoals deze in 2012 zijn toegepast (zie ook bijlage B.1.4). De operationele peilgrenzen variëren enigszins van jaar tot jaar (pers. comm. A. Nefs, Rijkswaterstaat Zee en Delta), maar dat is in de berekeningen niet meegenomen.

- ❖ Peilgrenzen winter zoals 2012: NAP -0.38 m tot -0.28 m (van 29 oktober - 27 maart)
- ❖ Peilgrenzen zomer zoals 2012: NAP -0.09 m tot -0.02 m (van 3 april - 23 oktober)

Sluiting Katse Heule (operationeel beheer)

Het doorlaatmiddel Katse Heule opent onder het huidige beheer alleen bij een waterstand op de Oosterschelde tussen NAP -2,00 m en NAP +2,00 m. Bij een te hoge of te lage waterstand gaan de schuiven dicht omdat dit tot te hoge stroomsnelheden kan leiden en de bodembescherming daarop niet gedimensioneerd is. Deze bediening is opgenomen in het script.

Om na te bootsen wat het effect is als de bodembescherming zou worden aangepast als maatregel, is er ook een variant zonder beperking van deze maximale en minimale waterstand op de Oosterschelde opgenomen. De Katse Heule blijft dan dus ook bij waterstanden hoger dan NAP +2,00 m en lager dan NAP -2,00 m op de Oosterschelde open (totdat de peilgrenzen op het Veerse Meer zijn bereikt).

- ❖ Huidig beheer
- ❖ Oprekken huidige strategie

Doorwerking sluitregime Oosterscheldekering (operationeel beheer)

De Oosterscheldekering sluit bij een verwachte buitenwaterstand van NAP +3 m. De waterstand in de Oosterschelde (referentielocatie Stavenisse) wordt daardoor tussen circa NAP +1 en +2 m gehouden. In het model wordt aangenomen dat de waterstand in de Oosterschelde meestijgt met de zeespiegel door de zeespiegelstijging op te tellen bij een gemeten tijdserie op station Katse Heule buiten. Het steeds vaker sluiten van de Oosterscheldekering bij stijgende zeespiegel (en gelijk blijvend sluitregime) is dan niet in de opgetelde tijdreeks opgenomen. Om toch iets te kunnen zeggen over het effect van sluiting van de Oosterscheldekering is een variant opgenomen waarin de waterstand bij Katse Heule niet hoger mag komen dan NAP +3 m. Hogere waterstanden worden teruggezet naar NAP +3 m. Deze aanname representeert niet het daadwerkelijke sluitregime, want dan zou de waterstand tot NAP +1/+2 beperkt blijven.

De precieze relatie tussen sluiting van de Oosterscheldekering bij zeespiegelstijging en waterstand op Katse Heule buiten en de doorwerking op het Veerse Meer is niet meegenomen in deze studie. Zandvoort *et al.* (2019) geven aan dat "bij het huidige sluitcriterium van NAP +3 meter de kering naar verwachting bij 1 meter zeespiegelstijging gemiddeld 85 keer per jaar zal sluiten en 6% van de tijd gesloten zal zijn". Bij 0,5 meter zeespiegelstijging is het aantal sluitingen gemiddeld 4,5 keer per jaar. Geconcludeerd kan worden dat tussen 0,5 en 1 meter zeespiegelstijging het sluitregime naar verwachting begint significant door te werken op het Veerse Meer. Echter, Zandvoort *et al.* (2019) beschrijven ook alternatieven voor het sluitregime, waarbij zelfs bij 1 meter zeespiegelstijging het aantal sluitingen beperkt blijft tot 3 tot 10 keer per jaar. In dat geval zal de doorwerking van het sluitregime Oosterscheldekering beperkt zijn.

Samenvattend, zijn de volgende varianten in relatie tot het sluitregime van de Oosterscheldekering meegenomen in de analyse:

- ❖ Doorwerking niet meegenomen, waterstand Katse Heule buiten stijgt mee met zeespiegel
- ❖ Doorwerking meegenomen door waterstand Katse Heule te beperken tot NAP +3 m

Afvoercoëfficiënt Katse Heule (onzekerheden)

Het maximale debiet door het doorlaatmiddel Katse Heule is afhankelijk van de afvoercoëfficiënt. Er wordt voor de Katse Heule met twee afvoercoëfficiënten gewerkt van 0,5824 en 0,5792 voor respectievelijk vloed (instromend) en eb (uitstromend), zie Bijlage B.1.3 voor definitie. Omdat op dit moment een nader onderzoek loopt naar de afvoercoëfficiënt en daadwerkelijke debieten door het doorlaatmiddel, is besloten een gevoeligheidsanalyse te doen met een afvoercoëfficiënt 10% hoger en 10% lager.

- ❖ 0
- ❖ +10%
- ❖ -10%

Samenvattend overzicht

Figuur 3.5 vat alle factoren en varianten samen. In de modelsimulatie zijn alle factoren en varianten gecombineerd met elkaar resulterend in een totaal van $(3 \times 3 \times 11 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2 =)$ 3564 berekeningen.



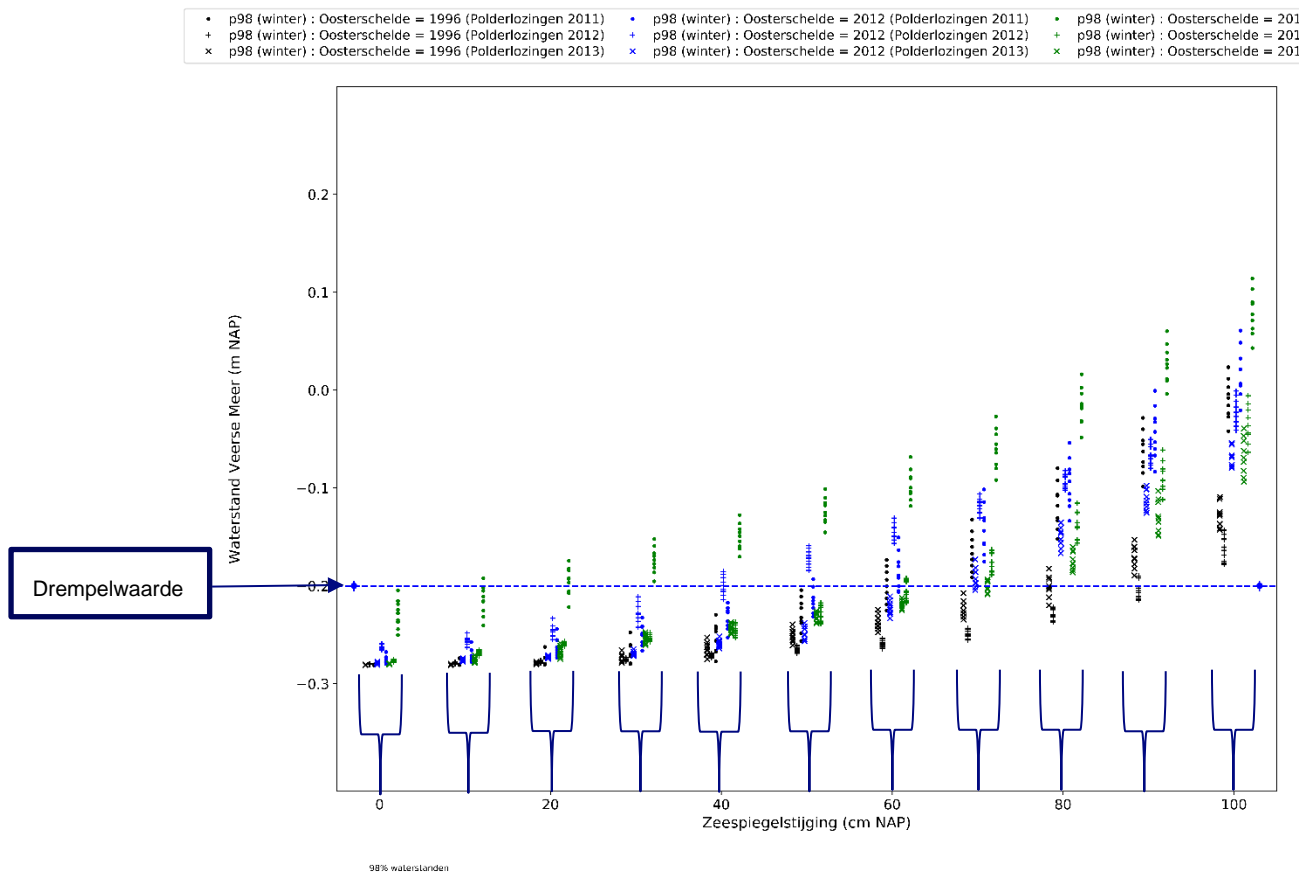
Figuur 3.5 Overzicht van de factoren en varianten die met het waterbalansmodel in alle combinaties zijn doorgerekend.

3.3 Resultaten klimaatrobustheid huidig waterbeheer

3.3.1 Leeswijzer figuren

Alle combinaties van factoren en varianten zoals beschreven in de vorige paragraaf zijn doorgerekend en vervolgens zijn de waardes voor de verschillende indicatoren op de y-as uitgezet tegen zeespiegelstijging op de x-as. In het figuur is vervolgens af te lezen wanneer de waarde over de drempelwaarde gaat. In de figuren zijn met symbolen en kleuren verschillende varianten weergegeven. Voor de leesbaarheid zijn, omdat anders te veel datapunten over elkaar vallen en niet te onderscheiden zijn, sommige datapunten op de horizontale as versprongen. Deze waarden horen echter bij hetzelfde aantal centimeters zeespiegelstijging. In Figuur 3.6 is dit aangegeven met accolades.

In de legenda is aangegeven welke kleur welke variant representeert. Per kleur zijn er nog verschillende symbolen die nog binnen die variant onderscheid kunnen maken welke jaren zijn doorgerekend voor de Oosterschelde waterstanden of debieten van de polderlozingen. De zwarte stippen in onderstaande figuur stellen de maximale waterstand voor, als resultante van het rekenjaar 2017 voor de Waterstand Oosterschelde (natuurlijke variatie) en 2011 voor de Polderlozingen (natuurlijke variatie).



Figuur 3.6: voorbeeld figuur met leeswijzer voor maximale waterstand Veerse Meer (98% onderschrijding)

3.3.2 Overschrijding maximaal waterpeil (NAP -0,20 m) winter

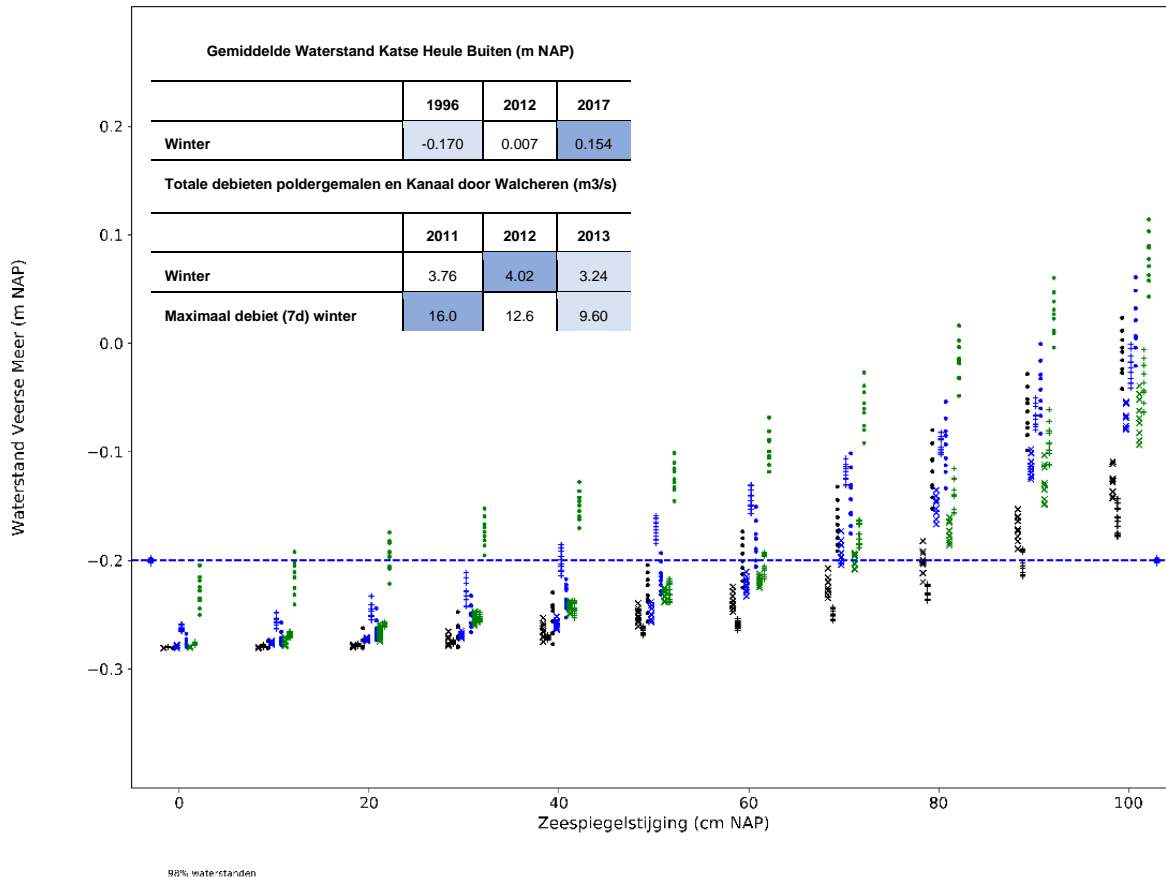
Effect van polderlozingen en waterstand Oosterschelde op de maximale waterstand

In Figuur 3.7 is te zien dat het maximaal waterpeil (98 percentiel, 2% overschrijding) in alle scenario's en varianten toeneemt vanaf 40 centimeter zeespiegelstijging. In sommige varianten is er tot die tijd ruimte in het peilbeheer om te kunnen gaan met de zeespiegelstijging en binnen de huidige grenzen van het peilbeheer te blijven. De spreiding in de resultaten laat echter zien dat het systeem wel gevoelig is voor bepaalde combinaties van omstandigheden. Met name het volume van de polderlozingen en de waterstand op de Oosterschelde bepalen het maximale waterpeil. Hogere waterstanden op de Oosterschelde zorgen ervoor dat er minder goed water kan worden uitgelaten en in combinatie met een groot volume polderlozingen leidt dat ertoe dat in sommige varianten de maximale waterstand wordt overschreden. Dit is af te leiden uit de clusters die ontstaan, bij voorbeeld de combinatie van rekenjaar 2017 van de hoogste waterstand op de Oosterschelde en rekenjaar 2011 voor het grootste debiet polderlozingen. Bij die combinatie is ook zonder zeespiegelstijging (0 cm) het maximale waterpeil afwijkend hoger dan in alle andere combinaties. Bij 40 cm zeespiegelstijging begint ook de maximale waterstand van de laagste varianten te stijgen en gaan de eerste 'gematigde' clusters van varianten over de grens van NAP - 0,20 m (drempelwaarde).

In de praktijk wordt de waterstand omlaag gebracht als er regenval wordt voorspeld (bufferpeil). Hierdoor zal het in de praktijk waarschijnlijk mogelijk zijn ervoor te zorgen dat het maximale waterpeil niet wordt overschreden en kan een grotere zeespiegelstijging opgevangen worden.

Echter wordt wel duidelijk dat naarmate de zeepiegel stijgt dit steeds vaker zal voorkomen en het huidige peilbeheer niet onder alle omstandigheden houdbaar is, zeker als naast zeepiegelstijging ook piekbelastingen vaker voor gaan komen. Er is in deze studie geen kans van voorkomen toegekend aan de verschillende varianten en scenario's.

- p98 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- + p98 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- x p98 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- + p98 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- x p98 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- + p98 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- x p98 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



Figuur 3.7 Maximale waterstand (98 percentiel, 2% overschrijding) in de winterperiode uitgezet tegen zeepiegelstijging. In kleur de varianten voor de waterstand op de Oosterschelde (1996, 2012 en 2017) en in symbolen de varianten voor polderlozingen 2011, 2012 en 2013). De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

Effect van veranderende neerslagpatronen (klimaatverandering)

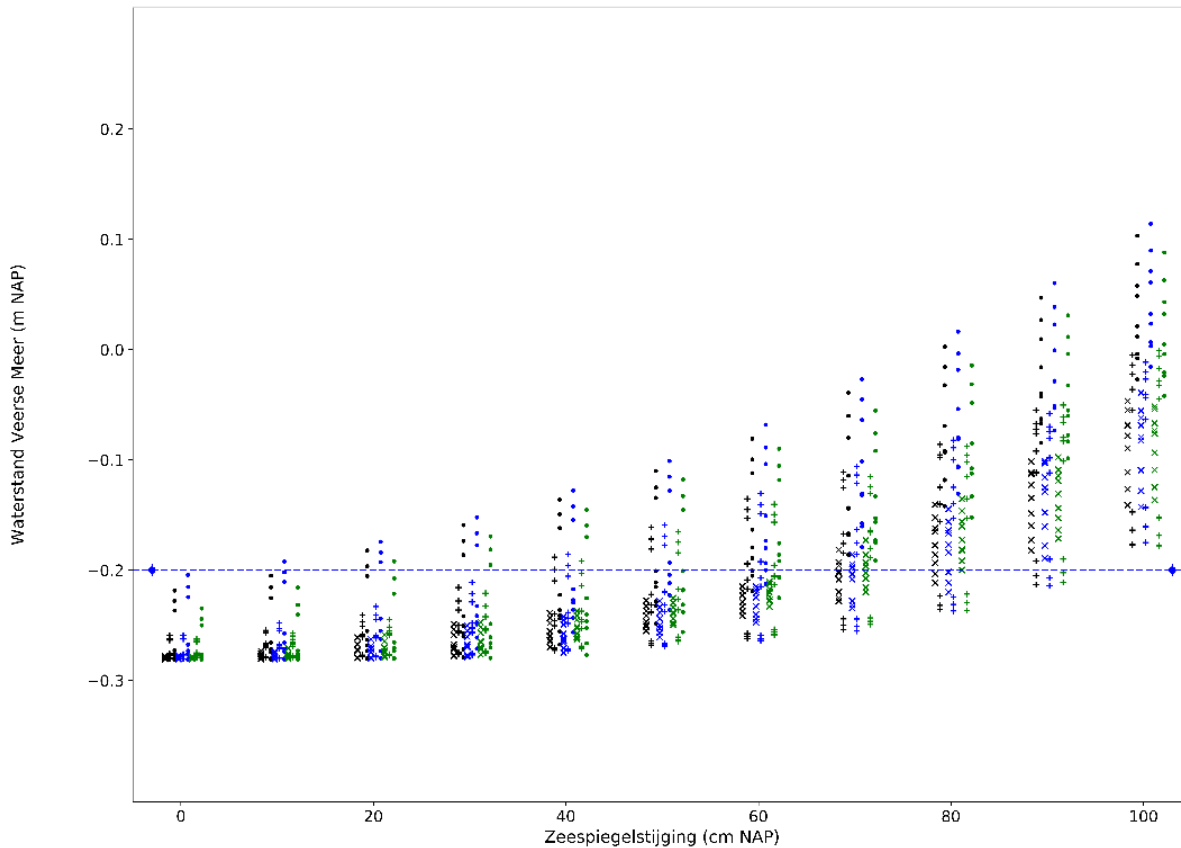
In Figuur 3.8 is te zien dat de KNMI scenario's voor veranderende neerslagpatronen in 2050 en 2085 een spreiding geven in de maximale waterstand van enkele centimeters, maar dat de grote verschillen vooral door de jaar-op-jaar variatie in polderlozingen (natuurlijke variatie) veroorzaakt worden.

Gemiddelde Waterstand Katse Heule Buiten (m NAP)

	1996	2012	2017
Winter	-0.170	0.007	0.154

	2011	2012	2013
Winter	3.76	4.02	3.24
Maximaal debiet (7d) winter	16.0	12.6	9.60

• p98 (winter) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2011)	• p98 (winter) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2011)	• p98 (winter) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2011)
+ p98 (winter) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2012)	+ p98 (winter) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2012)	+ p98 (winter) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2012)
x p98 (winter) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2013)	x p98 (winter) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2013)	x p98 (winter) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2013)



98% waterstanden

Figuur 3.8 Maximale waterstand (98 percentiel, 2% overschrijding) in de winterperiode uitgezet tegen zeespiegelstijging. In kleur de varianten voor klimaatscenario's veranderende neerslagpatronen en in symbolen de varianten voor polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten voor de polderlozingen relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

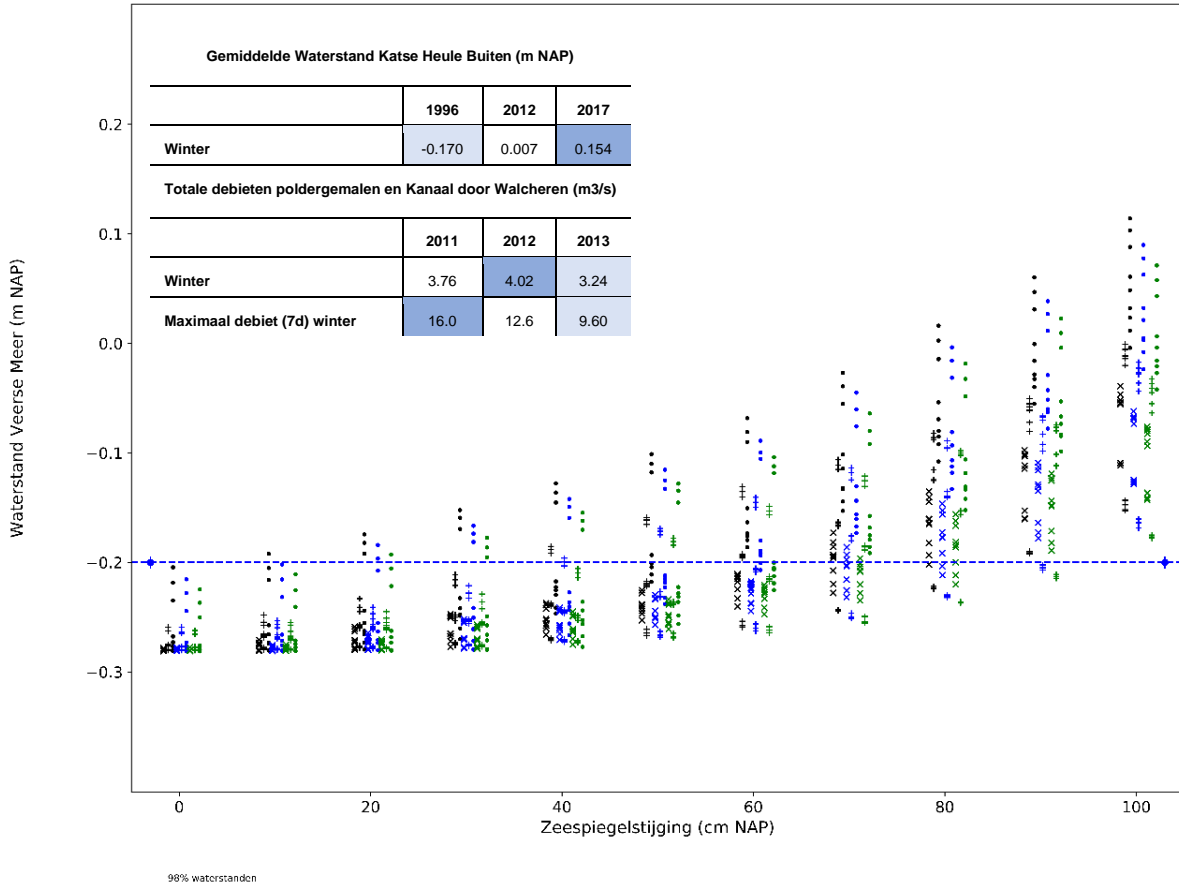
Gevoeligheidsanalyse afvoercoëfficiënt

Figuur 3.9 laat de resultaten zien, uitgesplitst naar de variatie in de afvoercoëfficiënt. Deze figuur laat zien dat deze variatie een spreiding geeft van enkele centimeters in de maximale waterstand en dus maar een zeer beperkt effect heeft.

Overige analyses

In Bijlage C.1 zijn alle resultaten opgenomen. Uit de analyse blijkt dat het variëren in het wel of niet sluiten van de Katse Heule bij NAP -2,00 m en NAP +2,00 m, en de doorwerking van het sluitregime Oosterscheldekering nauwelijks tot geen verschil laat zien voor de maximale waterstand op het Veerse Meer.

