

Aan: Projectteam Getij Grevelingen

Van: René Boeters, met medewerking van Arthur de Boom

Onderwerp: Klimaatrobustheid Getij Grevelingen, 2009 versus 2008 Bijlage(n): -

Kenmerk: **HB#3733732** Status: Definitief

Datum: 31-07-2019

Disclaimer:

Ten behoeve van de verkenning naar de effecten en haalbaarheid van het project Getij Grevelingen lopen diverse onderzoeken en worden verschillende bijeenkomsten georganiseerd. Dit document is opgesteld in het kader van deze verkenningsfase. Lopende onderzoeken en gesprekken zijn gericht op uiteindelijke besluitvorming ten behoeve van het MIRT 2 besluit over het project. Individuele uitspraken of deelresultaten in dit rapport of verslag dienen in deze context te worden beschouwd en hebben dan ook verder geen zelfstandige juridische of beleidsmatige status.

Klimaatrobustheid, 2009 versus 2008

1 Definitie Klimaatrobustheid

Als maat voor klimaatrobustheid van een doorlaatmiddel in de Brouwersdam plus het daarmee te realiseren peilbeheer beschouwen we het aantal centimeters zeespiegelstijging ten opzichte van 1995, waarbij een gemiddeld getij van 40 centimeter wordt onderschreden en daarmee één van de projectdoelstellingen, het verbeteren van de waterkwaliteit op de Grevelingen, niet meer wordt gegarandeerd.

We beschouwen een combinatie van doorlaatmiddel en peilbeheer klimaatrobust als hiermee bij 40 cm zeespiegelstijging nog een gemiddeld getij van (ten minste) 40 cm op de Grevelingen mogelijk is.

2 Bepaling van mate van klimaatrobustheid

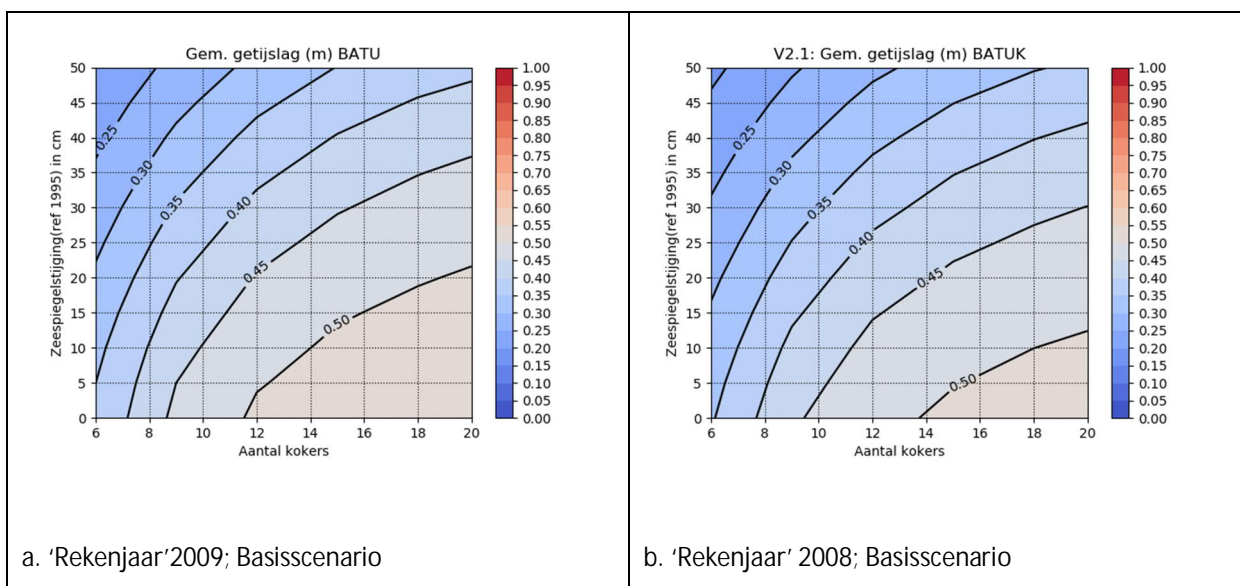
Bij de berekeningen die hiervoor worden gemaakt gebruiken we de jaarreeksen van opgetreden waterstanden op zee (ter plekke van de Brouwersdam, Brouwershavense Gat 8) en op de Oosterschelde (bij de Flakkeese Spuisluis, Krammersluizen West). Deze waterstanden bepalen het verval over de doorlaatmiddelen in de Brouwersdam en in de Grevelingendam en daarmee de wateruitwisseling tussen Noordzee, respectievelijk Oosterschelde en Grevelingen, afhankelijk van de grootte en instellingen van de doorlaatmiddelen.

