



Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta

Hoofdrapport

Datum 22 juni 2010
Status definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijksoverheid - Rijkswaterstaat
Informatie	Jeroen Bulthuis
Telefoon	088 797 22 51
Fax	088 797 40 14
Uitgevoerd door	N. Slootjes (HKV LJN IN WATER), M.K. Karelse (DHV), Y.J.G. van Kruchten (DHV), T. Louters (DHV), J. Bulthuis (RWS), S. de Goederen (RWS), J.W. Slager (RWS), R. Slomp (RWS)
Datum	22 juni 2010
Status	definitief
Versienummer	2.0

Inhoud

Samenvatting 5

1 Inleiding 14

- 1.1 Aanleiding 14
- 1.2 Werking van de maatregel waterberging 14
- 1.3 Doelstelling gevoeligheidsanalyse 15
- 1.4 Leeswijzer 15

2 Waterveiligheidsopgave voor de Rijn-Maasmonding 17

- 2.1 Systeembeschrijving Rijn-Maasmonding 17
 - 2.1.1 Maatgevende Hoogwaterstand 17
 - 2.1.2 Systematiek berekening maatgevende hoogwaterstanden 17
 - 2.1.3 Indeling in deelgebieden 18
- 2.2 Toekomstige waterveiligheidsopgave Rijn-Maasmonding 19
 - 2.2.1 Klimaatverandering 19
 - 2.2.2 Stormopzetduur 20
 - 2.2.3 Toename Maatgevende Hoogwaterstand 21

3 Waterberging Zuidwestelijke delta als mogelijke oplossing 23

- 3.1 Hoofdopties voor waterberging Zuidwestelijke delta 23
- 3.2 Waterberging op de Oosterschelde minder kansrijk 25
- 3.3 Uitgangspunten bij de hoofdopties 28
 - 3.3.1 Moment van waterberging 28
 - 3.3.2 Spuimiddelen 29
- 3.4 MHW- en waterstandsverlaging 30
 - 3.4.1 MHW-daling 31
 - 3.4.2 Waterstandsverlaging 33
 - 3.4.3 Samenhang met faalkans Europoortkering 34
 - 3.4.4 Inzetsfrequentie 40
- 3.5 Knikpunten 40

4 Effecten en kosten 44

- 4.1 Doorlaatmiddelen 44
 - 4.1.1 Vergroting spuicapaciteit Volkerakdam 44
 - 4.1.2 Aanleg doorlaatmiddel Grevelingendam 47
 - 4.1.3 Getijcentrale met pompfunctie 48
- 4.2 Waterkeringen rond de Grevelingen 49
- 4.3 Buitendijkse gebieden 50
 - 4.3.1 Buitendijkse bebouwing 50
 - 4.3.2 Jachthavens 52
- 4.4 Overzicht kostenraming 52
 - 4.4.1 Kosten waterberging 52
- 4.5 Dijkversterking benedenrivierengebied 57
- 4.6 Natuureffecten 58
 - 4.6.1 Verzoeting van de Grevelingen 58
 - 4.6.2 Overstroming 59
 - 4.6.3 Verandering dynamiek substraat 60
 - 4.6.4 Toevoer van verontreinigingen, nutriënten en slib 60
 - 4.6.5 Conclusies natuureffecten 61

Referenties 62

Achtergronddocumenten 63

Samenvatting

Aanleiding gevoeligheidsanalyse

In het kader van het programma Ruimte voor de Rivier wordt op dit moment het project Waterberging Volkerak-Zoommeer voorbereid. Het doel van dit project is om de mogelijkheid te creëren om bij extreem hoogwater in de Rijn-Maasmonding tijdelijk water te bergen op het Volkerak-Zoommeer. Daarbij is in het licht van de ontwikkelingen in de Zuidwestelijke Delta en het advies van de Deltacommissie de vraag gerezen of het wenselijk is de waterberging op te schalen. Dit zou kunnen door naast het Volkerak-Zoommeer ook de Oosterschelde en/of de Grevelingen in te zetten als bergingsgebied. Bovendien is in de inspraakprocedure van de planstudie Waterberging Volkerak-Zoommeer de vraag naar voren gekomen of het mogelijk is nu al te anticiperen op dergelijke langetermijnontwikkelingen.

Om deze vragen te beantwoorden, is op verzoek van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat de Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta uitgevoerd. De gevoeligheidsanalyse moet duidelijk maken wat de noodzaak en haalbaarheid is van verdere opschaling van de waterberging in de Zuidwestelijke Delta en hoe de maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer past binnen dit langetermijnbeeld. Daarnaast brengt het in beeld wat de houdbaarheid is van waterberging in het perspectief van klimaatverandering en een eventuele wijziging van het uitgangspunt met betrekking tot de 'stormopzetduur'.

Onderzochte hoofdopties voor waterberging

Binnen de gevoeligheidsanalyse zijn drie hoofdopties voor waterberging in de Zuidwestelijke Delta onderzocht:

- 1) Volkerak-Zoommeer (maatregel Ruimte voor de Rivier, maar met vergrote inlaatcapaciteit door de Volkerakdam)
- 2) Uitbreiding met Grevelingen (dus inclusief Volkerak-Zoommeer)
 - a. Afgesloten bekken (huidige situatie)
 - b. Met pomp (gemaal/functie getijcentrale Brouwersdam)
- 3) Oosterschelde



Overzichtskartaal studiegebied

Conclusies

Waterberging Volkerak-Zoommeer blijft de huidige taakstelling aan MHW-daling realiseren, ook op de lange termijn.

De maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer zoals die nu in het kader van Ruimte voor de Rivier wordt voorbereid, zal leiden tot een MHW-daling van circa 0,1 m op het Haringvliet en het Hollandsch Diep. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat deze maatregel ook op de lange termijn effectief blijft. Ongeacht of de maatgevende waterstanden in de Rijn-Maasmonding in de toekomst zullen stijgen, zal deze maatregel altijd minimaal zijn huidige taakstelling van 0,1 m MHW-daling blijven realiseren. De maatregel 'verdrinkt' dus niet en wordt mogelijk zelfs iets effectiever onder extremere omstandigheden.

MHW

MHW staat voor 'Maatgevende Hoogwaterstand'. Voor elk dijkgebied is een veiligheidsnorm in de vorm van een overschrijdingskans vastgesteld, bijvoorbeeld 1/4000 per jaar. De MHW is de waterstand die bij deze veiligheidsnorm hoort en statistisch gezien eens in de 4000 jaar wordt overschreden. De dijken moeten de maatgevende hoogwaterstand kunnen keren.

Door te kijken welke waterstand een overschrijdingskans van 1/4000 per jaar heeft, wordt de MHW bepaald. Voor de Rijn-Maasmonding geldt dat bij een groot aantal verschillende combinaties van zeewaterstand, rivierafvoer en een open of gesloten Europoortkering, waterstanden hoger dan de MHW kunnen optreden. Bij de bepaling van de MHW wordt gekeken naar de kans van voorkomen van al deze combinaties samen.

De veiligheidsopgave in termen van MHW-stijging in de Rijn-Maasmonding kan op de lange termijn (2100) oplopen tot circa één meter.

De stijging van de MHW's in de Rijn-Maasmonding kan op de lange termijn (2100) oplopen tot meer dan een meter, uitgaande van het klimaatscenario KNMI'06 W⁺ en verlenging van de stormopzetduur naar 40 uur. Van de totale stijging van de MHW's wordt 0,2 tot 0,3 m veroorzaakt door de mogelijke wijziging van het uitgangspunt over de stormopzetduur (van 29 naar 40 uur). De overige stijging van de MHW's wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door zeespiegelstijging. De toename van de rivierafvoeren heeft een minder grote invloed op de stijging van de MHW's in dit gebied.

Op termijn kan met waterberging de huidige MHW niet worden gehandhaafd. Dan zijn aanvullende maatregelen nodig om het vereiste veiligheidsniveau te behouden. Het moment waarop aanvullende maatregelen nodig zijn, is sterk afhankelijk van de keuze over de verlenging van de stormopzetduur.

De maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer kan niet voorkomen dat op termijn de MHW's op het Haringvliet en het Hollandsch Diep zullen stijgen als gevolg van

klimaatverandering. Nieuwe inzichten over de lengte van de stormopzetduur zorgen er bovendien voor dat de periode waarover de huidige MHW nog gehandhaafd kan worden sterk verkort wordt. Indien wordt besloten het huidige uitgangspunt m.b.t. de stormopzetduur conform de huidige inzichten te wijzigen van 29 naar bijv. 40 uur, dan zullen de MHW's op het Haringvliet en het Hollandsch Diep met 0,2 tot 0,3 meter stijgen. In dat geval kan de maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer niet voorkomen dat de MHW's voor het Haringvliet en het Hollandsch Diep al direct bij het gereedkomen van de maatregel in 2015 zullen stijgen ten opzichte van de waarden uit 2006. Zelfs opschaling van de waterberging met de Grevelingen kan in dat geval niet -of slechts voor een paar jaar- voorkomen dat de MHW's zullen stijgen.

Bij gelijkblijvende stormopzetduur (29 uur) kan met de maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer, zoals die nu wordt ontworpen, circa twintig jaar klimaatverandering worden 'gecompenseerd'. De werkingsduur van de maatregel kan worden verlengd door de Grevelingen aan te koppelen. Door ook de Grevelingen in te zetten als bergingsgebied en tevens de inlaatcapaciteit bij de Volkerakdam fors te vergroten, kan in totaal circa vijftig jaar klimaatverandering worden opgevangen. Uitgaande van het KNMI'06 W⁺-scenario (0,85 m zeespiegelstijging in 2100) en een MHW van NAP +2,6 m bij Rak Noord, kunnen aanvullende maatregelen worden uitgesteld tot circa 2060. Indien wordt besloten de stormopzetduur te verlengen naar bijvoorbeeld 40 uur kunnen de huidige MHW's in 2015 (of snel daarna) al niet meer gehandhaafd worden.

De waterstandsverlaging door waterberging in specifieke situaties is groot (circa één meter), maar de MHW-daling blijft beperkt tot maximaal circa 0,4 meter.

De bijdrage die waterberging in Volkerak-Zoommeer en Grevelingen in specifieke situaties van rivierafvoer en zeewaterstand kan leveren aan het verlagen van kritieke waterstanden is fors. Als waterberging bijvoorbeeld zou worden ingezet in de situatie dat sprake is van een zeewaterstand van NAP +4,0 m in combinatie met een rivierafvoer van 10.000 m³/s is de waterstandsverlaging op het Haringvliet ruim één meter. De waterstandsverlaging werkt in deze situatie door in de hele Rijn-Maasmonding. Zelfs in Rotterdam en Dordrecht zou in deze specifieke situatie de waterstand met circa één meter worden verlaagd. Als noodmaatregel bij bovenmaatgevende hoogwaterstanden die worden veroorzaakt door hoge rivierafvoeren in combinatie met een gesloten Europoortkering is waterberging daarom altijd nuttig.

De bijdrage die waterberging levert aan verlaging van de MHW is lager dan op basis van de waterstanddaling bij een specifieke afvoer en zeewaterstand wellicht zou worden verwacht. De verklaring hiervoor wordt gevonden in de samenhang met de Europoortkering (Maeslant- en Hartelkering). Bij de volgende conclusie wordt hier verder op ingegaan.

Uit deze studie blijkt dat de maximale bijdrage die waterberging (inclusief uitbreiding met de Grevelingen en/of Oosterschelde) op de lange termijn kan leveren aan de verlaging van de MHW circa 0,4 meter is. Deze MHW-daling doet zich bovendien alleen in die mate voor op het Haringvliet en het Hollandsch Diep. In het

gebied rond Rotterdam wordt geen enkele MHW-daling gerealiseerd met waterberging. In Dordrecht is de MHW-daling circa 0,2 tot 0,3 m.

Het maximale MHW-verlagend effect van waterberging hangt samen met de kans dat sluiting van de Europoortkering faalt.

Bij het bepalen van de MHW wordt rekening gehouden met situaties dat de Europoortkering niet gesloten is als gevolg van technisch falen of doordat niet goed is voorspeld dat de kering had moeten sluiten. In combinatie met het huidige systeem van Maeslant- en Hartelkering, zal met waterberging nooit een grotere MHW-daling bereikt kunnen worden dan circa 0,4 m.

Waterberging is dusdanig effectief, dat op een zeker moment de situatie van een hoge rivierafvoer in combinatie met een gesloten Europoortkering niet langer tot maatgevende waterstanden leidt, maar dat de situatie met een Europoortkering de maatgevende hoogwaterstand gaat bepalen. Met andere woorden: het afleiden van meer rivierwater naar de Zuidwestelijke Delta heeft op een gegeven moment geen extra MHW-verlagend effect meer, omdat de kans dat de Europoortkering op kritieke momenten niet sluit groter wordt dan de kans dat bij een gesloten kering zulke extreme rivierafvoeren optreden dat met waterberging nog kritieke peilen overschreden worden.

Verkleining van de faalkans van de huidige kering naar 1/200 per sluitvraag zal de vermindering van het effect van waterberging niet veranderen. Alleen wanneer het mogelijk is om de kans op niet sluiten fors te verkleinen (richting 0) dan zal het MHW-verlagend effect van waterberging sterk toenemen. Om zulke kleine faalkans te kunnen bereiken, moet worden gedacht aan vervanging van de Europoortkering door een meer permanente afsluiting. Gezien de potentie die de maatregel waterberging biedt in combinatie met het zulke afsluiting van de Rijn-Maasmonding verdient het de aanbeveling dit binnen het Deltaprogramma (deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden) verder uit te werken.

De kosten voor het 'aankoppelen' van de Grevelingen bedragen circa €330 miljoen, deze kunnen mogelijk worden teruggebracht als synergie met andere projecten optimaal wordt benut.

De kosten voor het opschalen van waterberging met de Grevelingen hangen sterk samen met de wijze waarop deze aankoppeling wordt uitgevoerd en het is daarom lastig hiervoor één bedrag te noemen. Indien uitgegaan wordt van uitvoering van de maatregel op kort termijn zonder dat gebruik wordt gemaakt van de synergiemogelijkheden met andere projecten liggen de kosten in de orde grootte van €330 miljoen. Deze kosten komen voor het grootste deel voort uit de noodzakelijke aanpassingen en/of aanleg van kunstwerken waarmee het water wordt ingelaten in het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen. Wanneer de synergie met andere projecten in de Zuidwestelijke Delta (bijv. 4^e kolk Volkeraksluizen en herintroductie van getijdynamiek op de Grevelingen) optimaal wordt benut, kunnen de kosten voor het aankoppelen van de Grevelingen mogelijk worden teruggebracht tot circa €100 miljoen. Hieronder wordt dit kostenverschil toegelicht.

Voor het inlaten van water in het Volkerak-Zoommeer kan naast de Volkerakspuisluizen eventueel gebruik gemaakt worden van de bestaande beroepsvaartsluizen. Dit is goedkoper dan het uitbreiden en aanpassen van de spuisluizen; circa €17 miljoen in plaats van circa €118 miljoen. Om de beroepsvaartsluizen geschikt te maken voor het inlaten van water zijn echter ingrijpende aanpassingen aan de schutkolken noodzakelijk. Gezien het feit dat deze sluizen de drukstbeveren van Europa zijn, wordt het tijdelijk uit de vaart nemen en aanpassen van deze sluizen als onrealistisch gezien. Mocht echter besloten worden om de plannen voor de aanleg van een vierde beroepsvaartkolk uit te voeren dan ontstaat mogelijk wel de gelegenheid om deze en de bestaande kolken geschikt te maken voor het inlaten van water. Zolang niet besloten is tot de aanleg van een vierde beroepsvaartkolk lijkt het verruimen en bijplaatsen van de spuikokers de meest realistische -maar kostbare- oplossing.

Voor het inlaten van water vanuit het Volkerak-Zoommeer naar de Grevelingen is een geheel nieuwe verbinding in de Grevelingendam noodzakelijk. De kosten van deze verbinding worden naast de omvang met name bepaald door de keuze voor een open verbinding (vervangen van een deel van de dam door een brug) of een afsluitbare kering. Een open verbinding is aanzienlijk goedkoper dan een afsluitbare kering. Bij een open verbinding worden de beide bekkens ook in de dagelijkse situatie met elkaar verbonden. Dit biedt kansen voor het versterken van de (water)recreatie en mogelijk ook voor het herstel van estuariene dynamiek in de Delta. Bovendien zou het rendement van een eventuele getijcentrale op de Brouwersdam hierdoor met circa 25% toenemen

Een randvoorwaarde voor het permanent verbinden van beide wateren is wel dat het Volkerak-Zoommeer zout wordt, dat het toekomstige peilbeheer (getijdeslag) van de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer op elkaar wordt afgestemd en dat op de Grevelingen enige getijdynamiek geherintroduceerd is. De vraag welke gevolgen de open verbinding op de waterkwaliteit van beide meren heeft, en of deze gevolgen al dan niet wenselijk zijn, zal nog beantwoord moeten worden. Daarnaast zal een open verbinding met de Grevelingen consequenties hebben voor de plannen om een doorlaatmiddel aan te leggen in de Philipsdam (de zogenaamde 'P-300') tussen het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde. De effecten van een open verbinding onder de dagelijkse omstandigheden zijn in de gevoeligheidsanalyse niet onderzocht. Uit andere onderzoeken, zoals de MIRT-Verkenning Grevelingen en de Waterkwaliteitsstudie Volkerak-Zoommeer, zal moeten blijken of het wenselijk en haalbaar is om een open verbinding te creëren tussen de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer. Mocht een open verbinding niet haalbaar blijken dan zal de verbinding die voor waterberging noodzakelijk is afsluitbaar moeten zijn, zodat het mogelijk is deze alleen tijdens de waterberging te openen. De aanlegkosten van een afsluitbaar doorlaatmiddel liggen een factor twee tot drie hoger dan die van een open verbinding. Zolang nog geen definitief besluit is genomen over toekomst van de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer lijkt het daarom niet mogelijk een 'no regret' beslissing te nemen over een eventuele verbinding tussen beide wateren.

Met betrekking tot de afmeting van het doorlaatmiddel in de Grevelingendam moet bedacht worden dat in de gevoeligheidsanalyse in de eerste plaats is gekeken naar afmetingen die optimaal zijn voor het bereiken van zoveel mogelijk waterstandsverlaging. De kosten voor de verschillende kunstwerken zijn op deze afmetingen gebaseerd. Het is niet ondenkbaar dat voor waterberging ook met een

kleiner doorlaatmiddel in de Grevelingendam volstaan kan worden, zonder dat dit noemenswaardige consequenties heeft voor de omvang van de MHW-daling. Mocht besloten worden de waterberging op de Grevelingen nader te onderzoeken dan verdient het om die reden de aanbeveling om de afmeting van met name het doorlaatmiddel in de Grevelingendam verder te optimaliseren om zo de kosten terug te brengen. Een soortgelijke optimalisatieslag zou ook uitgevoerd kunnen worden voor de gemaalfunctie van de getijcentrale in de Brouwersdam; zie ook de laatste conclusie ten aanzien van de getijcentrale.

De hoofdoptie waterberging Oosterschelde vraagt om aanpassing van het sluitregime van de Oosterscheldekering en is minder betrouwbaar dan waterberging op de Grevelingen.

Ten gevolge van het lekdebiet door de Oosterscheldekering en het relatief hoge sluitpeil van de kering, zijn de waterstanden op de Oosterschelde dusdanig hoog, dat bij waterberging niet of nauwelijks water vanuit het Volkerak-Zoommeer naar de Oosterschelde gespuid kan worden. Hierdoor kan waterberging op de Oosterschelde met het huidige sluitregime geen significante bijdrage aan de MHW-daling in de Rijn-Maasmonding leveren. De enige mogelijkheid om de bergingscapaciteit significant te vergroten is wijziging van het sluitregime van de Oosterscheldekering. Hierbij moet gedacht worden aan sluiting op laagwater, anderhalve getijperiode voor de hoogwaterpiek, in plaats van op een binnenpeil van NAP +1 m zoals dat nu het geval is. Diverse onzekere factoren (timing sluiting, windeffecten, stormverloop, mogelijk weigeren van een schuif bij sluiting) kunnen de bergingscapaciteit die in de praktijk met zekerheid beschikbaar is beperken. Hierdoor is het mogelijk dat ook met de wijziging van het sluitregime geen significante MHW-daling behaald kan worden. Gelet op het economische belang en de natuurwaarden van de intergetijdegebieden in de Oosterschelde, is het twijfelachtig of de genoemde wijziging van het sluitregime überhaupt acceptabel is. De noodzaak om de kering al anderhalve getijperiode voor de hoogwaterpiek te moeten sluiten, op basis van nog onzekere voorspellingen, maakt waterberging op de Oosterschelde minder betrouwbaar dan waterberging op de Grevelingen.

Waterberging op de Oosterschelde heeft geen toegevoegde waarde als aanvullende maatregel bij waterberging op Volkerak-Zoommeer en Grevelingen.