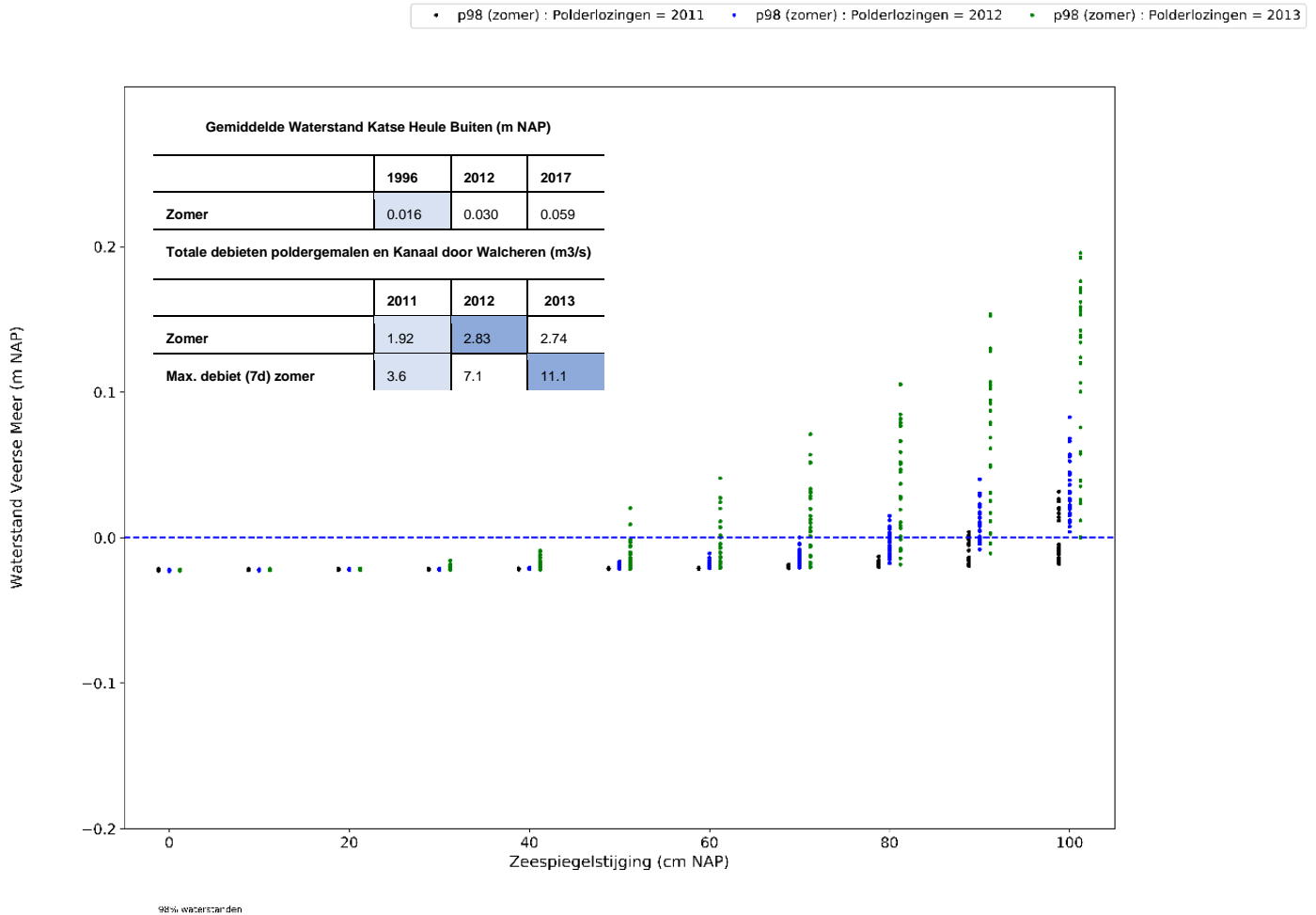
- p98 (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2011)
- + p98 (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2012)
- + p98 (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2012)
- + p98 (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2012)
- x p98 (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2013)
- x p98 (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2013)
- x p98 (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2013)



Figuur 3.9 Maximale waterstand (98 percentiel, 2% overschrijding) in de winterperiode. In kleur de varianten voor waterstand op de Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de afvoercoëfficiënt. De tabel geeft aan welke varianten voor de waterstand Oosterschelde relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

3.3.3 Overschrijding van het maximaal waterpeil in de zomer

Het maximum peil in de zomer is vastgesteld op NAP 0,00 m. Vanaf 50 centimeter zeespiegelstijging gaan de eerste varianten over die grens (Figuur 3.10). Dit geldt met name voor de varianten die rekenen met het hoogste maximale debiet polderlozingen (2013). De maximale waterstand neemt pas bij 80 cm zeespiegelstijging toe voor alle varianten. Uit analyse blijkt dat met name de natuurlijke variatie van de polderlozingen de spreiding veroorzaakt.

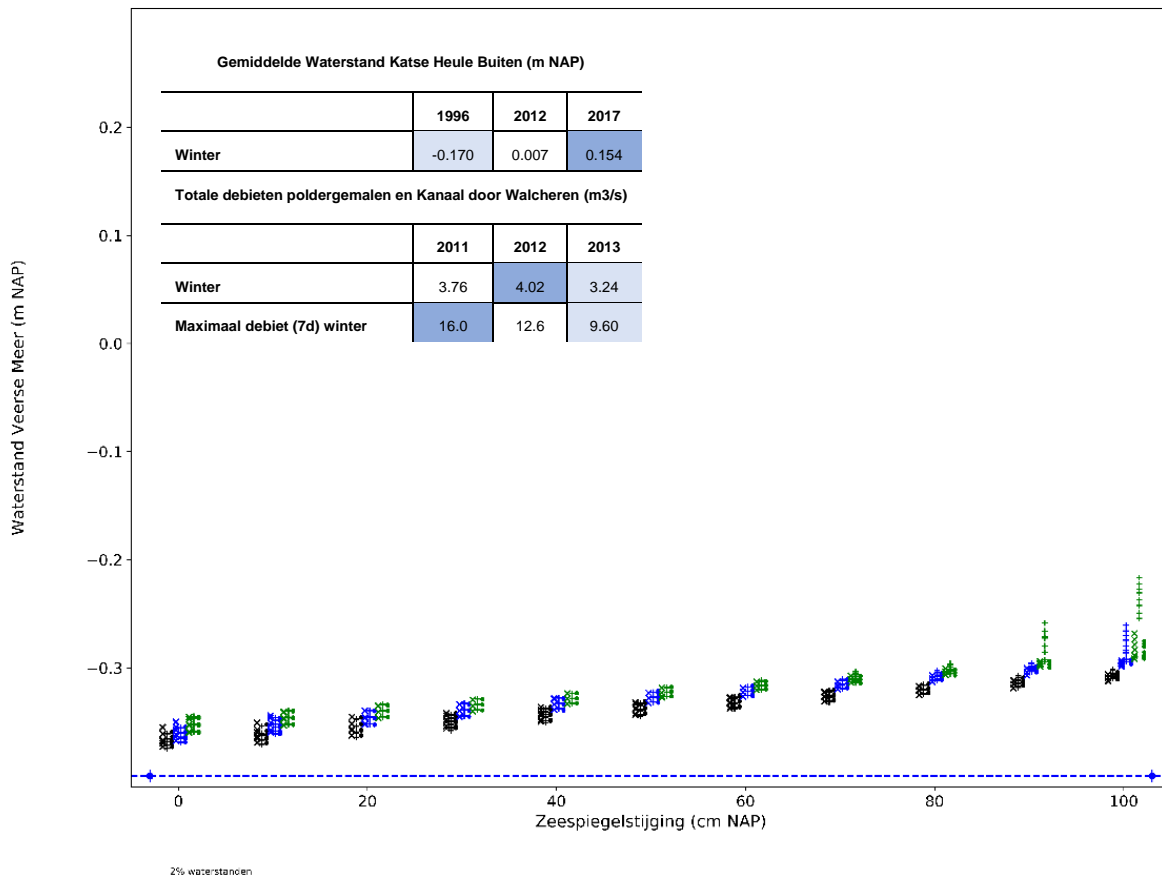


Figuur 3.10 Maximale waterstand (98 percentiel, 2% overschrijding) in de zomer uitgezet tegen zeespiegelstijging. In kleur varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten voor de polderlozingen relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

3.3.4 Onderschrijding van de minimale waterstand in de winter en in de zomer

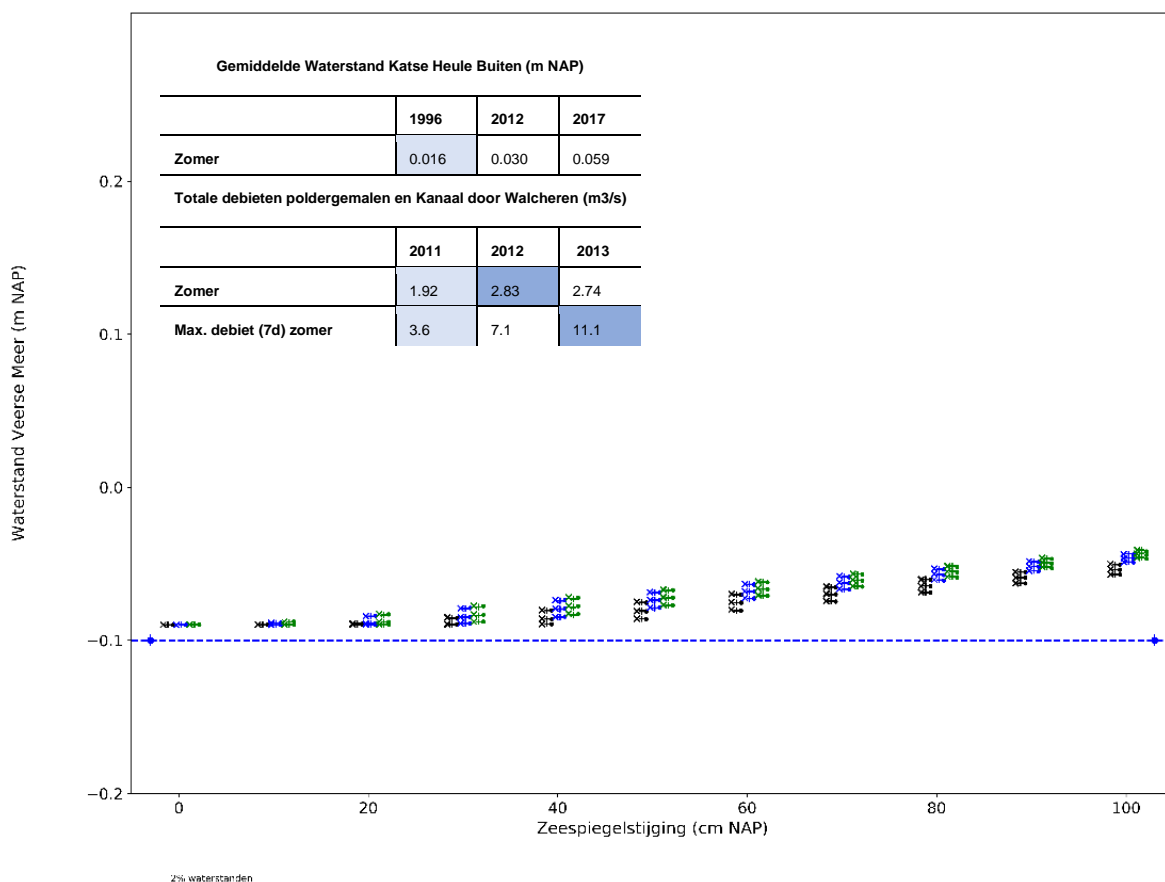
De peilgrens ligt in de winter op NAP -0,40 m en in de zomer op NAP -0,10 m. De minimale waterstand wordt noch in de winter noch in de zomer onderschreden (Figuur 3.11, Figuur 3.12). De minimale waterstand kruipt langzaam omhoog met zeespiegelstijging. In de winter zijn er richting de 100 cm zeespiegelstijging onder sommige omstandigheden uitschieters te zien in de minimale waterstand.

- p2 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- + p2 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- x p2 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- + p2 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- x p2 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- + p2 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- x p2 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



Figuur 3.11 Minimale waterstand (2 percentiel, 2% onderschrijding) in relatie tot zeespiegelstijging in de winter. In kleur de verschillende varianten voor de waterstand Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

- p2 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- + p2 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- + p2 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- + p2 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- x p2 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- x p2 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- x p2 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)

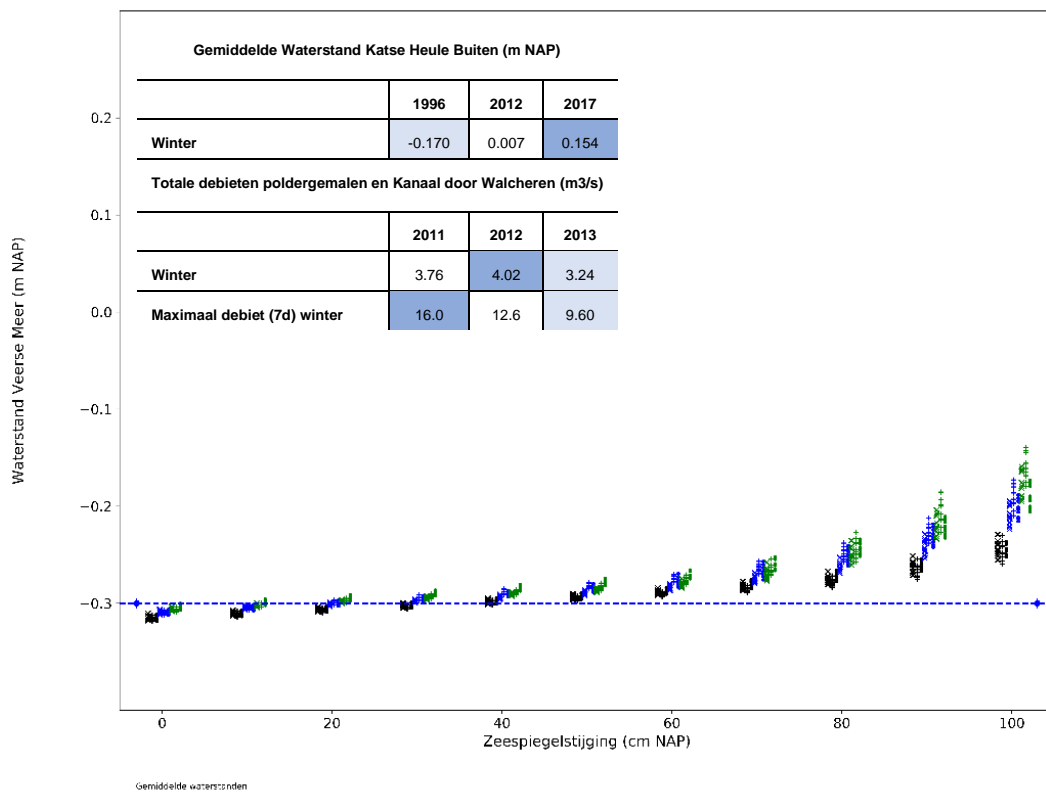


Figuur 3.12 Minimale waterstand (2 percentiel, 2% onderschijding) in relatie tot de zeespiegelstijging in de zomer. In kleur de varianten voor de Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

3.3.5 Gemiddelde waterstand in de winter

De gemiddelde waterstand in de winter loopt met zeespiegelstijging langzaam op (Figuur 3.13). Opvallend is dat de verschillende scenario's minder spreiding geven dan voor het maximale waterpeil. Dit is te verklaren doordat uitschieters in het waterpeil in het gemiddelde uitgevlakt worden. Dit duidt op kortstondige overschrijdingen van het maximum waterpeil. Wel is te zien dat met zeespiegelstijging het gemiddelde waterpeil langzaam maar gestaag toeneemt. De meest bepalende factor voor deze stijging is de waterstand op de Oosterschelde, en daarmee indirect ook zeespiegelstijging. Rond 30 centimeter zeespiegelstijging gaan de eerste varianten over de drempelwaarde van NAP -0,30 m. Vanaf 70 centimeter zeespiegelstijging liggen de meeste varianten boven de drempelwaarde.

- Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- + Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- x Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- + Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- x Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- + Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- x Gemiddeld (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)

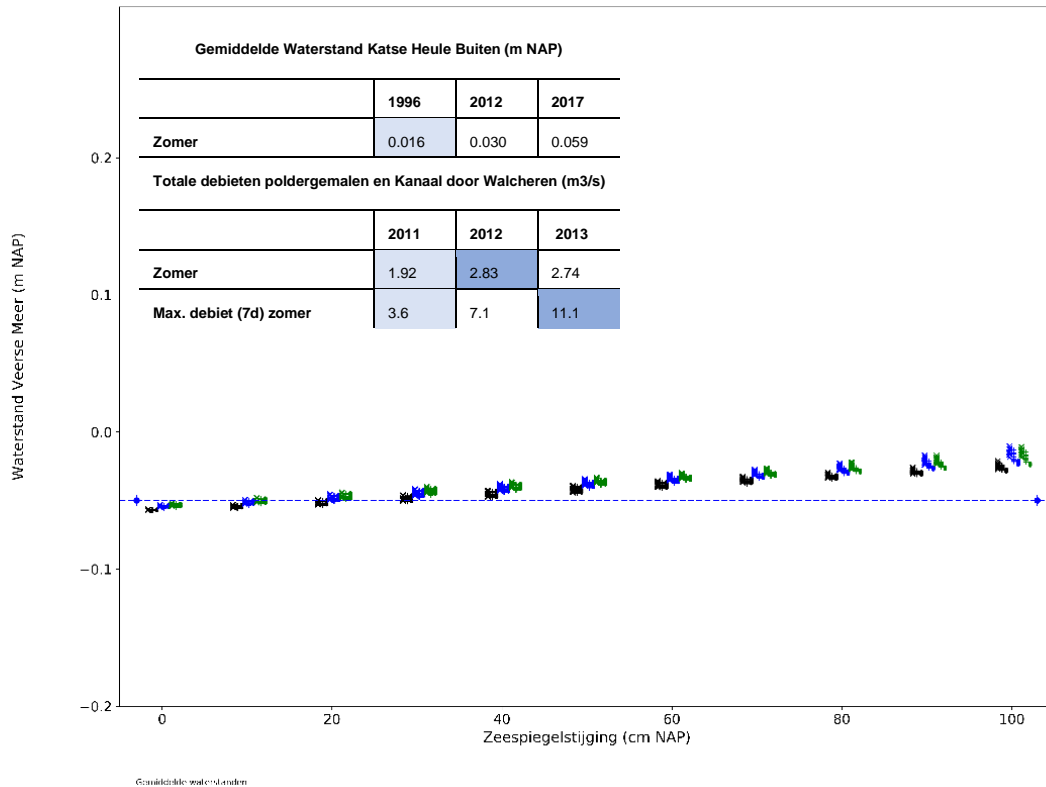


Figuur 3.13 Gemiddelde waterstand in relatie tot de zeespiegelstijging in de winter. In kleur de varianten voor de Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

3.3.6 Gemiddelde waterstand in de zomer

Ook in de zomer neemt de gemiddelde waterstand langzaam maar zeker toe bij zeespiegelstijging (Figuur 3.14). Er is weinig spreiding te zien in de waardes, wat betekent dat de gemiddelde waterstand niet erg gevoelig is voor de verschillende variaties. De meeste spreiding wordt veroorzaakt door de waterstanden op de Oosterschelde. Vanaf ongeveer 20 centimeter zeespiegelstijging gaan de meeste varianten over de drempelwaarde van NAP -0,05 m.

- Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- + Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- x Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- + Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- x Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- + Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- x Gemiddeld (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



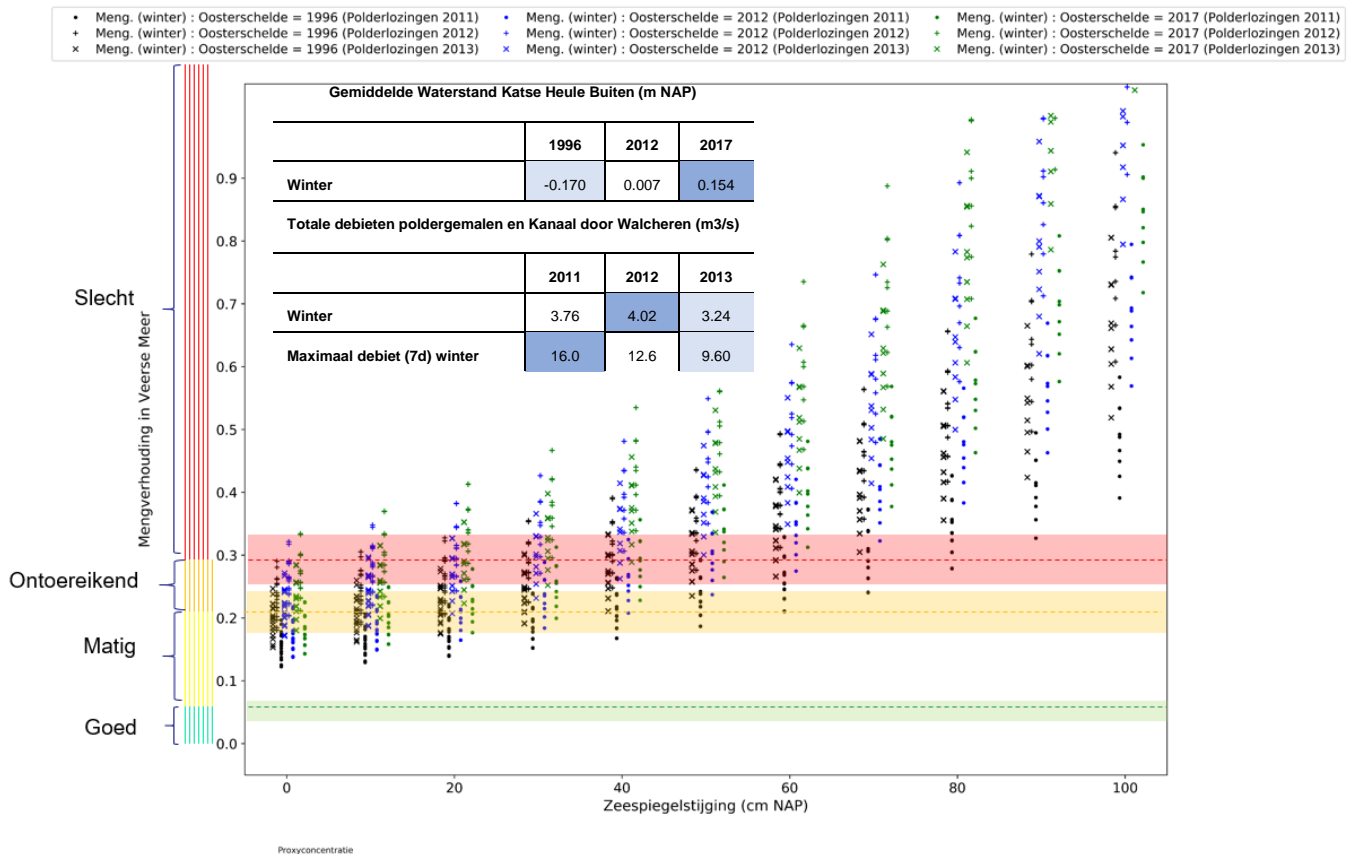
Figuur 3.14 Gemiddelde waterstand uitgezet tegen zeespiegelstijging in de zomer. In kleur de varianten voor de waterstand Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn.

3.3.7 Mengverhouding

Op basis van de stikstofconcentraties in de Oosterschelde en de polderlozingen is een drempelwaarde afgeleid voor het maximale percentage water afkomstig van polderlozingen en het Kanaal door Walcheren, waarbij de stikstofconcentratie boven de norm komt. Deze norm geldt alleen voor de winterperiode.

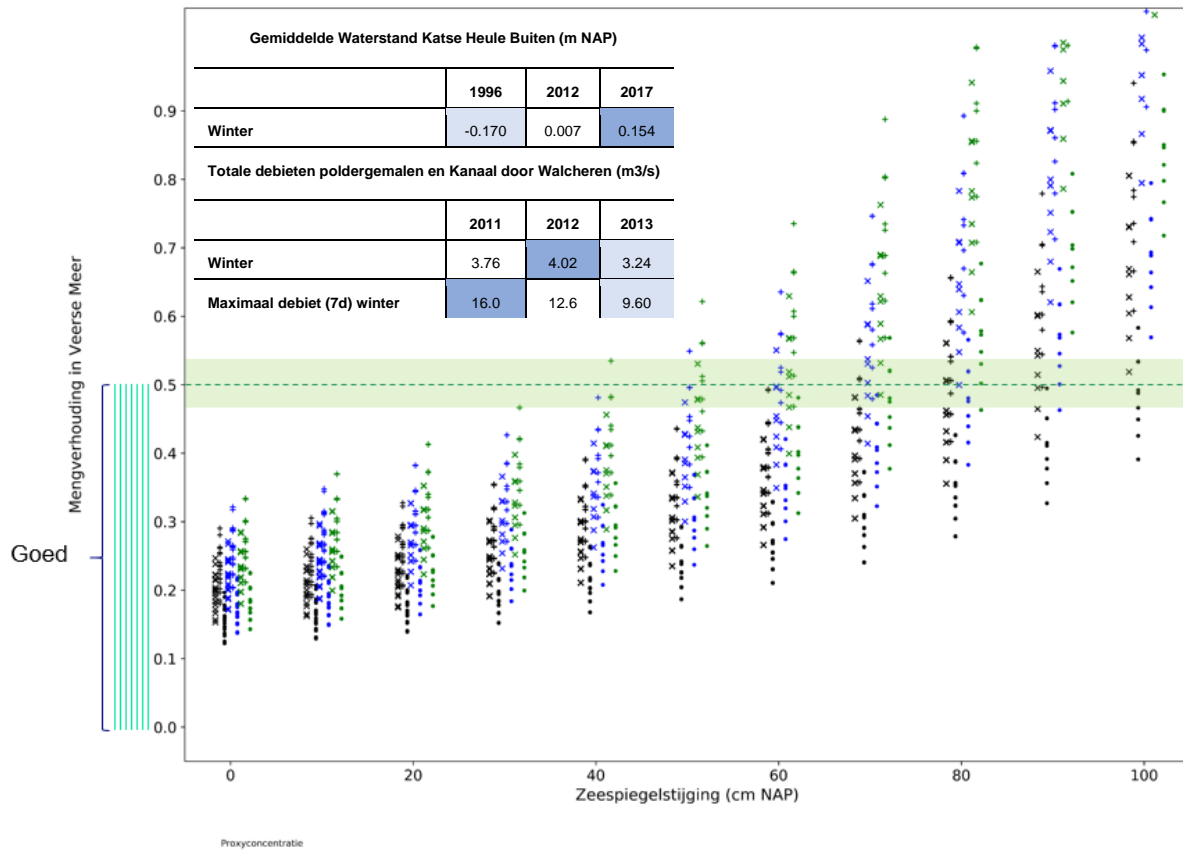
Uit Figuur 3.15 is af te leiden dat ook zonder zeespiegelstijging een deel van de varianten al over de drempelwaarde voor DIN winter gaat: bij een combinatie grootste polderlozingen en hoogste waterstand Oosterschelde.