Om zeespiegelstijging in rekening te brengen worden de beschouwde jaarreeksen gerelateerd aan het referentiejaar 1995 met 0 cm zeespiegelstijging (conform de KNMI'14 scenario's). Vervolgens worden de

jaarreeksen in stappen van 5 cm verhoogd om de zeespiegelstijging te simuleren. De uitkomsten van de berekeningen laten zien tot welke mate van zeespiegelstijging een peilstrategie functioneel is, en dus klimaatrobuust. De eerste serie berekeningen in 2018 is gemaakt met tijdreeksen voor het jaar 2009. In 2019 is overgestapt op tijdreeksen voor het jaar 2008.

3 Verschillen tussen 2008 en 2009

Bij het overgaan van 2009 naar 2008 als 'rekenjaar' voor de (0-D) sommen waarmee de klimaatrobuustheid voor een doorlaatmiddel als functie van het aantal kokers wordt bepaald, hebben we aanzienlijke verschillen in de uitkomsten voor klimaatrobuustheid gevonden. In figuur 1 staat een voorbeeld van de geconstateerde verschillen tussen 2008 en 2009.



Figuur 1. Voorbeeld van verschillen tussen 'rekenjaren' 2009 en 2008.

Beide figuren tonen het verband tussen het aantal kokers van het doorlaatmiddel, de mate van zeespiegelstijging en de gemiddelde getijslag op de Grevelingen. Voor 2009 wordt bij de inzet van 14 kokers de getijslag van 40 cm onderschreden bij een zeespiegelstijging van 38 cm. Voor 2008 gebeurt dit bij een zeespiegelstijging van 32 cm.

Die verschillen zijn het gevolg van andere (gemiddelde) waterstanden op de Noordzee en de Oosterschelde in deze jaren. Bij nadere beschouwing hebben we deze verschillen kunnen vaststellen. Zo blijkt het jaargemiddelde zeeniveau in 2008 4,4 cm hoger te zijn dan in 2009, zie paragraaf 5.

Bij die vaststelling hebben we ook moeten concluderen dat de aangenomen relatie tussen de gemiddelde zeespiegel in 2009 en die in 1995 verkeerd is geweest. Hierdoor is de klimaatrobuustheid van de doorlaatmiddelen plus peilbeheer, uitgaande van de opgetreden waterstanden in 2009, met meer dan 5 centimeter zeespiegelstijging overschat.

4 Gevolgen voor de analyses van WMR voor effecten van peilbeheersscenario's op Natura2000 instandhoudingsdoelen

WMR gebruikt voor de analyses van de effecten op Natura2000 alleen de uitkomsten voor het jaar 2008. Verder beschouwt WMR alleen de effecten die kunnen optreden direct na ingebruikname van het doorlaatmiddel, rond 2025. Bij de analyses van WMR speelt klimaatrobustheid (dus) geen rol.

Omdat WMR alleen kijkt naar de periode van ingebruikname van het doorlaatmiddel is er ook nog geen sprake van significante veranderingen in waterstanden en gemiddeld getij als gevolg van zeespiegelstijging.

Met andere woorden, de analyses van WMR zijn gebaseerd op correcte aannames en berekeningen voor de optredende waterstanden op de Grevelingen.

5 Analyse van de verschillen tussen 2008 en 2009

Bij de analyse is gebruik gemaakt van een overzicht van de jaargemiddelde, gemeten zeespiegel voor BG8, voor de jaren 1988 – 2017. Zie tabel 1. Het vermelde percentage dummywaarden betreft het deel van de tijd dat er geen meetwaarden beschikbaar zijn. Voor 1995, 2008 en 2009 is dit 0%.

Uit de tabel blijkt:

- de jaargemiddelde zeespiegel in 1995 is NAP +0,9 cm;
- de jaargemiddelde zeespiegel in 2008 is NAP +3,7 cm;
- de jaargemiddelde zeespiegel in 2009 is NAP – 0,7 cm.