Bij waterberging op de Grevelingen is de waterbergingscapaciteit niet de beperkende factor voor de maximaal haalbare MHW-daling. Zoals reeds toegelicht in deze samenvatting, hangt de maximaal haalbare MHW-daling samen met de kans op niet sluiten van de Europoortkering. Door het verder vergroten van de bergingscapaciteit kan daarom niet meer MHW-daling behaald worden. Er is nog een tweede reden waardoor het gelijktijdig inzetten van Grevelingen en Oosterschelde voor waterberging niet zinvol is om meer MHW-daling te realiseren. Door vanuit het Volkerak-Zoommeer ook water naar de Grevelingen af te voeren, blijft de waterstand op het Volkerak-Zoommeer in veel gevallen lager dan de waterstand op de Oosterschelde. Doordat spuien naar de Oosterschelde dan in veel situaties niet (of slechts beperkt) mogelijk is, kan nauwelijks meer MHW-daling behaald worden dan bij waterberging op alleen Volkerak-Zoommeer en Grevelingen.

De vermeden investering aan dijkversterkingen in de Rijn-Maasmonding door extra waterberging bedragen circa €125 tot €250 miljoen.

Door de waterberging op te schalen met de Grevelingen kan de MHW op het Haringvliet en het Hollandsch Diep op de lange termijn (2100) verlaagd worden met maximaal circa 0,4 m. Door deze verlaging van de MHW kunnen waarschijnlijk dijkversterkingen rond het Haringvliet en Hollandsch Diep worden voorkomen en/of uitgesteld. Van de 120 kilometer dijk die wordt ontlast door waterberging hoeft naar schatting circa 25 kilometer dijk niet of pas later versterkt te worden dankzij de waterberging. Gezien de complexe wijze waarop de benodigde dijkhoogtes in de Rijn-Maasmonding (benedenrivierengebied) worden bepaald, is de relatie tussen waterberging en vermeden dijkversterkingen echter niet eenvoudig te leggen. Dit aantal kilometers moet daarom vooral worden gezien als een grove indicatie. Uitgaande van deze 25 kilometer dijk bedragen de (vermeden) kosten voor versterking van deze dijkvakken circa 125 tot 250 miljoen euro.

Impact van waterberging op natuur- en gebruiksfuncties rond de Grevelingen in de huidige situatie waarschijnlijk groter dan bij waterberging Volkerak-Zoommeer. De inzetfrequentie van de maatregel kan op termijn verder oplopen.

De effecten van waterberging op het Volkerak-Zoommeer zijn reeds onderzocht in de planstudie Waterberging Volkerak-Zoommeer. Voor het Volkerak-Zoommeer zal de aard en omvang van de effecten van waterberging niet of nauwelijks veranderen wanneer alleen het bergingsgebied wordt uitgebreid met de Grevelingen. De effecten kunnen waarschijnlijk wel worden verminderd in de situatie dat gebruik gemaakt kan worden van de getijcentrale op de Brouwersdam om water weg te pompen naar de Noordzee. In dat geval zal de duur van de berging en de peilverhoging op zowel het Volkerak-Zoommeer als de Grevelingen worden beperkt. De mate waarin de effecten worden beperkt hangen af van de wijze waarop de (gemaal)functie van de getijcentrale wordt vormgegeven. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat op termijn als gevolg van klimaatverandering en verlenging van de stormopzetduur de maximale waterstanden op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen met enkele decimeters kunnen toenemen. Ook zal op termijn de inzetfrequentie van de maatregel toenemen en zullen daarmee de negatieve effecten van waterberging vaker optreden.

De effecten van waterberging op de Grevelingen zijn vergelijkbaar met die van het Volkerak-Zoommeer. De natuur- en gebruiksfuncties rond de Grevelingen zijn echter meer ingesteld op een constant peil. Ook is de recreatieve functie van de Grevelingen groter dan die van het Volkerak-Zoommeer. Zo bevindt zich rond de Grevelingen relatief veel buitendijks (recreatief) vastgoed (bijvoorbeeld Port Zélande). Ook bevinden zich in de Grevelingen meer eilanden met grote natuurlijke waarde (bijvoorbeeld de Hompelvoet) die bij waterberging mogelijk volledig onderwater zullen lopen. Daarom geldt in de huidige situatie dat de impact van waterberging op de Grevelingen waarschijnlijk groter zal zijn dan op het Volkerak-Zoommeer. In de situatie dat sprake is van herstel van de getijdewerking op de Grevelingen zal deze situatie mogelijk anders zijn. Op de Grevelingen zal in dat geval immers sprake zijn van een meer dynamisch systeem dat is ingesteld op

peilschommelingen. In een dergelijk systeem zal de impact van een incidentele 'schok' als gevolg van waterberging waarschijnlijk minder zijn.

De inzetfrequentie van de maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer zoals die nu wordt ontworpen is circa 1/1400 per jaar ('eens in de 1400 jaar'). Ten gevolge van klimaatverandering zullen kritieke waterstanden in de Rijn-Maasmonding vaker gaan voorkomen. Dit zal er toe leiden dat ook de inzetfrequentie van de maatregel waterberging toeneemt. Wanneer het huidige inzetpeil gehandhaafd zou worden, kan de inzetfrequentie in 2100 zelfs oplopen naar eens in de tien jaar. Overigens ligt het niet in de rede dat het inzetpeil gehandhaafd zal blijven. Op termijn zal het toetspeil van de dijken in de Rijn-Maasmonding immers toch moeten worden verhoogd ondanks de waterberging. In dat geval zou ook het inzetpeil van waterberging 'mee kunnen groeien'. Hierdoor hoeft op een zeker moment de inzetfrequentie niet verder op te lopen. Wat de inzetfrequentie dan zal zijn, is afhankelijk van de keuzes die worden gemaakt en is in de gevoeligheidsanalyse niet onderzocht. Wel is duidelijk dat de inzetfrequentie op termijn (aanzienlijk) hoger zal liggen dan de 1/1400 jaar die nu voor Waterberging Volkerak-Zoommeer geldt.

Een gemaalfunctie van de getijcentrale op de Brouwersdam levert geen bijdrage aan de MHW-daling, maar kan de negatieve effecten van waterberging wel terugbrengen.

Wanneer op de Brouwersdam een getijcentrale zou worden aangelegd is het mogelijk deze tegen relatief geringe meerkosten (circa €11 miljoen) ook geschikt te maken om water vanuit de Grevelingen uit te malen naar de Noordzee. De waterstanden die tijdens waterberging optreden op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen kunnen met behulp van de gemaalfunctie van de getijcentrale worden beperkt. Ook zal het mogelijk zijn om het geborgen water na afloop weer snel af te voeren met behulp van het gemaal. Voor het mitigeren van effecten van waterberging kan de gemaalfunctie daarom nuttig zijn.

Het gebruik van het gemaal levert echter geen of slechts een beperkte bijdrage aan de MHW-daling in de Rijn-Maasmonding. Dit hangt samen met de kans op niet sluiten van de Europoortkering (zie hierboven). In termen van veiligheid (gemeten in MHW-daling) biedt de gemaalfunctie van de getijcentrale daarom geen toegevoegde waarde. Het nut van de gemaalfunctie moet daarom onder de huidige omstandigheden worden gezocht in het beperken van de effecten van waterberging op de omgeving van de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer.

Deze situatie zal anders zijn indien besloten wordt tot de aanleg van een meer permanente afsluiting in de Nieuwe Waterweg, waarvan de kans op niet sluiten nagenoeg 0 is. In combinatie met een zeer lage kans op niet sluiten is de MHW-daling van waterberging groter en levert ook de gemaalfunctie van de getijcentrale extra MHW-daling voor de Rijn-Maasmonding. Daarbij moet verder bedacht worden dat in de gevoeligheidsanalyse conservatieve aannames zijn gedaan met betrekking tot het aantal turbines van de getijcentrale en hun pompcapaciteit. Mocht daarom blijken dat het mitigeren van de effecten van waterberging zwaarwegend is, dan zou ook besloten kunnen worden de turbines verder te optimaliseren voor de gemaalfunctie. Dit zou in de MIRT-Verkenning Grevelingen nader onderzocht kunnen worden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de zomer van 2008 is de planstudie Waterberging Volkerak-Zoommeer gestart. Dit project heeft tot doel de waterstanden in de Rijn-Maasmonding bij uitzonderlijke combinaties van hoge rivierafvoeren en gesloten stormvloedkeringen te verlagen. Tegelijkertijd verscheen in september 2008 het rapport van de Deltacommissie. Hierin wordt geadviseerd om de mogelijkheden voor opschaling van de waterberging in de toekomst te onderzoeken en de samenhang met andere projecten in het gebied in kaart te brengen.

Deze ontwikkelingen tezamen hebben er toe geleid dat nieuwe vragen zijn gerezen over Waterberging in de Zuidwestelijke Delta. Deze vragen kwamen onder andere naar voren in de inspraak op de Startnotitie-MER van het project Waterberging Volkerak-Zoommeer. Met name de toekomstvastheid van de maatregel, onder andere in het licht van klimaatverandering, is hierbij een aandachtspunt.

Om die reden heeft het DG Water van het ministerie van Verkeer en Waterstaat aan de drie betrokken diensten van Rijkswaterstaat (Zeeland, Zuid-Holland en Ruimte voor de Rivier) gevraagd om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren naar waterberging in de Zuidwestelijke Delta. Uit deze gevoeligheidsanalyse moest duidelijk worden wat de mogelijkheden zijn om waterberging in de Zuidwestelijke Delta op termijn uit te breiden om daarmee de gevolgen van onder andere klimaatveranderingen voor de Rijn-Maasmonding op te vangen. In dat verband kan ook gekeken worden of bepaalde investeringen nu al als no-regret beschouwd kunnen worden.

Mede op basis van de gevoeligheidsanalyse zal worden bepaald wat de 'robuustheid' van de maatregel Waterberging Volkerak-Zoommeer is. De belangrijkste vraag hierbij is of de maatregel 'no regret' is; behoudt deze zijn waarde in de toekomst en maakt deze andere ontwikkelingen niet onmogelijk? Daarnaast zal duidelijk worden wat de synergiemogelijkheden zijn met andere projecten in de Zuidwestelijke Delta, in het bijzonder de MIRT-Verkenning Grevelingen.

1.2 Werking van de maatregel waterberging

Soms zijn de waterstanden op zee zo hoog, dat de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg en de Hartelkering in het Hartelkanaal (samen de Europoortkering) dichtgaan om de Rijn-Maasmonding te beschermen tegen overstromingen. Rivierwater kan dan tijdelijk niet meer naar de zee stromen. De Rijn-Maasmonding loopt dan vol als een badkuip met een stop in de afvoer en de kraan open. Wanneer op dat moment grote hoeveelheden rivierwater toestromen, kan een situatie ontstaan waarin een deel van de dijken in de Rijn-Maasmonding gevaar loopt voor overstroming of doorbraak.



Figuur 1: Overzichtkaart Rijn-Maasmonding en Zuidwestelijke Delta

Wanneer het water in zo'n geval tijdelijk naar het de Zuidwestelijke Delta kan afstromen, dalen de hoogwaterstanden in het zuidelijk deel van de Rijn-Maasmonding. Die verlaging draagt bij aan de veiligheid in die regio, met name rond het Hollandsch Diep en Haringvliet.

1.3 Doelstelling gevoeligheidsanalyse

De hoofddoelstelling van deze studie is de maximale bijdrage te verkennen die waterberging in de Zuidwestelijke Delta kan leveren aan de veiligheid van de Rijn-Maasmonding met het oog op klimaatverandering. Het doel is niet om op basis van de uitkomsten van deze studie een keuze te kunnen maken tussen waterberging en dijkversterking. Wel is het doel om keuzemomenten, investeringskosten en effecten van waterberging te plaatsen in het perspectief van dijkversterking langs het Haringvliet en Hollandsch Diep.

1.4 Leeswijzer

Op hoofdlijnen is het rapport ingedeeld in drie delen: de probleemanalyse (hoofdstuk 2), het effect van waterberging op de (maatgevende) hoogwaterstanden (hoofdstuk 3) en de globale effecten en investeringskosten van waterberging (hoofdstuk 4).

Uit de probleemanalyse blijkt wat de opgave is waar de Rijn-Maasmonding mee te maken kan krijgen als gevolg van klimaatverandering en de verlenging van de stormopzetduur. Vervolgens is onderzocht in hoeverre deze opgave (uitgedrukt in stijging van maatgevende hoogwaterstand) kan worden opgevangen met waterberging. Daarbij is tevens in kaart gebracht welke investeringen zijn gemoeid met de opschaling van waterberging afgezet tegen de vermeden investeringen aan dijkversterkingen in de Rijn-Maasmonding. Tot slot zijn de effecten van waterberging voor de Zuidwestelijke Delta globaal beschreven.

Er is voor gekozen de omvang van dit hoofdrapport te beperken tot de belangrijkste conclusies van deze studie. Voor een nadere toelichting en onderbouwing van de conclusies wordt verwezen naar de verschillende achtergronddocumenten. Op pagina 63 is hiervan een overzicht te vinden. De achtergronddocumenten zijn beschikbaar op:

www.ruimtevoorderivier.nl/Volkerak-Zoommeer > Documenten.

2 Waterveiligheidsopgave voor de Rijn-Maasmonding

De verwachte klimaatverandering leidt er toe dat maatregelen nodig zijn om het huidige beschermingsniveau tegen overstromen te kunnen handhaven. Uit dit hoofdstuk blijkt voor welke opgave, uitgedrukt in maatgevende hoogwaterstanden, de Rijn-Maasmonding de komende eeuw staat met het oog op klimaatverandering. Om de effecten van klimaatverandering te kunnen begrijpen, begint het hoofdstuk met een beschrijving van de methode die toegepast is om het effect van klimaatverandering en verschillende opties voor waterberging in beeld te brengen. Dan volgen de uitgangspunten over zeespiegelstijging, hogere rivierafvoer en nieuwe inzichten over de stormopzetduur die leiden tot de opgave voor de Rijn-Maasmonding voor de 21^e eeuw.

2.1 **Systeembeschrijving Rijn-Maasmonding**

2.1.1 *Maatgevende Hoogwaterstand*

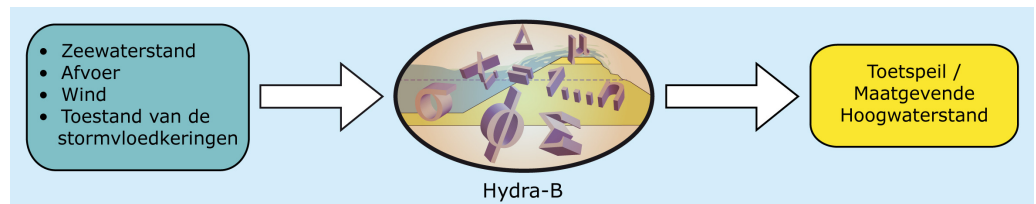
Voor elk dijkkringgebied is een veiligheidsnorm in de vorm van een overschrijdingskans vastgesteld. De Maatgevende Hoogwaterstand (MHW) is de waterstand die hoort bij deze vastgestelde overschrijdingskans. Ook de term 'toetspeil' wordt gebruikt. De dijken moeten de Maatgevende Hoogwaterstand (die met een kans van bijv. 1/4000 per jaar overschreden wordt) veilig kunnen keren.

In deze studie zijn Maatgevende Hoogwaterstanden (MHW's) als referentie gebruikt om de verandering in waterveiligheid in de Rijn-Maasmonding onder een veranderend klimaat en bij verschillende oplossingsrichtingen van waterberging inzichtelijk te maken. MHW's worden in het programma Ruimte voor de Rivier ook gebruikt als toetswaarde. Om investeringsafwegingen te kunnen maken, is het noodzakelijk het effect van waterberging op de dijkhoogte en de dijksterkte in beeld te brengen. Er is in deze studie wel beperkt naar dijkhoogten gekeken, echter niet naar dijksterkte. Voor de scope van deze studie is de MHW-benadering voldoende.

2.1.2 *Systematiek berekening maatgevende hoogwaterstanden*

In de monding van de Rijn en de Maas worden de waterstanden deels bepaald door de hoeveelheid water die via de rivieren wordt afgevoerd, maar ook door de waterstanden op zee. Feitelijk zijn er een oneindig aantal combinaties van afvoer en zeewaterstand die tot dezelfde hoogwaterstand kunnen leiden. Een zware storm met een lage afvoer of een extreme rivierafvoer met een minder zware storm en natuurlijk alle combinaties daartussenin.

Niet alle combinaties hebben een even grote kans van optreden. Een zware storm met een gemiddelde rivierafvoer heeft een veel kleinere kans van optreden dan een gemiddelde storm met een niet-extreem hoge rivierafvoer. Met behulp van het instrumentarium Hydra-B [RWS, 2003] kan voor een gegeven locatie en een gegeven overschrijdingskans de MHW worden berekend (Figuur 2). Daartoe wordt de gezamenlijke kans van optreden bepaald van alle storm-afvoer combinaties die tot overschrijding van een bepaald waterstandsniveau leiden. De waterstand met een overschrijdingskans die hoort bij de veiligheidsnorm van de dijkkring is de MHW.



Figuur 2: Met Hydra-B worden onder andere de MHW's in de Rijn-Maasmondung berekend

2.1.3

Indeling in deelgebieden

In de Rijn-Maasmondung zijn drie gebieden te onderscheiden waarin verschillende bedreigingen (rivierafvoer, zeewaterstand of een combinatie van beide) bepalend zijn voor de MHW's:

- het zeegebied;
- het rivierengebied;
- het overgangsgebied.

Deze indeling is van betekenis om de effecten van verschillende onderzochte opties voor waterberging op de MHW te kunnen begrijpen. Waterberging in de Zuidwestelijke Delta heeft namelijk in de huidige situatie alleen invloed in het overgangsgebied.



Figuur 3: De Rijn-Maasmondung (ook benedenrivierengebied genoemd) onderverdeeld in het zeegebied, het overgangsgebied en het rivierengebied [RWS, 2007]

Zeegebied

Het zeegebied kenmerkt zich door de invloed van de zee. De maatgevende hoogwaterstanden treden op in situaties dat de zeewaterstand tot ca. NAP +3,5 m verhoogd is en tegelijkertijd het sluiten van de Maeslant- en Hartelkering (Europoortkering) faalt. Bij deze omstandigheden zal sprake zijn van windkracht 11/12 (orkaankracht). De rivierafvoer speelt geen rol.

Er bestaat een kans dat een stormvloedkering faalt, in de zin dat deze niet of niet tijdig geopend en/of gesloten kan worden. De huidige faalkans is 1/100 per sluiting. De situatie waarbij sprake is van een relatief hoge stormvloed en het sluiten van de

Europoortkering faalt, is bepalend voor de hoogte van de MHW in het zeegebied. Daarnaast sluit de Europoortkering op basis van een voorspelling en bestaat de kans dat bij een te lage voorspelling van de waterstand niet of te laat wordt overgegaan tot sluiting van de keringen, terwijl dat wel had moeten. Met de kans hierop wordt ook rekening gehouden bij het bepalen van de MHW.

Waterberging heeft geen invloed op locaties gelegen in het zeegebied.

Rivierengebied

In het rivierengebied zijn extreme rivierafvoeren bepalend voor de MHW. Stormvloed op zee zijn niet of nauwelijks van invloed op de maatgevende waterstanden. Maatgevende situaties in dit gebied ontstaan bij ongeveer maatgevende afvoeren op de Rijn bij Lobith van 15.000 – 16.000 m³/s en op de Maas bij Borgharen 3.600 – 4.000 m³/s.

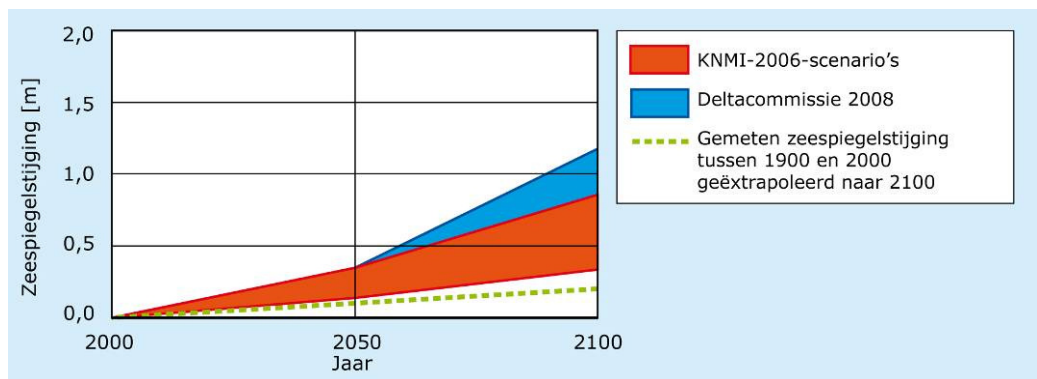
Overgangsgebied

In het overgangsgebied zijn de zeewaterstand én de rivierafvoer van invloed op de MHW. De hoogte van de MHW in dit gebied wordt voornamelijk bepaald door situaties waarbij sluiting van de Europoortkering (zeewaterstand van meer dan NAP +3 m bij Hoek van Holland) samenvalt met hoge, maar niet extreme, rivierafvoeren. Het rivierwater kan in deze situaties niet afgevoerd worden naar zee, waardoor de Rijn-Maasmonding 'volloopt'. Het gaat in deze situatie om Rijnafvoeren van 7.000 tot 10.000 m³/s bij Lobith, die op zichzelf ongeveer eenmaal per 10 jaar voorkomen. De wind is in die situatie ook aanzienlijk, windkracht 10/11.