De drempelwaarde voor het zoutgehalte (50%) wordt in de winter pas vanaf 40 centimeter zeespiegelstijging overschreden voor sommige van de varianten (Figuur 3.16).



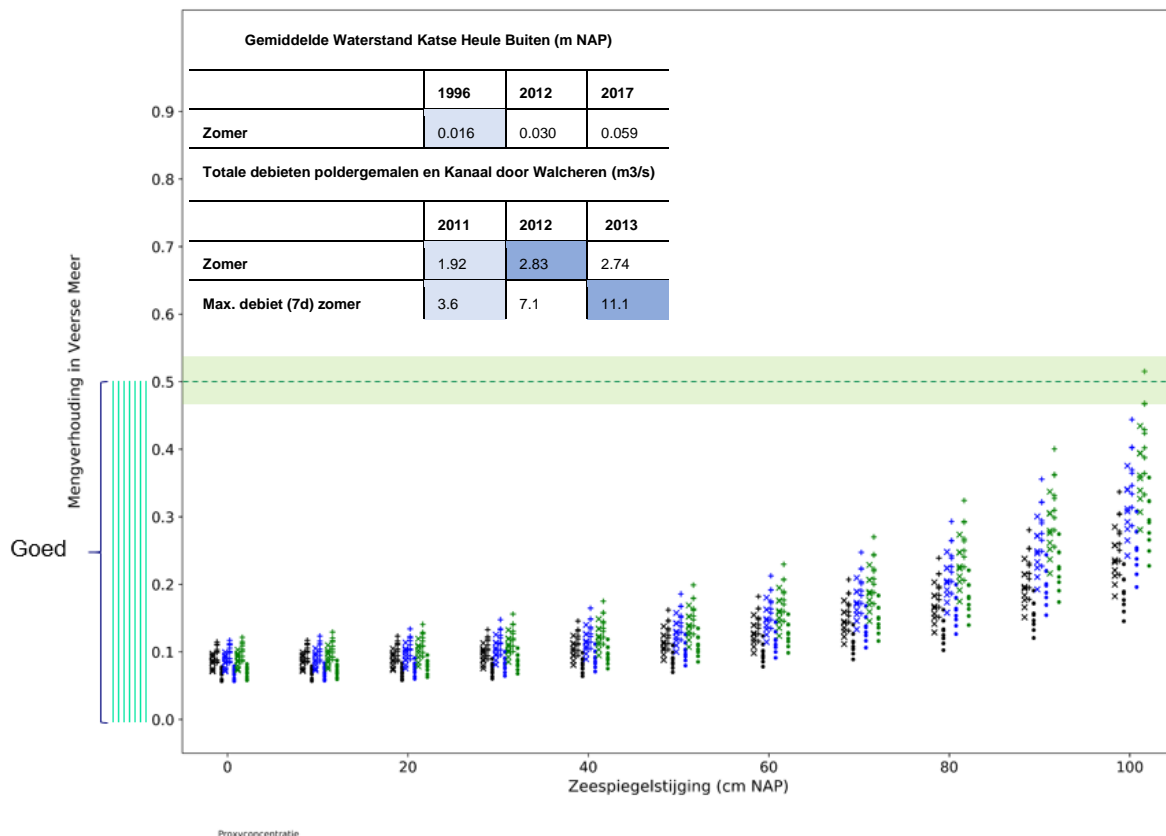
Figuur 3.15: Berekende mengverhouding als maat voor waterkwaliteit (winterconcentratie DIN) uitgezet tegen zeespiegelstijging in de winter. In kleur de varianten voor de waterstand Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn. Ook zijn met de gekleurde balken de drempelwaarden voor de verschillende KRW beoordelingen voor DIN Winter weergegeven inclusief onzekerheidsrange.

• Meng. (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011) • Meng. (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011) • Meng. (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
 + Meng. (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012) • Meng. (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012) • Meng. (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
 x Meng. (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013) x Meng. (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013) x Meng. (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



Figuur 3.16: Berekende mengverhouding als maat voor waterkwaliteit (zoutgehalte) uitgezet tegen zeespiegelstijging in de winter. In kleur de varianten voor de waterstand Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn. Ook is met de gekleurde balken de drempelwaarde voor de KRW beoordeling zoutgehalte weergegeven inclusief onzekerheidsrange.

- Meng. (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- + Meng. (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- x Meng. (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



Figuur 3.17: Berekende mengverhouding als maat voor waterkwaliteit (zoutgehalte) uitgezet tegen zeespiegelstijging in de zomer. In kleur de varianten voor de waterstand Oosterschelde en in symbolen de varianten voor de polderlozingen. De tabel geeft aan welke varianten relatief hoog, gemiddeld en laag zijn. Ook is met de gekleurde balken de drempelwaarde voor de KRW beoordeling zoutgehalte weergegeven inclusief onzekerheidsrange.

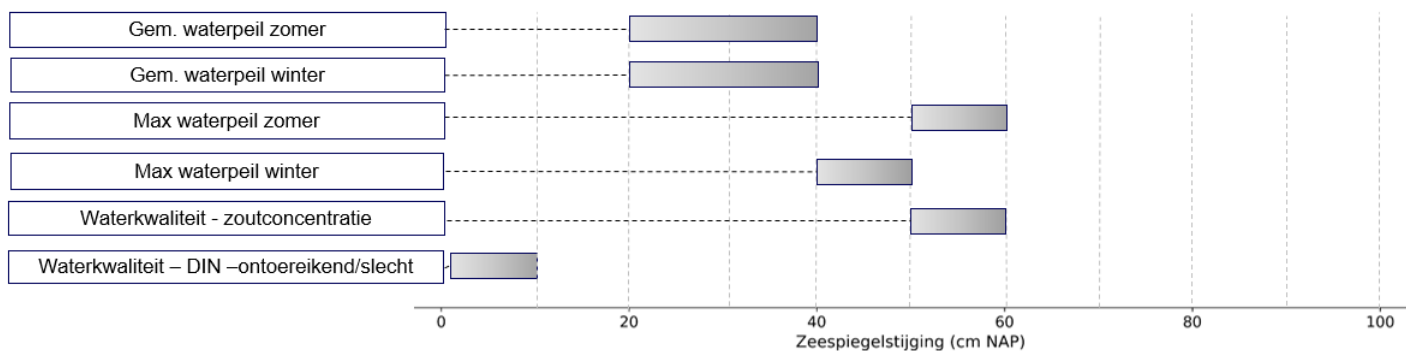
3.3.8 Overzicht knikpunten huidig waterbeheer

Met het waterbalansmodel is het effect van klimaatverandering (zeespiegelstijging en veranderende neerslagpatronen) op de handhaafbaarheid van de peilgrenzen en de waterkwaliteit doorgerekend. Knikpunten zijn uit de figuren in de voorgaande paragrafen afgelezen als 10%-20% van de resultaten de drempelwaarden overschrijdt. Dit wordt onder andere gedaan omdat het waterbalansmodel niet als dermate nauwkeurig beschouwd kan worden, dat een enkele overschrijding al als knikpunt moet worden gezien. Ook zijn slechts de basale kenmerken van het operationeel peilbeheer meegenomen (sturen op maximum en minimum peilgrens) en is meer gedetailleerde sturing zoals tijdelijk 10 cm peilverlaging als opvangbuffer voor piekneerslag niet meegenomen. Voor waterkwaliteit DIN is de drempelwaarde ontoereikend/slecht gebruikt voor het bepalen van het knikpunt, omdat de drempelwaarde goed/matig of matig/ontoereikend nu al in meer dan de helft van de berekende situaties wordt overschreden. Tenslotte moet opgemerkt worden dat met name de relatieve verschuiving van het knikpunt van belang is.

Figuur 3.18 laat zien dat het knikpunt voor waterkwaliteit en in het bijzonder de KRW-norm voor winterconcentratie DIN (opgelost anorganisch stikstof) als eerste bereikt wordt. Dit komt mede doordat de norm in de huidige situatie soms al overschreden wordt. Door minder wateruitwisseling door de Katse Heule neemt de concentratie toe en neemt de (kans op) overschrijding toe.

Bij 20 tot 40 cm zeespiegelstijging stijgt de gemiddelde waterstand zowel in de zomer als in de winter boven de drempelwaarde van respectievelijk NAP -0,05 m en NAP -0,20. De overschrijding betreft in eerste instantie echter slechts een of enkele centimeters. Onbekend is of een kleine overschrijding acceptabel is, waardoor het knikpunt al gauw 20 cm zeespiegelstijging opschuift. Ook met peilbeheer is het gemiddeld peil te controleren en dus wat te verlagen.

Het knikpunt voor maximaal waterpeil wordt in de winterperiode iets eerder bereikt dan in de zomerperiode. Gezien het hogere zomerpeil in het Veerse Meer is dit logisch. Het maximaal waterpeil wordt overschreden bij een combinatie van relatief hoge waterstand op de Oosterschelde en relatief hoge piekafvoer van de polderlozingen. Het tijdelijk verlagen met 10 cm van het peil om de piekafvoer op te vangen is niet in het waterbalansmodel meegenomen. Het is dus mogelijk dat het knikpunt iets op te rekken is.



Figuur 3.18 Overzicht knikpunten voor het huidig waterbeheer voor de functies peilbeheer en waterkwaliteit

3.4 Handelingsperspectieven

3.4.1 Beschouwde handelingsperspectieven

Uit de analyse blijkt dat er steeds minder water uit- en ingelaten kan worden bij een stijgende zeespiegel. Hierdoor wordt als eerste het knikpunt voor de wateruitwisseling (mengverhouding) bereikt en daarna voor het maximum peil in de winter en het gemiddelde peil. Het effect is het grootst voor varianten met daarin veel regenval in een korte periode in combinatie met een relatief hoge waterstand op de Oosterschelde.

Om het knikpunt voor waterkwaliteit en/of voor maximaal waterpeil in de winter op te rekken naar een hogere zeespiegelstijging zijn verschillende handelingsperspectieven denkbaar. In dit rapport worden er vier handelingsperspectieven behandeld:

1. Waterpeil (peilgrenzen) in het Veerse Meer laten meestijgen met zeespiegelstijging
2. Operationele sturing op basis van weersverwachting: peil preventief omlaag brengen
3. Vergroten doorlaatmiddel
4. Verminderen toevoer nutriënten vanuit poldergemalen

Het eerste handelingsperspectief (peilverhoging) is kwantitatief met het model doorgerekend. De andere drie handelingsperspectieven zijn niet kwantitatief doorgerekend en worden hier eerst kort kwalitatief toegelicht.

3.4.2 Kwalitatieve beschouwing drie handelingsperspectieven

Handelingsperspectief 2. Operationeel peilbeheer voor extreme regenval

De overschrijding van de maximale waterstand (2% overschrijding) is waarschijnlijk met operationele sturing in een deel van de situaties te voorkomen. Dat is nu al onderdeel van het operationele beheer. Bij stijgende zeespiegel en afnemende afvoercapaciteit van de Katse Heule zal een preventieve peilverlaging vaker nodig zijn, ofwel bij steeds minder extreme regenvalvoorspelling ingezet moeten worden. Dit operationeel beheer is niet in het model voor dit onderzoek opgenomen, zodat niet gezegd kan worden tot welke mate van zeespiegelstijging deze oplossingsrichting ruimte kan bieden. Omdat de overschrijding van het maximale peil vaak slechts maar enkele dagen is, is het de verwachting dat hiermee het huidige peilbeheer opgerekt kan worden wat betreft de overschrijding van het maximale peil.

Dit handelingsperspectief zal niet de wateruitwisseling verbeteren, die met een stijgende zeespiegel steeds verder afneemt en daardoor al snel een knikpunt voor waterkwaliteit bereikt.

Handelingsperspectief 3. Vergroten doorlaatmiddel

Met een groter doorlaatmiddel neemt de capaciteit voor afvoer naar de Oosterschelde en voor wateruitwisseling met de Oosterschelde toe. Zowel het peilbeheer als de waterkwaliteit zal daardoor langer gehandhaafd kunnen blijven. In dit onderzoek is deze oplossingsrichting niet kwantitatief doorgerekend.

Handelingsperspectief 4. Verminderen toevoer nutriënten

Het knikpunt voor waterkwaliteit is erg gevoelig voor de toevoer van nutriënten in en met het polderwater. Zowel een lagere concentratie (met hetzelfde debiet) als een lager debiet (met dezelfde concentratie) dragen bij aan het verschuiven van het knikpunt naar een grotere zeespiegelstijging. Een lagere concentratie kan bereikt worden door emissies naar het regionale water te verminderen. Een lager debiet kan bereikt worden door polderlozingen af te leiden naar de Westerschelde of de Oosterschelde. In dit onderzoek zijn de mogelijkheden voor deze oplossingsrichting niet onderzocht.

3.4.3 Effect van handelingsperspectief Verhogen van peilgrenzen op mengverhouding en peil

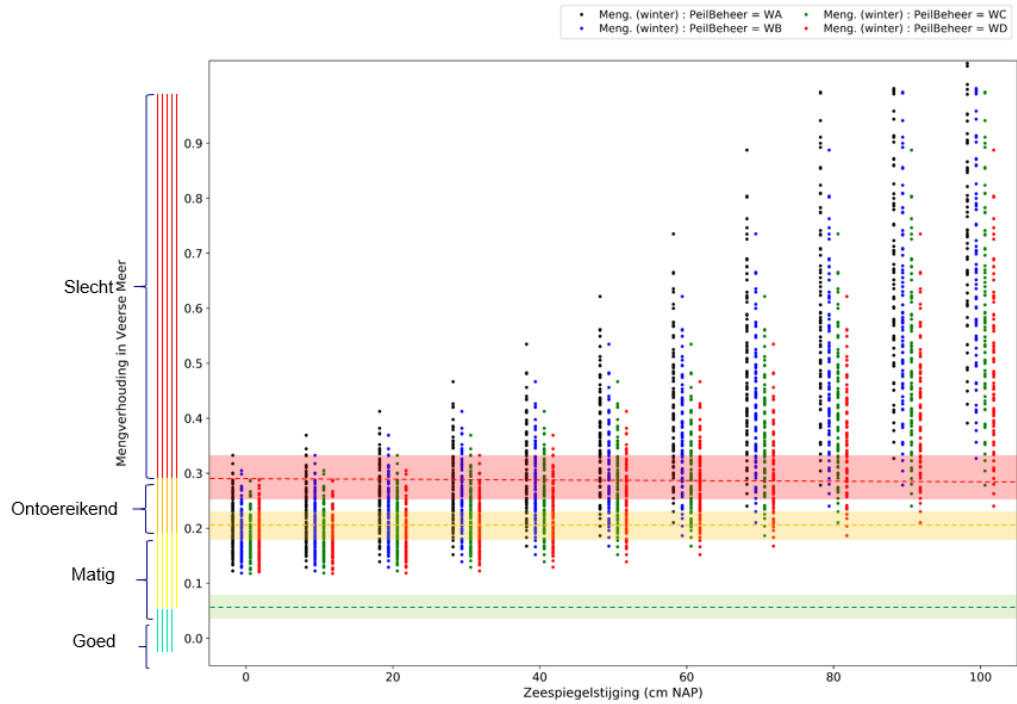
Hogere peilgrenzen in de winter zorgen dat de afvoercapaciteit via de Katse Heule toeneemt: door een hoger peil op het Veerse Meer wordt het spuivenster langer. Ook neemt de wateruitwisseling toe, waardoor nutriënten sneller afgevoerd worden naar de Oosterschelde en de nutriëntconcentratie lager wordt. Hogere peilgrenzen hebben effect op andere functies zoals natuur (overspoeling en vernatting), buitendijkse landbouw en recreatie (vernatting), binnendijkse landbouw (afvoercapaciteit gemalen), zie Tabel 3.1. Voor dit handelingsperspectief wordt ervan uitgegaan dat alle functies meebewegen met verhogen van de peilgrenzen. De impact, kosten en vergunbaarheid van het meebewegen zijn in dit rapport niet onderzocht, maar zullen substantieel zijn.

Om het effect van hogere peilgrenzen op de functies peilbeheer en waterkwaliteit te toetsen is een aantal peilbeheerscenario's doorgerekend met het waterbalansmodel. In de peilbeheerscenario's zijn de peilgrenzen in twee stapjes van 10 cm verhoogd tot aan het huidige zomerpeil. In een derde scenario met nog een keer 10 cm verhoging stijgen ook de peilgrenzen in de zomerperiode mee (Tabel 3.5). Alle andere factoren en varianten zijn gelijk gebleven (zie Figuur 3.5).

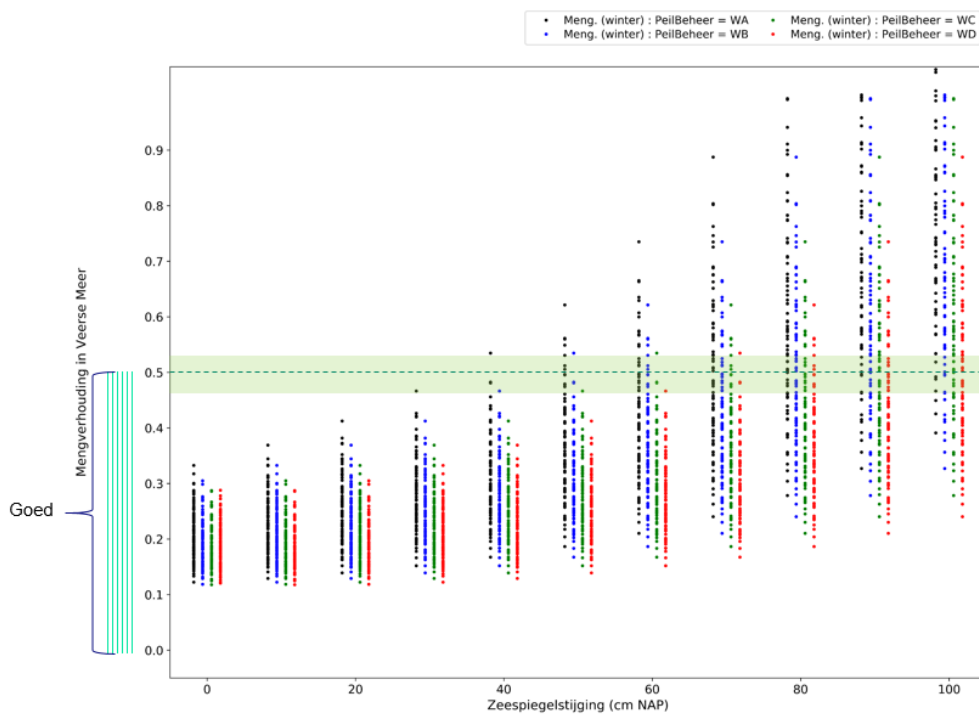
Tabel 3.5: Minimale, gemiddelde en maximale waterpeilen van de verschillende peilbeheerscenario's

Peilbeheerscenario	Minimaal peil winter (NAP m)	Gemiddelde peil winter (NAP m)	Maximaal peil winter (NAP m)	Minimaal peil zomer (NAP m)	Gemiddelde peil zomer (NAP m)	Maximaal peil zomer (NAP m)
A (huidig)	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	-0,05	0,0
B	-0,30	-0,20	-0,10	-0,10	-0,05	0,0
C	-0,20	-0,10	0,0	-0,10	-0,05	,0
D	-0,10	0	0,10	-0,05	0	0,05

Figuur 3.19 laat zien dat hogere peilgrenzen er voor zorgen dat met name de hoge mengverhoudingen (veel polderwater) verlaagd worden. Bij de huidige zeespiegel lijkt het effect met enkele procentpunten op de mengverhouding klein, maar op de bijdrage van polderwater in het Veerse Meer kan dat relatief circa 20% uitmaken. Bij stijgende zeespiegel neemt de grotere mengverhouding ook sterker af. Bijvoorbeeld bij 70 cm zeespiegelstijging neemt de maximale waarde af van bijna 0,9 naar circa 0,5, ofwel bijna een halvering. Echter, ook bij hogere peilgrenzen zijn er situaties waarbij de drempelwaarde overschreden wordt. Het knikpunt voor zeespiegelstijging verschuift naar schatting 20 tot 30 cm bij de hoogste peilgrenzen. Eenzelfde verschuiving is te zien voor KRW zoutgehalte, waar het knikpunt bij grotere zeespiegelstijging optreedt (Figuur 3.20).



Figuur 3.19 Berekende mengverhouding voor vier peilbeheerscenario's als maat voor waterkwaliteit (winterconcentratie DIN) uitgezet tegen zeespiegelstijging in de winter. In kleur de varianten voor de peilbeheerscenario's. De gekleurde balken geven de drempelwaarden aan voor de verschillende KRW beoordelingen voor DIN Winter inclusief onzekerheidsrange.

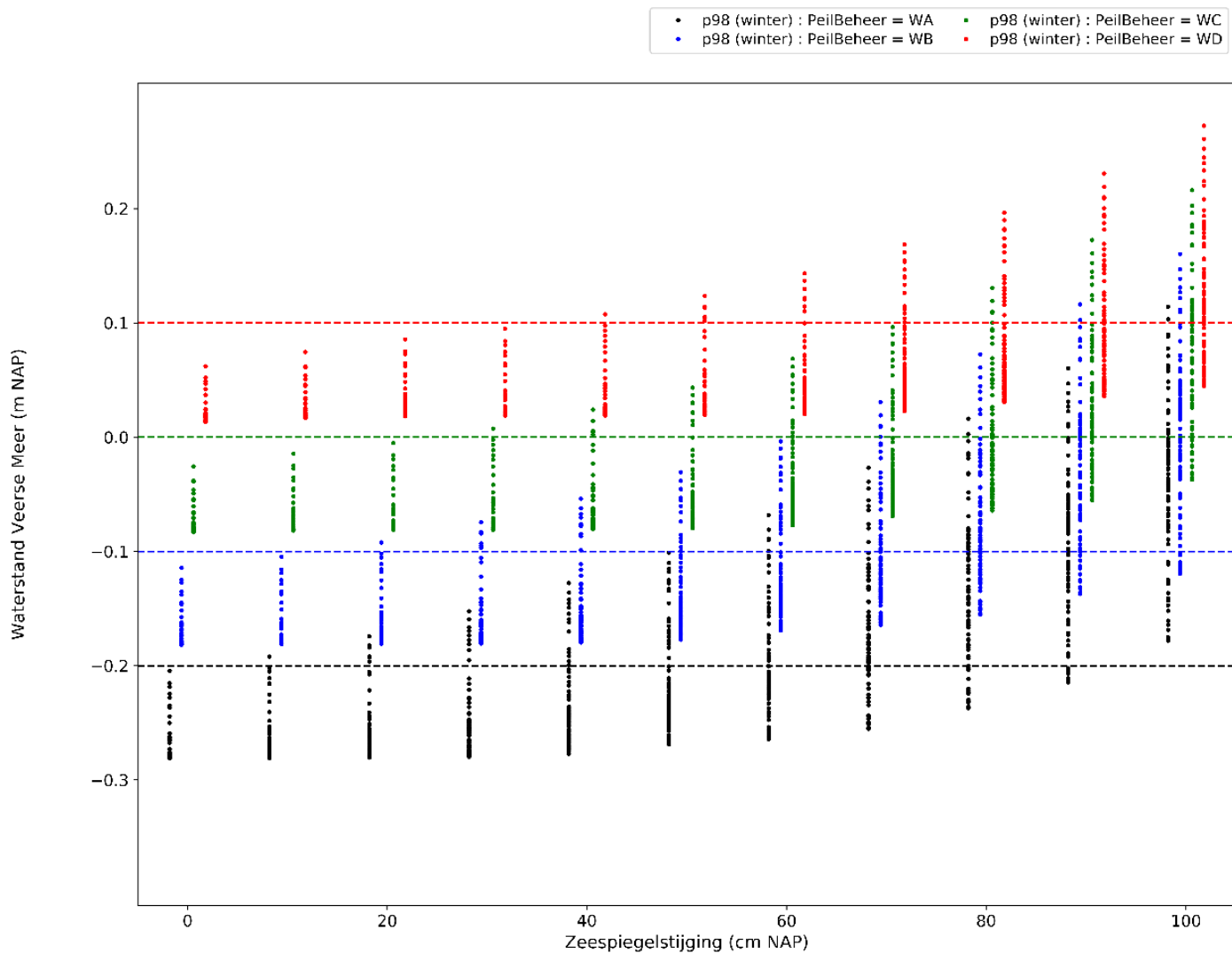


Figuur 3.20 Berekende mengverhouding voor vier peilbeheerscenario's als maat voor waterkwaliteit (zoutgehalte) uitgezet tegen zeespiegelstijging in de winter. In kleur de varianten voor de peilbeheerscenario's. De gekleurde balken geven de drempelwaarden aan voor de KRW beoordeling voor Chloride inclusief onzekerheidsrange.