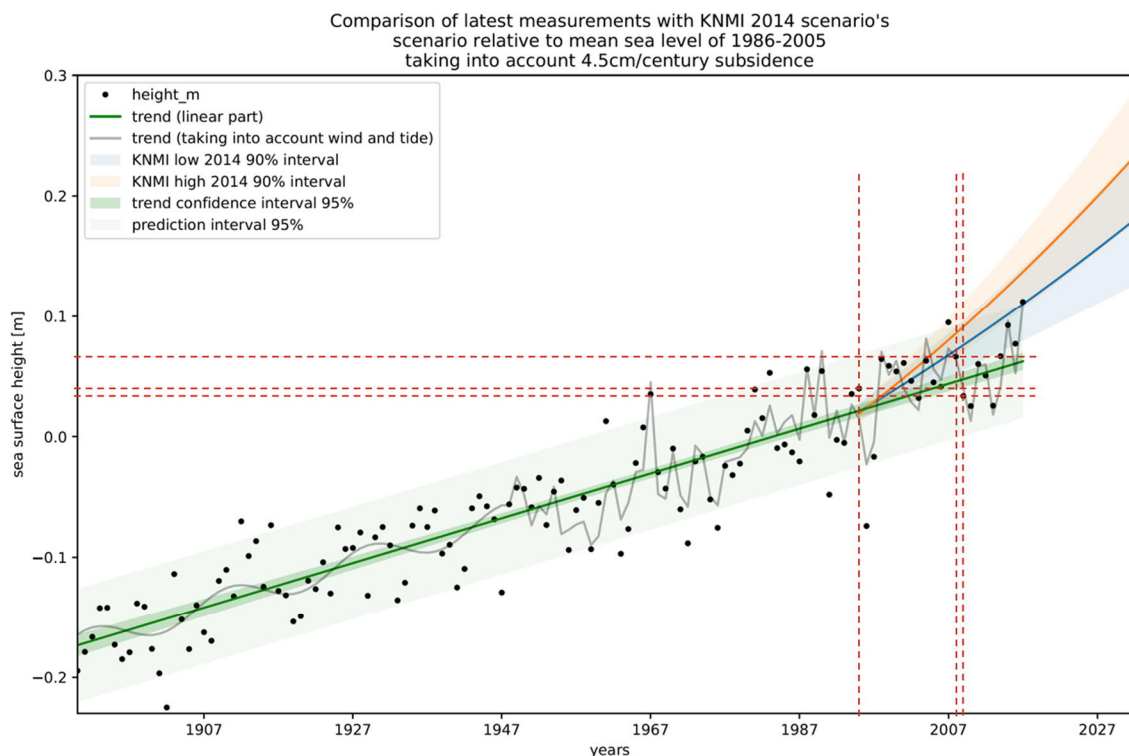
Er is dus een verschil van 4,4 cm tussen de gemiddelden van 2008 en 2009.

```
# Jaargemiddelde waterstand BG8
>jaar
>jaargemiddelde waterstand [cm NAP]
>percentage dummy waarden [%]
```

1988	3.7	1.7
1989	1.7	2.1
1990	3.0	2.6
1991	-6.2	3.1
1992	-1.5	0.7
1993	-3.1	2.6
1994	-1.4	4.6
1995	0.9	0.0
1996	-8.5	10.6
1997	-4.4	6.0
1998	2.4	1.7
1999	1.0	32.3
2000	0.6	23.5
2001	3.6	2.4
2002	1.6	7.5
2003	1.2	13.5
2004	3.5	1.2
2005	1.5	0.3
2006	2.0	7.4
2007	5.5	0.0
2008	3.7	0.0
2009	-0.7	0.0
2010	-0.9	0.0
2011	-0.6	0.3
2012	-1.3	3.3
2013	-0.7	0.0
2014	1.7	5.8
2015	4.3	0.3
2016	6.3	1.0
2017	8.3	0.1

Tabel 1 Jaargemiddelde waterstanden bij BG8. Bron: Piet Lieveense

Uit onderstaande figuur 2 blijkt (ook) dat er een grote jaarlijkse variatie is van de niveaus van de gemiddelde zeespiegel bij de Nederlandse kust. Deze figuur is afkomstig uit de Zeespiegelmonitor 2018, Deltares 2019. Met de rode streepjeslijnen zijn de jaren 1995, 2008 en 2009 aangegeven. De zwarte punten zijn de gemeten relatieve zeespiegelniveaus gemiddeld over de zes hoofdgetijstations van Nederland. (De getallen zijn niet direct te vergelijken met BG8 omdat dit niet een van de hoofdgetijstations is.) Het relatieve zeespiegelniveau is de combinatie van het absolute zeespiegelniveau en de absolute bodemdaling¹.



Figuur 6.7: Vergelijking tussen metingen en zeespiegelscenario's van (Van den Hurk et al., 2014), inclusief bodemdaling. De bandbreedte van de KNMI scenario's is gebaseerd op een polynome fit door de 90% percentielen van de ensemble members. De betrouwbaarheids (donkergroen) en predictieintervallen (lichtgroen) van de trend van de huidige zeespiegel zijn gebaseerd op de 95% percentielen van de verdeling van de standaardfout en standaardafwijking van het gebruikte model om de zeespiegelstijging te bepalen.