2.2 Toekomstige waterveiligheidsopgave Rijn-Maasmonding

2.2.1 *Klimaatverandering*

De verwachting is dat in Europa de temperatuur in de 21^e eeuw met één tot zes graden Celsius stijgt. De voorspellingen zijn dat dit leidt tot extremere droogteperiodes en tot meer neerslag in natte periodes. De mondiale verhoging van de temperatuur zorgt voor het smelten van de ijskappen en uitzetting van het aanwezige (zee)water. Volgens het KNMI stijgt de zeespiegel deze eeuw met 0,35 tot 0,85 m. Door hogere waterstanden zijn ook de golven heviger. Bovendien krijgen rivieren, door toename van neerslag in de winter, te maken met hogere piekafvoeren.



Figuur 4: Overzicht van de bandbreedte van de mogelijke zeespiegelstijging (m) volgens de klimaatscenario's 2006 van het KNMI, de Deltacommissie 2008 en de gemeten zeespiegelstijging van de afgelopen eeuw geëxtrapoleerd naar 2100

In deze studie is uitgegaan van het zogenaamde KNMI '06 W⁺-scenario (Tabel 1).

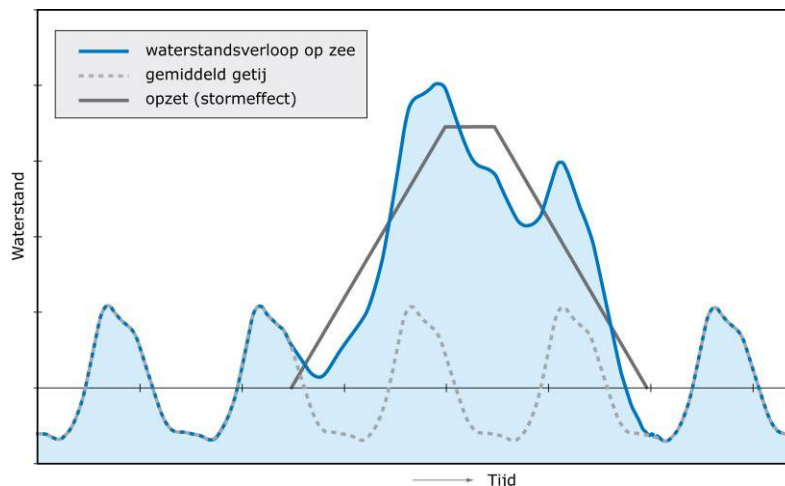
Tabel 1: KNMI-'06 W⁺-klimaatscenario gehanteerd in de Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta

Scenario	Zichtjaar	Q _{Rijn} [m ³ /s]	Q _{Maas} [m ³ /s]	Zeespiegelstijging t.o.v. 2000 [m]
Huidige situatie	2006	16.000	3.800	-
KNMI'06 W ⁽⁺⁾	2050	16.800	4.200	0,35
	2100	18.000	4.600	0,85

2.2.2

Stormopzetduur

De stormopzetduur geeft de duur van de opzet van de zeewaterstand door wind op zee. In de modelberekeningen wordt een stormvloed geschematiseerd als een trapeziumvormig verloop in de tijd, zoals geïllustreerd in Figuur 5 (grijze lijn). Het trapezium wordt gekenmerkt door drie parameters, te weten de maximale stormopzethoogte, stormopzetduur en de fase tussen astronomisch hoogwater en maximale stormopzet. De uiteindelijke waterstandsverlopen op de zeeranden ontstaan door de stormopzet op te tellen bij de respectievelijke getijreeksen – steeds de reeks voor gemiddeld getij – van de noord- en zuidranden (blauwe lijn in Figuur 5). Voor het faseverschil wordt 4,5 uur gehanteerd, ofwel dat de maximale stormopzet 4,5 valt na het astronomisch hoogwater.



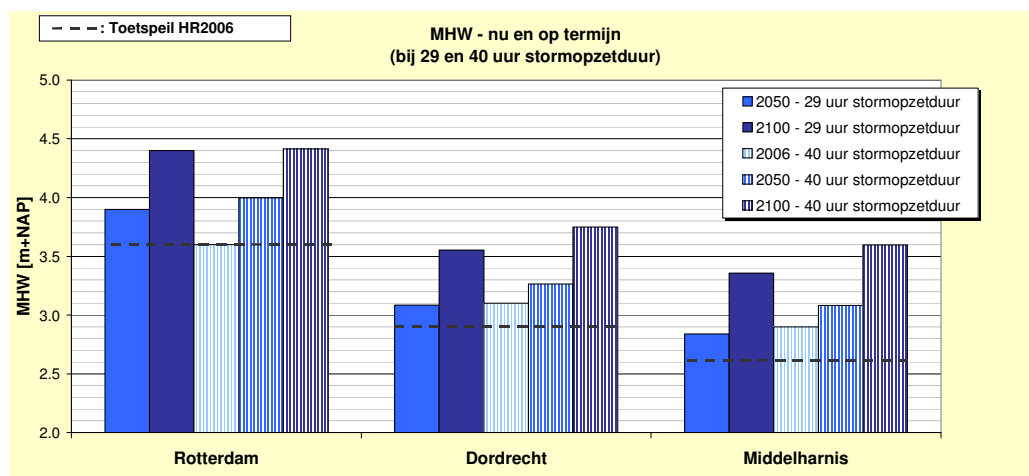
Figuur 5: Principe bepaling getijrand met stormopzet

De breedte van het trapezium in de basis representeert de duur van de stormopzet. Bij het berekenen van de vijfjaarlijkse Hydraulische Randvoorwaarden voor de Rijn-Maasmonding is tot nu toe voor deze duur een vaste waarde van 29 uur aangenomen. Uit recent onderzoek [o.a. Tijssen en Diermanse, 2009] blijkt dat 29 uur een onderschatting is. Een stormopzetduur van 40 uur is waarschijnlijk realistischer. Deze studie heeft zich daarom naast de stormopzetduur van 29 uur ook op 40 uur gericht. Voor de top van het trapezium wordt standaard 4 uur aangehouden.

2.2.3

Toename Maatgevende Hoogwaterstand

Klimaatverandering en de aanname voor de stormopzetduur zijn van invloed op de MHW in dit gebied. Voor de zichtjaren 2050 en 2100 zijn de nieuwe MHW's berekend. Hierbij is rekening gehouden met realisatie van de Ontpoldering Noordwaard, Nevengeul Avelingen en Ontpoldering Overdiepsche Polder in 2015, maar zonder waterberging in het Volkerak-Zoommeer. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 6 voor de locaties Rotterdam, Dordrecht en Middelharnis¹. Het effect van een langere stormopzetduur is zichtbaar gemaakt voor het hele gebied in Figuur 7. In deze figuur is ook de ligging van de genoemde locaties aangegeven.



Figuur 6: MHW's voor de locaties Rotterdam, Dordrecht en Middelharnis voor het KNMI'06 W⁺-scenario



Figuur 7: Verschil in MHW tussen stormopzetduur 29 uur en 40 uur [RWS, 2010]

¹ Voor deze locaties gelden beschermingniveaus met kansen van respectievelijk 1/10.000, 1/2.000 en 1/4.000 per jaar.

Bij Rotterdam nemen de MHW's ongeveer evenredig toe met de zeespiegelstijging, ofwel met 0,3 m tot 2050 en met 0,8 m tot 2100. Dit komt doordat Rotterdam is gelegen in het zeegebied, waar de rivierafvoer niet van invloed is op de MHW. Bij Dordrecht stijgt de MHW met 0,2 m tot 2050 en met 0,7 m tot 2100. De MHW-stijging bij Middelharnis ligt in dezelfde orde van grootte. De sterkere stijging van de MHW tussen 2050 en 2100 wordt veroorzaakt door meer zeespiegelstijging en een sterkere toename van de rivierafvoeren in de periode 2050-2100 dan in de periode daarvoor.

Door een langere stormopzetduur zijn de stormvloedkeringen langer gesloten en nemen de waterstanden toe doordat de rivierafvoer een langere periode niet kan worden afgevoerd. Dit geldt met name voor de locaties die gelegen zijn in het overgangsgebied (zie paragraaf 2.1.3). De MHW's stijgen in het Haringvliet, Hollandsch Diep, Spui, Dordtsche Kil en delen van de Bergsche Maas, Nieuwe Merwede en Oude Maas (o.a. Dordrecht) met circa 0,2-0,3 m. Voor Rotterdam is de stormopzetduur van 40 uur niet van invloed op de MHW, omdat de rivierafvoer hier nauwelijks bijdraagt aan de MHW (zeegebied).

Uitgaande van het KNMI'06 W⁺-scenario én 40 uur stormopzetduur stijgen de MHW's voor het Haringvliet tot 2050 en tot 2100 met respectievelijk 0,5 m en 1,0 m. De MHW in Dordrecht stijgt tot 2050 met 0,4 m, tot 2100 met 0,8 m. De stijging van de MHW wordt hier veroorzaakt door een combinatie van zeespiegelstijging en een hogere rivierafvoer. Voor Rotterdam stijgen de MHW's met respectievelijk 0,3 m en 0,8 m. Hier is de stijging volledig toe te schrijven aan de zeespiegelstijging.

3 Waterberging Zuidwestelijke delta als mogelijke oplossing

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken dat de MHW's de komende eeuw door klimaatverandering zullen stijgen. Waterberging in de Zuidwestelijke Delta kan deze stijging tijdelijk uitstellen. Uit de knikpuntenanalyse beschreven in paragraaf 3.5 blijkt tot hoe lang. Eerst worden de opties voor waterberging besproken die zijn onderzocht, welke uitgangspunten hierbij zijn gehanteerd en wat het effect van deze opties zijn op de MHW.

3.1 Hoofdopties voor waterberging Zuidwestelijke delta

De Zuidwestelijke Delta biedt drie bekken waar potentieel water vanuit de Rijn-Maasmonding in geborgen kan worden. Dit leidt tot drie hoofdopties voor waterberging:

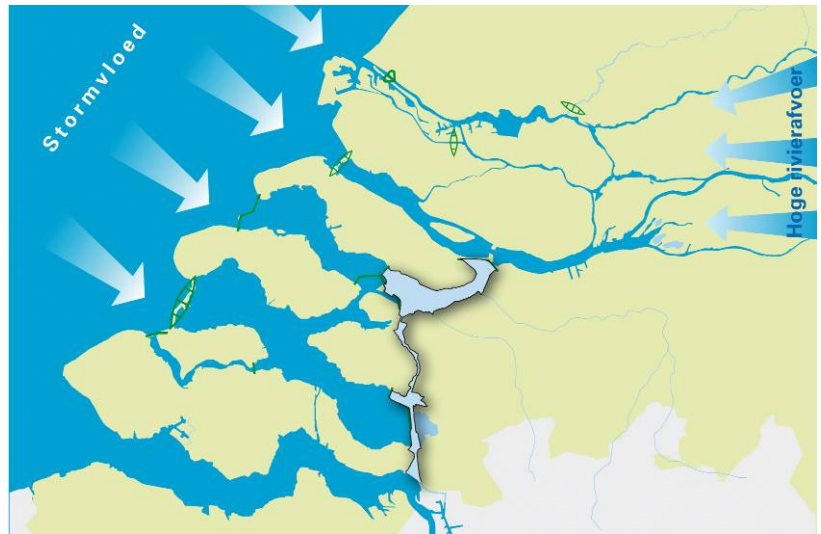
- Volkerak-Zoommeer;
- Volkerak-Zoommeer en Grevelingen;
- Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde (eventueel met Grevelingen).

Het Volkerak-Zoommeer vormt de schakel tussen de Rijn-Maasmonding en de Zuidwestelijke Delta. Waterberging vindt dus minimaal in het Volkerak-Zoommeer plaats, eventueel uitgebreid met de Grevelingen en/of de Oosterschelde.

Uit de Verkenning Grevelingen (2009) is gebleken dat een opening in de Brouwersdam technisch kan worden gecombineerd met een getijcentrale. Het voordeel van een getijcentrale is dat deze ook zodanig kan worden uitgevoerd dat hij gebruikt kan worden als gemaal. Voor waterberging biedt dit kansen, omdat tijdens eventuele waterberging in de Grevelingen met dit gemaal water naar zee gepompt kan worden. Bij waterberging is namelijk altijd sprake van een storm op zee en is het niet mogelijk te spuien. Wanneer de getijcentrale gebruikt kan worden als gemaal, kan de Noordzee feitelijk als nieuw bekken worden gezien. Op de hoofdoptie 'Volkerak-Zoommeer en Grevelingen' ontstaan zo twee varianten; met en zonder getijcentrale.

Om verschillende redenen blijkt waterberging op de Oosterschelde minder kansrijk dan waterberging op de Grevelingen. Een toelichting hierop volgt in de volgende paragraaf. In deze studie zijn daarom alleen de hoofdopties 'Volkerak-Zoommeer' en 'Volkerak-Zoommeer en Grevelingen' verder onderzocht:

1) Waterberging
Volkerak-
Zoommeer



2a) Waterberging
Volkerak-
Zoommeer
en Grevelingen



2b) Waterberging in
het Volkerak-
Zoommeer, de
Grevelingen en
de Noordzee via
een gemaal



3.2 Waterberging op de Oosterschelde minder kansrijk

In deze paragraaf wordt toegelicht waarom de hoofdoptie 'Waterberging Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde' minder kansrijk wordt geacht dan de hoofdoptie 'Waterberging Volkerak-Zoommeer en Grevelingen'. Dit hangt samen met de noodzaak om het sluitregime van de Oosterscheldekering te wijzigen bij waterberging op de Oosterschelde en met de lagere betrouwbaarheid van deze maatregel. In het vervolg wordt stapsgewijs toegelicht waarom wijziging van het sluitregime nodig is en welke onzekerheden spelen omtrent waterberging in de Oosterschelde. Daarnaast wordt uitgelegd waarom het aankoppelen van zowel de Grevelingen als de Oosterschelde voor waterberging geen zinvolle optie is.

Waterstandsverschil tussen Oosterschelde en Volkerak-Zoommeer

Het spuien van water naar de Oosterschelde is uiteraard alleen mogelijk wanneer sprake is van een waterstandsverschil tussen het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde. Terwijl de waterstand op het Volkerak-Zoommeer tijdens de waterberging alleen afhankelijk is van het aanvangspeil en de hoeveelheid water die geborgen wordt, wordt de waterstand op de Oosterschelde ook sterk beïnvloed door het lekdebiet door de Oosterscheldekering. De sluiting van de Oosterscheldekering bepaalt het aanvangspeil. Bij een gesloten kering stijgt de waterstand op de Oosterschelde nog altijd aanzienlijk, doordat een relatief grote hoeveelheid water door deze kering lekt. In combinatie met het huidige sluitregime van de kering, zorgt dit ervoor dat de waterstand op de Oosterschelde maar weinig lager of (tijdelijk) zelfs hoger is dan de waterstand op het Volkerak-Zoommeer. Naar verwachting is hierdoor in de bestaande situatie weinig effect te behalen aan MHW-daling. Om meer bergingscapaciteit in de Oosterschelde te creëren zijn nog wel de volgende maatregelen denkbaar:

- wijziging van het sluitregime van de Oosterscheldekering;
- het verkleinen van het lekdebiet door de Oosterscheldekering.

Aanpassing sluitregime

In de huidige situatie sluit de Oosterscheldekering in stormsituaties vóór de eerste hoogwatertop op een binnenpeil van NAP +1 m, voor de tweede hoogwatertop op NAP +2 m en voor een eventuele derde hoogwatertop weer op NAP +1 m. Deze '1-2-1'-wisselstrategie is gekozen om schade aan zandplaten, alsmede slikken en schorren, en mosselpercelen te minimaliseren. De grootste capaciteit voor waterberging kan gecreëerd worden door de kering één getij voor de hoogwatertop op laagwater te sluiten. Of sluiting op een binnenpeil lager dan NAP 0 m acceptabel is met het oog op de effecten op de intergetijdegebieden, is in deze studie niet onderzocht.

De frequentie waarmee de Oosterscheldekering op laagwater gesloten wordt zal lager zijn dan de huidige sluitfrequentie van de kering (naast stormvloed moet ook sprake zijn van hoge rivierafvoeren), maar hoger dan de inzetfrequentie van de waterberging. Bij sluiting één getijperiode voor de hoogwatertop, bestaat de kans namelijk dat de kering als gevolg van voorspelonzekerheden voor niets wordt gesloten. Hoe hoog deze frequentie is en in welke mate deze zal toenemen als gevolg van klimaatverandering, is in deze studie niet onderzocht, maar is een relevante factor voor de vraag of wijziging van het sluitregime t.b.v. waterberging acceptabel is.

Betrouwbaarheid

Naast de kans dat de Oosterscheldekering voor niets op laagwater gesloten wordt, bestaat er ook een kans dat de Oosterscheldekering onterecht niet gesloten wordt, doordat men de komende storm in de voorspellingen onderschat. Deze laatste kans kan weliswaar beperkt worden door rekening te houden met een grote marge rond de voorspellingen (waardoor de frequentie van sluiten op laagwater toeneemt), maar zal altijd blijven bestaan. Een 'herkansing' voor sluiten op een laag binnenpeil is er nog wel tijdens het laatste laagwater voor de hoogwatertop, maar dit laagwater kan afhankelijk van het stormverloop sterk verhoogd zijn. De kans dat sluiten op een voldoende laag binnenpeil niet lukt, verkleint de betrouwbaarheid van waterberging op de Oosterschelde.

Voor alle hoofdopties voor waterberging geldt dat verschillende doorlaatmiddelen tijdig geopend of gesloten moeten worden, om de waterberging in te kunnen zetten. Wanneer dit voor één doorlaatmiddel mislukt, kan de waterbergingscapaciteit niet of niet volledig benut worden. Hoe meer schakels het systeem telt, des te groter de kans op falen en des te lager de robuustheid. Afhankelijk van de vraag of bij waterberging op de Grevelingen sprake is van een afsluitbare of open verbinding met het Volkerak-Zoommeer, heeft de hoofdoptie met waterberging op de Oosterschelde één of twee schakels meer; de sluiting van de Oosterscheldekering en het openen van het doorlaatmiddel in de Philipsdam. Mogelijk moeten deze constructies ook tijdens de waterberging nog tijdelijk gesloten of geopend worden. Voor de verbinding tussen Oosterschelde en Volkerak-Zoommeer geldt dat een verbinding met voldoende capaciteit voor waterberging, niet als uitgevoerd kan worden als een doorlaatmiddel dat permanent, volledig geopend is. Voor de Grevelingen is dit mogelijk wel het geval. Waterberging op de Oosterschelde zal door het grotere aantal schakels minder betrouwbaar zijn dan waterberging op de Grevelingen. In deze studie is niet onderzocht of het hier om een significant verschil gaat.

Lekreductie

Via de drempelconstructie, via de openingen tussen de schuiven en de boven- en onderbalk en via de sponningen lekt water door de Oosterscheldekering. Vanuit technisch oogpunt gezien behoort alleen een reductie van het lek tussen de schuif en de bovenbalk tot de realistische mogelijkheden. Hiermee kan het lek door de Oosterscheldekering maximaal met 25% verkleind worden. Deze lekreductie vergroot het verval tussen Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde met enkele decimeters. Naar verwachting is dit onvoldoende om zonder wijziging van het sluitregime significante effecten op de MHW's in de Rijn-Maasmonding te kunnen behalen.

Beschikbare verval

Met bovengenoemde maatregelen kan theoretisch een gemiddeld verval van ordegrootte 1 m gecreëerd worden tussen Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde. Modelberekeningen laten zien dat met dit verval (dat alleen in een theoretische, optimale situatie beschikbaar is) hetzelfde effect op de MHW's in de Rijn-Maasmonding te bereiken is als met waterberging op de Grevelingen. Door diverse onzekerheden kan het verval dat in werkelijkheid, met voldoende betrouwbaarheid beschikbaar is echter beduidend kleiner zijn. Het gaat hierbij om de volgende onzekerheden:

- de timing van de sluiting van de Oosterschelde zal niet altijd optimaal op laagwater lukken;
- afhankelijk van het stormverloop kan het laagwater waar op gesloten wordt al verhoogd zijn;
- de kans bestaat dat één van de schuiven van de Oosterscheldekering weigert bij sluiting;
- met name wind uit westelijke richting kan er voor zorgen dat het verval tussen Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde verkleind wordt, als gevolg van opwaaiing bij de Philipsdam. Het is mogelijk dat waterberging ingezet wordt bij windrichtingen die qua opwaaiing ongunstig zijn;
- in situaties waarin sprake is van een langere stormopzetduur (>29 uur), zijn minder hoge rivierafvoeren nodig om dezelfde maximale waterstand te bereiken. Het duurt dan wel langer voordat de maximale waterstand bereikt is, waardoor een langzamere stijging van de waterstand op het Volkerak-Zoommeer te zien zal zijn. Door dit andere waterstandsverloop blijft minder verval over tussen Oosterschelde en Volkerak-Zoommeer. Door de Oosterscheldekering bij tussentijdse laagwaters te openen, kan dit negatieve effect deels gecompenseerd worden. Het enkele malen volledig openen en sluiten van de kering neemt uiteraard ook weer onzekerheden met zich mee.