Hogere peilgrenzen zorgen er voor dat overschrijding van drempelwaarde voor de maximale waterstand, die ook met stapjes van 10 cm omhoog gaat, bij grotere zeespiegelstijging gaat optreden (Figuur 3.21). De verschuiving is (vrijwel) gelijk aan de verhoging van de peilgrens: Een 10 cm hogere peilgrens betekent een 10 cm hogere zeespiegelstijging alvorens de drempelwaarde wordt overschreden. Als zowel de zeespiegel (waterstand Oosterschelde) als het peil van het Veerse Meer 10 cm stijgen is het waterstandsverschil tussen Oosterschelde en Veerse Meer gelijk aan de huidige situatie.

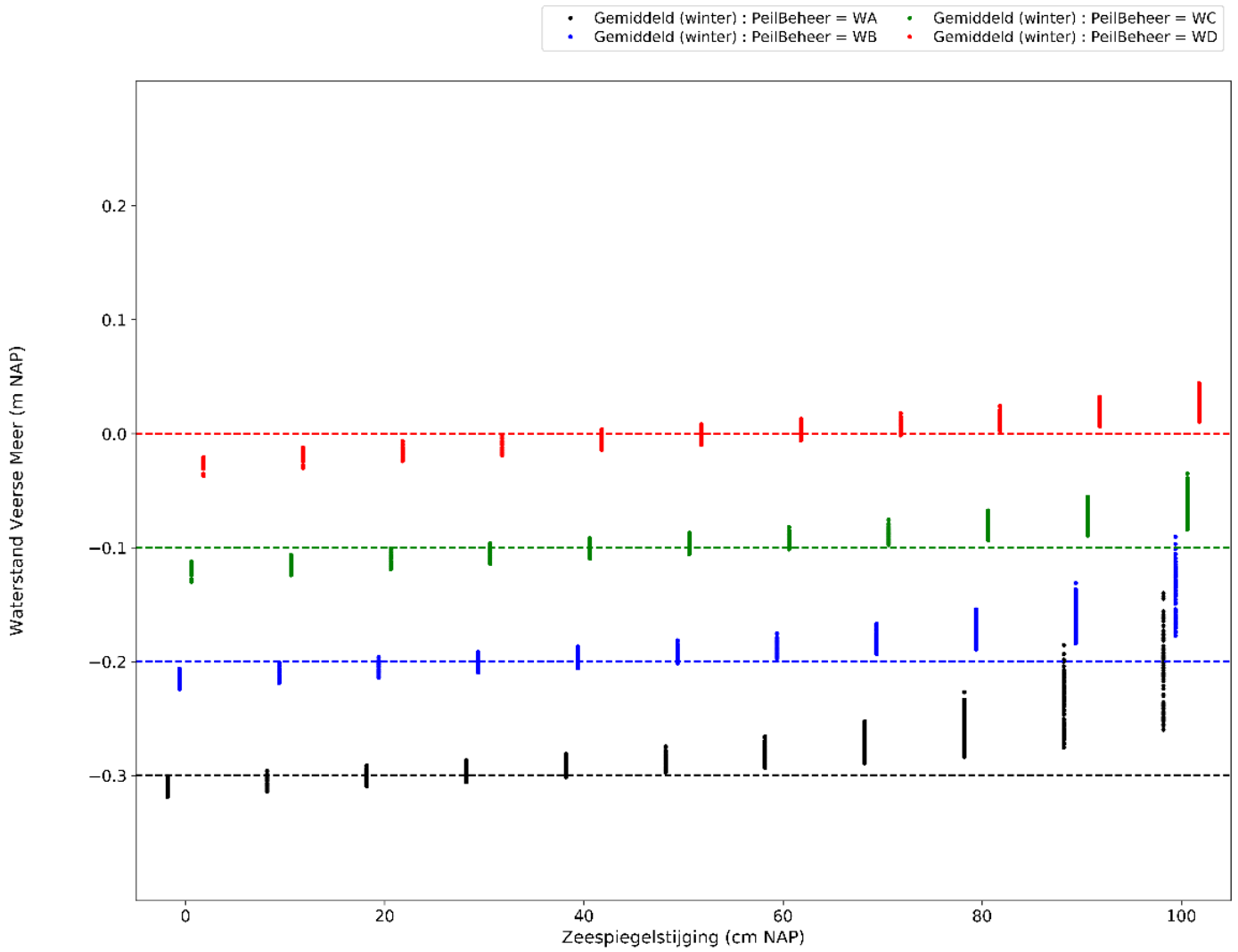
Het gemiddeld peil in de winter loopt langzaam op, maar de toename en met name de toename van de uitschieters die in bij de huidige peilgrenzen bij 80-100 cm goed zichtbaar worden, neemt af bij hogere peilgrenzen (Figuur 3.22).

Omdat de peilgrens in de zomerperiode alleen in het hoogste scenario afwijkt van de huidige peilgrenzen, is alleen voor dit hoogste scenario een verschil te zien voor de maximale en gemiddelde waterstand (Figuur 3.23 en Figuur 3.24). Ook hier realiseert een 10 cm hogere peilgrens ruimte voor 10 cm zeespiegelstijging. De gemiddelde waterstand neemt tot 100 cm zeespiegelstijging slechts enkele cm toe, ook in het scenario met hogere peilgrens in de zomer.



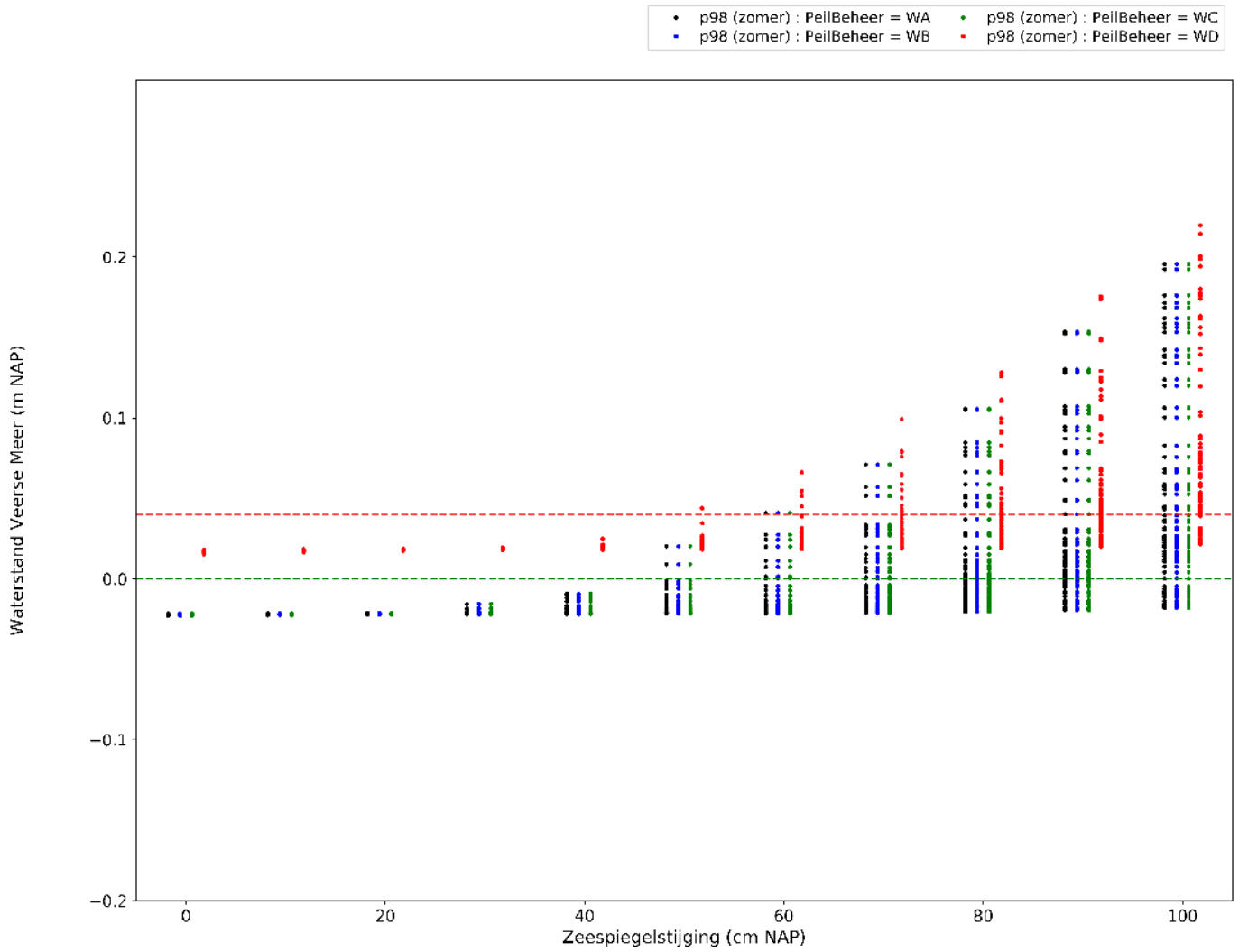
98% waterstanden

Figuur 3.21: Maximale peil (98 percentiel, 2% overschrijding) in de winter voor vier verschillende peilbeheersscenario's. In kleur de varianten voor de peilbeheersscenario's met hun bijbehorende drempelwaarde.



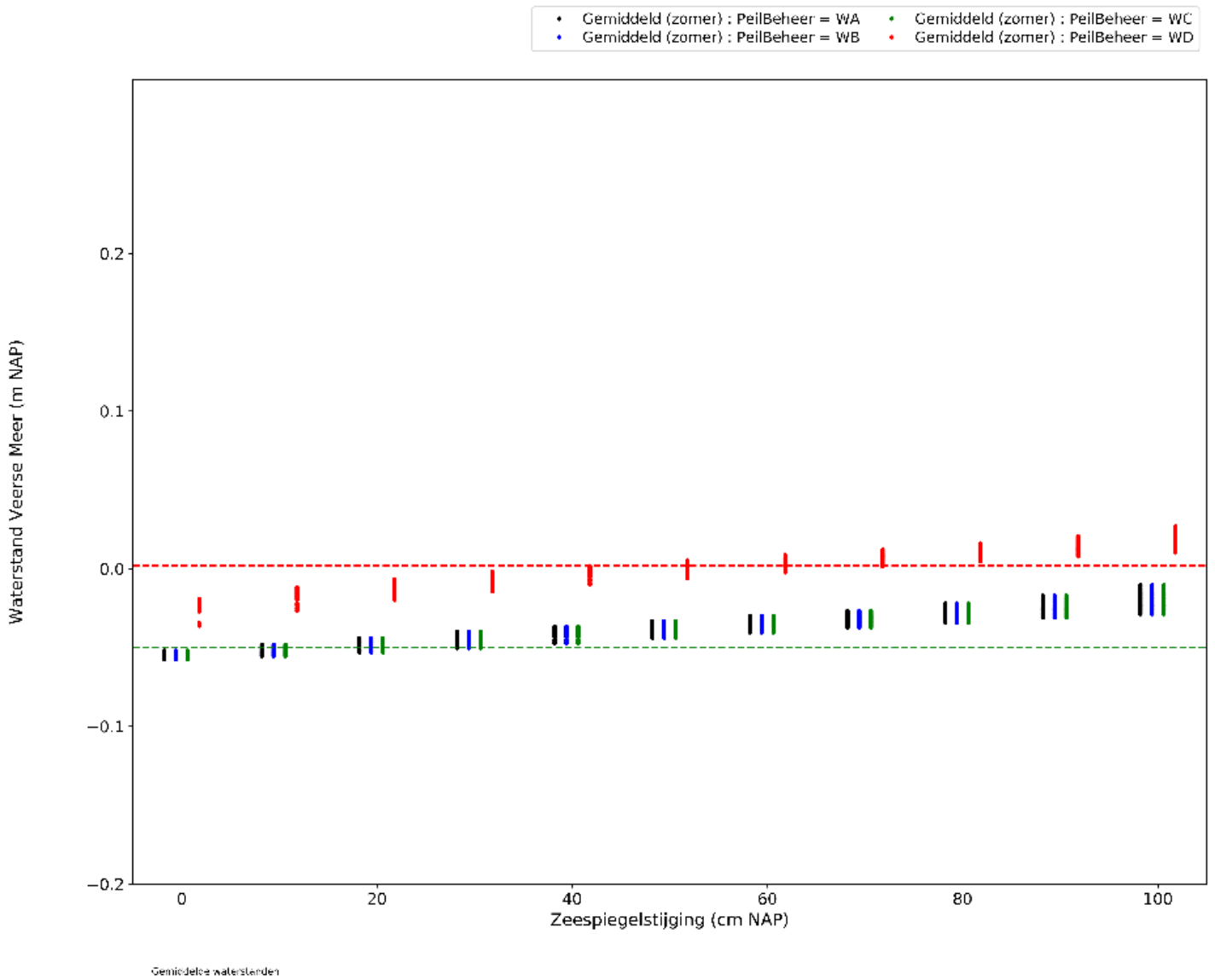
Gemiddelde waterstanden

Figuur 3.22: Gemiddelde waterpeil in de winter voor de vier verschillende peilbeheerscenario's. In kleur de varianten voor de peilbeheerscenario's met hun bijbehorende drempelwaarde.



98% waterstand

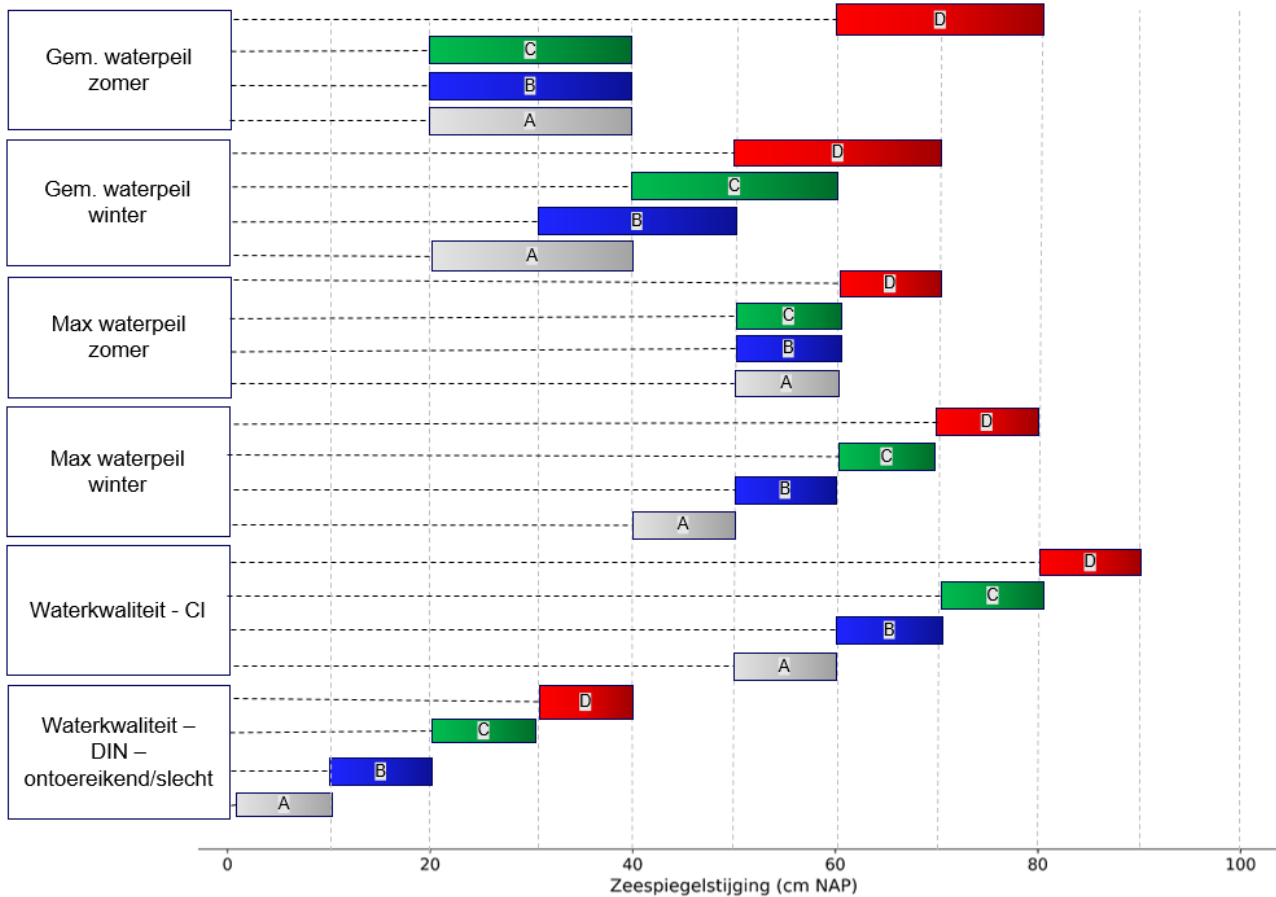
Figuur 3.23 Maximale peil (98 percentiel, 2% overschrijding) in de zomer voor de vier verschillende peilbeheersscenario's. In kleur de varianten voor de peilbeheersscenario's met hun bijbehorende drempelwaarde.



Figuur 3.24: Gemiddelde waterpeil in de zomer voor de vier verschillende peilbeheersscenario's. In kleur de varianten voor de peilbeheersscenario's met hun bijbehorende drempelwaarde.

3.4.4 Overzicht knikpunten handelingsperspectief Verhogen van peilgrenzen

In Figuur 3.25 is weergegeven wanneer voor de verschillende indicatoren een knikpunt bereikt wordt. Dat wil zeggen, wanneer voor een bepaald peilbeheerscenario de drempelwaarde overschreden wordt. In de figuur is goed te zien dat het als eerste het knikpunt voor waterkwaliteit bereikt wordt. Met de verschillende peilbeheerscenario's kan voor de verschillende indicatoren met een verhoging van 10 centimeter ook het knikpunt met 10 cm (zeespiegelstijging) uitgesteld worden.



Figuur 3.25 Overzicht van knikpunten per indicator voor de vier verschillende peilbeheerscenario's

4 Klimaatrobustheid overige beheer- en gebruiksfuncties voor huidig waterbeheer












In Tabel 2.1 zijn elf beheer- en gebruiksfuncties geïdentificeerd die van belang zijn in het Veerse Meer en beïnvloed kunnen worden door klimaatverandering. In hoofdstuk 3 zijn de beheerfuncties Peilbeheer en Waterkwaliteit kwantitatief beoordeeld.

In Tabel 4.1 wordt voor de overige beheer- en gebruiksfuncties een kwalitatieve beschouwing en toetsing gegeven van de klimaatrobustheid. Functies die aan het waterpeil zijn gerelateerd (Beroepsscheepvaart, Recreatievaart, Landbouw, Woonomgeving) zijn tot relatief grote zeespiegelstijging te handhaven, zeker als de oplossingsrichting voor operationeel beheer geoptimaliseerd kan worden.

Functies die direct of indirect afhankelijk zijn van de waterkwaliteit (Natuur, Beroepsvisserij, Sportvisserij, Waterrecreatie) zullen naar verwachting al bij relatief weinig zeespiegelstijging beïnvloed worden. Bij afname van de wateruitwisseling verslechtert de waterkwaliteit met toename van nutriënten, toename van stratificatie, zuurstofloosheid en afname van zoutgehalte tot gevolg. Ingeschat wordt dat het knippunt al vrij vroeg – bij 20-30 cm zeespiegelstijging – ligt. Nader onderzoek met een voldoende gedetailleerd model voor waterkwaliteit en ecologie moet uitwijzen of het knippunt daadwerkelijk relatief dichtbij ligt, of dat er meer ruimte is.

Tabel 4.1 Kwalitatieve toetsing van klimaatrobustheid overige beheer- en gebruiksfuncties Veerse Meer bij huidige waterbeheer

Beheerfunctie (B) / Gebruiksfunctie (G)	Kwalitatieve beschouwing klimaatrobustheid bij huidig waterbeheer	Houdbaarheid
Waterveiligheid (B)	<p>Het effect van klimaatverandering op waterveiligheid is onderwerp van het Deltaprogramma Waterveiligheid. Als onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma worden momenteel alle keringen getoetst op de nieuwe normering, waarbij het zichtjaar 2050 beschouwd wordt. De toetsronde wordt naar verwachting in 2023 afgerond.</p> <p>In dit rapport wordt geen uitspraak gedaan over de klimaatrobustheid van Waterveiligheid.</p>	?

Beheerfunctie (B) / Gebruiksfunctie (G)	Kwalitatieve beschouwing klimaatrobuustheid bij huidig waterbeheer	Houdbaarheid
Natuurbeheer / Natuur (B) / (G)	<p>Voor de natuurwaarden van het watersysteem speelt de waterkwaliteit een rol. Bij zeespiegelstijging neemt het percentage polderwater in het Veerse Meer toe. De nutriëntenconcentratie wordt hoger en waarschijnlijk de primaire productie en chlorofylconcentratie. Het zoutgehalte neemt af. Door de afname van de wateruitwisseling beweegt het Veerse Meer zich langzaam richting de situatie van voor de Katse Heule. Het is aannemelijk dat stratificatie sterk toeneemt en dat zuurstofloze condities in de diepere delen ontstaan. Hoewel een knikpunt niet kwantitatief te bepalen is op dit moment, is de inschatting op basis van de berekende mengverhouding dat het knikpunt voor de water gerelateerde natuurwaarden al vrij snel, bij 20-30 cm zeespiegelstijging bereikt zal worden.</p> <p>Voor de overhabitats en in het bijzonder de delen onder directe invloed van het peilbeheer (intergetijdengebieden en zomer/winter-droogval) zijn de gemiddelde en maximale peilgrenzen van belang. Deze kunnen nog tot 20-40 cm zeespiegelstijging (gemiddeld peil) en 40-60 cm zeespiegelstijging (maximaal peil) gehandhaafd blijven zodanig dat ze voor natuurwaarden geen knikpunt bereiken. Aangenomen worden dat een meer frequentere overstroming in de winter doordat de maximale waterstand vaker boven de peilgrens uitkomt, niet nadelig is voor de habitats tussen NAP -0,20 m en NAP 0 m. Deze delen staan immers tijdens de zomerperiode sowieso onder water. Crucialer is waarschijnlijk dat bij hoge zeespiegelstijging het water veel minder zout zal zijn.</p>	  
Scheepvaart (beroeps) (G)	Het mogelijk stijgende waterpeil heeft geen invloed op de bevaarbaarheid, waarvoor met name het minimale peil van belang is. Wel kan het van invloed zijn op de schuttijden, deze zijn in deze studie niet beschouwd.	
Beroepsvisserij (open water) (G) Sportvisserij (G)	De verminderde wateruitwisseling bij toenemende zeespiegelstijging zorgt voor een substantiële verandering van de waterkwaliteit. Bij hoge zeespiegelstijging zal het Veerse Meer (sterk) verbrakken of zelfs in sommige situaties bijna verzoeten, waardoor een substantiële impact op de visstand kan worden verwacht. Ook het optreden van stratificatie en zuurstofloosheid kan bij lagere zeespiegelstijging al effect hebben. Het knikpunt voor vis wordt daarom ingeschat in lijn met het knikpunt voor water gerelateerde natuur op 20-30 cm zeespiegelstijging.	
Landbouw (G)	Voor zowel binnendijs als buitendijs is het peil van het Veerse Meer bepalend, waarbij het voorkomen van wateroverlast het hier beschouwde (klimaat)effect is. Er is sprake van een langzame stijging van het gemiddelde waterpeil waardoor op termijn een effect kan ontstaan. Voor kortdurende overschrijding van het maximale peil lijkt met operationeel beheer een mogelijkheid tot verschuiven van het knikpunt tot grotere zeespiegelstijging. Voor landbouw wordt daarom op tot circa 50 cm zeespiegelstijging geen knikpunt verwacht. Daarna kan er een effect zijn dat lastig precies te kwantificeren is.	 
Recreatievaart (G)	Bij stijgende waterpeilen kan (met name in de zomer) de recreatievaart beïnvloed worden doordat aanlegsteigers zullen moeten worden aangepast. De peilen in de zomer nemen slechts beperkt toe.	
Overige waterrecreatie (G)	Met name het zomerpeil is van belang voor overige waterrecreatie. Dit kan nog lang gehandhaafd blijven. Een verslechtering van de waterkwaliteit door bijvoorbeeld algenbloei of de terugkeer van zeesla-overlast zal eerder een knikpunt geven. Ook hier wordt een zeespiegelstijging van 20-30 cm ingeschat.	 
Woonomgeving (G)	Voor buitendijkse bebouwing is een drempelwaarde van NAP 0,35 m geïdentificeerd. Deze drempelwaarde wordt tot 100 cm zeespiegelstijging niet overschreden.	