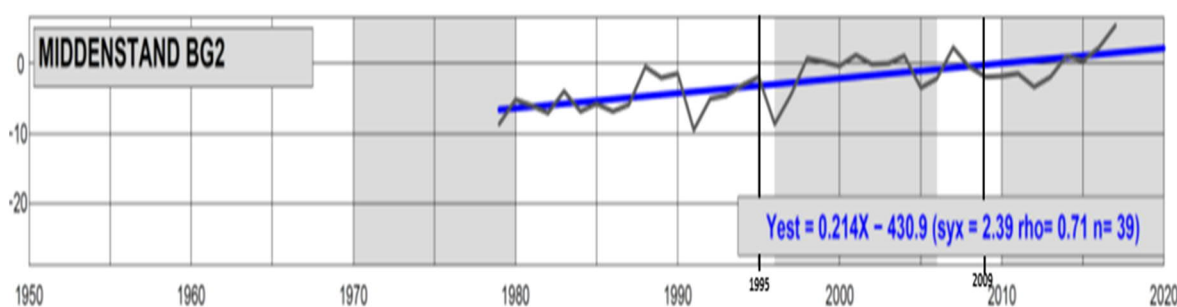
Figuur 2. Verloop gemeten gemiddelde relatieve zeespiegelniveau langs Nederlandse kust. Bron: Zeespiegelmonitor 2018

Figuur 2 is in lijn met de geconstateerde verschillen tussen de jaren 1995, 2008 en 2009. De groene trendlijn laat overigens zien dat de relatieve zeespiegelstijging minder snel verloopt dan volgens de KNMI 2014 scenario's (blauwe en rode lijn).

¹ Voor de functies van de kust is de relatieve zeespiegelstijging van belang, de combinatie van absolute zeespiegelstijging en absolute bodemdaling. Daarnaast is voor het land achter de kust ook de absolute bodemdaling van belang om te bepalen hoe de overstromingsgevoeligheid toe neemt. [Bron: Zeespiegelmonitor 2018]

6 Correctie voor de relatie tussen gemiddelde zeespiegel in 2009 en 1995

Bij het vaststellen van de relatie tussen gemiddelde zeespiegel in 2009 en 1995 is gebruik gemaakt van de trendlijn in figuur 3. Deze trendlijn is afgeleid voor een ander meetpunt op zee, Brouwershavense Gat 2, dat ongeveer 15 kilometer ten westen van de Brouwersdam ligt.



Figuur 3. Verloop gemiddelde zeeniveau bij BG2 en trendlijn.

Op basis van de trendlijn is gesteld dat het gemiddelde zeeniveau in 2009 ongeveer 5 cm hoger is dan in 1995. De gemeten waterstanden bij meetpunt BG2 zijn echter minder representatief voor de waterstanden bij de Brouwersdam dan die bij meetpunt BG8. En uit nadere beschouwing van het werkelijke verloop van de gemiddelde waterstand bij BG2 blijkt tevens dat de gemiddelde waterstand in 2009 niet hoger ligt dan in 1995.

Ten onrechte is dus aangenomen dat de waterstand in het 'rekenjaar' 2009 5 cm hoger ligt dan in het referentiejaar 1995. Uit tabel 1 blijkt dat de gemiddelde waterstand in 2009 1,6 cm, afgerond 2 cm, onder de gemiddelde waterstand in 1995 ligt.

Om de berekeningsresultaten voor 2009 te corrigeren dient een verschuiving van de Y-as in de grafieken, zoals getoond in figuur 1a, te worden uitgevoerd met -7 centimeter. Immers, de aangenomen zeespiegelstijging van 5 cm in 2009 is op grond van het bovenstaande een daling van 2 cm. Dus voor de waarde op de Y-as dient voor +5 een waarde van -2 te worden gelezen. Voor de waarde van 40 cm op de Y-as dient dan een waarde van 33 cm te worden aangehouden.

7 Vergelijking van resultaten voor 2008 en 2009

Voor het peilbeheerscenario Basis plus peilvariaties gedurende het broedseizoen en de winter (BBW) is een analyse gemaakt van de verschillen tussen de uitkomsten van berekeningen met het (0-D) waterkwantiteitsmodel voor de jaren 2008 en 2009, zonder verschuivingen van het gemiddelde zeeniveau. Dat betekent dat de berekeningsresultaten zijn vergeleken voor de werkelijk opgetreden zeespiegelniveaus in 2008 en 2009. Hierbij is voor het doorlaatmiddel een omvang van 12 kokers aangehouden.