Doorlaatmiddel Philipsdam in relatie tot waterberging

Los van het effect op de MHW's, kan het sowieso nuttig zijn om tijdens waterberging op het Volkerak-Zoommeer zo veel mogelijk water af te laten naar de Oosterschelde. Wanneer de situatie zich in de praktijk voordoet dat waterberging op het Volkerak-Zoommeer plaatsvindt en hierbij een verval beschikbaar is richting de Oosterschelde, kunnen de maximale waterstanden in de Rijn-Maasmonding en op het Volkerak-Zoommeer worden beperkt door water naar de Oosterschelde te spuien. De aanleg van een doorlaatmiddel in de Philipsdam, waartoe mogelijk besloten wordt in het kader van de verbetering van de waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer, zal daarom ook vanuit het oogpunt van waterberging nuttig zijn. Ook kan met behulp van dit doorlaatmiddel het water vanuit het Volkerak-Zoommeer na afloop van de hoogwatersituatie sneller afgevoerd worden.

Waterberging op Grevelingen én Oosterschelde niet zinvol

Zoals in paragraaf 3.4 toegelicht zal worden, is de waterbergingscapaciteit van de Grevelingen dusdanig groot dat dit niet de beperkende factor vormt voor de MHW-daling die maximaal haalbaar is met waterberging in de Zuidwestelijke Delta². Hierdoor kan met een vergroting van de bergingscapaciteit door het aankoppelen van de Oosterschelde geen sterkere MHW-daling behaald worden. Dit is echter niet

² Of dit ook geldt voor de bergingsmogelijkheden op de Oosterschelde is niet nader onderzocht in deze studie.

de enige oorzaak waardoor het gelijktijdig inzetten van Grevelingen én Oosterschelde voor waterberging niet zinvol is om meer MHW-daling te realiseren. Bij waterberging op Volkerak-Zoommeer én Grevelingen, zullen de waterstanden op het Volkerak-Zoommeer lager zijn dan bij waterberging op het Volkerak-Zoommeer alleen. Voor veel situaties waarbij de waterberging ingezet wordt zal de waterstand zelfs lager zijn dan die van de Oosterschelde. Er kan dan dus geen water naar de Oosterschelde gespuid worden door een eventueel doorlaatmiddel in de Philipsdam. Bij de optie met een getijcentrale als gemaal worden de waterstanden nog verder verlaagd en zal er voor meer situaties geen (of een verder beperkt) verval naar de Oosterschelde zijn. Hierdoor kan waterberging op de Oosterschelde als aanvulling op waterberging op Volkerak-Zoommeer én Grevelingen niet zorgen voor een verdere MHW-daling.

Conclusies

- Om de volgende redenen wordt waterberging op de Oosterschelde minder kansrijk geacht dan waterberging op de Grevelingen:
 - Om waterberging op de Oosterschelde mogelijk te maken is een wijziging van het sluitcriterium van de Oosterscheldekering noodzakelijk. Het is twijfelachtig of sluiting op een binnenpeil lager dan NAP, in combinatie met de frequentie waarmee dit gebeurt, acceptabel is, gelet op de eventuele gevolgen voor de intergetijdengebieden;
 - Er zal altijd een kans bestaan dat de sluiting van de Oosterscheldekering op een voldoende laag binnenpeil niet lukt. Hiermee wordt een extra onzekere factor geïntroduceerd in het systeem van waterberging. Het is de vraag of dit wenselijk is.
- Door gelijktijdig de Grevelingen en de Oosterschelde voor waterberging in te zetten kan de MHW-daling niet vergroot worden.

3.3 Uitgangspunten bij de hoofdopties

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de belangrijkste uitgangspunten bij de hoofdopties. Een uitgebreide beschrijving van de uitgangspunten en randvoorwaarden is opgenomen in het deelrapport Hydraulica.

3.3.1 Moment van waterberging

De Europoortkering zal sluiten in het geval van een dreigende storm. Exacter gezegd sluiten deze stormvloedkeringen wanneer verwacht wordt dat bij Rotterdam een waterstand van NAP +3,0 m of bij Dordrecht een waterstand van NAP +2,90 m wordt overschreden. Bij hoger rivierafvoeren ($> 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ Lobith) sluiten de stormvloedkeringen op kentering, zodat zoveel mogelijk bergingscapaciteit wordt gecreëerd in de Rijn-Maasmonding. In het gebied achter de kering (oostzijde) is de waterstand dan voldoende laag om in de meeste gevallen de rivierafvoer te kunnen bergen, zonder dat maatgevende waterstanden verwacht worden. Alleen in situaties dat de rivierafvoer wel zodanig groot is dat op Haringvliet en Hollandsch Diep maatgevende waterstanden verwacht worden, is het nodig om water te bergen in de Zuidwestelijke Delta. Zodra de Europoortkering is gesloten en ter hoogte van de Volkerakspuisluizen een waterstand van NAP +2,6 m of hoger wordt verwacht, zullen de Volkerakspuisluizen worden geopend. Het is dan nog relatief laag water op het Hollandsch Diep en het duurt dan nog circa 24 uur voordat de MHW-stand bereikt zal worden.

3.3.2 *Spuimiddelen*

De bekkens in de Zuidwestelijke Delta zijn van elkaar en van de Rijn-Maasmonding afgescheiden door dammen. Voordat waterberging mogelijk is, zijn aanpassingen nodig aan de spuumiddelen waarmee het water van het ene bekken naar het andere kan stromen. Figuur 8 geeft een overzicht van de dammen en stormvloedkeringen in de Rijn-Maasmonding en Zuidwestelijke Delta.

Uit voorgaande studies is gebleken dat de capaciteit van de Volkeraksluizen (in de Volkerakdam) bepalend is voor de effectiviteit van waterberging. Voor alleen waterberging in het Volkerak-Zoommeer is de huidige omvang van de spuisluizen min of meer optimaal. De huidige effectieve doorstroomoppervlakte van de Volkerakspuisluizen is 570 m². Om waterberging in de Grevelingen optimaal te kunnen benutten is vergroting van de inlaatcapaciteit bij de Volkerakdam noodzakelijk. In deze studie is gezocht naar een realistisch optimale afmeting van de Volkeraksluizen. Hieronder wordt verstaan een realistische afmeting met het oog op de beschikbare ruimte en de toekomstige ontwikkelingen vanuit de scheepvaart en kosten.



Figuur 8: Overzicht van de dammen en stormvloedkeringen in de Rijn-Maasmonding en Zuidwestelijke Delta

Vanuit dit perspectief blijkt dat met de aanleg van een drietal nieuwe spuiokers in de Volkerakdam en de verlaging van de drempels van de bestaande kokers een vergroting van het effectieve doorstroomoppervlak bereikt kan worden van 570 m² naar 1350 m². In plaats hiervan zou ook door de aanleg van een 4^e beroepsvaartkolk en het geschikt maken van alle schutkolken in de Volkerakdam voor het spuien van water, een doorstroomoppervlak van 1200 m² gecreëerd kunnen worden. Door de uitvoering van al deze mogelijkheden, kan het totale doorstroomoppervlak vergroot worden tot 2000 m². Hoofdstuk 4 geeft een uitgebreide toelichting op de kosten en totstandkoming van de afmetingen van de verschillende doorlaatmiddelen. Bij de hydraulische berekeningen is ervoor gekozen de effectieve doorstroomoppervlaktes van 1350 m² en 2000 m² mee te nemen.

Het Volkerak-Zoommeer is van de Grevelingen gescheiden door de Grevelingendam. In deze dam is geen spuumiddel aanwezig en dit zal dus moeten worden

geconstrueerd indien tot waterberging in de Grevelingen wordt besloten. Binnen deze studie is onderzocht wat ten behoeve van waterberging de optimale capaciteit van dit spuumiddel is. Hieruit bleek dat het hydraulisch optimaal is als het doorstroomoppervlak van het spuumiddel in de Grevelingendam hetzelfde is als het totale doorstroomoppervlak van de spuumiddelen in de Volkerakdam. In deze studie is het effect van zowel een open verbinding tussen het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen (met een brug) als een gesloten variant onderzocht. Een open variant betekent dat beide bekkens ook onder dagelijkse omstandigheden met elkaar zijn verbonden. Het blijkt dat een open of gesloten variant geen effect heeft op de MHW, maar wel uitmaakt in kosten. Daarnaast heeft een open verbinding consequenties voor de waterkwaliteit (zoet-zout, nutriënten), het peilbeheer (herstel getijdenwerking) en het ontwerp van de doorlaat en getijcentrale op de Brouwersdam. Ook kan er een verbinding ontstaan voor de recreatievaart.

Als voor het verbeteren van de waterkwaliteit in het Volkerak-Zoommeer wordt besloten tot het verzilten van het Volkerak-Zoommeer, zal er een doorlaatmiddel worden gemaakt in de Philipsdam. In deze studie is uitgegaan van realisatie van deze opening. De afmeting bedraagt circa 300 m². In de modelberekeningen is ervan uitgegaan dat dit doorlaatmiddel alleen wordt benut om na de hoogwatersituatie water af te voeren uit het Volkerak-Zoommeer naar de Oosterschelde.

Brouwersdam – getijcentrale met pompcapaciteit

In de MIRT-Verkenning Grevelingen wordt verkend of het haalbaar is om een getijcentrale in de Brouwersdam aan te leggen. Het blijkt dat de turbines van een getijcentrale tevens als pomp ingezet kunnen worden. Dit biedt extra mogelijkheden voor waterberging, omdat dan tijdens hoogwater op zee ook water vanuit de Grevelingen naar de Noordzee gepompt kan worden. In deze studie is een ondergrensbenadering gevolgd voor het aantal turbines/pompen van de getijcentrale (70 turbines) en is uitgegaan van een maximale opvoerhoogte van 2 m. Uit de MIRT-Verkenning Grevelingen kan ook blijken dat gekozen wordt voor een getijcentrale met meer turbines en een hogere opvoerhoogte.

Aanvangspeilen van de bekkens

De aanname voor de meerpeilen in het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen is dat deze tot en met 2050 gelijk blijven aan het huidige beheerspeil. Voor 2100 is dit met een zeespiegelstijging van 0,85 m naar verwachting niet realistisch, tenzij met gemalen de waterstand laag gehouden kan worden. Voor 2100 is daarom aangenomen dat de beheerspeilen zullen stijgen met 50% van de zeespiegelstijging. In de varianten waarbij het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen niet meer van elkaar gescheiden zijn, is het aanvangspeil op het Volkerak-Zoommeer en Grevelingen gelijk genomen. Bij de optie met de getijcentrale is uitgegaan van een meerpeil van NAP –1 m, omdat ervan uitgegaan is dat met deze pompcapaciteit het meerpeil voorafgaand aan waterberging aanzienlijk verlaagd kan worden om een optimaal effect te sorteren.

3.4 MHW- en waterstandsverlaging

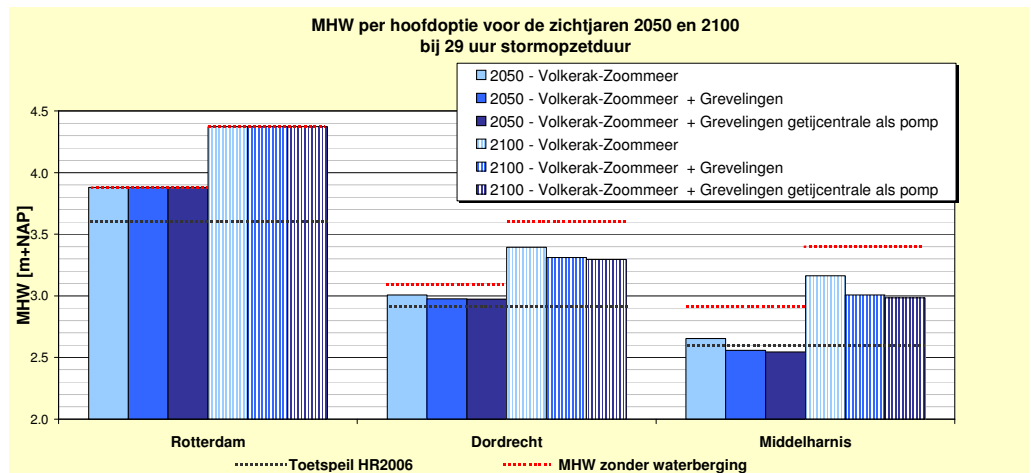
Deze paragraaf geeft de resultaten van de hoofdopties voor waterberging op de MHW, maar ook voor een situatie met een specifieke rivierafvoer in combinatie met een specifieke zee­waterstand.

3.4.1

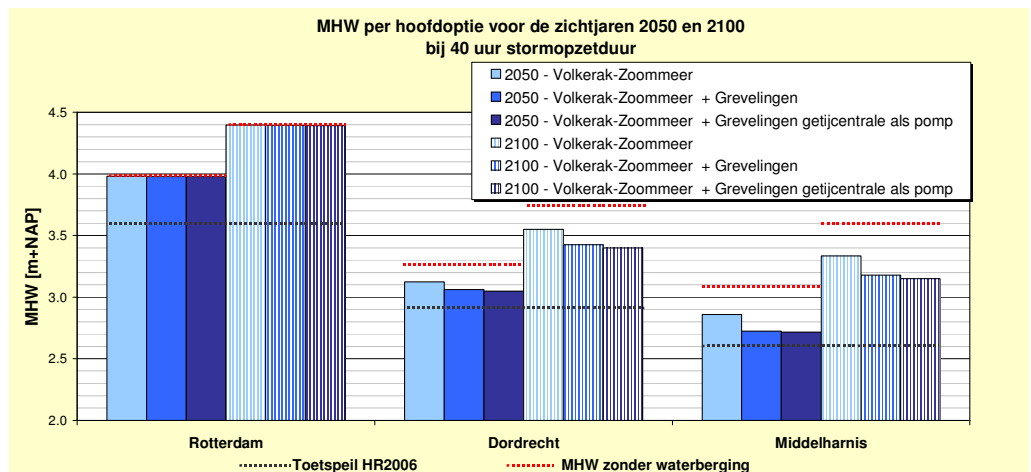
MHW-daling

De MHW's voor de drie opties zijn voor Rotterdam, Dordrecht en Middelharnis gegeven in Figuur 9 en Figuur 10. Hierbij is uitgegaan van de, in deze studie gehanteerde, maximale afmeting van 2000 m² van de spuumiddelen en een stormopzetduur van 29 uur of 40 uur. De afmeting van 2000 m² geldt dus ook in de configuratie met alleen het Volkerak-Zoommeer. Opgemerkt wordt dat de MHW-daling met spuumiddelen van 1350 m² dezelfde MHW-daling geeft als de maximale variant met 2000 m².

De balken in de figuren geven de MHW's inclusief waterberging. De onderste (grijze) stippellijn geeft het huidige MHW aan zoals in de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (toetspeil HR2006) is opgenomen. De bovenste (rode) stippellijn is de MHW in respectievelijk 2050 of 2100 zonder waterberging (zie hiervoor ook Figuur 6). Het verschil tussen beide stippellijnen is de MHW-opgave waar de Rijn-Maasmonding de komende eeuw voor staat.



Figuur 9: Maatgevende Hoogwaterstand (MHW) per optie voor de zichtjaren 2050 en 2100 bij een stormopzetduur van 29 uur



Figuur 10: Maatgevende Hoogwaterstand (MHW) per optie voor de zichtjaren 2050 en 2100 bij een stormopzetduur van 40 uur

MHW-daling door waterberging Volkerak-Zoommeer en Grevelingen in het KNMI W2100 scenario.



Figuur 11: MHW-daling door waterberging in Volkerak-Zoommeer en Grevelingen voor 2100

Bij Rotterdam leidt waterberging niet tot MHW-verlaging. Dit komt omdat Rotterdam is gelegen in het zeegebied (paragraaf 2.1.3). Hier is de rivierafvoer niet van invloed en deze wordt nu juist door deze maatregel geborgen. Waterberging is wel effectief in locaties die zijn gelegen in het overgangsgebied, zoals Dordrecht en Middelharnis.

Waterberging leidt bij Dordrecht, afhankelijk van de gekozen optie, in 2050 tot 0,1-0,2 m MHW-daling en in 2100 tot 0,2-0,3 m MHW-daling. De maatregel is voor het Hollandsch Diep en Haringvliet (Middelharnis) het meest effectief. Waterberging in het Volkerak-Zoommeer met verbreding van de Volkeraksluizen geeft daar 0,2-0,3 m MHW-daling. Uitbreiding met de Grevelingen geeft 0,3-0,4 m MHW-daling. Als uitgegaan wordt van 29 uur stormopzetduur kan uitbreiding met de Grevelingen er voor zorgen dat in 2050 de MHW van 2006 gehandhaafd blijft. Bij 40 uur stormopzetduur is dit niet het geval. In paragraaf 3.5, de knikpuntenanalyse, wordt hier verder op ingegaan.

Bij een langere stormopzetduur wordt waterberging effectiever. De MHW's dalen bij 40 uur stormopzetduur ongeveer 0,1 m meer dan bij 29 uur.

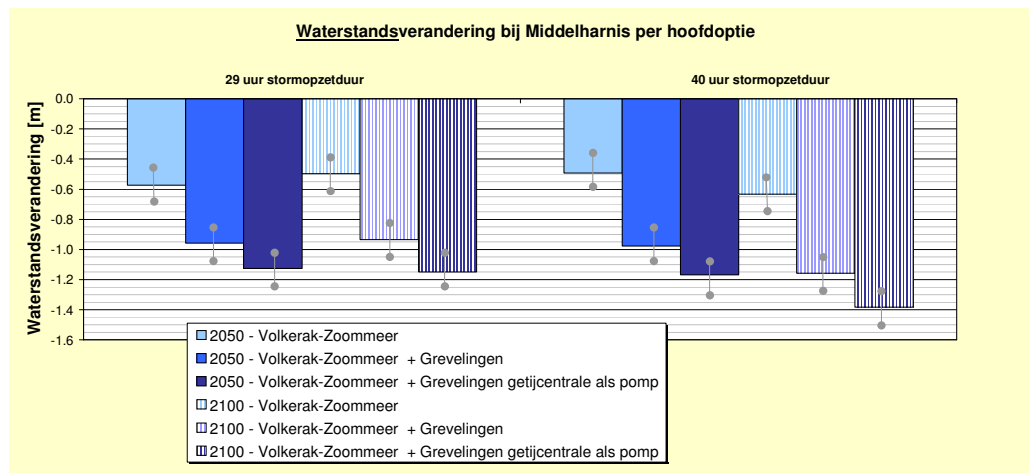
Naarmate de zeespiegel verder stijgt, leidt waterberging tot meer MHW-daling. Het is niet nader onderzocht hoe dit komt. Het wordt aanbevolen om dit wel nader te onderzoeken. Vermoedelijk ligt de oorzaak in de verandering van de statistiek.

De maximale MHW-daling die met waterberging kan worden bereikt, is dus circa 0,4 m. Uitbreiding met de Grevelingen leidt tot ongeveer 1,5 keer zoveel MHW-daling dan waterberging op alleen het Volkerak-Zoommeer. Opmerkelijk genoeg leidt de getijcentrale met de pomp nauwelijks tot meer MHW-daling, ondanks de aanzienlijke capaciteit van deze pomp. In hoofdstuk 2 is reeds aan de orde geweest dat de MHW een waterstand is die hoort bij een bepaalde overschrijdingskans. Combinaties van rivierafvoer en zeewaterstand zijn hierin op basis van hun kans 'gewogen'. Wanneer naar een afzonderlijke combinatie van een rivierafvoer en een zeewaterstand wordt gekeken, blijkt dat de optie met de pomp wel degelijk leidt tot

een lagere waterstanden in de Rijn-Maasmonding dan zonder pomp. De volgende paragraaf gaat hier verder op in.

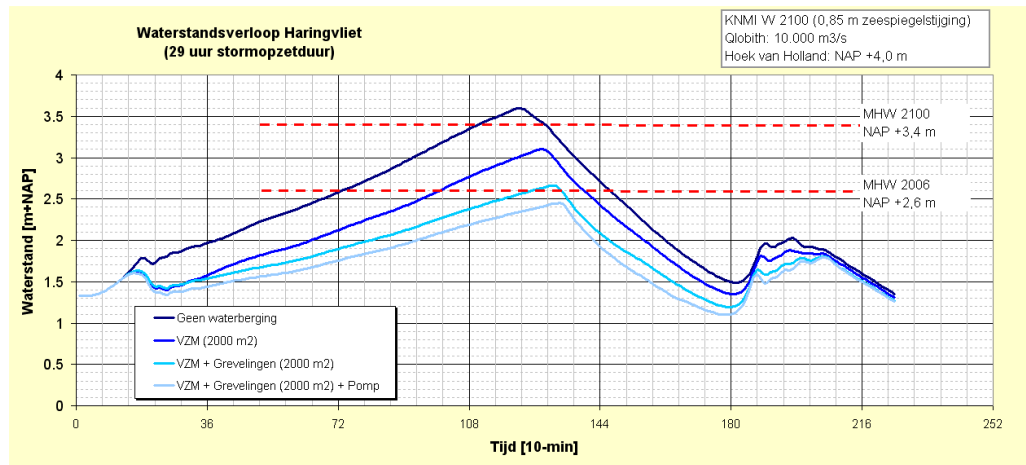
3.4.2 Waterstandsverlaging

Figuur 12 geeft voor Middelharnis bij een rivierafvoer van 10.000 m³/s voor de Rijn bij Lobith in combinatie met een stormopzethoogte van 4,0 m bij Hoek van Holland de waterstandsverlaging voor de drie onderzochte opties van waterberging. De gekozen combinatie is een combinatie die ongeveer dezelfde maximale waterstand oplevert als de MHW bij Middelharnis. In de figuur is een marge opgenomen, omdat per combinatie van rivierafvoer en zeewaterstand, de waterstandsverlaging varieert. De gepresenteerde waterstandsverlaging moet daarom als indicatief worden beschouwd.