5 Conclusie, discussie en aanbevelingen

5.1 Samenvattende inleiding

De vraagstelling is:

Hoe lang kunnen de beheer- en gebruiksfuncties van het Veerse Meer met het huidige waterbeheer gehandhaafd blijven onder invloed van klimaatverandering?

En wat zijn de handelingsperspectieven die volgen op het huidige waterbeheer?

Het onderzoek naar de klimaatrobustheid waterbeheer Veerse Meer heeft met een waterbalansmodel gekeken naar de houdbaarheid van de functies Peilbeheer en Waterkwaliteit in relatie tot zeespiegelstijging en veranderende neerslagpatronen (drogere zomers, nattere winters). Daarvoor is een aantal indicatoren getoetst op overschrijding van drempelwaardes (Figuur 5.1). In de analyse is rekening gehouden met diverse factoren onderverdeeld in

- 1) Klimaatverandering (a. Zeespiegelstijging, en b. Verandering van neerslagpatronen doorwerkend in polderlozingen en directe neerslag)
- 2) Natuurlijke variatie (a. Waterstand op de Oosterschelde, en b. Grootte van de polderlozingen)
- 3) Operationeel beheer (a. Reguliere peilgrenzen, b. Sluiting Katse Heule bij peil Oosterschelde lager dan NAP -2 m of hoger dan NAP +2 m, c. Doorwerking sluitregime Oosterscheldekering)
- 4) Onzekerheden (a. Afvoercoëfficiënt Katse Heule)

De overige beheer- en gebruiksfuncties zijn kwalitatief beoordeeld op klimaatrobustheid.

Tenslotte zijn vier handelingsperspectieven geïdentificeerd voor adaptatie en verschuiven van het knikpunt. Het handelingsperspectief "Verhogen peilgrenzen" is kwantitatief doorgerekend met het waterbalansmodel. De andere drie handelingsperspectieven zijn alleen kwalitatief benoemd ("Operationele sturing op basis van weersverwachting uitbreiden", "Vergroten doorlaatmiddel", en "Verminderen toevoer nutriënten vanuit poldergemalen").

Indicator	Drempelwaarde zomer	Drempelwaarde winter
➤ Maximaal waterpeil (98-percentiel; 2% overschrijding)	NAP 0,00 m	NAP -0,20 m
➤ Minimaal waterpeil (2-percentiel%; 2% onderschrijding)	NAP -0,10 m	NAP -0,40 m
➤ Gemiddeld waterpeil	NAP -0,05 m	NAP -0,30 m
➤ KRW DIN (winterperiode) matig*	-	1,3 mg/l (18-23%**)
➤ KRW Zoutconcentratie	10.000 Cl mg/l (50%)	10.000 Cl mg/l (50%)

Figuur 5.1 Indicatoren en drempelwaarden voor kwantitatieve toetsing klimaatrobustheid Veerse Meer.

* De huidige beoordeling van deze KRW maatlat is 'matig'. De score wordt 'ontoreikend' bij een waarde boven 1,3 mg/l

** De waarde van 1,3 mg/l per liter is omgerekend naar een percentage polderwater op basis van een gemeten DIN Oosterschelde (0,5 mg/l) en schatting van de range van de DIN in de polderlozingen (4-5 mg/l).

5.2 Conclusie en discussie

Waterkwaliteit en onderwaterleven

Het onderzoek laat zien dat het knikpunt voor de waterkwaliteit als eerste bereikt wordt. Door de verminderde wateruitwisseling wordt de nutriëntenconcentratie een knelpunt. De DIN (opgelost anorganisch stikstof) concentratie in de winter die als KRW-norm is vastgelegd, zal gaan toenemen en uiteindelijk bewegen in de richting van de situatie voor de opening van de Katse Heule. Ingeschat wordt dat het knikpunt al vanaf 0-10 centimeter zeespiegelstijging bereikt wordt, dat wil zeggen dat de KRW-beoordeling voor de DIN concentratie in de winter naar 'ontoereikend' gaat. Omdat ook in de huidige situatie de KRW-norm voor DIN in sommige jaren overschreden wordt, is er in het Veerse Meer feitelijk geen ruimte voor verminderde wateruitwisseling en zit het systeem op of tegen het knikpunt aan. Afhankelijk van het klimaatscenario komt 10 cm zeespiegelstijging neer op een periode van 10 tot 25 jaar (2030-2045).

Overschrijding van de KRW-norm voor DIN kan niet gelijkgesteld worden aan een onvoldoende staat van het ecosysteem als geheel. De biologische KRW-maatlatten Fytoplankton, Overige waterflora, Macrofauna en Vis zijn in dit onderzoek niet kwantitatief onderzocht. In recente jaren zijn problemen gesignaleerd waaronder vissterfte en achteruitgang van het bodemleven. Rijkswaterstaat Zee en Delta is in 2020 begonnen met een (systeem)verkenning onderzoek naar mogelijke oorzaken. Het is niet aantoonbaar dat klimaatverandering bijdraagt aan de oorzaken, hoewel de hoge zomertemperaturen van de afgelopen jaren mogelijk daaraan gerelateerd zijn. Klimaatverandering vergroot de druk op het ecosysteem. Minder wateruitwisseling zorgt voor hogere nutriëntenconcentraties met mogelijk hogere algenconcentratie en primaire productie. Minder wateruitwisseling zorgt ook voor meer stratificatie en zeker in combinatie met meer uitzakkende (dode) algen, voor meer zuurstofloosheid onder de spronglaag. Het klimaatrobuustheidsonderzoek versterkt de urgentie van het (systeem)verkenning onderzoek naar de huidige status en ontwikkeling van waterkwaliteit en onderwaterleven, omdat het huidige waterbeheer geen of nauwelijks handelingsruimte heeft.

Peilbeheer

Het gemiddelde waterpeil in de winter en in de zomer loopt langzaam op met een stijgende zeespiegel. Vanaf 20-40 centimeter zeespiegelstijging (2040-2075) liggen de meeste varianten boven de drempelwaarde van respectievelijk NAP -0,30 m en NAP -0,05 m. Hierdoor kunnen er ook in de omgeving knikpunten gaan optreden voor landbouw en (water)overlast voor recreatie in de omgeving. De overschrijding bedraagt een of enkele centimeters, zodat met operationeel beheer waarschijnlijk handelingsruimte te creëren is. Echter, dit zal altijd leiden tot minder wateruitwisseling met (negatieve) consequentie voor waterkwaliteit.

De maximale waterstand in de winterperiode overschrijdt de drempelwaarde van NAP -0,20 m bij een combinatie van een hoog volume polderlozingen in korte tijd en hoge waterstanden op de Oosterschelde vanaf een zeespiegelstijging van 40-50 cm. Hierdoor kan het overtollige water niet meer op de Oosterschelde geloosd worden en gaat het peil over het toegestane maximum. In de zomerperiode vindt de overschrijding van het maximum peil iets later plaats, vanaf 50-60 cm zeespiegelstijging. Deze overschrijdingen zijn van korte duur, maar komen steeds vaker voor. In het operationeel beheer is de praktijk dat dergelijke situaties opgevangen kunnen worden door een tijdelijke verlaging van het peil om een buffer te creëren voor de polderlozingen. Met stijgende zeespiegel zal deze operationeel beheermaatregel vaker ingezet gaan worden, waardoor het knikpunt in realiteit bij een hogere zeespiegelstijging ligt.

Handelingsperspectieven

Vier oplossingsrichtingen zijn genoemd, waarvan het verhogen van het peil is doorgerekend. Met het verhogen van het peil wordt de wateruitwisseling vergroot en wordt de nutriëntenconcentratie verlaagd. Ingeschat wordt dat het knikpunt voor waterkwaliteit daarmee 20-30 cm

zeespiegelstijging verschoven kan worden, bij het hoogste peilscenario (gemiddeld winter- en zomerpeil NAP 0,05 m). Bij lagere (winter)peilen is de oprekbaarheid kleiner.

Kwalitatieve toetsing overige beheer- en gebruiksfuncties

De aan de waterkwaliteit gerelateerde functies (Natuur, Beroepsvisserij, Sportvisserij, Waterrecreatie) komen waarschijnlijk onder druk bij een knikpunt vergelijkbaar met de waterkwaliteit, dat wil zeggen 0-10 cm zeespiegelstijging. Voor waterpeilen gerelateerde functies (Beroepsscheepvaart, Recreatievaart, Landbouw, Woonomgeving) ligt het knikpunt pas bij grotere zeespiegelstijging.

5.3 Aanbevelingen

Het effect van klimaatverandering op waterkwaliteit en de daaraan gerelateerde functies lijkt al bij relatief weinig zeespiegelstijging op te kunnen treden. De analyse is grotendeels gebaseerd op de KRW norm voor opgelost anorganisch stikstof (DIN) en een relatief eenvoudig waterbalansmodel. Aanbevolen wordt dit knikpunt nader te onderzoeken met een voldoende gedetailleerd model voor waterkwaliteit en ecologie. Ook wordt aanbevolen om het gestarte (systeem)verkenning onderzoek voort te zetten.

De knikpunten voor gemiddeld waterpeil en maximaal waterpeil in de winter liggen bij grotere zeespiegelstijging en is daardoor wellicht minder urgent. Om grip te krijgen op de mogelijkheden van operationeel beheer (tijdige peilverlaging voor een buffer) kan aanbevolen worden om de regels voor operationeel beheer aan het waterbalansmodel toe te voegen. Dat is in deze studie nog niet gedaan.

6 Referenties

- Deltares (2011a): Werken met knikpunten en adaptatiepaden: handreiking, auteurs A.B.M. Jeuken en A.H. te Linde, Rapport 1202029-000-VEB-0004, maart 2011, 36 p.
http://publications.deltares.nl/1202029_000.pdf
- Deltares (2015a): Bekkenrapport Veerse Meer 2000-2014, ten behoeve van de Evaluatie Peilbesluit, T.C. Prins, S.A. Vergouwen, A.J. Nolte, C.A. Schipper, F.A. Arts, P. van Avesaath, V. Escaravage, M.J. de Kluijver, M.C. Dubbeldam.
- Deltares (2015b): Waterkwaliteiten Deltawateren – datarapport Veerse Meer. Ies de Vries, Deltares rapport 1210859.
- Deltares (2020): Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer, A.J. Nolte, M. Weeber, S. Pans, T. Vreeken en O. Weiler; Deltares rapport 11203741-001-ZKS-0005, Delft: Deltares. http://publications.deltares.nl/11203741_001.pdf
- EL&I 2010: Aanwijzingsbesluit Natura 2000 gebied Veerse Meer. Programmadirectie Natura 2000, PDN/2010-119
- Factsheet Veerse Meer 2015
https://www.deltaexpertise.nl/images/a/a3/Factsheet_KRW_Veerse_Meer_2015.pdf
- KNMI (2015): KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34 pp.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2015): Stroomgebiedbeheerplan Schelde 2016-2021, december 2015.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007): Peilbesluit Veerse Meer
- Projectgroep MER peilbesluit Veerse Meer (2007): MER Peilbesluit Veerse Meer. Effecten van een hoger winterpeil. Redactie DHV BV, 165 pp.
- Rijksoverheid (2015), Nationaal Waterplan 2016-2021
- Rijkswaterstaat (2015): Beheer- en ontwikkelplan voor de rijkswateren 2016 – 2021, wvl1215II046, december 2015. https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_163923_31/
- Rijkswaterstaat (2020): Operationeel Watermanagement Veerse Meer, Infographic, Rijkswaterstaat WMCN, versie wvl0820zb471, september 2020.
https://waterberichtgeving.rws.nl/include_files/rws/wisselstrook/RWS_WVL_Watersystemen-Veerse%20Meer.pdf
- Von Meijenfeldt N, Bouw R, van Tol PTG, Smit MWJ, Nieuwkamer RLJ, van Ek R, Jansen MHP & Smit A (2017): Integrale Veiligheid Oosterschelde MIRT onderzoek - knikpunten, oplossingsrichtingen en effecten. RW1929-201 Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Deventer.
- Zandvoort M, van der Zee E en Vuik V (2019): De effecten van zeespiegelstijging en zandhonger op de Oosterschelde. Eindrapport van de studie EZZO: Tauw BV, Altenburg & Wymenga

en HKV Lijn in Water. I.o.v. Rijkswaterstaat Zee en Delta. Utrecht / Middelburg.

A Beschrijving Methode Adaptief Deltamanagement

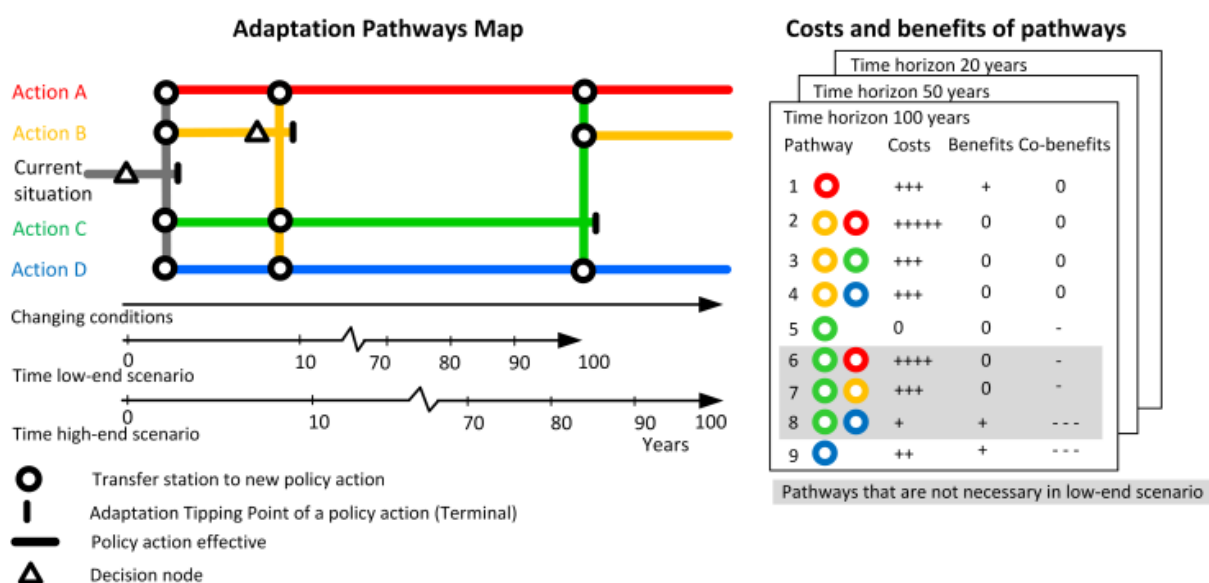
Vraagstellingen rond klimaatrobustheid zijn de kern van het Deltaprogramma. In het Deltaprogramma wordt de methodiek van Adaptief Deltamanagement toegepast. In deze bijlage wordt de methode beknopt geïntroduceerd. Meer informatie is bijvoorbeeld te vinden op <https://www.deltares.nl/en/adaptive-pathways/>.

A.1 Adaptief Deltamanagement onder het Deltaprogramma

Het doel van het Deltaprogramma is dat de waterveiligheid, de zoetwatervoorziening en de ruimtelijke inrichting in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust zijn, zodat Nederland de grotere extremen van het klimaat kan blijven opvangen. Het programma is voornamelijk gericht op het voorkomen van een ramp. Er zijn meerdere strategieën ontwikkeld voor meerdere toekomstscenario's, waarin de onzekerheden rond klimaatverandering en sociaal economische ontwikkelingen zijn weerspiegeld. Met de maatregelen en strategieën kan flexibel worden ingespeeld op nieuwe metingen en inzichten in onder meer de ontwikkelingen in het klimaat. In het kader van adaptief deltamangement wordt gedaan wat nu nodig is, en liggen er (plannen voor) aanvullende maatregelen klaar voor het geval deze in de toekomst nodig zijn. Deze manier van werken wordt door betrokken partijen gezien als een nuchtere oplossing voor het omgaan met onzekere ontwikkelingen.

De methode van het Deltaprogramma, die gericht is op waterveiligheid en zoetwatervoorziening in Nederland, kenmerkt zich door de uitwerking van **knikpunten** en **adaptatiepaden** (Deltares, 2011). Een **knikpuntenanalyse** is een gevoeligheidsanalyse waarbij wordt gekeken welke functies en beleidsdoelen in een systeem het meest beïnvloed worden door klimaatverandering en welke mate van klimaatverandering nog acceptabel is. Als het effect van klimaatverandering op een bepaalde functie niet meer acceptabel is dan is een zogenaamd knikpunt bereikt. In Figuur A.1 wordt een visualisatie van de methode gegeven.

Vervolgens kan worden gekeken welke maatregelen genomen kunnen worden zodat dit knikpunt niet, of later bereikt wordt. Hiervoor wordt vervolgens een **adaptatieve strategie** voor ontwikkeld, met verschillende maatregelen voor de korte en de lange termijn. Afhankelijk van de mate van klimaatverandering wordt een knikpunt eerder of later bereikt.



Figuur A.1 Schematisch voorbeeld van een adaptatiepad (Deltares, 2015)

Kernpunten van adaptief deltamanagement

- beslissingen die we nu nemen verbinden met de opgaven voor waterveiligheid en zoetwater op de lange termijn;
- zorgen dat oplossingen flexibel zijn;
- meerdere strategieën klaar hebben en ervoor zorgen dat we snel kunnen wisselen als de omstandigheden veranderen (adaptatiepaden);
- investeringen in waterveiligheid en zoetwater verbinden met investeringen in bijvoorbeeld ruimtelijke inrichting en natuur en herontwikkeling waar mogelijk waterrobuust en klimaatbestendig maken.
- Zo zorgen we ervoor dat er nu verstandige maatregelen worden getroffen en dat er tegelijkertijd in de toekomst voldoende mogelijk blijft voor de maatregelen die dan nodig zijn om Nederland te beschermen tegen hoogwater en van voldoende zoetwater te voorzien.

A.2 Integraal adaptief deltamanagement

In deze studie wordt voortgebouwd op de Deltaprogramma-aanpak. Tijdens deze studie worden alle gebruiksfuncties van het watersysteem in kaart gebracht, en niet alleen de gebruiksfuncties waterveiligheid en zoetwatervoorziening. Dit heeft als gevolg dat er meerdere gebruikerseisen aan het watersysteem zijn. Naast knikpunten worden er in deze studie ook **drempelwaarden** gebruikt. Een drempelwaarde staat voor een eis van een gebruiksfunctie die gesteld wordt aan het watersysteem. Wanneer deze drempelwaarde van zulk belang is dat bij het niet behalen hiervan er een andere strategie gevoerd moet worden voor het watersysteem, dan is deze drempelwaarde een knikpunt. Of een drempelwaarde een knikpunt is wordt met name bepaald door het belang dat beleidsmakers aan deze drempelwaarde hechten. Bij deze drempelwaarde-inventarisatie worden niet alleen de functies binnen het watersysteem opgenomen, maar ook omliggende watersystemen en landgebieden die van dit watersysteem afhankelijk zijn.

Een aantal drempelwaarden is afhankelijk van het waterpeil of de afwezigheid van blauwalgen in het systeem (denk bijvoorbeeld aan drempelwaarden voor de gebruiksfuncties sluisbeheer en zwemwater). Zowel waterpeil als blauwalgen zijn in dit geval watersysteemindeatoren. Op deze manier worden de geïnventariseerde drempelwaarden gegroepeerd onder **watersysteemindeatoren**. Door de relaties tussen de beheerfuncties, gebruiksfuncties, watersysteemindeatoren, drempelwaarden en klimaatverandering te visualiseren worden de onderlinge afhankelijkheden duidelijk in een relatieschema. Hierna is het aan de beleidsmakers om te bepalen welke drempelwaarden ook daadwerkelijk een knikpunt zijn.

Om tot de belangrijkste watersysteemindeatoren en de hiermee samenhangende knikpunten te komen wordt de verbindingen uit het relatieschema geanalyseerd.

A.3 Stappen integrale analyse

Om een integrale analyse uit te voeren worden de volgende stappen gevolgd:

1. Vastleggen van de huidige ontwikkelingen in het watersysteem
2. Inventariseren gebruiksfuncties in het watersysteem
3. Vaststellen welke gebruiksfuncties beïnvloedt kunnen worden door klimaatverandering
4. Inventariseren aan welke eisen (d.w.z. doelen, criteria, indicatoren) deze gebruiksfuncties moeten voldoen inclusief getalswaarde voor de drempelwaarde
5. Opstellen van relationeel (oorzaak-effect) overzicht tussen 1) klimaatverandering, 2) huidige (water)beheer van het watersysteem, en 3) eisen aan het watersysteem
6. Prioriteren van meest relevante of meest veelzeggende watersysteemindeatoren
7. Bepaal kwantificeerbaarheid van indicatoren (d.w.z. berekenen bij welke mate van klimaatverandering de drempelwaarde van de indicator overschreden wordt)
8. Vastleggen van de drempelwaarden die als knikpunt fungeren
9. Berekenen overschrijding van drempelwaarde van indicatoren
10. Analyse van klimaatrobuustheid watersysteem

B Beschrijving 0D model voor waterstanden

B.1 Modelopzet en waterbalans

B.1.1 Algemeen

Een 0D waterbalansmodel van het Veerse Meer is opgezet om een inschatting te kunnen maken hoe waterstanden in het Veerse Meer zullen reageren op klimaatverandering waardoor regenval, en de waterstand in de Oosterschelde zullen wijzigen en welke factoren hierbij belangrijk zijn. Het model berekent de waterstanden aan de hand van in- en uitstromen van het Veerse Meer door een gesloten waterbalans. Omdat het model in 25-30 seconden een jaar kan doorrekenen wordt het model ingezet om een matrix van scenario's door te rekenen. Hierdoor ontstaat inzicht in de belangrijkste factoren bij het bereiken van knikpunten bij handhaving van het huidige peilbeheer. Een overzicht van het Veerse Meer is in Figuur 6.1 opgenomen.



Figuur 6.1 Overzicht van het Veerse Meer met locaties van de gemalen en meetpunten voor waterstanden

Zoals opgemerkt is de basis van het model een gesloten waterbalans :

$$A \frac{dh}{dt} = \sum Q_{in}(t) - \sum Q_{uit}(t) \quad (0.1)$$

Met:

A = het totale wateroppervlak van het Veerse Meer (22700000 m²)

h = de waterstand (m NAP)

Q_{in} en Q_{uit} = in- en uitgaande debieten (m³/s)

Dit model is opgezet met een tijdstap van 10 minuten.

De in en uitgaande debieten kunnen in groepen worden onderverdeeld:

- Lozingen van poldergemalen
- Directe regenval op het meer
- Verdamping
- Schut- en lekverlies Kanaal door Walcheren
- Debieten door het doorlaatmiddel Katse Heul

De debieten door de Katse Heul worden gedreven door het waterstandsverschil tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer. Het doorlaatmiddel kan geopend en gesloten worden om de waterstanden in het Veerse Meer te beheersen volgens een opgelegd peilbeheer in de vorm van een te handhaven onder- en bovengrens.

Vanwege beschikbaarheid van data is het model opgezet voor 2012.

In het model wordt ook een concentratie van een tracer (conservatieve stof) berekend die kan worden gebruikt om concentraties af te leiden die zich conservatief gedragen.

B.1.2 Poldergemalen en overige debieten

In het model zijn de volgende poldergemalen opgenomen met een tijdserie met een tijdstap van een dag. In Tabel 6.1 is het gemiddelde debiet voor 2012 opgenomen.

Gemaal	Gem. debiet (m ³ /s)
Aalvanger	0.018
Adriaan	0.159
De Piet	0.557
Jacoba	0.083
Kleverskerke	0.161
Muidenweg	0.016
Oosterland	0.022
Oostwatering	0.285
Wilhelmina	0.244
Willem	0.435
Totaal	1.980

Tabel 6.1 Gemiddelde debieten van gemalen in m³/s voor 2012

Daarnaast zijn de overige bronnen opgenomen (Tabel 6.2).

Bron	Bron en tijdstap	Gemiddeld debiet 2021 (m ³ /s)
Schut/lek verlies Kanaal door Walchtere	afgeleid van maandgegevens voor 2019	1.12
Stuw/sluis Jacoba	Jaar	0.00654
Regenval	Dagelijks, KNMI	7.82
Verdamping	Dagelijks, KNMI	-1.59
Totaal		7.36

Tabel 6.2 Overige debieten met gemiddelde voor 2012 (m³/s)

B.1.3 Debiet door de Katse Heul

Het debiet door de Katse Heul wordt beschreven door het waterstandverschil in combinatie met een afvoer coëfficiënt

$$Q_{kh} = A \cdot f_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H} \quad (0.2)$$

Met:

Q_{kh} = debiet (m³/s)

A = doorstromend oppervlak van het doorlaatmiddel (m²)

f_c = afvoercoëfficiënt (-)

g = gravitatieversnelling (9.81 m/s²)

ΔH = waterstandsverschil (m).

De doorlaat bestaat uit 2 kokers van 3*5,5 m, dus een totaal oppervlak van 33 m². Er wordt voor de Katse Heule met twee afvoercoëfficiënten gewerkt van 0.5824 en 0.5792 voor vloed (instromend) en eb (uitstromend).