Beschouwd zijn de resultaten voor de getijslag en de gemiddelde waterstand op de Grevelingen per maand en voor het zomer- en winterhalfjaar. Ook zijn het aantal en de duur van de momenten bepaald waarop het doorlaatmiddel gesloten moet blijven wegens te hoge waterstanden op zee en er dus geen uitwisseling mogelijk is.

Door deze vergelijking wordt een indruk verkregen van de spreiding in uitkomsten die niet alleen wordt veroorzaakt door het verschil in hydraulische en meteorologische condities in beide jaren, maar ook door de wijze waarop met de inzet van het doorlaatmiddel wordt gestuurd op hoogwaterniveaus en getijslagen op de Grevelingen.

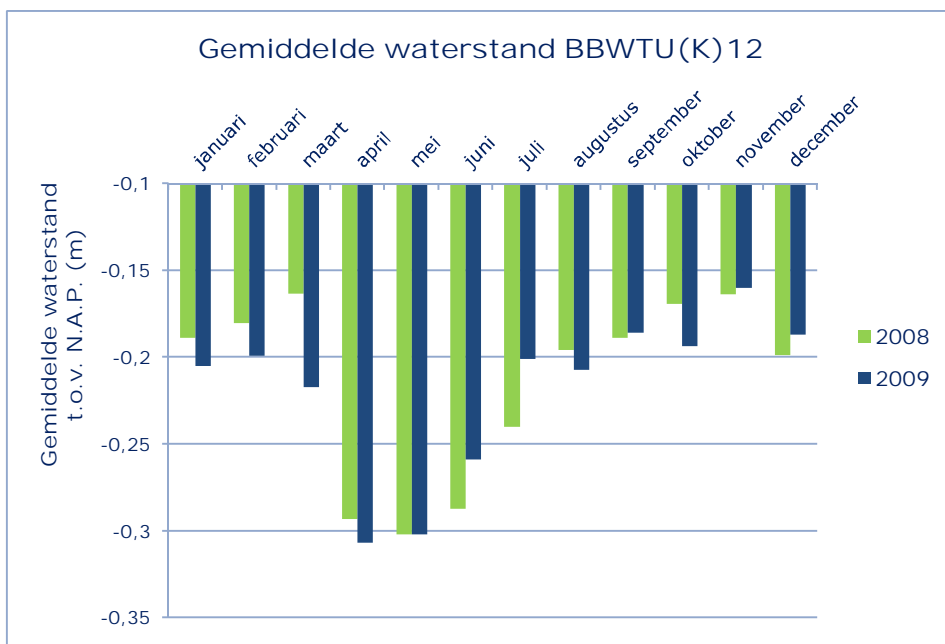
In tabel 2 zijn enkele resultaten samengevat.

Vergelijking 2008 en 2009 voor peilbeheer volgens Basis plus broedseizoen en winteropzet (BBW) voor 12 kokers zonder turbines		
	2008	2009
Gemiddelde waterstand BG8 over het jaar (meter t.o.v. NAP)	0,04	-0,01
Gemiddelde waterstand BG8 over maanden april – september (meter t.o.v. NAP)	0,00	-0,04
Gemiddelde waterstand Grevelingen over het jaar (meter t.o.v. NAP)	-0,21	-0,22
Gemiddelde waterstand Grevelingen over april – september (meter t.o.v. NAP)	-0,25	-0,24
Gemiddelde getijslag Grevelingen over het jaar (cm)	47	50
Gemiddelde getijslag Grevelingen over april – september (cm)	48	50
Aantal sluitingen (10 minuten tijdstap) in april – september (% van de tijd)	2010 (8%)	1926 (7%)
Aantal sluitingen (10 minuten tijdstap) in oktober - maart (% van de tijd)	2826 (11%)	2314 (9%)
Aantal sluitingen (10 minuten tijdstap) in het jaar (% van de tijd)	4836 (9%)	4240 (8%)
Duur langste sluiting in april – september (minuten)	410 (21 juli)	330 (9 september)