Figuur 12: Waterstandsverlaging bij Middelharnis voor de drie opties bij 29 en 40 uur stormopzetduur. Afmeting spuumiddelen is 2000 m².

De maximale waterstandsverlaging voor Middelharnis bij deze specifieke gebeurtenis is circa 1,4 m (situatie met pomp en de afmeting van de spuumiddelen van 2000 m²). Zonder pomp, maar wel met waterberging in de Grevelingen kan ook al circa 1 m waterstandsverlaging worden behaald. In Figuur 13 is het waterstandsverloop geschetst op het Haringvliet voor de situatie met een Rijnafvoer van 10.000 m³/s en een zeewaterstand van 4,0 m. De Europoortkering is in deze situatie gesloten. Ook hieruit blijkt de reductie die waterberging heeft op de waterstanden.



Figuur 13: Waterstandsverloop Haringvliet (nabij Middelharnis) voor de hoofdopties voor waterberging in het W2100 klimaatsscenario bij een Rijnafvoer van 10.000 m³/s en een zeewaterstand van NAP +4,0 m

In de afzonderlijke combinaties van rivierafvoer en zeewaterstand leidt waterberging zelfs bij Rotterdam tot circa 1 m verlaging van de *waterstand* (bij de optie met pomp). In termen van MHW-daling had waterberging bij Rotterdam geen effect! Het blijkt dat de effectiviteit van waterberging, wanneer deze wordt uitgebreid met de Grevelingen afhankelijk is van de faalkans van de Europoortkering.

3.4.3

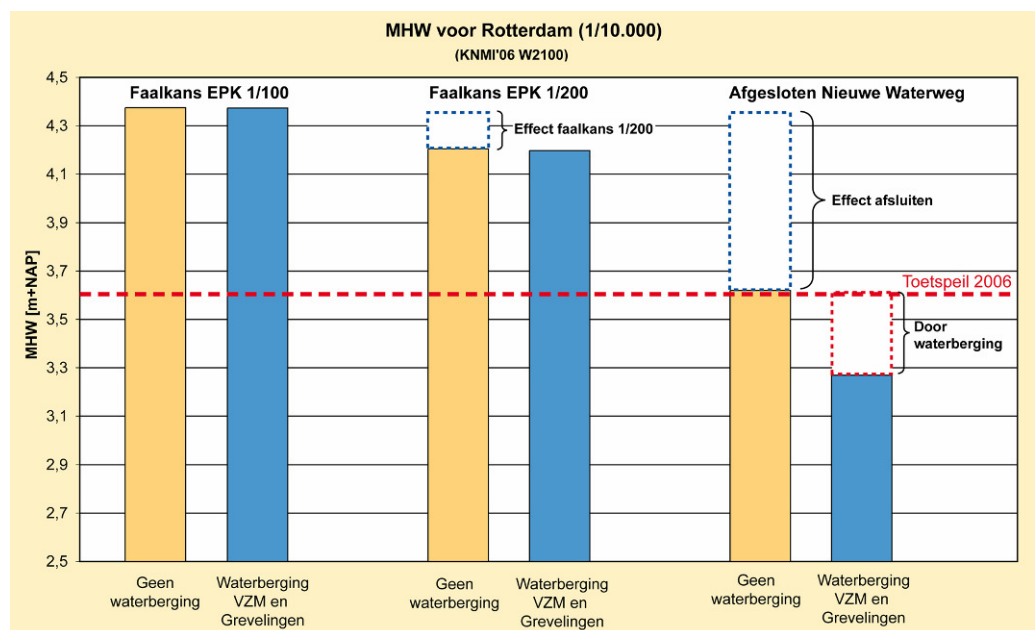
Samenhang met faalkans Europoortkering

Aan het begin van hoofdstuk 2 is uitgelegd dat de MHW een statistische grootheid is en de Rijn-Maasmonding onderverdeeld kan worden in het zeegebied, het overgangsgebied en het rivierengebied. In het zeegebied zijn situaties met stormvloed op zee en een falende Europoortkering maatgevend, in het rivierengebied de extreme rivierafvoeren en in het overgangsgebied de situaties waarbij hoge rivierafvoeren samenvallen met een gesloten Europoortkering. Met waterberging worden de waterstanden alleen in de laatstgenoemde situaties verlaagd. Aangezien deze situaties niet bepalend zijn voor de MHW's in het zeegebied, is het dus verklaarbaar dat waterberging geen effect heeft op de MHW bij Rotterdam.

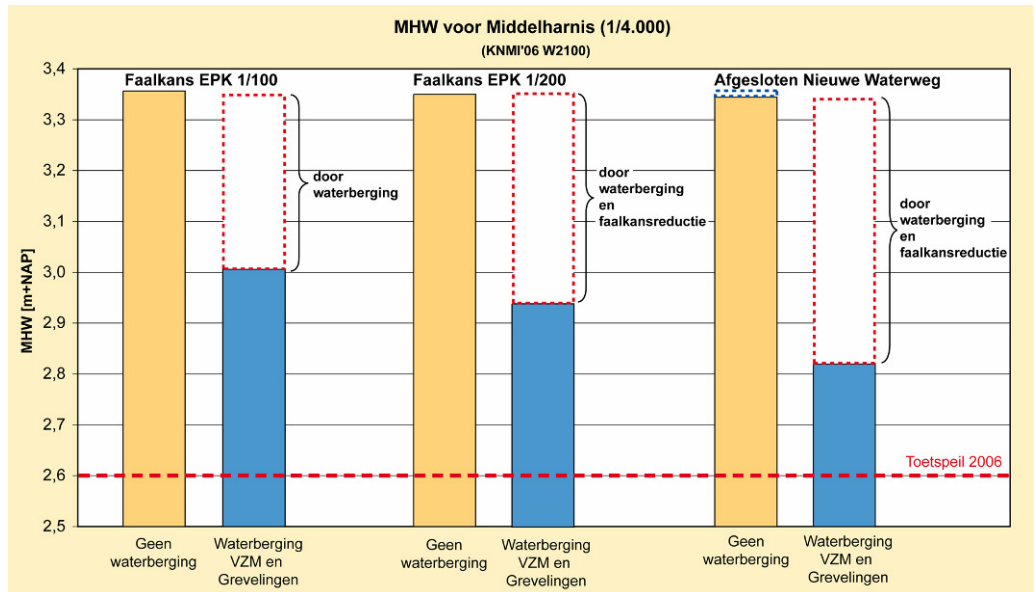
In het overgangsgebied is de MHW-daling door waterberging minder dan in eerste instantie verwacht zou worden op basis van de resultaten voor de waterstandsverlaging bij een specifieke gebeurtenis van een rivierafvoer in combinatie met een zeewaterstand. Uit een nadere analyse van de resultaten blijkt echter dat waterberging juist zodanig effectief is dat de geografische ligging van het zeegebied, overgangsgebied en rivierengebied verandert (Figuur 3). Het zeegebied schuift naar het oosten op. In het overgangsgebied ontstaat een dreigende situatie in de meeste gevallen bij hoge, niet extreme rivierafvoeren in combinatie met een stormvloed. Door waterberging worden in deze situaties de waterstanden dusdanig verlaagd, dat deze situaties niet meer maatgevend zijn. Voor het Haringvliet en Hollandsch Diep komt de bedreiging nu niet meer vanuit het samenvallen van hoge rivierafvoeren met gesloten stormvloedkeringen, maar vanuit de situaties waarin sprake is van hoge zeewaterstanden en de sluiting van de stormvloedkeringen faalt. Het Haringvliet en Hollandsch Diep komen zo in feite net als Rotterdam in het zeegebied te liggen.

Bij de optie 'Waterberging Volkerak-Zoommeer en Grevelingen, zonder getijcentrale' worden de waterstanden in situaties met gesloten stormvloedkeringen en hoge rivierafvoeren al dusdanig verlaagd, dat deze situaties niet meer bepalend zijn voor de MHW. De situaties met stormvloed en een falende Europoortkering hebben nu de dominante rol gekregen in de hoogte van de MHW. Hierdoor heeft een vergroting van de waterbergingscapaciteit (door bijv. de optie 'mét getijcentrale') geen zin meer voor een verdere verlaging van de MHW. De verdere waterstandsverlaging in specifieke situaties is niet relevant voor de hoogte van de MHW, omdat deze situaties ook zonder de aanvullende capaciteit al niet meer maatgevend zijn.

De faalkans van de Europoortkering speelt een belangrijke rol in het zeegebied. De huidige faalkans is 1/100 per sluitvraag. Het verkleinen van de faalkans naar 1/200 heeft geen extra bijdrage aan de MHW-verlaging met waterberging. Alleen bij een zeer kleine faalkans (faalkans benadert 0) wordt het effect van waterberging duidelijk groter (zie Figuur 14 en Figuur 15). Om zulke kleine faalkans te bereiken, moet gedacht worden aan het vervangen van de huidige Europoortkering door een meer permanente afsluiting. Uitgaande van een situatie met en meer permanente afsluiting heeft waterberging zelfs bij Rotterdam effect. Door de aanleg van een meer permanente afsluiting schuift het overgangsgebied naar het westen op, en daarmee ook het gebied waarin waterberging effect heeft op de MHW's.



Figuur 14: MHW-daling bij Rotterdam door waterberging op Volkerak-Zoommeer en Grevelingen bij verschillende faalkansen, voor KNMI'06 W2100-scenario



Figuur 15: MHW-daling bij Middelharnis door waterberging op Volkerak-Zoommeer en Grevelingen bij verschillende faalkansen, voor KNMI'06 W2100-scenario

Nadere toelichting

Samenhang met kans op niet sluiten van de Europoortkering

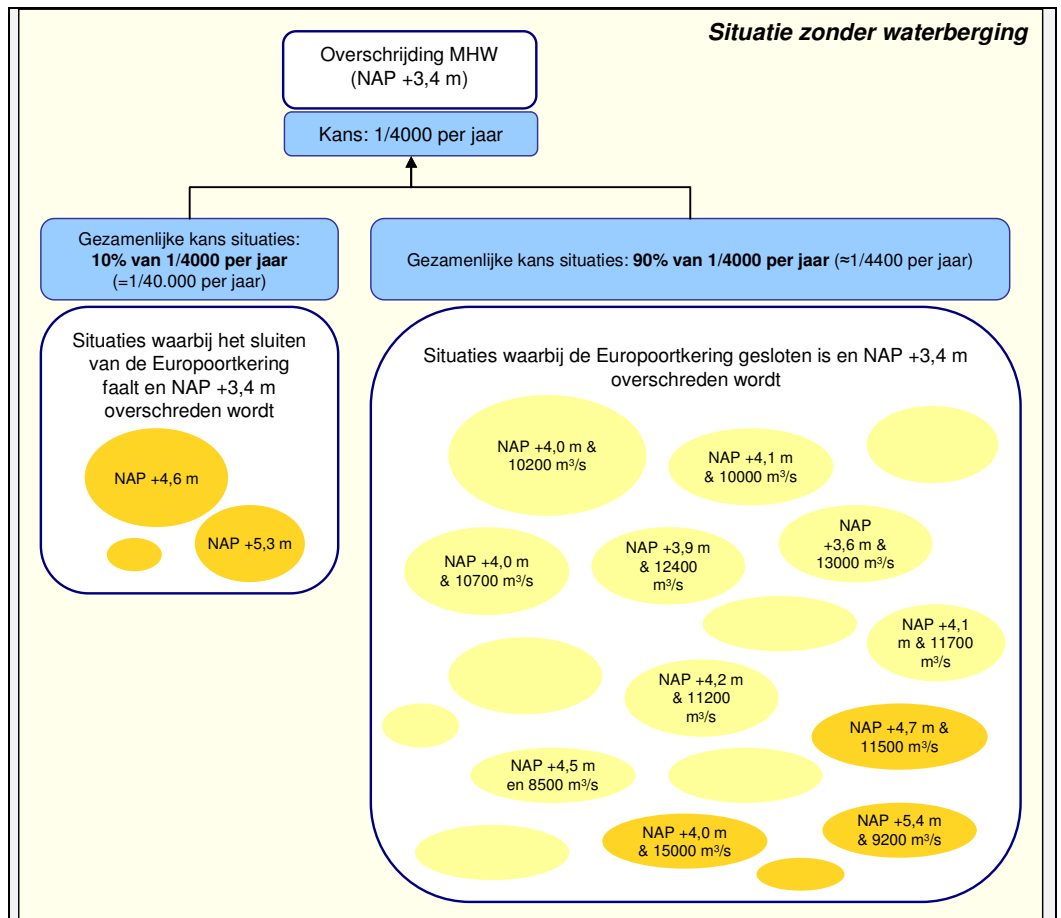
In dit kader wordt nader uitgelegd hoe het komt dat door waterberging uiteindelijk de kans op niet sluiten van de kering in de Nieuwe Waterweg bepalend wordt voor de hoogte van de MHW's in het Haringvliet en Hollandsch Diep. De getallen die in dit kader genoemd worden dienen slechts als voorbeeld.

In paragraaf 2.1 is reeds uitgelegd dat de maatgevende hoogwaterstanden (MHW) in het overgangsgebied (zie Figuur 3) voornamelijk bepaald worden door het samenvallen van relatief hoge rivierafvoeren met gesloten stormvloedkeringen (die gesloten zijn vanwege hoge zeewaterstanden). Omdat de kans bestaat dat bij hoge zeewaterstanden het sluiten van de Europoortkering mislukt, is er ook een kleine kans dat de MHW in het overgangsgebied wordt bereikt in deze situatie. De kansen op beide situaties bepalen de MHW.

Om dit verder toe te lichten wordt als voorbeeld de MHW bij Middelharnis in 2100 genomen. We stellen als voorbeeld dat deze MHW NAP +3,4 m zou bedragen zonder waterberging. De norm bij Middelharnis is 1/4000 per jaar. Dat betekent dat de kans dat de waterstand van NAP +3,4 m wordt overschreden 1/4000 per jaar is.

Deze waterstand van NAP +3,4 m kan in verschillende situaties overschreden worden. Als hogere waterstanden optreden, dan is dit het meest waarschijnlijk in situaties dat hoge zeewaterstanden (en daarmee gesloten keringen) samenvallen met relatief hoge rivierafvoeren. Het kan hierbij gaan om allerlei verschillende combinaties van Rijnafvoeren en zeewaterstanden (in Figuur 16 is dit geïllustreerd). De kans dat NAP +3,4 m wordt overschreden door een situatie met gesloten keringen is ongeveer 90% van 1/4000 per jaar; ca. 1/4400 per jaar. Deze 1/4400 per jaar volgt uit de optelsom van de individuele kansen van al de verschillende combinaties die tot overschrijding van NAP +3,4 m leiden.

De kans dat overschrijding van NAP +3,4 m voorkomt in een situatie waarbij de Europoortkering niet heeft kunnen sluiten, is ongeveer 10% van 1/4000 per jaar; 1/40.000 per jaar. In figuur 1 is verduidelijkt dat beide kansen samen leiden tot een waterstand met een overschrijdingskans van 1/4000 per jaar, ofwel de MHW.



Figuur 16: Overschrijding van NAP +3,4 m in de situatie zonder waterberging (voorbeeld)

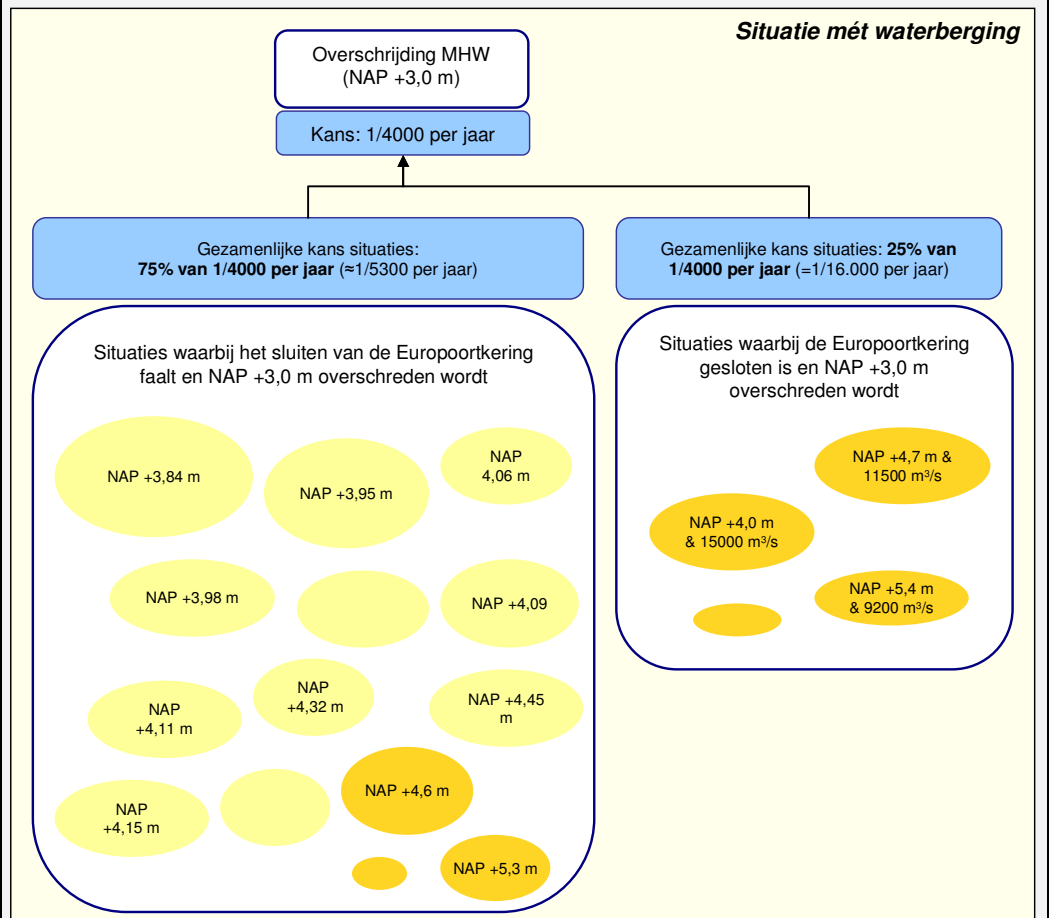
Nu gaan we kijken naar de situatie mét waterberging. Waterberging wordt alleen ingezet als de Europoortkering gesloten is. Waterberging heeft dus alleen invloed op de situaties in het rechter deel van Figuur 16. Door waterberging worden de maximale waterstanden in situaties met gesloten keringen met ongeveer een meter verlaagd. Voor de meeste combinaties van zeewaterstand en afvoer die eerst nog leidden tot overschrijding van NAP +3,4 m, wordt de maximale waterstand door de waterberging nu dusdanig beperkt dat in veel situaties NAP +3,4 m niet meer overschreden worden. Het zijn alleen nog de extremere, zeldzamere combinaties (oranje in beide figuren) van afvoer en zeewaterstand die nog tot overschrijding van de (nieuwe) MHW leiden.

Doordat mét waterberging veel combinaties van afvoer en zeewaterstand niet meer 'meedoen' aan de overschrijding van NAP +3,4 m, wordt de overschrijdingskans van deze waterstand kleiner dan 1/4000 per jaar. Oftewel: de kansen op alle combinaties die in Figuur 16 lichtgeel zijn weergegeven, tellen niet meer mee in de optelsom van de gezamenlijke kans, omdat hierbij (met waterberging) NAP +3,4 m niet meer overschreden wordt.

Voor de nieuwe situatie moet opnieuw de waterstand bepaald worden die een overschrijdingskans heeft van 1/4000 per jaar. Door waterberging wordt een lagere waterstand de nieuwe MHW, stel NAP +3,0 m.

Omdat de situaties met hoge rivierafvoer en gesloten Europoortkering die (mèt waterberging) tot overschrijding van de waterstand van NAP +3,0 m leiden zeldzaam zijn, worden de situaties waarbij de Europoortkering niet is gesloten belangrijker. Terwijl de kans op overschrijding van de (nieuwe) MHW ten gevolge van situaties met gesloten Europoortkering is afgenomen, is de bijdrage aan de totale overschrijdingskans van situaties met een open kering juist toegenomen. Er zijn namelijk minder hoge (en dus minder zeldzame) zeewaterstanden nodig om overschrijding van NAP +3,0 m te veroorzaken dan overschrijding van NAP +3,4 m. De grootte van de overschrijdingskans van NAP +3,0 m bij Middelharnis ten gevolge van situaties met open keringen, hangt af van de kans van voorkomen van deze minder zeldzame zeewaterstanden in combinatie met de faalkans en voorspelonzekerheid van de Europoortkering.

De balans slaat op deze manier om: de MHW bij Middelharnis wordt in de situatie met waterberging voornamelijk bepaald door situaties waarbij de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg niet is gesloten, en in veel mindere mate door het samenvallen van hoge rivierafvoeren met gesloten keringen. Middelharnis hoort nu bij het zeegebied i.p.v. bij het overgangsgebied (zie paragraaf 2.1).