B.1.4 Het beheersen van het waterpeil in het Veerse Meer

Door de schuiven in de Katse Heule open en dicht te zetten wordt het peil in het meer beheerst. Het getij in de Oosterschelde bepaalt wanneer water in en uit het meer kan stromen en binnen de opgelegde peilgrenzen van het meer wordt het uitwisselend debiet gemaximaliseerd. Dit is ook in het model geïmplementeerd. In het model wordt rekening gehouden met een stijging van het waterpeil door de gemaalafvoer. Het model sluit de schuiven rekening houdend met de stijging die verwacht wordt wanneer die afvoer over de volgende getijslag (ongeveer 6 uur) gelijk blijft. Dit betekent dat in een natte periode met hoger afvoeren het model de schuiven eerder sluit dan wanneer deze afvoer laag is. Hierbij moet wel worden opgemerkt worden dat dit niet geheel conform het operationele beheer is, maar een ruwe benadering.

B.1.5 Mengverhouding berekeningen

Het model berekent concentraties in het Veerse Meer van een conservatieve tracer. Deze proxy kan vervolgens worden gebruikt voor het afleiden van zoutconcentraties en van (winter)nutriëntconcentraties. In het model wordt aangenomen dat de Oosterschelde een concentratie van 0 heeft terwijl de gemaalafvoeren een concentratie van 1,0 hebben. De concentratie (gemiddeld over de winterperiode) geeft dan direct de gemiddelde ratio polderwater en Oosterscheldewater in het Veerse Meer.

B.2 Modelvalidatie

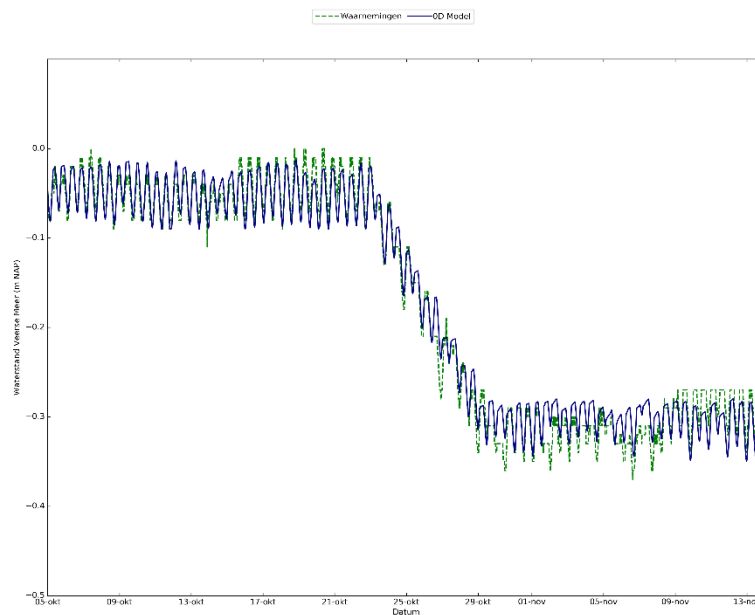
Het model is gevalideerd voor 2012 omdat voor dat jaar de benodigde data (gemaalafvoeren, regenval/verdamping en waterstanden in de Oosterschelde (Katse Heule Buiten) het meest

compleet waren. De validatie is uitgevoerd op afgeleide debieten door de Katse Heule en door het vergelijken van de berekende waterstanden op meetstation VM4 (Figuur 6.1). De debieten door de Katse Heule zijn geen directe debietmetingen, maar afgeleid van lokale waterstandsmetingen en de gerapporteerde afvoercoëfficiënten.

Voor de validatie is het belangrijk dat het operationele beheer van de schuiven overeenkomt met de in het model geïmplementeerde beheer. Een optimale vergelijking kwam tot stand door het peilbeheer in het model overeen te laten komen met de bereikte maximum en minimum peilen. Dit leverde het volgende peilbeheer op:

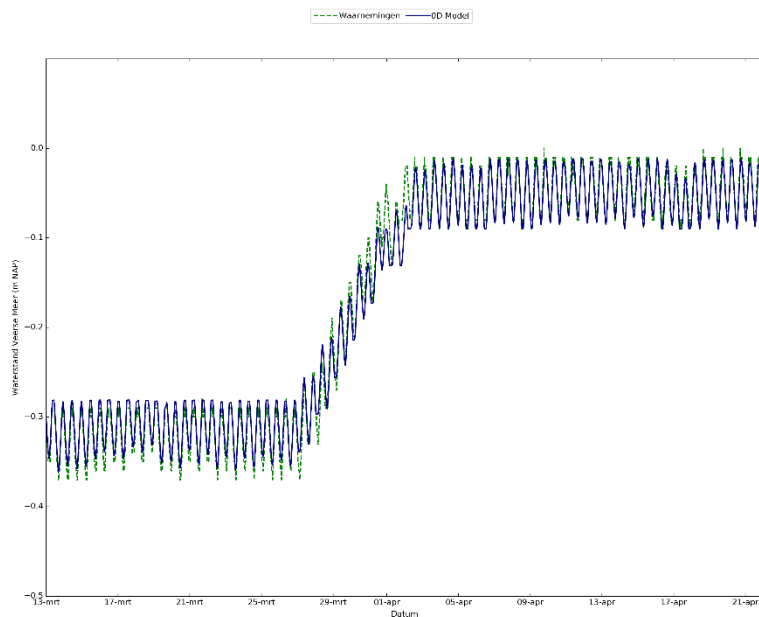
- Winter: NAP -0.38 m tot -0.28 m (van 29 oktober tot en met 27 maart)
- Zomer: NAP -0.09 m tot -0.02 m (van 3 april tot en met 23 oktober)

De overgang tussen winter en zomerpeil wordt uitgevoerd gedurende een week. Vergelijking tussen de waargenomen en berekende waterstanden zijn in Figuur 6.2 en Figuur 6.3.



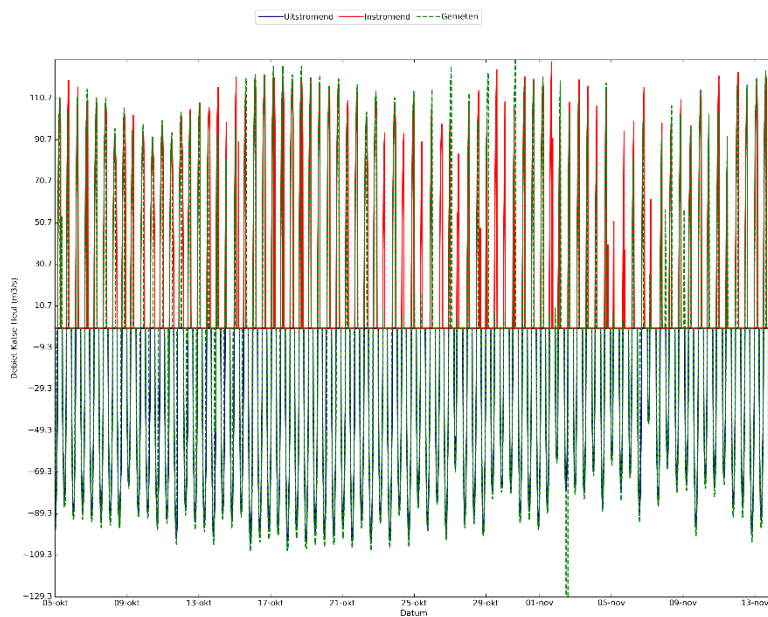
Figuur 6.2 Vergelijking gemeten en berekende waterstanden winter-zomer peil

De overgang tussen de seizoenen is goed te zien. Er zijn kleine verschillen tussen de waargenomen en berekende waterstanden. Deze worden voornamelijk veroorzaakt door het verschil tussen het actuele uitgevoerde beheer en het aangenomen beheer. Verder is de waterstand in het model een gemiddelde waterstand over het hele meer, zonder meteo (met name wind) invloeden terwijl de metingen van 1 locatie zijn (VM4) waar wind wel enige invloed heeft.



Figuur 6.3 Vergelijking gemeten en berekende waterstand zomer-winterpeil

De debieten komen op een gelijkwaardige manier overeen, zie figuur als voorbeeld.



Figuur 6.4 Vergelijking gemeten en gemodelleerde debieten door de Katse Heule

B.3 Opzet scenariomatrix

Het model wordt aangestuurd door de definities van welke scenario's in de scenariomatrix moeten worden opgenomen Dit is een combinatie van:

- Zeespiegelstijging
- Oosterschelde waterstand tijdreeksen (actuele waterstanden uit verschillende jaren)
- Het al dan niet aftoppen (op 3m NAP) van de Oosterschelde waterstanden door gebruik Oosterscheldekering

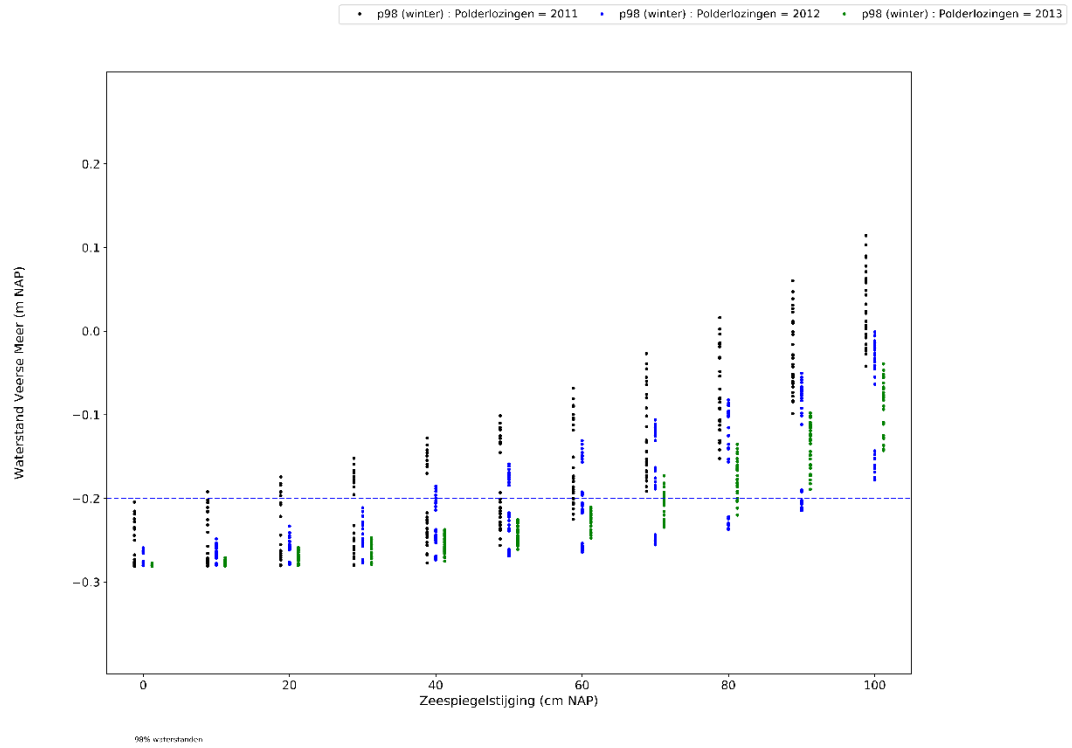
- Het al dan niet gebruik maken van limieten (Oosterschelde) bij het gebruik van de schuiven in de Katse Heule (-2.0 m en +_2.0 m NAP)
- Verschillende jaren voor de afvoeren van de gemalen
- Wijzigingen van de gemaalafvoeren door klimaatverandering (zomer en winter)

Alle variaties worden onafhankelijk van elkaar uitgevoerd en in de post-processing verwerkt.

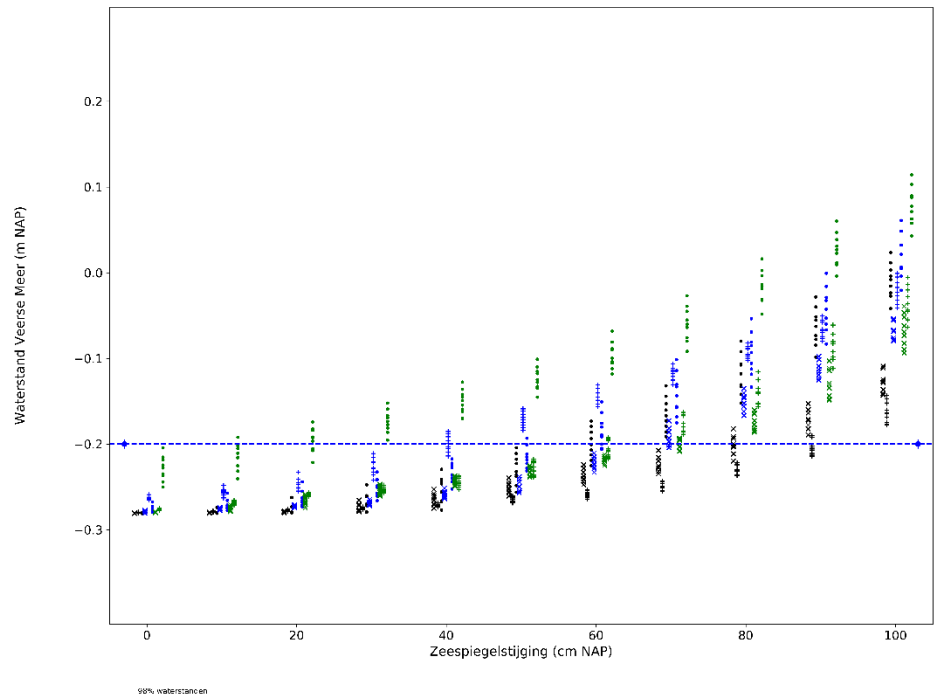
C Resultaten Kwantitatieve analyse

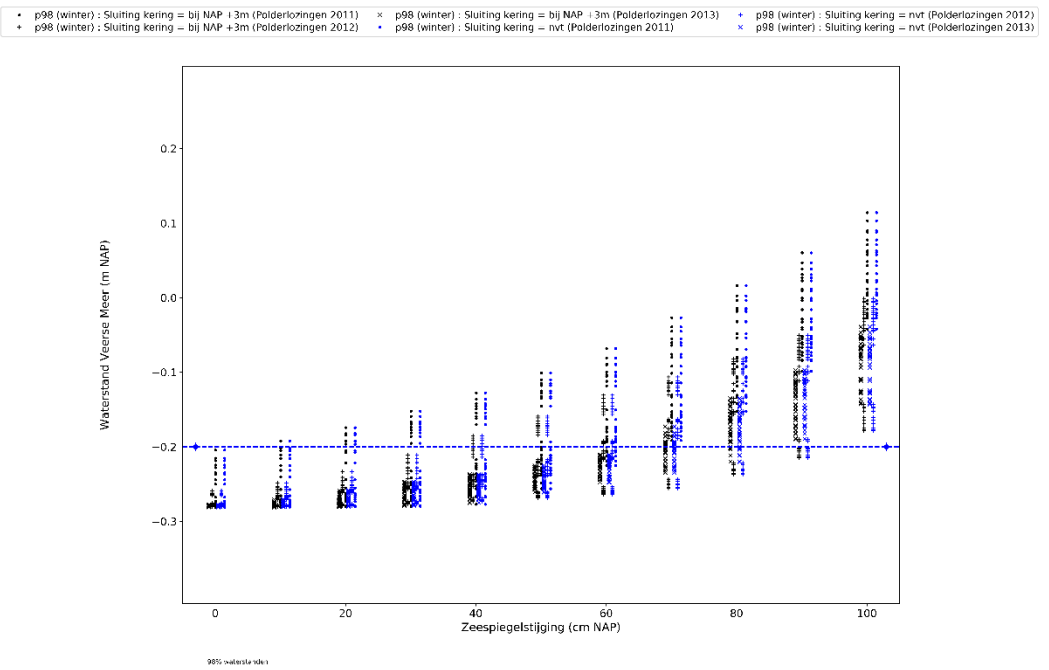
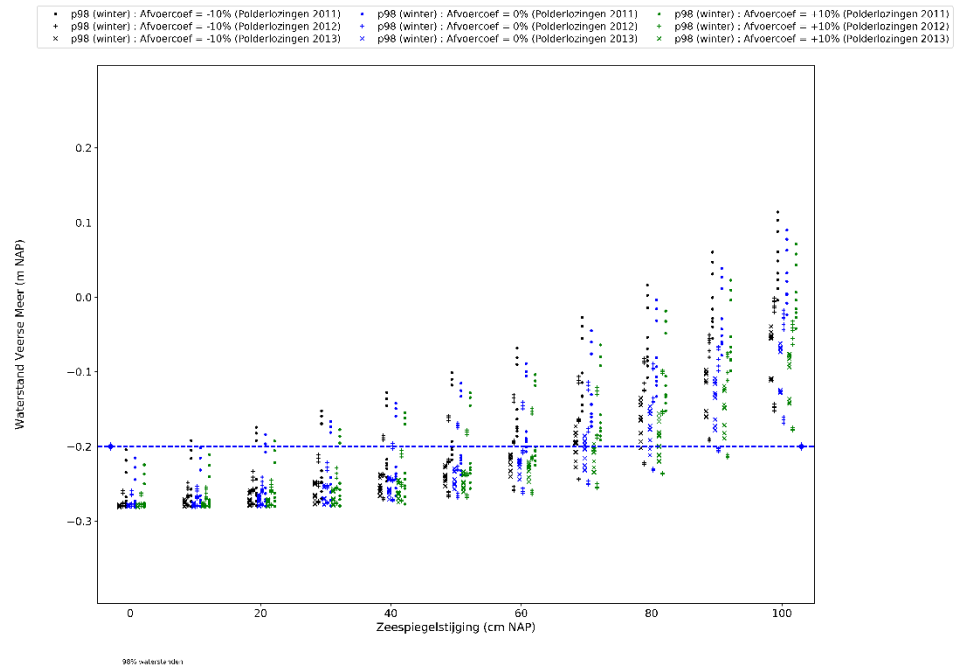
C.1 Resultaten analyse huidige peilstrategie

C.1.1 Maximale waterstand winter (P98)

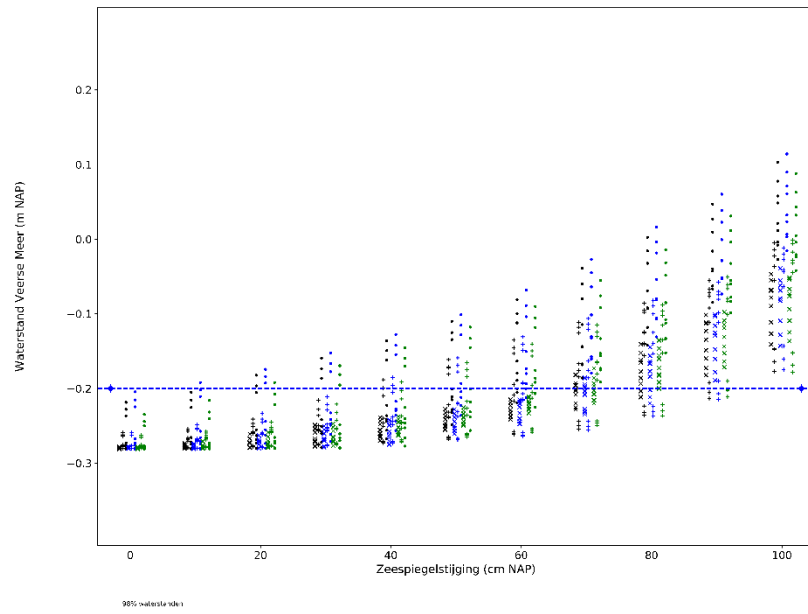


- p98 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)

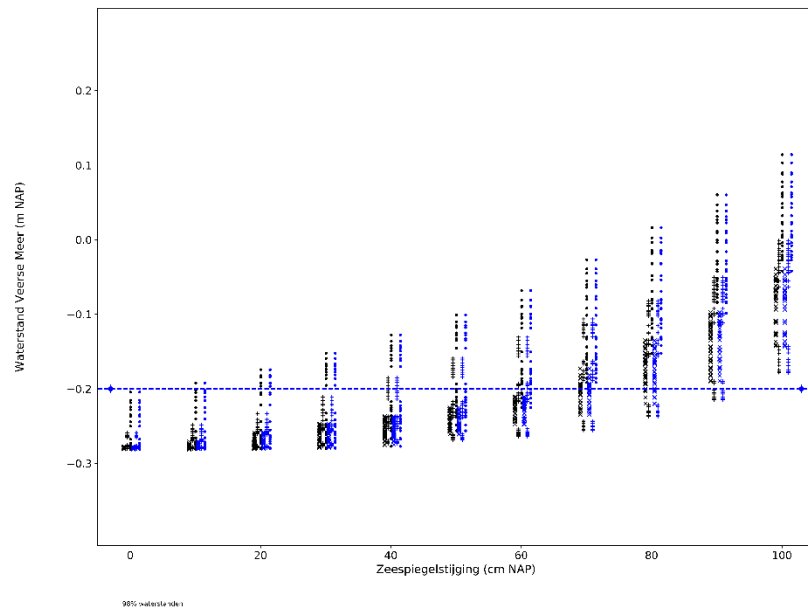




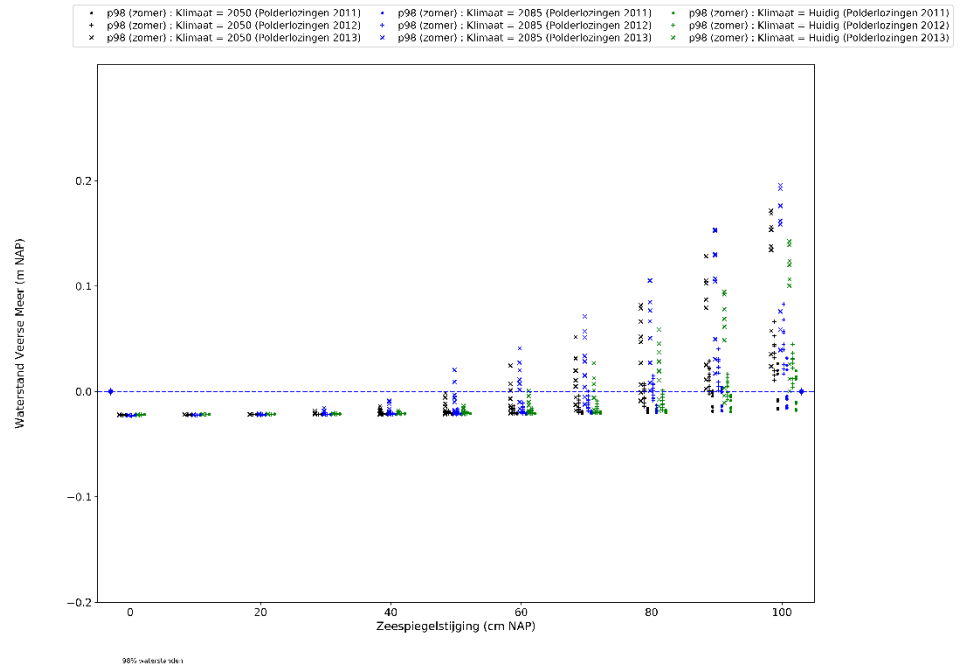
- p98 (winter) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2013)
- p98 (winter) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2013)
- p98 (winter) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2013)



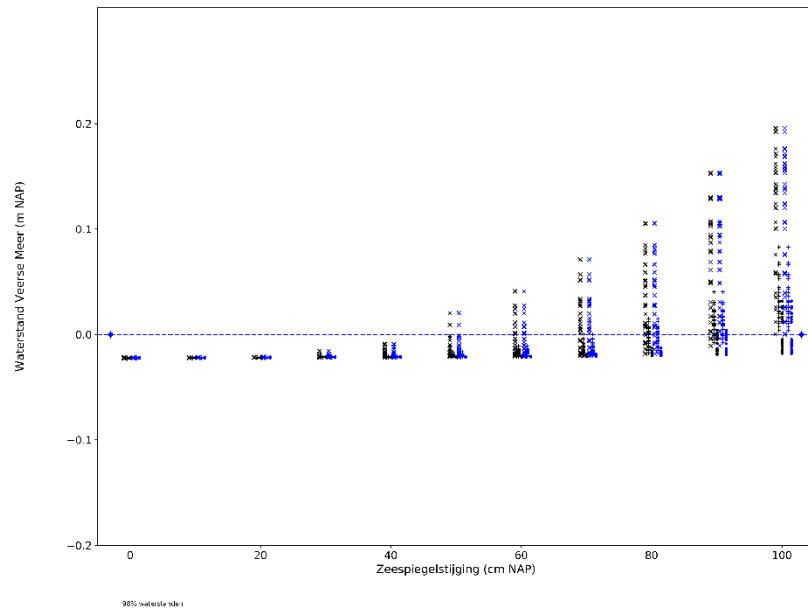
- p98 (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2013)
- p98 (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2011)
- p98 (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2012)
- p98 (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2013)