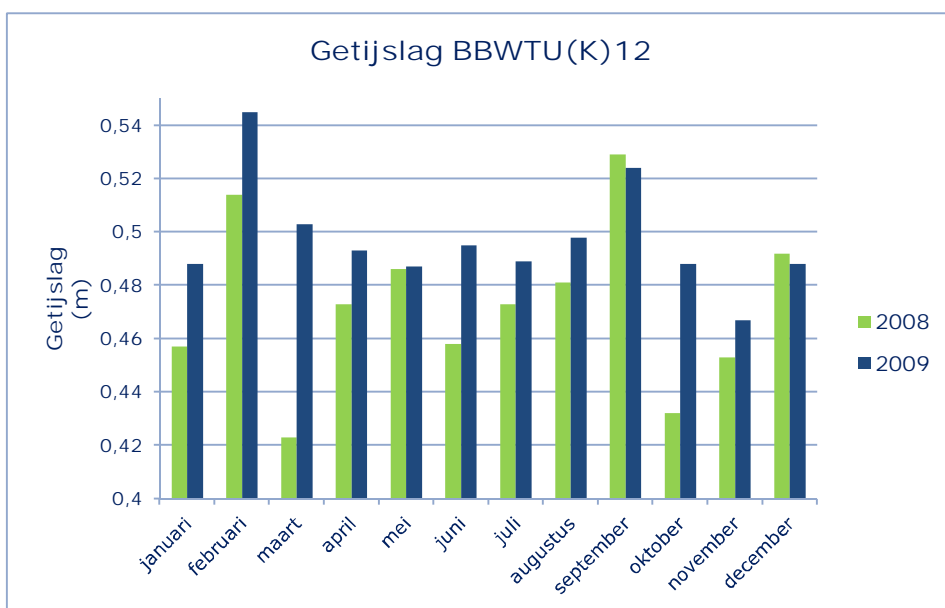
Tabel 2 Vergelijking 2008 en 2009; opgetreden en berekende waterstanden, getijslagen en sluitingen doorlaatmiddel

De tabel laat zien dat er duidelijke verschillen zijn tussen 2008 en 2009 in de condities die de wateruitwisseling tussen Noordzee en Grevelingen beïnvloeden, zoals de gemiddelde waterstanden aan de zeezijde en de periodes waarin het doorlaatmiddel gesloten is. Desondanks zijn de verschillen in gemiddelde waterstand op de Grevelingen en getijslag gering (enkele cm's). Dit is het gevolg van de sturing van het doorlaatmiddel, waarbij gestreefd wordt naar een zo groot mogelijke getijslag bij een vaste grens voor hoogwater op de Grevelingen, door een optimale inzet van het aantal kokers met behulp van predictive control (vooruitkijken).

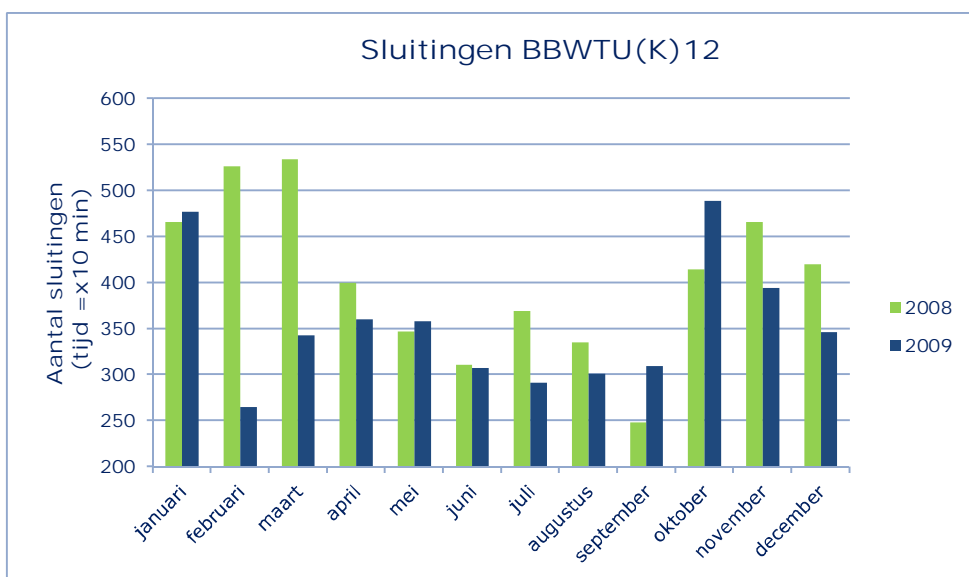
In de figuren hieronder is de vergelijking tussen beide jaren per maand weergegeven.