Figuur 17: Overschrijding van NAP +3,0 m in de situatie met waterberging (voorbeeld)

3.4.4 Inzetfrequentie

Het uitgangspunt is dat waterberging zal plaatsvinden als de Europoortkering is gesloten en voorspeld is dat bij Rak-Noord (Volkeraksluizen) de waterstand van NAP +2,6 m zal worden overschreden. De reden om voor dit inzetpeil te kiezen is dat getracht is om zo lang mogelijk de huidige maatgevende hoogwaterstand vast te houden. De keuze voor een hoger inzetcriterium zou direct betekenen dat ook andere maatregelen nodig zijn.

Tabel 2 geeft voor het huidige klimaat (jaar 2006) en voor de zichtjaren 2050 en 2100 de inzetfrequentie van waterberging weer. Door klimaatverandering neemt de frequentie van waterberging is aanzienlijk toe: in 2100 tot eens in de 10-20 jaar.

Tabel 2: Inzetfrequentie waterberging, nu en op termijn. Uitgangspunt is handhaving van het huidige inzetpeil van NAP +2,6 m.

Inzetcriterium	Inzetfrequentie [1/jr]					
	Stormopzetduur 29 uur			Stormopzetduur 40 uur		
	2006	2050	2100	2006	2050	2100
NAP +2,6 m	1400 ³	400	20	500	100	10

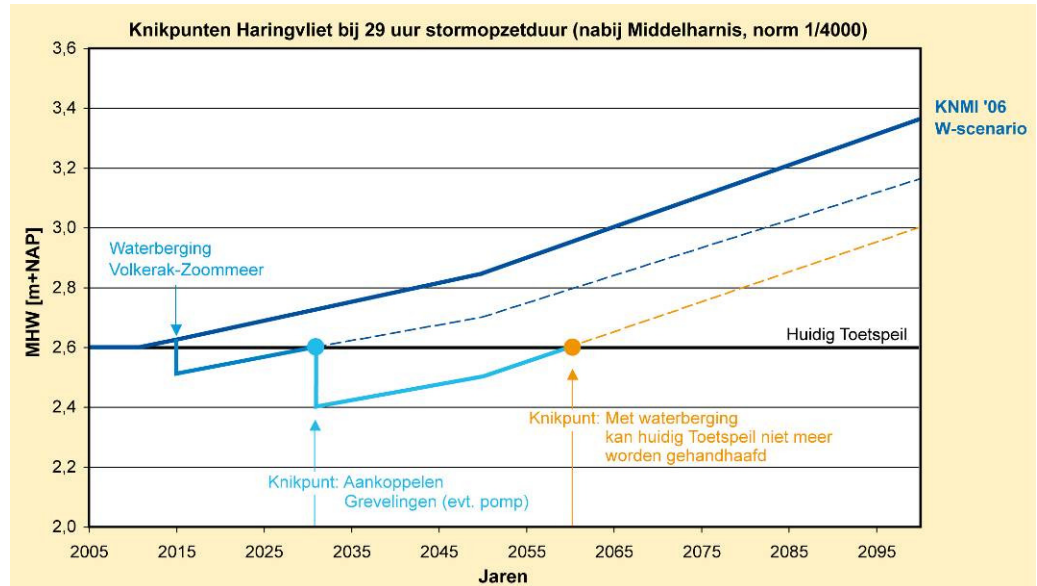
Een nuancering is hier op zijn plaats. Op termijn zal het toetspeil van de dijken in de Rijn-Maasmonding toch moeten worden verhoogd, aangezien waterberging het effect van klimaatverandering en een langere stormopzetduur niet zal kunnen compenseren. Met deze verhoging van de toetspeilen, zou ook het inzetpeil van waterberging 'mee kunnen groeien'. Hierdoor hoeft op een zeker moment de inzetfrequentie niet verder op te lopen. Het zal namelijk niet meer zinvol zijn de waterberging vanaf peilen van NAP +2,6 m in te blijven zetten, wanneer de MHW tot ver boven dit niveau is toegenomen. Het is waarschijnlijk dat deze MHW-stijging dan met dijkversterking opgevangen is. Wat de inzetfrequentie dan zal zijn, is afhankelijk van de keuzes die worden gemaakt en is in de gevoeligheidsanalyse niet onderzocht. Wel is duidelijk dat de inzetfrequentie op termijn (aanzienlijk) hoger zal liggen dan de 1/1400^e per jaar die nu voor Waterberging Volkerak-Zoommeer geldt.

3.5 Knikpunten

Onder een knikpunt is in deze studie verstaan: het moment waarop wordt voorzien dat de MHW's in de Rijn-Maasmonding hoger worden en maatregelen noodzakelijk zijn om het veiligheidsniveau te kunnen waarborgen. Als maatregel zijn in deze studie alleen de opties voor waterberging beschouwd.

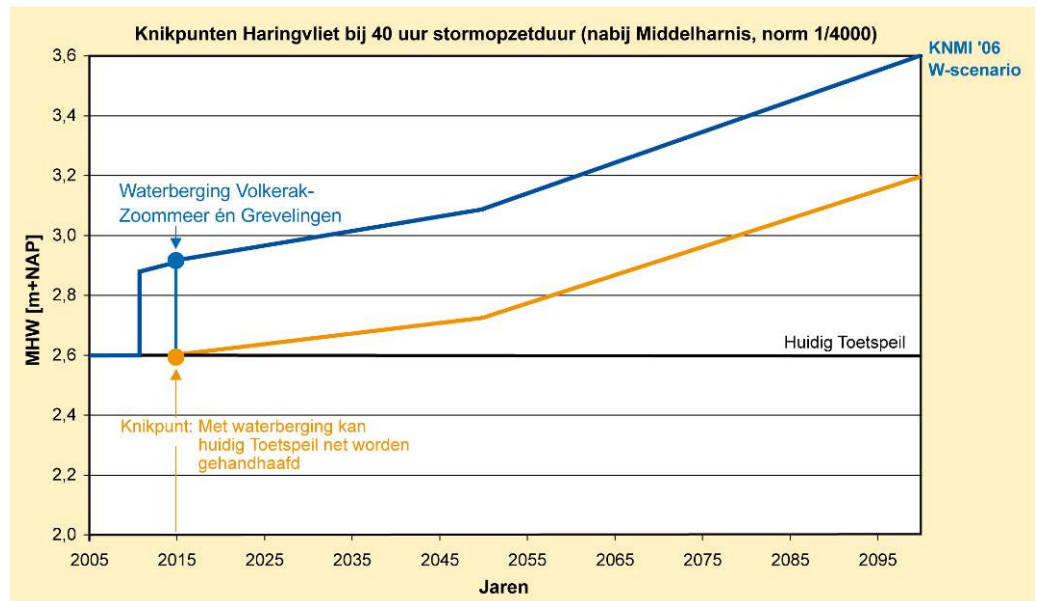
Voor de knikpuntenanalyse zijn de MHW's zoals bepaald voor het KNMI'06-W⁺ scenario uitgezet in de tijd. Het uitgangspunt is het huidige toetspeil [HR, 2006]. Zodra deze wordt overschreden, is waterberging ingezet. In eerste instantie door waterberging in alleen het Volkerak-Zoommeer, in tweede instantie met uitbreiding naar de Grevelingen. Figuur 18 geeft de knikpunten weer voor het Haringvliet nabij Middelharnis bij een stormopzetduur van 29 uur. Het blijkt dat voor die situatie waterberging in het Volkerak-Zoommeer voldoet tot ca. 2030. Met het aankoppelen van de Grevelingen kan met waterberging de huidige MHW worden gehandhaafd tot ca. 2060.

³ Voor deze situatie bepaald met onzekerheid in de voorspelling van 0,05 m.



Figuur 18: Knikpunten Haringvliet bij een stormopzetduur van 29 uur met het huidige toetspeil van 2006 als vertrekpunt

Dezelfde knikpuntenanalyse is gedaan voor een stormopzetduur van 40 uur. Door deze langere stormopzetduur nemen de MHW's voor het Haringvliet toe met circa 0,3 m. Als in 2011 ten behoeve van de Hydraulische Randvoorwaarden de keuze voor deze langere stormopzetduur gemaakt zou worden, is op dat moment het eerste knikpunt bereikt. De toename van de MHW is zodanig dat met alleen waterberging in het Volkerak-Zoommeer de MHW's niet teruggebracht kunnen worden op het niveau van 2006. Met waterberging in het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen is het wel mogelijk om op het niveau van 2006 terug te komen (Figuur 19). Echter, de MHW's zullen als gevolg van de geleidelijke toename van de zeespiegelstijging direct daarna weer toenemen.



Figuur 19: Knippunten Haringvliet bij een stormopzetduur van 40 uur

Het blijkt dat de huidige MHW's op het Hollandsch Diep en Haringvliet op termijn niet gehandhaafd kunnen blijven. Aanvullende maatregelen, zoals bijvoorbeeld dijkversterking, zijn dan nodig.

Hoewel met waterberging niet voorkomen kan worden dat gedurende de komende eeuw dijkversterkingen in de Rijn-Maasmonding nodig zijn, leidt deze maatregel nog wel tot uitstel van dijkversterkingen. De investeringskosten voor deze dijkversterkingen hoeven pas op een later moment gemaakt te worden. Daarnaast zal waterberging tot een (beperkte) kostenbesparing bij dijkversterkingen leiden, doordat bij het dijkversterkingsontwerp rekening gehouden kan worden met maatgevende waterstanden die enkele decimeters lager zijn dan zonder waterberging. Naast deze (mogelijk beperkte) financiële voordelen van waterberging door het verlagen van de MHW's, kan waterberging ook op een andere manier functioneel zijn. Waterberging kan namelijk bij bovenmaatgevende omstandigheden als noodmaatregel dienen.

Waterkeringen worden ontworpen op belastingen die, afhankelijk van de veiligheidsnorm die voor de betreffende dijkkring geldt, met een kans van 1/10.000 tot 1/2000 per jaar voorkomen. Er blijft dus altijd een kleine kans bestaan dat de ontwerpbelastingen van de waterkeringen overschreden worden. Daarnaast zal er ondanks alle kennis en kunde die er is, altijd sprake blijven van enige onzekerheid in de hoogte van de maatgevende belastingen en de sterkte van de waterkeringen. Onzekerheden zitten in voorspellingen, modellen, invoergegevens, etc. Hoewel met het merendeel van deze onzekerheden rekening gehouden wordt in de systematiek van het bepalen van de MHW, kan het voorkomen van bedreigende hoogwaters nooit uitgesloten worden. In situaties met zulke hoogwaters kan de inzet van waterberging een verlaging van de maximale waterstand van ca. 1 m (afhankelijk van het uiteindelijke ontwerp) betekenen. Hierdoor zal in verschillende bovenmaatgevende situaties voorkomen kunnen worden dat de ontwerpwaterstanden van de dijken overschreden worden. Waterberging kan op deze manier een substantiële bijdrage leveren de mate waarin de Rijn-Maasmonding

is beschermd tegen overstromingen. Daarnaast creëert waterberging tijdwinst voordat de kritieke waterstand bereikt wordt. Deze tijdwinst is gunstig waar het gaat om de evacuatie van mensen.

Ondanks dat waterberging op termijn niet kan voorkomen dat aanvullende maatregelen genomen dienen te worden om het huidige beschermingsniveau te kunnen handhaven, blijft de maatregel op termijn als noodmaatregel zinvol. Waterberging maakt de mate waarin de Rijn-Maasmonding is beschermd tegen overstromingen robuuster.

4 Effecten en kosten

Om waterberging op de Grevelingen mogelijk te maken is het noodzakelijk om een aantal nieuwe doorlaatmiddelen aan te leggen en om een aantal bestaande kunstwerken aan te passen. De verhoging van de waterstand tijdens de inzet van de waterberging vraagt daarnaast om aanpassingen aan de waterkeringen rond de Grevelingen en heeft gevolgen voor buitendijkse gebouwen en jachthavens. De aanvoer van water uit het riviereengebied en de waterstandsverhoging heeft bovendien verschillende effecten op de natuur in en om de Grevelingen. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste gevolgen voor de omgeving en van de kosten die gemaakt moeten worden om de Grevelingen in te richten voor waterberging. De kosten die in dit hoofdstuk genoemd worden zijn gebaseerd op een globale raming, met een nauwkeurigheid van $\pm 50\%$.

De uiteindelijke kostenraming volgt uit een optelsom van de kosten voor de aanleg of aanpassing van verschillende constructies en de kosten die in buitendijkse gebieden gemaakt moeten worden. Voor alle kostenposten geldt dat deze op verschillende manieren ingevuld kunnen worden, waardoor uiteindelijk een groot aantal combinaties van kosten mogelijk is. De kostenposten worden om deze reden als 'bouwstenen' gepresenteerd. Als voorbeeld zijn voor een aantal denkbare combinaties van bouwstenen de totaalkosten bepaald voor de inrichting van de Grevelingen voor waterberging.

Het uitgangspunt in dit hoofdstuk is dat de maatregel waterberging Volkerak-Zoommeer reeds van kracht is. Dit hoofdstuk beschrijft daarom alleen de additionele kosten en natuureffecten van het aankoppelen van de Grevelingen aan het waterbergingsgebied.

4.1 Doorlaatmiddelen

De aanleg van een doorlaatmiddel in de Grevelingendam en vergroting van de inlaatcapaciteit bij de Volkerakdam zijn noodzakelijk om de Grevelingen effectief te kunnen benutten voor waterberging. Wanneer een getijcentrale aangelegd is in de Brouwersdam en men deze als pomp wil inzetten bij de waterberging, zijn ook hier verschillende aanpassingen noodzakelijk. In deze paragraaf worden de verschillende ingrepen beschreven.

4.1.1 *Vergroting spuicapaciteit Volkerakdam*

In de Volkerakdam bevinden zich een drietal schutsluizen voor beroepsvaart, een jachtensluis en een spuisluisencomplex. Het spuisluisencomplex kan in de huidige situatie gebruikt worden voor het inlaten van water vanuit het Hollandsch Diep naar het Volkerak-Zoommeer. In de Hellegatsdam zijn geen doorlaatmiddelen aanwezig (zie Figuur 20).

De capaciteit van het bestaande spuisluisencomplex is met een viertal kokers van 30 m breed en een drempelhoogte van NAP -4,25 m te klein om de Grevelingen effectief te benutten voor waterberging (zie achtergrondrapport Hydraulica).

Mogelijkheden om de inlaatcapaciteit te vergroten zijn:

- verlaging van de drempelhoogte van de bestaande spuikokers;

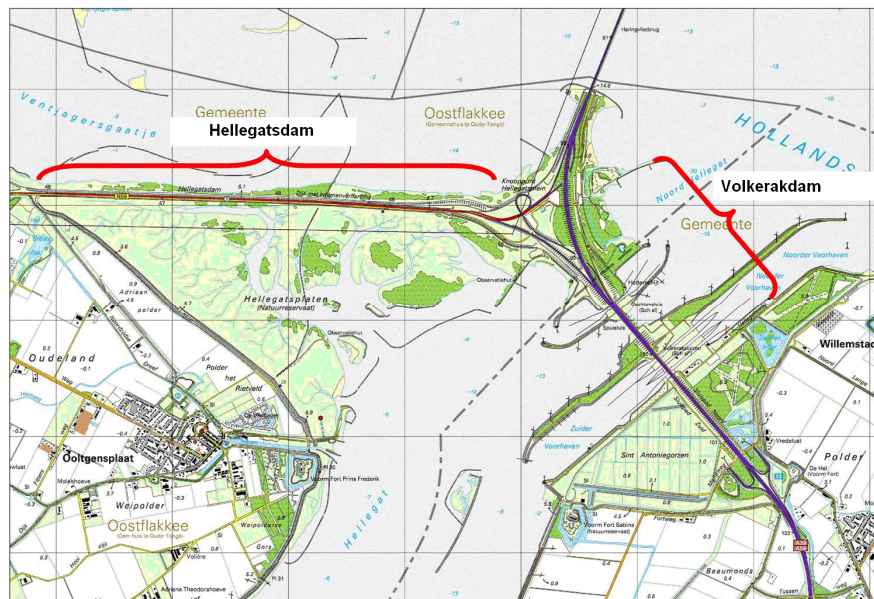
- de aanleg van een drietal nieuwe spuiokers in de Volkerakdam;
- het geschikt maken van de beroepsvaartsluizen en de jachtensluis voor het spuien van water;
- aanleg van de 4^e beroepsvaartsluiskolk.

Spuimogelijkheden via de Hellegatsdam

In de Hellegatsdam zijn er geen realistische mogelijkheden om inlaatcapaciteit te creëren, met name door de ligging van het natuureservaat 'Hellegatsplaten' aan de zuidzijde van de dam en de provinciale weg N69 die op de dam gelegen is. Inzet van de dam door middel van het creëren van diverse spuiokers zou deze waardevolle platen wegspoelen. Ook naar alleen een doorlaat ter plaatse van het Ventjagersgaatje (geul met breedte van 125 m) is gekeken en om dezelfde reden als niet realistisch beoordeeld.

Een andere mogelijkheid is de dam als vaste overlaat te gebruiken. Het tijdsvenster waarover deze vaste overlaat kan bijdragen aan de inlaat van water echter beperkt. Indien de overlaat namelijk te laag wordt gemaakt overstroomt deze te vaak, met bij behorende natuurschade, en indien de overlaat hoger, op bijv. NAP +2,6 m, wordt aangelegd is de bijdrage aan de effectiviteit onvoldoende t.o.v. de mogelijkheden in de Volkerakdam.

Met een beweegbare overlaat (bijvoorbeeld in de vorm van een balg- of klepstuw) kan de inzet van de overlaat gecontroleerd worden en is het mogelijk om een lager kruinniveau te kiezen, om zo een groter debiet door te kunnen laten. Doordat de huidige hoogte van de Hellegatsdam ca. NAP +6,75 m is, zal dit echter om het weggraven van een zeer grote hoeveelheid grond vragen. De provinciale weg zal op een nieuw aan te leggen brug gelegd moeten worden en over een grote lengte is een beweegbare constructie nodig. Door de grote omvang van deze werkzaamheden, wordt ook de beweegbare overlaat niet als een realistische optie gezien.



Figuur 20: Hellegatsdam en Volkerakdam

Nieuwe spuikokers en drempelverlaging (+ effectief 800 m²)

Met de aanleg van een drietal nieuwe spuikokers in de Volkerakdam en de verlaging van de drempels van de bestaande kokers tot NAP -6,25 m, kan een vergroting van het effectieve doorstroomoppervlak (gemeten t.o.v. een wateroppervlak op NAP +1 m) van ca. 800 m² worden gerealiseerd. Het effectief doorstroomoppervlak kan hiermee vergroot worden van 570 m² naar 1350 m². De verlaging van de huidige drempels is weliswaar technisch complex, maar wel mogelijk. De huidige schuiven zullen verlengd moeten worden en de bijbehorende bewegingswerken verzwaard.

De kosten van de aanleg van de nieuwe spuikokers worden geraamd op 92 M€ en die van de drempelverlaging op 5 M€. Een complicerende factor bij de aanleg van nieuwe spuikokers is de autosnelweg A29. Waarschijnlijk is de aanleg van een extra brugdek noodzakelijk voor de tijdelijke omlegging van deze weg. De kosten hiervan bedragen naar schatting 21 M€. Tevens zijn bij de voorgestelde aanpassingen ook aanpassingen aan de bodembescherming aan beide zijden benodigd.

Inzet schutsluizen (+ 650 m²)

Om de beroepsvaartsluizen (breedte 3*24 m) en de jachtensluis (breedte 16 m) met een drempel op NAP -6,25 m te kunnen gebruiken voor het inlaten van water t.b.v. de waterberging, moeten alle sluisdeuren geopend kunnen worden bij een waterstandsverschil tussen het Hollandsch Diep en het Volkerak-Zoommeer. Om dit mogelijk te maken is het plaatsen van een vizierstuw in de schutkolken de meest voor de hand liggende optie. In geopende toestand ligt de schuif verzonken in de sluisbodem opgeborgen. Het effectieve doorstroomoppervlak kan hiermee met 450 m² vergroot worden. De kosten bedragen circa 17 M€.

Gezien de bestaande capaciteitsproblemen bij de beroepsvaartsluizen, wordt onderzocht of het sluisencomplex in de toekomst met een 4^e schutkolk (breedte 35 m) uitgebreid wordt. Wanneer deze schutkolk direct ook geschikt gemaakt wordt voor het inlaten van water, kan een extra doorstroomoppervlak van 200 m² gecreëerd worden. Een 4^e schutkolk vraagt om een investering van ca. 201 M€. Tevens dient ook hier de bodembescherming aan beide zijden te worden aangepast en moet de constructie onderheid worden.

Het onderzoek naar de uitbreiding van het sluisencomplex, de MIRT-Verkenning Capaciteit Volkeraksluizen, wordt uiterlijk medio 2012 afgerond. Dit is kort na de geplande afronding van de MIRT-Verkenning Grevelingen.