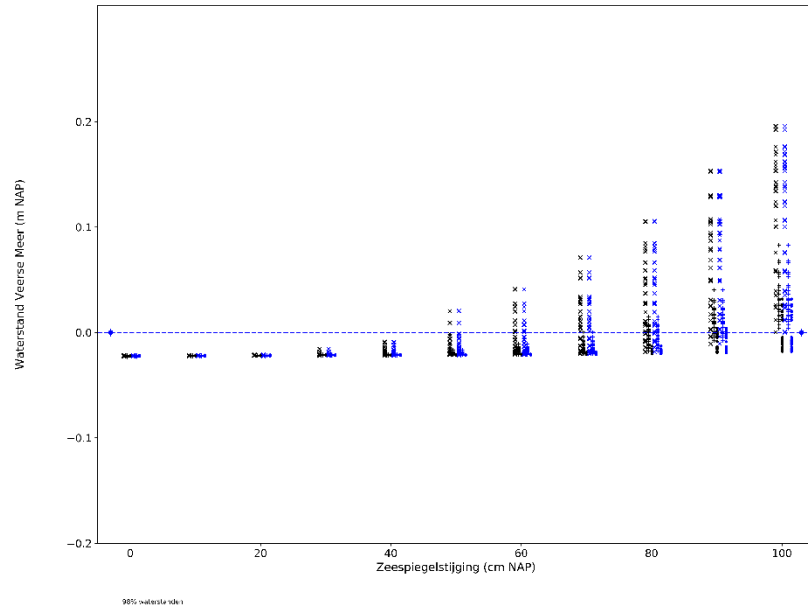
C.1.2 Maximale waterstand zomer (P98)



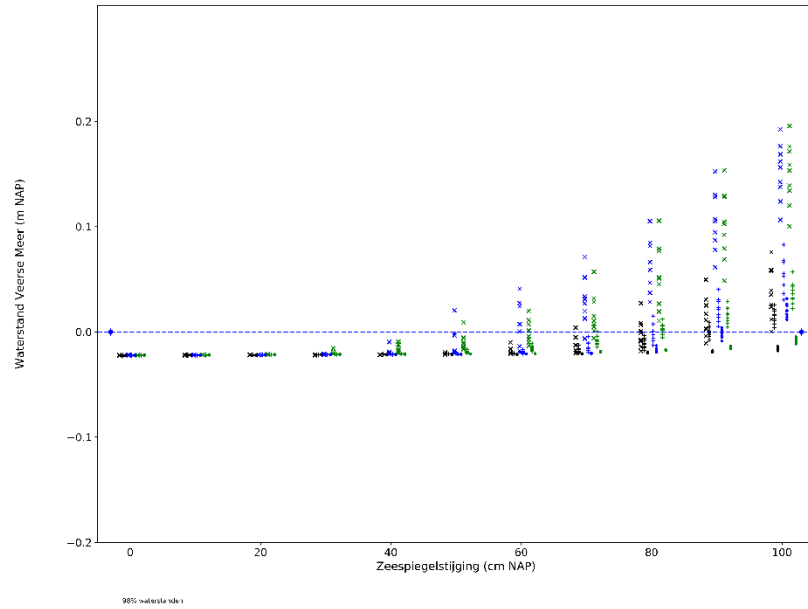
p98 (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2011)
 p98 (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2013)
 p98 (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2012)
 p98 (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2012)
 p98 (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2011)
 p98 (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2013)

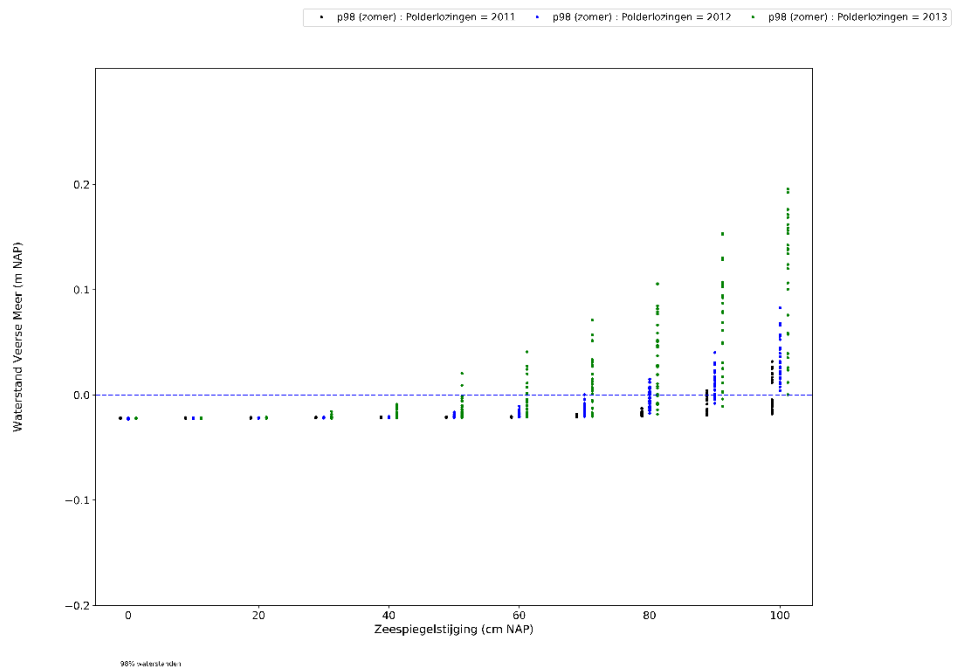
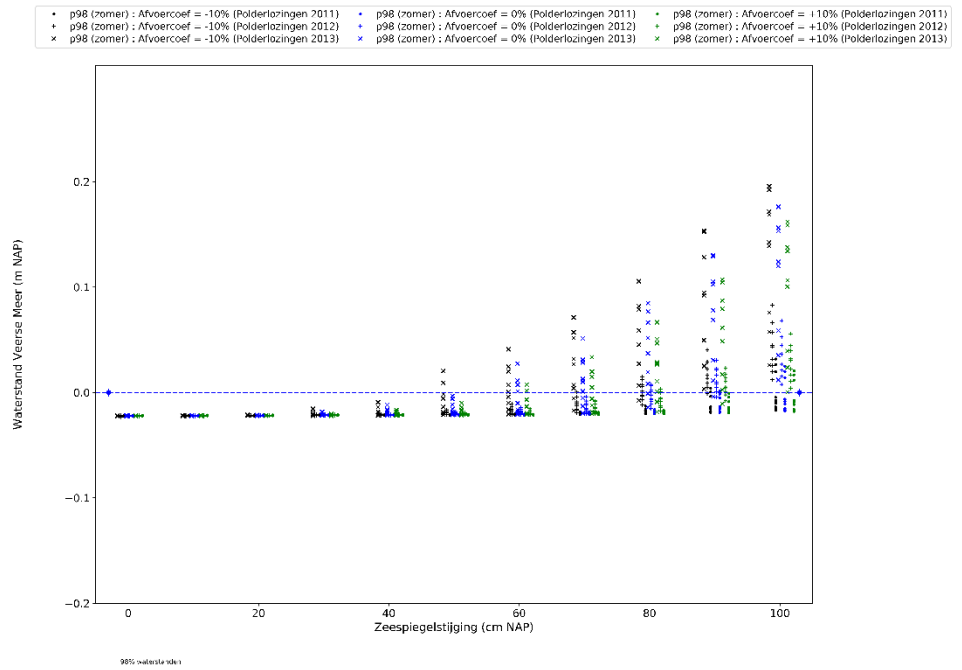


- p98 (zomer) : Sluiting kering = bij NAP + 3m (Polderlozingen 2011)
- p98 (zomer) : Sluiting kering = bij NAP + 3m (Polderlozingen 2012)
- p98 (zomer) : Sluiting kering = bij NAP + 3m (Polderlozingen 2013)
- p98 (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2011)
- p98 (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2012)
- p98 (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2013)

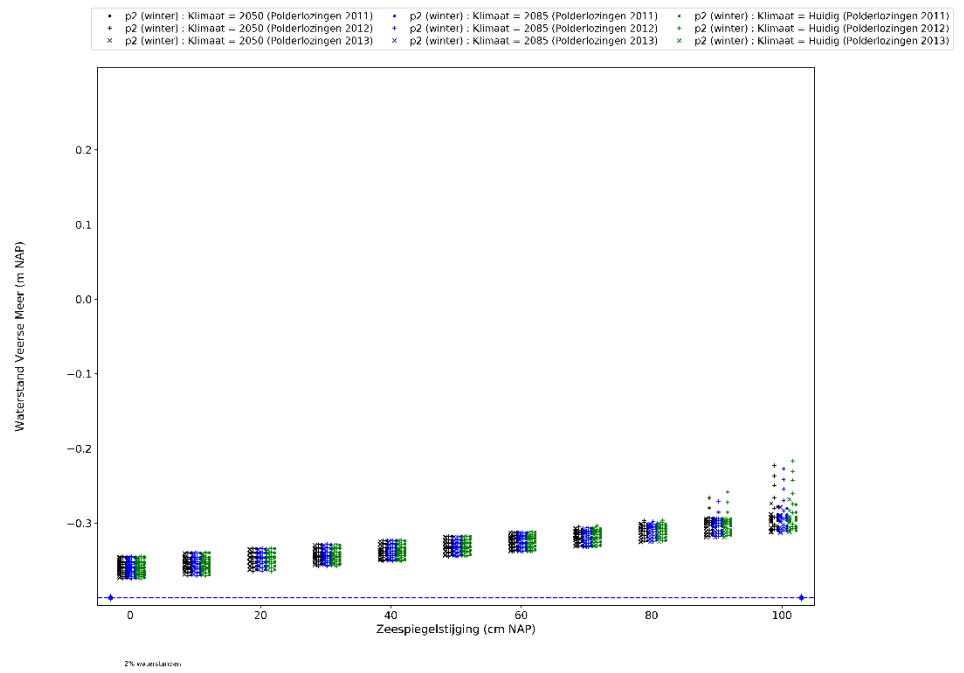


- p98 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- p98 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)

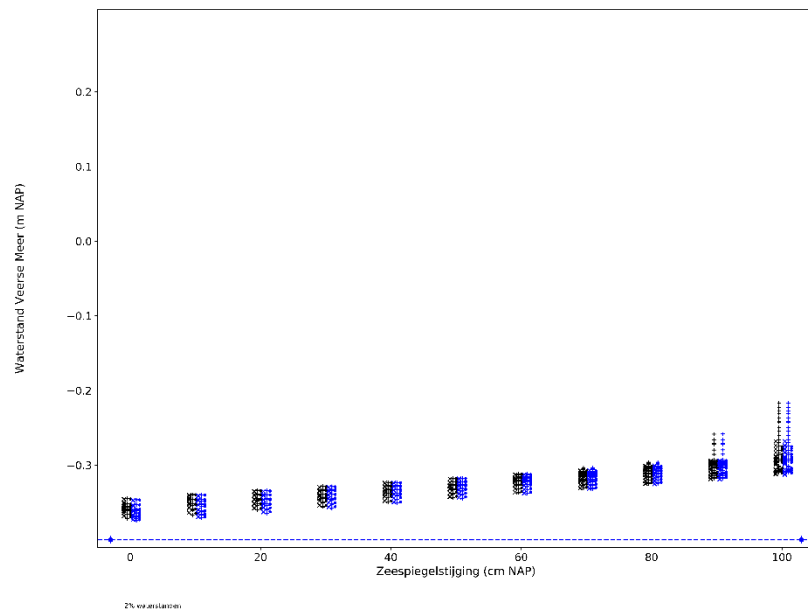




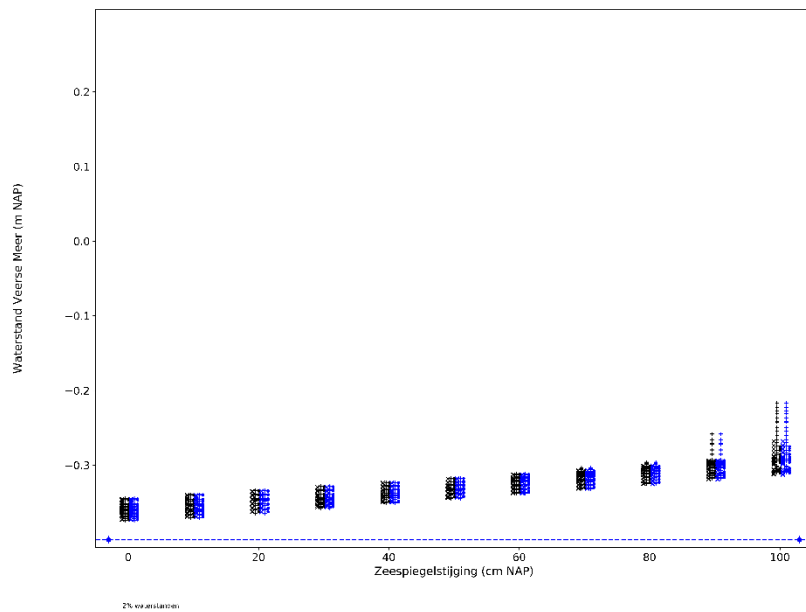
C.1.3 Minimale waterstand winter (P2)



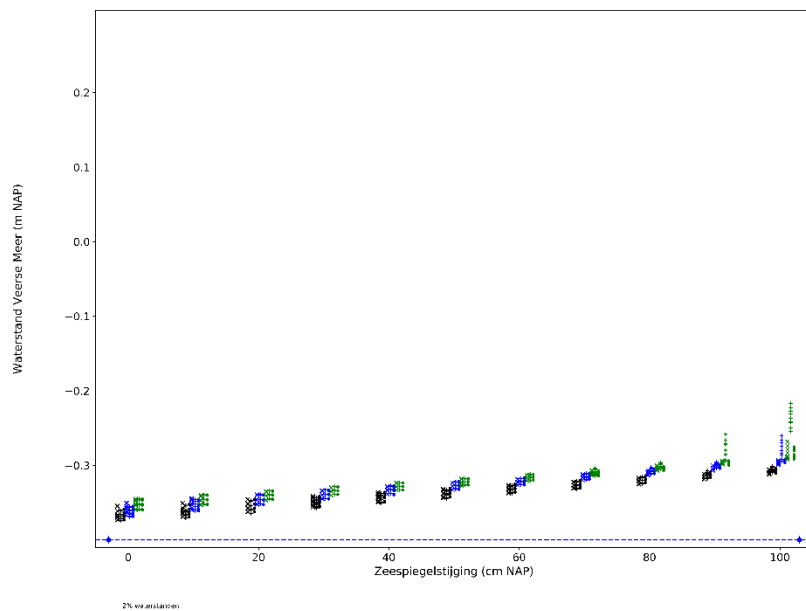
- p2 (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >7m (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >7m (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2013)



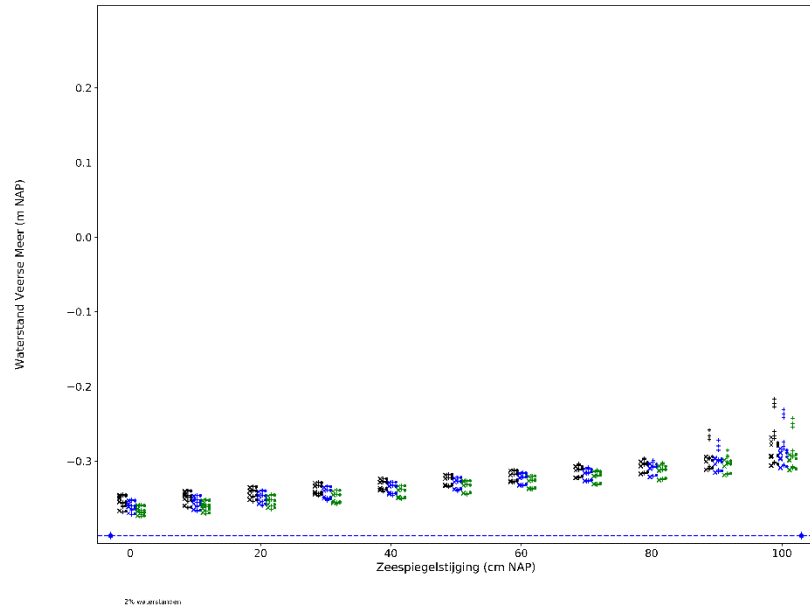
- p2 (winter) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2013)



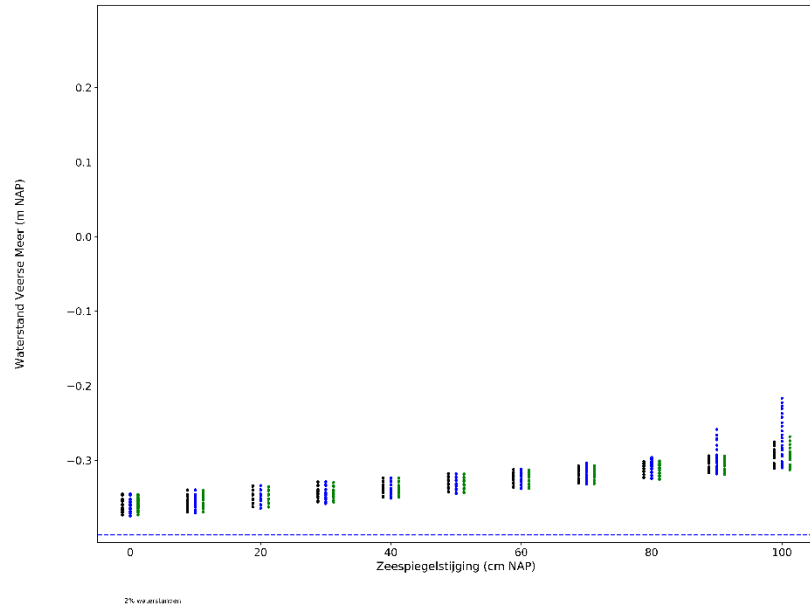
- p2 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



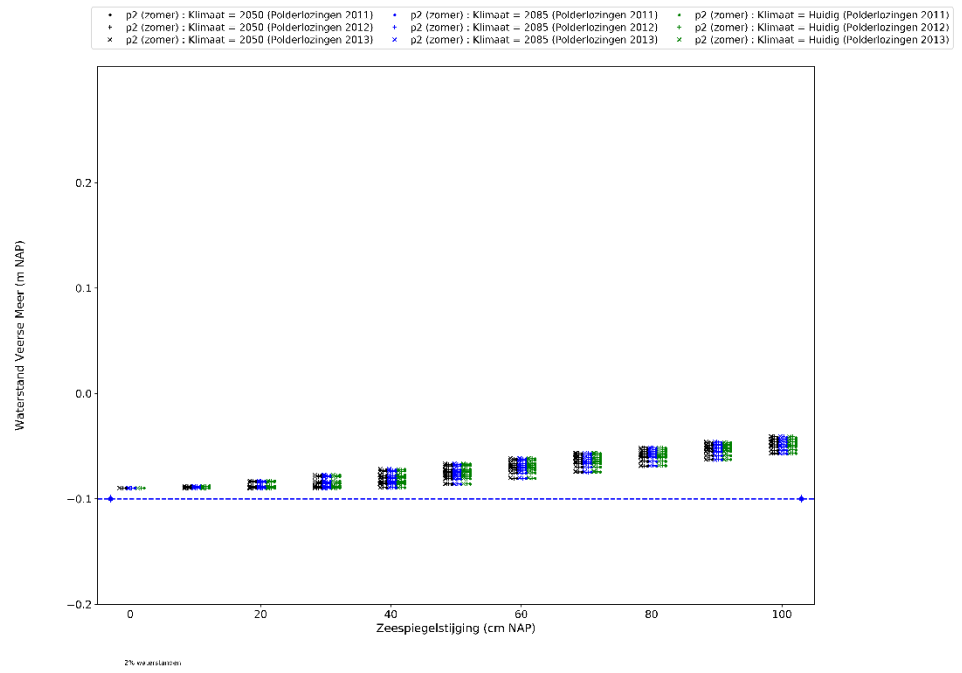
- p2 (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2013)
- p2 (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2011)
- p2 (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2012)
- p2 (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2013)



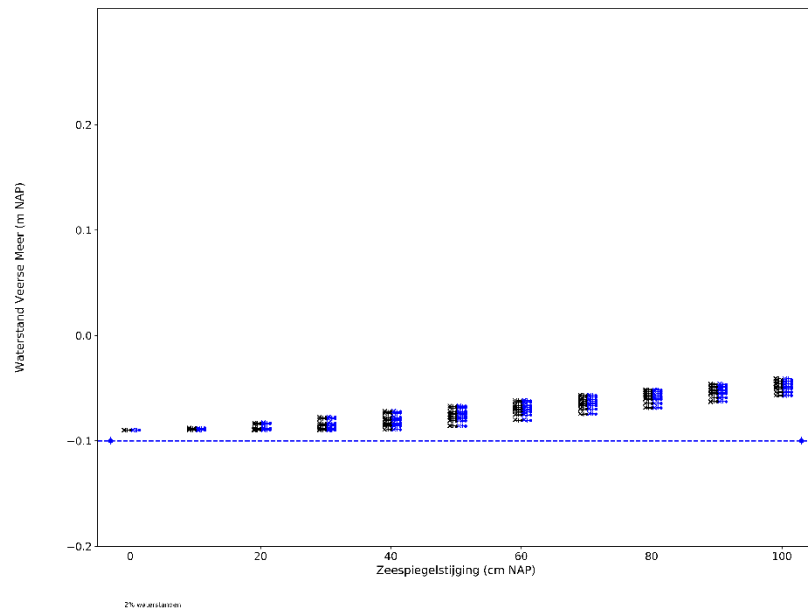
- p2 (winter) : Polderlozingen = 2011
- p2 (winter) : Polderlozingen = 2012
- p2 (winter) : Polderlozingen = 2013



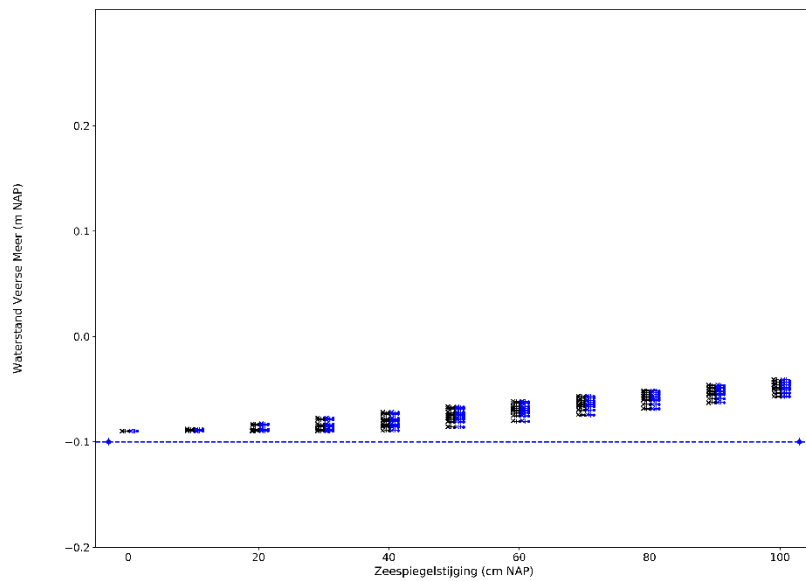
C.1.4 Minimale waterstand zomer (P2)



- p2 (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2013)
- p2 (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2013)

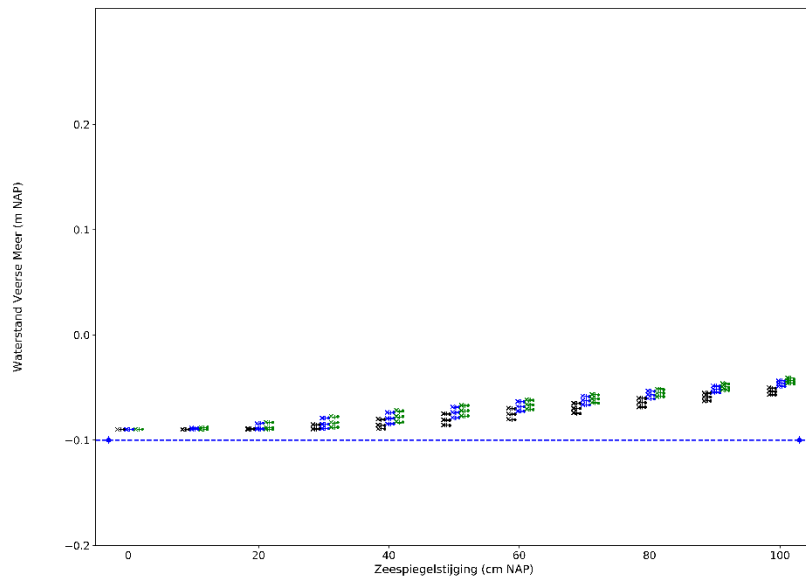


- p2 (zomer) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2013)
- p2 (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2013)