Figuur 4a. Vergelijking berekende gemiddelde waterstand per maand bij peilbeheerscenario Basis plus broedseizoen en winteropzet, rekenjaren 2008 en 2009



Figuur 4b. Vergelijking berekende gemiddelde getijslag per maand bij peilbeheerscenario Basis plus broedseizoen en winteropzet, rekenjaren 2008 en 2009



Figuur 4c. Vergelijking berekend aantal sluitingen per maand van het doorlaatmiddel bij peilbeheerscenario Basis plus broedseizoen en winteropzet, rekenjaren 2008 en 2009

Het meest in het oog springend is het grote verschil in het aantal sluitingen in de maanden februari en maart. In 2008 is het aantal veel groter dan in 2009. In 2008 is het gemiddelde zeeniveau in deze maanden hoger geweest als gevolg van windopzet. Gevolg hiervan is dat de getijslag in met name maart in 2008 aanzienlijk minder is dan in 2009. Omdat dit in het winterhalfjaar optreedt, heeft dit weinig consequenties voor het optreden van stratificatie en als gevolg daarvan zuurstofarme condities nabij de waterbodem. De gemiddelde waterstand in de wintermaanden wordt hoger, door de combinatie van vaker sluiten van het doorlaatmiddel en het instellen van een periodiek hoger peil in de wintermaanden, en is in maart 2008 het hoogst.

In de zomermaanden, de periode met de grootste kans op zuurstofarme condities, vinden de minste sluitingen plaats (minder stormcondities en dus weinig peilopzet op zee). Het verschil in gemiddelde getijslag tussen 2008 en 2009 in deze periode is klein. Het gemiddelde peil is in deze periode het laagst, vooral door het instellen van lagere peilen in het broedseizoen (april tot half juli).

Klimaatrobustheid

Wanneer de gecorrigeerde resultaten voor 2009 worden vergeleken met die voor 2008, zijn de verschillen in uitkomsten voor klimaatrobustheid klein.

Zo is in het voorbeeld van figuren 1a en 1b op basis van 'rekenjaar' 2009 de mate van zeespiegelstijging waarbij met 14 kokers een getijslag van 40 cm wordt overschreden na correctie 31 cm, tegen 32 cm voor 2008.

Opmerking:

Op basis van tabel 1 is de gemiddelde waterstand op zee bij meetpunt BG8 in 2008 2,8, afgerond 3, centimeter hoger dan in 1995. In de berekeningen van Deltares met het (0-D) waterkwantiteitsmodel is voor 2008 een zeespiegelstijging van 5 cm aangehouden in plaats van 3 cm. Besloten is dit verschil van 2 cm te accepteren, in de wetenschap dat er zowel een variatie is van meerdere centimeters in gemiddeld zeeniveau in opeenvolgende jaren (zie in figuur 2 de variatie van niveaus rond het jaar 2008), als gedurende het jaar, tussen winter- en zomermaanden. De verhoging van de waterstand op zee als gevolg van stormen is daar voor het grootste deel debet aan. Daarmee is het niet zinvol voor de gemiddelde zeeniveaus in de berekeningen een grotere mate van precisie te suggereren dan enkele centimeters. Dit houdt in dat rond de uitkomsten van de berekeningen voor de klimaatrobustheid rekening moet worden gehouden met een spreiding van enkele centimeters. (Bedacht moet worden dat de variaties in gemiddeld zeeniveau in opeenvolgende jaren ook kunnen leiden tot jaarlijkse variaties van de gemiddelde getijslag op de Grevelingen in dezelfde orde van grootte.)

Acceptatie van een afwijking voor de zeespiegelstijging van meer dan 5 cm, zoals voor het jaar 2009 ten opzichte van 1995 is geconstateerd, zou echter leiden tot een te grote onnauwkeurigheid in de uitkomsten.

8 Consequenties voor klimaatrobustheid van varianten doorlaatmiddel plus peilbeheer

Met de verkeerd aangenomen relatie tussen gemiddelde waterstand op zee in de jaren 1995 en 2009 hebben we ons dus 'rijk gerekend' voor de klimaatrobustheid van combinaties van doorlaatmiddelgrootte en peilbeheer. Na correctie voor het jaar 2009 en op basis van de uitkomsten van 'rekenjaar' 2008 liggen de waarden voor de omvang van zeespiegelstijging die de beschouwde varianten kunnen opvangen circa 7 cm lager. Dit betekent dat om in één keer een klimaatrobuste variant te realiseren er meer kokers nodig zijn dan aanvankelijk becijferd. In het voorbeeld van figuur 1 zijn 18 kokers nodig in plaats van 15.