Combinatie van mogelijkheden

Met behulp van verschillende combinaties van maatregelen (drempelverlaging huidige spuikokers, nieuwe spuikokers, inzet bestaande schutkolken, nieuwe beroepsvaartsluis) kan in de Volkerakdam een doorstroomoppervlak van orde 1200 – 1400 m² gecreëerd worden. Vanwege de bestaande capaciteitsproblemen bij de beroepsvaartsluizen, lijkt de inzet van de bestaande schutkolken echter pas mogelijk wanneer ook een 4^e beroepsvaartsluis aangelegd is. Voor de aanleg van keermiddelen in de schutkolken, is een tijdelijke stremming noodzakelijk. Zonder een nieuwe, 4^e kolk, zou dit een tijdelijke afname van de schutcapaciteit betekenen. Naar verwachting is dit niet acceptabel.

Rekening houdend met bovengenoemde beperking, blijven twee voor de hand liggende combinaties over om de spuicapaciteit in de Volkerakdam te vergroten

(opties 1 en 2 in Tabel 3). Voor optie 2 geldt als voorwaarde dat ook besloten wordt tot de uitbreiding van de Volkeraksluizen met een 4^e schutkolk.

Tabel 3: Kosten vergroting inlaatcapaciteit Volkerakdam

	Vergroting doorstroomoppervlak*	Ingrepen	Kosten
Optie 1	van 570 m ² tot 1350 m ²	<ul style="list-style-type: none"> Drempelverlaging Volkerakspuisluizen Aanleg van 3 nieuwe spuiokers, incl. brugdek voor A29 	118 M€
Optie 2	van 570 m ² tot 1200 m ² **	<ul style="list-style-type: none"> Plaatsen van keermiddelen in de schutkolken van de jachtensluis en de 3 beroepsvaartsluizen Aanleg 4^e beroepsvaartsluis 	17 M€ (+ 201 M€)

*Gegeven is het effectieve doorstroomoppervlak onder een niveau van NAP +1 m, waarbij rekening gehouden is met het effect van contractie.

**Bij de hydraulische berekeningen (Hoofdstuk 3) is gerekend met een doorstroomoppervlak van 1350 m². Het effect van een kleiner doorstroomoppervlak (1200 m²) op de effectiviteit van de waterberging is niet onderzocht, maar naar verwachting beperkt.

4.1.2 Aanleg doorlaatmiddel Grevelingendam

Een verbinding tussen het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen is noodzakelijk om waterberging op de Grevelingen mogelijk te maken. Afhankelijk van de gevolgen voor de waterkwaliteit en keuze van gewenste waterpeilen van beide meren, kan dit een open verbinding zijn of moet de verbinding onder dagelijkse omstandigheden juist gesloten zijn. In het laatste geval is de aanleg van een keermiddel nodig. Voor de effectiviteit van de maatregel maakt het overigens niet uit of sprake is van een open dan wel afsluitbare verbinding in de Grevelingendam.

Uit eerder uitgevoerde waterkwaliteitsstudies is gebleken dat een open verbinding tussen Volkerak-Zoommeer en Grevelingen alleen mogelijk is onder de voorwaarden dat het Volkerak-Zoommeer zout gemaakt wordt en weer beperkte getijdendynamiek geïntroduceerd wordt op de Grevelingen, met behulp van een groter doorlaatmiddel in de Brouwersdam. Een open verbinding is dus alleen een alternatief indien naar aanleiding van de MIRT-Verkenning Grevelingen wordt besloten tot herstel van gedempt getij in de Grevelingen.

De keuze tussen een afsluitbare of open verbinding tussen Grevelingen en Volkerak-Zoommeer is daarnaast niet los te zien van de keuze om de waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer via de Grevelingen of de Oosterschelde te verbeteren. Het ligt namelijk niet voor de hand het Volkerak-Zoommeer met zowel de Grevelingen als de Oosterschelde te verbinden.

Bij de Grevelingendam liggen twee oude geulen; Krammer en de Bocht van St. Jacob. Vanwege de grotere diepte van het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen op deze locaties, ligt het voor de hand het doorlaatmiddel in de dam bij deze geulen aan te leggen. Bij de Krammer kan een doorlaatmiddel met een doorstroomoppervlak van 1350 m² aangelegd worden. Dit wordt gerealiseerd door 3 openingen van 55 m breedte. Een eventuele vergroting tot 2000 m² is te realiseren door een tweede doorlaatmiddel bij de Bocht van St. Jacob aan te leggen. Hiervoor dienen 2 openingen van 60 meter breedte te worden geconstrueerd. De drempels in de Grevelingendam bevinden zich op NAP -6,00 m.

Een open verbinding kan gemaakt worden door een deel van de bestaande dam te verwijderen en de weg N59, die nu op de dam ligt middels een brug over de opening te leiden. In de studie zijn 2 opties bekeken. Het betreft een open verbinding tussen de Grevelingen en het Volkerak-Zoommeer middels een brug en een afsluitbare variant met keermiddelen. De keermiddelen bestaan uit een aantal grote hefschuiven met een breedte van 55 à 60 meter breedte.

Bij alle doorlaatmiddelen speelt ook de bodembescherming een grote rol. Daarnaast zijn ook hier voor de fundering een aantal zware funderingspalen noodzakelijk.

Tabel 4 geeft een overzicht van de kosten voor verschillende varianten van het doorlaatmiddel in de Grevelingendam. De verwachting is dat, gebaseerd op de gepresenteerde hydraulische resultaten, een verder optimalisatie richting een kleiner doorlaatmiddel zal plaatsvinden (beide hier beschouwde doorstroomoppervlakten zijn namelijk even effectief gebleken). Als eerste indicatie zijn daarom ook de kosten, op basis van de uitgevoerde kostenramingen voor de andere 2 doorstroomoppervlakten, geschat behorende bij een doorstroomoppervlakte van circa 1000 m².

Tabel 4: Kosten aanleg doorlaatmiddel in Grevelingendam

Effectief doorstroomoppervlak*	Kosten open verbinding (brug)	Kosten afsluitbare verbinding (brug met keermiddel)
1000 m ²	40 M€	100 M€
1350 m ²	60 M€	151 M€
2000 m ²	102 M€	240 M€

*Gegeven is het effectieve doorstroomoppervlak onder een niveau van NAP +1 m, waarbij rekening gehouden is met het effect van contractie.

4.1.3

Getijcentrale met pompfunctie

De optie 'waterberging Volkerak-Zoommeer en Grevelingen met getijcentrale' gaat uit van de situatie waarbij een getijcentrale aangelegd wordt in de Brouwersdam. Wanneer de getijcentrale voorzien wordt van turbines die tevens als pomp kunnen functioneren, kan de getijcentrale bij de inzet van de waterberging gebruikt worden om water naar de Noordzee af te voeren. Ten opzichte van turbines die alleen voor elektriciteitsopwekking gebruikt kunnen worden, zijn de kosten van turbines met pompfunctie volgens experts slechts enkele procenten hoger (zie achtergronddocument 'Getijcentrale in de Brouwersdam', Van Duivendijk 2010).

Bij de inzet van de getijcentrale als pomp moet een groot vermogen aan energie geleverd worden (tot ca. 100 MW). Voor de energielevering van de getijcentrale onder dagelijkse omstandigheden zal de getijcentrale aangesloten worden op het hoogspanningstransportnet. Omdat de pompfunctie met een hoge betrouwbaarheid beschikbaar moet zijn in situaties dat de waterberging ingezet wordt, zal aansluiting op het hoogspanningsnet waarschijnlijk via twee leidingen nodig zijn. Naast de meerkosten van de turbines met pompfunctie, moet dus ook rekening gehouden worden met de kosten van een tweede hoogspanningsleiding.

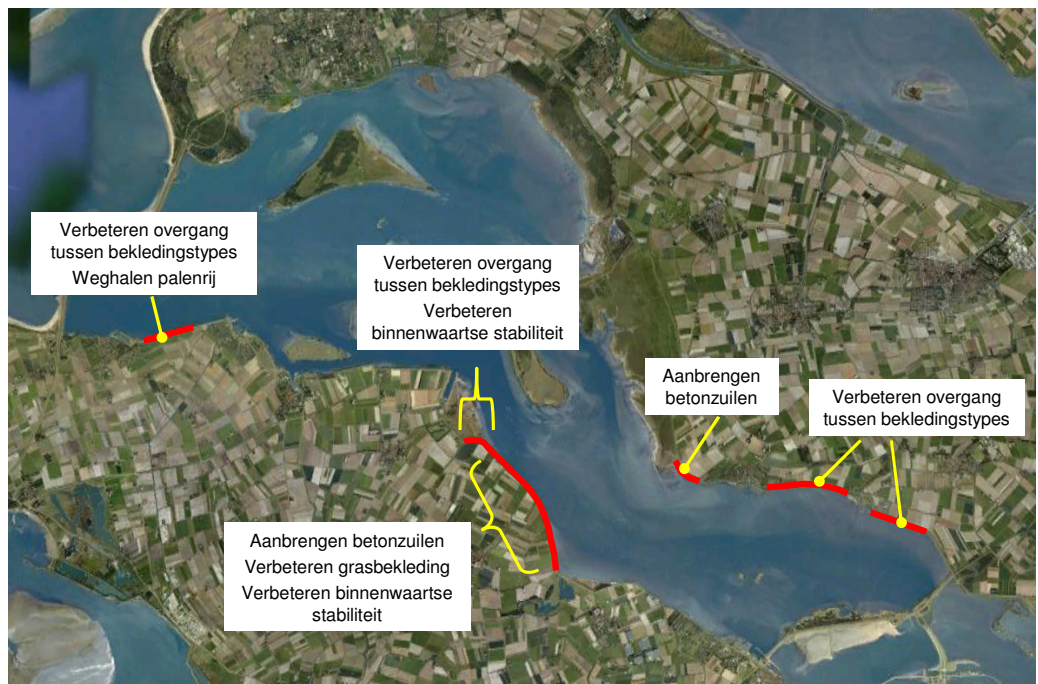
De meerkosten van de getijcentrale met pompfunctie worden op 11 M€ geraamd. Hierbij moet reeds 450 M€ (excl. BTW) geïnvesteerd zijn in de aanleg van een getijcentrale in de Brouwersdam [Witteveen+Bos, 2009]. Hierbij wordt uitgegaan

van de variant met 70-80 turbines, waarbij onder dagelijkse omstandigheden een getijslag van 0,5 m op de Grevelingen gecreëerd wordt.

4.2 Waterkeringen rond de Grevelingen

Voor het merendeel van de waterkeringen rond de Grevelingen geldt dat de maatgevende belastingen hoger worden door de mogelijke inzet van het meer voor waterberging dan de huidige maatgevende belastingen. Op enkele trajecten zijn versterkingsmaatregelen nodig om de waterkering bestand te maken tegen de belastingen die kunnen optreden bij de inzet van de waterberging. Het gaat hierbij om maatregelen voor verbetering van de dijkbekleding en de geotechnische stabiliteit van de dijken. Figuur 21 geeft een overzicht van de noodzakelijke verbetermaatregelen. Aan de verschillende kunstwerken in de waterkering als gemalen en sluisen, zijn geen grootschalige aanpassingen noodzakelijk. De totale kosten van de verbetermaatregelen worden op 10 M€ geraamd.

Naast de verschillende versterkingsmaatregelen is, met name voor de waterkeringen aan de Zeeuwse zijde, ook een aanscherping van het beheer en onderhoud noodzakelijk. De beheer- en onderhoudskosten zullen voor de waterschappen dus toenemen als gevolg van de waterberging. Deze kosten zijn buiten beschouwing gelaten in de kostenraming voor de waterberging.



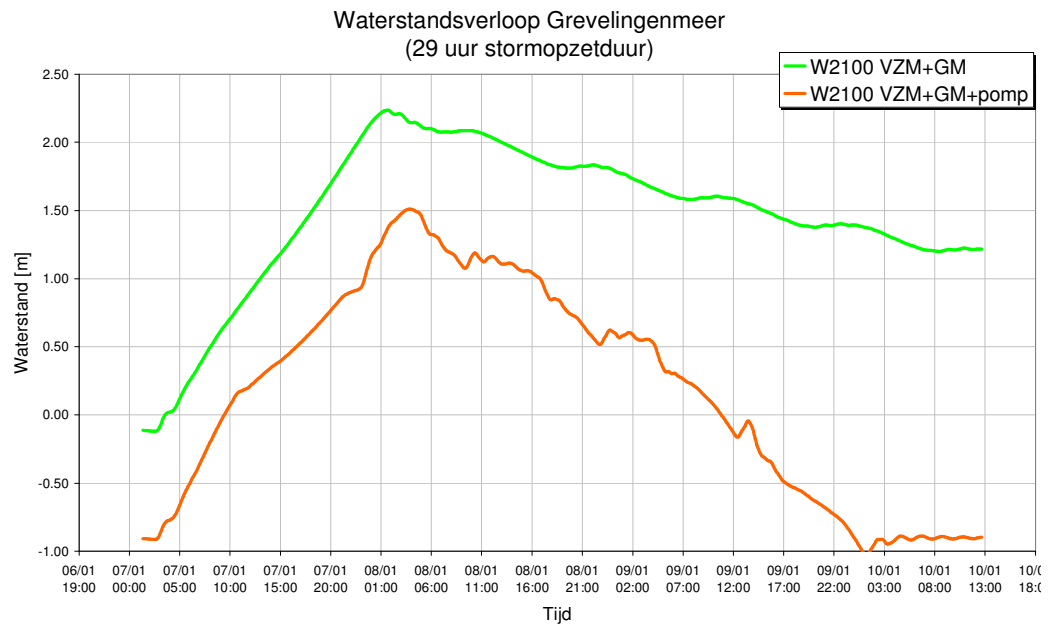
Figuur 21: Overzicht verbetermaatregelen dijken en dammen

Bij de inventarisatie van de dijktrajecten die verbeterd moeten worden voor de inzet van de waterberging, is rekening gehouden met peilopzet tot NAP +2 m. Met name bij de optie van waterberging waarbij een getijcentrale aanwezig is, blijven de MHW's voor de waterkeringen lager dan NAP +2 m. Met de getijcentrale zijn de effecten door de lagere waterstand voor de keringen lager, maar dit levert echter niet veel 'winst' op voor de waterkeringen.

4.3 Buitendijkse gebieden

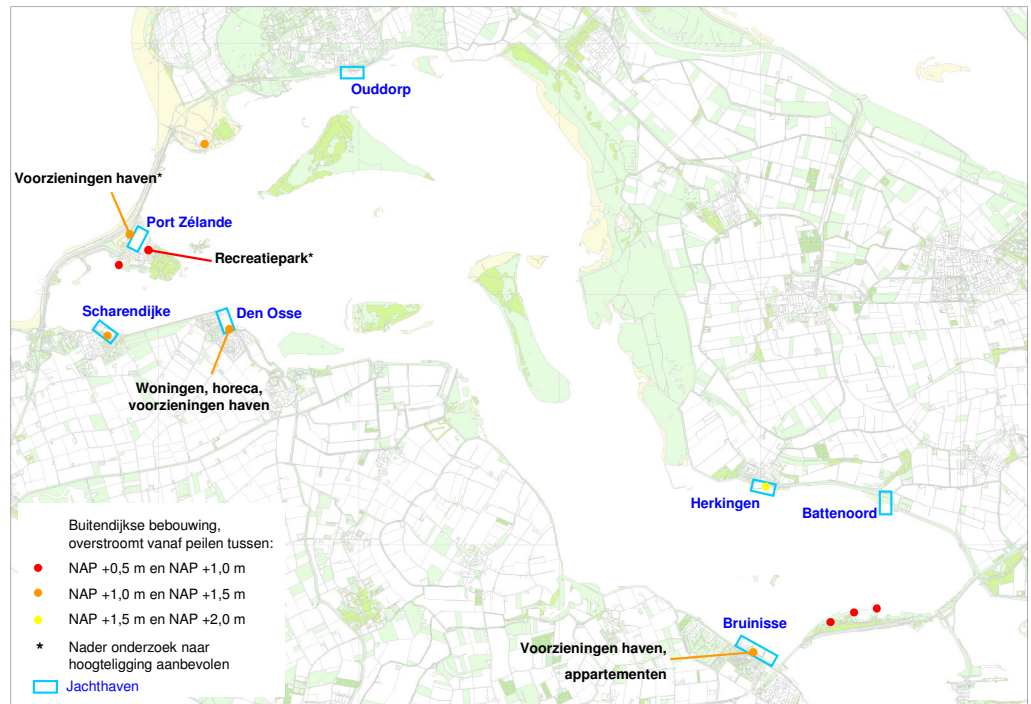
4.3.1 Buitendijkse bebouwing

Op verschillende locaties rond de Grevelingen is buitendijkse bebouwing aanwezig. De bebouwing die zich op een niveau lager dan NAP +2 m bevindt is geïnventariseerd (zie Figuur 23).



Figuur 22: Waterstandsverloop Grevelingen met en zonder gebruikmaking van de getijcentrale met pomp, gebaseerd op inzet van de waterberging bij een stormopzet van 4 m en een Rijnaflow van 10.000 m³/s

Zowel de schadekosten bij overstroming als de kosten voor het omkaden van deze buitendijkse gebieden zijn geraamd. Of het omkaden van alle buitendijkse bebouwing wenselijk is, vraagt hierbij wel om nader onderzoek. De kosten voor het omkaden zijn geraamd op 42 M€. De kosten die optreden bij overstroming van de buitendijkse gebieden bedragen naar schatting 86 M€. De keuze tussen schade voorkomen óf het risico accepteren zal hierbij sterk afhangen van de inzetfrequentie van de waterberging.



Figuur 23: Overzichtskaat buitendijkse bebouwing en jachthavens

Bij de optie 'Grevelingen met pomp' zijn de maximale waterstanden die optreden bij de inzet van de waterberging ruim 0,5 m lager dan bij de optie zonder getijcentrale. Met het gebruik van de getijcentrale kunnen de gevolgen voor buitendijks vastgoed dus verkleind worden. Opgemerkt moet worden dat bij de optie met getijcentrale waarschijnlijk een verdere beperking van de maximale waterstand mogelijk is. Dit zal vragen om optimalisatie van de turbines (aantal, opvoerhoogte, capaciteit) tussen enerzijds de pompfunctie en anderzijds de energiewinning onder dagelijkse omstandigheden.



Figuur 24: Port Zélande

4.3.2 *Jachthavens*

Rond de Grevelingen liggen 7 buitendijkse jachthavens. Dit zijn de jachthavens van Ouddorp, Herkingen, Battenoord, Bruinisse, Den Osse, Scharendijke en Port Zélande. Voor het merendeel van deze jachthavens geldt dat een gedeelte van de steigers aangepast moet worden voor de inzet van de waterberging. Bij de meeste jachthavens bestaat een gedeelte uit vaste steigers. Om problemen te voorkomen met boten die tijdens de inzet van de waterberging in de haven liggen, zullen deze vaste steigers in elk geval vervangen moeten worden door drijvende steigers. Het is mogelijk dat ook enkele drijvende steigers niet voldoende hoog kunnen opdrijven en dus vervangen moeten worden.



Figuur 25: Jachthaven van Scharendijke

Op basis van een inventarisatie van de hoeveelheid vaste steigers in het gebied, zijn de kosten voor vervanging van steigers in het gebied geschat op 7 M€.

Hier wordt nog opgemerkt dat het in de praktijk er op neer komt dat als men in de toekomst toch aanpassingen aan de jachthavens, buitendijkse bebouwing etc. zal doorvoeren men gelijk zorgdraagt dat deze ook is afgestemd op de waterberging op het Grevelingen. Door deze gecombineerde aanpak, die impliceert dat men niet per direct het gebied 'op orde' maakt, zijn de kostenconsequenties lager dan nu is aangenomen.

4.4 **Overzicht kostenraming**

4.4.1 *Kosten waterberging*

Tabel 5 geeft het overzicht van de kosten die gemaakt moeten worden voor verschillende varianten van de waterberging op het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen. Met deze tabel is het mogelijk om verschillende varianten zelf samen te stellen.

De bedragen die in Tabel 5 genoemd zijn, zijn gebaseerd op een globale kostenraming met een nauwkeurigheid van $\pm 50\%$. Naast de genoemde kosten uit

Tabel 5 zullen ook de kosten voor beheer en onderhoud van waterkeringen en doorlaatmiddelen toenemen als gevolg van de waterberging.