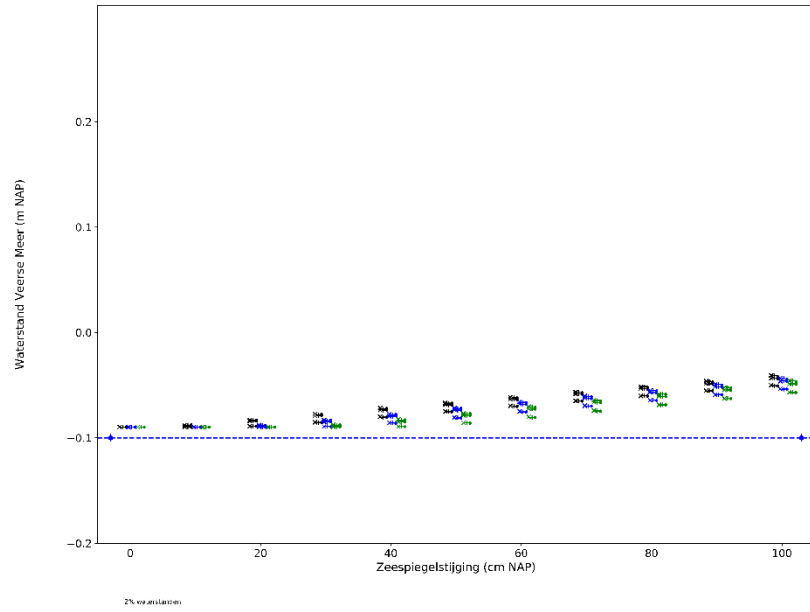
2% veranderingen

- p2 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)

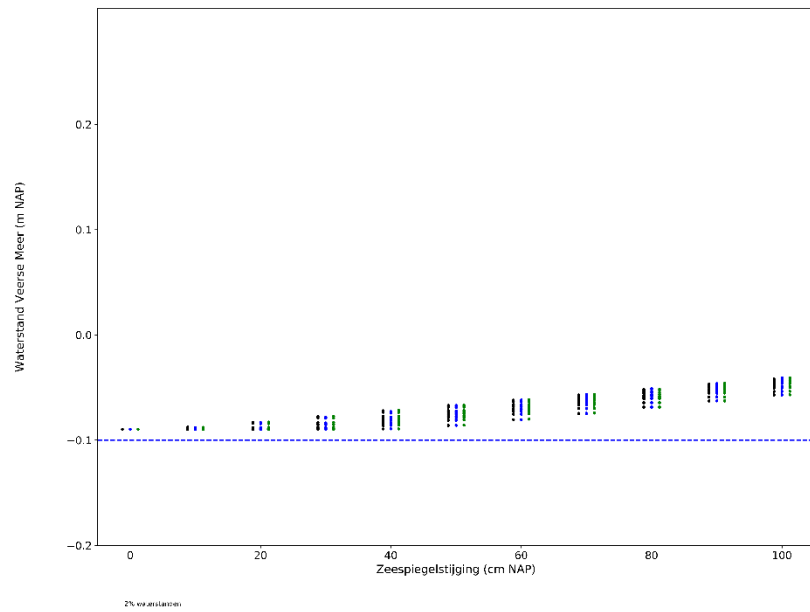


2% veranderingen

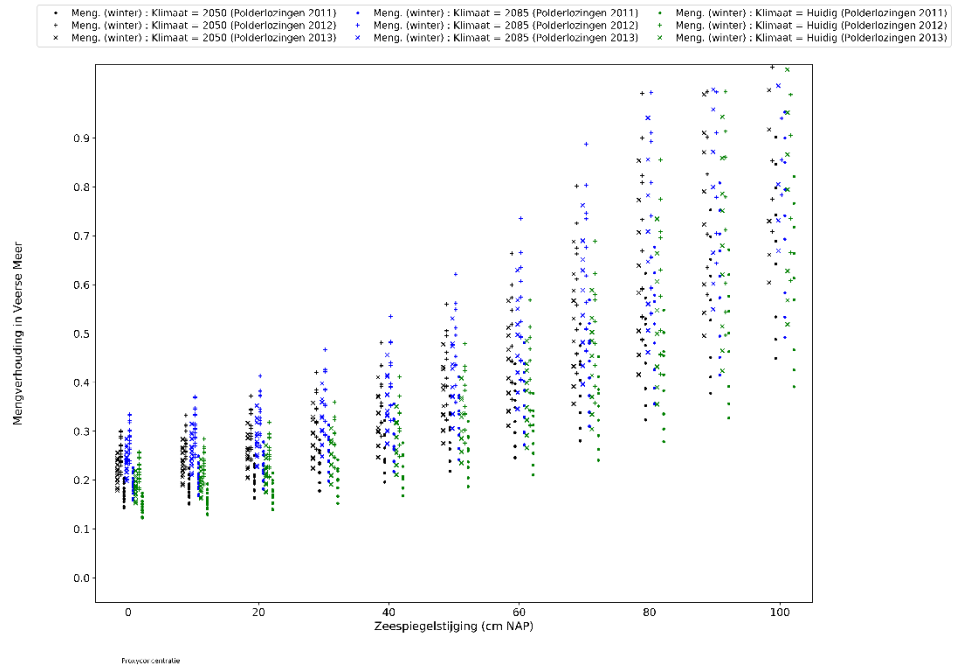
- p2 (zomer) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2013)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2013)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2011)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2012)
- p2 (zomer) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2013)



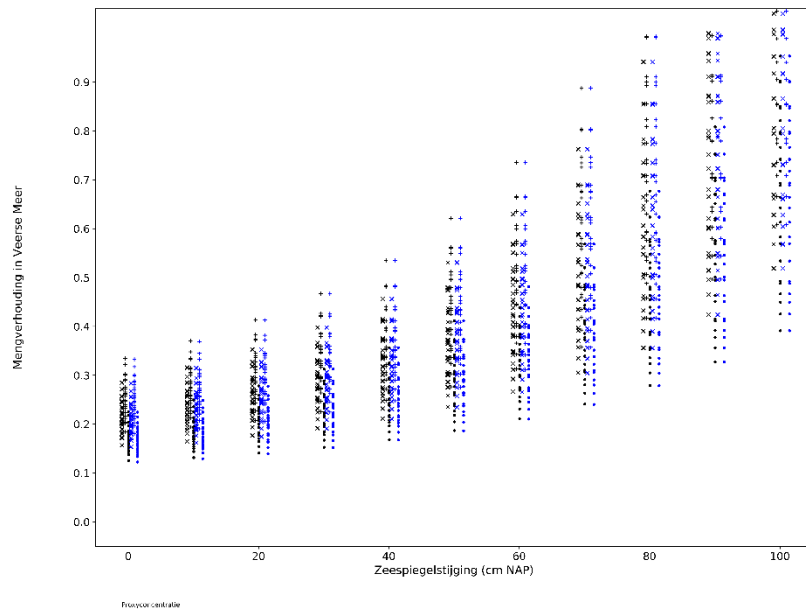
- p2 (zomer) : Polderlozingen = 2011
- p2 (zomer) : Polderlozingen = 2012
- p2 (zomer) : Polderlozingen = 2013



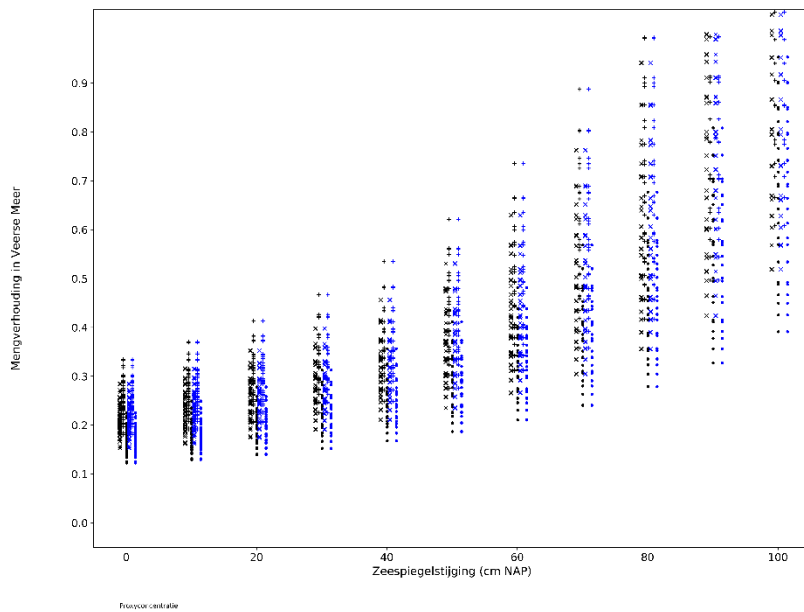
C.1.5 Mengverhouding winter



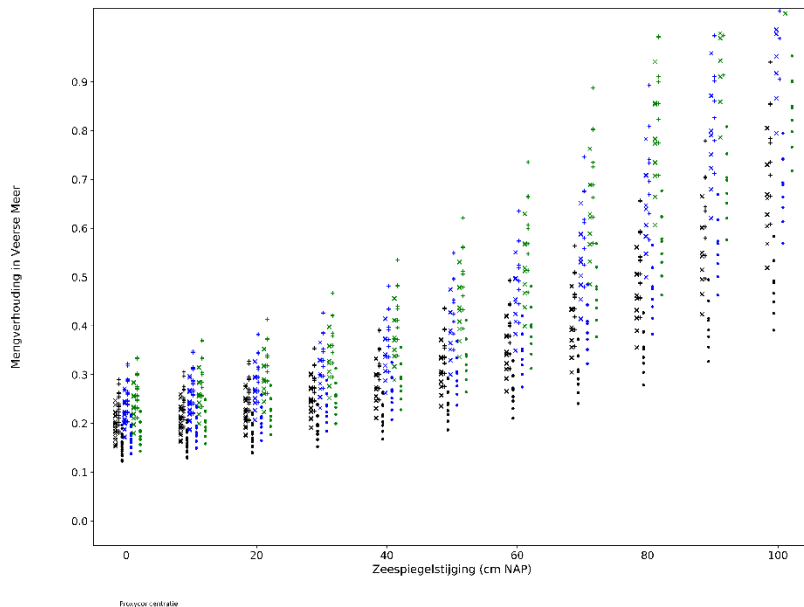
g. (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2011) x Meng. (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2013) + Meng. (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2012)
 g. (winter) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2012) • Meng. (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2011) x Meng. (winter) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2013)



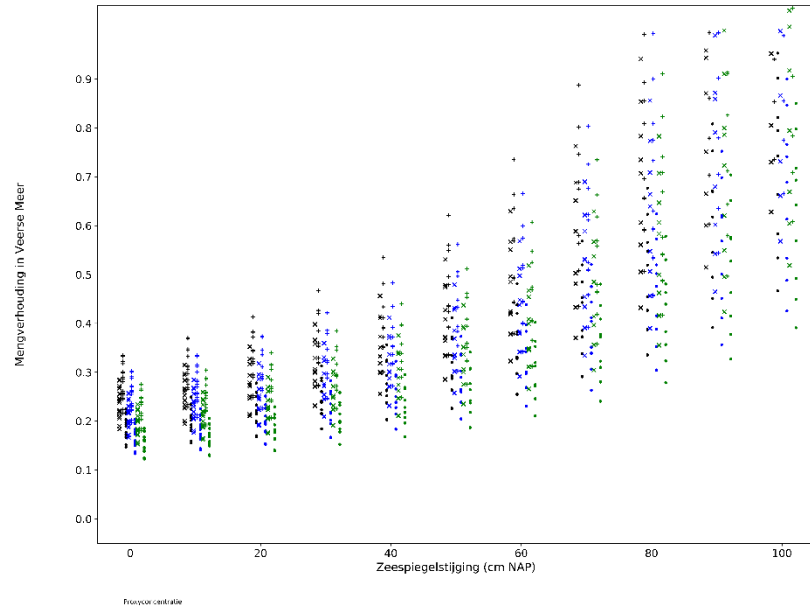
• Meng. (winter) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2011) × Meng. (winter) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2013) + Meng. (winter) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2012)
 • Meng. (winter) : Sluiting kering = bij NAP +3m (Polderlozingen 2012) • Meng. (winter) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2011) × Meng. (winter) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2013)



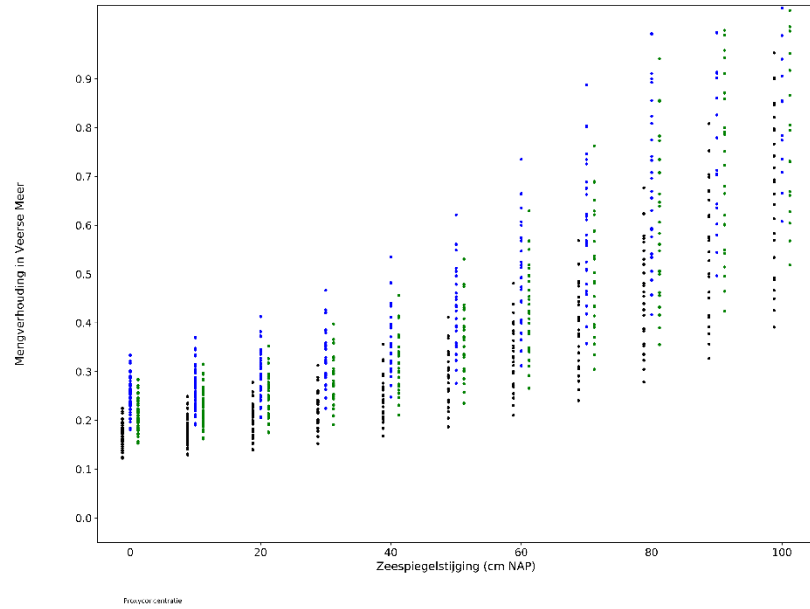
• Meng. (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011) • Meng. (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2011) + Meng. (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
 • Meng. (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012) • Meng. (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012) + Meng. (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
 × Meng. (winter) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013) × Meng. (winter) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013) × Meng. (winter) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



- Meng. (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2011)
- Meng. (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2011)
- Meng. (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2011)
- + Meng. (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2012)
- x Meng. (winter) : Afvoercoef = -10% (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (winter) : Afvoercoef = 0% (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (winter) : Afvoercoef = +10% (Polderlozingen 2013)

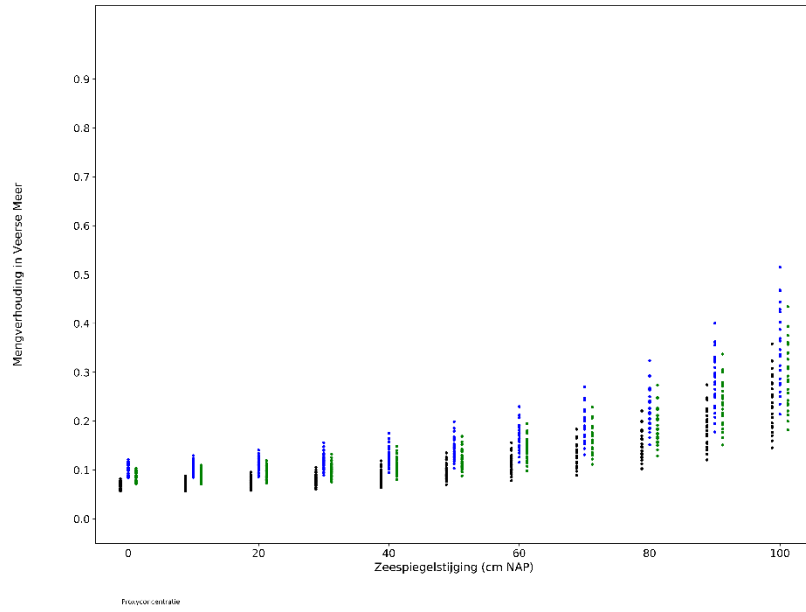


- Meng. (winter) : Polderlozingen = 2011
- Meng. (winter) : Polderlozingen = 2012
- Meng. (winter) : Polderlozingen = 2013

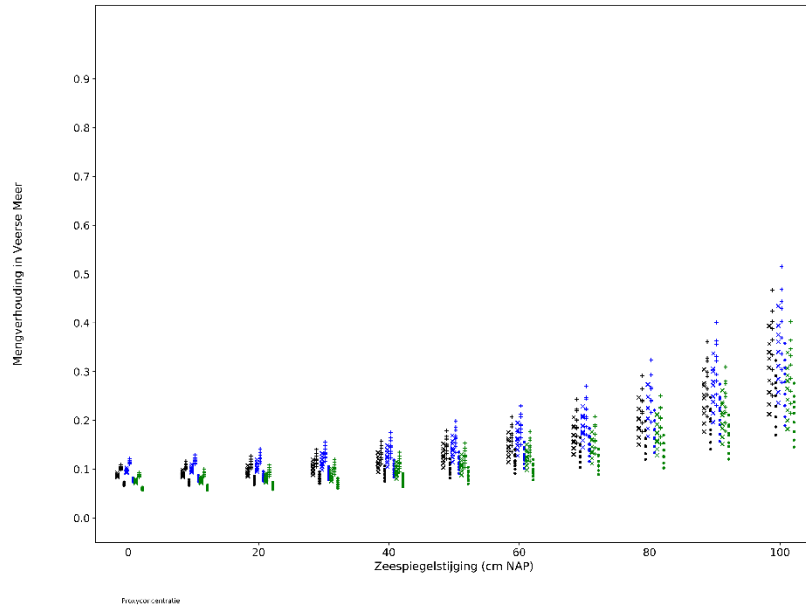


C.1.6 Mengverhouding zomer

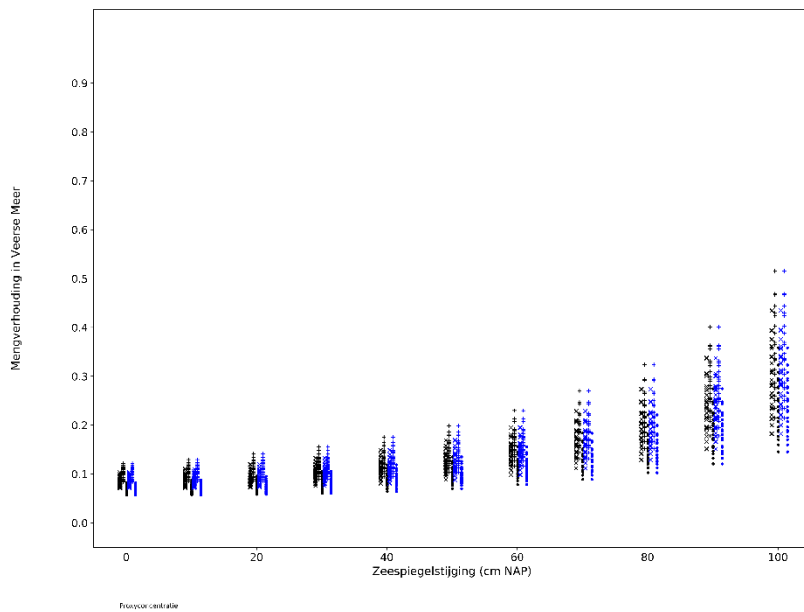
• Meng. (zomer) : Polderlozingen = 2011 • Meng. (zomer) : Polderlozingen = 2012 • Meng. (zomer) : Polderlozingen = 2013



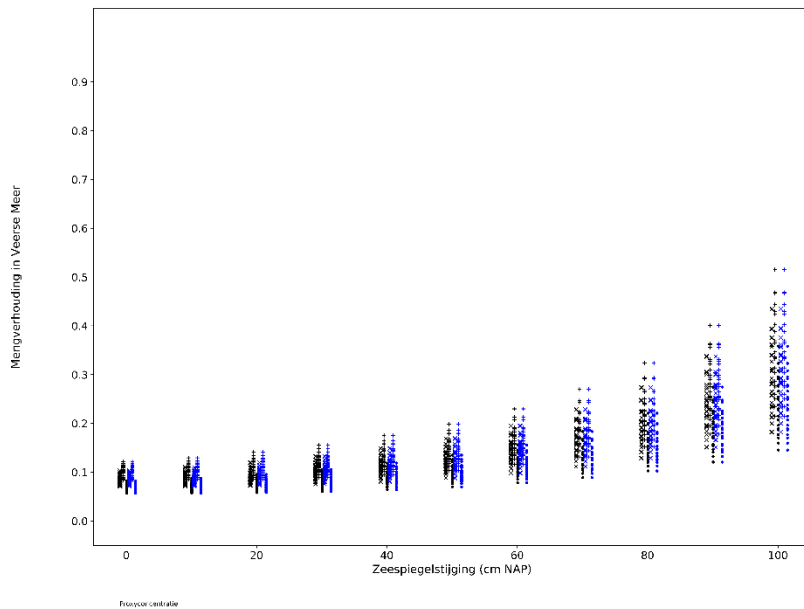
• Meng. (zomer) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2011) • Meng. (zomer) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2011) • Meng. (zomer) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2011)
 + Meng. (zomer) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2012) • Meng. (zomer) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2012) • Meng. (zomer) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2012)
 x Meng. (zomer) : Klimaat = 2050 (Polderlozingen 2013) x Meng. (zomer) : Klimaat = 2085 (Polderlozingen 2013) x Meng. (zomer) : Klimaat = Huidig (Polderlozingen 2013)



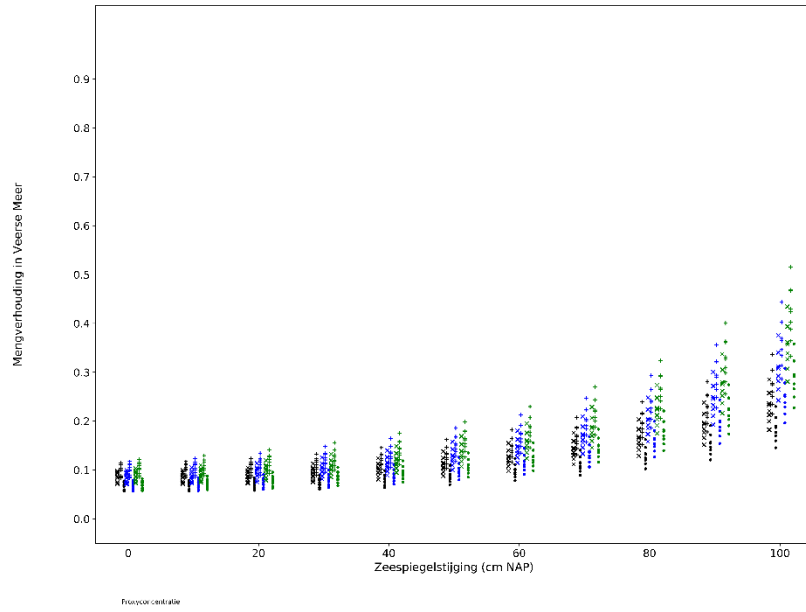
g. (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2011) x Meng. (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2013) + Meng. (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2012)
 g. (zomer) : KH Schuif = dicht <-2m en >2m (Polderlozingen 2012) • Meng. (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2011) x Meng. (zomer) : KH Schuif = geen beperking (Polderlozingen 2013)



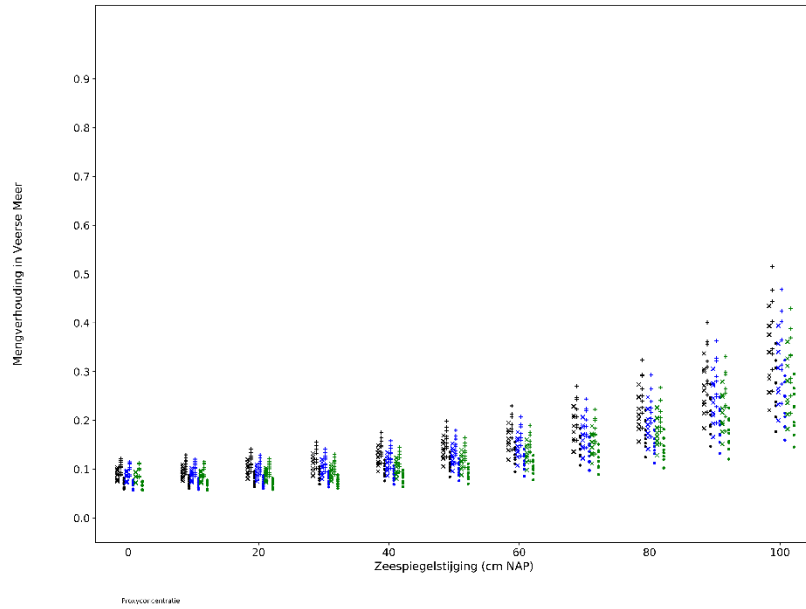
• Meng. (zomer) : Sluiting kering = bij NAP + 3m (Polderlozingen 2011) x Meng. (zomer) : Sluiting kering = bij NAP + 3m (Polderlozingen 2013) + Meng. (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2012)
 • Meng. (zomer) : Sluiting kering = bij NAP + 3m (Polderlozingen 2012) • Meng. (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2011) x Meng. (zomer) : Sluiting kering = nvt (Polderlozingen 2013)



- Meng. (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2011)
- Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2011)
- + Meng. (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2012)
- x Meng. (zomer) : Oosterschelde = 1996 (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2012 (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (zomer) : Oosterschelde = 2017 (Polderlozingen 2013)



- Meng. (zomer) : Afvoerc oef = -10% (Polderlozingen 2011)
- Meng. (zomer) : Afvoerc oef = 0% (Polderlozingen 2011)
- Meng. (zomer) : Afvoerc oef = +10% (Polderlozingen 2011)
- + Meng. (zomer) : Afvoerc oef = -10% (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (zomer) : Afvoerc oef = 0% (Polderlozingen 2012)
- + Meng. (zomer) : Afvoerc oef = +10% (Polderlozingen 2012)
- x Meng. (zomer) : Afvoerc oef = -10% (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (zomer) : Afvoerc oef = 0% (Polderlozingen 2013)
- x Meng. (zomer) : Afvoerc oef = +10% (Polderlozingen 2013)



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