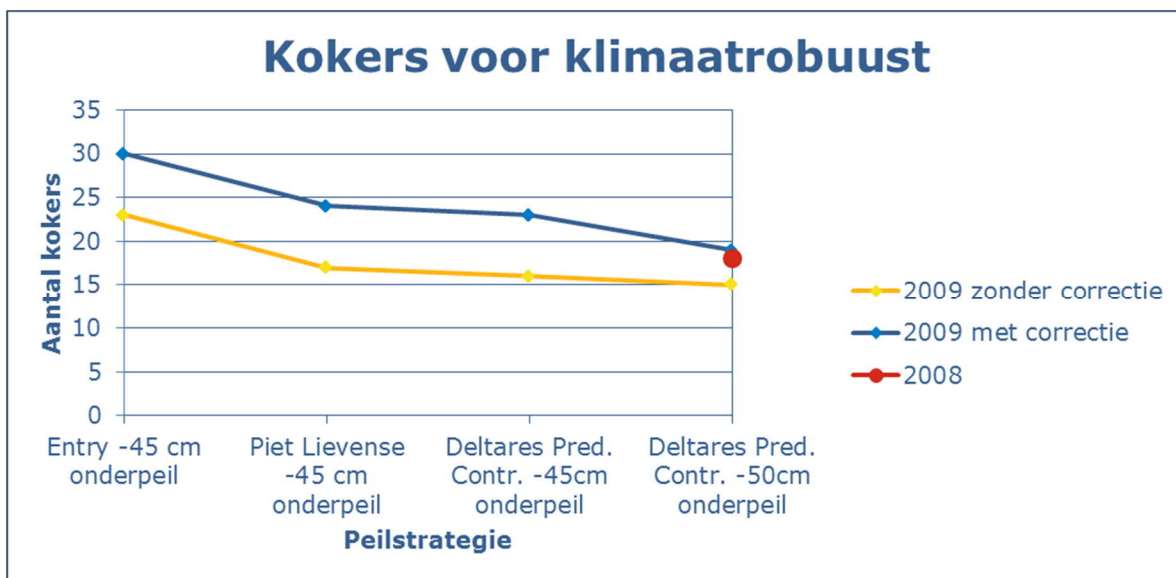
Wanneer omwille van het beschikbare budget een doorlaatmiddel van beperkte grootte wordt gerealiseerd zal dit eerder moeten worden aangepast om alsnog klimaatrobust te zijn. Bij een kokeraantal van 12 zal in het voorbeeld van figuur 1 al bij een zeespiegelstijging van 25 cm in plaats van 33 cm een aanpassing nodig zijn. Afgezet tegen de grafieken van de klimaatscenario's van het KNMI is dit ongeveer 13 tot 15 jaar eerder (2055 in plaats van 2070 bij klimaatscenario Gematigd).

9 Consequenties voor het Memo Klimaatrobustheid

In het Memo Klimaatrobustheid (versie maart 2019) wordt een voorstel gedaan voor de keuze van uitgangspunten die kunnen leiden tot een klimaatrobuste variant van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam en het daarmee te realiseren peilbeheer. In het memo wordt aan de hand van berekeningen, gebaseerd op het 'rekenjaar' 2009, uitgelegd dat, wanneer de strikte peilgrenzen voor het gemiddelde en laagste peil van de getijslag op de Grevelingen volgens de ontwerp-Rijksstructuurvisie Grevelingen kunnen worden losgelaten, aanzienlijk bespaard kan worden op de omvang van het doorlaatmiddel met behoud van de omschreven klimaatrobustheid. Zoals hierboven is uitgelegd zijn de uitkomsten voor klimaatrobustheid op basis van 2009

niet correct. Dat betekent dat de absolute waarden die zijn gepresenteerd in het Memo Klimaatrobustheid te hoog zijn. Echter de verschillen die worden geconstateerd in de mate van opvangen van zeespiegelstijging tussen de verschillende combinaties van peilsturing en doorlaatmiddelaformingen zijn wel correct.

Figuur 5 hieronder illustreert deze constatering. In deze figuur heeft Arthur de Boom de berekeningsresultaten vergeleken voor het kokeraantal voor een klimaatrobust doorlaatmiddel annex peilbeheer, voor 2009 met en zonder correctie. Het resultaat voor 2008 voor dezelfde variant is ook opgenomen.



Figuur 5. Vergelijking uitkomsten voor 'rekenjaar' 2009, wel en niet gecorrigeerd, voor klimaatrobuste doorlaatmiddelen bij verschillende peilstrategieën.

Dat betekent dat de uitspraak in het memo nog steeds opgaat, dat het optimaliseren van de inzet van het aantal kokers van het doorlaatmiddel, en het tevens in beperkte mate loslaten van de grenzen voor het gemiddelde peil en het laagwater, substantiële besparingen oplevert voor de kosten.

In een aangepaste versie van het Memo Klimaatrobustheid worden de hierboven geconstateerde onjuiste aannames voor het rekenjaar 2009 gecorrigeerd.