Tabel 5: Basisoverzicht kostenraming

	Ingrep	Opmerking	Kosten
Volkerakdam	Uitbreiding capaciteit spuisluizencomplex doorstroomoppervlak met 800 m ²	Verdiepen drempel huidige spuisluizen en toevoegen 3 nieuwe spuikokers	118 M€
	Inzet schutsluizen, vergroting doorstroomoppervlak met 650 m ²	Toepassen vizier schuiven in huidige kolken beroepsvaart en jachtenluis. Daarnaast wordt dan ook een 4 ^e beroepsvaartsluis gerealiseerd.	17 M€ (investering van 201 M€ nodig voor 4 ^e kolk)
Grevelingendam	Aanleg open verbinding (brug), doorstroomoppervlak: 1350 m ²	Zolang er geen groter doorlaatmiddel in de Brouwersdam aanwezig is dan de huidige Brouwerssluis, zal een open verbinding niet gewenst zijn.	60 M€
	Aanleg open verbinding (brug) met doorstroomoppervlak van 2000 m ²	Uit de hydraulische analyses volgt dat met deze verdere vergroting van de doorlaatopening niet meer MHW-verlaging behaald kan worden dan met 1350 m ² .	102 M€
	Aanleg doorlaatmiddel (brug met keermiddel), opp.: 1350 m ²	Dit is de gesloten variant.	151 M€
	Aanleg doorlaatmiddel (brug met keermiddel), opp.: 2000 m ²		240 M€
Brouwersdam	Meerkosten getijdcentrale met pompfunctie, incl. hoogspanningsleiding	Indien de turbines van de getijdencentrale worden aangepast om ook als pomp te kunnen dienen	11 M€ (investering van 450 M€ nodig voor getijdcentrale met 70 turbines)

	Ingreep	Opmerking	Kosten
Dijken	Diverse verbetermaatregelen waterkeringen	Om het bekken in te richten voor de waterberging. Voorheen heerste daar een vast peil. Het achterstallige onderhoud (rondom waterlijn) is hierbij al buiten de kostenraming gelaten.	10 M€
Buitendijks	Omkaden buitendijkse bebouwing	Om bebouwing te beschermen tegen het hogere peil tijdens inzet maatregel. <i>(Zie ook de opmerking uit de vorige paragraaf).</i>	42 M€
	Aanpassingen jachthavens	Steigers e.d. aanpassen. <i>(Zie ook de opmerking uit de vorige paragraaf).</i>	7 M€
	Alternatief: schadekosten bij overstroming buitendijks vastgoed	Indien geen preventieve maatregelen worden getroffen is dit de schade die is geraamd op te treden. Afweging kans van optreden en acceptatie	86 M€
Totaal:		Zelf scenario's samen te stellen zie bijvoorbeeld Tabel 6, Tabel 7 en Tabel 8	

Tabel 6: Variant 'Vergroten tot 1350 m² – Grevelingendam afsluitbaar – Geen getijcentrale'

	Ingrep	Kosten
Volkerakdam	Uitbreiding capaciteit spuisluizencomplex doorstroomoppervlak: 1350 m ²	118 M€
	Inzet schutsluizen, vergroting doorstroomoppervlak tot 1200 m ² <i>Deze optie is alleen mogelijk indien besloten wordt tot uitbreiding van de capaciteit van de Volkeraksluizen, d.m.v. de aanleg van een 4^e schutkolk (investeringskosten ca. 200 M€).</i>	17 M€
Grevelingendam	Aanleg doorlaatmiddel (brug met keermiddel), opp.: 1350 m ²	151 M€
Dijken	Diverse verbetermaatregelen waterkeringen	10 M€
Buitendijks	Omkaden buitendijkse bebouwing	42 M€
	Aanpassingen jachthavens	7 M€
Totaal:		330 OF 230 M€

Tabel 7: Variant 'Vergroten tot 1350 m² – Grevelingendam open – Getijdenwerking Grevelingen – Geen getijcentrale'

	Ingrep	Kosten
Volkerakdam	Uitbreiding capaciteit spuisluizencomplex doorstroomoppervlak: 1350 m ²	118 M€
	Inzet schutsluizen, vergroting doorstroomoppervlak tot 1200 m ² <i>Deze optie is alleen mogelijk indien besloten wordt tot uitbreiding van de capaciteit van de Volkeraksluizen, d.m.v. de aanleg van een 4^e schutkolk (investeringskosten ca. 200 M€).</i>	17 M€
Grevelingendam	Aanleg open verbinding (brug), doorstroomoppervlak: 1350 m ² <i>De aanleg van een open verbinding is alleen mogelijk indien besloten wordt tot de herintroductie van een beperkte getijdendynamiek op de Grevelingen en wanneer het Volkerak-Zoommeer zout wordt.</i>	60 M€
Dijken	Diverse verbetermaatregelen waterkeringen	10 M€
Buitendijks	Omkaden buitendijkse bebouwing (<i>wellicht lager omdat in dit geval een deel van de kades ook nodig is t.g.v. de herintroductie van getijdendynamiek → verdelen van kosten</i>)	42 M€
	Aanpassingen jachthavens (<i>wellicht lager omdat in dit geval een deel van de aanpassingen ook nodig is t.g.v. de herintroductie van getijdendynamiek → verdelen van kosten</i>)	7 M€
Totaal:		240 OF 140 M€

Tabel 8: Variant 'Laagste kosten – Getijdenwerking Grevelingen – Geen getijcentrale'

	Ingreep	Kosten
Volkerakdam	Uitbreiding capaciteit spuisluizencomplex doorstroomoppervlak: 1350 m ²	118 M€
	Inzet schutsluizen, vergroting doorstroomoppervlak tot 1200 m ² <i>Deze optie is alleen mogelijk indien besloten wordt tot uitbreiding van de capaciteit van de Volkeraksluizen, d.m.v. de aanleg van een 4^e schutkolk (investeringskosten ca. 200 M€).</i>	17 M€
Grevelingendam	Aanleg open verbinding (brug), doorstroomoppervlak: 1000 m ² . <i>Kleinere doorvaartopening, hydraulisch moet nog wel worden vastgesteld dat dit de effectiviteit niet beïnvloed. De aanleg van een open verbinding is alleen mogelijk indien besloten wordt tot de herintroductie van een beperkte getijdendynamiek op de Grevelingen en wanneer het Volkerak-Zoommeer zout wordt.</i>	40 M€
Dijken	Diverse verbetermaatregelen waterkeringen	10 M€
Buitendijks	Acceptatie schade i.p.v. omkaden buitendijkse bebouwing <i>(Kans van optreden over een periode van 50 jaar is 22%, met een gevolg van 86 M€ leidt dit tot een verwachtingswaarde van 19 M€. Hierbij is aangenomen dat de kans van inzetten van de waterberging gemiddeld 1/200 per jaar is)</i>	19 M€
	Acceptatie schade i.p.v. aanpassingen jachthavens	0 M€
Totaal:		190 OF 90 M€

4.5 Dijkversterkingen Rijn-Maasmonding

Door middel van waterberging alleen zal het niet mogelijk zijn de huidige MHW's in de Rijn-Maasmonding te handhaven. Wanneer de MHW's in de toekomst stijgen, zullen dijkversterkingen nodig zijn om het vereiste veiligheidsniveau te behouden. Door de MHW-verlaging die door waterberging gerealiseerd wordt, zijn dan nog wel dijkversterkingen voorkomen en/of uitgesteld. Om een goede afweging te kunnen maken over het wel of niet realiseren van de waterberging, is het noodzakelijk om de hoogte van deze voorkomen of uitgestelde kosten in beeld te hebben. Deze bespaarde kosten moeten vergeleken worden met de investeringskosten voor de waterberging.

Om een globale indicatie te geven van de bespaarde kosten aan dijkversterkingen, is als eerste benadering gekeken naar de aanwezige dijkhoogtes in de Rijn-Maasmonding. Andere mechanismen die ook om dijkversterking kunnen vragen

zoals onvoldoende macrostabiliteit en piping, zijn hierbij dus buiten beschouwing gelaten.

Waterberging in de Zuidwestelijke Delta zorgt voor MHW-daling voor ongeveer 120 km waterkeringen in de Rijn-Maasmonding. Het effect zal niet in het gehele gebied even groot zijn. Ook de effecten van klimaatverandering en aanpassing van het uitgangspunt voor de stormopzetduur zullen niet in het hele gebied in gelijke mate doorwerken. Voor het Haringvliet / Hollandsch Diep geldt grofweg dat de MHW's zonder waterberging tot 2100 met 1 m toe zullen nemen (uitgaande van een stormopzetduur van 40 uur en klimaatscenario KNMI'06 W⁺). Waterberging kan deze stijging beperken tot 0,6 m. Wanneer we dan bijvoorbeeld kijken naar het jaar 2100, dan kan op dat moment de versterking van de dijken die in de huidige situatie een overhoogte hebben van 0,6 tot 1 m uitgesteld worden door de waterberging. De dijken met minder overhoogte zullen voor 2100 sowieso versterkt moeten worden, voor de dijken met meer overhoogte zou versterking ook zonder waterberging niet nodig zijn.

Rekening houdend met de verschillende doorwerking in het gebied van klimaatverandering, langere stormopzetduur en waterberging, blijkt uit een inventarisatie van de overhoogtes, dat steeds de versterking van ongeveer 25 km dijk in het gebied uitgesteld kan worden. Met globale eenheidsprijzen van € 5 tot 10 miljoen per km voor dijkversterkingen (zie achtergrondrapport), leidt dit tot een kostenindicatie van 125 tot 250 M€.

4.6 Natuureffecten

Waterberging kan effect hebben op de natuur in en rond de Grevelingen als gevolg van:

- verzoeting;
- overstroming;
- verandering van de dynamiek van het substraat;
- de toevoer van verontreinigingen, nutriënten en slib.

In deze paragraaf zijn allereerst de effecten hiervan beschreven en zijn de verschillen tussen de verschillende opties wat deze effecten betreft benoemd. Deze effecten dienen echter wel in het licht van de frequentie te worden beschouwd. Hier wordt in de laats paragraaf op ingegaan.

4.6.1 Verzoeting van de Grevelingen

Door de toevoer van zoet water vanuit het Hollandsch Diep neemt het chloridengehalte in de Grevelingen af. Afhankelijk van de mate waarin het chloridengehalte afneemt en hoe plotseling dit gebeurt, kan dit fatale gevolgen hebben voor organismen die in zout water leven. Ook de duur van de verlaging en de tolerantiegrenzen van de soort spelen hierbij een rol.

Hoe sterk en hoe plotseling de chloridengehaltes afnemen, hangt af van de mate waarin zoet en zout water mengen. Menging is niet vanzelfsprekend; het is mogelijk dat het zout water vooruit gestuwd wordt door het instromende zoet water (propmenging) of dat het lichtere zoet water over het zwaardere zout water heen schuift. Zulke effecten maken de lokale verandering in chloridenconcentratie sterker en meer plotseling. Wellicht is bij de optie 'met pomp' eerder sprake van propmenging dan bij de optie zonder pomp, doordat zout water aan de westzijde

naar de Noordzee gepompt wordt en aan de oostzijde (ver)zoet water ingelaten wordt.

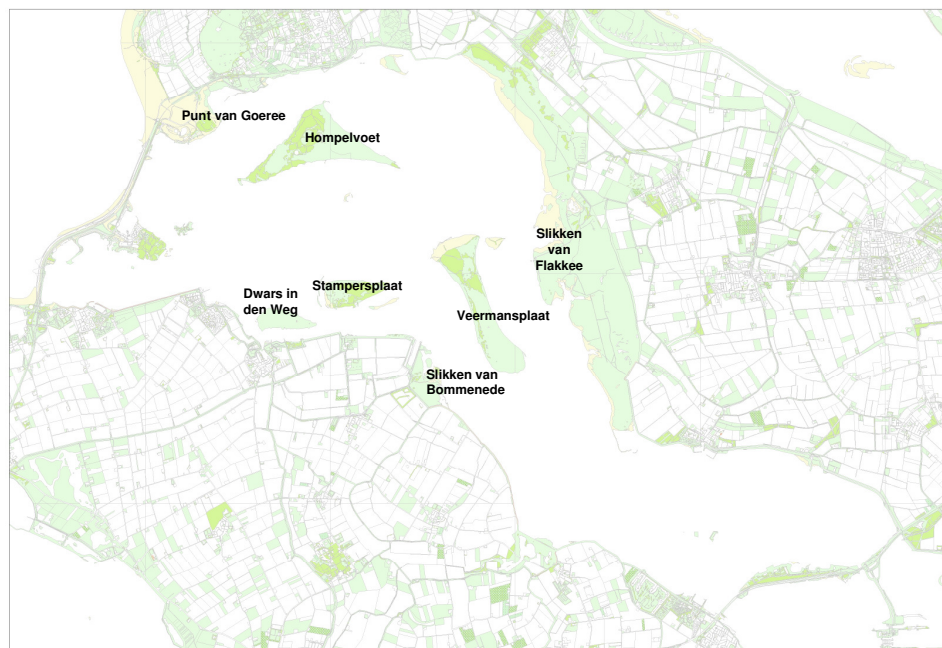
Meest waarschijnlijk is een zone met propmenging rond de Volkeraksluizen en een sterk gelaagde situatie met zoete bovenlaag in de rest van het Volkerak-Zoommeer. Deze zoete bovenlaag zal dan ook relatief gemakkelijk door het gat of spuimiddel in de Grevelingendam stromen. De verspreiding, de dikte en de verdere menging van de zoete bovenlaag kan sterk beïnvloed worden door de windsnelheid en windrichting. De situatie die ontstaat hangt ook af van de mengprocessen die optreden bij de Volkeraksluizen. Indien de geometrie van de sluizen en het bodemprofiel het toelaten dat het krachtig instromende water zout Volkerak-Zoommeer -water opmengt zal een veel minder gestratificeerde situatie ontstaan.

De verzoeting van de Grevelingen zal uiteraard sterker zijn bij een zoet Volkerak-Zoommeer dan bij een zout Volkerak-Zoommeer.

Het herstel van de chloridenconcentratie zal in een scenario met een getijdewerking op de Grevelingen via een getijcentrale of een ander doorlaatmiddel, veel sneller zijn dan bij een 'afgesloten' Grevelingen. In het algemeen geldt dat het verzilten van een zoet of brak meer d.m.v. een doorlaatmiddel snel en efficiënt plaatsvindt omdat de dichtheidsverschillen het ingelaten en geloosde water goed van elkaar gescheiden houden.

4.6.2 *Overstroming*

Door de peilopzet bij de inzet van de waterberging zullen buitendijkse gebieden geheel of gedeeltelijk overstromen. Buitendijks bevinden zich een aantal oeverlanden en verschillende eilanden (zie Figuur 26). Het overstromen van deze gebieden kan verdrinking van dieren en sterfte van planten tot gevolg hebben. Dit is onder andere afhankelijk van de duur van de overstroming.



Figuur 26: Eilanden en oeverlanden in de Grevelingen

Tabel 9 geeft de maximale waterstanden die optreden bij de inzet van de waterberging bij één specifieke combinatie van stormopzet en rivierafvoeren. Peilopzet tot NAP +1,5 m, zoals bij de optie 'zonder pomp' al bij inzet in 2050 zou gebeuren, betekent dat de meeste eilanden en oeverlanden bijna volledig overstroomd. Bij peilopzet tot NAP +1,1 m (met pomp 2100) is dit in iets mindere mate het geval. De meeste eilanden en oeverlanden verdwijnen voor iets minder dan de helft onder water bij opzet tot NAP +0,7 m (met pomp, 2050). Bij de optie 'met pomp' zullen de gevolgen van de waterberging door overstrooming dus duidelijk kleiner zijn dan bij de optie 'zonder pomp'. Naast het feit dat de eilanden en oeverlanden in mindere mate overstroomd, is de tijdsduur van de overstrooming ook veel korter.

Tabel 9: Tijdsduur van verhoogde waterstanden voor de verschillende opties, gebaseerd op inzet van de waterberging bij een stormopzet van 3 m en een Rijnafvoer van 8.000 m³/s

Optie	2050			2100		
	Maximale waterstand [m +NAP]	Tijdsduur waterstand >NAP +1m [etmalen]	Tijdsduur waterstand >NAP +0,5m [etmalen]	Maximale waterstand [m +NAP]	Tijdsduur waterstand >NAP +1 m [etmalen]	Tijdsduur waterstand >NAP +0,5m [etmalen]
Met pomp	0,7	0	0,3	1,1	0,2	1
Zonder pomp	1,5	1,5	3	1,9	2,5	4

4.6.3

Verandering dynamiek substraat

Door een plotselinge sterke toevoer van water kan lokaal sterkere stroming optreden, waarbij de bodemsamenstelling kan veranderen. Opwerveling en verstuving van bodemmateriaal kunnen een negatief effect hebben op flora en fauna. Tijdelijk zal sprake zijn van een verhoogde troebelheid van het water. Negatieve effecten op bijvoorbeeld anemonen kunnen optreden, aangezien deze slecht tegen opwervelend zand kunnen. Wat deze effecten betreft zijn er slechts verwaarloosbare verschillen tussen de verschillende opties van de waterberging.

4.6.4

Toevoer van verontreinigingen, nutriënten en slib

Het water uit het rivierengebied dat geborgen wordt bevat vermoedelijk hogere concentraties verontreinigende stoffen, nutriënten en slib dan het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen zelf. Ondanks de sterke verdunning van de verontreinigingen in het Volkerak-Zoommeer, kunnen geringe effecten op de Grevelingen niet uitgesloten worden. In een scenario met een getijcentrale of een groot doorlaatmiddel in de Brouwersdam, zullen de concentraties van de verontreinigende stoffen veel sneller weer teruglopen naar hun oorspronkelijke niveau dan in een scenario met een afgesloten Grevelingen.

De Grevelingen is in de huidige, afgesloten situatie nutriëntenarm. Wanneer de Grevelingen ook in de toekomst een afgesloten meer blijft, kan de toevoer van nutriënten bij de inzet van de waterberging een positief effect hebben op wieren en benthos.

De toevoer van slib vanuit de rivieren naar de Grevelingen is naar verwachting dusdanig gering, dat dit geen ecologische effecten met zich mee zal brengen.

4.6.5 *Conclusies natuureffecten*

Tot dusver zijn de natuureffecten beschreven die optreden bij de inzet van de waterberging. Naast het effect zelf, is echter ook de frequentie waarmee de effecten optreden in relatie tot de hersteltijd van het systeem van belang. Bij frequenties lager dan 1/250 jaar, kan het risico voor de natuur acceptabel zijn door de relatief kleine kans dat de waterberging ingezet wordt. Ook kan het systeem waarschijnlijk volledig herstellen voordat de waterberging een tweede maal ingezet wordt. Bij hogere inzetfrequenties is dit mogelijk niet meer het geval.

De optie 'Volkerak-Zoommeer en Grevelingen met getijcentrale' leidt in het algemeen tot minder grote negatieve natuureffecten dan de optie zonder getijcentrale:

- Door de uitwisseling van water met de Noordzee zullen de zoutconcentraties en concentraties van verontreinigende stoffen veel sneller naar het bestaande niveau teruggebracht worden.
- De meeste buitendijkse natuurgebieden overstroomden bij de inzet van de waterberging slechts gedeeltelijk bij de optie met pomp en (bijna) volledig bij de optie zonder pomp. De duur van de overstroming is bovendien veel korter bij de optie 'met pomp'.

In eerdere studies is geconcludeerd dat een open verbinding tussen Grevelingen en Volkerak-Zoommeer in de bestaande situatie niet wenselijk is in verband met de waterkwaliteit van deze meren. Een open verbinding is alleen mogelijk indien het Volkerak-Zoommeer zout wordt en een beperkte getijdenwerking gecreëerd wordt op de Grevelingen, door middel van een groter doorlaatmiddel in de Brouwersdam.



Figuur 27: Slikken van Bommenede

Referenties

[HR, 2006]

Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, 2007, ISBN-nummer 978-90-369-5761-8, NUR 956

[RWS, 2007]

Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren, Thermometer-randvoorwaarden 2006, J.P. de Waal, Rijkswaterstaat 2007, ISBN 978-90-369-1402-4

[RWS, 2010]

Berekeningen stijging MHW bij 40 uur stormopzetduur, S. de Goederen en R. Slomp, Rijkswaterstaat Zuid-Holland, april 2010

[Tijssen en Diermanse, 2009]

Storm surge duration and storm duration at Hoek van Holland, A. Tijssen en F. Diermanse, Deltares rapport 1200264.001, november 2009

[Witteveen+Bos, 2009]

Hoofdrapport Verkenning Grevelingen water en getij, Witteveen+Bos, 23 januari 2009

Achtergronddocumenten

Achtergrondrapport Hydraulica, HKV [LJN IN WATER](#), N.Slootjes en P. Termes, juni 2010

Achtergrondrapport Dijkversterkingen benedenrivierengebied in relatie tot waterberging Zuidwestelijke Delta, Rijkswaterstaat – Waterdienst, R. Slomp, juni 2010

Achtergrondrapport Waterkeringen en buitendijks gebied Grevelingen, DHV, kenmerk: WA-RK20100650, juni 2010

Getijcentrale in de Brouwersdam, notitie over onderzoeksvragen, ir. J. van Duivendijk, januari 2010

Memo Waterberging Oosterschelde, DHV en HKV [LJN IN WATER](#), kenmerk: WA-RK20100654, juni 2010

Memo Kostenraming varianten, DHV, kenmerk: CO20100182/KRM, juni 2010

Memo Milieueffecten waterberging Grevelingen, DHV, kenmerk: WA-RK20100653, juni 2010

Schetsontwerp Beroepsvaartsluizen bestaand en nieuw voorzien van vizierschuif, DHV, tekeningnummer: C0820-80.001-003, juni 2010

Schetsontwerp Jachtensluis bestaand en nieuw voorzien van vizierschuif, DHV, tekeningnummer: C0820-80.001-002, juni 2010

Schetsontwerp Drempelverlaging bestaande inlaatsluizen, DHV, tekeningnummer: C0820-80.001-001, juni 2010

Schetsontwerp Grevelingendam doorlaten Krammer en Bocht van St. Jacob, DHV, tekeningnummer: C0820-80.001-004, juni 2010

Verslag Expertbijeenkomsten Volkeraksluizen en Hellegatsdam van 18 januari 2010 en 17 februari 2010, DHV, kenmerk: WA-RK20100651, juni 2010